



**HAL**  
open science

# Poincaré's evolutionary foundations of geometry as factors of encephalization

Otmar Öhlinger

► **To cite this version:**

Otmar Öhlinger. Poincaré's evolutionary foundations of geometry as factors of encephalization. History, Philosophy and Sociology of Sciences. Université de Lorraine, 2020. German. NNT : 2020LORR0235 . tel-03182703

**HAL Id: tel-03182703**

**<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-03182703v1>**

Submitted on 26 Mar 2021

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



## AVERTISSEMENT

Ce document est le fruit d'un long travail approuvé par le jury de soutenance et mis à disposition de l'ensemble de la communauté universitaire élargie.

Il est soumis à la propriété intellectuelle de l'auteur. Ceci implique une obligation de citation et de référencement lors de l'utilisation de ce document.

D'autre part, toute contrefaçon, plagiat, reproduction illicite encourt une poursuite pénale.

Contact : [ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr](mailto:ddoc-theses-contact@univ-lorraine.fr)

## LIENS

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 122. 4

Code de la Propriété Intellectuelle. articles L 335.2- L 335.10

[http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg\\_droi.php](http://www.cfcopies.com/V2/leg/leg_droi.php)

<http://www.culture.gouv.fr/culture/infos-pratiques/droits/protection.htm>



Ecole Doctorale SLTC (Sociétés, Langages, Temps, Connaissances)

## Thèse

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE

Mention : « Epistémologie, histoire des sciences et des techniques »

par

Otmar Öhlinger

## Les fondements évolutifs de la géométrie selon Poincaré comme facteurs de l'encéphalisation

4 décembre 2020

### Membres du jury :

<b>Rapporteurs :</b>	<b>M. Kai WEHMEIER</b>	<b>Professeur, University of California, Irvine</b> <b>(ne siège pas au jury)</b>
	<b>M. Oliver SCHLAUDT</b>	<b>Professeur associé, Université de Heidelberg, Heidelberg</b>
<b>Directeur de thèse :</b>	<b>Gerhard HEINZMANN</b>	<b>Professeur, Université de Lorraine, Nancy</b>
<b>Examineurs :</b>	<b>Mme. Julia FISCHER</b>	<b>Professeure, Université de Göttingen, Göttingen</b>
	<b>M. Philippe NABONNAND</b>	<b>Professeur, Université de Lorraine, Nancy</b>
	<b>Mme. Gabriele WERNER</b>	<b>Professeure, Kunsthochschule für Gestaltung, Berlin</b>
	<b>M. Michael WAGNER</b>	<b>Professeur, Drexel University, Philadelphia</b>
<b>Membres invités:</b>	<b>Mme. Valeria GIARDINO</b>	<b>Chargée de recherche, ENS Ulm, Paris</b>

# Thèse

Otmar Öhlinger

\* 1953

Versuch einer multiperspektiven Annäherung  
an

Poincarés evolutionäre Fundamente von Geometrie  
als Faktoren der Enzephalisation

Les fondements évolutifs de la géométrie selon Poincaré  
comme facteurs de l'encéphalisation

Présentée et soutenue publiquement pour l'obtention du titre de

DOCTEUR DE L'UNIVERSITE DE LORRAINE

Mention : « Epistémologie, histoire des sciences et des techniques »

Sous la direction de M. le Professeur

Gerhard Heinzmann

und mit einem nachhaltig motivierenden Impuls

von

Professor Michael Wagner

Nancy / Schärding

2020

*„Wir wissen nicht im Vorhinein, was die richtigen Fragen sind, und wir können sie oft erst dann stellen, wenn wir der Antwort schon nahe sind.“ (Stephen Weinberg) <sup>1</sup>*

In durchaus bescheidener Anspielung auf diese Sentenz führt die folgende Arbeit trotz Bemühung um Antworten vor allem zu weiteren Fragen; hoffentlich auch zu einigen nützlichen und richtigen.

Beschränkung Copyright:

Die illustrierte Version dieser Arbeit ist auf die Verwendung durch die Mitglieder der Jury limitiert. Mit Rücksicht auf teilweise schwer definierbare Bildrechte wurden für die online zugängliche Ausgabe viele Bilder durch Platzhalter und Verweis auf die Grafikadressen ersetzt.

---

<sup>1</sup> Dieser Satz von Weinberg wurde aus Cricks Vorwort zu Hoffman (2015, S. XI) übernommen.  
Steven Weinberg, University of Texas at Austin, Department of Physics  
(<https://web2.ph.utexas.edu/~weintech/weinberg.html>)

Danke an Herrn Professor Dr. Michael Wagner, dass er mich auf die mir gewagt erscheinende Idee einer Dissertation gebracht hat und für seine über viele Jahre reichende Geduld, das Betreuungsverhältnis aufrecht zu erhalten.

Herrn Professor Dr. Gerhard Heinzmann danke ich für die intensive wissenschaftliche Begleitung und die weit darüber hinausgehende Unterstützung beim Überwinden organisatorischer und sprachlicher Hürden meines Studiums in Nancy.

Danken möchte ich auch Mme Fabienne Dumont für nützliche Tipps zu Verwaltungsangelegenheiten und ihren wertvollen studienrechtlichen Vorschlag, welcher den Aufwand einer Cotutelle mit der TU Wien beseitigt und die Fortführung des Studiums an der UL bei problemloser Anerkennung aller in Wien erlangten Zeugnisse ermöglicht hat. Ebenso Mme Anny Bégard, weil sie bei meinem ersten Besuch der Archives Poincaré trotz der Sommerferien ein Treffen mit Professor Heinzmann arrangierte und dadurch die Option eines Studiums in Frankreich ausgelöst hat.

Für vielfältige Unterstützung danke ich Herrn Professor Dr. Georg Glaeser und seinem Team vom Institut für Geometrie an der Universität für angewandte Kunst in Wien. Weiters Frau Dr. Francesca Biagioli für die Zusendung umfangreicher Kapitel aus ihren Publikationen.

Meine geschiedene und leider früh verstorbene Frau hat nach ihren Studienaufenthalten in England und Paris bei unseren Reisen meine Affinität zu Frankreich begründet, die mir Motivation und Mut gegeben hat, mich auf ein Studium in Nancy einzulassen; wofür ich Brigitte dankbar bin.

Das Verfassen dieser Arbeit ist mit dankbaren Erinnerungen an meine Mutter verbunden, für die in sehr schwierigen Zeiten ihr Wunsch nach einer Ausbildung zur Lehrerin nicht realisierbar war. Sie hat mir trotz ihrer Belastungen als alleinerziehende und voll berufstätige Frau mit viel Geduld und leider auch mit durch meinen mangelnden Fleiß bedingten Sorgen den Abschluss des Gymnasiums ermöglicht und so den Weg für die sehr glückliche und prägende Zeit meines Studiums an der Akademie der bildenden Künste in Wien geöffnet.

## INHALTSVERZEICHNIS

Dies ist nur ein Auszug. Eine interaktive Langform mit 3 Gliederungsebenen findet sich ab Seite 379

<b>Vorspann: Titel, Dank, Stichwörter, Gliederung</b>	<b>I - VIII</b>
1 <b>Allgemeines .....</b>	<b>1</b>
2 <b>Entrée - Diverse Aspekte.....</b>	<b>10</b>
3 <b>Objekterscheinung als hinterfragenswertes Konstrukt des Betrachters.....</b>	<b>35</b>
4 <b>Visuelles System.....</b>	<b>50</b>
5 <b>Sensibilität für Licht.....</b>	<b>78</b>
6 <b>Strahlung-Sense Making.....</b>	<b>93</b>
7 <b>Von der Wahrnehmung zur Erkenntnis.....</b>	<b>112</b>
8 <b>Objekt als lichtaffines Konstrukt.....</b>	<b>128</b>
9 <b>Erkenntnistheoretische Probleme lichtaffiner Objektkonstruktion.....</b>	<b>137</b>
10 <b>Licht forciert Konnektom.....</b>	<b>146</b>
11 <b>Poincarés „Räumlichkeit“ korreliert mit erweitertem Begriff des Sehens.....</b>	<b>157</b>
12 <b>Binocular turn: Nutzen und Probleme frontaler Augen auf dem Weg zu 3D.....</b>	<b>173</b>
13 <b>Blickgestik als intuitive Komponente von Objektivität.....</b>	<b>193</b>
14 <b>Lichtaffin konstruiertes Objekt als „bequeme“ Metapher qua human being?.....</b>	<b>208</b>
15 <b>Konterkariert evolutionärer Mesokosmos Poincarés Erkenntnistheorie?.....</b>	<b>232</b>
16 <b>Milieu biologischer und evolutionärer Modelle.....</b>	<b>250</b>
17 <b>Zu Gunsten von Poincarés Indeterminismus.....</b>	<b>257</b>
18 <b>Ausklang.....</b>	<b>268</b>
19 <b>Résumé en français.....</b>	<b>275</b>
20 <b>Revue favorisierter Hypothesen, Annahmen u. Aussagen.....</b>	<b>287</b>
21 <b>Anhang.....</b>	<b>291</b>
22 <b>Glossar.....</b>	<b>355</b>
23 <b>Inhaltsverzeichnis (aktiv, 3 Ebenen).....</b>	<b>379</b>
24 <b>Literaturverzeichnis.....</b>	<b>392</b>
25 <b>Personenverzeichnis.....</b>	<b>420</b>
26 <b>Abbildungsverzeichnis.....</b>	<b>423</b>
27 <b>Abbildungen Quellen-Verzeichnis.....</b>	<b>424</b>
28 <b>Abkürzungen.....</b>	<b>430</b>





STICHWÖRTER

H. Poincaré,

psychophysische Aspekte von Geometrie, visuelle Raumwahrnehmung, Enzephalisation, Biogenic Approach to Cognition, Small-World Networks, Neurokognition, Autopoiesis, Konstruktivismus, Evolutionäre Erkenntnistheorie

MOTS-CLÉS

H. Poincaré,

aspects psychophysiques de la géométrie, perception visuelle de l'espace, encéphalisation, approche biogénique de la cognition, neurosciences cognitives, *small-world* réseaux neuronaux, autopoïèse, constructivisme, épistémologie évolutionniste

KEYWORDS

H. Poincaré,

psychophysical aspects of geometry, visual perception of space, encephalization, biogenic approach to cognition, cognitive neuroscience, small-world networks, autopoiesis, constructivism, evolutionary epistemology



# 1 ALLGEMEINES

## 1.1 Abstract D

Visuelle Wahrnehmung ist ein geometrieaffines Hintergrundphänomen, dessen komplexer Einfluss weit über den unmittelbar erkennbaren Horizont hinausreicht.

Im Unterschied zu einer dominant axiomatischen Zugangsweise von Hilbert hat Poincaré auch die Evolution der Wahrnehmung in seine Betrachtungen über die Grundlagen der Geometrie einbezogen. Davon motiviert werden Teile der vorliegenden Arbeit auf die visuokognitiven Komponenten geometrieaffiner Intuition mit ihren Relationen zur sinnlichen Anschauung und deren Erkenntnispotentiale ausgerichtet, die von Core Knowledges bis zum bewussten Konstruieren von abstrakten Konzepten reichen.

Diese Arbeit verfolgt die Hypothese, dass Poincarés Fundamente von Geometrie, nämlich Licht, Bewegung und feste Körper, auch essentielle Faktoren der Evolution von Bewusstsein sind und meint dabei auch verbindende Aspekte anzutreffen, welche tendenzielle Diskrepanzen zwischen sprachbezogenem und wahrnehmungsaffinem Konstruktivismus überbrücken könnten.<sup>2</sup>

Ausgehend von der Photomotorik extremophiler Archebakterien wird unterstellt, dass Motilität und Sensibilität für Licht durch Prozesse der Enzephalisation visueller Wahrnehmung neuronale small-world Netzwerke mit emergenten Potentialen zur erkenntnistauglichen Strukturierung der externen Realität bilden können. Dies korreliert affirmativ mit Poincarés Annahme: «...le concept général de groupe préexiste dans notre esprit au moins en puissance. » (Poincaré, 1902, S. 76)

Mit einem biogenic approach to cognition (Lyon) will diese Arbeit zeigen, dass es in unterschiedlichen Fachwissenschaften Konzepte gibt, die zu Gunsten Poincarés Indeterminismus ein Apriori der Dreidimensionalität unterlaufen und die Möglichkeit für kognitive Potentiale eröffnen, die einen vermeintlich evolutionär begründeten Determinismus überschreiten können. Sinnesreize werden als Perturbationen von weitgehend autonomen, aber nicht autarken Organismen betrachtet. Diesen Perturbationen wird gemäß ihrer Wirkung auf die Homöostase bei Interaktionen mit der externen Realität eine systemspezifische Bedeutung als Zeichen existenzieller Erfahrungen bezüglich des hypothetischen Nutzens für „the ongoing existence of the organism“ (Weber) zugewiesen.

Dreidimensionale Wahrnehmung wird als ein simplexer quick& dirty Modus Operandi gemäß Selbstoptimierung des Systems visueller Verarbeitung in Ansatz gebracht, der die externe Realität als subjektiv emuliertes Konstrukt konstituiert. Das führt zu einer Entkopplung von der externen Realität, deren Konsequenzen auch auf Ebene evolutionärer Erkenntnistheorie und affinen Wissenschaften nachgegangen wird, wobei es gilt, einerseits einen hermetischen Solipsismus hintan zu halten und andererseits nicht durch einen banalen Adaptionismus die Dreidimensionalität als determinierendes Apriori zu restaurieren, dem man zugesteht, allumfassend das subjektive Bewusstsein sowie die externe Realität reduktionistisch zu prägen.

Insgesamt geht es damit auch um Poincaré als Philosoph, in dessen Œuvre sowohl strenge Logik als auch subtile Intuition einschließlich deren Genese eine tragende Rolle spielen.

---

<sup>2</sup> In gewissem Sinn geht es dabei um eine ähnliche Divergenz, wie sie zwischen einer axiomatischen Fundamentierung von Geometrie besteht und einer, welche auch die Wahrnehmung als essentielle Komponente integriert. (Cf. Hilbert, Poincaré)

### 1.1.1 Multiperspektive Aspekte:

Raumwahrnehmung, Biosphäre, Sensibilität für Licht, Reiz vs. Perturbation, Motilität, Photomotorik, Homöostase, Enzephalisation, Neurokonstruktivismus, Bedeutungszuweisung, Zeichentheorie, Selbstorganisation, Simplexité, Viabilität, Systemtheorie, Invarianten der Wahrnehmung & Gruppentheorie (Cassirer), visuokognitive Objektkonstruktion, visuelle Verarbeitung, dorsaler u. ventraler Pfad, Okulomotorik, Muskelsinne, spezifische Sinnesenergien (J. Müller), Stereopsis, sensumotorische Rückkopplung, binocular fusion & piecemeal rivalry, regulären Ansichten, top-down emuliertes Perzept, visuelle Intelligenz, Neurokognition, Konnektom, Kontingenz, Koinzidenz, Konstitutionstheorie, Indeterminismus, relativized a priori, Mesokosmos, Anpassung, Exaption, synaptisches bzw. Hebb'sches Lernen, neuronale Plastizität, dysfunktionale Merkmale, Hermeneutik zweiter Ordnung, biogenic approach to cognition, geometrische Core Knowledges, projektive Ambivalenz, bistabile Perzepte, Wahrnehmung als Hypothesenprüfung, small - world networks, Emergenz, Autopoiesis, kooperative Objektmanipulation, intersubjektive Forward- Modelle, Intuition, Naturalisierung der Erkenntnis, Grundlagenkrise, naiver Realismus, Neurokonstruktivismus, Evolutionäre Erkenntnistheorie.

### 1.2 Abstract E

Visual perception is a geometry-inspired background phenomenon whose complex influence extends far beyond the immediately recognizable horizon.

In contrast to Hilbert's dominant axiomatic approach, Poincaré also included the evolution of perception in his reflections on the fundamentals of geometry. Motivated by this, parts of the present work also focus on the visuocognitive components of geometry-affine intuition with their relations to sensual perception and their cognitive potentials, ranging from core knowledges to the conscious construction of abstract concepts.

This treatise pursues the hypothesis that Poincaré's foundations of geometry, namely light, motion and solid bodies, are as well essential factors for the evolution of consciousness and considers it likely that in this environment there are also connecting aspects that could bridge the discrepancies between a language-dedicated constructivism and a constructivism related to the foundations of perception.<sup>3</sup>

Based on the photomotor function of extremophilic archebacteria, it is assumed that motility and sensitivity to light may induce an encephalization of visual perception and promote neuronal small-world networks with emergent potentials which enable us to perform intelligent structuring of external reality by perception and cognition. This correlates affirmatively with Poincaré's assumption: "...; but the general concept of group pre-exists in our minds, at least potentially." (Poincaré, 1905, S. 82)

With a biogenic approach to cognition (Lyon), this work aims to show that there are concepts in different disciplines that undermine an apriori of three-dimensionality in favor of Poincaré's indeterminism and open up the possibility of cognitive potentials that can transcend a supposedly evolutionary determinism. Sensory stimuli are regarded as perturbations of largely autonomous but not self-sufficient organisms. According to their effect on homeostasis in interactions with external reality, these perturbations are assigned a system-specific meaning

---

<sup>3</sup> In a certain sense, this is a similar divergence as between an axiomatic foundation of geometry and one that also integrates perception as an essential component. (Cf. Hilbert, Poincaré)

as a sign of existential experiences regarding the hypothetical benefit "for the ongoing existence of the organism". (Weber).

Three-dimensional perception is approached as a simplex quick&dirty modus operandi according to the self-optimization of the system of visual processing, which constitutes external reality as a subjectively emulated construct. This leads to a decoupling from external reality, the consequences of which are inhere also investigated within the framework of evolutionary epistemology and affine sciences. Doing this, it is necessary on the one hand to keep a hermetic solipsism aside and on the other hand not to restore the three-dimensionality as a determinative a priori by means of a banal adaptationism, which one allows to define comprehensively the subjective consciousness as well as the external reality in a reductionist way.

All in all, this treatise is also about Poincaré as a philosopher, in whose oeuvre both strict logic and subtle intuition including its genesis play a major role.

### 1.3 Abstract F / Résumé

La perception visuelle est un phénomène se produisant sur un arrière-plan géométrique et dont l'influence complexe s'étend bien au-delà de l'horizon évident.

Contrairement à l'approche axiomatique qui domine chez Hilbert, Poincaré a intégré l'évolution de la perception dans ses considérations sur les fondements de la géométrie. C'est pourquoi quelques parties du présent travail se concentrent sur les composantes visuo-cognitives de l'intuition géométrique et leurs relations à la perception sensorielle en prenant en compte son potentiel cognitif, allant de core- knowledges à la construction consciente de concepts abstraits. <sup>4</sup>

Ce mémoire poursuit l'hypothèse que les éléments fondamentaux de la géométrie selon Poincaré, à savoir la lumière, le mouvement et les corps solides, sont en même temps des facteurs essentiels de l'évolution de la conscience. Il est alors probable de trouver des aspects de connexion qui pourraient combler les divergences entre un constructivisme langagier et un constructivisme qui se réfère aux fondements de la perception.

En se basant sur l'activité photomotrice des archaebactéries extrêmophiles, on suppose que la motilité et la sensibilité à la lumière peuvent former des small-world réseaux neuronaux avec des potentiels émergents par le processus d'encéphalisation de la perception visuelle. Par conséquence on propose l'émergence des potentiels cognitifs pour la structuration intelligente de la réalité extérieure. Ceci est en corrélation affirmative avec l'hypothèse de Poincaré: «...le concept général de groupe préexiste dans notre esprit au moins en puissance. » (Poincaré, 1902, S. 76)

En utilisant une approche biogénique de la cognition (Lyon), ce travail vise à montrer qu'il existe des concepts dans diverses disciplines qui, en faveur de l'indéterminisme de Poincaré, sapent l'a priori de la tridimensionnalité et ouvrent la possibilité de potentiels cognitifs qui peuvent transcender un déterminisme évolutionniste.

---

<sup>4</sup> Dans un certain sens, il s'agit d'une divergence similaire à celle qui existe entre un fondement axiomatique de la géométrie et un fondement qui intègre également la perception en tant que composante essentielle. (Cf. Hilbert, Poincaré)

Des stimuli sensoriels sont considérés comme des perturbations d'organismes largement autonomes mais non autosuffisants. Ces perturbations sont codées de manière spécifique au système en fonction de leur effet sur l'homéostasie et pour la survie de l'organisme ; donc elles deviennent des signes d'expériences existentielles ayant une signification hypothétique sur l'effet de certaines interactions distinguables d'organisme avec la réalité extérieure.

La perception tridimensionnelle est abordée comme un *modus operandi* "quick&dirty" simplexe selon l'auto-optimisation du système de traitement visuel, qui constitue la réalité externe comme une construction subjectivement émulée.

Même dans la perspective d'un constructivisme modéré, ceci conduit à un découplage de la réalité extérieure, dont les conséquences sont ici étudiées dans le cadre à la fois de l'épistémologie évolutionniste et de quelques sciences affines. On procédant ainsi, il faut, d'une part, éviter un solipsisme hermétique et, d'autre part, éviter la restauration de la tridimensionnalité comme entité a priori déterminante à travers une position adaptative banale ; une telle restauration pourrait avoir une influence déterminante sur la conscience subjective comme sur la réalité extérieure.

Tout compte fait, ce travail montre Poincaré en tant que philosophe dont l'oeuvre est marquée par une logique intrinsèque et une intuition subtile, y compris leurs genèses.

#### 1.4 Aktuelle Präsenz Poincarés außerhalb seiner unmittelbaren Fachwissenschaften

Für Poincarés Ansatz relevante Aspekte der Raumwahrnehmung sowie geometrieaffine kognitive Potentiale zur Interaktion mit einer externen Realität samt Ausblick auf diverse Perspektiven Evolutionärer Erkenntnistheorie sind Motive und Orientierungspunkte dieser Arbeit. Ziel und Methode ist es auch, in multiperspektiver Betrachtungsweise zu illustrieren, dass Poincarés Überlegungen über die Rolle der Wahrnehmung für die Fundamente der Geometrie und die daraus gezogenen Konsequenzen für seinen erkenntnistheoretischen Ansatz ebenso wie seine Wertschätzung intuitiver Potentiale für wissenschaftliche Kreativität in einem bemerkenswerten Ausmaß auch außerhalb seiner unmittelbaren Fachbereiche wirksam und mit Fragen sowie Ergebnissen aktueller Forschung kompatibel sind. Das betrifft, um nur einige Beispiele zu nennen, die Bereiche (Neuro-) Psychologie, Wahrnehmungs- und Kognitionsforschung, Neurophysiologie und Konnektom- Forschung, emergente Potentiale neuronaler Netzwerke, Systemtheorie, Biologie sowie evolutionäre Erkenntnistheorie.

Stellvertretend für die nicht überschaubare Vielzahl themenaffiner Bereiche und Fachpublikationen wird hier der Komplex Core Knowledges angesprochen, weil er viele Aspekte aktueller Wahrnehmungs- und Kognitionsforschung sowie evolutionäre Aspekte mit erkenntnistheoretischer Relevanz integriert, die gerade auch Poincarés Überlegungen zu präexistierenden Potentialen betreffen. In einem von Geary et al. (2015) herausgegebenen umfangreichen Sammelband *Evolutionary Origins and Early Development of Number Processing*<sup>5</sup> werden derartige Potentiale bei unterschiedlichen Tiergattungen untersucht.

---

<sup>5</sup> Darin schreibt z.B. Giorgio Vallortigara :

„Studies on the ontogenetic origins of human knowledge suggest that cognition is not built on a blank slate. On the contrary, the human mind appears to be built on a set of innate systems that represent significant aspects of the environment such as physical objects, living beings, spatial relationship, and number. This idea, known as theory of core knowledge (Carey, 2009; Spelke, 2000), has an evolutionary foundation. The evolution of core systems means

Ausgehend von einem so auch unter evolutionären Aspekten betrachteten Wahrnehmungsbezug werden hier nicht die fachwissenschaftlichen Aussagen Poincarés verfolgt, sondern seine kognitionspsychologisch orientierten Überlegungen zur Raumwahrnehmung mit nachhaltigem Einfluss auf Konzepte von Erkenntnistheorie, in denen Kontingenz, Hypothese und Experiment relevante Faktoren bilden. Gemäß Habilitationsschrift von Renate Huber (2013) ist aus Poincarés Aussagen ein komplexes Beziehungsgeflecht von sinnlicher Anschauung, Intuition, Geometrie und rationalem, logischen Schlussfolgern ablesbar.<sup>6</sup> Folglich soll gezeigt werden, dass akkurat ein visuell basiertes Assoziationsvermögen bzw. bildhaftes Denken eine der ursprünglichsten Formen von Intuition mit großer Reichweite begründen kann. Und weiters, dass diese Assoziationsprozesse durch eine mehr oder weniger bewusst wirksame Dialektik trotz ihrer Unterschiede kompatibler Systeme<sup>7</sup> sprachbasiertes logisches Schlussfolgern in einer Weise erkenntnisfördernd begleiten können, die mit Poincarés Auffassung vereinbar ist.<sup>8</sup>

Kompatibel mit dem Propagieren von mehr als dreidimensionalen Geometrien sowie der freien Wahl, welche als die jeweils „bequemste“ gelten kann, durchzieht Poincarés Argumentation ein permanentes Plädoyer gegen ein determinierendes Apriori.<sup>9</sup> Deshalb will diese Arbeit auch darstellen, dass es aktuelle Konzepte mit historischen Wurzeln<sup>10</sup> gibt, die zu Gunsten von Poincarés psychologisch orientiertem Ansatz seines erkenntnistheoretischen Indeterminismus ein aus einem zu engen Begriff von Anpassung resultierendes Apriori unterlaufen und die Möglichkeit für kognitive Potentiale eröffnen, die einen vermeintlich evolutionär begründeten Determinismus überschreiten können.

Unabhängig von der Frage, ob es im Sinne von Hybris klug und wissenschaftlich legitim ist, sich ohne fundierte Detailkenntnisse<sup>11</sup> auf ein so weites Feld zu begeben, wird durch einen Wechsel des Schwerpunkts auf die weitreichende Präsenz Poincarés außerhalb seiner unmittelbaren Fachwissenschaft versucht, folgendes Resümee zu ziehen:

In vielen Publikationen unterschiedlicher Wissenschaftsbereiche wird Poincaré als nachhaltig einflussreicher Protagonist genannt und mehr oder weniger detailliert besprochen.

---

that at least some of them will be shared with other species,...” (Vallortigara, 2015, S. 35 // Center for Mind/Brain Sciences. University of Trento. Italy)

<sup>6</sup> cf. (Huber, 2013, S. 390), siehe unten Kapitel Intuition

<sup>7</sup> Die dialektische Kompatibilität besteht u.a. darin, dass auch die Ergebnisse unbewusster intuitiver Prozesse zu Bewusstsein kommen und mit jenem logischer Schlüsse verglichen werden können. Diese Parallelexistenz spricht Poincaré in seinen Überlegungen zu den Potentialen des sublimen Ichs ausdrücklich an. (cf. Poincaré, 1914, S. 46 f.)

<sup>8</sup> Die folgenden Ausführungen sollen zeigen, dass visuokognitive Prozesse mit einem impliziten Assoziationsvermögen einhergehen, das z.B. bei der Gestaltwahrnehmung Stimuli zu geometrieaffinen Gruppen zusammenfasst (cf. präexistierendes Potential). Das ist zwar zum Teil durch begriffliches Denken beeinflussbar (cf. begriffliche Theoriebeladenheit der Wahrnehmung, Priming), zeigt aber prinzipiell eine hohe Eigendynamik nach Kriterien, die sich von an Begriffe gebundener Assoziation weit unterscheiden können. Als oben schon genannte Hypothese wird unterstellt, dass diese Differenz als erweiterter Referenzbereich erkenntniswirksam genutzt werden kann; vorwiegend intuitiv, aber auch rational vergleichend.

<sup>9</sup> Bezieht sich in dieser Arbeit auf die (visuelle) Raumwahrnehmung und die damit verbunden visuokognitiven Potentiale.

<sup>10</sup> Im einflussreichen zeitgenössischen Umfeld werden u.a. auch Emile Boutroux, William James und Hermann Helmholtz sowie der gut eine Generation davor wirkende Johannes Müller angesprochen, dessen Abhandlung über spezifische Sinnesenergien von 1826 schon von ihm selbst gezogene erkenntnistheoretische Konsequenzen hat, die vielfältig wirksam sind.

<sup>11</sup> Dieser Mangel ist auch ein Grund dafür, dass viele der hier propagierten Überlegungen mit einem größeren Ausmaß von teilweise redundanten Zitaten diverser Autoren untermauert werden, weil es mir schwerfällt, die jeweils als fachwissenschaftlich unumstritten gültige Position zu identifizieren bzw. festzustellen, ob es eine solche überhaupt gibt.

Michael Heidelberger betont, dass auch Poincaré umfangreiche Konsequenzen aus Boutroux' Überlegungen zu Kontingenz gezogen hat.<sup>12</sup> Ein Berücksichtigen von Kontingenz, welche durch die mögliche Wirkung kleinster, im Ausgangstadium unbemerkter Abweichungen zu nicht vorhersehbaren Folgen führen kann und daher einen strengen Determinismus konterkariert, wurde nicht nur von Poincaré umfangreich verfolgt, sondern wird auch in aktuellen erkenntnistheoretischen Ansätzen mit konstruktivistischen Implikationen geltend gemacht. So spricht Markl beim Zusammenhang von Wahrnehmen und Erkennen am Beispiel der Signalauswertung der Fledermaus davon, dass es dabei auch um Aspekte von Kontingenz geht.<sup>13</sup>

Auch Gerhard Schurz bringt in Publikationen im Zusammenhang mit Evolutionärer Erkenntnistheorie immer wieder den Faktor Kontingenz ins Spiel und damit auch auf evolutionärer Ebene ein Thema, das eng mit Boutroux und Poincaré verbunden ist.<sup>14</sup>

Ein Wandel Evolutionärer Erkenntnistheorie<sup>15</sup> zu Konzepten, die statt eines deterministischen Anpassungsbegriffs oder einer teleologischen Zielgerichtetheit der Evolution von offeneren Interpretationsmodellen ausgehen, ist in der Regel auch mit dem Problem verbunden, ob, wie und in welchem Ausmaß für möglich gehalten wird, dass evolutionäre Prozesse, in denen das, was wir Zufall nennen, eine essentielle Rolle spielt und hochkomplexe Organe sowie kognitive Potentiale generieren kann. Immerhin hat Darwin selbst bezüglich der Anwendung seiner Theorie auf die Entwicklung des Auges gezögert.<sup>16</sup>

Mit der von Oeser ventilierten Enzephalisation der Wahrnehmung, dem autopoietischen Ansatz von Maturana und Varela und einem von Pamela Lyon dargestellten biogenic approach to cognition werden aktuelle Konzepte aufgezeigt, die sowohl einfachste als auch hochkomplexe kognitive Potentiale integrieren. Diese Konzepte sind mit Poincaré kompatibel und können gemäß ihrer konstruktivistischen sowie indeterministischen Komponenten wohl auch als mehr oder weniger direkt von ihm beeinflusst gelten.

Konstruktivistische Ansätze sind in unterschiedlichen Ausprägungen einflussreiche und nicht selten auch umstrittene Komponenten aktueller Forschung sowie von Wissenschafts- bzw. Erkenntnistheorie. Auch wenn Reinhold Breil (2011) sich ausdrücklich von einem Konstruktivismus distanziert und diesen als schädlich für die Wissenschaft darstellt, demonstriert er zugleich dessen aktuelle Präsenz, wenn er sagt:

---

<sup>12</sup> „Aber auch philosophierende Naturwissenschaftler wie Édouard Le Roy, Pierre Duhem oder Boutroux' Schwager Henri Poincaré oder Sozialwissenschaftler wie der Boutroux-Schüler Émile Durkheim tragen diese Gedanken in der ein oder anderen Weise weiter.“ (Heidelberger, o.J.a, S. 2)

<sup>13</sup> Siehe Kapitel: post hoc- propter hoc: Kontingenz als Induktionsproblem von Markls Fledermaus?

<sup>14</sup> Cf. z.B.: „Natürlich liefert die Evolutionstheorie nur ein allgemeines Erklärungsschema für das Zustandekommen normischer Systemgesetze: Sie erklärt nicht, warum diese Systeme genau diese Organe bzw. Subsysteme mit diesen Funktionen haben – dies hängt von größtenteils unbekanntem kontingenten Bedingungen der Evolutionsgeschichte ab. Mit anderen Worten, bei evolutionstheoretischen Erklärungen handelt es sich oft nur um Wie-möglich-Erklärungen (Schurz 1999b, 110 f.).“ (Schurz, 2011, S. 153). Cf. Anhang > Schurz....

<sup>15</sup> Kreationistische Schöpfungskonzepte, Intelligent Design usw. werden hier nicht in Betracht gezogen.

<sup>16</sup> „Trotz der von Darwin selbst eingeräumten Schwierigkeiten, die Evolution eines so komplexen Organs mit seiner Theorie zu erklären, war er sicher, dass künftige Generationen Antworten auf die Frage finden würden, wie das Auge von einem unvollkommenen und einfachen zu einem vollkommenen und zusammengesetzten Auge [...] durch natürliche Zuchtwahl gebildet werden könne“ [4].“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Augenevolution> 5.6.2019). Der Artikel bezieht sich auf die mir nicht zugängliche Quelle: Charles Darwin: Die Entstehung der Arten. Nikol Hamburg 2008, Kap. 6



„Der moderne Konstruktivismus hat verschiedene frühere erkenntnistheoretische Ansätze aufgegriffen und zusammengeführt...Die Anfänge des Konstruktivismus reichen bis zu Poincaré zurück.“ (Breil, 2011, S. 83)

Hier geht es nicht um die Bewertung der wissenschaftlichen Validität konstruktivistischer Modelle, sondern nur darum, dass gerade auch unter diesem Aspekt Poincaré, den Breil als einen ursprünglichen Protagonisten des modernen Konstruktivismus bezeichnet, im Sinn der hier verfolgten Argumentation auch aktuell mit nachhaltigem Einfluss in einem weit gestreuten Feld von Wissenschaften präsent ist, in denen konstruktivistische Konzepte eine Rolle spielen.

Nicht nur im Literaturverzeichnis von „Bewusstsein, ein neurobiologisches Rätsel“ führt Christof Koch (2005) Poincarés *Science and Method* an. Der amerikanische Bewusstseinsforscher Koch, der in Tübingen Physik und Philosophie studierte und dann u.a. auch am Brain and Cognitive Sciences department am MIT tätig war<sup>17</sup>, weist auch an anderer Stelle auf die Bedeutung Poincarés hin. In Abgrenzung gegenüber einem an Newton und Laplace orientierten Determinismus der für das Universum gültigen Naturgesetze sagt Koch über Poincaré:

„Auf den ersten Hinweis, dass diese kolossale Maschine nicht so voraussagbar war, wie erwartet, stieß der französische Mathematiker Henri Poincaré Ende des 19. Jahrhunderts. Es bedurfte des digitalen Computers, um das *deterministische Chaos* als das zu entlarven was es ist- eine volle Breitseite gegen die Vorstellung, die Zukunft lasse sich präzise vorhersagen....Unendlich kleine Störungen bei den Ausgangswerten von Gleichungen führen zu einem dramatisch anderen Ergebnis.“ (Koch, 2013, S. 171f.)

Auch wenn in Fortführung des Zitats über Rechenmodelle der Schmetterlingseffekt und die Chaostheorie ins Spiel gebracht werden, geht es bei Koch insgesamt nicht um Mathematik und Physik, sondern um einen Zugang zu Neuropsychologie, zur Analyse von Potentialen neuronaler Netzwerke und um die Suche nach neuronalen Korrelaten von Bewusstsein. Und in diesem Sinn auch um die hier mit Stichwörtern wie Konstruktivismus, Kontingenz, Hypothese, Indeterminismus, Chaostheorie usw. verfolgte Relevanz Poincarés in diesen Bereichen, die auch in dem Satz Grubers zur Geltung kommt:

„Ohne das Wirken von Henry Poincaré wäre es nicht möglich gewesen, die Selbstorganisation im Gehirn zu beschreiben.“ (Gruber, 2004, o.S.)

## 1.5 Vorbehalt

Die elementare Frage, ob überhaupt und gegebenenfalls wie auf kognitiver Ebene ein essentieller Zusammenhang zwischen sinnlicher Erfahrung und der Entwicklung geometrischer Konzepte besteht, und wie deren beider Relation zur externen Realität bestimmbar ist, wurde und wird in traditionsreichen Diskursen unterschiedlicher Wissenschaften kontrovers erörtert. Diese Fragen werden auch schwerlich mit einer endgültigen Antwort zu entscheiden sein. Dies würde auch der wissenschaftlichen Haltung eines kontinuierlichen und ergebnisoffenen, hypothetisch orientierten Forschens widersprechen. Unabhängig davon kann dies jedenfalls nicht im Rahmen dieser Arbeit angestrebt und geleistet werden. Trotzdem erscheint es aber legitim - und hoffentlich ein wenig nützlich- zu sein, einige Perspektiven neuerlich reflektierend zu vergleichen, weil zum starken und nachhaltigen Einfluss, den schon im 19. und beginnenden 20. Jahrhundert die Physiologie

<sup>17</sup> <https://christofkoch.com/who-am-i/> (4. 6.2019)

und Wahrnehmungsforschung hatten, auch aktuelle Untersuchungen der neurokognitiven Prozesse beachtenswert erscheinende Beiträge zu diesem Themenkomplex bieten und aktualisierte Modelle ermöglichen. Die dynamische Entwicklung bildgebender Verfahren und computergestützter Simulationen bietet für die Darstellung und die Auswertung neurophysiologischer Netzwerkstrukturen und Prozessabläufe umfangreiche Einblicke in korrelierende Erregungen von Gehirnarealen. Dies erweitert die Analysemöglichkeiten einer visuokognitiv orientierten Wahrnehmungspsychologie und kann z.B. die retinotopie Aktivierung visueller Areale bei Vorstellungsaufgaben anzeigen, die gerade für die hier in Betracht befindlichen top-down Einflüsse und deren von äußeren Reizen weitgehend unabhängige Eigendynamik ein relevantes Indiz darstellt.

Im Rahmen dieser Arbeit werden vielfältige Aussagen von Henri Poincaré und anderen renommierten Persönlichkeiten diverser Natur- und Geisteswissenschaften zitiert. Es entspricht weder meinen Möglichkeiten und damit verbunden auch nicht dem Ziel dieser Arbeit, diese vielfach sehr heterogenen Zitate hinsichtlich ihrer internen fachwissenschaftlichen Konsistenz zu überprüfen. Daher sollen und können diese Zitate hier auch keine konkreten Aussagen zur Beurteilung oder gar Lösung von Problemen der jeweiligen Fachbereiche sein. Es geht also bei meinen von diesen Zitaten ausgehenden Überlegungen nicht um wissenschaftsinterne geometrische, mathematische, biologische, psychologische, philosophische, erkenntnistheoretische, kunstgeschichtliche usw. Schlussfolgerungen, Axiome oder Postulate. Auch wenn im Bemühen sorgfältiger Recherche vielfach die gesamten Abhandlungen oder zumindest umfangreiche Textabschnitte der jeweiligen Publikationen gelesen wurden, so erfolgte dies vorrangig nur zur generellen Information über einen Themenbereich sowie zur Klärung der sachgemäßen Aussagekraft eines Zitats im Sinn einer plausiblen<sup>18</sup> Tragfähigkeit für die vorliegende Arbeit. Diese Passagen dienen also hier nur als Impulsgeber bzw. legitimierende Belege zum Etablieren und Ausgestalten eines multidisziplinären Milieus von Aspekten, in dem und mit Hilfe dessen die verzweigte Tragweite von Poincarés Einlassungen zum Verhältnis von Wahrnehmung und Geometrie einschließlich des damit verbunden erkenntnistheoretischen Ansatzes illustriert sowie mit Hinweis auf aktuelle Forschungsergebnisse interpretiert und untermauert werden sollen.

Ebensowenig wird eingehend geprüft oder behauptet, dass diese zur Illustration herangezogenen Zitate und deren Quellen untereinander insgesamt widerspruchsfrei kompatibel sind. Wo sie nicht unmittelbar als konkretes Argument für eine Behauptung eingesetzt werden, dienen sie als extern formulierte Perspektiven zur facettierten Ausgestaltung und kritischen Reflexion meiner Überlegungen bzw. Hypothesen.<sup>19</sup> Weil dabei ja wiederholt versucht wird, im Sinn einer transdisziplinären Multiperspektivität denkbare Brücken zwischen weit auseinanderliegenden Bereichen in Betracht zu ziehen, erscheint das Kriterium der wechselweisen Widerspruchsfreiheit der herangezogenen Quellen weder erreichbar noch notwendig zu sein. Auch deshalb nicht, weil diese Arbeit keine geschlossene

---

<sup>18</sup> Hier erfolgt ein klares Bekenntnis zu Plausibilität und Viabilität und wird als klar erkennbarer Mangel dieser Arbeit eingestanden, dass viele der sehr hypothetischen und spekulativen Betrachtungen nicht gemäß strenger wissenschaftlicher Methode und Logik widerspruchsfrei abgeschlossen werden. Vielfach wird nur ein Milieu von Indizien illustriert. Dem entspricht das Bemühen, dort, wo keine validen Schlüsse gezogen werden können, zumindest weiterführende Aspekte ausfindig zu machen. Wenn man so will, dann führt diese Arbeit statt zu Antworten eher zu Fragen, die hoffentlich auch nach wissenschaftlichen Kriterien als sachgerecht und zielführend gelten können.

<sup>19</sup> Mangels Ausbildung in den hier zur Argumentation herangezogenen, weit gestreuten Fachbereichen werden Vorschläge bzw. Behauptungen häufig mit mehreren konvergenten Zitaten unterschiedlicher Autoren untermauert, weil ich gemäß meinem Studium an einer Kunstakademie trotz Bemühung um sorgfältige Recherche nicht den jeweils fachspezifischen Überblick in Anspruch nehmen will und kann, qualifiziert zu entscheiden, welche der zitierten Aussagen fachintern als die tragfähigste anerkannt wird bzw. am wenigsten umstritten ist.

Theorie etablieren will und kann, sondern eben nur versucht, durch das Zusammentragen von Indizien die noch immer aktuelle Relevanz von Poincarés erkenntnistheoretischem Ansatz im komplexen Milieu verschiedenster Fachwissenschaften zu illustrieren. Das Aufzeigen dieser nachhaltig multiplen Relevanz ist eines der zentralen Anliegen dieser Arbeit, das im Gegenzug auch deutlich machen will, wie affirmativ kompatibel aktuelle Ergebnisse dieser Wissenschaftsbereiche mit Poincarés Überlegungen zu den wahrnehmungsaffinen Fundamenten von Geometrie und den damit verbundenen erkenntnistheoretischen Konsequenzen sind.

Die Arbeit hat keine straff deduktive Gliederung, sondern bildet eine Assemblage von multiperspektiven Assoziationsfeldern, die von einigen Angelpunkten aus mit teilweise weitläufigen Recherchen und Zitaten sowie eigenen Überlegungen über eine längere Zeit hinweg entwickelt und niedergeschrieben wurden. Daher waren manche Redundanzen nicht zu vermeiden.

Zu den genannten Angelpunkten, welche die grobe Gliederung der Arbeit bilden, gehören:

Problematisieren der visuellen Objektwahrnehmung, Überblick visuelles System, Enzephalisation der Wahrnehmung und geometrische Core Knowledges, Sensitivität für Licht bis hin zu frontalen Augen, Zusammenhänge von Photomotorik, Motilität und binokularer Disparität, Entkoppelung der Wahrnehmung von der externen Realität, Objekt als lichtaffines Konstrukt und multivalente „bequeme“ Metapher gemäß Verarbeitungsregeln<sup>20</sup>, evolutionär konstruktivistische Aspekte von Poincarés „Rahmen, die wir der Natur aufdrängen“, Konzepte Evolutionärer Erkenntnistheorie ohne determinierendes Apriori, intuitiv kommunikative, deiktische Funktion der Blickgestik, „Le cerveau est une machine géométrique“ (Berthoz).

Das für wissenschaftliche Arbeiten ungewöhnlich häufige Einbeziehen von Bildbeispielen entspricht nicht nur den persönlichen ausbildungsgemäßen Arbeits-, Kommunikations- und Denkgewohnheiten.<sup>21</sup> Es wird gerade bei der Auseinandersetzung mit so genannten Hintergrundphänomenen, wie z.B. der Raumwahrnehmung, als wissenschaftlich legitim angesehen, jene Überlegungen und Theorien, die zur Argumentation herangezogen werden, auch bezüglich ihrer Anwendungstauglichkeit zur Interpretation scheinbar trivialer Alltagsbeispiele zu evaluieren und andererseits durch die Illustrationen das Gemeinte auch zu visualisieren.

Wegen des erklärten Ziels, affirmative Indizien zusammenzutragen, werden häufig relativ lange Originalzitate wiedergeben. Das soll im Sinn einer um Seriosität bemühten Arbeit die Gefahr einer allzu selektiven Wahrnehmung reduzieren. Ebenso das Risiko, durch stark gekürzte fremde Aussagen und eigene Zusammenfassungen nur die opportunen Aspekte wiederzugeben.<sup>22</sup>

Auch wenn die Wortwahl dieser Arbeit nur dem grammatikalischen Geschlecht folgt, wurde versucht, den hohen Einfluss von Wissenschaftlerinnen durch ausdrückliches Integrieren der Vornamen bei Nennungen im Text gebührend deutlich zu machen.

---

<sup>20</sup> cf. Cassirer, Ladyman

<sup>21</sup> Der durchaus spannenden Frage nach einer unser Denken beeinflussenden „Dialektik der Ausdruckssysteme“, die darin besteht, dass die Unterschiede von sprachlichen und visuellen Assoziationsketten eine multiperspektive Dynamik der Analyse von Sachverhalten provozieren können, wird hier nicht explizit nachgegangen.

<sup>22</sup> Mangels Ausbildung in den diversen Fachbereichen sollten die Aussagen nicht nur jeweils auf ein kurzes Zitat gestützt werden, sondern wurden gezielt konvergente Zitate unterschiedlicher Autoren herangezogen.

## 2 ENTRÉE - Diverse Aspekte

Dieser Abschnitt bereitet aus unterschiedlichen Perspektiven die sachlichen und auch persönlichen Zugangsbereiche zum Thema und zu den davon tangierten Fachgebieten auf.

Das betrifft z.B. Poincarés Integration des Psychologischen, die Rolle von Konturen und Schatten für die Wahrnehmung fester Körper, Poincarés Unterscheidung von zustandsbedingter und bewegungsbedingter Formveränderung sowie die von Poincaré, Hölder und Mach im Unterschied zu Hilbert forcierte Integration der Wahrnehmung und ihrer evolutionären Aspekte in die Fundamente von Geometrie.

Die Art und das Zustandekommen der räumlichen Erscheinung von Gegenständen wird auch anhand von Beispielen aus der Kunstgeschichte hinterfragt. Dabei wird, Angela Breidbach folgend, ein Einfluss von Helmholtz' „Physiologische Optik“ (1867) auf Cézanne erkennbar, der bis zur Abkehr von der Zentralperspektive und zum Entwickeln einer multiperspektiven Formensprache des Kubismus reicht, die sogar direkt von Poincaré beeinflusst sein dürfte.<sup>23</sup>

Mit Ausführungen von Eric Kandel werden psychologische und neurokognitive Komponenten der Wahrnehmung und Analyse von Bildern illustriert, die nicht nur geometrieaffine Gestaltungselemente wie Schatten und Linien betreffen. Kandel macht mit Hinweis auf Helmholtz die Wahrnehmung als Hypothesenprüfung geltend und bringt via Gombrich auch den gestaltenden Anteil des Betrachters ins Spiel. Daraus ergeben sich konstruktivistische Aspekte mit erkenntnistheoretischen Konsequenzen.

Ein damit konvergenter Zugang zu geometrieaffinen Präferenzen unserer Wahrnehmung wird mit Hoffmans Ausführungen über visuelle Intelligenz und sein Konzept der regulären Ansichten ausgebaut.

### 2.1.1 Allons! Nous cherchons la réalité, mais...

Selbst bei Betrachtung mit nur einem Auge meinen wir, unsere Umgebung dreidimensional zu sehen. Auch raumillusionierende Bilder nutzen diesen Effekt. Binokulare stereoptische Wahrnehmung sowie passende Lichtverhältnisse lassen uns plastisch wirkende Objekte im Nahbereich erstreckt als besonders „realistisch“ erscheinen. So geläufig die gedankliche Verquickung dreidimensionaler Erscheinung mit einer trivialen Vorstellung von Realität ist und auch weitgehend viables Handeln ermöglicht, so sehr führt eine kritische Reflexion über die Möglichkeit und Art der Kompatibilität von Dreidimensionalität und Realität in ein vielschichtiges Gemenge von Problemen. Kommt als naheliegende Komponente auch noch der Begriff Raum ins Spiel, dann sind nicht nur Geometrie, sondern auch Erkenntnistheorie involviert. Insgesamt führt damit bei tiefergehender Auseinandersetzung mit diesen so selbstverständlich erscheinenden Hintergrundphänomenen unserer visuokognitiven Potentiale kein seriöser Weg daran vorbei, auch die kritischen Überlegungen von Henri Poincaré zur Raumwahrnehmung und die damit verbundenen Aspekten eines diesbezüglichen Apriori der Dreidimensionalität in Betracht zu ziehen.

In diesem Sinn bemüht sich folgende Arbeit, einigen Facetten von Poincarés fundamentalem Diktum nachzugehen:

« Nous cherchons la réalité, mais qu'est-ce que la réalité ? » (Poincaré, 1911, S. 26)

---

<sup>23</sup> „Linda Henderson-Dairymple führt als Quelle Poincarés »L'Espace et la Geometrie« beweiskräftig als Kernstück der Hauptschrift des frühen Kubismus ins Feld.“ (Breidbach, 2003, S. 60 f.)

Das zielt keinesfalls auf einen naiven und aussichtslosen Versuch ab, dieses Problem lösen zu wollen, sondern nur darauf, aufzuzeigen, in welche vielschichten epistemologischen Milieus Poincarés Überlegungen zur Rolle der Raumwahrnehmung bis in die Gegenwart führen.

2.1.2 Die Auseinandersetzung mit Poincaré kann man in drei Bereiche aufteilen:

Neben biografischen Aspekten gibt es zwei weitere Schwerpunkte der Betrachtung von Poincarés Œuvre.

Einerseits sind das die fachwissenschaftlichen Domänen betreffend Mathematik, Physik, und Geometrie. Andererseits ist es trotz enger Verbindungen zur Geometrie angesichts der vielfältigen Einlassungen Poincarés aber sachlich legitim und methodisch opportun, einen weiteren Themenkomplex im Umfeld von (Neuro-) Psychologie, Wahrnehmung, Erkenntnistheorie und Philosophie weitgehend separat in den Fokus zu rücken.

2.1.3 Poincaré an Russel: Keine Epistemologie ohne Psychologie

Auch Poincaré selbst misst der engen Verbundenheit dieser Bereiche richtungsweisende Bedeutung für sein zu Grunde liegendes Verständnis des menschlichen Erkenntnisvermögens zu, wenn er in einer Antwort an Russel sehr pointiert formuliert:

„Herr Russel wird mir sicherlich sagen, dass es hier nicht um Psychologie, sondern um Logik und Epistemologie geht; und ich, ich werde dazu geführt ihm zu antworten, daß es keine Logik und Epistemologie unabhängig von der Psychologie gibt; dieses Glaubensbekenntnis wird wahrscheinlich die Diskussion schließen, weil es eine unwiderrufliche Meinungsverschiedenheit offenbart.“ (Heinzmann, 1995, S. 133)

Ausgehend von einem im Sinne Poincarés weit gefassten Rahmen von „Psychologie“ zielt das hier verfolgte Bemühen also (u.a.) darauf ab, die Aussagekraft dieses apodiktischen „Glaubenssatzes“ von Poincaré auch bezüglich des Verhältnisses von Wahrnehmung und Geometrie geltend zu machen und mit Indizien gemäß Poincarés zeitgenössischem sowie derzeitigem Stand der einschlägigen Fachwissenschaften zu untermauern. Dafür sind auch Konzepte evolutionärer Erkenntnistheorie heranzuziehen, die wiederum eine Rückbindung auf den im Zitat angesprochenen epistemologischen Aspekt bilden.

Diese Ausrichtung fühlt sich darüber hinaus auch durch die mit der Antwort an Russel kompatible Aussage Poincarés motiviert und legitimiert:

« Parmi toutes les constructions que l'on peut combiner avec les matériaux fournis par la logique, il faut faire un choix ; le vrai fait ce choix judicieusement parce qu'il est guidé par un sûr instinct, ou par quelque vague conscience de je ne sais quelle géométrie plus profonde, et plus cachée, qui seule fait le prix de l'édifice construit. Chercher l'origine de cet instinct, étudier les lois de cette géométrie profonde qui se sentent et n'annoncent pas, ce serait encore une belle tâche pour les philosophes qui ne veulent pas que la logique soit tout. » (Poincaré, 1905/1906 S.> 5 f.)

2.1.4 Allgemeines zum Hintergrundphänomen Raumwahrnehmung

Räumliche Wahrnehmung gilt als selbstverständlich und bestimmt als modellierendes Hintergrundphänomen weitgehend unsere Orientierung im Ambiente, die präzise Wahrnehmung von Körpern mit immersiver Plastizität im Nahbereich sowie die Handhabung und den gedanklichen Umgang mit Objekten. Sie beeinflusst auf vielfältige Art unsere Vorstellungswelt und ist eng mit unserem Vorstellungsvermögen verbunden, vermutlich auch mit dessen Evolution. So durchwirkt Räumlichkeit auch die Kommunikation von der Gestik über die Alltagssprache bis zur Beschreibung komplexer Sachverhalte und der

sprachlich/symbolischen Formulierung komplexer gedanklicher Modelle. Gerade abstrakte Sachverhalte werden häufig mit räumlichen Metaphern veranschaulicht.<sup>24</sup>

Über den hier nicht weiter zu entwickelnden Aspekt architektonischer Gestaltung hinaus ist in manchen Kulturkreisen und Epochen Räumlichkeit ein dominantes Thema der Konzeption und Gestaltung visueller Medien. Das gilt für Systeme zur Visualisierung technisch naturwissenschaftlicher Sachverhalte ebenso wie für die Vielfalt von Bildmedien einschließlich bildender Kunst und so genannter Neuer Medien.

Während in manchen Epochen und Kulturen relevante Informationen über räumliche Sachverhalte in Bildern nur symbolhaft angedeutet werden, gibt es gerade im europäischen Raum eine lange und variantenreiche Tradition, durch gezielt eingesetzte Gestaltungsmittel dem Betrachter unmittelbar über die Ebene der Wahrnehmung einen spontanen Raumeindruck zu vermitteln. Das kann bis zu *prima vista* nahezu nicht von einem Realambiente oder haptischen Objekt unterscheidbaren Raumillusionen führen (*Trompe-l'oeil*). Raumbetont immersive „Wahrnehmungstäuschungen“ wurden bisweilen mit höchster Perfektion angestrebt und sind auch aktuell noch immer Thema der Gestaltung und Entwicklung von Mediensystemen bis hin zu autostereoskopischen Displays, Hologrammen und Virtual Reality.

Mit dem Interesse an „täuschend echter“ Raumillusion ging auch in diesem Bereich eine systematische Auseinandersetzung mit den Grundlagen der Wahrnehmung und geometrisch strukturierter Bildgestaltung einher. Unterschiedliche Systeme perspektivischer Darstellung wurden ebenso zum Thema wie die kognitiven Prozesse der stereoskopischen Wahrnehmung und deren physiologische Substrate einschließlich der neurologischen Komponenten. Mit dem Anspruch realistischer Illusion drängen sich unausweichlich auch erkenntnistheoretische Problematiken auf, die auch außerhalb der medienspezifischen Analyse eine lange Tradition haben. Die Fragen der Realität unserer Umwelt und der Möglichkeiten, diese zu erkennen, sind ein langer und vielfältig diskutierter Themenkomplex von Philosophie und Theologie mit historisch unterschiedlichen Schwerpunkten der Fragestellung, Zielsetzung und der für gültig gehaltenen Ergebnisse. In diesem Rahmen haben immer auch die Fragen der Wahrnehmung und die Problematik, was denn ein Bild sei, eine bedeutsame Rolle gespielt.

Vice versa haben auch die Naturwissenschaften in unterschiedlichsten Bereichen die Frage nach dem Verhältnis von Wahrnehmung und externer Realität gestellt und erkenntnisleitende Hypothesen formuliert. Darunter auch die Medizin und die Forschung zur Physiologie des Menschen, wo beispielsweise mit Johannes Müller\*<sup>25</sup> und Hermann von Helmholtz zwei prominente Protagonisten bahnbrechende Beiträge zur Auslotung des engen Verhältnisses von Sinnesphysiologie und Erkenntnistheorie entwickelten.<sup>26</sup> Schon Müller\* hat dabei das räumliche Vorstellungsvermögen ausdrücklich angesprochen. Mehr noch wird durch Helmholtz das Verhältnis von Raumwahrnehmung und Geometrie als elementares Wissenschaftsproblem vielfältig thematisiert und in seine Epistemologie richtungweisend eingebunden.

In seiner vielschichten Abhandlung über Techniken des Betrachtens verweist Cray auf einen markanten Umbruch der Auseinandersetzung mit Optik im 19. Jahrhundert: Wie angedeutet

---

<sup>24</sup> Cf. Porzig in Lorenz, 1975, S. 175

<sup>25</sup> Weil mehrere Autoren namens Müller zitiert werden, wurde dieser Name mit zusätzlichen Markierungen, z.B. \* gekennzeichnet. Siehe Literaturverzeichnis.

<sup>26</sup> Bezüglich Müller und Helmholtz ist nicht nur zu beachten, dass es eine Reihe von Aspekten gibt, die eine hohe Kompatibilität mit Konzepten Poincarés aufweisen. Darüber hinaus ist auch ein expliziter Einfluss von Helmholtz' Werk auf Poincaré in Betracht zu ziehen. So schreibt Principe: "Darrigol shows that Helmholtz inspired the conceptions of Poincaré and Duhem on measurement." (Príncipe, 2017, S.149)

„...untersuchten die empirischen Wissenschaften damals hauptsächlich das subjektive Sehen, ein Sehen das aus den körperlichen Bezügen der Camera obscura herausgenommen und neu im menschlichen Körper angesiedelt wurde. Diese Veränderung wird durch den Übergang von der geometrischen Optik des 17. und 18. Jahrhunderts zur physiologischen Optik angezeigt, die die wissenschaftliche wie die philosophische Betrachtung des Sehens im 19. Jahrhundert beherrschte. Man sammelte auf diese Weise Erkenntnisse über die konstitutive Rolle des Sehens beim Begreifen der sichtbaren Welt...“ (Crary, 1996, S. 27)

Die Auseinandersetzung von Mathematik und speziell der Geometrie mit funktionalen und epistemischen Fragen der Raumwahrnehmung hat ihrerseits eine sehr lange Tradition und wurde gerade auch im ausgehenden 19. und beginnenden 20. Jahrhundert stark vorangetrieben. Nicht zuletzt wegen der Entwicklung von Konzepten nicht-euklidischer Geometrien, welche die (scheinbare) Selbstverständlichkeit einer einheitlichen Auffassung von Raum und folglich des Dreidimensionalen auch auf philosophischer Ebene radikal in Frage stellten. Damit wurde auch ein weit reichender Diskurs über Kants Apriori der Raumanschauung in Gang gesetzt, der bis heute in verschiedensten Bereichen aktuell ist.

Eine der Schlüsselpersonen dieser Entwicklung ist Henri Poincaré, der als Mathematiker, Physiker und Philosoph in einem komplexen Milieu des zeitgenössischen Diskurses neuen Konzepten nachging und selbst solche entwickelte; bis hin zu einer erkenntnistheoretischen Grundhaltung, in der das Hypothetische eine zentrale Rolle einnimmt.<sup>27</sup> Poincaré spielt damit über die Mathematik hinaus z.B. auch für die wissenschaftliche Haltung führender Forscher der Gegenwart im Bereich der Auseinandersetzung mit neurobiologischen und -kognitiven Aspekten von Wahrnehmung und Bewusstsein eine bedeutsame Rolle.<sup>28</sup>

Poincaré hat sich aber auch selbst bei der Frage über die Möglichkeit bzw. Bedeutung von mehr als dreidimensionalen Geometrien intensiv mit dem Thema der traditionellen Auffassung der Dreidimensionalität der Raumwahrnehmung bzw. des Wahrnehmungsraums einschließlich der neurobiologischen Komponenten (z.B. Rolle der Muskelsinne) auseinandergesetzt und dies in seiner Theoriebildung berücksichtigt. Er geht dabei so weit, auch evolutionäre Grundlagen der (euklidischen) Geometrie als Möglichkeit zu thematisieren und tut dies mit Formulierungen, die sich mit frappierender Ähnlichkeit ziemlich genau hundert Jahre später mit anderem Sachbezug im Text eines Bewusstseins-Forschers wiederfinden.<sup>29</sup>

Die Versuche, aus Ergebnissen der Wahrnehmungsforschung Grundlagen für Geometrie und damit verbundene erkenntnistheoretische Aspekte abzuleiten, wurde im 19. Jahrhundert besonders auch von Ernst Mach und Hermann von Helmholtz in mehreren Abhandlungen vorangetrieben, sind aber nicht selbstverständlicher Usus, wie mit dem Beispiel Hilberts gezeigt werden kann.

Nach Gray (2012) ist dabei auch der Einfluss von Théodule Ribot und seines Buches *La psychologie allemande contemporaine* (1898) auf Poincaré zu beachten. Ribot hat mit seiner Integration von Bewegung in die Konstruktion von Raum und seiner positiven

---

<sup>27</sup> Gerade bezüglich der essentiellen Rolle des Hypothetischen macht Schiemann trotz großer Nähe auch auf einen markanten Unterschied der erkenntnistheoretischen Haltung von Poincaré und Helmholtz aufmerksam, Cf. Anhang > Hypothesierung des Mechanismus bei Helmholtz.

<sup>28</sup> Cf. z.B. Zitate von Koch,

<sup>29</sup> Cf. „ In gewissem Sinn kann man sagen, dass ein Neuron, das auf eine orientierte Linie antwortet, einen Satz Punkte bindet. Die Inputs solcher Punkte sind wahrscheinlich durch Gene und Entwicklungsprozesse bestimmt, die sich auf Grund der Erfahrung unserer frühen Vorfahren im Laufe der Evolution entwickelt haben.“ (Koch, 2005, S. 184). Kochs Formulierung „Erfahrung der Vorfahren“ weckt Assoziationen zu Poincaré.

Auseinandersetzung mit Darwin auch wesentliche Komponenten von Poincarés Ansatz angesprochen.<sup>30</sup>

### 2.1.5 Erstes Heranführen an Poincarés erkenntnistheoretisches Problem der Raumwahrnehmung

Allein schon aus der Gegenüberstellung folgender Aussagen von Poincaré ist ableitbar, wie fragwürdig die geläufige Selbstverständlichkeit ist, das räumliche Wahrnehmen fester Körper in eine eindeutige Relation zur externen Realität zu setzen.

« Si donc il n’y avait pas de corps solides dans la nature, il n’y aurait pas de géométrie. » (Poincaré, 1902 S. 68)

„Il faut ensuite examiner les cadres dans lesquels la nature nous paraît enfermé et que nous nommons le temps et l’espace. Dans Science et Hypothèse, j’ai montré combien leur valeur est relative; ce n’est pas la nature qui nous les impose, c’est nous qui les imposons à la nature parce que nous les trouvons commodes, ... » (Poincaré, 1911, S. 6)

In dem Maße wie Poincaré die festen Körper als Grundlagen der Geometrie etabliert und sie andererseits unter das Verdikt eines von uns auferlegten Rahmens stellt, weitet sich diese Problematik auch auf den realitätsinterpretierenden Geltungsanspruch von Geometrien und besonders auf die tradierte Selbstverständlichkeit der Euklidischen Geometrie samt den durch diese beschriebenen dreidimensionalen Raum aus. Das ist ein Aspekt einer Grundlagenkrise mit weitreichenden erkenntnistheoretischen Konsequenzen für die Gültigkeit von Paradigmen. Diese Erschütterung von Paradigmen betrifft nicht nur den Bereich der Geometrie und ihrer affinen Wissenschaften, sondern reicht weit darüber hinaus. Gemäß der Art und Intensität, mit der Poincaré unsere Wahrnehmung und die damit verbundenen neurokognitiven Prozesse in seine Fundamente der Geometrie integriert, betrifft die aus den genannten Zitaten ableitbare Problematik besonders auch das weite Feld von Neuropsychologie und Kognition und folglich auch die Frage des generellen Erkenntnisvermögens. Somit geht es nicht mehr nur um fachspezifische Wissenschaftstheorie, sondern um ein fundamentales Problem von Erkenntnistheorie in einem umfassenden Sinn.

Dieses Integrieren der Wahrnehmung und ihrer neurophysiologischen Aspekte in die Fundamente der Geometrie verändert auch die Art der Betrachtung von kognitiven Potentialen. Erst recht dann, wenn auch noch explizit deren evolutionäre Genese ins Spiel gebracht wird. Unter den mehrfachen Hinweisen darauf sticht eine Stelle besonders hervor, weil Poincaré darin nicht nur evolutionäre Aspekte kognitiver Potentiale (esprit) anspricht, sondern auch ausdrücklich die Geometrie einbezieht.

« On veut dire que par sélection naturelle notre esprit s’est adapté aux conditions du monde extérieur, qu’il a adopté la géométrie la plus avantageuse à l’espèce ; ou en d’autres termes la plus commode. » (Poincaré, 1902, S. 91)

All dies forciert eine Zugangsweise mit Anknüpfungspunkten an den von Pamela Lyon propagierten „biogenic approach to cognition“ und an Janichs (2000, S. 60) Ausdruck der „Naturalisierung der Erkenntnis“.

Je mehr die Dreidimensionalität der Raumwahrnehmung als Konstrukt des Betrachters gemäß der Evolution von Sinnesorganen, entsprechender neurophysiologischer Strukturen und damit einhergehender kognitiver Potentiale interpretiert wird, umso mehr stellt sich die Frage der Aussagekraft dieser (damit zunehmend) subjektiv-phänomenalen Erscheinungsform über eine

---

<sup>30</sup> Cf. Gray: Ribots Einfluss auf Poincaré



externe Realität. Das betrifft nicht nur die Fragwürdigkeit der Dreidimensionalität als eindeutig bestehende Struktur/Existenzform dieser externen Realität. Je nach Radikalität des konstruktivistischen Konzepts können die fundamentalen Fragen nach dem ontologischen Bestand externer Entitäten ebenso virulent werden, wie zumindest eine adäquate Erkennbarkeit derselben als (skeptizistisches) Problem aufbricht.

Auch wenn Poincaré in vielen Aussagen zumindest implizit den grundsätzlichen Bestand einer externen Realität in seinem Ansatz gelten lässt, fokussiert er die komplexen Probleme einer wahrnehmungsbezogenen Erkenntnis unter dem apriorischen Verdikt der Dreidimensionalität als gestaltenden Rahmen mit voller Schärfe, wenn er sagt: „...c'est nous qui les imposons à la nature parce que nous les trouvons commodes, ... » (Poincaré, 1911, S. 6)

Eine der sich daraus ergebenden Konsequenzen ist ein erkenntnistheoretischer Ansatz Poincarés, in dem Kontingenz (cf. Boutroux), Hypothese und Experiment<sup>31</sup> essentielle Bedeutung haben.

#### 2.1.6 Top-down Faktor 3D - geometrieaffine Theoriebeladenheit unserer Wahrnehmung gemäß spezifischer visuokognitiver Potentiale

Das 3D der Wahrnehmung ist nach konstruktivistischen Interpretationen ein systemspezifisches Produkt neurokognitiver Prozesse, das nicht unmittelbar von der externen Realität ausgeht und diese abbildet. Schon gar nicht so, dass im Rückschluss diese als dreidimensional definiert werden kann.

Dreidimensionalität ist aus dieser phänomenalistischen bzw. konstruktivistischen Perspektive nur eine viable, modellierende Strukturierung, welche die externe Realität so zu einer Umwelt (cf. Uexküll) emuliert (cf. Berthoz), dass wir mit bzw. in unserem Ambiente möglichst spontan wahrnehmungsbezogen (inter-) agieren können.<sup>32</sup> Das schließt aber nicht aus, dass wir zu Gunsten der Perfektionierung der räumlichen Interaktion mit dieser Umwelt auf rationaler Ebene komplexere Konzepte in Form dreidimensionaler Geometrien entwickeln; und auch solche mit mehr als drei Dimensionen, auch wenn diese nicht in gleicher Form als anschaulich gelten.

Bezüglich der oben angesprochenen Außenwelt bringt Poincaré mit folgendem Satz, der für diese Arbeit wegbegleitend ist, auch „feste Körper“ elementar ins Spiel:

„ Wenn es also keine festen Körper in der Natur geben würde, so hätten wir keine Geometrie.“  
(Poincaré, 1906, S. 63)

Die aus konstruktivistischer Sicht nahe liegende Relevanz neurokognitiver top-down Komponenten für die dreidimensionale Wahrnehmung sowie für die damit verbundenen komplexen Prozesse für das Erkennen fester Körper führen in Zusammenschau mit Poincarés genetischer Bindung der Geometrie an „corps solides“ (s.o.) dazu, die Begriffe top-down<sup>33</sup> und geometrieaffin Wegweisend zu Beginn dieser Arbeit zu verankern.

<sup>31</sup> „Das Experiment ist die einzige Quelle der Wahrheit; dieses allein kann uns etwas Neues lehren; dieses allein kann uns Gewissheit geben.“ (Poincaré, 1906, S. 143)

<sup>32</sup> Umwelt als kognitiv emuliertes „Augmented Reality Display“?

<sup>33</sup> Cf. Glossar

Zugleich ist gemäß Textstudium Poincarés zu beachten, dass mit Berufung auf „corps solides“ nicht eine Trivialauffassung einer vom Betrachter unabhängigen Existenz dreidimensional definierter Objekte in der externen Realität gemeint sein dürfte/kann. (Cf. Poincaré, 1910, S. 7)

Auch diesbezüglich soll im Zuge dieser Arbeit versucht werden, den Ausdruck „feste Körper“ vor dem Hintergrund einer neurokognitiven Objekt konstruktion zu reflektieren.<sup>34</sup>

Hier ist noch anzufügen, dass der wiederholte Appell an konstruktivistische Perspektiven nicht (m)eine willkürliche Auswahl des Standpunktes der Betrachtung ist, sondern auch damit zu tun hat, dass Poincarés erkenntnistheoretische Haltung eine markante Kompatibilität mit konstruktivistischen Konzepten aufweist. In Umkehrung der Betrachtungsweise könnte man wohl auch zu Recht sagen, dass konstruktivistische Modelle erheblich von Poincaré beeinflusst sind.<sup>35</sup>

Das Stichwort „Top- down Faktor 3D“ will nicht nur auf derartige Komponenten neurokognitiver Prozesse verweisen. Es soll auch die unterstellte Basis-Arbeitshypothese zusammenfassen, dass schon das 3D der Wahrnehmung etwas vom Beobachter mittels essentieller top-down Einflüsse Generiertes ist und in diesem Sinn eine Art geometrieaffine Elementarkonstitution darstellt, die schon auf vorbewusst kognitiver Ebene hypothetisch agiert und deren allfällige drei Dimensionen einer evolutionären Konstruktion entsprechen. Diese Dreidimensionalität steht, wie wiederholt betont wird, aber in keinem zwingend eindeutigen Verhältnis zur externen Realität, sondern entspricht einer Theoriebeladenheit<sup>36</sup> unserer konstruierenden Wahrnehmung. Sie ist eine letztlich freie, wenn auch für manche Spezies opportune („bequeme“) evolutionäre „Entscheidung“<sup>37</sup>: Wie sie –mutatis mutandis– Poincaré für die Konzeption bzw. (erfahrungsgeleitete) Auswahl von Geometrien auf erkenntnistheoretischer Ebene prinzipiell etabliert und z.B. mit dem Gedankenexperiment einer hypothetischen „Hohlkugelwelt“ illustriert.<sup>38</sup>

Bei der Einschätzung der Rolle von top-down Faktoren ist auch entscheidend, in welche Grundrelation zur externen Realität man die Wahrnehmung samt zugehörigen neurokognitiven Systemen einbettet. Ob man sie vorwiegend als System zur (bottom-up) Aufnahme von (so genannten) Reizen der Außenwelt sowie deren nachfolgende Interpretation versteht, oder ob man von einem weitgehend selbstreferentiellen kognitiven System ausgeht. In diesem Fall wäre die Wahrnehmung eher eine Projektion spezifischer kognitiver Muster bzw. Selektionskriterien auf oder in die externe Realität, die dabei erst als wahrnehmbare Außenwelt etabliert und zu einer artspezifischen „Umwelt“ (Uexküll) modelliert (emuliert- Berthoz) wird. Das führt zu einer großen und nuancenreichen Spannweite der erkenntnistheoretischen Positionen, die unter anderem in Form eines (so

---

<sup>34</sup> Cf. Keuth, Bischof, Diebner: erweiterte Hermeneutik

<sup>35</sup> Cf. Breil (2011)

<sup>36</sup> Der Ausdruck Theoriebeladenheit steht hier als geläufiger Sammelbegriff für eine komplexe Anreicherung mit top-down wirkenden Aspekten. Bei diesen handelt es sich nicht um Theorien im strengen Sinn. Im Hinblick auf den hier unterstellten hypothetischen Charakter der Wahrnehmung liegt als schwächere Version auch der Ausdruck „annahmenbeladen“ nahe. Cf. Glossar > Theoriebeladenheit.

<sup>37</sup> Die Metapher „freie Entscheidung“ wird hier gemäß einem möglichst indeterministischen Verständnis von Anpassung unter Berücksichtigung von Kontingenz zur Interpretation evolutionärer Prozesse verwendet. Dabei wird außerdem unterstellt, dass Evolution nicht teleologisch determiniert ist. (Cf. Schurz usw.)

<sup>38</sup> Cf. Poincaré, 1906, S.67 ff. Bezüglich fiktiver Welten mit veränderten Dimensionen ist auf Edwin Abbotts Novelle „Flatland. A Romance of Many Dimensions“ von 1884 zu verweisen. Ohne weiter gehende Recherche wird hier Molderings Hinweis zur Kenntnis genommen, in der er zur populären Erzählung Flatland ohne genaue Quellenangabe anmerkt: „...(auf die sogar Poincaré Bezug genommen hatte)“. (Molderings, 2004, S. 113)

genannten) naiven Realismus<sup>39</sup> oder auch im Sinn eines radikalen Konstruktivismus ihren Ausdruck finden können. Auch der Begriff „Reiz“ ist sehr differenziert zu betrachten, weil er je nach Basisannahme sehr unterschiedliche konnotative Dimensionen bzw. theoretische Modelle impliziert. Gemäß den an unterschiedlichen Stellen aufgezeigten Indizien wird in dieser Arbeit eine weitestgehende Entkopplung der Wahrnehmung und der kognitiven Potentiale von exogenen Faktoren zugunsten hoher Potentiale der Selbstorganisation in den Vordergrund gerückt, weil dies Poincarés wiederholtes Plädoyer gegen eine vollends limitierende Kraft eines Apriori der Dreidimensionalität unterstützt.

## 2.2 ENTRÉE VIA CORPS SOLIDES

Feste Körper bilden einen der geradezu archimedischen Angelpunkte für Poincarés wahrnehmungsbezogene Fundamente der Geometrie und daher ist es angebracht, der Komplexität folgender Sentenz genauer nachzugehen.

„Wenn es also keine festen Körper in der Natur geben würde, so hätten wir keine Geometrie.“ (Poincaré, 1906, S. 63)

An diesen Satz kann man eine Reihe von Überlegungen über die möglichen Relationen von Geometrie zur externen Realität knüpfen, die notwendigerweise auch das Thema Raum betreffen und eine erkenntnistheoretische Dimension implizieren. Bevor man sich auf dieses Glatteis begibt, ist es angebracht, nicht allein auf Basis einer Übersetzung zu arbeiten, auch wenn diese, wie im gegebenen Fall, zweifellos seriös ist und subtil erfolgte. Es empfiehlt sich, nach Möglichkeit auch das Original in Betracht zu ziehen. Vor allem dann, wenn es in der Folge zum Teil um hochspekulative Interpretationen und Schlussfolgerungen geht, für die Nuancen des Textes bzw. seiner Übersetzung richtungsweisende Indizien darstellen.

Daher werden hier auch die französische Originalstelle sowie die Version der englischen Ausgabe zum sofortigen Vergleich wiedergegeben.

« Si donc il n’y avait pas de corps solides dans la nature, il n’y aurait pas de géométrie. » (Poincaré, 1902 S. 68)

“If, then, there were no solid bodies in nature there would be no geometry.” (Poincaré, 1905, S.71)

Auffällig ist, dass der Text der deutschen Ausgabe von einer eher wörtlichen Übersetzung in Form „Wenn es in der Natur keine festen Körper gäbe, gäbe es keine Geometrie.“ abweicht.

Mit der scheinbar geringen Modifikation der Übersetzung von „il n’y aurait pas“ von „es gäbe“ zu „wir hätten“ wird diese Variante durch Vermeidung der Wortwiederholung eleganter, verändert aber die möglichen Dimensionen der Aussage des Satzes in erheblichem Ausmaß. Allerdings mit dem Vorteil, dass damit ein Anlass dafür entsteht, die Spannweite der erkenntnistheoretischen Implikationen der Aussage aus weiter auseinander liegenden Perspektiven in Betracht zu ziehen und der Frage nachzugehen, ob und wie weit Poincarés Ansatz eher mit einem ontologischen Realismus oder vielmehr mit konstruktivistischen Konzepten kompatibel ist. Die Formulierung des französischen Originals scheint zunächst den

---

<sup>39</sup> So geläufig der Ausdruck *naiver Realismus* verwendet und auch hier so benutzt wird, so sehr ist er wohl unglücklich gewählt, weil das Wort *naiv* nicht die weitreichenden philosophischen Dimensionen zum Ausdruck bringt, sondern diese eher ignoriert bzw. vernebelt. Ohne dies weiter auszuführen, wird hier vorgeschlagen eher von einem „*viablen Realismus*“ in dem Sinn zu sprechen, dass zugunsten von Entlastung und spontaner Handlungsfähigkeit ein pragmatisch vereinfachtes Weltbild nützlich ist. (Cf. Kandel/Cavanagh: vereinfachte Physik

realistischen Aspekt zu forcieren, während die deutsche Übersetzung „so hätten wir“ auch konstruktivistische Tendenzen nahelegt.

Diese unterschiedlichen Tendenzen hängen mit der Frage der möglichen Deutungen von „es gibt“ und „wir haben“ zusammen.<sup>40</sup>

All das soll nur andeuten, in welcher vielfältigen und auch erkenntnistheoretisch relevante Dimensionen die Nuancen der Übersetzung führen, sobald man auch nur ansatzweise daran denkt, sie mit ohnehin nur vorsichtigem Anklang an Wittgenstein als Sprachspiel in Betracht zu ziehen.<sup>41</sup> Das hier weiterzuführen entspricht aber weder dem Thema noch der Absicht und schon gar nicht den Möglichkeiten dieser Arbeit.

Dennoch, oder gerade deswegen, ist ein problembewusstes Interpretieren des hier zur Debatte stehenden Satzes auch deshalb legitim und notwendig, weil Poincaré selbst an unterschiedlichen Stellen die Selbstverständlichkeit des Begriffs Objekt radikal in Frage stellt und folglich auch seine Aussage über „feste Körper“ ein Bemühen um ein komplexes Vorverständnis der möglichen impliziten Annahmen verlangt, um Fehlinterpretationen zu vermeiden.

Zu diesen Aspekten, die zum hier relevanten Verständnis des Begriffs Objekt zu beachten sind, gehört unter anderem der folgende Satz Poincarés:

„...daß eine gewisse Beziehung zwischen irgend einem Etwas und irgend einem anderen Etwas besteht...Aber diese Benennungen waren nichts als Bilder, die wir an die Stelle der wirklichen Objekte gesetzt haben, und diese wirklichen Objekte wird die Natur uns ewig verbergen;...“ (Poincaré, 1906, S. 162)

Dieses „Mais ces appellations n'étaient que des images substituées aux objets réels que la nature nous cachera éternellement.“ (Poincaré, 1902, S. 156) gibt übrigens einen Anlass und triftigen Grund, an der Angemessenheit eines naiven ontologischen Realismus zur Interpretation von Poincarés erkenntnistheoretischem Ansatz zu zweifeln und folglich möglichen Affinitäten zu anders orientierten Konzepten nachzugehen.

Dabei sind auch die Integration der Wahrnehmung in die Prozesse des Erkennens sowie die sich daraus ergebenden Konsequenzen zu beachten. Diesem Komplex widmet Poincaré umfangreiche Teile seiner Schriften und macht darin auch auf starke subjektiv konstruierende Komponenten aufmerksam.

Besonders auf diesen Themenkomplex ist die hier vorliegende Arbeit ausgerichtet.

---

<sup>40</sup> Die sprachspezifische Übersetzungsproblematik mit einer Untersuchung, was denn die zu Grunde liegenden Formulierungen „il y a“ sowie „es gibt“ und „wir haben“ aussagen, wird hier auch mangels Fachkompetenz nicht weiter verfolgt. Es wird nur darauf hingewiesen, dass es sich dabei um einen durchaus relevanten Aspekt handelt, wenn man z.B. einen Helvetismus in Betracht zieht, wo „es hat“ als mehr oder weniger synonym mit „es gibt“ gelten dürfte. Ebenso könnte man die Fragestellung darauf ausdehnen, ob im französischen „il y a“ und im englischen „there is“ eine eher lokalisierende Komponente mitschwingt, während das deutsche „es gibt“ auf eine objektzentrierte Existenzbehauptung ausgerichtet zu sein scheint. Aus meiner Sicht dürfte jedenfalls das „wir hätten“ stärkere Anknüpfungspunkte für eine konstruktivistische Interpretation implizieren.

<sup>41</sup> Implizite Konnotationen sprachlicher Ausdrücke haben nicht nur prinzipielle erkenntnistheoretische Bedeutung, sondern betreffen auch unmittelbar Poincarés Warnung vor vorgefassten Meinungen: „...unsere Sprache ist von lauter vorgefaßten Meinungen durchdrungen,...“ (Poincaré, 1906, S. 145)

### 2.2.1 Entrée Archives Poincaré: Zwei Skulpturen illustrieren Einbindung der Wahrnehmung in Grundlagen der Geometrie

Das sowohl idealistisch als auch pragmatisch zu interpretierende Prinzip eines Buchtitels von Sven Lindqvist (1989) „Grabe wo du stehst!“ führt (mich) zu zwei Einstiegsoptionen, die man in diesem Sinn topografisch an Nancy und Wien koppeln kann.



Abbildung 1 a) Büste Poincaré, b) Tetraeder, c) Büste Poincaré

In der Bibliothek der Archives Poincaré in Nancy trifft man auf zwei sehr unterschiedliche Skulpturen, die beide der Kategorie Objekt im Sinn eines visuell und haptisch wahrnehmbaren festen Körpers angehören.

Gemäß Poincaré bildet das Schauspiel der Perspektiven fester Körper sowohl Anlass als auch essentielle Grundlage zum Entwickeln geometrischer Konzepte und räumlicher Vorstellung.

Daher soll im Sinn von Aesops „Hic Rhodus, hic salta!“ versucht werden, Poincarés wahrnehmungsbezogenen Ansatz mit dem Fokus auf „corps solides“ zunächst an diesen beiden Skulpturen zu reflektieren.

Visavis des Eingangs begrüßt den Besucher eine Plastik, die als abbildende Portraitbüste Henri Poincaré darstellt. Im Fond stößt man auf eine abstrakte Skulptur, die nicht durch eine Aufschrift näher betitelt ist, also nur auf Basis ihrer Erscheinung gedeutet werden kann.

So verschieden beide Objekte der Identifikation durch den Betrachter entgegenkommen, so sehr kann von beiden aus die hier zur Debatte gestellte Problematik des festen Körpers illustriert werden. Lässt man die bei ausgestellten Kunstwerken in der Regel ohnehin verpönte haptische Formanalyse weg, dann geht es in beiden Fällen um den konstruktiven Einfluss des visuellen Systems sowie der Vorannahmen des Betrachters auf die Erschließung dieser Objekte. Das betrifft nicht nur die Benennung und Zuordnung in eine begriffliche Kategorie zur Klärung von Fragen wie: „Was ist das?“ oder „Was ist gemeint/dargestellt?“. Je nachdem wie stark der visuelle Eindruck von subjektiven Komponenten beeinflusst wird, kann man auch einen Realismus - Begriff im Sinn einer weiter gehenden Objektivität ins Spiel bringen. Wenn man z.B. die Realitätsnähe darauf bezieht, dass der plastische Körper eines Werkes der Bildhauerei auch weitestgehend mit der visuell in Erscheinung tretenden Gesamtgestalt der

Figur übereinstimmt. Also die visuelle und die haptische Wahrnehmung zu einer weitgehend gleichen Bestimmung der Form führen.<sup>42</sup>

Das scheint bei der Portraitbüste vorbehaltlos der Fall zu sein; zumindest zunächst.

Diffiziler wird dieser Aspekt bei der abstrakten Skulptur, weil sie an Wahrnehmungsprozesse appelliert, die diesen abbildungsorientierten Begriff von Realismus in einer Weise konterkarieren, die auch insgesamt die Frage des Verhältnisses fester Körper/Geometrie tangiert.

Bei dieser stark zerklüfteten Skulptur dominieren helle Schnittflächen, die stark mit den zugehörigen prismenartigen Komponenten kontrastieren, den ersten Eindruck. Diese Schnittflächen und die von ihnen gebildeten Kanten passen zu einem Tetraeder, in das die gesamte Skulptur als übergeordnete Gesamtgestalt eingeschrieben werden kann. Diese Gesamtgestalt eines platonischen Körpers ist aber zunächst schwer erkennbar, weil die hellen Flächen so angeordnet sind, dass unser prinzipiell hohes Potential zur Gestalterkennung und Vervollständigung nicht sichtbarer Teile und Kanten systematisch konterkariert wird. Während die erzeugenden Kanten des Tetraeders stark fragmentiert sind, suggerieren vier helle Flächen im Zentrum unserer Ansicht ein räumliches Gebilde, ähnlich einem Würfel, obwohl sie de facto in einer Ebene liegen. Auch dieser nur von unserer Wahrnehmung konstruierte virtuelle Würfel konterkariert die Chance, die Ebene der einhüllenden Fläche des Tetraeders zu erkennen.

In einer detaillierten Analyse wäre darstellbar, dass diese Skulptur systematisch Schemata unserer Gestaltwahrnehmung in einer Art unterläuft, wie dies bei Camouflage geschieht.

Das offenbar bewusst provozierte Spiel dieser Skulptur mit unseren Potentialen und Schwierigkeiten, mittels räumlicher Gestaltwahrnehmung Fragmente zu einem möglichst klar geordneten und homogen erscheinenden Körper zusammenzufassen, um das eigentlich vorhandene Arrangement der vielen Teile auch für unser vorstellungsbezogenes Denken leichter disponibel zu machen, repräsentiert sehr treffend einen Themenkomplex präziser Formerkennung fester Körper, dem Poincaré umfangreiche Aufmerksamkeit gewidmet hat. Diese Konstruktionsprozesse der Wahrnehmung hängen mit den neurokognitiven Grundlagen geometrieaffiner Core Knowledges zusammen.

Als Legitimation für eine so ausführliche Betrachtung dieser Skulptur wird hier geltend gemacht, dass dieses Gebilde als ein bis in viele Details treffendes Beispiel die zumindest seit Gaspard Monges Ende des 18. Jahrhunderts forcierten Bemühungen der Darstellenden Geometrie um eine klare Form- und Maßanalyse auf Basis anschaulicher Visualisierung unterläuft. Um den Zugang zur räumlichen Vorstellung geometrischer Zeichnungen zu erleichtern, wurden vielfach dreidimensionale Modelle eingesetzt. Im Kontext so eines DG-spezifischen Modellbaus wäre das Tetraeder in Nancy kein Hilfsmittel zur Veranschaulichung, sondern eher ein mit erheblichen Hürden gespicktes Testinstrument zur Analyse der räumlich-visuellen Kompetenzen.

Das tangiert somit auch Poincarés Grundsatzfragen nach den wahrnehmungsspezifischen Korrelaten der Begriffe Objekt und fester Körper und deren Funktion beim Entwickeln geometrischer Konzepte; sowohl auf unbewusster wie auch auf bewusster Ebene.<sup>43</sup>

---

<sup>42</sup> In gewissem Ausmaß handelt es sich dabei um eine modifizierte Variante des Molyneux Problems. (Cf. Glossar)

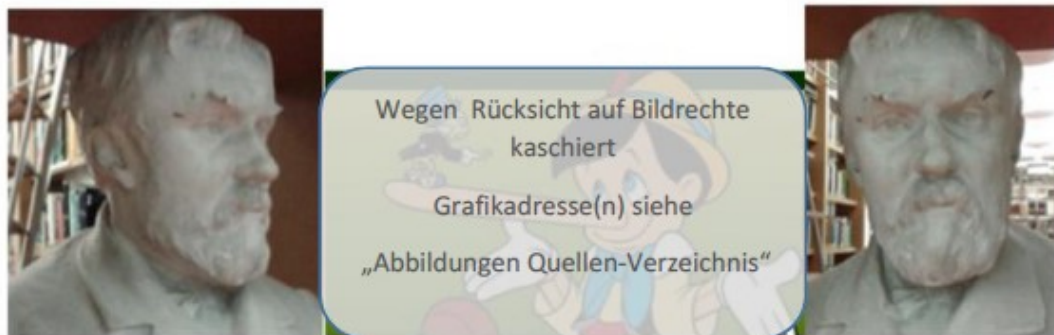
<sup>43</sup> Der Ausdruck „Konzept“ wird im Zuge dieser Arbeit mit einer sehr großen Spannweite verwendet.

So gesehen kann man die beiden Gebilde als zwei unterschiedlich orientierte „Portraits“ von Poincaré ansprechen. Einmal als Darstellung der physiognomischen Erscheinung der Person mit psychologisierenden Aspekten und andererseits als „Portrait“, im Sinn einer abstrakten Repräsentation eines Teils seiner Gedankenwelt.

### 2.2.2 From Pinocchio's nose to Poincaré's foundations of geometry

Without blasphemy!

From Pinocchio's nose to Poincaré's foundations of geometry



It is about the intimate connection of the spectacle of perspectives, the compensation of movement, the discrimination between change of appearance and change of state and the essential necessity of solids for the understanding of Poincaré's conception of space.

Abbildung 2 Pinocchio's nose. Montage Autor, Folie aus eigenem Vortrag 2019

Unter diesem Aspekt der Grundsatzfrage nach der Rolle fester Körper für Geometrie bedarf allerdings auch die zunächst so selbstverständlich erscheinende Portraitbüste einer Revision im wörtlichen Sinn. Zumindest bei Betrachtung auf Basis der Fotos fällt auf, dass wir die eher frontale Ansicht und das Dreiviertelprofil problemlos als unterschiedliche Ansichten derselben Gesamtgestalt des Kopfes wahrnehmen und akzeptieren. Fokussiert man Details, so fallen z.B. markante Veränderungen der Form der Nase auf. Diese Formveränderungen werden aber ganz selbstverständlich als projektionsbedingte Veränderung gemäß dem Blickwinkel der Aufnahme gewertet und mehr oder weniger ignoriert. Beim Dreiviertelprofil ist auch noch eine marginale Verzerrung bemerkbar, welche die Nase etwas länger erscheinen lässt. Man kann jedoch weitestgehend ausschließen, dass jemand die veränderte Erscheinung als während des Ablaufs der Aufnahmen erfolgte Deformation des Kopfes selbst interpretiert. Verbunden mit der Identifikation als Gesicht werden die markanten Formänderungen der Erscheinung nicht auf eine Veränderung der Nase oder der Proportionen des Kopfes, sondern auf einen Standortwechsel des Betrachters zurückgeführt und allenfalls wird noch der gestaltende Einfluss der verwendeten Optik ins Kalkül gezogen.

Diese fototechnische Erklärung durch Wechsel der Perspektive und Verzerrungen gemäß der verwendeten Optik ist für uns so plausibel, weil wir zwei Annahmen voraussetzen. Wir wissen nicht nur, sondern setzen geradezu unbewusst voraus, dass es sich bei der Büste um einen starren Körper handelt. Und auch bei Aufnahmen einer lebenden Person kann die wechselnde

Form und Länge der Nase nur von der gewählten Perspektive oder Verzerrung durch die Optik abhängen, weil Menschen ihre Nase nicht strecken und wieder einziehen können.

Bei Pinocchio oder den Fühlern einer Weinbergschnecke wären diese Voraussetzungen keineswegs (so plausibel) tragfähig.

Akkurat dieser somit prinzipiell offenen Frage des Formenwandels des Bildes auf unserer Netzhaut geht Poincaré systematisch in seinen Überlegungen über **zustandsbedingten** oder gemäß Relativbewegung **positionsbedingten** Wechsel der Erscheinung von Objekten nach. Dem dabei entstehenden „Schauspiel der Perspektiven“<sup>44</sup> weist er eine fundamentale Bedeutung für die Entstehung unseres Begriffes des (dreidimensionalen) Raumes zu.

So gesehen erweist sich auch der Kopf der Büste als Konstrukt, das nur auf Basis komplexer Vorannahmen unseres Wahrnehmungssystems schon prima vista als fester Körper wahrgenommen wird. Nur auf Basis dieser Vorannahmen kann die Formverzerrungen der Fotografie der Büste mittels geometrischer Schlüsse auf Veränderungen der Perspektive bzw. die Optik der Kamera zurückgeführt und können deformierende Veränderungen des Zustandes des Kopfes ausgeschlossen werden.

Unter diesem Aspekt sind die hier debattierte Büste und die abstrakte Skulptur einander ähnlicher, als man es zunächst für möglich hält und werfen beide ein Licht auf einige essentielle Komponenten von Poincarés Fundamentierung von Geometrie. Ebenso auf den erkenntnistheoretischen Aspekt der **Theoriebeladenheit**<sup>45</sup> von Wahrnehmung.

Die projektive Ambivalenz des zweidimensionalen Netzhautbildes ist dabei ein zentrales Problem mit weitreichenden Konsequenzen. Diese tangieren u.a. die Schwierigkeit, auf dieser Basis einen möglichst eindeutigen interaktionstauglichen Zugang zur externen Realität zu entwickeln, betreffen aber auch die Frage der evolutionär relevanten Vor- und Nachteile eines visuellen Systems. Die Auseinandersetzung mit diesbezüglichen relevanten Aspekten führt nicht nur zu Konzepten von Neurowissenschaften und evolutionärer Erkenntnistheorie, sondern auf vielfältige Weise und nahezu unumgänglich zu auch diesbezüglich tief schürfenden Überlegungen sowie fundamentalen Aussagen Poincarés.

Diese ersten rudimentären Betrachtungen von Skulpturen sollten nur aufzeigen, wie zumeist nur en passant wahrgenommene und relativ vertraut erscheinende Objekte zu Beispielen komplexer erkenntnistheoretischer Probleme werden, wenn man sie ins Licht von Poincarés wahrnehmungsbezogenem Ansatz von Geometrie rückt.

### 2.2.3 Projektive Ambivalenz konterkariert eindeutige Relation zu externer Realität

Gemäß der in dieser Arbeit verfolgten Methode, prinzipielle Probleme durch möglichst konkrete Beispiele zu veranschaulichen bzw. aus ihnen zu entwickeln, soll mit folgendem Artefakt der sich allein schon aus den Regeln geometrischer Projektion ergebende hypothetische Charakter eines visuellen Fernsinns illustriert werden.<sup>46</sup>

---

<sup>44</sup> Poincaré, 1906, S. 71

<sup>45</sup> Cf. Glossar > Annahmenbeladenheit

<sup>46</sup> Der Ausdruck Fernsinn wird hier in gezielter Anspielung auf Poincaré verwendet. „Da der Blick in die Entfernung reicht,...“ (Poincaré, 1910, S. 79), cf. projektive Ambivalenz



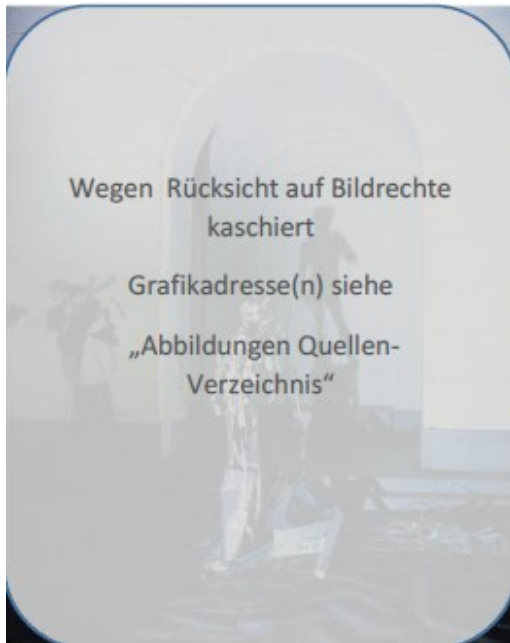


Abbildung 3 Shadow Art "David" (Wiegmann)

So eindeutig vertraut bei isolierter Betrachtung die Silhouette in der Nische erscheint, so sehr wird an der Gesamtkonstellation erkennbar, dass es sich dabei nur um ein Artefakt der Projektion handelt, das nur bei einer ganz bestimmten Beleuchtung auftritt. Jede andere Position des Lichts führt zu Schattengebilden, die mit der Silhouette von Michelangelos David nicht in Einklang zu bringen sind. Schon gar nicht wäre aus einer so divergierenden Vielfalt von Silhouetten das zugrunde liegende Objekt rekonstruierbar. Zumindest nicht ohne erhebliche zusätzliche Informationen und leistungsfähige Berechnungssysteme.

Übertragen auf unsere visuelle Wahrnehmung soll mit dieser platonischen Metapher die enorme Schwierigkeit gezeigt werden, aus einem zweidimensionalen Bild der Netzhaut ein möglichst eindeutiges externes Objekt zu (re-) konstruieren.

Diese auch evolutionär relevante Herausforderung verschärft sich, wenn es für eine das Überleben sichernde Handlungskoordination entscheidend ist, nicht nur das externe Objekt schon auf Distanz eindeutig zu identifizieren, sondern auch rasch und möglichst präzise der Form des Objekts angemessene Greifbewegungen zu antizipieren.

Der Hinweis auf den Bedarf leistungsfähiger Berechnungssysteme bei Lösungsversuchen zur Rekonstruktion des Objekts auf EDV- gestützter Basis soll mutatis mutandis die in dieser Arbeit als essentiell in Ansatz gebrachte Enzephalisation der Wahrnehmung ins Spiel bringen. Der genannte Bedarf an zusätzlicher Information will Poincarés Integration der Muskelsinne zur ergänzenden Auswertung der Auswirkung der Bewegung auf das Schauspiel der Perspektiven andeuten.<sup>47</sup>

#### 2.2.4 Projektive Ambivalenz komplexer Körper

Bei Betrachtungen über die Unterschiede von Tast- und Gesichtssinn bezüglich ihres Potentials, zwei Punkte/Objekte durch die Differenz ihrer Lage im Raum zu unterscheiden, bringt Poincaré ein prinzipielles Problem der visuellen Wahrnehmung ins Spiel. Bei dieser Gelegenheit wird der Gesichtssinn im Unterschied zum Tastsinn mit der Formulierung als Fernsinn charakterisiert, dass der „Blick in die Entfernung reicht“ (Poincaré, 1910, S. 79).

<sup>47</sup> Cf. Bell, erweiterter Begriff des Sehens

Daher werden zwei auf dem Sehstrahl hintereinander liegende Punkte als ein Punkt auf die Netzhaut projiziert und folglich ist bei unbewegter monokularer Betrachtung prinzipiell jeder auf der Netzhaut abgebildete Punkt potentiell mehrdeutig.<sup>48</sup>

Eine Folie Gegenfurtners illustriert sehr eindrucksvoll, wie auch deutlich verschieden geformte geometrische Körper zu identen und somit vieldeutigen Abbildungen führen können, sofern nicht zusätzliche Aspekte, wie z.B. Bewegungsparallaxe oder binokulare Disparität ins Spiel kommen.

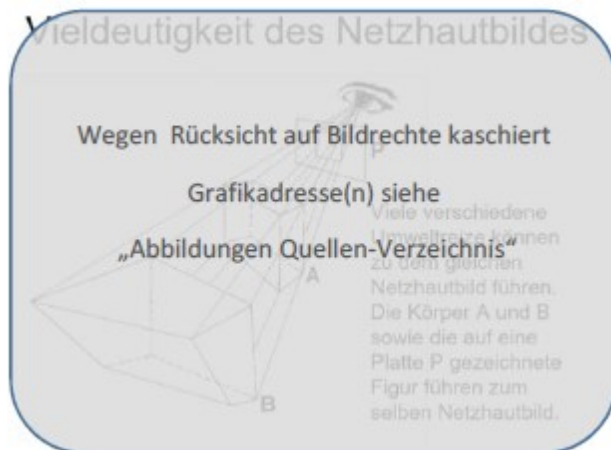


Abbildung 4 Projektive Ambivalenz des Netzhautbildes (Gegenfurtner, o.J., Folie 3)

Dieses Beispiel Gegenfurtners erweitert die Komplexität projektiver Ambivalenz und der damit einhergehenden Ansprüche an das kognitive System enorm, weil es nicht mehr nur um das Bemerkens einer Distanz zwischen einander allenfalls verdeckenden Objekten geht. Es geht nun zusätzlich auch darum, dass die prinzipielle Identifikation von Objekten durch deren Möglichkeit, als (mehr oder weniger) identes Bild auf der Netzhaut in Erscheinung zu treten, enorm kompliziert wird. Schon eine einigermaßen viable Auswertung dieser komplexen Vieldeutigkeit fordert und fördert umfangreiche kognitive Potentiale und deren top-down wirksamen Einflüsse.<sup>49</sup>

Unter diesem Aspekt ist visuelle Wahrnehmung nicht nur prinzipiell hochgradig hypothetisch verfasst. Auch das Objekt wird, passend zu Cassirers Überlegungen, zu einem Konstrukt, das wesentlich durch Verarbeitungsregeln der Wahrnehmung und des erweiterten kognitiven Systems gestaltet wird. Das betrifft auch die Beständigkeit des Objekts, die ja z.B. auch von der zeitlichen Struktur unserer Wahrnehmung abhängt, und tangiert somit auch massiv die Rolle, die Poincaré dem festen Körper als ein Fundament von Geometrie zuschreibt.

### 2.2.5 Objektkonstruktion als eine rekursive Raison d'être für Geometrie

Die Bestimmung der Beständigkeit eines Objekts erfordert Unterscheidung zwischen zustandsbedingten und bewegungsinduzierten Veränderungen der Erscheinung. Je mehr aber das, was wir als Objekt bezeichnen, zu einem von der Wahrnehmung (konstitutiv) beeinflussten Konstrukt wird, umso essentieller werden Konzepte, mit deren Hilfe das

<sup>48</sup> Auf die hier relevante und von Poincaré im Zusammenhang mit Muskelsinnen betonte Rolle der Akkommodation wird an anderer Stelle eingegangen.

<sup>49</sup> Neben der projektiven Ambivalenz des Netzhautbildes ist auch noch die Ambivalenz in Folge der Datenkompression auf dem Weg visueller Verarbeitung zu beachten. Cf. Zühlke, 2012, S. 19 (Cf. Kap. 3D als Mehrwert-Produkt einer Art evolutionärer „Bottleneck Intelligenz“ ?)

gegebenenfalls Beständige bzw. Invariante an ihnen bestimmt werden kann, um festzustellen, ob es sich z.B. um einen festen, formstabilen Körper handelt.

Daraus ergibt sich als eine zielführende Notwendigkeit, im Sinn von Poincaré zu unterscheiden und herauszufinden, welche Veränderungen der Form einer Veränderung des Zustands entspringen und welche bewegungsbedingt sind. Und das wird geradezu zu einer Raison d'être der Bildung geometrischer Konzepte. Auch wenn das in einen Zirkel führt, weil die Geometrie als Werkzeug bzw. Methode der Erklärung zur Bestimmung jenes Objekts herangezogen wird, das andererseits als fester Körper die Grundlage dafür bildet, aus seinen regelhaften perspektivischen Veränderungen der Erscheinung Geometrie abzuleiten. In Anlehnung an Poincaré, aber verkürzt und paradox formuliert, geht es um ein konstruktivistisches Wechselspiel: **ohne feste Körper keine Geometrie- ohne Geometrie keine festen Körper**; zumindest könnten wir diese nicht als solche erkennen, unsere konkreten Handlungen darauf beziehen und viele unserer antizipierenden Handlungsmodelle davon ableiten.

In diesem Zusammenhang wäre z.B. folgende Passagen Poincarés in Betracht zu ziehen:

"Die äußeren Gegenstände zum Beispiel, für die das Wort Objekt erfunden worden ist, sind eben Objekte und nicht flüchtige und ungreifbare Erscheinungen, weil es nicht nur Gruppen von Empfindungen sind, sondern Gruppen, die durch eine beständige Verbindung (Ö> lien constant) zusammengekittet (Ö> cimentés) sind. Diese Verbindung ist es, und nur sie, was an Ihnen Objekt ist, und dies ist eine Beziehung." (Poincaré, 1910, S. 200) <sup>50</sup>

„...diese wirklichen Objekte wird die Natur uns ewig verbergen;...“ (Poincaré, 1906, S.162)

Eine Interpretation dieser Sätze Poincarés führt zu weitverzweigten konstruktivistischen bzw. strukturalistischen Aspekten des Begriffes Objekt. <sup>51</sup>

## 2.3 ENTRÉE VIA LINIEN

### 2.3.1 Subjektives Konstrukt Linie - ein persönlicher Zugang

Bei der abstrakten Skulptur in Nancy (Abb. 1b) ist die häufige Unterbrechung der Schnittkanten der einhüllenden Flächen einer der Gründe, warum die Gesamtgestalt des Tetraeders schwer spontan wahrnehmbar ist. Das Konterkarieren der Sichtbarkeit von Konturen ist seit jeher eine Strategie von Camouflage, weil damit ein wesentliches Tool unserer Formerkennung unterlaufen wird. Das gilt nicht nur im militärischen Bereich, sondern auch für Tarnung im Tierreich.

Die Auseinandersetzung mit der Wirkung von Konturen und Linien im Rahmen der Formbestimmung von Körpern betrifft auch meinen biografisch schon relativ weit zurückliegenden, aber nachhaltig wirksamen Zugang zu dem in dieser Arbeit verfolgten Themenkomplex. Verbunden mit meinem Interesse an Raumwahrnehmung hat mich das auch zur Auseinandersetzung mit Schriften Poincarés geführt. <sup>52</sup>

<sup>50</sup> « Les objets extérieurs, par exemple, pour lesquels le mot objet a été inventé, sont justement des objets et non des apparences fuyantes et insaisissables parce que ce ne sont pas seulement des groupes de sensations, mais des groupes cimentés par un lien constant. C'est ce lien, et ce lien seul qui est objet en eux, et ce lien c'est un rapport. » (Poincaré, 1911, S. 266)

<sup>51</sup> Cf. Strukturenrealismus und Ladyman „...objects are pragmatic devices...“ (Ladyman, 2014, o.S.)

<sup>52</sup> Der eigentliche und prägende Ausgangspunkt ist ein Studium an der Akademie der bildenden Künste in Wien. Obwohl ich in einer Klasse für Malerei war, habe ich hauptsächlich gezeichnet. Der Umgang mit Linien war für mich vertrauter als jener mit Farbflächen. Gleichzeitig habe ich ein ambivalentes Verhältnis zu Linien entwickelt, weil es auf nackten menschlichen Figuren keine formrelevanten beobachtbaren Linien im eigentlichen Sinn gibt. Trotzdem können Linien in der zweidimensionalen Zeichnung die Gestalt nicht nur umreißen, sondern auch einen immersiven räumlichen Eindruck erzeugen. Das heißt, dass der Betrachter durch seine Wahrnehmung und sein

Das markante Potential von konstruierenden Leistungen unserer Wahrnehmung zum Ergänzen von Linien und zur Suggestion von Räumlichkeit, wie sie am Beispiel der abstrakten Skulptur (Abb. 1b) ins Spiel gebracht werden, kann auch mit Kanizsa - Dreiecken oder einer besonderen Form des Necker-Würfels illustriert werden. Dies erfolgt hier nur durch Wiedergabe einer Abbildung. Die entsprechenden Phänomene werden an anderen Stellen ausführlicher besprochen.<sup>53</sup>

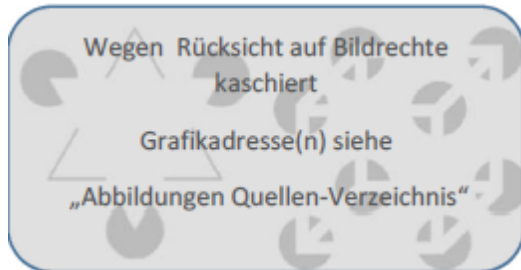


Abbildung 5 a) Kaniza Dreieck, b) Necker Würfel

„Beim Kanizsa-Dreieck (benannt nach Gaetano Kanizsa)...glaubt der Betrachter, ein weißes Dreieck zu entdecken, obwohl das Bild nur Linien und Kreissegmente zeigt. Die gedachten Linien sind in der Literatur auch als "kognitive Konturen" (cognitive contours) bekannt geworden.“

„Im nächsten Beispiel sieht der Betrachter einen Würfel. Die Kanten, die auf dem Bild gar nicht vorhanden sind, werden bei der Bildverarbeitung im Gehirn ergänzt.“ (beide: <http://www.optik-reisdorff.com/taeuschungen/taeuschung4> 16.11.2018)

Wenn man nun Phänomene wie den Necker - Würfel nicht als optische Täuschung betrachtet, sondern als spezifisches Produkt der Verarbeitungsregeln unseres visuellen Systems und der damit verbunden neurokognitiven Prozesse, dann führt das nicht nur zu top-down Prozessen der Wahrnehmung, sondern tangiert auch darauf gerichtete Fragen und Konsequenzen, mit denen sich Poincaré umfangreich beschäftigt hat.

Poincaré hat das in einer Art gemacht, die nicht nur seinem zeitgenössischen Horizont der Forschung entspricht, sondern auch mit aktuellen Ergebnissen frappierend kompatibel ist. Und zwar in einem so hohen Ausmaß, dass wiederholt der Eindruck entsteht, diese Wissenschaften seien teilweise stark von Poincaré beeinflusst; speziell von seiner erkenntnistheoretischen Haltung.

Dieser Eindruck erhält dadurch Auftrieb, dass Poincaré sogar in einschlägigen Werken über Fragen der Wahrnehmung und der Entstehung von Bewusstsein<sup>54</sup> ausdrücklich genannt wird.

Das am Beispiel der Linie angeschnittene Problem kann man im zeitlichen Milieu Poincarés auch mit Paul Cézanne weiter führen. Cézanne hat gezeigt, wie Fragmente von Linien vom Betrachter genutzt werden, Farbflächen als eindrucksvolle Körper zu erleben. Damit gelangt man unmittelbar zu prinzipiellen Fragen der Darstellung und Vorstellung von Raum, die mit einem Paradigmenwechsel von der seit der Renaissance gültigen Zentralperspektive zur Formen des analytischen Kubismus manifest wird.<sup>55</sup>

Vorstellungsvermögen das Bild wesentlich mitgestaltet. Das gilt besonders auch für räumlich plastische Eindrücke. (cf. Abb. Mellan)

<sup>53</sup> Cf. Subjektive Konturen bzw. illusory contours

<sup>54</sup> Z.B. Christoph Koch, 2013

<sup>55</sup> An andere Stelle wird darauf hingewiesen, dass gerade im Umfeld des Kubismus dieses Abwenden von der Zentralperspektive auch mit dem Diskurs über die 4. Dimension zusammenhängt. (Cf. Duchamp)

Andererseits trifft man auch auf den Einfluss, welchen nach Angela Breidbach Helmholtz' *Optique Physiologique* auf Cézanne ausgeübt hat.<sup>56</sup> Auch damit steht man ante portas von Erkenntnistheorie und Poincaré.

Im Hintergrund schwingt auch die Frage nach den zu Grunde liegenden Potentialen visuellen Vorstellungsvermögens sowie zum Gestalten und immersiven Wahrnehmen von Bildern mit. Dies würde in eine stark auf neurokognitive Prozesse ausgerichtete Medientheorie münden, die hier aber nicht weiter verfolgt wird, obwohl festzuhalten ist, dass es starke Indizien für eine enge Verbindung zur Raumwahrnehmung und den daran beteiligten Strukturen gibt.<sup>57</sup>

Kandel spricht dieses Thema ausdrücklich an und bringt dabei mit Berufung auf den Wahrnehmungsforscher Patrick Cavanagh den Ausdruck „vereinfachte Physik“ ins Spiel.<sup>58</sup>

„Solche Zeichnungen täuschen drei Dimensionen vor, weil sie im Gehirn der Betrachter Höhe, Breite und Gestalt der betreffenden Objekte oder Personen umreißen...In einem weiteren Sinn ist die Fähigkeit unseres Sehsystems, Konturen in einer Zeichnung als Ränder zu interpretieren, nur ein einziges Beispiel für unser Vermögen, auf einer zweidimensionalen Fläche eine dreidimensionale Figur zu sehen...Cavanagh bezeichnet die technischen Hilfsmittel, mit denen die Künstler diese Illusionen schaffen, als vereinfachte Physik. Diese Hilfsmittel ermöglichen es dem Gehirn, ein zweidimensionales Kunstwerk als dreidimensionales Abbild zu interpretieren,... Weil wir sie<sup>(59)</sup> nicht bemerken, offenbaren sie, dass unser Sehsystem eine einfachere, reduzierte Physik anwendet, um die Welt zu begreifen.“ (Kandel, 2012, S. 324 f.)

Hinsichtlich der Geometrie stellt Poincaré in ihrer Tendenz ähnliche Fragen nach deren Fundamenten und verfolgt diese nicht nur auf Ebene seiner Fachwissenschaften, sondern eben auch im Bereich der Wahrnehmung und der damit verbundenen neurophysiologischen Strukturen und kognitiven Prozesse.

Ein zentrales und erkenntnistheoretisch durchaus brisantes Problem bildet bei Fragen dieser Art auch der Weg, wie man der evolutionären Genese unserer Raumwahrnehmung auf den Grund geht, ohne deren Dreidimensionalität als ein Apriori zu etablieren, das auch das Potential zur Bildung abstrakter geometrischer Konzepte determiniert und tendenziell sogar noch „den Raum“ oder „die externe Realität“ als für sich so bestehende dreidimensionale Entitäten definiert.

### 2.3.2 Immersive Linien konterkarieren geometriergemäße Definition von Kanten

Hier wird zunächst ohne weitere Erläuterung vorausgesetzt, dass Linien, Konturen, Kanten und starke Helligkeitskontraste gestaltende Elemente unserer Wahrnehmung sind, die durch ein gemeinsames Milieu evolutionärer Genese verbunden sind. Dieser Zusammenhang wird in vielen Abschnitten dieser Arbeit angesprochen.

Etwas abseits des Aspekts von Konturen ist der Kupferstich von Mellan (1694) ein markantes Indiz für das immersive Potential von Linien. Neben den starken physiognomisch

---

<sup>56</sup> Mit diesem autobiografisch orientierten Exkurs soll nur in Form eines kunstgeschichtlichen Umwegs über Cézanne mein Zugang zu einer konstruktivistisch hypothetischen Haltung und meiner Art des Assoziierens illustriert werden. Dieser persönliche Hintergrund wird in der vorliegenden Arbeit auch durch die Neigung zu eher beschreibenden statt definierenden Formulierungen und den Gebrauch von Metaphern sichtbar. Ebenso durch die eher umfangreiche Integration von Illustrationen, bei denen es nicht nur um wissenschaftliche Schautafeln, sondern auch um Beispiele aus der Kunstgeschichte geht, die als Anlass bzw. Ausgangspunkte und Wegweisende Begleiter dienen und eine Reihe von Überlegungen leichter nachvollziehbar machen sollen.

<sup>57</sup> Zur engen Verbindung von visuellen Medien und Wahrnehmungstheorie siehe: Stereoskop als Fenster zum Bewusstsein.

<sup>58</sup> Cf. Glossar > viabler Realismus

<sup>59</sup> Zu ergänzen ist: Verstöße gegen die Standardphysik, wie z.B. unmögliche Schatten und Konturen

ikonografischen Konnotationen provoziert eine von der Nasenspitze aus ohne Unterbrechung spiralförmig fortlaufende Linie auch einen spontan überzeugenden räumlichen Eindruck, also jenes Phänomen, das als Indiz für konstruktive Leistungen unserer Wahrnehmung hier im Vordergrund der Betrachtungen steht.

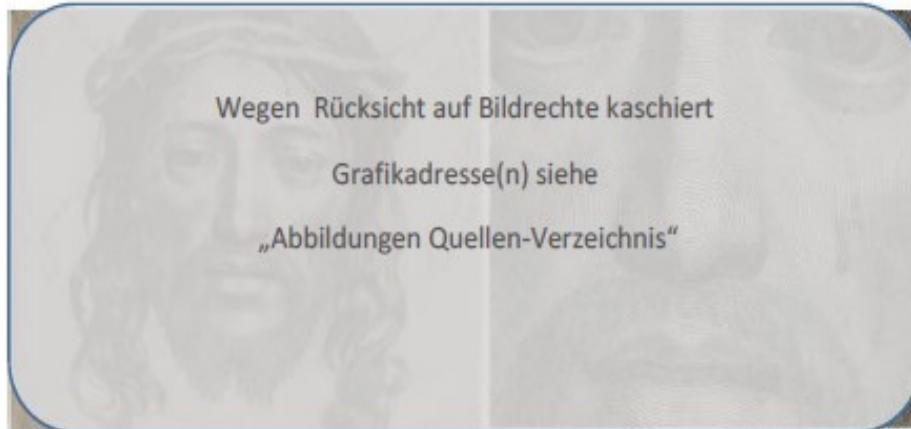


Abbildung 6 Claude Mellan 1598 – 1688, *The veil of Saint Veronica* (1649), Copper engraving

Dieses Beispiel der räumlichen Wirkung einer Linie verweist einerseits auf den gestaltenden Einfluss des Betrachters sowie die top-down wirksamen neurokognitiven Strukturen der Wahrnehmung zur Anreicherung des Perzepts. Andererseits wird wegen der starken konnotativen Effekte auch ein Problem erkennbar, sichtbare Linien friktionsfrei in geometrische Definitionen einzubinden. Beide Aspekte betreffen Poincarés Auseinandersetzung mit der Relation von Wahrnehmung und Geometrie.

### 2.3.3 Dimensionsproblem der sichtbaren Linie

So sehr immersive Effekte und konnotative Potentiale von Linien in vielen Bereichen bildender Kunst genutzt und gezielt eingesetzt werden, so sehr kann dies im Bereich der Geometrie auch zum Problem werden.

Mathematik und Darstellende Geometrie verwenden zur Visualisierung unterschiedlich dicke und auch strichlierte oder gepunktete Linien<sup>60</sup>, deren jeweilige Bedeutung vereinbart wird. Das ist nicht schwierig und erfordert nur eine Konvention gemäß klarer Regeln.

Grundsätzlich sind in Mathematik und Geometrie Linien als eindimensional definiert. Daher erscheint es als notwendig, dass eine Linie in diesem Kontext keine andere Bedeutung oder immersive Wirkung haben sollte. undefinierte implizite Konnotationen könnten die Konsistenz eines axiomatischen Systems stören. Damit stellt sich aber die Frage, ob es bei einem so stark in den konstruktiven Prozessen unserer Wahrnehmung verankerten Element möglich ist, alle nicht definitionsgemäßen Konnotationen zu abstrahieren. Oder ob sich unbemerkt zusätzliche assoziative Aspekte aus dem visuellen Bereich in die geometrischen Schlüsse einschleichen, die allenfalls die Resultate beeinträchtigen.

Will man das hier hochgespielte Problem auf einen sehr trivial erscheinenden Bereich herunterbrechen, dann kann man die Frage stellen, ob und wie stark Visualisationen und erst recht geometrische Baukästen dazu führen können, dass Eckpunkte oder Kanten

<sup>60</sup> Die schon in spontaner Wahrnehmung erfolgende kollineare Zusammenfassung von Punkten entspricht bereits einem mit Poincaré kompatiblen präexistierenden Potential zu Bildung von Gruppen. Cf. Neuronale Bindung

geometrischer Körper durch den haptischen Zugang nicht als definitionsgemäße Punkte oder Linien, sondern definitionswidrig als dreidimensionale Entitäten in unserer Vorstellung verankert werden.

#### 2.3.4 Samuel: Poincarés pictorial epistemology

Fast paradoxerweise ergibt sich im Gegenzug die Frage, ob nicht trotz dieses Risikos ein gewisses Ausmaß visueller Assoziationen auch für weitgehend abstraktes Denken hilfreich oder sogar notwendig ist.

Gemäß Nina Samuels Titel "Henri Poincaré and the Chaotic Whirlwind of Knowledge: on Performance of Mathematical Thinking" betrifft diese Frage auch Poincaré, wenn Samuel schreibt: "Poincaré's philosophical writings contain elements of a pictorial epistemology..." (Samuel, 2012, S. 59).

Ein Blatt aus einem Notizbuch belegt, dass Poincaré seine Ideen auch mit Hilfe von Skizzen entwickelt hat.

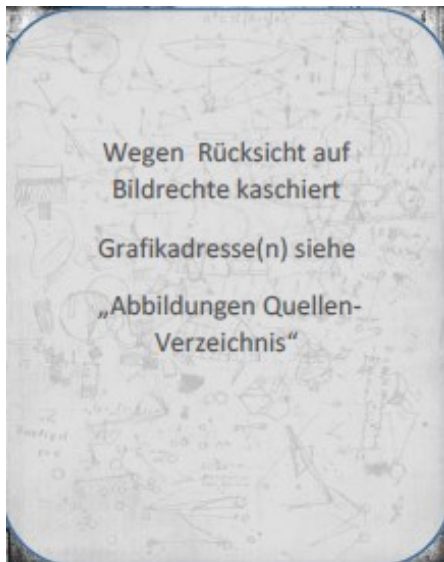


Abbildung 7 Poincaré: Doodles (Scott, 1996)

#### 2.3.5 Linien- ein unnötig hochgespieltes Scheinproblem?

Die umfangreiche Auseinandersetzung wird damit begründet, dass Linien ein sehr tragfähiges Beispiel für eine elementare Warnung Poincarés vor unbewussten Vorannahmen darstellen, weil Linien samt ihren vielfältigen Konnotationen tief in unserer Wahrnehmung und deren neurokognitiven Korrelaten verankert sind. Schon auf unbewusster Ebene beeinflussen sie mit einer stark konstruierenden Eigendynamik modellierend die Wahrnehmung, besonders auch die dreidimensionale Erscheinung fester Körper.

Im Rahmen eines absichtlich sehr weit gedehnten Horizonts geht es um die in dieser Arbeit propagierte Hypothese, dass Linien auf phänomenaler Ebene ein top-down generiertes Konstrukt einer lichtgetriebenen Enzephalisation der Wahrnehmung repräsentieren, und dass diese Enzephalisation andererseits auch ein Faktor der Evolution von neurokognitiven Potentialen für abstrahierendes Denken ist.

Dazu kommt, dass die als mehr oder weniger breiter zweidimensionaler Streifen wahrnehmbare Linie mit dem Phänomen Mach'scher Streifen ebenso genuin verbunden ist wie mit Hell-Dunkel Kontrasten auf Grund von Schatten, die scharfkantige Tiefensprünge im

Ambiente signalisieren.<sup>61</sup> Damit hat die evolutionäre Genese unseres Potentials zur Wahrnehmung von Linien auch eine starke räumliche Komponente, die auch zu ihrer Rolle bei der formbestimmenden Wahrnehmung von festen opaken Körpern passt.<sup>62</sup>

Diese komplexen Zusammenhänge werden hier als Legitimation dafür geltend gemacht, das Verhältnis von wahrnehmbaren und geometrisch definierten Linien gemäß Poincaré hinsichtlich divergierender impliziter Konnotationen zu hinterfragen. Die Motivation, ja sogar Notwendigkeit dafür bezieht sich auf den an anderer Stelle noch ausführlicher besprochenen Satz Poincarés: „Es sind unbewußte vorgefaßte Meinungen, die tausendmal gefährlicher als die anderen sind.“ (Poincaré, 1906. S. 145)<sup>63</sup>

Sollte sich die durchaus verständliche Frage aufdrängen, was denn ein so weitläufiges „Herumstochern“ ausgerechnet mit Poincaré zu tun hat, dann möge ein weiteres Zitat als legitimierendes Indiz dienen.

Wie folgende Passage belegt, ist eine Auseinandersetzung mit der Spannweite des Komplexes „Linie“ von der Ebene unseres abstrakten Assoziationsvermögens bis zu dessen evolutionären Grundlagen mit Überlegungen Poincarés kompatibel, wenn es in im Abschnitt „II Buch. Die mathematische Schlußweise“ heißt:

„Dieses komplexe System von Assoziationen, dieses Bild ihrer Verteilungsart macht sozusagen unsere ganze Geometrie aus, oder, wenn man so sagen will, umfaßt alles, was unserer Geometrie instinktiv zugrunde liegt. Was wir unsere Anschauung von der geraden Linie und von der Entfernung nennen, ist der Begriff, den wir von diesen Assoziationen und von ihrem zwingenden Charakter haben. Woher dieser zwingende Charakter stammt, ist leicht zu erklären. Eine Assoziation erscheint uns um so unzerstörbarer, je älter sie ist. Diese Assoziationen sind zum großen Teil keine Erwerbungen des Individuums, denn man merkt ihre Spur schon bei dem Kinde, das eben das Licht der Welt erblickt: es sind Erwerbungen, die der Rasse zu eigen werden. Die natürliche Zuchtwahl mußte diese Erwerbungen um so schneller herbeiführen, je notwendiger sie sind.“ (Poincaré, 1914, S. 90)

## 2.4 ENTRÉE RAUM – GEOMETRIE

### 2.4.1 Unterschiedliche Konzepte zur Fundamentierung von Geometrie: Poincarés Integration der Wahrnehmung vs. Hilberts puristische Axiomatik

Die Unterscheidung einer wahrnehmungsbezogenen Auffassung von Linie mit einem gewissen Ausmaß an irreduziblen, nicht definitionsgemäßen Konnotationen einerseits und einer strikt formal definierten Auffassung andererseits betrifft auch die grundsätzliche Zugangsweise zu den Fundamenten von Geometrie. Das wirkt sich auch darauf aus, in welches erkenntnistheoretisches Konzept man Geometrie hinsichtlich ihrer Relation zu externen Realität einbettet.

Die Intensität, mit der Poincaré bei der Untersuchung der Grundlagen der Geometrie auf die Rolle der Wahrnehmung eingeht, ist keineswegs selbstverständlich, auch wenn z.B. Helmholtz und Mach einen ähnlichen Zugang ausgebaut haben. Ein gegenteiliges Beispiel kann mit

---

<sup>61</sup> Cf. Mallot: Tiefensprünge, Binokulare Disparität, Konturen

<sup>62</sup> Cf. Lichtaffines Objekt, Campbell

<sup>63</sup> Aus dieser Perspektive kann man die Überlegung anstellen, dass Poincaré bei seiner weitreichenden Analyse der Raumwahrnehmung deren Dreidimensionalität als eine Art Vorannahme in Betracht gezogen hat, deren Konsequenzen bis hin zu ihrer vermeintlich apriorischen Gültigkeit kritisch zu hinterfragen sind. (Cf. erweiterte Hermeneutik)



Hilberts 1899 erschienenem Werk „Die Grundlagen der Geometrie“ durch ein geradezu banales Indiz aufgezeigt werden:

Im genannten Text Hilberts kommen Ausdrücke wie Wahrnehmung, Empfindung, Sinnesorgan usw. nicht vor und das Wort Auge nur im Kontext der Formulierung „in's Auge fassen“. Es gibt lediglich dreimal eine kurze, jedoch elementare Bezugnahme auf die Anschauung. In einem Zitat Kants, dann bei der Beschreibung der Aufgabenstellung seiner eigenen Arbeit und schließlich mit einer kurzen Anspielung auf eine gewisse Affinität geometrischer Axiome mit unserer Anschauung:

„So fängt den alle menschliche Erkenntnis mit Anschauungen an, geht von da zu Begriffen und endigt mit Ideen. Kant, Kritik der reinen Vernunft, Elementarlehre 2.T. 2.Ab.“ (Hilbert, 1899, Einl.)

Hilbert verlegt den Schwerpunkt auf die Zusammenhänge der Axiome, die er allerdings in Beziehung zur räumlichen Anschauung setzt, aber ohne dieser selbst nachzugehen, wie Poincaré es tut.<sup>64</sup>

Außer der Nennung des Begriffs geht Hilbert im genannten Werk weder auf die Modalitäten und „Grundthatsachen unserer Anschauung“ ein, noch wird deren Genese thematisiert. Anschauung ist, bleibt oder wird damit eine nicht hinterfragte Gegebenheit.

So gesehen erscheint es für den Rahmen der hiesigen Arbeit als ausreichend plausibel, wenn in einem Wikipedia Eintrag Hilberts theoretisches Verhältnis zur Wirklichkeit folgend charakterisiert wird:

„Als ein Vertreter des Formalismus erklärt Hilbert es für irrelevant, was diese Punkte, Geraden und Ebenen mit der Wirklichkeit zu tun haben. Die Bedeutung der Grundbegriffe sei dadurch bestimmt, dass sie die Axiome erfüllen“ ([https://de.wikipedia.org/wiki/Euklidische\\_Geometrie](https://de.wikipedia.org/wiki/Euklidische_Geometrie) 23.10.2018)

Gemäß dieser Einschätzung unterscheidet sich Hilberts methodischer Zugang markant von jenem Poincarés.

In den Anmerkungen zur Poincarés „Der Wert der Wissenschaft“ stellt Heinrich Weber fest:

„Ein anderes Ziel verfolgen die Untersuchungen von Hilbert, die nur darauf ausgehen, die logische Seite der Frage zu klären, ohne Rücksicht auf die physische oder metaphysische Seite der in Frage stehenden Begriffe.“ (H. Weber in Poincaré, 1910, S. 223)

Poincaré forciert einen in diese Richtungen weiter geöffneten Zugang über die vielfältigen Einlassungen zum Komplex der Wahrnehmung, mit denen er die raumbildenden Potentiale des Gesichts-, Tast- und Muskelsinns sowohl im Einzelnen als auch im Zusammenwirken auslotet und die daraus ableitbaren Relationen zu den Grundlagen von Geometrie analysiert. Durch dieses Integrieren der Wahrnehmung wird auch auf dieser Ebenen der erkenntnistheoretische Aspekt der Relation zur externen Realität zum Thema.<sup>65</sup>

---

<sup>64</sup> „Die Aufstellung der Axiome der Geometrie und die Erforschung ihres Zusammenhanges ist eine Aufgabe, die seit Euklid in zahlreichen vortrefflichen Abhandlungen der mathematischen Literatur 1) sich erörtert findet. Die bezeichnete Aufgabe läuft auf die logische Analyse unserer räumlichen Anschauung hinaus.“ (Hilbert, 1899, Einl.)  
 „Die Axiome der Geometrie gliedern sich in fünf Gruppen; jede einzelne dieser Gruppen drückt gewisse zusammengehörige Grundthatsachen unserer Anschauung aus.“ (Hilbert, 1899, S. 4)

<sup>65</sup> Folgt man Webers Hinweis auf einen Aufsatz, in dem Poincaré mit unmittelbarer Ansprache Hilberts kritisch zu einem logischen Formalismus Stellung bezieht, dann wird die hier verfolgte Spannweite des Ansatzes von Poincaré umso markanter:

„Ce que Hilbert avait fait pour la géométrie, d'autres ont voulu faire pour l'arithmétique et pour l'analyse...Admettons même que l'on ait établi que tous les théorèmes peuvent se déduire par des procédés

Neben dem prinzipiellen Recht des Philosophen zum Hinterfragen der Grundlagen<sup>66</sup> und der Validität von abstrakten Konzepten, die nur mittels Axiomen und logischen Schlüssen entworfen wurden, bringt Poincaré auch das Kriterium der Anwendbarkeit ins Spiel.

In der Vorrede zur zweiten deutschen Auflage von „Der Wert der Wissenschaft“ (1910) betont Poincaré nämlich einen weiteren Aspekt, mit dem er den erkenntnistheoretischen Nutzen der Einbindung abstrakter wissenschaftlicher Konzepte in einen handlungsorientierten pragmatischen Wirklichkeitsbezug anspricht:

„Glücklicherweise ist die Wissenschaft zu Anwendungen zu gebrauchen, und das läßt die Skeptischen verstummen...Ich will nicht sagen, dass die Wissenschaft für die Anwendungen gemacht sei; nicht im entferntesten; man muß sie um ihrer selbst willen lieben, aber der Anblick der Anwendung bewahrt uns vor dem Skeptizismus.“ (Poincaré, 1910, S. VI)<sup>67</sup>

#### 2.4.2 Poincarés Zugang zur Genese eines Begriffs von Raum über das lichtaffine Schauspiel der Perspektiven fester Körper

Poincarés Zugang zur Genese eines Begriffs von Raum über das „Schauspiel der Perspektiven“ steht im Spannungsfeld von Kants Apriori einerseits und an der Evolutionstheorie orientierten Erfahrungsmodellen andererseits. Also in einem brisanten und zeitgenössisch heftig diskutiertem Bereich der Bestimmung des Selbstverständnisses sowie der Aussagekraft und der wechselseitigen Relationen von Natur- und Geisteswissenschaften.<sup>68</sup>

Die von Poincaré benutzte Metapher „Schauspiel der Perspektiven“ impliziert nicht nur den schon genannten festen Körper, sondern auch damit notwendig einhergehende Modalitäten der Wahrnehmung, die prinzipiell in der Lage sind, objektbestimmende Formen zu erkennen. Ebenso müssen sowohl Formveränderungen als auch deren bewegungssynchrone Abfolge präzise identifiziert und ihr regelhaft beschreibbarer Verlauf erkannt werden. Dafür ist aus vielfältigen Gründen ein auf Licht gestütztes System besonders prädestiniert, das über Strukturen und Potentiale verfügt, die Formen bestimmen können und somit weit über eine elementare Sensibilität für Strahlungsintensität hinausreicht.

---

purement analytiques, par des simples combinaisons logiques d'un nombre fini d'axiomes, et que ces axiomes ne sont que des conventions. Le philosophe conserverait le droit de rechercher les origines de ces conventions, de voir pourquoi elles ont été jugées préférables aux conventions contraires...Parmi toutes les constructions que l'on peut combiner avec les matériaux fournis par la logique, il faut faire un choix ; le vrai fait ce choix judicieusement parce qu'il est guidé par un sûr instinct, ou par quelque vague conscience de je ne sais quelle géométrie plus profonde, et plus cachée, qui seule fait le prix de l'édifice construit. Chercher l'origine de cet instinct, étudier les lois de cette géométrie profonde qui se sentent et ne s'énoncent pas, ce-serait encore une belle tâche pour les philosophes qui ne veulent pas que la logique soit tout. » (Poincaré, 1905/1906 S.> 5 f.)

Auch wenn Poincaré gleich im Anschluss betont, « Mais ce n'est pas à ce point de vue que je veux me placer... » sind doch seine prinzipiellen Unterschiede zu Hilberts Ansatz durch den weit ins Philosophische und Psychologische ausgedehnten Horizont klar markiert. Die klare Kompatibilität der Aussage mit der genannten Antwort an Russell bestätigt die Einschätzung, dass es um eine sehr grundsätzliche Position Poincarés geht. Das legitimiert diesen Bereich als relevantes Thema der Recherche.

Cf. Brading/Gower: mind-dependent aspect of Poincarés view".

<sup>66</sup> Z.B. „Machen vielleicht diese Ideenverbindungen, wenigstens soweit wir sie von unseren Vorfahren geerbt haben, diese Form a priori aus, von der wir, wie man sagt, die reine Anschauung haben sollen? Dann sehe ich nicht ein, warum man sie als der Analyse widerstrebend ansehen und mir das Recht, ihren Ursprung aufzusuchen, verweigern sollte.“ (Poincaré, 1910, S. 97f.)

<sup>67</sup> Cf. Boltzmann

<sup>68</sup> Cf. Krause, cf. Grundlagenkrise

Für dieses komplexe Leistungsprofil bietet sich als ein effizienter Weg eine Evolution an, die über Flach- Gruben- und Becheraugen bis zum Typus der auch schon ohne Linse zur präzisen Formerkennung tauglichen Camera obscura führt.<sup>69</sup>

So nützlich und notwendig ein detailliertes und optisch präzises Abbild ist, so sehr gewinnt dieses erst durch seine neurokognitive Verarbeitung handlungsrelevante Bedeutung. Dafür ist aber ein mit dem unmittelbaren Sinnesorgan kompatibles neuronales System mindestens ebenso nützlich wie auch notwendig, das über Potentiale zum Erkennen zusammengehöriger bzw. assoziierbarer Formelemente verfügt sowie über eine Art Gedächtnis, das beständige Gruppen von Stimuli durch identifizierbare Formen (und andere Objektmerkmale) mit Erfahrungen verknüpfen bzw. als solche etablieren kann.

Es geht also nicht nur um optisch abbildungstaugliche Organe, sondern um mindestens ebenso wesentliche neurophysiologische Strukturen und Prozesse der Reizverarbeitung bis hin zur Enzephalisation der Wahrnehmung. Diese Enzephalisation hat essentielle Relevanz für die Genese des Phänomens räumlicher Anschauung sowie für die Bildung elementarerer räumlicher Konzepte.<sup>70</sup> Diese Enzephalisation bildet schließlich auch die physiologische Grundlage der Möglichkeit einer Emergenz von Bewusstsein und der Idee bzw. des reflektierten Begriffs von Raum.<sup>71</sup>

Die starke Rolle der Auswertung externer Stimuli hinsichtlich eines gesetzmäßigen Ablaufs in Relation zur Eigenbewegung des Beobachters wird von Poincaré besonders betont, wobei in der vorliegenden Arbeit versucht wird, z.B. dieses „Studium der Gesetze“ nicht nur als Analyse auf bewusster rationaler Ebene zu verankern, sondern im Anklang an Helmholtz' „unbewußte Schlüsse“ auch das damit kompatibel erscheinende Modell jener unbewussten „ratiomorphen Prozesse“ in Betracht zu ziehen, wie sie Konrad Lorenz (1975, S. 163) ins Spiel bringt.

„Keine unserer Empfindungen würde für sich allein uns zur Idee des Raumes führen können; wir sind zu derselben nur durch das Studium der Gesetze gekommen, nach welchen diese Empfindungen aufeinander folgen.“ (Poincaré, 1906, S. 59)

Gerade weil Poincaré keinem der Sinne ein schon a priori für sich bestehendes Potential der Räumlichkeit zugesteht,<sup>72</sup> gewinnen folgende Statements besondere Tragweite:

„Der Gesichts-Sinn, selbst mit einem Auge, verbunden mit Muskel- Empfindungen, die sich auf die Bewegung des Augapfels beziehen, würde genügen, um den dreidimensionalen Raum kennen zu lernen.“ (Poincaré, 1906, S. 70)

„Wir verstehen somit, wie der Begriff eines dreidimensionalen Raumes aus dem Schauspiel dieser Perspektiven entstehen konnte, wengleich jede von ihnen nur zwei Dimensionen hat; denn sie folgen aufeinander nach gewissen Gesetzen.“ (Poincaré, 1906, S. 71)

Auch das notwendige Aufbrechen spontaner Reiz-Reaktions- Muster ist an eine adäquate Enzephalisation der Wahrnehmung gekoppelt, die mit zunehmend komplexen neurophysiologischen Strukturen Potentiale für unbewusste ratiomorphe Prozesse oder auch bewusstes schlussfolgerndes Analysieren von Sinnesdaten und somit qualifiziertes zeitversetztes Handeln ermöglicht.

---

<sup>69</sup> Hier wird evolutionären Prozessen keine Teleologie oder ein Intelligent Design unterstellt!

<sup>70</sup> Cf. Core Knowledge

<sup>71</sup> Nach meiner Einschätzung gibt es durchaus Anzeichen dafür, dass die Entstehung von Bewusstsein und jene von phänomenaler Dreidimensionalität als einander forcierende evolutionäre Faktoren verbunden sind. (Siehe: Koch " Die Spuren des Bewusstseins führen in den inferotemporalen Cortex.....)

<sup>72</sup> Poincaré, 1906, S. 61 „...den Raum nicht geben könnten“

Dieses Milieu der Interaktionen von sinnlichen Eindrücken und kognitiven Potentialen zur Gruppierung dieser Eindrücke sowie zum Erkennen dabei beobachtbarer Gesetzmäßigkeiten bildet den Ausgangspunkt und einen großen Teil des Betrachtungsfeldes der hier vorliegenden Arbeit und tangiert auch die Interpretation eines Apriori aus evolutionärer Perspektive.

#### 2.4.3 Auch Hölder forciert Zugang via Thatsachen der Wahrnehmung und Kenntnis des Baus unserer Sinnessorgane

Zur historischen und sachlichen Charakterisierung der von Poincaré auf diese Art verfolgten Argumentation bieten Otto Hölders im Jahr 1900 publizierte Überlegungen aus seiner Antrittsvorlesung über „Anschauung und Denken in der Geometrie“ erhellende Hinweise.

Hölder sieht zwei Optionen, das Verhältnis der Anschauung zur Geometrie zu analysieren, die mit dem Zugang über die Analyse des Baus der Organe und der Prozesse der Wahrnehmung sowie mit dem Appell an die Hand in Hand gehenden intellektuellen Komponenten Poincaré sehr nahe stehen:

Nämlich einerseits die Option, über die Geschichte der Geometrie und den Versuch der Rekonstruktion zu verfolgen „...wie die Grundbegriffe dieser Wissenschaft sich beim Menschengeschlecht entwickelt haben,... Doch ist diese älteste Entwicklung der Geometrie zu sehr in Dunkel gehüllt, als dass wir aus ihr ganz sichere Schlüsse ziehen könnten.“ (Hölder, 1900, S. 7)

Andererseits verweist Hölder auf die Zugangsmöglichkeiten durch Analyse des Komplexes der Wahrnehmung; sowohl auf Ebene der Phänomene als auch hinsichtlich der physiologischen Strukturen:

„Da wir auch die Entwicklung der Raumschauung bei einem einzelnen Menschen kaum werden beobachten können, so bleibt als einziger Weg, das Wesen der Anschauung weiter zu ergründen, eine Analyse der einfachsten Thatsachen der Wahrnehmung übrig, die unter Umständen durch die Kenntnis des Baus unserer Sinnessorgane unterstützt wird.“ (Hölder, 1900, S. 7)

#### 2.4.4 Francesca Biagioli bringt Konzept eines “relativized a priori” ins Spiel

Auch wenn hier die Relation der Ansätze von Hölder und Poincaré nicht explizit verfolgt wird, sind wertvolle Hinweise von Francesca Biagioli mit in Betracht zu ziehen, welche nicht nur die wahrnehmungsbezogenen Aspekte des jeweiligen Zugangs von Helmholtz und Poincaré nuanciert darstellt, sondern dabei mit Hölder auch das interessante Konzept eines “relativized a priori” ins Spiel bringt.<sup>73</sup>

Der Begriff (das Stichwort) eines in ein Milieu mit hypothetischen Komponenten eingebetteten “relativized a priori” könnte in Anwendung auf das Konzept dieser Arbeit einen Ausweg bzw. ein Modell für das tendenzielle Dilemma bilden, einerseits die

<sup>73</sup> “Hölder emphasizes that the recognition of some facts presupposes both observation and reasoning. He therefore rejects the view that empirical laws can be generalized by induction. He writes: On the contrary, it seems to me that the intellectual activity that from the beginning goes hand in hand with experience, when we build concepts of experience, is a preliminary activity that should not be assigned neither to deduction nor to induction. [Hölder 1900, 6, note 16, Eng. trans. 31]” (Biagioli, 2013, S. 76)

“The core of Hölder’s geometrical empiricism is the claim that geometric concepts do not differ from empirical concepts such as those of mechanics and optics. All of these concepts are supposed to be related to the empirical manifold in a twofold way: they can be said to be derived from experience, and yet, once they have been defined, they make our understanding of experiences possible. Therefore general laws such as geometrical axioms have to be postulated. More precisely, our requirement is that such laws are valid with regard to the empirical manifold. On the one hand, geometrical axioms are exact statements and enable deductive inferences; on the other, their validity with regard to experience is but hypothetical. I think that Hölder recognizes a relativized a priori in the following consideration about the concept of space:” (Biagioli, 2013, S. 77)

Dreidimensionalität unserer Wahrnehmung als gegebene Disposition in gewissem Ausmaß gelten zu lassen, ohne sie andererseits als prinzipielles Apriori so zu etablieren, dass auch das kognitive Potential zum Entwickeln darüber hinausgehender abstrakter Konzepte fundamental limitiert wird. Eine derartige Interpretation erscheint mir auch als gut kompatibel mit Hölders Aussage, über „the intellectual activity that from the beginning goes hand in hand with experience“.<sup>74</sup>

Wenn man hier Erfahrung über den Fokus auf Sinneswahrnehmung interpretiert und gleichzeitig durch Betonung der Enzephalisation der Wahrnehmung dem kognitiven System weit über die unmittelbare Verarbeitung der Sinneseindrücke hinausreichende Potentiale zugesteht, dann erscheint mir ein relativiertes Apriori ein dafür tragfähiges Konzept abzugeben; oder zumindest einen affirmativen Impuls.

#### 2.4.5 Mach: Thema Raum tangiert viele Disziplinen

Folgende Passage aus Ernst Machs zuerst 1905 publiziertem Werk „Erkenntnis und Irrtum“ kann die Komplexität des Spannungsfeldes eines prinzipiellen Apriori gegenüber einer Rolle der Erfahrung bei der Genese von Raum (vgl. Krause: Kant -Helmholtz) abrundend illustrieren und zugleich aufzeigen, welche prominente Rolle Mach dabei der „physiologischen Konstitution“, und somit einer aus evolutionärer Perspektive analysierbaren Komponente, zuweist.

„Erkenntnistheoretische Fragen über Raum und Geometrie gehen also den Physiologen und Psychologen, den Physiker, Mathematiker, den Philosophen und Logiker an,...“ (Mach, 1917, Textteil 389, Pkt.1)<sup>75</sup>

Machs Aufzählung der in Betracht zu ziehenden Fachwissenschaften soll hier auch als Legitimation dafür dienen, dass im Zuge der vorliegenden Arbeit Ergebnisse und Indizien aus so unterschiedlichen Forschungsbereichen einschließlich der Kunstwissenschaften geltend gemacht werden.<sup>76</sup>

### 3 KOMPARTIMENT Objekterscheinung als hinterfragenswertes Konstrukt des Betrachters

Mediengemäß werden auch in Fachpublikationen Phänomene der Raumwahrnehmung mittels zweidimensionaler Bilder illustriert und dabei der Dimensionswechsel sowie die sich daraus ergebenden Unterschiede des Betrachtens mehr oder weniger als nicht extra erwähnenswerte Begleitumstände ignoriert.

Gaspard Monge und seine Nachfolger haben mit der *Géométrie descriptive* in ausgeklügelten Konzepten dargestellt, welchen Aufwandes es bedarf, um das räumliche Informationsdefizit

---

<sup>74</sup> Das wird hier so interpretiert, dass nicht nur die gezielte Beobachtung, sondern schon die spontane Wahrnehmung in vielfältiger Form theoriebeladen ist!

<sup>75</sup> „Raum und Geometrie vom Standpunkt der Naturforschung.526 [389] 1. Die Raumschauung des Menschen wurzelt in dessen physiologischer Konstitution. Die geometrischen Begriffe entwickeln sich durch Idealisierung physikalischer Raumerfahrungen. Das geometrische System endlich wird durch die logische Ordnung des gewonnenen begrifflichen Stoffes geschaffen. Alle drei Momente haben in der heutigen Geometrie deutlich ihre Spuren ausgeprägt. Erkenntnistheoretische Fragen über Raum und Geometrie gehen also den Physiologen und Psychologen, den Physiker, Mathematiker, den Philosophen und Logiker an, und können nur durch Beachtung der sehr verschiedenen sich hier anbietenden Gesichtspunkte allmählich ihrer Lösung zugeführt werden.“ (Mach, 1917, Textteil 389, Pkt.1)

<sup>76</sup> Auch Poincarés Ansatz bezieht die Sinnesphysiologie mit ein, jedoch ohne sich so stark daran zu binden, wie dies bei Mach zum Ausdruck kommt.

zweidimensionaler Abbildungen zu kompensieren. Nur mittels spezifischer Konstruktionen unter Berücksichtigung unterschiedlicher Blickwinkel bzw. Projektionsebenen können die für eine präzise Planung von Handlungen notwendigen Objektrelationen ablesbar gemacht werden.

Trotzdem können auch monoperspektive Abbildungen von Gegenständen beim Betrachter den spontanen Eindruck erwecken, über die räumlichen Gegebenheiten eines Gegenstandes oder einer Szenerie ausreichend informiert zu sein.<sup>77</sup>

Dieser de facto trügerische Eindruck ist ein signifikantes Merkmal unserer visuokognitiven Potentiale und hat in der räumlichen Ambivalenz des zweidimensionalen Bildes der Netzhaut eine genuine Ursache. Daher ist es im Sinne einer von Poincaré vorangetriebenen Suche nach den Grundlagen angebracht, auch diesem Phänomen im Bereich der zweidimensionalen Bilder von Gegenständen und Szenerien nachzugehen und deren vertraute Überzeugungskraft zu hinterfragen bzw. deren Ursachen ausfindig zu machen.

Auf dieser Basis werden Beispiele aus der Kunstgeschichte nicht nur prinzipiell zu einem Teil des themengemäßen Untersuchungsbereichs. Dieser Zugang, der auch so genannte optische Täuschungen betrifft, hat auch noch den unmittelbar sachgemäßen Vorteil, dass rezeptionsästhetisch orientierte Bildanalysen tiefe Einblicke in die visuokognitiven Potentiale ermöglichen. Eric Kandel (2012) zeigt z.B. mit Referenz auf Hubel, Wiesel, Zeki sowie Gombrich und andere, wie stark Konturen und Schatten als Gestaltungsmittel wirken, weil diese tief in unserer gestaltenden Wahrnehmung und ihren neurophysiologischen Strukturen verankert sind.

Darüber hinaus sollen in diesem Abschnitt Indizien für die im Zuge dieser Arbeit propagierte Hypothese aufgezeigt werden, dass Schatten, Kanten und Konturen evolutionär genuin verbundene Komponenten der Raumwahrnehmung bilden, die auch eng mit der Enzephalisation und folglich mit komplexen kognitiven Potentialen verbunden sind, welche auch bei bewusstem Denken eine fundamentale Rolle spielen.

Es geht also u.a. um das Hinterfragen der selbst in zweidimensionalen (linearen) Darstellungen selbstverständlich wirkenden Wahrnehmung von Objekten mit dem in späteren Kapiteln umfangreicher argumentierten Ziel/Ergebnis, auch die dreidimensionalen Objekte als systemspezifische Konstrukte gemäß visuokognitiven Verarbeitungsregeln (cf. Cassirer) und als pragmatic devices (Ladyman) zur (bequemen) Interaktion mit der externen Realität zu interpretieren (konstituieren).

### 3.1 Bemerkenswerte Relationen des visuellen Systems zu festen Körpern

Ein Fokus dieser Arbeit ist aus mehreren Gründen auf das visuelle System und einen damit verbundenen Begriff von Objekt gerichtet. Das entspricht einerseits der starken Präsenz in den Überlegungen Poincarés, andererseits hat es mit einer dazu kompatiblen Affinität mit Geometrie zu tun. Ein auf Licht basierendes System ist besonders gut dafür geeignet, als Fernsinn das von Poincaré angesprochene projektive Schauspiel der Perspektiven eines Objekts ausreichend formpräzis und de facto synchron in eine effiziente Koordination der Handlungen zu integrieren. Trotz teilweise extrem hoher Sensibilität haben andere Sinnesmodalitäten, die auf Wärmestrahlung (Schlangen) oder Schall (Fledermäuse) ausgerichtet sind, neben manchen Vorteilen auch gewisse Nachteile, die zum Teil schon bei

---

<sup>77</sup> Der gemäß Indizien durchaus sachgemäße Aspekt, wie stark dieser Effekt auch von kulturspezifisch tradierten Erfahrungen überlagert wird, wurde hier nicht untersucht. Hier wird jedenfalls auch von einer starken evolutionären Komponente ausgegangen.

der Lokalisation, vor allem aber bei der Formbestimmung von Objekten schlagend werden. Das gilt umso mehr für den Geruchssinn, weil dabei das Konzentrationsgefälle und die Wege entsprechender Duftstoffe durch die Strömungsverhältnisse von Wasser oder Luft sowohl räumlich als auch zeitlich stark beeinflusst werden, während sich Licht im Normalfall geradlinig ausbreitet. Ein visueller Fernsinn ist also trotz aller Probleme bevorzugt dafür tauglich, feste Körper und deren haptische Qualitäten schon auf erhebliche Distanz so zu erkennen, dass nicht nur eine präzise Lokalisation, sondern auch eine Antizipation der aus der Form ablesbaren Manipulationsoptionen, also qualifizierte Handlungsplanung, darauf gründen kann.

Der Fokus auf Licht ist darüber hinaus auch durch die hier vertretene Hypothese motiviert, dass die geringe Strahlungstoleranz von Proteinen sowie besonders der DNA einerseits und der mögliche Energiegewinn andererseits bedeutsame Faktoren der Evolution einer Sensibilität für Strahlung und der Ausbildung eines visuellen Systems darstellen. Davon ausgehend ergibt sich auch ein Zusammenhang mit Motilität (cf. Phototaxis). Es wird angenommen und soll weiterhin detaillierter gezeigt werden, dass die projektiven Eigenschaften von Licht und die Eigenbewegung, also zwei essentielle Faktoren in Poincarés Fundamenten der Geometrie, ein evolutionär bis zu den Einzellern zurückverfolgbares, genuin kompatibles Paar bilden.

Eine lichtbasierte Wahrnehmung macht außerdem opake Objekte zum bevorzugten Medium für eine interaktionstaugliche Strukturierung des Ambientes, weil bei opaken Gegenständen prägnante Schatten und Helligkeitskontraste die rasche Ablösung vom Hintergrund und eine präzise Formbestimmung unterstützen.<sup>78</sup> Außerdem ist Opazität auch Indikator für mechanische Festigkeit und hat damit relevante Aussagekraft für die Antizipation von Greifbewegungen.<sup>79</sup> Diese Aspekte sind nicht nur für Raumwahrnehmung und die Entwicklung kognitiver Potentiale für komplexe Raumvorstellung relevant, sondern spielen auch in Poincarés Modell der Kompensation und als „corps solides“ eine essentielle Rolle bezüglich der Fundamente von Geometrie.

### 3.2 Von den Seltsamkeiten wahrgenommener Objekte zu den Grundlagen und Verarbeitungsregeln der visuellen Wahrnehmung

Das Einbeziehen kunstgeschichtlicher Aspekte soll die multidisziplinäre Relevanz der von Poincaré am Beispiel der Geometrie angestellten Überlegungen aufzuzeigen

Als entscheidende Klammer zwischen Geometrie, Malerei bzw. Grafik und Poincarés Erkenntnistheorie wird hier die genuine Verbundenheit mit der visuellen Wahrnehmung geltend gemacht, die gerade am Umgang unseres visuellen Systems beim Anblick zweidimensionaler Bilder gut studiert werden kann.<sup>80</sup>

Das zugrunde liegende Prinzip, gemäß den emergenten Potentialen infolge einer Enzephalisation der Wahrnehmung durch komplexe top-down angereicherte Verarbeitung aus dem zweidimensionalen Bild der Netzhaut durch unbewusstes hypothetisches Hochrechnen „mehr herauszuholen“ (bzw. hinein zu interpretieren) als es per se bietet, betrifft auch unmittelbar zweidimensionale Bildmedien; besonders jene, die auf einen räumlichen Eindruck abzielen.

---

<sup>78</sup> Das ist für tagaktive Spezies relevant. Siehe De Sousa: Tagaktiven Affen stärker auf das parvozelluläre System ausgerichtet

<sup>79</sup> Cf. Campbell: Koinzidenz Opazität/mechanische Festigkeit, cf. > Objekt als lichtaffines Konstrukt

<sup>80</sup> Eine daraus abgeleitete Affinität zu Poincarés erkenntnistheoretischem Ansatz dient auch als Legitimation, in dieser Arbeit kunsthistorische Beispiele in Betracht zu ziehen.

In unseren neuronalen Strukturen bzw. Verarbeitungsmustern ist eine Vielzahl von Detektoren mit hoher Sensibilität zum Erkennen geometrieaffiner Indizien verankert, die mit hoher Eigendynamik dazu tendieren, aus minimalen Merkmalen ein homogen erscheinendes räumliches Perzept zu konstruieren. Diese starke Eigendynamik wird u.a. in so genannten optischen Täuschungen sichtbar, die aber gemäß hier verfolgter Hypothese nicht als Defekte, sondern als Indizien eines hohen Leistungsvermögens zum Modellieren und Anreichern des Perzepts mit ergänzender Information in Ansatz gebracht werden.

Die Auseinandersetzung mit der räumlichen Wirkung zweidimensionaler Repräsentationen von „corps solides“ erscheint auch deshalb als themengemäß und sachlich begründet zu sein, weil Poincaré den Umstand des zweidimensionalen Bildes auf der Netzhaut zu einem beachtenswerten Kriterium macht. Außerdem zieht dabei Poincaré selbst die Probleme der Malerei zur Veranschaulichung heran und tut diese mit bemerkenswerter Affinität zu Überlegungen Leonardos, die sogar den erkenntnistheoretischen Aspekt der Rolle des Experiments<sup>81</sup> betreffen:

„Es ist uns ebenso unmöglich, uns die äußere Körperwelt im geometrischen Raum vorzustellen, wie es einem Maler unmöglich ist, die Objekte mit ihren drei Dimensionen auf eine ebene Leinwand zu malen.“ (Poincaré, 1906, S. 58)<sup>82</sup>

„Es ist einem Gemälde, selbst wenn es mit der größten Perfektion hinsichtlich Kontur, Schatten, Licht und Farbe gemalt ist, nicht möglich, mit derselben Relieffwirkung zu erscheinen wie das natürliche Vorbild, es sei denn, dieses werde aus großer Entfernung und nur mit einem Auge betrachtet.“ (Leonardo nach Baxandall, 1987, S. 46)<sup>83</sup>

Malerei und Grafik haben über lange Zeit weitgehend intuitiv Gestaltungsmittel entwickelt, die beim Betrachter spontan räumliche Eindrücke generieren. Es stellt sich heraus, dass diese Gestaltungsmittel, wie z.B. Kontraste und Linien sowie modellierende Schatten in hohem Maße auf diese neuronalen Detektoren bzw. Verarbeitungsmuster unseres visuokognitiven Systems ausgerichtet sind und diese triggern. Wenn man so will, dann entsprechen sie einer durch Versuch und Irrtum intuitiv entwickelten Kompatibilität, die auf ein hohes Auslösepotential für unsere konstruktiven visuokognitiven Verarbeitungsprozesse so optimiert

---

<sup>81</sup> Vgl. dazu auch Leonardos grundsätzliche Überlegungen zu seinem Verständnis von Wissenschaft, die erkenntnistheoretische Affinitäten mit Poincaré andeuten. Bei gleichzeitiger Wertschätzung und fundamentaler Positionierung von Mathematik und Geometrie wird von Leonardo mit dem Betonen der essentiellen Rolle des Experiments für den Realitätsbezug eine mit Poincaré kompatible Skepsis gegenüber einer rein abstrakt logischen Modellbildung zum Ausdruck gebracht.

„Keine menschliche Forschung kann man wahre Wissenschaft heißen, wenn sie ihren Weg nicht durch die mathematische Darstellung und Beweisführung hinnimmt. Sagst du, die Wissenschaften, die vom Anfang bis zum Ende im Geiste bleiben, hätten Wahrheit, so wird dies nicht zugestanden, sondern verneint aus vielen Gründen, und vornehmlich deshalb, weil bei solchem reingeistigen Abhandeln die Erfahrung (oder das Experiment) nicht vorkommt; ohne dies aber gibt es kein Ding mit Sicherheit zu erkennen.“ (Leonardo, 1925, S. 3 Traktat). Cf.: „Das Experiment ist die einzige Quelle der Wahrheit; dieses allein kann uns etwas Neues lehren; dieses allein kann uns Gewissheit geben.“ (Pc , Hypothese. S. 143). Hier erscheint es auch als bemerkenswert, wie sehr Poincaré das Experiment als Quelle des Erkennens von Neuem betont.

<sup>82</sup> Kontext: „Unsere Vorstellungen sind nur die Reproduktion unserer Empfindungen; sie können also nur in denselben Rahmen wie diese eingeordnet werden, d.h. in den Vorstellungsraum... (  siehe Zitat oben). Der Vorstellungsraum ist nur ein Bild des geometrischen Raumes, und zwar durch die Art der Perspektive deformiertes Bild, und wir können uns die Objekte nur vorstellen, indem wir sie den Gesetzen dieser Perspektive anpassen.“ (Poincaré, 1906. S. 58 f.)

<sup>83</sup> Dieses Zitat ist auch deshalb für unser Thema bedeutsam, weil Leonardo bezüglich der Konsequenzen der monokularen Betrachtung ähnlich argumentiert wie Poincaré bezüglich des Problems des visuellen Fernsinns. Cf. Abschnitt projektive Ambivalenz)



ist, dass in der Wahrnehmung bzw. im Bewusstsein Effekte entstehen, die den de facto Bestand des externen Korrelats überschreiten können.

So gesehen kann man gerade auch die Entwicklung des Repertoires bildnerischer Gestaltungsmittel als eine vielfältige Abfolge von Experimenten unter dem erkenntnistheoretisch relevanten Aspekt der „Wahrnehmung als Hypothesenprüfung“ betrachten.

Durch die Auseinandersetzung mit der Bildwirkung auf den Betrachter (Rezeptionsästhetik) und mit dessen mitgestaltendem Einfluss, hat eine psychologisch orientierte Kunstwissenschaft durch teilweise mit Poincaré gleichartig gestellten Fragen auch erheblich zur systematischen Erforschung dieser neuronalen Verarbeitungsmuster beigetragen.

Wenn nun gerade die Analyse bildnerischer Gestaltungsmittel zeigt, welche umfangreiche und unbewusst suggestive Konnotationen z.B. Kontraste und besonders auch Linien provozieren, dann betrifft das jedenfalls auch die ebenfalls mit Linien operierende Geometrie, weil diese in der bildenden Kunst angestrebten unbewusst konnotativen Effekte von den in der Geometrie notwendigerweise geltenden Regeln und Definitionen mehr oder weniger unkontrollierbar abweichen und diese sogar konterkarieren können.

Damit bildet ein entsprechendes Ausloten dieser Aspekte bildender Kunst einen Beitrag zu den von Poincaré ventilierten Aspekten der Wahrnehmung und den damit verbundenen Tendenzen visuokognitiver Potentiale. Zum Beispiel für die über die Wahrnehmung des Ambientes hinaus bis in die Betrachtung von Bildern und unser sprachbezogenes Denken hinein wirksame Präferenz für diskrete Objekte.

Folglich geht es bei der erkenntnistheoretischen Revision der von Poincaré in Betracht gezogenen Fundamente der Geometrie umso mehr auch darum, das „Objekt“ und seine scheinbar objektive Solidität sowie visuelle Überzeugungskraft multiperspektiv zu hinterfragen, um seine vielfältigen konstruktiven Komponenten ausfindig zu machen. Dafür ist in die von Mach als relevant genannte Vielfalt von Disziplinen folglich auch die Kunstbetrachtung einzubinden.

### 3.2.1 Fragwürdige Solidität abgebildeter Körper

Der Ausdruck fragwürdig zielt darauf ab, das wahrnehmbare Objekt als komplexes Konstrukt aus heterogenen Komponenten mit stark subjektiven Anteilen des Betrachters zu etablieren und es im Gegenzug nicht als für sich so bestehende, homogene externe Entität in Ansatz zu bringen.

Die Wahrnehmung von Objekten, welche wir von ihrer Umgebung als plastisch modellierte Einheiten abgrenzen, ist uns so vertraut, dass wir es sogar für selbstverständlich halten, dass wir diese Objekte auch auf prinzipiell zweidimensionalen Bildern bei entsprechender Gestaltung als immersive plastische Illusionen abbilden bzw. wahrnehmen können.

Wahrnehmungsprozesse des Betrachters und deren unbewusst agierende Verarbeitungsregeln leisten mit hoher Eigendynamik einen so erheblichen Beitrag zur plastischen Erscheinung von Objekten, dass es nicht unumgänglich eines dreidimensionalen externen Objekts bedarf, um ein solches auch in einem Bild so immersiv als plastische Erscheinung wahrzunehmen und folglich bei den so genannten trompe l'oeil Beispielen eine Unterscheidung trotz kritischer Betrachtung schwerfällt.

Das hat damit zu tun, dass unser visueller Fernsinn mit umfangreichen unbewussten Konstruktionsleistungen darauf ausgelegt ist, schon auf Basis minimaler Anhaltspunkte Objekte zu erkennen und ihre räumliche Gestalt so hochzurechnen, dass eine Handlungsplanung, die z.B. Greifbewegungen antizipiert, mit ausreichender Wahrscheinlichkeit des Erfolgs möglich ist.<sup>84</sup>

Im Vergleich mit einer wissenschaftlichen Vorgangsweise entspräche das Wahrnehmen somit dem Bilden einer ersten Hypothese auf Basis weniger Indizien, die zu einem Entwurf der für adäquat gehaltenen Greifbewegungen zum Erreichen und Erfassen des Objekts führen. Die Ausführung der Greifbewegung wäre das evaluierende Experiment, bei dem die sinnlichen Rückmeldungen den Handlungsentwurf bestätigen oder korrigierende Modifikation bis zum Verwerfen der „Hypothese“ provozieren können. Dabei geht es um schnelle, unbewusst ablaufende Prozesse und noch nicht um bewusste, reflektierbare Leistungen des visuellen Vorstellungsvermögens.<sup>85</sup>

Das Potential zu so weitreichenden spontanen (räumlichen) Konstruktionsleistungen beruht auch auf ontogenetischen und phylogenetischen „Erfahrungen“, die auf unterschiedlichsten Ebenen in den Prozessabläufen und neurophysiologischen Strukturen visueller Verarbeitung und Handlungssteuerung verankert sind. Letztlich geht es hier auch um die Theoriebeladenheit der Wahrnehmung und insgesamt um einen Komplex, den man als bereits evolutionär „vorgespanntes System“ zum Generieren räumlicher Erscheinung bezeichnen kann. Diesem Aspekt und seinen evolutionären sowie geometrieaffinen Perspektiven versucht ein großer Teil dieser Arbeit nachzugehen.

Diese schon im Bereich von Bildern anzutreffende spontan konstruierende (Eigen-) Dynamik des visuokognitiven Systems führt mitten in ein erkenntnistheoretisches Problem, weil sie eine starke subjektiv imaginierende Komponente in die räumliche Interpretation des visuell wahrgenommenen Objekts involviert und damit auch das Objekt im Milieu des Schauspiels der Perspektiven, das Poincaré in die Fundamente der Geometrie einbezieht, zu einem fragilen, subjektiv beeinflussten Konstrukt unserer Wahrnehmung macht.

### 3.3 Kunstgeschichtlicher Exkurs zu wahrnehmungsspezifischen geometrieaffinen Präferenzen

Mit der Entwicklung erscheinungsbetonender Objektdarstellung im späten Mittelalter wurde auch der Bildraum zu einem relevanten Thema, das später mit der Erfindung und systematischen Entwicklung der Zentralperspektive räumliche Erscheinung als eine weit reichende Konzeption des Ordners der Welt etablierte.<sup>86</sup> Und dies nicht nur als regelgerechtes Arrangieren der sichtbaren Objekte in einem adäquaten Bildraum, sondern auch als darüber hinaus reichendes Konzept des Verstehens, das auch stark auf die plastische Qualität und den räumlichen Zusammenhang dieser Objekte begründet war. Über die schon im Mittelalter damit verbundenen philosophisch- theologischen Reflexionen (bzw. Deutungen) bezüglich dieser Körper und ihrer Relationen hinaus ging mit der Zentralperspektive eine starke Zuwendung zu naturwissenschaftlichen Analysen und Modellbildungen einher. Diese Analyse war auch auf mathematische und geometrische Beschreibbarkeit von Phänomenen

---

<sup>84</sup> Cf. Visuelle Haptizität

<sup>85</sup> Cf. Sensomotorische Rückkopplung, Efferenzkopie, Reafferenz, visuelle Steuerung von Greifbewegungen, Wahrnehmung als Hypothesenprüfung, optische Täuschung ...

<sup>86</sup> Cf. Hutter, 1971, S. 129 ff.

ausgerichtet. Die wissenschaftlichen und die künstlerisch darstellenden Herangehensweisen waren eng und wechselseitig befruchtend miteinander verbunden.

Die ordnende „Macht“ der Zentralperspektive trat seit der Renaissance stilistisch variantenreich in Erscheinung, wurde aber im 19. Jahrhundert u.a. auch durch das Infragestellen einer dreidimensionalen Welt und das Aufzeigen der Möglichkeit von Geometrien mit mehr als drei Dimensionen erschüttert.

Diese wenigen und hier nur sehr summarisch angedeuteten Entwicklung führten zu einer „Grundlagenkrise“, die nicht nur die bildende Kunst, sondern auch die Mathematik betraf und auch noch weit darüber hinaus wirkte.

Auch die Abkehr von der Zentralperspektive bei Cézanne und die teilweise auch von Poincaré beeinflussten multiperspektiven Formassemblagen des analytischen Kubismus<sup>87</sup> manifestieren diese Grundlagenkrise der Geometrie und etablieren die dargestellten Objekte und ihr Ambiente als visuokognitive Konstrukte, deren Fragwürdigkeit nicht nur den Bildraum, sondern in noch weiter reichender erkenntnistheoretischer Konsequenz auch die externe Realität betrifft.<sup>88</sup>

### 3.3.1 Visuokognitive Aspekte von Magrittes „Verrat der Bilder“

Für unsere weiteren Überlegungen sind wesentliche Komponenten visuokognitiver Konstruktionsprozesse der Objektwahrnehmung in Rene Magrittes Serie „Der Verrat der Bilder“ ausfindig zu machen.

---

<sup>87</sup> Nicht nur Helmholtz, auch Poincaré hat eine Auswirkung auf den Kubismus. Mit Hinblick auf Marcel Duchamp knüpft Molderings an einen Satz Poincarés an:

„Unsere Sinne lassen uns im Stich, sobald wir uns über die klassischen Dimensionen erheben wollen“. Dies wollte Duchamp offenbar nicht wahrhaben. Seine Notizen aus den Jahren 1913 bis 1915 zeigen, wie hartnäckig er daran arbeitete, sich die geometrischen Beziehungen in einem vierdimensionalen Raum vorzustellen. „Der junge Duchamp ist besessen von der 4. Dimension“ schrieb Gertrude Stein 1913 nach einer ersten Begegnung mit dem Künstler....Duchamp glaubte eine Lösung auf analogischem Wege finden zu können, indem er gedanklich eine Dimension hinabstieg und die Strukturen der drei- und zweidimensionalen Wahrnehmung einer flächigen Welt miteinander verglich.“ (Molderings, 2004, S. 112)

<sup>88</sup> Es ist also sinnvoll, dass Angela Breidbach den radikalen Umbruch des Anschauungsraumes in den Bildkonzeptionen von Cézanne und dessen Auswirkungen auf den Kubismus auch auf die Wirkung der Schriften von Helmholtz (Physiologie der Optik) und der Theorien Poincarés zurückführt: „Auch mit erkenntnistheoretischen Themen des Raumes steht von Helmholtz auf dem Plan der französischen Rezeption: „Les Axiomes de la Geometrie“ erscheint 1877 in der „Revue Scientifique“. Die Reflexion dieser Diskussion wird von Henri Poincaré, Bertrand Russell,...in der „Revue de Metaphysique et de Morale“...zu einem führenden Diskurs des ausgehenden Jahrhunderts ausgeweitet. Die Autoren diskutieren sowohl den Unterschied zwischen einer Geometrie organischer Projektionen (die Helmholtz prinzipiell eher >>Physiologie<< als >>Geometrie<< nennt) und einer metrischen Geometrie, als auch die Frage nach der Aufrechterhaltung geometrischer Axiome. Sie zeigen damit ihre Nähe auch zu den erkenntnistheoretischen Vorgaben von Helmholtz“, die er aus den Gesetzen der Erscheinung ableitet...Auf die Verbindung der Geometrie nicht-euklidischer Räume zu den Räumen der Wahrnehmungsphysiologie und –psychologie legt Marianne Teuber großes Gewicht. Der Einfluss der Psychologie der Raum- und Gestaltbildung auf die Künstler des fin de siècle ist für die Richtung der kunsthistorischen Diskussion von Bedeutung. Linda Henderson-Dalrymple führt als Quelle Poincarés »L’Espace et la Geometrie« beweiskräftig als Kernstück der Hauptschrift des frühen Kubismus ins Feld. Marianne Teuber verrechnet über Hendersons Thesen hinaus den Einfluss der Wahrnehmungslehre für die Theoriebildung der Raumphysik in dieser Zeit und damit für die Kunstgeschichte. Teuber widmet ihre Studie zwar den Kubisten, beginnt sie aber mit Cézanne.“ (Breidbach, 2003, S. 60 f.) Dieses Zitat unterstützt via Cézanne nicht nur das Einbeziehen von Aspekten der Kunstgeschichte in den hiesigen Kontext, sondern dokumentiert auch die Auseinandersetzung Poincarés mit Helmholtz.

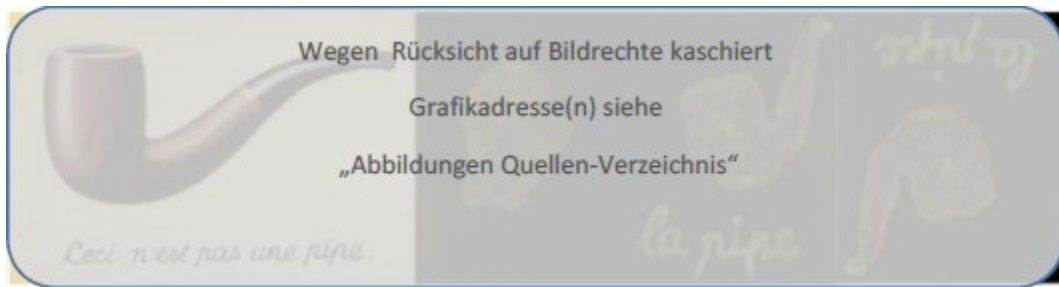


Abbildung 8 Magritte: *Ceci n'est pas une pipe*, b) Magritte: *la pipe*, c) Assoziationsvariante

Vom ersten Blick an sticht im Fall von *Ceci n'est pas une pipe* das sehr plastisch erscheinende Bildobjekt „Pfeife“ ins Auge. Dazu trägt wesentlich ein gleichmäßig einfarbiger Hintergrund bei, der durch den Hell- Dunkel Kontrast ein leichtes Identifizieren der Objektform auch ohne Umrisslinien ermöglicht und trotz mangelnder Schlagschatten den Eindruck unterstützt, der Gegenstand befinde sich vor der Bildebene.

Die räumliche Interpretation wird durch geometrische Komponenten in Form von Ellipsen mitgetragen. Sie deuten den kreisförmigen Querschnitt des Topfes und dessen Wandstärke an und unterstützen die Modellierung des Mundstücks. Der goldfarbene Ring im Steckbereich des Mundstückes wird zwar als Ring und somit als Kreis verstanden, erscheint im Bild aber nur als rechteckiger oder allenfalls trapezförmiger Streifen, dessen Krümmung nur kontextuell und mit Hilfe des Helligkeitsverlaufs erschlossen wird, bewusst und/oder unbewusst, je nach Tiefe der Bildanalyse. Damit wird aber dieser „Ring“ zu einem Beispiel für konstruktive Prozesse und Helmholtz' unbewusste Schlüsse im Umfeld einer Theoriebelastenheit der Wahrnehmung und der Eigendynamik eines visuellen Assoziationsvermögens.<sup>89</sup>

Die weitere Analyse der hier ausgewählten Aspekte wahrnehmungsoptimierter Bildgestaltung, nämlich Helligkeitsunterschiede und Konturen, erfolgt in enger Bindung an die Ausführungen von Eric Kandel (2012), der in „Das Zeitalter der Erkenntnis“ genau dieser engen Verknüpfung des starken Eindrucks von Bildern mit korrelierenden neurophysiologischen Grundlagen der Wahrnehmung nachgeht.

So schreibt Kandel: „...ohne irgendwelche Helligkeitsunterschiede, allein mithilfe der Farbe, sind räumliche Einzelheiten verblüffend schlecht zu erkennen.“ (Kandel, 2012, S.286)

Kandel illustriert dies mit speziell gefilterten Farbauszügen des Fotos eines Blumenstraußes und kommentiert: „Eine rein chromatische Aufnahme enthält keine Informationen über

<sup>89</sup> Die zunächst so grundsätzlich verschieden erscheinende Version mit der im Vergleich paradox wirkenden Bezeichnung „la pipe“ soll hier nur dazu dienen, zu zeigen, wie weit unsere Bereitschaft bzw. das Potential zu formerkennender Identifikation eines Gegenstandes auf Basis rudimentärer Indizien auf einer zweidimensionalen Bildfläche reichen; erst recht dann, wenn eine sprachliche Bezeichnung dem Vorgang visuellen Assoziierens eine Richtung vorgibt. Dabei ist auch noch bemerkenswert, dass es nicht um die Kenntnisnahme eines weitgehend abstrakten Zeichens bzw. Symbols für „Pfeife“ geht, sondern dass im Wissen um das gemeinte Objekt schon marginale Spuren von helleren Stellen dazu führen können, eine Plastizität des Topfes zu erahnen und folglich auch den weiteren Formverlauf des Holms bis zum Mundstück nicht als Deformation oder als Typ einer hochgezogenen Pfeife zu deuten, sondern als Konsequenz der besonderen räumlichen Lage zu interpretieren. Zu beachten ist allerdings auch, dass hier die gleichzeitige Präsentation der sehr anschaulich vertrauten Abbildung einer Pfeife das Assoziieren und Deuten beeinflusst. Je nach visuellem Assoziationspotential könnte man den Farbfleck z.B. auch als Kopf eines Tiers mit Rüssel interpretieren; vor allem dann, wenn man eine mentale Rotation durchführt oder das Bild selbst dreht. Dieser Exkurs über das vielschichtige Wechselspiel sprachlich beeinflussbarer visueller Assoziationen zur formbezogenen Objektbestimmung mit impliziten räumlichen Tendenzen soll auf dieser kunstgeschichtlich illustrierten Ebene einen Komplex zugänglich machen, der auch jene Aspekte von Poincarés geometrischer Intuition betrifft, die in späteren Kapiteln angesprochen werden.

Helligkeitsunterschiede, sondern nur über Farbtöne und Farbsättigung. Räumliche Einzelheiten sind schlecht zu erkennen.“ (Kandel, 2012, S.286)

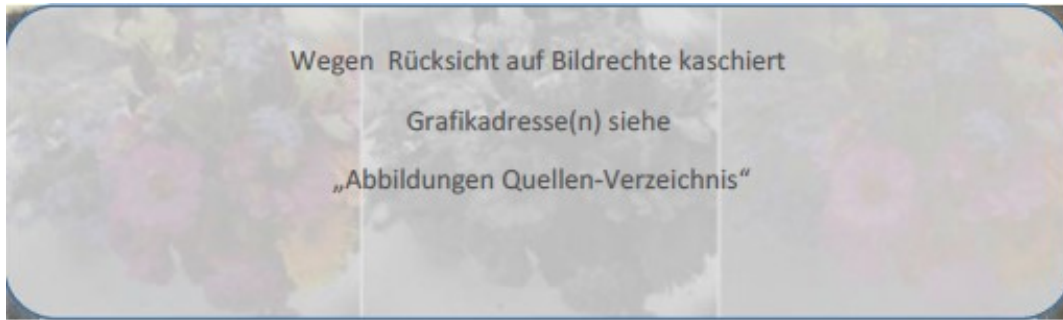


Abbildung 9 Blumenstrauß (Farbauszüge), a) normale Farbaufnahme, b) Schwarz-Weiß, c) rein chromatisch (Kandel, 2012, S.287), Anordnung geändert.

Gemäß Bildkommentar Kandels<sup>90</sup> kann offenbar auch Magrittes Pfeife (Ceci...) wegen der markanten Helligkeitsunterschiede auch ohne lineare Konturierung eine prägnante plastische Erscheinung des Objekts hervorrufen.

Auf die formbestimmenden Helligkeitskontraste opaker(!) fester Körper hat die Beleuchtung einen dominanten Einfluss. Besonders bedeutsam sind Eigen- und Schlagschatten, wenn Objekte „in gutem Licht“ erscheinen, das die Formerkennung unterstützt. Dabei sind besonders scharfe Helligkeitsbrüche durch Kanten bedeutsam<sup>91</sup>, aber auch der weitgehend kontinuierliche Helligkeitsverlauf auf gewölbten Oberflächen.

### 3.3.2 Tangentialebenen, Schatten: Hummels Brunnenschale (Lordick, Monge, Brisson)

Zu welchen komplexen Problemen die Bestimmung von Schattengrenzen an Rotationskörpern führt hat Daniel Lordick beim Geometriesymposium 2007 in Strobl unter der Titel „Die Eigenschattengrenze des Torus als Einstieg in das Hochgebirge der Geometrie“ vorgetragen.<sup>92</sup>

Hummels Brunnenschale wäre dafür ein ergiebiges Beispiel der Analyse und entspräche wohl auch den Intentionen von Gaspard Monge.<sup>93</sup>

<sup>90</sup> Bildkommentar Kandels: „ A. Eine normale Farbaufnahme enthält Informationen über Helligkeits- und Farbunterschiede. B. Eine Schwarz-Weiß Aufnahme zeigt Helligkeitsunterschiede. In dieser Art von Bild sind räumliche Einzelheiten gut zu erkennen. C. Eine rein chromatische Aufnahme enthält keine Informationen über Helligkeitsunterschiede, sondern nur über Farbtöne und Farbsättigung. Räumliche Einzelheiten sind schlecht zu erkennen.“ (Kandel, 2012, S.287)

<sup>91</sup> Cf. Mallot: Tiefensprünge

<sup>92</sup> <http://www.geometry.at/strobl/strobl2007/plan2007.htm>

<sup>93</sup> Martin Kemp bestätigt den Einfluss von Monge auf Hummel: „...aber unter den Künstlern waren nur wenige bereit, sich an seinen anspruchsvollen Richtlinien zu orientieren. Eine bemerkenswerte Ausnahme war Johann Erdmann Hummel, der seit 1809 als Professor an der Berliner Akademie der Künste die Fächer Perspektive, Architektur und Optik lehrte. Gerieten ihm seine Figuren eher steif und leblos, so waren seine perspektivischen Konstruktionen umso brillanter, was ihm seitens der Berliner den Spitznamen >Perspektiv-Hummel< eintrug.“ (Kemp, 2003, S. 96)

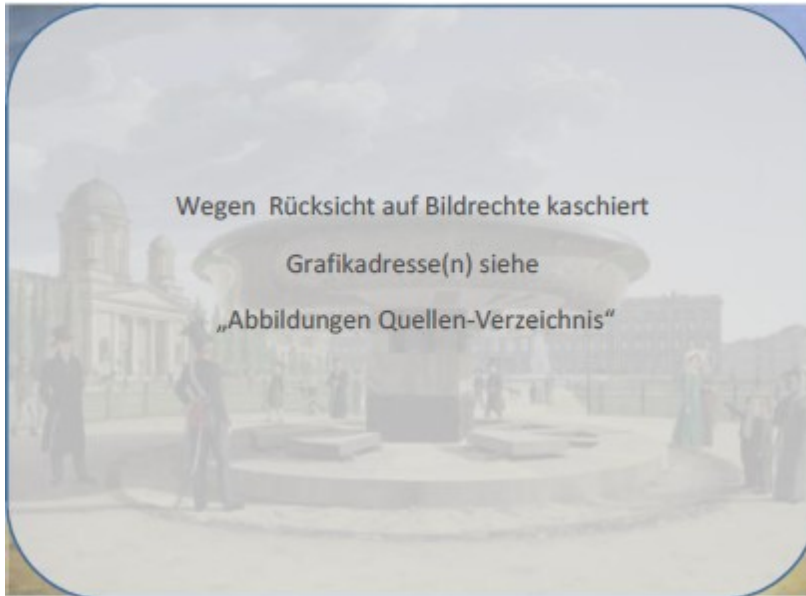


Abbildung 10 Hummel: Granitschale

Monge betont den großen Nutzen für Künstler bei Kenntnis des kundigen Umgangs mit Tangentialebenen:

„ Wenn er (Ö> Künstler) sich aber daran gewöhnt hätte, die Lage der Tangentialebenen und der beiden Krümmungen.....in jedem Punkt der zu malenden Flächen in Betracht zu ziehen, so würde er davon bedeutenden Nutzen haben... Schließlich sind solche nichtssagenden Ausdrücke, wie *halbfach*, *helledunkel*, welche die Maler fortwährend gebrauchen, nur ein beständiges Zeugnis dafür, dass sie eingehendere Kenntnisse und strengere Überlegungen nothwendig brauchen.“ (Monge, 1798, S. 36 f.)

Nebenbei sei hier nur erwähnt, dass Monge auch den Wert der geometrischen Bestimmung von Krümmungslinien für die Anwendung als formunterstützende Schraffuren in der Druckgrafik geltend macht. (Monge, 1798, S. 171).

Monges Schüler Barnabé Brisson hat 1839 eine Neuauflage der *Géométrie Descriptive* herausgegeben, die um den Abschnitt „Théorie des Ombres et de la Perspective“ erweitert wurde.<sup>94</sup> Darin wird betont, dass Schatten die Erkennbarkeit des dargestellten Objekts erleichtern, was offenbar zu den diesbezüglichen Aussagen Kandels passt:<sup>95</sup>

„...; et si l'on a la projection horizontale et la projection verticale, l'une et l'autre avec les ombres construites, ces deux projections seront plus aisées à lire, et monteront plus facilement l'objet que si l'on n'avait que les projections nues et sans les ombres. « (Monge/Brisson, 1839, S. 197)

Außerdem wird bei Monge auch noch auf die gedanklich modellbildende Wirkung des Lichtstrahls in Übertragung auf die grafische Linie der darstellenden Geometrie hingewiesen, ein Aspekt, der gut mit den hiesigen Überlegungen zu Linien und Konturen in Einklang gebracht werden kann.

„ La théorie des ombres est entièrement fondée sur un phénomène que tout le monde connaît, c'est que la lumière se propage en ligne droit. Nous sommes si accoutumés à cette proposition, que toutes les fois qu'on cherche à vérifier si une ligne est droite, on la compare à un rayon de lumière.“ (Monge/Brisson, 1839, S. 198)

<sup>94</sup> <http://search.ugent.be/meercat/x/bkt01?q=900000030173> 19.11.2010)

<sup>95</sup> Cf. Kandels Hinweis auf die Rolle von Schatten gemäß dem amerikanischen Astronomen Davit Rittenhouse ( siehe Kapitel: Kandel: Muffin- Blech illustriert Licht von oben Hypothese

Aus der Verwendung des Ausdrucks „accoutumés“ meine ich herauslesen zu können, dass es sich dabei nicht allein um eine explizite rationale Schlussfolgerung, sondern auch um hochgradig automatisierte Vorannahmen geht, die allenfalls bis zu den Grundannahmen unserer Wahrnehmung und zu der dort laut diversen Autoren geltenden „vereinfachten Physik“<sup>96</sup> führen.

Dass hier auch die geradlinige Ausbreitung des Lichts angesprochen wird, ist in unserem Zusammenhang erwähnenswert, weil Poincaré diese Eigenschaft ausdrücklich in seine Überlegungen zur projektiven Geometrie einbezieht:

„Die Eigenschaften des Lichts und seine geradlinige Fortpflanzung haben ebenfalls Veranlassung zu einigen Sätzen der Geometrie gegeben, besonders zu denjenigen der projektiven Geometrie, und zwar derart, dass man versucht sein könnte zu behaupten, dass die metrische Geometrie das Studium der festen Körper ist und daß die projektive Geometrie sich mit dem Studium des Lichts beschäftigt!“  
(Poincaré, 1906, S. 51)

### 3.3.3 Helligkeitskontraste genuin mit Konturen verbunden: Mach'sche Streifen

Die formbestimmenden Potentiale von Linie und Konturen bzw. von Helligkeitsverlauf und Kontrast sind durch wahrnehmungsspezifische Relationen genuin verbunden.

Dabei ist die zunächst geradezu als paradox erscheinende Tatsache zu bedenken, dass auf natürlichen Objekten Linien praktisch kaum vorkommen, schon gar nicht solche, die ein plastisches Objekt so von der Umgebung formklärend abgrenzen, wie Umrisse bzw. Konturen in Gemälden und Zeichnungen es tun.

Unsere visuelle Wahrnehmung verfügt über die Eigenart, durch Bildung so genannter **Mach'scher Streifen** Helligkeitsübergänge zu verstärken und so zur Formbestimmung bzw. Abgrenzung und Gliederung von Objekten beizutragen. Diese kognitiv gestützte, aber unbewusst wirksame Technik zur Formklärung auf Ebene der Wahrnehmung, halte ich für eine wesentliche Grundlage unserer Präferenz für Konturen und Linien. Konturen sind in diesem Sinn auf visuokognitive Präferenzen hin optimierte Gestaltungsmittel von Grafik und Malerei. Man kann dies bis in die frühen Höhlenmalereien zurückverfolgen, wo nicht selten eine natürlich bestehende formaffine Reliefierung der Wandoberfläche durch Ritzen oder farbige Konturierung als Tiergestalt identifiziert und dauerhaft definiert, sozusagen „dingfest“ gemacht wurde.

Die top-down Mechanismen **subjektiver Konstruktion** reichen aber weit über Mach'sche Streifen hinaus und Linien gehören darunter zu den prominenten und multipräsenten Beispielen.

Darauf gehen unter anderen Autoren besonders Christof Koch (Bewusstsein, 2005) und Donald Hoffman (Visuelle Intelligenz, 2000) umfangreich ein. Koch spürt zum Beispiel „täuschenden Kanten“ bis auf die Ebene des Ansprechens spezifischer Neuronen im visuellen Zentrum von Menschen und Affen nach.<sup>97</sup> Hoffman betont die prominente Rolle von Linien:

„In jeder Tierart finden wir eindeutige Hinweise darauf, daß erhebliche Teile des Zentralnervensystems mit der Konstruktion von Linien befaßt sind.“ (Hoffman, 2001, S. 101)<sup>98</sup>

<sup>96</sup> Cf. Kandel, 2012, S. 324 f.

<sup>97</sup> Cf. Koch, 2005, S. 147 f.

<sup>98</sup> Kochs Formulierung bezüglich der Erfahrung der Vorfahren weist eine bemerkenswert erscheinende Ähnlichkeit auf mit Poincaré, 1906, S.90.

An der schon sehr früh einsetzenden Analyse bzw. Konstruktion von Konturen und Linien sind mehrere Bereiche des visuellen Systems beteiligt.

„Sie (Ö) Kufler, Hubel und Wiesel) fanden heraus, dass Neuronen in den ersten Phasen des Sehvorganges (in der Netzhaut und im seitlichen Kniehöcker) am effektivsten auf kleine Lichtpunkte reagieren. Die Neuronen im nächsten Relais, der primären Sehrinde oder dem primären visuellen Cortex (V1, dem ersten Relais im Gehirn) strukturieren die visuellen Informationen zu Linien, Kanten und Ecken. Diese Elemente werden zu Konturen und figurativen Urformen kombiniert.“ (Kandel, 2012, S. 282)

„Die zweite Stufe, die in der primären Sehrinde beginnt, ist die von Hubel und Wiesel sowie Zeki beschriebene visuelle Verarbeitung der mittleren Ebene. Sie ordnet einfache Liniensegmente mit jeweils einer spezifischen Orientierungsachse zu den Konturen an, die die Begrenzungen eines Bildes definieren und so die einheitliche Wahrnehmung der Form eines Objekts konstruieren. Dieser Prozess wird *Konturintegration* genannt. Gleichzeitig wird das Objekt in einem Prozess namens *Oberflächensegmentierung* von seinem Hintergrund getrennt.“ (Kandel, 2012, S. 317)

Die von Kandel betonten visuokognitiven Konstruktionsprozesse von Konturen spielen bei der Abgrenzung von Objekten und deren Lösung von Hintergrund eine entscheidende Rolle und bilden deshalb eine Basis der für Poincarés Fundamente von Geometrie wichtigen Objektkonstruktion.

### 3.3.4 Hoffmans visuelle Intelligenz regulärer Ansichten und Biedermanns signifikante Konturfragmente

Hoffman zeigt und illustriert vielfältig, wie stark Verarbeitungsregeln unsere Wahrnehmung bis in die subtilste Formerkennung hinein strukturieren. In dem Maße, wie Hoffman mit diesen Regularien „visuelle Intelligenz“ interpretiert, kann man wohl auch davon reden, dass es sich dabei um eine Theoriegeladenheit handelt, die nicht erst auf Ebene gezielter Beobachtung, sondern schon in elementarsten, vorbewussten Komponente der Wahrnehmung zur Geltung kommt und letztlich schon in den Detektionsmustern rezeptiver Felder auf neuronaler Ebene wirksam wird.

Über die von Kandel angesprochene Strukturierung durch objektbegrenzende Konturen hinaus bringt Hoffman mit dem Begriff der „**regulären Ansichten**“ zusätzliche Aspekte ins Spiel, die darauf hinweisen, wie schon unbewusste Prozesse visueller Verarbeitung projektive Ambivalenz nach erfahrungsgestützter<sup>99</sup> Plausibilität räumlich interpretieren.

Hoffman schreibt im Kapitel über „Die fundamentale Bedeutung visueller Regeln. Sie konstruieren visuelle Welten aus mehrdeutigen Bildern nach visuellen Regeln....Regel der regulären Ansichten. Konstruiere nur die visuellen Welten, für die das Bild eine dauerhafte (d.h. reguläre) Ansicht liefert.“ (Hoffman, 2001, S. 44 f.)

Dabei führt Hoffman zwei weitere Regeln ein, die Komponenten des Modells der regulären Ansichten bilden.

„Regel 1: Interpretiere eine gerade Linie in einem Bild stets als eine gerade Linie in 3D.“ (Hoffman, 2001, S. 47)

---

<sup>99</sup> Dabei geht es nicht nur um bewusste persönliche Erfahrung, sondern besonders auch um unbewusst wirksame Schemata visueller Verarbeitung. Ob und wie weit diese Verarbeitungsregeln jenseits frühkindlicher Erfahrung auch auf einer phylogenetischen Prädisposition beruhen, erscheint als naheliegend, wird aber hier nicht weiter untersucht.



Hoffman begründet dies damit, dass eine Linie unter bestimmten Umständen der Projektion unterschiedlichster geometrischer Figuren wie jener von Kreisen, Vierecken, Winkeln, Kurven oder auch geschlängelten Linien entsprechen kann. Während eine gerade Linie fast aus jedem Blickwinkel wiederum eine gerade Linie ergibt, wird z.B. eine Kurve aus fast jeder Ansicht gekrümmt und nur in den seltensten Fällen als Gerade erscheinen. (cf. Hoffman, 2001, S. 46 f.)

„Regel 2: Wenn die Enden zweier Linien in einem Bild zusammenfallen, interpretiere sie stets so, dass sie auch in 3-D zusammenfallen.“ (Hoffman, 2001, S. 47)

Angesichts der Form eines Vs stellt Hoffman fest, dass die Grundlage dieser Erscheinung sowohl einem V aus zwei in einer Ebene liegenden und einander im Scheitelpunkt berührenden Strecken als auch, bei entsprechendem Blickwinkel, zwei windschiefen Halbgeraden entsprechen kann, deren Bilder der Ausgangspunkte nur in der Projektion zusammenfallen. So ist das von Poincaré und Gegenfurtner geschilderte Problem projektiver Ambivalenz des visuellen Fernsinns im Spiel, wobei der Wechsel der Perspektive durch kleinste Seitwärtsbewegungen ein sensibles Kriterium zur räumlichen Auflösung der Ambivalenz darstellt und somit Poincarés Betonen der Rolle der Bewegung auch in der Argumentation von Hoffman voll zur Geltung kommt.

Hoffman illustriert dies mit Esstättchen und erläutert damit, was er unter regulären Ansichten versteht und wie diese die Interpretation ambivalenter Ansichten beeinflussen.

„...bei den Esstättchen ist ein *Zufall des Blickwinkels* dafür verantwortlich, daß die Enden der beiden Linien zusammenzufallen scheinen. Fast jede Ansicht der Esstättchen liefert ein Bild, in dem diese Enden sich nicht treffen. Beim V ist dagegen kein Zufall für das Zusammenfallen der Enden verantwortlich. Dort erfolgt es bei jeder möglichen Ansicht. Das Bild des Scheitelpunktes ist also die typische Ansicht des Vs und die Zufallsansicht von Esstättchen.“ (Hoffman, 2001, S. 46)

Hoffman zieht daraus die Quintessenz, dass unser visuelles System Zufallsansichten tendenziell ignoriert und Ambivalenzen bevorzugt gemäß regulären Ansichten interpretiert. Weiters geht Hoffman (2001, S. 44) noch davon aus, dass solche Regeln zur Konstruktion visueller Welten schon von Kind an durch visuelle Erfahrungen erworben werden<sup>100</sup> und dass auch wegen der begrenzten Gedächtniskapazitäten nicht eine Unzahl einzeln gespeicherter Bilder, sondern Regeln, wie die genannten, die Grundlage der Deutung von Ambivalenzen bilden.

Auch diese Aspekte sind sowohl mit Poincarés (1906, S. 56) Hinweis auf die „Erziehung der Sinne“ kompatibel, als sie ebenso eine Assoziation zu Cassirers Modell der Invarianten mit Abkehr vom Objekt und der Zuwendung zu den Verarbeitungsregeln nahe legen. (cf. Cassirer, 1944)

Die Effizienz dieser regelhaften Präferenz für reguläre Ansichten illustriert Hoffman durch die unterschiedliche räumliche Wahrnehmung der flächigen Gitternetze des Necker-Würfels und von Kopfermann-Figuren.

---

<sup>100</sup> Hier bietet sich eine Brücke zu Poincarés „Erziehung der Sinne“ in Verbindung mit präexistierenden Potentialen auf ontogenetischer Ebenen an, wenn man die von Buether angesprochenen Prädispositionen ins Kalkül zieht: „Die Entwicklung der räumlich visuellen Kompetenz hängt jedoch auch stark vom Lebensalter ab, von dem ab diese Leistungsdisposition des Gehirns in die multisensuelle Auseinandersetzung mit der Umwelt einbezogen werden kann.“ (Buether, 2010 S. 200). Dieser Aspekt betrifft auch die an anderer Stelle thematisierte Plastizität des Gehirns bzw. Beeinflussbarkeit des Konnektoms.

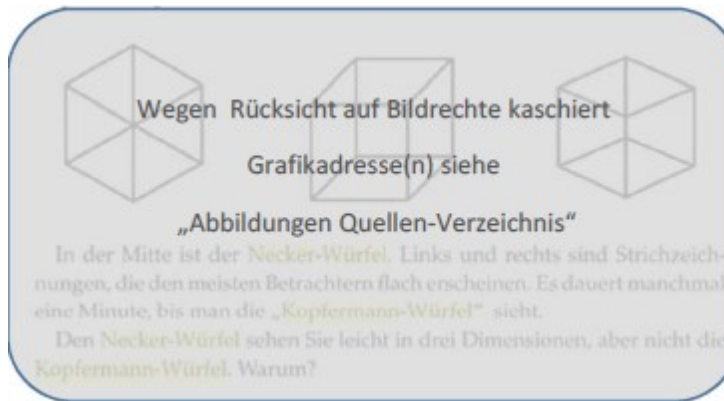


Abbildung 11 Necker-, Kopfermann-Würfel (Hoffman, 2001, S. 42)

Ohne näher auf die Necker- bzw. Kopfermann-Würfel einzugehen, soll hier nur kurz angedeutet werden, dass beim linken Beispiel offenbar Hoffmans Regel 1 noch massiver als beim **V** zur Geltung kommt und es somit schwieriger ist, in diesem Gitternetz einen Würfel zu sehen. Umgekehrt kann man auch feststellen, dass es im Unterschied zu diesem Kopfermann-Würfel kaum möglich ist, denn Necker-Würfel als flächiges Muster von Linien wahrzunehmen. Das spricht für starke geometrieaffine top-down Einflüsse auf das Perzept.<sup>101</sup>

Der hier verfolgte Gedankengang zielt darauf ab, dass an den soeben gezeigten Beispielen deutlich wird, wie stark auch die Wahrnehmung des Gitternetzes von mehr oder weniger komplexen Körpern durch projektive räumliche Ambivalenz betroffen ist.<sup>102</sup> Und ebenso, dass gemäß Hoffman das visuelle Verarbeitungssystem dafür spezifische Regeln bzw. Interpretationsschemata ausgebildet hat. „Diese Regeln sorgen für die Intelligenz in der visuellen Intelligenz.“ (Hoffman, 2001, S. 44)

Weiters wird erkennbar, wie die Bewegung des Betrachters zur Erschließung der Räumlichkeit von Objekten beiträgt. Das ist mit stereoskopischer 3D Wahrnehmung genuin kompatibel, wenn man unterstellt, dass die Disparität der Netzhautbilder eines frontalen Augenpaares und die Konvergenz einem für den Nahbereich optimierten Bewegungskonzept zur Auflösung von projektiver Ambivalenz entsprechen.

Hoffman bringt weiters eine grafische Testvorlage des Psychologen Irv Biedermann im Kontext eines umfangreichen Kapitels über Regeln, die unsere Sehprozesse steuern. Er macht in diesem Zusammenhang auch drauf aufmerksam: „... daß Teile von entscheidender Bedeutung für den Erfolg Ihrer Objekterkennung sind.“ (Hoffman, 2001, S. 131)

Es geht nach meinem Verständnis darum, dass es offenbar eine notwendige Strategie der Wahrnehmung ist, komplexe Szenerien nach einer Reihe von identifizierbaren Regeln/Präferenzen in Schlüsselkomponenten zu zerlegen und daraus wieder ein kognitiv gut handhabbares Schema zu konstruieren. Das Zerlegen in Komponenten dient zwar auch der Identifikation von Objekten und deren Unterscheidung von der Umgebung, macht aber nicht an der Kontur der Objekte halt. Die Objekte selbst werden in markant erscheinende Teilbereiche zergliedert und daraus wieder zu einer konsistenten Gestalt konstruiert.<sup>103</sup> Dazu wird offenbar im projizierten zweidimensionalen Bild nach Formmerkmalen gesucht, von

<sup>101</sup> Cf. Anhang: > Bistabile Perzepte Rubin-Vase und Necker- Würfel: Semantische versus räumliche Ambivalenz

<sup>102</sup> Cf. Abb. Projektive Ambivalenz des Netzhautbildes (Gegenfurtner)

<sup>103</sup> Cf. Roth: Parallelverarbeitung und späte Bindung

denen es unwahrscheinlich ist, dass sie durch zufällige Konstellationen der Objekte im Raum entstehen, die also möglichst invariant sind.<sup>104</sup>

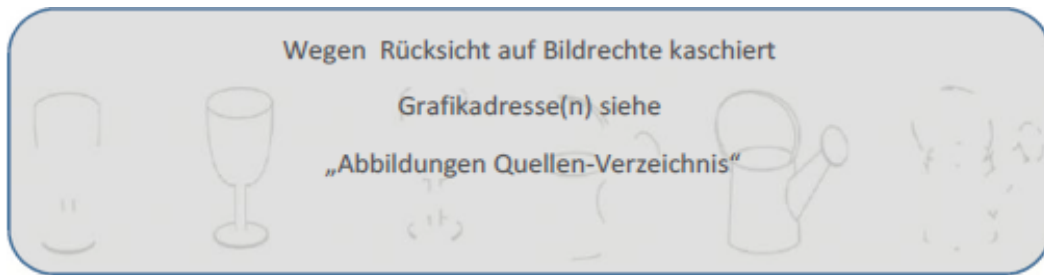


Abbildung 12 Testmuster Objekterkennung nach Biedermann (Hoffman, 2001, S. 131) Anordnung geändert

Gemäß Hoffmans Interpretation<sup>105</sup> der Vorlage Biedermanns gibt es offenbar markante Konstellationen grafischer Komponenten, welche dieser und anderen Verarbeitungsregeln besonders entgegen kommen<sup>106</sup> und so die (Re-) Konstruktion der Gesamtvorstellung erleichtern.<sup>107</sup>

Die Art und Positionierung der gemäß Biedermann für die Formerkennung besonders effizienten Fragmente von Linien wecken starke Assoziationen zu Gestaltungskonzepten von Cézanne, mit denen er Farbflächen als Körper erscheinen lässt. Hier wird unterstellt, dass Cézannes Bildgestaltung mit subtiler Sparsamkeit auf intuitiv wirksame Regeln visueller Verarbeitung ausgerichtet ist und somit Hoffmans „visuelle Intelligenz“ ebenso tangiert, wie Helmholtz' unbewusste Schlüsse. Cézanne verwendet in der Regel keine geschlossenen Umrisse, sondern skandiert nur wenige, für das (Wieder-) Erkennen besonders relevante Formübergänge durch nebeneinander verlaufende Fragmente von Linien. Ich neige dazu, diese nur auf relevante Stellen reduzierten und nicht eindeutig strengen Begrenzungen der Formen (u.a.) mit Cézannes Sensibilität für binokulare Disparität sowie mit der Berücksichtigung minimaler Relativbewegungen beim Betrachten in Zusammenhang zu bringen und sie somit als Ausdruck einer besonders für die spezifischen Strukturen des Wahrnehmungsprozesses sensible Form der Objektanalyse einzuschätzen. Diese relationsintegrative Analyse und Präsentation des Objekts als Konstrukt des Betrachters/Betrachtens entspricht einerseits Kandels zusammenfassender Aussage über die Position Rudolf Arnheims: „ Er behauptete, Kunstwerke seien genauso geordnet und strukturiert, wie die Wahrnehmung“ (Kandel, 2012, S. 241) und erscheint mir andererseits als bemerkenswert kompatibel mit Poincarés

<sup>104</sup> Cf. Projektive Ambivalenz unseres visuellen Systems und Hoffman: Reguläre Ansichten/Esstäbchen.

<sup>105</sup> „In der Mitte befinden sich die Originalzeichnungen. Rechts ist eine Großteil des Umrisses fortgelassen, aber so, daß sie immer noch die richtigen Grenzen und Teile konstruieren können. Links ist der gleiche Anteil der Umrisslinie weggelassen, jedoch dergestalt, dass Sie die richtigen Grenzen und Teile nicht mehr konstruieren können.“ (Hoffmann, 2001, S. 131)

<sup>106</sup> Hier könnte auch das Auflösen visueller Szenen durch Blickfolgen eine Rolle spielen. Die Auswertung von eye-tracking zeigt solche Abtast-Muster. Das wäre konvergent mit der andernorts beschriebenen Feature – Ring – Hypothese. (Körper, 2003, S.17 f.) Cf. Kap: Poincaré, Bechertew:....

<sup>107</sup> Dies betrifft auch einen Aspekt der Überlegungen zum Thema „kognitive Kompatibilität“ und ist auch im Umfeld meiner Ausführungen über Cézanne zu sehen: sparsame malerische Angaben an entscheidenden Stellen mobilisieren den Betrachter als Mitgestalter. Cf. Bildbeispiele: ([https://www.kunst-fuer-alle.de/media\\_kunst/img/41/g/41\\_00418210~paul-cezanne\\_pommes-bouteille-et-verre.jpg](https://www.kunst-fuer-alle.de/media_kunst/img/41/g/41_00418210~paul-cezanne_pommes-bouteille-et-verre.jpg) oder [https://s3.amazonaws.com/files.collageplatform.com/prod/image\\_cache/1010x580\\_fit/559650f9cfaf34ff158b4568/995f195dba70d267cb4c225979861275.jpeg](https://s3.amazonaws.com/files.collageplatform.com/prod/image_cache/1010x580_fit/559650f9cfaf34ff158b4568/995f195dba70d267cb4c225979861275.jpeg) xxx <https://www.acquavellagalleries.com/exhibitions/cezanne-watercolors> 17.2.2020)

Zugangsweise. In beiden Fällen geht es nämlich (n.m.E.) darum, gestaltassoziative visuokognitive Prozesse so zu aktivieren bzw. auszuwerten, dass Mannigfaltigkeiten (?) von mehr oder weniger ambivalenten Stimuli so zu unterscheidbaren Gruppen zusammengefasst werden, dass sie als diskrete Objekte zu Bewusstsein kommen (können) und über Anmutungsqualitäten hinaus auch für Verstandestätigkeit zugänglich werden.

## 4 KOMPARTIMENT Visuelles System

Wenn Wahrnehmungspsychologie nicht nur auf Basis von Ergebnissen Hypothesen über deren Zustandekommen aufstellt, sondern versucht, Verarbeitungsprozesse von Reizen zu ergründen und mit naturwissenschaftlich beobachtbaren Strukturen in Einklang zu bringen, dann trifft man auch auf jenen Bereich der Sinnesphysiologie, der nach Johannes Müller\* besonders auch von Helmholtz, Wundt und anderen etwa ab der Mitte des 19. Jahrhunderts bahnbrechend verfolgt wurde. Die Analyse der neuronalen Strukturen, die mit Wahrnehmung und kognitiven Prozessen korrelieren, ist auch aktuell ein intensiv untersuchtes Anliegen vielschichtiger Forschung unterschiedlicher Disziplinen.

Dieser Abschnitt und ein darauf bezogener Teil des Anhangs versuchen, einen groben Überblick der neurophysiologischen Strukturen visueller Verarbeitung darzustellen und, wenn auch nur rudimentär, auf nachweisbare oder zumindest wahrscheinliche Korrelationen mit räumlich-geometrieaffinen Leistungen der Wahrnehmung hinzuweisen.

Als eines der Ergebnisse der diesbezüglichen Recherchen ist erkennbar, dass zwei Bahnen visueller Verarbeitung stark mit unterscheidbaren räumlichen Potentialen korrelieren und nach Dehaene und andern auch mathematische- und geometrische Core Knowledges tangieren. Neben dem stärker auf Bewegung und Lokalisation bezogenen dorsalen Wo-Pfad spielt der ventrale Was-Pfad eine vielschichtige Rolle bei der Objekterkennung einschließlich der dabei relevanten räumlichen Merkmale und ist darüber hinaus nach Koch auch essentiell in die neuronalen Korrelate des Bewusstseins eingebunden.

Es ist auch bemerkenswert, dass es in den Gehirnanaren visueller Verarbeitung Bereiche gibt, die nicht nur im Zuge des Wahrnehmungsprozesses aktiv sind, sondern auch bei Vorstellungs- und Erinnerungstätigkeit.<sup>108</sup> Das erscheint als kompatibel mit dem hier zu Grunde gelegten Modell einer stark top-down beeinflussten visuellen Wahrnehmung und wird als Indiz dafür geltend gemacht, dass es auch dafür durch Beobachtung identifizierbare neuronale Korrelate bzw. zumindest teilweise lokalisierbare Prozesse gibt.

### 4.1 Neurophysiologische Strukturen visueller Verarbeitung vom Auge bis zur Sehrinde<sup>109</sup>

Wegen der Fokussierung auf top-down gestaltende Einflüsse auf das Perzept wird hier nicht der Aufbau des Auges in den Vordergrund gestellt.

Zunächst geht es also um den (afferenten) Weg bzw. die Stationen von der Retina via Sehnerv (nervus opticus) zur Sehnervenkreuzung (chiasma opticum), weiter (als Sehstrang- tractus opticus) zum seitlichen Kniehöcker (corpus geniculatum lateralis) und folgend als Sehstrahlung

<sup>108</sup> Das betrifft z.B. schon den primären visuellen Cortex (Mast, 2005) oder auch den LOC. (Karanian et al., 2015)

<sup>109</sup> Ein umfangreicher, ergänzender Teil mit detaillierterer Darstellung vom Beginn geometrieaffiner Reizverarbeitung in der Netzhaut bis zu den Arealen visueller Verarbeitung (V1-V7) findet sich im Anhang.

(radiatio optica) zur primären Sehrinde (area striata, visuelles Zentrum V1), die einen Teil des Visuellen Cortex im Hinterhauptlappen (lobus occipitalis) der Großhirnrinde einnimmt.<sup>110</sup>

Folgende Abbildungen<sup>111</sup> sollen diese Konstellation veranschaulichen.

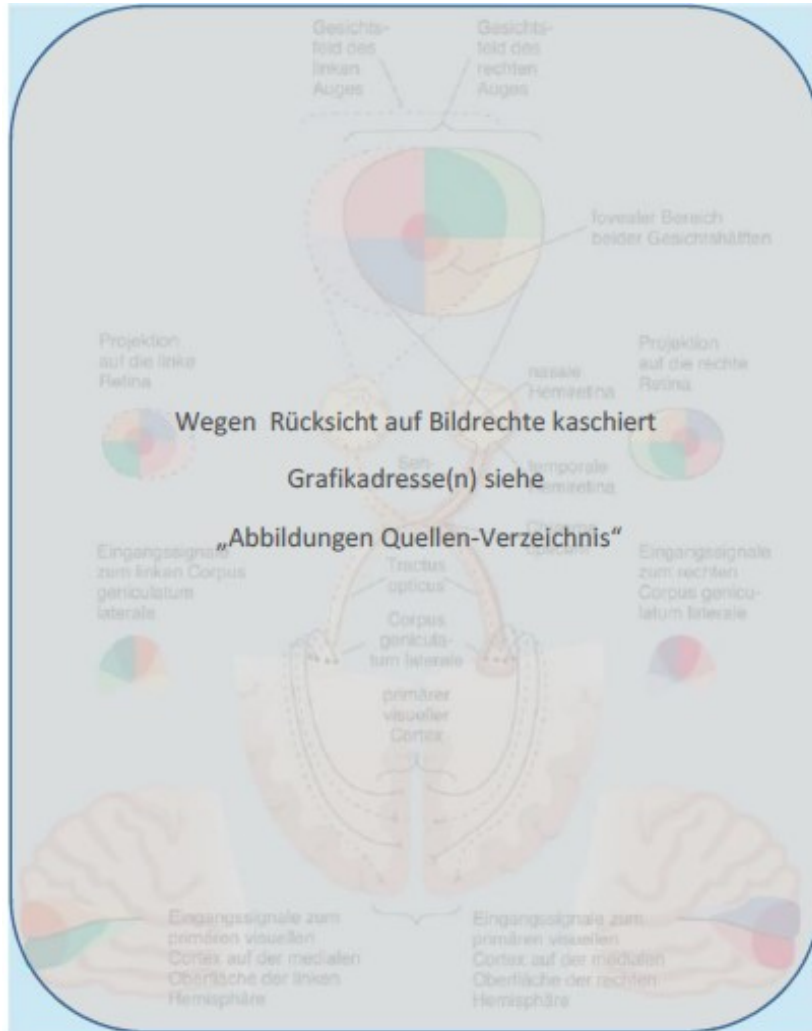


Abbildung 13 Visuelles System Überblick 1

Obwohl das überschneidende Gesichtsfeld frontaler Augen eine essentielle Grundlage unserer visuellen Raumwahrnehmung bildet und markant in der Anordnung der Nervenbahnen zum Ausdruck kommt, soll im Folgenden auch auf evolutionär ältere Strukturen der Verarbeitung visueller Reize hingewiesen werden, die auch bei monokularer Wahrnehmung zu einer geometrieaffinen Strukturierung des Ambientes beitragen.<sup>112</sup>

<sup>110</sup> Die Aufzählung der mit Ausnahme des Chiasmus paarig symmetrisch angeordneten Komponenten erfolgte der Einfachheit halber im Singular.

<sup>111</sup> Die Sehstrahlung ist in der Abbildung nicht beschriftet. Es geht um jene teilweise strichlierten Linien, die von Corpus geniculatum zum primären visuellen Cortex führen.

<sup>112</sup> Auch wenn binokulare Stereopsis als Basis der dreidimensionalen Erscheinung unseres visuellen Perzepts gilt, ist den monokularen Potentialen zur räumlichen Strukturierung des Ambientes in unserem Kontext auch deshalb entsprechende Aufmerksamkeit zu widmen, weil Poincaré sehr fundamental in Ansatz bringt, dass uns im Rahmen des Schauspiels der Perspektiven allein schon die monokulare Betrachtung unter Einbeziehung der Muskelempfindungen einen Begriff von Raum geben kann. (Cf. Poincaré, 1906, S. 70 f.)

Dieser Hinweis bezieht sich auf die hier verfolgte Hypothese, dass unsere Raumwahrnehmung ein Konstrukt aus sehr heterogenen und teilweise rivalisierenden Komponenten darstellt. Damit soll eine auf die phänomenale Dreidimensionalität bezogene evolutionäre Begründung eines determinierenden Apriori untergraben werden.

#### 4.1.1 Neocortex, visuelle Areale V1-V8 : Topografischer Überblick mit Funktionsangaben

Für die weiteren Betrachtungen über die topischen und funktionalen Zusammenhänge der Verarbeitung visueller Daten im Neocortex (ab einschließlich V1) wird zur Orientierung ein grober Überblick über die Gliederung des Neocortex nach so genannten Gehirnlappen vorangestellt.

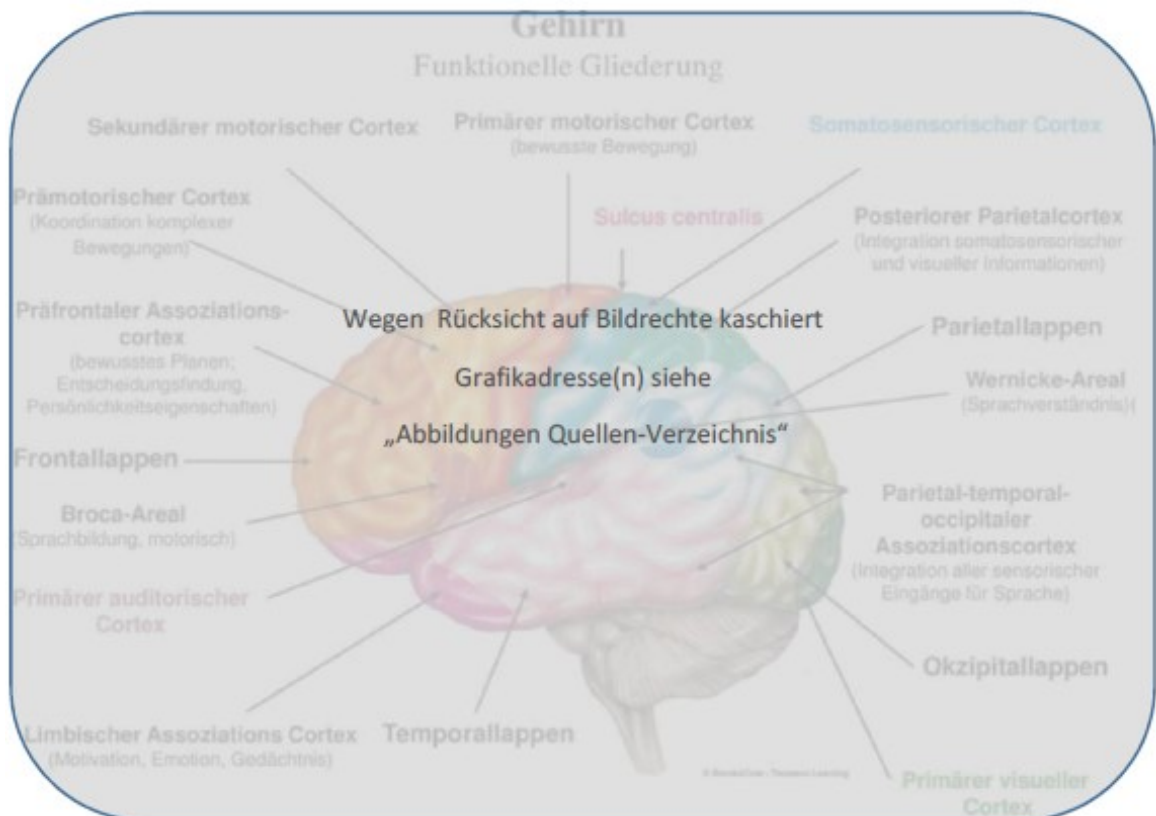


Abbildung 14 Gehirn, topografisch - funktionelle Gliederung

Bei der Lokalisierung von Funktionen gilt immer der Vorbehalt, dass einerseits nach wie vor vieles noch nicht bekannt ist. Andererseits sind wegen der permanenten Interaktionen im komplexen Netzwerk eindeutige Funktionszuweisungen prinzipiell problematisch, oder zumindest sehr schwierig.

Über lange Zeit bildeten Funktionsausfälle nach Verletzung bzw. Zerstörung bestimmter Gehirnareale durch Krankheit und Unfälle oder im Tierversuch herbeigeführte, ein wesentliche Grundlage der Zuordnung. Inzwischen gibt es eine Vielzahl von Verfahren der Analyse, darunter auch solche, die sogar (weitgehend) in Echtzeit Einblick in Prozessabläufe von Gehirnarealen ermöglichen, die bei bestimmten Funktionen bevorzugt gemeinsam aktiv sind.

113

<sup>113</sup> Es ist z.B. bemerkenswert, dass bei Prozessen visueller Vorstellung dieselben Gehirnareale aktiviert werden wie bei visueller Wahrnehmung. „...Somit ist die Arbeit von Klein et al. (2004) der erste experimentelle Nachweis einer

Trotz dieser Möglichkeiten geht es auch darum, sich neben der weiterhin bestehenden Hürde der enormen Komplexität auch der fundamentalkritischen Frage bewusst zu sein, was man denn über kognitive Potentiale bzw. „den Geist“ (mind / esprit) weiß, auch wenn man über ein komplexes topologisches Funktionsmodell des interaktiven Netzwerks des Gehirns verfügt.<sup>114</sup>

Aus historischer Sicht ist anzumerken, dass der Neuroanatom Korbinian Brodmann 1909 unter dem Titel *Vergleichende Lokalisationslehre der Großhirnrinde in ihren Prinzipien dargestellt auf Grund ihres Zellenbaues* eine Gliederung von Gehirnregionen nach histologischen Kriterien publizierte. Dabei ist zu beachten, dass es sich zunächst um eine anatomische Gliederung nach Kriterien der Zytoarchitektur<sup>115</sup> handelt, auch wenn kolportiert wird, dass Brodmann auch Verbindungen zur Funktionalität mancher Areale angedacht habe, seine diesbezüglichen Versuche aber offenbar nicht ausreichend erfolgreich waren. Die funktionelle Neuroanatomie wurde erst deutlich später fündig. Bahnbrechend waren ab den späten 1950er Jahren die Untersuchungen von David Hubel und Torsten Wiesel über die Informationsverarbeitungen im visuellen Cortex von Affen und Katzen. In jüngerer Zeit sind die Analysen der neuronalen Netze und ihrer funktionalen Verbindungen mit Hilfe verfeinerter Techniken umfangreich fortgeschritten und führen mit räumlich und zeitlich hochauflösenden Technologien zu sehr anschaulichen Ergebnissen.<sup>116</sup>

Dieser Hinweis erfolgt besonders deshalb, weil daraus hervorgeht, dass sich die naturwissenschaftliche Analyse des Netzwerks der Funktionsareale des Gehirns zu Beginn des 20. Jahrhunderts zwar im Aufbruch befand, aber für Poincaré offenbar noch keine in seine Überlegungen integrierbaren, validen Ergebnisse verfügbar waren.<sup>117</sup>

Wie die folgende Abbildung deutlich macht, erreicht der Weg der visuellen Daten mit dem Eintritt der Sehstrahlung in die primäre Sehrinde den Neocortex im caudalen Bereich des Occipitallappens.

Insgesamt nimmt der visuelle Cortex (auch Sehrinde) offenbar den Großteil des Occipitallappens ein, wird aber nach speziellen Funktionen weiter in mit V bezeichnete visuelle Areale differenziert.<sup>118</sup>

---

retinotopen Aktivierung früher visueller Areale bei einer Vorstellungsaufgabe.“ (Mast, 2005, S. 81 f.). Dies wird auch an anderer Stelle dieser Arbeit angesprochen.

<sup>114</sup> Cf. Qualia-Problem. Cf. Churchland: Neuropsychologie-Neurophilosophie

<sup>115</sup> „Als Zytoarchitektur bezeichnet man die Zusammensetzung eines Gewebes im Hinblick auf die Größe, Anordnung, Dichte und Form der vorhandenen Zellen.“ (<https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Zytoarchitektur> 30.7.2019)

<sup>116</sup> Z.T. nach ([https://de.wikipedia.org/wiki/Korbinian\\_Brodmann](https://de.wikipedia.org/wiki/Korbinian_Brodmann)) und ([https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte\\_der\\_Hirnforschung#Kartierung\\_der\\_Gro.C3.9Fhirnrinde\\_und\\_Fortschritte\\_der\\_funktionellen\\_Lokalisation](https://de.wikipedia.org/wiki/Geschichte_der_Hirnforschung#Kartierung_der_Gro.C3.9Fhirnrinde_und_Fortschritte_der_funktionellen_Lokalisation) 4.5.2017)

<sup>117</sup> Ich meine aber, dass die Annahme legitim ist, dass Poincaré gegebenenfalls auch (einigermaßen) validen Ergebnissen aus diesem Bereich mit Aufmerksamkeit nachgegangen wäre. So, wie er es zum Beispiel bezüglich der sinnphysiologischen Forschungen von Helmholtz getan und sogar die Rolle der Muskelsinne in seinen erkenntnistheoretischen Ansatz integriert hat. Eine Zuwendung zur Funktionsanalyse der Gehirnanreale hätte also nach meiner Ansicht auch nahtlos zu Poincarés Suche nach den Fundamenten gepasst.

<sup>118</sup> Die Benennungen dieser Bereiche sind bisweilen noch komplexer bzw. manchmal etwas diffus. Neben der älteren Nomenklatur, mit Area 17 (primäre Sehrinde) und Area 18-21 (höhere Assoziationsgebiete), die sich an Brodmanns zytoarchitektonischer Einteilung orientiert, gibt es auch ein neueres Bezeichnungssystem. Dieses zielt mit der Benennung der primären Sehrinde als V1 und der nachfolgenden Assoziationscortices V2-V5 auf funktionelle Bestimmung von Projektionsgebieten. (nach Eysel, 2010, S. 723) Diesen Umstand gilt es bei den Legenden in den Abbildungen unterschiedlicher Provenienz zu beachten. Es wird im Zuge dieser Arbeit aber nicht versucht, der Klärung von diesbezüglichen Details nachzugehen, weil es hier nur um die Andeutung grober Zusammenhänge und die Veranschaulichung des Prinzips geht und gehen kann.

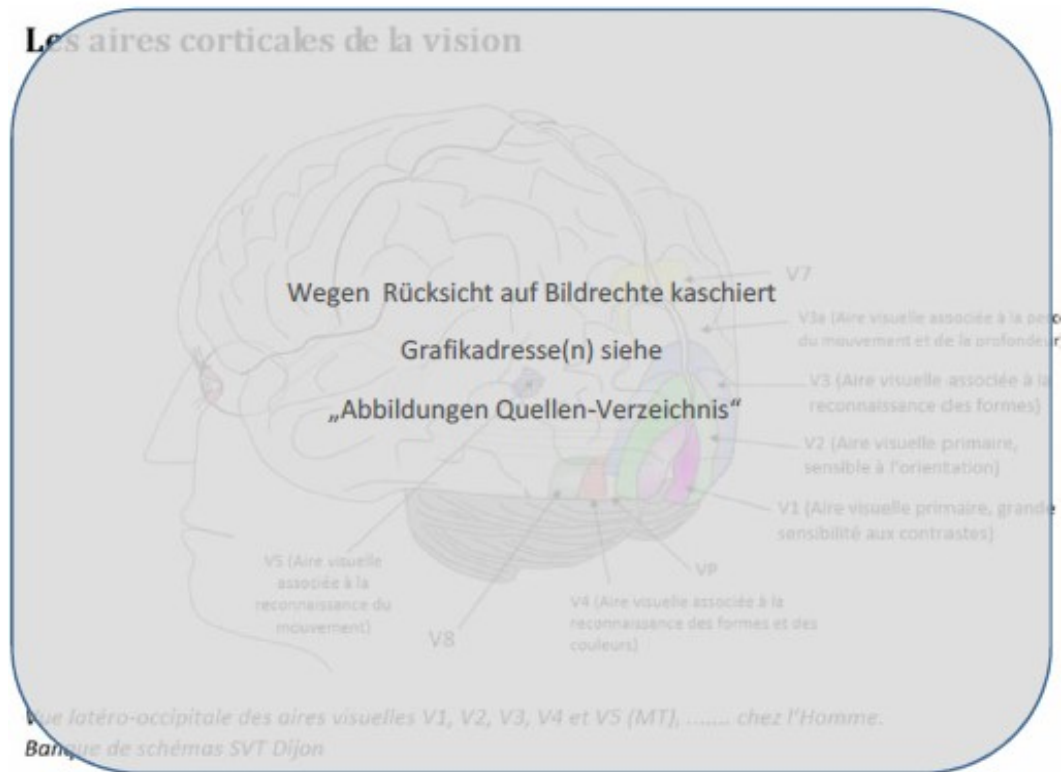


Abbildung 15 Aires corticales de la vision

## 4.2 Geometrieaffine funktionelle Schwerpunkte

Auch wenn einzelnen Arealen mehr oder weniger exakt spezifische Leistungsschwerpunkte zugeordnet werden können, ist es angesichts der Komplexität von Wahrnehmungsleistungen angebracht, nach der Einzelaufzählung der Areale <sup>119</sup> eine kurze Betrachtung aus Perspektive komplexerer Funktionalitäten anzufügen.

### 4.2.1 Rösler: Schon auf Ebene der Retina emergente Eigenschaften durch Verschaltung von Neuronen

Diese Bemühung um Darstellung der Verteilung spezieller Sensibilitäten auf verschiedene Areale und deren funktionelles Zusammenwirken ist auch von einem Aspekt motiviert, den Rösler bezogen auf einen einfacheren Zusammenhang in der Retina darstellt und der nach meiner Einschätzung in Einklang mit Rösler auch als übertragbares Prinzip für komplexere Zusammenhänge auf höheren neurokognitiven Verarbeitungsebenen bedenkenswert ist. Die Legitimation für diesen Transfer zum als Prinzip tauglichen Modell finde ich einerseits in der Plausibilität der Argumentation in dem von Rösler konkret angesprochenen Bereich der Retina. Andererseits gibt im folgenden Zitat gerade das Wort „bereits“ einen Hinweis auf die weiterführende Tragfähigkeit des Modells „**emergenter Eigenschaften**“ hinsichtlich komplexerer funktioneller Netzwerkstrukturen.

„Die beschriebenen Filtereigenschaften einzelner Neurone entstehen durch die Interaktion erregender und hemmender Verschaltungen. Es sind also nicht Eigenschaften, die einem einzelnen Neuron allein

<sup>119</sup> Cf. Anhang



zukommen. Vielmehr entstehen sie als emergente Eigenschaften aus der Verschaltung mehrerer Neurone. Das gilt bereits auf der Ebene der Retina.“ (Rösler, 2011, S. 66)<sup>120</sup>

#### 4.2.2 Mach'sche Streifen<sup>121</sup>

Eines der elementaren Konstrukte visueller Verarbeitung bilden Mach'sche Streifen. Durch spezielle Schaltkreise von Neuronengruppen werden Übergangsbereiche mit geringen Helligkeitsunterschieden kontrastierend verstärkt. Das trägt wesentlich zur von der Umgebung abgrenzenden Formerkennung von Objekten und Richtungsbestimmung von Linien bzw. Konturen bei.

In seiner Abhandlung „Über die Wirkung der räumlichen Vertheilung des Lichtreizes auf die Netzhaut“ (1865) beschreibt Mach das Auftreten zusätzlicher heller und dunkler Streifen im Grenzbereich des Helligkeitswechsel, den er in systematischen Beobachtungen z.B. an der gekrümmten Oberfläche eines beleuchteten Zylinders beobachtet.<sup>122</sup> Er kommt dabei zum Ergebnis, dass es sich um ein Kontrastphänomen handelt, das mit Präferenzen der Reizverarbeitung zusammenhängt, die auf Detektion von Diskontinuitäten ausgerichtet sind, wobei er eine Korrelation mit dem Formverlauf gekrümmter Flächen herstellt und den Wendepunkt beim Übergang von convex zu concav für sehr wesentlich hält:

„Es sind also die Knickungen<sup>123</sup> und Krümmungen viel auffallender als die Steigungen. Ich möchte sagen die Steigungen machen sich stets nur durch ihr Endresultat geltend, während die Krümmungen und Knickungen unmittelbar wirken. Offenbar treten nun die letzteren hauptsächlich an den Contouren der Netzhautbilder auf, und gerade diese Contouren sind für die Erkenntnis der äusseren Objecte am wichtigsten... Das Sehorgan zeigt ein gewisses unverkennbares Streben zu Schematisieren, indem es blos auffallende Ungleichförmigkeiten beachtet.“ (Mach, 1865, S.13)

„Mir scheinen die besprochenen Phänomene allein durch die Wechselwirkung benachbarter Netzhautstellen erklärbar“ (Mach, 1865, S. 15)

Damit spricht Mach offenbar die laterale Inhibition an und knüpft daran auch Überlegungen über unbewusste Schlüsse, wobei er vorschlägt und damit seine Position deklariert, deren Prämissen in den Sinnesapparaten selbst aufzusuchen.<sup>124</sup>

---

<sup>120</sup> Hier erfolgt keine Betrachtung des auch aus Sicht evolutionärer Erkenntnistheorie hochrelevanten Begriffes „Emergenz“. Das soll im Rahmen des Möglichen und Notwendigen in einem eigenen Kapitel geschehen. (Cf. Small World Networks)

<sup>121</sup> Cf. Anhang

<sup>122</sup> Dabei sind Ähnlichkeiten mit Tourtuals Untersuchungen und daraus gezogenen Schlüssen auffällig.

<sup>123</sup> Cf, Mallot Tiefensprünge

<sup>124</sup> „Sind Stäbchen wirklich die empfindenden Endelemente, so müssen ihre Erregungen entschieden eine Reihe von Wechselwirkungen erfahren, bevor sie in die Opticusfaser übergehen. Ich möchte sagen, die Netzhautelemente machen es zum Theile unters sich aus, welche Empfindungen sie weiter leiten. Bestimmtere Vermutungen würde ich vorläufig nicht wagen. Ich zweifle nicht, dass manche Physiologen geneigt wären, die besprochenen Phänomene, statt durch die Structur der Retina und physicalische Prozesse in derselben, durch unbewusste Schlüsse und Urtheile zu erklären, falls sich nur irgend ein Princip dafür auffinden liesse. Ich halte auch diese Auffassung der Sinnesorgane gewissermassen für einen Fortschritt. Warum sollen auch die Sinnesorgane nicht eine gewisse Logik haben?...Ich kann nur damit nicht einverstanden sein, dass man für die Schlüsse der Sinnesorgane,... Prämissen von einer Art aufsucht, auf welche sich nur bewusste Schlüsse bauen lassen, statt die wahren Prämissen so wie die entsprechenden Vorgänge und Organe in den Sinnesapparaten selbst aufzusuchen.“ (Mach, 1865, S.17f)

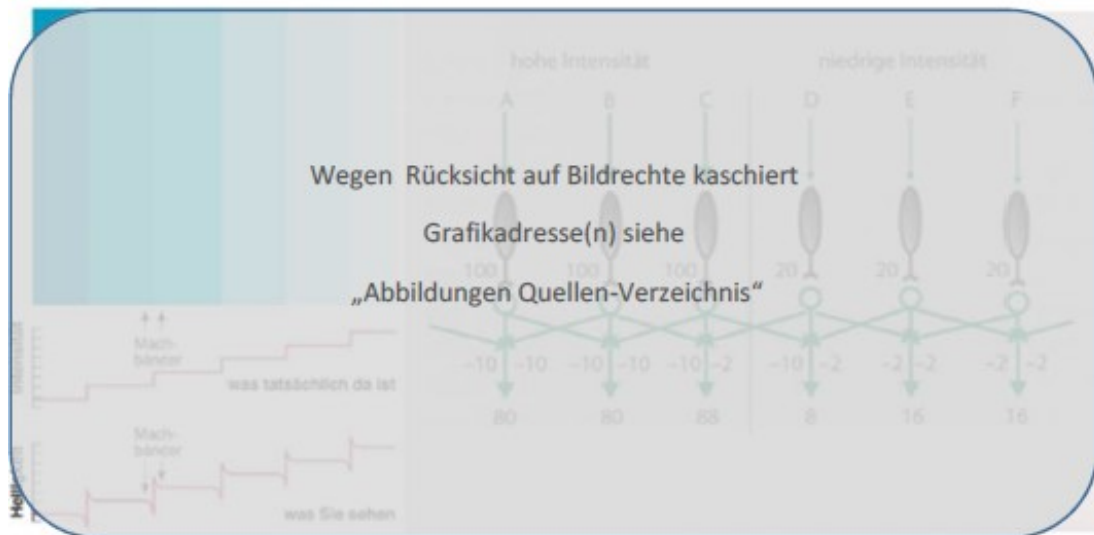


Abbildung 16 a) Mach'sche Streifen b) Laterale Hemmung (Hagendorf et al., 2001, S. 70)

Es wird hier als ein Zeichen ihrer auch aktuell als essentiell für die Formerkennung wichtigen Bedeutung gewertet, dass Kandel die konturverstärkende Funktionsweise von Mach'schen Streifen und deren komplexe neuronalen Grundlagen erläutert:

„In Wahrheit existieren diese Linien nicht.<sup>125</sup> Mittlerweile wissen wir, dass sie von Strukturen rezeptiver Felder hervorgerufen werden: Der zentrale erregende Bereich eines rezeptiven Feldes, -entweder ein kleiner Kreis, wie in Netzhaut und Thalamus, oder ein Balken, wie in der Hirnrinde- ist von hemmenden Bereichen umgeben, die Kontraste betonen und sowohl dunkle als auch helle Oberflächen am Rand verstärken. Das führt zur Wahrnehmung der schärfer konturierten Grenzen der Mach'schen Streifen.“ (Kandel, 2012, S. 322)

Hagendorf illustriert, wie schon in der Netzhaut die Verschaltung von Horizontal- und Amakrinzellen durch laterale Inhibition<sup>126</sup> zur Kontrastverstärkung beiträgt und erläutert das abgebildete Schema:

„Gegenseitige Hemmung von sechs Rezeptoren. Angegeben ist der ungehemmte Ausgang bei A, B und C mit 100 sowie bei D, E, und F mit 20 Einheiten. Die gegenseitige Hemmung macht immer 10% dieser ungehemmten Aktivität aus. Durch Subtraktion dieser Hemmungsbeträge ergibt sich die Antwort der bipolaren Zellen.“ (Hagendorf, 2011, S. 70)

Durch den unterschiedlichen lateralen Einfluss auf die benachbarten Zellen diesseits und jenseits der Grenze unterschiedlich heller Zonen wird gemäß Schema von der in der helleren Zone gelegenen Zelle C eine erhöhte Restaktivität von 88 und bei der im dunkleren Bereich liegenden Zelle D nur eine verminderte mit dem Wert 8 weitergeleitet. Das erhöht den Kontrast im Grenzbereich.

So verstärkte Konturen bzw. Linien werden schon in V1 durch andere spezialisierte Zellen bzw. Schaltkreise bezüglich Länge, Orientierung und gebildeter Winkel ausgewertet; also nach explizit geometrieaffinen Kriterien.<sup>127</sup>

<sup>125</sup> Cf. Kaniza, Illusory contours

<sup>126</sup> Wurde laut Hagendorf (2011, S. 70) von Ratcliff et al. um 1956 am Auge eines Krebses untersucht.

<sup>127</sup> Cf. Anhang

#### 4.2.3 Konturinformation

Über das Netzwerk, das für Konturen sensibel bzw. in deren Verarbeitung eingebunden ist, schreibt Rösler und betont im Umfeld auch, dass es dabei um kein Einbahnsystem, sondern um bidirektionale Verbindungen geht, die auch wieder an vorangegangene Stufen zurückprojizieren:

„Konturinformation wird ebenfalls von den P-Zellen in V1 eingespeist, dort in richtungsspezifischen Säulen verarbeitet und über die blassen Streifen von V2 an die nachgeordneten Areale V3 und V4 weitergeleitet. In V4 konvergieren u. a. Form- und Farbinformationen, so dass diese Zellen sowohl in Farb- als auch in Konturfilter eingebunden sind.“ (Rösler, 2011, S. 70) <sup>128</sup>

#### 4.2.4 Kollinearität

Willmes macht von diesem Begriff aus auf die komplexen Verarbeitungsprozesse zur Konstruktion von zusammenhängenden Linien und deren Integration in die Objekterkennung aufmerksam:

„Nach einer ersten primären Analyse der Objektform werden auf einer übergeordneten Ebene Elemente auf Basis ihrer Kollinearität, d.h. der Eigenschaft, als zusammenhängende Linie perzipiert zu werden, zueinander gruppiert. Es wird angenommen, dass dies schon im primären visuellen Kortex passiert, und es gibt Hinweise, dass in V2 eine Gruppierung von Elementen nach **Kollinearität** erfolgt (Riddoch u. Humphreys, 2001) und dass erst danach die Zuweisung bzw. Erkennung von Kanten und Ecken zu Objekten erfolgt“ (Willmes, 2013, S. 323) <sup>129</sup>

Nach weiteren von Willmes zitierten Studien sind aber auch V3a und V4 und Teile des LOC in die Verarbeitung kollinearere Muster eingebunden, so dass „die Kodierung globaler Formen von der Analyse lokaler Orientierung in Strichmustern in V1 bis zur selektiven Repräsentation von Merkmalen höherer Ordnung (Linien, Grenzen) im temporalen Cortex fortschreitet.“ (Willmes, 2013, S. 324) (LOC - Lateral Occipital Complex)

Gemäß einer Studie von Walther et al. (2011) ist erkennbar, dass im Vergleich fotografischer und linearer Darstellung von Landschaften, Architektur und anderen Szenen, schon die Zeichnung für eine Identifikation der Szene im Zuge der neuronalen Verarbeitung tauglich und der Fotografie gleichwertig ist. Walther schließt daraus, dass auf neuronaler Ebene auch lineare Repräsentationen existieren bzw. dass Konturen für die Kategorisierung von Szenen eine bedeutsame Rolle spielen.

“Simple line drawings suffice for functional MRI decoding of natural scene categories... We conclude that global scene structure, which is preserved in line drawings, plays an integral part in representing scene categories.” (Walther, 2011, Abstract)

#### 4.2.5 Formwahrnehmung

Willmes berichtet gemäß einer Studie von Murray et al. (2002) über unterscheidbare Aktivitäten visueller Areale beim Erkennen von Zufallsfiguren sowie einfachen 2D- und 3D-Formen laut folgender Abbildung. Willmes fasst zusammen:

„Sie fanden dabei eine Abnahme der Aktivierung in V1 mit zunehmender Struktur der Form, maximal bei 3D Figuren sowie eine entsprechende Zunahme im **lateralen okzipitalen Komplex (LOC)**, der mit höherer visueller Formwahrnehmungsleistung assoziiert wird. Hieraus schließen die Autoren, dass V1 vor allem mit lokalen Stimuluseigenschaften beschäftigt ist, die noch keinen Rückschluss auf ein

---

<sup>128</sup> P-Zellen: Parvo-Zellen

<sup>129</sup> Cf. Roth: Bindungsproblem

übergeordnetes Objekt zulassen. Dem LOC wird auch aufgrund anderer Studien eine spezifische Rolle bei der Gruppierung von einzelnen Formelementen in ein Objekt oder eine kohärente Szene zugeschrieben“ (Willmes, 2013, S. 321)

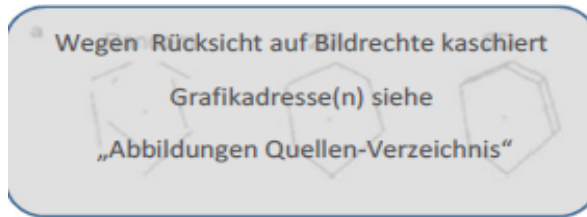


Abbildung 17 Teststimuli für Formwahrnehmungsleistungen

Diese Interpretation passt auch zu einem Bericht über die Folgen einer beidseitigen Läsion des LOC, über die Anja Bethmann im Abschnitt „Der ventrale Weg der Objektverarbeitung“ berichtet:

„Dementsprechend resultierte die visuelle Formagnosie bei der Patientin DF aus einer bilateralen Läsion des LOC.“ (Bethman, 2012, S. 13) <sup>130</sup>

Auch eine jüngere Publikation betont die Rolle des LOC und stellt seine Funktion für die Formerkennung schon bei Kleinkindern mit etwa sechs Monaten fest.

“The Lateral Occipital Cortex Is Selective for Object Shape, Not Texture/Color, at Six Months.” (Emberson et al., 2017, Abstract)

Jessica Karanian et al. haben 2015 in ihrem Report „Memory for shape reactivates the lateral occipital complex“ festgestellt, dass der LOC nicht nur im Zuge der formbestimmenden Wahrnehmung, sondern auch bei Erinnerungsprozessen aktiviert wird bzw. aktiv ist und dabei sensibel auf die Charakteristik der Form einschließlich geometrischer Merkmale reagiert:

“In terms of function, LOC generally responds to shapes and objects to a greater degree than textures, patterns, and random visual noise (Malach et al., 1995). LOC is also more responsive during perception of intact images than scrambled images under numerous stimulus manipulations (i.e., lines, shading, texture, and depth cues; Kourtzi and Kanwisher, 2000), and neurons within LOC decrease in firing rate as images become more scrambled (Grill-Spector et al., 1998). It has also been suggested that LOC processes higher-level shape information, as opposed to lower-level feature information (Kourtzi and Kanwisher, 2001), and its activity is correlated with accurate object perception (Grill-Spectoretal, 2000). Reiterating the role of LOC in higher-level representation of shape, this region is also active during mental imagery of geometric properties (Newman et al., 2005; see also, Deshpande et al., 2010).” (Karanian et al., 2015, S. 125) <sup>131</sup>

Dies erscheint nicht nur als kompatibel mit Masts Hinweis, dass Vorstellung die selben visuellen Areale aktiviert wie das direkte Wahrnehmen von Objekten (Cf. Mast, 2005, S. 81 f.). Es erscheint auch als naheliegend, den LOC als Komponente im Sinn der Gestalttheorie mit Präferenz für möglichst homogene Formen geltend zu machen. Geht man, wie in der hiesigen Arbeit, von einem Wahrnehmungsmodell aus, das externe Stimuli weitgehend ignoriert/unterdrückt und im Gegenzug aus wenigen Indizien ein möglichst homogenes, stark top-down angereichertes Perzept konstruiert/hochrechnet, dann bietet sich der LCO geradezu als neuronales Korrelat mit spezifischen Funktionen an. Das bezüglich des Umgangs mit der Form von Objekten feststellbare Zusammentreffen von vorstellungs- und

<sup>130</sup> Bethmann erläutert auf S. 11 auch ein interessantes 4- Stufenmodell der Objektidentifikation

<sup>131</sup> Eine Illustration der Position des LOC im Gehirn wird im Anhang wiedergegeben: Abbildung 69 LOC Lateral Occipital Complex (Karanian et al. 2015)

wahrnehmungsinduzierter Aktivität in den selben Gehirnarealen ist auch konvergent mit den an anderer Stelle dieser Arbeit mit dem Schlagwort „Man sieht nur mit Gedächtnis gut“ angestellten Überlegungen und betrifft im dort angesprochenen Sinn auch Poincaré, weil gerade auch zur (unbewussten) Auswertung des Schauspieles der Perspektiven eine subtiles Einbinden gedächtnisaffiner neuronaler Strukturen und Leistungen essentiell ist. Diesbezüglich ist auch der Hinweis auf die Affinität des LOC zu „accurate object perception“ bedeutsam, weil nur das Potential zur präzisen und möglichst vollständigen Formbestimmung eine geometrisch tragfähige Auswertung des Schauspiels der Perspektiven ermöglicht. Eine diesbezügliche Korrelation zum LOC wird wohl in der soeben zitierten Aussage über geometrieaffines Vorstellungsvermögen bestärkt: „...,this region is also active during mental imagery of geometric properties...“ (Karanian et al., 2015, S. 125)

Im Sinn der in dieser Arbeit fokussierten top-down Leistungen ist auch noch anzumerken, dass der LOC im Bereich der ventralen Bahn liegt und auch wesentlich am so genannten „**IC effect**“, beteiligt ist, also am Generieren von illusionären Konturen, die wiederum mit der Konstruktion möglichst vollständig erscheinender Objekte zu tun haben.<sup>132</sup>

“Objects' borders are readily perceived despite absent contrast gradients, e.g. due to poor lighting or occlusion. In humans, a visual evoked potential (VEP) correlate of illusory contour (IC) sensitivity, the "IC effect", has been identified with an onset at ~90 ms and generators within bilateral lateral occipital cortices (LOC)” (Anken et al, 2016, Abstract)

Anken nennt den Mangel an Kontrast als einen der Gründe für den Bedarf nach illusionären Konturen: “Objects edges might be absent due to differences in surface or absence in contrast gradients. (Anken, 2017, S. 9). Wenn weiters nach Hoffman (2001, S. 101) bei vielen Tierarten „erhebliche Teile des Zentralnervensystems mit der Konstruktion von Linien befaßt sind“, dann spricht das nicht nur für die hohe evolutionäre Relevanz von Linien im Sinn von formbegrenzenden Konturen zur Detektion und Ablösung von Objekten aus dem Ambiente. Es erscheint auch folgende gedankliche Brücke von illusionären Konturen zu Mach'schen Streifen als plausibel.

So wie illusionäre Konturen bei völliger Abwesenheit von Kontrasten dazu führen/beitragen, die möglichst vollständig geschlossene Form von Objekten durch top-down Leistungen höherer visueller Areale zu ergänzen bzw. aus wenigen Indizien hypothetisch hochzurechnen, so ist das visuelle System von Beginn an in hohem Ausmaß auf Detektion von Kontrasten und daraus ableitbaren Grenzen ausgelegt. Schon die neuronale Verschaltung der lichtsensiblen Zellen der Retina führt durch laterale Inhibition zur systemspezifisch generierten Verstärkung von Hell-Dunkel Kontrasten, die in Form der Mach'schen Streifen den Übergangsbereich von Helligkeitsunterschieden über das extern bestehende Ausmaß hinaus forciert und möglichst klare Grenzen markiert. Dieser neuronale Verstärkungs-Mechanismus setzt sich bis in das Areal V1 fort. Wenn wegen nicht ausreichend verfügbarer externer Helligkeitsunterschiede die Leistungsfähigkeit der Kontrastverstärkung durch Mach'sche Streifen nicht mehr wirksam werden kann, oder wenn partielle Verdeckung geschlossene Konturen konterkariert, dann werden diese extern bestehenden Defizite der Formabgrenzung intern durch das vikariierend wirksame System illusionärer Konturen möglichst kompensiert, um eine taugliche Wahrnehmung der Gestaltgrenzen des fokussierten Objekts zu gewinnen bzw. aufrecht zu erhalten.

---

<sup>132</sup> Illusory contours (IC) werden im Verlauf dieser Arbeit wiederholt mit dem von Hoffman (2001, S. 75) im Zusammenhang mit dem Phänomen des Kanizsa- Dreiecks verwendeten Begriffs **subjektive Konturen/Linien** angesprochen. Cf. auch die Betrachtungen über die abstrakte Skulptur „Tetraeder“ in Nancy.

Die Bedeutsamkeit klarer Umriss für die Formerkennung lässt sich im Umkehrschluss auch daraus ableiten, dass ein fundamentales Konzept von Camouflage darauf ausgerichtet ist, klar erkennbare Objektbegrenzungen zu vermeiden bzw. zu konterkarieren.

Diese komplexen Prozesse der Wahrnehmung bzw. Konstruktion von Umrissen bezeichnet Kandel als Konturintegration, die gemeinsam mit der gleichzeitig erfolgenden Oberflächensegmentierung dazu führt, dass „diejenigen Bereiche des Bildes als *Figuren*, die mit einem Objekt verknüpft sind, und die übrigen Bereiche als *Hintergrund*“ identifiziert werden. (Kandel, 2012, S. 317)

Wertet man den von Kandel durch Kursivsetzung skandierten Ausdruck *Hintergrund* im wörtlichen Sinn als Aussage über räumliche Verhältnisse, dann gelangt man zu einer zumindest denkbaren Option, welche der Kontur eine implizite räumliche Dimension zuschreibt. Dies wird hier als eine Arbeitshypothese in Ansatz gebracht, auch wenn es dem generellen Verständnis und besonders auch der geometrischen Definition von Linien als eindimensional zuwiderläuft:

Es wird angenommen, dass es bei der Wahrnehmung von Kontrasten sowie der Kontrastverstärkung durch Mach'sche Streifen nicht so sehr darum geht, Helligkeitswerte und deren Verlauf wegen ihres Eigenwertes zu identifizieren, sondern vielmehr darum, aus dem Helligkeitsverlauf Rückschlüsse auf die plastische Form von Objekten und deren Abgrenzung zum Hintergrund zu ziehen, also Information über räumliche Verhältnisse zu gewinnen. Damit wird der Helligkeitsverlauf im Ambiente zumindest für motile Lebewesen mit komplexen visuokognitiven Systemen zu einem räumlich auswertbaren Zeichen im Sinn von Webers „signs“ (cf. Sense making).

Der kontinuierliche Wechsel des Helligkeitsverlaufs ist z.B. zum Identifizieren von Krümmungen der Oberfläche ebenso bedeutsam, wie andererseits markante Diskontinuitäten zur Detektion von Kanten taugen.<sup>133</sup>

Diese Interpretation wird als affirmativ kompatibel mit jenen Überlegungen angesehen, die sich auf die Illustration Todds (siehe Abb. 48) und das Kapitel 9.1.2 „Mallot: Binokulare Disparität, Tiefensprünge, Konturen“ und Machs Eindruck, dass unser Sehorgan „blos auffallende Ungleichförmigkeiten beachtet.“ (Mach, 1865, S.13)

Ebenso untermauern die an diesem Beispiel zum Tragen kommenden neuronalen Prozesse bzw. Areale den Aspekt von Top-down Komponenten.

So stellt z.B. Anken bezüglich der beteiligten Areale und der Frage von bottom-up bzw. top-down wirkenden Prozessen im Zusammenhang mit Illusory Contours fest:

„Nonetheless, debate continues regarding whether IC sensitivity results from a (presumably) feedforward process within low-level visual cortices (V1/V2) or instead are processed first within higher-order brain regions, such as lateral occipital cortices (LOC). Studies in animal models, which generally favor a feedforward mechanism within V1/V2, have typically involved stimuli inducing IC lines. By contrast, studies in humans generally favor a model where IC sensitivity is mediated by LOC and typically involved stimuli inducing IC forms or shapes... We propose that prior observations of effects within

<sup>133</sup> Der Vollständigkeit halber ist anzumerken, dass für die Detektion bzw. Konstruktion von Gestaltgrenzen nicht nur Diskontinuitäten des Helligkeitsverlaufs eine Rolle spielen, sondern auch Kontraste gemäß anderer Merkmale: „Für die Erkennung einer Gestaltgrenze sind so genannte Merkmalskontraste notwendig. Das visuelle System des Menschen ist darauf ausgelegt, solche Merkmalskontraste zu erkennen. Es handelt sich hierbei im Wesentlichen um Hell-Dunkel-Kontrast, Farbkontrast, Orientierungskontrast und Bewegungskontrast. Weitere Merkmale, die Kontrasterkennung zulassen, sind die Größe der Einzelelemente, aus denen sich das zu erkennende Objekt und seine Umgebung zusammensetzen und der Abstand dieser Einzelelemente voneinander – die sogenannte „spatial frequency“ (Wolfe und Horowitz 2004).“ (Kölle, 2013, S. 1f.)

lower-tier cortices (V1/V2) are the result of feedback from IC sensitivity that originates instead within higher-tier cortices (LOC).“ (Anken, 2017, S. 29)

So wie vor diesem Hintergrund Konturen und Linien zu einem visuokognitiven Konstrukt werden und zur Abgrenzung und Formbestimmung von Objekten beitragen, sind darüber hinaus auch diese wahrnehmbaren Objekte Konstrukte, mittels derer wir die externe Realität als interaktionstaugliche Umwelt strukturieren. Es geht dabei um Aspekte, die im Rahmen dieser Arbeit wiederholt mit dem Ausdruck visuokognitive „Objektkonstruktion“ ins Spiel gebracht werden. Diese konstruktivistische Interpretation stützt sich unter anderem auf Ladymans Aussage „objects are pragmatic devices“ (Ladyman, 2014, o.S.) und betrifft über die Rolle der „corps solides“ eine zentrale Komponente von Poincarés Fundamenten der Geometrie. In dem Maße, wie hier den neurophysiologischen Strukturen und den Verarbeitungsregeln des visuokognitiven Systems gestaltender Einfluss zukommt, ist diesen Strukturen und ihrer Evolution auch in einem auf diesen Bereich erweiterten Sinn von präexistierenden Voreinstellungen im Sinn einer Theoriebeladenheit der Wahrnehmung nachzugehen; gemäß Poincarés Warnung vor „vorgefassten Meinungen“<sup>134</sup> Die aus den Darstellungen von Kandel ablesbare Rolle von Konturintegration nach Präferenzen der Gestaltbildung und die damit kompatiblen Ausführungen Ankens über die Rolle des lateralen okzipitalen Komplexes (LOC) werden als diesbezüglich beachtenswerte Beispiele geltend gemacht.

Wie andernorts umfangreich dargestellt, wird in dieser Arbeit angenommen, dass die geringe Strahlungstoleranz einerseits und die Möglichkeit zur Energiegewinnung andererseits Komponenten eines evolutionären Milieus bilden, welche schon bei Einzellern die Ausbildung von lichtsensiblen transmembranen Proteinen sowie Photomotorik forcieren und so à la longue das Entstehen komplexer visuokognitiver Strukturen und Potentiale ermöglichen. In diesem Zusammenhang wird auch das Problem autonomer Systeme angesprochen, externen Stimuli Bedeutung zuzuweisen. Auf die äußerst komplexen und hier nur rudimentär angedeuteten Prozesse der Detektion und Konstruktion von Linien wird in dieser Arbeit deshalb so umfangreich eingegangen, weil das Interpretieren von Hell-Dunkel Kontrasten als Kanten bzw. Konturen als markantes Beispiel für eine Form der Zuweisung von Bedeutung geltend gemacht werden soll, bei der sich die für den Organismus relevante Information nicht mehr auf unmittelbare Auswirkung von Strahlung auf die aktuelle Befindlichkeit des Systems bezieht, sondern auf die Steuerung von Interaktionspotentialen auf Basis von Motilität mit zielgerichteten Bewegungen durch Integration von Information über die räumliche Strukturierung des Ambientes; also auf geometrieaffine Relationen. Ohne dies hier weiter auszuführen, wird das als ein essentieller Schritt zu einem semantischen Verhältnis zur externen Realität angesehen, der auf erkenntnistheoretischer Ebene mit einer Entkoppelung von der externen Realität verbunden ist, die an anderen Stellen dieser Arbeit mehrfach thematisiert wird.

#### 4.2.6 Neuronale Zentralperspektive : Spezielle Zellpopulationen in V1 und MST sensibel für konzentrische Ausdehnung bzw. Schrumpfung der Projektion auf der Retina

Eine Diskretisierung des Ambientes durch Objekte (einer Gruppe von Lichtstimuli) auf Basis der Relativbewegung erfolgt in verwandter Art auch dann, wenn das Objekt sich in Blickrichtung direkt auf den Beobachter zu, oder von ihm weg bewegt, also bezogen auf die Bildtiefe. Das hat einerseits mit der wechselnden Größe der Projektion gemäß Regeln der

---

<sup>134</sup> (Cf. Poincaré, 1906, S. 145)

Zentralperspektive zu tun und korreliert auf Seite der Reizverarbeitung damit, dass es spezialisierte Zellpopulationen gibt, die für konzentrische Ausdehnung bzw. Schrumpfung der Projektion auf der Retina sensibel sind.<sup>135</sup>

Diese vorangestellte Hypothese/Einschätzung soll dazu dienen, dass bei den nachfolgenden Betrachtungen über die getrennten Wege und Funktionen der beiden Verarbeitungsbahnen die Prämisse präsent bleibt, dass auch die Wo- Bahn zur Objektkonstruktion beiträgt und nicht ausschließlich die Lokalisierung von Objekten bestimmt.

#### 4.2.7 Bildausdehnungsrate der Kontur zur Detektion von Objektbewegungen entlang der Tiefenachse

Die Bildausdehnungsrate der Kontur wird zu einem effizienten Kriterium zur Lösung der hochbrisanten Frage, ob und wie schnell sich etwas dem Betrachter entlang der Tiefenachse der Blickrichtung geradlinig (auf kürzestem Weg) annähert oder von ihm entfernt. Diese Information ist sowohl für Flucht als auch Jagd ein entscheidendes Kriterium.

Vergleicht man die Komplexität der Daten, die zur Auswertung von Bewegungen entlang der Tiefenachse berücksichtigt werden müssen, wenn diese z.B. auf Basis der entfernungspezifisch wechselnden Konvergenz der Augen erfolgen soll, dann stellt die Bildausdehnungsrate ein ungleich einfacheres System dar, das zugleich bei höherer Objektgeschwindigkeit und auf größere Distanz präzisere Ergebnisse ermöglicht. Ein genügend schnelles Anpassen des Konvergenzwinkels ist ebenso schwierig, wie bei größerer Distanz durch schleifende Winkel eine Tiefenauswertung durch Triangulation unpräzise bis praktisch unmöglich wird. Das Fangen von Bällen und erst recht ein Blick in den Rückspiegel zeigt, wie effizient die Bildausdehnungsrate wirksam sein kann.

Berthoz macht die Auswertung der Bildausdehnungsrate als elegante simplexe Alternative im Unterschied zu komplexen Kalkülen geltend:

„Autre mécanisme particulièrement précieux : celui qui nous permet de détecter très rapidement un objet en mouvement qui s’approche à très vive allure. La solution trouvée à ce problème par notre cerveau est élégante : au lieu de partir dans des calculs complexes de distance, il nous suffit d’évaluer la surface apparente de l’objet et son taux de dilatation, c’est-à-dire le rapport entre sa surface apparente sur la rétine et la vitesse de dilatation de l’image.“ (Berthoz, 2009, S. 95)

Wenn z.B. das Areal MST nach Zilles spezielle Potentiale zur Detektion bzw. Auswertung von konzentrischen Größenveränderungen hat, dann wird das hier als ein in den neuronalen Strukturen verankertes Verarbeitungsschema interpretiert, das auch eine erhebliche Affinität zur Bildkompositionen auf Basis von Zentralperspektive aufweist. Dies betrifft nicht nur Standbilder, sondern trägt auch zur Erklärung bei, warum in Filmszenen rasche Objektbewegungen entlang der Tiefenachse so frappierend immersive Eindrücke provozieren können, obwohl die auf Basis der Akkommodation und Konvergenz erfassbare Distanz des „Objekts“ dabei immer gleich bleibt, weil sie an die Projektionsfläche gebunden ist.

#### 4.2.8 Stereopsis

Stereopsis ist für Raumwahrnehmung im Sinn dieser Arbeit wegen ihres Einflusses auf die kognitive Konstruktion geometrieaffiner dreidimensionaler Wahrnehmungs-Objekte ein

<sup>135</sup> „Besonders komplexe bewegte Muster, wie z.B. Expansion, Kontraktion und Rotation von optischen Flussfeldern führen zu einer Aktivierung von MST.“ (Zilles, 2006, S. 115) MST: medio-superior temporales Areal



spezielles Thema. Damit ist auch die neuronale Sensibilität für optische Disparität im Bereich der Gehirnnareale eine relevante Frage.

Im Bereich der visuellen Areale ab V1 gibt es neben spezifischer Sensibilität zum Erkennen bzw. Konstruieren von Kontrasten, Linien usw. auch solche, die besonders auf Merkmale der Bildunterschiede gemäß Augenabstand ausgerichtet sind.

Bereits das Verarbeitungspotential von V1 reicht offenbar noch weiter als schon oben geschildert wurde und betrifft dabei eine Grundlage der plastischen Objektwahrnehmung im Nahbereich: die **Querdisparation** infolge stereoptischen Sehens.

4.2.9 In V1 auch erste binokulare Zellen: Als fix vorinstallierte Verrechnungskomponente zur Integration unseres Augenabstandes?

Dieser spezielle Aspekt binokularer Zellen wird zwar in den eingesehen Publikationen eher selten und als Randbemerkung erwähnt, soll aber gerade deshalb hier mit folgenden Zitaten betont werden, um zugleich zu zeigen, wie weit gestreut diese Sensibilität für Disparität in den verarbeitenden visuellen Arealen verankert ist.

„In V1 finden sich die ersten binokularen Zellen, die nur auf Stimulation in beiden Augen reagieren. Zellen, die ein optimales Tuning bei einem bestimmten Ausmaß an Querdisparation zeigen, lassen sich bei der Katze vor allem in V1 und V2 isolieren... Allerdings scheinen für querdisparationsempfindliche Zellen zusätzlich auf der gesamten parietalen Bahn und zum Teil auch auf der temporalen Bahn zu existieren.“ (Müsseler, 2017, S. 25)

„Binokuläre Neurone, deren Aktivität von der Disparität abhängt, finden sich im Verlauf des visuellen Pfades zuerst in den oberflächlichen Schichten der primären Sehrinde, ebenso in V2, V3 sowie den Arealen MT/MST (Abb. 5.10) und scheinen geeignet, im Verbund größerer Zellansammlungen die Tiefe visueller Objekte zu codieren.“ (Haarmaier, 2012, S. 63)

Die Sensibilität für Disparität ist in unserem Zusammenhang ein bedeutsames Thema. Die auf den Abstand der Augen beim binokularen Sehen bezogene Disparität der Netzhautbilder ist nämlich ein wesentlicher Faktor der räumlichen Objektwahrnehmung im Nahbereich (bis etwa 6 Meter). Auf größere Distanzen nimmt diese Differenz ab und spielen dann eher (auch monokular identifizierbare) Parallaxen in Folge von Kopf- und Körperbewegungen und weitere Kriterien eine vorrangige Rolle bei der Tiefenwahrnehmung.

Das Vorgegangene legt u.a. die Vermutung nahe, dass die auf binokulare Disparität spezialisierten Zellen in V1 usw. so etwas wie eine fix vorinstallierte Verrechnungskomponente zur Integration unseres Augenabstandes in die räumliche Wahrnehmung bilden, die besonders für jene Daten sensibel sind, die zur (Konstruktion der) plastischen Erscheinung von Objekten im Nahbereich beitragen.<sup>136</sup>

4.2.9.1 Béla Julesz: Punktstereogramme

Béla Julesz Punktstereogramme, deren Räumlichkeit durch ein konzentriertes „Schielen“ ohne weitere technische Hilfsmittel aktiviert werden kann, werden hier als ein weiteres Indiz für die Eigendynamik strukturell verankerter Konstruktionsschemata ins Treffen geführt.

Seminarunterlagen der Universität Mannheim erläutern dieses stereoptische Phänomen und machen es mit gut nachvollziehbaren Illustrationen anschaulich:

---

<sup>136</sup> Der Nutzen eines frontalen Augenpaares mit fixem Abstand wird an anderen Stellen dieser Arbeit angesprochen.

„Besonders deutlich wird dies mit Hilfe von Abb.5, bei der durch Schielen das linke und rechte Quadrat binokular zu fusionieren ist. Es entstehen dann drei Quadrate, von denen das mittlere fixiert werden soll.



Abbildung 18 Binocular Fusion (Ciccarello et al., 1996)

Da die Abstände zwischen den Kugeln jeweils gleicher Farbe differieren, werden sie auf der linken Netzhaut an anderer Stelle abgebildet, als in der rechten. Die dadurch hervorgerufenen Querdisparationen führen zu einer räumlichen Wahrnehmung der Kugeln. Große Abstandsunterschiede zwischen den Bildern im linken und rechten Auge zu der jeweiligen Sehachse werden von unserem optischen System als großer Abstand zum Horopter interpretiert. Nach diesem Prinzip funktionieren Stereogramme, die sich alle die Möglichkeit des visuellen Systems Querdisparationen als räumliche Tiefe zu interpretieren zu Nutze machen, Abb.6“ (Ciccarello et al., 1996, o.S., Kap. 3)

Dabei ist auch zu beachten, dass im folgenden Beispiel die Vorlage nur ein abstraktes Muster bildet, sodass kein vorhandenes „Wissen“ über die räumlichen Gegebenheiten einer bereits bekannten Struktur oder eines bekannten Gegenstandes diesen 3D Eindruck unterstützt.



Abbildung 19 Punktstereogramm (Ciccarello et al., 1996)

„Abb. 2.6 Durch Schielen aus einem bequemen Bildschirmabstand gewinnt man den Eindruck, die Abbildung habe dreidimensionale Qualitäten. Bei einem ungeübten Betrachter stellt sich der Tiefeneindruck nach ca. 5-15 min. ein.“ (Abbildungen und Kommentar: Ciccarello et al., 1996, o.S., Kap. 3)

Bezogen auf Punktstereogramme nennt Rösler folgende Hirnareale, die an der Verarbeitung von Tiefeninformation ohne Objektinformation beteiligt sind:

„Eine Variation der diesen Reizen zugrunde liegenden Querdisparation aktiviert V1, V2, V3 und hMT+, wobei die jeweils stärksten Effekte in Area V3a hervorgerufen werden.“ (Rösler, 2011, S. 72)<sup>137</sup>

Auch Willmes (2013, S. 323) betont bei Makaken und Menschen die hohe Sensitivität des Areal V3a für stereoskopische Reize und stellt darüber hinaus mit Referenz auf Orban (2011) noch fest:

„Beim Menschen fanden sich dabei zusätzliche Aktivierungen innerhalb des dorsalen visuellen Verarbeitungsweges in V7, V4d und einer Region im kaudalen interparietalen Sulcus. Dabei werden

<sup>137</sup> Ö> hMT bezeichnet den medialen Temporallappen, der mit dem Zusatz h für human gekennzeichnet ist, weil ein vergleichbares Areal auch in der Forschung an Affen mit MT bezeichnet wird. MT/V5 gehört zum dorsalen Pfad.

Tiefeninformationen, die aus der Disparität, Bewegung und Oberflächenstruktur extrahiert werden, sowohl im dorsalen wie auch ventralen Pfad, Tiefenhinweise auf Basis der Objektschattierung hingegen überwiegend im ventralen Verarbeitungsweg verarbeitet.“ (Willmes, 2013, S. 323)

Die aktuelle Studie von Holly Bridge kommt zu konvergenten Ergebnissen:

“Cues related to object perception, such as three-dimensional shape from texture, are represented in the lateral occipital cortex (LOC) while those related to shading include a range of dorsal and ventral regions [21]. Similarly, an earlier study indicated that the lateral regions of visual cortex are involved in processing the combination of disparity and perspective cues [22]. Furthermore, using motion as an additional cue to depth leads to stronger responses in the region around hMT+ and the kinetic occipital area, indicating that these dorsal areas are also involved in the integration of such cues [13].“ (Bridge, 2016, o.S.)

#### 4.2.10 Weitreichende Aspekte von Stereopsis

Aus diesen Aussagen über Stereopsis lassen sich weitreichende Aspekte ableiten.

1 Tiefenwahrnehmung greift zur Analyse bzw. Konstruktion offenbar auf ein breites Spektrum unterschiedlicher Informationen zurück: z.B. Disparität, Bewegung, Oberflächenstruktur und Objektschattierung. (Cf.: form from ... bzw. shape from shading...)

2 Es gibt spezielle topisch organisierte Verarbeitungswege: Dorsale und ventrale Bahn

3 Manche Tiefeninformationen werden von beiden Bahnen verarbeitet, manche aber auch speziell zugeordnet. Dies führt letztlich zur funktionellen Charakterisierung als dorsale Wo- und ventrale Was-Bahn.

4 Schatten werden laut Willmes bevorzugt ventral verarbeitet. Dieser nur scheinbar marginale Aspekt verdient besondere Beachtung, weil er mit jenen Prozessen kognitiver Objektkonstruktion verbunden sein dürfte, bzw. ein Indiz dafür ist, die im Sinn meiner Arbeitshypothese über den Merkmalskomplex „feste Körper“ gemäß Poincaré fundamentale geometrieaffine Komponenten bilden .<sup>138</sup>

5 Aus der dislozierten Verarbeitung voneinander unterschiedlicher Informationen ergibt sich weiters die Frage, wie diese Daten zu einer kohärenten Wahrnehmung integriert werden: das so genannte **Bindungsproblem**. Dieses Bindungsproblem betrifft auch die Fusion der auf Grund des Augenabstands divergierenden Bilder frontaler Augen und führt zu Effekten, die an anderer Stelle im Zusammenhang mit Piecemeal Rivalry besprochen werden.

#### 4.3 Wo – Was - Bahn : Grundsätzliche Charakterisierung als bevorzugte neuronale Highways mit unterscheidbaren funktionellen Schwerpunkten

Aus folgendem Schema Engels ist neben der interaktiven Vernetzung noch ein spezieller Aspekt ablesbar, der hier extra verfolgt werden soll, weil es dabei nicht nur um markante Strukturen der visuellen Reizverarbeitung geht, die nicht nur, aber auch im Zusammenhang mit Stereopsis eine markante Rolle spielen.

---

<sup>138</sup> Das Phänomen formunterstützender Schattierung hat nicht nur in der bildenden Kunst, sondern auch in der Darstellenden Geometrie eine lange Tradition. Laut Scriba (2005) betonte Monge selbst den Nutzen von Schatten für die Eindrücklichkeit technischer Zeichnungen. ( cf Georgieva: shape from shading)

Dorsaler und ventraler Pfad prägen nicht nur den immer wieder angesprochenen Themenkreis der konstruktiven Komponenten der Raumwahrnehmung. Sie „verkörpern“ in vielfacher Hinsicht und im übertragenen Sinn zumindest teilweise auch jene „Verarbeitungsregeln“, die Cassirer auf der Suche nach tragfähigen Invarianten der Wahrnehmung ins Kalkül zieht.<sup>139</sup>

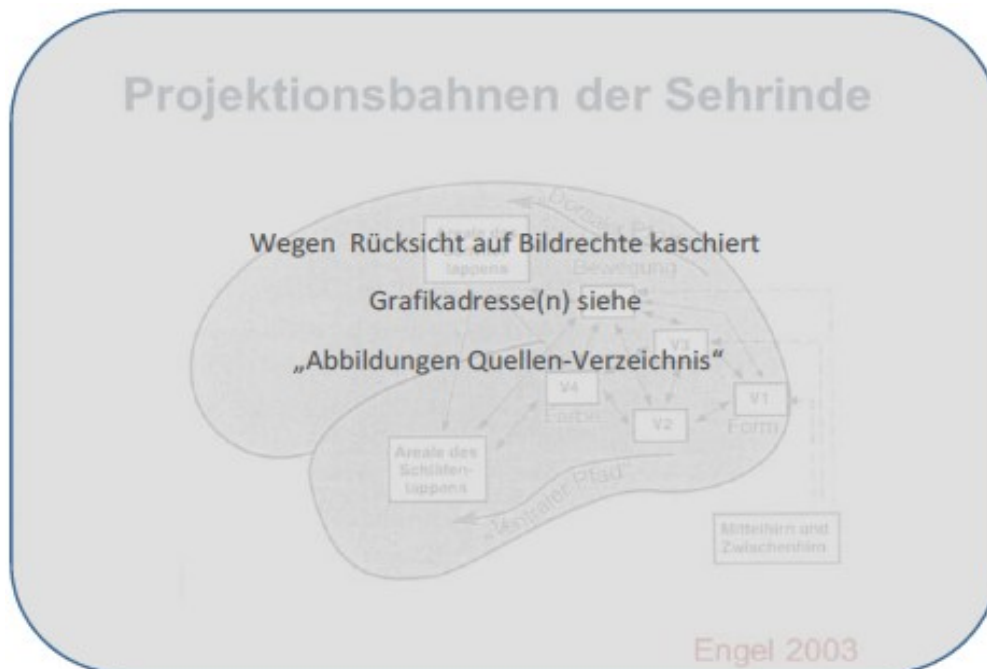


Abbildung 20 Projektionsbahnen der Sehrinde, Schema nach Engel 2003

So tragen die beiden Pfade sowohl zur Orientierung als auch, wie ich meine, essentiell zu einer Strukturierung des Ambientes durch Objekte (vgl. Diskretisierung) bei. Betroffen sind aber auch mathematisch-geometrische Core Knowledges, welche mit dem dorsal-ventral pathway system in Verbindung gebracht werden können.<sup>140</sup> Diese Konstellation bildet auch einen Aspekt (eine Grundlage) meines Versuchs, Poincarés Aussage über „feste Körper – Geometrie“ auf Basis funktioneller Neuroanatomie zu illustrieren/interpretieren und auch mit dem zu verknüpfen, was Poincaré mit „**préexiste**“<sup>141</sup> und in seiner Antwort an Russel als **psychologisch** anspricht.<sup>142</sup>

<sup>139</sup> Cf. Cassirer Anhang

<sup>140</sup> Cf. Dehaene, Izard

<sup>141</sup> Bezogen auf das Potential zur Gruppenbildung

<sup>142</sup> Das tangiert auch die nach Gray kontroversen Positionen über die Fundamente von Geometrie.

“Poincaré’s views brought him into collision with Bertrand Russell in the 1890s...In Poincaré’s view, we only know what the distance from one point to another is when we have found out what rigid bodies do, and this knowledge has become innate in us...Russell wanted distance to be regarded as a fundamental intuition.” (Gray, 2019, o.S., Kap. 6.3 Poincaré versus Russell)

Die konkrete Auseinandersetzung von Poincaré und Russel wird hier nicht explizit verfolgt und auch dem von Gray auf Russel bezogenen Ausdruck „fundamental intuition“ wird nicht weiter nachgegangen. Die Differenz ist aber insofern als Problemfeld zur Kenntnis zu nehmen, als sich diese Arbeit mit ihrer intensiven Ausrichtung auf die fundamentale Rolle fester Körper und den Versuch, diese durch neurokonstruktivistische Aspekte der (visuokognitiven) Objektkonstruktion auch auf evolutionärer Ebene zu untermauern, deutlich (affirmativ) auf die Position Poincarés bezieht.

Hinsichtlich der Raumwahrnehmung bieten diese unterscheidbaren Verarbeitungswege eine der Grundlagen dafür, phänomenale Räumlichkeit als sehr komplexes Konstrukt zu interpretieren, um eine hier favorisierte Betrachtungsweise zu etablieren. Es geht dabei darum, die orientierungsbezogene Räumlichkeit des Ambientes und die Plastizität von Objekten mit unterscheidbaren neurokognitiven Verarbeitungs- bzw. Konstruktionssystemen in Verbindung zu bringen. Also in gewissem Ausmaß darum, die plastische Objektwahrnehmung und die lokalisierungsbezogene Wahrnehmung der räumlichen Tiefe des Ambientes zunächst auch bezüglich der involvierten Gehirnareale als tendenziell eigenständige Komponenten auch auf Ebene interaktiver, aber dislozierter Strukturen des Gehirns zu etablieren. Damit geht die Einschätzung einher, dass die Einbindung von Objekten (Was) in das stark auf Wo-Aspekte bezogene Ambiente komplexen (unbewussten) Konstruktionsleistungen im Zuge von Parallelverarbeitung und später Bindung (cf. Roth) entspringt. Dieses heterogene Konstrukt vermittelt zwar im Normalfall einen homogenen Gesamteindruck, ist aber wegen der dafür notwendigen komplexen Integrationsprozesse der teilweise divergierenden Komponenten/Subsysteme auch störungsanfällig. So genannte Neglecte aber auch optische Täuschungen dürften Indizien für diese komplexen und späten Bindungsprozesse sein.

#### 4.3.1 Dissoziation Wo – Was – Bahn: Unterscheidung objekt- vs. orientierungsbezogene Raumwahrnehmung

Im Hintergrund des Betonens dieser Unterscheidung einer objektbezogenen gegenüber einer orientierungsbezogenen Raumwahrnehmung des Ambientes steht die hier bevorzugte Vermutung/Hypothese, dass trotz neurokognitiver Kompatibilität der Komponenten und des Integrierens von Körpern in abstrakte, geometrisch konsistente Vorstellungen bzw. Modelle von „Raum“, dennoch die Besonderheiten der Formbestimmung sowie plastischen Wahrnehmung von Körpern einen besonders prominenten Beitrag zur Entwicklung geometrischer Konzepte bilden. Und dass dies auch aus Perspektive der neurokognitiven Strukturen des Visuellen eine angemessene Facette der Interpretation von Poincarés Sentenz ist: „Wenn es also keine festen Körper in der Natur geben würde, so hätten wir keine Geometrie“ (Poincaré, 1906, S. 63). Auf die Komplexität dieses Satzes einschließlich des Ausdrucks „feste Körper“ wird an anderen Stellen eingegangen.

Die Aufspaltung in Bahnen visueller Verarbeitung geht in der Fachliteratur häufig auch mit dem Begriff Dissoziation einher.

Mit dem Begriff Dissoziation soll hier im Sinn der Neuropsychologie zum Ausdruck gebracht werden, dass ein unter normalen Umständen als homogen erlebtes Phänomen, z.B. der Raumwahrnehmung, offenbar durch unterschiedliche und zumindest teilweise voneinander unabhängig funktionierende neuronale Systeme zustande kommt. Dieser Schluss wird z.B. davon abgeleitet, dass bei Läsionen von Gehirnarealen Teile der sonst ganzheitlichen Erscheinung des Ambientes ausfallen. Dabei wurde beispielsweise erkannt, dass je nach Art der Läsion wahrgenommene Objekte zwar räumlich zugeordnet, aber nicht identifiziert bzw. benannt werden konnten, während bei anderen Läsionen die akkurat gegenteiligen Probleme auftraten. In gewissem Ausmaß geben auch unterscheidbare neuronale Aktivitätsmuster, die mittels bildgebender Verfahren bestimmten Testaufgaben zugeordnet werden können,

Auskunft über dissoziative Prozesskomponenten, indem sie eben anzeigen, welche Aktivitätsmuster mit bestimmten Leistungen einhergehen. <sup>143</sup>

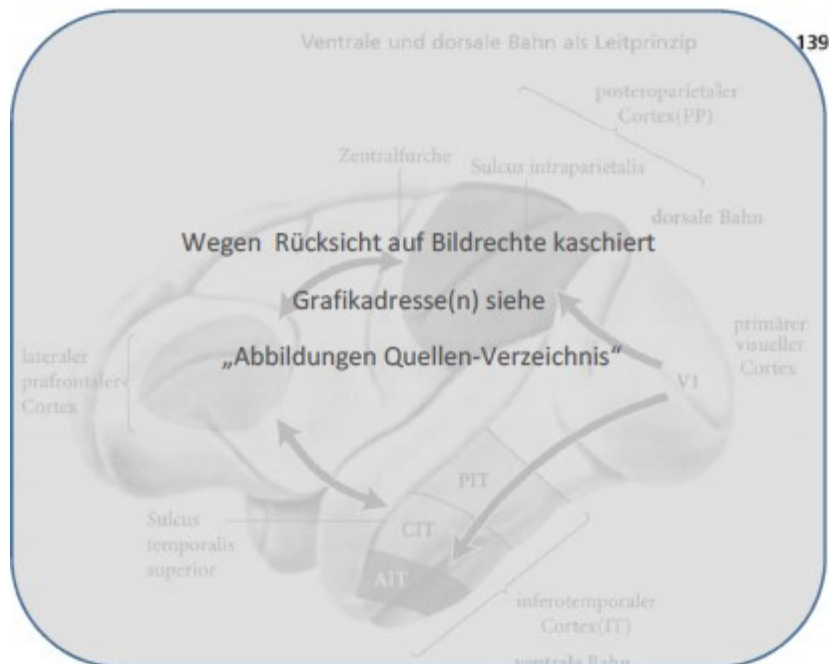


Abbildung 21 Schema ventrale und dorsale Bahn (Koch, 2005, S. 139)

„Ungerleider und Mishkin entdeckten, dass sich der Fluss visueller Information in V1 in zwei Teilströme aufspaltet, die sich im lateralen präfrontalen Cortex wieder vereinen. Während sich die ventrale vision-for-perception- Bahn (Sehen, um wahrzunehmen) mit Form- und Objekterkennung beschäftigt, übermitteln die dorsale oder vision-for-action- Bahn (Sehen, um zu handeln) räumliche Informationen, die für die Lokalisierung von Zielen und die Durchführung motorischer Handlungen benötigt wird. Nach N. Logothetis, verändert.“ (Koch, 2005, S. 139)

Die von Koch aufgezeigten interaktiven Verbindungen mit dem präfrontalen Cortex sind für Top-down- Einflüsse zur Ausgestaltung des Perzepts höchst bedeutsam und führen auch an die neuronalen Korrelate für bewusste kognitive Leistungen heran, und so auch an Potentiale für abstrakte mathematisch - geometrische Konzeptbildung:

„Seit über hundert Jahren wird vermutet, dass der PFC an °höheren° kognitiven Funktionen (Denken, Planen, Entscheiden) beteiligt ist...Frühe Fallbeschreibungen von Frontalhirnpatienten deuten auf Beeinträchtigungen in Aufgaben hin, die °abstraktes Denken°, °neue Kombinationen° oder °Urteilsfähigkeit° erfordern (Rylander, 1939). Zahlreiche neuere Untersuchungen mit sensitiveren

<sup>143</sup> Goodale und Milner illustrieren dies mit Beobachtungen über optische Ataxie einer Patientin mit Schädigungen im parietalen Bereich des Gehirns (Balint Syndrom):

“While this patient had no difficulty in recognizing line drawings of common objects, her ability to pick up such objects remained quite impaired. ...Such studies suggest that damage to the parietal lobe can impair the ability of patients to use information about the size, shape and orientation of an object to control the hand and fingers during a grasping movement, even though this same information can still be used to identify and describe the objects.” (Goodale et al., 1992, S. 21)

“We propose that the ventral stream of projections from the striate cortex to the inferotemporal cortex plays the major role in the perceptual identification of objects, while the dorsal stream projecting from the striate cortex to the posterior parietal region mediates the required sensorimotor transformations for visually guided actions directed at such objects.” (Goodale et al., 1992, S. 20)

neuropsychologischen Tests belegen zentrale Bedeutung des PFC für kognitive Planungs- und Kontrollfunktionen.“ (Goschke, 2013, S. 23) ( PFC : präfrontaler Cortex)

Eines der hier angestrebten Ziele ist es, die komplexe interaktive Verbundenheit des präfrontalen Cortex mit dem visuellen System und im Speziellen zu den beiden extrastriären (nach V1 gelegenen) Verarbeitungsbahnen, zur dorsalen Wo- und ventralen Was- Bahn, aufzuzeigen. Diese enge Interaktion mit Arealen für bewusste kognitive Planung wird auch als ein weiteres Indiz für den besonders umfangreichen Einfluss des visuellen Systems im Rahmen der Enzephalisation der Wahrnehmung gedeutet.

4.3.2 Dorsal getragene Objektblösung durch kontrastierende Bewegungsmuster:  
„Ein Gegenstand ist das, was sich zusammen bewegt“<sup>144</sup>

Obwohl diese Arbeit die funktionellen Unterschiede zwischen dorsalem und ventralem System betonen will, muss auch auf einander vikariierend überschneidende Leistungen aufmerksam gemacht werden. Das zeigt nicht nur das hohe Ausmaß von Vernetzung. Der Umstand, dass (zumindest) zwei unterscheidbare hochspezialisierte Systeme mit Hilfe unterschiedlicher selektiver Kriterien zur (visuellen) Objektidentifikation beitragen, wird hier als Indiz angesehen, wie (überlebens-) wichtig die Formbestimmung von Objekten und deren Ablösen vom Hintergrund sind.

Es geht also in der folgenden Überlegung darum, dass trotz des in der Literatur zu Recht dominant ausgewiesenen Schwerpunktes die Leistungen der so genannten Wo-Bahn über die Lokalisation hinaus reichen und auch einen nicht unbedeutenden Faktor einer ansatzweise formbezogenen Objektdefinition bilden.

Diese Einschätzung beruht auf der Überlegung, dass die mit dem magnozellulären System verbundenen Areale des dorsalen Wo Pfades eine hohe Sensibilität für Bewegungsrichtungen und auch für kontrastierende Bewegungsmuster aufweisen. Geht man nun von „ein Gegenstand ist das, was sich zusammen bewegt“ aus, dann führen Muster visueller Stimuli, die sich relativ zu einem größeren stabilen Feld des Ambientes bewegen dazu, dass sie eben von diesem Ambiente als „bewegte Einheit“<sup>145</sup> unterschieden werden. So erfolgt auch auf diesem (zumindest im Vergleich zu stereoptischer Fokussierung evolutionär wohl älteren) Weg eine Diskretisierung des Ambientes durch „Objekte“ in Gestalt der Relativbewegungen von synchronen richtungsidenten Gruppen (!) bewegter visueller Stimuli. Diese Stimuli müssen dazu nicht dreidimensional wahrgenommen werden, sondern ergeben auch als homogenes flächiges Muster von Punkten/Lichtstimuli oder als zweidimensionale Silhouette bzw. als lineare Kontur ein bedeutsames visuelles Objekt, das je nach Auslösequalität für die Aufmerksamkeit durchaus auch bewusst identifiziert und handlungssteuernd wirksam werden kann.<sup>146</sup>

Hier wird davon ausgegangen, dass der bevorzugt mit dem magnozellulären System verbundene dorsale Komplex dem evolutionär älteren System zur Detektion von Objekten im Ambiente entspricht.

<sup>144</sup> (Uexküll nach Lorenz, 1973, S. 157) Auf diese Definition Uexkülls wird an anderen Stellen dieser Arbeit im Zusammenhang mit Objektkonstruktion durch Identifikation kovarianter Gruppen koinzidenter Stimuli Bezug genommen.

<sup>145</sup> Cf. V 6 „motion coherence)

<sup>146</sup> Das kann statt durch foveales schon durch peripheres Sehen bis zu automatisierter Deutung und das Auslösen von Reaktionen reichen, Cf. dazu auch Hoffmans (2001, S.25) Hinweise auf Beute/Räuber Interpretation bei Krötenart, die offenbar das Schema eines Balkens je nach dessen Fortbewegungsrichtung als mögliche Beute oder als Räuber (Bewegung quer zur Längsachse) deuten kann.



#### 4.3.3 Bei Objekterkennung interagieren präfrontaler Cortex und inferotemporaler Cortex der ventralen Bahn

Eine Studie von Inoue et al. deutet auf die enge Verbundenheit des präfrontalen Cortexes mit dem zur ventralen Bahn gehörenden inferotemporalen Cortex (IT) im Kontext von Top-down Prozessen im Zuge der Objekterkennung hin:

“These results suggest that VLPFC retrieves particular object information from the working memory and sends the retrieved object information to IT.” (Inoue et al., 2007, Abstract) (VLPFC: ventraler lateraler präfrontaler Cortex)

Eine auch nach funktionellen Kriterien gegliederte grafische Darstellung von Doris Brötz<sup>147</sup> gibt Aufschluss über die Komplexität und zeigt an, dass die nach Objektmerkmalen und Orientierung im Raum ausgerichteten Schwerpunkte auch mit dafür spezifischen Arbeitsgedächtnissen korrelieren.

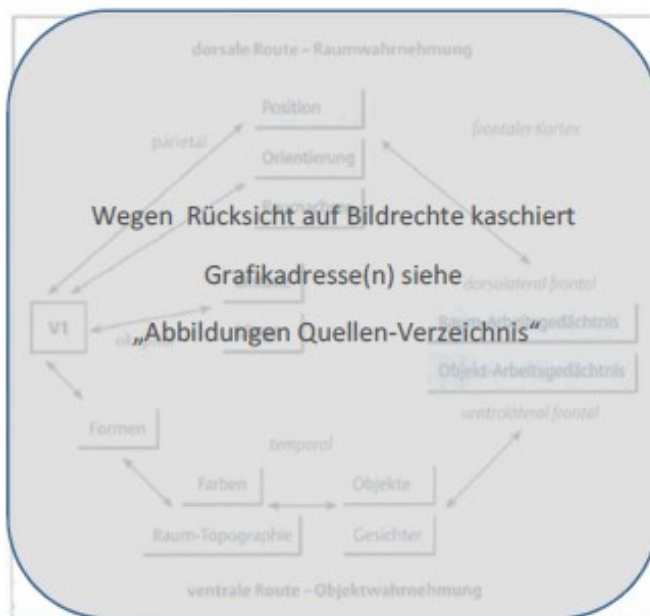


Abbildung 22 Schema dorsale Route – Raumwahrnehmung (Brötz, 2006, S. 132)

In der Grafik von Brötz kommt durch die Doppelfeile auch der aus frontalen Bereichen stammende Informationsfluss zum Ausdruck und illustriert so auch einen markanten top-down Einfluss.

Eine aktuelle Studie des MIT bestätigt die bedeutsame Rolle für die Objekterkennung im Bereich des Inferotemporalen Cortex der ventralen Bahn.

“In a new study, MIT neuroscientists have found clear evidence that the IT cortex is indeed required for object recognition; they also found that subsets of this region are responsible for distinguishing different objects.” (Trafton, 2019, o.S.)

Die ventrale Perspektive wird hier deshalb betont, weil gerade geometrische Aspekte häufig im Kontext visuospatialer Leistungen in Verbindung mit Handlungsplanung bezogen auf den dorsalen Verarbeitungspfad untersucht und interpretiert werden. Dabei gerät nach meinem Eindruck die Bedeutung des ventralen Pfades für die geometrischen Komponenten der Objektidentifikation allzu oft in den Hintergrund. Bei dieser Überlegung spielt auch der mit

<sup>147</sup> Grafik von Brötz in Kerkhoff (2006 b)

dem Zitat von Kerkhoff (2006 b, S. 133) dargestellte Umstand eine Rolle, dass die von auch Poincaré extra angesprochenen fovealen visuellen Daten offenbar bevorzugt im ventralen Pfad verarbeitet werden. Das foveale Sehen ist besonders auf die Formbestimmung von Objekten ausgerichtet.<sup>148</sup>

#### 4.3.4 Izard: Distinct Cerebral Pathways for Object Identity and Number in Human Infants

Véronique Izard fasst dieses dorsal / ventrale Organisationsprinzip mit seinen hier bevorzugt zur Debatte stehenden funktionellen Schwerpunkten unter Einbeziehung der Entwicklungskomponente beim Menschen sehr subtil zusammen:

“Brain areas responding to object or number changes are distinct, and reveal a basic ventral/dorsal organization already in place in the infant brain. As in adults and children, object identity in infants is encoded along a ventral pathway in the temporal lobes, although number activates an additional right parietoprefrontal network.” (Izard et al., 2008, o.S.)

#### 4.3.5 Schwerpunkt ventraler Pfad als Arealkomplex formbezogener Objektbestimmung und Bewusstsein darüber

Folgende Feststellung Kochs gibt nicht nur eine neuerliche bestätigende Zusammenfassung, sondern lässt auch zwei für unseren Themenkomplex bedeutsame Faktoren besonders zur Geltung kommen:

„Während die ventrale Bahn für das bewusste Formen- und Objektsehen zuständig ist, beschäftigt sich das dorsale System mit Informationen, die für visuell geleitete motorische Handlungen nötig sind.“ (Koch, 2005, S. 143)

Auch wenn Poincaré nicht das sichtbare Objekt, sondern das Studium idealer Körper<sup>149</sup> zum fundamentalen Anliegen der Geometrie als Wissenschaft erklärt, bleibt die perspektivische Veränderung der Form gemäß der Bewegung des wahrnehmbaren Objekts oder des Betrachters ein vielfältig reflektiertes Anliegen seiner Überlegungen, die auch den Zusammenhang mit unserem visuellen System und seinen kognitiven Potentialen betreffen.

Generell, aber besonders auch vor diesem Hintergrund, ist somit Kochs Aussage über „bewusstes Formsehen“ zweifach bedeutsam. Weil Koch damit über Core Knowledge hinausgehende Faktoren anspricht, die für die Geometrie als Wissenschaft (im Sinne Poincarés) essentiell sind:

Einerseits formbezogene Objektbestimmung und andererseits Bewusstsein darüber.

Diese Kombination erscheint nur so lange als trivial, wie man nicht vor dem Hintergrund der Naturalisierung der Erkenntnis die analytische Frage nach den beobachtbaren neuronalen

<sup>148</sup> Poincarés Auswertung des „Schauspiels der Perspektiven“ setzt eine besonders hohe Sensibilität für Formen und deren Veränderungen voraus.

<sup>149</sup> „Man sieht, daß die Erfahrung eine unumgänglich notwendige Rolle in der Genesis der Geometrie spielt; aber es würde ein Irrtum sein, daraus zu schließen, daß die Geometrie — wenn auch nur teilweise — eine Erfahrungswissenschaft sei. Wenn sie erfahrungsmäßig wäre, so würde sie nur annähernd richtig und provisorisch sein. Und von welcher grober Annäherung! Die Geometrie würde nur das Studium der Bewegungen von festen Körpern sein; aber sie beschäftigt sich in Wirklichkeit nicht mit natürlichen Körpern, sie hat gewisse ideale, durchaus unveränderliche Körper zum Gegenstand, welche nur ein vereinfachtes und wenig genaues Bild der natürlichen Körper geben. Der Begriff dieser idealen Körper ist aus den verschiedenen Gebieten unserer Verstandes-Tätigkeit hervorgegangen, und die Erfahrung ist nur eine Gelegenheit, welche uns antreibt, sie daraus hervorgehen zu lassen.“ (Poincaré, 1906, S. 72)

Korrelaten dieser Potentiale stellt. Also eine Frage, die durchaus im psychologisch orientierten Ansatz Poincarés ihren legitimen Platz finden dürfte. Dann wird nämlich die mit experimentell strukturierten Studien untermauerte Korrelation der bewussten Formerkennung mit dem ventralen Pfad zur explizit bedeutsamen Aussage in Hinsicht auf objektbezogene Wahrnehmung und darauf bezogene Aspekte von geometrischen Konzepten. Kochs Formulierung gibt sowohl über die topische Zuordnung als auch über die elementare Verbundenheit mit dem visuellen System Auskunft. Besonders zu beachten ist aber auch, dass von Koch und anderen Autoren mit diesem ventralen Bereich des visuellen Systems auch genuine Faktoren des Bewusstseins in Verbindung gebracht bzw. für wahrscheinlich gehalten werden.

Koch bringt dies mit einer lapidaren Überschrift seines diesbezüglichen Kapitels zum Ausdruck:

4.3.6 Koch: „Die Spuren des Bewusstseins führen in den inferotemporalen Cortex“<sup>150</sup>

Eine diesbezüglich affirmative Vermutung stellen schon 1992 Goodale und Milner in den Raum:

“This may provide some of the integration needed for the essential unity and cohesion of most of our perceptual experience and behaviour, although overall control of awareness may ultimately be the responsibility of superordinate structures in the frontal cortex 61. Nevertheless, it is feasible to maintain the hypothesis that a necessary condition for conscious visual experience is that the ventral system be activated.” (Goodale et al., 1992, S. 24).“

#### 4.4 Core Knowledges<sup>151</sup>

Ausgangslage ist, dass es gemäß Ergebnissen aktueller Forschung sowohl für Mathematik als auch für Geometrie intuitiv wirkende Core Knowledges gibt. Diese Systeme sind nicht nur voneinander unterscheidbar, sie bestehen beide auch wiederum aus verschiedenen Komponenten, die bezüglich der bei bestimmten Tests als aktiv zu beobachtenden involvierten Netzwerke im Gehirn zum Teil topografisch nacheinander eng miteinander verbunden sind.

In diesem Abschnitt soll es vor allem darum gehen, z.B. mit Referenz auf Dehaene, Spelke und Izard zu illustrieren, dass erlernte und bewusst durchgeführte mathematische und geometrische Operationen genuin mit diesen **intuitiven „Core Knowledges“** zusammenhängen, und dass für diese kognitiven Prozesse (zumindest ansatzweise) korrelierende, neurophysiologisch verortbare Netzwerke ausfindig zu machen sind. Dies schließt einen evolutionären Aspekt auch dahingehend mit ein, dass in einem erstaunlichen Ausmaß äquivalente Prozesse und korrelierende neurophysiologische Strukturen auch bei unterschiedlichen Tierarten, besonders, aber nicht nur, bei nicht menschlichen Primaten zu beobachten sind. Ebenso geht es darum, zu illustrieren, dass bezüglich dieser Core- Ebenen eine bemerkenswerte Affinität (topographische Nähe) jener involvierten Regionen bzw. Netzwerke des Gehirns besteht, die bei abstrakten mathematischen Denkleistungen und bei bestimmten Komponenten der Wahrnehmung sowie der motorischen Steuerung ( z.B. der Hände und der Augen) koinduziert aktiv sind. Weiters soll auf ein Phänomen aufmerksam gemacht werden, das Dehaene unter dem Titel „Linking Numbers to Space“ beschreibt. Diese Relationen sollen im Sinn einer meiner Basisannahmen nahelegen, dass kognitive Potentiale für mathematische und geometrische Konzeptbildung zwar voneinander auf Ebene der core

<sup>150</sup> Koch, 2005, S. 301

<sup>151</sup> Im Anhang befindet sich eine ausführlichere Darstellung über nicht nur beim Menschen anzutreffende mathematische Core Knowledges, wie z.B. Subitizing, Approximate number system, Parallel individuation, Object tracking system oder die Aussage von Rakoczy „Apes are intuitive statisticians“.

systems zu unterscheiden, aber durchaus miteinander verbunden sind. Vor allem geht es aber um das Ausfindigmachen von Indizien, die im Sinn der hier verfolgten Hypothese darauf hindeuten, dass auch genuine Zusammenhänge mit dem visuellen System bestehen dürften.

#### 4.4.1 Affinität von Gehirnbereichen für Core Knowledges und Arealen visueller Verarbeitung

Dehaene vergleicht das Potential zum intuitiven Erkennen zählbarer Mengen mit Qualia-artigen Empfindungen, wie wir sie bei Farben haben.

„As noted by Burr and colleagues, “Just as we have a direct visual sense of the reddishness of half a dozen ripe cherries, so we do of their sixishness.” (Dehaene, 2009, S. 233)

Bemerkenswert ist in diesem Zitat Burrs auch der explizite Appell an das Milieu visueller Empfindungen, weil das Aufzeigen der Affinität von Gehirnbereichen für Core Knowledges und Arealen visueller Verarbeitung ein hier verfolgtes Ziel bildet.

Insgesamt ergeben sich so durch die Verbindung von core systems mit Intuition und induktiven Tendenzen, die von der Nähe zum Wahrnehmungssystem herrühren, auch evolutionäre neurophysiologische Facetten möglicher Interpretationen von Poincares „préexiste“.

#### 4.4.2 Allgemeine (Generelle?) Mathematische Core Knowledges: Nicht nur beim Menschen

Gemäß dem auf raumbezogene Aspekte ausgerichteten Schwerpunkt werden hauptsächlich geometrische Core Knowledges in Betracht gezogen. Weil es aber in Summe auch um eine Indizienkette geht, die der visuellen Raumwahrnehmung einen förderlichen Einfluss auf die Enzephalisation bzw. die Strukturierung des Konnektoms zu Gunsten der Evolution emergenter kognitiver Potentiale zuschreibt, welche bewusstes Denken und das Entwerfen abstrakter Konzepte ermöglichen, ist der Hinweis opportun, dass es auch mathematische core knowledges gibt, in die auch Areale motorischer Steuerung sowie visueller Verarbeitung involviert sind.

Bemerkenswert ist folglich auch Stanislas Dehaenes Aussage über aktivierte Gehirnareale „uniquely evoked by calculation“:

„ Most notably, activation uniquely evoked by calculation was observed in the depth of the intraparietal sulcus and was surrounded by a systematic front-to-back arrangement of activation associated with grasping, pointing, attention, eyemovement, and language-related activations.” (Dehaene, 2009, S. 240)

Dehaene (2009) zeigt nicht nur das mit dem intraparietalen sulcus verortbare Nahverhältnis von „calculation“ zum visuellen System auf. In einem Kapitel „Linking Numbers to Space“ geht er im Zusammenhang mit dem so genannten SNARC Effekt<sup>152</sup> auch explizit auf eine Verbindung zu räumlich-geometrischen Aspekten ein.

Im Anhang befindet sich eine ausführlichere Darstellung über nicht nur beim Menschen anzutreffende mathematische Core Knowledges, wie z.B. Subitizing, Approximate number system, Parallel individuation, Object tracking system oder von Rakoczys Aussage „Apes are intuitive statisticians“.

---

<sup>152</sup> Bei SNARC (Spatial-Numerical Association of Response Codes) geht es um die intuitive Tendenz, Zahlen kleiner als 5 räumlich eher links einzuordnen.

## 4.5 Geometrische Core Knowledges

Mit Véronique Izards Hinweis auf die Relevanz des ventralen Pfades für geometrieaffine Kriterien der Objektbestimmung<sup>153</sup> und Kochs Verortung der Spuren des Bewusstseins im inferotemporalen Cortex (cf. Koch, 2005, S. 301) deutet sich in diesem Milieu des Temporallappens ein bemerkenswertes Zusammentreffen von kognitiven Potentialen mit hoher Relevanz für das Thema dieser Arbeit an. Auch wenn aus diesem Zusammentreffen per se keine ursächliche Verbundenheit begründet werden kann, erscheint es auch im Sinn von Poincarés Suche nach den wahrnehmungsbezogenen Grundlagen von Geometrie und seinem Postulat von präexistierenden kognitiven Potentialen zu Bildung von Gruppen angemessen zu sein, diesem ventralen Pfad erhöhte Aufmerksamkeit zu widmen; gerade auch hinsichtlich intuitiv wirksamer geometrischer Core Knowledges.

### 4.5.1 Spelke / Izard: two core systems of geometry

Folgende stark gekürzte Auswahl von Aspekten kann und will nicht die von Elizabeth Spelke, Véronique Izard und anderen sehr subtil ausgeführten Forschungsergebnisse zusammenfassend darstellen, sondern exemplarisch mit illustrierenden Aussagen die hier verfolgte Hypothese untermauern, dass Raumwahrnehmung und das Entwickeln geometrischer Konzepte aus phylogenetischer und ontogenetischer Sicht auf Konstruktionsleistungen beruht, die Daten aus heterogenen Komponenten integrieren, die jede für sich nicht das volle Spektrum abdecken. Elizabeth Spelke bemerkt:

„Like natural number, natural geometry is founded on at least two evolutionarily ancient, early developing, and cross-culturally universal cognitive systems that capture abstract information about the shape of the surrounding world: two core systems of geometry” (Spelke et al., 2010, S > 3)

Auch aus folgender Stelle in der Fußnote<sup>154</sup> ist nicht nur das prinzipielle Vorhandensein, sondern auch das Bestehen von zwei unterscheidbaren Systemen ablesbar. Gleich anschließend wird eine Affinität zu Komponenten euklidischer Geometrie angesprochen. Weiters betonen die Autorinnen die begrenzten Leistungsfähigkeiten eines jeden dieser Systeme und deuten an, dass Kinder offenbar in einem konstruktiven Prozess mit sehr produktivem Effekt die verfügbaren Repräsentationen aus beiden Systemen kombinieren und dass dabei auch kulturell tradierbare Komponenten einfließen.<sup>155</sup>

Aus der Vielzahl der Merkmale werden folgende wegen der besonderen Nähe zur euklidischen Geometrie besonders hervorgehoben: *distance (or length)*, *angle*, and *direction (or sense)*. Zugleich wird kenntlich gemacht, dass getrennte Systeme für „large-scale navigable surface

<sup>153</sup> Cf. Kap. Izard: Distinct Cerebral Pathways for Object Identity and Number in Human Infants

<sup>154</sup> “Nevertheless, each system is limited: It captures only a subset of the properties encompassed by Euclidean geometry, and it applies only to a subset of the perceptible entities to which human adults give shape descriptions. Children go beyond these limits, and construct a new system of geometric representation that is more complete and general, by combining productively the representations delivered by these two systems. This productive, combinatorial process, we suggest, depends in part on uniquely human, culturally variable artefacts: pictures, models and maps. Thus, like the system of number, the system of geometry that feels most natural to educated adults is a hard-won cognitive achievement, constructed by children as they engage with the symbol systems of their culture.” (Spelke, 2010, S > 3)

<sup>155</sup> Wie im Zitat explizit darauf aufmerksam gemacht wird, dass dieses resultierende Gesamtpotential zur geometrischen Analyse des Ambientes trotz seiner komplexen Genese Erwachsenen als **ganz natürlich** erscheint, ist im Zusammenhang unserer Abhandlung ein zusätzlich reizvoller Umstand, weil diese anscheinende/scheinbare Natürlichkeit wohl auch als eine der möglichen Facetten von Poincarés Einschätzung der euklidischen Geometrie als „bequem“ interpretiert werden kann.

layouts“ und für „small-scale, movable forms and objects“ wirksam sind, die jeweils nicht für alle drei Merkmale sensibel sind und dass dies offenbar nicht nur für Menschen gilt.<sup>156</sup>

Bezüglich der Unterschiede nach Anwendungsbereich wird der Text noch konkreter:

“Although animals and children are strikingly oblivious to surface markings and angular relationships in the large-scale navigable layout, they are highly sensitive to surface markings and angular relationships in small pictures and objects.” (Spelke, 2010, S. >7)

Neben dem Navigationssystem im Ambiente kommen die Autorinnen auch bezüglich des zweiten Systems, nämlich einer „**Core geometry for form perception and object shape description**“, <sup>157</sup> zu einem mit der Mehr-System Hypothese kompatiblen Ergebnis. <sup>158</sup>

Auch im Rahmen der geometrieaffinen Formbestimmung von Objekten erfolgt offenbar ein Konstruieren auf Basis von zumindest zwei nicht leistungsidenten Systemen. Einerseits mit einem Schwerpunkt für „*length* and *angle*“, während der mit aufwendiger mentaler Rotation verbundene „*sense*“ mit einem anderen Konzept korreliert.

Diesem Merkmal „*sense*“ gehen die Autorinnen in einer anderen Publikation genauer auf den Grund und stellen Zusammenhänge bis auf Ebene spezifischer Gruppen von Neuronen her. Zunächst wird darin festgehalten, dass die ausrichtungsabhängige Bestimmung geometrischer Formen unter Einbeziehung von Strategien mentaler Rotation auch für Erwachsene eine erhebliche kognitive Herausforderung ist.<sup>159</sup>

Weiteres macht Izard im inferotemporalen Sulcus, also in einer Gehirn-Furche, die zum ventralen Pfad gehört, schon bei Makaken ein für geometrieaffine Formerkennung mit Hilfe von Symmetrien bedeutsames neuronales Korrelat ausfindig:

“Cells exhibiting invariance by symmetry have been observed in the inferior temporal sulcus of monkeys, a region which is precisely thought to be involved in the recognition of categories of visual stimuli...The inferior temporal sulcus therefore appears to compute a representation which is invariant over reflections on multiple axes” (Izard, 2011a, S > 3)

Dass akkurat der inferotemporale Sulcus mit seinen komplexen visuell orientierten Funktionen in besonders anspruchsvolle geometrieaffine Leistungen eingebunden ist, wird als weiterer

---

<sup>156</sup> „Recent research from cognitive and developmental psychology, cognitive anthropology, animal cognition, and cognitive neuroscience suggests a different view. Knowledge of geometry may be founded on at least two distinct, evolutionarily ancient, core cognitive systems for representing the shapes of large-scale, navigable surface layouts and of small-scale, movable forms and objects. Each of these systems applies to some but not all perceptible arrays and captures some but not all of the three fundamental Euclidean relationships of *distance* (or *length*), *angle*, and *direction* (or *sense*).” (Spelke, 2010, S> 1)

<sup>157</sup> Spelke, 2010, Chapt. 4.

<sup>158</sup> „In summary, research provides evidence for a core system for representing the shapes of movable, manipulable objects. This system shows qualitative continuity over human development (Izard & Spelke, in press) and across cultures (Dehaene et al., 2006). It captures abstract geometric information, representing object shapes over considerable variations in orientation, substance, and texture. It highlights two fundamental properties of Euclidean geometry, ***length* and *angle***. Yet this system also falls short of full Euclidean geometry in two respects... Second, it captures Euclidean *distance* and *angle* **but not *sense***, and therefore fails to distinguish a form from its mirror image. Core processes of visual form analysis also evidently are **not the sole foundation for** Euclidean geometry.” (Spelke, 2010, S> 8, Hervorhebungen >Ö)

<sup>159</sup> “Mental rotation is used to compare the forms not only when the forms are novel (Shepard and Metzler 1971) but also when they are highly familiar but appear at novel orientations (Cooper and Shepard 1973). Because mental rotation is time-consuming and demanding of attention, adults’ tendency to resort to it suggests that we, like infants, perceive angle and distance more readily than sense in visual arrays. Several lines of evidence converge to indicate that for 2D visual displays, sense tends to be processed only at the cost of effortful strategies in adults (with the exception of letters), and can be dissociated from the identification of objects at the neural level.” (Izard, 2011a, S > 2)

affirmatives Baustein der hier verfolgten Hypothese über den bedeutsamen Einfluss des visuellen Systems und speziell des ventralen Pfades auf die Entstehung und Umsetzung höherer kognitiver Leistungen interpretiert.<sup>160</sup>

Mit Referenz auf Ergebnisse der Forschungen über mathematische Core Knowledges stellt Spelke in Aussicht:

„Much less is known about the construction of natural geometry, but we end with a suggestion: natural geometry, like natural number, may be constructed by children as they discover ways to **combine productively their geometric representations of large-scale layouts and small-scale objects**. Moreover, these productive combinations may depend in part on widespread but culturally variable cognitive devices including pictures, scale models, and maps.“ (Spelke, 2010, S. > 10, Hervorhebung >Ö)

“By applying two different kinds of geometrical analysis to the same arrays, children therefore may discover new relations between Euclidean distances, angles and directions. By extending each of these kinds of geometrical analysis to new types of arrays, moreover, children may develop geometrical concepts that are more abstract and general than the concepts provided by their core systems.“ (Spelke, 2010, S. > 13)<sup>161</sup>

Besonders beachtenswert ist im Kontext dieser Arbeit allerdings die von Spelke in Betracht gezogene Möglichkeit, dass Kinder durch Zusammenführen unterschiedlicher Strategien der Analyse übergreifende geometrische Konzepte entwickeln, die abstrakter sind und eine höhere Allgemeingültigkeit haben, als die zu Grunde liegenden Core Knowledges. Diese Annahme Spelkes wird hier als Argument zu Gunsten der in dieser Arbeit verfolgten Hypothese über kognitive Potentiale zum Erstellen abstrakter geometrischer Konzepte angesehen, die nicht durch ein determinierendes Apriori prinzipiell limitiert sind. Dieser Aspekt wird hinsichtlich der von Poincaré vertretenen Linie besonders betont, um jene Ansätze Evolutionärer Erkenntnistheorie zu unterlaufen, die zu einer Restauration der Dreidimensionalität als Apriori tendieren.

#### 4.6 Resümee

Dieser an Kriterien von Raumwahrnehmung und Objektidentifikation orientierte Überblick<sup>162</sup> von der Netzhaut bis zu den höheren visuellen Arealen soll auch die dislozierte Detailverarbeitung auf Basis evolutionär heterogener Systeme andeuten. Ebenso sollen die sich aus dieser Verarbeitungsstruktur notwendig ergebenden komplexen Konstruktionsleistungen im Rahmen der Enzephalisation der Wahrnehmung deutlich gemacht werden, die notwendig sind, um ein homogen erscheinendes Perzept zu generieren. Laut Roth sind Parallelverarbeitung und späte Bindung signifikant für unser visuokognitives System.<sup>163</sup> Die topografische Nähe und funktionale Überschneidung von Arealen visueller Verbreitung mit geometrieaffinen Core Knowledges und die von Koch nahegelegte Verbindung zum Bewusstsein geben Grund zur Annahme, dass dem visuellen System und besonders seinen auf Räumlichkeit bezogenen Leistungen ein essentieller evolutionärer Einfluss auf die Enzephalisation samt Strukturierung des Konnektoms zukommt; dem wird folglich in dieser Arbeit weiter nachgegangen. Diese strukturspezifischen Aspekte werden auch als Indizien für eine (weitgehende) **Entkopplung von der externen Realität** angesehen. Wie an anderen

<sup>160</sup> Cf. Koch „Die Spuren des Bewusstseins führen in den inferotemporalen Cortex“ (Koch, 2005, S. 301)

<sup>161</sup> Der Aspekt des Entwickelns von „concepts“ berührt ein weit führendes und teilweise kontroversiell diskutiertes Thema der einschlägigen Forschung, dem hier nicht weiter nachgegangen wird. Es geht dabei um Susan Careys (2011) Ansatz von Conceptual Changes, dem sich Elizabeth Spelke, Véronique Izard et al. erklärter Maßen verbunden fühlen.

<sup>162</sup> Einschließlich Anhang

<sup>163</sup> Cf. Roth, 2010, S. 283

Stellen gezeigt wird, hat das vielfältige erkenntnistheoretische Konsequenzen, die Poincarés Distanzierung von einem determinierenden Apriori der Dreidimensionalität unterstützen.

## 5 KOMPARTIMENT Sensibilität für Licht

Eine Pointe der hier verfolgten Hypothese besteht im Versuch, einen Zusammenhang herzustellen, gemäß dem elektromagnetische Strahlung eine der essentiellen Rahmenkomponenten einer Biosphäre bildet, die sowohl die grundsätzlichen Lebensbedingungen beeinflusst, als sie dabei und darüber hinaus auch die Evolution eines Wahrnehmungsvermögens begünstigt, das besonders auch zur Entstehung antizipationsfähiger Fernsinne zur Bewegungssteuerung beiträgt. So bildet die in weiten Bereichen des Spektrums lebensfeindliche elektromagnetische Strahlung auch eine Komponente der Evolution von Motilität sowie unseres visuellen Systems. Beider Wurzeln sind aus dieser Perspektive schon in rudimentären Formen auf Ebene von Einzellern anzutreffen, führen aber im Zuge der Enzephalisation der Wahrnehmung weit darüber hinaus.<sup>164</sup>

Als Beispiele einer evolutionären Indizienkette, die bis zum genuinen Nahverhältnis von Augen und Gehirn führen soll, werden die Modifikation transmembraner Proteine von Einzellern zu lichtsensiblen Strukturen ebenso geltend gemacht wie eine orientierte Photomotorik. Dieser Weg wird vom opaken Stigma bei *Euglena viridis* über den Hautlichtsinn, zu Einstülpungen der Haut als Gruben- und Becheraugen bis hin zu Augen von Typ der Camera obscura illustriert. Auch die Konzentration auf foveales Sehen und die Beweglichkeit von Augen sowie die genuine Verbundenheit von Augen und Gehirn gemäß embryonaler Histologie und spezifisch wirksamer Gene, wie z.B. Pax6, werden thematisiert.

Kurz gefasst führt diese Indizienkette zu dem Schluss, der zugleich eines der Ergebnisse dieser Arbeit ausdrückt:

Die geringe Strahlungstoleranz von Proteinen sowie der DNA ist ein maßgeblicher Faktor der Evolution komplexer neurokognitiver Strukturen und Potentiale.

### 5.1 Sensibilität für Licht – ab ovo ein essentieller Faktor von Kognition und Geometrie

Eine Reihe der bisherigen Ausführungen sollte den vielfältigen Einfluss von Leistungen des Gehirns auf das Perzept ebenso illustrieren wie die Affinität von visueller Wahrnehmung und geometrischen Core Knowledges. Dabei kommen auf vielen Ebenen umfangreiche und teilweise frappante Konstruktionsprozesse zum Tragen, die besonders auch die Raumwahrnehmung, die Erscheinung von Objekten sowie deren formbestimmende Identifikation betreffen. Höchst bemerkenswert sind die topologische Nähe bzw. Überschneidungen und wohl auch funktionelle Verbundenheit einer Reihe der in diesem

---

<sup>164</sup> Einer pejorativen Konnotation des allfälligen Eindrucks „weit hergeholt“ soll mit dem Hinweis begegnet werden, dass genau das Ausfindigmachen einfachster evolutionärer Faktoren bei stammesgeschichtlich weit entfernt liegenden Spezies das Ziel verfolgt, Poincarés Suche nach den Fundamenten von Geometrie und entsprechenden kognitiven Potentialen möglichst weit bis zu rudimentären Wurzeln zu verfolgen. Auch wenn dabei vieles spekulativ bleiben muss, soll doch der Horizont des dafür relevant erscheinenden Milieus von Aspekten ausgeleuchtet werden.



Zusammenhang genannten Areale des Gehirns mit jenen, denen Koch eine Affinität zur Entstehung von Bewusstsein zuschreibt/zutraut.<sup>165</sup>

Zusammenhänge bestehen aber nicht nur auf Ebene des Interaktionskomplexes Netzhaut-Gehirn. Sie betreffen in einem weiter ausgedehnten Horizont der Betrachtung auch den Bau unseres Auges nach dem Typ der Camera obscura und können in ihren Wurzeln bis zur Sensibilität für Strahlung und der dadurch induzierten Photomotorik verfolgt werden. Gemäß der hier die Gedanken leitenden Hypothese wird nämlich unterstellt, dass die evolutionäre „Entscheidung“ für ein auf Licht basiertes Wahrnehmungssystem mit begleitenden Faktoren wie z.B. Photomotorik oder auch projektive Ambivalenz von Linsenaugen (Camera Obscura-Typ) in besonders hohem Ausmaß die Enzephalisation der Wahrnehmung forciert. Folglich werden weiterführende Indizien gesammelt und Überlegungen angestellt, die besonders auch Aspekte evolutionärer Erkenntnistheorie betreffen und eine diesbezügliche Relation zu Poincaré aufzeigen wollen.

Wenn man der Entwicklung der für die Fundamente von Geometrie relevanten Core Knowledges aus evolutionärer Perspektive unter dem Aspekt der hier unterstellten Hypothese nachgeht, dass ein visueller Fernsinn einen prominenten Einfluss auf die Enzephalisation hat, der sich bis auf das Potential für komplexe kognitive Potentiale auswirkt, dann wird bei einer konsequenten Suche nach den Ursprüngen letztlich auch die evolutionäre Genese einer Sensibilität für Licht zum Thema.<sup>166</sup>

#### 5.1.1 Von der Sensibilität für Strahlung zum projizierenden Komplexauge eines Fernsinns zur Lokalisation und Formbestimmung von Objekten

Wenn man die Auseinandersetzung mit Raumwahrnehmung nicht nur auf die Suche nach den möglichen Fundamenten von Geometrie bezieht, sondern noch umfassender dem Entstehen eines Systems visueller Wahrnehmung zur Interaktion mit der externen Realität nachgeht, dann führt das einerseits zu Fragen nach frühen Formen einer Sensibilität für Licht und tangiert andererseits den fundamentalen erkenntnistheoretischen Komplex der Fragen, ob, wie und warum Wahrnehmung und Erkenntnis (vgl. Markl) zusammenhängen und welche Relationen zwischen Subjekt und externer Realität sich daraus ergeben.

Beide Aspekte sind mit Poincarés Anliegen kompatibel und die Netzhaut unserer Augen bildet einen thematisch und sachlich passenden Ausgangspunkt, von dem aus man diesen Fragen in beide Richtungen nachgehen kann.

Der an anderer Stelle verfolgte Weg der Reizverarbeitung von der Netzhaut bis in diverse Areale des Gehirns lässt einen engen Zusammenhang mit komplexen kognitiven Potentialen erkennen, der nicht nur in Form von Core Knowledges mit den Fundamenten von Geometrie verbunden ist, sondern auch an die Schwelle des Bewusstseins führt.<sup>167</sup>

Von der Netzhaut ausgehend kann (und soll) man aber auch den einfachsten Formen der Sensibilität für Licht bzw. Strahlung bis zu transmembranen Proteinen von Einzellern

<sup>165</sup> Cf. „Die Spuren des Bewusstseins führen in den inferotemporalen Cortex“ (Koch, 2005, S. 301)

Der inferotemporale Cortex ist ein dominant in den ventralen Verarbeitungspfad involvierter Teil des Gehirns.

<sup>166</sup> Es geht um die Trias Licht, Bewegung und Enzephalisation als produktives Milieu, das kognitive Evolution begünstigt.

<sup>167</sup> Cf. Koch: „Die Spuren des Bewusstseins führen in den inferotemporalen Cortex“ (Koch, 2005, S. 301), also in den ventralen Pfad. Weiters spielen dabei auch die unterscheidbaren Funktionen des magno- und parvozellulären Systems eine auch evolutionär bedeutsame Rolle.

nachgehen, die in Form von Sensorrhodopsinen auch für den Aufbau der Netzhaut und darüber hinaus auch noch für die bioelektrische Reizleitung und somit für das Nervensystem eine Rolle spielen. So bringt auch diese Ausrichtung der Analyse entscheidende Komponenten zum Vorschein, welche gemeinsam mit der ebenfalls diesem Milieu entstammenden Photomotorik die evolutionäre Weichenstellung in Richtung Raumwahrnehmung usw. beeinflusst haben dürften.

Bezüglich des epistemologischen Aspekts spielt sowohl das zweidimensionale Bild der Netzhaut eine Rolle für die Enzephalisation der Wahrnehmung, als auch der Einfluss transmembraner Proteine auf die Interaktion von Einzellern mit der externen Realität zu biologischen bzw. evolutionären Modellen mit autopoietischen Konzepten führt. Die Abgrenzung durch Membranen gegenüber der somit externen Realität führt zum Innen-Außen Problem autonomer Zellen bzw. Organismen. Transmembrane Proteine (wie Sensorrhodopsine) sind Komponenten, die auf Ebene von Zellen eine interaktionstaugliche Struktur etablieren. Das gilt schon für die Regelung der Innen-Außen Relation von Einzellern. Bei mehrzelliger Organismen betrifft dies sowohl das Verhältnis zur externen Realität als auch die koordinierende Interaktion der Zellen innerhalb des Organismus. Membranen und transmembrane Proteine betreffen folglich sowohl den Fragenkomplex von Biologie, Physiologie usw. als auch der Erkenntnistheorie.

#### 5.1.2 Strahlung als Faktor einer evolutionsfördernden Biosphäre (selektiv- mutagen)

Bei einer evolutionär orientierten Betrachtung früher bzw. einfachster Modelle von Handlungspotentialen und korrelierenden physiologischen Strukturen, die als rudimentäre Formen auf dem Weg zur Raumwahrnehmung und der Enzephalisation geltend gemacht werden, sind diesbezüglich relevante Rahmenbedingungen der externen Realität in Betracht zu ziehen, die den Bestand von lebenden Organismen prinzipiell ermöglichen bzw. zulassen, also Merkmale der Biosphäre und deren lebensfeindliche Grenzbereiche, die relevante Faktoren für Mutation und Selektion bilden.

Bezogen auf die Frage nach der Entwicklung eines visuellen Systems geht es dabei plausibler Weise um Licht. Es darf aber nicht außer Acht gelassen werden, dass über den unmittelbaren Konnex von Licht und Sehen hinaus elektromagnetische Strahlung auch weitreichende Einflüsse auf die generelle Lebensmöglichkeit und Entwicklung von Lebewesen hat.<sup>168</sup>

Organismen werden dabei als weitgehend autonome Systeme in Ansatz gebracht, die aber nicht autark sind und deshalb auch unter effizienter Nutzung energiereicher Strahlung ein Leben an der Grenze der physiologischen Verträglichkeit führen, weil zum Aufrechterhalten der inneren Ordnung (Fließgleichgewicht) Energie zugeführt werden muss, die u.a. auch aus bzw. mit Hilfe von Strahlung gewonnen wird.

Bei der Fokussierung auf einen Brückenschlag von der Strahlungstoleranz bis zu einer Enzephalisation, welche das Apriori der phänomenalen Dreidimensionalität weitgehend hinter sich lassen kann, werden also die Evolution der Sensitivität für Licht sowie die biologische Wirkung von Strahlung und deren Bedeutsamkeit für die „ongoing existence of the organism“ (Cf. Weber) zu einer Art von archimedischem Punkt (m) einer Indizienkette der Argumentation.

---

<sup>168</sup> Cf. Photobiologie

### 5.1.3 Rahmenbedingungen: Strahlung als Faktor der Biosphäre

Unter dem Stichwort Biosphäre sollen hier nur einige jener Faktoren genannt werden, die besonders auch den Grenzbereich eines Milieus bestimmen. Es geht also auch um Extrembiotope, in denen teilweise nur noch hochspezialisierte extremophile Mikroorganismen überleben können.

Zu diesen Faktoren gehören u.a. Temperatur, Trockenheit, Druck, pH- Wert und nicht zuletzt auch Strahlung.<sup>169</sup>

Als Kriterium für eine Biosphäre werden in unserem Zusammenhang langwellige Strahlungen jenseits der (nahen) Infrarot Strahlung (ca. 780 nm) nicht vorrangig in Betracht gezogen, weil sie anders als ionisierende Strahlung keine zellschädigende Wirkung haben. Allerdings ist der thermische Effekt zu beachten, der auch für den Bereich der Wahrnehmung eine Rolle spielen kann.

Neben dem Frequenzband des sichtbaren Lichts (ca. 400 nm - 780 nm) geht es vor allem um das Ultraviolett- Spektrum (ca. 10 nm -380 nm) und die kürzerwelligen Röntgen- und Gammastrahlen, von denen allerdings der überwiegende Teil in der natürlichen Biosphäre nicht zur Geltung kommt.<sup>170</sup>

Aus langfristiger Perspektive evolutionärer Grundlagen der Sensibilität für Licht und eines daraus hervorgegangener visueller Systeme ist allerdings zu beachten, dass die Zusammensetzung der Erdatmosphäre und der damit verbundene Schutz vor Strahlung auch zur Zeit bereits existierenden Lebens insgesamt oder in begrenzten Regionen (z.B. Ozonloch) erheblichen Schwankungen unterliegt.<sup>171</sup>

---

<sup>169</sup> Zu den strahlungsspezifischen Rahmenbedingungen der Biosphäre führt Stan-Lotter aus:  
 „...300 nm (**ionisierende strahlung**): bei geringen strahlendosen kommt es zu mutationen; bei höheren strahlendosen allerdings sterben die zellen durch DNA-brüche und enzyminhibition;

☒☒ > 300 nm (**nicht ionisierende strahlung**) ist nicht durchdringend; lässt sich daher relativ leicht abschirmen, wohingegen ionisierende strahlung bis zu einem gewissen frequenzbereich organisches gewebe penetriert.

Microorganismen überstehen bestrahlung leichter als macroorganismen.“ (Stan-Lotter, 2001, S.11). Anm.: Schreibweise ohne Korrektur wiedergegeben )

<sup>170</sup> Einem hier nicht weiter verfolgten Zeitungsartikel ist zu entnehmen, dass es stark Melanin haltige Pilze gibt, die nicht nur unter dem Einfluss radioaktiver Strahlung überleben, sondern diese gezielt zu ihrer Energieversorgung nutzen können. „Mikrobiologin Nelli Zhdanova sagt..., es sei eine große Überraschung gewesen, an einem Ort wie Tschernobyl überhaupt Leben zu finden. „Als der Pilz die Quelle der radioaktiven Strahlung entdeckte, wuchs er direkt in dessen Richtung“... Je näher der Pilz der radioaktiven Quelle gewesen sei, desto mehr Melanin habe man nachweisen können. Diese Anpassungsfähigkeit sei auch dafür verantwortlich, dass dieser Pilz die lebensgefährliche Gamma-Strahlung des Reaktors in chemische Energie umzuwandeln könne.“

([https://www.focus.de/wissen/waechst-und-gedeiht-im-tschernobyl-reaktor-mysterioeser-pilz-wandelt-radioaktive-strahlung-in-energie-um\\_id\\_11683639.html](https://www.focus.de/wissen/waechst-und-gedeiht-im-tschernobyl-reaktor-mysterioeser-pilz-wandelt-radioaktive-strahlung-in-energie-um_id_11683639.html) 20.2.2020)

<sup>171</sup> „Schutzschirm Ozon

Für die frühe Atmosphäre bewirkte die Fotosynthese der Wasserpflanzen noch keine radikale Umgestaltung, da der frei werdende Sauerstoff großteils im Ozean gebunden wurde. Immerhin gelangten ausreichende Mengen von Sauerstoff in die Atmosphäre, wo dieser in hohen Luftschichten unter Verwendung des kurzwelligen, ultravioletten Sonnenlichtes (UV-Strahlung) eine dünne aber stabile und wirksame Ansammlung von Ozon (O<sub>3</sub>) bilden konnte. Durch die Ozonschicht wurde die für das Leben schädliche UV-Strahlung absorbiert und damit nicht bis zur Erdoberfläche durchgelassen.

**Fotosynthese revolutioniert die Atmosphäre**

Damit war vor etwa 600 Mio. Jahren für das Leben der Weg bereitet, den Schritt vom schützenden Ozean auf die Landoberfläche zu tun.“ (<https://www.zamg.ac.at/cms/de/klima/informationsportal-klimawandel/klimasystem/geosphaeren/atmosphaere> 18.4.2019)

Riederer hält fest: „Bis zur Erdoberfläche kann UV-Strahlung im Wellenlängenbereich zwischen 290 nm und 400 nm vordringen, während die Atmosphäre den unter 290 nm liegenden Spektralbereich vollständig abschirmt. Im Hinblick auf die biologische Wirkung wird zwischen UV-B (280 bis 315 nm) und UV-A (315 bis 400 nm) unterschieden.“ (Riederer, 2004, S. 34)

Wenn trotz vollständiger atmosphärischer Abschirmung für Bereiche unter 290 nm doch noch ein Teil ionisierender UV-B Strahlung die Biosphäre erreicht, dann müssen Organismen überlebensfähige Strategien gegenüber diesem schädlichen Bereich entwickeln.

„Die Organismen haben im Verlauf der Evolution Anpassungen an die energiereiche UV-Strahlung erworben. Zum einen sind dabei Biosynthesewege für Pigmente entstanden, die im UV-B und – in geringerem Umfang auch im UV-A – absorbieren und so die empfindlichen Zellbestandteile, vor allem die DNA, vor Strahlungsschäden schützen. So genannte **Schirmpigmente** stellen eine passive Methode für die Vermeidung von UV-induzierten Schäden dar.“ (Riederer, 2004, S. 34)

#### 5.1.4 Halobakterielle Fotosensorik & Photomotorik: Selektiv fotosensible Änderung der Drehrichtung des Geiselmotors

Neben dem passiven Schutz gibt es auch die aktive Option des Schutzes durch Fortbewegung, die alternativ oder auch vikariierend bzw. mutualistisch genutzt werden kann. Diese Optionen finden auch ihren Niederschlag in der Evolution lichtempfindlicher Sinnesorgane und kognitiver Potentiale.<sup>172</sup>

Bei Halobakterien, die in wässrigen Milieus mit hohen Salzkonzentrationen leben, beschreibt die Biochemikerin Stan - Lotter Phänomene, die sowohl die Fotosensorik als auch die aktive Fortbewegung (Motilität) betreffen.

Unter dem Titel „Halobakterielle Fotosensorik“ werden zwei Sehpigmente (die Sensor Rhodopsine SR I und SR II) beschrieben, die selektiv fotosensibel sind und auch die Fortbewegung durch Änderung der Geiselbewegungen steuern. Neben chemischen Lock- und Fluchtstoffen werden oranges Licht als anziehend und blaues Licht bzw. UV Strahlung als Auslöser von Fluchtbewegungen genannt.<sup>173</sup>

Zusammenfassend wird festgestellt: „ das **SRI** ermöglicht den "erwachsenen“ halofilen Archaea aktiv günstige lichtverhältnisse aufzusuchen (fototaxis, und chemotaxis); das **SR II** schützt junge zellen vor UV-strahlung;“ (Stan – Lotter, 2001, S.22)

Diese Darstellungen von Stan - Lotter sind mit Ergebnissen von Lutz kompatibel, mit Hilfe derer noch detaillierter versucht wird , am Beispiel von Archaeobakterien einen genuinen Zusammenhang von Motilität, Sensibilität für Licht und geringer Strahlungstoleranz in die hier vertretene Hypothese zu integrieren und so ein Ausgangsmilieu aufzubereiten, an dessen Horizont die Enzephalisation der Wahrnehmung in Aussicht steht.

<sup>172</sup> Motilität wird an unterschiedlichen Stellen dieser Arbeit als fordernder und fördernder Aspekt der Evolution neurokognitiver System geltend gemacht.

<sup>173</sup> „Halobakterien kennen zwei typen der fotosensorik (fotochrom. sensor):

**SRI**- unterscheidung zu VIS & UV orange (587 nm); es ist mit rund 4000 kopien relativ häufig vorhanden; es bildet mithilfe des lichtetes einen langlebigen zwischen-zustand, welches bei 373 nm absorbieren kann; bei UV penetration kommt es durch dessen abbau zur umschaltung der betriebsrichtung im geiselmotors.

**SR II**- rezeption für blaulicht (fotorhodopsin);...“ (Stan –Lotter, 2000, S.21). Anm. Ö.: Schreibweise ohne Korrektur wiedergegeben.

### 5.1.5 Transmembrane Proteine, Sensorrhodopsin: Energiegewinnung und Schutz vor Strahlung

Bei der Analyse der hier themenrelevanten Rolle von Strahlung sind zwei Aspekte zu beachten: einerseits die Energiegewinnung und andererseits der Schutz vor Strahlung. Beide Aspekte samt den entsprechenden „Lösungen“ sind schon bei einfachsten Einzellern anzutreffen und haben (nach meiner Einschätzung) zumindest als Beispiele für die Modellbildung eine Affinität zur Evolution visueller Systeme.<sup>174</sup>

Der folgende Abschnitt zielt also auch darauf ab, aus der Perspektive autopoietischer Modelle Indizien für die Verbindung von Energiehaushalt und Evolution visueller Systeme aufzuspüren und dabei die Rolle der Zuweisung von Bedeutung an externe Stimuli zur Geltung zu bringen. Allerdings ist diese Indizienkette so vage, dass dieser Versuch nur als Vorschlag zur Illustration des für die Betrachtung relevant erscheinenden Milieus evolutionärer Faktoren und nicht als Nachweis des faktischen Zusammenhangs verstanden werden soll.

Als dennoch qualifizierende Grundlage für ein Szenario dieser Art und als Ausgangspunkt der Betrachtung wird geltend gemacht, dass mikrobielle Rhodopsine je nach Typus sowohl in die Energiegewinnung eingebunden sind als auch als **Lichtsensoren** wirken.

Gemäß einer Darstellung der FU Berlin (Arbeitsgruppe Heberle) sind mikrobielle Rhodopsine und der Sehrezeptor Rhodopsin bezüglich der Komponenten des Aufbaues (gerade im Bereich der Membran) und der Funktionsabläufe einander sehr ähnlich. Durch lichtinduzierte Prozesse werden offenbar als „Photozyklus“ bezeichnete Prozesse in Gang gesetzt, die je nach Wellenlänge des Lichts unterschiedlich verlaufen. In diesem Artikel werden die unterschiedlichen Funktionen von Rhodopsintypen erläutert: Bacteriorhodopsin (bR), Sensorrhodopsin I und Kanalrhodopsin.<sup>175</sup>

Durch diese Hinweise wird deutlich, dass es innerhalb dieser Rhodopsine eine Spezialisierung in Richtung Energiegewinnung (bR), aber auch hin zu sensorischen Funktionen gibt. Darüber hinaus liegt es ganz im Sinn des hier verfolgten Ansatzes, dass die Sensorrhodopsine mit der

---

<sup>174</sup> Auch wenn es sich im aktuelle Stadium nur um ein Projekt handelt, zeigt der im Artikel der HAZ beschriebene Forschungsansatz, wie eng die Verbindungen sensibler Strukturen von Einzellern und struktureller Komponenten komplexer visueller Systemen offenbar sind. Dies scheint die hier verfolgte Indizienkette zu bestärken.

Mit dem im hiesigen Kontext treffend plakativen Teaser „**Algen im Auge**“ wird ein Projekt der Firma Retrosense beschrieben. Dabei soll ein aus Kanal-Rhodopsin-2 gewonnenes Gen in Nervenzellen der menschlichen Netzhaut so eingeschleust werden, dass diese gentechnisch wieder aktiviert werden.

„Entdeckt wurde Kanal-Rhodopsin-2 bereits im Jahr 2003...Schnell wurde klar, dass es sich bei dem Protein aus dem Augenfleck einer einzelligen Grünalge um einen bisher unbekanntem Fotorezeptor handelt, einem Molekül also, das Licht in elektrische Impulse umwandelt.“ (Christian Honey, 2017, o.S.)

<sup>175</sup> „**Sensorrhodopsin I.** Im Gegensatz zu bR ist das Sensorrhodopsin I (sRI) nicht in der Energiegewinnung involviert sondern agiert als Lichtsensor (Phototaxis). Absorbiert sRI oranges Licht führt dies zu einer Isomerisierung des Retinals und zur Bildung des Intermediates S373, in welchem die Schiffsbasis deprotoniert vorliegt. Dieser Prozess führt zu einem anziehenden Signal, so dass sich die Zelle zur Lichtquelle hin bewegt. Im Gegensatz dazu führt die Absorption eines zweiten Photons im nahen UV-Bereich zu einem abstoßenden Signal, so dass sich die Zelle von der Lichtquelle weg bewegt...

**Kanalrhodopsin.** Kanalrhodopsine (ChRs) sind die ersten und soweit einzigen lichtgetriebenen Ionenkanäle die in der Natur vorkommen. ChR1 und ChR2 dienen als (Ö> sic!) in der einzelligen Grünalge *Chlamydomonas reinhardtii* als Rezeptor für Phototaxis. Nach Lichtaktivierung werden sie vorübergehend durchlässig für Protonen und Kationen (Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup> und Ca<sup>2+</sup>) was zu einer lichtkontrollierten Depolarisation der Membran führt. In Nervenzellen können somit Aktionspotentiale durch Lichtanregung erzeugt werden, wenn ChR2 in den Membranen expremiert wurde, d.h. Optogenetik.“ (AG Heberle, o.J. o.S.)

Steuerung von positiver oder negativer Phototaxis verbunden sind, weil das in einfachster Form auf eine hier verfolgte Hypothese verweist, der gemäß Raumwahrnehmung, Enzephalisation und Motilität genuin verbundenen sind.<sup>176</sup>

Auch die komprimiert wiedergegebene Passage von Lutz schildert genau das im hiesigen Kontext gemeinte Milieu von Energiegewinnung, Sensibilität, Motilität und Signalübertragung im Bereich der interaktiven Schnittstelle Membran am Beispiel von Archaeobakterien. Lutz geht dabei auf die Wirkungsweise von Sensorrhodopsinen<sup>177</sup> ein:

„Mit Hilfe dieser Sensoren haben die Archaeobakterien eine Art primitives Farbsehen entwickelt, das ihnen ermöglicht, schädlicher UV-Strahlung zu entfliehen und Regionen mit photosynthetisch gut verwertbarem Licht im grünen und orangen Spektralbereich anzusteuern.“ (Lutz, 2001, S. 4)<sup>178</sup>

„H. salinarum kann seine Energieversorgung durch Atmung, anaerobe Stoffwechselwege (Argininfermentation) und die retinalabhängige Photosynthese sicherstellen...Beide Bakterien verfügen außerdem mit den Sensorrhodopsinen über Photosensoren, mit denen sie ihr Schwimmverhalten der Lichteinstrahlung anpassen...Die Sensorrhodopsine treten in der Zellmembran gemeinsam mit einem zugehörigen Signalübertragungsprotein (Transducer) auf, das ein detektiertes Signal (Absorption eines Photons) an eine komplexe biochemische Signalkette im Zellinneren weiterleitet.“ (Lutz, 2001, S. 5 f.)

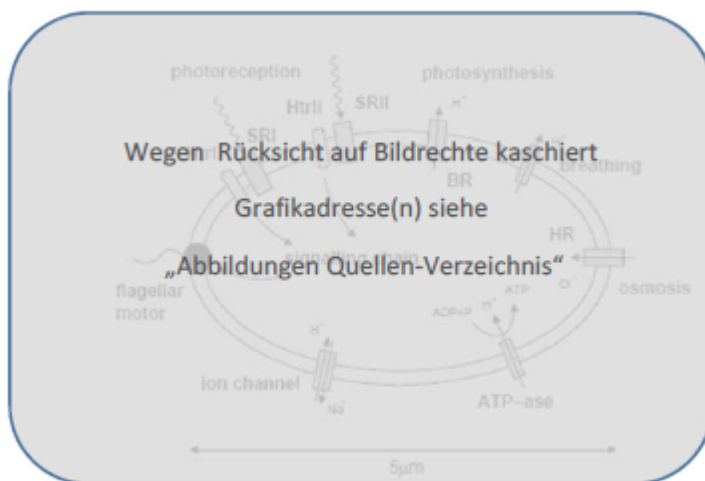


Abbildung 23 Schema Halobakterium salinarium, Sensorrhodopsine (Lutz, 2001, S. 6)<sup>179</sup>

Mittels unterschiedlicher in die Membran eingelagerter Sensorrhodopsine sind also Archaeae offenbar in der Lage, ihre Schwimmbewegung gemäß Lichtmilieu zu ändern, um für die Photosynthese günstige Spektralbereiche aufzusuchen oder schädliches UV Licht zu meiden.

Die Schutz- bzw. Regelfunktion gegenüber Strahlung beruht im hier geschilderten Fall auf eigenaktiver Ortsveränderung, also auf Motilität, von der im Zuge dieser Arbeit ja eine genuine Affinität zu Raumwahrnehmung unterstellt wird.<sup>180</sup>

<sup>176</sup> Es geht auch im Sinn von Poincarés evolutionären Ansatz darum, diesen „weit hergeholt“ erscheinenden Zusammenhang schon in seinen rudimentärsten Formen ausfindig zu machen.

<sup>177</sup> Sensorrhodopsine sind spezielle Retinalproteine, die als Sensoren fungieren

<sup>178</sup> Durch die mit Ihnen verbundene Möglichkeit zum Aufsuchen von Regionen mit photosynthetisch gut verwertbarem Licht sind auch Sensorrhodopsine in die Energiegewinnung eingebunden.

<sup>179</sup> Die den Zitaten von Lutz zugehörige Abbildung wird hier nur zu deren Veranschaulichung angefügt, ohne dass den anderen darin erkennbaren Komponenten weiter nachgegangen wird.

<sup>180</sup> Daneben gibt es noch andere Systeme, wie z.B. Bildung von Pigmenten, von denen einige im engen Zusammenhang mit visuellen Systemen stehen (z.B. Pigmentfleck Euglena, Iris des Auges) und folglich in diesen Konstellationen letztlich ebenfalls mit Raumwahrnehmung assoziiert werden können.

Oesterhelt kommentiert diese Meidbewegungen mit der zwar anthropomorphen, aber sehr pointierten Formulierung: „...auch kleine Zellen mögen keinen Sonnenbrand“ (Oesterhelt, 2006, S. 2)

Nebenbei bemerkt hat dieser anthropomorphe Slogan ein Pendant im Odit von Dermatologen im Zusammenhang mit Melanom- Vorsorge: „Die Haut vergisst nichts!“. Diese weit gespannte Assoziation erscheint hier deshalb als anmerkwürdig, weil der Satz schon auf Zellebene eine Art „Gedächtnis“ insinuiert und ein Potential dieser Art natürlich für die Evolution eines sinnesspezifisch mit der Umwelt interagierenden Systems ein elementarer Baustein ist. Auch wenn Art und Funktionsweise eines derartigen „Gedächtnisses“ (via DNA?) hier nicht dargestellt werden können.<sup>181</sup>

#### 5.1.6 Lichtsensible Sinnesorgane begünstigen Entwicklung optimierter Motilität

Wenn mit transmembranen Proteinen von Einzellern eine Sensibilität für Strahlung mit Photomotorik in Verbindung gebracht werden kann, dann lenkt das die Ausrichtung der weiteren Recherche auf die Evolution von komplexeren, selektiv lichtsensiblen Sinnesorganen und auf die Entwicklung optimierter Motilität sowie auf deren Zusammenwirken.

Dabei geht es vor allem um die Fragen, welche Affinität diese rudimentären Potentiale von Einzellern zur Raumwahrnehmung, Geometrie und Erkenntnistheorie haben und welche wissenschaftlich tragfähigen Modelle Möglichkeiten zu einer diesbezüglichen Argumentation bieten.<sup>182</sup>

#### 5.1.7 Euglena: Mittels Stigma orientierte Photomotrik optimiert Selbstregulation der Homöostase

Euglena ist eine Gattung von Einzellern, die sich über Photosynthese und zum Teil auch von organischen Substanzen aus der Umgebung ernährt. Die Fortbewegung erfolgt mittels Geißelbewegung, wobei auch die gesamte Zelle um ihre Längsachse rotiert. Diese Rotation spielt eine wesentliche Rolle für die Orientierung an der Richtung des Lichteinfalls.

Euglena verfügt über ein so genanntes Stigma, das auch als Augenfleck bezeichnet wird, aber kein Auge im klassischen Sinn bildet. Vielmehr geht es um einen selektiv lichthemmenden Pigmentfleck, der in Zuge der Rotation eine unmittelbar an der Geißel befindliche fotosensible Struktur periodisch beschattet. Damit kann Euglena die Fortbewegungsrichtung mit Orientierung an der Lichtquelle steuern. Die Details werden nicht weiter referiert, weil sie einerseits aus den Legenden der Abbildungen hervorgehen und weil hier nur das Prinzip einer Variante der Orientierung an einer externen Lichtquelle durch Einbau lichthemmender Komponenten (mit emergentem Effekt) angedeutet werden soll.<sup>183</sup>

---

<sup>181</sup> Cf. Genom, Epigenom z.B. auch DNA-Schädigung durch UV-Licht. Anordnung des Erbmoleküls wirkt schützend ([https://www.uni-muenchen.de/informationen\\_fuer/presse/presseinformationen/2007/f-04-07.html](https://www.uni-muenchen.de/informationen_fuer/presse/presseinformationen/2007/f-04-07.html))

„Bei 260 nm (UV-C-Bereich) liegt weiterhin das Maximum der UV-Absorption der DNA. Normalerweise absorbiert die Atmosphäre schon in 100 Km Höhe den größten Teil der UV-B und C Strahlung. Durch die Ozonlöcher gelangen jedoch mehr dieser Wellenlängen in Bodennähe.“ (<http://www.zum.de/Faecher/Materialien/beck/13/bs13-5b.htm>)

<sup>182</sup> Solche Konzepte werden z.B. mit Pamela Lyons „biogenic approach to cognition“ oder mit dem autopoietischen Ansatz von Maturana und Varela in einem eigenen Abschnitt dargestellt.

<sup>183</sup> Abbildungen übernommen aus und Text referiert nach: Czihak et al, 1990, S. 146))

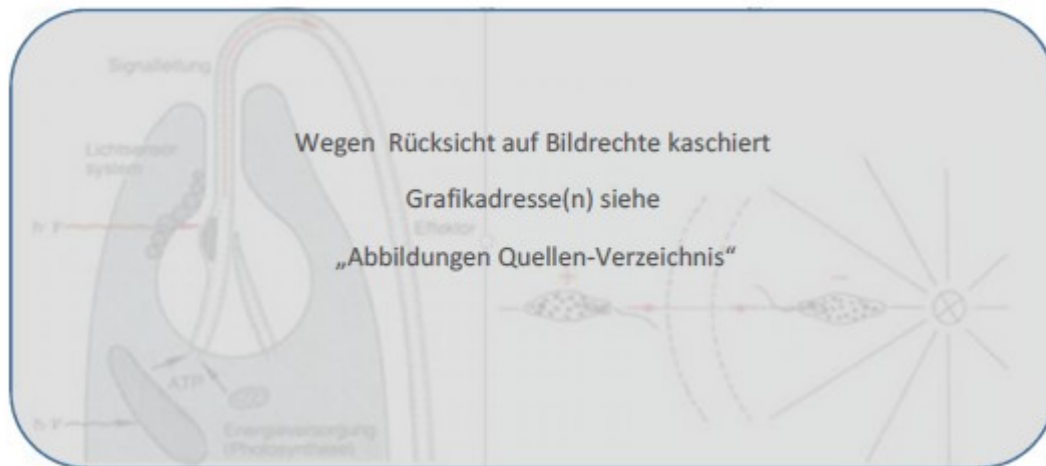


Abbildung 24 a) *Euglena*, phototaktisches Bewegungssystem, b) Positive u. negative Phototaxis (Czihak et al., 1990, S. 146) <sup>184</sup>

Der **Zugewinn an Richtungsgenauigkeit** bei **Euglena** wird im Vergleich mit **Escherichia Coli** deutlich. In Czihak et al. (1990) wird die chemophobotaktische Reaktion bei *E. coli* beschrieben. *E. coli* schwimmt in einem chemisch homogenen Medium in leichten Kurven vorwärts und verfällt etwa im Sekundentakt durch Umkehr der Drehrichtung der Geißel in ein leichtes Taumeln, dem zufolge der Einzeller dann in einer Zufallsrichtung weiter schwimmt. <sup>185</sup>

Abgesehen von den unterschiedlichen Bezugssystemen Licht versus Konzentrationsdichte chemischer Botenstoffe erscheinen die beiden Systeme bezüglich des Fortbewegungskonzepts einschließlich der Orientierungsstrategie zunächst doch recht ähnlich zu sein. Dennoch ergeben sich Unterschiede, die schon auf Ebene der beiden als Beispiele genannten Einzeller erkennbar sind. Diese Differenzen kommen aber vor allem dann markant zur Geltung, wenn man die Potentiale zu Weiterentwicklung dieser beiden Ansätze in Richtung komplexerer Orientierungs- und Wahrnehmungssysteme in Betracht zieht.

Bei *E. coli* ist aus zwei Gründen mit längeren Wegen zu rechnen, die sich einerseits auf die starke Zufallskomponente (Taumeln) beziehen und andererseits ist davon auszugehen, dass das Konzentrationsgefälle in der Flüssigkeit, z.B. durch Strömungen, stärkeren Verzerrungen ausgesetzt ist, als solche bei Licht wahrscheinlich sind. Somit kann, zumindest im Prinzip, *Euglena* mit kürzeren Wegen zielstrebig das optimale Milieu aufsuchen als *E. coli*.

<sup>184</sup> Original Bildkommentar zu Abb. a) „Phototaktisches Bewegungssystem von *Euglena*...Das Lichtsensorysystem setzt sich aus dem Photorezeptor (Paraflagellarkörper) und dem Stigma (°Augenfleck°, bestehend aus carotinoidhaltigen Globuli) zusammen. Da die Zelle bei ihrer Fortbewegung um ihre Längsachse rotiert, wird der Photorezeptor in Abhängigkeit von der Lichtrichtung durch das Stigma im blauen Spektralbereich periodisch abgeschattet. Die im Photorezeptor in chemische Signale verwandelte Information steuert den Geißelschlag bei der positiven Phototaxis in der Weise, daß eine Kursänderung in Richtung auf die stigmahaltige Zellflanke durchgeführt wird. (Original Schopfer)“

Abb. b) „Positive und negative Phototaxis des Flagellaten *Euglena*...Die Richtung der taktischen Bewegung wird direkt von der Lichtrichtung bestimmt. Bei niedriger Beleuchtungsstärke schwimmen die Zellen auf die Lichtquelle zu (+), bei hoher Beleuchtungsstärke von der Lichtquelle weg (-). Der Indifferenzbereich, in dem sich die Zellen schließlich ansammeln werden, liegt zwischen den gestrichelten Linien. (Nach Mohr)“ (Beide Zitate: Czihak et al., 1990, S. 146)

<sup>185</sup> „Schwimmt die Zelle in Richtung der höheren Konzentration eines Lockstoffes, so ist das Taumeln seltener, in umgekehrter Richtung aber häufiger als normal. Im Konzentrationsgefälle eines Schreckstoffes verhält sich das Bakterium umgekehrt. Auf diese Weise sammeln sich die Zellen schließlich im Konzentrationsmaximum des Lockstoff bzw. in größter Entfernung vom Konzentrationsmaximum eines Schreckstoffes an.“ (Czihak et al, 1990 4.Aufl. S. 145 f.)



## 5.2 Opake Bauteile als Grundlage projektiver Abbildung

Neben dem tendenziell leistungsfähigeren lichtbezogenen Orientierungssystem ist bei Euglena aber mit dem abschattenden Pigmentfleck ein Baustein im Spiel, dessen Potential weit über die konkrete Funktion bei Euglena hinausreicht und der eine der Schlüsselkomponenten von komplexen Augen bildet. Pigmentierte oder aus anderen Gründen weitgehend opake Bauteile, wie sie bei Euglena durch bewegungsbedingte periodische Abschattung zur Orientierung an der Einfallrichtung von Licht dienen, sind nämlich insgesamt unverzichtbare Komponenten für komplexe Augen und tragen dort einerseits zu richtungsoptimierter Bestimmung des Einfallswinkels bei und bilden letztlich auch eine der Grundlagen für präzise projektive Abbildung.

Die essentielle Bedeutung von opakem Material und speziell von Pigmenten erschließt sich auch aus Beeinträchtigungen des visuellen Leistungsvermögens in Folge von Albinismus, wenn die reduzierte Pigmentierung (Melanin) auch die Augen betrifft. Neben generell erhöhter Lichtempfindlichkeit sind damit je nach Grad des Pigmentmangels noch weitere Veränderungen bzw. Beeinträchtigungen verbunden. Diese können nicht nur die Sehschärfe, sondern auch die Ausbildung der Fovea und die Entwicklung der Sehbahn betreffen. (Nach: Hoffmann, o.J.)<sup>186</sup>

So gesehen bilden Pigmente bzw. opakes Gewebe nicht nur leistungsoptimierende Komponenten von visuellen Sinnesorganen, sondern sind in weitgefasster Betrachtung auch Teil der Fundamente von Geometrie.<sup>187</sup>

### 5.2.1 Vom Hautlichtsinn zur Camera obscura

Hier soll und kann nicht die umfangreiche Typologie und Evolution von Augen erörtert werden, sondern nur der Hinweis auf die fundamentale Bedeutung opaken Materials und die damit verbundene Ausformung komplexer Sehorgane nach Art einer Camera Obscura erfolgen.<sup>188</sup>

Diesem auf projektive Abbildung ausgelegtem Bautyp des Lichtsinnesorgans wird im Zusammenhang mit den wiederholt geltend gemachten Konsequenzen projektiver Ambivalenz besondere Bedeutung zugemessen; besonders auch für die Enzephalisation der Wahrnehmung.

Hier wird nur eine kurze schematische Illustration einiger markanter Typen von Lichtsinnesorganen wiedergeben, die von einer einfachen Einbettung von Sinneszellen in der Haut des Regenwurms über Becher- und Grubenaugen bis zu Linsenaugen von Tintenfischen reichen.

---

<sup>186</sup> Der mangels präzise geordneter Lichtstimuli nicht wie üblich entwickelte Verlauf der Sehnerven wird hier als ein affirmatives Indiz für die Überlegungen über den Einfluss von Licht auf das Konnektom angesehen. (Cf. Optik ist gut fürs Hirn).

<sup>187</sup> Diese Affinität zur Geometrie trifft pikanterweise auch auf die Rolle der Opazität fester Körper zu. Vgl. Objekt als lichtaffines Konstrukt

<sup>188</sup> Die Bezeichnung Camera Obscura impliziert schon die Notwendigkeit opaken Materials zum Aufbau von Sinnesorganen dieses Bautyps, wie z.B. bei niederen Tintenfischen. Hier ist anzumerken, dass das menschliche Auge keine Camera Obscura im strengen Sinn ist.

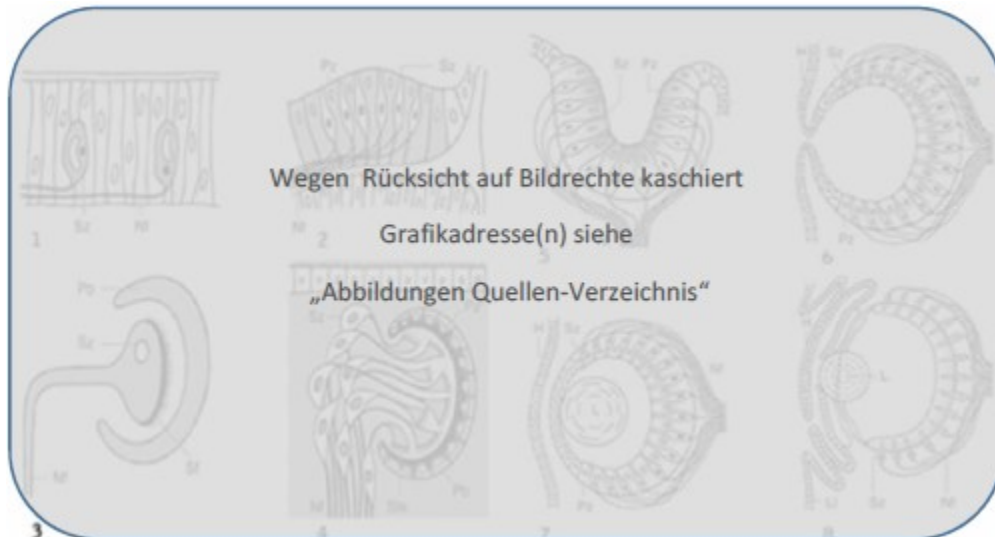


Abbildung 25 Schema Lichtsinnesorgane

Originalkommentar zur Abb.: „Lichtsinnesorgane: Längsschnitte durch die Lichtsinnesorgane verschiedener Tiere. 1 Lichtsinneszellen in der Haut des Regenwurms (Annelida); 2 Flachauge einer Qualle (Coelenterata); 3 einfaches Becherauge (z.B. Lanzettfischchen, Acrania); 4 zusammengesetztes Becherauge (z.B. Turbellaria); 5 Grubenauge einer Napfschnecke (Archaeogastropoda); 6 einfaches Lochkameraauge bei niederen Tintenfischen (Cephalopoda); 7 Blasenauge einer Weinbergschnecke (Gastropoda); 8 Linsenauge bei höheren Tintenfischen. H Hornhaut, L Linse, Li Lid, Nf Nervenfasern, Pb Pigmentbecher, Pz Pigmentzellen, Sf Sehsfarbstoff, Sts Stiftchen- (Mikrovilli-)Saum, Sz Sehzellen“ (<https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/lichtsinnesorgane/7022> 18.10.2018)

### 5.2.2 Menschliches Auge

Die komplexe Anatomie des menschlichen Auges wird nicht detailliert besprochen. Es geht hier vor allem um die Fähigkeit zu objektfolgenden Augenbewegungen und zur Akkommodation durch Veränderung der Linsenkrümmung mittels des Ziliarmuskels sowie um die Möglichkeit eines koordinierten fovealen Fokussierens.

Diese mit Muskelsinnen verbundenen Aspekte spielen eine bedeutsame Rolle in Poincarés Konzept der Raumwahrnehmung. Ebenso ist eine hoch auflösende Dichte von Rezeptoren in der Fovea Grundlage für ein valides Auswerten des „Schauspiels der Perspektiven“ auf Basis präziser Formerkennung. Zugleich kommt wegen des zweidimensionalen Bildes der Netzhaut die projektive Ambivalenz ins Spiel.

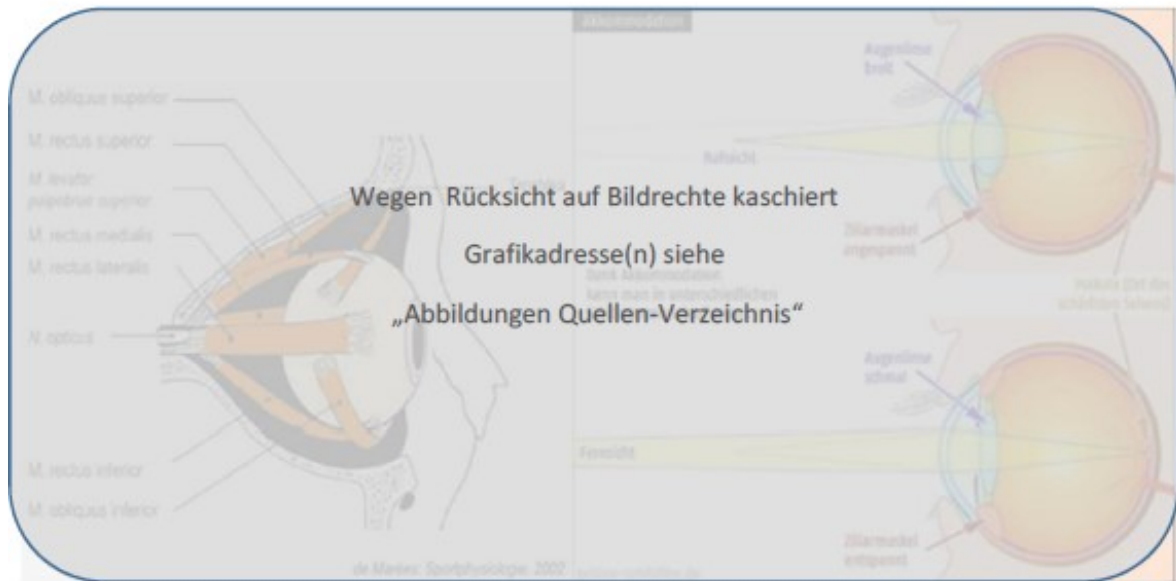


Abbildung 26 a) Augenmuskeln (de Marées: Sportphysiologie. 2002) , b) Akkommodation (Mißfeldt)

Der komplexe Apparat von Augenmuskeln passt zu nachstehendem Zitat von Rohen über Augenbewegungen von höheren Primaten.

### 5.2.3 Evolution unterschiedlicher Typen von Foveae

Die Evolution unterschiedlicher Typen von Foveae (temporal, bifoveal, zentral) betrifft eine Reihe von Tiergattungen, wie z.B. Fische, Schlangen, Vögel und Primaten.<sup>189</sup>

„The fovea disappeared in primitive mammals, and reappeared in primates... Humans inherited the temporal fovea that had first originated in fish eyes.“ (Azuma, 2000, Abstract)<sup>190</sup>

### 5.2.4 Primaten: foveales Sehens korrespondiert mit Augenbewegungen

Speziell beim Menschen ist die Funktion fovealen Sehens signifikant mit Augenbewegungen verbunden.

„Erst bei den Primaten mit einem binokularen Gesichtsfeld von 10-140° entwickelt sich eine binokulare Fovea centralis. Damit sind nur bei den Primaten die binokularen Sehräume auch foveale, was natürlich weitgehend mit der veränderten Augenstellung zusammenhängt. Nur die höheren Primaten bewegen die Augen und fixieren einen Gegenstand. Die Lemuren und die meisten Mammalia drehen den Kopf oder bei seltenen Gelegenheiten auch die Augen allein. Nur die Menschen und in geringem Grade auch die Hominoidea können die Konvergenz für längere Zeit aufrecht erhalten, (Johnson, 1901).“

(Rohen, 1962, S. 39)<sup>191</sup>

<sup>189</sup> Ö> die fovea centralis (Sehgrube) bildet den leicht eingetieften mittleren Teil der auch als gelber Fleck bezeichneten Makula, der Region des schärfsten (diurnalen) Sehens der Retina mit besonders großer Dichte von Rezeptoren. Poincaré erwähnt den gelben Fleck in Zusammenhang mit der Kontinuität des Gesichtsfeldes. (Cf. foveale Lupe)

<sup>190</sup> Cf. Pax6: Gemeinsame Gene fördern Entwicklung von Augen und Gehirn

<sup>191</sup> Das ist konvergent mit der Feststellung: „Phylogenetisch sind Vergenzbewegungen relativ jung.“ (Joos, 2003, S. 4). Wie weit dies allerdings in Widerspruch zu dem an anderer Stelle beschriebenen teleotaktischen Fixieren steht, das Lorenz schon bei landgängigen Fischen geltend macht, wird hier nicht weiter verfolgt. Dabei ist auch der Hinweis von Kolmer (1936, S. 459) zu beachten, dass es einige Fischarten gibt, bei denen die Bildung einer Fovea nachweisbar ist und offenbar eine Blickausrichtung durch Augenbewegungen erfolgt. Es könnte sein, dass sich der

Auf das foveale Sehen wird hier deshalb so ausdrücklich hingewiesen, weil es besonders stark auf eine formpräzise Objektbestimmung ausgerichtet ist. Wenn dies bei höheren Primaten auch noch signifikant mit Augenbewegungen verbunden ist, dann treffen hier Komponenten visueller Wahrnehmung zusammen, die Poincaré als wesentliche Fundamente von Raumanschauung und Geometrie geltend macht.

Die Aspekte foveales Sehen, Inhomogenität der Netzhaut und die Rolle der Augenmuskeln betreffen unmittelbar die Überlegungen Poincarés über die Relation von geometrischem Raum und Gesichts-Raum:

„Dieser reine Gesichts-Raum ist nicht homogen. Sehen wir von den Bildern ab, die auf der Netzhaut entstehen können, so spielen nicht alle Punkte der letzteren dieselbe Rolle. Der gelbe Fleck kann unter keiner Bedingung als identisch mit einem Punkte des Randes der Netzhaut betrachtet werden... Eine gründlichere Analyse würde uns ohne Zweifel zeigen, daß diese Kontinuität des Gesichts-Raumes und seine zwei Dimensionen nur auf Täuschung beruhen, sie würde diesen Raum also noch mehr vom geometrischen Raume unterscheiden lassen,... Das Sehen erlaubt uns indessen, die Entfernungen abzuschätzen und folglich eine dritte Dimension wahrzunehmen. Aber jeder weiß, daß diese Wahrnehmung der dritten Dimension sich auf die Empfindung einer Anstrengung bei der zu machenden Accomodation des Auges reduziert und auf die Empfindung der konvergenten Richtung, welche beide Augen annehmen müssen, um einen bestimmten Gegenstand deutlich wahrzunehmen. Das sind Muskelempfindungen, und diese sind gänzlich von den Gesichtsempfindungen verschieden, welche uns die Vorstellung der beiden ersten Dimensionen gegeben haben. Die dritte Dimension wird uns also nicht so erscheinen, als ob sie dieselbe Rolle wie die beiden anderen spiele.“ (Poincaré, 1906, S. 54 f.)

#### 5.2.5 Binokulare Wahrnehmung, Frontalstellung, Augenmuskeln usw.

Erst auf Basis dieses aus evolutionärer Sicht keinesfalls selbstverständlichen Zusammenspiels von Augenbewegungen und fovealem Sehen frontaler Augen kommen die binokularen Komponenten räumlicher Wahrnehmung zum Tragen.

Die Störanfälligkeit bzw. die daraus gegebenenfalls resultierenden Konsequenzen dieser aufwendigen Koordinationsprozesse werden in folgender Beschreibung angedeutet:

„Zum anderen gibt es das sog. Fusionsblickfeld, das die prinzipielle Fähigkeit zum binokularen Einfachsehen in unterschiedlichen und unterschiedlich ausgeprägten Blickrichtungen dokumentiert. Ist eine Person nicht mehr in der Lage, die Bilder beider Augen zu fusionieren, wird sich entweder bei intaktem Simultansehen die Wahrnehmung von Doppelbildern einstellen oder bei nicht vorhandenem Simultansehen der Seheindruck des abweichenden Auges °ausgeschaltet° werden.“

<https://de.wikipedia.org/wiki/Binokularsehen> 14.12.2018)

Eines der erheblichen Probleme simultaner Betrachtung mit einem frontalen Augenpaar besteht in Konkurrenzprozessen während der Verarbeitung von Daten auf dem Weg ins Bewusstsein (cf. Paradigma Competition). Das klingt auch im Wort „ausgeschaltet“ des Zitats über Binokularsehen durch.

---

Hinweis auf die relativ junge Entwicklung von Vergenzbewegungen und der Hinweis auf die üblicherweise geringe Ausdauer beim Aufrechterhalten der Konvergenz nur auf Säugetiere beziehen und so kein Widerspruch mit den Aussagen über Fische besteht.

Die Herausforderung zur Fusion und einer abgleichenden Auswertung der leicht divergierenden Bilder wird als weiterer und sehr einflussreicher Faktor der Enzephalisation der Wahrnehmung geltend gemacht.<sup>192</sup>

### 5.3 Affinitäten von Auge und Gehirn

Wenn es gemäß hier verfolgter Hypothese immer wieder darum geht, Poincarés Distanzierung von einem determinierenden Apriori der Dreidimensionalität auch mit dem Hinweis auf die Enzephalisation der Wahrnehmung unter dem starken Einfluss des visuellen Systems zu untermauern, dann ist aus evolutionärer Perspektive auch das histologische und genetische Nahverhältnis von Auge und Gehirn ein relevanter Aspekt.

Zu dieser Argumentationslinie trägt auch der elementare Umstand bei, dass erhebliche Komponenten der Augen und des Gehirns auch auf Ebene der Histologie genuin miteinander verbunden sind. Dies lässt sich z.B. aus der embryonalen Entwicklung der Retina ablesen, die von Ulfig als ein vorgelagerter Hirnanteil qualifiziert wird:

„Das Auge ist eine komplexe Struktur, die sich aus verschiedenen embryonalen Anteilen entwickelt. Zum Beispiel ist die Retina ein Derivat des Vorderhirns...Das Material der Augenanlage stammt aus drei unterschiedlichen Ursprüngen, nämlich aus dem Oberflächenektoderm (-> Linse, äußere Schicht der Cornea), dem Mesoderm des Kopfes (-> Aderhaut, innere Schicht der Cornea) und dem Neuroektoderm des Vorderhirns (-> Retina)...Die Netzhaut entsteht letzten Endes aus Neuroektoderm und ist somit ein in die Peripherie vorgelagerter Hirnanteil.“ (Ulfig, 2009, S. 145 ff.)

#### 5.3.1 Pax6: Gemeinsame Gene fördern Entwicklung von Augen und Gehirn

Die Faktoren sind naturgemäß komplexer als es diese Überschrift andeutet und bieten der Forschung noch ein weitgehend unerschlossenes Feld. Trotzdem gibt es markante Aussagen über den Einfluss von Genen, welche sowohl auf die Entwicklung des Gehirns bzw. auf jene von Nervenzellen wirken und auch eine Schlüsselrolle für die Bildung von Augen spielen.

Mit dem plakativen Titel „Ein Gen für mehr Gehirn“ illustriert Wieland Huttner vom Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik (Dresden) die fördernde Wirkung des Gens ARHGAP11B und betont dabei auch die Rolle von Pax6.

„Das Gen ARHGAP11B kommt nur im Menschen vor, bewirkt die Vermehrung von basalen Hirn-Stammzellen und kann eine Großhirnrindenfaltung auslösen. Dadurch dehnt sich das Großhirn aus, das für höhere kognitive Leistungen verantwortlich ist. Eine wichtige Rolle spielt außerdem die Expression des Transkriptionsfaktors Pax6: Auch durch ihn vermehren sich die Stammzellen für die Nervenzellen der Großhirnrinde – Voraussetzung für ein größeres Gehirn. Diesen Vorgang kann man sogar in Mäusen simulieren: Die Maus-Stammzellen verhalten sich dann ähnlich wie die Stammzellen im Primaten- und Menschengehirn.“ (Huttner, 2016, S. 1)

Huttner berichtet von einer Manipulation der Expression von Pax6 in den kortikaler Stammzellen von Mäusen, so dass diese sich ähnlich verhielten wie bei Menschen.

„Das Ergebnis war nicht nur eine größere Population an basalen Vorläuferzellen; es wurden auch mehr kortikale Nervenzellen produziert, insbesondere für die oberste Schicht der Großhirnrinde – ein weiteres Merkmal eines höher entwickelten Neocortex. Damit zeigt die Studie, dass die veränderte Aktivität

---

<sup>192</sup> Das komplexe Milieu stereoptischer Wahrnehmung angesichts von binokularer Rivalität und Phänomenen wie piecemeal rivalry wird an anderer Stelle besprochen.

eines einzelnen Schlüsselgens einen großen Unterschied in der Gehirnentwicklung ausmachen kann. Die Gene ARHGAP11B und Pax6 sind jedoch nur Mosaiksteine in einem großen Puzzle: Eine zukünftige Herausforderung wird sein, einen umfassenden und ganzheitlichen Blick auf alle molekularen Veränderungen zu bekommen, die das menschliche Gehirn so groß gemacht haben.“ (Huttner, 2016, S. 3)

Auch wenn es sich verständlicherweise nur um einen Mosaikstein handelt, wie ja die Autoren ausdrücklich betonen, und wenn damit die hier weiter gesponnene Verbindung nur ein sehr spekulatives und vages Indiz darstellen kann, wird trotzdem auf folgenden Umstand hingewiesen. Pax6 hat nicht nur einen identifizierbaren Einfluss auf die Entwicklung des Neocortexes. Pax6 gilt nachgewiesenermaßen auch als ein essentieller Steuerungsfaktor der Morphogenese des Auges. Als Fußnote <sup>193</sup> wurde eine Passage Azumas (2000) so umfangreich übernommen, weil sie einen prägnanten Abriss der Evolution des menschlichen Auges bietet und dabei besonders den Einfluss von Pax6 auf die Differenzierung der Retina bzw. die Positionierung der Fovea hervorhebt. <sup>194</sup>

Dieser Einfluss von Pax6 auf die Retina wird deshalb als starkes Argument zugunsten der hier verfolgten Hypothese der innigen und einflussreichen Verbindung des visuellen Systems mit der Ausbildung komplexer kognitiver Potentiale auf Basis der Enzephalisation der Wahrnehmung in Ansatz gebracht, weil die Retina nach Ulfig (2009, s.o.) im Sinn embryonaler Histologie als vorgeschobener Teil des Gehirns gilt.

Den mächtigen und evolutionär persistenten Einfluss von Pax6 auf die Morphogenese von Augen zeigen auch Forschungsergebnisse, über die Gehring berichtet.

„Das Pax6-Gen kodiert für ein Protein, das als Regulator (Transkriptionsfaktor) die Aktivität der ihm untergeordneten Gene steuert und in der Evolution hoch konserviert ist. In der Maus ist dieses Pax6-Protein bereits in den frühesten Stadien der Augenentwicklung – wenn sich das Augenbläschen aus dem Gehirn stülpt – in allen Teilen der Augenanlage exprimiert,...“ (Gehring, 2011, o.S.)

Im Sinn der hier vorgetragenen Argumentation ist ein von Gehring erwähntes Phänomen besonders erwähnenswert, das in einer Variante wahrscheinlich auch beim Menschen anzutreffen ist.

---

<sup>193</sup> „Since Charles Darwin wrote "On the Origin of Species by Means of Natural Selection", it had been assumed that various eye types, from the compound eye to the camera eye, had originated independently in at least 40-60 different phyletic lines. However, the finding of Pax 6, the master control gene for eye morphogenesis, and the fact that its sequence is highly conserved throughout the animal kingdom indicated that the prototype eye in a primitive animal originated only once in evolution, and various eye types arose from the same origin. We recently found a Pax 6 mutation in a pedigree with foveal hypoplasia. Thus, the Pax 6 that appeared in light sensory cells of a primitive animal in ancient times may play a role in morphogenesis of the fovea, the most highly developed visual receptor. The fovea first appeared in evolution in the temporal retina of fishes. Then, in birds, the nasal fovea and bifoveal system with nasal and temporal foveas developed. The fovea disappeared in primitive mammals, and reappeared in primates. A residue of the fovea is conserved in the visual streak, and the disappearance and reappearance of the fovea, in primitive mammals and primates respectively, correlates with degeneration and restoration of cone pigment genes in photoreceptors. Humans inherited the temporal fovea that had first originated in fish eyes. Pax 6 is expressed in the entire eyeball at an early stage of development, and is also expressed widely in the retina to determine its differentiation.“ (Azuma, 2000, Abstract)

(“Macular hypoplasia, also known as foveal hypoplasia, is a rare medical condition involving the underdevelopment of the macula[1], a small area on the retina (the eye's internal surface) responsible for seeing in detail. Macular hypoplasia is often associated with albinism.“ ([https://en.wikipedia.org/wiki/Macular\\_hypoplasia](https://en.wikipedia.org/wiki/Macular_hypoplasia) 5.5.2018)

<sup>194</sup> Gemäß in dieser Arbeit forcierter Hypothese ist foveales Sehen über das parvozelluläre System besonders eng mit visueller Verarbeitung im ventralen Was-Pfad verbunden. Folglich auch mit einer formbestimmenden Objektidentifikation, welche die Auswertung jenes Schauspiels der Perspektiven ermöglicht, das Poincaré bei den Fundamenten der Geometrie geltend macht.

5.3.2 Die Mutation „small eye“ führte bei Mäusen zu einer Reduktion der Augen.

„Bei reinerbigen Embryonen (mit zwei defekten „small eye“-Genen von beiden Eltern) werden keine Augen gebildet, aber auch keine Nase und ein großer Teil des Gehirns fehlt – die Embryonen sterben bereits im Uterus. Ein ähnlicher, als Aniridia (= fehlende Iris) bezeichneter Erbdefekt findet sich auch beim Menschen: Individuen mit nur einem funktionstüchtigen Gen bilden im Extremfall keine Iris, sind also blind. Zwei abortive – vermutlich reinerbige Föten hatten, wie bei der Maus keine Augen, Nasen und reduzierte Gehirne.“ (Gehring, 2011, o.S.)

So tragisch das vergleichbare Beispiel bei menschlichen Embryonen ist, so sehr werden damit der insgesamt weitreichende Einfluss und der spezielle Zusammenhang der Entwicklung von Augen und Gehirn erkennbar.

Allerdings ist festzuhalten, dass Pax6 nicht alleine und speziell nur den intensiven Zusammenhang im Fall von Linsenaugen mit Netzhaut und einem komplexen visuellen System beeinflusst, sondern extrem weit in die Evolution lichtsensibler Organe/Organellen zurückreicht. Pax6 kommt z.B. auch bei Komplexaugen von Insekten zur Geltung.<sup>195</sup>

Auch wenn eine Argumentationslinie Pax6 nicht als Spezifikum von Linsenaugen geltend machen kann, weil dieses Gen z.B. auch bei Komplexaugen einen zentralen Einfluss ausübt, so bleibt es dennoch als ein Indiz für den engen Zusammenhang von Linsenaugen mit einer Netzhaut und einem komplexen System visueller Verarbeitung zur Illustration der Enzephalisation der Wahrnehmung tragfähig. Es fällt ja auf, wie (tragisch) markant in den zitierten „small eye“ Beispielen von Mutationen bzw. Gendefekten auch beim Menschen jeweils sowohl die Morphogenese der Augen als auch die Entwicklung von Gehirnarealen beeinträchtigt wurden.<sup>196</sup>

## 6 KOMPARTIMENT Strahlung-Sense Making

Nach der Darstellung diverser Komponenten des visuellen Systems in Verbindung mit Aspekten der Enzephalisation und geometrieaffinen Potentialen, wie z.B. Core Knowledges und nach dem Versuch, die rudimentären Ansätze dafür schon in der Lichtsensibilität transmembraner Proteine und einer damit einhergehenden Photomotorik ausfindig zu machen, soll im Folgenden in diesem biologischen bzw. evolutionärem Umfeld auch einem „biogenic approach to cognition“ (Lyon) und einigen seiner Konsequenzen nachgegangen werden, die auch für Poincarés erkenntnistheoretischen Ansatz als relevant erscheinen.

Es geht darum, im Rahmen eines autopoietisch orientierten konstruktivistischen Ansatzes mögliche Verbindungen der Sensibilität für Strahlung mit Webers Sense-Making<sup>197</sup> ins Spiel zu bringen; also die Zuweisung von Bedeutung an externe Stimuli auf Basis von mit diesen einhergehenden Perturbationen in Betracht zu ziehen.

<sup>195</sup> „Zuoberst in der Hierarchie steht das Masterkontrollgen Pax6. Bereits der zweizellige Prototyp des Auges, der noch in den Plattwürmern gefunden wird, wurde von Pax6 gesteuert. Diese Steuerung wurde auch bei allen höheren Lebewesen beibehalten, hat aber zu den verschiedensten Augentypen geführt, wobei immer mehr Gene (beispielsweise für die Entwicklung der Linsen) in den Entwicklungsweg eintraten.“ (Gehring, 2011, o.S.)

<sup>196</sup> Auch dieses Beispiel dient dem Ausbau einer Indizienkette, die den markanten Einfluss der Sensibilität für Licht in Form visueller Wahrnehmung auf die Enzephalisation und die damit mögliche Entwicklung kognitiver Potentiale untermauern soll.

<sup>197</sup> Cf. Weber, 2004

Unter Einbeziehung von Aspekten der Systemtheorie (Bertalanffy) und des autopoietischen Ansatzes von Maturana und Varela werden Lebewesen als gestaltende Subjekte der Umwelt in Ansatz gebracht. Dabei wird nahegelegt, dass dies mit Poincarés Satz kompatibel ist:

„Nein, zweifellos ist eine Wirklichkeit, die vom Geist der sie begreift, sie sieht oder fühlt vollständig unabhängig ist, eine Unmöglichkeit.“ (Poincaré, 1910, S.7)

## 6.1 Via Sensibilität für Strahlung vom Energiemanagement zum Informationsgewinn autonomer, aber nicht autarker Systeme

### 6.1.1 Entkopplung der Wahrnehmung von externer Realität: Innen-Außen Problem

Wenn man beim Hinterfragen eines Apriori dreidimensionaler Räumlichkeit dem von Poincaré postulierten Weg zum Ursprung von komplexen kognitiven Potentialen über die Strukturen der visuellen Wahrnehmung folgt und diesen bis zur Photosensibilität<sup>198</sup> transmembraner Proteine von Einzellern fortführt, dann wird damit auch der methodische Weg zu einer Naturalisierung der Erkenntnis bzw. einer Naturalisierung/Empirisierung des Transzendentalen beschritten.<sup>199</sup>

Das betrifft auch die Frage, ob und ab welchem Grad von Komplexität man eine Schwelle für Erkenntnisvermögen ansetzt.

Der von Pamela Lyon propagierte „biogenic approach to cognition“ bietet dafür ein wegweisendes Konzept, das speziell auch mit Modellen kompatibel ist, die schon Einzeller als autonome Systeme in Ansatz bringen.<sup>200</sup>

Beim Zurückverfolgen dieses Wegs bis zur Photosensibilität transmembraner Proteine kommen neben dem Energiehaushalt<sup>201</sup> wegen der so genannten Phototransduktion weitere Probleme mit erkenntnistheoretischer Relevanz in Spiel: Das Innen-Außen-Problem (cf. Heidelberger /Joh. Müller\*) und die weitgehende Entkopplung von der externen Realität.

Wenn man noch dazu von Autopoiesis bzw. selbstreferentiellen Systemen ausgeht, dann provoziert der Aspekt der Entkopplung umso mehr die Frage nach der **Zuweisung von Bedeutung** an externe Stimuli.<sup>202</sup>

An Transmembranproteine gebundenen Prozesse (wie in Abb. Lutz) werden generell als Signaltransduktion, bzw. im speziellen Fall als Phototransduktion bezeichnet und sind sowohl bei Einzellern als auch in der Retina des menschlichen Auges präsent.

„Phototransduktion heißt die Überführung eines Reizes elektromagnetischer Strahlung in einen zellulären Effekt.“<sup>203</sup>

Dieser Satz beschreibt mit dem Hinweis auf „die Überführung eines Reizes...in einen zellulären Effekt“ nicht nur ein essentielles Konzept von Wahrnehmung auf Ebene der Rezeptoren, sondern bringt auch einen Aspekt mit erheblichen Konsequenzen dafür ins Spiel, mit welchen

<sup>198</sup> Der subtilen Unterscheidung von Sensibilität und Sensitivität wird hier nicht nachgegangen.

<sup>199</sup> Ausdrücke in Anlehnung an Janich und Heidelberger

<sup>200</sup> Cf. z.B. Llinás

<sup>201</sup> Cf. Kap.> Transmembrane Proteine, Sensorrhodopsin: Energiegewinnung und Schutz vor Strahlung

<sup>202</sup> Im Rahmen eines solchen Modells kann man nicht mehr davon ausgehen, dass ein Reiz quasi als bereits codiertes Signal ein Träger von Information über die externe Realität fungiert, dessen Botschaft vom Rezipienten nur noch entschlüsselt werden muss. Der sprachliche Umgang mit diesen Zusammenhängen ist auch deshalb schwierig, weil die geläufigen Begriffe dazu tendieren, solche Konnotationen zu unterstellen. Cf. z.B. Signaltransduktion, Zeichen bei Helmholtz, Weber „signs“

<sup>203</sup> Aus: (<https://de.wikipedia.org/wiki/Phototransduktion>, 31.8.2017)



Modellen man den Einfluss der externen Realität auf Lebewesen interpretiert. Das betrifft auch die Frage nach dem Verständnis von Anpassung und dem daraus resultierenden prinzipiellen Status, der dem Lebewesen zugeschrieben wird: als von außen bestimmtes oder als (weitgehend) autonomes Wesen mit autopoietischen Potentialen. Diese Optionen korrelieren auf Ebene evolutionärer Erkenntnistheorien mit Tendenzen zu einem ontologischen Realismus oder andererseits mit konstruktivistischen Modellen.

### 6.1.2 Vom informativen Reiz zur Perturbation autonomer Systeme

Wenn also externe Stimuli, wie z.B. Photonen, im Rahmen der Phototransduktion zu einem zellulären Effekt führen, dann stellt sich die Frage, ob und wie weitreichend man noch davon ausgehen kann, dass dieser „Reiz“ adäquate Information über die externe Quelle darstellen kann, oder vielmehr nur noch zum störenden Faktor wird, der gemäß den systeminternen Modalitäten die intern bestehende Ordnung beeinflusst; also eine Perturbation der Homöostase darstellt.

Unterstellt man das zuletzt genannte Modell der Perturbation, dann führt das zu einer (weitgehenden) Entkopplung von der externen Realität, die den traditionellen Begriff von Wahrnehmung fundamental untergräbt und mündet in die Folgefrage: Wie kommt man nach dieser Entkoppelung wieder zu einem Deutungsvermögen, um externe Stimuli bzw. Perturbationen dennoch zu viablen Indikatoren der handlungsrelevanten Verhältnisse der externen Realität und zu bedeutungstragenden Kriterien einer überlebenstauglichen Handlungssteuerung zu machen.

Diese Frage bildet ein elementares Problem eines autopoietisch basierten Konstruktivismus!  
204

## 6.2 Lyon: „anthropogenic“ versus „biogenic approach to cognition“

Pamela Lyon plädiert für einen Perspektivenwechsel von einem „anthropogenic“ zu einem „biogenic approach to cognition“.

“The time for tackling the fundamental issues has arrived. The biogenic approach to cognition is introduced not as a solution but as a means of approaching the issues. The traditional, and still predominant, methodological stance in cognitive inquiry is what I call the anthropogenic approach: assume human cognition as the paradigm and work ‘down’ to a more general explanatory concept. The biogenic approach, on the other hand, starts with the facts of biology as the basis for theorizing and works ‘up’ to the human case by asking psychological questions as if they were biological questions.”  
(Lyon, 2005, S.11)

Zur Unterscheidung der beiden Ansätze geht Lyon auf eine Reihe jeweils typischer Merkmale ein. Die Autorin richtet sich gegen eine traditionelle Schlüsselposition, die darin besteht, dass kognitive Verhaltenssteuerung von der Existenz eines komplexen Nervensystems abhängig gemacht wird und knüpft daran fundamentalkritische Überlegungen, die den hier angesprochenen Perspektiven Wechsel illustrieren bzw. ihm einen Grund geben.<sup>205</sup>

<sup>204</sup> Cf. Weber Bedeutungszuweisung „signs“ )

<sup>205</sup> “Anthropogenic principle #1—Brain: Cognition is implemented or instantiated in a brain and/or nervous system...Moreover, the principle rests on a criterion—that behaviour should only be construed as cognitive in the presence of a nervous system of ‘sufficient complexity’—which was proposed by Lamarck two centuries ago (Bateson 1979) and largely unquestioned since. It is not a criterion that Darwin appears to have endorsed (Darwin 1874/1909; Crist 2002), and recent discoveries about the life world of the very small, enabled by instruments and

Schon das erste von Lyon geltend gemachte Prinzip dieses biogenic approach widerspricht einer starren Grenze und behauptet eine weit zurück reichende Herkunft von kognitiven Potentialen:<sup>206</sup>

„Biogenic principle #1—Continuity: Complex cognitive capacities have evolved from simpler forms of cognition. There is a continuous line of meaningful descent. (Note: this does not rule out the emergence of novel capacities with increasing complexity.)” (Lyon,2005, S.15)

#### 6.2.1.1 Lyon: Maturana und Varela als Schlüsselfiguren

Lyon sieht Maturana und Varela als Schlüsselfiguren des propagierten Ansatzes und beschreibt folgend auch gleich den zentralen Aspekt eines entsprechenden Konzepts von Autopoiesis, wobei besonderer Wert auf das Merkmal „self-producing“ gelegt wird.

“I have argued elsewhere that the autopoietic theory of cognition was the first truly biogenic approach to cognition since Aristotle (Lyon 2004). The key insight of autopoiesis is that biological organization is, self-producing not merely selforganizing. Organisms are continually produced by a network of components, which are themselves being continually produced by networks of components. This continuous cycle of self-synthesis, by networks within networks that both produce work and produce themselves, is what biological systems are, no more, no less.” (Lyon, 2005, S. 22)

#### 6.2.1.2 Experiment an Netzhaut einer Taube führt Maturana und Varela zum Konzept der Autopoiesis mit nachhaltigem Paradigmenwechsel

Zusammen mit den schon bei Roth angetroffenen Begriffen<sup>207</sup> bringt dieses Zitat Lyons die neurophysiologischen Forschungen des 19. Jahrhunderts<sup>208</sup> in einen unmittelbaren motivartigen Zusammenhang mit aktuellen systemtheoretischen Konzepten und speziell mit dem Begriff **Autopoiesis**, der mit Humberto Maturana und Francisco Varela Eingang in die evolutionäre Erkenntnistheorie fand und für affine Denkschulen geradezu paradigmatischen Charakter hat bzw. einen **Paradigmenwechsel** auslöste.

Angesichts von Interpretationsproblemen bei einem Experiment zur Farbwahrnehmung von Tauben sollen Maturana/Varela die Konsequenz gezogen haben, den Wahrnehmungsprozess nicht aus der Perspektive der externen Reizkonstellation, sondern ausgehend von den strukturellen Einflüssen bzw. Aktionspotentialen des neurokognitiven Systems zu betrachten.<sup>209</sup>

Hideo stellt das Experiment und die daraus gezogenen Schlüsse von Maturana und Varela folgend dar und übt allerdings zugleich fundamentale Kritik daran:

„Beim Experiment an der Netzhaut einer Taube erhellt die Tatsache, dass keine externen Stimulationen den Aktivitäten in den optischen Nerven entsprechen...Daraus leitete Maturana ab, dass es keine Entsprechung zwischen den Stimulationen und den gemessenen Aktivitäten optischer Nerven gebe.

---

methods of undreamed-of precision and subtlety, arguably raise doubts about its continuing utility.” (Lyon, 2005, S. 13)

Mit dieser noch umfangreicher argumentierten Abkehr von einem auf das Gehirn zentrierten anthropogenic approach öffnet Lyon eine als biogenic approach bezeichnete Perspektive, als deren historische Wurzeln einerseits schon Aristoteles, aber vor allem die Entstehung der Biologie als systematische Naturwissenschaft im frühen 19. Jahrhundert angegeben werden. (vgl. Naturalisierung der Erkenntnis)

<sup>206</sup> Das tangiert auch die mögliche Spannweite der Interpretation von Poincarés „preéxiste“.

<sup>207</sup> „Lebewesen kann man als *selbtherstellende* und *selbsterhaltende Systeme* definieren.“ (Roth, 1997, S. 80)

<sup>208</sup> Z.B. Müller: spezifische Sinnesenergien, Roux: Autoergasie

<sup>209</sup> Es kommt dem Konzept dieser Arbeit als Zugang gelegen, dass Maturana (und Varela?) diesen Paradigmenwechsel akkurat mit einer Analyse von neurobiologischen Fragen der Wahrnehmung initiieren.

Diese Tatsache wurde bei der Formulierung des Mechanismus der Autopoiesis als Kernkompetenz eingebracht, so dass das autopoietische System weder Inputs noch Outputs hat.“ (Hideo, Kawamoto, 2006, S. 193)

Auf die folgende Kritik Hideos wird hier nicht eingegangen, weil davon unabhängig der Ansatz von Maturana und Varela zu einem nachhaltigen Paradigmenwechsel der methodischen Konzeption wissenschaftlicher Analyse mit (weit reichenden) erkenntnistheoretischen Konsequenzen führt bzw. dazu beiträgt; wie etwa zu dem hier genannten biogenic approach to cognition.

Das Konzept des Autopoietischen ist daher ungeachtet allfälliger Ungereimtheiten im Detail jedenfalls in die hier anstehenden Betrachtungen über evolutionäre Erkenntnistheorie mit einzubeziehen. Dies gilt auch wegen der Nähe zur Kybernetik, zu Fragen der Emergenz, zur Selbstreferentialität, System- und Chaostheorie sowie der damit einhergehenden Affinität zu konstruktivistischen Modellen. Die enge Verbundenheit und Relevanz dieser Zugänge für die Erforschung künstlicher und natürlicher neuronaler Netzwerke darf wohl auch ohne konkrete Darstellung der sachlichen und historischen Zusammenhänge des genannten Experiments von Maturana und Varela in den Raum gestellt werden.

Darüber hinaus soll hier auf die enge Verbindung dieses Komplexes mit Poincaré aufmerksam gemacht werden. Nicht nur weil Poincarés Ansätze stark und teilweise initiativ auf diese Konzepte gewirkt haben, sondern auch deshalb, weil im Milieu dieser Modelle auch methodische Werkzeuge zur Vermeidung bzw. zum Aufbrechen von fundamentalen Determinismen anzutreffen sind, die, wie ich meine, der gerade auch von Poincaré vorangetriebenen Aufhebung der traditionellen Stringenz dreidimensionaler Räumlichkeit entgegen kommen.

### 6.3 Systemtheorie, kybernetisch orientierter Modelle zur Beschreibung biologischer Systeme

Wie die Zitate von Lyon zeigen, sind mit einem kybernetisch orientierten Ansatz der Betrachtung des kognitiven Systems aus biologischer Perspektive eine Reihe weiterer Begriffe bzw. Modelle verbunden, die im Sinn einer Autopoiesis eben dieses endogenen Bedeutung generierende Potential neuronaler Netzwerke stärker zur Geltung bringen (sollen). Diese Begrifflichkeit ist eng verwoben mit Bereichen von Systemtheorie. Daher ist bei der Bildung bzw. Betrachtung kybernetisch orientierter Modelle zur Beschreibung biologischer Systeme trotz der insgesamt großen Nähe auch kritisch zu beachten, dass Ludwig von Bertalanffy namensgebend und konzeptbildend mit seiner **Systemtheorie** wesentlich zu den Grundlagen solcher Modelle beigetragen hat, selbst aber angeblich einer Vermengung reserviert gegenüber gestanden ist:

„Bertalanffy hat sich gegen die Vermischung seiner Systemlehre und der Kybernetik ausgesprochen, weil er das mechanistische Denken der Kybernetik für die Beschreibung von Leben als nicht adäquat erachtete.“<sup>210</sup>

Bei Betrachtung einer diesbezüglich aussagekräftig erscheinenden authentischen Textpassage Bertalanffys fällt auf, dass es offenbar um eine Distanzierung von zu einfachen, mechanistisch-kybernetischen Modellen geht, während der grundsätzliche Trend seiner Aussagen geradezu ein Plädoyer für die Integration neuer Ansätze zur Interpretation des Menschen auf Basis einer modifizierten multidisziplinären Auseinandersetzung mit seinen neuropsychologischen

<sup>210</sup> Aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Systemtheorie> (8.8.2017)

kognitiven Komponenten ist. Dabei wird gerade auch im Bereich der Wahrnehmung das Modell ursächlicher und determinierender externer Stimuli zurückgewiesen und die konstruierende Eigendynamik des Wahrnehmenden als genuine Komponente in den Vordergrund gerückt.

### 6.3.1 Bertalanffy: The psychophysical organism as a primarily active system

“Thus a new °model of man° appears necessary and, in fact, is slowly emerging in recent trends of humanistic and organismic psychology. Emphasis on the creative side of human beings, on the importance of individual differences, on aspects that are nonutilitarian and beyond the biological values of subsistence and survival-this and more is implied in the model of the active organism...In contrast to the model of the reactive organism expressed by the S-R scheme-behaviour as gratification of needs, relaxation of tensions, reestablishment of homeostatic equilibrium, its utilitarian and environmentalistic interpretations, etc.-we come rather to consider the psychophysical organism as a primarily active system.” (Bertalanffy, 1968, S. 193) (S-R scheme: stimulus- response)

Weitere Einlassungen Bertalanffys betonen die autonom gestaltenden Potentiale und schließen via Cantril<sup>211</sup> ausdrücklich auch den wahrnehmungsspezifischen Zugang zur externen Realität mit ein.

„ Man is not a passive receiver of stimuli coming from an external world, but in a very concrete sense *creates* his universe. This, again, can be expressed in many ways: in Freud's reconstruction of the building-up of the "world" in the child; in terms of developmental psychology according to Piaget, Werner or Schachtel; in terms of the "new look in perception" emphasizing attitudes, affective and motivational factors; in psychology of cognition by analysis of "meaningful learning" after Ausubel; in zoological context by referring to von Uexküll's species-specific *umwelt*; philosophically and linguistically, in Cassirer's "symbolic forms" and culture-dependent categories; in von Humboldt's and Whorf's evidence of linguistic (i.e. symbolic and cultural) factors in the formation of the experienced universe. "The world as we experience it is the product of perception, not the cause of it." (Cantril, 1962).” (Bertalanffy, 1968, S.194)<sup>212</sup>

Ein Problem bzw. eine Aufgabe besteht nun darin, diese Aussagen über „the psychophysical organism as a primarily active system“ bis auf einfachste Lebewesen herunterzubrechen und in Modelle zu integrieren, die eine Kompatibilität im Rahmen dieser Spannweite vom Einzeller bis zum Menschen in Aussicht stellen, ohne die Komplexität der Sachverhalte unangemessen zu eliminieren.

Mit diesem Ziel sollen daher folgend eher cursorisch einige über diverse Modelle hinweg geläufige Begriffe vorwiegend in kontextueller Bindung an Maturana und Varela illustriert werden. Bertalanffys Appell an Uexküll und das Resümee "The world as we experience it is the product of perception, not the cause of it." (s.o.) motivieren dazu.

### 6.3.2 Operationale Geschlossenheit als potentielles Problem einer solipsistischen Abkapselung von der externen Realität

Bei der Annahme autopoietischer Konzepte im Bereich biologischer Systeme steht das Problem einer solipsistischen Abkapselung von der externen Realität zur Debatte. Erst recht, wenn in

<sup>211</sup> „Albert Hadley Cantril, Jr. (16 June 1906 – 28 May 1969) was a Princeton University psychologist...” ([https://en.wikipedia.org/wiki/Hadley\\_Cantril](https://en.wikipedia.org/wiki/Hadley_Cantril) 9.5.2019)

<sup>212</sup> Der von Bertalanffy zitierte Satz Cantrils "The world as we experience it is the product of perception, not the cause of it." erscheint als kompatibel mit Poincarés „Il faut ensuite examiner les cadres dans lesquels la nature nous paraît enfermée ....ce n'est pas la nature qui nous les impose, c'est nous qui les imposons à la nature parce que nous les trouvons commodes, ... » (Poincaré, o.J, S. 7 Pcé Valeur science. Pdf). In diese Affinität passt auch das Statement : « Euclidean space is but one form of geometry beside which other, non-Euclidean geometries exist which have exactly the same logical structure and right to exist. “ (Bertalanffy, 1968, S. 226)

diesem Umfeld auch noch eine operationale Geschlossenheit des neuronalen Systems geltend gemacht wird, wie dies bei Maturana und Varela der Fall ist:

„Das Gesagte zeigt, daß die Arbeitsweise des Nervensystems gänzlich im Einklang damit steht, daß es integraler Bestandteil einer autonomen Einheit ist, in der jeder Aktivitätszustand zu einem anderen Aktivitätszustand in der selben Einheit führt, weil deren Arbeitsweise eben zirkulär, das heißt operational geschlossen ist. Die Architektur des Nervensystems steht daher nicht in Widerspruch zu der operationalen Geschlossenheit, die die autonome Natur des Lebewesens definiert, sondern bereichert diese. (Maturana, Varela, 2010, S. 182)

„ Das Nervensystem (oder der Organismus) ist von niemandem entworfen worden; es ist das Resultat eines phylogenetischen Driftens von Einheiten, die um ihre eigne Dynamik von Zuständen zentriert sind. Es ist daher angemessen, das Nervensystem als eine durch ihre internen Relationen definierte Einheit zu betrachten, in der die Interaktionen nur als Modulationen ihrer strukturellen Dynamik wirken- das heißt, als eine Einheit mit operationaler Geschlossenheit.“ (Maturana, Varela, 2010, S. 185)

6.3.3 Organisierte Komplexität, offene und geschlossene Systeme: Systemspezifisch zulässige Perturbation statt extern determinierter Reiz (Bertalanffy, Maturana, Varela, Lyon)

Ein Lexikoneintrag, der leider keine Quellen angibt, aber sachgerecht ins Bild zu passen scheint, bietet mit der Beschreibung von Bertalanffys Systemtheorie und seinem Modell „organisierter Komplexität“ einen Zugang zu einem der zentralen Punkte:

„Die Systemlehre untersucht somit die Organisationsformen komplexer Wechselbeziehungen zwischen einzelnen Elementen jenseits linear darstellbarer Relationen und einfacher Kausalität. Dabei unterschied von Bertalanffy zwischen offenen und geschlossenen Systemen... Ein **offenes System** dagegen verfügt über variabilisierte Relationen seiner Elemente, die durch nichtprognostizierbare Umwelteinflüsse verändert werden. Die interne Variabilität ermöglicht es dem System, sich in einem dynamischen Umfeld relativ zu stabilisieren (Fließgleichgewicht). Offene Systeme entfalten also im Austausch mit ihrer Umwelt eine Dynamik und variieren ihre Zuständigkeit, ohne dabei ihre Systemstrukturen vollständig ändern zu müssen. Sie zeichnen sich dadurch aus, dass sie nicht kausal von außen beeinflusst werden, sondern ihre interne Organisation bei Umweltveränderungen *selbst* umstellen („Black Box“-Theorem). Dies wird als *Selbstorganisation* bezeichnet und kann als Paradigma organisierter Komplexität gelten.“ (<http://www.besthelp.at/lexikon/systemtheorie> 8.8.2017)

6.4 Autopoietic turn: Nervensystem „empfängt“ keine Information, es bringt eine Welt hervor

Nun scheint es so zu sein, dass die von Maturana und Varela ins Spiel gebrachte „operationale Geschlossenheit“ und die zuletzt gegebene Beschreibung von geschlossenen und offenen Systemen gemäß Bertalanffy bei vordergründiger Betrachtung der Begrifflichkeit als inkompatibel erscheinen, wenn aus beiden Modellen der Begriff Geschlossenheit als Kriterium des Vergleichs in den Vordergrund gestellt wird.

Maturana und Varela schließen aber Einflüsse des externen Milieus nicht aus, sondern scheinen die „Geschlossenheit“ nur darauf einzugrenzen, dass ein autopoietisches System gemäß seinen internen Strukturen festlegt, welche „**Perturbationen**“ es zulässt und wie es sich bezüglich dieser verhält.

„ Das Nervensystem <empfängt> keine <Information>, wie man häufig sagt. Es bringt vielmehr eine Welt hervor, indem es bestimmt, welche Konfigurationen des Milieus **Perturbationen** darstellen und welche Veränderungen diese im Gehirn auslösen.“ (Maturana, Varela, 2010, S. 185)

Die Entwicklung eines komplexeren neurokognitiven Systems geht gemäß Maturana und Varela mit einer gesteigerten Plastizität des möglichen Verhaltens einher:

„Was das Vorhandensein eines Nervensystems bewirkt, ist, den Bereich möglicher Verhaltensweisen zu *erweitern*, in dem es den Organismus mit einer ungeheuer vielfältigen und plastischen Struktur ausstattet.“ (Maturana, Varela, 2010, S. 151)

Wenn man es so betrachtet, dann stellt ein operational geschlossenes (kognitives) System im Sinne von Maturana und Varela ein „offenes System“ im Sinne des oben beschriebenen Verständnisses von Systemtheorie dar und/oder scheint mit diesem Modell Bertalanffys zumindest weitgehend kompatibel zu sein.

Selbst wenn man die Kompatibilität des „operational geschlossenen Systems“ (Maturana/Varela) mit einem „offenen System“ (Bertalanffy) in Ansatz bringt, wird es vor dem Horizont der Vermeidung der Solipsismus-Falle natürlich zu einem zentralen Thema, wie man die Interaktion mit dem Ambiente im Sinn eines Enaktivismus<sup>213</sup> in so ein Modell integriert.

Lässt man die hier so genannte Solipsismus-Falle als sehr weitreichende Metapher gelten, dann betrifft sie nicht nur komplexe kognitive Bereiche und das Problem intersubjektiver Kommunikation, sondern wird in ihren Wurzeln schon auf elementarster Ebene der Zellbiologie virulent.

Vorausgesetzt wird, dass man mit der Definition eines Lebewesens immer auch ein nötiges Maß an Abgrenzung von Ambiente und in diesem Sinn die Ausbildung einer funktionellen Einheit verbindet.

## 6.5 Lyon: Systemkomponenten Energiezufuhr, Homöostase

Wenn man dem oben genannten Zitat von Maturana und Varela folgend die autonome Natur von Lebewesen betont und die Arbeitsweise eines allenfalls vorhandenen Nervensystems oder anderer rudimentär Information verarbeitender Strukturen als integralen Bestandteil dieser autonomen Einheit betrachtet, dann wird für die Aufrechterhaltung dieser autonomen Stabilität (einschließlich eines mehr oder weniger komplexen neurokognitiven Systems) ein weiterer fundamentaler Faktor des Verständnisses von lebenden Organismen relevant, nämlich eine entsprechende **Energiezufuhr**, die sowohl zur Aufrechterhaltung intra- und interzellulärer Prozesse samt deren Ordnung, aber auch zur Interaktion mit dem Ambiente nötig ist.

Pamela Lyon stellt den Energiebedarf mit Bezugnahme auf Bertalanffy in einen systemtheoretischen Zusammenhang und bringt dabei das Modelle der Homöostase ins Spiel:

“Organisms, by contrast, “maintain themselves in a state of high statistical improbability, of order and organization° far from thermodynamic equilibrium (ibid. (von Bertalanffy 1968, p 150). Organisms do this by importing ‘order’ (energy in the form of matter) from the environment, chemically transforming it via metabolic processes into useable forms of fuel for the synthesis of biologically important molecules, and exporting ‘disorder’ in the form of waste products of various sorts. This continual exchange of matter and energy—which makes organisms thermodynamically open systems<sup>5</sup>—takes place within an environment of constantly shifting parameters: temperature...” (Lyon, 2005, S. 17)

“The steady state can be reached from different initial conditions (within a range) and be regained after disturbance (again, within a range). In biological systems maintenance of the steady state is commonly identified with homeostasis.<sup>7</sup> Organisms maintain a steady state far from thermodynamic equilibrium via the continual, controlled synthesis of biologically important macromolecules, which simultaneously

---

<sup>213</sup> Cf. Glossar

constitute the system and carry out its metabolic processes. All biological processes that contribute to an organism's survival—and cognition is clearly such a process—contribute to homeostatic regulation.” (Lyon, 2005, S. 17)

#### 6.5.1 Organismen als (weitgehend) autonome, aber nicht autarke Systeme mit Potential für Außenkontakte?

Unter dem Begriff der **Homöostase** verweist hier Lyon auf den Umstand, dass zur Aufrechterhaltung eines statistisch unwahrscheinlichen, aber ausreichend stabilen Zustandes innerer Organisation unter wechselnden äußeren Bedingungen Energiezufuhr notwendig ist. Damit kann man wohl davon ausgehen, dass gemäß Konzepten dieser Art ein Lebewesen einschließlich seiner neurokognitiven Strukturen und Potentiale als (weitgehend) **autonome**, aber nicht als **autarke** Einheit (Entität?) in Ansatz gebracht wird und folglich diesbezüglich ein (thermodynamisch) offenes System vorliegt.

Der von Maturana und Varela miteinander verknüpfte Ansatz von Autonomie und Autopoiese wird von den Autoren bereits auf Ebene der Zellmembran verankert und diese als fundamentales Beispiel zur Illustration des unterstellten Prinzips herangezogen. Das passt insofern gut zum Hinweis von Lyon, weil die Zellmembran nach meiner Lesart eine Schnittstelle der Interaktion bildet, die im Zuge des Stoffwechsels auch mit Änderungen des externen Milieus kompatibel ist und so die offenbar notwendige thermodynamische Offenheit des Systems ermöglicht bzw. etabliert.

„Die Zellmembran spielt eine vielseitigere Rolle als nur die einer räumlichen Demarkationslinie für eine Menge von chemischen Transformationen. Sie nimmt nämlich, ebenso wie die anderen zellulären Bestandteile, an diesen Prozessen teil...wobei die Membran operationaler Teil dieses Inneren ist.“ (Maturana, Varela, 2010, S. 58)

#### 6.6 Von Thermodynamik zum Informationspotential: Membran als informationsaffine Schnittstelle zur Außenwelt und Milieu der Entwicklung von Sinnesorganen

Auf Basis dieser thermodynamischen Offenheit wird folgend versucht, auf Ebene der Membran auch eine strukturelle Basis für ein Potential zur Unterscheidung von Innen und Außen zu verorten und so auch den Horizont einer allfälligen Solipsismus-Falle möglichst weit zu dehnen. Das zielt darauf ab, die angesprochene Ambivalenz der Membran (bzw. Haut) als Schnittstelle mit informationsaffinem Interaktionspotential zu etablieren. Die funktionelle Rolle der Membran für den Energiehaushalt bezieht sich nämlich nicht nur auf besondere Formen von Permeabilität für den (molekularen) Stoffwechsel. Bezogen auf den Kontext dieser Arbeit wird vielmehr die Regulierung der Exposition gegenüber Energie in Form von Strahlung besonders hervorgehoben, weil es Indizien gibt, dass im Bereich der interaktiven Kopplung von Membran/Haut und Strahlungsenergie fundamentale Komponenten der Evolution von Sinnesorganen anzutreffen sind, die speziell auch zur Ausbildung visueller Systeme beitragen. Dies scheint sowohl für die physische wie auch für die funktionale Ebene dieser Organe zu gelten.

Die zu Grund gelegte Ambivalenz der Membran wird Maturana/Varela folgend darin gesehen, dass sie einerseits als „operationaler Teil des Inneren“ mit dessen autonomer biologischen Phänomenologie verbunden ist, und andererseits gemäß ihrer molekularen Basis mit physikalischen Eigenschaften (des Externen) kompatibel ist.

„...die Bildung einer Einheit bestimmt immer eine Reihe von Phänomenen, die mit den sie definierenden Eigenschaften verbunden sind...So spezifizieren die autopoietischen Einheiten die *biologische*

*Phänomenologie* als die ihnen eigene Phänomenologie mit Charakteristika, die von denen der physikalischen Phänomenologie verschieden sind. Dies ist nicht etwa so, weil die autopoietischen Einheiten irgendeinem Aspekt der physikalischen Phänomenologie widersprechen; da sie molekulare Komponenten haben, müssen sie auch die gesamte physikalische Gesetzmäßigkeit erfüllen. Vielmehr hängen die Phänomene, die autopoietische (Systeme) in ihrem Operieren erzeugen, von der Organisation der Einheit ab und von der Art, wie diese verwirklicht wird, und nicht von den physikalischen Eigenschaften ihrer Bestandteile, welche nur den Raum ihrer Existenz bestimmen. (Maturana, Varela, 2010, S. 60)

Der Ausdruck Schnittstelle soll also die emergenten und (selbst-) organisationsbedingten Verhaltensspezifika betonen, durch welche die autonome Einheit sich vom Ambiente abhebt, soll aber nicht die Vorstellung von (völliger) Abgrenzung provozieren. Zugleich wird nämlich das Potential zur Interaktion mit diesem Ambiente gemäß der in die Struktur integrierten molekularen Komponenten ins Zentrum der Aufmerksamkeit gerückt. Die physikalische Regelmäßigkeit der nach Maturana und Varela in der autopoietischen Einheit und im Ambiente konstitutionell präsenten Elemente/Moleküle verstehe ich in diesem Sinn als eine Basis für Kompatibilität mit der externen Realität und als Voraussetzung für eine Interaktion mit dieser. Ein exemplarisches Aufzeigen von funktionellen Membran-Komponenten als Grundlagen einer systemöffnenden Interaktion ist in einem Modell, das mit Autonomie, Autopoiesis, Selbstorganisation, Selbstreferentialität, operativer Geschlossenheit usw. charakterisiert wird, keine Selbstverständlichkeit, wie schon unter dem Titel der „Solipsismus-Falle“ angedeutet wurde und hier noch einmal explizit betont wird.

#### 6.6.1 Definitionen nach Stangl: Autopoiesis, Selbstreferentialität, operative Geschlossenheit, strukturelle Kopplung

Auch wenn Stangls Lexikoneintrag über Autopoiesis die modellspezifische Selbstbezogenheit sachgemäß widerspiegelt, wird im soeben genannten Sinn gerade auch das Potential für Außenkontakte als vorrangiges Kriterium im Umfeld von Autopoiesis, Selbstreferentialität, operativer Geschlossenheit und struktureller Kopplung zur Umwelt aufgezählt.<sup>214</sup>

Selbst wenn im Zitat Stangls (siehe Fußnote) die Außenkontakte betont werden, bleibt mit dem Zusatz „wählt das System selbst aus“ trotzdem eine erhebliche solipsistische Komponente bestehen, die wohl nicht völlig zu umgehen ist.

Die hier gewissermaßen als dialektischer Ansatz zum Hinterfragen des Modelles von Autopoiesis methodisch in den Raum gestellte „Solipsismus-Falle“ führt also zu Konsequenzen, die auch mit dem Einführen von Außenkontakten noch nicht ausreichend beantwortet sind. Denn selbst wenn eine „Schnittstelle“ mit dem externen Ambiente interagiert, bleibt die Frage, wie ein selbstreferentielles System, das per definitionem eben selbst „bestimmt, welche Konfigurationen des Milieus Perturbationen darstellen und welche Veränderungen diese im Gehirn auslösen.“ (Maturana, Varela, 2010, S. 185) diesen Perturbationen

<sup>214</sup> „Autopoiesis ist ein Begriff aus dem Radikalen Konstruktivismus und bezeichnet die stärkste Form der Selbstreferenz, die beschreibt, dass das System nicht nur sein Verhalten, sondern überhaupt seine Existenz durch sich selbst erzeugt. Zur Autopoiesis gehören:

Selbstreferentialität: die eigenen Zustände werden intern gesteuert.

operative Geschlossenheit: das Gehirn z.B. nimmt nur eigene Zustandsveränderungen wahr, ein Reiz von außen initiiert Selbstveränderung, die dann wahrgenommen wird.

strukturelle Kopplung zur Umwelt: das System wählt seine Außenkontakte selbst aus.“

(Quelle: Stangl (<http://lexikon.stangl.eu/2312/autopoiesis/>) © Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik 12.8.2017)



(ausreichend qualifizierte) Bedeutungen zuweisen kann, die taugliche Kenntnis über die externe Realität ermöglichen.

### 6.7 Sense making: "A perturbation becomes a sign through its meaning for the ongoing existence of the organism." (Weber)

Ein weiterer Zugang besteht darin, dass man nach einem Modell sucht, das sich darauf richtet, welche Kriterien für die Auswahl von Außenkontakten bzw. Perturbationen systemspezifisch relevant sein könnten.

In einer Biographie Varelas geht Andreas Weber mit dem Stichwort „sense making“ auch dem Begriff Perturbation nach und bettet diesen in einen semiotischen Kontext ein, wobei allerdings eine teleologische Komponente durchzuschlagen scheint, die mit Vorbehalt zur Kenntnis genommen, aber nicht weiter verfolgt wird, weil dies hier den Nutzen des Zitats nicht zu betreffen oder gar zu korrumpieren scheint.

Bezogen auf Maturana und Varela schreibt Weber:

„They have created the term >perturbation< as a description of the system's coupling to the surrounding world. A perturbation is a (indifferent) stimulus that is interpreted by the living being according to its inner structure. A perturbation becomes a sign through its meaning for the ongoing existence of the organism. From an internal perspective, every perturbation is experienced as a sign. Only the sign exists really (in an energetic sense). However, it is but received in that form which our body makes of the perturbation it causes." (Weber, 2002, S. 24)<sup>215</sup>

Auch diese Darstellung Webers wiederholt und verstärkt zunächst das Problem, führt aber immerhin dadurch einen Schritt in Richtung einer Öffnung des Solipsismus - Dilemmas, dass bezüglich der Umwelt ein semiotisches Verhältnis etabliert wird, das Perturbationen zu Zeichen erklärt, auch wenn diese Zeichen (signs) nur auf das jeweilige selbstreferentielle System bezogen von diesem interpretiert bzw. definiert werden und so keine unmittelbar objektive Information über die Umwelt enthalten bzw. eine direkte Aussage über diese Umwelt begründen.

Wenn man Weber folgt, dann gründet die von ihm angesprochene Kopplung von Perturbationen mit Bedeutung auf dem Kriterium des Fortbestands des Systems („ongoing existence of the organism“). Diese existenzielle Verankerung der Deutung von indifferenten (externen) Stimuli als „signs“ ist allerdings systemspezifisch und hat somit noch immer eine solipsistische Tendenz. Folglich ergibt sich (auch und gerade) im Rahmen von autopoietischen Modellen die kritische Frage nach den Grundlagen für ein systemimmanentes Unterscheidungsvermögen von Innen und Außen, weil dieses als wesentliche Information in die „signs“ integriert werden oder von ihnen ablesbar sein muss, wenn diese signs existentiell relevante Bedeutung haben sollen. Das gilt besonders dann, wenn nach Lyon ein Organismus zur Aufrechterhaltung seiner Homöostase auf Zufuhr externer Energie angewiesen ist, also zwar autonom, aber (wohl gerade deshalb) nicht autark bestehen kann. So ist wohl zu Recht davon auszugehen, dass wegen der existenziell relevanten Konsequenzen ein fundamentales

---

<sup>215</sup> Cf. Zeichentheorie Helmholtz und Joh. Müller: Nicht der Reiz bestimmt die Wirkung, sondern der sinnesspezifische Kanal deutet unterschiedliche Perturbationen (z.B. Druck auf Augapfel) als Helligkeitsempfindung, die eine systemspezifische Qualität ist. Auch das von Poincaré angesprochene Problem einer vom Betrachter unabhängigen Welt ist von diesen Aspekten der Grundlagen einer Zuweisung von Bedeutung betroffen.

Generieren bzw. Etablieren von Bedeutungen auch den Aspekt Energie(haushalt) integrieren bzw. implizit in sich tragen muss.

Wenn man also im Rahmen eines autopoietischen Konzepts davon ausgeht, dass das System selbst auswählt, welche Perturbationen es zulässt, dann geht es offenbar um die systemspezifische Qualifizierung von externen Gegebenheiten, die zunächst als indifferent in dem Sinn gelten können, dass sie nichts über sich selber aussagen. Vielmehr gewinnen diese erst im Zuge ihrer Integration in den Lebensprozess eines Organismus und dessen Interaktion mit der externen Realität konkrete Bedeutung.<sup>216</sup>

Dabei darf man nicht übersehen, dass viele externe Gegebenheiten deshalb nicht weitergehend systemspezifisch qualifiziert werden, weil sie gemäß den physiologischen Rahmenbedingungen absolut unverträglich sind. (Cf. Biosphäre) Damit sind sie für einen diesbezüglich exponierten Organismus zwar systembezogen de facto nicht indifferent, aber das System kann diesen Stimuli keine (bzw. kaum noch) konstruktiv integrierbare Bedeutung zuweisen, weil sie unmittelbar tödlich wirken, auch wenn sie in diesem Sinn natürlich höchst relevante systemspezifische Bedeutung haben.

Dieses paradoxe **Bedeutungs-Dilemma** wird deshalb (gezielt) herbeigeführt, weil es eine hier (hoffentlich) nützlich erscheinende Unterscheidung provoziert, die sich auf Webers Stichwort „sense making“ bezieht. Es geht (mir) darum, bei Betrachtung dieses Modells in Ansatz zu bringen, dass eine externe Gegebenheit zwar wie immer beschaffene Qualitäten haben kann, diese aber nur systemspezifisch auf einen Organismus bezogen als **Bedeutung** geltend werden (können).<sup>217</sup>

Und es soll weiters jene Facette von Bedeutung herausgeschält werden, die nicht durch elementare Zerstörung des Systems, sondern dadurch gekennzeichnet ist, dass die Bedeutungszuweisung (sense making) durch Integration in den Lebensvorgang des Organismus erfolgt (cf. Transmembranproteine, Transduktion, Schnittstelle). Diese Interpretation von Interaktion soll als biologisch orientierter Ansatz von „Bedeutung“ eine Brücke zum weiten Komplex des **Erkennens** bilden und daher in einem durchaus konstruktivistischen Sinn den Fokus auf aktive Zuweisung von Bedeutung richten.

## 6.8 Bedeutungszuweisung gemäß Koinzidenz von Perturbationen?

Ohne den komplexen Prozessen und der Unterscheidung von Mutationen, Variationen, Modifikationen und Vererbung einschließlich der epigenetischen Aspekte hier konkret nachgehen zu wollen oder auch zu können, scheint sich in diesem Bereich eine prinzipielle Möglichkeit zu bieten, die Frage nach systemspezifischer „Bedeutung“ auch auf Ebene der hier angedeuteten biologischen Prozesse und Strukturen einfachster Lebewesen zu verankern. Nämlich durch den Hinweis, dass es weit im Vorfeld dessen, was wir als Erfahrung bzw. Gedächtnis bezeichnen, im Bereich biologischer Systeme offenbar Strukturen gibt, die wiederholt überlebte Interaktionen nachhaltig in das individuelle System (oder das ihrer Nachkommen) integrieren können, sei es auf Ebene der Abläufe intra- und interzellulärer Prozesse, durch Fortbewegung bzw. Variation des Verhaltens, durch Veränderungen der DNA oder langfristig auch der Organfunktionen und des Körperbaues. Unter der hier zur Debatte stehenden Voraussetzung eines autopoietischen Modells erscheint es (mir) als naheliegend,

<sup>216</sup> Cf. Enaktivismus (Glossar)

<sup>217</sup> Cf. Poincaré – Problem einer vom Betrachter unabhängigen Wirklichkeit

die z.B. von Lutz bei *Halobacterium Salinarium* beschriebenen Prozesse nicht als a priori fixierte Reaktion auf einen externen „Reiz“ zu interpretieren, sondern dahingehend, dass es sich um eine Art „aktiven Experimentierens“ des autopoietischen Systems mit systemspezifischen Potentialen handelt, das von perturbierenden externen Stimuli veranlasst, aber durch diese (zumindest zunächst) nicht eindeutig definiert wird. Erst wenn sich eine konkrete Aktion bzw. systemintern reorganisierte Konstellation zur Kompensation der mit dem Stimulus einhergehenden Perturbation als überlebenstauglich bewährt hat, dann besteht offenbar eine große Tendenz, dieses Aktionsmuster weiterhin zu wiederholen und nachhaltig im System zu verankern. Auch dadurch, dass im Zuge wiederholter Interaktionen ein Sensorium bzw. „Wissen“ dafür entwickelt und, in welcher Form auch immer, gespeichert wird, welche Interaktionen mit dem externen Milieu kompatibel sind. Jene gemäß Weber „indifferenten“ Stimuli, die im Zuge dieser Interaktion besonders häufig koinzidieren, also gleichzeitig mit einem überlebensfähigen Verhalten eintreten, werden offenbar mit dem Interaktionskomplex verknüpft und erhalten (nach meiner Ansicht) so Bedeutung. Bei großer Häufigkeit ihres Auftretens in Verbindung mit spezifischen Interaktionen gewinnen diese Stimuli besonderes Gewicht und werden (quasi) zu Invarianten, auf deren Detektion das Sensorium besonders ausgerichtet wird. Bezüglich des gemeinsamen Auftretens wird hier deshalb nur von Koinzidenz angesprochen, weil die Frage eindeutig ursächlicher Verbindungen als wesentlich schwerer identifizierbar erscheint, während die Integration von Gleichzeitigkeit und Häufigkeit auch im Rahmen einfachster Organismen möglich sein dürfte.<sup>218</sup> Darüber hinaus bietet ja eine große Häufigkeit und in diesem Sinn „Regelmäßigkeit“ in Form von immer wieder eintretenden Koinzidenzen doch auch ein Indiz für die Möglichkeit oder sogar Wahrscheinlichkeit kausaler Zusammenhänge. Das dürfte zumindest eine gewisse Grundlage für eine damit erfolgende Zuweisung qualifizierter Bedeutung bieten.<sup>219</sup>

Dieser Versuch, häufige Koinzidenz mit der Möglichkeit zum Auffinden kausaler Zusammenhänge in Verbindung zu bringen, orientiert sich im weit gedehnten Horizont kognitiver Potentiale am Phänomen Kausalattribution, demgemäß eine Tendenz intuitiven Denkens feststellbar ist, das zeitlich- räumliche Zusammentreffen oder die enge Aufeinanderfolge von wahrgenommenen Eindrücken bzw. Ereignissen spontan als kausal zusammenhängend zu interpretieren und erst danach, wenn überhaupt, zusätzliche Kriterien in die umfangreicher reflektierende Analyse einzubeziehen.<sup>220</sup> Weil unter diesen Voraussetzungen nicht von einer zwingend bestehenden bzw. auf die Ergebnisse wirkenden Kausalität ausgegangen werden kann, erscheint es in einem weit gefassten Sinn als angebracht, nur von einem Potential zum Bilden von „Gewohnheiten“ bei der Interaktion mit der externen Realität zu sprechen. Die implizite Änderungsmöglichkeit von Gewohnheiten trägt auch zu Gunsten Poincarés dazu bei, einen evolutionär begründeten Determinismus abzuwehren.

#### 6.8.1 Koinzidenz als eine mögliche Grundlage von Bedeutungszuweisung mit kausalen Implikationen: post hoc - propter hoc

Die nachfolgenden Überlegungen sind nur ein Versuch, anzudeuten, dass und wie diese Fragestellung den hiesigen Kontext betrifft. Dabei wird aber ganz bewusst vorausgesetzt und

<sup>218</sup> Z.B. Hebb'sches bzw. synaptisches Lernen bezieht sich stark auf häufige Wiederholung im Rahmen gleichartiger Konstellationen. Cf. Konditionierung.

<sup>219</sup> Cf. Konditionierung durch Konstellationen, bei denen das eigne Verhalten an häufige zusammentreffende Stimuli gekoppelt wird, die keine zwingend kausale Verbindung haben.

<sup>220</sup> Cf. Glossar > Kausalattribution (Mangold, 2012)

als Mangel in Kauf genommen, dass dieses Problem nur sehr fragmentarisch erfasst wird und leider nicht durch ein plausibles Modell gelöst werden kann.

Koinzidenz als eine mögliche Grundlage von Bedeutungszuweisung mit kausalen Implikationen in Ansatz zu bringen, ist natürlich auf das Engste mit dem Risiko des Irrtums verbunden und charakterisiert eigentlich eine klassische Form des Fehlschlusses. Allerdings könnte eine Nuancierung dieses Risiko etwas dämpfen. Wenn man unter den beiden lateinischen Sentenzen „post hoc ergo propter hoc“ der Alternativformulierung „cum hoc ergo propter hoc“ den Vorzug gibt und dieses cum eher als iteratives cum im Sinn von „immer wenn“ interpretiert, um so weniger das Nacheinander als vielmehr die Gleichzeitigkeit zu betonen, also dass etwas „häufig gemeinsam einhergeht“. Dann führt das zwar noch immer nicht zu einer notwendig kausalen Verbindung, aber es dürfte die Chance erhöhen, dass es sich um eine solche handelt.<sup>221</sup> Das sollte vor allem dann gelten, wenn komplexere Konstellationen, die z.B. auch unterschiedliche Sinnesmodalitäten betreffen, immer wieder gleichartig eintreten; also wenn es um einen möglichst invarianten Komplex von Relationen geht.<sup>222</sup>

Auch im Bereich der Reizleitung von Lebewesen, die über ein komplex entwickeltes Nervensystem verfügen, ist ein Phänomen zu beobachten, das wohl ebenfalls als Indiz dafür gewertet werden kann, wie stark sensible Systeme auf das Registrieren und auch noch Verstärken wiederholt auftretender Stimuli ausgerichtet sind. Dabei werden sogar unterschwellige Stimuli, also solche, die als Einzelereignis so schwach sind, dass sie kein Aktionspotential erreichen, dadurch verstärkt, dass gleichzeitige Impulse von mehreren benachbarten Sinneszellen oder kurz aufeinander folgende Impulse einer Sinneszelle zusammengefasst werden. Also wird die Gleichzeitigkeit bzw. die zeitliche Nähe der Wiederholung ausgewertet, und in diesem Sinn die Koinzidenz. Es geht dabei um das neurophysiologische Phänomen der **Summation**:

„Auch bei adäquaten Reizen kann es vorkommen, dass die Energiemenge nicht hinreicht, die zugeordnete Nervenzelle zu erregen (Alles-oder-nichts-Prinzip). Treffen solche Reize allerdings in raschen zeitlichen Abfolgen oder geringen räumlichen Abständen ein, so können sie durch Summation zu einem überschwelligem Reiz werden und das afferente Neuron erregen.“

(<https://de.wikipedia.org/wiki/Reiz>, 10.9.2017)

„Unter **Summation** versteht man die Verrechnung (Integration) von in der Nervenzelle eintreffenden Nervenimpulsen, die entweder eine erregende (exzitatorische) oder eine hemmende (inhibitorische) Wirkung auf das Entstehen eines Aktionspotentials haben können“

([https://de.wikipedia.org/wiki/Summation\\_%28Neurophysiologie%29](https://de.wikipedia.org/wiki/Summation_%28Neurophysiologie%29) 10.9.2017)

Dieses Phänomen der Summation deute ich als Indiz dafür, dass das Auswerten von Häufigkeit bzw. Wiederholung als Option/Potential zur Klärung und Zuweisung von Bedeutung im neurophysiologischen System verankert ist. Auch wenn es, anthropomorph formuliert, nur um die Klärung der Frage geht, „ist da überhaupt etwas Bemerkenswertes?“, ist das im Sinn der „ongoing existence“ allerdings eine Frage von essentieller Bedeutung.<sup>223</sup>

<sup>221</sup> Eine umfangreiche und qualifizierte Abhandlung über den Ausdruck „Kausalität“ ist hier nicht möglich. Er kann hier nur umschreibend bzw. als Vergleichsmodell gelten, weil es auf dieser Ebene zunächst nur darum geht, überhaupt ein „hoc“ als etwas Beständiges zu etablieren und seine Systemrelevanz möglichst eindeutig und nachhaltig zu qualifizieren. (Eine Interpretation als cum causale würde dem Satz auch durch zu große Redundanz den Aussagewert nehmen)

<sup>222</sup> Das zielt auf eine mögliche Kompatibilität mit Poincarés Strukturenrealismus.

<sup>223</sup> Unter dem Aspekt der Ausbaufähigkeit von strukturspezifischen Reaktionen zu intelligentem Verhalten von Systemen erscheint die Summation als besonders interessant. Das von einem Schwellenwert abhängige Aktionspotential eines Neurons ist ein selektiver Filter, der schnelle Reaktionen auf überschwellige und in diesem Sinn starke Stimuli begünstigt, die auf Grund ihrer Intensität eine existenzrelevante Bedeutung haben könnten,

### 6.8.2 Struktur-Detektor Gehirn mit Tendenz zu Kausalattribution?

Wenn man das häufige Auftreten koinzident mit inneren Systemzuständen einhergehender externer Stimuli als mögliche Basis des Erkennens von Regelmäßigkeit in Ansatz bringt bzw. als solche gelten lässt, dann erscheint das zunächst auf die ursprünglichsten Formen der Gruppierung<sup>224</sup> und Deutung von Stimuli bei einfachsten Lebewesen bezogene Konzept gemäß einer Formulierung von Renate Huber auch mit Funktionsprinzipien des Gehirns kompatibel zu sein.

„Die empirischen Neurowissenschaften deuten das Gehirn im Sinne eines **Struktur-Detektors**, der die Regelmäßigkeit des sensorischen Input kodiert und des weiteren stellen sie fest, daß die entdeckten Strukturen mit dem Lernprozeß des kognitiven Systems einer ständigen Veränderung unterliegen.“ (Huber, 2013, S. 6)<sup>225</sup>

Von diesen Indizien ausgehend soll hier die oben skizzierte Option der Auswertung von Koinzidenz als taugliche Variante zur Deutung von Stimuli als qualifizierte Invarianten, die mit bestimmten Interaktionen verbunden sind, aufrechterhalten werden. Dies unterstellt, dass im Bereich von „sense making“ unter Bedingung von „ongoing existence of the organism“ (Weber, 2002) die Überlebensfrage ein kritisches Prüfsystem darstellt, das elementaren „Irrtum“ radikal eliminiert, aber offenbar auch im Sinn von Viabilität eine gewisses Ausmaß überlebensfähiger Fehlertoleranz zulässt. Metaphorisch gesprochen entsprächen damit die so auf statistischer Basis konstruierten Invarianten und deren zunehmend klassifizierten (kategorisierten?) Bedeutungen dem Konzept viabler Hypothesen, die im Milieu der schon in Ansatz gebrachten Innen-Außen-Relation diesen Stimuli zu deren Qualifikation kausalitätskompatible Merkmale zuweisen und diese auch noch durch eine signifikante Erlebnisform unserer Wahrnehmung als externe Milieufaktoren etablieren.

Dieser **statistische Ansatz systemspezifischer Verankerung von Milieukompatibilität ist damit markant hypothetisch** und bedeutet in diesem Kontext nur, dass die externe Realität diese Interaktionsmuster zulässt. Der Ansatz unterstellt aber nicht, dass damit umfassendere Aussagen mit endgültig definierender Beweiskraft über diese externe Realität möglich sind als jene, dass eben dieses systemspezifische Handeln möglich (überlebensfähig) ist und dass damit (mehr oder weniger regelmäßig bemerkbare) Stimuli einhergehen.<sup>226</sup>

Es ist auch nicht davon auszugehen, dass es sich bei einem so durch Wiederholung verfestigten und regelmäßig genutzten Interaktionsmuster samt Bedeutungszuweisung an koinzidente

---

auch wenn sie nur selten auftreten. Die Summation hingegen „sucht“ gewissermaßen nach subtilsten Spuren von Häufigkeit, die unter den selektiven Regularien von räumlicher oder zeitlicher Nähe als beständig zusammenhängende externe Anlässe für Information zu Gunsten des Handlungsbedarfs gedeutet werden können. Wenn man es so ausdrücken will, dann entspricht das einem komplexeren Schema (Heuristik?, Algorithmus?) der Analyse bzw. des Informationsgewinns mit intelligenteren, reflexionsaffinen Entwicklungspotentialen. Wobei im Gegenzug auch die Möglichkeit in Betracht zu ziehen ist, dass auch schon die Aktionspotentiale mit ihrer Präferenz für starke Stimuli bereits die Konsequenz rekursiver Evolutionsprozesse des neuronalen Systems bilden. Das würde, etwa wie folgend, zu weiteren Überlegungen führen, die an Müllers\* spezifische Sinnesenergien anschließen: Auf starke Reize jedweder Art wird jedenfalls reagiert, sodass z.B. auch stärkerer Druck auf das Auge eine bezüglich des externen Anlasses eigentlich inadäquate Helligkeitsempfindungen auslöst, während andererseits das visuelle System sich in so hohem Ausmaß auf Licht als adäquaten Reiz spezialisiert hat, dass im Idealfall eine Sensibilität für ein einzelnes Photon zur Diskussion steht.

<sup>224</sup> Wenn man gelten lässt, dass neuronale Reizleitung mit Aktionspotentialen in Verbindung mit Reizsummation eine strukturspezifische Basis zur Konstruktion von Invarianten bildet, wobei sogar zunächst unterschwellige Stimuli bei ausreichender räumlicher oder zeitlicher Koinzidenz noch erfasst werden, dann wird hier nahegelegt, eine die selektiven Schwellenwerte kompensativ vikariierende Summation als affine neurophysiologische Prozessstruktur bzw. als Beispiel für Poincarés präexistierendes Potential zur Bildung von Gruppen in Betracht zu ziehen.

<sup>225</sup> Cf. Neuronale Plastizität

<sup>226</sup> Cf. Wahrnehmung als Hypothesenprüfung

Stimuli um die einzig mögliche „Lösung“ handelt. Es erscheint durchaus als denkbar, dass auch andere Interaktionsmuster beim Integrieren eines Stimulus eine Möglichkeit geboten hätten, die systemrelevante Homöostase aufrecht zu erhalten bzw. „the ongoing existence of the organism“ (Weber, 2002) zu stabilisieren. Als Indiz dafür mag gelten, dass zum Schutz vor Strahlung Fortbewegung ebenso möglich ist wie z.B. die Ausbildung eines Gefieders oder Modifikationen der Zellmembran bzw. der Haut, z.B. durch die Bildung bzw. Einlagerung von Pigmenten. Es können auch Kombinationen solcher Interaktionsmuster auftreten, bei denen mehr als nur zwei Möglichkeiten im Spiel sind. Generell scheint es allerdings so zu sein, dass einmal gefundene Lösungen bevorzugt in Gang gehalten werden und auch eine hohe Persistenz haben. Außerdem dürften ab dem Vorliegen praktikabler Lösungen/Interaktionsmuster funktionsidentische Alternativen, wenn überhaupt, so doch eher sparsam entwickelt werden. Das hat einerseits mit dem ökonomischen Aufwand zur Entwicklung und Erhaltung von Parallelsystemen zu tun, aber auch damit, dass ja durch eine bereits bestehende Lösung die perturbierende Wirkung von Stimuli kompensiert bzw. der Aufwand zur Wiederherstellung der Homöostase reduziert wird, und folglich kein so starker Anlass mehr besteht, weitere Lösungen zu entwickeln. Dazu kommt noch die Präferenz für „eingefahrene Bahnen“, die eher verstärkt werden, während selten benutzte Interaktionsmuster und zugehörige Strukturen bis hin zu Organen eher reduziert, abgebaut oder sogar umfunktioniert werden.<sup>227</sup>

Im Rahmen so eines Modells von Bedeutungszuweisung erscheint die evolutionäre Modifikation transmembraner Proteine von Einzellern zu Lichtsensoren plausibel. Damit werden externe Stimuli in Form unterschiedlicher Frequenzen von Strahlung detektiert und (durch Phototransduktion) mit systeminternen Zuständen in Zusammenhang gebracht. Je öfter dies verbunden mit erfolgreicher Photomotorik geschieht, umso mehr kann auf Basis gleichartig wiederholbarer Interaktionen den jeweils koinzidenten externen Stimuli Bedeutung „for the ongoing existence“ zugewiesen werden.

### 6.8.3 „Denken ohne Gehirn“<sup>228</sup>: Wimpertierchen und Aplysia: Sensitivierung, Habituation, Konditionierung

Ein wesentlicher Faktor ist dabei die **Fähigkeit, die Wiederholbarkeit von Interaktionen systemspezifisch zu verankern**. Wenn Wimpertierchen<sup>229</sup> bei räumlicher Einschränkung der Bewegungsfreiheit in einem Wassertropfen im Kreis schwimmen und dieses Verhalten über einige Zeit auch in einem großen Behälter fortsetzen, bevor sie sich wieder frei bewegen,

<sup>227</sup> Dafür sind nicht nur der Auf- und Abbau von Muskelmasse ein Beispiel, sondern gerade auch die Plastizität des Gehirns und nicht zuletzt die an anderer Stelle als Beispiel angesprochene neuronale Rückbildung beim Wechsel von der motilen Larve zur sessilen Seescheide.

<sup>228</sup> Headline Langenbach(2016)

<sup>229</sup> „Das Experiment stammt von Audrey Dussutour (Toulouse)...: Tetrahymena, das ist ein Wimperntierchen, das im Wasser lebt. Wenn es nur einen kleinen Tropfen zur Verfügung hat, stößt es bald nicht mehr an die Wand und schwimmt nur in engstem Kreis. Setzt man es dann in einen größeren Behälter, bleibt es zunächst bei diesem Muster, erst allmählich holt es weiter aus. An diesem handlicheren Wesen will Nakagaki klären, was der Schleimpilz noch nicht preisgab: die molekularen Mechanismen des Gedächtnisses von Einzellern (Interface 25. 5.). Dafür nutzt Tetrahymena vermutlich einen mechanosensitiven Ionenkanal, einen für Kalzium. Er erweitert sich, wenn das Tier irgendwo anstößt, dann strömt mehr Kalium hinein. Das wiederum beeinflusst die Schwimmrichtung: Ist keines da, geht es gerade aus, steigen die Konzentrationen, geht es in immer engeren Kreisen.“ (Langenbach, 2016)

dann liegt aus der hier angenommenen autopoietischen Perspektive folgende Interpretation nahe:

Das Wimpertierchen stößt im wörtlichen Sinn an die Grenzen seines gewohnten Verhaltens, experimentiert mit systemspezifisch verfügbare Schwimmvarianten und behält jene, die unter den aktuellen Milieubedingungen erfolgreich sind, weiterhin bei, auch wenn die Begrenzung auf einen Tropfen schon seit einiger Zeit nicht mehr besteht. Ohne die genaueren Zusammenhänge einschließlich der Frage, warum das modifizierte Bewegungsmuster schließlich wieder aufgegeben wird, weiter zu verfolgen, scheint mit diesem Beispiel doch das Potential längerfristiger Verankerung von extern stimulierten Modifikationen des Systems dokumentiert zu sein.

Gemäß den Forschungen von Kandel an der Meeresschnecke *Aplysia* gibt es jedenfalls schon bei relativ einfachen Lebewesen entsprechende Strukturen zur (mehr oder weniger nachhaltigen) Verankerung anlassspezifischer Modifikationen des Verhaltens, die das assoziative Umfeld der Stichwörter Gedächtnis und Lernen tangieren.

Bei den am Beispiel **Aplysia** beschriebenen Prozessen von **Habituation** und **Sensitivierung** bildet die schon angesprochene systemspezifische Integration von wiederkehrenden Stimuli sowie deren Häufigkeit eine markante Rolle, die letztlich an unterscheidbaren physiologischen Korrelaten beobachtbar ist, welche als Komponenten von Langzeit- und Kurzzeitgedächtnis gelten.

Die Ausgangsbeobachtung ist, dass *Aplysia* bei Berührung des Atemrohrs ihre Kiemen in die Mantelhöhle zurückzieht und dieses Verhalten bei Koppelung mit einem gleichzeitig zugefügten Elektroschock konditionierbar ist. Dabei erfolgt unter Mitwirkung von Neurotransmittern (z.B. Serotonin) eine Sensitivierung, die als komplexe biochemische Funktionskette im Bereich der Synapsen beobachtbar ist. (Nach: Ruhr-Uni Bochum, WS 2001/02, Seminarbericht)

Weil es hier nur um das Abstützen der unterstellten Relevanz der Häufigkeit wiederkehrender Stimuli für die systemspezifische Zuweisung von Bedeutung geht, wird hier nicht das Experiment weiter referiert, sondern nur mit aus dem Zusammenhang gerissenen Zitaten angedeutet, dass auch bei diesem Beispiel die „statistische Komponente“ von Koinzidenz einen relevanten Faktor der Zuweisung von Deutung ausmacht.

Ein Seminarbericht der Ruhr-Uni Bochum zum Thema „Die interzellulären Grundlagen von Habituation und Sensitivierung“ hält in seiner Darstellung des Experiments z.B. fest, dass im Zuge der Sensitivierung: „der gleiche Neurotransmitter, z.B. Serotonin, je nach Häufigkeit des Vorgangs Kurz- und Langzeitverstärkung hervorrufen kann....“ (Ruhr-Uni Bochum, WS 2001/02, o.S.)

Im Zusammenhang mit Habituation heißt es:

„Habituation bedeutet Gewöhnung. Eine Reaktion auf einen wiederholt präsentierten und sich als unbedeutend erweisenden Reiz schwächt sich allmählich ab... Bei wiederholter Reizung werden einige Ca<sup>2+</sup>- Kanäle inaktiviert. Dadurch gelangen weniger Transmitter zu den Rezeptoren der postsynaptischen Membran. Die Calciumausschüttung wird im Verlauf der Reizungen immer geringer. Dieser Vorgang wird auch *synaptische Depression* genannt und scheint ein weit verbreiteter Habituationsmechanismus zu sein.“<sup>230</sup> (Ruhr-Uni Bochum, WS 2001/02, o.S.)

---

<sup>230</sup> Vergleichend wird noch betont:

Es ist wohl angemessen, zu betonen, dass die mit *Aplysia* illustrierten synaptischen Prozesse offenbar nicht dem „Speichern“ eines externen Reizes per se gelten, sondern dem systemspezifischen Verfügbarmachen und Steuern von wiederholt überlebten Interaktionskomplexen, in die der externe Stimulus integriert und mit einem Verhaltensmuster kombiniert wurde.<sup>231</sup> Die wirksame Konditionierung durch einen im Zuge des *Aplysia*-Experiments willkürlich herbeigeführten zusätzlichen Reiz scheint dies offenbar zu bestätigen.

Generell zeigt ja der Prozess von Konditionierung auf, dass mehr oder weniger beliebige Impulse, die im Rahmen eines Experiments in regelmäßiger zeitlicher Kopplung gesetzt werden, zu einem zunehmend stabilen Verhaltensmuster des Probanden führen. Das wird im hiesigen Kontext so interpretiert, dass dabei den Stimuli auf Basis des regelmäßigen (gemeinsamen) Auftretens systemspezifische verhaltensrelevante Bedeutung zugewiesen wird. Wenn dies, wie hier gezeigt werden soll, aber nur auf Koinzidenz beruht, weil die Stimuli im Rahmen des Experiments ja (weitgehend) beliebig gewählt werden können, also vor der Konditionierung kein eindeutiger und zwingender Zusammenhang besteht, dann ist in diesem Sinn nicht von einem kausalen und determinierenden Verhältnis eines Stimulus (als per se ursächlichem „Reiz“) zum Verhalten des Probanden auszugehen.

Die Legitimation des Vergleichs und die Transfertauglichkeit des Modells auf sehr unterschiedliche Organismen beruht darauf, dass es bezüglich der fundamentalen Strukturen offenbar um inter- und intrazelluläre Prozesse geht, die bei einfachsten und komplexen Lebewesen sehr ähnlich organisiert sind, weil sie auf funktionelle Potentiale der (Schnittstelle) Membran als tragende Struktur zurückgreifen. Diese Strukturen sind offenbar in vergleichbarer Form von Einzellern bis zu Säugetieren präsent und spielen besonders auch für Prozesse der neuronalen Signaltransduktion eine fundamentale Rolle.

Das mit den Beispielen Wimpertierchen und *Aplysia* vorrangig verbundene Ziel war es, das Potential zu länger anhaltender Verankerung auch bei einfachsten Lebewesen zu dokumentieren. Wenn man so will, wird damit eine Art **interaktionsorientiertes „Gedächtnis“** umschrieben, **das mit koinzidenten Stimuli gekoppelte Bedeutungen integriert und so eine Innen-Außen Relation etabliert.**

#### 6.8.4 Begriff „Reiz“ verlangt besondere Reflexion

Mit dem Beispiel der Konditionierung von *Aplysia* wurde die Fragwürdigkeit des „Reizes“ als externe Ursache mit verhaltensbestimmender Wirkung angedeutet.

Der Begriff „Reiz“ verlangt in konstruktivistisch orientierten Modellen der Wahrnehmung eine besondere Reflexion, welche gezielt die Rolle der subjektiven Faktoren des wahrnehmenden Organismus integriert. Es geht, um es so zu sagen, um die Auffassung von Reiz im Spannungsfeld zwischen den Polen einer ihm zugewiesenen Rolle als extern generierter und inhaltlich bestimmter und bestimmender Informationsträger, an den sich die Wahrnehmung anpasst, um seine Informationen auswerten/nutzen zu können. Dem gegenüber sehe ich auch eine zumindest dialektisch methodisch nützliche Perspektive, die „Reize“ im Sinn einer spezifischen Sensibilität bzw. Prädisposition für koinzidente Gruppen externer Stimuli in Ansatz

---

„ Im Gegensatz zur Langzeithabituatation werden bei der Langzeitsensitivierung neue Synapsen ausgebildet.“ (Ruhr-Uni Bochum, WS 2001/02, o.S.)

<sup>231</sup> Wenn man Wahrnehmung, Bedeutungszuweisung und Verhaltenssteuerung als eine Art Interaktionskomplexe im Rahmen eines autopoietischen Modells in Ansatz bringt, dann kann nicht mehr von einem für sich so bestehenden Reiz/Stimulus ausgehen.



bringt und als Instrumente zur Detektion bzw. Konstruktion von Interaktionsmustern interpretiert, die für den Organismus bzw. ein weitgehend selbstreferentielles kognitives System viabel sind.<sup>232</sup> Wahrnehmung würde damit zu einer Art Suchscheinwerfer oder zu einem Projektionssystem zur modellierenden Strukturierung von Umwelt.<sup>233</sup> Das stellt allerdings in Frage, wie weit man dann noch von Wahrnehmung und von Reiz im traditionellen Sinn sprechen kann. Auch wenn in die Beschreibung dieser konstruktivistischen Perspektive soeben bewusst der Ausdruck „viabel“ eingefügt wurde, heißt das nicht, dass damit eine Reflexion von Wahrnehmungsinhalten zur Bestimmung ihrer Geltungsansprüche im Sinn epistemologisch verifizierter Wahrheit als Ziel aufgegeben bzw. ausgeschlossen wird. Der Anspruch und die Reichweite des kognitiven Potentials so eines selbstreferentiellen Systems wurden ja nicht einschränkend definiert. „Viabel“ verweist hier vor allem auf die daraus ableitbare Notwendigkeit eines hypothetischen Konzepts der Wahrnehmung und darauf begründeter Wahrheitssuche.

Es bleibt auch zu beachten, dass hier auf die Begriffe Wahrnehmung und Reize als geläufiges Vokabular nicht verzichtet werden kann und soll, auch wenn das aktuelle und historische Umfeld der Begriffe vielfältige Varianten zeigt, die auf das jeweilige Modell von Wahrnehmung und Erkennen hin ausgerichtet sind. Ich meine damit Ausdrücke wie: Perception, Apperception, Sensation, Input (bzw. Intake), Empfindung, Impression, Perturbation, Reiz, Stimulus usw.

In dem Maße, wie im hier verfolgten Bereich der Raumwahrnehmung der Begriff *Reiz* eng mit dem Begriff *Objekt* zusammen hängt, besteht hier auch ein vergleichbares methodisches Interesse einer „Dekonstruktion“, wie dies an diversen Stellen bezüglich des „Objekts“ versucht wird.

So paradox dies auch zunächst erscheinen mag, so führt der Versuch, das häufige bzw. regelmäßige zeitliche Zusammentreffen als einen entscheidenden Faktor der Deutung externer Korrelate von systemspezifisch zugelassenen Perturbationen geltend zu machen, um so unter autopoietischen Prämissen ein Innen-Außen Modell von Wahrnehmung zu etablieren, dazu, dass implizit auch eine räumliche Komponente ins Spiel kommt. Um externe Stimuli auf sinnlicher Ebene spontan als gleichzeitig oder zeitnahe bemerken und klassifizieren zu können ist es nämlich notwendig, dass sie in der Reichweite des Wahrnehmungsvermögens des jeweiligen Organismus anzutreffen sind. Und damit hat jede sinnliche Wahrnehmung auch eine implizit räumliche Komponente.

Mit Stichworten wie „cum hoc-propter hoc“ die Koinzidenz unter den Aspekten der Gleichzeitigkeit oder des engen Nacheinanders in ein an Kausalattribution orientiertes Modell von Wahrnehmung zu integrieren, führt so zu einem auf den (aktuellen Standort) des jeweiligen Organismus bezogenen elementaren Wahrnehmungraum, bei dem es folglich nur noch darum geht, wie und in welchem Ausmaß dieser nach Dimensionen strukturiert, codiert bzw. repräsentiert wird.

Begriffe wie Kontiguität und Koinzidenz bergen also einen genuin verbundenen Komplex mit zeitlicher und räumlicher Komponente als ein essentielles Fundament von Wahrnehmung.

---

<sup>232</sup> Aus dieser Perspektive betrachtet entspricht bereits als Licht bzw. Helligkeit wahrgenommene Strahlung einem Konstrukt gemäß einer systemspezifisch zugelassenen Perturbation.

<sup>233</sup> Cf. Gehirn als Struktur-Detektor (Huber, 2013, S. 6)

## 6.9 Resümee

Die Zusammenfassung gemäß hier verfolgter Hypothese lautet also, dass jeder Stimulus (bzw. alles Wahrnehmbare), der in regelmäßigem zeitlichen (koinzidenten) Zusammenhang mit einem Verhalten des autopoietischen Systems zur Aufrechterhaltung bzw. Wiederherstellung seiner Homöostase steht, tendenziell mit Bedeutung belegt wird, sodass demgemäß die Unterscheidung von Stimuli durch Zuweisung von Bedeutungen genuin mit der Aufrechterhaltung bzw. Wiederherstellung der Homöostase verbunden ist.

Daran knüpft sich bei sehr weit gefasster Interpretation die Frage, ob und welcher Form es überhaupt Sinn macht, von einem für sich bestehenden externen Stimulus auszugehen. Oder ob man zumindest unter Prämisse eines autopoietisch konstruktivistisch orientierten Ansatzes (modellgemäß) davon ausgeht, dass dieses Etwas, das wir als Reiz, Stimulus usw. bezeichnen, nur durch sein Eingebundensein in den Interaktionskomplex des wahrnehmenden Subjekts zur Geltung kommt und, wenn man so will, nur in diesem Sinn besteht. Damit wäre Wahrnehmung eine Interaktion, welche eine wie auch immer beschaffene externe Realität erst in einem erkennbaren Sinn „verwirklicht“ bzw. konstituiert.<sup>234</sup>

### 6.9.1 Poincaré: Keine Welt ohne Beobachter?

Obige Frage tangiert auch Poincarés Überlegung:

„Besteht die Harmonie, die die menschliche Intelligenz in der Natur zu entdecken glaubt, auch außerhalb dieser Intelligenz? Nein, zweifellos ist eine Wirklichkeit, die vom Geist der sie begreift, sie sieht oder fühlt vollständig unabhängig ist, eine Unmöglichkeit.“ (Poincaré, 1910, S.7)

Für unseren Kontext ist bemerkenswert, dass Poincaré in dieses Modell von Wirklichkeitsbegründung nicht nur das geistige Begreifen, sondern explizit auch das Sehen und Fühlen einbezieht.

Die Ausführungen über einen biogenic approach to cognition und ein Modell von Bedeutungszuweisung via „meaning for the ongoing existence“ usw. versuchen, diesem Satz Poincarés in einem autopoietisch orientierten Rahmen bis auf die Ebene von Einzellern nachzuspüren.

## 7 KOMPARTIMENT Von der Wahrnehmung zur Erkenntnis

Folgt man unter dem Aspekt eines biogenic approach to cognition den Interaktionspotentialen autonomer Lebewesen bis zur Lichtsensibilität von Einzellern und bringt man dabei die Spezialisierung transmembraner Proteine als einen (wahrscheinlichen) Ausgangspunkt von Wahrnehmung in Ansatz, dann führt dies im Gegenzug zur Frage bzw. zum Problem eines Erkenntnisvermögens, dem man objektive Gültigkeit zutrauen kann. Das Problem wird besonders dann virulent, wenn man einen autopoietischen Rahmen voraussetzt, wie dies hier der Fall ist.

---

<sup>234</sup> Cf. Enaktivismus, cf. Konstitutionstheorie

Ein Symposium mit dem Titel „ Von der Wahrnehmung zur Erkenntnis“<sup>235</sup> geht diesem Thema auch aus evolutionärer Perspektive nach. So der Biologe Hubert Markl mit seinem Beitrag: Evolution der Wahrnehmung erkenntnisfähig. Was macht uns erkenntnisfähig?<sup>236</sup>

Mit mehrfacher Referenz auf Markl sowie Jürgen Mittelstraß<sup>237</sup> wird in diesem Abschnitt versucht, ausgehend von Markls Beispiel der aktiven Schallortung der Fledermaus auch unsere lichtbasierte visuelle Wahrnehmung nicht als passives Empfangen von Reizen zu verstehen, sondern als aktive Detektion. Dabei wird unterstellt, dass schon die evolutionäre Spezialisierung auf den sichtbaren Spektralbereich Licht unsere visuelle Wahrnehmung zu einem subjektiven theoriebeladenen Konstrukt zur Strukturierung der dadurch in dieser Form generierten bzw. konstituierten Umwelt macht.

Als Konsequenz werden hier zwei Aspekte geltend gemacht:

1 Das Konstrukt Licht ist ein opportunes Medium zur Interaktion mit der elektromagnetischen Strahlung in der Biosphäre und ist essentielle Grundlage eines Fernsinns zur effizienten Detektion und ziemlich präzisen Formbestimmung fester (opaker) Körper.

2 Wahrnehmung wird als eine Art unbewusste Wissenschaft mit hypothetischem Charakter in Ansatz gebracht.

Am Beispiel der Objekterkennung durch die Schallwahrnehmung der Fledermaus macht Markl auf die Schwierigkeit aufmerksam, koinzidente Sinnesreize eindeutig kausal zu interpretieren, weil auch das Problem der Kontingenz in Betracht zu ziehen ist.

Davon ausgehend wird im hiesigen Abschnitt versucht, gedankliche Brücken zu schlagen, die zur Zeichentheorie von Helmholtz, zu Humes Induktionsproblem sowie über den Begriff Kontingenz auch zu Boutroux und somit in das unmittelbare Umfeld von Poincarés erkenntnistheoretischem Ansatz führen. Dabei soll Poincarés Betonen der essentiellen Rolle des Betrachters zur Konstitution von Wirklichkeit bis auf die Ebene der visuellen Wahrnehmung und deren Potential zum aktiven Strukturieren der Umwelt heruntergebrochen werden.

## 7.1 Erkenntnistheoretische Aspekte der (autopoietischen) Zuweisung von Bedeutung

Unter dem Aspekt wahrnehmungsbasierter Erkenntnis kann man die konstruktive Tendenz selbstreferentieller autonomer Systeme zur weitgehenden Entkopplung von der externen Realität hinsichtlich des hier vorrangig betrachteten Bereichs visueller Verarbeitung im Interaktionskomplex Netzhaut- Gehirn mit einem Satz über Quine unterlegen.

„ Die menschliche Erkenntnis setzt nach Quine nicht bei den äußeren physischen Gegenständen, sondern bei den Reizungen unserer Sinnesrezeptoren an.“<sup>238</sup>

Verfolgt man die Wurzeln der Lichtempfindlichkeit der Netzhaut bis zu transmembranen Proteinen von Einzellern, dann kann man auch im Bereich einfachster Lebewesen eine weitgehende Entkopplung geltend machen und trotzdem über das Modell der Perturbationen

<sup>235</sup> Symposium der Schering Forschungsgesellschaft, Februar 2004. Cf. Literaturverzeichnis: Markl, H. (2005)

<sup>236</sup> Auch wenn die Frage dort nicht so formuliert wird, bildet dieses Thema einen essentiellen Hintergrund für eine Reihe von Überlegungen Poincarés.

<sup>237</sup> Mitherausgeber der Dokumentation des Symposiums

<sup>238</sup> ([https://de.wikipedia.org/wiki/Willard\\_Van\\_Orman\\_Quine#cite\\_ref-19](https://de.wikipedia.org/wiki/Willard_Van_Orman_Quine#cite_ref-19) 30.7.2017)

und Bedeutungszuweisung an häufig wiederkehrende Stimuli ein Interaktionspotential mit der externen Realität etablieren, das in gewissem Sinn einer erkennenden Wahrnehmung entspricht und, wie diese, konstruktiv verfasst ist. Dabei spielt bei Lebewesen mit einem neuronalen System synaptisches bzw. Hebb'sches Lernen eine Rolle.<sup>239</sup>

Wenn man gelten lässt, dass die Bedeutungszuweisung an externe Stimuli über Kopplung an die internen Prozesse zur Aufrechterhaltung der von diesen externen Stimuli perturbierten Homöostase erfolgt, dann ist damit eine entsprechend weitgehende Entkopplung der so generierten „signs“<sup>240</sup> von der externen Realität verbunden, auch wenn diese signs als extrovertierte Elemente der Wahrnehmung zur Interaktion mit der externen Realität dienen. Dieses seltsame Innen-Außen Verhältnis von Entkopplung und Verschränkung mit der Umwelt hat erhebliche Folgen für die Frage nach der Relation von Wahrnehmung und Erkenntnis und führt zu einem fundamentalen Problem von Erkenntnistheorie.

Uexküll zieht eine markante Trennlinie zwischen Reiz und neuronaler Verarbeitung; folglich auch zwischen Innen und Außen und, wenn man so will, zwischen erkennendem Subjekt und externer Realität.<sup>241</sup>

„Es tritt also im Nervensystem der Reiz selbst nicht wirklich auf, sondern an seine Stelle tritt ein ganz anderer Prozeß, der mit dem Geschehen der Umwelt gar nichts zu tun hat. Er kann nur als Zeichen dafür dienen, daß sich in der Umwelt ein Reiz befindet, der den Rezeptor getroffen hat.“ (Uexküll, 1909, S. 192)<sup>242</sup>

## 7.2 Markl: Hürden der Evolution der Erkenntnisfähigkeit

Auf dem Weg von der einfachsten Reizempfindlichkeit zur Erkenntnisfähigkeit erachtet der Biologe Hubert Markl (2005) mehrere Schritte als entscheidend.<sup>243</sup>

Erst bei Punkt 7 siedelt Markl „nach all der popeligen evolutionären Bio-Genese“ das Potential der Philosophie an, unter anderem zu klären, „...ob die Welt so ist, wie wir sie wahrnehmen, weil *wir* sie wahrnehmen (Kant)? Oder nehmen wir die Welt so wahr, weil wir ganz und gar ihr Bestandteil sind (Darwin)? Sind die Anschauungsformen von Raum und Zeit...transzendental erfahrungsbedingend (Kant) oder erfahrungsbedingt (Darwin)?“ (Markl, 2005, S. 45)

Hier stellt sich (mir) die Frage, ob aus Darwins Theorien ein so umfassendes und exklusives „Ganz und Gar“ ableitbar ist und daher der Versuch der Rekonstruktion evolutionärer Komponenten von Erkennen/Erkenntnis im Sinn evolutionärer Erkenntnistheorie prinzipiell

<sup>239</sup> Cf. Glossar > Hebb'sches bzw. synaptisches Lernen

<sup>240</sup> Cf. Weber sense making

<sup>241</sup> Uexkülls Umweltbegriff ist gemäß Kritik Engels hinsichtlich mit diesem Begriff einhergehender erkenntnistheoretischer Probleme zu reflektieren.

<sup>242</sup> Man könnte gewissermaßen statt des hier verwendeten Begriffs „Reiz“ auch umschreibend sagen: Perturbation als Anlass zur Hypothesenbildung über das mögliche externe Etwas auf Basis von Ähnlichkeiten mit bereits verfügbaren Bedeutungszuweisungen.

<sup>243</sup> (Stark verkürzt zusammengefasst nach Markl, 2005, S. 34 ff.)

1. Spezialisierung von Zellen für Reizwahrnehmung, Beweglichkeit usw. (Vorteil von Vielzellern)
2. Neuronen als Koordinationsspezialisten, die Reiz und Reaktionsverhalten entkoppeln bzw. steuern
3. Zentrale Strukturen für Gedächtnis und Bewerten. Gemäß „alles Erkennen ist eigentlich ein Wiedererkennen“ (Markl, S. 35)
4. Bewusstsein als Vorstellungsraum bzw. Entwicklung von Wirklichkeitsmodellen und unserem Handeln in ihnen.
5. Sprachvermögen, mit dem das Denkbare über das Wahrnehmbare hinausgehen kann
6. Erkenntnis, die erst in einem intersubjektiv überprüften System von Wissenschaft als solche bezeichnet werden könne.

unter den pejorativen Generalverdacht einer „popeligen evolutionären Bio-Genese“ gestellt werden kann?<sup>244</sup>

Jürgen Mittelstraß betont unter dem Titel „Zur Philosophie des Erkennens“:

„In der Philosophie geht es nicht um die Erklärung des empirisch Gegebenen,...,auch nicht um die Beschreibung des Werdens im Physischen und Empirischen, sondern um die Beurteilung von Geltungsansprüchen- früher hätte man ganz unbefangen gesagt: um Wahrheit- und um Klärung ihrer begrifflichen und methodologischen Voraussetzungen.“ (Mittelstraß., 2005, S. 134 f.)

Diese Feststellung scheint (zumindest zunächst) die Sinnhaftigkeit des Versuchs der Integration vorbewusster Komponenten und evolutionärer Aspekte als (philosophisch) relevante Faktoren von Erkenntnis zu konterkarieren.

Diese Begrenzung auf die „Klärung ihrer begrifflichen und methodologischen Voraussetzungen.“ wird im Zuge der hier vorliegenden Arbeit explizit verlassen, wenn in Anlehnung an Keuth, Bischof und Diebner mit einem erweiterten Kognitionsbegriff elementare Komponenten der Wahrnehmung in die hermeneutische Reflexion der Aussagen Poincarés mit einbezogen werden, um sie als epistemologisch bedeutsame Vorannahmen in Poincarés Sinn geltend zu machen.<sup>245</sup>

### 7.3 Diebner, Keuth : Gehirnphysiologisch orientierte Hermeneutik zweiter Ordnung

Das ausdrückliche Einbeziehen evolutionärer Aspekte bis hin zur Enzephalisation der Wahrnehmung und der daraus allenfalls erwachsenden Einflüsse auf kognitive Potentiale wird auch durch eine Darstellung Diebners motiviert:

„...kann man sich die gehirnphysiologisch motivierte Frage stellen, wie das Gehirn hermeneutisches Denken produziert...Dass es sich hier um eine Spielart der Selbstreferentialität handelt, ist offensichtlich. Daher beschreibt Tsuda sein Vorhaben mit den Worten, dass wir interpretieren müssen wie das Gehirn interpretiert....Man kann diese Vorgehensweise auch als Hermeneutik zweiter Ordnung bezeichnen.“ (Diebner, o.J., S. 233)

Mit einer dazu konvergenten Aussage erweitert Keuth dies bis zu angeborenen physiologischen Dispositionen und eröffnet damit die Möglichkeit einer evolutionär fundierten Brücke bezüglich Poincarés Warnung vor „unbewußten vorgefaßten Meinungen“:<sup>246</sup>

„So werden wir mit der Disposition zur Ausbildung bestimmter Funktionen der Sehrinde geboren. Wenn man so will, ist die angeborene Disposition das erste Vorurteil, hinter das wir ontogenetisch nicht zurück können. Sie ist die grundlegende Bedingung unseres optischen Erfahren-Könnens. Aus ihr und den ersten Erfahrungen, die wir mit ihrer Hilfe machen, resultieren Verknüpfungen von Nervenzellen. Sie bilden sozusagen die *Vorurteile der zweiten Ebene*.“ (Keuth, 1998, S. 76)<sup>247</sup>

<sup>244</sup> Cf. Pamela Lyon: biogenic versus anthropogenic approach to cognition

<sup>245</sup> Cf. "Wichtig ist auf jedem Fall **Kants** Erkenntnis, dass nicht etwa erst im Denken, sondern bereits in der Wahrnehmung kognitive Aktivität steckt." (Bischof, 1987, S. 80). Cf. Überlegungen bezüglich unbewusster Vorurteile, die Keuth mit ausdrücklicher Referenzen auf Poincaré bis auf die angeborene physiologische Disposition der Sehrinde als eine "empirische Bedingung unseres ontogenetischen Erfahren Könnens" ausdehnt. (Nach Keuth, 1998, S. 76).

<sup>246</sup> Cf. (Poincaré, 1906, S. 145) Ausgehend von Poincarés evolutionär orientiertem Appell an die Erfahrung der Vorfahren usw. waren auch diese Hinweise von Keuth und Diebner für mich eine wesentliche Anregung und Motivation.

<sup>247</sup> In diesem Kontext werden Poincarés „vorgefasste Meinungen“ und Keuths „Vorurteile“ als weitreichend deckungsgleich betrachtet.

Auch vor dem Hintergrund von Lyons „biogenic approach to cognition“ wird im Zuge dieser Arbeit eine über die Sprache hinaus erweiterte hermeneutische Perspektive bevorzugt: Schon die Koppelung bestimmter Reize mit speziellen „Reaktionen“ (an spezifische autopoietische Aktivitäten des Lebewesens) enthält statistisch erfolgreiche und in diesem Sinn geprüfte Wahrheit, wenn die spezielle Verbindung evolutionär viabel ist.

So gesehen wird davon ausgegangen, dass auch diese biologisch evolutionären Aspekte in die philosophische Reflexion der Geltungsansprüche mit einzubeziehen sind und dass dies auch Poincarés Ansatz entspricht.

#### 7.4 Potential zu reflektierter Verhaltenssteuerung durch Entkoppelung von spontanen Reflexen

Mindestens so bedeutsam ist aber auch das Aufbrechen fixer Kopplungen zwischen Stimuli und darauf schematisiert erfolgenden Verhaltens durch Zwischenschaltung von Zellen, die auf Koordination spezialisiert sind; also von Neuronen:

„..., nicht jeder rezipierte Reiz kann Verhalten hervorrufen; das zwischengeschaltete perzipierende Nervensystem bestimmt, welche Reizkonfigurationen verhaltenswirksam werden.“ (Markl, 2005, S. 35)

<sup>248</sup>

Diese **Entkopplung von einem spontanen Automatismus** und die folglich verzögert nutzbaren Handlungsmöglichkeiten etablieren ein Entscheidungsmilieu mit einer Art von **reflexivem Potential**. In dem Maß, wie die dafür nötigen Strukturen evolutionär erfolgreich sind, verkörpern auch die physiologischen und prozessualen Korrelate (bei Fernsinnen z.B. die Augen und die zugehörigen neuronalen Netzwerke und Verarbeitungsmuster) Wissen, das von einem hohen strukturspezifisch impliziten Potential zur Unterscheidung/spezifischer Konstruktion geprägt ist. Ohne Gleichsetzung scheint (mir) dies eine große Nähe zu den von Mittelstraß beschriebenen Geltungsansprüchen und zu begrifflich fassbarer Wahrheit zu haben. Und zwar größer, als dies die Ausführungen von Mittelstraß vordergründig vermuten lassen, die der Frage von Erkenntnis vorrangig auf Ebene der Klärung von Begriffen und der Logik von Aussagen nachgehen.

Genau die oben von Mittelstraß ins Treffen geführte „Unbefangenheit“ der „rein begrifflichen und methodologischen Voraussetzung“ wurde, wie schon angedeutet, durch diverse **„Grundlagenkrisen“** erschüttert, die unter anderem auch in engem Zusammenhang mit der naturwissenschaftlichen Analyse und Deutung der Wahrnehmung und Erkenntnis standen. <sup>249</sup>

#### 7.5 Empirisierung des Transzendentalen: „To understand the mind, we must understand the brain“

Die Deutsche Forschungsgemeinschaft führt unter dem Projekttitel „Die Empirisierung des Transzendentalen“ aus:

„Im Zuge der Erfolgsgeschichte der Erfahrungswissenschaften kommt es in der Jahrhundertmitte jedoch zu einer folgenreichen Destabilisierung dieses Erkenntnismodells.<sup>(250)</sup>.... Das vormalig ins Transzendente entrückte Subjekt wird jetzt als empirische Größe verstanden und auf seine

<sup>248</sup> Cf. Perturbation

<sup>249</sup> Dazu gehört nach meiner Einschätzung u.a. auch die Fragwürdigkeit des Begriffes „Reiz“ bezüglich seiner direkten Aussagekraft über die externe Realität in Folge von Johannes Müllers Modell der „spezifischen Sinnesenergien“.

<sup>250</sup> Ö> gemeint sind das 19.Jh. und der deutsche Idealismus in Nachfolge Kants

physiologische, psychologische, historische, kulturelle und sprachliche Beschaffenheit hin befragt. Damit überträgt sich die ‚Kontingenz‘ der Erkenntnisgegenstände auch auf die Erkenntnisinstanzen, indem diese nämlich auf ihre empirischen Voraussetzungen zurückgeführt und somit selbst zum Objekt der erfahrungswissenschaftlichen Untersuchung werden. Da der Erkenntnisapparat nun selbst als ein empirischer Sachverhalt, neben all den anderen Phänomenen der Erfahrungswelt, behandelt wird, erscheint es zunehmend plausibel, ja zwingend, auch in Bezug auf ihn die Möglichkeit eines Anders-sein-Könnens in Rechnung zu stellen. Wenn aber das Apriori der Erkenntnis derart an Gewissheit einbüßt, dann auch in der Konsequenz das gesamte, auf seiner Basis generierte Wissen.“ (DFG, 2014, o.S.)

Dieses wissenschaftsgeschichtliche Milieu hat wohl auch in Poincarés Suche nach evolutionären Fundamenten von Geometrie und in seinem Konzept des Hypothetischen, das für Naturwissenschaften und Philosophie epistemologisch relevant ist, seinen Niederschlag gefunden und zugleich einen praktikablen Ausweg aufgezeigt.

Nach den Aussagen über *spezifische Sinnesenergien* (1826) von Johannes Müller\*, geht es wohl spätestens seit Darwin, Helmholtz, Mach, Poincaré, Boltzmann, Konrad Lorenz usw. auch darum, diese evolutionären Aspekte der physiologischen Komponenten der Wahrnehmung als integrale Dimension philosophischer Analyse und Reflexion anzunehmen.

Das zielt nicht darauf ab, Philosophie durch **Neurophilosophie** zu ersetzen oder diese als Position in einem Streit der Denkschulen zu etablieren.<sup>251</sup> Aber man darf/muss den zweifellos plakativen Slogan von Patricia Churchland: „To understand the mind, we must understand the brain“<sup>252</sup> im Sinn aktueller Wissenschaften auch als eine (unter anderen) *conditio sine qua non* zur philosophisch prüfenden Auslotung der Genese und der Geltungsansprüche von Wahrheit festhalten. Wenn man so will, so ist das auch eine Variante der Interpretation von Bradings: „More specially, he (Ö> Pcé) is concerned repeatedly with that which is knowable by us-with the particular faculties we have qua human beings.“ (Brading, 2009/2010, S. 4)<sup>253</sup>

Bezüglich der vorangegangenen zitierten Positionierung von Mittelstraß zweifle ich nicht an der legitimen Möglichkeit, die Besonderheit philosophisch geprüfter Wahrheit zu argumentieren und in gewissem Ausmaß als exklusiv zu definieren. Dennoch bleibt vor dem genannten

---

<sup>251</sup> Hasler stellt in seinem Buch *Neuromythologie: Eine Streitschrift gegen die Deutungsmacht der Hirnforschung* fest, dass seit den späten 1990er Jahren „die Erwartungen an die Erkenntnismöglichkeiten und Erklärungsmacht der Neurowissenschaften“ dramatisch zugenommen haben. Er warnt davor, voreilige Schlüsse aus durch Technologien von Neuroimaging zugängliche Daten in zu weit gestreute Bereiche der Humanwissenschaften zu übertragen. Hasler hält aber zugleich fest: „Grundprinzipien der Hirnentwicklung, der dynamischen Formbarkeit des Gehirns (°Neuroplastizität°) und von Gedächtnisprozessen wurden entdeckt...Gerhard Roth...sieht das Revolutionäre in den Neuroimaging – Methoden darin, dass „diese neuen Möglichkeiten das Feld der wissenschaftlichen Analyse der Neurowissenschaften ungeheuer erweitert haben und zwar genau in Gebiete, die früher der Psychologie, der Psychiatrie auch bis hin zur Philosophie reserviert waren.“ (Hasler, 2014, o.S., 1. Kapitel)

<sup>252</sup> (<http://patriciachurchland.com> 17.12. 2016)

<sup>253</sup> Cf. Nach Brading betont auch Gower einen "mind-dependent aspect of Poincarés view". "Gower notes in particular (cf. p. 101) the mind-dependent aspect of Poincare's view." (Brading, 2009/2010, S. 3)

Hintergrund (für mich) die Frage der Notwendigkeit einer strikten Trennung bestehen<sup>254</sup>, auch wenn diese eine lange facettenreiche Tradition hat.<sup>255</sup>

Im Zuge dieser Arbeit geht es gemäß Titel ohnehin nur darum, Nahverhältnisse bzw. konstruktiv wirksame Milieus aufzuzeigen und nicht darum, eine Identität von Wahrnehmung und rationaler Erkenntnis zu behaupten oder beweisen zu wollen. Daher erscheint es mir möglich und legitim zu sein, trotz der angedeuteten Diskrepanzen, den Aussagen von Mittelstraß zur Reflexion über Erkenntnisaffinität von vorbewussten bzw. evolutionären Aspekten der Wahrnehmung usw. weiterhin zu folgen, weil dies als solide philosophische Perspektive nützlich erscheint. Dabei wird aber nicht versucht, das Ausmaß der Kompatibilität oder Widersprüche der daraus gezogenen Schlüsse mit/zu der Position von Mittelstraß im Detail abzuklären.

## 7.6 Mittelstraß betont mehrmals die Rolle des Konstruktiven

„Begriffe liegen also nicht herum; sie werden auch keineswegs in Definitionen gebildet. Sie sind vielmehr das Ergebnis einer besonderen Weise, über Unterscheidungen (artikuliert in Prädikaten) zu reden. Orientierungen, auch wahrnehmungsbezogene, beginnen nicht mit Begriffen; sie resultieren in Begriffen. Insofern aber sind Begriffe von vorneherein ein Bestandteil von *Konstruktionen*; d.h. einer konstruktiven Konstitution von Wirklichkeit. Sie stellen ein Begreifen dar, dessen Wahrheit nicht die Welt, wie sie ist, sondern die Welt wie wir sie machen („sehen“) ist. Begriffe sind eine bestimmte Sicht der Dinge-nicht die Sicht der Dinge.“ (Mittelstraß, 2005, S. 137f.)<sup>256</sup>

Obwohl sich diese Passage, die Sehen nur als Metapher enthält, vorrangig auf *Begriffe* bezieht, bietet sich davon ausgehend doch auch die Möglichkeiten zur Integration bestimmter vorbewusster Komponente der Wahrnehmung einschließlich der Evolution ihrer neuronalen Korrelate in ein auch begrifflich valides Modell philosophischer Erkenntnis.

Der Erlanger Konstruktivismus, dem Mittelstraß wohl nahe steht, betont die Analyse und die nachvollziehbare Rekonstruktion der Schritte des Zustandekommens von Begriffen und Prädikaten als methodische Notwendigkeit der hermeneutischen Interpretation.

Gerade vor diesem formal- methodischen Postulat wird es hier als legitim und sogar notwendig angesehen, auch vorbegriffliche Komponenten der Wahrnehmung ins Spiel zu bringen. Zunächst schon allein deshalb, weil beide Bereiche als *konstruktiv* zu charakterisieren sind. Noch mehr aber, weil es starke Indizien dafür gibt, dass Komponenten der Wahrnehmung in die Begriffe einfließen und so zu einem implizit notwendigen Bereich der hermeneutischen Analyse werden.

---

<sup>254</sup> Gemeint ist, ob nur das von Mittelstraß ventilerte Kriterium eines Wahrheitsanspruchs auf Basis rational begründeter Begrifflichkeit philosophisch legitim zu etablieren ist, oder ob man auch intuitiven Potentialen, die unbewusste psychologische und sogar physiologische Komponenten und deren phylogenetischen Erfahrungsgehalt integrieren, einen Geltungsanspruch zubilligt. Also z.B. Neurophilosophie nicht prinzipiell als widerstreitende Alternative, sondern als valide Erweiterung von „Philosophie“ akzeptiert werden kann. Diese zweite Option erscheint mir als kompatibel mit Poincarés Suche nach den Fundamenten und mit seinem Psychologie- Einwand gegen Russel.

<sup>255</sup> Oesers Hinweis auf den Widerstand an der Philosophischen Fakultät Wien gegen die Berufung Boltzmanns auf den Lehrstuhl für Erkenntnistheorie in Nachfolge Machs mag diesbezüglich als eine illustrierende Anekdote gelten. (G. Oeser, Vorlesung Uni Wien, 24.4.2006)

<sup>256</sup> Diese Charakterisierung von Begriffen durch Mittelstraß erscheint als kompatibel mit Poincarés Hinweis: „Wir müssen uns z.B. der Sprache bedienen, und unsere Sprache ist von lauter vorgefaßten Meinungen durchdrungen,...“ (Poincaré, 1906, S. 145)



Damit geht es also darum, zu zeigen, ob, wo und wie elementare vorbewusste Komponenten der Wahrnehmung auf bewusst konstruierte abstrakte Begriffe, Symbole, Zeichen usw. gestaltend einwirken bzw. in diesen (als herkunftsbedingte und weitgehend unbewusste Konnotationen) enthalten sind.<sup>257</sup>

Es erscheint als z.B. schwer vorstellbar, den Begriff Linie nur auf abstrakter Ebene ohne jegliche modellbildende Wirkung der Anschauung zu konstruieren.

Dabei ist als Besonderheit dieses Beispiels zu beachten, dass nach Aussagen von Forschern wie z.B. Koch (2005) und Hoffman (2001), diese wahrnehmungsbezogene *Linie* ja kein so gegebenes Element der externen Realität und auch keine eindeutige Abbildung davon ist, sondern als ein (offenbar interaktionstaugliches) subjektives Konstrukt interpretiert wird.<sup>258</sup>

Deshalb erachte ich diese gemäß spezifischer Strukturierung verarbeitender Neuronenkomplexe gebildeten Konstrukte, zu denen neben Linien u.a. auch gerichtete Strecken und Winkel gehören, eher als Zeichen (signs), die bereits gemäß evolutionär „geprüfter“ kognitiver Konzepte gebildet wurden und auch von dieser Seite her theoriebeladen sind.<sup>259</sup> Diese „**Zeichen**“ (gemeint auch als Abgrenzung gegenüber einer eindeutigen Abbildung) spielen bei der Konstruktion einer zusammenhängenden Wahrnehmung eine vergleichbare Rolle, wie die Begriffe, welche diese Wahrnehmung als formulierte Beobachtung beschreiben und darüber hinaus bis zu hohen Abstraktionsgraden von Vorstellungen deuten können.<sup>260</sup>

### 7.7 Wahrnehmung als Hypothesenprüfung: Trifft Theoriebeladenheit der Wahrnehmung auf eine Wahrnehmungsbeladenheit der Begriffe?

Wenn jedenfalls Mittelstraß davon spricht, dass Begriffe von vornherein Bestandteil von Konstruktionen sind, dann kann man vom soeben angedeuteten Standpunkt aus nicht so sehr entgegenhalten, aber vielleicht brückenschlagend hinzufügen, dass etwa im Beispiel der **Linie** die **Theoriebeladenheit der Wahrnehmung auch auf eine Wahrnehmungsbeladenheit der Begriffe trifft**.

Mittelstraß führt aus: „Auf dem Hintergrund des Umstands, dass Wissenschaft stetes eine Forschungsform und eine Darstellungsform besitzt, dass sie, mit anderen Worten, nicht nur darin besteht, herauszufinden, was der Fall ist, sondern auch darin, in theoretischer Form darzustellen, was sie forschend herausgefunden hat, macht die Philosophie deutlich, was im erkenntnistheoretischen Sinn das Wesen aller Wahrheit ist, nämlich die Aneignung des Gegenstandes durch seine Darstellung“ (Mittelstraß, 2015, S. 139 f.)

Wenn man, mutatis mutandis, prinzipielle Sensibilität und die unbewussten Prozesse und konstruktiven Strategien als „Forschungsform“ und die daraus resultierenden Phänomene nicht nur einfach als Form der Erscheinung, sondern als mit Erfahrung angereicherte „Darstellungsform“ interpretiert, dann wird **Wahrnehmung zu einer Art „Wissenschaft“** einer speziellen „Aneignung“ von Welt in Gestalt einer phänomenal codierten Umwelt. So gesehen macht es Sinn, der Genese von erkenntnisadäquaten Komponenten dieser Konstruktion von Umwelt in Form einer (spezifischen) hermeneutischen Analyse nachzugehen. Eine besondere

<sup>257</sup> Das gilt nicht nur generell für Begriffe, sondern tangiert auch geometrische Definitionen, wie am Beispiel des Dimensions-Problems von Linien. Poincaré macht auf das Problem aufmerksam, die Linie von einer wahrnehmungsbezogenen Vorstellung als Steifen zu abstrahieren. „Aber der reine Mathematiker geht weiter: ohne ganz auf die Hilfsmittel seiner Sinne zu verzichten, will er den Begriff der Linie ohne Breite erlangen und denjenigen des Punktes ohne Anschauung.“ (Cf. *Passage Poincaré*, 1906, S. 26.)

<sup>258</sup> (Cf. Vortrag Ö: UL Folie „Problem of binding already starts with constructing homogeneous lines“)

<sup>259</sup> Beispiele für vorgegebene selektive Detektionsmuster siehe: *Abbildung Selektive Filter V1*

<sup>260</sup> Ob völlig abstrakt oder doch mit einem gewissen Maß an wahrnehmungsverhafteter Metaphorik bleibt die Gretchenfrage.

Rolle spielen bei diesem Versuch die schon erwähnte Theoriegeladenheit, die Prognose bzw. Antizipation und das hypothetische Prinzip in Verbindung mit den kybernetischen Prüfverfahren der Wahrnehmung.<sup>261</sup> Dieser Rahmen bietet wohl auch eine passende Grundlage, jene Begrifflichkeit zu integrieren, derer sich Helmholtz bedient, wenn er bestimmte neurokognitive Leistungen mit „unbewußten Schlüssen“ interpretiert oder, wie auch Kandel, Wahrnehmung als Hypothesenprüfung in Ansatz bringt.

Wenn man aus den Aussagen von Mittelstraß eine traditionell bestehende Diskrepanz zwischen einem sprachbezogenen und einem stärker auf Wahrnehmungsstrukturen ausgerichteten Konstruktivismus herausliest, dann könnten die obigen Überlegungen über das Wechselspiel von Theoriebeladenheit der Wahrnehmung und Wahrnehmungsbeladenheit der Begriffe die Basis für einen Brückenschlag zwischen diesen beiden Richtungen bilden, wenn sie denn so manifest divergieren. Diese Option wird hier nur in den Raum gestellt, kann aber hier nicht umfangreicher ausgeführt und verifiziert werden.<sup>262</sup>

#### 7.7.1 Wahrnehmung als eine Art unbewusste Wissenschaft mit hypothetischem Charakter

Die zumindest metaphorische, aber in mancher Hinsicht auch strukturelle Vergleichbarkeit von Wahrnehmung und Wissenschaft klingt nicht nur in Helmholtz' Begriff der „unbewußten Schlüsse“ durch, sondern wird auch von Hoffman explizit angesprochen:

„Sehen ist nicht nur ein Vorgang passiver Wahrnehmung, sondern ein intelligenter Prozeß aktiver Konstruktion. Sie sehen immer nur das, was ihre visuelle Intelligenz konstruiert. Wie Wissenschaftler mit hoher Intelligenz nützliche Theorien konstruieren, die sich auf experimentelle Ergebnisse stützen, so konstruiert Ihr visuelles System mit hoher Intelligenz nützliche visuelle Welten, die sich auf die Bilder in Ihren Augen stützen. Der Hauptunterschied liegt darin, daß die Konstruktionen der Wissenschaftler das Ergebnis eines bewußten Prozesses sind, die Ihrer visuellen Intelligenz hingegen größtenteils unbewußten Prozessen zu verdanken sind.“ (Hoffman, 2011, S. 10 f.)

Der von Hoffman gezogene Vergleich wirkt als Bestätigung der im Zusammenhang mit der sensomotorischen Rückkopplung angesprochenen **Affinität von Wahrnehmung und Wissenschaft** durch den für beide Bereiche geltenden und sie verbindenden hypothetischen Charakter.<sup>263</sup>

Weiters legitimiert und motiviert das Zitat mit dem Betonen der unbewussten Prozesse dazu, dem Verhältnis von Wahrnehmung und Erkenntnis vor dem Hintergrund der erweiterten Spannweite nachzugehen, die entsteht, wenn man dem Erkennen bis auf die Ebene seiner unbewussten Prämissen folgt bzw. diese Prämissen integriert. Beginnt man die Abklärung des Verhältnisses zu wissenschaftlicher Erkenntnis nicht erst bei bewusst gewordenen Eindrücken der Wahrnehmung, dann hat dies auch zur Folge, dass sich die Einschätzung so genannter **optischer Täuschungen** dahingehend ändert, dass diese nicht mehr nur unter dem Aspekt des Fehlers zu analysieren sind. Es rückt im Gegenteil der Aspekt in den Vordergrund, welche evolutionär tradierten Potentiale des Erkennens durch diese Besonderheiten der Wahrnehmung zur Geltung kommen und wie weit man sagen kann, dass auch die Verarbeitungsregeln des visuellen Systems und deren neurophysiologische Korrelate **evolutionär „verifizierte“ hypothetische (Strategien der) Erkenntnis** verkörpern bzw. sind.

<sup>261</sup> Cf. sensomotorische Rückkopplung.

<sup>262</sup> Auch das an anderer Stelle thematisierte Etablieren intersubjektiver Objektivität durch intuitive Blickgestik tangiert diesen Aspekt.

<sup>263</sup> Cf. Wahrnehmung als Hypothesenprüfung, Kandel, Helmholtz

### 7.7.2 Keine kategorische Abgrenzung! Essentielle Gemeinsamkeiten von Wahrnehmung und Wissenschaft

Wenn man also Unterschiede zwischen dem Potential der Wahrnehmung zum Erkennen und der Erkenntnis im wissenschaftlich philosophischen Sinn macht, ist das wohl auch eine Frage der vorangestellten Definitionen.<sup>264</sup> Nach hier lancierter Ansicht sollten diese so offen sein, dass keine kategorische Abgrenzung entsteht. Geht man als Vorverständnis davon aus, dass wissenschaftliche Erkenntnis mit Theorien gemäß verifizierter Hypothesen zu tun hat und in diesem Sinn auch einen Wahrheitsanspruch geltend machen kann, dann darf nicht übersehen werden, dass *mutatis mutandis* vergleichbare Prozesse auch für die Wahrnehmung gelten. Und das nicht nur bei Prozessen bewusst werdender Wahrnehmung. Die Grundlagen der spezifizierenden Auswahl bzw. Konstruktion handlungsfähiger (handlungstauglicher) Invarianten (z.B. Licht) zur evolutionär erfolgreichen Interaktion mit der Umwelt entsprechen so z.B. in Form des visuokognitiven Systems bereits pragmatisch verifiziertem (phylogenetischem) Wissen. Das bezieht die Physiologie und die Organisation der neuronalen Arbeitsprozesse mit ein, die somit auf Basis von wiederholt tauglicher Interaktion mit der externen Realität als Entwicklungsschritte einer verkörperten bzw. funktional verankerten Erkenntnis vor aller rationalen Hypothesenprüfung und logischen Analyse von Theorien gelten können. Wenn man so will, dann verkörpern Augen ebenso wie das mit ihnen spezifisch kompatible Konstrukt Licht bereits komplexes Wissen und sind theoriegeladene evolutionäre Produkte, welche auf die Detektion/Konstruktion von Invarianten bzw. Objekten hin viabel optimiert sind. Diese vorbewusste **evolutionäre Ausrichtung auf Invarianten entspricht selbst schon einer Theoriegeladenheit** und führt zu einer vom wahrnehmenden Organismus nach seinen Konstruktionsregeln zu einer *Umwelt emulierten* externen Realität.<sup>265</sup> Ebenso wie wissenschaftliche Theorien ständiger Evaluation (im Lichte neuer Erkenntnisse) bedürfen, entspricht auch Wahrnehmung einer Vielfalt immanenter Hypothesen über die externe Realität, deren Erscheinung als vertraute und viable Umwelt ständig darauf hin zu prüfen ist, ob unerwartete Eindrücke das top down modellierte Perzept stören. So gesehen kann man Wahrnehmung als Prozess von Erwartungshaltungen in Betracht ziehen, bei dem es über weite Strecken hin weniger darum geht, ständig eine möglichst umfangreiche Vielfalt aktueller Eindrücke bewusst aufzunehmen, sondern vor allem darum, wachsam festzustellen, ob etwas Unerwartetes zu bemerken ist, das eine Revision der für gültig gehaltenen Gesamtlage erforderlich erscheinen lässt.

### 7.7.3 Experiment als realitätssensibles pragmatisches Kriterium gegen Deutungsmacht hypothetischer Modelle und gewohnter Bilder

Wenn man im Rahmen der von Poincaré und Boltzmann angesprochenen „Bilder“ die Aspekte Kontingenz, Wahrnehmung als Hypothesenprüfung und in entsprechendem Ausmaß Humes Induktionsproblem als erkenntnistheoretisch relevante Umstände einer erkennenden Interaktion mit der externen Realität in Ansatz bringt bzw. gelten lässt, dann stärkt das auch die fundamentale Rolle, die Poincaré dem Experiment einräumt, wenn er betont:

„Das Experiment ist die einzige Quelle der Wahrheit; dieses allein kann uns etwas Neues lehren; dieses allein kann uns Gewissheit geben.“ (Poincaré, 1906, S. 143)

Es geht dabei nicht nur um den bestätigendem Charakter, sondern auch um den Zugang zu Neuem, der sich daraus ergibt, dass bei Ergebnissen, die vom prognostizierten Ausgang eines

<sup>264</sup> Cf. biogenic versus anthropogenic approach to cognition (Lyon)

<sup>265</sup> Cf. Uexküll, Berthoz

korrekt abgewickelten Experiments abweichen, die zu Grunde gelegte Hypothese oder Theorie hinterfragt werden muss. Und das kann auch den Zugang zu bisher Unbekanntem öffnen.

Dies tangiert aus hiesiger Sicht auch den Begriff von Realität, wenn man unterstellt, dass die Interaktion mit der externen Realität (prinzipiell?) zu nicht vorhersehbaren Abweichungen vom erwarteten Ergebnis führen kann, und dass diese Ergebnisoffenheit ein signifikantes Charakteristikum jener unterbestimmten Form von Umwelt ist, die wir auf Basis der Hypothesen von Wahrnehmung und Wissenschaft konstruieren und in der wir die letztlich unbestimmte externe Realität in Erfahrung bringen (können).

So gesehen wird die Interaktion mit dem, was wir als externe Realität in Aussicht nehmen und im Zuge dieser Interaktion durch mehr oder weniger unbewusste Wahrnehmung oder in Form systematischer Beobachtung auf Basis wissenschaftlich erstellter Hypothesen und Prognosen aneignen, zum *experimentum crucis*, dessen zumindest potentiell irreduzible Ergebnisoffenheit folglich als ein essentielles Merkmal dieser externen Realität in Ansatz zu bringen ist. Ein erkenntnistheoretischer Zugang dieser Art erscheint als konvergent mit Poincarés elementarem Satz: « Mais ces appellations n'étaient que des images substituées aux objets réels que la nature nous cachera éternellement. (Poincaré, 1902, S.156)

Dabei ist aber auch Poincarés pragmatische Aussage zu beachten, die einer teilweise idealistischen Komponente seiner Auffassung von Wissenschaft die Waage hält und seinem hypothetischen Ansatz sowie der von ihm forcierten Rolle des Experiments entspricht: „Glücklicherweise ist die Wissenschaft zu Anwendungen zu gebrauchen, und das läßt die Skeptischen verstummen.“ (Poincaré, 1910, S. VI)

Darauf wird an anderer Stelle dieser Arbeit Bezug genommen und vorgeschlagen, unter Annahme einer strukturellen Affinität von Wahrnehmung und Wissenschaft kooperatives Handeln als eine Art von Experiment zu interpretieren, das speziell die Hypothesen der Wahrnehmung in viablem Ausmaß evaluieren kann und dabei wegen der visavis Situation besonders die subjektiven räumlichen Handlungsmodelle der Kooperationspartner in einer Weise objektivierend abgleicht, die man als geometrieffin bezeichnen kann.<sup>266</sup>

## 7.8 Erkenntnistheoretische Aspekte der Schallortung der Fledermaus

Auf Erkenntnistheorie ausgerichtete Spekulationen über mögliche Zusammenhänge so weit hergeholter Aspekte tragen das erhebliche Risiko von Fehlschlüssen auf Basis nicht tragfähiger Annahmen in sich. Daher wird versucht, nach Möglichkeit auch konkrete Beispiele ins Treffen zu führen. Auch die Aussagekraft von Beispielen ist prinzipiell problematisch. Dieses Problem wird aber mit dem hoffentlich legitimierenden Hinweis in Kauf genommen, dass es hier nicht um das Entwickeln einer umfassenden und widerspruchsfreien Theorie geht, sondern nur darum, ein Milieu von Indizien zu illustrieren.<sup>267</sup>

Unter diesem Vorbehalt wird im Sinn eines Kurzschlusses versucht, den zur Charakterisierung von Wahrheit durch Mittelstraß oben eingeführten Begriff *Aneignung*<sup>268</sup> auf spezielle Aspekte der Wahrnehmung zu projizieren, um deren erkenntnisaffinen hypothetischen Charakter zu erhellen.

<sup>266</sup> Cf. Kap.>Kooperative Objektmanipulation evaluiert Kompatibilität intersubjektiver Raumvorstellung

<sup>267</sup> Mit der Wortwahl Milieu, Indizien und illustrieren wird versucht, an eine höhere Fehlertoleranz zu appellieren.

<sup>268</sup> Cf. Poincaré, 1902, S. 91: adopté/ adopté

Als (mir) besonders tauglich erscheinendes Beispiel bietet sich in diesem Zusammenhang die Schallortung von Fledermäusen an, weil es dabei nicht um ein passives Empfangen von nur aus dem Externen kommenden Reizen handelt, die irgendwie abgebildet werden. Vielmehr geht es durch den selbst ausgesandten Ultraschall um einen offensichtlich selbst generierten und subjektiv gestalteten Suchprozess. Also um eine Art von hypothetisch forschender Interaktion zur erkennenden Aneignung des Externen.<sup>269</sup>

Hubert Markl schildert die Detektion von Motten durch im Flug jagende Fledermäuse und führt über das aktive Erkennungs- und Ortungsverfahren mit frequenzkontrollierten Ultraschallschreien aus:

„Diese breiten sich wie ein akustischer Suchstrahler in einem kegelförmigen Bereich vor dem rasch fliegenden Räuber aus und werfen von allen dort befindlichen Objekten Echos zurück, die das extrem darauf spezialisierte Gehörssystem der Fledermaus auf viele verschiedene Kennzeichen hin auswertet,...“ (Markl, 2005, S. 38)

### 7.8.1 Markls „Glitzergeräuschantwort“ als Umschreibung für „Reiz“

Markl folgert: „...dass...die flatternde Motte für die Fledermaus etwas ganz anderes ...ist, als für uns: eine Art Glitzergeräuschantwort auf eigenen Zuruf... Die Motte °als Ding an sich° kennt die Fledermaus so wenig wie wir, aber sensorische Zeichen ihrer Wirklichkeit, das können wir beide in Erfahrung bringen...“ (Markl, 2005, S. 41)

Über das von Markl angeschnittene „Ding an sich“ hinaus ist hier auch der Hinweis auf „sensorische Zeichen“ zu beachten, weil dies die Möglichkeit eines Brückenschlags zu den „unbewußten Schlüssen“ von Helmholtz sowie zur Bedeutungszuweisung an Webers „signs“ bietet.

Markl schneidet auch die Schwierigkeit einer präzisen Bezeichnung an, wenn er den möglichen Wahrnehmungseindruck der Fledermaus mit der komplexen Metapher „Glitzergeräuschantwort“ umschreibt. Diese Zurückhaltung gegenüber einer trivialisierenden Definition durch eindeutig wirkende Benennung ist wichtig, weil sie den Blick für die Komplexität des Problems öffnet und für die Schwierigkeit, den Sachverhalt unter einen präzise definierbaren Begriff zu bringen.<sup>270</sup>

Bei der Fledermaus wird also über ein Ortungssystem, das selbst erzeugten Schall aussendet, die selbstreferentielle Suchaktivität des kognitiven Systems deutlicher als beim Sehen, das Lichtwellen nutzt. Anders als bei der aktiven Ultraschallortung<sup>271</sup> fördert dieses Benutzen exogener Strahlung bei der Interpretation von Konzepten der visuellen Wahrnehmung die Tendenz, den externen Reiz zum Schwerpunkt der Modellbildung zu machen. Diese Definition von „Reiz“, fördert zugleich, dass dem wahrnehmenden System eine passiv reagierende Rolle zugeschrieben und das eigendynamisch konstruktive Potential mehr oder weniger stark hinten gestellt wird. Das geht auch mit entsprechenden Vorstellungen über evolutionäre Anpassung

<sup>269</sup> Bei Wahrnehmung via Licht wird ja tendenziell unterstellt, es handle sich nur um passive Aufnahme von weitgehend extern codierter Information. An verschiedenen Stellen dieser Arbeit wird dagegen versucht, auch Licht als Konstrukt eines vom Organismus gestalteten Mediums seiner Wahrnehmung zu interpretieren.

<sup>270</sup> Cf. Poincaré „Bilder“

<sup>271</sup> Diffuse Echos bei Schallortung machen auch systemspezifische Probleme erkennbar: „Im Wald können die Fledermäuse nur leise Geräusche aussenden, da sonst aus den vielen Echos ein verwirrender Echosalat entstünde. Außerdem hat man am Max-Planck-Institut durch Experimente festgestellt, dass Fledermäuse glatte horizontale Flächen immer als Wasser interpretieren. Im Versuch legten die Forscher Metallplatten auf den Boden oder einen Tisch, woraufhin die Fledermäuse sofort versuchten, aus der Luft daraus zu trinken.“ (<https://www.simplyscience.ch/teens-liesnach-archiv/articles/ultraschall-und-infrarot-ich-sehe-was-was-du-nicht-siehst.html> 19.4.2019)

einher, welche ein determinierendes Potential propagieren und das erkennend-gestaltende Subjekt tendenziell zum gestalteten Objekt machen.

### 7.8.2 Von Markls Fledermaus zu Helmholtz' Zeichentheorie

Markls konstruktivistische Interpretation von Detektionsleistungen der Fledermaus ist mit weitreichenden Aspekten kompatibel, zu denen u.a. Helmholtz' Zeichentheorie, Humes Induktionsproblem sowie Boutroux Kontingenz gehören und insgesamt das erkenntnistheoretisch relevante Thema der Entkopplung von der externen Realität betreffen.

Mit einem lapidaren Statement bezieht sich Mausfeld auf Helmholtz' unbewusste Schlüsse:

„Zwischen unseren Empfindungen und den objektiven Beschaffenheiten dessen, was wir wahrnehmen, besteht keine Ähnlichkeit. Sinnesempfindungen sind lediglich Zeichen für unser Bewußtsein, die es durch Erfahrung zu interpretieren gilt. Anders als Bilder haben Zeichen keine Ähnlichkeit mit dem bezeichneten Gegenstand; jedoch bilden sie Gesetzmäßigkeiten der Wirklichkeit ab.“ (Mausfeld, 1994, S. 141)<sup>272</sup>

„Die Verbindung zwischen dem sensorischen Input und den als Wahrnehmung bezeichneten Vorstellungen von Objekten der Außenwelt wird also durch einen Mechanismus gestiftet, dessen Charakteristika gleichsam durch die Hebbsche Regel bestimmt sind: °Die einzige psychische Tätigkeit, die dazu gefordert wird, ist die gesetzmäßig wiederkehrende Assoziation zweier Vorstellungen, die schon oft miteinander verbunden gewesen sind, welche Assoziation desto fester und zwingender wird, je öfter die Wiederholung stattgefunden hat.“ (1867, p. 798). (Mausfeld, 1994. S. 143 mit Subzitat von Helmholtz)

Heidelberger und Kandel machen dazu konvergente Aussagen über die Genese phänomenaler Räumlichkeit:

„Zu den Empfindungen treten also psychische Prozesse, die uns erst die Räumlichkeit schaffen; der Raum wird durch den Verstand zu den Empfindungen hinzugedacht, die Vorstellung eines äußeren Gegenstandes mit Empfindungen verknüpft.“ (Heidelberger, 1997, S. 5)

„Um die dynamische, dreidimensionale Welt, die dem Bild als Vorbild gedient hat, wiederzuerschaffen, benötigt das Gehirn zusätzliche Informationen. Daraus schloss Helmholtz, dass Wahrnehmung auch einen Prozess des Ratens und Prüfens von Hypothesen im Gehirn voraussetzt ....Da wir uns normalerweise nicht bewusst sind, dass wir visuelle Hypothesenprüfungen aufstellen... bezeichnet Helmholtz diesen Top-down-Prozess der Hypothesenprüfung als *unbewussten Schluss*.“ (Kandel, 2012, S. 245)

Markl führt auch den Faktor Kontingenz ein, wenn er zu bedenken gibt, dass die Fledermaus nicht nur aus dem „post hoc“ ein „propter hoc“ erschließen muss:<sup>273</sup>

„...dies darf kein ein für allemal unveränderlich einprogrammierter Schluss von der Korrelation auf eine immer verlässliche Kausalbeziehung sein, denn Assoziationen haben ja nicht nur Kontiguität- zeitliche Nähe-, sondern auch Kontingenzeigenschaften, können also zufälliges Zusammentreffen als Kausalbeziehung missdeuten ...“ (Markl, 2005, S. 41)<sup>274</sup>

<sup>272</sup> Mausfelds Interpretation von Zeichen und der Hinweis auf das Abbilden der Gesetzmäßigkeiten der Wirklichkeit erscheint als kompatibel mit Poincaré und Helmholtz (in (Höfer, 2007, S. 81) sowie Uexküll, 1909, S. 192

<sup>273</sup> Dies tangiert auch das hier nicht weiter verfolgte Induktionsproblem von Hume und die Frage von „conjoined“ versus „connected“ sowie die Frage der Kausalattribution (cf. Glossar)

<sup>274</sup> (vgl. auch Wahrnehmung als Hypothesenprüfung. Cf. auch Boutroux: „1874 verfasst er seine Doktorarbeit *De la contingence des lois de la nature* ("Die Kontingenz der Naturgesetze)" [https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%89mile\\_Boutroux](https://de.wikipedia.org/wiki/%C3%89mile_Boutroux) 25.12.2018 )

### 7.8.3 Von Markls konstruktivistischer Fledermaus zu Boutroux' Kontingenz

Markl illustriert aus einer konstruktivistischen Perspektive am Beispiel der Fledermaus das Erkenntnisproblem, die zeitliche Nähe (Kontiguität) von Signalen hinsichtlich kausaler Relevanz (überlebensfähig oft) richtig zu deuten und bringt dabei auch Kontingenz ins Spiel. Das führt nicht nur zu Humes Induktionsproblem, sondern auch zu Boutroux und seiner elementaren Verankerung der Kontingenz für die erkenntnistheoretische Bestimmung von Naturgesetzen hinsichtlich der Frage der möglichen Endgültigkeit der Aussagekraft dieser Gesetze bezüglich der externen Realität.<sup>275</sup>

„Ich bin von der Naturwissenschaft ausgegangen, die sich als eine Tatsache aufdrängt, und die ich als solche hinnehme. Ich habe nachzuweisen versucht, daß die Naturwissenschaft nicht im Widerspruch steht mit Vorstellungen von Individualität, Zweckmäßigkeit, Freiheit usw., auf denen unsere moralischen Überzeugungen beruhen, und deren Sturz notwendigerweise den Sturz dieser Überzeugungen nach sich ziehen würde. Zu diesem Zwecke mußte ich beweisen, daß die Naturwissenschaft keineswegs den strengsten Dogmatismus und Determinismus in sich schließt, die sich oft auf sie berufen. Ich glaube, daß mir das gelungen ist.“ (Boutroux zitiert in Heidelberger, o.J.a, S.1 f.)

Heidelberger interpretiert dies so:

„Wie aus diesem Textauszug hervorgeht, nimmt Boutroux' Philosophie ihren Ausgang von einer Kritik am falsch verstandenen Determinismus der Naturwissenschaft. Sie versucht zu zeigen, daß Naturgesetze nicht (oder nur im Grenzfall) als notwendig aufzufassen sind, der Determinismus also nur annähernd gültig ist und somit Platz für Kontingenz, Spontaneität und Unbestimmtheit (indétermination) im Universum bleibt.“ (Heidelberger, o.J.a, S. 1)

Heidelberger definiert im Sinne von Boutroux:

„Ein Ereignis ist kontingent, wenn es nicht völlig durch vergangene Ereignisse determiniert ist und wenn die Abweichung vom bestimmten Fall sehr klein ist. Die Abweichung kann so geringfügig sein, dass sie nicht immer gleich in ihrer Wirkung erkennbar ist. Jedenfalls sind aber kleine Abweichungen nicht vernachlässigbar und machen für die Weltentwicklung einen Unterschied, der ganz wesentlich sein kann.“ (Heidelberger, o.J.a, S. 7 f.)

Heidelberger illustriert auch den weitreichenden und nachhaltigen Einfluss von Boutroux und nennt dabei auch ausdrücklich Poincaré:

„Der Nachweis von Kontingenz und Unbestimmtheit in der Welt und im Menschen und Boutroux' daraus gezogene Folgerung auf die Vereinbarkeit von Freiheit und naturgesetzlicher Notwendigkeit beschäftigt seit seiner Dissertation die ganze Philosophie der Dritten Republik – bis Henri Bergson, Gaston Milhaud, Maurice Blondel und Léon Brunschvicg. Aber auch philosophierende Naturwissenschaftler wie Édouard Le Roy, Pierre Duhem oder Boutroux' Schwager Henri Poincaré oder Sozialwissenschaftler wie der Boutroux-Schüler Émile Durkheim tragen diese Gedanken in der ein oder anderen Weise weiter.“ (Heidelberger, o.J. a, S. 2)

Diese weitreichende Dimension von Kontingenz wird auch bei den in dieser Arbeit vorgetragenen Überlegungen zu evolutionären Aspekten bis hin zur Frage eines Apriori der Dreidimensionalität und Poincarés entgegenstimmendem Plädoyer zu Grunde gelegt.

---

<sup>275</sup> Cf. Markl, 2005, S. 41

## 7.9 Licht als theoriebeladenes subjektives Konstrukt: Nutzung von Licht als eigendynamisch forciertes Konzept eines weitgehend selbstreferentiellen Systems

Gemäß verfolgter Hypothese wird hier im Rahmen eines autopoietisch orientierten konstruktivistischen Ansatzes die Möglichkeit ins Spiel gebracht, bereits die Nutzung von Licht als aktives Konzept eines weitgehend selbstreferentiellen Systems zu interpretieren. Das beginnt vorrangig schon damit, dass man Licht nicht als eine in dieser Form extern bestehende Entität zum Ausgangspunkt der Überlegung bzw. zur Definition von Reiz macht, sondern farbneutrales Licht bereits als hochspezialisiertes Konstrukt eines evolutiven Prozesses und seiner entsprechend entwickelten Sinnesorgane betrachtet. Das zu farbneutralem Licht zusammengefasste Spektrum wird so zur Komponente eines spezifischen (Inter-) Aktionssystems. **Sichtbares Licht** ist gemäß dieser Genese schon ein in hohem Ausmaß **theoriegeladenes Konstrukt**. Es ist also kein für sich so bestehender neutraler Träger von extern codierten Informationen, sondern ein schon auf subtilster Ebene der Wahrnehmung quasi kognitiv geprägtes Zeichen, das zur Überprüfung /Abfrage von Erwartungshaltungen taugt. So wird visuelle Wahrnehmung metaphorisch gesprochen zu einem Suchscheinwerfer und Licht, wenn man so will, zu einem „Fragezeichen“, das die Antwort schon zu einem erheblichen Teil vorwegnimmt. Das Konstrukt Licht ist ein opportunes Medium zur Interaktion mit der elektromagnetischen Strahlung in der Biosphäre und führt speziell zur effizienten Detektion und ziemlich präzisen Formbestimmung fester opaker Körper <sup>276</sup>; nicht nur im Nahbereich, sondern auch in einem relativ weiten Umfeld.<sup>277</sup>

Allein schon die Ausgrenzung des UV- Bereichs aus dem sichtbaren Spektrum entspricht bereits einer Theoriegeladenheit, weil damit die biologische bedingte Grenze der Verträglichkeit von Strahlung zur Geltung kommt. <sup>278</sup>

Der Bereich des Spektrums unserer Sensibilität beeinflusst auch, welche Art von Gegenständen wir wahrnehmen. Eine erhebliche Verschiebung in den Infrarot Bereich würde z.B. eine stark von der Temperatur/Wärmestrahlung abhängige Selektion von Objekten bewirken und darüber hinaus Probleme bei der präzisen Formbestimmung provozieren.

Das Integrieren extern verfügbarer physikalischer Komponenten in dieses Licht-Informationssystem könnte neben dem Vorteil der höheren Auflösung (geringere Wellenlänge von Licht im Vergleich zu Schall und geringe exogen verursachte Verzerrungen) auch ökonomischer sein, weil im Unterschied zur eigenen Schallerzeugung bei der Fledermaus keine Energie dafür aufgewendet werden muss und eventuell auch weniger Selbststörung auftritt. <sup>279</sup>

Die Bemühung, eine auf Licht gestützte Wahrnehmung in die Nähe der Schallortung der Fledermaus zu rücken, will aufzeigen, dass gemäß autopoietischer Eigendynamik gattungsspezifisch unterschiedliche Wahrnehmungssysteme dominant sein können. Bereits die wie auch immer begründete „Entscheidung/ Weichenstellung/ zufällige Ausrichtung“ zur evolutionären Spezialisierung auf das eine oder andere System wird hier als prinzipiell

<sup>276</sup> Der markante Zusammenhang zwischen dem Spektralbereich sichtbaren Lichts, Opazität und mechanischer Festigkeit von Objekten wird an anderer Stelle besprochen. Cf. Campbell

<sup>277</sup> Die den Ansatz Poincarés betreffende Bedeutung der projektiven Eigenschaften von Licht im Rahmen eines visuellen Fernsinns wird an anderer Stelle angesprochen.

<sup>278</sup> Damit wird sichtbares Licht für sich schon durch diese Ausgrenzung von schädlichen Bereichen zu einem Träger von systemspezifisch relevanter Information, zu einem „sign through its meaning for the ongoing existence of the organism“. (Weber, 2002, S. 24)

<sup>279</sup> Periodische Taubheit der Fledermaus während der Schallortung.



konstruktive Aktivität auf phylogenetischer Ebene des jeweiligen Lebewesens angesehen. Dass Fledermäuse in dem für uns nicht direkt wahrnehmbaren Ultraschallbereich hören, ist ja ein Indiz für die systemspezifische evolutionäre Fokussierung. In diesem Sinn werden die jeweils hörbaren Bereiche von Schall ebenso wie die als Licht sichtbaren Bereiche von Strahlung im hiesigen Kontext als phylogenetisch spezifizierte Konstrukte in Ansatz gebracht.

Andererseits erfolgt der Vergleich mit der Schallortung auch mit der Absicht einer Abkehr von Abbildungskonzepten. Im Gegenzug soll eine Interpretationsmöglichkeit mit Hilfe des Begriffs *Zeichen* und so eine Verbindung zu Helmholtz sowie zu seinem Konzept *unbewusster Schlüsse* ermöglicht werden.<sup>280</sup>

Wenn man bei einer Schallortung das gemäß Zeitverzögerung ausgewertete Echo als Information tragendes Signal/Zeichen betrachtet, dann liegt es nahe, den automatisch ablaufenden Verarbeitungsprozessen (zumindest metaphorisch) ein Potential und Vorgangsweisen zu unterstellen, die auf rationaler Ebene schlussfolgerndem Denken entsprechen.<sup>281</sup>

So gesehen fügt es sich gut, wenn es in einem Artikel über die Wahrnehmung von Fledermäusen heißt:

„Diese Zeit-Information setzt die Fledermaus unbewußt zu einer bestimmten Entfernung in Beziehung und "weiß" somit, wo sie entweder ausweichen oder zuschlagen muß.“  
(<http://www.fledermauskunde.de/fbio-ech.htm> 30.12.2016)

Auch wenn es sich vermutlich nur um eine eher beiläufige Formulierung handeln dürfte, ruft das „unbewußt in Beziehung setzten“ doch die Assoziation zu Helmholtz' „unbewußten Schlüssen“ wach.

Die erkenntnistheoretische Zusammenfassung dieses Abschnitts erfolgt mit einem neuerlichen Zitat Markls, das mit dem Hinweis auf die „sensoneurale Netzwerkstruktur“ auch die Bedeutung dieser Komponenten auf dem lernenden Weg von der Wahrnehmung zur Erkenntnis anspricht.

„Eine konstruktivistische Sicht des Erkennens passt ... gar nicht so schlecht auf die Detektionsleistungen unserer Fledermaus: konnte die richtige sensoneurale Netzwerkstruktur doch nur durch Versuch und Erfolg in der Wirklichkeit in deren Genom einprogrammiert werden.“ (Markl, 2005, S. 39)

Die Formulierung „richtige sensoneurale Netzwerkstruktur“ impliziert auch, dass handlungsrelevantes „Wissen“ nicht nur die Folge erkennender Wahrnehmung ist, sondern auch schon in den diese Wahrnehmung ermöglichenden neurophysiologischen Strukturen gegeben sein kann.<sup>282</sup> Das begründet bereits auf subtilster Ebene der neuronalen Strukturen eine Theoriegeladenheit der Wahrnehmung mit erkenntnistheoretisch relevantem Wert, die auch als Motivation und Legitimation herangezogen wird, im Zuge dieser Arbeit diesen Faktoren und ihrem möglichen, die Erkenntnisprozesse mitgestaltenden Einfluss nachzugehen. Daher wird in der vorliegenden Arbeit Poincarés Warnung vor den unbewussten Vorannahmen besonders auch auf diese Theoriegeladenheit der wahrnehmungstragenden Strukturen bezogen.

<sup>280</sup> Dabei bleibt zu beachten, dass dieses Konzept, je nach Denkschule, nicht unumstritten ist. (Vgl. Heidelbergers Hinweis auf Positionen Herings)

<sup>281</sup> Cf. Ratiomorphe Prozesse (Lorenz, 1975, S. 163)

<sup>282</sup> Cf. Erweiterte Hermeneutik (Diebner, Keuth)

## 7.10 Resümee

Die voranstehenden Aussagen von Mausfeld und Kandel weisen nicht nur auf den eminenten Einfluss unbewusster, top-down wirksamer Mechanismen auf unsere Wahrnehmung hin. Aus Mausfelds „Zwischen unseren Empfindungen und den objektiven Beschaffenheiten dessen, was wir wahrnehmen, besteht keine Ähnlichkeit...“ (Mausf., 1994, S. 141) ist auch eine weitreichende Entkoppelung von der externen Realität ableitbar. Diese Aussage wird auch als kompatibel mit dem hier verfolgten Ansatz angesehen, wie autopoetisch agierende Systeme Bedeutung an externe Stimuli/Perturbationen zu Gunsten ihrer Interaktionsfähigkeit mit der externen Realität zuweisen.<sup>283</sup> Wenn man gemäß einer von der externen Realität weitgehend entkoppelten Zeichentheorie und Markls Modell der Fledermaus auch Licht zum theoriebeladenen subjektiven Konstrukt macht, dann provoziert dies auch eine entsprechend adaptierte Auffassung visuell wahrgenommener fester Körper.

## 8 KOMPARTIMENT Objekt als lichtaffines Konstrukt

Die Begriffe **Objekt** und **fester Körper** spielen in Poincarés Ansatz eine ebenso **fundamentale Rolle** wie die **Bewegung**. Damit ist es nicht nur als Gedankenspiel reizvoll, sondern zur Untermauerung der hier vertretenen Hypothesen auch angebracht, die auch **haptisch** identifizierbaren festen Körper möglichst weit an die Überlegungen über die evolutionär bedeutsame Rolle elektromagnetischer Strahlung, von Licht, visueller Wahrnehmung und Motilität für die Enzephalisation heranzuführen und so an die darauf bezogenen konstruktivistischen Aspekte anzubinden. Also den festen Körper hinsichtlich seiner Beschaffenheit als lichtaffines Konstrukt in Betracht zu ziehen und dabei auch die (konstruktive) Rolle der Bewegung ins Spiel zu bringen. Gewissermaßen handelt es sich um den Versuch, das Objekt als ein Modell zu etablieren (instanzieren?), das als robuste Invariante auf sinnlich kognitiver Ebene verfügbar und mit der externen Realität in viablem Ausmaß interaktionstauglich kompatibel ist, ohne dass man damit eine ontologische Aussage über das Korrelat in der externen Realität fixiert. Neben der kognitiven Objektkonstruktion via Verarbeitung von Sinnesdaten und Prozessen neuronaler Bindung geht es somit auch um wahrnehmungskompatible physikalische Eigenschaften auf Seite des externen Objekts.<sup>284</sup> Also auch um die Relationen zur haptisch taktilen und visuellen Wahrnehmung hinsichtlich spezifischer physikalischer Objekteigenschaften, die als beständig anzutreffende Stimuli sinnesspezifisch wirksam werden. (Ohne einen „naiven“ Realismus zu unterstellen!)

Der Umstand markant häufiger Koinzidenz von Opazität und mechanischer Festigkeit im Bereich des sichtbaren Spektrums wird als tragfähige Basis angesehen, die Opazität als viablen Indikator eines Fernsinns „visueller Haptik“ zur Detektion und Formbestimmung fester Körper in Ansatz zu bringen. Bezogen auf das von Markl mit dem Beispiel der Fledermaus ins Spiel gebrachte Induktionsproblem geht es also darum, ob jene Koinzidenz haptischer und visueller Stimuli, mit der wir ein Objekt als festen Körper wahrnehmen, und in diesem Sinn konstruieren, so beständig miteinander auftritt, dass sie nicht nur als „conjoined“, sondern auch in einem ausreichenden Ausmaß als „connected“ gelten können, dass davon viabel

---

<sup>283</sup> Cf. Webers signs

<sup>284</sup> Poincaré: „objets extérieurs“

zuverlässige Prognosen ableitbar sind.<sup>285</sup> Das tangiert nicht nur Humes Induktionsproblem, sondern auch Poincarés Verständnis der „objets extérieurs“, für die er ein „lien constant“ geltend macht.<sup>286</sup>

Weil auch unser eigener Körper im selben Spektralbereich weitgehend opak erscheint, bietet die Aktivität der Greifhände von Primaten im Sichtbereich eine besonders effiziente Möglichkeit, den eigenen Körper als intuitiv vergleichendes Messwerkzeug zu nutzen. Damit entsteht ein Relationenkomplex, der die Selbstwahrnehmung des handelnden Subjekts via Opazität mit externen Gegenständen kompatibel macht. Und zwar gemäß Kriterien und in einer Art, die man als geometrieaffin bezeichnen kann und die auch mit Poincarés Zugang kompatibel erscheint.<sup>287</sup>

### 8.1 Opazität trägt zur Formerkennung und Ablösung vom Hintergrund sowie zur Prognose mechanischer Festigkeit von Objekten bei

In einem zusammenfassenden Artikel über Wahrnehmung und Evolutionäre Erkenntnistheorie bringt Vollmer ein diesbezüglich bemerkenswertes Zusammentreffen ins Spiel:

„Es ist allerdings ein glücklicher Zufall, dass optische Transparenz und mechanische Penetrabilität praktisch zusammenfallen (Campbell, 1974). Feste Körper sind undurchsichtig und undurchdringlich, Luft und Wasser dagegen durchsichtig und durchdringbar. Diese Übereinstimmung gilt bei anderen Wellenlängen nicht, stellte also einen starken zusätzlichen Selektionsfaktor dar.“ (Vollmer. o.J. a, o.S.)<sup>288</sup>

Der Hinweis von Vollmer bzw. Campbell, dass mechanisch festes Material zumeist auch opak erscheint, ist auch im Kontext dieser Arbeit bedeutsam. Dieser Aspekt tangiert nämlich auch den Begriff der „festen Körper“ und hat damit über die unmittelbare Frage der Wahrnehmbarkeit von Objekten hinaus eine erkenntnistheoretische Dimension, welche gemäß einem Diktum Poincarés<sup>289</sup> besonders auch die Fundamente von (projektiver) Geometrie betrifft.

Ebenso ist Vollmers Hinweis zu beachten, dass diese Übereinstimmung von Opazität und mechanischer Festigkeit in anderen Frequenzbereichen nicht in gleicher Weise gilt. Das tangiert bzw. untermauert die an anderer Stelle dieser Arbeit forcierte Hypothese, in der sichtbares Licht als Konstrukt interpretiert wird.

Eine evolutionäre Spezialisierung auf jenen Bereich des Spektrums, der folglich als sichtbares Licht das physikalische Fundament unseres Sehens bildet, verschafft diesem Fernsinn ein

<sup>285</sup> Das prognostische Problem ergibt sich aus der Frage, ob ein visueller Fernsinn zuverlässige Informationen über haptische Qualitäten von Objekten für eine erfolgreiche Planung und Koordination von Greifbewegungen gewinnen kann.

<sup>286</sup> « Les objets extérieurs,...mais des groupes cimentés par un lien constant » (Poincaré, 1911. S. 266)

<sup>287</sup> Selbst wenn Poincaré wiederholt den Tast-Raum ins Spiel bringt (z.B. Poincaré, 1906, S. 56), wird im hiesigen auf die Rolle des Lichts bezogenen Kontext der Fokus darauf gerichtet, dass haptische Qualitäten und eine für die Antizipation von Greifbewegungen taugliche Formbestimmung auch durch das visuelle System erfassbar sind. Das entspricht der Ausrichtung dieser Arbeit, welche die besondere Bedeutung des visuellen Systems für die Evolution kognitiver Potentiale sowie für die Fundamente von Geometrie betonen will.

<sup>288</sup> Bei Vollmer sind leider keine genauen Quelleangaben zu finden. Gemeint ist: "Donald Thomas Campbell (\* 20. November 1916 in Grass Lake (Michigan); † 6. Mai 1996 in Bethlehem (Pennsylvania)) war ein US-amerikanischer Psychologe.[1][2][3] Daneben hat Campbell wichtige Arbeiten in der Soziologie, Methoden der Soziologie und Wissenschaftsphilosophie veröffentlicht.[4]... Campbell prägte den Begriff der evolutionären Erkenntnistheorie (evolutionary epistemology), der Ausdehnung der Darwinschen Evolutionstheorie auf die Entwicklung von kognitiven Mechanismen." ([https://de.wikipedia.org/wiki/Donald\\_T.\\_Campbell](https://de.wikipedia.org/wiki/Donald_T._Campbell) 23.11.2019)

<sup>289</sup> « Si donc il n'y avait pas de corps solides dans la nature, il n'y aurait pas de géométrie. » (Poincaré, 1902, S. 68)

spezifisches Potential, feste Körper auch daran zu erkennen, dass sie mit überwiegender Mehrheit opak erscheinen. Somit ist wegen des Zusammentreffens von optischer Transparenz und mechanischer Penetrabilität, bzw. Opazität und mechanischer Festigkeit die visuelle Wahrnehmung besonders dafür prädestiniert, schon auf größere Distanz die mechanische Festigkeit eines Objekts zu erkennen. Opazität bildet also ein Kriterium zur Prognose mechanischer Festigkeit und ist somit für die Handlungsplanung von Ausweichbewegungen ebenso bedeutsam wie für Greifbewegungen. Insgesamt entsteht damit ein sehr produktives Milieu, vermittelt visueller Wahrnehmung unter damit einhergehenden Bedingungen projektiver Geometrie, feste Körper formbestimmend zu erkennen bzw. zu „konstruieren“. Dadurch können diese in einen damit zugleich generierten Handlungsspielraum integriert und im Handlungsvollzug die Prognose aus den visuellen Daten durch Tasten und Greifen verifiziert werden.

Wenn also mechanische feste Körper (weitgehend) opak sind, dann gehen damit zwei Folgeerscheinungen einher, die mit der Sensibilität und den Verarbeitungsregeln unseres visuellen Systems in höchstem Ausmaß kompatibel sind:

1 Optische Remission/Reflexion <sup>290</sup>

2 Schatten/Kontraste

Unter Voraussetzung gerichteter Beleuchtung, die bevorzugt von einer dominanten Lichtquelle ausgeht, hat diese partielle Remission bzw. Reflexion zur Folge, dass am Objekt durch Reflexion und Eigenschatten helle und dunkle Zonen entstehen, die noch dazu von der Form des Objekts abhängen. Der Helligkeitsverlauf bietet damit nicht nur unterstützende Kriterien für die formbestimmende visuelle Objekterkennung, sondern ermöglicht auch Rückschlüsse auf die Handhabbarkeit des mechanisch festen Gegenstands im Sinn antizipierender Handlungsplanung.

Je nach geometrischem Formverlauf der Oberfläche kommt es bei kontinuierlichen Krümmungen zu einem entsprechend kontinuierlichen Helligkeitsverlauf, während Kanten durch einen starken Kontrast zur Geltung kommen. <sup>291</sup>

8.1.1 Mallot: Binokulare Disparität, Tiefensprünge, Konturen

Bei Analysen über binokulare Disparität macht Hanspeter Mallot <sup>292</sup> auf einen geometrischen Zusammenhang aufmerksam, der auch für den hier zur Debatte stehenden Helligkeitsverlauf eine Rolle spielt.

Es geht um den Umstand, „daß sich die Tiefe entlang Oberflächen im Raum nur stetig ändert, während die Objektgrenzen, an denen Tiefensprünge auftreten, selten sind.“ (Mallot, 2000, S. 135.)

In diesem Kontext wird auch erläutert:

„Monokulare Verdeckung: An Sprungkanten ist ein Teil der weiter zurückliegenden Fläche oft nur von einem Auge aus sichtbar.“ (Mallot, 2000, S. 123)

„Tiefensprünge. Die Annahme einer von beiden Augen vollständig einsehbaren Oberfläche ist recht speziell.“ (Mallot, 2000, S. 123)

<sup>290</sup> Weil es aus physikalischen Gründen wenige Materialien gibt, die auftreffendes Licht völlig absorbieren, wird nahezu immer ein gewisser Teil reflektiert. Somit wird gerade das opake Objekt prinzipiell sichtbar.

<sup>291</sup> Cf. Abb.: 3D-Formbestimmung durch Schatten und Kanten (Todd, 2004, S. 118)

<sup>292</sup> Lehrstuhl Kognitive Neurowissenschaft, Institut für Neurobiologie, Fachbereich Biologie, Eberhard-Karls-Universität Tübingen (<https://www.nwg-info.de/de/council/elections/2017/mallot> 14.6.2019)

Ohne den weitreichenden Darstellungen folgen zu können, die Mallot umfangreich mit Rechenmodellen untermauert, in denen er auch auf Poincaré verweist<sup>293</sup>, werden seine Hinweise hier als weitere Indizien für die in dieser Arbeit wiederholt in Betracht befindlichen Hypothese herangezogen, dass Helligkeitsunterschiede und folglich Konturen opportune Mittel eines visuellen Fernsinns bilden, die zur Abgrenzung und plastischen Formbestimmung von Objekten sowie zu einer damit einhergehenden Strukturierung des Ambientes besonders tauglich sind.

Unser visuelles System ist schon rezeptorseitig prinzipiell für Helligkeitsverläufe sensibel und im Zuge der weiteren Verarbeitung wird die Bestimmung und Interpretation von Kontrasten markant forciert, wie am Beispiel der Mach'schen Streifen gezeigt werden kann.

Helligkeitswechsel wirken sich nicht nur in Form von Eigenschatten auf die direkte Formbestimmung eines Gegenstandes aus, sondern tragen zusätzlich auch als Schlagschatten zur Ablösung vom Hintergrund bei. Weil opake Körper im Unterschied zu transparenten Objekten von formaffinen Schlagschatten umgeben sind, können diese Objekte umso leichter und präziser wahrgenommen werden.

Damit hat aber der mechanisch feste Körper nicht nur ein spezifisches Nahverhältnis zum Tastsinn, sondern wird wegen seiner Opazität auch zu einem lichtaffinen Konstrukt von besonderer Komptabilität mit unserer formerkennenden visuellen Wahrnehmung. Feste Körper spielen folglich auch gemäß ihrer Opazität eine bevorzugte Rolle im zusammenhängenden Komplex von Strahlungssensibilität, Fortbewegung, Enzephalisation usw. Das Aufzeigen dieser Zusammenhänge zielt darauf ab, durch weitere Indizien die zentrale Rolle zu untermauern, die Poincaré dem festen Körper als ein Fundament der Geometrie zuspricht.

#### 8.1.2 Kandel: Muffin-Blech illustriert Licht von oben Hypothese

Das soeben angesprochene Thema Schatten zeigt aber nicht nur an, wie spezielle Sensibilitäten in dislozierten neuroanatomischen Bereichen verankert sind und erst in komplexen Bindungsprozessen wieder zu homogenen Wahrnehmungsobjekten konstruiert werden. Die Wirkung von Schatten zeigt auch, dass in die damit verbundene plastische Objektwahrnehmung offenbar in erheblichem Ausmaß unbewusste Vorannahmen einfließen.

Kandel erwähnt den amerikanischen Astronomen David Rittenhouse, der schon 1786 dargelegt hat, wie sehr Schattierung die Plastizität der Erscheinung von Objekten unterstützt.

<sup>294</sup>

Im hiesigen Kontext geht es vor allem um zwei Annahmen:

Kandel erläutert:

„Unser Sehsystem geht von diesen Annahmen aus, weil die Evolution unseres Gehirns in einem Sonnensystem mit nur einer Lichtquelle, der Sonne, stattgefunden hat, und die scheint von oben.“

<sup>293</sup> Mallot über Flussfelder bei Eigenbewegungen: „Projiziert man den von Eigenbewegungen in einer Umwelt ohne Tiefensprünge und geknickte Flächen (differenzierbare Oberflächen) erzeugten optischen Fluss auf eine Kugel um den Kameraknotenpunkt, so enthält er mindestens zwei singuläre Punkte, an denen der Flussvektor verschwindet (Satz von POINCARÉ; vgl. do Carno 1983).“ (Mallot, 2000, S. 215)

<sup>294</sup> „Der amerikanische Astronom David Rittenhouse...legte 1786 dar, dass Schattierung einen besonders starken Eindruck von Dreidimensionalität erzeuge.“ (Kandel, 2012, S. 314). Vielleicht ist bezüglich des Betonens der Rolle der Schattierung durch Rittenhouse die zeitliche Nähe zu Monge und Brisson bemerkenswert, weil beide auch der Konstruktion von Schatten eine nützliche Wirkung für die Anschaulichkeit geometrischer Zeichnungen zuschreiben. Cf. Kapitel: Exkurs zu Hummels Brunnenschale: Tangentialebenen, Schatten (Lordick, Monge, Brisson)

Aufgrund dieser Annahme erscheint eine von oben beleuchtete runde Form konvex, während die gleiche runde Form konkav erscheint, wenn sie unten hell ist.“ (Kandel, 2012, S. 314)

Dies wird z.B. bei der Wahrnehmung des so genannten Muffin-Blechs<sup>295</sup> wirksam, wo das Gehirn zwar bei unterschiedlicher Schattierung der mittleren Reihe auch zu einem Wechsel der räumlichen Interpretation fähig, aber nicht in der Lage ist, alle drei Reihen als einheitlich konvex oder konkav zu bewerten.

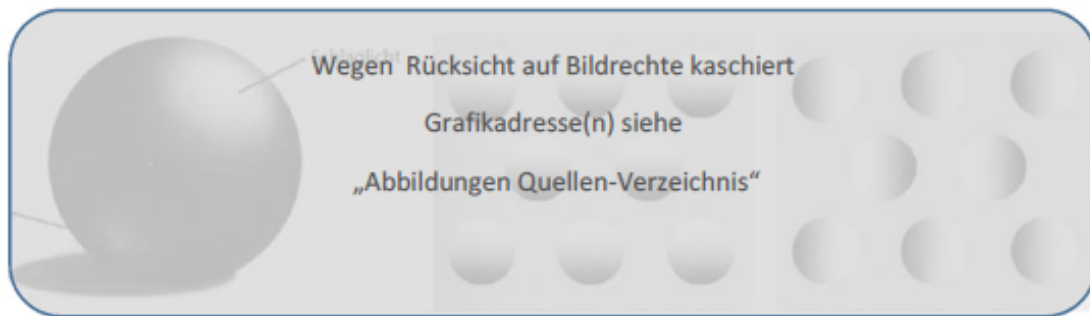


Abbildung 27 Licht von oben Hypothese: a) lichtmodellerte Kugel<sup>296</sup>, b u. c) konvex-konkaves Muffin-Blech (alle Abb. Kandel, 2012, S. 314 f.)

Die Zugangsweise, unter Einbeziehung der Strahlungsdurchlässigkeit nach Kriterien der Festkörperphysik das evolutionär orientierte Zustandekommen der Wahrnehmung eines stabilen Gegenstands zu begründen, verfolgt auch das Ziel, einen Beitrag zur Interpretation von Aussagen Poincarés anzubieten, welche sich auf die als Objekt bezeichneten „äußeren Gegenstände“ beziehen.<sup>297</sup>

### 8.1.3 Weitgehende Opazität statt Infrarot- oder Röntgenblick als Fundament formbezogener Geometrie

Das Beziehungsgefüge bzw. die Komptabilität des visuellen Systems mit festen Objekten und ihren physikalischen Eigenschaften ist aber noch tiefergehend analysierbar, wenn Folgendes gilt:

„Einfallende Photonen wechselwirken je nach Energie mit unterschiedlichen Bestandteilen des Materials, und somit ist die Transparenz eines Materials abhängig von der Frequenz (bzw. Wellenlänge) der elektromagnetischen Welle. Materialien, die undurchsichtig für Licht sind, können transparent für andere Wellenlängen des elektromagnetischen Spektrums sein, z. B. Röntgenstrahlen und Radiowellen.“ ([https://de.wikipedia.org/wiki/Transparenz\\_%28Physik%29](https://de.wikipedia.org/wiki/Transparenz_%28Physik%29) 18.8.2018)

Damit wird nämlich die unter dem Eindruck der begrenzten Strahlungstoleranz von Proteinen usw. evolutionär entstandene Sensibilität im Rahmen des für uns sichtbaren Spektralbereichs zu einem entscheidenden Kriterium, welche externen Materialien als opak wahrgenommen

<sup>295</sup> Ein vielfach in einschlägigen Abhandlungen gezeigtes Beispiel.

<sup>296</sup> a) „Licht und Schatten sind verlässliche Indikatoren für die Dreidimensionalität eines Objekts. Auch ohne andere Tiefenhinweise erkennen wir, dass dieses Gebilde eine dreidimensionale Kugel ist.“ (Kandel, 2012, S. 314) Zu b u. c): „Diese Objekte scheinen von oben angestrahlt zu werden. Ihre konvexe Ausrichtung lässt sich in eine konkave umkehren, wenn wir uns vorstellen, dass der Lichteinfall von unten kommt. (Ö> zu c) Die mittlere Reihe scheint eine entgegengesetzte räumliche Ausrichtung wie die beiden äußeren Reihen zu haben. Dieser Eindruck lässt sich zwar umkehren, doch es ist unmöglich, alle drei Reihen gleichzeitig als konvex oder als konkav wahrzunehmen.“ (Kandel, 2012, S. 315)

<sup>297</sup> Poincaré, 1910, S. 200 ( Wert)

werden und folglich für die hier beschriebene visuell gestützte Objektkonstruktion bevorzugt in Frage kommen.

Eine auf weitgehende Opazität gestützte Objektwahrnehmung hat auch zur Folge, dass wir in der Regel nur die Oberflächengestalt eines Gegenstandes sehen und nicht seine inneren Bestandteile. Das bildet eine wesentliche Grundlage für Konzepte von Geometrien, die sich auf die Formbestimmung von Objekten beziehen. Das betrifft auch das Schauspiel der Perspektiven, das bei gleichzeitig sichtbarer Struktur der internen Objektbestandteile wohl kaum noch praktikabel auswertbar wäre.<sup>298</sup> Darüber hinaus ist eine vorrangig auf die Gestalt der Oberfläche bezogene Wahrnehmung von Objekten entscheidend für die Steuerung von Greifbewegungen und tangiert auch so auch Poincarés Überlegungen über deren Relevanz für unseren Zugang zu Raum und Geometrie.

#### 8.1.4 Maßgebend geometrieaffine Rolle der Greifhand im Sichtbereich

Dass unser eigener Körper in kompatibler Weise opak<sup>299</sup> ist wie unsere Umwelt führt auch zu der nur scheinbaren Selbstverständlichkeit, dass wir uns selbst auch visuell homogen in das Ambiente integrieren können. Das betrifft sowohl die räumlichen Aspekte von Eigenbewegung und Handlungssteuerung als auch die Evolution kognitiver Potentiale mit Konsequenzen für räumliches Verständnis. Zumindest wenn man Konrad Lorenz folgt, der die selbst beobachtbare Aktivität der Hände als einen der entscheidenden Schritte betont.

„Daß es gerade Anthropoiden waren, die diesen entscheidenden Schritt taten, ist Umständen zu danken, die wir bereits kennen: Als Greifhandkletterer besitzen sie eine hohe Ausbildung der Einsicht und die Fähigkeit zu zentralen Repräsentation des Raumes sowie eine hohe Ausbildung der Willkürbewegung. Dazu kommt, daß bei ihrer besonderen Bewegungsart die greifende Hand dauernd im Gesichtsfeldes agiert.“ (Lorenz, 1975, S. 202)

„Mit der Einsicht in die Dingnatur des eigenen Körpers...entsteht zwangsläufig ein tieferes Verständnis der Wechselwirkungen, die sich zwischen dem Organismus und Dingen seiner Umgebung abspielen. Der eigene Körper wird mit der Einsicht in seine Dingkonstanz mit anderen Umwelt Dingen *vergleichbar* und damit zu ihrem *Maß*.“ (Lorenz, 1975, S. 203)

Mutatis mutandis erscheinen diese Schlussfolgerungen bzw. Spekulationen von Lorenz als frappant deckungsgleich mit Poincarés Überlegungen zur Rolle unseres Körpers als geometrieaffines Bezugssystem; besonders auch bezüglich des von Lorenz gegebenen Hinweises auf die Grundlagen eines am eigenen Körper orientierten vergleichenden Messens.

<sup>300</sup>

„ Man kann sagen, daß die Gliedmaßen, mit denen wir die Bewegungen ausführen, ebenfalls die Rolle von Meßwerkzeugen spielen. Diese Werkzeuge, die weniger genau sind als die des Gelehrten, genügen uns für das alltägliche Leben, und mit ihnen hat das Kind, hat der ursprüngliche Mensch seinen Raum

<sup>298</sup> Computergestützte Modelle zur räumlichen Auswertung von Röntgenbildern usw. werden unter dem hier verfolgten evolutionären Aspekt der wahrnehmungsbezogenen Grundlagen von Raumanschauung und Geometrie nicht weiter in Betracht gezogen.

<sup>299</sup> Im Zuge des Schutzes der DNA vor schädlicher Strahlung spielte neben Motilität auch die strahlungsabsorbierende, also weitgehend opake Pigmentierung eine Rolle. Opake Strukturen sind essentielle Komponenten der Evolution komplexer visueller Sinnesorgane und speziell von Augen unserer Bauart. Der Begriff *Camera obscura* impliziert ja, dass die lichtsensiblen Rezeptoren in eine Umhüllung eingebettet sind, welche jedenfalls im Bereich des sensiblen Spektrums der Rezeptoren opak ist. Damit externe Körper unter diesen Voraussetzungen scharf gesehen werden können, müssen sie auch Licht in einem Spektralband und mit einer Intensität reflektieren, das zur Opazität der entsprechenden Bauteile des Auges passt. Damit sind opake, nicht selbstleuchtende Körper mit unserer formbestimmenden visuellen Wahrnehmung besonders kompatibel.

<sup>300</sup> Cf. „Der Raum, den ich im vorhergehenden Paragraphen ins Auge faßte und den ich den eingeschränkten Raum nennen möchte, wäre auf Koordinatenachsen zurückzuführen, die mit meinem Körper verbunden sind;...“ (Poincaré, 1914, S. 93)

gemessen oder richtiger gesagt, aufgebaut, mit dem er sich für die Bedürfnisse des täglichen Lebens zufrieden gibt. Unser Körper war unser erstes Meßwerkzeug;...“ (Poincaré, 1913, S. 38 )<sup>301</sup>

Bemerkenswert ist hier auch die explizit modifizierte Wortwahl „...hat der ursprüngliche Mensch seinen Raum **gemessen** oder richtiger gesagt, **aufgebaut**,...“, weil dieses „aufgebaut“ zumindest im hiesigen Kontext als deutlicher Hinweis auf eine konstruktivistische Komponente in Poincares Betrachtungsweise interpretiert wird.

## 8.2 Lichtaffinität fester Körper

Einige zusätzliche Gedanken sollen andeuten, auf welche Voraussetzungen bzw. Annahmen die hier vorgetragene Argumentation setzt.

Um auf Ebene der Wahrnehmung zu „festen Körpern“ zu gelangen, deren Form auch außerhalb des Tastraumes auf mittlere und größere Distanz genügend präzise für ein zeitgerechtes Handeln erkannt werden kann, ist ein tendenziell schnelles „Medium“ nötig, dessen Signalweg zudem möglichst wenig durch Einflüsse des Ambientes zeitlich und räumlich modifiziert wird. Je höher, aus welche Gründen immer, der Anspruch an präzise Formerkennung wird, umso weniger darf dieses Medium die Form des fokussierten Objekts dadurch „verwaschen“, dass es eine den Gegenstand umhüllende „Aura“ schafft, die allenfalls auch noch zeitverzögert präsent ist und somit keine unmittelbar synchron nachvollziehbaren formbestimmenden Oberflächen generiert.

Vor diesem Anforderungsprofil sind offenbar elektromagnetische Wellen/ Strahlung eine günstige Lösung, weil sie z.B. im Bereich des sichtbaren Lichts unter normalen Umständen relativ stabil gegenüber Ablenkung sind. Verschobene Bilderscheinung in Folge optisch verschieden dichter Medien (Fata Morgana, Blick ins Wasser,<sup>302</sup> Brillen..) bzw. optische Phänomene wie Beugung, Interferenz, Doppelbrechung bestimmter Kristalle und Ablenkung durch große Massen oder magnetische Felder zeigen zwar die prinzipielle Möglichkeit der formverzerrenden Ablenkung auf. Sie verweisen aber zugleich darauf, dass es sich eher um Ausnahmesituationen handelt, auch wenn diese physikalisch und geometrisch höchst interessant sind (vgl. optische Geometrie, Strahlenoptik). Die relativ große Präzision der geometrisch gut beschreibbaren Ausbreitung von Licht wird z.B. im Vergleich mit Duftstoffen sofort deutlich, wenn letztere durch Wind oder Strömungen im Wasser „vertragen“ werden. Die Aufzeichnung der Suchwege von höchst geruchssensiblen Haien wären dafür ein auch bezüglich raumbezogener Erkenntnistheorie interessantes Beispiel, wenn man unterstellt, dass der Hai gemäß Duftspur direkt, und in diesem Sinn geradewegs, auf die Geruchsquelle zusteuert, während ein von außen beobachtendes Tracking eine strömungsspezifisch verschlungene Spur zeigt.<sup>303</sup>

Neben den so angedeuteten Vorteilen von immateriellen Signalträgern muss der zur visuellen Wahrnehmung herangezogene Bereich des Spektrums der Strahlung allerdings zusätzliche Bedingungen erfüllen, die speziell auf den wahrnehmenden Organismus abgestimmt sind. Dazu gehört, dass der genutzte Bereich der Strahlung für die sensiblen Zellen der

<sup>301</sup> Cf. Anhang, Géométrie lunatique/ Kapitel: Ehmann / Kaila: Metrologischer Strukturenrealismus

<sup>302</sup> Den Aspekt der Bildverschiebung durch unterschiedlichen Brechungsindex der Ausbreitungsmedien spricht Poincaré mit einem Hinweis auf den geübten Blick von Fischern, die mit dem Speer jagen, sogar explizit an. (Poincaré, 1914, S. 103)

<sup>303</sup> Hier wird nicht weiter darauf eingegangen, dass Haie wasserspezifisch mit einer sehr weit reichenden Schallortung Beute auch akustisch lokalisieren, und daher die Suchwege effizienter/geradliniger werden. Ebensovienig darauf, dass sie auch über eine sehr hohe Lichtempfindlichkeit verfügen, die Reichweite dieser optischen Wahrnehmung aber natürlich stark von allfälligen Trübungen des Wassers abhängt. (Cf. <https://www.hai.ch/Hai-Infos/Sinne/index.html> )



Wahrnehmungsorgane physiologisch nicht schädlich ist. Das hat letztlich auch mit der Strahlungsempfindlichkeit von Zellen und der DNA zu tun. Daraus ergibt sich (hier ohne weitere Darstellung), dass im Spektralbereich mit der Nähe zu Ultraviolett eine sensible Grenze erreicht ist.<sup>304</sup>

Andererseits besteht im Bereich von Infrarot (IR) eine Korrelation mit der Temperatur der wahrgenommenen Objekte. Dieser Umstand einer auf IR ausgerichteten Wahrnehmung kann die Objekte mit einer „Aura“ umgeben, die nicht nur die Präzision der Formerkennung einschränkt. Dazu kommen relativ lange nachwirkende „Wärmeschatten“, welche eine zeitaffine Objektlokalisierung erschweren.<sup>305</sup> Das ändert nichts daran, dass z.B. manche Schlangenarten daraus für sie viable Wahrnehmungskonzepte entwickelt haben, die auch räumliche Komponenten integrieren, aber (wohl) nicht in dem Sinn geometrieffin sind, wie es hier verstanden werden muss, wenn Poincarés Relation Körper-Geometrie das Leitmotiv ist.

### 8.2.1 Sichtbares Spektrum als viables Allround-Konstrukt zur Integration von Lokalisation und Formerkennung fester Körper in ein homogen dreidimensional erscheinendes Perzept

Stark vereinfacht könnte man hier sagen, dass die IR- Sensibilität des Grubenorgans mancher Schlangenarten ein sehr eng spezialisiertes System zur Detektion von warmblütigen Beutetieren darstellt, während ein optisches System im Frequenzbereich des sichtbaren Lichts als sehr weit gestreut wirksames Allround-Tool zur Wahrnehmung eines mannigfaltigen Ambientes durch präzise Formerkennung von Objekten gelten kann.

Jedenfalls würde eine Verschiebung der Sensibilität visueller Wahrnehmung in Richtung des IR- Spektrums auch beeinflussen, welche Art von Objekten bzw. Objekteigenschaften vorrangig wahrgenommen werden. Um es mit dem hier durchaus relevanten Thema der Eigenschaften eines Fernsinns zur Handlungssteuerung im Greifraum in Verbindung zu bringen, könnte man es anekdotisch so interpretieren, dass eine IR modifizierte Optik uns von Weitem vor Verbrennungen der Hand durch den sprichwörtlichen Griff auf die heiße Herdplatte warnen, aber die Formerkennung eines heißen Topfes erschweren würde.<sup>306</sup>

Wenn man aber unter einem pragmatischen Aspekt die Vorteile einer Warnung vor einer Verbrennung oder der effizienteren Detektion wärmerer Objekte im Ambiente mit den möglichen Beeinträchtigungen einer synchronen und präzisen Formbestimmung von Gegenständen gegeneinander abwägt, dann spricht das für ein weniger spezialisiertes Allround-System ohne IR Komponente, also zu Gunsten des für uns sichtbaren Spektrums.

Letztlich darf ein vielleicht sogar entscheidender Punkt nicht übersehen werden. Die hier propagierte Interpretation von Objektkonstruktion ist auf die beständige Koinzidenz von Gruppen von Stimuli und deren Ablösung vom Hintergrund ausgerichtet. Im Spektralbereich sichtbaren Lichts spielen dabei Schatten eine nützliche Rolle, weil sie so zeitgleich mit

---

<sup>304</sup> Cf. Biosphäre

<sup>305</sup> Mutmut spielt das zeitliche Auseinanderklaffen zwischen Form sowie Objektposition und wahrgenommenem Objekt in astronomischen Verhältnissen eine erhebliche Rolle. Das Präzisionsproblem verschärft sich, wenn man noch dazu Signalsysteme mit unterschiedlichen Laufzeiten ins Spiel bringt. Auch bei unserer normalen multimodalen Wahrnehmung im terrestrischen Bereich fällt dieser Unterschied z.B. bei Blitz und Donner auf oder auch beim Beobachten schnell fliegender Jets auf, die man vor der Stelle sieht, als man sie gemäß Höreindruck vermutet.

<sup>306</sup> Je nach Definition würde sich die Frage stellen, ob man die Integration der Temperaturmerkmale in das Perzept als weitere Art von Dimension einer so modifizierten thermovisuellen Wahrnehmung in Ansatz bringen kann.

Bewegungen<sup>307</sup> auftreten, wie das z.B. bei temperaturaffiner Sensibilität für Infrarot nicht der Fall wäre. Damit werden Schatten zu einer höchst tauglichen Komponente einer lichtaffinen Objektkonstruktion. Weil Hell und Dunkel, sogar noch durch Kontrasteffekte verstärkt, unterscheidbare Empfindungen sind, kann man deren korrelierende synchrone Formveränderung als Kovarianz in der Art geltend machen, wie sie an anderer Stelle dieser Arbeit als selektives Kriterium der Detektion beständiger Gruppen von Stimuli geltend gemacht wird. Man kann sogar unterstellen, dass diese wahrnehmbare Kovarianz in hohem Ausmaß geometrieaffin ist, weil durch den Zusammenhang von Hell-Dunkel Kontrasten, Mach'schen Streifen und Konturen mit den von Mallot genannten Tiefensprüngen auch das räumliche Kriterium tragfähig ins Spiel kommt.<sup>308</sup>

### 8.2.2 Opazität als viabler Indikator eines Fernsinns visueller Haptik

Wenn man gemäß der Befunde über die Funktionen des dorsalen und ventralen Pfades visueller Verarbeitung gelten lässt, dass es neben der räumlichen Orientierung im Ambiente auch eine stark top-down angereicherte Spezialisierung der Verarbeitung gibt, welche Objekte vermittelt plastischer Erscheinung in einer Form wahrnehmbar macht, die besonders der Antizipation von Greifbewegungen entgegenkommt, dann kann man unter Einbeziehung der häufigen Koinzidenz von Opazität und mechanischer Festigkeit sagen, dass das visuelle System auch die Dimension eines zwar hypothetischen, aber statistisch viabel tauglichen haptischen Fernsinns hat, der weit über Reichweite der Arme hinaus wirksam ist.<sup>309</sup>

Für viele Lebewesen ist es für die Handlungssteuerung vorteilhaft, mechanische Festigkeit schon auf Distanz wahrzunehmen. Sei es um Hindernissen auszuweichen, nicht überraschend in klares Wasser zu fallen und erst recht dann, wenn es z.B. bei Primaten darum geht, formgerechte Greifbewegungen zu antizipieren.<sup>310</sup>

In diesem Sinn ist die von Vollmer gemäß Campbell ist Spiel gebrachte häufige Koinzidenz von mechanischer Festigkeit und Opazität im Bereich des sichtbaren Spektrums von erheblicher Bedeutung, weil damit akkurat jene Materialien und Objekte in den Fokus der Wahrnehmung rücken, deren mechanische Festigkeit z.B. für die Handlungsplanung adäquater Greifbewegungen ein relevantes Kriterium ist. Gemäß Voreinstellung auf diesen

<sup>307</sup> Gemeint sind entsprechende Bewegungen von Objekt, Betrachter, Lichtquelle und Ambiente des Gegenstands als Projektionsfläche von Schlagschatten.

<sup>308</sup> Der Hinweis auf den Nutzen dieser Kovarianz von Licht und Schatten zur Strukturierung des Ambientes erscheint nur so lange als hochgespielte Trivialität, solange man nicht die Perspektive dahingehend wechselt, dieses Verhältnis als rekursiv effizienten Faktor einer evolutionären „Entscheidung“ zum Ausbau der Sensibilität für Licht zu betrachten, wie dies hier verfolgt wird. Die Art, wie Tourtual Schatten zu einem eigenständigen Thema physiologischer Untersuchung macht, begleitet die oben angestellten Überlegungen. Wenn man Schatten als mit Licht korrelierende, aber auf Ebene des Empfindungsvermögens für Dunkelheit bzw. Helligkeitswechsel gemäß der Kontrastverstärkung durch laterale Inhibition als eigenwertiges Phänomen etabliert, dann würde das die Robustheit der Kovarianz von Licht und Schatten als Kriterium der Detektion und Formbestimmung von Objekten unterstützen. Damit lässt sich sogar die bezüglich der Bedeutung von Licht destruktiv wirkende Frage stellen, ob nicht für die Ablösung von festen Körpern von ihrem Hintergrund die unmittelbare Helligkeit auf Grund der Beleuchtung des Objekts weniger bedeutsam ist, als der durch Schatten induzierte formaffine Helligkeitswechsel. Erfahrungen von plain-air Malern mit dem Problem einer strukturierenden Beobachtung von nahezu schattenlosen Motiven, wenn die Mittagssonne innerhalb oder nahe der Wendekreise fast im Zenit steht, könnten diese Überlegung bestärken.

<sup>309</sup> Das Überschreiten der Reichweite der Arme auf Basis von Motilität und mit Hilfe des Gedächtnisses ist ein Thema, auf das Poincaré ausdrücklich eingeht, wenn er mit dem Beispiel der begrenzten Reichweite der Arme eines sessilen Polypen dessen räumliche Beschränktheit ins Spiel bringt. Cf. (Poincaré, 1914, S. 91 f.)

<sup>310</sup> Formpräzise Objektwahrnehmung tangiert auch bei der Evolution der Primaten auch die Frage, ob es um die Antizipation von Greifbewegungen mit Hakenhänden von Schwinghanglern geht, oder um einen Zugriff mit manipulationstauglicheren Händen, mit längeren Daumen in Oppositionsstellung.

Spektralbereich strukturiert visuelle Wahrnehmung des Ambiente schon im weiten Umfeld mit einer Präferenz für feste Körper.<sup>311</sup>

### 8.3 Resümee: Lichtaffinität fester Körper als angeeignetes (aneignendes) Konstrukt

So gesehen kann man sagen, dass dieser Spektralbereich sichtbaren Lichts bereits ein evolutionär theoriegeladenes Konstrukt als Komponente unserer Wahrnehmung bildet, das auch in höchstem Ausmaß geometrieaffin ist. Diese Affinität betrifft nicht nur das durch Synchronität und geradlinige Ausbreitung gut berechenbare Schauspiel der Perspektiven, sondern macht auch die dafür gemäß Poincaré implizit notwendigen festen Körper schon auf Distanz erkennbar. Außerdem besteht durch den in diesem Spektralbereich (häufig) gültigen Zusammenhang von Opazität und mechanischer Festigkeit eine Grundlage, die haptischen Erfahrungen des Tastraumes mit den visuellen Prognosen abzugleichen. Durch diese Art von Theoriegeladenheit trägt schon das Konstrukt Licht zur Kompatibilität von Greifen und Sehen bei, und somit auch zu den von Poincaré in Ansatz gebrachten Grundlagen von Geometrie auf Basis multimodaler Wahrnehmung. Dies bildet auch einen Aspekt der konstruktivistischen Interpretation von Poincarés „Gäbe es keine festen Körper, so hätten wir ...“ weil sogar der feste Körper über die Theoriegeladenheit des Lichts und der damit verbundenen Präferenzen subjektiver Konstruktion von „irgend einem Etwas“ zu einem Etwas wird, das wir uns auch durch die Verfasstheit visueller Wahrnehmung spezifisch angeeignet haben.

Die mit mechanischer Festigkeit koinzident korrelierende Opazität von Objekten geht auch mit formbezogenem Helligkeitsverlauf und Schatten einher, die somit günstige Indikatoren für eine geometrieaffine visuelle Objektbestimmung sind.<sup>312</sup>

## 9 KOMPARTIMENT Erkenntnistheoretische Probleme lichtaffiner Objektkonstruktion

Licht und Schatten spielen für das formbestimmende Ablösen von Geständen aus ihrem Ambiente eine essentielle Rolle und fördern einen „realistischen“ Eindruck. Es wird gezeigt, dass dies für die Wahrnehmung unseres Ambientes ebenso wie für Bilder gilt und nicht nur in der Malerei, sondern auch in der darstellenden Geometrie zur Geltung kommt, wie z.B. schon von Monge, Brisson und Hachette eindrucksvoll deutlich gemacht wurde.

Als Anbindung an aktuelle Forschung wird kurz dargestellt, wie Svetlana Georgieva (2008) für die Wahrnehmungskomponente „shape from shading“ neuronale Korrelate im inferior temporal Gyrus der ventralen visuellen Bahn des Gehirns ausfindig macht.

<sup>311</sup> Auch gemäß der mit Möller ins Spiel gebrachten Konstitutionstheorie ist nicht per se von in der externen Realität so bestehenden festen Körpern auszugehen. (Cf. Konstitutionstheorie)

<sup>312</sup> Cf. Das tangiert auch die andernorts besprochene Rolle der Kovarianz multimodaler Stimuli bei der Detektion von Invarianten bzw. Objektkonstruktion

Weiters werden in diesem Abschnitt eine hier so benannte „Licht von oben Hypothese“ und spezielle Merkmale des visuellen Systems tagaktiver Primaten angesprochen, wie sie von Alexandra de Sousa identifiziert wurden.

Aus erkenntnistheoretischer Perspektive ergibt sich daraus das Problem, wie weit die evolutionäre Spezialisierung auf schattengestaltendes Licht von oben einen zu engen Begriff von Anpassungsrealismus forciert.

### 9.1 Theoriebeladenes Konstrukt „Objekt“ bedarf Untersuchung impliziter Vorannahmen

Ausgehend von den vorangegangenen Überlegungen zu lichtaffiner Objektkonstruktion wird unterstellt, dass auch unser Konstrukt „sichtbares Objekt“ eine Art Rahmen im Sinne Poincarés darstellt, mit dem wir unsere Umwelt strukturieren und den nicht die Natur uns aufdrängt, sondern den wir der Natur aufdrängen.<sup>313</sup>

Gerade ein so verstandenes „Objekt“ bietet mit seiner großen Spannweite auch unter dem Aspekt der (phylogenetischen) Theoriebeladenheit der Wahrnehmung einen starken Anlass und ein weites, aber auch ertragreiches Problemfeld zur Untersuchung impliziter Vorannahmen.

Das beginnt schon mit dem oft zu Unrecht für selbstverständlich gehaltenen Umstand, dass uns zweidimensionale Bilder als dreidimensional erscheinen können. Wie anderorts diskutiert, können wir in Linienzeichnungen, Fotos und Malerei bis hin zu immersiven Trompe l’oeil Illusionen Raumkonstellationen und Objekte so wahrnehmen, dass wir diesen zweidimensionalen Repräsentationen nicht nur durch komplexe bewusste Schlüsse, sondern auch schon auf Ebene spontaner Wahrnehmung (und deren unbewussten Schlüssen) für unsere Objektvorstellung und das daran orientierte Verhalten taugliche Informationen entnehmen können. Dieses Potential gilt auch für räumliche Zusammenhänge. Das erscheint allerdings dann als weniger verwunderlich, wenn man gemäß den Beispielen und Überlegungen der vorliegenden Arbeit davon ausgeht, dass auch die Wahrnehmung der externen Realität in Form fester Körper selbst einem stark top-down beeinflussten Konstruktionsprozess entspringt. Auch dabei wird oft nur aus wenigen externen Stimuli/Perturbationen, die für sich nichts oder kaum etwas über die externe Realität aussagen, gemäß systeminternen Verarbeitungsregeln aus einem zweidimensionalen Netzhautbild eine dreidimensionale Emulation mit viablem Informationsgehalt „hochgerechnet“.<sup>314</sup> Zweidimensionale Bildmedien sind also bezüglich der Basiskomponente

---

<sup>313</sup> Das bezieht sich auf die auch an anderer Stelle geltend gemachte Aussage Poincarés: „Dann müssen wir die Rahmen prüfen, in denen uns die Natur eingeschlossen erscheint und die wir die Zeit und den Raum nennen... Nicht die Natur drängt sie uns auf, wir drängen sie der Natur auf, weil wir sie bequem finden;...“ (Poincaré, 2013b, S. 9). Unser Konstrukt „Objekt“ wird hier als Derivat dieser von Poincaré angesprochenen „Rahmen“ in Ansatz gebracht. Dabei wäre zu prüfen, ob es sich nur um ein Derivat handelt, oder ob aus evolutionärer Perspektive das Objekt nicht auch ein rekursiv wirkender Faktor der Genese von Raum ist. Die von Poincaré dem festen Körper im Rahmen des Schauspiels der Perspektiven zugewiesene Rolle provoziert derartige Überlegungen, die aber u.a. wegen eines dabei drohenden Chaos der Paradigmen nicht weiter verfolgt werden.

<sup>314</sup> Damit gerät man u.a. wieder zum Themenkomplex Linie sowie zu den Betrachtungen über Magrittes „Ceci n’est pas...“ usw.

Netzhaut auf elementarer Ebene mit den Herausforderungen an die Verarbeitungsleistungen des visuellen Systems genuin kompatibel.<sup>315</sup>

## 9.2 Lichtaffine Objekt konstruktion kann ontologischen Realismus provozieren

Lichtaffine Objekt konstruktion auf Basis phylogenetisch verankerter Vorannahmen visueller Wahrnehmung kann eine Tendenz evolutionärer Erkenntnistheorie in Richtung eines ontologischen Realismus provozieren.

In dem an anderer Stelle zitierten Beispiel der „Licht von oben Hypothese“ bei der räumlichen Interpretation des Muffin - Blechs anhand der Licht-Schatten Konstellation wurde von Kandel die Evolution des Gehirns unter externen Bedingungen einer einzigen, von oben leuchtenden Sonne als Begründung für dieses top-down wirksame Schema ins Treffen geführt.

Riedl (2002) bezieht sich bei der Erläuterung des Begriffs des Ratiomorphen u.a. auf Hume: „°Du kannst nur feststellen,° sagte er, °dass der Stein warm wird, wenn die Sonne scheint, weil die Sonne scheint, musst Du als eine gedankliche Konstruktion hinzufügen°: die bedeutende Wende vom °post hoc° zum °propter hoc°, die zur Orientierung nötige Erwartung notwendiger Zusammenhänge.“ (Riedl, 2002, S. 255. Cf. Glossar > Ratiomorphe Prozesse)

Riedls Interpretation mit dem Hinweis auf die „nötige Erwartung notwendiger Zusammenhänge.“ bringt einen Begriff von Notwendigkeit ins Spiel, bei dem eine Tendenz zu einem extern verursachten, determinierten Anpassungsdruck mit einem daraus resultierenden evolutionären Apriori nativistischer Prägung nahe liegt, und daher auch ein ontologischer Realismus nicht als ausgeschlossen erscheint. Dies wurde hier zwar nicht weiter untersucht bzw. verifiziert, wird aber umso mehr als beachtenswerte Perspektive registriert.

### 9.2.1 Georgieva: Shape from Shading im ventralen Pfad

Vorweg ist anzumerken, dass die Experimente und Analysen von Svetlana Georgieva sich weitgehend auf Landschaftselemente beziehen und weniger auf manipulierbare Objekte im Nahbereich.<sup>316</sup>

Umso bemerkenswerter ist es, dass die Extraktion von räumlichen landschaftlichen Objektmerkmalen aus Schatten die Besonderheit aufweisen, dass die korrelierenden neuronalen Aktivitäten offenbar vorwiegend im ventralen Verarbeitungsbereich stattfinden, also in jenem Was- Pfad visueller Verarbeitung, der auf Objekterkennung und nicht auf Orientierung im Ambiente spezialisiert ist.<sup>317</sup>

“ Whereas other depth cues including texture, motion and stereo activate numerous regions along the IPS (Orban et al. 1999; Janssen et al. 2002; Vanduffel et al. 2002; Peuskens et al. 2004), no such activations were observed for 3D Sfs. “ (Georgieva, 2008, S. > 32). (Sfs: shape from shading, IPS: Intraparietal Sulcus)

<sup>315</sup> Markante Unterschiede treten dann auf, wenn mittels Augen- oder Körperbewegung zusätzliche Information gewonnen werden soll. Das führt zur Rolle der Bewegung zur Auflösung projektiver Ambivalenz. (Cf. entsprechende Abschnitte dieser Arbeit.) Auf die Rolle des Tastsinns wird hier nicht eingegangen.

<sup>316</sup> („...randomly generated complex 3D surfaces, representing the front surface of meaningless 3D objects, with a large assortment of variably shaped hills, ridges, valleys, and dimples, at multiple scales...“ (Georgieva, 2008, >S. 6)

<sup>317</sup> Vgl. auch Willmes, 2013

Die Versuchsmethoden und die Interpretation der Ergebnisse sind sehr komplex und können hier nicht nachvollziehbar wiedergegeben werden. Als stabile Aussagen bezüglich shape from shading ist in unserem Zusammenhang jedenfalls ablesbar:

“...the analysis of 3D shape from shading is primarily restricted to the caudal ITG areas.” (Georgieva, 2008, >S. 2) (ITG - inferior temporal Gyrus, ventrale Bahn)

„ Whereas the shading cue is processed only in ventral regions, the neural analysis of texture is performed both dorsally and ventrally, in regions that are in close proximity to those involved in the analysis of 3D SfM and stereo” (Georgieva, 2008, > S 32) (SfM: shape from motion)

Georgieva interpretiert diese für die Autorin selbst überraschende Lokalisierung im ventralen Bereich mit der Annahme, dass die Verarbeitung von Schatten eng mit der Analyse von Materialeigenschaften einhergeht, die der Bestimmung von Objektmerkmalen zugeordnet ist.

<sup>318</sup>

Svetlana Georgieva macht noch auf eine weitere Merkwürdigkeit aufmerksam, nämlich auf den Umstand, dass die schattierten Teststimuli als natürlicher bzw. realistischer empfunden wurden:

„ Although the textured stimuli in our experiments produced vivid perceptions of 3D shape, most observers agree that they appear less like natural objects than the shaded stimuli, perhaps because the depth structure does not become apparent as readily.” (Georgieva, 2008, > S 34)

Unabhängig von den offenbar in der zitierten Studie nicht weitergehend geklärten Aspekten, ist dieser Eindruck von Realismus durch Schattierung ein reizvoller und interessanter Aspekt im thematischen Umfeld der hiesigen Arbeit.

Einerseits wird am Beispiel von Magrittes „ceci n’est pas une pipe“ der Realismus-Aspekt von Schatten thematisiert. Andererseits ist das Thema Schattierung auch historisch eng mit der Darstellenden Geometrie verbunden.

### 9.2.2 Monge, Brisson: Schattenrealismus in Géométrie descriptive

Scriba stellt fest:

„Brisson erweiterte die „Géométrie descriptive“ um Anhänge über Zentralperspektive und Schattenkonstruktion. Letztere diente damals nicht vorrangig künstlerischen Zwecken (obwohl schon Monge an passenden Stellen seiner Vorlesungen immer auch auf den Nutzen der darstellenden Geometrie für die Künstler hinweist), sondern sollte vor allem die Verständlichkeit bzw. Suggestivität technischer Zeichnungen verbessern.“ (Scriba, 2005, S. 385) <sup>319</sup>

Nach Scriba bzw. Monge können also Schatten auch zur „Anschaulichkeit“ von Zeichnungen Darstellender Geometrie beitragen. <sup>320</sup>

---

<sup>318</sup> “Finally, the pattern of image shading is influenced by a wider variety of environmental factors, including the surface geometry, the pattern of illumination and the surface material properties. This last difference is likely to be especially significant for the neural mechanisms of 3D shape perception. Because the ventral pathway contains mechanisms involved in the analysis of material properties (Peuskens et al. 2004), and discounting variations in illumination (Bartels and Zeki 2000; Hanazawa and Komatsu 2001), it makes sense that the analysis of SfS would also be primarily localized in the ventral pathway so that these other properties can more easily be taken into account. (Georgieva, 2008. > S 33)

<sup>319</sup> Cf. Tourtual

<sup>320</sup> Das ist konvergent mit der anderorts zitierten Aussage von Kandel mit Hinweis auf Rittenhouse.

Beim folgenden Beispiel handelt es sich um eine anonyme Arbeit eines Schülers (um etwa 1800) im Umfeld von Hachette, der mit Monge an der in dieser Zeit gegründeten Ecole Polytechnique unterrichtete.<sup>321</sup>

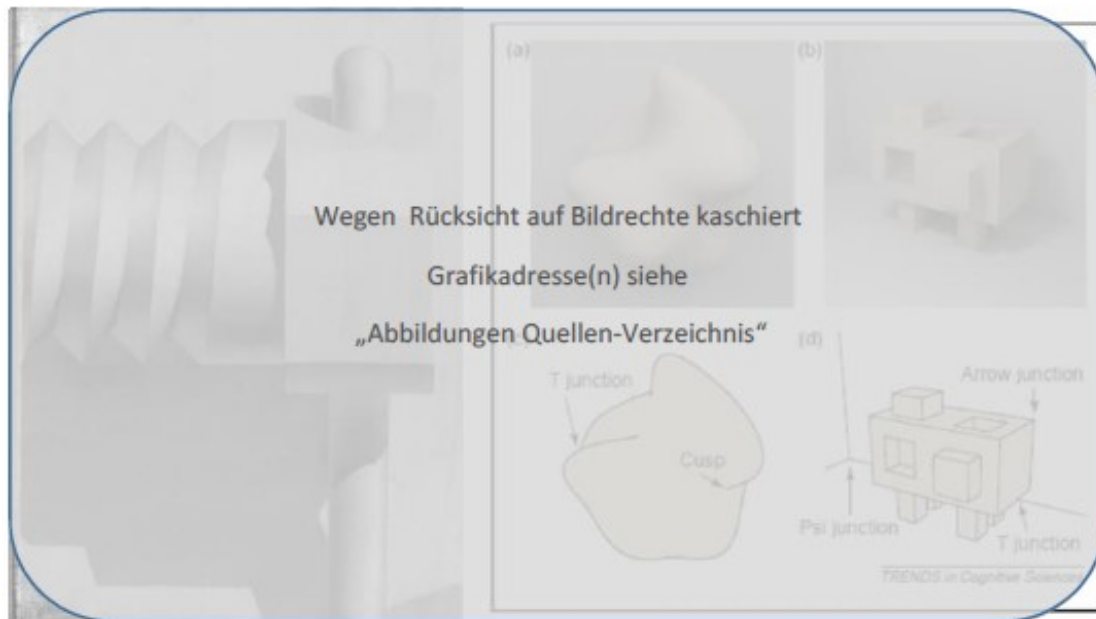


Abbildung 28 Schattenkonstruktion DG, Schülerarbeit Umfeld Hachette.

Abbildung 29 3D-Formbestimmung durch Schatten und Kanten (Todd, 2004, S. 118)<sup>322</sup>

Die von Georgieva ins Spiel gebrachte Auffälligkeit der ventralen Lokalisierung der Datenextraktion von Schatten könnte (nmE.) noch einen weiteren Zusammenhang haben. Schatten gliedern sehr sensibel Binnenformen komplex gewölbter Objekte. Damit läge ihre Bedeutung für die Formanalyse möglicherweise weniger an der Interpretation der Formen der Schattenflächen selbst, sondern darin, kenntlich zu machen, wo durch starke Helligkeitswechsel markante Verlaufsbrüche der Oberflächengliederung des Objekts markiert werden. (Cf. Mallot Tiefensprünge)<sup>323</sup>

Gerade bei komplex gewölbten Objekten leisten Schatten einen erheblichen Beitrag zur Analyse der räumlichen Binnengliederung. Eine Illustration (s.o. Abb. 29) in Todds (2004) Abhandlung lässt dabei einen speziellen Aspekt erkennen. Nämlich den gar nicht so selbstverständlichen Umstand, dass in Abbildungen auch bei nicht kantigen Objekten der interne räumliche Formverlauf komplex gewölbter Objekte durch Linien, die den markantesten Helligkeitswechsel des Schattenverlaufes markieren, einen Eindruck von der Räumlichkeit des

<sup>321</sup> Nach: [https://en.wikipedia.org/wiki/Jean\\_Nicolas\\_Pierre\\_Hachette](https://en.wikipedia.org/wiki/Jean_Nicolas_Pierre_Hachette)

<sup>322</sup> "Figure 4. Some important features of local surface structure that can provide perceptually useful information about 3D shape even within schematic line drawings. (a) and (b) show shaded images of a smoothly curved surface and a plane-faced polyhedron. (c) and (d) show schematic line drawings of these scenes in which the lines denote occlusion contours or edges of high curvature. Several different types of singular points (identified with arrows) are particularly informative for specifying the qualitative 3D structure of an observed scene. A more complete analysis of these different types of image features is described in a classic paper by Malik [30]." (Todd, 2004, S. 118)

<sup>323</sup> Diese Funktion von Schatten ist z.B. beim Erkennen von Gesichtern und beim Lesen der Mimik besonders bedeutsam und folglich wird die Beleuchtung von Portraitfotografen und Regisseuren sehr bewusst beachtet und effektiv eingesetzt. Im hier verfolgten neuroanatomischen Kontext könnte dazu passen, dass im Nahbereich der Verarbeitung von Schatten auch die Sensibilität für Gesichter im Gyrus fusiformis sehr hoch ist und in der ventralen Was- Bahn erfolgt.

Objekts vermitteln kann. Dass dieser Eindruck ohne Schatten weniger eindrucksvoll (immersiv) und informativ erscheint, das ist nur ein scheinbarer Nachteil, weil die Merkmalsbeschränkung (auf markante „Linien“) andererseits auch erheblichen funktionellen Nutzen im Sinn der Effizienz der neurokognitiven Verarbeitung in Verbindung mit Schematisierungen bieten dürfte.

Der mögliche Nutzen lässt sich aus folgender Darstellung Todds ablesen:

“These findings indicate that when observers make judgments about objects depicted in shaded images, they are quite accurate at estimating those aspects of structure that are uniquely specified by the available information – in other words, those that are invariant over affine stretching or shearing transformations in depth (Figure 2). Because all remaining aspects of structure are inherently ambiguous, observers must subconsciously adopt some type strategy to constrain their responses, and it appears that these strategies do not necessarily remain constant across different response tasks.” (Todd, 2004, S. 117)

Besonders bei kantenlosen Objekten mit mehrfach konvex und konkav gewölbter Oberfläche ist es für die Formerkennung nützlich, Merkmale zu finden, die über wechselnde Perspektiven durch Bewegung des Betrachters oder des Objekts möglichst beständig bleiben. Zugleich sollen durch den Perspektivenwechsel unvermeidliche Verschiebungen der Relationen dieser Merkmale einigermaßen nachvollziehbar/rekonstruierbar bleiben, also, wenn man so will, im überschaubaren Ausmaß gesetzmäßig erfolgen. In Bereichen markanter Krümmungen von Oberflächen sind die Helligkeitsunterschiede nicht nur deutlicher, sondern bleiben auch bei Objektbewegung stärker formgebunden als in Bereichen mit sanftem Verlauf der Wölbungen der Objektoberfläche.<sup>324</sup>

Mit dem Fokussieren bzw. Skandieren markanter Helligkeitswechsel des Wölbungsverlaufs werden offenbar relativ einfache linienartige Merkmale gebildet, deren ansichtsspezifische Veränderungen nach Länge, Krümmung, Winkel und Orientierung auch nach (grobem) Regeln projektiver Geometrie einigermaßen rekonstruierbar sind. In diesem Sinn taugen sie als stabiles Merkmal und als eine Art die Oberfläche räumlich strukturierende **Invariante**, die auch innerhalb des Umrisses eines Objekts anzutreffen ist und deren genuiner Wert für die visuelle Verarbeitung in ihrer relativen Einfachheit und der „Berechenbarkeit“ durch gesetzmäßig verlaufende, also auch weitgehend rekonstruierbare Transformationen, begründet ist. Dem entspricht im Bereich visueller Verarbeitung, dass schon auf Ebene der neuronalen Strukturen die Richtung und Länge von Kanten, die Größe von Winkeln usw. geometrieaffine Kriterien bilden, für die eine besonders hohe Sensibilität besteht.

### 9.3 Korrelieren neurophysiologische Komponenten mit Licht von oben Hypothese?

Die auf einen dominanten Strahler bezogene **Licht von oben Hypothese** bildet nicht nur eine einflussreiche Vorannahme unserer Raumwahrnehmung, sondern führt auch zu erkenntnistheoretischen Fragen, welche das Apriori ebenso betreffen wie den Begriff der Anpassung. Dieser Komplex von Problemen ist tiefgreifend mit dem Ansatz Poincarés verbunden.

Ausgehend von dem von Kandel angeführten Beispiel Muffin-Blech soll auch angedeutet werden, dass die Licht von oben Hypothese nicht nur ein Erklärungsmodell ist, das nur aus der

---

<sup>324</sup> Cf. Mach'sche Streifen (Mach, 1865, S.13)



Beobachtung von Wahrnehmungsleistungen auf ein zugrunde liegendes Verarbeitungsmuster und dessen evolutionäre Genese schließt. Mit Aussagen von Georgieva über shape from shading und de Sousa sowie Gegenfurtner über den Aufbau und die Evolution des seitlichen Kniehöckers (CGL) sind auch korrelierende neurophysiologische Komponenten als konvergente Argumente verfügbar, welche auch die Aufspaltung in einen dorsalen und ventralen Pfad, also eine wesentliche Strukturierung des Gehirns, betreffen.

### 9.3.1 Parvo-Magno-System als relevantes Modul mit großer Reichweite

Die Aufspaltung in zwei Verarbeitungspfade visueller Reize hat schon auf Ebene der Retina und speziell im Corpus geniculatum neuronale Korrelate, nämlich so genannte Magno- und Parvozellen, die bereits Daten in spezifischer Form codieren.

Gegenfurtner stellt fest:

„Das CGL besteht aus sechs Schichten, den beiden unteren, entwicklungsgeschichtlich älteren, magnozellulären und den neueren, oberen vier parvozellulären Schichten. Neurone in diesen Schichten unterscheiden sich deutlich in ihren funktionellen Eigenschaften“ (Gegenfurtner, 2004, Vortragsfolie 3)

<sup>325</sup>

Damit sind diese parvo- und magnozellulären Schichten wegen ihres Einflusses im Zuge der Verarbeitung visueller Daten einerseits erkenntnistheoretisch bedeutsam und repräsentieren andererseits auch evolutionäre Aspekte. Weil die phylogenetische Genese der Zellschichten des CGL (weitgehend) auch spezifisch der weiterführenden Datenverarbeitung der dorsalen und ventralen Bahn zugeordnet werden kann, wird hier das Parvo-Magno-System als opportunes Modul für eine tragfähige Überleitung zu weiteren Betrachtungen über evolutionäre Erkenntnistheorie angesehen.

So betrachtet erscheint es als ein reizvolles Detail, dass die seitlichen Kniehöcker (CGL) einerseits eng mit dem Thalamus verbunden sind, der zum evolutionär relativ alten Stammhirn gehört und andererseits aber in ihnen nach Gegenfurtner (20004, s.o.) ein nach evolutionärem Alter und Funktion unterscheidbarer Schichtenaufbau vorliegt.

### 9.3.2 Evolution des geniculocortikalen Systems korreliert mit Tagaktivität von Primaten

Das folgende lapidare Statement in Verbindung mit einer zugehörigen Illustration fokussiert den historisch weit reichenden evolutionären Aspekt und die Bedeutung des geniculocortikalen Systems für zunehmend komplexere Wahrnehmungssysteme unterschiedlicher Gattungen:

„Im Laufe der Evolution hat das geniculocortikale System dramatisch an Volumen und differenzierter Schichtung zugenommen.“ <sup>326</sup>

---

<sup>325</sup> Es besteht auch eine Korrelation des parvozellulären Systems zum besonders objektbezogenen fovealen Sehen und des magnozellulären Bereichs zum peripheren Sehen.

<sup>326</sup> Zitat und Abbildung: <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/corpus-geniculatum-laterale/15391> (25.4.2017)

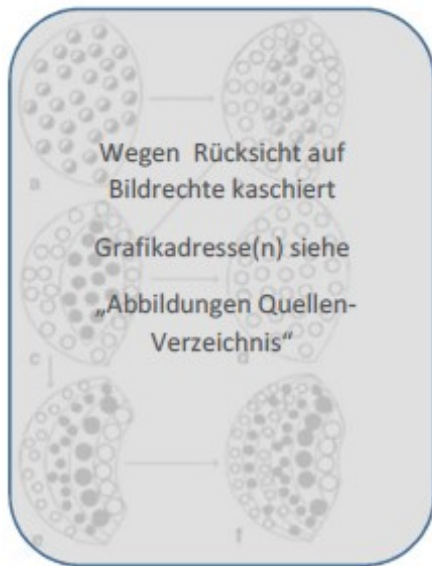


Abbildung 30 *Corpus geniculatum laterale*

Die einzelnen Darstellungen der Abbildung beziehen sich auf a) Amphibien, b) Reptilien, c) primitive Säugetiere, wie z.B. Igel, d) Vögel, e) Raubtiere und Primaten, f) Mensch. Die Details der Legende werden hier mit einer Ausnahme nicht weiter besprochen.

Alexandra de Sousa kommt in einer Studie über den Schichtenaufbau des CGL bei unterschiedlichen Gruppen von Neuwelt- und Altweltaffen zu folgendem Schluss:

“An increased number of, or better differentiation of parvocellular layers with leaflets may be related to color vision or to improved perception of central (versus peripheral) vision.” (de Sousa et al., 2013, S. >15) (Leaflets: “Further subdivisions of the parvocellular layers are called “leaflets”. (de Sousa et al., 2013, S. >3)

Bezogen auf Makaken stellt de Sousa eine Überlegung in den Raum, die sich gut in jene Linie zu fügen scheint, mit der in dieser Arbeit versucht wird, die Bedeutung des parvozellulären Systems und der ventralen Was-Bahn zu betonen.

“Central vision is represented in the segment of the LGN having four parvocellular leaflets in macaques [Malpeli and Baker 1975], therefore the additional layers may reflect an increased dedication to central vision.” ( de Sousa et al., 2013, S >13)

Der in diesem Zitat als möglich unterstellte Zusammenhang einer höheren Zahl von parvocellular leaflets mit einer stärkeren Ausrichtung auf foveales Sehen scheint nämlich die hier eingebrachte Hypothese zu unterstützen, dass ein besonders auf das parvozelluläre System gestütztes foveales Sehen in Verbindung mit der bevorzugten weiteren Verarbeitung in der ventralen Was-Bahn eine markante (genuine) Nähe zu einer geometrieaffinen Formbestimmung von Objekten hat, während (trotz komplexer Interaktion) das periphere Sehen über die beiden evolutionär älteren magnozellularen Schichten des CGL und die weitere

Verarbeitung über die dorsale Wo-Bahn eben besonders auf Detektion von Bewegung und Lokalisation ausgerichtet ist.<sup>327</sup>

9.3.3 De Sousa: Tagaktiven Affen stärker auf das parvozelluläre System ausgerichtet

Besondere Bedeutung gewinnt auch noch folgende Feststellung de Sousas:

“The amount of LGN tissue delegated to parvocellular and magnocellular inputs varies within primate species, and is related to activity pattern and ecology. Diurnal primates have a proportionally larger parvocellular part of the LGN than do nocturnal primates [Hassler 1966], presumably because diurnal species rely more on information of the parvocellular pathway, such as color vision. Similarly, it has been hypothesized that increased lamination through the presence of leaflets may be related to improved color vision [Tigges and Tigges 1987].” ( de Sousa et al., 2013, S >13)

Dass die visuelle Verarbeitung von hauptsächlich tagaktiven Affen stärker auf das parvozelluläre System ausgerichtet ist, tangiert eine weitere neuroanatomische Auffälligkeit, die im Zusammenhang mit shape from shading angesprochen wurde. (Cf. Georgieva, 2008, S. > 33)

#### 9.4 Resümee

Bei gemeinsamer Betrachtung der Zitate von de Sousa und Georgieva tritt bezüglich des parvozellulären Systems eine Reihe von einander verstärkenden Faktoren zusammen:

Das auf parvozellulärer Basis hochauflösende foveale Sehen in Kombination mit der dort besonders hohen Sensibilität für Farben steht in plausibel nützlichem Zusammenhang mit einer gemeinsamen Verarbeitung von Schatten, weil beide naturgemäß besonders bei Tageslicht wirksam sind.<sup>328 329</sup>

Wenn man nun in Gegenüberstellung noch zur Geltung bringt, dass das magnozellanuläre System wesentlich sensibler für Kontraste ist, dann ergibt das für die funktionellen Schwerpunkte der beiden Systeme einen sinnvollen Zusammenhang. Das auf schnelle Detektion und Lokalisierung von bewegten Objekten ausgelegte periphere Sehen ist auch bei wenig Licht besonders für Hell-Dunkel Kontraste sensibel und ist bevorzugt mit dem schnelleren magnozellanulären System verbunden. Der Zusammenhang von parvozellulärem System und fovealem Sehen betrifft auch die objektfixierenden Augenbewegungen höherer Primaten. Cf. (Rohen, 1962, S. 39)

<sup>327</sup> Dazu kommt, dass der von de Sousa dargestellte Aspekt auch kompatibel mit jenen Überlegungen ist, die im soeben genannten Zusammenhang schon im Umfeld von Poincarés Hinweis auf den Gelben Fleck und seine Bedeutung für die Diskontinuität des Wahrnehmungsraumes angestellt wurden.

<sup>328</sup> Dieses Zusammentreffen von Farbwahrnehmung und Schatten wäre auch ein reizvoller Aspekt kunsthistorischer Betrachtungen über die farbige Ausgestaltung von Schattenpartien, z.B. in Gemälden von Rubens und von Impressionisten.

<sup>329</sup> Folgender Hinweis zur Verteilung farbsensibler Zapfen in der Retina betont deren deutliche Konzentration in der Fovea:

„Die Zapfen sind auf der Netzhaut zu einem unregelmäßigen Mosaik angeordnet...Die Dichte ist in der Fovea am höchsten und nimmt zur Peripherie hin ab. In der Foveola (den zentralen 30') befinden sich nur Rot- und Grünzapfen auf. Blauzapfen gibt es nur in der peripheren Retina, aber auch dort treten sie mit einer geringeren Dichte auf. Sie machen insgesamt nur 9% aller Zapfen aus (siehe links), Rotzapfen ca. 60% und Grünzapfen ca. 31%“ (<http://www.biokurs.de/skripten/12/bs12-39.htm> 8.7.2017) Cf. Schon bei transmembranen Sensorhodopsinen spielt die Farbunterscheidung eine Rolle

Das auf detailliertere Objekteigenschaften wie Farbe, Texturen und Schatten bezogene foveale Sehen ist stärker mit dem parvozellulären System und dem ventralen Pfad verbunden. Wie schon in Zusammenhang mit Core Knowledge und mit Hinweisen auf funktionelle Neuroanatomie gezeigt wurde (werden sollte), besteht gemäß Indizienlage in diesem auf den ventralen Pfad ausgerichteten Bereich nicht nur eine besondere Kompetenz für geometrieaffine Formbestimmung von Objekten, sondern sind nach Koch (2005) in diesem Bereich wahrscheinlich auch wesentliche Komponenten der Schwelle zum Bewusstsein verankert.

## 10 KOMPARTIMENT Licht forciert Konnektom

In diesem Abschnitt werden weitere Indizien und Modelle ins Spiel gebracht, die den substantiell gestaltenden Einfluss eines visuellen Systems auf die Enzephalisation und die Entwicklung komplexer kognitiver Potentiale untermauern (sollen).

Wenn der feste Körper als lichtaffines Konstrukt auf eine Objektkonstruktion gemäß visuokognitiven Beschreibungsregeln<sup>330</sup> bezogen wird, dann wird bei einer evolutionsorientierten Analyse der konstruktiven Komponenten auch die Frage der Spannweite eines gestaltenden Einflusses von Licht auf das Konnektom zum Thema.

Zu den in Betracht gezogenen Aspekten zählen folglich u.a. eine lichtinduzierte Neurogenese, die Miniaturisierung des neuronalen Netzwerks und effiziente Reizleitung durch Myelinisierung sowie der Ausbau und die Optimierung des Konnektoms nach Art eines Small-World Networks mit emergenten Potentialen.

### 10.1 „Optik ist gut fürs Hirn“

Der gewagt spekulative Versuch, mittels Indizien einen Bogen von der rudimentären Sensibilität für Licht bis zu neuronalen Korrelaten bewussten Denkens zu spannen, bildet ein Leitmotiv (und leider auch eine Hybris) dieser Arbeit. Dabei spielen evolutionär relevante Faktoren der Enzephalisation der Wahrnehmung und damit die Erweiterung und Strukturierung des Konnektoms eine gewichtige Rolle. Deshalb wird auch nach Beispielen gesucht, die einen möglichst direkten Einfluss von Licht auf die Bildung neuronaler Strukturen nahelegen und als Belege für die prinzipielle Möglichkeit gemäß verfolgter Hypothese tauglich erscheinen.<sup>331</sup>

#### 10.1.1 Cline: Lichtinduzierte Neurogenese bei Kaulquappen

Folgendes Beispiel der Beobachtung an Kaulquappen dient als Hinweis und Modell, wie externe visuelle Stimuli die Neurogenese forcieren und die Dynamik des Konnektoms beeinflussen können.<sup>332</sup>

<sup>330</sup>Cf. Cassirer (1944) The Concept of Group and the Theory of Perception

<sup>331</sup> Cf. Albinismus: „Auch für die Entwicklung und Funktionsfähigkeit der Sehnerven ist das Pigment Melanin verantwortlich.... Bei albinotischen Menschen überkreuzen sich die Sehbahnen beider Gehirnhälften stärker, sodass sich die Sehinformationen beider Seiten überlagern. Dies schränkt das räumliche Sehen ein. Zudem neigen Betroffene aus diesem Grund zum Schielen (Strabismus), was die Raumwahrnehmung zusätzlich mindert.“ (Optik Klütermann, o..J. o.S.)

<sup>332</sup> Aus einer autopoietischen Perspektive könnte bzw. sollte man eher sagen, dass ein Organismus externe Stimuli zum Anlass nimmt, sich mehr oder weniger umfangreich zu modifizieren.

Experimente, bei denen Vergleichsgruppen von Kaulquappen unterschiedlich lange in dunklem oder hellem Milieu gehalten wurden, führten zu signifikanten Veränderungen der neuronalen Strukturen in Schlüsselbereichen des visuellen Systems.

Hollis Cline fasst zusammen:

„More recently, we have demonstrated that visual experience has multiple effects on visual system development. A relatively brief period, 4 hours, of visual experience enhances the growth rate of tectal cell dendritic arbors through a mechanism that requires glutamatergic synaptic maturation, and the RhoA GTPases (Li et al., 2000; Li et al., 2002; Sin et al., 2002). This same brief period of visual experience increases the excitability of tectal neurons, their sensitivity to visual stimuli, synaptogenesis and synaptic strength (Aizenman et al 2002, 2003; Aizenman & Cline 2007)... Our experiments have demonstrated a diverse range of effects of visual activity on the development and plasticity of the visual system and have the potential to reveal both direct and homeostatic mechanisms of circuit development“ (Cline, 2018, o.S.)

Eine Studie von Pratt, Hiramoto und Hollis Cline (2016) bestätigt:

„Visual experience plays a critical function in the development and maturation of the visual circuitry in anamniotes, including the development of the topographic retinotectal projection, retinotectal synaptic properties, tectal neuronal morphological development, as well as broader properties of tectal circuitry including connectivity underlying recurrent activity. Together, these studies provide strong evidence that sensory input drives the development and maturation of diverse synaptic, neuronal and circuit properties.“ (Pratt et. al., 2016, o.S., Conclusion)

Die Beschreibung der Intentionen auf der Website von Clines Institut lassen klar erkennen, dass es dabei nicht um eine isolierte Betrachtung der Entwicklung des visuellen Systems von Kaulquappen geht, sondern zeigt den umfassenden Forschungshorizont, der unter anderem auch auf das Verständnis der Einflüsse exogener Licht-Stimuli auf die Strukturbildung komplexer neuronaler Netzwerke und vor allem auch jene des Menschen gerichtet ist.<sup>333</sup>

Wenn im Rahmen derartiger Forschungsziele auch auf Experimente mit Kaulquappen gesetzt wird, dann wird damit aber auch klar insinuiert, dass derartige Prozesse über viele Arten<sup>334</sup> von Lebewesen hinweg auch aus evolutionärer Perspektive zumindest als erklärende Modelle oder überhaupt als ähnlich bzw. verwandt angesehen werden. Die Studie von Pratt et al. suggeriert dies schon im Titel:

„An Evolutionarily Conserved Mechanism for Activity-Dependent Visual Circuit Development“ (Pratt et al., 2016, o.S.)

In Summe werden diese Aspekte im Sinn des hier gespannten Bogens als affirmative Indizien angesehen bzw. als solche geltend gemacht.

Vor diesem Hintergrund lassen sich diese Zusammenhänge wohl zu Recht mit dem treffenden Titel von Dagmar Knopf auf einen Nenner bringen: „**Optik ist gut fürs Hirn**“ (Knopf, 2002, o.S.)

<sup>333</sup> “The Scripps Research Institute (TSRI) — one of the world's largest, private, non-profit research organizations — stands at the forefront of basic biomedical science, a vital segment of medical research that seeks to comprehend the most fundamental processes of life.” (<https://www.scripps.edu/about/index.html> 24.4.2018)

“The research spectrum of the department is truly remarkable. It ranges from the study of single cells to the study of the human genome. Research topics include the exploration of the mechanisms that regulate neural stem cell behavior, brain and sensory organ development and function, perception, learning and memory, emotion, motivation, and cognition.” (<https://www.scripps.edu/research/neuroscience/index.html> 24.4.2018)

<sup>334</sup> „Art“ hier nicht im strengen Sinn einer Taxonomie.

## 10.2 Lernspezifische Dynamik des Konnektoms unter dem Einfluss sinnlicher Erfahrung

Bei folgenden Überlegungen gilt die Aufmerksamkeit zwar vor allem dem visuellen System wegen seines dominanten Anteils an den (neo-) kortikalen Prozessen. Aber Neurogenese und Modifikationen von Neuronen sowie deren Synapsen unter dem Einfluss interner und externer Stimuli betreffen auch andere Sinnesmodalitäten und entsprechen offenbar einem prinzipiellen neuronalen Konzept. Daher wird dies am Beispiel des Hörens kurz illustriert.

Rumpel et al. (2016) beschreiben ausgehend von Untersuchungen an Neuronen im auditorischen Kortex von Mäusen unter dem Einfluss von Lernprozessen Modifikationen, die nicht nur mit den von Cline und Pratt beschriebenen Ergebnissen konvergent sind. Es wird darüber hinaus auch ein expliziter Zusammenhang mit Prozessen der Modifikation von Neuronen und Netzwerkstrukturen von größter Tragweite für die Funktionalität von Gehirnen angesprochen: Es geht um die Verankerung von Gelerntem durch Modifikation der Neuronen und die damit einhergehende (Re-) Strukturierung des Netzwerks, also um die **lernspezifische Dynamik des Konnektoms unter dem Einfluss sinnlicher Erfahrung**.<sup>335</sup>

Wenn man gemäß Rumpel et al. nach aktuellem Forschungsstand davon ausgeht, dass in der juvenilen Entwicklungsphase gebildete Verschaltungen im Rahmen einer gewissen Plastizität auch weiterhin modifizierbar bleiben, dann ergibt sich daraus die Frage einer „Stabilität trotz ständiger Veränderung“ (Rumpel, 2016, S. 76).

Rumpel et al. bringen dabei ein als möglich vorgestelltes Modell ins Spiel, um das Henne-Ei Problem zu lösen, wie zwei Neurone überhaupt eine funktionell sinnvolle Verbindung finden und verweisen gemäß Simulationen neuronaler Netzwerke darauf, dass sich starke Verbindungen selbst stabilisieren können.<sup>336</sup>

Die „koinzidente prä- und postsynaptische Aktivität“ (s. Fußn.) könnte demgemäß auf Ebene des Konnektoms zur kognitiven Objektkonstruktion in dem hier verfolgten Sinn beitragen, dass häufig koinzident wiederkehrende Gruppen externer Stimuli über Hebb'sche (Lern-) Prozesse neuronale „Wiedererkennungsnetzwerke“ fördern.

Solche Hebb'sche Prozesse neuronaler Plastizität haben nicht nur für generelle Lerninhalte Bedeutung, sondern betreffen auch die Frage des möglichen Einflusses extern verortbarer visueller Objekte, wenn man annimmt, dass stabile Gruppierungen von Stimuli (Lichtreizen) im Rahmen dieser Prozesse spezifische korrelierende Strukturen im Konnektom generieren.

Wenn man also Rumpels Ergebnisse über das Hören auf das visuelle System überträgt und diesen Ansatz fortspinnt, dann kommt dem teleotaktischen binokularen Fixieren mit fovealer

<sup>335</sup> Cf. Poincaré: Erziehung der Sinne

<sup>336</sup> „Wir vermuten dessen Lösung darin, dass im Neokortex durch fortwährende Neubildung ein Reservoir provisorischer Verbindungen und damit eine reichhaltige „Bibliothek“ potenzieller Funktionalität vorgehalten wird. Plastizitätsmechanismen, die in Lernprozesse involviert sind,..., können dann schnell nützlich erscheinende synaptische Verbindungen verstärken und stabilisieren. Abb. 6 zeigt ein Schema, in dem Synapsen bidirektionaler Plastizität unterliegen, die mit physiologischen und morphologischen Änderungen einhergeht...Anfängliche synaptische Kontakte können zufällig als „stille Synapsen“ ohne AMPA-Rezeptoren gebildet werden. Koinzidente prä- und postsynaptische Aktivität kann die Stabilisierung der Synapse bewirken, was zu einer Einbettung von AMPA-Rezeptoren führt. Weitere Stimuli, die eine Stärkung der Synapse bewirken, können zu einer weiteren Stabilisierung führen...Einmal verstärkt, müssen bestimmte Verschaltungsmuster und die damit angelegten Gedächtnisinhalte davor bewahrt werden, direkt wieder abgebaut respektive vergessen zu werden. Sehr starke Verbindungsmuster könnten in der Lage sein, sich durch Induktion genau jener Muster im Netzwerk, die ihrerseits diese Verbindungen festigen, selbst zu stabilisieren – ein aus Netzwerksimulationen wohlbekannter Effekt der STDP und anderer Varianten Hebb'scher Plastizität.“ (Rumpel, 2016, S. 78) (STDP: spike-timing dependent plasticity)

Fokussierung in diesem Prozessmilieu induktiver Selbststabilisierung des visuellen Konnektoms auch dadurch eine besondere Bedeutung zu, dass die einander verstärkenden Impulse von zwei Augen, durch die (retinotop) neuronale Projektion gleicher oder sehr ähnlich angeordneter Reize im Überlappungsbereich der Gesichtsfelder beider Augen die Möglichkeit zur Summation dieser Reize bietet. Dadurch wird die Häufigkeit bzw. Intensität weitgehend ähnlicher Gruppen externer Stimuli gesteigert und somit deren Einfluss auf die Verankerung im Konnektom erhöht.<sup>337</sup>

### 10.3 Reizsummation steigert Sensitivität

Modelle von so genannter Reizsummation bieten eine plausible Erklärung für die lichtverstärkende Wirkung binokularer Betrachtung mit frontalen Augen.

Reizsummation passt als eine der möglichen Strategien auch gut in ein sehr weitreichendes strukturspezifisches Konzept neuronaler Verarbeitung, weil sie nicht nur der punktuellen Steigerung aktueller Reize dient und Einfluss nimmt, ob Aktionspotentiale erreicht werden und Neuronen „feuern“ oder eben nicht. So wird z.B. im Wechselspiel mit inhibitorischen Prozessen eine stark selektive Schwelle aufgebaut, die viele Reize unterdrückt und im Gegenzug manche in verstärkter Form weiterleitet. Durch summierende Steigerung der Sensibilität durch häufiger ausgelöste Aktionspotentiale stärken diese auch die davon betroffenen Neuronen und Nervenbahnen, sodass auch das Konnektom stabilisiert und die betroffenen Bereiche tendenziell eher ausgebaut als abgebaut werden. (Cf. Zitat Rumpel et al., 2016, S. 78)

Gegenfurtner (2011) betont, dass schon im Zuge der Transduktion modalitätsspezifische Optimierungsprozesse stattfinden, die z.B. beim Sehen an die Grenze des physikalisch Möglichen gehen und schon an der Rückseite der Netzhaut wirksam sind.<sup>338</sup> Über diese gemäß Gegenfurtner extrem gesteigerte Sensitivität auf Rezeptorebene hinaus gibt es aber noch komplexere Mechanismen, welche die Intensität und, wenn man so will, die Durchsetzungsfähigkeit eines Reizes steigern können. Und zwar durch räumliche und/oder zeitliche Summation.<sup>339</sup> Diese wird definiert als:

„Summation, Überlagerung von gleichzeitig an mehreren Synapsen (örtliche S.) oder in kurzen Abständen an einer Synapse (zeitliche S.) auftretenden postsynaptischen Potentialen. Wirken mehrere Reize auf den erregenden Teil eines rezeptiven Feldes ein, so reagiert die entsprechende Ganglienzelle mit einer erhöhten Erregung. Bei der Belichtung der hemmenden Teile eines rezeptiven Feldes wird die Aktivität der Ganglienzelle gehemmt. Infolge der örtlichen und zeitlichen S. können einzelne unterschwellige Reize überschwellig werden.“ (Lexikon der Optik, > Summation <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/summation/3308> 25.4.2018)

Das Zusammenwirken von Summation und Inhibition ermöglicht durch das damit wirksame Entweder-Oder Prinzip eine Effizienzsteigerung im Sinn erhöhter Unterscheidungsfähigkeit.

<sup>337</sup> Je größer die Distanz zum beobachteten Objekt ist, umso ähnlicher sind die daran gebundenen Licht-Stimuli. Erst mit zunehmender Nähe, wenn das Objekt in der Regel schon weitgehend identifiziert ist, beginnen sich in Folge binokularer Disparität frontaler Augen die Netzhautbilder progressiv zu unterscheiden.

<sup>338</sup> „Dort befinden sich die lichtempfindlichen Rezeptoren. In einem erstaunlichen biochemischen Prozess werden dort die kleinsten möglichen Lichtpartikel, Photonen genannt, absorbiert. Die darauffolgende Kaskade von Prozessen führt zu einer enormen Verstärkung des Signals, so dass letztlich die Absorption eines einzelnen Photons zu einer messbaren Veränderung des Rezeptorpotentials führen kann. Ein noch effizienteres System ist physikalisch nicht möglich“ (Gegenfurtner, 2011, S. 35)

<sup>339</sup> Im Unterschied zu der von Gegenfurtner beschriebenen Steigerung der Sensitivität auf Eben der biochemischen Prozesse, welche die Opsine in den Rezeptoren betreffen, beruht Summation auf der neuronalen Verschaltungen von Rezeptoren.

### 10.3.1 Binokulare Summation (binocular facilitation) höher als Summe der Einzelleistungen der Augen

Im Sinn der hier zur Debatte stehenden Überlegung, dass robuste Gruppierungen von Reizen wettbewerbsfähiger sind und das Konnektom beeinflussen können, ist noch ein Phänomen hervorzuheben, dass speziell mit der frontalen binokularen Wahrnehmung verknüpft ist: die im Anhang noch ausführlicher beschriebene binokulare Summation.<sup>340</sup>

„Binokulare S. erfolgt bei gleichzeitiger Erregung beider Augen durch Stimuli. Ein binokularer Reiz wird stärker empfunden als ein monokularer.“ (spektrum.de Lexikon der Optik, > Summation <https://www.spektrum.de/lexikon/optik/summation/3308> 25.4.2018)

Unter diesen Voraussetzungen ist ein fester Körper im Fokus fovealen Sehens frontaler Augen als einflussreicher Faktor auf die Strukturierung des Konnektoms qualifiziert und bildet somit nicht nur ein Fundament für Geometrie, sondern auch für die Evolution der neuronalen Korrelate kognitiver Potentiale.

### 10.4 Optimierung der Struktur des Konnektoms

Mit diesen speziellen Fragen der internen Organisationsformen von neuronalen Netzwerken beschäftigt sich auch die in jüngerer Zeit forcierte **Konnektom-Forschung**, die auf Basis der Weiterentwicklung bildgebender Verfahren stark reüssiert.

“The connectome is the complete description of the structural connectivity (the physical wiring) of an organism’s nervous system... Connectomics (Hagmann, 2005) has been defined as the science concerned with assembling and analyzing connectome data sets...In the human brain, the significance of the connectome stems from the realization that the structure (connectivity) and function of the human brain are intricately linked, through multiple levels and modes of brain connectivity.” (Sporns, 2010, o.S.)

Diese komplizierte Verknüpfung (intricately linked) von Struktur und Funktion ist genau jener Aspekt, der hier als Indiz bzw. Basis für eine sich wechselseitig beeinflussende **Koevolution von visuellem System, Gehirnstruktur und Emergenz komplexer kognitiver Potentiale** in den Raum gestellt werden soll, um das Phänomen und die Relevanz der Enzephalisation der Wahrnehmung für das Entstehen jener komplexen kognitiven Potentiale zu illustrieren, deren Art und Leistungsvermögen weit über die Verarbeitung visueller Eindrücke hinausreichen.

---

<sup>340</sup> Dieser binokularen Summation wird hier auch deshalb besondere Aufmerksamkeit gewidmet, weil binokulares Sehen mit frontalen Augen mit stereoptischem Sehen verbunden ist und daher neuronale Strukturen und Verarbeitungsprozesse in diesem Bereich auch bezüglich ihrer Relevanz für Raumwahrnehmung und damit verbundene geometrieffine Aspekte in Betracht zu ziehen sind.  
Cf. Anhang: Schröfl: Binocular facilitation



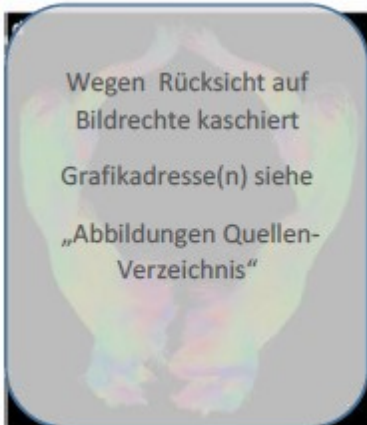


Abbildung 31 Konnektom: Retinofugal visual pathway (Y Shi et al., 2017)

*“Retinofugal visual pathway reconstruction results. ...**(d)** The reconstructed retinofugal pathways including the optic tract and optic radiation of both hemispheres.” (Y Shi et al. (2017)*

Auch wenn aus dieser isolierten Abbildung kein Vergleich mit anderen Sinnesmodalitäten und weiteren Gehirnfunktionen, wie z.B. der Sprache, ablesbar ist, so illustriert sie wohl doch, welches umfangreiches und komplexes Netzwerk die Nervenbahnen des visuellen Systems bilden.<sup>341</sup>

#### 10.4.1 Zeki über MT/V5: Polyvalenter Mikrokosmos kompensiert auch Eigenbewegung zugunsten eines räumlich stabilen Perzepts

Die komplexen Funktionen von MT/V5 betreffen auch die Sensibilität für bzw. das Potential zum Erkennen von Bewegungen parallel zur Ebene der Stirn als auch von Tiefenbewegungen entlang der Sehachse, also einer Wahrnehmungsleistung, der von Poincaré und folglich auch themengemäß in dieser Arbeit besonders nachgegangen wird.

Trotz aller noch offenen Fragen hält Zeki fest, dass MT/V5 ein spezielles Potential hat, die **Gesamtbewegung nach allen Dimensionen** zu erfassen, während die richtungssensitiven Zellen anderer Areale eher auf einzelne Komponenten der Richtungsanalyse spezialisiert sind:

*„....., it seems to be generally agreed that an emphasis on the true direction of motion of objects in all planes is a prominent feature of what V5 does.“ (Zeki, 2015, o.S. >8)*

Dies scheint vor dem Hintergrund, dass eine Reihe anderer Areale diesbezüglich überschneidende Teilleistungen erbringen, auch dahingehend interpretierbar zu sein, dass es sich dabei um einen sehr spezifischen Schritt zur Optimierung der Funktionsabläufe im neuronalen Netzwerk durch speziell gebildete (bzw. umfunktionierte) Koordinationsstrukturen zur Integration dieser Teilleistungen handeln könnte; um ein Areal zur Optimierung spezieller Prozesse im Sinn von Berthoz Simplexité.<sup>342</sup>

Eine Illustration Zekis scheint mit dieser Annahme kompatibel zu sein, weil daraus nicht nur hervorgeht, wie komplex V5 vernetzt ist, sondern auch erkennbar ist, wie V5 über einen Bypass auch sehr schnellen direkten Zugang zu visuellen Daten hat, und somit auch das

<sup>341</sup> Das gilt erst recht dann, wenn man bedenkt, dass hier nur die Verbindungen vom Chiasma (im Bild oben) bis zur Einmündung der Sehstrahlung in den primären visuellen Cortex (Verästelung im Bild unten) dargestellt sind, und die weiterführenden ungleich komplexeren Verschaltungen, wie etwa der dorsale und ventrale Pfad und zusätzliche Verbindungen zum frontalen bzw. präfrontalen Cortex, nicht wiedergegeben werden.

<sup>342</sup> Es geht dabei wohl um eine Strategie der Optimierung durch Integration von bestehenden Einzelsystemen statt völliger Neubildung

Potential zum Auswerten schneller Bewegungen durch die Struktur der Vernetzung gesteigert wird.

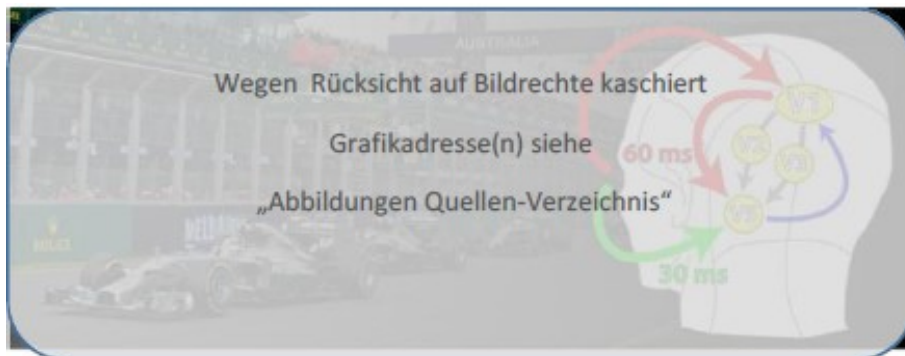


Abbildung 32 Schema Input MT/V5 (Zeki, 2015, o.S. >7)

„Figure 3 A schematic representation of the parallel inputs to V5. The classical input (shown in red) reaches V5 through V1 with latencies of about 60 ms. The V1-by-passing input (green) delivers its signals at latencies of about 30 ms.“ (Zeki, 2015, o.S. >7)

Die Publikationsdaten bei den Quellenangaben Zekis zeigen, wie stark sich aktuelle Forschung bei der Analyse dieses Gehirnareals auf Funktionen bezieht, welche jenen Komplex des Zusammenspiels von visueller Wahrnehmung, Eigenbewegung bzw. Okulomotorik und Relativbewegung von Objekten betreffen, den Poincaré so stark ins Zentrum seiner Überlegungen zu den Fundamenten von Geometrie rückt.<sup>343</sup>

#### 10.4.2 MT/V5 als Indiz, dass dritter Pfad bei Menschen eine markante Rolle bei der Integration von Wahrnehmung, Handlung und Sprache spielt?

Dem Areal MT/V5 wird hier nicht nur gemäß den Hinweisen Zekis so große Aufmerksamkeit gewidmet, sondern auch im Hinblick der Darstellungen von Haak et al. (2017). Haak et al. propagieren ein Modell, in dem ein dritter Pfad visueller Verarbeitung, bei dem MT/V5 eine bedeutsame Rolle spielt, weil er zur Integration diverser Aspekte von visueller Wahrnehmung, Bewegung und sogar Sprache beiträgt. Ebenso machen Haak et al. darauf aufmerksam, dass die unterschiedliche Position von MT/V5 einen auf Ebene der Anatomie nachvollziehbaren Unterschied zwischen dem Gehirn von Menschen und anderen Primaten erkennen lässt.

“In this model, the additional lateral stream, consisting of areas that are classically assigned to the dorsal stream, incorporates different aspects of vision, action and language. This view expands on earlier proposals that the difference between humans and non-human primates in the anatomical location of area MT/V5 relative to other dorsal and ventral visual areas might be related to a cortical expansion to accommodate language function in humans.....“ ( Haak et al., 2017, Pkt. 1)

Die vorangegangenen Überlegungen sind demgemäß vorrangig darauf ausgerichtet, zu zeigen, dass der von Poincaré wegen seiner fundamentalen Bedeutung für Raumvorstellung und Geometrie fokussierte Komplex der Auswertung von visuellen Daten gemeinsam mit jenen über die Eigenbewegungen auf Ebene der neurokognitiven Strukturen mit einem hochkomplexen neuronalen Netzwerk und gestaltendem Einfluss gemäß Plastizität des Konnektoms in Zusammenhang gebracht werden können. Dies untermauert mit

<sup>343</sup> Bemerkenswert erscheint hier noch der historische Hinweis Zekis, dass schon zu Anfang des 20. Jahrhunderts die Möglichkeit des Bestehens eines auf visuomotorische Aspekte spezialisierten Gehirnareals außerhalb von V1 zwar vage erörtert, aber letztlich hintangestellt wurde. (cf. Zeki, 2015, o.S. >6)

entsprechenden Funktionszuweisungen an neurophysiologische Strukturen Poincarés Modell des Schauspiels der Perspektiven und der Kompensation durch Integration der Eigenbewegung sowie seinen Hinweis, dass die Dreidimensionalität sozusagen eine interne Eigenschaft menschlicher Intelligenz sei.<sup>344</sup>

Die Darstellungen von Zeki legen ganz gemäß dem Titel „Area V5—a microcosm of the visual brain“ die Spannweite der Funktionen des Areals zu Gunsten eines homogenen Perzepts dar und führen dabei auch an die bewusste Aufmerksamkeit und an die „Bindung“ von visuellen Signalen heran, also an jenes Bindungsproblem, das mit Roths Hinweis auf die Parallelverarbeitung in dieser Arbeit einer der Ausgangspunkte der Überlegungen über die weitreichenden Konsequenzen der Enzephalisation der Wahrnehmung ist. Auf integrative Strukturen bzw. Prozesse wird besonders auch wegen des andernorts geltend gemachten Umstands hingewiesen, dass in der Raumwahrnehmung teilweise sehr heterogene Prozesse und evolutionär unterschiedlich alte Strukturen wirksam sind, die teilweise rivalisieren.<sup>345</sup>

#### 10.4.3 Horx/ Sporns: Optimierung des Konnektoms als Small-World Network

So sehr die dislozierten Teilbereiche mit ihren unterschiedlichen Spezialisierung die Verarbeitungsprozesse zum Erstellen homogenen Perzepts einerseits komplizierter machen, so sehr trägt diese zeitaufwändige Umständlichkeit<sup>346</sup> wohl auch dazu bei, dass zur Behebung dieses strukturbedingt erhöhten Aufwands (an Zeit und Energie) auch effizienzsteigernde Optimierung der Strukturierung des Netzwerks stattgefunden hat. Wobei in komplexen Netzwerken solche Veränderungen nicht nur dazu führen müssen, dass die schon bestehenden Leistungen schneller erfolgen. Mindestens ebenso relevant ist, dass dabei auch neue Potentiale entstehen können.<sup>347</sup>

Horx (2010) charakterisiert mit dem Schlagwort „Small World Network“ eine Strategie der Strukturierung von Netzwerken, die auch für die strukturelle Optimierung der von Roth angesprochenen komplexen Parallelverarbeitung tragfähig erscheint.

Bezugnehmend auf Sporns führt Horx (2010) das menschliche Gehirn als Beispiel für eine ausgewogen strukturierte Konfiguration an, die weder überkomplex (jeder Punkt mit jedem) noch nur zufällig und lose (unterkomplex) vernetzt ist:

„Olaf Sporns und seine Kollegen...haben in ihrer Arbeit zur Simulation eines Gehirns nachgewiesen, wie die typischen „Arbeitsmuster“ eines Hirns nur in einer solchen Kleine-Welt-Struktur entstehen können. Sind die Neuronen nur mit ihren direkten Nachbarn verbunden, entsteht nur ein punktuelles Aufflackern von Aktivität. Sind ALLE Neuronen miteinander verbunden, wechselt das virtuelle Hirn zwischen zwei Zuständen hin und her, bei denen fast alle Zellen aktiv oder inaktiv sind. Differenzierte Muster, die den echten Hirnaktivitäten ähneln, entstehen erst durch eine Mischung aus kurzen und langen Verbindungen.“ (Horx, 2010, S. 3)

Prinzipiell dürfte aber gelten, dass das visuelle System so komplex ist, dass es im Sinn von Horx' evolutionärer Selbstregulation der Struktur des Konnektoms den Weg einer starken inneren Differenzierung bei adäquater Ausbildung von Clustern, Hubs usw. zu Gunsten einer (viabel) tauglichen Kombination von Stabilität und Flexibilität genommen hat. Damit hat das visuelle System, das für den überwiegenden Input an Wahrnehmungsdaten verantwortlich ist

<sup>344</sup> Cf. Poincaré, 1914, S. 99

<sup>345</sup> Cf. Paradigma competition: Koch, Logothetis

<sup>346</sup> Cf. Abb. Zeki

<sup>347</sup> Cf. Emergenz

<sup>348</sup>, im Rahmen der Enzephalisation der Wahrnehmung auch insgesamt die Struktur des Gehirns, speziell des Neocortex, mitgestaltet und so auch fundamental zur Entstehung emergenter kognitiver Potentiale beigetragen.

In diesem Sinn wird auch durch binokulare Summation frontaler Augen verstärktes Licht in Zusammenhang mit der damit einhergehenden Verstärkung von im Rahmen teleotaktischen Fixierens stereoptisch wahrgenommener Stimuli als einer der einflussreichen Faktoren der Entwicklung des Konnektoms geltend gemacht, also eine Komponente, die für räumliche Wahrnehmung und generell für kognitive Potentiale eine prominente Rolle spielt.

#### 10.4.4 Bioelektrische Reizleitung eng mit visuellem System und Enzephalisation verbunden

Mehrmals wurde geltend gemacht, dass die hohe Komplexität und Relevanz des Systems visueller Verarbeitung im Prozess der progressiven Enzephalisation der Wahrnehmung einen treibenden Faktor evolutionärer Optimierung der Strukturen des neuronalen Netzwerks darstellt und so auch eine Voraussetzung für einflussreiche top-down Leistungen bildet. Diese Argumentation stützt sich unter anderem auf den Optimierungsdruck, der vom Bedarf nach schneller und ökonomisch effizienter Verarbeitung großer Mengen an Daten in dislozierten Arealen ausgeht.

Die schnelle Verarbeitung großer Datenmengen bringt aber neben dem Faktor der Struktur des Netzwerks auch noch die Fragen der anatomischen Größe des Systems und jene nach der Art und Geschwindigkeit der Reizleitung ins Spiel. Es geht also (neben der Optimierung der „Schaltlogik“ des Netzwerks) auch um ein bezüglich Energieverbrauch und Schnelligkeit effizientes „Leitungssystem“ mit möglichst geringem anatomischem Raumbedarf der „Hardware“.

Beim Verwenden der Begriffe Leitung und Netzwerk müssen allerdings Vorstellungen vermieden werden, die sich an Wasserleitungen orientieren, bei denen Ventile an Netzknotenpunkten den Durchfluss regeln. Im Fall neuronaler Reizleitung sind schon die Basiseinheiten lernfähige und komplex agierende „intelligente“ Komponenten mit hohen spezifischen Kompetenzen, die erheblich über das Gesamtergebnis mitentscheiden, die also einen nachhaltigen strukturspezifischen Einfluss haben, der nicht nur die quantitative, sondern auch die qualitative Dimension und frühe Entscheidungsprozesse tangiert.

Neurone bzw. Nerven als Hardware-Elemente der Reizleitung bilden in diesem Sinn auch die Grundlage für ein Netzwerk, in dem eine Optimierung der Strukturierung der Weglängen und der Verschaltungslogik ein signifikantes Thema ist. (Cf. Sporns)

Es geht also um spezifische Merkmale und Potentiale der Basiskomponenten einer systeminternen Kommunikation im Rahmen eines bioelektrisch agierenden neuronalen Netzwerks im Unterschied zur Weitergabe von Informationen durch Botenstoffe bzw. Hormone via Blutkreislauf.

---

<sup>348</sup> Cf. Simm über den Sehsinn: „Er liefert bis zu 80 Prozent der Informationen über die Außenwelt und beschäftigt ein Viertel des Gehirns – der Sehsinn ist das wichtigste Sinnessystem des Menschen... Welche Bedeutung der Sehsinn besitzt, wird daran deutlich, dass etwa ein Viertel des gesamten Gehirns und 60 Prozent der Großhirnrinde, dem Sitz höherer Hirnfunktionen, mit der Analyse der sichtbaren Welt beschäftigt ist.“ (Simm, 2016, o.S.)

Schon die Ausprägung unterschiedlicher Typen der auch als Neuronen bezeichneten Nervenzellen ist signifikant für deren strukturierenden Einfluss.

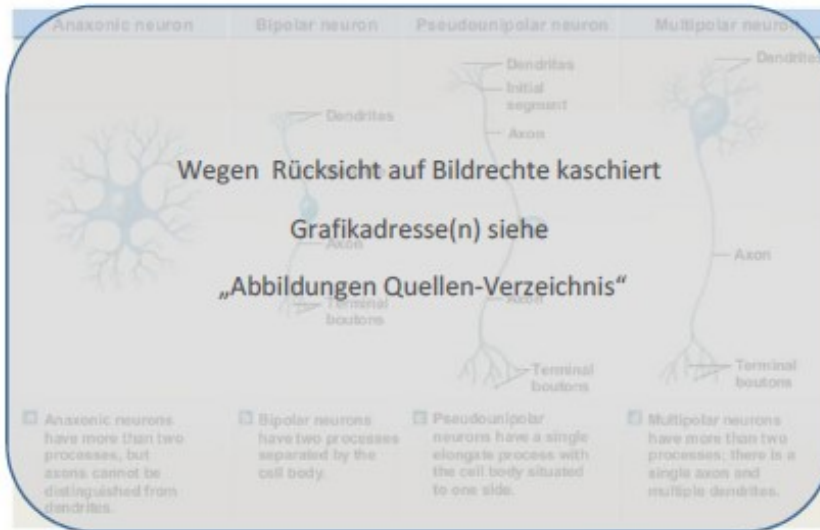


Abbildung 33 Typen von Neuronen

Auf die einzelnen Typen wird nicht weiter eingegangen. Allein schon das Beispiel der multipolaren Nervenzelle veranschaulicht das hier in den Fokus gerückte Prinzip, mit dem Koch Aktionspotentiale als wichtigstes Mittel rascher Informationsverarbeitung beschreibt.<sup>349</sup>

Diese prinzipielle Charakterisierung wird besonders treffend, wenn man sie auf die hohen Datenmengen bezieht, die im visuellen System anfallen. Allein schon der von den Augen kommende Input ans Gehirn beläuft sich auf 1Mbit/s<sup>350</sup> und erfordert zur Bewältigung auch eine Optimierung der neurophysiologischen Strukturen. So wird z.B. die Geschwindigkeit der Reizleitung „durch Myelinisierung wesentlich höher. Es können Leitungsgeschwindigkeiten bis zu 120 m/s (ca. 430 km/h) erreicht werden. Die dünnen, nichtmyelinisierten Nervenfasern bringen es dagegen nur auf 0,5-2m/s“ (Klinke, 2010, S. 634). Nonnenmacher veranschaulicht die dadurch mögliche Miniaturisierung des Nervensystems: „Erst die Erfindung der Myelinisierung durch die Evolution machten leistungsstarke Gehirne mit einer riesigen Zahl von Neuronen und einer noch größeren Zahl von synaptischen Verschaltungen möglich... Ohne den Schutz des Myelins müsste der Sehnerv bei gleicher Leistung einen Durchmesser von mehr als einem Meter aufweisen. Gleichzeitig mit der Myelinisierung entstand in der Evolution die saltatorische Reizweiterleitung, die gegenüber der kontinuierlichen Erregungsleitung einen deutlichen Geschwindigkeitsvorsprung hat.“ (Nonnenmacher, 2016, o.S.)<sup>351</sup>

<sup>349</sup> „Eine der grundlegenden neurophysiologischen Beobachtungen ist, dass Aktionspotenziale das wichtigste und erste Mittel zur raschen Informationsvermittlung zwischen Neuronen sind. Spikes, die mit einer Geschwindigkeit von einem bis zu einigen Dutzend Millimeter pro Millisekunde – abhängig vom Durchmesser des Axons und von seiner Isolierung- das Axon entlang laufen, teilen das Timing eines Ereignisses in einem Neuron Hunderten oder mehr Zielzellen mit, die überall im Gehirn verstreut liegen. Informationen mithilfe von Impulsen weiterzuleiten, ist bei den meisten Tieren ein universales und robustes Kommunikationsmittel. Alles- oder- Nichts – Impulse sind weniger anfällig für Rauschen und umgebungsbedingte Störungen als kontinuierliche Spannungsveränderungen, deren Fortleitung zudem länger dauern würde. Andere Kommunikationsmittel, die dem Gehirn zur Verfügung stehen, sind entweder zu langsam oder zu global, um für rasche Wahrnehmung und rasches motorisches Handeln von Nutzen zu sein.“ (Koch, 2005, S. 38 f.)

<sup>350</sup> Laut Müller<sup>2</sup>, 2017a, S.1

<sup>351</sup> Saltatorische Reizweiterleitung ist nicht nur schneller. „Zudem ist diese Art der Erregungsleitung energetisch günstiger, da die Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup>-Pumpe nur im Membranbereich der Schnürringe arbeitet.“ (<https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Saltatorische%20Erregungsleitung> 19.11.2018) (Cf. Ranvier-Schnürring)

Beim Brückenschlag von der Lichtsensibilität transmembraner Proteine bis zur Optimierung von Strukturen neuronaler Netzwerke mit Affinität zu Bewusstsein spielt die Reizleitung eine fundamentale Rolle. Deshalb ist in diesem Zusammenhang auch der Hinweis relevant, dass die Grundlagen jener Bioelektrizität, die auch neuronale Reizverarbeitung erst ermöglicht, schon bei Einzellern auffindbar und wesentlich mit der Existenz und den Eigenschaften von Membranen verbunden sind. Ebenso wie im Vergleich zum Geruchssinn das Medium Licht für eine rasche und präzise Formbestimmung vorteilhaft ist, hat ein Nervensystem auf Basis neuronaler Netzwerke mit bioelektrischer Reizleitung effiziente Potentiale zu Gunsten rascher Verarbeitung, die im Rahmen der systeminternen Kommunikation eines komplexen Organismus einen wesentlichen Unterschied zu Botenstoffen/Hormonen ausmachen, die z.B. über den Blutkreislauf verteilt werden.

Auch diese Befunde legen nahe, dass das visuelle System nicht eine nur aus anderen Gründen so entwickelte neuronale Struktur einfach „benutzt“ hat, sondern dass die spezifischen Charakteristika der Verarbeitung visueller Stimuli diese evolutionären Adaptionen des neuronalen Systems im sich gegenseitig fördernden Wechselspiel gestaltend beeinflusst haben.

Mit bioelektrischen Prozessen, Aktionspotentialen und saltatorischer Reizleitung kommen solche essentiellen Komponenten ins Spiel, die unsere Wahrnehmung vielfältig und weitreichend strukturierend beeinflussen. Das betrifft nicht nur spezielle Prozesse, wie z.B. Schwellenwerte, Unterdrückung oder bevorzugte Verarbeitung von Reizen und das Paradigma „neural competition“. <sup>352</sup> Es entsteht auch eine Art gemeinsamer Basiscode für die Verarbeitung multimodaler Sinneseindrücke. Der zunächst mechanisch registrierte oszillierende Schalldruck des Gehörs wird ebenso wie der Geruchseindruck von Botenstoffen und Lichtstimuli in gleicher digitalisierter Form bioelektrisch weitergeleitet. Diese Transduktion und Transformation (cf. Glossar) ermöglicht als **gemeinsame Sprache des Nervensystems** einerseits den systeminternen Datenabgleich, trägt andererseits aber auch zu einer elementaren Entkopplung von der externen Realität bei. <sup>353</sup>

## 10.5 Resümee: Optimierung neuronaler Strukturen nach Kriterien von Poincarés Fundamenten der Geometrie

Gemäß vorangegangener Überlegungen wäre das binokulare Betrachten fester Körper und das mit ihnen bewegungsspezifisch verbundene Schauspiel der Perspektiven einflussreich daran beteiligt, die dafür notwendigen visuokognitiven Strukturen in einem rekursiven Zirkel zu schaffen und/oder zu stabilisieren. Für Gerhard Schurz gehört Rekursivität zu den essentiellen Merkmalen evolutionärer Prozesse. <sup>354</sup> So kommt zur physikalischen auch eine neurokognitive Variante der Interpretation von Poincarés Objekt als ein Etwas, das durch ein „lien constant“ „zusammengekittet“ ist und der feste Körper bildet nicht nur ein Fundament von Geometrie,

---

<sup>352</sup> Cf. Binocular rivalry

<sup>353</sup> „**Transduktion** - Wandelt einen Reiz (z.B. Schall) in ein elektrisches Signal um, das vom Nervensystem weitergeleitete werden kann...“ (Gegenfurtner, 2011, S. 127)

**Transformation** – Durch sie wird das von den Sinnesorganen erzeugte analoge Signal (stufenlose Spannungsänderungen) in ein digitales Signal (Aktionspotentiale) umgewandelt.“ (Gegenfurtner, 2011, S. 127)

<sup>354</sup> „Algorithmische Prozesse sind rekursiv (bzw. iterativ), d. h. dieselbe Sequenz von einfachen Schritten (vgl. a bis d oben) wird immer wieder auf das zwischenzeitlich produzierte Ergebnis angewandt. Aus sehr vielen hintereinander gereihten lokalen Schritten dieser Art entsteht so nach und nach ein globales Entwicklungsergebnis, das keineswegs schon aus der „inneren Natur“ der lokalen Schritte ablesbar und oft genug auch nicht mathematisch vorausberechenbar ist, sondern nur evolutionär verstanden und erklärt werden kann. Diese Rekursivität ist in der Tat das Geheimnis aller evolutionären Prozesse. Sie führt dazu, dass aus der Iteration von erstaunlich simplen Grundelementen hochgradig komplexe Strukturen entstehen, die dann so aussehen, als hätte sie ein „überlegener Designer“ entworfen.“ (Schurz, 2011, S. 133)

sondern wird als Objekt visueller Wahrnehmung gemäß binokularer Summation auch zu einem mitgestaltenden Faktor des Konnektoms und daraus resultierender kognitiver Potentiale.

Die von Zeki (2015) hervorgehobene einflussreiche Position von MT/V5 als eine „separate visual area“ kann im Kontext dieser Arbeit als Indiz bzw. Bestätigung dafür gedeutet werden, dass jene Zusammenhänge von visueller Wahrnehmung und Bewegung, die Poincaré als fundamentale Aspekte von Geometrie geltend macht, auch in biologischer Hinsicht von so elementarer Bedeutung sein dürften, dass im Zuge evolutionärer Prozesse bei der Enzephalisation der Wahrnehmung ein speziell auf diesen Komplex ausgerichtetes Koordinationsareal entstanden ist.<sup>355</sup>

Wenn also der visuell wahrnehmbare feste Körper im konstruktivistischen Sinn einen effizienten Faktor der Strukturierung des Konnektoms bildet und im rekursiven Wechselspiel mit dessen Verarbeitungsregeln genuin kompatibel ist, dann kann man die „corps solides“ in Allusion an Poincarés „commode“ und konvergent mit Ladymans „pragmatical devices“ auch als „bequeme“ Konstrukte zur Interaktion mit der externen Realität bezeichnen; und sie können als geradezu paradigmatischer Rahmen gelten, den wir der externen Realität aufdrängen und diese so zu einer durch Objekte strukturierten Umwelt konfigurieren. So gesehen kann man unterstellen, dass unser visuokognitives System signifikant auf diskrete Objekte ausgerichtet ist.

## 11 KOPARTIMENT Poincarés monokularer Zugang zu bewegungsinduzierter Räumlichkeit korreliert mit erweitertem Begriff des Sehens

Obwohl die Leistungssteigerung durch binokulare Summation<sup>356</sup> für eine frontale Position von Augen spricht, so sind mit dieser auch Probleme verbunden. Schon in vorangegangenen Abschnitten wurde darauf hingewiesen, dass aus evolutionärer Sicht das komplexe Zusammenspiel fovealen Sehens, Blickkoordination frontaler Augen und die Fusion divergierender Bilder zu einem homogenen räumlichen Perzept keinesfalls so selbstverständlich sind, wie uns dies normalerweise als alltäglich wahrgenommenes Phänomen der Fall zu sein scheint.

Weil in diesem Komplex z.B. auch noch binocular rivalry und das zweidimensionale Netzhautbild eine nicht zu unterschätzende Rolle spielen, wird diesen Zusammenhängen hier noch detaillierter nachgegangen, um zu zeigen, dass über den Aspekt Bewegung auch genuine Affinitäten zwischen der Evolution eines symmetrischen Körpers mit beweglichem Kopf sowie frontalem Augenpaar und Poincarés Fundamenten von Geometrie aufgezeigt werden können.

Kompatibel mit Poincaré werden (dazu) besonders die Rolle von Augenbewegungen und Muskelsinnen mit Hinweis auf Bells erweitertes Modell räumlichen Sehens und Bechterews Aspekt der Erinnerung an die Bewegungsabfolge zum Erreichen eines Objektes als Komponenten der Raumvorstellung weiter ausgebaut.

---

<sup>355</sup> Das passt zu Poincarés Aussage: „. Die natürliche Zuchtwahl mußte diese Erwerbungen um so schneller herbeiführen, je notwendiger sie sind.“ (Poincaré, 1914, S. 90)

<sup>356</sup> Cf. binocular facilitation

### 11.1 Muskelsinne, Lokalisation, Okulomotorik, erweiterter Begriff des Sehens (Bell), räumliche Auflösung projektiver Ambivalenz usw.

Die nachfolgende Assemblage von Zitaten und Assoziationen umkreist Poincarés Konzept der Bewegung und bezieht sich vor allem auf die Auflösung projektiver Ambivalenz. Die Überlegungen unterstellen, dass diese Ambivalenz eine spezifische und evolutionär relevante Herausforderung für das neurokognitive System von Lebewesen darstellt, deren Interaktion mit der Umwelt vorwiegend auf Basis eines visuellen Fernsinns mit Augen unserer Bauart getragen wird. Bewegungsparallaxe einerseits und die Disparität der Netzhautbilder frontaler Augenpaare andererseits werden als Pole von Lösungsvarianten angesehen, zwischen denen es zahlreiche Abstufungen und Kombinationsmöglichkeiten gibt. Auch wenn man aus prinzipiellen Gründen nicht von einer linear verlaufenden Entwicklung ausgehen kann, wird hier aus methodischen Gründen eine Reihenfolge dargestellt, die von großräumigen Bewegungen des gesamten Körpers ausgehend via Modifikation des Körperbaus durch einen Hals und des entsprechenden Potentials für Kopfbewegungen bis zu Konvergenzbewegungen frontaler Augen führt. Das steht in Relation zu einer gezielten Verlagerung des Schwerpunkts der Aufmerksamkeit mit einer spezifischen Fokussierung auf wenige Objekte im Nahbereich, die mit hohem räumlichem Auflösungsvermögen wahrgenommen werden. Es wird angenommen, dass für motile Lebewesen sowohl die Leistungen zur kompensativen Verrechnung der Eigenbewegungen, sei es des gesamten Körpers oder jener der Augen, als auch die Anforderungen an das neuronale System zum Abgleich der korrespondierenden Bilder beider Augen einen umfänglichen, wenn nicht dominanten Beitrag zur Enzephalisation der Wahrnehmung leisten. Dies kann einerseits zur effizienten Mehrwert-Konstruktion der phänomenalen Erscheinung stereoskopischer dreidimensionaler Wahrnehmung führen. Andererseits wird angenommen, dass wegen der dafür notwendigen Konstruktionsprozesse zur Lösung des Bindungsproblems dislozierter multimodaler Daten und wegen der notwendigen Interpolation von bestehenden Gedächtnisinhalten (z.B. sakkadische Suppression, sakkadisches Gedächtnis) die Entstehung eines neuronalen Netzwerks mit so hoher Komplexität forciert wurde, dass durch eine Eigendynamik des Gehirns auch emergente kognitive Potentiale zur Bildung von abstrakten Konzepten entstehen konnten, die nicht mehr unmittelbar an die phänomenale Struktur der Wahrnehmung gebunden sind.<sup>357</sup> Wenn man es so nennen will, kann man das als ein Potential für ein transphänomenales Vorstellungsvermögen geltend machen, das auch die Möglichkeit der Entwicklung geometrischer Konzepte einschließt, die nicht mehr a priori durch Dreidimensionalität determiniert sind.

Die hier propagierte Hypothese will die vielfältigen Faktoren geltend machen, die aus Sicht evolutionärer Forschung vermutlich oder nachgewiesenermaßen das Größenwachstum und vor allem die Komplexität von Gehirnen fördern und dabei dem visuellen System besondere Bedeutung zumessen. Innerhalb des generell starken Einflusspotentials eines visuellen Systems mit Augen unserer Bauart ist der spezifische Schwerpunkt dieser Arbeit auf den systemtypischen Problemkomplex projektiver Ambivalenz ausgerichtet und wird die Ansicht vertreten, dass Bewegung für die Auflösung projektiver Ambivalenz einen fundamentalen Faktor bildet. Damit soll gemäß dem Thema dieser Arbeit als ein Ergebnis zum Ausdruck gebracht werden, dass durch den Faktor Bewegung die evolutionären Konzepte<sup>358</sup> zur Auflösung projektiver und anderer Ambivalenzen mit einem zentralen Punkt in Poincarés

---

<sup>357</sup> Cf. Small-World- Networks

<sup>358</sup> Bewegungsparallaxe, Konvergenz



Ansatz kompatibel sind. Visuelle Wahrnehmung ist gerade auch unter diesem Aspekt fundamental geometrieaffin.

Ein markantes Statement, mit dem Berthoz in einem Kapitel unter dem Titel « Lever les Ambigüités » viele optische Täuschungen als Konsequenz spezialisierter Systeme zur Lösung von ambivalenten Perzepten interpretiert, wirkt diesbezüglich motivierend und bestätigend; durch die Formulierung „trouvées par le cerveau“ auch bezüglich der Aspekte Enzephalisation, Eigendynamik und top-down Einflüsse auf das Perzept :

«De mon point de vue, nombre d'illusions sont des solutions trouvées par le cerveau pour résoudre des problèmes d'ambigüité perceptive. Ce sont de véritable décision qui simplifient la neuro-computation et permettent l'action » (Berthoz, 2009, S. 96)

Im Anschluss geht Berthoz ausdrücklich auf das kognitiv fordernde Problem der Entschlüsselung des bewegungsinduzierten Formwandels der Erscheinung von Objekten ein und fasst dabei mit ausdrücklicher Referenz auf Poincaré zusammen:

„Cela implique des mécanismes de détection de la covariation entre mon mouvement et la déformation des objets. » (Berthoz, 2009, S. 96) <sup>359</sup>

#### 11.1.1 Moving eyes moving brain moving eyes...

Poincaré folgend bezieht sich also ein Schwerpunkt der anschließenden Überlegungen auf **Augenbewegungen**, die unter zwei Aspekten in Betracht gezogen werden:

1 Als Bewegungskomponente des räumlichen Sehens, die über Muskelsinne usw. mit dem von Poincaré angesprochen Modell der Kompensation vielfältig verflochten ist.

2 Als intentionale Augenbewegungen mit deiktischen Potentialen der Blickgestik als Mittel der Koordination kooperativer Objektmanipulation. Das von Rötzer (2006), Tomasello (2006) und anderen in Betracht gezogene Konzept „kooperative Augen“ bietet gemeinsam mit dem von Müller° V. et al.) (2011?) untersuchten Phänomen „Interactive brains“ einen erkenntnistheoretischen Anknüpfungspunkt.

Poincaré postuliert die Kenntnisnahme der Konzepte von anderen vernünftigen Wesen als eine der Grundlagen von Objektivität (cf. Poincaré 1910, S. 197). Mutatis mutandis wird hier nahegelegt, diese mit Kooperation und Blickkontakten einhergehenden, intersubjektiv koordinierten neuronalen Prozesse gegebenenfalls als Äquivalente im Sinn des Etablierens einer Art von Objektivitätsmechanismus auf unbewusster Ebene ins erkenntnistheoretische Kalkül mit einzubeziehen.

---

<sup>359</sup> Cf. Poincarés Unterscheidung Veränderung Zustand und Veränderung des Blickwinkels als Grundlage für Kompensation.

Der von Harold Kelly in ein sozialpsychologisches Attributionsmodell integrierte Ausdruck „**Covariation**“ ist in der Art der Anwendung durch Berthoz ein sehr tragfähiger Begriff, um einen fundamentalen Faktor in Poincarés Ansatz elegant auf den Punkt zu bringen. Im Zuge dieser Arbeit wird Kovariation koinzidenter Gruppen heterogener Stimuli als hochselektives Kriterium bei der Objektkonstruktion durch Detektion von Invarianten angesehen, das auch als kompatibel erscheint mit Poincarés Strukturalismus und seinem Betonen von Relationen. Cf. Lorenz, Uexküll: „Ein Gegenstand ist, was sich zusammen bewegt.“

## 11.2 Fixer Augenabstand statt vielfältig variabler Eigenbewegung macht Bildauswertung leichter „berechenbar“<sup>360</sup>

An anderer Stelle wurden geringe Strahlungstoleranz von Eiweiß bzw. DNA, Sensibilität für Licht, gezielte Fortbewegung (Motilität) und damit verbundene neurokognitive Herausforderungen als zusammenwirkende Faktoren geltend gemacht, die zur Enzephalisation der Wahrnehmung und damit zur Entstehung jener komplexen kognitiven Potentiale beitragen, die auch Grundlage der Bildung geometrischer Konzepte und generell für Erkenntnisfähigkeit sind.

Für motile Lebewesen mit dominanter Rolle von Linsen-Augen, die auf eine Netzhaut projizieren, kommt neben der ebenfalls schon angesprochenen prinzipiellen Problematik der projektiven Ambivalenz noch dazu, dass Positions- und Formveränderungen des Netzhaubildes in Folge von Relativbewegungen wegen der vielen möglichen Variablen eine möglichst eindeutige Auswertung dieser Daten erheblich erschweren. In diesem Gemenge von Faktoren bietet die Klärung der allfälligen Eigenbewegung des wahrnehmenden Subjekts eine deutliche Vereinfachung des Ambivalenz-Problems und unterstützt somit rasche und präzise Handlungsfähigkeit.

Die Klarheit über den Status der Eigenbewegung ist für die Lokalisation externer Objekte und deren Ablösung vom Hintergrund, die Konzentration auf diese Objekte z.B. durch Blickfolgebewegungen und auch für die Interpretation der perspektivischen Formvarianz der aktuellen Erscheinung dieser Objekte bedeutsam.

## 11.3 Via Unterscheidung der Ursachen von Formveränderungen der Erscheinung fester Körper zur Idee des Raumes

Im Ansatz Poincarés nimmt die Kompensation bewegungsinduzierter Formveränderung unter Berücksichtigung allfälliger Eigenbewegungen des Betrachters eine mehrfach explizierte Schlüsselposition ein, die geradezu als ein archimedischer Punkt seiner Fundamentierung von Geometrie gelten kann. Diesbezügliche Passagen finden sich z.B. in *Wissenschaft und Hypothese*, *Wert der Wissenschaft* und nicht zuletzt in *Letzte Gedanken* (cf. Poincaré, 1913, S. 77).

Seine Argumentation zur Verankerung unserer Idee des Raumes leitet Poincaré mit einer Suggestivfrage ein, die von ihm auch gleich darauf beantwortet wird:

„...wie konnte die Idee des geometrischen Raumes entstehen, wenn sie sich nicht von selbst unserem Verstande aufzwingt und wenn auch keine unserer Empfindungen sie uns zu liefern vermag?...Keine unserer Empfindungen würde für sich allein uns zur Idee des Raumes führen können; wir sind zu derselben nur durch das Studium der Gesetze gekommen, nach welchen diese Empfindungen aufeinander folgen.“ (Poincaré, 1906, S. 59)

Als wesentliche Möglichkeit zur Unterscheidung von Veränderungen der Form des Bildes eines Objekts auf der Netzhaut macht Poincaré die Alternative geltend, das Objekt habe seinen Zustand oder nur seine Stellung verändert. Wenn sich Formveränderung durch entsprechende

---

<sup>360</sup> Vorbehaltlich anderer Probleme, die mit dem Bildabgleich frontaler Augen einhergehen. Cf. binocular rivalry usw.

Ausgleichsbewegungen des Betrachters kompensieren lässt, dann handelt es sich um einen festen Körper, der infolge einer Änderung der relativen Lage nur aktuell anders erscheint.<sup>361</sup>

Dieses Kompensationsmodell setzt ein zumindest über gewisse Zeit formstabiles Objekt voraus und führt konsequent auch zu dem legendären Satz:

„Wenn es also keine festen Körper in der Natur geben würde, so hätten wir keine Geometrie“  
(Poincaré, 1906, S. 63)

Die Integration der Eigenbewegung in die Auswertung des Schauspiels der Perspektiven trägt wesentlich zur Unterscheidung bei, ob es sich um eine zustandsbedingte oder bewegungsinduzierte Veränderung der Erscheinung handelt. Das unterstützt bzw. erfordert die Identifikation von Objekten und das Erkennen der Ursache sowie von Gesetzmäßigkeiten des Formenwandels

#### 11.4 Poincaré: Durch Auswertung der Muskelsinne auch monokularer Zugang zum dreidimensionalen Raum

Dieses hier als Überschrift zusammengefasste Konzept Poincarés<sup>362</sup> beinhaltet bzw. braucht ein formstabiles Referenz-Objekt/festen Körper, einen hochauflösend formbegrenzenden Fernsinn<sup>363</sup>, Wahrnehmung der Eigenbewegung bzw. der Raumlage des Betrachters, Kriterien zur Einschätzung der Eigenbewegung (z.B. Muskelempfindungen) sowie das Potential zur Integration und zum Abgleich multimodaler Daten (der Augen, des vestibulären Gleichgewichtsorgans, der Muskeln) in einem komplexen zentralen Nervensystem.<sup>364</sup>

Besonders bedeutsam sind im Modell Poincarés ein „Gedächtnis“ und ein Erkennens- bzw. Vorstellungsvermögen für Wiederholungen bzw. Reihenfolgen, und dies ist ein Umstand, der mit seinem impliziten Anspruch an komplexere kognitive Potentiale auch die Enzephalisation der Wahrnehmung verstärkt in den Fokus rückt.

„Wir dürfen uns andererseits nicht eine Gesamtheit gleichzeitiger Empfindungen vorstellen, sondern eine Gesamtheit von sukzessiven Empfindungen, welche in bestimmter Ordnung aufeinander folgen, und darum behauptete ich vorhin, daß die Vermittlung durch das Gedächtnis notwendig sei.“  
(Poincaré, 1914., S. 92)

So an ein Gedächtnis gebundenes Potential zur Vorstellung von Reihenfolgen betrifft nicht nur die formbezogene Identifikation eines Objekts durch Auswertung sukzessiver Änderungen der Form des Erscheinungsbildes gemäß bewegungsinduziertem Wechsel der Perspektive. Die Erfahrung der regelmäßigen Wiederkehr derartiger Formveränderungen bildet auch eine Grundlage für Poincarés Satz über den fundamentalen Zusammenhang von festen Körpern und Geometrie.

##### 11.4.1 Poincaré, Bechterew: Lokalisation durch Vorstellung der Bewegungsabfolge

Die Fähigkeit zum Erkennen von Reihenfolgen und das Vorstellungsvermögen für wiederholbare Bewegungsabläufe ist über die Formbestimmung hinaus auch Grundlage für die **Lokalisation** von Objekten im Raum.

---

<sup>361</sup> „...bei der ersten Bewegung muß sich das äußere Objekt so verschieben, wie ein unveränderlicher Körper, und das Gleiche muss für die Gesamtheit unseres Körpers bei der zweiten Bewegung gelten, welche die erste korrigiert. Unter diesen Bedingungen kann sich die Kompensation vollziehen.“ (Poincaré, 1906, S. 62)

<sup>362</sup> Cf. (Poincaré, 1906, S. 70 f.) Zitat in Glossar: >Schauspiel der Perspektiven

<sup>363</sup> Bezügl. fester Körper/Licht vgl. Poincaré, 1913. S. 38

<sup>364</sup> Cf. Anhang: Kap. Stationarität

„Wir definieren einen Punkt durch die Reihenfolge von Bewegungen, die man machen muß, um ihn von einer bestimmten Anfangslage unseres Körpers aus zu erreichen.“ (Poincaré, 1914, S. 93)<sup>365</sup>

Bei Leuschina (1979) findet sich ein historisch bemerkenswerter Hinweis auf ein Modell des russischen Neurophysiologen und Psychiaters Bechterew, das eine hohe Kompatibilität mit den Überlegungen Poincarés aufzuweisen scheint. Ob ein direkter Zusammenhang besteht wurde hier nicht recherchiert.

„ Aus der Zeit des Wirkens Bechterews (1884) stammt die Ansicht, daß die räumlichen Vorstellungen mit dem Behalten entsprechender Bewegungsprogramme verbunden sind...“ (Leuschina 1979, S. 153)

Leuschina setzt mit zwei möglichen Optionen über die neurologischen Grundlagen räumlicher Vorstellung fort:

„Wenn das Objekt nicht nur in der frontalen Fläche des Gesichtsfeldes des Auges seine Lage geändert hat, sondern auch in der Tiefe, werden auch entsprechende Neurone der Querdissipation erregt und es entstehen Konvergenzbewegungen. Deshalb kann man sich theoretisch vorstellen, daß die Informationsverarbeitung im visuellen System mit der Umchiffrierung der Beschreibung der räumlichen Objektmerkmale in entsprechende motorische Programme der Augensakkade, der Konvergenz, der Akkommodation und der Folgebewegungen abgeschlossen wird, die im Gedächtnis als räumlich Vorstellungen gespeichert werden. Somit sind zwei Hypothesen über die Mechanismen der räumlich visuellen Vorstellungen möglich: Als räumliche Vorstellungen werden im Gedächtnis die motorischen Programme der Augenbewegungen gespeichert, oder, im Gedächtnis werden die Erregungscharakteristiken der Ausgangsneurone der spezialisierten rezeptiven Felder des visuellen Systems gespeichert.“ (Leuschina 1979, S. 153)

Leuschina hält fest, dass ihm bis dato keine überzeugenden Indizien zur Entscheidung darüber bekannt sind, welche der Hypothesen zutrifft.

Für den hier verfolgten Zusammenhang ist diese Frage aber insofern weniger bedeutsam, als es ja nur darum geht, die Affinität von Poincarés Überlegungen zu neurowissenschaftlichen Forschungen und Modellbildung über Wahrnehmung und damit verbunden kognitive Potentiale aufzuzeigen.<sup>366</sup> Zu Gunsten von Poincarés Hinweis auf die notwendige Vermittlung durch das Gedächtnis kann man wohl in Anlehnung an Saint-Exupéry sagen: Man sieht nur mit Gedächtnis gut.

Auch Körber zieht in seiner Untersuchung über „Augenbewegungen bei der Betrachtung und Vorstellung komplexer visueller Szenen“ ins Kalkül, dass die regelhafte Abfolge von Augenbewegungen sowohl beim tatsächlichen Betrachten als auch beim Vorstellen von Objekten bzw. Szenen eine tragende Rolle spielen:

„Die Methode der Messung von Augenbewegungen mit den daraus resultierenden scanpaths, der sequenziellen Abfolge von Fixationen und Sakkaden, geht auf ein von Noton und Stark (1971a-c) entwickeltes Konzept der seriellen Bildwahrnehmung zurück („Scanpath-Theorie“). Demnach machen visuelle Wahrnehmung, Vorstellen und Erkennen im Wesentlichen die regelhafte Abfolge von motorischen (Sakkaden) und sensorischen Schritten (Fixationen) innerhalb des Scanpaths aus. Die

<sup>365</sup> Cf.: „Das, worauf es also ankommt, sind die Bewegungen, die man ausführen muss, um irgendein bestimmtes Objekt zu erfassen, wobei das Bewußtsein von diesen Bewegungen für uns nichts anderes ist, als die Gesamtheit der Muskelempfindungen, die sie begleiten.“ (Poincaré, 2013a, S. 78)

<sup>366</sup> Bezogen auf die Überlegungen Poincarés kann wohl Leuschinas erste Hypothese mit dem Konzept der Speicherung der „motorischen Programme“ als besonders kompatibel angesehen werden, aber auch ein Zutreffen der zweiten Hypothese, die von einer Speicherung der „Erregungscharakteristiken“ ausgeht, würde Poincarés Modell nicht prinzipiell konterkarieren, weil es ja keine unmittelbaren Aussagen darüber macht, in welcher Form die neuronalen Prozesse der Speicherung bzw. der kognitiven Leistungen erfolgen. Vielmehr beziehen sich die Aussagen Poincarés darauf, welche Komponenten in die Überlegungen integriert werden müssen. Und diese Komponenten in Form von Augenbewegungen kommen in beiden Optionen Leuschinas zentral zur Geltung.

systematischen bild- bzw. probandenabhängigen Scanpaths führten in der Folge zur so genannten „Feature-Ring-Hypothese“. Hierbei wird angenommen, dass ein betrachtetes Objekt intern durch seine Hauptmerkmale und die Augenbewegungen, die notwendig sind, um von einem Merkmal (feature) zum nächsten zu gelangen, repräsentiert wird. Demnach entspricht der Prozess des (Wieder-) Erkennens dem zyklischen Durchlaufen eines sog. „Feature-Rings“. Ausgehend von den während einer Bildbetrachtung erhaltenen scanpaths (visuelle Wahrnehmung) beschäftigten sich Brandt und Stark (1997) mit gemessenen Augenbewegungen während der Vorstellung zuvor gesehener einfacher Bildmuster. Während der Vorstellung eines zuvor bereits gesehenen Musters konnten scanpaths aufgezeichnet werden, die denen der Musterbetrachtung ähnelten.“ (Körper, 2003, S.17 f.)

Diese von Körper referierte „Feature-Ring-Hypothese“ erscheint in hohem Maße als kompatibel mit Berthoz und Poincarés Überlegung zur Definition eines Punktes im Raum mit Hilfe der Vorstellung über die notwendigen Bewegungen ihn zu erreichen.<sup>367</sup> Dieses Modell hat darüber hinaus den besonderen Reiz, dass dabei die von Poincaré so vielfältig als bedeutsam genannten Augenbewegungen nicht nur bei der Lokalisation, sondern schon als eine Art visueller Abtastbewegung beim Analysieren bzw. Identifizieren des Objekts eine explizite Rolle spielen, die auch in die Vorstellung involviert sind.

Damit bildet dieser Zusammenhang von Augenbewegungen mit (räumlichen) Vorstellungen auch eine Grundlage für die an anderer Stelle thematisierten deiktischen Potentiale der Blickgestik zur nonverbalen Kommunikation und räumlichen Koordination mit einem Visavis.<sup>368</sup>

#### 11.4.2 Dimensionen gemäß Gruppenkriterien von Bewegungsabfolgen

Poincaré ist es auch wichtig, klar zu machen, dass, ausgehend von einer bestimmten Eigenposition, unterschiedliche Bewegungsabfolgen zum selben Punkt im Raum führen können. Poincaré verknüpft dies sogar mit der Frage nach der Anzahl von Dimensionen des Bewegungsraumes und kommt zum Ergebnis, dass für die Handlungssteuerung drei Dimensionen die günstigste Lösung bieten. Weil durch drei Dimensionen einerseits eine genügend klares Differenzieren der Abfolge von Bewegungsgruppen möglich ist, um Ambivalenzen zu reduzieren und zu ausreichend klaren Entscheidungen finden zu können. Andererseits bleibt das Ausmaß an Unterscheidung so gering, dass in diesem Rahmen von drei Dimensionen noch unterschiedliche Gruppen von Bewegungsabfolgen als kongruente Möglichkeiten zum Erreichen eines Punktes zusammengefasst werden (können)

"Aber das Wort **bequem** ist vielleicht nicht stark genug; ein Wesen das dem Raume zwei oder vier Dimensionen beigelegt hätte, würde sich in einer Welt gleich der unseren im Nachteil beim Kampf ums Dasein befinden" (Poincaré, 1913a, S. 86)

" Dem Raume vier Dimensionen zuzuschreiben hieße andererseits, Kongruenzen zurückzuweisen, die wir anderen anerkennen; man würde sich damit der Möglichkeit berauben, an Stelle der Bewegungen S andere Bewegungen S' zu setzen, welche ebensogut den Zweck erfüllen und unter bestimmten Bedingungen besondere Vorteile mit sich bringen können." (Poincaré, 1913a, S. 87)<sup>369</sup>

So ist Bewegung nach Poincaré nicht nur ein fundamentaler Faktor für die Individualisation von Objekten, sowohl hinsichtlich ihrer Lokalisation als auch bezüglich ihrer Identifikation durch Formbestimmung im Rahmen des Schauspiels der Perspektiven. Damit zusammenhängend

<sup>367</sup> Cf. Embodiment. Cf. Poincaré, 1914, S. 87, Wiss. Method: Kapitel „ Die Relativität des Raumes“. Cf. Glossar > Enaktivismus

<sup>368</sup> Cf. Kooperative Augen

<sup>369</sup> Cf. Berthoz: "Poincaré said: „To imagine a point in space is to imagine the movement to make it“ (Berthoz Video). Cf. (Poincaré. 1906, S. 59)

wird Bewegung in Poincarés Konzept aber auch zum Kriterium für die günstige Anzahl von drei Dimensionen des Bewegungsraumes und des darauf bezogenen Wahrnehmungsraumes.

### 11.5 Im Rahmen einer Naturalisierung der Erkenntnis sind alle Elemente eines Ansatzes zu hinterfragen

Dieser Ansatz enthält diverse Elemente, wie z.B. den scheinbar trivialen Begriff Objekt, die als mehr oder weniger bewusste Hintergrundphänomene unsere Wahrnehmung und unser Vorstellungsvermögen geradezu paradigmatisch beeinflussen und die Tendenz haben, apriorisch zu wirken. Jedes einzelne dieser Elemente wirft eine Reihe von Problemen auf, wenn man versucht, es zu hinterfragen und ihm dabei vor allem auch aus evolutionärer Perspektive tiefer auf den Grund zu gehen, wie es Poincaré nicht nur getan, sondern auch als legitimes Prinzip geltend gemacht hat.

Poincaré betont nämlich ausdrücklich eine Haltung und einen Anspruch zu Gunsten einer prinzipiellen Hinterfragbarkeit, die trotz aller Schwierigkeit auch für ein evolutionäres Apriori gelten müsse:

„Es ist möglich, aber es ist schwer, weil wir eine Menge Ideenverbindungen zu bekämpfen haben, die die Frucht einer langen persönlichen Erfahrung und der noch längeren Erfahrung des Menschengeschlechtes sind. Machen vielleicht diese Ideenverbindungen, wenigstens soweit wir sie von unseren Vorfahren geerbt haben, diese Form a priori aus, von der wir, wie man sagt, die reine Anschauung haben sollen? Dann sehe ich nicht ein, warum man sie als der Analyse widerstrebend ansehen und mir das Recht, ihren Ursprung aufzusuchen, verweigern sollte.“ (Poincaré, 1910, S. 97f.)

Mit diesem Apell vertritt Poincaré eine erkenntnistheoretische Haltung, die sich mit Janichs Ausdruck der „Naturalisierung der Erkenntnis“ beschreiben lässt. (Cf. Janich, 2000, S. 60 ff.)

Zu den prominenten Elementen, die folglich zu hinterfragen sind, gehören:

#### **Element visueller Fernsinn**

Das visuelle System als Fernsinn mit dem spezifischen Potential zu präziser Formbestimmung, wurde an anderer Stelle vielfältig thematisiert.

#### **Element fester Körper**

Der Komplex fester Körper wird an anderen Stellen aus verschiedenen Perspektiven problematisiert und wird daher hier nur der Vollständigkeit halber als Stichwort genannt.

#### **Komplex Muskelsinne/Eigenbewegung/ Augenbewegungen**

Die Wahrnehmung der **Eigenbewegung** muss über das visuelle Feedback hinausgehen, wenn bei formverändernden Relativbewegungen über das sichtbare Wechselspiel mit dem Ambiente hinaus auch die Relation zum Betrachter präziser bestimmbar werden soll. Verbunden mit dem Aspekt der Eigenbewegung zur Formbestimmung sowie zur Lokalisation externer Objekte kommen folglich auch die **Muskelsinne** als eine Komponente der **Selbstwahrnehmung** ins Spiel.<sup>370</sup>

Poincaré bezieht das Modell der Lokalisation eines Punktes/Objekts zunächst auf die Bewegung der Gliedmaßen und die Vorstellung der Muskelempfindungen, die verursacht

<sup>370</sup> Cf. Anhang, Kap. Stationarität. Cf. Ähnlich wie Eisenbahntäuschung, wenn bei die Eigenbewegung nicht ausreichend kompensativ verrechnet wird.

werden, wenn durch eine bestimmte Bewegungsabfolge der Beine und Arme ein Objekt erreicht werden soll.

Neben diesem sehr manifesten Aspekt einer Lokalisation, welche vom Modell der Greifbewegungen und den damit verbundenen Eindrücken der willkürlichen Skelettmuskulatur ausgeht, verfolgt Poincarés Ansatz ganz besonders die bewegungsinduzierte Formveränderung des Erscheinungsbildes, also die visuellen Aspekte, die sich aus dem „**Schauspiel der Perspektiven**“ erschließen lassen (cf. Poincaré, 1906, S. 70 f.).

Diese Auswertung der Perspektiven betrifft zwar ebenfalls die Lokalisation, führt aber weit darüber hinaus auch zur formbestimmenden Identifikation des Objekts auf größere Distanz.

Wenn man unter diesen Prämissen Poincaré folgend bei den Fundamenten der Geometrie und der Vorstellung von Raum die Sensitivität für Licht, visuelle Wahrnehmung mittels Augen unserer Bauart und feste Körper als notwendige Referenzobjekte bewegungsinduzierter Formveränderung (vgl. Kompensation) in ein zusammenhängendes (erkenntnistheoretisches) Modell integrieren will, dann stellt sich gerade vor dem Hintergrund projektiver Ambivalenz auch die Frage nach der speziellen Rolle der **Augenbewegungen**. Diese sind nicht nur hinsichtlich der mit Fragen der Aufmerksamkeit verbundenen Blickfolgebewegungen bedeutsam, sondern auch bezüglich der allfälligen Rolle der Muskelempfindungen für die Genese eines räumlichen Perzepts.

Damit gerät man aber rückblickend auf heikles Terrain, weil die Frage der Muskelsinne im (damals) zeitgenössischen Umfeld sehr kontrovers diskutiert wurde.<sup>371</sup>

Poincaré hat zur Kompensation des von ihm konstatierten Defizits des Sehsinns die Augenmuskeln und die damit verbundenen Muskelempfindungen sehr diffizil in seine Überlegungen einbezogen. Nicht zuletzt wohl deshalb, weil gegebenenfalls ein z.B. mit den Muskelempfindungen schon auf Basis evolutionärer Genese direkt verbundener „**Raumsinn**“ seine Bemühungen konterkariert hätte, eine determinierende Endgültigkeit der phänomenalen Dreidimensionalität zu hinterfragen und andererseits die realitätsbezogen relevante Möglichkeit von alternativen Geometrien zu etablieren.

#### 11.6 Von Steinbuch, Müller\*, Bell und Tourtual bis Poincaré: Das Problem der Erziehung der Sinne und die Rolle der Augenmuskeln für die Konstruktion eines homogenen räumlichen Perzepts

In Poincarés konstruktivistischem Konzept der Genese von Raum spielen Muskelempfindungen eine essentielle Rolle.

---

<sup>371</sup> Über Stumpfs Kritik an der Bewertung der Rolle der Muskelsinne für die Raumwahrnehmung schreibt Margret Kaiser-El-Safti:

„Hatte Kant ausschließlich den visuellen Sinn berücksichtigt, so wurde im Anschluß an Berkeley...Stumpf...dem Tast-Bewegungs- und Muskelsinn die Hauptrolle übertragen. Stumpf widmete dieser neuen °Muskelidee°, die vornehmlich von Bain detailliert ausgearbeitet wurde, eine ausführliche und scharfsinnige Analyse, °pflegt man ja jetzt alles Heil für die Gesichtserkennung von dieser Seite zu erwarten° (1873, S. 67) Die Kritik galt hauptsächlich der Destruierung der *erkenntnistheoretischen* Relevanz dieser °phänomenalistischen° Theorie. Stumpf hatte lebenslang gegen die auch in Deutschland vornehmlich durch E. Mach verbreitete ....Akzeptanz dieser Theorie gekämpft...Nach Stumpf kann der Muskelsinn nur einen *bescheidenen* psychologischen und *gar keinen* erkenntnistheoretischen Erklärungswert beanspruchen.“ (Kaiser-El-Safti, 2001, S. 333)

Es gab neben Mach weitere Protagonisten zu Gunsten der eigenständigen Bedeutsamkeit der Muskelsinne: „Diejenigen, die dagegen an der Theorie von einem eigenen Muskelsinn festhielten, beriefen sich entweder auf den Nachweis sensibler Nervenfasern im Inneren der Muskeln (so z.B. Erst Heinrich Weber und Charles Bell) oder verwiesen auf dem Muskelsinn eigentümliche Sinneseindrücke.“ (Jütte, 2000, S. 241)

„Die Gesichtsempfindungen haben also ohne die Muskelempfindungen nichts Geometrisches, so dass man sagen kann, es gibt keinen reinen Sehraum.“ (Poincaré, 1910, S. 68).

An anderer Stelle dieser Arbeit wird nahegelegt, dass die räumliche Auflösung projektiver Ambivalenz nicht nur durch Bewegungsparallaxe auf Basis der Körper- oder Kopfbewegungen stattfinden kann, sondern durch binokulare Disparität und Vergenzbewegungen effizienter möglich ist.

Daher erscheint es als erwähnenswert, dass die Integration der Muskelstätigkeit in einen somit erweiterten Begriff des (räumlichen) Sehens schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts ventiliert wurde. In diesen Abhandlungen kommt mehrmals die Formulierung „Erziehung der Sinne“ und damit ein Ausdruck vor, den auch Poincaré wiederholt verwendet.<sup>372</sup> Dieser Ausdruck ist ein bedeutsames Signal für eine Auffassung, dass Wahrnehmung nicht eine unveränderliche Gegebenheit ist. Das ermöglicht das Einbeziehen von phylogenetischen und ontogenetischen Erfahrungen und deren neurokonstruktivistische Interpretation, z.B. Hebb'sches Lernen.

### 11.6.1 Müller

Bei Johannes Müllers Überlegungen zur Außenwelt spielt seine in Ansatz gebrachte „Erziehung der Sinne“ eine maßgebliche Rolle:

„Vor der Erziehung der Sinne, vor der Ausbildung anderer intellectueller Vermögen, auf der ursprünglichen Stufe, wo das Thier überhaupt nur als sensibel betrachtet werden kann, ist eine Trennung der inneren selbständigen Veränderungen in solche, welchen das Thier sich selbst Grund ist, und in solche, welche eine von dem Thier verschiedene Ursache der Erregung haben, nicht denkbar. Wie entsteht uns aber aus der Erziehung der Sinne das Bewußtseyn der äußeren Ursachen von inneren Veränderungen, welches im Anfang uns so heterogen, nach Erziehung der Sinne, nach der Ausbildung des Urtheils, so notwendig überzeugend uns wird, daß wir ohne die anstrengendste Abstraction immer gezwungen sind, unsere eigenen Sinnesaffectionen, welche unsere Sinnesenergien sind, für eine uns gegenüber mit uns im Kampfe stehende äußere Natur zu halten?“ (Müller\*, 1826, S. 40 f.)

Im Umfeld seiner Überlegungen kommt Müller\* ausdrücklich auf ein Modell von Steinbuch zur Entstehung von Raumwahrnehmung zu sprechen. Müller\* grenzt sich von diesem Modell zwar kritisch ab, aber die von Steinbuch mit zentraler Bedeutung ausgestattete Rolle der Muskelsinne ist hier mit Blick auf Poincarés Darstellungen bemerkenswert.<sup>373</sup>

Müller\* referiert:

„Ein geistvoller und verdienstvoller Naturforscher, *Steinbuch*, hat die Vorstellung des Räumlichen in den Sinneserscheinungen den verschiedenen Sinnessubstanzen selbst abgesprochen und den mit den Sinnen verbundenen Bewegungsorganen zugetheilt. So empfinde die Netzhaut nicht das räumliche Nebeneinander der Objekte in den Bildern, sondern diese Perception werde durch die Contraction der Augenmuskeln vermittelt...Das Maß des Räumlichen in der Vorstellung sey durch das Maß der Muskelcontraction bestimmt...Alle Theile der Netzhaut stehen in Beziehung mit bestimmten Contractionsgraden der verschiedenen Augenmuskeln; und so, wird gesagt, sey durch die Erziehung des Gesichtssinns die Beleuchtung und Empfindung an bestimmten Stellen der Netzhaut in Beziehung auf ihre ganze Ausdehnung stillschweigend an das Bewußtseyn der jenen Stellen angehörigen

<sup>372</sup> Cf. Zitate an anderen Stellen dieser Arbeit, z.B. (Poincaré, 1906, S. 57.)

<sup>373</sup> Cf. „Die dritte Dimension wird uns auf zwei Arten offenbart: durch die Anstrengung beim Accomodieren und durch die Konvergenz der Augen.“ (Poincaré, 1906, S. 55)



Contractionsgrade oder, wie Steinbuch sich ausdrückt, Muskelideen geknüpft; wodurch die Vorstellung des räumlichen Nebeneinander im Gesichtsfelde entstehe.“ (Müller\*, 1826, S. 52 f.)

Müller\* weist dieses Modell kritisch zurück und nimmt dabei offenbar eine Kant sehr nahe stehende Position ein:

„Der Begriff des Raumes kann nicht erzogen werden, vielmehr ist die Anschauung des Raumes und der Zeit eine nothwendige Voraussetzung, selbst Anschauungsform für alle Empfindungen. Sobald empfunden wird, wird auch in jenen Anschauungsformen empfunden.“ (Müller\*, 1826, S. 54)

#### 11.6.1.1 Muskelsinne und (Augen-) Bewegungen spielen in den Ansätzen von Steinbuch und Poincaré eine bemerkenswerte Rolle.

Steinbuch selbst fasst nach detaillierten Darstellungen wie folgt zusammen:

„Ich sage daher, die Augen sind vorzüglich deswegen durch eigene Muskeln beweglich, dass durch selbstthätige Wirkungen der Seele auf sie nach und nach ein innerer Sehraum zusammengesetzt werde, in welchem wir künftig die einzelnen Lichtempfindungen, die von der Netzhaut ausgehen, nach bestimmten Regeln so versetzen lernen, daß das Ensemble der selben nicht nur als überhaupt, sondern als nach Art der Objektbilder auf der Netzhaut ausgedehnt, nach ihrer Form, relativen Größe, Lage, Richtung, Farbe etc. angeschauet werden müssen. Auf solche Art tritt das Gesicht des Menschen, als dessen zweyter ursprünglicher Raumsinn, mit dem Getaste desselben in die genaueste und schönste Uebereinstimmung, und ich werde nunmehr zu zeigen haben: auf welche Art und Weise der Mensch sich als Kind seinen innern Sehraum ursprünglich zusammensetzt?“ (Steinbuch, 1811, S. 153)

„Dass diese Verbindungen der einzelnen Netzhautpunkte mit entsprechenden Punkten des inneren Sehraumes nicht a priori gegeben seyn können, ist daraus klar, daß dieser innere Sehraum selbst erworben ist.“ (Steinbuch, 1811, S. 168)

Abgesehen davon, dass diese Passagen Steinbuchs zumindest in der Programmatik stark an Piaget erinnern, stellen sich hier jedenfalls auch Assoziationen zu Poincaré ein, der nicht nur den Augenbewegungen und den Muskelsinnen an diversen Stellen<sup>374</sup> eine bedeutsame Rolle zuschreibt. Affinitäten zum Ansatz von Poincaré können wohl auch daran geknüpft werden, dass, so marginal es wirkt, Steinbuch die Relativität der Größe, Lage usw. ins Spiel bringt und damit eine Komponente von Relativität, die auch in dem auf Wahrnehmung bezogenen Raumverständnis von Poincaré eine bedeutsame Rolle spielt. Dazu kommt, dass Steinbuch diese mit den Muskelsinnen bzw. den „Bewegideen“ verknüpften Anschauungen mit Prozessen der Bildung spezifischer Gruppen (vgl. Steinbuch, 1811, S. 157) in Verbindung bringt und weiters auch noch an Stelle des Apriori der Räumlichkeit eine Genese unterstellt, die durchaus mit Poincarés Ansatz von „préexiste“ kompatibel sein könnte.<sup>375</sup>

Weil Steinbuch die Aufspaltung des Sehnervs in feinste Teilbereiche an anderer Stelle für unmöglich erklärt, und damit vom Nerv folglich die „ganze Lichtmasse“ weitergeleitet wird, besteht offenbar ein umso stärkeres Motiv, die Unterscheidbarkeit des Nebeneinanders der nach Ausdehnung und Form verschiedenen Lichteindrücke auf der Netzhaut durch ein anderes System unterscheidbar zu machen. Dazu setzt Steinbuch voll auf das Konzept der Augenbewegungen. Aus Sicht späterer und rezenter Forschung gibt es allerdings diese fein aufgelöste Reizweiterleitung, die trotz mehrerer Verschaltungskaskaden von der Netzhaut

<sup>374</sup> Cf. Kompensation von Relativbewegungen

<sup>375</sup> Auch wenn Poincaré bezüglich der Räumlichkeit Erfahrungsprozessen distanziert gegenüber steht und keinem Sinn für sich alleine, auch nicht dem Muskelsinn, das Potential zugesteht, den Raum zu bilden.

weg bis zu einer retinotopen Repräsentation im visuellen Cortex (V1) und teilweise darüber hinaus führt. Damit sind die Augenbewegung und die damit verbundenen Empfindungen der Muskelsinne zwar nicht mehr die vorrangige oder gar einzige Möglichkeit der Differenzierung der Zonen des Netzhautbildes, wie dies Steinbuch in Ansatz bringt. In gewissem Sinn komplizieren die Augenbewegungen sogar die Auswertung des Netzhautbildes, verlieren deshalb aber nicht an Bedeutung als fundamentale Faktoren der Formbestimmung, weil auch die durch eigendynamische Bewegung verursachte Reizabfolge auf der Netzhaut vom kognitiven System in den Gesamteindruck eingerechnet werden muss. Damit entsteht, wenn auch mit einem Umweg, aber dennoch prinzipiell verbindend, eine Brücke von Steinbuchs „Bewegidee“ zu Poincaré, welcher der Bewegung und den Muskelsinnen in seinem Modell der „Kompensation“ der formverändernden Relativbewegungen eine fundamentale geometrieaffine Rolle zuschreibt und dabei sogar in wörtlichem Einklang mit Steinbuch die „Erziehung der Sinne“ ins Spiel bringt.<sup>376</sup>

In diesem Umfeld ist auch kurz anzumerken, dass den Augenbewegungen auch bei Uexküll eine bedeutsame Rolle zur räumlichen Erfassung der Umwelt bzw. zur Gruppierung der Sinneseindrücke zugewiesen wird. Die konkrete Aussage Uexkülls bezieht sich zwar auf einfachere Lebewesen und dient dazu, die noch zweidimensionale Gliederung des Gesichtsfeldes zu skandieren, hat aber eine Tendenz zu genereller Gültigkeit, die auch die Dreidimensionalität der Wahrnehmung im Visier hat. Es geht im Kontext des Zitats um Reizschemata, welche die jeweils artspezifische Umwelt gliedern.

„Jedes Schema wirkte bloß als einfache Reizkombination und die räumliche Entfernung der einzelnen Teile, die das Schema ausmachen, unterlag noch keiner Unterscheidung. Das wird anders, sobald die Gegenwelt nicht bloß der Retina, sondern dem Blickfeld entspricht. Dann kommt durch die Augenbewegung ein neues Moment hinein, das ganz nahe Beziehungen zum Raume hat. Zwar handelt es sich noch nicht um den dreidimensionalen Raum, aber doch um eine Fläche, die durchmessen wird...Erst Tiere, die eine Akkommodation besitzen, können eine Gegenwelt beherbergen, die nicht bloß eine Fläche ausmacht, sondern auch eine gewisse Tiefe besitzt...“ (Uexküll, 1909, S. 201)

Dass hier neben den generellen Augenbewegungen speziell auch die Akkommodation als entscheidendes Kriterium für räumliche Tiefe angesprochen wird, erscheint deshalb als wichtig, weil damit die Rolle der neben den anderen Autoren auch von Poincaré ins Licht gerückten Muskelsinne ausdrücklich betont wird. Diese Rolle der Muskelsinne ist für die Bildung von Modellen räumlicher Wahrnehmung nicht so selbstverständlich wie es zunächst erscheinen mag. Immerhin bilden ja auch die relative Größe eines Objekts im Gesichtsfeld oder Formüberschneidungen einfachere Indizien für räumliche Tiefe als die Integration und komplexe Auswertung der Augenbewegungen über die Muskelsinne.

Die aus den Texten ablesbaren Affinitäten der Überlegungen von Steinbuch, Uexküll und Poincaré betreffen einen weiteren Aspekt, nämlich den, dass es bei der Wahrnehmung und darauf bezogener Raumvorstellung um komplexe Konstruktionsprozesse durch Integration heterogener Komponenten geht:

„Hierauf wird man sicher folgendes erwidern: Wenn die Muskelempfindungen zur Bildung unserer Raumvorstellung beitragen, so beruht dies darauf, daß wir das Gefühl der Richtung einer jeden Bewegung besitzen und daß dieses einen integrierenden Bestandteil der Empfindung bildet. Wenn dem so wäre, wenn eine Muskel-Empfindung nur in Begleitung dieses geometrischen Richtungsgefühls

---

<sup>376</sup> Z.B.: „Ein Wesen, welches in einer solchen Welt die Erziehung seiner Sinne bewerkstelligt, würde ohne Zweifel dem vollständigen Gesichtsraum vier Dimensionen beilegen.“ (Poincaré, 1906, S. 57.)

entstehen könnte, so würde in der Tat der geometrische Raum eine unserer Gefühlswelt auferlegte Form sein. Aber davon bemerke ich durchaus nichts, wenn ich meine eigenen Empfindungen analysiere.

Ich sehe nur, daß die Empfindungen, welche Bewegungen gleicher Richtung entsprechen, in meinem Geist durch eine einfache *Ideen-Association* verknüpft sind. Auf diese Association lässt sich das zurückführen, was wir das >Richtungsgefühl< nennen.“ (Poincaré, 1906, S. 57)

### 11.6.2 Steinbuch

Im voranstehenden Zitat beschreibt Poincaré offenbar einen konstruktiven Prozess, der sich auch in Johann Georg Steinbuchs Formulierung andeutet: „.....auf welche Art und Weise der Mensch sich als Kind seinen innern Seheraum ursprünglich zusammensetzt“ (Steinbuch, 1811, S. 153, s.o.)

Schon die „Vorrede“ Steinbuchs ist von einem Konzept durchzogen, das aus heutiger Sicht wohl als konstruktivistisch bezeichnet werden darf und das besonders die Selbsttätigkeit sowie die Beweglichkeit und eine prinzipiell aktive Wahrnehmung anspricht. Steinbuch distanziert sich dabei von den bis dahin geltenden und von ihm als falsch qualifizierten Lehrmeinungen:

„Da man sich bisher den Sinn als ein Vermögen dachte, Eindrücke (von außen) aufzunehmen, und diese quovis modo als receptive Vorstellungsvermögen, um solches zu einer (dem erhaltenen Eindruck entsprechenden) Vorstellung zu rühren, überzuragen; so konnte ein so gedachter Sinn natürlich für nichts weiter gelten, als für ein passives Vermögen, das jeden, ihm zufällig dargebotenen Eindruck nothgedrungen aufnehmen, und dem Vorstellungsvermögen überliefern muß. Aber ist wohl eine solche Vorstellung in der Natur unserer Sinne gegründet? Ist der Sinn des Getastes, der Sinn des Gesichts etc. wirklich nichts weiter, als ein bloß passives Vermögen des Menschen?“ (Steinbuch, 1811, VII)

Aus den plakativen Suggestivfragen geht schon hervor, wie prinzipiell Steinbuch eine gegenteilige Position vertritt, und diese so weitführend geltend macht, dass er eine vom wahrnehmenden Subjekt modifizierte Formgebung der Außenwelt und in diesem Sinn einen konstruktivistischen Ansatz postuliert:

„Diese nothwendigen Erscheinungen unserer einfachen Willens- oder Spontaneitätsakte in unserem Bewußtseyn oder Vorstellungsvermögen, die bey unserer selbstthätigen Anwendung unserer Sinnorgane auf die Aussenwelt wirklich werden, gehen als gleichzeitige Vorstellung in die zu bildende Sinnesvorstellung ein, und sind insbesondere das, was der durch das Sinnorgan von aussenher zu erhaltenden Materie der Vorstellung, um sie zur konkreten Sinnesvorstellung zu machen, ihre Form giebt.“ (Steinbuch, 1811, IX)

### 11.6.3 Tourtual

Eine sehr umfangreiche Auseinandersetzung mit der Raumwahrnehmung findet sich in Tourtuals Werk (1827) *Die Sinne des Menschen in den wechselseitigen Beziehungen ihres psychischen und organischen Lebens*.

Auch der Anatom und Chirurg Caspar Tourtual integriert die Bewegungen der Augenmuskeln in die visuelle Raumwahrnehmung und spricht sogar von einem „muskulären Sehprozess“:

„Die Erscheinung der dritten Dimension beruht demnach auf einer Art des muskulären Sehprocesses, und letzterer muss sich, indem die Tiefe nie isoliert in die Anschauung tritt, abermals mit den, die planimetrische Vorstellung vermittelnden Weisen combinieren, um die Verbindung der Fläche mit der Tiefe zur Einheit der körperlichen Gestalt zu Stande zu bringen.“ (Tourtual, 1827, S. 214)

Neben der zentralen Rolle der Augenmuskeln, ist auch noch Tourtuals Hinweis interessant, dass die „Tiefe nie isoliert in die Anschauung tritt“, sondern nur in Kombination mit anderen Leistungen zustande gebracht wird. Auch das entspricht einem komplexen Konstruktionsprozess, der mit Poincaré kompatibel ist, zumal in beider Ansätze das Potential zur Räumlichkeit nicht allein einem Sinn, auch nicht dem Muskelsinn, zugestanden wird. Diesbezüglich geht Tourtual auch explizit auf Distanz zu Steinbuchs Bewegideen.

„Uns ist bekannt, daß Steinbuch, welcher einzig vor uns sich bemüht hat, den psychischen Hergang der Gesichts- und Tastvorstellung zu verfolgen, eine entgegengesetzte Ansicht geltend zu machen suchte, nach welcher die Bewegidee d. i. die unterscheidende Empfindung der Muskelthätigkeit des bewegten Organs, das ausschließliche und allumfassende Element aller räumlichen Construction ist.“ (Tourtual, 1827, S 224)

Tourtual stellt, ähnlich wie Poincaré, auch sehr umfangreiche Überlegungen zur Relation von Tast- und Gesichtssinn an, die hier aber nicht weiter verfolgt und dargestellt werden. Darüber hinaus beschäftigt sich Tourtual in einem späteren Werk auch ausführlich mit Phänomenen räumlicher Wahrnehmung bei eigenen Versuchen mit Wheatstones Stereoskop.<sup>377</sup>

Auch wenn Tourtual dort keinen ausdrücklichen Zusammenhang mit der Raumwahrnehmung anspricht, ist auch auf seine Abhandlung „Über die Erscheinung des Schattens und deren physiologische Bedingungen“ (1830) hinzuweisen.<sup>378</sup> Darin beschreibt er nicht nur die Vielfalt der Erscheinungsweise von Schatten unter den Einfluss unterschiedlicher Lichtquellen, sondern verweist unter den physiologischen Bedingungen auch auf einen Aspekt hin, der eine hohe Affinität zu dem in der hiesigen Arbeit umfangreich als Komponente von räumlicher Strukturierung des Ambientes durch Abgrenzung von Objekten geltend gemachten Zusammenhang von Schatten und Kontrasten betrifft. Ausgehen von Mallots „Tiefensprüngen“ kommt gemäß hier vertretener Hypothese auch eine räumliche Komponente ins Spiel. Es stellt sich sogar die Frage, inwieweit Formulierungen Tourtuals das Phänomen Mach'scher Streifen (1865) und den Prozess von Kontrastverstärkung durch laterale Hemmung beschreiben.

Mit einem rechtfertigenden Einwand gegenüber der geläufigen Untersuchung sinnlicher Erfahrung nach den physikalisch beschreibbaren Merkmalen von Licht, propagiert Tourtual, eine Schattenlehre aufzustellen, „nach welcher Schatten nicht nur als simple Negation des Lichtes betrachtet“ (S.4) werden.

„Aber Schatten hat in gleicher Weise wie Licht und Farben, auch eine subjective Seite; er gehört zu den nothwendigen Erscheinungen des Gesichtssinns, in welchen allein er wesentliche Realität hat und eine positive Rolle spielt.“ (Tourtual, 1830, S. 4)<sup>379</sup>

<sup>377</sup> Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und stereoskopischen Bilde : eine physiologische Untersuchung / von Caspar Theobald Tourtual, Münster: Coppenrath, 1842. (<https://sammlungen.ulb.uni-muenster.de/hd/content/titleinfo/2322293> 11.5.2019)

<sup>378</sup> Weil der Horizont dieser Arbeit auch wahrnehmungsbezogene Aspekte von Geometrie anspricht, ist es aus historischer Perspektive erwähnenswert, dass 1839 eine Neuauflage von Monges „Géometrie descriptive“ von Barnaby Brisson herausgegeben wurde, die um eine „Théorie des ombres“ erweitert worden war. Darin wird das Potential von Schatten zur Veranschaulichung von Objekten gemeinsam mit jenem der Perspektive als besonders bemerkenswert bezeichnet: «Parmi les différentes applications que l'on peut faire de la géométrie descriptive, il y a deux qui sont remarquables, et pour leur généralité, et par ce qu'elles ont d'ingénieux : ce sont les constructions de la perspective, et de la détermination rigoureuse des ombres dans les dessins. Ces deux parties peuvent être considérées comme le complément de l'art de décrire les objets.» (Monge/Brisson, 1839, S. 18)

<sup>379</sup> Allein schon die Argumentation, dem Schatten über die subjective Seite als wirksame Komponente des Gesichtssinns einen positiven Status von Realität zuzuschreiben, wird hier als bemerkenswert kompatibel mit neurokonstruktivistischen Ansätzen und ebenso mit Poincaré angesehen.

Für die Interpretation von wechselnder Helligkeit und von Kontrasten bringt Tourtual über die Lichtverhältnisse hinaus auch noch die hier besonders bemerkenswerten neurophysiologischen Aspekte in Spiel:

„ Derselbe Schatten erscheint in seinem peripherischen Theile dunkler, als im Centraltheile. Die größere Nähe der different erregten Netzhautstellen erhöht die Stärke des Gegensatzes. Wir bemerken dieses schon am einfachen Schatten, deutlicher am Kernschatten und am vollkommensten am Reflexionsschatten. An ihrer Gränze zieht sich innerhalb ihrer, nach der Größe des Abstichs vom Hellen breiterer oder schmalerer Streifen von tieferem Schwarz um die ganze Figur des Schattens herum, welcher einen etwas helleren Kern einschließt. Es ist aber, um diesen Saum recht bestimmt zu unterscheiden, nothwendig, daß man den Schatten einige Secunden lang fixiere und aufmerksam betrachte.“ (Tourtual, 1830, S. 50 f.)

Die Beschreibung des Phänomens insgesamt und speziell der Korrelation gemäß Nähe different erregter Netzhautstellen wird hier als Erklärung angesehen, die sich grundsätzlich mit dem aktuellen Modell lateraler Inhibition auf Grund der neuronalen Verschaltung der Zellen der Retina deckt, das auch Mach schon andeutet.<sup>380</sup>

Wenn nach Tourtual der Schatten im Rahmen des Gesichtssinns „eine wesentliche Realität hat“, dann tangiert das auch die Überlegungen zur visuellen Objektkonstruktion durch Einbeziehen der formaffinen synchronen Kovarianz von Schatten.<sup>381</sup>

#### 11.6.4 Bell

Der schottische Physiologe Charles Bell stellt mit Berufung auf Dr. Wells (Essay on Single vision. Wells, 1818) fest:

„Hier tritt die Thätigkeit der retina mit dem Bewußtsein der Muskelanftregung in Verbindung, und wir erkennen daraus, daß das Sehen im ausgedehnteren Sinne eine zusammengeetzte Action ist, in so fern der Begriff von der Stellung eines Gegenstandes auf die Thätigkeit der Muskeln bezogen werden muß.“ (Bell, 1836, S. 157)<sup>382</sup>

Dieser Exkurs zu Steinbuch, Tourtual usw. sollte nur aufzeigen, dass schon in der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts im Umfeld neurophysiologischer Forschung der Aspekt gestaltender Eigendynamik der Sinneswahrnehmung zu Modellen mit Affinitäten zu Überlegungen Poincarés<sup>383</sup> geführt hat, die man mit rezenten Konzepten von Autopoiesis und einem wahrnehmungsbezogenen Konstruktivismus in Verbindung setzen kann, der z.B. in einem die Muskelsinne integrierenden Verständnis von Sehen zum Ausdruck kommt. Dabei ist auch erkennbar, dass diese historischen Modelle über die biologischen Aspekte hinaus in Verbindung gebracht wurden mit Fragen nach dem Raum, dem Verhältnis von Innen und Außen sowie damit einhergehender Betrachtungen über das Erkenntnisvermögen. Den damit verbunden kontroverseren Diskussionen, die auch vor dem Hintergrund der apriorischen Formen der Anschauung nach Kants Kritik der reinen Vernunft (Ausgaben ab 1781) geführt wurden, kann und soll hier nicht weiter nachgegangen werden.

<sup>380</sup> Eine detailliertere Untersuchung wäre ein Thema fachspezifischer Wissenschaftsgeschichte und würde hier zu weit führen.

<sup>381</sup> Cf. Kap. Sichtbares Spektrum als viables Allround-Konstrukt...

<sup>382</sup> Es gab auch eine französische Ausgabe: Bell, Charles, Exposition du systeme naturel des nerfs du corps humain. Paris: Merlin, 1825. 1st edition. <https://www.inorman.com/pages/books/378/charles-bell/exposition-du-systeme-naturel-des-nerfs-du-corps-humain> )

<sup>383</sup> Der Frage, ob Poincaré direkte Kenntnis dieser Schriften hatte, wurde nicht weiter verfolgt.

### 11.7 Dilemmata bewegungsbezogener Raumwahrnehmung

Poincaré geht den nicht völlig neuen, aber zeitgenössisch auch nicht unumstrittenen Weg, der Bewegung und mit ihr den Muskelempfindungen eine fundamentale Rolle einzuräumen, aber auf dieser Basis nicht einen eigenen Raumsinn zu etablieren bzw. gelten zu lassen, sondern die Muskelempfindungen in ein komplexes visuokognitives Konstrukt zu integrieren. Und dieser konstruktivistische Ansatz ist mit aktuellen Forschungsergebnissen auffallend gut verträglich, z.B. mit Aussagen über Efferenzkopien bzw. sensumotorische Rückkopplung.

Trotz überwiegend nützlicher Aspekte einer Integration von Bewegung in die Konstruktion eines räumlichen Perzepts sind damit auch Probleme verbunden.<sup>384</sup>

Neben der generellen Frage der Energiebilanz und des allenfalls verräterischen Aspekts umfangreicher Körperbewegung (z.B. getarnt agierender Raubtiere) ist auch der hohe Aufwand zum Herausrechnen umfangreicher Eigenbewegung in Betracht zu ziehen. Erst recht deshalb, weil die hohen Freiheitsgrade der Eigenbewegung einen Komplex von Variablen ins Spiel bringen, der nicht nur den Berechnungsaufwand<sup>385</sup> erhöht, sondern auch die Chance auf eindeutige Ergebnisse reduziert. Das stellt schon für die Lokalisation ein nicht zu unterschätzendes Problem dar.

In dem Ausmaß, wie auf Basis weit auspendelnder Bewegungen das Wechselspiel der Perspektiven nicht nur zur Lokalisation, sondern auch zur Formbestimmung des Objekts<sup>386</sup> genutzt wird, kommen somit weitere gravierende Probleme dazu, die auch die Identifikation dieses Objekts betreffen. Und folglich ist es eine plausible Beobachtung, die man leicht am eigenen Verhalten nachvollziehen kann, dass bei näher liegenden Objekten das Auspendeln reduziert wird.

Erstens ist aus geometrischen Gründen schon ein entsprechendes geringeres Auspendeln im Nahbereich ebenso aufschlussreich. Zweitens werden durch dieses Begrenzen der Bewegung auch die Formwechsel der Ansicht auf jenes notwendige Maß reduziert, das noch eine taugliche Auflösung von störenden projektiven Ambivalenzen ermöglicht, ohne dass durch zu starken Wechsel der Perspektive die Identifikation des Objekts neuerlich beeinträchtigt wird. Dieser schmale Toleranzbereich der Formdifferenz wird gemäß der hier unterlegten Hypothese als kritisches Milieu der Fusion der beiden Netzhautbilder zu einer homogenen 3D Erscheinung des Objekts in Ansatz gebracht.

### 11.8 Resümee: Frontale Augen als evolutionär optimierter Bewegungsaufwand

Ausgehend von diesen oben genannten Umständen erscheint es als plausibel, Bewegung als Möglichkeit zur räumlichen Auflösung von Ambivalenz zu nutzen, aber Systeme zu entwickeln, welche die dafür notwendigen Bewegungen und deren Nachteile möglichst reduzieren, ohne dabei den Nutzen zu verlieren.

Wenn man so will, dann kann man damit einen generellen Trend zur Reduktion des wahrnehmungsspezifisch genutzten Ausmaßes an Bewegungen geltend machen, der sich

<sup>384</sup> Deren Lösung vermutlich sogar den größten evolutionären Nutzen bringt, wenn man die damit verbundene Enzephalisation der Wahrnehmung in Betracht zieht.

<sup>385</sup> Der Ausdruck „Berechnung“ ist hier nur eine Metapher für komplexe neurokognitive Prozesse, die ihrem Wesen nach wohl kaum definierbar sind.

<sup>386</sup> Auf die Unterscheidung der räumlichen Aspekte von Lokalisation und Formbestimmung wird wegen der in dieser Arbeit vertretenen Hypothese Wert gelegt, dass die visuokognitiven Anforderungen der Formbestimmung besonders stark zu einer Enzephalisation mit small-world Strukturen führen, die über den ventralen Was-Pfad nicht nur wesentlich zum plastischen Objekteindruck beitragen, sondern auch zu Arealen führen, die mit bewusstem Denken korrelieren.

evolutionär in einer großen Spannweite unterschiedlicher Beispiele manifestiert <sup>387</sup>. Das reicht von der vollen Seitwärtsbewegung des gesamten Körpers über die Ausbildung eines mittels Halses beweglichen Kopfes bis zur Konvergenz frontaler Augen mit einem als festen Parameter kalkulierbaren Augenabstand.

## 12 Binocular turn: Nutzen und Probleme frontaler Augen auf dem Weg zu phänomenalem 3D

Ausgehend vom Leitmotiv der Bewegung, das wegen der Affinität zu Poincarés Fundamenten der Geometrie wiederholt als roter Faden ins Spiel kommt, wird hier als Hypothese unterstellt, dass frontale Augen und die spezifische Sensibilität für die Auswertung der binokularen Disparität <sup>388</sup> gewissermaßen ein spezialisiertes und hoch effizientes Alternativkonzept zur Objektlokalisierung, Auflösung projektiver Ambivalenz und Formbestimmung durch Parallaxe auf Basis von Körperbewegung darstellt. Es geht also um ein Konzept, das bei Ersparnis an Bewegungsaufwand zugleich einen höheren Informationswert und außerdem ein robusteres Durchsetzungsvermögen auf dem Verarbeitungsweg bis ins Bewusstsein erzielt. <sup>389</sup> Das führt zu Gunsten von Poincarés Modell der Kompensation über den Ersatz der Variablen Körperbewegung durch die stabile Größe Augenabstand zu einer einfacheren und präziseren Gegenverrechnung bewegungsinduzierter Formveränderungen und ist kompatibel mit Poincarés vielfältigen Hinweisen auf die Rolle der Muskelsinne und Augenbewegungen.

Die Dreidimensionalität binokularer Stereopsis wird dabei als simplex Konstrukt interpretiert.

### 12.1 Vergenzen ersetzen beim teleotaktischen Fixieren die Variable Körperbewegung

Hinsichtlich des Ziels möglichst effizienter Lokalisation, Distanz- und Formbestimmung von Objekten erscheint gemäß den schon oben genannten Prämissen also ein visuelles Wahrnehmungssystem als opportun, bei dem die schwer kalkulierbare Variable „Körperbewegung“ durch die fixe Größe des Augenabstandes ersetzt wird. Das ist durch frontale Augenposition weitgehend möglich, auch wenn die Augenbewegungen weiterhin als Variable bestehen bleiben. Konvergenz und Akkommodation spielen sogar eine wichtige geometrieaffine Rolle, die Poincaré auch bei seinen Überlegungen über die Anzahl der Dimensionen ins Spiel bringt. <sup>390</sup>

---

<sup>387</sup> Als sehr frühe evolutionäre Basis ist schon das Entstehen eines bilateral symmetrischen Körperbaues zu erwähnen. Beginnend mit Schlauchwürmern ist der Großteil der Tiere so organisiert, und ist die polare Ausrichtung nicht nur günstig für gezielte Fortbewegung, sondern bildet die Trennung eines Afters von einer vorne gelegenen Mundöffnung auch die Basis für Cephalisation (Kopfbildung) und Enzephalisation durch Konzentration neuronaler Strukturen. (cf. Lexikon der Biologie, > Bilateria. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie/bilateria/8468>, 29.3.2020)

<sup>388</sup> Cf. Paradigma neural competition. Es gibt auch speziell für Disparitätsmerkmale sensible Neuronen. Wobei allerdings bezüglich der Energiebilanz der nicht zu unterschätzende Aufwand für das dafür notwendige komplexe neuronale Verarbeitungssystem nicht außer Acht gelassen werden darf.

<sup>389</sup> Cf. Binocular facilitation, überproportionale Reizsummation,

<sup>390</sup> „Wir haben...den Sehraum zergliedert und haben gesehen, daß man, um diesen Raum zu erzeugen, die Netzhautempfindungen, die Konvergenz- und Akkommodationsempfindungen dazu nehmen muss (Ö>vgl. Bell); daß, wenn diese zwei letzteren nicht immer übereinstimmen, der Sehraum vier Dimensionen hätte anstatt drei, und

Einen besonders starken Niederschlag findet diese Optimierung des Bewegungsaufwands in der Beweglichkeit der Augäpfel und dem damit einhergehenden Potential, durch Konvergenz ein Objekt auf Basis regelmäßig verschobener Perspektiven binokular zu fixieren. Die **Konvergenzbewegungen** eines frontalen Augenpaares bilden in diesem Sinn eine **optimierte Minimalvariante** des Konzepts der Nutzung des Informationswertes wechselnder Perspektiven durch Eigenbewegung. Der so optimierte visuelle Komplex wird gemäß der hier propagierten Hypothese in Anspielung auf Berthoz als eine der über evolutionäre Prozesse manifest gewordenen simplen Strukturen zur sparsamen und schnellen Lösung von projektiver Ambivalenz bzw. visueller Ambiguität in Ansatz gebracht. Dabei wird unterstellt bzw. soll gezeigt werden, dass dies mit der Argumentationslinie von Poincaré kompatibel ist und ebenso, dass Poincarés Argumentation auch durch aktuelle Ergebnisse diesbezüglicher Forschung bestärkt wird.<sup>391</sup>

Diese Überlegung, Konvergenz als eine evolutionär langfristig optimierte strukturelle Komponente komplexer Systeme visueller Wahrnehmung geltend zu machen, wird durch das Statement in der folgenden Überschrift unterstützt:

#### 12.1.1 „Phylogenetisch sind Vergenzbewegungen relativ jung.“<sup>392</sup>

Trotz scheinbarer Trivialität ist es bedeutsam, hier ausdrücklich darauf hinzuweisen, dass der vielschichtige Komplex der Augenbewegungen überwiegend dazu dient, Objekte zu verfolgen und die Blickrichtung so zu justieren, dass das Bild des betrachteten Objekts auf die Fovea fällt.<sup>393</sup> Mit dieser Positionierung am Ort des höchsten Auflösungsvermögens der Netzhaut wird dem so fokussierten Objekt erhöhte Aufmerksamkeit zuteil und es wird als bemerkenswerter „Reiz“ auch in Arealen komplexerer visueller Verarbeitung analysiert, um allenfalls auch bewusst wahrgenommen und gedeutet zu werden.<sup>394</sup> Angesichts der Dominanz der visuellen Wahrnehmung ergibt sich daraus eine Objektzentriertheit, die auch das Bewusstsein tangiert. Diese expansive Ausrichtung auf Objekte begründet auch eine fundamentale Kompatibilität mit Geometrie, bei der es gemäß Poincaré ja auch und akkurat um lagespezifische Relationen fester Körper und deren anhand idealisierter Körper formulierten Gesetzmäßigkeiten geht.<sup>395</sup>

---

daß man andererseits, wenn man nichts in Betracht zöge als die Netzhautempfindungen, den °einfachen Sehraum° erhalten würde, der nur zwei Dimensionen hätte.“ (Poincaré, 1910, S 82 f.)

<sup>391</sup> Eine umfangreichere Darstellung dazu findet sich im Anhang. Cf. Kapitel: Konvergenz und Akkommodation: Cf. Ein akkordiert wirkendes, aber ungleiches Paar der Nahbereichstrias/ Sakkaden und transsakkadisches Gedächtnis: noch im zeitgenössischen Abseits Poincarés, aber aus heutiger Sicht geradezu frappant kompatibel mit seinem Ansatz/ Von Poincaré angesprochene „halbkreisförmige Bögen“ liefern wertvollen Input für vestibulo-okuläre Reflexanzeige

<sup>392</sup> Joos et al., 2003, S. 4

<sup>393</sup> Cf. Kap.: Primaten: foveales Sehens korrespondiert mit Augenbewegungen

<sup>394</sup> Erwähnenswert ist auch der Begleiteffekt, dass bei überwiegend fixer Position des eigenen Körpers feinmotorische Objektmanipulation wesentlich präziser möglich ist. Das verstärkt die für die Evolution kognitiver Potentiale günstige Aktivität von Greifhänden im Sichtbereich und bildet als Konzept einer rekursiv zu Gunsten der Handhabung von Gegenständen optimierten Wahrnehmung auch eine Brücke zu einer mit Poincaré kompatiblen pragmatischen Auffassung von Geometrie. Wenn man z.B. davon ausgeht, dass die hypothetische Prognose einer nach obigen Überlegungen optimierten Wahrnehmung durch das „Experiment“ Handlung besser evaluiert werden kann, weil die Reduktion der eigenen Körperbewegung den Händen eine präzisere Analyse der Übereinstimmung von haptisch und visuell basierten Objekteindrücken ermöglicht. Dabei spielen auch die andernorts genannte Efferenzkopie bzw. die sensomotorische Rückkopplung eine Rolle.

<sup>395</sup> Auch wenn es bei Poincaré um eine sehr komplexe Auffassung eines relationalen Raumes geht, spielen bei den Fundamenten der Geometrie das Schauspiel der Perspektiven und damit auch der feste Körper prominente Rollen. In diesem Sinn ist Poincarés Analyse sehr objektbezogen. (Wie mutmut. auch unsere Wahrnehmung, z.B. foveales Sehen)



### 12.1.2 Blicksteuerung ist prominenter Faktor im neuronalen Netzwerk

Augenbewegungen zur fovealen Fokussierung von Objekten sind schon für monokulare Objektwahrnehmung vorteilhaft, gewinnen aber bei binokularer Wahrnehmung mit frontalen Augen erheblich an Bedeutung, weil es in diesem Fall auch darum geht, die Augen so zu positionieren, dass die entsprechenden Stimuli auf **korrespondierende Areale der Netzhaut** fallen. Diese motorische Fusion wird durch die vom Abstand der Augen provozierte Disparation der Netzhautbilder stimuliert und bildet Voraussetzung für eine sensorische Fusion der Bilder, also für die neuronale Verarbeitung zu einem homogenen Bild.<sup>396</sup>

### 12.2 Frontale Augen als struktureller Beitrag zur Objektkonstruktion auf sinnlicher und kognitiver Ebene

Die Position eines Paares frontaler Augen mit überschneidenden Gesichtsfeldern ermöglicht nicht nur die uns geläufige, aber im Grunde sehr spezielle Form räumlicher Seheindrücke. Sie führt auch zu einer Reihe von Problemen, die hier in Fortführung der vorgegangenen Überlegungen als evolutionär relevante Herausforderungen an das visuokognitive System interpretiert werden, welche erheblich zur progressiven Enzephalisation beigetragen haben.

Schon evolutionär frühe Formen binokularen teleotaktischen Fixierens gelten nach Lorenz als bedeutender Entwicklungsschritt zu intelligentem Verhalten. Weil bei Wirbeltieren ein hohes Ausmaß an Parallelverarbeitung und später Bindung<sup>397</sup> besteht und außerdem in neuronalen Systemen das Paradigma Competition gilt<sup>398</sup>, ist unter damit einhergehender binocular rivalry die Fusion der mit zunehmender Nähe zum fokussierten Objekt immer divergenter werdenden Ansichten der beiden Augen zu einem homogenen Perzept keinesfalls selbstverständlich. Ausgehend vom Phänomen piecemeal rivalry wird nahegelegt, stereoptisch wahrnehmbare Dreidimensionalität als eine Art simplexe Lösung des Rivalitätsproblems zu interpretieren, die es ermöglicht, dass in einem viablen Toleranzbereich die Differenz der Bilder beider Augen nicht zu alternierender Unterdrückung, sondern zur emergenten Qualität eines homogen räumlichen Eindrucks führt. Als Indiz dafür kann gelten, dass es schon in frühen Arealen visueller Verarbeitung Neuronen gibt, die speziell für Disparität sensibel sind.

Zu den dabei beachtenswerten Problemen zählen u.a. die zunehmenden divergierenden Ansichten von kleinen Objekten im Nahbereich und die binokulare Rivalität.

Wenn man auf dem Weg von der Sensibilität für Licht zur Enzephalisation Verstärkungseffekte durch binokulare Wahrnehmung weitgehend identer Lichtstimuli bei Betrachtung eines fernen Objekts (cf. Schröfl, 2017) als mitgestaltende Faktoren des Konnektoms mit dem Argument geltend machen will, dass eine gleichzeitige Betrachtung dieser Stimuli eine stärkere Robustheit im Milieu einer „neural competition“<sup>399</sup> verschafft, dann ist es auch angebracht, weitere Überlegungen zur Evolution frontaler Augenpaare und sich daraus ergebender Konsequenzen anzustellen.

Bei Objekten im Fernbereich sind die von beiden Augen aufgenommenen Gruppen von Stimuli praktisch ident und so kann die von Schröfl beschriebene binokulare Reizsummation auch bei geringer Helligkeit diesem im Blickfeld beider Augen befindlichen Komplex von Stimuli den

<sup>396</sup> Nach Lexikon der Optik, > Konvergenz, > Fusion, > Disparation (<https://www.spektrum.de/lexikon/optik> 21.7.2018)

<sup>397</sup> Cf. Roth, 2010, S. 283

<sup>398</sup> Cf. Glossar > Competition

<sup>399</sup> Cf. Paradigma competition

Weg ebnen, bewusst wahrgenommen zu werden bzw. im Perzept eindrucksvoller zur Geltung zu kommen.<sup>400</sup>

Ohne dass dies gemäß dem Modus dieser Arbeit experimentell überprüft wird, erscheint es auch als möglich, dass gerade bei geringer Helligkeit Objekte im Fokus binokularer Wahrnehmung auf Grund der Summation heller erscheinen als bei monokularer Betrachtung. Alternativ könnte man auch davon ausgehen, dass Objekte im Bereich binokularer Überschneidung des Gesichtsfeldes bereits in noch größerer Distanz wahrnehmbar sind, als bei monokularer Betrachtung. So eine (spekulativ in Ansatz gebrachte) erhöhte Reichweite eines visuellen Fernsinns mit frontalen Augen brächte auch evolutionäre Vorteile, sofern auf Grund anderer Bedingtheiten des jeweiligen Typs von Lebewesen die damit einhergehende seitliche Einschränkung des Gesichtsfelds nicht mehr Nachteile bringt. Das spräche z.B. für Vorteile frontaler Augen bei Raubtieren, während Fluchttiere eher vom Panoramablick mit seitenständigen Augen profitieren.

### 12.2.1 Teleotaktisches Fixieren als bedeutender Entwicklungsschritt mit Problemen im Nahbereich

Noch im Stadium voll ausgebildeter seitenständiger Augen stellt die genauere Verortung eines Objektes im Nahbereich ein Problem dar. Eine der Lösungsstrategien besteht darin, durch seitlich pendelnde Körper- bzw. Kopfbewegungen die Objektposition genauer zu bestimmen.

<sup>401</sup>

Konrad Lorenz (1975, S. 164 ff.) betont den engen Zusammenhang von Eigenbewegung und Objektverortung, wobei er die komplexen Parallelprozesse und Übergänge von Bewegungsparallaxe zu binokularem Fixieren mit einer Reihe von Beispielen illustriert. Ebenso die Stufen zu einer dafür zweckdienlichen, zunehmend frontalen anatomischen Positionierung der Augen, die in Zusammenhang mit den Anforderungen einer komplexeren Gliederung des Lebensraumes gebracht wird. Die Unterschiede bei Fischarten, von denen sowohl rein freischwimmende als auch bodennahe und landgängige Formen gibt, beschreibt Lorenz in der Bildlegende:

---

<sup>400</sup> Cf. Binocular facilitation. Nicht nur, aber vermutlich auch wegen dieser binokularen Summation fällt es beim Sehtest zum Anpassen von Brillen leichter, die nur noch mit Mühe zu lesenden Buchstaben mit beiden Augen zu erkennen als mit jeweils einem abgedeckten Auge.

<sup>401</sup> Z.B. : „Die Art, wie ein Salamander eine ihm unbekannte Beute zuerst von der einen und dann von der anderen Seite „fixiert“ und dabei den Kopf bewegt, ehe er zuschnappt (oder auch nicht), legt nahe, dass er zumindest über eine Art Aufmerksamkeitsbewusstsein verfügt.“ ( Roth, 2010, S. 319)

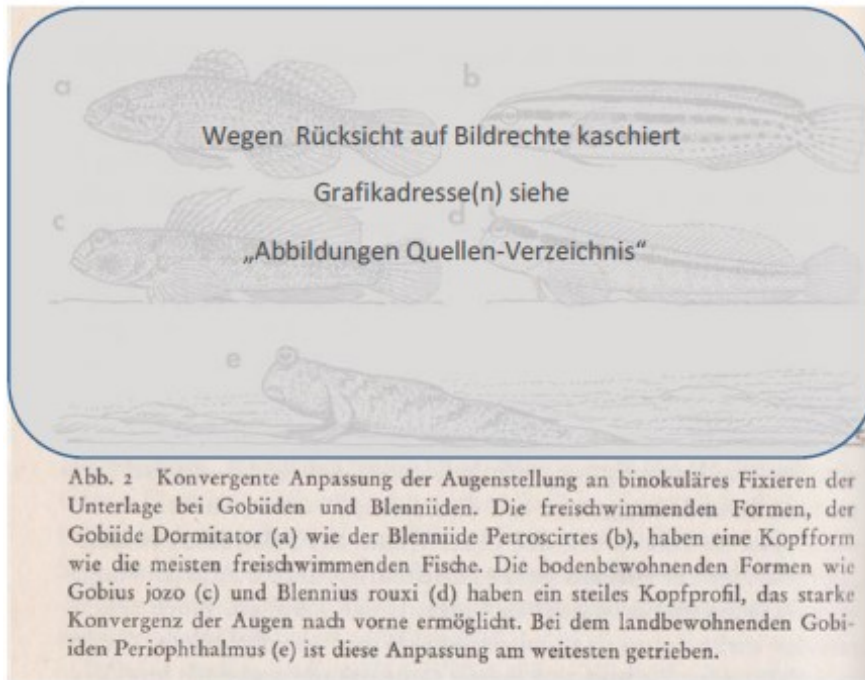


Abbildung 34 Teleotaktisches Fixieren bei Fischen (Lorenz, 1975, S. 168)

Lorenz interpretiert also das Potential für das von ihm so bezeichnete beidäugige „teleotaktische Fixieren“ (Lorenz, 1975, S. 169) von Objekten als wesentliche Entwicklungsstufe für intelligentes Verhalten und als Basis antizipierender Planung.

#### 12.2.2 Frontale Augen irritieren Objektidentität im Nahbereich

Auch bei überwiegendem Nutzen frontaler Augenstellung ergibt sich dennoch ein zusätzliches Problem.

Mit zunehmender Nähe eines Gegenstandes beginnen sich die Bilder beider Augen je nach Form des Gegenstandes und der Richtung des Lichteinfalls immer stärker voneinander zu unterscheiden und das kompliziert den Prozess visueller Verarbeitung mit (vermutlich) erheblichem Einfluss auf die Enzephalisation bzw. auf die Struktur des Konnektoms.

Das hier gezielt provozierte Problem besteht nun darin, dass die zunehmende Differenz der Bilder im Nahbereich die Reizsummation ebenso wie die Aufrechterhaltung der von weitem wahrgenommenen Formidentität in gewissem Ausmaß konterkariert. So kommt diesem Übergang zum visuellen Nahbereich (des Greifraumes) besondere Bedeutung bei der Objektwahrnehmung zu.

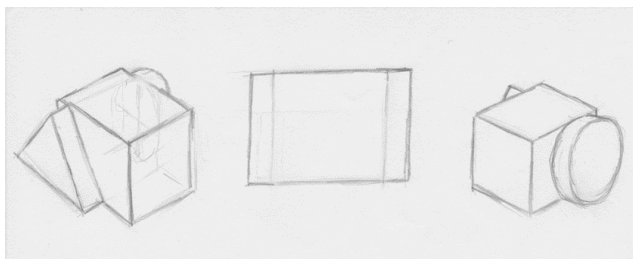


Abbildung 35 Skizze divergierender Objektansichten (Autor)

Die Skizze soll illustrieren, dass ein Objekt parallel zur Bildebene bei frontaler Betrachtung aus größerer Distanz wie ein Rechteck erscheinen kann.<sup>402</sup> Bei Objekten, die kleiner als der Augenabstand sind, kann so ein Objekt bei Betrachtung aus der Nähe für die Perspektive des jeweiligen Auges aber markant unterschiedliche Ansichten ergeben. Das führt in den Bereich von binokularer Rivalität, die an anderen Stellen dieser Arbeit umfangreicher besprochen wird.

12.2.3 Bei Annäherung drohender Identitätsverlust des Objekts wird durch top-down wirksame Erfahrung und Verstärkung neurokognitiver Potentiale kompensiert

Wurde das entfernt liegende Objekt auch mit Unterstützung von binocular facilitation bereits ins Zentrum der Aufmerksamkeit gerückt, dann ist für die weitere Präsenz des Objekts eine Abnahme des Summationseffekts im Zuge der Annäherung eher bedeutungslos, weil die erhöhte Aufmerksamkeit das Abnehmen des Summationseffekts kompensiert. Dazu kommt, dass mit zunehmender Nähe die vom Objekt ausgehenden Lichtstimuli mit dem Quadrat der Entfernung stärker werden und somit die genannte Reduktion gerade bei schwacher Beleuchtung erst recht kompensiert wird.<sup>403</sup> Darüber hinaus greifen auch noch top-down wirksame kognitive Verstärkungseffekte ein, die es erleichtern, eine einmal aus dem Ambiente abgelöste Form eines somit erkannten Objekts während der Annäherung kontinuierlich zu verfolgen und im Bewusstsein präsent zu halten.

Genau aus diesem Potential zum Aufrechterhalten einer auf größere Distanz erkannten Form, bei der das Objekt in beiden Augen de facto ident abgebildet wird, ergibt sich durch den Formwechsel der Bilder im Nahbereich das Problem, diese mitunter stark differenten Ansichten (cf. Abb. Skizze) in Einklang zu bringen und die Einheit des Objekts aufrecht zu erhalten. Das ist angesichts des Phänomens binokularer Rivalität nicht so selbstverständlich, wie es zunächst erscheint.<sup>404</sup>

Für die Reizsummation zur Verbesserung der Objektdetektion bei wenig Licht und für höhere Ansprüche der Objektverortung und Formidentifikation erwies es sich für Lebewesen mit speziellem Verhalten (z.B. Raubtiere) offenbar trotz dieses Problems als vorteilhaft, die Entwicklung des frontalen Überschneidungsbereichs der Gesichtsfelder beider Augen und die spezielle Auswertung der so gewonnenen (vor allem auf größere Distanz weitgehend redundanten und daher summationstauglichen) Daten zu entwickeln. Mit der frontalen Positionierung der Augen wurde die binokulare Disparität nicht nur der Schlüssel zur präziseren räumlichen Verortung von Objekten im Ambiente, sondern besonders auch zur stereoskopischen Formbestimmung von Gegenständen im Nahbereich unter dem Paradigma dreidimensionaler Räumlichkeit bzw. Plastizität.<sup>405</sup>

---

<sup>402</sup> Zur Vereinfachung wurde bei der Frontalansicht die Augenhöhe der Seitenansichten ignoriert.

<sup>403</sup> Gemäß Weber/Fechner kommen bei niedriger Reizintensität schon relativ geringe Intensitätsunterschiede relativ stark zur Geltung.

<sup>404</sup> Das hier provozierte Problem zielt darauf ab, die räumliche Wahrnehmung als Lösung dieses Dilemmas prinzipiell konkurrierender Ansichten eines Objekts im Nahbereich als Fusion zu einer „komplexen Einheit“ zu interpretieren. Als viable Notlösung in einem quick&dirty modus mit erheblicher Fehleranfälligkeit (cf. optische Täuschungen), aber auch mit emergentem Mehrwert. Es wird dabei auch unterstellt, dass im Falle einer schon auf Distanz erfolgten Identifikation des Objekts diese dazu beiträgt, die Identität bzw. Homogenität des Gegenstands bei Annäherung trotz zunehmender Divergenz der Netzhautbilder möglichst (lange) aufrecht zu erhalten.

<sup>405</sup> Cf. visuelle Haptizität, Handhabbarkeit

#### 12.2.4 Bewegungsparallaxe und teleotaktisches Fixieren zwei verschiedene Prozesse

Lorenz macht darauf aufmerksam, dass Bewegungsparallaxe und teleotaktisches Fixieren zwei verschiedene Prozesse sind, auch wenn sie bei vielen Lebewesen parallel vorkommen. Dazu kommt, dass diese Prozesse häufig nicht vikariierend füreinander eintreten können. (Cf. Lorenz, 1975, S. 169)

Diese komplexe Ausgangslage wird hier als erklärendes Indiz dafür geltend gemacht, dass es gemäß diesen unterschiedlichen Prozessen der räumlichen Ortung, Distanz- und Formbestimmung von Objekten nahe liegt, dass auch die im Rahmen der jeweiligen Wahrnehmungsstrategie gewonnenen Sinnesdaten/ Merkmale in unterschiedlichen Regionen des zentralen Nervensystems verarbeitet werden. Das gilt erst recht dann, wenn man (wohl zu Recht) unterstellt, dass die den Prozessen zugehörigen neuronalen Strukturen auch noch einer verschiedenen evolutionären Genese entstammen, also auch unterschiedliches evolutionäres Alter haben können und eventuell nicht homologen, sondern konvergenten Entwicklungen entsprechen. Wenn diese gemäß Lorenz nicht prinzipiell kooperierend zusammenhängenden, dislozierten Systeme mit unterschiedlicher Herkunft und nur teilweise überlappenden Leistungsbereichen vikariierend und mutualisierend in ein neuronales Netzwerk eingebunden werden, dann bildet diese Integration eine weitere Herausforderung, welche die Enzephalisation im Sinn einer optimierenden Modifikation des Konnektoms forciert.

#### 12.3 Trias Licht, Bewegung, Augen fördert kognitive Potentiale

Kurz gefasst kann man ein frontales Augenpaar und die Enzephalisation als evolutionäre high-end Produkte der strahlungsinduzierten Photomotorik mit dem Mehrwert-Effekt einer prognostisch und viabel handlungstauglichen räumlichen Strukturierung des Ambientes durch Auflösung der projektiven Ambivalenz durch ein simplex 3D Konstrukt in Ansatz bringen.

Wenn man dazu noch den Faktor Eigenbewegung ins Spiel bringt, der ja bezüglich stabiler und möglichst eindeutiger Gruppierung von Stimuli eine zusätzliche Herausforderung provoziert, weil damit eine rasch wechselnde Multiperspektivität und ein sehr volatiler Bildwechsel einhergehen, dann bildet die Trias Licht, Bewegung und Enzephalisation ein produktiv herausforderndes Milieu für kognitive Evolution.

Für präzise Wahrnehmung und Bestimmung von Stimuli als beständig zusammengehörige Gruppen in Form von Objekten ist es unter Bedingung von Eigenbewegung (vgl. Poincaré: Kompensation, Schauspiel der Perspektiven) zielführend bzw. notwendig, die Unschärfe bzw. Variabilität der beteiligten Faktoren möglichst gering zu halten. Wenn man davon ausgeht, dass die möglichst eindeutige Bestimmung der Form eines Objekts ein wichtiges Ziel der Wahrnehmung ist, dann stellt diese Gruppe von externen Stimuli zunächst jene Unbekannte dar, die es zu bestimmen gilt. Wenn dies im Rahmen von Eigenbewegung erfolgt, dann kommt damit eine komplexe Variable ins Spiel, welche auch die wahrgenommene Form der Stimulus-Gruppierung modifiziert, also mit Ausnahme z.B. von Kugeln<sup>406</sup>, die möglichen (subjektiven) Erscheinungsvarianten von Stimulus-Gruppen vielfältiger macht.

---

<sup>406</sup> Sogar Kugeln können bei exzentrischer Betrachtung außerhalb der Sehachse als elliptisch „verformt“ erscheinen. Cf. Beispiel Umrissellipse eines Balls in Glaeser, 2005, S.243.

### 12.3.1 Kompensative Integration der Eigenbewegung begünstigt Zugewinn von Information statt Störung durch Schauspiel der Perspektiven

Wenn es einem Organismus gelingt, die Eigenbewegung samt ihren Auswirkungen auf die Erscheinung des Objekts in den Wahrnehmungsprozess kompensativ zu integrieren, dann fördert das die Auflösung projektiver Ambivalenz und die Bestimmung des Objekts, d.h. es wird das Erkennen einer nachhaltigen Form jenseits der Vielfalt der gerade aktuellen Erscheinung gemäß relativer Position von Objekt und Betrachter möglich oder zumindest wahrscheinlicher. Damit wird das tendenziell verwirrende Schauspiel der Perspektiven nicht mehr zu einer Störung, sondern zum nutzbaren Faktor zu Gunsten von Informationsgewinn.

Diese Überlegung bezieht sich auf den Ansatz, den Poincaré mit dem Prozess der Kompensation<sup>407</sup> als ein Fundament von Geometrie im Sinn eines relationalen Modells von Raum ins Spiel bringt. Dort wird auch die essentielle Rolle der Muskelsinne und der Motilität betont:

„Es folgt daraus, daß Gesichts- und Tast- Sinn uns ohne die Hilfe des °Muskelsinnes° den Raum-Begriff nicht geben können. Und zwar könnte dieser Begriff nicht aus einer einzelnen Empfindung, auch nicht aus einer Folge von Empfindungen abgeleitet werden, ja sogar ein *unbewegliches* Wesen könnte niemals zu ihm gelangen, denn es könnte durch seine Bewegungen nicht die Wirkungen der Ortsveränderungen äußerer Objekte *korrigieren* und hätte also keinen Grund, sie von den Zustandsänderungen zu unterscheiden.“ (Poincaré, 1906, S. 61)<sup>408</sup>

Auf struktureller Ebene bedarf diese wahrnehmungserweiternde Integration der Eigenbewegung offenbar des Zusammenführens von Signalen der Selbstwahrnehmung des Organismus (z.B. via Muskelsinne) mit jenen, die externe Stimuli repräsentieren. Wenn ein Organismus auf Signaltransfer über neuronale Reizleitung setzt (ergänzend bzw. statt auf z.B. Signalmoleküle, Hormone), dann führt dies zu synaptischer Kommunikation mittels **bioelektrischer Prozesse**. Dieser Zusammenhang ist kompatibel mit einer Enzephalisation der Wahrnehmung und einem Einfluss auf die Strukturierung des Konnektoms durch synaptisches Lernen.

### 12.3.2 Nach projektiven Regeln abbildendes Licht und fixer Augenabstand sind trotz spezifischer Probleme opportune Mittel zur raschen und präzisen Formbestimmung

Wenn die mehr oder weniger Unbekannte des externen Objekts und die Information über die Eigenbewegung kompensativ abgeglichen werden, entsteht allein schon daraus eine sehr komplexe Relation, die nur schwer eindeutig zu lösen ist.<sup>409</sup>

Dabei darf aber zumindest ein weiterer Faktor keinesfalls außer Acht gelassen werden, der sich auf die Art der Stimuli bezieht, die wahrgenommen bzw. als Perturbationen zugelassen werden. Es geht also um Sinnesmodalitäten und die Frage, welche Modalität allenfalls eine bevorzugte/dominante Rolle spielt. Die systemspezifischen Eigenarten einer allenfalls dominanten Sinnesmodalität haben in diesem Kontext deshalb eine so große Bedeutung, weil

<sup>407</sup> Cf. Poincaré, 1906. S. 62 f.

<sup>408</sup> Im Hinblick auf die in dieser Arbeit wiederholt ins Spiel gebrachte bedeutungsvolle Rolle der Motilität wird es als eine affirmative *Petitesse* angesehen, dass im Text Poincarés das Wort *unbeweglich* im Schriftsatz hervorgehoben wird.

<sup>409</sup> Wohl auch nicht im mathematisch-geometrischen Sinn unter Berücksichtigung projektiver Aspekte.

damit die Chance auf eindeutige Lösungen und die dafür notwendige Komplexität des Verarbeitungssystems beeinflusst wird.

Die andernorts genannten Vorteile von Licht <sup>410</sup> reichen dabei über ihren Nutzen für präzise Formbestimmung im Sinn physikalischer Optik hinaus, weil sie auch die Genese und strukturelle Optimierung des Konnektoms beeinflussen.

#### 12.4 Disambiguation

Trotz, oder gerade wegen der insgesamt bestehenden der Vorteile von Licht stellt sich heraus, dass paradoxerweise elementare Defizite des visuellen Systems dadurch zur Enzephalisation beitragen, dass sie komplexe Kompensationspotentiale erfordern und somit deren Evolution beeinflussen können.

Urakawa et al. betonen in der Einleitung ihrer Studie folgende Rahmenbedingen:

“Disambiguation of a noisy visual scene with prior knowledge is an indispensable task of the visual system. To adequately adapt to a dynamically changing visual environment full of noisy visual scenes, the implementation of knowledge-mediated disambiguation in the brain is imperative and essential for proceeding as fast as possible under the limited capacity of visual image processing.” (Urakawa et al., 2014, o.S.)

Darin fällt nicht nur auf, dass das visuelle Ambiente als „noisy“ charakterisiert wird, sondern noch mehr, dass von „knowledge-mediated disambiguation“ die Rede ist. Darüber hinaus wird die unverzichtbare Notwendigkeit für Disambiguation mit begrenzten Verarbeitungskapazitäten begründet. <sup>411</sup>

Während Urakawa den Bedarf nach Disambiguation auf eine als „noisy“ bezeichnete Qualität des visuellen Ambientes bezieht, richtet sich folgende Argumentation von Hedgé auf das Bild der Netzhaut. Die beiden Aspekte schließen einander nicht aus, sondern erhöhen gemeinsam den Bedarf an Disambiguation.

„Sensory information in the retinal image is typically too ambiguous to support visual object recognition by itself. Theories of visual disambiguation posit that to disambiguate, and thus interpret, the incoming images, the visual system must integrate the sensory information with previous knowledge of the visual world.” (Hedgé et al., 2010, o.S > 3)

Wenn gemäß den Aussagen beider Autoren sowohl das visuelle Ambiente als auch das Bild der Netzhaut „noisy“ bzw. „ambiguous“ sind, dann besteht der Bedarf nach Disambiguation nicht nur in speziellen Sonderfällen (z.B. Testanordnungen), sondern ist Disambiguation eine prinzipielle Notwendigkeit. Das bedeutet zugleich, dass formklärende visuelle Wahrnehmung generell auf komplexe höherrangige Verarbeitungsprozesse samt Integration von Erfahrungswerten, also auf Gedächtnis angewiesen ist. <sup>412</sup> Damit bilden Ambiguität bzw. Disambiguation wohl auch ein wesentliches Motiv der Enzephalisation von Wahrnehmung, wenn man gelten lässt, dass Erfahrung, Gedächtnis usw. auch entsprechend komplexe neurophysiologische Strukturen voraussetzen. Dies erscheint auch als konvergent mit Berthoz' andernorts zitierter Aussage über « Lever les Ambiguités »

<sup>410</sup> Cf. Kap.: Lichtaffinität fester Körper. Problem von Duftstoffen usw., die von der verzerrenden Ausbreitung eines Trägermediums beeinflusst sind. Cf. auch „Fata Morgana“, und Brechung beim Blick ins Wasser.

<sup>411</sup> Das ist kompatibel mit Roths Hinweis auf Kapazitätsgrenzen des Gehirns (Roth, 1997, S. 222)

<sup>412</sup> Cf. Aphorismus „Man sieht nur mit Gedächtnis gut.“

## 12.5 Stereoskopisches Sehen als Fenster zum Bewußtsein

Diese Arbeit versucht, der Sensibilität für Licht unter Bedingung eines visuellen Systems unserer Bauart einen essentiellen bis dominanten Einfluss auf die Enzephalisation sowie die Strukturierung des Konnektoms zuzuschreiben und daraus die Möglichkeit der Evolution emergenter kognitiver Potentiale sowie von Bewusstsein abzuleiten. Als Zugang zur Analyse dieses Komplexes spielt auch die Entwicklung visueller Medien eine erhebliche Rolle, weil diese Medien einerseits in der Lage sind, besonders markante Phänomene der Wahrnehmung und affiner Illusionen zu provozieren und weil sie andererseits auch direkt oder metaphorisch unsere Modelle zur Erklärung des Sehens beeinflussen.

Bei der Auseinandersetzung mit eigentümlichen Phänomenen des Sehens wird unterstellt, dass gerade raumillusionierende Medien gezielt an strukturbedingte Präferenzen von weitgehend schematisierten visuellen Verarbeitungsprozessen anknüpfen (cf. Hoffman, Regeln der visuellen Intelligenz). Das schließt relativ abstrakte Systeme linearer Grafik, z.B. der Darstellenden Geometrie (z.B. Necker- Würfel), ebenso mit ein, wie Systeme mit hoch immersiver Anmutung. Damit sind nicht nur VR und Augmented-Reality Konzepte gemeint, sondern auch deren analoge Vorläufer mit ihrem erheblich langen historischen Werdegang. Neben den auf monokular orientierte Zentralperspektive ausgelegten Systemen, wie z.B. Camera Obscura und ihre vielfältigen Derivate (vgl. Cray), geht es vor allem auch um stereoskopische Systeme.

In der hier nicht weiter zu verfolgenden Geschichte der Stereoskopie werden auch relativ weit zurückliegende Beispiele aus der Kunstgeschichte als diesbezügliche Ansätze in Betracht gezogen.<sup>413</sup> Auch wenn hier weder untersucht noch beantwortet werden kann, ob es in diesen Fällen darum ging, einen stereoskopisch-räumlichen Effekt zu erzielen und dies auch erreicht wurde, ist gerade an der Skizzen von Leonardo und sich darauf beziehender schriftlicher Notizen klar erkennbar, dass eine gezielte Auseinandersetzung mit den Grundlagen binokularer Disparität erfolgte. Selbst wenn man unterstellt, dass diese Betrachtungen vor allem auf die Analyse des Phänomens hinsichtlich der Bedeutung für die Gestaltung von Bildern ausgerichtet waren, ist damit doch auch ein entscheidender Schritt getan, sich auch die Frage zu stellen, wieso diese erkennbar unterschiedlichen Bilder beider Augen als homogen erscheinendes Ganzes wahrgenommen werden. Damit liegt die Frage nach den physiologischen Strukturen, Funktionen und Leistungen der Komponenten des Wahrnehmungsapparats des Betrachters jedenfalls schon sehr nahe.

---

<sup>413</sup> « En 1484, Léonard de Vinci précise les principes de la vision binoculaire sans toutefois les mettre en application. Au XVI<sup>ème</sup> siècle, Giovanni Battista Della Porta et Jacopo Chimenti font des dessins composés d'une succession d'épreuves du même sujet, réalisées sous des angles différents. Rien ne permet d'affirmer que ces dessins furent réalisés dans l'intention de faire du relief, mais leur visionnement en permettait la restitution. (<http://www.stereoscopie.eu/hist/histoire.htm>)



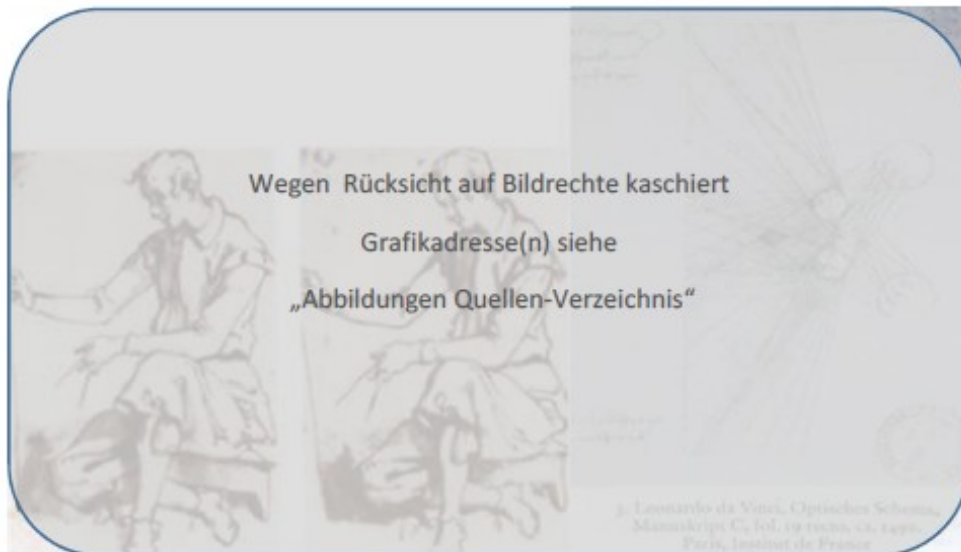


Abbildung 36 a) Jacopo da Empoli: Stereoskopische Zeichnung. b) Leonardo: Optisches Schema

Manuela Lenzen schreibt über Leonardo:

„Er hatte, ebenfalls als Erster, festgestellt, dass die Sehnerven von den Augen über Kreuz zur jeweils anderen Hirnhälfte wandern. Die vorderste Struktur des Ventrikelsystems, diejenige also, die den Augen am nächsten liegt, reservierte Leonardo nun dafür, die Stimuli aus dem Sehnerv zu empfangen. Von dort würden die visuellen Informationen in den zentralen Ventrikel transferiert und dort mit den Informationen der anderen Sinne zusammengebracht. Leonardo hielt nämlich das Auge für das wichtigste Sinnesorgan, das alle anderen Eindrücke koordiniert und kontrolliert. Bemerkenswert ist auch die präzise Darstellung des Hirnnervenverlaufs an der Schädelbasis.“ (Lenzen, 2016, o.S.)

Die später technisch realisierten stereoskopischen Systeme<sup>414</sup> sind nicht nur wegen ihrer besonders frappanten raumillusionierenden Wirkpotentiale bedeutsam. Sie sind bezüglich unseres Themas vor allem deshalb für eine umfangreichere Beachtung prädestiniert, weil mit ihnen auch die Geschichte der Erforschung der Wahrnehmung bis hin zu den neuronalen Korrelaten des Bewusstseins aufs Engste verbunden ist.

Dieser Erfindung des Stereoskops schreibt nämlich Wade in seiner Abhandlung eine besonders einflussreiche Rolle zur wissenschaftlichen Erforschung des binokularen Sehens und der damit verbundenen neurophysiologischen Aspekte zu:

„The stereoscope, perhaps more than any other instrument, ushered in the era of experimentation to vision.“ (Wade et al., o.J., S. 90)

In diesem Zusammenhang ist zu beachten, dass mit dem Stereoskop nicht nur die Untersuchungen über die Raumwahrnehmung vorangetrieben wurden, sondern auch die Analyse eine Reihe weiterer Phänomene Auftrieb erhielt. Die Untersuchung binokularen Sehens bildete nämlich auch außerhalb der Frage nach dem Zustandekommen eines räumlichen Perzepts einen bedeutsamen Zugang zur Erforschung neurokognitiver Prozesse, die z.B. auch die Frage der Disambiguation betreffen. Dies kommt mit der Einleitung eines Artikels des Leiters der Abteilung Physiology of Cognitive Processes am MPI Tübingen plakativ zum Ausdruck.

<sup>414</sup> Z.B. Charles Wheatstone, um 1838.

„Das Sehen ein Fenster zum Bewußtsein: Wie merken wir, was wir sehen? Die Hirnvorgänge beim Wahrnehmen doppeldeutiger Testbilder eröffnen faszinierende Einblicke in das Wesen geistiger Prozesse.“ (Logothetis, 2000, o.S.)

Damit steht natürlich der gesamte Komplex bewusstseinsnaher Prozesse mitsamt der Frage nach den neuronalen Korrelaten im Fokus. Der Nachweis und die Analyse der Funktionsweise von top-down Prozessen, die in speziellen Phänomenen der Wahrnehmung (z.B. so genannten optischen Täuschungen) wirksam zum Ausdruck kommen, werden damit auch zum vielversprechenden Feld der Analyse für kognitive Potentiale, welche die unmittelbare Bindung an die Wahrnehmung überschreiten und auf bewusster Ebene mit Gedächtnisinhalten bzw. Vorstellungen operieren.

Dieser von Logothetis angesprochene Zugang bezieht sich z.B. auf die Verarbeitung ambivalenter Stimuli im Milieu bistabiler Perzepte, monocular rivalry, binocular rivalry, binocular fusion, usw.. Die Prozessanalysen derartiger Phänomene sind auch dann zur Ausgestaltung der in der hiesigen Arbeit verfolgten Hypothese bedeutsam, wenn sie nicht unmittelbar auf Räumlichkeit bezogen sind, weil es hier ja auch, oder gerade darum geht, der Enzephalisation der Wahrnehmung im Sinn der Evolution von bewusstseinsnahen Strukturen und Potentialen zur Erstellung abstrakter Konzepte nachzuspüren, die nicht exklusiv durch phänomenales 3D determiniert sind. Es handelt sich also hier vorrangig um das Ausloten von top-down Komponenten, welche die (subjektive) Eindeutigkeit des Perzepts modellieren und über die Wahrnehmung hinaus auch als tragende Strukturen der Potentiale zur Erstellung komplexer Konzepte gelten können. Wenn man so will, für bewusste kognitive Prozesse mit dem Potential, auch über das an der dreidimensionalen Wahrnehmung orientierte Vorstellungsvermögen hinaus zu denken.

## 12.6 Binocular rivalry, monocular rivalry, piecemeal rivalry / interocular grouping

Bei Betrachtungen über Phänomene binokularer Rivalität und bistabiler Perzepte ist immer auch der evolutionäre Hintergrund zu beachten, dass die frontale Augenstellung eine relativ späte Spezialisierung darstellt. Das betrifft die folgenden Darstellungen, weil bei seitenständigen Augen die beiden Netzhautbilder prinzipiell sehr verschieden sind. Man kann davon ausgehen, dass bei Tieren mit seitenständigen Augen diese Bilder nicht synchron, sondern alternierend ausgewertet bzw. bewusst wahrgenommen werden.

Bei zunehmend überschneidendem Gesichtsfeld und erst recht beim binokularen teleotaktischen Fixieren ergibt sich also das Problem, ob die Bilder ebenfalls alternierend oder synchron ausgewertet werden. Das führt zur Folgefrage, ob dabei die beiden mehr oder weniger unterschiedlichen Bilder gleichzeitig als zwei Kompartimente im Bewusstsein präsent sind<sup>415</sup>, oder zu einem homogenen Konstrukt mit Schwerpunkt im Konvergenzbereich fusioniert werden.<sup>416</sup>

Mit Hedg  et al. (2010) wurde bereits auf die starken top-down Einflüsse durch Integration gespeicherter visueller Merkmale zur Stabilisierung des Perzepts aufmerksam gemacht.

Bei der Analyse von Phänomenen binokularer Rivalität wurden signifikante Affinitäten zu unterschiedlichen Gehirnarealen je nach Komplexität der Teststimuli erkennbar.

Nach Sengpiel (2013) gilt offenbar als aktueller Stand der Forschung, dass bei den weit vernetzten neuronalen Korrelaten binokularer Rivalität bei einfacheren ambivalenten Stimuli

<sup>415</sup> z.B. Diplopie, Sehen von Doppelbildern

<sup>416</sup> Cf: Zyklopisches Sehen und Béla Julesz: Punktstereogramme

die neuronalen Aktivitäten vorwiegend frühe visuelle Areale betreffen. Dagegen sind bei komplexeren Objekten, wie z.B. Gesichtern oder Häusern, verstärkt höhere visuelle Areale aktiv, besonders auch solche im Temporallappen:

“Single-cell recording studies carried out in the last 20 years or so have gone a long way to backing up a neuron doctrine of binocular rivalry. It is now widely accepted that there is no single mechanism underlying binocular rivalry and no single site in the brain where perceptual ambiguities are resolved (Andrews, Sengpiel, & Blakemore, 2005; Blake & Logothetis, 2002). Instead, it seems that for simple stimuli such as gratings, early visual areas such as LGN, V1 and V2 play an important role while for more complex objects, for example faces vs. houses, activity reflecting the subject’s perceptual state is more likely to be found in higher visual areas, primarily in the temporal lobe.” (Sengpiel, 2013, S. 181) (LGN: lateral geniculate nucleus, seitlicher Kniehöcker)

Eine Abbildung der von Buckthought et al. eingesetzten Teststimuli illustriert, wie die hier zur Debatte stehenden Phänomene experimentell provoziert werden.

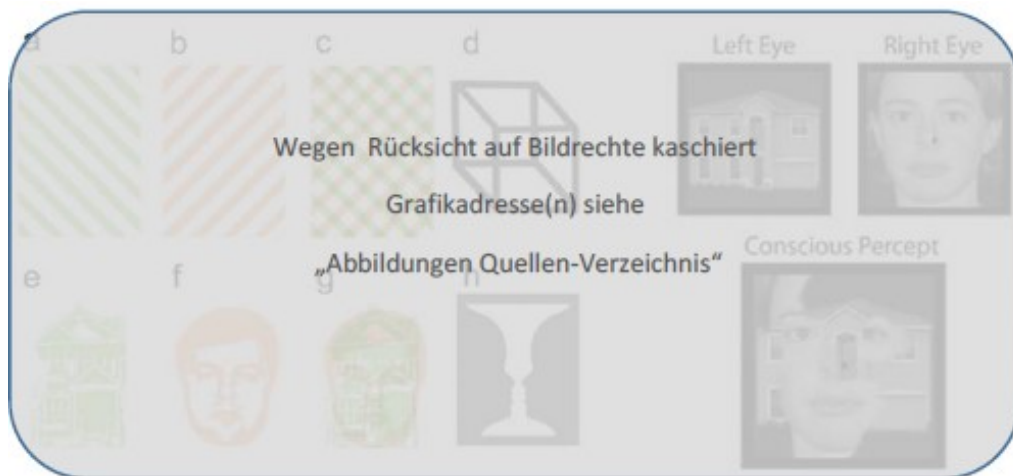


Abbildung 37 Teststimuli binocular rivalry usw. (Buckthought et al., 2012)<sup>417</sup> Abbildung 38 Piecemeal rivalry (Carmel et al., 2010)

Während also für Tests von **binocular rivalry** dem einen Auge das Haus (e) und dem anderen das Gesicht (f) simultan dargeboten werden, wird bei **monocular rivalry** eine Überlagerung beider Bilder (g) präsentiert. In beiden Fällen besteht die Tendenz, dass alternierend jeweils nur eines der Motive bewusst wahrgenommen wird oder zumindest prominenter erscheint.

Buckthought kommt auf Basis ihrer Untersuchungen zu dem Schluss, dass die Phänomene von Rivalität, Multistabilität und, für unseren Kontext besonders bemerkenswert, auch Räumlichkeit der Wahrnehmung untereinander mit neuronalen Korrelaten verbunden sind, die darüber hinaus auch für komplexe hochrangige kognitive Funktionen<sup>418</sup> wie Aufmerksamkeit und Gedächtnisleistungen eine tragende Rolle spielen.<sup>419</sup>

<sup>417</sup> “ **Figure 4.** Examples of multistability. (a-b) Binocular rivalry (gratings), (c) monocular rivalry (gratings), (d) Necker cube, (e-f) binocular rivalry (face/house), and (g) monocular rivalry (face/house).” (Buckthought et al., 2012)

<sup>418</sup> Cf. Anhang: > Bistabile Perzepte Rubin-Vase und Necker- Würfel: Semantische versus räumliche Ambivalenz

<sup>419</sup> “A review of recent functional neuroimaging studies indicates that binocular depth, rivalry and multistability are three perceptual processing domains which share neural substrates, including largely overlapping occipital, parietal and frontal cortical areas. All three of these perceptual processing modalities can be conceptualized as a series of visual perceptual processing stages in occipital areas, as well as higher-level cognitive functions in parietal and

## 12.7 Piecemeal fusion going 3D?

Die Bilder bzw. Stimuli von zwei Augen in Einklang zu bringen stellt unter der pragmatischen Prämisse des Bedarfs nach handlungsbezogener Eindeutigkeit eine besondere Herausforderung dar. Das spezielle Phänomen **piecemeal rivalry**, das im Zuge von Untersuchungen zu binocular rivalry als vereinzelt auftretender Sonderfall festgestellt wurde, bietet diesbezüglich ein bemerkenswert anschauliches Beispiel.

Dabei erfolgen vereinzelt unter nicht wirklich geklärten Umständen Gruppierungsprozesse von Bildkomponenten aus divergierenden Bildern beider Augen, die im Sinn von klassischer binocular rivalry inkompatibel wären und nur alternierend wahrgenommen würden. Dagegen entsteht in diesem Sonderfall ein semantisch inhomogenes bzw. widersprüchliches Amalgam-Perzept (s.o. Abb. 37).<sup>420</sup>

Von diesen Phänomenen, wird (bei Carmel) u.a. der Schluss abgeleitet, dass die Unterdrückung divergierender Stimuli bzw. deren Dominanz nicht (nur) in frühen Verarbeitungsbereichen der visuellen Systems stattfindet. Vor allem bei interocular grouping geht man davon aus, dass es sich um ein Amalgam von Merkmalsgruppen aus höheren Arealen handelt. Das erscheint als konvergent mit der in dieser Arbeit verfolgten Enzephalisation bzw. Cortikalisierung<sup>421</sup> der Wahrnehmung sowie mit Roths Hinweis auf Parallelverarbeitung mit später Bindung.

Das Amalgam aus Fassade und Gesicht wird im hiesigen Kontext so interpretiert, dass entgegen semantischer Divergenz, die erst auf höherer Verarbeitungsebene bestimmt wird, gerade wegen der ambivalenten Gesamtkonstellation Ähnlichkeitskriterien aus vorgelagerten, noch nicht begrifflich codierten Verarbeitungsbereichen „durchschlagen“ und die begrifflich/semantische Bestimmung von „Ähnlichkeit“ auf Basis abstrakter Kriterien unterlaufen bzw. overrulen. Also etwa nach geometrieaffinen Kriterien wie der Ausrichtung und Länge von Linien, für die bereits im primären visuellen Cortex/ V1 eine besondere Sensibilität besteht.

All das würde, kurz gefasst, bedeuten, dass sich in kritischen ambivalenten Situationen das visuelle System bevorzugt nach geometrieaffinen Kriterien richtet, um nach semantischen Kriterien zu stark divergierende simultane Bilder trotzdem zumindest teilweise zu fusionieren. Wenn es diese Möglichkeit bzw. Tendenz zum teilweisen Fusionieren statt zum alternierenden Unterdrücken divergierender Bilder gibt, dann schafft das auch ein opportunes Milieu, die auf Grund binokularer Disparität verschiedenen Ansichten eines Gegenstandes trotz binokularer Rivalität zu einem Amalgam zu fusionieren. Das erscheint erst recht dann als plausibel, wenn es sich nur um leicht verschiedene Ansichten eines bereits prinzipiell als Einheit (Invariante) identifizierten und semantisch codierten Objekts handelt, die erst im Nahbereich deutlicher voneinander abweichen.<sup>422</sup> Gemäß dieser (leider nur) spekulativen Überlegungen werden bei piecemeal rivalry zur Geltung kommende Fusionspotentiale hier auch als eine mögliche Grundlage der Evolution dreidimensionaler Wahrnehmung interpretiert.<sup>423</sup> Ebenso wird

---

frontal areas, involving decision making, motor planning and execution, attention, awareness and memory..“ (Buckthought, 2012, O.S. / ca. S.> 20)

<sup>420</sup> Cf. räumliches Amalgam bei rotierender Hohlmaske)

<sup>421</sup> Cf. Glossar

<sup>422</sup> Cf. bei Annäherung zunehmende Differenz der Netzhautbilder laut Beispiel Abb. 35

<sup>423</sup> 3D kann allerdings auch top-down forciert werden, wenn ein semantisch eindeutiges bestimmtes Objekt z.B. bei Annäherung aufgrund binokularer Disparität jedem Auge leicht verschieden erscheint. Das passt auch zum Einfluss der Bekanntheit bzw. Benennung des Objekts auf die Dominanzzeit bei binocular rivalry. Cf. „the implementation of knowledge-mediated disambiguation.“ (Urakawa et al., 2014, o.S.)

daraus folgend angenommen, dass räumliches Strukturieren des Ambientes einer sehr starken und eigenständigen Tendenz unserer visuokognitiven Potentiale entspricht, die nicht zwingend an eine semantische Identifikation der wahrgenommenen Stimulusgruppe als bestimmtes Objekt gebunden ist. Die räumliche Wahrnehmung der abstrakten random-dot Stereogramme von Julesz (Cf. Abbildung) wird als Indiz dafür geltend gemacht.

Wenn man die hier am Beispiel piecemeal rivalry dargestellten strukturspezifischen Fusionsprozesse als Form von Gruppenbildung in Ansatz bringt, dann führt das in die Nähe von Poincarés Hinweis auf das nach seiner Ansicht präexistierende Potential zur Bildung von Gruppen, wobei hier akkurat durch den Rückgriff auf raumgenerierende Potentiale in frühen Arealen visueller Verarbeitung markante Bedeutung zukommt.

Damit wird versucht, die evolutionäre Alternative binokulare Disparität versus Bewegungsparallaxe, späte Parallelverarbeitung und piecemeal rivalry als geometrieaffines konstruktives Milieu des visuokognitiven Systems in Ansatz zu bringen, das für die Emergenz von phänomenalem 3D günstig ist.<sup>424</sup>

## 12.8 3D- das Beste aus zwei Welten? Phänomenales 3D als Quale?

Bezüglich binocular rivalry mit alternierender Bildunterdrückung ist auch zu beachten, dass aus unterschiedlichen Gründen das Verarbeitungspotential des Gehirns Kapazitätsgrenzen und Engpässe aufweist. Eine mögliche und offenbar bevorzugte Strategie zur Eindämmung der kognitiven Last besteht in der Selektion durch Konkurrenz, die vor allem auf Ebene der Aufmerksamkeit verhindert oder einschränkt, dass verschiedene Dinge gleichzeitig bewusst verfolgt werden (können).

Dies begründet Roth auf elementarerer physiologischer Ebene so:

„Warum können wir nicht verschiedene Dinge mit derselben Aufmerksamkeit verfolgen...Dies liegt zumindest zum Teil in der Tatsache begründet, daß Aufmerksamkeit und Bewußtsein die Stoffwechselaktivität des Gehirns in besonderer Weise beanspruchen und dadurch das Gehirn gewissermaßen in eine physiologische Notlage bringen. Um dies zu verstehen, muß man wissen, daß das Gehirn einen weit überdurchschnittlichen Verbrauch an Sauerstoff und Stoffwechselenergie (Glukose-

---

<sup>424</sup> Stuit (2011) macht in diesem Umfeld auf einen bemerkenswerten Umstand aufmerksam, der hier als eine Komponente der Voraussetzung für die Entstehung stabiler räumlicher Perzepte auf stereoptischer Basis gedeutet wird.

“Together, the above results suggest that the perceptual outcome of two rivalling images is primarily determined at a local level, but that grouping cues (such as good continuation) affect the local competition: when two adjacent regions contain similar image-content, the images tend to be dominant in perception at the same time, even when the image-content is distributed across the two eyes.” (Stuit et al., 2011, o.S.)

Auch der suggestive Titel „How does binocular rivalry emerge from cortical mechanisms of 3-D vision?“ einer Studie von Grossberg (2008) zeigt, als wie eng verknüpft die Prozesse von binocular rivalry und 3D Wahrnehmung angesehen werden.

Grossberg et al. entwickeln darin ein sehr komplexes Modell, das hier nicht referiert wird. Nur auf einige Aspekte des Stichworts „perceptual grouping“ soll besonders hingewiesen werden:

„Perceptual grouping is the process whereby spatially distributed visual features become linked into object boundary representations. Illusory contours are familiar examples of perceptual grouping, but grouping also binds together contiguous perceptual boundary fragments that individually receive bottom-up sensory inputs, as in the case of the composite images.

The claim that perceptual grouping is a key process in binocular rivalry helps to clarify why, despite the fact that binocular rivalry was discovered in 1760 by Dutour, it is still a topic of current research. If perceptual grouping is a key process in 3-D vision and figure-ground perception, then the task of understanding binocular rivalry is closely tied to the great challenge of characterizing the functional units of conscious 3-D perception.” (Grossberg et al., 2008, o.S.)

Hier ist auch anzumerken, dass der Hinweis “binds together contiguous perceptual boundary fragments” als konvergent mit den Betrachtungen über Cézannes Umgang mit Konturen angesehen wird.

Zucker) aufweist. Während es nur zwei Prozent der Körpermasse ausmacht, verbraucht es im Durchschnitt 20 Prozent der gesamten Energie, d.h. zehnmal mehr, als ihm eigentlich zukommt (Creutzfeldt, 1983). Es ist also aus dem Blickwinkel des restlichen Körpers (immerhin 98 Prozent) ein gefräßiger Parasit. Gleichzeitig lebt das Gehirn >von der Hand in den Mund<, d.h. es hat keinerlei Sauerstoff und Zuckerreserven.“ (Roth, 1997, S. 222)

Ausgehend von dieser Voraussetzung wäre wohl auch die simultane Präsenz von unterschiedlichen Bildern im Fokus des bewussten Perzepts über den Entscheidungskonflikt hinaus ein belastender Luxus, und die alternierende Unterdrückung im Zuge von binocular rivalry trägt dem konsequent Rechnung.

Man könnte nun im Fall von binokularer Disparität die gleichzeitige Präsenz von sehr ähnlichen Bildelementen als *quantité négligeable* abtun, die das System einfach durchgehen lässt. Das kann zum Teil vielleicht sogar ein Faktor sein. Andererseits ist der Umstand, dass die Eindrücke beider Augen prinzipiell konkurrieren ein Grund, das bei 3D-Wahrnehmung wirksame Zusammenführen der Bilder nicht für selbstverständlich zu halten. Aber vielleicht ist ja akkurat diese systemspezifische Competition-Hürde gegenüber Bildverschmelzung ein Grund dafür, dass eine spezielle Ausweg Konstruktion in Form von 3D entwickelt wurde/entstanden ist.<sup>425</sup>

Weil bei binokularer räumlicher Wahrnehmung (Cf. g (Stereopsis) genau genommen nicht zwei differente Bilder simultan im Bewusstsein präsent sind, sondern ein spezielles Amalgam, das gewissermaßen entlang einer dritten Raumachse zu einem homogenen Perzept emuliert wurde, könnte man das so generierte phänomenale 3D auch als Ergebnis einer speziellen neurokognitiven Konstruktionsstrategie interpretieren, welche unter Bedingung knapper Ressourcen einen Kompromiss zugunsten eines erheblichen Mehrwerts bei in Relation dazu möglichst geringer zusätzlicher Systembelastung anstrebt bzw. gefunden hat. Und zwar dadurch, dass die unter Bedingung von Disparität gemäß Augenabstand robustesten Merkmale aus den Einzelansichten des jeweiligen Auges zu einem innovativem Amalgam verschmolzen werden, das nicht Fragmente aus beiden Bildern zu einem (semantisch) mehr oder weniger konfusen Mix verbindet (vgl. Fassade/Gesicht), sondern zu einem homogenen Konstrukt im Rahmen einer im geradezu buchstäblichen Sinn neuen Dimension emuliert und uns als eine Art Quale erscheint.<sup>426</sup> Das „Wissen“ um die begleitende Konvergenz und Akkommodation der Augen kann dabei gemäß der von Poincaré forcierten Rolle der Muskelsinne ein unterstützender Faktor sein.

---

<sup>425</sup> Cf. *Simplexité*

<sup>426</sup> Ausdruck emuliert wird in Anspielung auf Berthoz' *Simplexité* verwendet. Allenfalls wäre so ein Quale „räumlicher Eindruck“ sogar eine simplexe Lösung zur bewusstseinstauglichen Codierung komplexer neuronaler Prozesse, die rivalisierende Komponenten enthalten, bei denen es sich aber als evolutionär nützlich herausgestellt hat, sie nicht wechselweise zu unterdrücken, sondern in einen spontan erfahrbaren Eindruck zu integrieren. Also entgegen der üblichen alternierenden Unterdrückung zwei unterschiedlichen Bildern im geradezu wörtlichen Sinn „Raum im Bewusstsein zu geben“, sofern die Bilddifferenz mit der Disparität des Augenabstandes in einem viablen Toleranzbereich korreliert. Wenn man gemäß der in dieser Arbeit verfolgten Hypothese davon ausgeht, dass Wahrnehmung nicht möglichst umfangreich Reize aufnimmt, sondern dazu tendiert, bei sonst weitgehender Unterdrückung nur wenige markante Signale zu einem viabel homogenen Konstrukt hochzurechnen, dann bietet folgende damit kompatible Annahme auch einen möglichen Ausweg aus dem Disparitätsdilemma. Man könnte davon ausgehen, dass das visuokognitive System bevorzugt nur jene kleinen Anteile der Stimulusgruppen auf der Netzhaut beider Augen bevorzugt verarbeitet, die den systemspezifischen, statistisch erprobten Erwartungshaltungen (Theoriebeladenheit) entsprechen, weil sie unter Berücksichtigung der aus der Disparität gemäß Augenabstand resultierenden Bilddifferenz regelhaft kovariieren und so leichter bzw. verlässlicher zu einem 3D Konstrukt emuliert werden können. Erst wenn Stimuli/Reize/Signale aus dem weitgehend unterdrückten Bereich diese schematischen Prozesse in erheblichem Ausmaß konterkarieren, erfolgt eine Revision dieses ersten räumlichen Eindrucks. Das erscheint (mir auch) als kompatibel mit der Bedeutung von Teilen für die Objektidentifikation, die andernorts mit Hinweis auf Biedermann und Cézanne angesprochen wird.

Ein pragmatischer Nutzen ergibt sich dabei auch daraus, dass durch die Verschmelzung konkurrierender Bilder die Handlungssteuerung durch den Fokus auf ein homogenes Objekt erleichtert wird. Ebenso ist in Erwägung zu ziehen, dass nach dem Kriterium der Kovarianz unter Bedingung binokularer Disparität 3D als sehr selektiver Filter für robuste Merkmale taugt, die ein Objekt „zusammenkitten“ und es gegenüber flüchtigen Eindrücken in/aus einem „noisy“ Milieu (vgl. Urakawa, Hedgé) abgrenzen. Das würde auch zur häufig empfundenen Überzeugungskraft immersiv räumlicher Bilder passen, die nicht selten als „realistisch, wie echt, wie zum Angreifen“ kommentiert wird.

#### 12.8.1 3D als Mehrwert-Produkt einer Art evolutionärer „Bottleneck Intelligenz“?

Über die schon mit Roth angesprochenen Kapazitätsprobleme simultaner Verarbeitung hinaus gibt es einen weiteren Grund für die Überlegung, im Zusammenhang mit 3D eine hier als „Bottleneck Intelligenz“ bezeichnete Strategie neurokognitiver Datenverarbeitung ins Spiel zu bringen. Das Argument dafür besteht nach Zühlke (2012) darin, dass wegen der enormen systeminternen Kapazitätsunterschiede der Weiterleitung und Verarbeitung von Daten ein sehr selektives Datenmanagement notwendig ist. Dieses muss sinnvoller Weise radikal jene als bedeutsam eingeschätzten Daten rasch und nachhaltig vom Rest der aufgenommenen Stimuli/Reize abgrenzen. So erhebt sich die Frage, wie weit Daten, die über mehrere selektive Stufen hinweg als deutbar und bedeutsam eingeschätzt wurden (eben weil sie diese selektiven Filter-Kaskaden der spezialisierten Areale visueller Verarbeitung wie V1 usw. passieren konnten und dabei modelliert wurden), auch in besonderer Weise nachhaltig so ins System integriert werden, dass sie gegenüber den verbliebenen weniger bedeutsamen (Spam-) Signalen und Rauschen im Rahmen des Paradigmas Competition konkurrenzfähig robusten Bestand gewinnen.

„Diese Filterung ist alleine schon aufgrund der großen Differenz im Informationsfluss zwischen der Informationsaufnahme durch die Sinnesorgane von bis zu 10 Mbit/s ... und der maximalen Informationsverarbeitungskapazität des Gehirns von 16 bit/s.“ (Zühlke, 2012, S. 19) (Ö> Satz im Original unvollständig, sinnvoll zur ergänzen ist z.B.: \*notwendig)

Zühlke veranschaulicht dies auch mit dem Hinweis, dass schon bei der Weiterleitung von der Retina an den Sehnerv eine markante Reduktion erfolgt und sieht schon auf dieser Ebene einen der möglichen Gründe für Ambivalenzen:

„ Durch diese Schaltzellen findet eine erste Informationsverdichtung statt (die Informationen von 130 Mio. Sehzellen werden an lediglich 1 Mio. Ganglienzellen weitergeleitet)....Somit können hier schon Mehrdeutigkeiten und optische Täuschungen entstehen.“ (Zühlke, 2012, S. 19)

Wen man nun davon ausgeht, „dass der Mensch ca. 10 Mbit/s, das sind 80% seiner insgesamt aufgenommenen Informationen, über...seine Augen aufnimmt“ (Zühlke, 2012, S. 7), dann sind für das visuelle System Datenkompression bzw. Unterdrückung und Ambivalenz zentrale Problemfelder, die effizienter Lösungen bedürfen.<sup>427</sup>

Die Aufspaltung der Verarbeitung in spezialisierte Teilbereiche könnte eine dieser Strategien sein und erscheint auch als kompatibel mit Roths Hinweis auf die signifikant komplexe Parallelverarbeitung.

<sup>427</sup> Zur andernorts besprochenen projektiven Ambivalenz des Bildes der Netzhaut kommt also auch noch eine Ambivalenz, die sich aus der reduzierten Weiterleitung von Signalen/Daten ergibt.

Vor diesem Hintergrund werden zwei von Roth beschriebene Merkmale visueller Verarbeitung für die hier angestellten Überlegungen zur Relation von Licht und Strukturierung des Konnektoms besonders bedeutsam.

### 12.8.2 Roth: Visuelles System der Wirbeltiere mit signifikanter Parallelverarbeitung und später Bindung

„Das visuelle System der Wirbeltiere zeigt deutlicher als die anderen sensorischen Systeme das Prinzip der *Parallelverarbeitung*. Damit ist gemeint, dass die Photorezeptoren und die unmittelbar nachgeschalteten Zellen jeweils bevorzugt auf bestimmte Einzelmerkmale der normalerweise komplexen Reize reagieren, wie Größe, Kontrast, Farbe, Ort im dreidimensionalen Raum, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und Bewegungsmuster, und dass diese Merkmale in der Netzhaut und auf weiteren Stufen des visuellen Systems im Gehirn mehr oder weniger getrennt voneinander verarbeitet werden. Erst auf relativ „späten“ Stufen kommt es dann zu einem Zusammenfügen dieser Merkmale zu komplexeren Wahrnehmungsinhalten.“ (Roth, 2010, S. 283)

Bezüglich dieser weit verzweigten Parallelverarbeitung dislozierter Daten/Merkmale geht es hier aber nicht nur um die Frage, ob und wie weit dies die Komplexität der Verarbeitung und somit die Enzephalisation der Wahrnehmung prinzipiell forciert; es geht auch um effizienzsteigernde Optimierung dieser zunehmend aufwendigen Strukturen.

So ist zumindest kurz darauf hinzuweisen, dass weniger die schiefe Größe des Gehirns als vielmehr auch die strukturelle Charakteristik der neuronalen Netzwerkarchitektur als eine mögliche Komponente für höhere kognitive Leistungen und die Emergenz von Bewusstsein zur Debatte steht:

“Optimization analyses have demonstrated that a high level of complexity (defined as the co-expression of functional segregation and functional integration [16]) is strongly associated with the emergence of small-world attributes, high proportions of CYCLES and minimized wiring length in structural connection patterns [33]. Such architectures also promote high levels of information integration [55] and the formation of an integrated ‘dynamic core’, a potential neural correlate of higher cognition and consciousness.” (Sporns, 2004, S. 423) <sup>428</sup>

Neben den schon genannten Konsequenzen, machen die Darstellungen von Roth und Sporns erkennbar, dass es besonderer Strategien bedarf und es solche auch gibt, um die Vielfalt dislozierte verarbeiteter visueller Daten zu einem homogenen Perzept zu formen. Das erfordert Prozesse neuronaler Bindung, die es auch im selektiven Milieu von competition und binocular rivalry ermöglichen, dass ein aus den divergenten Abbildungen beider Augen fusioniertes Bild bewusst wahrgenommen werden kann. Hier wird vorgeschlagen, dass jene Merkmale von Stimuli, die mit der Konstruktion des Phänomens 3D kompatibel sind, als eine Art robuste Codierung gegen Unterdrückung und zu Gunsten einer bevorzugten Verarbeitung dieser dabei generierten Gruppierungen von Stimuli bzw. Daten in Betracht zu ziehen. <sup>429</sup>

Versucht man für die hochkomplex interagierenden Prozesse von Parallelverarbeitung, Bindung, Inhibition, Selektion, Competition, binocular- sowie piecemeal rivalry und andere, die

---

<sup>428</sup> Cf. „Thus, it appears that structural clustering shapes at least some cortical activation patterns. (Sporns, 2004, S. 423). Siehe auch: Horx, <http://www.horx.com/Zukunftsforschung/Docs/03-S-08-Komplex-Emergente-Systeme.pdf>

<sup>429</sup> Das stellt natürlich kein neurophysiologisch bzw. –psychologisch plausibel formuliertes Modell dar, sondern will nur als begleitende Überlegung Komponenten phänomenaler Dreidimensionalität als insgesamt bedeutsame Faktoren auf dem Weg zum Bewusstsein ins Spiel bringen. Dabei wird in der leider holprigen Art der Formulierung versucht, zwischen dem externen Anlass „Stimulus“ und den gemäß Transduktion, Transformation (cf. Glossar) nach systemspezifischen Kriterien selektierten Perturbationen zu unterscheiden, denen im Zuge der vielfältigen Verarbeitungsstufen Bedeutung zugewiesen wird, so dass man sie als informationstragende Daten betrachten kann.



bei der Genese von phänomenalem 3D eine Rolle spielen, einen kompatiblen Rahmen zu finden, der auch den Bedarf nach Einfachheit gemäß begrenzter Verarbeitungskapazitäten sowie die nötige Schnelligkeit und Trennschärfe zugunsten rascher Handlungsfähigkeit integriert, dann bietet sich das von Alain Berthoz entwickelte und so benannte Prinzip der Simplexité an.

### 12.9 3D Wahrnehmung als viable neurokognitive Lösung des binokularen Datenproblems nach Art von Berthoz' Simplexité?

Heidelberger zitiert in seiner Untersuchung „Räumliches Sehen bei Helmholtz und Hering“ folgende Metapher, derer sich Hering anlässlich seiner sukzessive wachsenden Einsicht in die Theorien von Lamarck und Darwin bedient:

„Aus den beiden, mit genialer Einseitigkeit durchgeführten Theorien Lamarcks und Darwins entstand mir ein einheitliches Bild der Entwicklungsgeschichte des Lebendigen. Es erging mir wie zuweilen dem in ein Stereoskop Blickenden, wenn er anfangs zwei sich überall durchkreuzende und miteinander kämpfende Eindrücke empfängt, bis plötzlich beide sich zu einem klaren, nach dritter Dimension geordneten Gebilde vereinigen.“ (Hering in Heidelberger, o.J.c, o.S.)

Aus diesem Satz Herings lässt sich sowohl das schon genannte Prinzip Competition herauslesen, wie auch der damit verbundene kognitive und zeitliche Aufwand zur Integration der divergierenden Komponenten erkennbar wird. Das sind Aspekte, die vor dem Hintergrund komplexer Parallelverarbeitung und später Bindung aus evolutionärer Perspektive zugunsten rascher Handlungsfähigkeit eine optimierte Lösung im Sinne von Berthoz' Simplexité nahelegen.

#### 12.9.1 Berthoz: Simplexité

Auf die eigene Einleitungsfrage nach dem Grund, dieses von ihm mit einem Neologismus bezeichnete Prinzip vorzuschlagen und zur Debatte zu stellen, schreibt Berthoz:

„Ce n'est pas seulement un jeu de langage. Ce mot résume, selon moi, une nécessité biologique apparue au cours de l'évolution pour permettre la survie des animaux et de l'homme sur notre planète : malgré la complexité des processus naturels, le cerveau doit trouver des solutions, et ces solutions relèvent de principes simplificateurs. Elles permettent de traiter très rapidement, avec élégance et efficacité, des situations complexes, en tenant compte de l'expérience passée et en anticipant l'avenir. » (Berthoz, 2009, S. 17) <sup>430</sup>

Aspekte von Berthoz' Simplexité bezüglich des Phänomens der Raumwahrnehmung und der damit verbundenen Emulation der externen Realität gemäß Verarbeitungsregeln neurokognitiver Prozesse werden auch an anderen Stellen dieser Arbeit angesprochen.

Dabei wird anknüpfend an die von Berthoz ins Treffen geführte „complexité des processus naturels“ unterstellt, dass es nicht nur um Strategien zur Reduktion der Komplexität der

---

<sup>430</sup> « Le processus de traitement de l'information visuelle ne se fait pas de façon seulement sérielle et hiérarchisée; il se fait aussi en impliquant parallèlement de nombreux mécanismes feed-back ou de contrôle centrifuge et en mobilisant des processus de sélection à chaque embranchement. En tout état de cause, l'attention module l'activité aux premiers stades du traitement visuel. Elle ne se contente pas d'amplifier les entrées visuelles, elle modifie profondément le traitement même des données. Elle agit, selon le contexte, sur le traitement spatial des objets, de leurs attributs ou d'une combinaison des deux. Le but fondamental des processus attentionnels est bien de réduire la complexité de l'analyse du monde et de ses relations avec le corps en acte. C'est aussi un mécanisme d'anticipation et de mise en relation de l'expérience passé avec les projets sur le futur. Il s'agit donc bien d'une véritable posture mentale, entendue au sens de préparation à l'action. La multiplicité des mécanismes attentionnels reflète le travail accompli par l'évolution pour simplifier la neurocomputation et permettre au cerveau de ne pas avoir à traiter de problèmes trop complexes. En ce sens, elle est bien caractéristique de la simplexité. » (Berthoz, 2009, S. 67)

externen Realität in Richtung von handlungstauglichen Modellen geht, sondern dass Raumwahrnehmung auch mit der Konstruktion von Verarbeitungsschemata und der korrelierenden neuronalen Netzwerke zu tun hat, welche die **systeminterne** Komplexität visueller Verarbeitung reduzieren bzw. optimieren.

Somit wurde hier als Abschluss dieses Kapitels nur ganz kurz angedeutet, worauf Berthoz abzielt.

All das spricht für die bedeutsame Rolle einer Enzephalisation der Wahrnehmung, welche Grundlage dafür ist, dass das Perzept so umfangreich mit top-down Komponenten angereichert wird, dass besonders in ambivalenten Situationen weniger die aktuelle Konstellation der externen Stimuli als vielmehr die in schematisierten Verarbeitungsregeln des visuellen Systems top-down wirksamen evolutionären (und auch persönlichen) Erfahrungen das bewusst werdende Perzept bestimmen und dabei nicht kompatible Stimuli weitestgehend unterdrücken.

In dem Ausmaß, wie die stereoptische dreidimensionale Wahrnehmung auch genuin mit einer Fokussierung auf diskrete opake Körper verbunden ist, ist auch das von Poincaré so häufig ins Spiel gebrachte wahrnehmbare Objekt mit Berthoz' Konzept der Simplexité kompatibel und kann demgemäß als Emulation zur Interaktion mit der externen Realität interpretiert werden.

#### 12.9.2 Cerveau un émulateur de la réalité

Berthoz weist unserer Wahrnehmung, dem Bewusstsein und, summarisch formuliert, dem Gehirn die Funktion/Wirkung zu, die externe Realität in eine gemäß unseren systemspezifischen Potentialen kompatible Emulation zu transformieren.

„Le cerveau émulateur de réalité : Notre cerveau émulatuer fait donc des hypothèses. Mais il ne fait pas que simuler la réalité, il émule un monde possible. Par exemple, il suppose que les objets sont rigides ou il transforme le monde perçu pour le rendre aussi symétrique que possible, e cela au prix de déformations (perceptives) de la réalité physique. » (Berthoz, 2009, S. 77) <sup>431</sup>

Damit wird aber auch die von Poincaré wiederholt ins Spiel gebrachte evolutionäre Erfahrung zu einem zumindest bisweilen (in ambivalenten Situationen) dominanten Faktor unserer Wahrnehmung mit demgemäß erheblichem Einfluss auf unser Erkenntnisvermögen.

Weiter gedacht betrifft das auch die Frage einer a priori determinierenden Kraft der phänomenalen Dreidimensionalität. Dieses Problem tangiert somit nicht nur Poincarés wiederholtes Plädoyer gegen ein determinierendes Apriori, sondern gewinnt auch noch an Brisanz, wenn Poincaré wegen seiner Aussagen über die Rolle der „Erfahrung der Vorfahren“ und jene der „Zuchtwahl“ in Abhandlungen über evolutionäre Erkenntnistheorie als tendenzieller Protagonist eines ontologischen Realismus ins Spiel gebracht wird. <sup>432</sup>

Es geht also um den Zugang zu einem „irgend Etwas“ der externen Realität, wenn man so will, der „natürlichen“ oder „äußeren Gegenstände“, unter Bedingungen einer im Rahmen der evolutionären Enzephalisation von top-down Einflüssen gestalteten Wahrnehmung und dem damit verbundenen Erkennen.

Wenn aber gemäß den vorangegangenen Überlegungen der wahrnehmbare feste Körper in einem so hohen Ausmaß von den Potentialen des visuokognitiven Systems beeinflusst ist, dass

<sup>431</sup> Zu Berthoz' „...il suppose que les objets sont rigides...“ vgl. > Objekt als lichtaffines Konstrukt und die von Vollmer bzw. Campbell angesprochene Koinzidenz von Opazität und mechanischer Festigkeit. Diese Aussage Poincarés ist auch kompatibel mit Poincarés „Rahmen, die wir der Natur aufdrängen“ (Cf. Poincaré, 2013b, S. 9).

<sup>432</sup> Cf. Engels, Vollmer

Berthoz sogar von einer Emulation der Realität zu einem „monde possible“ spricht, dann sind diese uns als **natürliche Objekte** erscheinenden Emulationen ganz im Sinn Poincarés auf unterschiedlichen Ebenen möglichst weit zu hinterfragen, um auch subtile Details erkenntnistheoretischer Affinitäten sichtbar zu machen.

## 13 KOMPARTIMENT Blickgestik als intuitive Komponente von Objektivität

In dieser Arbeit wird Poincarés Anbindung von Intuition an einen vielfältigeren Geltungsbereich zwar zur Kenntnis genommen, aber nur die sinnliche Anschauung ausdrücklich in Betracht gezogen.<sup>433</sup> In diesem Kontext geht es daher nur darum, vor allem durch die gegebenen Zitate die prinzipielle Bedeutsamkeit von Intuition für Poincaré zu verankern und darüber hinaus im Sinn eines kleinen Beitrags auf die Möglichkeit aufmerksam zu machen, Poincarés Modell von Objektivität auch auf nonverbaler Ebene zu etablieren; oder dies zumindest zu versuchen.<sup>434</sup>

Auch wenn Poincaré in seinen Ausführungen über Objektivität betont, „...daß diese Übermittlung nur durch die Rede vor sich gehen kann...“ (1910, S. 197), kommt nach hier vertretener Ansicht bereits dem durch Blickgestik kommunizierten gemeinsamen Betrachten von Objekten eine nicht zu unterschätzende erkenntnistheoretische Rolle zu, wenn man folgenden Passus drauf bezieht, der auch die Empfindungen und das Sehen ins Spiel bringt:

„Und da die Schlußfolgerungen sich auf die Welt unserer Empfindungen anwenden zu lassen scheinen, glauben wir schließen zu können, daß diese vernünftigen Wesen dasselbe gesehen haben wie wir; daher wissen wir, daß wir nicht nur geträumt haben.“ (Poincaré, 1910, S. 197)

Der Versuch, koinzidente Gruppen von Stimuli als beständige Objekt zu verifizieren, betrifft nicht nur Poincarés generellen Zugang zur Objektivität, sondern auch die von ihm als tragfähige Komponenten des Erkennens geltend gemachten Potentiale der Intuition und des unbewusst agierenden sublimen Ichs hinsichtlich seines visuell orientieren Assoziationsvermögens. Damit gewinnen auch neurokonstruktivistische Konzepte (vgl. Roth) eine intersubjektive Schnittstelle, die nicht nur auf Ebene der Sprache verifiziert werden kann.

Potentiale für Intersubjektivität sind nach hier vertretener Position schon in den neuronalen Prozessen der Wahrnehmung und auch in den unbewusst wirkenden Komponenten von

---

<sup>433</sup> Gemäß meinen Möglichkeiten sollte die Analyse und Darstellung von Poincarés Intuition der reinen Zahlen usw. Autoren mit entsprechender Fachkompetenz für Logik, Mathematik und Geometrie vorbehalten bleiben, damit diese Konzepte auch richtig beschrieben und seriös interpretiert werden. Eine derartige Darstellung dieses Themas bietet das Kapitel „Philosophy of mathematics“ des Artikels „Henri Poincaré“ in der Stanford Encyclopedia of Philosophy. (Heinzmann, Stump, 2017), der im Anhang auszugweise wiedergegeben wird.

<sup>434</sup> Zum Vermeiden von Missverständnissen wird ausdrücklich betont, dass es beim Verfolgen der visuell basierten intuitiven Potentiale außersprachlicher Kommunikation nicht darum geht, die Bedeutung bewusster sprachlich kommunizierter Erkenntnis zum intersubjektiven Abgleich räumlicher Interaktionskonzepte schmälern zu wollen. Das Gegenteil ist der Fall. Insgesamt werden durchdachte Konzepte geometrischer Beschreibung von Raum nicht nur als nützlich, sondern auch als notwendig angesehen. Weil diese Arbeit ja die vielfältigen Defizite, Ambivalenzen und simplexen quick & dirty Lösungen des visuokognitiven Systems und einer mit diesem genuin verbundenen Intuition aufzeigt, ist zur Kompensation permanent eine rationale Evaluation von spontan entstehenden räumlichen Vorstellungen, intuitiven Entscheidungsoptionen sowie von tradierten Denk – und Handlungsschemata notwendig. Das würde aber auch zur hier nicht umfangreicher verfolgten Frage der Intuitionsbeladenheit von Wissenschaft führen, also zu einem für Poincaré relevanten Thema. (Cf. z.B. Renate Huber, 2013)

Handlungssteuerung angelegt und kommen nicht zuletzt auch in Augenbewegungen zur Geltung. Davon ausgehend wird unter Berücksichtigung eines Forschungsprojekts über Inter-Brain Synchronisation versucht, einen mit Poincaré kompatiblen intuitiven Zugang zu Objektivität durch intersubjektiven Abgleich der Raumvorstellung visavis kooperierender Partner zu etablieren, der auch außerhalb sprachlicher Kommunikation als möglich erscheint.

### 13.1 Intuitive Aspekte von Poincarés konventionalistischer Objektivität

Hinsichtlich Poincarés konventionalistischem Zugang zur Objektivität wird zunächst seine weitreichende Wertschätzung von Intuition angedeutet, wie sie in den auch an anderer Stelle erwähnten Hinweisen auf „...guidé par un sûr instinct, ou par quelque vague conscience de je ne sais quelle géométrie plus profonde... » (Poincaré, 1905/1906 S.> 5 f.) sowie auf die Erkenntnispotentiale des sublimen Ichs zu Ausdruck kommt, wobei gemäß Trochu auch William James eine Rolle spielt.

Für die erkenntnistheoretische Bedeutsamkeit von Intuition bei Poincaré sprechen nicht nur folgende Aussagen von Renate Huber (2013) und Olga Pombo (2012).

Huber schreibt über Poincarés verschiedene Begriffe der Intuition:

„Poincaré spricht von verschiedenen Arten der Anschauung bzw. Intuition und gibt Beispiele aus Logik, Geometrie und Arithmetik: Die Grundbegriffe werden in der Anschauung gebildet; die Axiome gelten als intuitiv einsichtig und die Methoden werden durch den Verweis auf die Intuition begründet. Seine wichtigsten Begriffe sind: (a) die Anschauung durch die Sinne und die Einbildungskraft (an anderen Textstellen spricht Poincaré von Intuition der Wahrnehmung bzw. sinnlicher Anschauung), (b) die Anschauung oder „Intuition der reinen Zahlen“ und (c) die vollständige Induktion, die auf dem abstrakten Zahlbegriff beruht und den Grenzübergang vom Endlichen zum Unendlichen einschließt.“ (Huber, 2013, S. 391) <sup>435</sup>

Pombo geht 2012 ausdrücklich auf Poincaré bezogen dem Aspekt Intuition in einer Abhandlung mit dem Titel nach: *Conceptions of intuition in Poincaré's philosophy of mathematics*. Darin ventiliert Pombo anlässlich Poincarés Hinweis auf «... *notre besoin de penser avec des images...*» <sup>436</sup> die Frage: “Is it possible to make geometry by keeping away from any image, that is, not only without any sensible image (be it an apple or a drawing), but also without any image at all, that is, without any image produced by our imaginative intuition?” (Pombo, 2012, S. 5)

Auch Poincarés Antwort an Russel betont die Rolle der Psychologie (cf. Heinzmann, 1995, S. 133) und seine Charakterisierung unterschiedlicher Profile von Wissenschaftlern ist ein Beleg, für wie wertvoll er neben der streng logisch rationalen Methode, für die Weierstraß als Beispiel genannt wird, auch den z.B. von Riemann vertretenen intuitiven Weg einschätzt. <sup>437</sup> Darüber hinaus kommt bei Poincarés intuitivem Zugang zur Lösung komplexer abstrakter Probleme gemäß Nina Samuel <sup>438</sup> noch der Aspekt bildhafter Vorstellungen zur Geltung, eine Komponente die auch der Mathematiker Hadamard <sup>439</sup> anspricht.

<sup>435</sup> Ein umfangreicherer Teil der Poincaré betreffenden Passage Hubers wird im Anhang wiedergegeben.

<sup>436</sup> Cf. :“...notre besoin de penser avec des images.” (Poincaré, 1920, S.139)

<sup>437</sup> „Man braucht nur ihre Werke zu lesen, um sofort zwei Klassen von schöpferischen Geistern zu unterscheiden: die rein logischen Forscher, wie Weierstraß z. B., und die intuitiven Forscher wie Riemann.“ (Poincaré, 1914, S. 106)

<sup>438</sup> Samuel, 2012, S.66 f.

<sup>439</sup> Samuel, 2012, S.66 f. und Hadamard, 1954, S. 12

### 13.2 Sublimen Ich als Komponente von Intuition

Bezüglich Poincarés Begriff von Intuition muss auch seine Gewichtung des Unbewussten erwähnt werden. Schlüsselstellen seiner diesbezüglichen Fragen und Überlegungen hat Poincaré in *Science et méthode* (1908) mit der Charakterisierung des „sublimen Ichs“<sup>440</sup> zum Ausdruck gebracht:

„Das sublimen Ich steht keineswegs tiefer als das bewußte Ich, es arbeitet nicht rein automatisch, es hat die Fähigkeit zu unterscheiden, es hat Feingefühl; es kann auswählen, es kann ahnen. Es kann sogar besser ahnen als das bewußte Ich, denn es hat dort Erfolg, wo jenes versagt.“ (Poincaré, 1914, S. 46 f.)<sup>441</sup>

Das führt auch zu seiner weiteren Frage samt Vorschlägen zur Lösung:

„Wie kommt es, daß unter den tausend Produkten unserer unbewußten Tätigkeit einige dazu berufen sind, die Schwelle zu überschreiten, während andere draußen bleiben müssen? Wird ihnen dieses Privilegium einfach durch den Zufall übertragen? Offenbar nicht; von allen Sinnenreizen werden z. B. nur die stärksten unsere Aufmerksamkeit erregen und fesseln, es sei denn, daß diese Aufmerksamkeit durch andere Ursachen auch auf die schwachen gelenkt wird.“ (Poincaré, 1914, S. 47)

„Die bevorzugten unbewußten Erscheinungen, welche befähigt sind ins Bewußtsein zu treten, sind diejenigen, welche unsere Sensibilität direkt oder indirekt am tiefsten beeinflussen.“ (Poincaré, 1914, S. 47)

„Vielleicht muß man die Erklärung dafür in der Periode vorläufiger bewußter Arbeit suchen, welche jeder fruchtbaren unbewußten Arbeit vorangeht.“ (Poincaré, 1914, S. 50)

Wenn Poincaré für den Weg ins Bewusstsein eine Konkurrenz, Faktoren von Aufmerksamkeit und den Einfluss vorangegangener Arbeit in Betracht zieht, so scheint das mit aktueller Wahrnehmungs-, Kognitions- und Bewusstseinsforschung sowie den dort verfolgten Prozessen von Competition, Priming und Winner take all gut kompatibel zu sein.<sup>442</sup> Konvergent mit Poincaré<sup>443</sup> unterstellt folgende Aussage von Gerhard Schurz Mechanismen intuitiven Schließens unter wesentlichem Einfluss des Unbewussten<sup>444</sup>:

„...wesentliche Anteile des intuitiven menschlichen Schließens laufen unbewußt ab. Seit Jahrzehnten haben kognitionspsychologische Experimente immer wieder festgestellt, dass die Mechanismen des intuitiven Schließens von den korrekten Regeln des Schließens markant abweichen und zu intuitiven Fehlschlüssen führen. Daniel Kahneman hat für seine Untersuchungen zur probabilistischen Fehlschlüssen unlängst sogar den Nobelpreis erhalten.“ (Schurz, o.J., S. 12 f.)

<sup>440</sup> Über William James gelangt man zur Herkunft des markanten Begriffs „sublimen Ich“ in Poincarés Zitat. In seinen *Memories and Studies* schreibt James über Frederic „Myers‘ Services to Psychology“: „...and bound them together in a system by his bold inclusive conception of the Subliminal Self,...“ (James, 1901, o.S.)

<sup>441</sup> Cf. Kompatible Ausführungen von Gerhard Schurz über das „kognitive Unbewußte“ im Anhang.

<sup>442</sup> Diese Begriffe werden im Glossar beschrieben.

Aus historischer Sicht ist anzumerken: Erst um 1900 und danach haben die Analysen von Korbinian Brodmann und Ramon y Cajal wichtige Grundlagen der naturwissenschaftlichen Analyse jener elementaren physiologischen Komponenten des neurokognitiven Systems in Ansätzen erkennbar gemacht, welche für die genannten Fragen Poincarés eine Rolle spielen. Diese funktionellen Zusammenhänge stellen auch aktuell ein herausforderndes und keineswegs ausreichend geklärtes Problem einschlägiger Wissenschaften dar.

<sup>443</sup> Auch wenn Poincaré den Aspekt der Treffsicherheit und Schurz das Risiko von normwidrigen Fehlschlüssen in Betracht ziehen, sprechen beider Aussagen prinzipiell übereinstimmend für die weitreichende Präsenz unbewussten intuitiven Schließens.

<sup>444</sup> Cf. Anhang: Schurz.

### 13.3 Bildhaftes Denken und visuell basierte Evidenz als konstruktive Facetten von (geometrieaffiner) Intuition

Für das Bilden bzw. Entstehen von Assoziationsketten sowie deren Ausrichtung dürfte es (nach meiner Einschätzung) auch eine Rolle spielen, ob sich die assoziativen Prozesse auf definierte Begriffe, Zeichen, Symbole sowie z.B. Zahlen und deren Verknüpfbarkeit gemäß als sinnvoll geltenden abstrakten Regeln geht, oder ob die Verknüpfungen auf Ähnlichkeiten visueller Merkmale ausgerichtet bzw. davon motiviert sind. Wenn es nach starken Indizien eine Differenz sprachlicher und visueller Assoziationsketten gibt, dann erscheint es durchaus als möglich bzw. konsequent, dass diese zu unterschiedlichen Ergebnissen führen und auch beeinflussen, welche die Schwelle zum Bewusstsein überschreiten. Es geht also um das außerhalb von Fachkreisen kaum beachtete, aber deshalb nicht minder bedeutsame Thema, ob es ein vom sprachbezogenen Denken unterscheidbares **bildhaftes Denken** gibt und ob dieses gegebenenfalls auch für mathematische Intuition geltend gemacht werden kann.

Nina Samuel stellt mit einem Hinweis auf den französischen Mathematiker **Jacques Hadamard** (1865-1963) eine Verbindung zum möglichen Auftreten bildassoziativer Vorstellungen beim Lösen abstrakter mathematischer Probleme her:

„Zur Erklärung seiner mathematischen Arbeitsweise erläutert der Mathematiker Jacques Hadamard, wie sich vor seinem inneren Auge parallel zu den in Formeln vollzogenen Schritten geistige Bilder einstellen würden.“ (Samuel, 2012, S.66 f.)<sup>445</sup>

Hadamard selbst hält fest: „I allude to the celebrated lecture of Henri Poincaré at the Société de Psychologie in Paris. Poincaré’s observations throw a resplendent light on relations between the conscious and the unconscious, between the logical and the fortuitous which lie at the base of the problem.“ (Hadamard, 1954, S. 12)

Im Rahmen dieser Arbeit kann den von Samuel aufgezeigten Zusammenhängen und historischen Aspekten des Wechselspiels von mathematischem Denken und visuell-assoziativ hinterlegter Intuition nicht weiter nachgegangen werden. Daher wird diese Facette hier mit dem Hinweis abgeschlossen, dass sich Samuels Arbeit mit dem Titel „Henri Poincaré und der chaotische Wirbelsturm der Erkenntnis: Zur Performanz mathematischen Denkens“ explizit auf Poincaré bezieht, über den sie im Abstract anmerkt: „Poincaré’s philosophical writings contain elements of a pictorial epistemology.“ (Samuel, 2012, S. 59)<sup>446</sup>

#### 13.3.1 Didaktischer Vorschlag Poincarés zur Nutzung visuell basierter Evidenz

Wenn man ein gewisses Ausmaß samt entsprechend formbezogener – und somit geometrieaffiner - Eigenart bildhaften Denkens als gegeben annimmt und diesem ein Erkenntnispotential zutraut, dann geht es auch um visuell basierte Evidenz, für die folgende Zitate als Beispiel dienen sollen.

Im Kapitel „Die mathematischen Definitionen und der Unterricht“ geht Poincaré davon aus, dass bei Schülern wie bei Forschern unterschiedliche persönlichkeitspezifische Denkstrategien anzutreffen sind: „... die einen ziehen es vor, ihre Probleme „analytisch“ zu

<sup>445</sup> „Zur Erklärung seiner mathematischen Arbeitsweise erläutert der Mathematiker Jacques Hadamard, wie sich vor seinem inneren Auge parallel zu den in Formeln vollzogenen Schritten geistige Bilder einstellen würden...Hadamards Selbstzeugnis der Rolle einer bildlich vorstatten gehenden inneren Vergegenwärtigung während des mathematischen Denkens ist an sich schon bemerkenswert genug.<sup>33</sup> Darüber hinaus stellt er aber auch eine der Grundsatzfragen: Welche Rolle spielen diese in Worten kaum präzise zu fassenden, vagen inneren Bilder für den Erkenntnisprozess, die vollbrachte Beweisführung? In seinen Worten als offene Frage vorgetragen: „What may be the use of such a strange and cloudy imagery?“<sup>34</sup> “ (Samuel, 2012, S.66 f.)

<sup>446</sup> Samuel illustriert ihre Untersuchung auch mit einem Skizzenblatt Poincarés. Siehe Abb. Poincaré: Doodles

behandeln, wie sie sagen, die anderen arbeiten lieber „geometrisch“. Es wäre unnütz, daran etwas ändern zu wollen, und wäre es überhaupt wünschenswert? Es ist gut, daß es zugleich logische und intuitive Forscher gibt;...“ (Poincaré, 1914, S. 107)

Aus diesem Ansatz heraus konstruiert Poincaré eine Unterrichtssituation, um sein Anliegen zu illustrieren:

„Wir sind in einer Gymnasialklasse, der Lehrer diktiert: Der Kreis ist der Ort aller Punkte der Ebene, welche gleiche Entfernung von einem inneren Punkte, dem sogenannten Zentrum, haben. Der gute Schüler schreibt diesen Satz in sein Heft, der schlechte Schüler macht statt dessen Kritzeleien auf dem Papier; aber keiner von beiden hat den Sinn verstanden; da nimmt der Lehrer die Kreide und zeichnet einen Kreis auf die Wandtafel. °Ei,° denken die Schüler, °warum hat er denn nicht gleich gesagt: der Kreis ist eine runde Figur; dann hätten wir es doch verstanden.°“ (Poincaré, 1914, S. 109) <sup>447</sup>

Die vorangehenden Überlegungen und Beispiele sollten die potentiell erkenntniserweiternde Differenz/Dialektik zwischen sprachbezogenen und visuell- gestaltbezogenen Assoziationsketten illustrieren und die Kompatibilität mit Poincaré aufzeigen.

#### 13.4 Intuitive Gestaltwahrnehmung als morphologischer Aspekt von Geometrie

Diese Arbeit unterstellt, dass Organismen zur Aufrechterhaltung der lebensfähigen inneren Ordnung ein zunächst für den diesbezüglichen Energiehaushalt taugliches Interaktionsfenster zur der externen Realität haben, und dass ein autonomes Lebewesen auf Basis dieser Schnittstelle nur ein Wahrnehmungssystem entwickelt hat, das zwar externe Stimuli als Perturbationen registrieren kann, diesen jedoch nur nach selbstbezogenen pragmatischen Kriterien (cf. ongoing existence/Weber ) Bedeutungen zuweist. Damit steht Wahrnehmung in einem subjektiv strukturierten quick&dirty Verhältnis zur externen Realität. Wenn man Wahrnehmung auch noch als prognostisches Tool zur Antizipation und Handlungsplanung in Ansatz bringt, dann wird sie vollends hypothetisch und ermöglicht lediglich viable Entscheidungen, deren Validität nur ex post über die Konsequenzen der in diesem Sinn als Experiment verstandenen Handlung geprüft werden kann. Die Validität der daraus ableitbaren Aussagemöglichkeit beschränkt sich aber darauf, dass die wie auch immer beschaffene externe Realität diese Interaktion zugelassen hat. In dem Sinn wird auf Basis der Gewöhnung an wiederholte Handlungserfolge eine Umwelt konstruiert/konstituiert, die nur aus Hypothesen über Handlungsmöglichkeiten besteht, aber wenig bis nichts über die externe Realität als solche aussagt.

Um dieses so fragile Konstrukt zu stabilisieren und die Erfolgsaussicht von Prognosen zu erhöhen, ist es angesichts der (an anderen Stellen angesprochenen) weitgehenden Entkopplung von der externen Realität wohl günstig, die im Spiel befindlichen subjektiven Variablen sowie deren Anzahl und Wechselwirkungen zu registrieren und im Gegenzug auch Regelmäßigkeiten und möglichst dauerhaft stabile Korrelation ausfindig zu machen, die als viable Invarianten gelten können.

Dem entsprechen nicht nur bewusste rationale Strategien bzw. Leistungen, sondern auch unbewusste ratiomorphe Prozesse, die gemäß den hier angestellten Untersuchungen in besonders hohem Ausmaß das visuelle System und seinen Einfluss auf die Enzephalisation

---

<sup>447</sup> Eine ähnliche Auffassung klingt auch aktuell durch, wenn Georg Glaeser im Zusammenhang mit Problemen bei komplexeren geometrischen Konstruktionen zu bedenken gibt: „Ein vielleicht naiv klingendes, aber doch so wahres und wichtiges Sprüchlein sagt: „ Hast du von der Lösung keine Spur, so zeichne eine Hilfsfigur!“ (Glaeser, 2005, S. 339)

bzw. das Konnektom betreffen. Einen wesentlichen Faktor bildet dabei das Zusammenfassen von morphologisch kompatibel erscheinenden (Licht-) Stimuli zu Gruppen, die z.B. als diskrete Objekte zur Strukturierung der Umwelt motiler Lebewesen dienen. Um eine möglichst stabile Invarianz dieser Gruppen und in diesem Sinn ihre Existenz als beständiges Objekt zu konstituieren, ist es im Sinn der oben genannten Analyse und Reduktion von Variablen opportun, deren bewegungsinduzierten Formwechsel kompensativ herauszurechnen. Dazu trägt auch die Gestaltwahrnehmung bei. Diese beruht auf weitgehend unbewusst wirkenden Strukturen und morphologisch orientierten Verarbeitungsregeln, die demgemäß auch als intuitiv bezeichnet werden können. Wenn man nun, wie Poincaré es tut, die Formanalyse mittels des visuellen Fernsinns und somit auch dessen Potentiale zur Gestaltwahrnehmung in die Fundamente der Geometrie einbezieht, dann wird Geometrie zu einer genuin morphologischen Wissenschaft mit einer essentiell relevanten intuitiven Basis.

### 13.5 Subjektive Komponenten erfordern intersubjektiven Abgleich

Wenn/Weil aber wegen der in diesem Setting irreduziblen Subjektivität keine allein rational logischen Aussagen über eine auf die externe Realität bezogene Gültigkeit mehr erfolgen können bzw. solche nicht mehr für sich allein nur auf Basis einer widerspruchsfreien Logik von geometrischen Axiomen tragfähig sind, ohne die psychologisch-subjektiven Aspekte in Betracht zu ziehen, geht es bei der Bemühung um Objektivität auch um den intersubjektiven Abgleich. Dieser müsste zwar gemäß Poincaré durch den sprachlichen Gedankenaustausch vernünftiger Wesen logisch organisiert erfolgen, um zu entsprechend validen Konventionen führen zu können. Diese Arbeit macht sich aber wegen der subjektiven Wahrnehmungskomponenten und Poincarés Hinweis auf das Psychologische bzw. Intuitive auch dafür stark, die außersprachlichen Kommunikationspotentiale von Deiktik und Blickgestik ebenfalls als valide Methoden zur Objektivierung von Wahrnehmungsgegebenheiten gelten zu lassen und dementsprechend auch die damit essentiell verbundenen intuitiven Komponenten. Dafür sprechen auch die der Gestik innewohnenden Potentiale zur räumlichen Handlungskoordination, deren Erfolg ja im obengenannten Sinn als intersubjektive Prüfung und demgemäß als Objektivierung der zu Grunde liegenden Hypothesen gelten soll, so dass auch die räumliche Komponente eine markante Rolle spielt und man folglich zusammenfassend sagen kann, dass dieser intuitive Zugang zu Objektivität auch eine geometrieaffine Dimension hat.

### 13.6 Vom subjektiven Wahrnehmen zum intersubjektiven Wahrmachen durch Augenbewegungen

Nach den Überlegungen, die von der Bewegungsparallaxe zur dreidimensionalen stereoptischen Wahrnehmung und einer darauf bezogenen Emulation der externen Realität gemäß Berthoz' Simplexité führten, soll andeutungsweise gezeigt werden, dass und wie die Bewegungen frontaler Augen jenseits der unmittelbaren Wahrnehmung von Objekten auch als eine fundamentale Komponente im Rahmen von Poincarés geometrischer Intuition geltend gemacht werden können. Dies beruht darauf, dass die besonders markanten deiktischen Potentiale menschlicher Augen eine effiziente raumbezogene Kommunikation durch Blickgestik ermöglichen, die sogar mit Poincarés Modell von Objektivität durch intersubjektiven Abgleich kompatibel ist und damit auch seinen Konventionalismus untermauert.



Ausgehend von der Ankündigung „...werden weite Teile der vorliegenden Arbeit auf die Komponente der geometrieaffinen Intuition mit ihren Relationen zur sinnlichen Anschauung und deren Erkenntnispotentialen ausgerichtet“ soll nahegelegt werden, dass auch eine genuin kompatible Brücke zu Poincarés Fundamentierung von Objektivität durch Intersubjektivität auf Basis der Kommunikation vernünftiger Wesen etabliert werden kann, wenn man im Sinn einer Naturalisierung der Erkenntnis versucht, hinter den von Poincaré in Ansatz gebrachten sprachlich –symbolisch codierten Gedankenaustausch zurückzugehen und visuokognitive Aspekte ins Spiel bringt, die häufig unsere rational bewusst geordneten Aussagen unbewusst begleiten und deshalb hier als „intuitiv“ in Ansatz gebracht werden. Das tangiert sogar einen essentiellen Aspekt von Konventionalismus, der nmE. weiters eine Entkopplung von der externen Realität und folglich ein Erkennen auf Basis von Modellen mit sich bringt, die nur noch ein semiotisches Verhältnis zur externen Realität haben, welches permanent durch Experimente zu evaluieren ist.

Diese Arbeit verfolgt die evolutionäre Genese der Möglichkeiten wahrnehmungsbegründeter Erkenntnis und folglich auch jene von visuellen Assoziationspotentialen sowie der damit verbundenen psychophysiologischen Aspekte von Intuition und versucht diese über eine Hermeneutik zweiter Ordnung (Diebner, Keuth) als erkenntnistheoretisch valide Option zu etablieren.

Demgemäß ist, wie schon erwähnt, das Bemühen auf jenen Teilbereich von Poincaré angesprochenen Formen von „Intuition“ ausgerichtet, den Huber mit „(a) die Anschauung durch die Sinne und die Einbildungskraft (an anderen Textstellen spricht Poincaré von Intuition der Wahrnehmung bzw. sinnlicher Anschauung)...“ beschreibt. (Huber, 2013, S. 391)<sup>448</sup>

Auch wenn über meinen Vorschlag einer Wahrnehmungsbeladenheit der Begriffe die sinnlich-assoziative Intuition bis in Poincarés Objektivierung durch sprachliche Kommunikation und dadurch begründete Konventionen hineingetragen werden kann, bildet es im Kontext dieser Arbeit eine sinnvoll und nützlich erscheinende Herausforderung, außersprachliche Äquivalente für eine intersubjektive Interpretation bzw. Evaluation von gemeinsamen Beobachtungen aufzuzeigen und damit Poincarés Modell von Objektivität auch eine Facette anzufügen, die wegen ihrer speziellen Nähe zur Wahrnehmung und den Augenbewegungen auch eine genuine Kompatibilität mit Poincarés Fundamenten von Geometrie aufweist. Intentionale<sup>449</sup> Augenbewegungen mit ihrem kommunikativen Potential zu Steuerung kooperativen Handelns erscheinen (mir) dafür aus mehreren Gründen besonders gut mit Poincarés Aspekten von (geometrischer) Intuition und Objektivität kompatibel und dafür tragfähig zu sein.

Immerhin spielen Augenbewegungen nicht nur in Poincarés Begründung unseres Begreifens von Räumlichkeit eine Rolle, sie sind über die raumbezogenen deiktischen Potentiale subtil geometrieaffin und über das Modell des teleotaktischen Fixierens auch mit Poincarés Hinweis

---

<sup>448</sup> Wir haben also mehrere Arten von Anschauung, erstens die Berufung auf die Sinne und die Einbildungskraft, dann die Verallgemeinerung durch Induktion, die den experimentellen Wissenschaften sozusagen nachgebildet wird; wir haben endlich die Anschauung der reinen Zahlen, [...] die allein die wahre mathematische Schlußfolgerung erzeugen kann. [...] Demnach gibt es [...] nichts als Vernunftschlüsse oder die Berufung auf diese Intuition der reinen Zahlen, die einzige, die uns nicht täuschen kann.<sup>552</sup> ((Poincaré in Huber, 2013, S. 391? (Ö> Poincaré, 1910, S. 16 , Wert d.W.)

<sup>449</sup> Ausgehend von dem beachtenswerten Faktum, dass es sowohl bewusst gesteuerte als auch unbewusste Augenbewegungen gibt, geht es hier akkurat darum, den Ausdruck „intentional“ nicht nur mit einer bewussten und sogar noch mit einer im Vorfeld rational motivierten Absicht in Verbindung zu bringen, sondern auch auf den im hiesigen Zusammenhang höchst bedeutsamen Umstand aufmerksam zu machen, dass gerade Augenbewegungen häufig schon im Vorfeld einer bewussten Entscheidung den bereits unbewusst bestehenden Fokus der Aufmerksamkeit anzeigen. Jeder erfahrene Verkäufer weiß diesen vorausseilenden Indikator seines Visavis für ein zunehmendes Interesses an einem bestimmten Objekt zu interpretieren.

auf räumliche Strukturierung durch Vorstellung der „Greif“-Bewegungen zur Lokalisation eines Punktes im Raum konvergent. Schließlich bietet auch die von Augengestik unterstützte Perspektivenübernahme gemäß Müllers° (MPI) Forward Modell ein kommunikatives Potential, das man wegen ihres unbewussten Wirksamwerdens als Form subtiler geometrischer Intuition mit intersubjektiver Dynamik in Ansatz bringen kann. <sup>450</sup>

Es passt als Indiz in diese Argumentationslinie, dass einerseits die Steuerung der Okulomotorik auf einem weit verzweigten neuronalen Netzwerk evolutionär heterogener Teile des Gehirns beruht <sup>451</sup> und andererseits eine signifikante Tendenz besteht, dass auch aktuell wahrnehmungsunabhängige Vorstellungstätigkeit von unbewussten Augenbewegungen begleitet wird. <sup>452</sup>

Auch Dehaene zeigt ein lokalisierbares Netzwerk von Gehirnarealen auf, das die oben angesprochenen Aspekte verbindet und dabei, für die hier verfolgten Überlegungen besonders wertvoll, eine Netzwerks-Affinität jener Areale feststellt, die bei mathematischer Kalkulation und Augenbewegungen involviert sind : „...activation uniquely evoked by calculation was observed in the depth of the **intraparietal sulcus** (Ö><sup>453</sup>) and was surrounded by a systematic front-to-back arrangement of activation associated with grasping, pointing, attention, eyemovement, and language-related activations.“ (Dehaene, 2009, S. 240)

Diese Aussage wird als eine legitimierende Grundlage dafür angesehen, die von Poincaré unterschiedenen Varianten von Intuition als genuin verbunden zu betrachten und ihre Beziehung zum visuellen System besonders in Betracht zu ziehen.

### 13.6.1 Poincarés Modell der Augenbewegungen kompatibel mit „Feature-Ring-Hypothese“

Jenseits ihrer Affinität zu abstrakt mathematischem Denken gewinnen Augenbewegungen aber eine speziell geometrieaffine Bedeutung, wenn sie gemäß Körber auch als Komponenten der mentalen Repräsentation von Objekten angenommen werden.

---

<sup>450</sup> Das ist konvergent mit Buethers Interpretation der Rolle von Augenbewegungen, die teilweise die Auswertung der Flächeninformation des Netzhautbildes ersetzen können: „Der Mensch sieht daher auch kein °Netzhautbild°, sondern die Bewegungs- und auch Handlungsmatrix seiner eigenen Explorationstätigkeit, die in Referenz zu der Gedächtnisrepräsentation seines Anschauungsraums erfolgt. Aus diesem Grund spiegelt sich nicht nur die Seh-, sondern zugleich auch die Erkenntnistätigkeit des Betrachters zu einem Teil in den Bewegungen seiner Augen wider, wodurch ein außenstehender Beobachter Hinweise auf die Gedankengänge und Gefühle seines Kommunikationspartners erhält, die er sich für den Verständigungsprozess nutzbar machen kann. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Augengesten, bei denen affektive und kognitive Botschaften über den Blickkontakt zum Gesprächspartner, der zugleich die Aufmerksamkeitsrichtung signalisiert, wahrgenommen werden.“ (Buether, 2010, S. 75 f.)

<sup>451</sup> Cf. Anhang: *Abbildung Okulomotorik, beteiligte Hirnareale (Hinghofer-Szalkay, o.J., o.S.)*

„Das *frontale Augenfeld* programmiert willkürliche Augenbewegungen und wählt Ziele der Blickmotorik aus...Augenbewegungen können kompensatorisch sein (*Folgebewegungen*) oder der ruckartigen Einstellung auf neue Objekte dienen (*Sakkaden*). Die involvierten Zentren - Groß- und Kleinhirnrinde, Thalamus, obere Vierhügel, Hirnnervenkerne, formatio reticularis - sind über den fasciculus longitudinalis medialis miteinander verbunden.“ (Hinghofer-Szalkay , o.J., o. S. )

<sup>452</sup> „Eine Reihe von Untersuchungen an Normalsichtigen legt nahe, dass Sehen und bildliches Vorstellen durch dasselbe neuronale Substrat vermittelt werden. ...Zum Abtasten visueller Reize und Szenen werden sowohl beim Betrachten, als auch beim Vorstellen explorative Augenbewegungen eingesetzt.“ (Körber, 2003, S. 6)

<sup>453</sup> **“The intraparietal sulcus (IPS)** is located on the lateral surface of the parietal lobe,...Its principal functions are related to perceptual-motor coordination (e.g., directing eye movements and reaching) and visual attention, which allows for visually-guided pointing, grasping, and object manipulation that can produce a desired effect. The IPS is also thought to play a role in other functions, including processing symbolic numerical information,[4] visuospatial working memory[5] and interpreting the intent of others.[6]” ([https://en.wikipedia.org/wiki/Intraparietal\\_sulcus](https://en.wikipedia.org/wiki/Intraparietal_sulcus) 8.4.2019))

„Die systematischen bild- bzw. probandenabhängigen Scanpaths führten in der Folge zur so genannten „Feature-Ring-Hypothese“. Hierbei wird angenommen, dass ein betrachtetes Objekt intern durch seine Hauptmerkmale und die Augenbewegungen, die notwendig sind, um von einem Merkmal (feature) zum nächsten zu gelangen, repräsentiert wird. Demnach entspricht der Prozess des (Wieder-) Erkennens dem zyklischen Durchlaufen eines sog. „Feature-Rings“.“ (Körper, 2003, S. 18)

Dieses essentielle Integrieren der Erinnerung an die Augenbewegungen in die interne Repräsentation eines Objekts wird hier als auffallend affirmatives Indiz für die Überlegungen Poincarés angesehen, auch wenn diese explizit die Greifbewegung ansprechen. Aber unter dem Aspekt des mit Lorenz angesprochenen binokularen „teleotaktischen Fixierens“<sup>454</sup> besteht ja eine klare Affinität zu Augenbewegungen und Poincaré selbst spricht wiederholt auch die diesbezügliche Rolle der Augenbewegungen, z.B. Konvergenz, an.

„Das, worauf es also ankommt, sind die Bewegungen, die man ausführen muss, um irgendein bestimmtes Objekt zu erfassen, wobei das Bewußtsein von diesen Bewegungen für uns nichts anderes ist, als die Gesamtheit der Muskelempfindungen, die sie begleiten.“ (Poincaré, 2013a, S. 78)<sup>455</sup>

### 13.6.2 Weiße Sclera begünstigt Blickgestik

Das deiktisch- kommunikative Potential von Augen kommt beim Menschen besonders zur Geltung, weil die weiße Sclera die Wahrnehmung der Blickrichtung begünstigt (Wiese, 2010) und außerdem schon Kleinkinder sich signifikant an der Blickgestik der Bezugsperson orientieren (Tomasello, 2006)<sup>456</sup> und dabei gemeinsam betrachteten Objekten erhöhte Aufmerksamkeit und Wertschätzung<sup>457</sup> schenken (Habermas, 2009, Wiese, 2010)

Auch wenn es nur eine Marginalie zu sein scheint, wird diese frühkindliche Blickorientierung als wichtige Facette für das Thema dieser Arbeit betont, weil es dabei um den Beginn einer systematischen Ausweitung des Wahrnehmungsbereiches vom sehr begrenzten Greifraum zu einer visuellen Fernerkundung von Objekten geht. Das wird hier als ein intuitiv ablaufender, aber fundamental geometrieaffiner Prozess angesehen, der mit Poincarés Hinweis auf die Rolle von diskreten Objekten in Verbindung mit deren Wahrnehmung durch den visuellen Fernsinn konvergent ist.<sup>458</sup>

<sup>454</sup> Diese Affinität ergibt sich, wenn man im Wort „teleotaktisch“ die taktile Komponente beachtet, also das metaphorische „Abtasten mit den Augen“ zur Antizipation von Greifbewegungen.

<sup>455</sup> Bezüglich dieser Rolle von Muskelempfindungen siehe auch Hinweis auf Bechterew (in: Leuschina 1979, S. 153)

<sup>456</sup> „A human experimenter “looked” to the ceiling either with his eyes only, head only (eyes closed), both head and eyes, or neither. Great apes followed gaze to the ceiling based mainly on the human's head direction (although eye direction played some role as well). In contrast, human infants relied almost exclusively on eye direction in these same situations. These results demonstrate that humans are especially reliant on eyes in gaze following situations, and thus, suggest that eyes evolved a new social function in human evolution, most likely to support cooperative (mutualistic) social interactions.“ (Tomasello et al. 2006, o.S. Abstract)

<sup>457</sup> „Blicke signalisieren in sozialen Situationen nicht nur, worauf jemand seine Aufmerksamkeit richtet, sie beeinflussen auch, wie Objekte wahrgenommen und verarbeitet werden. Studien von Bayliss et al. (2006, 2007) zeigen beispielsweise, dass die affektive Bewertung eines Objektes durch Blicke verändert werden kann. Dabei werden Objekte, die von Interaktionspartnern angeschaut werden, positiver bewertet und gegenüber Objekten bevorzugt, die nicht angeschaut werden...Ein Zusammenhang zwischen Blickrichtung und Objektbewertung findet sich auch in entwicklungspsychologischen Studien. Reid und Striano (2005) wiesen beispielsweise bei 4-monatigen Säuglingen nach, dass Objekte, die von einem Interaktionspartner angeschaut wurden, deutlich vertrauter wahrgenommen wurden als Objekte, die zwar bekannt waren, aber nicht angeschaut wurden.“ (Wiese, 2010, o.S. > S. 7)

Die gemeinsame Blickorientierung auf Objekte kommt auch beim virtuellen Konferenzraum des im Anhang beschriebenen GAZE-Systems zur Geltung. Cf. Anhang: GAZE System. Joint Attention durch deiktische Augenbewegungen

<sup>458</sup> Die hier in Betracht gezogene kommunikationstaugliche Strukturierung der Umwelt durch Blickgestik kann auch auf evolutionärer Ebene mit dem genuine Zusammenhang von Augenbewegungen und präziser Formanalyse im Zuge der Konstruktion der dreidimensionalen Erscheinung von Objekten untermauert werden. Gemäß (Körper,

### 13.6.2.1 Perspektivenübernahme bei kooperativer Objektmanipulation

Von der gemeinsamen Objektorientierung durch Blickgestik ausgehend gelangt Eva Wiese zu einem Aspekt, der wegen seines expliziten Bezugs zur intersubjektiven Koordination der räumlichen Vorstellung für das Thema der kooperativen Objektmanipulation besonders bedeutsam ist: die **Perspektivenübernahme**.

„Beim Beobachten eines Menschen scheinen aber nicht nur Bewegungsmodelle aktiviert zu werden. Gleichzeitig wird auch die visuell-räumliche Perspektive der gesehenen Person beachtet. So zeigten z.B. Tversky und Hard (2009), dass Personen, die aufgefordert wurden, die Lage eines Objektes zu beschreiben, spontan auch die Perspektive eines gesehenen Menschen berücksichtigten.“ (Wiese, 2010, o.S. > S. 4)

Auf Basis dieser Aspekte wird hier als Hypothese propagiert, dass im Sinne einer Theory of Mind intentionale Augenbewegungen einen kommunikativen Zugang zu räumlich orientierten Vorstellungen des Visavis<sup>459</sup> ermöglichen und so eine tragfähige Komponente für eine synchrone kooperative Objektmanipulation bilden, oder diese sogar erst ermöglichen.

Wenn man davon ausgeht, dass die Einschätzung der Form und Lage eines Objekts unter dem möglichen Einfluss von Relativbewegungen zur Entwicklung von Raumvorstellungsvermögen beiträgt und nach Poincaré eines der Fundamente von Geometrie bildet, dann kann man erst recht davon ausgehen, dass so ein räumliches Vorstellungsvermögen für kooperative Objektmanipulation besonders wichtig ist. Schon das Übergeben und erst recht die gleichzeitige gemeinsame Handhabung von Gegenständen erfordert ein qualifiziertes Vorstellungsvermögen und die Berücksichtigen der Greifoptionen<sup>460</sup> des Partners, also des objektbezogenen Bewegungsraums aus Perspektive des Visavis.

Bei unterschiedlichen Tierarten sind Formen von sehr weitreichender, intelligenter Kooperation beobachtbar, jedoch habe ich keine Beispiele dieser speziellen Form synchron visavis kooperierender Partner gefunden. Allenfalls gibt es in der Primatenforschung diesbezügliche Publikationen, die mir im Zuge der nicht sehr weitreichenden Recherchen entgangen sind. Wenn nicht, dann könnte es zur Klärung der allfälligen evolutionären Relevanz aus meiner Sicht als Laie sogar ein Thema der fachspezifischen Forschung sein, ob es sich dabei um ein mehr oder weniger signifikantes menschliches Spezifikum handelt und ob äquivalentes Verhalten auch bei nicht menschlichen Primaten beobachtbar ist.

Auch wenn dies also hier nur auf spekulativer Ebene möglich ist, wird diese spezielle Art einer synchron räumlich koordinierten, kooperativen Handhabung eines Gegenstandes als

---

2003, S. 11) ist das hoch formauflösende stereoptische Sehen im überschneidenden Blickfeld frontaler Augen davon abhängig, dass dieses Objekt auf korrespondierende Netzhautareale beider Augen projiziert wird. Demgemäß sind die Evolution von Foveae, frontale Position von Augen und bewusste sowie unbewusste Steuerung von Augenbewegungen ein elementarer Komplex der Objektkonstruktion. Dabei ist auch noch in Erinnerung zu rufen ist, dass hinsichtlich der neurophysiologischen Strukturen das foveale Sehen über das parvozelluläre System einen tragenden Faktor der visuokognitiven Objektkonstruktion bildet und über den ventralen Was- Pfad an bewusstseinsaffine Gehirnanreale heranführt. (Cf. Parvo-Magno-System als relevantes Modul mit großer Reichweite)

<sup>459</sup> „Bereits in diesem vorsprachlichen Alter folgen ungefähr einjährige Kinder der Zeigegeste von Bezugspersonen und benutzen selber den Zeigefinger, um mit anderen ihre Wahrnehmungen zu teilen. Am Funktionieren dieser einfachen Geste entdeckte Tomasello eine triadische Beziehung, für die es bei Schimpansen keine Entsprechung gibt. Auf der horizontalen Ebene übernehmen die Beteiligten mit der Blickrichtung auch die Intention des jeweils anderen, sodass eine soziale Perspektive entsteht, aus der beide in vertikaler Richtung ihre Aufmerksamkeit zugleich auf das angezeigte Objekt richten. Auf diese Weise gewinnen sie von dem gemeinsam identifizierten und wahrgenommenen Gegenstand ein intersubjektiv geteiltes Wissen.“ (Habermas, 2009. o.S.)

<sup>460</sup> Greifoptionen sind eine markante Komponente in Poincarés Zugang zur Genese von Raumvorstellung (cf. Der eigene Körper als Messinstrument)

besonders forderndes und förderndes Milieu für räumlich- kognitive sowie soziale Potentiale menschlicher Evolution in Ansatz gebracht.<sup>461</sup>

### 13.6.2.2 Inter-Brain-Synchronisation und gemeinsame Forward Modelle

Die Analyse der Inter-Brain-Synchronisation bei der Erforschung neuronaler Prozesse während gemeinsamen Handelns beschäftigt sich laut Aussage von Viktor Müller<sup>462</sup> mit Forward-Modellen:

“Interpersonal action coordination requires the perception, representation and anticipation of one’s own and the partner’s actions. These requirements can be integrated in a *forward model*...In a forward model, any intended action is stored together with a variety of sensory inputs and appropriate motor commands, which in turn are associated with the corresponding efference copy signals to predict the sensory effects of the intended action...The interpersonal extension of the forward model postulates that in coordinated actions, both interaction partners do not only have a forward model of their own actions, but do also predict their partner’s actions and the according effects and compare the actual outcome to this prediction.” (Sänger et al. 2011, S. 655)

Wenn man diese Aspekte auf einer abstrakteren erkenntnistheoretisch orientieren Ebene zusammenfassen will, dann werden intentionale Augenbewegungen mit ihrer räumlichen Aussagekraft sowie das gemeinsame Handeln zu einem Experiment, bei dem durch ständiges Beobachtung des Handlungserfolges die Tragfähigkeit der aktuellen Hypothese über die Perspektive, die Raum- und Objektvorstellung, das Bewegungspotential und die Intentionen des Partners intersubjektiv evaluiert werden.<sup>463</sup>

Dies wird hier als außersprachliche intuitive Facette jenes Modells von Objektivität propagiert, das Poincaré auf die sprachliche Evaluation durch vernünftige Wesen bezieht.

So ist mit den über Blickgestik verbundenen Forward Modellen der für Poincaré so bedeutsame Faktor der Intersubjektivität auch auf vor- bzw. außersprachlicher Ebene anzutreffen und scheint gemäß Viktor Müller<sup>462</sup> sowie Sänger et.al. in Form korrelierender neuronaler Prozesse nachweisbar zu sein. Damit gewinnen auch neurokonstruktivistische Konzepte (vgl. Roth) eine intersubjektive Schnittstelle, die nicht nur auf Ebene der Sprache verifiziert werden kann, sondern gewissermaßen unmittelbar und intuitiv einen potentiellen Solipsismus durchbricht. Potentiale für Intersubjektivität sind demgemäß schon in den

<sup>461</sup> Ohne dies verifizieren zu können, gibt Blickgestik auch Anlass zu folgender Spekulation: Schon auf außersprachlicher Ebene kann das deiktische Potential von Augenbewegungen eine räumlich koordinierende Gestik durch Arm- und Handbewegungen vikariierend begleiten und sogar ersetzen und damit werden jeweils beide Greifhände visavis agierender Partner frei für eine kooperative Objektmanipulation. Wenn man, von auf diese Art synchronisierten, gemeinsamen Forward- Modellen (cf. V. Müller<sup>462</sup>) ausgehend, eine intersubjektiv koordinierte Vorstellung eines objektintegrierenden Handlungsraums unterstellt, dann entsteht ein Milieu, das für die Evolution geometrieaffiner kognitiver Potentiale günstig erscheint und darüber auch noch mit Poincarés Ansatz der Genese von Raum kompatibel ist. Räumlich koordinierende Blickgestik wird daher, wie der aufrechte Gang, als einer der effizienten Faktoren der Evolution von Hominiden vorgeschlagen.

<sup>462</sup> Viktor Müller<sup>462</sup>, Max Plank Institut Berlin, Mail vom 6.11.2017

<sup>463</sup> Diese Interpretation des kooperativen Handelns als eine Art von Experiment, das die Hypothesen der Wahrnehmung evaluieren kann, bezieht sich auf die Überlegungen über die Gemeinsamkeiten von Wahrnehmung und Wissenschaft sowie die essentielle Rolle, die Poincaré dem Experiment und dem Handlungserfolg zuschreibt. Dies tangiert aus hiesiger Sicht auch den Begriff von Realität, wenn man unterstellt, dass die Interaktion mit der externen Realität zu nicht vorhersehbaren Abweichungen vom erwarteten Ergebnis führen kann, und dass diese Ergebnisoffenheit (Unterbestimmtheit?) ein signifikantes Charakteristikum jener spezifischen Form von Umwelt ist, in der wir die letztlich unbestimmte externe Realität durch Wahrnehmung und Wissenschaft in Erfahrung bringen (können). (Cf. Kap. > Experiment als realitätssensibles pragmatisches Kriterium gegen Deutungsmacht hypothetischer Modelle und gewohnter Bilder)

neuronalen Prozessen der Wahrnehmung und auch in den unbewusst wirkenden Komponenten von Handlungssteuerung angelegt und kommen nicht zuletzt auch in Augenbewegungen zur Geltung.

Wenn man kooperative Objektmanipulation als Experiment zur Evaluierung der visuell induzierten Hypothesen über funktionstaugliche Kompatibilität der aktuellen Raumvorstellung von visavis agierenden Kooperationspartnern zu Grunde legt und dabei intuitive neuronale Prozesse wie Forward Modelle und Inter- Brain- Synchronisation als tragende Komponenten ins Spiel bringt, dann tangiert das auch einen erkenntnistheoretischen Pragmatismus mit einer signifikanten psychologischen Orientierung.

### 13.7 Zu seinen Gunsten gegen Poincaré: Konventionelle Objektivität nicht nur durch die Rede!?

Beim Versuch, die Augengestik in Poincarés Konzept von Objektivität einzubinden, darf nicht übersehen werden und unerwähnt bleiben, dass damit ein zumindest partieller, wenn nicht prinzipieller Widerspruch zu einer Position Poincarés auftritt, wenn er sagt:

„ Ohne Rede keine Objektivität. Die Empfindungen anderer sind uns eine in Ewigkeit verschlossene Welt. Ist die Empfindung, die ich rot nenne, die gleiche wie die, die mein Nachbar rot nennt? Wir haben kein Mittel, es zu beweisen....Die Empfindungen sind also nicht zu übermitteln, oder vielmehr alles, was reine Eigenschaft an ihnen ist, ist nicht zu übermitteln und auf ewig undurchdringlich. Dem ist aber nicht so, bei den Beziehungen zwischen diesen Empfindungen. “ (Poincaré, 1910, S. 197 f)

Poincaré spricht damit das nach wie vor nicht gelöste Problem der Verifikation intersubjektiver Identität oder auch nur Vermittelbarkeit von Qualia <sup>464</sup> an. Das betrifft auch unmittelbar diese Arbeit, in der ja sogar damit kokettiert wird, das neurokognitive Konstrukt phänomenaler Dreidimensionalität, das immersiv empfunden wird, als eine Art „Quale“ in Betracht zu ziehen, weil dieser räumliche Eindruck in der Regel unhinterfragt wie eine elementare Empfindung im Sinn einer Eigenschaft des Wahrgenommenen erlebt wird. Zumeist taucht die Frage nach dem Zustandekommen und der Komplexität dieses Konstrukts immersiv wahrgenommener bzw. so empfundener Räumlichkeit erst dann auf, wenn z.B. Störungen im System visueller Verarbeitung auftreten.

Auch wenn folgende Überlegung sich auf sehr fragile Terrain bewegt, könnte man zur Auflösung, oder zumindest zur Eindämmung des Widerspruchs mit Poincaré den Ausweg in Betracht ziehen, diese „Empfindung“ <sup>465</sup> von Räumlichkeit als simplex Konstrukt zu deklarieren, das ein komplexes Gefüge von Interaktionen innerhalb des visuokognitiven Systems und Stimuli der externen Realität als einheitlich wirkende „Pseudoempfindung“ zusammenfasst. Damit bestünde die Chance, eine Dekonstruktion für möglich zu halten. Wenn man nun das für das Zustandekommen des räumlichen Eindrucks notwendige Gefüge koaktiver Teile des visuokognitiven Systems als Gruppe von Relationen in Ansatz bringt, dann kann man

---

<sup>464</sup> Cf. Glossar

<sup>465</sup> Das tiefer liegende Problem liegt wohl in der Annahme, dass es elementare „Empfindungen“ gibt, die zwar benannt werden können, wenn sie uns bewusst werden, während aber gleichzeitig unterstellt wird, dass deren Zustandekommen nicht weiter analysierbar ist. Wenn das gilt, dann entsteht ein fundamentales Problem, das hier nicht aufgearbeitet werden kann, auch wenn diese Arbeit im Grunde genommen umfangreich daran „nagt“. Wenn nämlich, wie hier geschehen, allein schon der Spektralbereich sichtbaren Lichts und das neuronale System als phylogenetisch genuin verbundene, rekursive Konstrukte in Ansatz gebracht werden, dann stellt sich die Frage, ob und inwieweit „Empfindung“ ein Paradigma darstellt, dessen Gewissheit an Selbstverständlichkeit verliert oder überhaupt obsolet wird.

an den von Poincaré selbst genannten Ausweg über die „Beziehungen zwischen den Empfindungen“ anknüpfen. Dazu wird eine weitere Hilfskonstruktion eingeführt, deren Grundlagen schon an anderer Stelle dieser Arbeit besprochen wurden. In Übereinstimmung mit Poincaré wurden die Augenbewegungen als essentielle Komponenten der räumlich erscheinenden Konstruktion und Lokalisation von Objekten geltend gemacht.<sup>466</sup> Und genau diesen Augenbewegungen wird im Sinne einer Dekonstruktion das voranstehend propagierte Potential zur außersprachlichen Kommunikation zugetraut.

Wenn z.B. Dehaene den auch von Poincaré mit dem Beispiel von Kirschen illustrierten Qualia-Aspekt von „reddishness“ auf „sixishness“<sup>467</sup> anwendet und dies auf Ebene von Core-Knowledges so analysiert, dass die Netzwerkaktivität involvierter Areale des Gehirns zumindest ansatzweise bestimmt werden kann, dann wird das als gewisse Legitimation dafür betrachtet, auch den oben zitierten apodiktischen Einwand Poincarés aus der nachträglichen Perspektive eines Neurokonstruktivismus abzuschwächen und auf der Möglichkeit eines intersubjektiven Abgleichs außerhalb der Sprache zu beharren; zumindest bezüglich der räumlichen Strukturierung der externen Realität. Und das ist ja ein weit reichender erkenntnistheoretischer Komplex. So entsteht die paradoxe Situation, dass hier versucht wird, durch einen Widerspruch zu einer seiner Aussagen, Poincarés Ansatz insgesamt zu untermauern und seine Wertschätzung der Intuition gerade auch im Bereich der Genese von Raum und Geometrie aus aktueller Perspektive festigen und durch das kommunikative Potential der Blickgestik sogar erweitern zu wollen.<sup>468</sup>

### 13.8 Theoriebeladenheit von Intuition

Wenn die Begründung von Objektivität nicht nur durch Abgleich rationaler Schlussfolgerungen, sondern auch durch intuitive Prozesse erfolgt, die schon auf der von Huber bei Poincaré konstatierten Ebene (a) Anschauung durch Sinne und Einbildungskraft (s.o. Zitat Huber, 2013, S. 391) anzutreffen sind, und man folglich auch die Blickgestik als legitime Facette intersubjektiver Konvention über die kooperationstaugliche Konstruktion von Objekten und ihrer räumlichen Relationen etablieren will, dann geht es wegen der schwer definierbaren Reichweite des Einflusses der psychologischen Komponente auch um die Frage, die Validität der durch visuelle Beobachtung detektierten und subjektiv konstruierten festen Körper aus unterschiedlichen sachrelevanten Perspektiven zu hinterfragen und möglichst objektiv zu verifizieren. Indem man etwa versucht, die aus der psychologischen Komponente resultierende Ambivalenz bzw. Unschärfe bei der Auswertung der Beobachtung durch multiperspektives Überprüfen bzw. Reflektieren der unbewusst wirkenden, impliziten Vorannahmen bewusst zu machen; also neben einer Theoriebeladenheit der Wahrnehmung auch eine **Theoriebeladenheit der Intuition**<sup>469</sup> in Betracht zu ziehen, die auch den Begriff Objekt und das (damit verbundene) Potential zur Bildung von Gruppen unter dem Einfluss eines visuell orientierten Assoziationsvermögens<sup>470</sup> betrifft.

<sup>466</sup> Cf. Körber, 2003, S.17 f.: Scanpath- Theorie, Feature-Ring- Hypothese

<sup>467</sup> Dehaene, 2009, S. 233

<sup>468</sup> Als „radikale“ Option könnte man sogar die Frage aufwerfen, ob nicht die Augengestik ein vorausgehender Faktor ist, der die Entwicklung von Sprache mit induziert hat, weil ja nicht nur durch Körpergestik, sondern auch durch die koordinierte Blickausrichtung die gemeinsame Aufmerksamkeit auf ein zusätzlich durch Laute kodierbares Objekt gelenkt wird.

<sup>469</sup> Mit diesem Ausdruck soll auf einen weiteren Bereich aufmerksam gemacht werden, der ebenfalls im Sinn von Poincarés Warnung vor unbewussten vorgefassten Meinungen in Betracht zu ziehen ist, wenn man gemäß der Ausrichtung dieser Arbeit auch den evolutionären Aspekten von Theoriebeladenheit bzw. impliziten Vorannahmen nachgeht.

<sup>470</sup> z.B. Gestaltwahrnehmung

Das Potential der Blickgestik zur kooperationsstauglichen Objektkonstruktion soll nicht nur als außersprachlich intuitive Facette von Poincarés Model der Objektivität ins Spiel gebracht werden. Dieses Thema wird auch deshalb verfolgt und geradezu starrsinnig wirkend hochgespielt, weil damit ein noch weiter reichender Horizont zumindest als begründbare Fragestellung in Aussicht genommen werden soll. Es geht um eine Facette des weder gelösten noch hier lösbaren Problems der Integration von Sprache in die intersubjektive Koordination von Handlungen bzw. Handlungsplanung. Nämlich um die hier nur angedeutete Fragestellung, ob und inwieweit eine raumbezogene Deiktik durch Blicke die (nach Poincaré subjektiv raumkonstituierende?) Relation der eigenen Körperachsen zur externen Realität so kommuniziert, dass ein intersubjektiv generiertes Konstrukt von Raum etabliert (instanziiert?) wird, auf das sich sprachliche Verständigung (und somit implizit auch Poincarés darauf begründete „Objektivität“ beziehen kann. Das betrifft auch den schon beschriebenen Beitrag zur Konstruktion von Objekten, weil (viele <sup>471</sup>) Sprachen stark auf die Definition von handhabbaren Gegenständen bezogen sind und diese auch zur Konstruktion von Metaphern heranziehen.

### 13.9 Intuitive Raumbezogenheit von Sprache

Wenn man zu Recht entgegenhält, das essentielle Potential von Sprache liege nicht so sehr in der Lokalisation und Beschreibung von manipulationsrelevanten Merkmalen von Gegenständen, sondern in der Bildung und im kommunikationsstauglichen Umgang mit Abstrakta, dann steht dennoch das von Konrad Lorenz mit Berufung auf Porzig beschriebene Phänomen der **Raumbezogenheit von Sprache** mit der Überlegung zur Debatte, das auch Sprache stark mit der Klärung räumlicher Verhältnisse beschäftigt ist und markanter Weise akkurat für abstrakte unanschauliche Sachverhalte häufig räumliche Metaphern ins Spiel bringt, z.B. den Begriff „Unterbewusstsein“.

„ Die Sprache übersetzt alle unanschaulichen Verhältnisse ins Räumliche. Und zwar tut das nicht eine oder eine Gruppe von Sprachen, sondern alle ohne Ausnahme tun das. Diese Eigentümlichkeit gehört zu den unveränderlichen Zügen (>Invarianten<) der menschlichen Sprache.“ (Porzig in Lorenz, 1975, S. 175)

In diesem Zusammenhang ist auch auf die schon erwähnten neuronalen Strukturen eines dritten visuellen Verarbeitungspfades zu verweisen, der nach Haak et al. (2017) diverse Aspekte von visueller Wahrnehmung, Bewegung/Handlungssteuerung (action) und Sprache integriert. Damit steht auch eine rekursiv förderliche evolutionäre Beziehung von Sprache und Blickgestik im Raum, die darüber hinaus auch noch mit einer Affinität zu der gemäß Koch für das Bewusstsein relevanten Areale des ventralen Pfades kompatibel erscheint.

Davon ausgehend kann man über die Frage spekulieren, ob bzw. dass akkurat die phänomenale Dreidimensionalität eine tauglich Gruppe mit genügend Diskriminierungsvermögen für pragmatisch viable Eindeutigkeit, aber ausreichender Toleranz

---

<sup>471</sup> Es ist zu beachten, dass dies zwar häufig, aber vermutlich nicht prinzipiell gilt. Whorf gibt bezüglich der Stammsprache der nordamerikanischen Hopi zu bedenken: „Die Annahme, ein Hopi, der nur die Hopisprache und die kulturellen Gepflogenheiten seiner eigenen Gesellschaft kennt, habe die gleichen- angeblich intuitiven und universellen – Begriffe der Zeit und des Raumes wie wir, scheint mir höchst willkürlich.“ (Whorf, 1975, S. 102). Ähnliches ergibt sich auch für die Objektbezogenheit aus der dem Hinweis von Hall : « Im Westen nimmt der Mensch die wahr, aber nicht die Zwischenräume. In Japan werden die Zwischenräume wahrgenommen, benannt und als da *ma* oder der sich erstreckende Zwischenraum verehrt.“ (Hall, 1976, S. 83) Diese unterschiedliche Präferenz von Objekt versus Zwischenraum weckt, wenn auch hier nur anekdotisch erwähnt, weil nicht seriös verifizierbar, eine Assoziation damit, wie Jermy Gray die Kontroverse zwischen Poincaré und Russel beschreibt, wenn er ausführt: „Poincaré's analysis began with the idea of rigid bodies, from which a concept of distance is created. Russell argued on the contrary, that whatever we may discover the concept of distance to be we know before we begin that the distance from London to Paris is more than a metre.“ (Gray, 2019, o.S., Kap. 6.3)



ist, dass für die Kooperation genügend Interpretations- bzw. Handlungsspielraum für Alternativen bleibt. Damit wäre die Dreidimensionalität eine semiotische Struktur bzw. eine Art Grammatik, welche die intersubjektive Deutung der Blickgestik ermöglicht und die andere Perspektive des Kooperationspartners in eine Kommunikationsstruktur integrieren kann. Und dies so, dass außerdem der auch durch die Perspektivität von visueller Kommunikation unumgängliche Kompensationsbedarf geometrisch berechenbar wird und ein Spielraum von kongruenten Bewegungsalternativen verfügbar bleibt, welche sowohl bei der konkreten Handlung als auch in der intersubjektiv koordinierten, antizipierenden Vorstellung zum selben Punkt im Raum führen können. Es geht also bei Blickgestik auch um das Etablieren simultan intersubjektiv präsenter Raumkonzepte, auf die sich Sprache beziehen kann. Das spielt wegen der Räumlichkeit von Sprache (Lorenz/Porzig) eine beachtenswerte Rolle. Raum ist folglich ein substantielles Referenzsystem zu Gunsten der unsere Handlungen und Vorstellungen koordinierenden Potentiale von Sprache.<sup>472</sup>

### 13.10 Resümee: Phänomenales 3D als evolutionär evaluierte protogeometrische Konvention

Kompatibel mit Poincarés Kriterien korrelieren gemäß voranstehenden Überlegungen Enzephalisation, intersubjektive Raumvorstellung und kooperative Objektmanipulation mit der Evolution von objektzentriertem, fovealem Sehen mit beweglichen frontalen Augen. Deren Potential für intersubjektiv kompatible Blickgestik scheint trotz des genannten Widerspruchs auch als intuitive Komponente in Poincarés Modell der Objektivität tauglich zu sein und wird folglich als eine vikariierende außersprachliche Grundlage seines Konventionalismus nahegelegt. Aus dieser Perspektive könnte man bereits die **phänomenale Dreidimensionalität** der Wahrnehmung, die ja eine gemeinsam verfügbare, phylogenetische Basis für eine intuitive räumliche Deutung von Blickgestik<sup>473</sup> bildet, als eine **durch evolutionäre Erfahrung gemäß Überlebenschancen geprüfte protogeometrische Konvention**<sup>474</sup> bestimmter Spezies betrachten, die wesentlich zur visuokognitiven Konstruktion von Objekten und Evaluierung ihrer Beständigkeit beiträgt.

Wenn dieser Versuch, die seiner Aussage gemäße Festlegung Poincarés auf das alleinig vermittlungstaugliche Potential der Rede zu lockern und durch eine wahrnehmungsbezogen intuitive Alternativen (vikariierend und oder mutualisierend) zu erweitern, auch nur ansatzweise tragfähig ist, dann betrifft das auch die Divergenz von sprachaffinen und wahrnehmungsbezogenen Richtungen von Konstruktivismus. Für sich stehend kann die Aussage „nur durch die Rede“ (s.o.)<sup>475</sup> als Testimonial zu Gunsten einer mehr oder weniger exklusiven sprachlichen Ausrichtung gewertet werden.

---

<sup>472</sup> Diese Spekulation nimmt Bezug auf Poincarés Modell der Kompensation und besonders auf seine Überlegungen zum pragmatischen Nutzen der Dreidimensionalität und wie dadurch nützliche Kongruenzen im Bewegungsraum verfügbar bleiben. ( Cf. Poincaré, 1913a, S. 87) Cf. Kapitel Dimensionen gemäß Gruppenkriterien von Bewegungsabfolgen

<sup>473</sup> Für den hier zur Debatte stehenden Umgang mit Objekten wird mit dem Zusatz „geometrieaffin“ ausdrücklich auf die räumliche Deutung hingewiesen, weil es ja außerdem noch eine starke Wirkung von Blicken im Rahmen einer sozial-emotionalen Mimik gibt. Der vermutlichen Verschränktet dieser beiden Optionen wird nicht weiter nachgegangen. (Von Edward.T. Hall gibt es das Buch „The Hidden Dimension“ (1966), das 1976 auf Deutsch unter dem Titel „Die Sprache des Raumes“ die soziale Codierung von persönlichen Zonen beschreibt, wobei neben Geruch, Akustik und taktilen Eindrücken auch der Sehsinn das kulturell unterschiedliche Distanzbedürfnis abschätzen und dabei gerade die Blickkommunikation auch regelnd eingreift.)

<sup>474</sup> In Anspielung auf Poincaré könnte man von einer Art „phylogenetischem Konventionalismus“ sprechen.

<sup>475</sup> Wenn Poincaré zu Gunsten der Objektivität begründenden Potentials von Sprache das Benennen von Empfindungen zu Grunde legt, dann wirft das nME. ein weiteres Problem auf.

Wenn aber nicht nur über Sprache, sondern auch über mehr oder weniger unbewusst wirksame intuitive Prozesse, die durch psychologische und neurokonstruktivistische Modelle beschrieben werden können, eine valide Komponente für Poincarés Konzept von Objektivität etabliert werden kann, dann bildet das auch eine mögliche Brücke zwischen evolutionär wahrnehmungsbezogenen und dominant auf sprachliche Logik bezogene Richtungen von Konstruktivismus.<sup>476</sup>

Darüber hinaus sollen diese Überlegungen dazu beitragen, Poincarés Vertrauen in die intuitiven Potentiale auch eine eigenständige Basis zu geben, die nicht prinzipiell von sprachlicher Evaluation abhängt und folglich, spätestens aus aktueller neurokonstruktivistischer Sicht legitimiert, widerspruchsfrei in Poincarés Ansatz einen gebührenden Platz findet.

Je mehr aber gemäß vorangegangenen Überlegungen das Objekt zum intuitiven Konstrukt (gemacht) wird, umso mehr wird seine vom Betrachter unabhängige ontologische Entität fragwürdig.

## 14 KOMPARTIMENT Lichtaffin konstruiertes Objekt als multivalente „bequeme“ Metapher qua human being?

Hier wird einerseits vorgeschlagen, eine häufige Koinzidenz multimodaler Stimuli am selben Ort als eine Art „lien constant“ der Objektkonstruktion mit strukturierendem Einfluss auf das Konnektom zu interpretieren.

Andererseits wird versucht, Poincarés „wirkliche/natürliche Gegenstände“ und Artefakte optischer Täuschung als genuin verwandte Konstrukte gemäß top-down wirkender Präferenzen visuokognitiver Verarbeitung in Betracht zu ziehen und dies mit Poincaré unter dem Aspekt von „...notre besoin de penser avec des images.“<sup>477</sup> in Zusammenhang zu bringen.

In diesem Kontext wird auch auf Poincarés Aussage verwiesen, dass man nicht mit idealen Körpern experimentiert und „...bei allen Schlüssen so verfährt, als ob die geometrischen sich ebenso verhielten wie feste Körper.“<sup>478</sup> Die oben genannten Aspekte intersubjektiv koordinierter, blickaffiner Objektkonstruktion werden folglich als eine nicht zu ignorierende Facette angesehen, weil deren intuitive Komponenten über Poincarés „als ob“ auch geometrisches Schlussfolgern beeinflussen könn(t)en.

---

„Was wir dagegen feststellen können, ist, daß in ihm wie in mir die Kirsche und die Klatschrose dieselbe Empfindung hervorrufen, weil er seinen Empfindungen den gleichen Namen gibt, und ich ebenfalls“ (Poincaré, 1910, S. 198)

Das aus diesem Zitat entwickelbare Dilemma besteht darin, dass die Benennung zwar eine konventionstaugliche Ordnung von Empfindungen usw. ermöglicht, aber die diffizile Frage einer erkenntnistheoretisch validen Unterscheidung der Tragfähigkeit eines Konventionalismus gegenüber einem Nominalismus aufbricht, zu dem Poincaré selbst auf Distanz geht. „Manche sind darüber verwundert, daß man gewissen fundamentalen Prinzipien der Wissenschaft den Charakter freier konventioneller Festsetzungen beilegen soll. Sie haben übermäßig verallgemeinern wollen und dabei vergessen, daß Freiheit nicht Willkür ist. Sie gelangten so zu dem sogenannten „Nominalismus“ und sie fragten sich, ob der Gelehrte sich nicht durch seine Definitionen betrügen läßt und ob die Welt, die er zu entdecken glaubt, nicht einfach nur durch die Willkür seiner Laune geschaffen ist.“\*) Bei diesem Standpunkte wäre die Wissenschaft sicher begründet, aber sie wäre ihrer Tragweite beraubt.“ (Poincaré.,1906, S. XIV)

Diese „Problembüchse der Pandora“ kann und soll aber hier nicht weiter geöffnet werden.

<sup>476</sup> Cf. Diebner, Keuth: Hermeneutik zweiter Ordnung

<sup>477</sup> „...notre besoin de penser avec des images.“ (Poincaré, 1920, S.139)

<sup>478</sup> Poincaré, 1906, S. 50

Ausgehend von Mills Satz „Was wir einen Gegenstand nennen, ist nur eine zusammengesetzte Vorstellung...“<sup>479</sup> werden als illustrierende Indizien bzw. Argumente Ladymans Interpretation von Objekten („objects are pragmatic devices“<sup>480</sup>) ebenso herangezogen wie Barthes „Simulacrum“ und Boltzmanns erkenntnistheoretische Suggestivfrage „Aber sind denn alle menschlichen Gedanken etwas anderes als Bilder der Wirklichkeit?“<sup>481</sup>

#### 14.1 Häufige Koinzidenz als „lien constant“ der Objektkonstruktion

Mit folgenden Überlegungen wird versucht, eine häufige Koinzidenz multimodaler Stimuli am selben Ort als eine Art „lien constant“ der Objektkonstruktion mit strukturierendem Einfluss auf das Konnektom zu interpretieren.

Es geht nicht nur darum, die andernorts ins Spiel gebrachten Aspekte der Bedeutungszuweisung (Weber / sense making), der Tendenz zur Kausalattribution gemäß post hoc-propter hoc und die häufige Koinzidenz als Faktor neuronaler Erfahrung mit Chance zum Detektieren kausaler Zusammenhänge miteinander zu verbinden. Es soll dies auch dahingehend weitergeführt werden, dass mit Cassirers gruppentheoretischem Zugang zu Invarianten der Wahrnehmung und Ladymans „pragmatic devices“ ein spekulatives Modell evolutionär basierter Objektkonstruktion in Ansatz gebracht wird, das Poincarés „präexistierendes Potential zur Bildung von Gruppen“ untermauert. Dabei wird angestrebt, die „natürlichen Gegenstände“ gerade wegen ihrer dreidimensionalen Erscheinung zu tragfähigen Komponenten einer Art von phylogenetisch verifizierter (lichtaffinen) Protogeometrie geltend zu machen, welche den evolutionären Horizont von Poincarés Hilfshypothese des „als ob“<sup>482</sup> durch eine so unterstellbare genuine Kompatibilität von Objekten der Geometrie und jenen der Wahrnehmung illustriert und in gewissem Ausmaß erweitert.

##### 14.1.1 Statistisch evaluiertes „Wissen“: Häufige Koinzidenz als Generator neuronaler Erfahrung macht Wahrnehmung zum Wiedererkennen (Kandel/Hebb)

Bei entsprechend komplexen Organismen können durch die von Kandel und Hebb beschriebenen Lerneffekte auf Ebene neuronaler Prozesse z.B. durch Neubildung von Synapsen Präferenzen für eine bevorzugte Wahrnehmung von Konstellationen im Ambiente entstehen, die der Organismus bereits wiederholt erlebt und nachhaltig überlebt hat. Infolge erlernter spezifischer Verstärkung der Sensibilität werden diese Konstellationen unterscheidbar und bezüglich ihrer Bedeutung für den Organismus bestimmt. Somit wird schon auf dieser Ebene statistisch konzipiertes und bewertetes Wissen generiert, das aber nicht nur auf Erfahrung gerichtet ist. Die so entstehende Spezialisierung auf bestimmte „Reize“ ist zugleich ein Faktor, der dazu führt, dass diese „Reize“ bevorzugt verarbeitet bzw. wahrgenommen werden.

Wegen dieser konstruktiven Komponenten von Suchmustern steht der Ausdruck „**Reiz**“ hier in Anführungszeichen. Es liegt gemäß andernorts dargestellter Überlegungen nahe, eher von einer selektiven Kaskade von Schlüsselreizen bzw. von auslösenden Schemata auszugehen, die

---

<sup>479</sup> Mill, 1908, S. 18f.

<sup>480</sup> Ladyman, 2014, o.S.

<sup>481</sup> Aguilar, 2015, S. 71

<sup>482</sup> Cf. Poincarés Statement, dass man nicht mit idealen Körpern experimentiert und ...bei allen Schlüssen so verfährt, als ob die geometrischen sich ebenso verhielten wie feste Körper.“ (Poincaré, 1906, S. 50)

systemspezifisch entwickelt wurden und dabei den Organismus selbst zu einem vorgespantten System gemacht haben.<sup>483</sup>

Eine solcherart verankerte Präferenz entspricht zugleich auch einer gezielten Erwartungshaltung und so kommt zur Komponente der Erfahrung auch jene der Antizipation bzw. Prognose. Womit es aber auch nicht mehr nur um eine passive Aufnahme von „Reizen“, sondern um aktive Suchmuster geht, die wegen der Wirkung der Prädisposition wie eine selbst erfüllende Prophezeiung die Häufigkeit des Antreffens erhöht. Das macht Wahrnehmung weitgehend zu einem Wiedererkennen, das zudem von einem erheblichen Ignorieren bis Unterdrücken von Input führt, der nicht ins Schema passt.<sup>484</sup>

In dem Maße wie gemäß ihrer statistisch häufigen Präsenz solcherart bevorzugt detektierte Gruppen von Stimuli durch evolutionäre Erfahrung als beständig gelten können, in dem Maß kann man auch die korrelierenden strukturspezifischen Verarbeitungsregeln des (visuokognitiven) Wahrnehmungssystem als genuin kompatible Komponenten/Faktoren der entsprechend konstruierten „Objekte“ betrachten. Das legt nahe, dass man diese durch evolutionäre „Erfahrung“ verfestigten Schemata selektiver Suchmuster und die gemäß ihren Präferenzen zusammengefassten und mit Bedeutung versehenen Gruppen von Stimuli auch als viable Invarianten zur interaktionstauglichen Strukturierung der externen Realität in Aussicht nehmen kann.

Auch wenn es kühn und natürlich auch weit hergeholt erscheint, stellt sich hier weiters die Frage, ob und wie weit diese elementare neuronale Prädisposition zum Aufsuchen bzw. Identifizieren von invarianten Konstellationen als eine der Komponenten dessen ins Spiel gebracht werden kann, was Poincaré mit dem **Potential zur Bildung von Gruppen**<sup>485</sup> anspricht, wenn er sagt: „... aber der allgemeine Gruppenbegriff präexistiert in unserem Verstande, zum mindesten die Möglichkeit zur Bildung desselben,...“ (Poincaré, 1906, S. 73). Etwa in dem Sinn, dass gemäß Hebb usw. das Entstehen/die Bildung gruppenaffiner formaler Strukturen schon in elementaren neuronalen Prozessen wirksam wird, und zwar doppelt: Als neurophysiologische Selbstorganisation des (kognitiven) Systems (neuronale Plastizität) und als ein durch Präferenzen der Wahrnehmung bzw. Konstruktion von Invarianten die Umwelt strukturierender Faktor. Vielleicht ist das eine schon auf Ebene des synaptischen Lernens wirksame Tendenz, das Ambiente durch Bildung bzw. Detektion oder Selektion bevorzugter Reizkonstellationen in unterscheidbare Zusammenhänge zu gliedern; wenn man so will, durch Bildung/Unterscheidung von (besonders wahrnehmungskompatiblen) „Gruppen“ zu strukturieren. Und weil es sich dabei besonders auch um räumliche Strukturierung handelt, geht es also auch um geometrieaffine Invarianten.

#### 14.1.2 Cassirer: Wahrnehmung und Gruppentheorie

Dieser Aspekt motiviert zum Versuch, im Umfeld der oben beschriebenen elementaren neuronalen Lernprozesse den Begriff von „**Invarianten**“ zu etablieren. Die hier auf Basis der

---

<sup>483</sup> Cf Glossar > Schlüsselreiz, auslösende Schemata, Theoriebeladenheit

<sup>484</sup> Gegen ein Aufschaukeln dieser Eigendynamik sind offenbar auch hemmende Mechanismen oder völlige Reizunterdrückung wirksam, die das Risiko zu eng fokussierter Aufmerksamkeit mit überbordenden Loops redundanter Wahrnehmung dämpfen.

<sup>485</sup> Professor Heinzmann verdanke ich den Hinweis, „dass der mathematische Gruppenbegriff von P. als Invariantentheorie gedeutet werden kann“. Das wird hier nicht weiter ausgeführt, weil nämlich weder meinen Möglichkeiten noch der Absicht entspricht, die Relationen der Kriterien einer mathematisch definierten Gruppentheorie bezüglich der Anwendbarkeit oder Gültigkeit für neurokognitive Strukturen und Prozesse zu bestimmen. Es geht nur darum, darauf aufmerksam zu machen, dass Cassirer diesen Aspekt verfolgt hat. Und weiters darum, hier diesbezüglich opportune Aspekte aus dem Bereich der Evolution bzw. des status quo unseres visuokognitiven Systems zusammenzutragen.

Verfestigung von Mustern durch Häufigkeit ihres Auftretens angedeuteten Invarianten wären dabei auch in Relation mit jenen Konstanzleistungen der Wahrnehmung zu betrachten, die Cassirer (1944) in *The Concept of Group and the Theory of Perception* heranzieht.<sup>486</sup> Ebenso wäre dann die als für den Organismus als relevant qualifizierte Häufigkeit des koinzidenten Auftretens dieser Gruppen von Stimuli ein elementares Kriterium, das weniger durch die traditionellen Merkmale zur Bestimmung eines Objekts als externe Entität, als vielmehr durch eine **Beschreibungsregel** erfassbar wäre, die sich speziell auf die Wahrnehmungs- und Interaktionspotentiale des autonomen Systems und seiner systemspezifischen Präferenzen visuokognitiver Verarbeitung bezieht.

#### 14.1.3 Rudimentäres Potential zur Bildung gruppenaffiner formaler Strukturen schon in elementaren Prozessen neuronalen Lernens?

Zumindest in einem gewissen Ausmaß erscheint es als möglich, auch im Rahmen eines selbstreferentiellen Modells von Perturbationen eine **extrovertierte** Dimension der Objektkonstruktion zu begründen.

Wenn man gemäß Multimodalität der Wahrnehmung unterstellt, dass für jede Sinnesart systemspezifische Beschreibungsregeln zwar genügend kompatibel sind, um gemeinsam ausgewertet zu werden, sich aber so weit unterscheiden, dass sie externe Stimuli zu entsprechend modifizierten Subgruppen zusammenfassen, dann könnte jener multimodal detektierte Komplex von Subgruppen externer Stimuli, der gemäß dem internen Komplex systemspezifischer Beschreibungsregeln regelmäßig koinzidiert und im Rahmen viabler Interaktionen ohne weitere Perturbationen mit gleicher Bedeutung versehen werden kann, insgesamt als „eine“ Invariante gelten und in diesem Sinn als multimodal verifiziertes, stabiles Objekt.<sup>487</sup> Auch wenn dieser Abgleich unterschiedlicher Sinne nur bei entsprechenden Graden von Evolution voll wirksam wird, kann man rudimentäre Ansätze dieses Modells auch schon dann ins Spiel bringen, wenn Einzeller mittels lichtsensibler transmembraner Proteine Spektralbereiche unterscheiden und durch adäquate Photomotorik ihre Perturbationen zugunsten der Homöostase regulieren können.<sup>488</sup> Dabei müsste man allerdings den Begriff so weit dehnen, dass (zumindest ansatzweise) von „Objekt“ gesprochen werden kann, sobald zwei unterscheidbare Formen von „Etwas“ in eine regelmäßig adäquat wirkende Interaktion eingebunden werden können und auf Basis einer „cum hoc-propter hoc“ Relation mit spezifischer Bedeutung zu codieren sind. Demgemäß entsprächen im genannten Beispiel der Einzeller die unterschiedlichen/unterscheidbaren Spektralbereiche durch ihre eindeutige Kopplung an eine spezifisch anders ausgerichtete Bewegung bereits der Konstruktion von zwei „Objekten“. Unterscheidung bzw. Unterscheidungsvermögen wird damit zu einer essentiellen Basis von interaktionsbasierter Objektkonstruktion. Der daraus resultierenden Frage nach der Relation von Potentialen zum Unterscheiden und solcher zur Bildung von Gruppen wird hier nicht weiter nachgegangen, jedoch wird zumindest eine starke Kohärenz, etwa im Sinn einer konversen Relation angenommen.<sup>489</sup>

---

<sup>486</sup> Cf. Cassirer Anhang

<sup>487</sup> Cf. Kap. Schon Multimodalität der Wahrnehmung forciert robuste Objekte

<sup>488</sup> Cf. Kap. Transmembrane Proteine, Sensorrhodopsin

<sup>489</sup> Ohne hier einer Definition aus Mathematik oder Logik Genüge tun zu können, geht es nur um die Überlegung, wie weit das Bilden von Gruppen nur für sich geschehen kann, oder notwendigerweise auch mit einem eignen Prozess des Unterscheidens verbunden ist, was nicht zu dieser Gruppe gehört. Zugleich wird angenommen, dass dieses Problem nicht so trivial ist, wie es als so gestellte Frage zunächst erscheint.

Dieses äußerst spekulative Modell von interaktionsbezogener Objektkonstruktion bemüht sich aber nur darum, die hier zugrunde liegenden Überlegungen zu illustrieren, kann jedoch nicht bis zu einer Definition mit widerspruchsfreier Gültigkeit entwickelt werden.<sup>490</sup>

Trotz der Fragilität des oben angedachten autopoietischen Modells wird folgend versucht, nicht nur diesen rudimentären Potentialen der Zuweisung von Bedeutung und Bildung von Invarianten nachzugehen, sondern eine häufige Koinzidenz multimodaler Stimuli am selben Ort auch als einen Faktor der Konstruktion von Objekten mit strukturierendem Einfluss auf das Konnektom hochkomplexer Lebewesen zu interpretieren und dies als kompatible Komponente von Poincarés „lien constant“ nahzulegen.<sup>491</sup>

Poincaré selbst geht mit Aussagen über die Form der Existenz von Objekten sehr zurückhaltend um und betont dabei die Rolle des Betrachters ebenso, wie er mit „cachera éternellement“<sup>492</sup> gegenüber einem umfassenden Zugang zu diesem „Etwas“ eine elementare Hürde etabliert. Bei der Interpretation seines Verständnisses von Objekt betont er vor allem auch ein „lien constant“<sup>493</sup> als Merkmal einer beständigen Verbundenheit.

Integriert man die von Vollmer/Campbell konstatierte Koinzidenz der physikalischen Eigenschaften optischer und mechanischer Penetrabilität in einen evolutionären Kontext, dann hat dies über Prozesse synaptischen Lernens und neuronaler Plastizität umfangreiche Konsequenzen. Diese betreffen nicht nur den unmittelbaren Ablauf visueller Verarbeitung und damit verbundener kognitiver Prozesse, sondern gemäß neuronaler Plastizität auch die Strukturierung des Konnektoms. Der Gedankengang zielt darauf ab, dass die Prozesse visueller Verarbeitung, die Gruppen koinzidenter Stimuli im Abgleich mit anderen Sinneseindrücken zu einem formbestimmten Objekt verdichten, kognitive Anforderungen bilden, die in immer wiederkehrenden Abläufen zunehmend spezialisierte Bahnen des neuronalen Netzwerks nicht nur nutzen, sondern in einem rekursiv selbstverstärkenden evolutionären Wechselspiel durch Hebb'sches/synaptisches Lernen auch zur Stabilisierung, Erweiterung und Optimierung dieses Netzwerks beitragen. Somit trägt die zu einem bewusst wahrgenommenen Objekt verdichtete Integration multimodaler Sinneseindrücke nicht nur generell zur Enzephalisation bei, sondern auch zu Spezialisierungen wie jener des dorsalen und ventralen Pfades.

Folglich wird hier immer wieder versucht, Aspekte ausfindig zu machen, welche derartige Prozesse synaptischen Lernens induzieren bzw. nachhaltig verstärken könn(t)en. Diese Betrachtungsweise richtet sich vorrangig auf phylogenetisch evolutionäre Aspekte und, im geringeren Maß, auch auf ontogenetische Faktoren, weil auch individuelles Lernen das Konnektom noch in einem gewissen Ausmaß modellieren kann.

Ein wiederholt geltend gemachtes Beispiel für den möglichen Einfluss persönlicher Lebensumstände auf spezifisch genutzte Gehirnareale, ist der auffällige Entwicklungsgrad des Hippocampus von Taxifahrern.

„Structural MRIs of the brains of humans with extensive navigation experience, licensed London taxi drivers, were analyzed and compared with those of control subjects who did not drive taxis. The posterior hippocampi of taxi drivers were significantly larger relative to those of control subjects...It

---

<sup>490</sup> Cf. Glossar: >Enaktivismus

<sup>491</sup> Im Rahmen eines so weit gefassten Begriffs wären die selektiv lightsensiblen transmembranen Proteine von Einzellern wie auch das Konnektom komplexer Lebewesen eine jeweils elementare Basis von „Objektkonstruktion“. Diese evolutionäre Spannweite scheint mit einem biogenic approach to cognition (Lyon) kompatibel und in diesem Sinn hier als Spekulation legitim zu sein.

<sup>492</sup> (Poincaré, 1902, S. 156)

<sup>493</sup> (Poincaré, 1911, S. 266)

seems that there is a capacity for local plastic change in the structure of the healthy adult human brain in response to environmental demands.” (Maguire et al., 2000, Abstract) <sup>494</sup>

Im Zuge dieser Arbeit geht es gemäß Poincarés Appell an die *sélection naturelle* <sup>495</sup> usw. vor allem um die phylogenetischen Aspekte. Es wird unterstellt, dass vor allem für motile Lebewesen geometrieaffine Herausforderungen wie die Orientierung im Ambiente mittels eines visuellen Fernsinns und das formbestimmende Konstruieren fester Körper sowie deren handlungstaugliche Integration ins Ambiente zu den prominentesten Faktoren der Evolution dieser Enzephalisation gehören.

Damit ist die von Campbell beschriebene Koinzidenz über die Beschreibung physikalischer Aspekte hinaus ein Faktor, der auch die Bereiche kognitiver Objektkonstruktion einschließlich der Raumwahrnehmung beeinflusst.

Mit wenigen Ausnahmen (z.B. Glas) gilt eine beständige Relation des visuellen Eindrucks „opak“ und der haptisch/taktilen Festigkeit. Wenn man nun davon ausgeht, dass auf Grund der somit häufig anzutreffenden Koinzidenz im Ambiente im Zuge der neuronalen Bindung charakteristische visuelle und taktile Merkmale zusammengeführt werden, dann handelt es sich bei dem so durch multimodale Integration sinnesspezifischer Daten (vgl. Johannes Müller\*, 1827) konstituierten Objekt um eine Konstruktion, bei der das kognitive System (auf unterschiedlichsten Ebenen) ihm regelmäßig erscheinende Relationen zwischen sinnesspezifisch unterschiedlichen (empfundenen) Gruppen von visuellen und taktilen Merkmalen herstellt. Ob diese Relationen im Sinn einer neuronalen Repräsentation beständig aufrechterhalten werden oder auf Grund von Verarbeitungsregeln jeweils anlassbezogen generiert werden, ist dabei nur von sekundärer Bedeutung. In beiden Fällen geht es um fixe Relationen von Merkmalsgruppen multimodaler Herkunft. Es wird vorgeschlagen, dieses Konstruieren beständiger Relationen aus Daten unterschiedlicher Sinne als eine Komponente oder Facette der Interpretation folgenden Satzes gelten zu lassen, ohne dass damit suggeriert oder gar behauptet werden soll, das entspräche einer umfassenden Deutung der sehr elementaren Aussage, die Poincaré im Zusammenhang mit Überlegungen über das Objekt geltend macht:

„Die äußeren Gegenstände zum Beispiel, für die das Wort *Objekt* erfunden worden ist, sind eben *Objekte* und nicht flüchtige und ungreifbare Erscheinungen, weil es nicht nur Gruppen von Empfindungen sind, sondern Gruppen, die durch eine beständige Verbindung <sup>496</sup> zusammengekittet sind. Diese Verbindung ist es, und nur sie, was an Ihnen Objekt ist, und dies ist eine Beziehung.“ (Poincaré, 1910, S. 200) <sup>497</sup>

Ein Deutungsversuch auf Basis des oben dargelegten Zugangs trifft allerdings auf eine zunächst geradezu disqualifizierend wirkende Hürde, wenn Poincaré mitten im Satz eine Abgrenzung von „flüchtigen Erscheinungen“ und „Empfindungen“ betont.

---

<sup>494</sup> Die Interpretation dieses Phänomens wird allerdings kontrovers diskutiert und wurde hier nicht durch ausführliche Recherchen verifiziert.

<sup>495</sup> (Poincaré, 1902, S. 91)

<sup>496</sup> Poincarés Objektkonstruktion über Relationen/ beständige Verbindungen erscheint als kompatibel mit Worrals Strukturenrealismus (vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Strukturenrealismus> )

<sup>497</sup> Gemäß dem oben propagierten Aspekt der objektstabilisierenden Koinzidenz multimodaler Gruppen von Stimuli fällt Poincarés Formulierung „flüchtige und ungreifbare Erscheinungen“ auf, weil mit „unangreifbar“ der taktile und mit „Erscheinung“ der visuelle Sinn angesprochen wird, also die Multimodalität.

Bei der Interpretation des Zitats von Poincaré fällt auch noch ein sprachliches Detail der Übersetzung auf. Das Wort „zusammengekittet“ suggeriert eine eher fragile Verbindung, während das von Poincaré verwendete Wort „cimenté“ ein sehr stabiles Verhältnis zum Ausdruck bringt. („.....mais des groupes cimentés par un lien constant. » (Poincaré, 1911, S. 266)

Genau darin liegt aber auch der Reiz und die Herausforderung, trotzdem ein Milieu/einen Ansatz zu entwickeln, in dem auch Empfindungen, die nichtreduzierbare Komponenten von Wahrnehmung sind, konstitutiv in jene beständigen Verbindungen integriert werden können, die das Objekt „zusammenkitten“.

Die Art, wie das kognitive System auf Basis multimodaler Wahrnehmung und neuronaler Bindung von Merkmalen das weitgehende Zusammentreffen der physikalischen Eigenschaften Transluzidität bzw. Opazität und mechanischer Penetranz in die Konstruktion von Objekten integriert, wird als ein derartiges Milieu/Modell geltend gemacht. Dabei wird unterstellt, dass akkurat komplexe neuronale Bindungsprozesse, wie sie zum Erkennen und Wiedererkennen von Objekten und ihrer essentiellen Eigenschaften notwendig sind, eben nicht auf seltene flüchtige Eindrücke bauen, sondern auf langfristig, häufig und möglichst regelmäßig gemeinsam anzutreffende Stimuli unterschiedlicher Sinnesmodalitäten ausgelegt sind. Häufig auftretende und regelmäßig zusammentreffende Konstellationen von Stimuli können nach Hebb, Kandel und anderen durch synaptisches Lernen und nachhaltigen Ausbau häufig aktivierter Verbindungen auch ihren Niederschlag in kognitiven Präferenzen der Reizverarbeitung bis hin zur Modellierung des Konnektoms finden. So gibt es, wie an anderer Stelle angesprochen, starke Befunde dafür, dass es im ventralen Pfad Gehirnareale gibt, die auf Merkmale zur Objekterkennung spezialisiert sind.<sup>498</sup>

Im Zuge der hier verfolgten Interpretation des obigen Zitats von Poincaré wird der mit dem Hinweis auf Hebb und Kandel angedeutete Sachverhalt als ein unterstützendes Argument dafür angesehen, dass gerade auch bei der Wahrnehmung von Objekten bevorzugt „beständige Verbindungen“ auf Seiten der Stimuli detektiert werden. So gesehen sind Wahrnehmung und die damit verbundene Enzephalisation konstitutionell auf „beständige Verbindungen“ ausgelegt, wobei im Gegenzug flüchtige Eindrücke in hohem Ausmaß ignoriert bzw. unterdrückt werden.<sup>499</sup>

Man kann folglich mit gutem Grund sagen, dass für das visuelle System eine signifikante Präferenz und ein markantes Potential für die formbestimmende Konstruktion fester Körper gelten.

#### 14.1.4 Objekt als Konstrukt multimodaler Redundanz durch beständige Relationen von Gruppen heterogener Stimuli „zusammengekittet“?

Wenn man davon ausgeht, dass bei der Wahrnehmung eines beständigen Objekts schon jede Sinnesmodalität für sich die beständigste Konstellation der für sie sinnesspezifischen Stimuli detektiert und diese, in welcher Form auch immer, zu einer gemäß ihren Verarbeitungsregeln plausiblen Gruppe formt, dann impliziert die schon oben angesprochene multimodale

---

<sup>498</sup> Wobei hier die Genese und das fortwährende Bestehen eines dorsalen und ventralen Pfades genau als Beispiel für die modellierende Wirkung synaptischen Lernens in Folge häufig wahrgenommener bzw. verarbeiteter, koinzidenter Stimuli geltend gemacht wird. Die „koinzidente prä- und postsynaptische Aktivität“ (s.o.) könnte demgemäß auf Ebene des Konnektoms zur kognitiven Objektkonstruktion in dem hier verfolgten Sinn beitragen, dass häufig wiederkehrende, koinzidente externe Stimuli über Hebb'sche (Lern-) Prozesse neuronale „Wiedererkennungsnetzwerke“ ausbilden und diese nachhaltig stabilisieren. Womit diese künftig auch wiederum bevorzugt verarbeitet werden, was zu einer kognitiven Präferenz dieser Stimulusgruppen/Objekte beiträgt, welche ihrerseits das Konnektom stabilisiert. So kommt zur physikalischen auch eine neurokognitive Variante der Interpretation von Poincaré „zusammengekittet“.

<sup>499</sup> Davon ausgehend kann man sagen, wesentliche Strukturen und Verarbeitungsregeln des Gehirns sind auf Bildung beständiger Gruppen(-relationen) und in diesem Sinn auf Konstruktion von Objekten ausgerichtet. Seien es wahrnehmbare oder solche der mehr oder weniger abstrakten Vorstellung.



Wahrnehmung ein hohes kritisches Potential. Damit die Eindrücke einer Modalität nicht jene der anderen konterkarieren, müssen also zwei (oder mehrere) nach den jeweiligen Verarbeitungsregeln gebildete Gruppen unterschiedlicher Genese hinsichtlich ihrer Interpretation/Bedeutung kompatibel sein. Das erfordert, dass auch die einzelnen sinnesspezifischen Gruppen untereinander in eine beständige widerspruchsfreie Relation gebracht werden können. Man könnte auch sagen, dass trotz sinnesspezifischer unterschiedlicher Modalität die jeweiligen Verarbeitungssysteme zu (weitgehend) übereinstimmenden Interpretationen der externen Situation kommen, also zu redundanten Ergebnissen auf Basis unterschiedlicher Prüfverfahren. Das Zusammenspiel visueller und haptischer Formbestimmung von Objekten ist ein prominentes Beispiel dafür und bietet ein hohes Potential zur Interaktion mit der Umwelt, das bei Kombination anderer Sinnesmodalitäten bei weitem nicht in diesem Ausmaß besteht.<sup>500</sup>

Im Kontext der erkenntnisbegründenden Bedeutung von Relationen, spricht Poincaré auch „unseren Glauben an die äußeren Objekte“ an: „Diese letzteren sind insofern wirklich, als die Empfindungen, die sie in uns erregen, uns untereinander durch ein gewisses unzerstörbares Bindemittel verknüpft scheinen, und nicht durch einen flüchtigen Zufall.“ (Poincaré, 1919, S. 203)

Mit dem Stichwort des „flüchtigen Zufalls“ kommt nicht nur der hier wiederholt ventilierter Aspekt häufiger Koinzidenz ins Spiel. Kurz darauf wird die Einschätzung der „Wirklichkeit“ von Objekten auch explizit mit dem Beispiel multimodaler Wahrnehmung untermauert: „Man kann zum Beispiel sagen, dass der Äther nicht weniger wirklich ist als jeder beliebige äußere Körper; wenn man von einem solchen Körper sagt, er existiert, so heißt das, daß zwischen der Farbe, dem Geschmack und dem Geruch dieses Körpers ein haltbares und dauerndes inneres Band besteht;...“ (Poincaré, 1919, S. 203)

So trivial es klingt ist, so es hier doch erwähnenswert, dass noch mehr als Geschmack und Geruch die Kompatibilität von Gesichts- und Tastsinn sowie deren wiederholbare Koinzidenz ihrer sinnesspezifischen Reize eine besonders tragfähige Affinität zu einer kritisch verifizierten Raumvorstellung hat und daher auch höchst relevant ist für Poincarés Fundamente von Geometrie und den dabei relevanten festen Körper.<sup>501</sup>

Dass Relationen unterschiedlicher Genese miteinander permanent und widerspruchsfrei kompatibel sind, legt den Schluss nahe, dass jede Gruppe (überwiegend) aus sinnesspezifischen Invarianten besteht, die auch im Milieu externer Stimuli regelmäßig miteinander angetroffen werden können, also wesentlichen Eigenschaften des Objekts entsprechen. Wobei man in einem konstruktivistischen Sinn eher sagen müsste, dass die als dem Objekt schon im Wahrnehmungsprozess zugeschriebenen Eigenschaften tauglich sind, dass sie also mit externen Strukturen in viabel notwendigem Ausmaß korrelieren. Damit wäre die regelmäßig am selben Ort anzutreffende Koinzidenz sinnesspezifischer heterogener Stimuli eine beständige Relation mit großer Relevanz für die erkennende Wahrnehmung. Im Gegenzug wäre Erkennen in einem wesentlichem Ausmaß als das Detektieren und Bestimmen von

---

<sup>500</sup> Ein Abgleich von Gehör und Geruchssinn hat für unsere objektbezogene räumliche Interaktion kaum Bedeutung und daher ist es bemerkenswert, dass Poincaré sogar diese Sinneseindrücke als Beispiele heranzieht. Allerdings kann diese Kombination für manche Tiere höchst relevant sein, um z.B. Fressfeinde oder Beute zu bemerken, zu lokalisieren und auch zu erkennen. Würde ein Diffusor periodisch kleine Mengen an Duftstoff ausstoßen und dabei ein wahrnehmbares Geräusch erzeugen, dann wäre auch für uns diese Koinzidenz wohl allein auf Basis von Gehör und Geruchssinn einem zusammengehörigen Etwas zuzuordnen und könnte sogar in gewissem Ausmaß eine Lokalisierung erfolgen. Ein tragfähiges Fundament für eine auf die Form von Objekten bezogene Geometrie wäre das im Unterschied zur Auswertung regelmäßig koinzidenter haptischer und visueller Eindrücke allerdings nicht.

<sup>501</sup> Das so genannte Molyneux Problem deutet an, dass diese Kompatibilität keinesfalls als selbstverständlich gelten muss. (Cf. Glossar). Weiters betrifft die hier zur Debatte stehende multimodale Kompatibilität auch das Bindungsproblem.

Invarianten sowie deren Relationen zueinander zu definieren. Wenn man es so betrachtet, dann sind schon die Prozesse multimodaler Wahrnehmung und neurokognitiver Bindung, die mit ihren systemspezifischen Verarbeitungsregeln zu dem als fester Körper wahrgenommenen Komplex von Stimuli beitragen, in hohem Ausmaß kompatibel mit dem Modell Poincarés, Objekte über beständige Relationen zu interpretieren.

Das impliziert aber auch den erkenntnistheoretisch relevanten Aspekt, dass schon auf Ebene der Wahrnehmung durch die multimodale Struktur ein Prüf- und Erkenntnispotential konstitutionell verankert ist, bei dem (beständige) Relationen und vor allem die regelhafte Kovarianz heterogener multimodaler Stimuli eine entscheidende Rolle spielen.

Folgt man einer Darstellung Möllers (o.J.), dann sind stabile Relationen im Ambiente nicht als prinzipiell gegeben und schon gar nicht als selbstverständlich erkennbar anzunehmen:

„Um uns herum existieren Materieformen und Strahlungen – die für sich allein überhaupt keine Ähnlichkeit mit unserer menschlichen Welt haben. Ein Teil davon hat eine Wirkung auf unsere Sinne. Auf Basis dieser Sinneseindrücke, sowie angeborener und erworbener Arbeitsweisen erstellt sich das Gehirn ein Bild, das wir für die Welt halten, das aber unabhängig von uns nicht existiert.“ (Möller, o.J. o.S.-> Konstitutionstheorie) <sup>502</sup>

#### 14.1.5 Schon Multimodalität der Wahrnehmung forciert robuste Objekte

Wenn man also mit Möller davon ausgeht, dass in einem vor dem konstruierenden Eingriff einer selektiven und strukturierenden Wahrnehmung als mehr oder weniger als noisy <sup>503</sup> zu charakterisierenden Ambiente regelmäßige Koinzidenzen am selben Ort nicht prinzipiell wahrscheinlich sind, dann werden permanent als stabil wahrnehmbare Koinzidenzen oder regelhaft kovariierende Gruppen externer Stimuli und ein daraus erschlossener fester Körper zu einem prominenten Objekt des von uns strukturierten Ambientes. Also zu einem gemäß unseren Präferenzen aus für uns folglich opportunen Komponenten zusammengefügt Konstrukt, mit dem wir die externe Realität in einen uns gemäßen Rahmen fassen. <sup>504</sup>

Wenn gemäß vorangestellter Annahme bei den multimodalen Prüf- bzw. Konstruktionsprozessen die synchron übereinstimmenden heterogenen Subgruppen der visuellen und haptischen Empfindungen ein Objekt als viabel interaktionstaugliche Entität konstituieren bzw. verifizieren können, dann wird auch die Dreidimensionalität zu einem adäquaten und hoch selektiven Kriterium, wenn man gelten lässt, dass der Gesichts- und Tastsinn prominente evolutionäre Faktoren der Genese phänomenaler Dreidimensionalität sind. <sup>505</sup>

So gesehen kann man in Anspielung an Poincarés Charakterisierung der euklidischen Geometrie auch das wahrnehmbare Objekt als bequem (commode) bezeichnen; als für uns opportune Emulation einer nicht unmittelbar zugänglichen externen Realität. Weil dieses Objekt im Zuge der Wahrnehmung schon auf unbewussten Ebenen hoch selektive Prüfverfahren nach sinnesspezifisch unterschiedlichen Kriterien durchlaufen hat, kann das so entstanden Konstrukt robuster Relationen - metaphorisch gesprochen- beim Eintritt ins

<sup>502</sup> Diese Aussage Möllers erscheint als kompatibel mit Poincarés Hinweis auf „Bilder“ sowie:

„Kurz gesagt, die einzige objektive Wirklichkeit sind die Beziehungen der Dinge, aus denen die Harmonie der Welt hervorgeht. Allerdings können diese Beziehungen, diese Harmonie nicht außerhalb eines Geistes, der sie begreift oder sie fühlt, begriffen werden.“ (Poincaré, 1910, S. 204 Wert)

<sup>503</sup> Cf. Urakawa

<sup>504</sup> Cf. Poincaré: „wir drängen Rahmen auf“ (Poincaré, 2013b, S. 9).

<sup>505</sup> Diese Arbeit bemüht sich darum, diesen prominenten Einfluss zumindest als Möglichkeit nachzuweisen. Ausgehend von Aspekt emergenter Potentiale durch progressive Enzephalisation bleibt zu beachten, dass daraus kein determinierendes Apriori resultieren muss.

Bewusstsein als valide gelten und steht so für relativ zuverlässige Handlungsplanung zur Verfügung.<sup>506</sup>

Um Missverständnisse zu vermeiden, die auf Basis dieser vagen und spekulativen Formulierungen allenfalls naheliegen: Es wird nicht unterstellt, dass damit der Gegenstand als solcher erkannt und in einem ontologischen Sinn sein Bestehen in der externen Realität etabliert werden kann und soll. Es wird nur unterstellt, dass es als möglich erscheint, eine wie immer beschaffene oder bestehende externe Realität zu einer erkennbaren Umwelt zu modellieren und dass gerade auch auf Basis dieser solchermaßen bequemen Objekte überlebensfähige Interaktionsmöglichkeiten mit der externen Realität entstehen.

Prinzipiell ist aber trotz aller Erfahrung immer mit Überraschungen zu rechnen, die uns veranlassen können, unser Gefüge von Meinungen, Theorien und Erkenntnissen zu modifizieren oder sogar Paradigmen zu verwerfen: also Wissenschaft auf Basis einer fundamental hypothetischen Haltung zu betreiben.

In diesem Sinn wäre (möglicherweise) auch das „Objekt“ explizit in die Reihe der „Rahmen, die wir die Zeit und den Raum nennen...“ (Poincaré, 2013b, S. 9) aufzunehmen, die wir gemäß Poincaré der Natur aufdrängen.<sup>507</sup>

#### 14.2 „Natürliche Gegenstände“ und Artefakte optischer Täuschung als genuin verwandte Konstrukte

Eine Enzephalisation der Wahrnehmung mit eigendynamischen top-down Potentialen zum Hochrechnen weniger auslösender Stimuli zu homogenen Perzepten sowie zum Unterdrücken von Stimuli, welche nicht den gemäß systemspezifischen Verarbeitungsregeln bevorzugten Gestalten entsprechen, tendiert nicht nur zu Illusionen im Sinn von Wahrnehmungsartefakten der so genannten optischen Täuschungen. Auch die im Ambiente als Gegenstände der externen Realität wahrgenommenen Gruppen von Stimuli werden somit zu Konstrukten, die in sehr ähnlicher Art gemäß den systemspezifischen Verarbeitungsregeln modelliert werden.<sup>508</sup> Insofern stehen einander so genannte optische Täuschungen und die als real geltenden Objekte auf Ebene der top-down modellierten Wahrnehmung genuin so nahe, dass die Möglichkeit der Täuschung weniger verwunderlich ist als das Vermögen, Illusion und „Realobjekt“ zu unterscheiden.

In beiden Fällen ist das so genannte Objekt ein mit großteils unbewussten Erfahrungen angereichertes und gemäß einer Vielzahl von Verarbeitungsregeln emuliertes Konstrukt. So gesehen werden auch die externen Objekte, von denen Poincaré sagt, „...diese wirklichen Objekte wird die Natur uns ewig verbergen.“<sup>509</sup> zu Metaphern bzw. Bildern.

Für ein Bemühen um möglichst objektives Erkennen der externen Korrelate von Phänomenen ist es also nötig, auch unsere visuokognitiven Verarbeitungsregeln ins Kalkül zu ziehen. Bezogen auf den von Poincaré ins Spiel gebrachten festen Körper und den Aspekt des „lien constant“ muss sich somit die Analyse externer Objekte nicht nur auf deren Art von (allfälliger

<sup>506</sup> Cf. Kap. Rudimentäres Potential zur Bildung gruppenaffiner formaler Strukturen schon in elementaren Prozessen neuronalen Lernens?

<sup>507</sup> Wie schon an anderer Stelle erwähnt wurde, wird diese Überlegung nicht weiter verfolgt, um einem drohenden Chaos der Paradigmen aus dem Weg zu gehen.

<sup>508</sup> Diese Annahme basiert z.B. auf Berthoz' Aussage: «De mon point de vue, nombre d'illusions sont des solutions trouvées par le cerveau pour résoudre des problèmes d'ambiguïté perceptive.» (Berthoz, 2009, S. 96)

<sup>509</sup> Poincaré, 1906, S. 162

physischer) Beständigkeit und sonstiger Eigenschaften, sondern auch auf die (mehr oder weniger starken) Konstanten bzw. Invarianten unserer Wahrnehmung richten. Mit dieser notwendigen Integration der Verarbeitungsregeln in die Bestimmung dessen, was wir als Gegenstand bezeichnen, haben Gegenstände, Bilder und optische Täuschungen ein gemeinsames visuokognitives Substrat.<sup>510</sup>

#### 14.2.1 Mill: Gegenstand als zusammengesetzte Vorstellung nach den Gesetzen der Assoziation

Als ein relevanter Faktor dieser letztlich, oder zumindest überwiegend, kognitiven Objektkonstruktion wird im Rahmen dieser Arbeit die häufige koinzidente Wiederkehr gleichartiger Stimuli angesehen, die sich mit Hilfe Hebb'scher Lernprozesse als robuste invariante Gruppen etablieren können und folglich schnell wiedererkannt werden. Dieses Konzept von Objekt bezieht sich nicht nur auf Poincarés Stichwort „zusammengekittet“, sondern erscheint auch als kompatibel mit folgender Passage von John St. Mill:

„Was wir einen Gegenstand nennen, ist nur eine zusammengesetzte Vorstellung, gebildet nach den Gesetzen der Assoziation aus den Ideen verschiedener Empfindungen, die wir gewohnt sind, gleichzeitig zu empfangen. Nichts ist wirklich in diesem Prozess als diese Empfindungen. Sie begleiten sich allerdings nicht oder folgen einander nicht aufs Geratewohl. Sie werden durch ein Gesetz zusammengehalten, d. h. sie treffen zusammen in festen Gruppen und in festgeordneter Folge. Aber wir haben keine Gewissheit von irgendetwas, was nicht selbst eine Empfindung wäre, sondern ein Substrat oder eine verborgene Ursache von Empfindungen. Die Idee eines solchen Substrats ist lediglich eine geistige Schöpfung, für die wir keinen Grund haben, außerhalb unseres Geistes eine entsprechende Realität zu denken.“  
(Mill, 1908, S. 18f.)<sup>511</sup>

#### 14.2.2 Äußere Gegenstände durch kognitive Objektkonstruktion instanziiert?

Es wird hier unterstellt, dass ein formbestimmendes Ablösen von „Entitäten“ aus einem mehr oder weniger als „noisy“ zu charakterisierenden Ambiente (Objektextraktion?) eine essentielle Strategie/Verarbeitungsregel auf dem Weg ins Bewusstsein bildet, aber darüber hinaus auch evolutionär zur Entstehung bewussteinfähiger neuronaler Strukturen beiträgt. Wegen der starken top-down Einflüsse im Rahmen der komplexen neuronalen Bindungsprozesse wird also in einem konstruktivistischen Sinn von „Objektkonstruktion“ gesprochen und davon ausgegangen, dass das so als eine Art Amalgam (Emulation, cf. Berthoz) generierte „Objekt“ nicht nur ein Phänomen als situativ nützliche Komponente der Handlungssteuerung im Zuge der aktuellen Interaktion mit der externen Realität darstellt, sondern auch eine bedeutsame Grundlage für bewusstes Vorstellen bildet.<sup>512</sup>

<sup>510</sup> Cf. Cassirer Verarbeitungsregeln-Invarianten (Anhang)

<sup>511</sup> Das erscheint bei etwas veränderter Perspektive als kompatibel mit Poincarés Überlegung: „... Eigenschaft des Raumes, dreidimensional zu sein, nur eine Eigenschaft des Bildes, ..... sozusagen eine interne Eigenschaft menschlicher Intelligenz.“ (Poincaré, 1914, S 99)

<sup>512</sup> Auch hier bleibt zu beachten, dass daraus kein insgesamt determinierendes Apriori unterstellt bzw. abgeleitet wird.

### 14.3 Ladyman: Objects are pragmatic devices to construct approximate representations of the world

Diese Überlegungen zu einem Ansatz von Objekt als top-down im 3D Modus emuliertes Konstrukt bezieht sich u.a. auf eine Abhandlung von Ladyman über „Structural Realism“, in der auch Poincaré explizit angesprochen wird.

“Individual objects are constructs

French (1999) and French and Ladyman (2003a) maintain that individuals have only a heuristic role. Poincaré similarly argued that “the gross matter which is furnished us by our sensations was but a crutch for our infirmity” (1898, 41). Ladyman and Ross (2007) argue that objects are pragmatic devices used by agents to orient themselves in regions of spacetime, and to construct approximate representations of the world.” (Ladyman, 2014, o.S.)

Ladyman schlägt auch eine Brücke zur Frage von Invarianten im Rahmen einer Gruppentheorie:

„The founders of structuralism shared an appreciation of the importance of group theory in the ontology of physics. Cassirer held that the possibility of talking of ‘objects’ in a context is the possibility of individuating invariants (1944). Similarly, Max Born says: ‘Invariants are the concepts of which science speaks in the same way as ordinary language speaks of ‘things’, and which it provides with names as if they were ordinary things’ (1953, 149), and: ‘The feature which suggests reality is always some kind of invariance of a structure independent of the aspect, the projection’ (149). He goes so far as to say: ‘I think the idea of invariant is the clue to a relational concept of reality, not only in physics but in every aspect of the world.’ (144). Eddington says: ‘What sort of thing is it that I know? The answer is structure. To be quite precise it is structure of the kind defined and investigated in the mathematical theory of groups’ (1939, 147). Poincaré understands group structure in Kantian terms as a pure form of the understanding.” (Ladyman, 2014, o.S.)<sup>513</sup>

---

<sup>513</sup> Einer bezüglich des Wortgebrauchs von Ladyman allenfalls angebrachten Unterscheidung eines mathematischen Begriffs von Objekt von einem wahrnehmungsbezogenen wird hier nicht nachgegangen, sondern wird dieser Aspekt nur als möglicherweise problematische Einschränkung der Tragfähigkeit meiner Interpretation in Kauf genommen. Wenn man also, so wie Ladyman mit Blick auf Kant, Objekte als „pragmatic devices“ zur Organisation eines raumzeitlichen Ambientes mit dem laut Poincaré präexistierenden Potential zur Bildung von Gruppen in Verbindung bringt, dann stellt sich die Frage, ob und inwieweit die bei dieser Objektkonstruktion ebenfalls ins Spiel kommenden Invarianten der Wahrnehmung als unmittelbar sinnlich zugängliche, apriorische Gegebenheiten aufgefasst werden, oder als erfahrungsgemäßen Vorstellungen entsprechende Konstrukte (Hypostasen?), die a posteriori erschlossen wurden. Damit ergibt sich auch das Problem, ob man als räumlich in Erscheinung tretende Invarianten der Wahrnehmung auf an Anschauungsformen gebunden Sinneseindrücke bzw. Empfindungen oder auf Verstandestätigkeit („form of understanding“) zurückführt.

Kant führt in der Einleitung der Ausgabe A seiner „Kritik der reinen Vernunft“ einen Dualismus ein, indem er die Verstandestätigkeit dem rohen Stoff der sinnlichen Empfindung gegenüberstellt.

„Erfahrung ist ohne Zweifel das erste Produkt, welches unser Verstand hervorbringt, indem er den rohen Stoff sinnlicher Empfindungen bearbeitet.“ (Kant, 1998, S. 43 (A1), Einleitung nach Ausgabe A)

Als wie vielfältig und schwer definierbar die Sachverhalte gelten, welche dieser lapidar formulierte Satz fassen soll, lässt sich nicht nur daran erkennen, um wieviel differenzierter Kant die Einleitung zur Ausgabe B ausgeführt hat. Ohne dies bezüglich der für Kant geltenden Details weiter zu analysieren, wird hier nur versucht, jenen Aspekt knapp zu umreißen, der die auf Poincaré bezogene Passage Ladymans betrifft.

Als geradezu korrespondierende Pointe zu dem hier betrachteten Problem fällt auch die Wortwahl bei der Übersetzung eines Textes von Poincaré auf, wenn im Kontext der Unterscheidung des mathematischen gegenüber dem physikalischen Kontinuum in einem Abschnitt über die Umgangsweise des Verstandes mit Symbolen und Sinneseindrücken für „données brutes“ das Wort „Erfahrung“ statt Sinnesdaten verwendet wird. Dieses Anknüpfen an die Erfahrung ist also keine direkte Übersetzung, sondern erscheint (mir) vielmehr als bemerkenswerte Interpretation der Auffassung Poincarés, die noch dazu mit dem unten angesprochenen „relativized a priori“ kompatibel ist.

„Dans le cas qui nous occupe, cette raison était la notion du continu physique, tirée des données brutes des sens.“ (Poincaré, 1902, S. 34)

#### 14.3.1.1 Ladyman: Poincaré's structuralism had a Kantian flavour

Ladyman (2014) wirft bei seinen Analysen von „Epistemic Structural Realism“ und „Ontic Structural Realism“ (sowie anderen Richtungen, einschließlich Kant) Grundsatzfragen von Ontologie auf, deren Spannweite und Details hier nicht verfolgt werden können. Dies geschieht mit häufiger Bezugnahme auf Poincaré, dem auch eine Nähe zu Kant zuschreibt:

“...Poincaré's structuralism had a Kantian flavour. In particular, he thought that the unobservable entities postulated by scientific theories were Kant's noumena or things in themselves. He revised Kant's view by arguing that the latter can be known indirectly rather than not at all because it is possible to know the relations into which they enter. Poincaré followed the upward path to structural realism, beginning with the neo-Kantian goal of recovering the objective or intersubjective world from the world from the subjective world of private sense impressions: °what we call objective reality is... what is common to many thinking beings and could be common to all; ... the harmony of mathematical laws° (1906, 14). However, he also followed the downward path to structural realism arguing that the history of science can be seen as cumulative at the level of relations rather than objects.” (Ladyman, 2014, o.S., Kap. 3.1 Kantian ESR) <sup>514</sup>

Bei aller Problematik und gebotenen Vorsicht, eine Gruppentheorie, die sich auf abstrakte Objekte der Mathematik bezieht, an physische Gegenstände und neurophysiologische Strukturen und Prozesse heranzutragen, ist das im Rahmen einer strukturalistischen Betrachtungsweise dennoch ein Thema. In dessen Zentrum steht der Begriff der Invarianten und damit verbunden die Frage, ob und in welcher Form diese bestehen, respektive wie sie erkennbar sind. Ebenso, ob sie erst durch bewusstes Denken oder zumindest in rudimentärer Dimension z.B. auch schon im Zuge visueller Verarbeitung zur Modellierung Wahrnehmung konstruiert werden und so auch (als eine Art „*lien constant*“?) konstitutiv in den Bestand des sichtbaren Objekts involviert sind. Ob es sich also nur um eine abstrakte Form des Verstehens oder auch um einen Faktor des Wahrnehmens handelt, der in den neurophysiologischen Strukturen und unbewussten neurokognitiven Prozessen adäquat verankert ist. Gemäß zitierter Abhandlung von Ladyman (2014) über Strukturalismus ist diese Frage zumindest

---

„In unserem Falle liegt diese Veranlassung in der Vorstellung des physikalischen Kontinuums, wie sie aus den groben Erfahrungen der Sinne abgeleitet werden.“ (Poincaré, 1906, S. 27)

Wenn man Raum als Form der Anschauung untrennbar mit den Sinneseindrücken verknüpft, dann führt das zu einer Differenz mit der Auffassung Poincarés, der, wie an anderen Stellen dieser Arbeit dargestellt, die Genese der Räumlichkeit nicht einem spezifischen Sinn als schlichte Gegebenheit zubilligt, sondern sie als komplexes Konstrukt in Ansatz bringt, das z.B. für das notwendige Erkennen der Gesetzmäßigkeiten des Schauspiels der Perspektiven des Gedächtnisses und eines Potentials zur Bildung von Gruppen, also Komponenten des Verstandes, bedarf. Damit gerät nach meiner Einschätzung die Möglichkeit einer auf ideeller Ebene als prinzipiell etablierten Abgrenzung von a priori und a posteriori in ein Dilemma auf sachlicher Ebene. Besonders dann, wenn man das Potential zur Bildung von Gruppen gemäß Poincaré als „präexistierend“ in Ansatz bringt und es, wie hier versucht wird, mit evolutionär erworbenem „Wissen“ in Verbindung bringt.

Für dieses implizite Problem scheint der an anderer Stelle erwähnte Aspekt eines „relativized a priori“ (cf. Biagioli/Hölder) einen Ansatz zu bieten, in die Anschauungsformen Kants einen Erfahrungsanteil zu integrieren. Das erscheint auch mit dem Konzept einer Hermeneutik zweiter Ordnung (cf. Diebner, Keuth) konvergent zu sein. Wenn gemäß der vor dem Hintergrund Evolutionärer Erkenntnistheorie darauf ausgerichteten Argumentation in dieser Arbeit das Objekt und die Raumwahrnehmung sowie die damit verbundenen sinnesspezifischen Eindrücke/Empfindung als hinterfragbare Konstrukte mit unbewussten ratiomorphen Prozessen und mit neurophysiologischen Strukturen korrelierenden core knowledges in Zusammenhang gebracht werden können, und diese mit Poincarés Fundamenten von Geometrie sowie dem präexistierenden Potential zur Bildung von Gruppen kompatibel sind, dann bietet das wohl auch einen Zugang zu Ladymans Beschreibung von Poincarés „group structure in Kantian terms“ und von „objects as pragmatic devices“.

<sup>514</sup> Zum Aspekt des Strukturalismus findet sich im Anhang unter „Der eigene Körper als Messinstrument einer Géométrie lunatique de la lune“ eine Passage über metrologischen Strukturalismus (Ehmann, 2014) mit einem Brückenschlag zu Poincaré.

erwägenswert, auch wenn darin zum Ausdruck gebracht wird, dass Poincaré, in Anklang an Kant, die Gruppe als abstrakte Form des Verstehens in Ansatz gebracht hat.

Das Aufzeigen einer möglichen Affinität des Gruppenbegriffs zur evolutionären Konstitution visuokognitiver Potentiale will Aspekte der Selbstreferentialität von autopoietischen Systemen ins Spiel bringen, die auf Basis hypothetischer Konzepte auf aktive Detektion bzw. Konstruktion von Invarianten aus Relationen ausgerichtet sind. So zu sagen nicht auf Suche nach etwas Gegebenen sind und auch nicht nur danach, was gemäß spontanem sinnlichen Eindruck und damit verbundener Erfahrung als wahr erscheint. Das soll auch zu einem modifizierten Begriff von Objekt führen, in dessen Rahmen der dreidimensional wahrnehmbare Körper nur noch eine mögliche Form eines viablen Konstrukts im Sinn einer bequemen Hypothese ist, aber keine endgültige Aussage über eine dreidimensionale Beschaffenheit einer vom Betrachter völlig unabhängigen externen Realität darstellt.

Trotz des von Ladyman attestierten Verständnisses von Gruppe als Abstraktum, dürfte zumindest dieses Ziel mit Poincaré kompatibel sein.

#### 14.3.2 Auch Wahrnehmung erfolgt indirekt und bildet Gruppen

In Ladymans Ausführungen über Poincarés Strukturalismus wird (zu Ende des obigen Zitats) auf eine Verschiebung des Fokus des Erkennens von Objekten hin zu Relationen gesprochen. Bezieht man das nicht nur auf abstrakte Objekte der Mathematik oder Geometrie, sondern auch auf wahrnehmbare äußere Gegenstände, dann stellt sich die Frage, ob diese direkt wahrgenommen werden, oder erst auf Basis komplexer Relationen konstruiert werden.

Folgendes Bildbeispiel demonstriert, wie Stimuli unterschiedlich gruppiert/gedeutet werden können und wie bei der Entschlüsselung komplexer Szenen nach unterschiedlichen Kriterien bzw. Verarbeitungsmustern dieselben Bildkomponenten/Farbflächen in einen anderen Kontext eingebettet werden und somit im Perzept die insgesamt verfügbaren Stimuli in modifizierten Gruppierungen als „neue“ Objekte prominent werden.

„Dinge bilden mit größerer Wahrscheinlichkeit Gruppen, wenn die Gruppen vertraut erscheinen oder etwas bedeuten.“

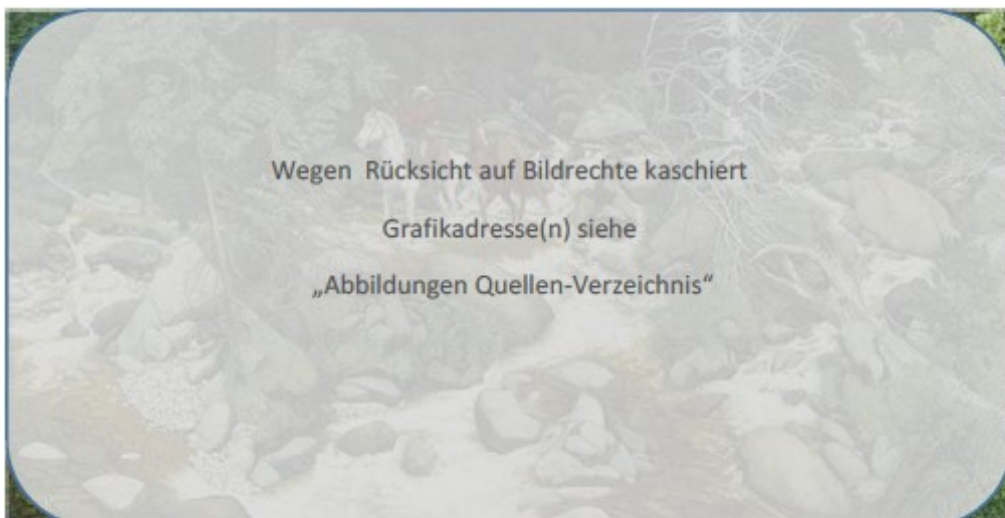


Abbildung 39 Doolittle: *The Forest Has Eyes*. (Goldstein, 2010, S.107)

*Beispiel: In dem Bild sind 12 Gesichter versteckt (viel Spaß beim Suchen :P). Die Landschaftselemente, die diese bilden werden aber erst als Gruppe wahrgenommen, wenn das Gesicht erkannt, also die Elemente als Gesicht organisiert wurden. Dann fällt es sogar schwer, sie noch als einzelne Steine, Bäume etc. zu sehen.“*<sup>515</sup>

Auch wenn es nicht legitim ist, den im Bildkommentar verwendeten Ausdruck Gruppe direkt mit Gruppentheorie in Verbindung zu bringen, so bietet er zunächst zumindest als Stichwort eine Gelegenheit, dieses Thema anzusprechen und dabei zu zeigen, dass es gemäß Cassirer einen sachgemäßen Zusammenhang geben kann, der auch Poincaré betrifft.

#### 14.4 Cassirer: Wahrnehmung und Gruppentheorie – Vom Objekt zur Verarbeitungsregel

Andernorts wurde bereits eine Objektkonstruktion auf Basis von Invarianten der Wahrnehmung vorgeschlagen, die auch deshalb das Thema „Gruppe“ tangiert, weil dabei ein erweiterter Begriff des Sehens (cf. Bell) in Betracht zu ziehen ist, der durch Einbeziehen der Okulomotorik auch die Muskelsinne integriert und folglich mit Poincarés Überlegungen zur Genese/ Konstruktion des Anschauungsraumes kompatibel<sup>516</sup> ist und diese gemäß Ausrichtung dieser Arbeit auch explizit untermauern soll.

Für Poincarés Fundamente von Geometrie ist das präexistierende kognitive Potential zur Bildung von Gruppen essentiell.

« Ce qui est l'objet de la géométrie, c'est l'étude d'un « groupe » particulier ; mais le concept général de groupe préexiste dans notre esprit au moins en puissance. Il s'impose à nous, non comme forme de notre sensibilité, mais comme forme de notre entendement. » (Poincaré, 1902, S. 76)

Trotz Ladymans Zuordnung und obwohl Poincaré einschränkend festhält, der Gruppen-Begriff „...er drängt sich uns auf, nicht als eine Form unseres Empfindungs-Vermögens, sondern als eine Form unserer Erkenntnis.“ (Poincaré, 1906, S. 73) wird im Zuge dieser Arbeit dennoch umfangreich versucht, dieses préexiste auch mit den Strukturen und Prozessen visueller Verarbeitung sowie deren Evolution in Zusammenhang zu bringen.

Dies erscheint bestärkt durch den Hinweis Cassirers:

„The first attempt to apply certain mathematical speculations concerning the concept of group to psychological problems of perception was made by Helmholtz in his essay Über die Thatsachen, die der Geometrie zu Grunde liegen (1868).“ (Cassirer, 1944, S. 1)

In einer umfangreichen Analyse historischer Perspektiven betont Cassirer gemäß zeitgenössischem Stand der Wahrnehmungspsychologie die Gestalttheorie und das Potential einer top-down modellierten/modellierenden Wahrnehmung für Konstanz - Leistungen und zur Konstruktion von Invarianten.

<sup>515</sup> „Goldstein Kapitel 5“, aus einem Skriptum der Uni Mainz, Autor nicht verifizierbar. <https://www.blogs.uni-mainz.de/fb02-fs-psychologie/files/.../Goldstein-Kapitel-5.docx> ). Das Skriptum bezieht sich auf Goldstein, E. Bruce, 2010, S. 107 f. Figure 5.20 (<http://dl.icdst.org/pdfs/files/613782cddfa896905bbd17706aebc765.pdf> )

<sup>516</sup> Cf. Kap. Poincaré: Durch Auswertung der Muskelsinne auch monokularer Zugang zum dreidimensionalen Raum. Dabei werden mit Blick auf Poincaré nicht nur das visuokognitive Selektieren möglichst invarianter Komplexe von externen Stimuli, sondern auch das Zusammenführen mit taktilen Eindrücken sowie Muskelempfindungen, die Okulomotorik und Körper- bzw. Greifbewegungen repräsentieren, als gemäß präexistierenden Potentialen mögliche Form von Gruppenbildung in Ansatz gebracht.



Bezüglich des auch mit Hinweis auf Helmholtz dargestellten Versuchs, Mathematik und Psychologie auf Gemeinsamkeiten hin zu untersuchenden bzw. zusammenzuführen, stellt Cassirer fest:

„The direct road which he (Ö> Helmholtz) attempted to travel cannot lead to the goal, for there cannot possibly obtain an immediate correspondence between psychological and mathematical °facts°. But we might approach our goal in an indirect way with the help of a mediating principle of a higher order. Instead of following in the footsteps of geometrical empiricism, such as to search for the °facts which lie at the basis of geometry°, we may raise the question whether there are any concepts and principles that are, although in different ways and different degrees of distinctness necessary conditions for both the constitution of the perceptual world and the construction of the universe geometrical thought. It seems to me that the concept of group and the concept of invariance are such principles.“ (Cassirer, 1944, S. 19)

Cassirer selbst schließt seine Betrachtungen mit einem konstruktivistisch anmutenden Fokus auf Konstanz-Phänomene und hält fest:

„Thus psychology, as compared to its early sensationalistic beginnings, has achieved a thorough-going reevaluation. Psychology dismisses the dogma of the strict one-to-one correspondence between physical stimuli and perceptions. It is, on the contrary, the °transformed° impression, i.e., the impression as modified with respect to the various phenomena of constancy, which is regarded as the °true° impression, since we can on these grounds construct knowledge of reality.“ (Cassirer, 1944, S. 36) <sup>517</sup>

Die aus dem Vorangegangenen ablesbare komplexe Relation zu ontologischen Aspekten von Objekten, sinnlicher Wahrnehmung und objektiver Erkenntnis betrifft konsequenterweise auch die Frage eines determinierenden Apriori. Ebenso ist ablesbar, dass es nicht der Komplexität seines Ansatzes bzw. seiner daraus gezogenen Schlüsse entspricht, Poincaré nur wegen seiner Hinweise auf die Erfahrung der Vorfahren und „sélection naturelle“ aus Perspektive Evolutionärer Erkenntnistheorie einem ontologischem Realismus zuzuordnen. <sup>518</sup>

#### 14.4.1 Wahrnehmung, Enzephalisation, Potential zur Gruppenbildung

Wenn man, wie im Rahmen dieser Arbeit, Poincarés Zugang zu erweiterten geometrischen Konzepten nicht auf mathematisch-geometrischer Ebene interpretieren kann, dann erscheint dennoch der Versuch legitim und allenfalls auch nützlich zu sein, das von Poincaré selbst ins Treffen geführte und von Nabonnand als bedeutsam geltende gemachte kognitive Potential zur Bildung von Gruppen zu untersuchen.

„Dabei geht er (Ö> Poincaré) davon aus, dass wir räumliche Verhältnisse auf der Basis unserer Fähigkeit, kontinuierliche Transformationsgruppen zu bilden, erfassen.“ (Nabonnand, 2014, S. 6)

Dieses Potential zur Bildung von Gruppen betont die von Poincaré mit größter Aufmerksamkeit berücksichtigten psychologischen Komponenten und ist mit seinen Einlassungen über Wahrnehmung und Sinnesorgane auch unter dem Aspekt des „präexistierenden Potentials“ zur Bildung von Gruppen kompatibel. <sup>519</sup> Besonders dann, wenn man unterstellt und, wie ich glaube, auf Grund starker Indizien nahelegen kann, dass die Enzephalisation der Wahrnehmung nicht nur eine essentielle Grundlage dieses Potentials zum Erstellen abstrakter geometrischer Konzepte ist, sondern dass die Prozesse visueller Verarbeitung selbst mit Bildung von Gruppen von Stimuli, Daten/Merkmalen zu tun haben, die auf unterschiedlichsten Ebenen nach selektiven Kriterien gefiltert und im Zuge neuronaler Bindung wieder nach

<sup>517</sup> Weitere Ausführungen zu Cassirer siehe Anhang.

<sup>518</sup> Cf. Kapitel Vollmer, Engels

<sup>519</sup> Cf. Poincaré, 1906, S. 73

unbewussten hypothetischen Konzepten zu jenen uns so authentisch erscheinenden Objekten der externen Realität zusammengefügt werden.

Mit dem Hinweis auf hypothetisch orientierte Konzepte neuronaler Bindung unter dem Einfluss der Eigendynamik komplexer neuronaler Systeme soll eine damit einhergehende, oder zumindest als prinzipiell möglich erscheinende, Entkopplung von einer strikt determinierenden Anpassung und einem davon abgeleiteten Apriori der Dreidimensionalität angedeutet werden; von einem Apriori, das die kognitiven Potentiale limitieren und allenfalls auch noch die externe Realität umfassen würde.

#### 14.4.2 Wahrnehmbare Objekte beeinflussen modo „als ob“ geometrisches Schlussfolgern

Eine gewisse Notwendigkeit sowie Legitimität bei Betrachtungen über Poincarés erkenntnistheoretischem Ansatz das komplexe Phänomen „Objekt“ auch nach den wahrnehmungsaffinen Kriterien zu hinterfragen, um so visuokognitive Komponenten der Objektkonstruktion ausfindig zu machen, wird auch darin gesehen, dass Poincaré selbst durch seine vielfältigen Einlassungen zum Begriff Objekt diesen Weg vorgibt. Auch wenn Poincaré für die Geometrie als Wissenschaft das Studium der Relationen idealer Körper ins Zentrum stellt, wird auch eine essentielle Bezugnahme zu natürlichen Körpern aufrechterhalten und sogar als notwendig angesehen.

„Man experimentiert doch nicht mit idealen geraden Linien oder Kreisen; man kann dazu nur wirkliche Gegenstände brauchen. Worauf begründet sich also die Erfahrung, welche als Fundament in der Geometrie dienen soll? Die Antwort ist leicht. Wir haben weiter oben gesehen (vgl. S. 46), daß man bei allen Schlüssen so verfährt, als ob die geometrischen sich ebenso verhielten wie feste Körper. Was die Geometrie von der Erfahrung entlehnt, sind die Eigenschaften dieser Körper.“ (Poincaré, 1906, S. 50)

Viele der in dieser Arbeit angestellten Überlegungen bemühen sich darum, Hintergrundfaktoren ausfindig zu machen, die das Zustandekommen der wahrnehmbaren Eigenschaften dieser Körper beeinflussen und zielen darauf ab, davon ausgehende implizite Vorurteile erkennbar zu machen, die mit der Aneignung fester Körper durch visuelle Wahrnehmung zusammenhängen, um diese wahrnehmungsspezifischen subjektiven Komponenten dessen, was wir als Merkmale dieser Körper bezeichnen, in gewissem Ausmaß eliminieren oder zumindest relativierend berücksichtigen zu können.<sup>520</sup>

#### 14.5 Auf Relationen gegründetes Objekt als strukturalistisch anmutende, austauschbare Metapher?

Aus einer anderen Passage geht hervor, als wie komplex und durchaus problembewusst Poincaré den Begriff Objekt bzw. das, was damit benannt wird, betrachtet:

„Es kümmert uns wenig, ob der Äther wirklich existiert; das ist Sache des Metaphysikers; wesentlich für uns ist nur, daß alles sich abspielt, als wenn er existierte, und daß diese Hypothese für die Erklärung der Erscheinungen bequem ist. Haben wir übrigens eine andere Ursache, um an das Dasein der materiellen

---

<sup>520</sup> Das geschieht auch im Anklang an eine **phänomenologische Reduktion**, wobei mit Respekt zugestanden wird, dass auch mangels ausreichender Kenntnis von Husserls Œuvre die obigen Ausführungen weder beanspruchen, konsequent nach diesem Ansatz ausgerichtet und durchdacht zu sein, noch sollten sie daran gemessen werden. Vielmehr geht es um den Hinweis, dass ein Vergleich dieses Modells von Husserl mit Aussagen von Poincaré als untersuchenswert erscheint, auch wenn das hier nicht weiter verfolgt bzw. ausgeführt werden kann.

Objekte zu glauben? Auch das ist nur eine bequeme Hypothese; nur wird sie nie aufhören zu bestehen, während der Äther eines Tages ohne Zweifel als unnütz verworfen wird.“ (Poincaré, 1906, S. 212) <sup>521</sup>

Wie weit sich Poincaré von der Möglichkeit bzw. Sinnhaftigkeit direkter Aussagen über die Existenz und Merkmale externer Objekte fernhält und stattdessen auf den Wert der Analyse von Relationen setzt, wird in folgender Passage manifest:

„... die genannten Gleichungen drücken Beziehungen aus, und sie bleiben richtig, solange diese Beziehungen der Wirklichkeit entsprechen. Sie lehren uns vorher wie nachher, daß eine gewisse Beziehung zwischen irgend einem Etwas und irgend einem anderen Etwas besteht; nur daß dieses Etwas früher Bewegung genannt wurde und jetzt elektrischer Strom heißt. Aber diese Benennungen waren nichts als Bilder, die wir an die Stelle der wirklichen Objekte gesetzt haben, und diese wirklichen Objekte wird die Natur uns ewig verbergen; die wahren Beziehungen zwischen diesen wirklichen Objekten sind das einzig Tatsächliche, welches wir erreichen können, und die einzige Bedingung ist, daß die selben Beziehungen, welche sich zwischen diesen Objekten befinden, sich auch zwischen den Bildern befinden, welche wir gezwungenermaßen an die Stelle der Objekte setzen. Wenn diese Beziehungen uns bekannt sind, so macht es nichts aus, ob wir es für bequemer halten, ein Bild durch ein anderes zu ersetzen.“ (Poincaré, 1906, S. 162) <sup>522</sup>

Diese Passage macht auch frappierend darauf aufmerksam, für wie fragil bzw. unbrauchbar der Begriff Objekt als Träger ontologischer Aussagen von Poincaré angesehen wird, auch wenn der Bestand einer externen Realität nicht nur nicht geleugnet, sondern sogar unterstellt wird.

Vielmehr werden von Poincaré die Relationen und somit die Bedeutsamkeit des Kontexts als erkenntnistragender Faktor in (einen strukturalistisch anmutenden <sup>523</sup>) Ansatz gebracht und der Begriff Objekt zur Metapher erklärt, die ein breites Spektrum von Phänomenen anspricht.

Wenn man die von Poincaré angesprochene Bedeutung von Relationen als einzig valide Basis bzw. Ergebnis dessen was wir erreichen können nicht nur auf die Beziehungen zwischen diesen von Poincaré mit „Bildern“ gleichgesetzten wirklichen Objekten bezieht, sondern diesen Ansatz konsequent weiterführt, dann kann man bereits das jeweilige Objekt als Komplex von Relationen in Betracht ziehen. Das ist speziell auf phänomenale dreidimensionale Objekte anzuwenden, wenn diese Objekte nicht als in der externen Realität so bestehende Entitäten betrachtet werden, sondern als Komplex von top-down emulierten Gruppen von Stimuli. Das würde bedeuten, dass die internen Relationen ihrer nach außen nicht unmittelbar wahrnehmbaren Komponenten so häufig koinzident auftreten und sogar unter Bedingung von Bewegung so miteinander kovariieren, dass ihre Formveränderungen gemäß Poincarés Konzept der Bewegung kompensiert wird und somit der unmittelbar in Erscheinung tretende Gesamtkomplex gemäß diesem *lien constant* z.B. bequem als fester Körper wahrgenommen bzw. mittels durch Kovarianz gestützte geometrische Regelhaftigkeit (re-) konstruiert werden kann. Der feste Körper wäre ebenso wie seine dreidimensionale Erscheinung ein simplex strukturierter Verbund von Relationen, dessen Grenzen, metaphorisch gesprochen, nicht an die Oberfläche des Objekts bzw. seines vermeintlichen Bestandes als diskrete Einheit

<sup>521</sup> Die tragende Rolle des Objekts in der von Poincaré angesprochenen „bequemen Hypothese“ erscheint als konvergent mit Ladymans Formulierung „objects are pragmatic devices“ (Ladyman, 2014, o.S.)

<sup>522</sup> Im Original verwendet Poincaré für Bilder den Ausdruck „image“: „Mais ces appellations n'étaient que des images substituées aux objets réels que la nature nous cachera éternellement.“ (Poincaré, 1902, S. 156) Es ist aber gemäß Kontext nicht von einem abbildenden, sondern modellhaften bzw. metaphorischen Charakter auszugehen, wie er auch in der Redewendung „s'exprimer par images“ implizit anklingt.

<sup>523</sup> Cf. „Als Ahnvater des SR gilt gemeinhin der französische Physiker, Mathematiker und Wissenschaftstheoretiker Henri Poincaré...“ (Lyre, 2006, S. 1). Cf. Ladyman (2014)

gebunden sind, auch wenn diese eine „bequeme“ Basis für geometrieaffine Handlungsplanung bildet.

Macht man diese Objekte somit zu Komplexen von Relationen, die infolge geometrieaffiner phylogenetischer Erfahrung und präexistierender Potentiale zur Bildung von Gruppen zu einem dreidimensionalen Konstrukt emuliert wurden, das anhand der Gesetzmäßigkeiten des bewegungsinduzierten Schauspiels der Perspektiven als fester Körper bestimmt, mittels dreidimensionaler Geometrie auch rational beschrieben und darüber hinaus konstitutionell in die Genese von Raum und in die generellen Fundamente von Geometrie integriert werden kann, dann erscheint dies einerseits als kompatibel mit Poincarés Ansatz, führt aber auch zu einem Dilemma.

Außerhalb eines rein axiomatischen Zugangs ist im Rahmen eines biogenic approach to cognition bei Einbindung der Wahrnehmung in die Fundamente von Geometrie ein Rückgriff auf evolutionäre Erfahrung nicht auszuschließen und wird Geometrie zu einer von unbewussten ratiomorphen Prozessen mitgetragenen Wissenschaft und in diesem Ausmaß auch zu einer Erfahrungswissenschaft. Das kollidiert mit Poincarés Auffassung.

Trotz Berücksichtigung der Rolle der Erfahrung hält Poincaré entgegen, es wäre ein Irrtum, zu schließen, „daß die Geometrie – wenn auch nur teilweise – eine Erfahrungswissenschaft sei... Die Geometrie würde nur das Studium der Bewegungen von festen Körpern sein; aber sie beschäftigt sich in Wirklichkeit nicht mit natürlichen Körpern, sie hat gewisse ideale, durchaus unveränderliche Körper zum Gegenstand, welche nur ein vereinfachtes und wenig genaues Bild der natürlichen Körper geben. Der Begriff dieser idealen Körper ist aus den verschiedenen Gebieten unserer Verstandes-Tätigkeit hervorgegangen, und die Erfahrung ist nur eine Gelegenheit, welche uns antreibt, sie daraus hervorgehen zu lassen.“ (Poincaré ,1906, S. 72)

Damit stellt sich die hier wohl nicht zufriedenstellend lösbare Frage, wo und wie man die als dreidimensional wahrgenommenen festen Körper in dieser Polarität von erfahrungsbedingt oder aus idealisierender Verstandestätigkeit hervorgegangen zuordnet, weil es nicht oder zumindest als kaum möglich erscheint, ratiomorphe und rationale Prozesse klar als nur für sich bestehende Entitäten voneinander abzugrenzen. Auch wenn dies durch die Benennung so erscheint, heißt das noch lange nicht, dass damit auch eine sachgemäß valide Grenze gezogen werden kann. Ebenso ist in Betracht zu ziehen, dass es sich bei den unterschiedlichen Benennungen nur um mehr oder weniger praktikable Definitionen handelt, die nur konventionell so gehandhabt werden. Dieses Problem wird grade auch dann virulent, wenn hier im Sinn eines erweiterten Begriffs von Kognition und Hermeneutik bei der Theoriebeladenheit der Wahrnehmung auch unbewusste evolutionäre Komponenten ins Spiel gebracht werden und außerdem Wahrnehmung als eine Art hypothetisch verfasste Protowissenschaft lanciert wird.

Damit wird auch Poincarés an seine obigen Überlegungen anschließende Passage, die sich genau auf die Unterscheidung von Empfindungsvermögen und Verstandestätigkeit bezieht, trotz gegenteilig formulierter Absicht ambivalent oder zumindest schwer endgültig fassbar. Wobei sich (nach meiner Einschätzung) allein schon im Wort „präexistiert“ das implizite Problem andeutet. „Das Objekt der Geometrie ist das Studium einer besonderen „Gruppe“; aber der allgemeine Gruppen- Begriff präexistiert in unserem Verstande, zum mindesten die Möglichkeit zur Bildung desselben; er drängt sich uns auf, nicht als eine Form unseres Empfindungs –Vermögens, sondern als Form unserer Erkenntnis.“ (Poincaré, 1906. S. 73)

Das führt, wie schon angedeutet, zu der sehr weitreichenden Frage, ob man „Empfindungsvermögen“<sup>524</sup> und Erkenntnis grundsätzlich trennen kann, oder ob aus der hier verfolgten Perspektive bereits den Empfindungen eine in gewissem Ausmaß äquivalente Dimension von Erkenntnis zugeschrieben wird, etwa im Sinn ihrer durch evolutionäre Erfahrung geprüfte Tauglichkeit für eine überlebensfähige Interaktion mit der externen Realität.

Folglich wäre auch der Körper der Wahrnehmung allein schon auf Basis der unmittelbar damit einhergehenden Empfindungen bereits in gewissem Ausmaß ein „idealer Körper“<sup>525</sup> einer, wenn man es so nennen will, phylogenetisch basierten Protogeometrie, den man z.B. als phänomenale Emulation im Sinn von Berthoz' Simplexité interpretieren kann. Und dieses phänomenale dreidimensionale Konstrukt der Wahrnehmung hätte eine viable Validität für geometrische Schlussfolgerungen modo Poincarés „als ob“.<sup>526</sup> Das ist kein umfassender Ausweg aus dem Dilemma, erscheint aber als ein auch erkenntnistheoretisch praktikabler Modus Operandi, fordert jedoch Berücksichtigung der irreduzibel notwendigen Vorbehalte gegenüber der Gültigkeit prognostischer wie ontologischer Aussagen.

Aus einer auf das Pragmatische reduzierten Perspektive auf die Genese bzw. den Status des wahrnehmbaren Gegenstands würde dieser strukturalistische Aspekt gemäß hiesiger Interpretation etwa bedeuten, dass es mittels unserer Sensibilität für Licht und mechanische Festigkeit möglich ist, bei der Interaktion mit der externen Realität Relationen ausfindig zu machen oder in sie hineinzuprojizieren, die es durch Bildung unterscheidbarer Gruppen von Stimuli ermöglichen, ein „irgend Etwas“ aus einem (vermutlich) umfangreicheren Kontext herauszulösen und dieses Etwas auf Basis neurokognitiver Konstruktion in einen Status von Individualität zu versetzen.<sup>527</sup>

So als Individuen/(Entitäten?) etablierte (instanziierte?) konkrete Objekte können dann auch auf ihre wechselseitigen Relationen bezüglich Gemeinsamkeiten oder weiterer unterscheidender Merkmale untersucht und kategorisiert werden.<sup>528</sup> Durch diese Lösung des Objekts aus dem Kontext entsteht im Gegenzug ein mehr oder weniger strukturiert erscheinender „Hintergrund“ und somit wird eine weitere Relation mit großer Tragweite etabliert. Die Relation (Differenz) Figur- (Hinter-) Grund ist nicht nur ein das Erkennen förderndes Kriterium der Reizverarbeitung im Zuge der somit theoriebeladenen Wahrnehmung, sondern bildet auch ein einflussreiches Schema unserer Denkgewohnheiten,

<sup>524</sup> Das tangiert und dehnt auch den Horizont von Ladymans Übertragung der Auffassung Poincarés in „Kantian terms“ (s.o.) wenn man, zwar anders als Poincaré, aber im Rahmen einer erweiterten Hermeneutik letztlich kompatibel mit ihm, bereits die einfachen Empfindungen als komplexe Entitäten bzw. Gruppen in Betracht zieht, die nur für unser Bewusstsein als simplexe Einheiten in Erscheinung treten.

<sup>525</sup> Eine verlässliche Deutung mit strikten Schlussfolgerungen ist u.a. deshalb schwierig, weil der diesbezügliche Wortgebrauch von Poincaré ein schwer abgrenzbares Spektrum hat. Dazu gehören z.B. die Ausdrücke „ideale Körper, wirkliche Gegenstände, wirkliche Objekte, äußere Körper, äußere Objekte natürliche Körper“, mit denen (hier ohne präzise Zuordnung aufgezählt) die französischen Formulierungen „solides ideaux, objets réels, objets matériels, solides naturels, corps solides“ korrelieren. Weil ich in den Texten keine ausdrücklichen Definitionen gefunden habe, würde diese Vielfalt eine eigene sprachübergreifende sowie kontextuell idiomatische Untersuchung größeren Umfangs erfordern. Daher wird dieses zweifellos klärungsbedürftige Problem hier nicht weiter verfolgt.

<sup>526</sup> Cf. Poincaré, 1906, S. 50

<sup>527</sup> Für dieses Modell von Objektkonstruktion sind auch der an anderer Stelle genannte Aspekt der Kovarianz sowie Uexkülls Satz relevant: „Ein Gegenstand ist, was sich zusammen bewegt.“ (Lorenz, 1975, S. 157)

<sup>528</sup> Cf. Abb. *The Forest Has Eyes* (Doolittle/ in Goldstein). In dem Suchbild wird nachvollziehbar demonstriert, wie immer mehr Gesichtsformen aus dem Fleckengebilde der Landschaft zu (relativ) selbständigen Köpfen umcodiert werden. Nebenbei bemerkt entsprechen die im Bildtitel angesprochenen Augen als Auslöser der Gesichtserkennung auch einem starkes Detektionsschema unserer Wahrnehmung, das der Konrad Lorenz nahestehende Verhaltensforscher O. König in seinem Buch *Urmotiv Auge* weitläufig verfolgt. (1975. München: Piper).

das dem prominent im Fokus befindlichen „Objekt“ geradezu paradigmatischen Charakter verleiht, sei es als phänomenales Objekt der Wahrnehmung oder als ideales der Geometrie.<sup>529</sup>

#### 14.5.1 Barthes Simulacrum

So eine Auffassung einer dreidimensional strukturierenden Wahrnehmung macht die darin als natürlich gegeben erscheinenden Objekte und die durch sie strukturierte Umwelt zu einem Simulacrum gemäß einem systemspezifisch opportunen Modus Operandi, aber zu einem Simulacrum ohne eineindeutige Relation zur externen Realität.

„Nach Roland Barthes rekonstruiert ein Simulacrum seinen Gegenstand durch Selektion und Neukombination und konstruiert ihn so neu. Es entsteht eine ° Welt, die der ersten ähnelt, sie aber nicht kopieren, sondern einsehbar machen will °. Das Simulacrum ist insofern auch ein Merkmal der strukturalistischen Tätigkeit: °Das Ziel jeder strukturalistischen Tätigkeit [...] besteht darin, ein ‚Objekt‘ derart zu rekonstituieren, daß in dieser Rekonstitution zutage tritt, nach welchen Regeln es funktioniert (welches seine ‚Funktionen‘ sind). Die Struktur ist in Wahrheit also nur ein Simulacrum des Objekts, aber ein gezieltes, ‚interessiertes‘ Simulacrum, da das imitierende Objekt etwas zum Vorschein bringt, das im natürlichen Objekt unsichtbar oder, wenn man lieber will, unverständlich blieb.° (Roland Barthes: Die strukturalistische Tätigkeit. In: Kursbuch. 5. Mai 1966. S. 190-196.).“

(<http://de.wikipedia.org/wiki/Simulacrum> 20.5.2015, eine Version des vollständigen Textes von Barthes ist via <http://nina.ort.userweb.mwn.de/barthes.html> (28.8.2020) online zugänglich.)

Eine Aussage darüber, ob wir in Interaktion mit einer „externen Realität“ aus einer dort unterstellten Vielfalt heraus reduzieren, oder durch unsere kognitive Strategie des Strukturierens diese Vielzahl von Relationen erst in diese „externen Realität“ hineintragen, wird dabei ambivalent. So ambivalent, dass auch offen bleibt, ob und wie weit das Externe ein metaphorisch hypothetisches Konstrukt ist. Und es stellt sich die radikale Frage, ob wir nicht durch das, was wir im Sinn eines strukturierenden Definierens von Relationen als Erkennen bezeichnen, das, worauf wir unser Erkennen beziehen zugleich (in statu nascendi des Erkennens) immer komplexer und daher zu einem nicht mehr endgültig bestimmbareren „irgend Ewas“ machen, von und mit dem wir nur noch in Form von „Bildern“ (samt deren metaphorischen Defiziten- vgl. Poincarés Fehler der Bilder, s.u. ) handeln können: So gesehen würde Erkennen durch sein implizites Fortschrittspotential endgültige Erkenntnis verhindern.

530

All das würde auch auf die Frage hinauslaufen, ob und wie weit erst eine objektbezogene Diskretisierung die externen Realität so emuliert, dass sie zu einer „bequemen“ interaktionstauglichen“ Umwelt wird und dabei allem Anschein nach mit Poincarés Überlegung zusammentreffen dürfte:

„Haben wir übrigens eine andere Ursache, um an das Dasein der materiellen Objekte zu glauben? Auch das ist nur eine bequeme Hypothese;“ (Poincaré, 1906, S. 212).

---

<sup>529</sup> Bezüglich dieses durch Extraktion eines oder einiger weniger Objekte entstandenen Hintergrundes stellt sich dann noch die Frage, ob man diesen Hintergrund als eine Art Kontinuum versteht, das durch unsere fokussierte Beobachtung diskret modelliert werden kann, oder ob man diesen Hintergrund per se als Komplex von Relationen diskreter Objekte annimmt, die z.B. mangels Aufmerksamkeit nicht bewusst wahrgenommen werden. Jedenfalls wäre das Modell der Diskretisierung des Ambientes wegen der starken Objektbezogenheit auch Fundament dafür, Relationen zwischen Objekten herstellen bzw. erkennen zu können. Weil zu diesen Relationen auch Distanzen und die gegenseitige Lage gehören, dürfte so eine Diskretisierung eine starke Affinität zu Poincarés Konzept eines relationalen Raums aufweisen, wenn man unterstellt, dass Poincarés Modell von Geometrie sehr stark auf das Bestimmen von Objektrelationen und ihrer Kompatibilität mit formalisierten abstrakten Konzepten fokussiert ist bzw. sich als ein wesentliches Fundament darauf stützt.

<sup>530</sup> Cf. Gemäß dieser Annahmen wir dies hier auch als ein möglicher Aspekt von Poincarés „cachera eternellement“ angesehen.

Das Etablieren von Objekten, sei es als solche der Wahrnehmung oder des mehr oder weniger abstrakten Vorstellungsvermögens, führt zu einer Diskretisierung des Ambientes und bildet so auch die notwendige Grundlage, Relationen wie Distanzen und relative räumliche Lage in Betracht ziehen zu können.

Mit dem ausdrücklichen Einbeziehen der wahrnehmbaren Objekte soll geltend gemacht werden, dass bereits die Multimodalität der Sinneswahrnehmung samt ihren Verarbeitungsregeln mit der Fokussierung auf diskrete Objekte/feste Körper, die auch durch intuitiv kommunizierende Blickgestik geortet und mit intersubjektiver Validität versehen werden können<sup>531</sup>, zu einer Strukturierung der externen Realität beiträgt, die mit Prozessen abstrakten Denkens und Strukturen sprachlichen Formulierens fundamental kompatibel ist.

#### 14.6 Objekt als multivalente „bequeme“ Metapher qua human being?

In Verbindung mit den im obigen Zitat Poincarés ins Spiel gebrachten „Bildern“ gerät somit das „Objekt“ in eine Spannweite, die vom festen Körper, dessen Form und mechanische Festigkeit<sup>532</sup> auch visuell wahrgenommen werden können, bis zur davon relativ weit entfernten Metapher reicht, welche vor allem einer Theorie entspricht bzw. diese repräsentiert.

Davon ausgehend wird vorgeschlagen, das Objekt als ein multivalentes Konstrukt „qua human being“ (Brading) zur Interaktion mit der externen Realität zu betrachten, das gemäß unseren spezifischen Potentialen sowohl auf Ebene der Wahrnehmung sowie der Handhabung, aber auch in relativ abstrakter bewusstseinspezifischen Prozessen, wie z.B. Sprache, zur Geltung kommt. Diese Überlegung bewegt sich einerseits im Umfeld von Bradings Formulierung „More specially, he (Ö> Pcé) is concerned repeatedly with that which is knowable by us-with the particular faculties we have qua human beings.“ (Brading et al., 2009, S. 4). Andererseits soll damit der Begriff Objekt mit seiner Spannweite vom relativ abstrakten Objekt der Vorstellung über das Konstrukt der Wahrnehmung bis zum manifesten Gegenstand an Poincarés „bequem/commode“ herangeführt werden. Und nicht zuletzt wird nahegelegt, das so verstandene Objekt wegen seiner großen Spannweite des Einflussbereichs auch als multivalente Emulation der externen Realität im Sinn von Berthoz' Simplexité zu interpretieren. Das zielt unter anderem darauf ab, das dreidimensional wahrgenommene Objekt als „bequemes“ Konstrukt zur Interaktion mit der externen Realität in Ansatz zu bringen (cf. Ladyman: pragmatical device), das aber nur eine viabel brauchbare simplexe Metapher darstellt, die (nach Poincaré, 1906, S. 162 s.o.) prinzipiell auch durch eine andere ersetzbar wäre, sollte dies aus gegebenem Anlass opportun sein.<sup>533</sup>

Wenn somit auch die von Poincaré als „wirkliche Gegenstände“ bezeichneten „festen Körper“ bzw. deren Eigenschaften in der Geometrie für Schlussfolgerungen herangezogen werden (s.o. Poincaré, 1906, S. 50) zumindest in erheblichem Ausmaß Konstrukte und Bilder bzw. Metaphern sind, dann fallen die stabilen Relationen, die Poincaré als essentielles Merkmal von Objekten geltend macht, unter folgendes Verdikt:

<sup>531</sup> cf. Blickgestik, Eva Wiese, Forward Modell (V. Müller<sup>o</sup>) usw.

<sup>532</sup> Cf. Opazität, mechanische Festigkeit (Campbell)

<sup>533</sup> Allein schon die Unterschiede der Objektwahrnehmung und Objektvorstellung von Blinden und Sehenden könnte auch diesbezüglich ein untersuchenswertes Thema sein.

„Es kann sein, daß die Theorien eine oder die andere Beziehung richtig wiedergeben, und daß ein Widerspruch nur in den Bildern liegt, deren wir uns an Stelle der wirklichen Objekte bedienen haben.“ (Poincaré, 1906, S. 146)

Das macht es erkenntnistheoretisch notwendig, jenen (subjektiven) Faktoren, welche diese „Bilder“ generieren, möglichst weit auf den Grund zu gehen, um auch deren allfälligen Einfluss als Fehlerquelle erkennen und in der Theoriebildung berücksichtigen zu können.

Bei den von Poincaré herangezogenen „wirklichen Gegenständen“ haben die Prozesse der Wahrnehmung großen Einfluss, der über die hier als wesentlich in Betracht gezogene Aspekte der Enzephalisation auch weit in die Potentiale zur Bildung abstrakter Theorien hineinwirkt und sind folglich diese Umstände konsequent zu hinterfragen. Das wird in dieser Arbeit versucht.

#### 14.6.1 Poincaré meets Boltzmann: « ...notre besoin de penser avec des images. »<sup>534</sup>

Wenn man der Frage nachgeht, wie weit das „Objekt“ auch in der Welt der Vorstellungen verankert und gestaltend präsent ist, trifft man auch auf Boltzmann, der nach Oeser dem Einfluss des zentralen Verarbeitungssystems auf die Konstruktion von Weltbildern große Aufmerksamkeit widmet.

„Wobei wissenschaftliche Erkenntnis, wie Boltzmann übrigens selbst hervorhebt, eine artspezifische Hirnleistungspotenz darstellt und das Charakteristische an der Erkenntnisfähigkeit des Menschen ausmacht....Der sachliche Hintergrund ist der, daß Mach als sensualistischer, positivistischer Erkenntnistheoretiker und Vertreter einer phänomenologischen Physik Darwins Lehre auf die Physiologie der Sinne anwenden wollte, während Boltzmann als theoretischer Physiker an der Konstruktion von internen Weltbildern mit Hilfe des zentralen Verarbeitungssystems interessiert war.“ (Oeser, 1994, S. 15)

##### 14.6.1.1 Boltzmann: Neuro-Epistemologie

Es geht also nicht nur um die Sinnessysteme, sondern auch um den Einfluss der komplexen Leistungspotentiale des Gehirns, wobei die hier vorgenommene Gegenüberstellung von Mach und Boltzmann nicht dazu führen soll, die Sinnesphysiologie zu ignorieren. Mit dem von Oeser selbst propagierten Modell der **Enzephalisation der Wahrnehmung** wird ja ein beständiger Konnex etabliert, gemäß dem es im Sinn der hier verfolgten Hypothese sachlich angemessen ist, das Einflusspotential des Gesamtkomplexes in Betracht zu ziehen. Oeser bezeichnet Boltzmann auch als Vorläufer einer Neuro- Epistemologie.<sup>535</sup>

Dabei kommt auch bei Boltzmann ein Bildbegriff zum Tragen, der eine Kompatibilität mit jenem Poincarés aufweist oder zumindest nahelegt. Ein diesbezüglicher Vergleich wäre für sich ein umfangreiches Thema einer Untersuchung mit großer erkenntnistheoretischer Reichweite. Dieser Komplex wird aber hier nicht in Angriff genommen, sondern nur angedeutet.

„Boltzmann stützt hingegen die Gültigkeit der Methode der neuen Physik, nämlich der Darstellung von Phänomenen durch Bilder, auf einen Grundaspekt der menschlichen Kognition, nach dem Gedanken Bilder der Wirklichkeit sind: ° Aber sind denn alle menschlichen Gedanken etwas anderes als Bilder der Wirklichkeit?° “ (Aguilar, 2015, S. 71)

<sup>534</sup> Poincaré, 1920, S.139

<sup>535</sup> Oeser, Vorlesung Wien, 24.4.2006./ Cf. Churchland./ Cf. La Neuro-épistémologie. Présentation du livre Second Nature de G. Edelman (2007) (<http://philoscience.over-blog.com/article-6705363.html>) 11.5. 2019)



Folgt man Oesers Interpretation, dann führt Boltzmanns Satz (von 1905) „Nach meiner Ansicht ist alles Heil für die Philosophie zu erwarten von der Lehre Darwins.“ in Verbindung mit der Evolution der so genannten Denkgesetze zur brisanten Frage eines angeborenen Apriori, das, wie Oeser Frey (1980) zitiert „eine Brille darstellt, die man nie abnehmen kann.“ (Oeser, 2003, S. 41 f.)

„Genau an diesem Punkt setzt die Kritik Boltzmanns ein. Für seine evolutionistische Auffassung von den Denkgesetzen gibt es keine a priori gültigen und somit unabänderlichen Denkgesetze, die °unbedingt als oberste Richter° anzuerkennen sind...°Nicht die Logik, nicht die Philosophie, nicht die Metaphysik entscheidet in letzter Instanz, ob etwas wahr ist oder falsch, sondern die Tat.“ (Oeser, 2003, S. 44) <sup>536</sup>

„Nicht das Wesen der Dinge selbst kann das Ziel sein..., sondern das °Bild° oder das Modell der Realität...das, was Boltzmann meint, ist die ständige Abänderungsmöglichkeit und Entwicklungsfähigkeit unserer wissenschaftlichen Theorien über diese Welt.“ (Oeser, 2003, S. 46)

Dabei ist aber als entscheidender Aspekt die evolutionäre Perspektive zu beachten, der gemäß es nicht nur um das fachwissenschaftliche Modifizieren einer Theorie auf Basis neuer Erkenntnisse geht. Gemäß Interpretation Oesers gilt laut Boltzmann: „Treten Widersprüche auf, sind nicht die passenden Erklärungsmodelle, sondern die Denkgesetze oder die Logik selbst zu ändern.“ (Oeser, 2003, S. 44)

„Keine Theorie kann etwas Objektives, sich mit der Natur wirklich sich Deckendes sein. Sie ist vielmehr nur °ein geistiges Bild der Erscheinungen, das sich zu diesem verhält wie das Zeichen zum Bezeichneten°. Daraus folgt für Boltzmann, dass es nicht unsere Aufgabe sein kann, eine absolut richtige Theorie, sondern vielmehr ein möglichst einfaches, die Erscheinung möglichst gut darstellendes Abbild, und zwar im Sinn einer mathematischen Abbildtheorie, die eine Zuordnungsrelation festlegt, zu finden. Boltzmann führt in diesem Zusammenhang an, dass es sogar die Möglichkeit zweier ganz verschiedener Theorien gibt, die beide gleich einfach sind und mit den Erscheinungen gleich gut übereinstimmen, also, obwohl total verschieden, beide gleich richtig sind.“ (Oeser, 2003, S. 47)

All dies wird im Kontext dieser Arbeit als Indiz dafür geltend gemacht, dass eine bis weit in die Details reichende Übereinstimmung, oder zumindest Kompatibilität, zwischen der erkenntnistheoretischen Haltung von Boltzmann und jener Poincarés besteht. Dies betrifft nicht nur beider Appel an die Rolle der „Bilder“ <sup>537</sup>, sondern z.B. auch Poincarés „cachera éternellement“ und die Möglichkeit des Bestehens gleichwertiger Geometrien <sup>538</sup> sowie das Plädoyer für einen Indeterminismus gegenüber einem scheinbar unüberwindlichen Apriori. Wenn beide dem evolutionären Aspekt eine bedeutsame Rolle zuschreiben, dann ist nur konsequent, sich gezielt mit den so genannten Denkgesetzen zu befassen, was Poincaré auch dadurch tut, dass er sehr weitreichend auch die neurophysiologischen Strukturen in Betracht zieht. <sup>539</sup>

Insgesamt involvieren also beide in die Konzeption ihrer Fachwissenschaften fundamentale Fragen von Psychologie, Philosophie und evolutionärer Erkenntnistheorie.

<sup>536</sup> Cf. pragmatischer Aspekt bei Poincaré, der seinem hypothetischen Ansatz und der Rolle des Experiments entspricht: „Glücklicherweise ist die Wissenschaft zu Anwendungen zu gebrauchen, und das läßt die Skeptischen verstummen.“ (Poincaré, 1910, S. VI)

<sup>537</sup> Cf. auch Heinrich Hertz

<sup>538</sup> Das betrifft z.B. Poincarés Konventionalismus.

<sup>539</sup> Z.B. die „halbkreisförmigen Bögen“ des Vestibularorgans (vgl. Poincaré, 1910, S. 101 f.). In dieser Arbeit wurde nicht recherchiert, ob auch Boltzmann diesen Strukturen so weit ins Detail nachgegangen ist. Ebenso wenig wurde der Frage einer wechselweisen Rezeption genauer verfolgt. Jedenfalls gibt es einen Brief, in dem sich Poincaré mit der Bitte um Übermittlung eines Buches an Raoul de Saint-Arroman wendet. (siehe Anhang Boltzmann- Poincaré)

## 14.7 Resümee

Vor diesem Hintergrund scheint es gerade im Sinn von Poincarés Warnung „Es sind unbewußte vorgefaßte Meinungen, die tausendmal gefährlicher als die anderen sind“ (1906. S. 145) angebracht zu sein, auch das Vorurteilpotential der Wahrnehmung und die allfällige erkenntnismodellierende Wirkung der Verarbeitungsregeln des neurokognitiven Systems im Sinn der im Rahmen dieser Arbeit verfolgten Aspekte in Betracht zu ziehen.

Das „Objekt“ als (dreidimensional) wahrnehmbarer Gegenstand und als kommunizierbare Metapher kognitiv bewusst verfügbarer Konstruktion wird nach oben verfolgten Perspektiven zu einem „pragmatic device“ (Ladyman), ja geradezu zu einem unsere Wahrnehmungs- und Vorstellungswelt strukturierenden Paradigma, das auch im Sinne Poincarés als „bequem“ bezeichnet werden kann. In einem gewissen Sinn gilt vor dem Hintergrund der hier propagierten Überlegungen das diskrete Objekt als ein weitreichendes subtiles „Vorurteil“ mit Hilfe dessen wir unsere Umwelt bequem strukturieren. Aber genau deshalb muss es auch permanent bezüglich seines Zustandekommens und seiner jeweils konkreten Gültigkeit hinterfragt und durch Experimente evaluiert werden.

Wenn man das Objekt als Metapher qua human being in Ansatz bringt, dabei eine lichtaffine Konstruktion zu Grunde legt und dies in den Kontext biologischer Evolution visuokognitiver Potentiale stellt, dann sind auch entsprechende Aspekte evolutionärer Erkenntnistheorie in Betracht zu ziehen.

## 15 KOMPARTIMENT Konterkariert evolutionärer Mesokosmos Poincarés Erkenntnistheorie?

Eve-Marie Engels (1989) wendet sich mit einer umfangreichen und subtilen Abhandlung über „Erkenntnis als Anpassung“ gegen einen Anpassungsdeterminismus, den sie u.a. auf den Begriff Mesokosmos bezieht. Obwohl Engels Plädoyer für einen kognitiven Indeterminismus mit Poincaré übereinstimmt, gerät Poincaré auf Grund seiner Äußerungen über die „natürliche Zuchtwahl“ und die „Erfahrung der Vorfahren“ in das Umfeld eines ontologischen Realismus, der seinem Ansatz nicht entspricht.

Dieses Kapitel bemüht sich, die Distanz Poincarés zu einem Anpassungsgefängnis Mesokosmos aufzuzeigen. Zur Illustration des Problems und als Indizien der indeterministischen Position Poincarés werden neben seinen eigenen Aussagen unter anderen auch folgende Aspekte ins Treffen geführt:

Uexkülls Begriff der Umwelt, Copeks Ausführungen über Spencer, Helmholtz und Poincaré, Boutroux Kontingenz, Krauses Kritik an Helmholtz, Humes Begriff der inneren Erfahrung sowie Goulds Modell von Exaptation statt Anpassung.

Es sollen also einerseits Engels Argumentation zugunsten einer Plastizität neurokognitiver Potentiale als partiell konvergent mit Poincarés Indeterminismus sichtbar gemacht werden, während andererseits der tendenziellen Verortung Poincarés im Milieu eines ontologischen Realismus widersprochen wird.

### 15.1 Unüberschreitbarkeit von Uexkülls Umwelt ist laut Engels erkenntnistheoretisch fragwürdig

Weil in dieser Arbeit die räumlich-plastische Wahrnehmung von Objekten gemeinsam mit einer lichtaffinen Enzephalisation als top-down angereichertes Konstrukt (auch) auf Basis phylogenetischer „Erfahrung“ und mit weitreichenden Konsequenzen für kognitive Potentiale in Ansatz gebracht wird, ergibt sich die Notwendigkeit, darauf zu achten, dass nicht ein determinierendes Apriori der Dreidimensionalität, von dem sich Poincaré ausdrücklich distanziert, auf Basis Evolutionärer Erkenntnistheorie quasi durch die Hintertür wieder restauriert wird.

Bei den zur Untermauerung von Poincarés Distanzierung gelten gemachten Konzepten von Maturana/Varela und Bertalanffy spielt Uexkülls Umweltlehre eine vielfach zitierte Rolle.

Auch wenn im Zuge der vorangegangenen Darstellungen über die historisch weit vernetzten Verbindungen von autopoietischen Konzepten versucht wurde, einem aus dem Anpassungsproblem heraus drohenden Determinismus auszuweichen, darf nicht außer Acht gelassen werden, dass Eve-Marie Engels eine sehr fundamentale Kritik an Evolutionärer Erkenntnistheorie zur Geltung bringt und dafür einen wesentlichen Ausgangspunkt in dem von Uexküll ausgehenden Begriff bzw. Modell von „Umwelt“ findet.

Die von Eve-Marie Engels vorgetragene Kritik an Uexkülls Modell von „Umwelt“ kommt pointiert in folgender Passage zum Ausdruck:

„Mit von Uexkülls Umweltbegriff verbindet sich nicht nur der Gedanke der *Pluralität von Weltbildern*, sondern auch der ihrer *Unüberschreitbarkeit*. Die Umwelt markiert Erfahrungsmöglichkeiten und – grenzen des jeweiligen Tiersubjektes entsprechend seiner artspezifischen Ausstattung ... Von Uexküll übertrug diesen Gedanken der Umweltgebundenheit des Tieres auch auf den Menschen, indem er sogar so weit ging, individuelle Umwelten, also nicht nur artspezifische Umwelten anzunehmen... Jeder von uns trägt nach von Uexküll seine Umwelt(en) wie eine >>feste Schale<< oder wie >>Gefängnismauern<< sein Lebtage mit ich herum.“ (Engels 1989, S. 307)

Auf diese Kritik ist hier auch deshalb detaillierter einzugehen, weil Engels in diesem Kontext Poincaré direkt zitiert und ihn in die Nähe eines ontologischen Realismus rückt.

### 15.2 Anpassungsbedingtes Gefängnis Mesokosmos?

In ihrer umfangreichen Studie setzt sich Eve-Marie Engels nicht nur sehr kritisch mit den Begriffen Anpassung und Umwelt, sondern auch speziell mit Gerhard Vollmers Konzept eines Mesokosmos als Nische menschlichen Erkennens auseinander.

Konkreter auf die Raumwahrnehmung und das geometrische Vorstellungsvermögen bezogen, bringt Engels als kritikwürdiges Beispiel das Modell dieser Anpassung an einen Mesokosmos ins Spiel und adressiert ihre Einwände vor allem an Konzepte von Konrad Lorenz, Rupert Riedl und Gerhard Vollmer. Engels Kritik besteht in der zu weit reichenden Ausdehnung der Beschränkungen des angeblich an einen Mesokosmos angepassten Wahrnehmungssystems in Richtung davon abgeleiteter kognitiver Beschränkungen (Engels, 1989, S. 298 ff.)

Engels referiert:

„Das Spektrum der von der Evolutionären Erkenntnistheorie angeführten Beispiele für unsere evolutionär bedingten kognitiven Defizite reicht von Problemen der anschaulichen Vorstellung bei komplexeren mathematischen, physikalischen und geometrischen Sachverhalten sowie dem Versagen

der Kategorien der Kausalität und Substanz sowie unserer Anschauungsformen im quantenphysikalischen Bereich über Schwierigkeiten beim Überschauen komplexer Zusammenhänge im Rahmen unserer wissenschaftlich–technischen Zivilisation bis hin zur Anfälligkeit für Manipulationen durch primitive Schlagworte, quasiwissenschaftliche Heilslehren und ähnliches (Vollmer 1985b, Löwenhard 1987).“ (Engels, 1989, S. 303)

Engels umreißt die Ausgangslage einer biologisch hinterlegten Betrachtung von Erkenntnisvermögen:

„Die Vorstellung, Erkenntnis unter biologischen Aspekten zu betrachten, hat eine längere Tradition. Schon bei Locke, Hume und sogar bei Berkeley finden sich zahlreiche Hinweise darauf (Engels 1998). Auch die Einbettung von Erkenntnis in einen evolutionstheoretischen Rahmen ist keine Erfindung dieses Jahrhunderts, sondern geht auf Charles Darwin, Herbert Spencer, Ernst Haeckel und andere bedeutende Evolutionstheoretiker des 19. und beginnenden 20. Jahrhunderts zurück (Richards 1987, Engels 1989). Darwin beschäftigte sich mit diesen Fragen bereits intensiv...und er nahm einige zentrale Annahmen der heutigen Evolutionären Erkenntnistheorie vorweg: Die Idee der Kontinuität zwischen den nicht menschlichen Lebewesen und dem Menschen auf der Grundlage ihres gradualistisch verstandenen Evolutionszusammenhangs, die Kritik an bestimmten philosophischen Annahmen auf der Basis dieser Vorstellung, die Relevanz des Erkennens für das Überleben, also die adaptive Funktion des Erkennens sowie die Vorstellung, dass kognitive Fähigkeiten Funktionen des Gehirns sind.“ (Engels, 1999, o.S. > 4)

Wenn man nach Engels diesen historischen Ausgangspunkten evolutionärer Erkenntnistheorie nachgeht, dann fällt hinsichtlich des hier thematisierten Problems der Anpassung und daraus gefolgerter Limiten des kognitiven Systems, die besonders auch den Aspekt des Räumlichen betreffen, der Ansatz von Herbert Spencer auf.

#### 15.2.1 Capek über Rolle Spencers: adequate replica of the objective order of nature in the human mind

Capek führt eine von ihm als im ausgehenden 19. Jahrhundert als weit verbreitet eingestufte wissenschaftliche Grundhaltung auf Spencer zurück und beschreibt diese wie folgt:

„It is the assumption that the evolution of human reason is already completed and that the mechanistic science of the last century represents the last stage of the adaptive process by which human mind gradually adjusted itself to the structure of reality. In other words, the structure of human reason as exhibited in classical physics, in particular in the Newtonian mechanics and Euclidian geometry, is an adequate replica of the objective order of nature in the human mind or, if we prefer a more naturalistic term, in the human brain. This structure of human reason is essentially nothing but a system of mental habits established and strengthened by the continuous pressure of the objective order of things by which, during long geological periods, the human mind has been moulded into its present forms.“ (Capek, 1971, S. 10 f.)

Vor diesem Hintergrund betrachtet es Capek als angemessen, dass Kant die nachhaltige Gültigkeit der euklidischen Geometrie und von Newtons Mechanik betont, verschiebt aber auf Spencer bezogen die Perspektive:

„But this is not because the a priori character of Euclidian geometry and Newtonian mechanics; they both will remain valid not because they *precede* experience, as Kant erroneously believed, but because they were both implanted in our mind by experience. But this experience, according to Spencer, should not be understood in an individual ontogenic sense, but as an *experience of the whole species*...Thus the term ‘individual a priori’ is merely an abbreviation designating the condensed experience of countless preceding generations.“ (Capek, 1971, S. 10 f.)

Die Darstellung Capeks bündelt eine Reihe von Facetten, die den Kontext dieser Arbeit durchziehen und (auch) auf die Frage der Kompatibilität des Ansatzes von Poincaré mit

Konzepten evolutionärer Erkenntnistheorie zielen. Das Thema Anpassung spielt dabei eine kritische Rolle.

Die Anbindung an Poincaré bezieht sich auf die bei seinen Überlegungen zu den Grundlagen der Geometrie thematisierte Erfahrung der Vorfahren sowie die „sélection naturelle“<sup>540</sup>. Auch die von Copek mit Spencer verknüpfte modifizierte Interpretation der apriorischen Anschauungsformen Kants betont einen Aspekt, der prinzipiell auch für Poincaré relevant ist, auch wenn, oder gerade weil Poincaré bezüglich der daraus gezogenen Konsequenzen damit offener umgeht als Spencer und manche Vertreter der späteren Evolutionären Erkenntnistheorie. Es geht dabei genau um jene Limitierungen des kognitiven Systems, die Engels kritisiert.

#### 15.2.2 Vollmers „kognitive Nische Mesokosmos“ und Uexkülls „Umwelt“ laut Engels problematisch

Wie problematisch, weil undifferenziert, Poincaré in prinzipiell qualifizierten Publikationen als affirmativer Zeuge eines biologisch-evolutionären Determinismus ins Spiel gebracht wird, kann aus folgenden Beispielen herausgelesen bzw. in sie hineininterpretiert werden. Dabei muss seriöser Weise offen bleiben, ob die zitierten Passagen nur zu wenig präzise formuliert sind, oder ob sie Poincaré tatsächlich als Repräsentanten eines solchen Determinismus mit allen Konsequenzen geltend machen (wollen).

Engels konkretisiert ihre Kritik an Evolutionärer Erkenntnistheorie an dem eingeschränkten kognitiven Zugang zur Realität, der nach Lorenz unser Bild der Wirklichkeit „...in krass utilitaristischer Weise vereinfacht... Wir haben nur für jene Seiten des An-sich-Bestehenden ein ‚Organ‘ entwickelt, auf die in arterhaltend zweckmäßiger Weise Bezug zu nehmen für unsere Art so lebenswichtig war, dass ein ausreichender Selektionsdruck die Ausbildung dieses speziellen Apparates der Erkenntnis bewirkte.“ (Engels, 1999, o.S. >10)

Dieses evolutionär begründete Etablieren von (nicht überwindbaren) kognitiven Schranken bzw. die prinzipielle Limitierung auf einen auf die Dimensionen der jeweiligen Umwelt begrenzten Horizont der Möglichkeit von Erkennen (und Erkenntnis?) findet Engels in Vollmers Modell einer Anpassung an einen zu Uexkülls Begriff der Umwelt in Beziehung stehenden Mesokosmos wieder.

Unter die Vorläufer derartiger Konzepte subsumiert Engels unter anderen auch Helmholtz und Poincaré:

„ Gerhard Vollmer verwendet zur Charakterisierung dieses Realitätsbereichs den Begriff „Mesokosmos“ und bestimmt ihn in Analogie zum Begriff der ökologischen Nische als die „kognitive Nische“ des Menschen sowie als „Umwelt“ im spezifischen Sinne Jakob von Uexkülls (Vollmer 1988). „Sinnesorgane, Wahrnehmungsfähigkeit, Erfahrungsstrukturen, Alltagssprache und elementare Schlussweisen“ seien „auf diesen Mesokosmos zugeschnitten“, sie seien „mesokosmischen Bedürfnissen angemessen. Dasselbe gilt für unsere Anschauungsweisen“ (Vollmer 1988: 78). Diese Vorstellung von der Anpassung unseres Erkenntnisvermögens an einen bestimmten Erfahrungsbereich hat prominente Vorläufer, zu denen Hermann von Helmholtz, Henri Poincaré, Hans Reichenbach und Ludwig von Bertalanffy gehören (vgl. Engels 1989: 300).“ (Engels, 1999, o.S. >10)

Über die prinzipielle Limitierung des Erkenntnisvermögens hinaus macht Engels einen zweiten Vorbehalt geltend, der sich auf die ontologische Dimension richtet:

<sup>540</sup> Zu beiden Aspekten finden sich an anderen Stellen dieser Arbeit entsprechende Zitate Poincarés.

„Damit leitet Vollmer aus der Evolutionstheorie und ihrem zentralen Theorem der Anpassung einen ontologischen und erkenntnistheoretischen Realismus ab, den er und andere Vertreter der Evolutionären Erkenntnistheorie als °hypothetischen Realismus° bezeichnen.“ (Engels, 1999, o.S. >11)

Gemäß thematischer Ausrichtung dieser Arbeit richtet sich auf Engels Zuordnung von Poincaré erhöhte Aufmerksamkeit und erscheint diese auch als notwendig, weil die anscheinend vorbehaltlose Einordnung Poincarés in ein Milieu der genannten erkenntnistheoretischen Modelle so nicht adäquat ist. Und zwar deshalb nicht, weil Poincarés Ansätze und seine wissenschaftsgeschichtliche Wirkung genau das Aufbrechen solcher apriorischer Schranken und damit verbundener (deterministischer) Modelle in die Wege leiten und für seinen erkenntnistheoretischen Ansatz charakteristisch und notwendig sind.

### 15.3 Poincaré als missverständlich kurz zitierter Zeuge gegen seine Überzeugung

So findet sich zum Beispiel im Vorarlberger Bildungsserver für den Fachbereich Biologie in einem Abschnitt über evolutionäre Erkenntnistheorie eine Passage von Gerhard Vollmer:

„Wir haben gesehen, dass das Problem der angeborenen Ideen in der Geschichte der Erkenntnistheorie eine Schlüsselrolle spielt... Die biologische Bedingtheit der subjektiven Erkenntnisstrukturen wird bejaht von:

Philosophen: Nietzsche, Simmel, Spencer, Peirce, Baldwin, F. C. S. Schiller, Russell, Quine, Popper;

Physikern: Helmholtz, Poincaré, Mach;

Biologen: Haeckel, v. Bertalanffy, Rensch, Lorenz, Mohr, Monod;“ (Vollmer, o.J.b, o.S)

Engels geht bei der Zuordnung Poincarés wie auch bei jener von Helmholtz von der Frage aus, „...warum sich die euklidische Geometrie im Unterschied zu anderen Geometrien anschaulich vorstellen lasse.“ (Engels. 1989. S. 300)

„ So vertrat bereits Hermann von Helmholtz...die Auffassung, daß >wir in unserem Vorstellungsvermögen gehemmt ((sind)) durch den Bau unserer Organe und die damit gewonnenen Erfahrungen, welche nur zu dem Raume passen, in dem wir leben<<....Henri Poincaré ging in seiner Beurteilung der euklidischen Geometrie von der Annahme aus, daß >>unser Verstand sich durch die natürliche Zuchtwahl den Bedingungen der äußeren Welt *angepaßt* hat, daß er diejenige Geometrie angenommen hat, welche für die Gattung *vorteilhaftesten* war , oder mit anderen Worten: die am *bequemsten* war<<....“ (Engels. 1989. S. 300)

#### 15.3.1 Bewegungsreflexe toter Frösche als Beispiel für rudimentäre Fundamente von Geometrie machen Poincaré nicht zum „naiven Adaptionisten“

Gerade weil Poincaré mit dem Beispiel der Bewegungsreflexe toter Frösche den ersten Spuren räumlicher Assoziationen bis zu untergeordnetsten Teilen des Nervensystems folgt und auch damit die Einbindung seiner Aussagen in den Kontext Evolutionärer Erkenntnistheorie provoziert, verdient die Zuordnung von Poincarés Haltung eine differenziertere Analyse als sie bei Engels durchklingt.

Auch wenn im Folgenden klar zu erkennen ist, wie weitgehend Poincaré in seinen Bemühungen um möglichst objektive Erkenntnis auch den einflussnehmenden evolutionären Komponenten unseres kognitiven Systems nachspürt, ist daraus keine Begrenzung auf einen Mesokosmos oder ein unkritisches Faible für einen ontologischen Realismus abzuleiten.

In Wissenschaft und Methode geht Poincaré in einem Kapitel über die Relativität des Raumes auch jenen Grundlagen unserer Raumvorstellung nach, die mit den Assoziation unserer

Muskelempfindungen bei den Bewegungen zum Erreichen bzw. Lokalisieren eines Gegenstandes bzw. Punktes im Raum verknüpft sind (1910, S. 87 ff.). Poincaré umreißt den evolutionären Horizont:

„Dieses komplexe System von Assoziationen, dieses Bild ihrer Verteilungsart macht sozusagen unsere ganze Geometrie aus, oder, wenn man so sagen will, umfaßt alles, was unserer Geometrie instinktiv zugrunde liegt...Eine Assoziation erscheint uns um so unzerstörbarer, je älter sie ist. Diese Assoziationen sind zum großen Teil keine Erwerbungen des Individuums, denn man merkt ihre Spur schon bei dem Kinde, das eben das Licht der Welt erblickt: es sind Erwerbungen, die der Rasse zu eigen werden. Die natürliche Zuchtwahl mußte diese Erwerbungen um so schneller herbeiführen, je notwendiger sie sind.“ (Poincaré, 1910, S. 90 f.)

Poincaré führt diese elementarsten Zusammenhänge also auf evolutionär sehr weit zurückreichende Strukturierungen zurück und macht dabei in stark evolutionistischer Manier als Beispiel sogar räumlich gezielte Reflexe der Beine eines geköpften Frosches geltend:

„Man sieht, bis zu welcher Tiefe des Unbewußten man herabsteigen muß, um die ersten Spuren dieser räumlichen Assoziationen zu finden, weil hier nur die untergeordnetsten Teile des Nervensystems in Betracht kommen.“ (Poincaré, 1914, S. 91)

Auf den ersten Blick scheinen diese Zitate einem sehr stark evolutionär-deterministischen Anpassungsmodell zu entsprechen und eher davon ausgehende kognitive Limitierungen nahe zu legen.

Bei diesem Zitat Poincarés müssen im Kontext aber auch folgende Aspekte beachtet werden.

Poincaré bezieht sich hier explizit nur auf einen Teilbereich, der mehr oder weniger den nur mit Armbewegungen verbundenen Greifraum anspricht:

„Der Raum, den ich im vorhergehenden Paragraphen ins Auge faßte und den ich den eingeschränkten Raum nennen möchte, wäre auf Koordinatenachsen zurückzuführen, die mit meinem Körper verbunden sind...“ (Poincaré, 1914, S. 93)<sup>541</sup>

### 15.3.2 Poincarés Ansatz ist nicht auf einen artspezifischen Mesokosmos reduzierbar: Einbildungskraft expandiert Raumkonzepte

Poincaré beschreibt dann den Aufbau einer expandierten Räumlichkeit, die sich einerseits auf das Bezugssystem der Körperachsen eines Organismus bezieht, der nicht nur seine Arme, sondern den gesamten Körper bewegt und spricht dabei die diesbezüglich bedeutsame Unterscheidung von sessilen und motilen Lebewesen an. (Cf. Poincaré, 1914, S. 94.)

Andererseits verweist Poincaré aber auch auf ein das unmittelbar evidente Maß erweiterndes Konzept von Raum, das er mit unserer Einbildungskraft verbunden sieht.

„Wenn wir jetzt zu dem großen Raume fortschreiten, der nicht nur für uns bestimmt ist, in dem wir vielmehr das Universum unterbringen, so gelangen wir dahin durch einen Akt unserer Einbildungskraft.“ (Poincaré, 1914, S. 95)

Im Zusammenhang mit der oben eingeleiteten Überlegungen zu kognitiven Freiheitsgraden, die eine streng determinierendes Anpassungskonzept überwinden (sollen), ist diese zuletzt genannte Formulierung Poincarés entscheidend, weil sie deutlich macht, dass Poincarés Ansatz explizit nicht auf ein durch Anpassung auf einen artspezifischen Mesokosmos determiniertes

<sup>541</sup> Cf. „Der eigene Körper wird mit der Einsicht in seine Dingkonstanz mit anderen Umwelt Dingen *vergleichbar* und damit zu ihrem *Maß*.“ (Lorenz, 1975, S. 203)

Konzept von Raum reduzierbar ist. Damit verbunden attestiert Poincaré mit dem Hinweis, dass durch „unsere Einbildungskraft“ (acte d’imagination) der Rahmen des „eingeschränkten Raumes“ auf einen „nicht nur für uns bestimmten“ Raum ausgedehnt werden könne, auch unserem kognitiven System ein erhebliches Maß an Freiheit. Poincaré macht damit unsere Einbildungskraft selbst zu einem Potential, (geometrische) Konzepte zu entwickeln, die über einen Mesokosmos hinaus wirken können.

„Somit ist also die charakteristische Eigenschaft des Raumes, dreidimensional zu sein, nur eine Eigenschaft des Bildes, das wir uns im obigen Sinne (S. 89 f.) von der Verteilung und Anordnung machen, sozusagen eine interne Eigenschaft menschlicher Intelligenz. Es würde genügen, einige der Konnexen, d.h. der Ideenassoziationen zu zerstören, um ein andersgeartetes Bild der Verteilung vor sich zu haben, und das könnte vielleicht ausreichen, um dem Raume eine vierte Dimension zu verschaffen“ (Poincaré, 1914, S. 99)

#### 15.4 Paradoxe Integration Poincarés in einen zu engen erkenntnistheoretischen Rahmen mit Dreidimensionalität als determinierendem Apriori

Vor diesem Hintergrund erscheint es also als paradox, wenn akkurat Poincaré ohne explizite Differenzierung bisweilen in ein Umfeld integriert wird, in dem ein problematisches Modell von Anpassung die Tendenz fördert, ein Apriori zu etablieren, mit dem bei zu enger bzw. fundamentalistischer Auslegung die phänomenale Dreidimensionalität nicht nur als determinierende Schranke unserer kognitiven Potentiale, sondern auch als Wesensmerkmal der externen Realität insinuiert wird (werden kann).

Die vordergründige Paradoxie liegt darin, dass Poincaré die euklidische Geometrie als die bequemste bezeichnet, während er andererseits zugleich die Validität von anderen Geometrien und die vierte Dimension erkenntnistheoretisch forciert und untermauert.

Im Hintergrund steht, dass viele Passagen in Poincarés Schriften explizit darauf abzielen, ein solches Apriori schon auf Ebene der Wahrnehmung zu hinterfragen und es weder hinsichtlich des Potentials zum Entwickeln abstrakter geometrischer Konzepte und schon gar nicht als determinierendes Wesensmerkmal einer wie immer beschaffenen externen Realität schlagend werden zu lassen. Poincaré legt fest, dass auch der apriorische Charakter einer ererbten Form der Anschauung prinzipiell hinterfragbar bleiben müsse, wenn er selbst eine diesbezügliche Suggestivfrage stellt und diese sofort Wegweisend beantwortet:

„Machen vielleicht diese Ideenverbindungen, wenigstens soweit wir sie von unseren Vorfahren geerbt haben, diese Form a priori aus, von der wir, wie man sagt, die reine Anschauung haben sollen? Dann sehe ich nicht ein, warum man sie als der Analyse widerstrebend ansehen und mir das Recht, ihren Ursprung aufzusuchen, verweigern sollte.“ (Poincaré, 1910, S. 97f.)

Faktoren, die in dieses Milieu der soeben geschilderten komplexen erkenntnistheoretischen Problematik führen, sind u.a. Poincarés Appell an die „sélection naturelle“ und die „Erfahrung der Vorfahren“ sowie die umfangreiche Auseinandersetzung mit unserem System der Sinne bei seinen Überlegungen bezüglich des Zustandekommens räumlicher Wahrnehmung und über die Fundamente der Geometrie.



## 15.5 Spätestens seit Darwin gerät durch Hinterfragen des Apriori neben Philosophie auch Geometrie in den Fokus der Naturalisierung der Erkenntnistheorie

Wenn man beim Hinterfragen der Möglichkeit und Gültigkeit von Erkenntnis Darwin als einen Meilenstein der Naturalisierung der Erkenntnistheorie geltend macht, dann darf man nicht übersehen, dass die Deszendenztheorie zwar einen prominenten Faktor einer Grundlagenkrise vieler Wissenschaftsbereiche darstellt, dass aber davor auch andere Faktoren bereits wesentlich dazu beigetragen haben. Schon in der bis in die Antike reichenden Tradition eines vielgestaltigen Skeptizismus war die Verlässlichkeit der Wahrnehmung ein fragwürdiges Problem, das besonders auch im englischen Sensualismus z.B. mit Berkeley und Hume wieder starken und einflussreichen Auftrieb erfuhr.

Ebenso ist auf den Physiologen Johannes Müller\* und sein 1826 publiziertes Modell der spezifischen Sinnesenergien sowie dessen Rezeption hinzuweisen, weil Helmholtz in Berlin Vorlesungen von Müller\* besucht hatte und später seinerseits Sinnesphysiologie und Wahrnehmungsprozesse auch intensiv hinsichtlich der Raumwahrnehmung und der Grundlagen von Geometrie erforschte. Mit dieser unmittelbaren Verbindung zu Helmholtz gewinnt Müller\* für das hier verfolgte Thema nicht nur prinzipielle Bedeutung, sondern auch eine spezielle, weil Poincaré mit den Schriften von Helmholtz vertraut war.

Weil hier wiederholt die erkenntnistheoretischen Positionen von Helmholtz und Poincaré und beider Zugang zu den Fundamenten von Geometrie auf Basis ihrer Auffassung des Zustandekommens von Raumwahrnehmung angesprochen werden, ist es hier opportun, auf große Gemeinsamkeiten ihrer Modelle ebenso hinzuweisen, wie auf einen bemerkenswerten Unterschied.

Helmholtz macht in seiner anlässlich eines Vortrags 1878 erschienenen Publikation mit dem Titel „*Die Tatsachen in der Wahrnehmung*“ ein auf Bewegung und das Bewusstsein über die Innervation der Muskeln basierendes Konzept geltend, das weitgehend mit jenen Faktoren kompatibel bzw. ident ist, die auch Poincaré als Fundamente von Geometrie in Ansatz bringt. Diese Gemeinsamkeit betrifft auch noch top- down gestaltende Einflüsse auf die Genese des räumlichen Perzepts sowie dessen hypothetischen Charakter.

Einen hier erwähnenswerten Unterschied meine ich in folgendem Aspekt zu erkennen.

Ausgehend vom Vergleich bewusster Analyse von räumlichen Verhältnissen und spontaner Evidenz erläutert Helmholtz sein Modell der „unbewußten Schlüsse“:

„Die Aufgabe, sich die Raumverhältnisse in mathematischen Räumen vorzustellen, erfordert in der Tat einige Übung im Verständnis analytischer Methoden, perspektivischer Konstruktionen und optischer Erscheinungen...Diese Leichtigkeit, Schnelligkeit, blitzähnliche Evidenz, mit der wir zum Beispiel die Form eines Zimmers, in welches wir zum ersten Mal treten, die Anordnung und Form der darin enthaltenen Gegenstände, den Stoff, aus dem sie bestehen, und vieles Andere wahrnehmen, haben unsere Versuche, mathematische Räume vorzustellen, in der Tat nicht.“ (Helmholtz, 1887, o.S.)

Diesen unbewusst wirkenden „psychischen Prozeß“ der Integration individueller Erfahrung in die spontane Raumwahrnehmung vergleicht Helmholtz mit dem Erlernen der Muttersprache und des damit verbundenen spontanen Assoziationsvermögens:

„Wenn sich die gleichartigen Spuren, welche oft wiederholte Wahrnehmungen in unserem Gedächtnis zurücklassen, verstärken: so ist es gerade das Gesetzmäßige, was sich am regelmäßigsten gleichartig wiederholt, während das zufällig Wechselnde verwischt wird. Dem liebevollen und achtsamen

Beobachter erwächst auf diese Weise ein Anschauungsbild des typischen Verhaltens der Objekte, die ihn interessierten, von dem er nachher ebensowenig weiß, wie es entstanden ist, als das Kind Rechenschaft davon geben kann, an welchen Beispielen es die Bedeutung der Worte kennen gelernt hat... Ich habe die hierbei eintretenden Vorstellungsverbindungen in meinen früheren Arbeiten als unbewußte Schlüsse bezeichnet; als unbewußt, insofern der Major [Obersatz - wp] derselben aus einer Reihe von Erfahrungen gebildet ist, die einzeln längst dem Gedächtnis entschwunden sind und auch nur in Form von sinnlichen Beobachtungen, nicht notwendig als Sätze in Worte gefaßt, in unser Bewußtsein getreten waren. Der bei gegenwärtiger Wahrnehmung eintretende neue sinnliche Eindruck bildet den Minor [Untersatz - wp], auf den die durch die früheren Beobachtungen eingeprägte Regel angewendet wird.“ (Helmholtz, 1887, o.S.)

Helmholtz deklariert sich mit dieser Darstellung als „Empirist“ und grenzt sich und auch mit anderen Aussagen der genannten Abhandlung ausdrücklich von einem „Nativismus“ ab, der eine voll ausgebildete angeborene Raumwahrnehmung ohne Einfluss individuell erworbener Erfahrungen unterstellt.

Den im Zuge der hiesigen Arbeit relevanten Unterschied<sup>542</sup> bei der Analyse der Faktoren, die zur Genese der Raumwahrnehmung beitragen, sehe ich nun darin, dass Poincaré auch explizit die Erfahrung der Vorfahren und die selection naturelle in sein Kalkül einbezieht und so eine phylogenetische Komponente zur Debatte stellt, die in der genannten Schrift von Helmholtz so nicht zur Geltung kommt.<sup>543</sup>

Mit dem Appell auf das Recht einer Analyse bis zum Ursprung (s.o.) betreibt Poincaré nicht nur eine „Naturalisierung der Erkenntnistheorie“<sup>544</sup>, sondern begibt sich ins Zentrum eines Dilemmas, das gerade unter dem Eindruck der Evolutionstheorie von der Frage nach dem Bestehen sowie der Validität eines Apriori geprägt ist und auch in heftig geführten zeitgenössischen Debatten seinen Niederschlag findet. Die damit einhergehende Grundlagenproblematik betrifft nicht nur die Philosophie, sondern ebenfalls die Mathematik und besonders auch die Geometrie, die ihrerseits mit neuen Konzepten zu dieser Grundlagenkrise beigetragen hat.

Pultes Beschreibung der Abkehr vom bis dahin dominanten Physikozentrismus in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts passt zu Poincarés Auseinandersetzung mit der Wahrnehmung, mit der er die von Pulte genannten traditionellen Herangehensweisen von Mathematik und Physik modifiziert und unter deutlichem Eindruck der Theorie Darwins und der zeitgenössischen neurophysiologischen Erkenntnisse die Komponenten und Funktionsweise unseres Wahrnehmungssystems in seinem erkenntnistheoretischen Ansatz zur Geltung bringt.<sup>545</sup>

Nach Pulte (mit Berufung auf Engels) rückt noch stärker als die Physik die Mathematik wegen ihrer „als apriorisch und statisch angesehenen Grundbegriffe...in den Fokus einer Evolutionstheorie der menschlichen Erkenntnis, die in Charles Darwin selber ihren Begründer hat“ (Pulte, 2009, S. 168 f.)

---

<sup>542</sup> Es wurde nicht untersucht und wird auch nicht behauptet, dass dies der einzige Unterschied der diesbezüglichen Konzepte von Helmholtz und Poincaré ist. Dieser Punkt wird nur hervorgehoben, weil er für die hier mit Referenz auf Engels usw. verfolgten Überlegungen ein relevantes Detail bildet.

<sup>543</sup> Dem Hinweis auf den Aspekt der „Anpassung“, den gemäß nachstehendem Hinweis von Pulte (2009, S. 170) Helmholtz in einer Schrift von 1896 anspricht, wurde hier nicht weiter nachgegangen

<sup>544</sup> Nicht die gesamte Aussage, nur der Ausdruck „Naturalisierung der Erkenntnistheorie“ bezieht sich auf Engels, 1989, S. 381

<sup>545</sup> Cf. Pulte, 2009, S. 141 f.

Pulte spitzt diese auf die Auffassung Kants bezogene Kritik mit einem Zitat des Mathematikers William Clifford zu:

„Die Lehre von der Evolution selber verbietet es mir, irgendeine transzendente Quelle des Wissens anzuerkennen;... (Clifford 1873, S. 335 f.).“ (Pulte, 2009, S. 169)

Pulte betont auch die enge Verflochtenheit dieser Problematik mit der „Grundlagenentwicklung innerhalb der Geometrie“ und stellt bezüglich Poincaré fest:

„Henri Poincaré beispielsweise schränkt seinen theoretischen Konventionalismus, biologisch, ein, wenn er die Dimensionszahl für den realen Raum in darwinistischer Manier bestimmt: >ein Wesen, das dem Raum zwei oder vier Dimensionen beigelegt hätte, würde sich in einer Welt gleich der unseren im Nachteil beim Kampf ums Dasein befinden<(Poincaré 1914, S.86).“ (Pulte, 2009, S. 170) <sup>546</sup>

Damit hier der gemäß Aussage Poincarés bevorzugte Status euklidischer Geometrie die Brisanz des (ontologischen?) Problems nicht verdeckt, ist zu beachten, dass es zwar um eine vorteilhafte, aber eben nicht mehr um die einzig mögliche und mit der externen Realität auf Basis der Dreidimensionalität eineindeutig korrelierende Geometrie geht. Gerade auch im Zitat Pultes spielt es für Einschätzung des erkenntnistheoretischen Status dreidimensionaler Raumkonzepte und der euklidischen Geometrie eine Rolle, welches Modell von evolutionärer Anpassung man unterstellt.

## 15.6 Boutroux hinterfragt Relation der Mathematik zur Wirklichkeit

Die von Pulte angesprochene Kritik an den statischen Grundbegriffen der Mathematik bringt auch **Boutroux** 1874 mit markanter Konsequenz für die Erkenntnistheorie zum Ausdruck:

„ Die Mathematik ist also eine freiwillige und geschickte Anpassung des Geistes an die Dinge; sie ist die Form, die uns gestattet, die qualitative Verschiedenheit zu überwinden, das Muster, nach dem wir die Wirklichkeit gestalten, um sie so begreiflich wie möglich zu machen.“<sup>14</sup> (Boutroux (1895), S. 22/ 24f.)“ (Heidelberger, o.J.a, S. 15)

Heidelberger fasst seine Analyse von Boutroux' Werk mit einer Präzisierung der erkenntnistheoretischen Konsequenzen zusammen und verweist dabei auch auf Boutroux' Schwager Poincaré:

„Wir haben gesehen, wie sich Boutroux mit Hilfe der Philosophie des deutschen Spätidealismus von Descartes Determinismus befreit und die unerbittliche Notwendigkeit der Naturgesetze mit der flexiblen Kontingenz vertauscht... Es folgt erstens daraus, daß die Mathematik nicht mehr als eine willkürliche und veränderliche Schöpfung des menschlichen Verstandes darstellt, die sich unter Anleitung der Erfahrung eine regulative Idee erfindet und sie in möglichst bequeme Gesetze ausformuliert; und zweitens, daß wir keine Gewähr dafür haben, daß uns die mathematische Physik und die anderen

<sup>546</sup> „Die öffentliche Diskussion um die philosophischen Implikationen der Entdeckung nichteuklidischer Geometrien beginnt erst um 1870, fällt also in die Zeit intensiver Auseinandersetzung der Deszendenztheorie...“ und setzt fort: „Gründliche und umfassende Forschungen hierzu stehen noch aus, doch läßt sich tendenziell wohl folgendes sagen: Die durch die Mathematik selber hervorgebrachte >Pluralisierung<, von logisch gleichberechtigten Geometrien wird - wenn auch auf höchst verschiedene Weisen - mit Hilfe des Evolutionsgedankens zugunsten eines gewissen erkenntnistheoretischen (oder auch nur psychologischen) Vorrangs der euklidischen Geometrie im klassischen Sinne, die von einem dreidimensionalen Raum ausgeht, entschieden. Henri Poincaré beispielsweise schränkt seinen theoretischen Konventionalismus, biologisch, ein, wenn er die Dimensionszahl für den realen Raum in darwinistischer Manier bestimmt: >ein Wesen, das dem Raum zwei oder vier Dimensionen beigelegt hätte, würde sich in einer Welt gleich der unseren im Nachteil beim Kampf ums Dasein befinden< (Poincaré 1914, S.86). Daß innerhalb des Neukantianismus ein Exponent des empiristischen Flügels, wie Helmholtz die Bedeutung der Anpassung unseres physiologischen Wahrnehmungsapparates für die Geometriediskussion unterstreicht (Helmholtz 1896, Bd. II, bes. S.6-rr), mag kaum verwundern.“ (Pulte, 2009, S. 170)

Naturwissenschaften Wahrheiten über die Natur liefern. Genau diese Konsequenzen hat Henri Poincaré aus der Situation gezogen, die sein Schwager Boutroux diagnostiziert hat.“ (Heidelberger, o.J.a, S. 20 f.)

Nach Heidelberger (o.J. a, S. 4) stand Boutroux im Zuge eines Studiums in Heidelberg auch in Kontakt mit Helmholtz. Mit Boutroux und Helmholtz wird nicht nur die Nähe dieser Debatte zu Poincaré sichtbar, der ja Helmholtz' Schriften selbst gelesen hat.<sup>547</sup>

#### 15.6.1 Boelitz: Boutroux als Poincarés Brücke zur Kenntnis der Lehre Darwins?

Auf meine Anfrage über die möglichen Wege der Rezeption von Darwin durch Poincaré hat Gerhard Vollmer geantwortet, dass ihm keine direkte Auseinandersetzung von Poincaré mit Darwin bekannt ist.<sup>548</sup>

Weitere Recherchen haben ergeben:

In den online zugänglichen Quellen der Archives Poincaré in Nancy ist kein Schriftverkehr von Poincaré mit Charles Darwin belegt; sehr wohl aber mit dessen Sohn, dem Mathematiker George Darwin. Dabei geht es aber nicht um Fragen der Evolutionstheorie.

Otto Boelitz betont allerdings in einer Publikation aus 1907 eine intensive Beschäftigung Boutroux' mit Darwin:

„Besonders eingehend beschäftigt sich Boutroux mit Darwins „Entstehung der Arten“ mittels Zuhilfenahme des Kampfes ums Dasein.“ (Boelitz, 1907, S. 53)

Demgemäß kann man es für naheliegend halten, oder zumindest nicht ausschließen, dass Darwins Theorie auch für Boutroux Schwager Poincaré nicht nur bekannt war, sondern auch ein präzentes und relevantes Thema bildete.

#### 15.7 Helmholtz versus Kant: Geometrische Axiome zwischen erfahrungs begründeter Wahrscheinlichkeit und apodiktischer Gewissheit

Mit einer zeitgenössischen Kritik an Helmholtz kann auch die Vehemenz dieser Debatte um apriorische Gewissheit illustriert werden, wenn Albrecht Krause (1878) in geradezu fundamentalistischer Attitüde Helmholtz in Opposition zu Kant stellt.

„Helmholtz hat Kant in den Grundlagen seines Systems angegriffen, als er die Unveränderlichkeit und apodiktische Sicherheit der geometrischen Axiome, auf denen Kant fußt, leugnete. Hat nun Helmholtz

<sup>547</sup> Mündlicher Hinweis Heinzmann und: Die via Internet zugängliche Korrespondenz in den Archives Poincaré weist zum Beispiel einen Brief von 1888 an Poincaré aus, in dem Pierre Duhem berichtet, dass Helmholtz' Memoiren, für die sich Poincaré interessierte, aktuell nicht verfügbar waren. (Cf. [http://henripoincarepapers.univ-lorraine.fr/corresphp/index.php?s=Helmholtz&submit\\_search=Recherche](http://henripoincarepapers.univ-lorraine.fr/corresphp/index.php?s=Helmholtz&submit_search=Recherche) 24.9.2019)

<sup>548</sup> „Direkte Auseinandersetzungen von Poincaré mit Darwin sind mir nicht bekannt; sie sind aber auch eher unwahrscheinlich...Eine direkte Auseinandersetzung mit DARWIN bei Boutroux oder bei Helmholtz habe ich nicht unterstellt, sondern nur die BIOLOGISCHE BEDINGTHEIT. Boutroux habe ich selbst nicht studiert.....Unter den Arbeiten von Helmholtz geht am weitesten in diese Richtung seine Schrift "Die Tatsachen in der Wahrnehmung" von 1878. Er kritisiert dort u.a. Kants Apriorismus und vertritt den hypothetischen Realismus geradezu in Reinform. Ob er Darwin je erwähnt, weiß ich nicht. Seine naturalistische Einstellung zeigt sich auch in dem Buch "Über die physiologischen Ursachen der musikalischen Harmonien". Aber auch dort kommt Darwin wohl nirgends vor. Gerade deshalb nennen wir den modernen Naturalismus verdeutlichend einen "evolutionären Naturalismus". Aus dieser (meiner) Sicht erscheint der traditionelle Naturalismus, den sich für die Physik sogar Kant zuschreiben lässt, geradezu amputiert. (Mail G. Vollmer, 9.8.2014)

Recht und ist das Kantische Fundament falsch, so fällt damit auch der Inhalt und die Methode, welche hieraus nothwendig hervowachsen; dann ist ferner die jahrhundertlange Richtung der deutschen Philosophie eine verfehlt, und es bleibt uns nichts Anderes übrig, als die deutsche Jugend wiederum in die Schule der Engländer zu schicken zum Studium der Philosophie, einer Philosophie, welche man bisher durch Kant und seine Schüler für widerlegt oder verbessert hielt.“ (Krause, 1878, Vorwort)

Dies wird hier nur erwähnt, weil es auch ein Licht auf Poincarés Plädoyer gegen ein determinierendes Apriori wirft, aber insgesamt nicht weiter verfolgt wird.<sup>549</sup>

Auch der im 19. Jahrhundert angesehene und vieldiskutierte Philosoph und Mediziner **Herman Lotze** fordert dazu auf, sich dagegen zu wehren, „...ein System von vier oder fünf Dimensionen noch Raum zu nennen“. (Weitzenböck, 1956, S. 12)

Dagegen illustriert Weitzenböck mit folgenden Zitaten eine grundsätzlich andere, offene Haltung Poincarés, der solche Geometrien nicht nur als formale abstrakte Konzepte für möglich hält, sondern auch darüber spekuliert, dass unter speziellen Bedingungen sogar ein Vorstellungsvermögen eines vierdimensionalen Raums erreichbar sein könnte:

„Da gibt es nichts, was man sich nicht vorstellen könnte, und dennoch sind diese Empfindungen genau dieselben, denen ein mit einer zweidimensionalen Netzhaut ausgerüstetes Wesen unterworfen wäre, welches sich im R4 bewegen könnte. In diesem Sinn ist es erlaubt zu sagen, daß man sich die vierte Dimension vorstellen könnte.“ (Poincaré in Weitzenböck, 1956, S. 55)

„Wenn jemand sein ganzes Leben der Geometrie des R4 weihet, könnte er so weit kommen, sich den R4 vorzustellen“ (Poincaré in Weitzenböck, 1956, S. 53)

Gleichgültig für wie realisierbar man diese Idee hält, signalisiert sie jedenfalls als Grundhaltung Poincarés eine klare Absage an die Akzeptanz eines alternativlosen Apriori der Dreidimensionalität.

15.8 Poincarés Nuancierung von *adapté* und *adopté* entlastet Geometrie von einem Realismusdruck gemäß Anpassung, der ihr wiederholt zugeschrieben wurde.

Engels Zuordnung von Poincaré geht von dessen evolutionär orientiertem Passus der Charakterisierung der Euklidischen Geometrie als „bequem“ aus.

„Henri Poincaré ging in seiner Beurteilung der euklidischen Geometrie von der Annahme aus, daß >>unser Verstand sich durch die natürliche Zuchtwahl den Bedingungen der äußeren Welt angepaßt hat, daß er diejenige Geometrie angenommen hat, welche für die Gattung vorteilhaftesten war, oder mit anderen Worten: die am bequemsten war<<...“ (Engels. 1989. S. 300)

In der deutschen Übersetzung wie auch im französischen Original fällt auf, dass Poincaré zwar von „angepaßt / *adapté*“ spricht, aber bezüglich der Dreidimensionalität der Geometrie den Ausdruck „angenommen / *adopté*“ verwendet.

« On veut dire que par sélection naturelle notre esprit s’est adapté aux conditions du monde extérieur, qu’il a adopté la géométrie la plus avantageuse à l’espèce ; ou en d’autres termes la plus commode. » (Poincaré, 1902, S. 91)

Wenn man beachtet wie pointiert Poincaré im selben Satz bezüglich der zur Debatte stehenden Geometrie akkurat nicht von „*adapté*“, sondern von „*adopté*“ spricht, dann dürfte das mehr sein, als nur ein sensibles Wortspiel. Wenn man so will, dann kann man vermuten,

<sup>549</sup> Allerdings ist Krauses vergleichende Punktation so markant, dass sie im Anhang im Gesamten wiedergegeben wird.

dass damit ein sehr gezieltes Unterscheiden zum Ausdruck gebracht wird, das nicht den Einflüssen der externen Welt die alleinige und letztbestimmende Wirkung auf die Ausformung einer Geometrie zugestanden wird, sondern dass die Ausformung dieser Geometrie, auch wenn es sich noch nicht um ein abstrakt durchdachtes, sondern nur um ein unbewusstes und intuitiv wirksames Konstrukt handelt, letztlich (auch) stark von der Eigendynamik des kognitiven Systems und seiner organischen (vgl. Augen /projektive Ambivalenz) und prozessualen Strukturen (vgl. Transduktion, Transformation der externen Stimuli) seinen Ausgang nimmt.<sup>550</sup>

Wenn man nicht mehr davon ausgeht, dass auf Basis eines evolutionären Anpassungsmodells behauptet oder gar bewiesen werden kann „...Euclidian geometry, is an adequate replica of the objective order of nature in the human mind..“ (Capek, 1971, S. 10 f. ) und Poincaré folgend weiters davon ausgeht, dass unterschiedliche Geometrien nicht nur denkbar möglich, sondern auch praktisch mit Erfolg anwendbar sind, dann kann man auch nicht mehr von einer endgültig definierbaren, einheitlichen räumlichen Struktur der externen Realität ausgehen.

#### 15.8.1 Gewohnheit statt Gesetz: Human reason- a system of mental habits (Capek)

Auch wenn bei Capek das Wort „moulded“ eine sehr zwingenden Gestaltungskraft der externen Realität suggeriert, so wird im selben Satz von „is essentially nothing but a system of mental habits“ gesprochen:

“This structure of human reason is essentially nothing but a system of mental habits established and strengthened by the continuous pressure of the objective order of things by which, during long geological periods, the human mind has been moulded into its present forms.” (Capek, 1971, S. 10 f.)

So schwer es auch fällt, aber Gewohnheiten (mental habits) sind nicht a priori determinierend, sondern prinzipiell veränderbar, bilden also nicht die einzig und allein bestehende Möglichkeit.

Es gibt auch an anderen Stellen in Beziehung dazu stehende Passagen, in denen Poincaré gerade bezüglich der Bildung geometrischer Konzepte und ihrer jeweils nützlichen Auswahl die Relevanz einer Art von kognitiven Potentialen anspricht, die nicht von einer deterministischen Anpassung des kognitiven Systems an eine externe Realität bestimmt sind und deshalb auch nicht zu einem Abbildungsrealismus führen.

Als exemplarisches Indiz dafür soll folgende Aussage dienen:

„Das Objekt der Geometrie ist das Studium einer besonderen „Gruppe“; aber der allgemeine Gruppen-Begriff präexistiert in unserem Verstande, zumindest die Möglichkeit zur Bildung desselben; er drängt sich uns auf, nicht als eine Form des Empfindungs- Vermögens sondern als eine Form unserer Erkenntnis. Unter den möglichen Gruppen muß man nur diejenige auswählen, welche sozusagen das Normalmaß sein wird, auf das wir die Erscheinungen der Natur beziehen. Die Erfahrung leitet uns in dieser Wahl, zwingt sie uns aber nicht auf; sie läßt uns nicht erkennen, welche Geometrie die richtigste ist, wohl aber, welche die bequemste ist.“ (Poincaré, 1906, S, 73)

---

<sup>550</sup> Schon ein flüchtiger Einblick in Wörterbücher und die dort angeführten Übersetzungsoptionen zeigt die starke implizite Entscheidungskomponente von *adopté*, und auch wenn man z.B. in Gegenrichtung die französischen Übersetzungen von „annehmen“ (dieser Ausdruck wird in der deutschen Übersetzung der Ausgabe von 1906 verwendet) betrachtet, dann fällt auf, dass *adopter* unter vielen anderen Verben immer nur einen sehr speziellen Bereich anspricht, der mit hoher Intentionalität einhergeht.

Der wortklaubersich wirkende Versuch, diesen semantischen Nuancen weitreichende Bedeutungsunterschiede zuzuschreiben, leitet seine Legitimation aber nicht nur davon ab, dass Poincaré im französischen Originaltext sehr pointiert die Ausdrücke *adapté* und *adopté* gegenüberstellt, sondern auch aus vielen Aussagen ablesbaren erkenntnistheoretischen Grundhaltung, die u.a. auch in einer sehr subtilen Wortwahl zum Ausdruck kommt.

Allerdings bleibt gleich nach dieser Passage ein Umweltkonnex dahingehend bestehen, dass Poincaré betont, Lebewesen in den von ihm an anderer Stelle entworfenen Phantasiewelten „würden es ohne Zweifel bequemer finden, sich eine von der unseren verschiedene Geometrie zu schaffen, die sich ihren Eindrücken besser anpaßte. Was uns betrifft so ist es gewiß, daß wir angesichts derselben Eindrücke es bequemer finden würden, unsere Gewohnheiten nicht zu ändern.“ (Poincaré, 1906, S. 73) <sup>551</sup>

Was zunächst wie eine Rückwendung zu einem extern orientierten Anpassungsmodell klingt, macht aber bei nuancierter Betrachtung deutlich, wie stark Poincaré die Eigendynamik, und man kann wohl sagen die Selbstreferenz des kognitiven Systems betont. Der Schlüssel liegt im Stichwort „bequem“. Und zwar dann, wenn man den letzten Satz so interpretiert, dass wir bei Konfrontation mit denselben Eindrücken, wie sie die Lebewesen dieser Phantasiewelten empfinden, trotzdem unsere „Gewohnheiten“ nicht (ohne weiteres) ändern würden.

Damit wird die Struktur der externen Realität in ihrer Bedeutung für die geometrischen Präferenzen hintangestellt, den Gewohnheiten (mental habits) der Vorrang gegeben und damit die Möglichkeit zur Veränderung offen gehalten.

„Es würde genügen, einige der Konnexe, d. h. der Ideenassoziationen zu zerstören, um ein andersgeartetes Bild der Verteilung vor sich zu haben, und das könnte vielleicht ausreichen, um dem Raume eine vierte Dimension zu verschaffen.“ (Poincaré, 1914, S. 99)

Daraus erschließt sich auch, dass gemäß der Darstellung Poincarés diese kognitiven Strukturen keine „adequate replica of the objective order“ (vgl. Capek, 1971, S. 10 f.) der jeweiligen externen Realität sind. Das öffnet den Weg zu einer prinzipiellen Vielzahl von hypothetisch möglichen Konzepten, von denen prinzipiell keines die alleinige Gültigkeit beanspruchen kann.

<sup>552</sup>

Die Möglichkeit unterschiedlicher, aber im Umgang mit der externen Realität handlungsfähiger geometrischer Modelle legitimiert nicht mehr dazu, aus geometrisch analysierbaren Beobachtungen die Aussage abzuleiten, dass die externe Realität genau so und nicht anders „ist“. Die Gültigkeit der Aussage wird darauf reduziert, dass auf diese Realität, wie immer sie auch beschaffen sein mag, diese Beobachtungen und die darauf beruhenden Konzepte und Interaktionen angewendet werden können, wenn man so will, dass die externe Realität diese Möglichkeiten zulässt, aber die Realität als solche damit nicht im strengen Sinn vollständig definierend beschrieben werden kann. <sup>553</sup> Dieser implizite hypothetische Charakter von Geometrie(n) hat eine Einschränkung des prognostischen Werts und den Bedarf nach ständiger Evaluation zur Folge. Das ist mit Poincarés Betonung der Rolle des Experiments kompatibel.

---

<sup>551</sup> Das Beispiel der angepassten Bewohner einer (emulierten, nach Gesetzen „deformierten“) Alternativwelt und der Wirkung unterschiedlicher Geometrien beschreibt Poincaré auch in *Wissenschaft und Methode* (1914, S. 86 ff.)

<sup>552</sup> Cf. Eine solche Auffassung ist z.B. bei Boltzmann anzutreffen: „Boltzmann führt in diesem Zusammenhang an, dass es sogar die Möglichkeit zweier ganz verschiedener Theorien gibt, die beide gleich einfach sind und mit den Erscheinungen gleich gut übereinstimmen, also, obwohl total verschieden, beide gleich richtig sind.“ (Oeser, 2003, S. 47)

<sup>553</sup> Das führt zum hier nicht weiter verfolgten Fragenkomplex von Unbestimmbarkeit, Unbestimmtheit, Unterbestimmtheit.

## 15.9 Tendenz zu biologisch-evolutionärem Determinismus durch einen zu engen Begriff von Anpassung

Auch vor diesem Hintergrund wirkt es zumindest befremdlich, oder gar paradox, wenn Poincaré in summarischen Aufzählungen als Proponent eines evolutionären Ansatzes genannt wird, ohne dass eine präventiv notwendige Abgrenzung von jenen Richtungen evolutionärer Erkenntnistheorie erfolgt, welche zur Interpretation Kants das ontogenetische Apriori als phylogenetisches Aposteriori deuten und dabei zumindest tendenziell eine dreidimensionale Strukturiertheit der externen Realität insinuieren.

Nichtsdestotrotz ist ein evolutionärer Zugang durchaus mit Poincaré kompatibel. Damit mögliche Probleme werden allerdings dann virulent, wenn dabei die drohende Tendenz ignoriert oder in Kauf genommen wird, im Rahmen eines zu eng gefassten Modells von Anpassung die Dreidimensionalität der Wahrnehmung erst recht wieder als ein Apriori zu etablieren, das nicht nur eine Form der Wahrnehmung bildet, sondern auch die kognitiven Potentiale determiniert und darüber hinaus auch als elementare Strukturiertheit der externen Realität in Ansatz gebracht wird.

Diese problematische Tendenz wird hier deshalb so betont und in gewissem Ausmaß sogar gezielt hochgespielt, weil sie eine methodisch fruchtbare Grundlage für Betrachtungen über Poincarés Auseinandersetzung mit der Wahrnehmung, deren Beziehung zur Geometrie und die Konsequenzen für die Erkenntnistheorie bietet.

## 15.10 Gemeinsamer hypothetischer Charakter von Wissenschaft und Wahrnehmung

Wenn man zu den Konsequenzen, die Poincaré laut Heidelberger auf Ebene der Wissenschaft gezogen hat, auch den hypothetischen Ansatz rechnet, dann gilt es, darauf zu achten, dass der Wert des Hypothetischen bezüglich des Zugangs zur externen Realität nicht durch das Einbeziehen der Wahrnehmung in die Fundamente der Geometrie konterkariert wird. Das könnte dann drohen, wenn man mit Hilfe einer zu eng gefassten evolutionären Argumentation eine Passung der Wahrnehmung mit eindeutigem Abbildungscharakter gegenüber der externen Realität unterstellt.

Dem entgegen soll im Zuge dieser Arbeit gezeigt werden, dass auch unsere Wahrnehmung hypothetisch verfasst ist. Ebenso, dass dies mit offeneren Konzepten evolutionärer Erkenntnistheorie vereinbar ist bzw. aus diesen folgt. Folglich werden auch rationale wissenschaftliche Konzepte und unbewusste ratiomorphe Konzepte der Wahrnehmung unter dem gemeinsamen Dach des Hypothetischen in gewissem Ausmaß genuin vereinbar.<sup>554</sup>

### 15.10.1 Lockert hypothetisch basierte Objektkonstruktion von Wahrnehmung und Wissenschaft außenbestimmten Adaptionismus?

Damit wäre Wahrnehmung vor allem im Zusammenhang mit ihrer prognostischen Dimension methodisch sehr ähnlich strukturiert wie Wissenschaft. Die Bildung der Objekte der Wahrnehmung und jene von abstrakten Objekten gemäß mathematischer bzw. geometrischer

---

<sup>554</sup> Cf. Kap. Wahrnehmung als eine Art unbewusste Wissenschaft mit hypothetischem Charakter



Vorstellung wären bezüglich ihrer kognitiven Verarbeitungsregeln (struktur-) verwandt und so trotz ihres unterschiedlichen sinnlichen Abstraktionsgrades genuin kompatibel.<sup>555</sup>

So eine weitreichende Präsenz des Hypothetischen bedrängt auch den apodiktischen Status eines Apriori und die darauf begründete Sicherheit der Erkenntnis, während es im Gegenzug die erkenntnistheoretische Relevanz der Auseinandersetzung mit wahrnehmungsbezogener Erfahrung und mit deren subjektiven Komponenten forciert. Damit geht es erst recht um die Frage der Möglichkeit von nicht durch Anpassung an eine Umwelt determinierten kognitiven Potentialen.

#### 15.10.2 Humes „innere Erfahrung“ als wegweisende Abkehr von einer Außenbestimmtheit

Sucht man mit dem Ziel der Abkehr von einer Außenbestimmtheit wahrnehmungsbezogener Erfahrung nach einer Alternative zu Gunsten der postulierten abstraktionsfähigen geistigen Potentiale, könnte schon innerhalb sensualistischer Konzepte durch Humes Modell der inneren Erfahrung ein Weg sichtbar werden, der dazu angetan ist, einen an die Erscheinungsformen der Wahrnehmung gebundenen Determinismus zu Gunsten eines darüber hinausreichenden Potentials zur Bildung abstrakter Konzepte zu überwinden.

Lockes sehr strikt klingendes „Nihil est in intellectu, quod non prius fuit in sensu“ dürfte von Hume dadurch aufgebrochen werden, dass neben der **äußeren Erfahrung** ein Potential **innerer Erfahrung** in Ansatz gebracht wird, was Schischkoff folgendermaßen mit einem Zitat Humes illustriert:

„All die schöpferische Kraft der Seele ist nichts weiter als die Fähigkeit, den durch die Sinne und die Erfahrung gegebenen Stoff zu verbinden, umzustellen und zu vermehren.“ (Schischkoff, 1974, Stw. > Sensualismus)

Bringt man hier, durchaus ohne Absicht einer trivialisierenden Gleichsetzung, gemäß naturwissenschaftlich orientiertem Sprachgebrauch statt „Seele“ komplexe neurokognitive Potentiale in Ansatz, denn bietet deren von Hume postulierte schöpferische Kraft, den durch die Sinne gegebenen Stoff zu vermehren, durchaus Perspektiven, auf Basis einer Enzephalisation zu einem Ausblick auf das kognitive Potential zum Entwickeln abstrakter Konzepte ( wie z.B. von mehr als dreidimensionalen Geometrien) jenseits eines determinierenden Apriori zu gelangen. Zumindest zum Bestehen der Möglichkeit dafür, gemäß den eigendynamischen Potentialen hochkomplexer neuronaler Systeme.<sup>556</sup> So gesehen wird diese „schöpferische Kraft, den durch die Sinne gegebenen Stoff zu vermehren“ hier als kompatibel angesehen mit Poincares „Akt unserer Einbildungskraft“ als kognitives Potential, eine Vorstellung jenes großen Raumes zu entwickeln, in dem wir das Universum unterbringen. (Cf. Poincaré, 1914, S. 95)<sup>557</sup>

<sup>555</sup> Cf. Kandel/Helmholtz: Wahrnehmung als Hypothesenprüfung

<sup>556</sup> Cf. emergente Potentiale von neuronalen small-world networks (Horx, Sporns)

<sup>557</sup> Poincarés „Akt unserer Einbildungskraft“ braucht kognitive Freiheitsgrade, die eine deterministische Anpassung an einen Mesokosmos überschreiten. Damit entzieht sich Poincaré der Subsumierung durch Engels!

### 15.11 Engels Plädoyer für offenen Spielraum des Verstandes auf Basis neuronaler Plastizität mit Poincaré kompatibel

Weil das den Rahmen meiner nicht vorrangig darauf ausgerichteten Recherchen sprengen würde, kann ich nicht aus Eigenem abschätzen, ob Vollmer endgültig einem strikten Determinismus das Wort redet.<sup>558</sup>

Jedenfalls plädiert Engels in Ihrer Kritik für eine größere Plastizität unseres Gehirns und entsprechende weiter reichende Freiheiten unseres Verstandes, also genau für das, wofür auch Poincaré steht. Das kommt aber durch die Art der Einbindung in Engels Kritik an Vollmer (zumindest für mich) nicht ausreichend erkennbar zum Ausdruck. Eher besteht durch die Art des ausgewählten Zitats der Eindruck, Poincaré wäre ein früher affirmativer Protagonist des von Engels kritisierten Modells einer Angepasstheit, welche die Erkenntnispotentiale auf eine Auseinandersetzung mit dem Mesokosmos limitiert.

Engels führt dazu als erkenntnistheoretische Rahmenbedingung aus:

„Obgleich Lorenz in seinem Buch *die Rückseite des Spiegels* neben der Weitergabe stammesgeschichtlicher Erfahrungen über das Genom noch eine Fülle anderer Mechanismen der Informationsaufnahme und -verarbeitung vorstellt und diskutiert und er auch die besondere Bedeutung des Denkens in dessen Funktion als probeweises >>Handeln im vorgestellten Raum<< sieht, ist in der evolutionären Erkenntnistheorie und ihrer Diskussion die Berücksichtigung der Flexibilität menschlichen Erkennens zu kurz gekommen.“ (Engels, 1989, S. 57)

#### 15.11.1 Goulds Exaptation: Ein vom Anpassungs- Determinismus weitgehend entkoppeltes Konzept

Um unter nicht prinzipiell gelegneten Einflüssen evolutionärer Prozesse auf die Potentiale unseres kognitiven Systems die Möglichkeit für umfangreiche freie Spielräume zu etablieren, greift Engels u.a. auf Goulds Konzept der „Exaptation“ zurück, „...um terminologisch auch solche Phänomene fassen zu können, die im Unterschied zu Präadaptionen >>niemals Anpassungen an irgend etwas waren<< (Gould 1984:31). Gould sieht in solchen Nichtadaptionen die Grundlage der Flexibilität unseres Gehirns und nimmt an, >> dass das meiste von dem, was unser Gehirn heutzutage tut, das meiste was uns so distinkt menschlich (und flexibel) macht, als Konsequenz der nicht – adaptiven Folgeerscheinungen auftrat, nicht aber der primären Anpassung selber- denn diese Folgeerscheinungen waren sehr viel zahlreicher und zur Weiterentwicklung geeigneter<< (Gould 1984:32).“ (Engels, 1989, S.329)

Engels zieht daraus den bewertenden Schluss:

„Diese sich auf das Phänomen der Präadaption bzw. Exaptation stützende Argumentation erscheint plausibler als die Annahme einer Fixiertheit unseres Erkenntnisapparats auf den damaligen Mesokosmos, weil sie auch die Entstehung einer komplexeren Umwelt, unsere >> anthropogene<< Welt, erklären kann.“ (Engels, 1989, S.330)

---

<sup>558</sup> Die zierte Mail-Antwort Vollmers mit dem Hinweis auf den hypothetischen Realismus Poppers lässt eher vermuten, dass Vollmer zwar von evolutionär begründbaren Schwierigkeiten des Vorstellungsvermögens aber nicht von einer strikten Beschränktheit kognitiver Potentiale ausgeht, die endgültig verhindern würde, über einen als dreidimensional wahrgenommenen Mesokosmos hinaus zu denken. Hier wäre allenfalls durch Detailanalyse zu klären, ob und wie weit eine evolutionär begründbare Art von Vertrautheit mit einem Mesokosmos oder einer Umwelt mit Poincarés Charakterisierung der euklidischen Geometrie als „bequem“ kompatibel sind. Indem man unterstellt, dass bereits dieser Mesokosmos bzw. diese Umwelt simplexe viable Konstrukte sind, die für „eine interne Eigenschaft menschlicher Intelligenz“ (Poincaré, 1914, S 99, siehe oben) am einfachsten praktikabel erfassbare „Bilder“ sind, aber eben nicht die einzig (denk-) möglichen. (Cf. Bilder bei Poincaré, und Boltzmann sowie Berthoz Simplexité)

In gewissem Sinn bleibt aber Engels damit bei einem klassischen Adaptionsmodell, weil sie die den Mesokosmos überschreitenden Potentiale wiederum als Anpassung interpretiert, nur halt an spätere sozial und kulturell erweiterte Gegebenheiten. Hingegen sehe ich ausgehend von weitgehend autopoietischen Systemen in Verbindung mit der Enzephalisation der Wahrnehmung gemäß der Eigendynamik komplexer neuronale Systeme die Möglichkeit, eine weitgehend autonome kognitive Plastizität etablieren zu können, die nicht als Anpassung an komplexere bzw. neuartige Gegebenheiten zu verstehen ist, sondern die gemäß ihrer Eigendynamik die externe Realität konstruierend gestaltet. Also, wenn man so will, eine Plastizität, **die sich nicht der externen Realität anpasst, sondern sich die externe Realität „anpasst“**. Diese Interpretation scheint sowohl mit Poincarés „cachera éternellement“ und seiner Distanzierung von einem determinierenden Apriori, als auch mit Berthoz Simplexité bzw. Emulation kompatibel zu sein. Und auch mit Poincarés Aussage über die „Rahmen“: „Nicht die Natur drängt sie uns auf, wir drängen sie der Natur auf, weil wir sie bequem finden;...“ (Poincaré, 2013b, S. 9).

Entsprechend affirmative Indizien für eigendynamisch gestaltende Potentiale finden sich u.a. auch bei Uexküll, Maturana, Varela, Linas, Oeser und der Frankfurter Evolutionstheorie.

#### 15.11.2 Plastizität des ererbten Umgangs mit Raumwahrnehmung: Poincarés Beispiel erfolgreicher Fischjagd trotz optischer Brechung

Bezüglich der von Engels monierten Flexibilität bildet es zumindest ein anekdotisch reizvolles und in gewissem Maße pointiertes Detail, dass Poincaré selbst in einem Beispiel, das sich auf den Bereich der Wahrnehmung unter widrigen optischen Umständen bezieht, auf eine gewisse Plastizität des ererbten Umgangs mit Raumwahrnehmung hinweist.

In einem Kapitel über die Relativität des Raumes schreibt Poincaré im Zusammenhang mit der Möglichkeit, sich einen Raum jenseits der durch Vererbung gewohnten Charakteristik vorzustellen:

„The part of the race seems indeed preponderant; yet if to it we owe rough space, the soft space I have spoken of, the space of the higher animals, is it not to the unconscious experience of the individual we owe the infinitely precise space of the geometer? This is a question not easy to solve. Yet we cite a fact showing that the space our ancestors have bequeathed us still retains a certain plasticity. Some hunters learn to shoot fish under water, though the image of these fish be turned up by refraction.“ (Poincaré, 1913 /1946 S. 429)

Diese Passage zeigt, wie subtil und problembewusst Poincaré mit diesen heiklen Fragen umgeht, aber sich in Summe deutlich von einem stringenten Determinismus durch Anpassung distanziert und bezüglich des Umganges mit Raum gemäß „still retains a certain plasticity“ auf eine gewisse Plastizität zu Gunsten weiter reichender (visuo-) kognitiver Potentiale vertraut.

#### 15.12 Resümee: Poincarés Ansatz widerspricht evolutionärem Determinismus

Weder können noch sollen hier die Strukturen der externen Realität untersucht oder spekulative Modelle darüber entworfen werden. Die hier verfolgte Frage bezieht sich nur darauf, ob ausgehend von seinen vielfachen Appellen an die „Erfahrung der Vorfahren“ oder die „sélection naturelle“ im Ansatz von Poincaré ein Anpassungsbegriff Gültigkeit hat, demgemäß man Poincaré als Testimonial für Richtungen Evolutionärer Erkenntnistheorie heranziehen darf, die ein mehr oder weniger direktes bzw. realistisch abbildendes

(eineindeutiges) Verhältnis zur externen Realität unterstellen. Mit den vorangegangenen Zitaten und Überlegungen sollte gezeigt werden, dass dies dem wesentlich offeneren Ansatz von Poincaré nicht entspricht, sondern explizit widerspricht und dass folglich die als Ausgangspunkt dieser Betrachtungen ins Spiel gebrachte Subsumierung Poincarés durch Eve-Marie Engels, bei aller sonstigen Wertschätzung ihrer Argumente, so nicht mit den Aussagen Poincarés übereinstimmt. Es scheint sogar so zu sein, dass Poincaré geradezu umgekehrt als Protagonist eines Appells an jene weit reichende Plastizität des kognitiven Systems und seiner kreativen Potentiale gelten kann, welche Engels in ihrer Kritik gegenüber an einem Realismus orientierten Anpassungsmodellen evolutionärer Erkenntnistheorie dort als Mangel einmahnt.

Zur Distanzierung von einem zu engen Begriff von Anpassung und einem daraus gefolgerten ontologischen Realismus wird in dieser Arbeit als Ausweg eine autopoietisch interpretierte Entkopplung von der externen Realität nahegelegt, die nicht nur mit aktuellen Auffassungen der Relation zur externen Realität, sondern auch mit der erkenntnistheoretischen Haltung Poincarés kompatibel ist. Folglich ist es auch erwähnenswert, dass es schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts und auch im näheren zeitgenössischen Umfeld Poincarés Konzepte gibt, welche die gestaltende Eigendynamik von Lebewesen zum Ausdruck bringen.

## 16 KOMPARTIMENT Milieu biologischer und evolutionärer Modelle

In diesem Abschnitt wird versucht, die Nähe zur Biologie und einige historische Aspekte der in Betracht stehenden Konzepte ergänzend zu illustrieren, um dadurch auch die komplexe und durchaus diffizile Relation Poincarés zur Evolutionären Erkenntnistheorie differenzierter darzustellen.

Wenn man im Rahmen eines biogenic approach to cognition beim Aufsuchen von rudimentärsten Ansätzen kognitiver Potentiale notwendigerweise den gestaltenden Einfluss evolutionärer Faktoren gelten lässt und gleichzeitig die Dreidimensionalität als determinierendes Apriori komplexer kognitiver Potentiale auf Distanz halten will, dann provoziert das den Bedarf nach Konzepten, welche den Organismen aller Komplexitätsgrade eine hohe evolutionäre Eigendynamik und Potentiale zur Selbstorganisation zutrauen bzw. zugestehen. Dafür gibt es nicht nur Modelle aus jüngerer Zeit, sondern auch Ansätze, die weit zurückreichen.<sup>559</sup> Auch wenn diese Konzepte vorrangig auf biologische Aspekte ausgerichtet sind, haben die Autoren vielfach auch damit verbundene erkenntnistheoretische Konsequenzen ins Spiel gebracht.

Das betrifft unter anderem die Begriffe Selbsterhaltung und Selbstgestaltung, das Modell der Autoergasie von Wilhelm Roux, die Umweltlehre von Uexküll, Ilya Prigogines Unterscheidung von konservativen und dissipativen Systemen, das von Heidelberger angesprochene Innen-Außen Problem bei Johannes Müller\*, die Integration der Muskelsinne durch Charles Bell zur Begründung eines erweiterten Begriff des Sehens und eine evolutionär frühe Tendenz zur Entkoppelung von der externen Realität, wenn gemäß Paslack biologische Randbedingungen

---

<sup>559</sup> Cf. Toepfer (2011)

(in Form genetisch codierter biologischer Information) für die evolutionäre Optimierung des Biosynthesezyklus wichtiger sind, als die physikalischen Milieubedingungen.

Es geht auch um einen von Uexküll ausgehenden Paradigmenwechsel vom gestalteten zum gestaltenden Lebewesen und um das Modell der Frankfurter Evolutionstheorie, in dem Organismen autoformative Subjekte der Evolution sind.

Ein weiterer Assoziationsbereich geht mit Referenz auf Berthoz und Llinás davon aus, dass Bewegung Kognition begünstigt. Darin wird versucht, die Motilität der Seescheide mit Poincarés Konzept der Bewegung in Zusammenhang zu bringen.

Mit Müllers\* Modell der „spezifischen Sinnesenergien“ und Uexkülls Zeichentheorie wird eine Entkoppelung von der externen Realität geltend gemacht, die einen naiven Realismus konterkariert und in ein konstruktivistisches Milieu führt, das Poincarés Indeterminismus unterstützt.

Daraus ergibt sich die Einschätzung, dass Poincarés Zugang zum Verständnis vom Raum und seinen Dimensionen, welcher auf einem selbstbezogenen Konzept basiert, mit historischen und aktuellen autopoietischen Modellen kompatibel ist.

#### 16.1 Begriffe Selbsterhaltung und Selbstgestaltung sind mehrdimensional und verbinden Biologie, System- und Erkenntnistheorie

Geht man der Tradition des Begriffs Selbsterhaltung nach, dann trifft man schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts und teilweise noch davor auf einen Gebrauch dieses Ausdrucks oder überschneidender Synonyme, welche sich auf Konzepte beziehen, die biologische Fragen unter Einbeziehung erkenntnistheoretischer Aspekte zur Interpretation von Lebewesen als weitgehend autonom organisierte Systeme in Betracht ziehen. Dabei treten auch Modelle ins Licht, die dem Konzept der Autopoiesis nach Maturana und Varela sehr nahe stehen und teilweise auch mit sehr ähnlichen Begriffen (tw. Neologismen) versuchen, das Spezifische ihres Ansatzes zu verankern

Um hier eine Überfrachtung zu vermeiden, werden von den hier in Betracht zu ziehenden historischen und aktuelleren Konzepten zunächst nur einige Proponenten bzw. Stichworte genannt, die im Anhang ausführlicher dargestellt werden. Dazu gehören u.a. Johannes Müllers\* spezifische Sinnesenergien (1826) als paradigmatischer Meilenstein der Erkenntnistheorie, Wilhelm Roux' Begriff der Autoergasie, Bertalanffys Hinweis auf Uexkülls Umweltlehre, Prigogines Unterscheidung von konservativen und dissipativen Systemen, Manfred Eigens Entstehung biologischer Information innerhalb eines selbstinduktiven Biosynthesezyklus sowie die Frankfurter Evolutionstheorie.

#### 16.2 Bewegung begünstigt Kognition: Von der Motilität der Seescheide zu Poincarés Konzept der Bewegung

In diesem Zusammenhang ist es bemerkenswert, dass in einem Kapitel über die Relativität des Raumes Poincaré dem Aktionsraum der Armbewegungen und darüber hinaus vor allem unserer Möglichkeit zu weiter reichender Motilität des gesamten Körpers eine bedeutsame Rolle zur Entwicklung einer den Greifraum überschreitenden Raumvorstellung zumisst. Dazu kommt als Pointe, dass Poincaré dabei akkurat die gegenteilige Situation eines sessilen Meerespolypen als Beispiel eingeschränkter Räumlichkeit ins Treffen führt und so dem von Berthoz und Llinás ins Spiel gebrachten Beispiel der motilen Larve der Seescheide frappierend nahe ist.

„Der so geschaffene Raum ist nur ein kleiner Raum, nicht größer als meine Armeslänge beträgt; man benötigt die Vermittlung des Gedächtnisses, um die Grenzen dieses Raumes zu erweitern. Es gibt Punkte, die außerhalb meines Bereiches bleiben werden, auch wenn ich noch so viele Anstrengungen mache, um sie mit der Hand zu erreichen; wenn ich z. B. wie ein Meerpolyp, der nur seine Tastarme ausstrecken kann, an den Boden gefesselt wäre, so würden mir diese Punkte alle als außerhalb des Raumes befindlich erscheinen, weil die Sinnesempfindungen, die in uns unter der Einwirkung der dort vorhandenen Körper entstehen könnten, nicht mit der Idee irgendeiner Bewegung assoziiert wären, welche uns sie zu erreichen gestattete,... Diese Empfindungen würden für uns scheinbar keinen räumlichen Charakter haben, und wir kämen nicht in die Versuchung, sie irgendwo zu lokalisieren.“ (Poincaré, 1914, S. 91 f.)

So entspricht es wohl zu Recht der themengemäßen Argumentationslinie dieser Arbeit, auch dem Konzept der Bewegung und seiner Rolle bei Entwicklung räumlicher Potentiale sowie deren neurophysiologischen Korrelaten bis zur Ebene einfachster Organismen nachzuspüren.

Hayes Satz « Only organisms that move have brains »<sup>560</sup> und Berthoz' « l'origine de la pensée réside dans la nécessité de bouger » (s.u.) betonen den zentralen Wert von Motilität für die Evolution kognitiver Potentiale.

Berthoz betont, dass Denken eng mit der Vorstellung der Bewegung verbunden ist und bezieht sich dabei auf geometrische Vorstellung bei Poincaré: Poincaré said: „To imagine a point in space is to imagine the movement to make it.“<sup>561</sup>

Weiters geht Berthoz davon aus, bzw. sieht gute Gründe zur Annahme, dass eigenaktive Fortbewegung (Motilität) eine auslösende und förderliche evolutionäre Grundlage der Entstehung kognitiver Systeme ist, und das ist im Sinn biologischer Evolution gemeint, die schon mit Beispielen einfachster Lebewesen als darstellbar erscheint. Berthoz zitiert dazu Rodolfo Llinás, der dies mit einer eindrucksvollen Beobachtung an der Entwicklung einer Seescheide (sea squirt) sehr pointiert zum Ausdruck bringt. Während die motile Larve dieser Seescheide ein Ganglion besitzt (und damit einen wenn auch rudimentären neurophysiologischen Komplex für Konzepte der Fortbewegung), wird dieses „intelligente Organ“ von der Seescheide wieder verdaut, sobald sie sessil geworden ist.

Der relevante Anknüpfungspunkt hinsichtlich des im Zuge dieser Arbeit weitläufig verfolgten Komplexes Enzephalisation und Entwicklung kognitiver Potentiale ist Berthoz' Satz: „...l'importance du mouvement. D'autant que, comme l'a magnifiquement montré Llinás(9), l'origine de la pensée réside dans la nécessité de bouger, dans le mouvement.“ (Berthoz, 2009, S. 24)

Eine Passage aus der Beschreibung von Llinás' Buch erläutert den hier angesprochenen Zusammenhang mit der Seescheide:

“In I of the Vortex, Rodolfo Llinas, a founding father of modern brain science, presents an original view of the evolution and nature of mind. According to Llinas, the mindness state evolved to allow predictive interactions between mobile creatures and their environment. He illustrates the early evolution of mind through a primitive animal called the sea squirt. The mobile larval form has a **brainlike** ganglion that receives sensory information about the surrounding environment. As an adult, the sea squirt attaches itself to a stationary object then digests most of its own brain. This suggests that the nervous system evolved to allow active movement in animals. To move through the environment safely, a creature must

---

<sup>560</sup> „Only organisms that move have brains, Llinás points out.... The notion that the "I" of consciousness evolved from a central facility for planning and predicting movement is one of the major themes that Llinás wants to convey in this book.“ (Hayes, 2001, S. 370 ?)

<sup>561</sup> Von mir wiedergegebene Passage aus Videointerview: Berthoz, The study of the brain, plain and simplex (<https://www.youtube.com/watch?v=8whaC05VwYs> 20.1.2016) ca. 12'10").

anticipate the outcome of each movement on the basis of incoming sensory data. Thus the capacity to predict is most likely the ultimate brain function. One could even say that Self is the centralization of prediction.” (Llinás, 2001, Klappentext) <sup>562</sup>

Hinsichtlich der frühen evolutionären Grundlagen ist schon bei einfachsten Lebewesen der Themenkomplex Symmetriebruch und Ausbildung von Körperachsen zu beachten. <sup>563</sup>

À la longue betrachtet trägt dies auch zur Entwicklung eines Körperbaus von Wirbeltieren bei, der sich für gezielte Fortbewegung und auch für die Ausbildung paariger Augen als günstig erweist; also zwei Aspekte betrifft, die im Zuge dieser Arbeit eine erhebliche Rolle spielen. <sup>564</sup>

### 16.3 Relationen der Ansätze von Uexküll, Müller\* usw. zu den Überlegungen Poincarés?

Einen motivierenden Hintergrund zum Einbeziehen der oben genannten Konzepte bildet die Annahme, dass Poincarés Verständnis von Geometrie stark auf die Interaktion mit der externen Realität unter Berücksichtigung der damit evolutionär entstandenen Wahrnehmungssysteme und kognitiven Potentiale ausgerichtet ist.

So ergibt sich aus Sicht der Anbindung an das Thema dieser Arbeit z.B. die pragmatische Frage nach möglichen Relationen von Uexküll zu den Überlegungen Poincarés.

Es wurde nicht vorrangig und systematisch danach recherchiert, aber im Zuge der Lektüre sind (mir) keine unmittelbaren Querverweise im Sinn von Zitaten oder Nennungen in Bibliographien aufgefallen. Bezüglich Jacob von Uexküll ist zu beachten, dass seine grundlegende Schrift „Umwelt und Innenwelt der Tiere“ 1909 publiziert wurde, also relativ bald nach Poincarés Werk „Wissenschaft und Hypothese“, das auf Französisch 1902 und deutsch 1906 erschienen ist. Im Verzeichnis der Archives Henri Poincaré der Université de Lorraine findet sich kein Eintrag einer Korrespondenz von Poincaré und Uexküll. Eine Anfrage an das Uexküll Archiv für Umweltforschung und Biosemiotik der Universalität Hamburg hat bezüglich allfälliger Rezeption in die eine oder andere Richtung bisher folgendes Ergebnis erbracht: Dr. Joachim Schult bezeichnet die Fragestellung als äußerst interessant und sieht grundsätzliche Parallelen dahingehend, dass Poincaré zu den Wegbereitern der Chaostheorie gehört und Uexküll die Darwin’sche Evolutionstheorie in ihrer deterministischen Auslegung ablehnte. <sup>565</sup> Nicht nur der Aspekt der Chaostheorie, sondern gerade auch die Distanzierung von einem evolutionär bedingten Determinismus erscheint im hiesigen Kontext als bemerkenswert. <sup>566</sup>

Auf Ebene der Konzepte von Raumwahrnehmung sieht Alain Berthoz gewisse Übereinstimmungen:

“For von Uexküll there is a fundamental reference frame: the vestibular system. He writes: “All the animals which have three circular semi canals also have a notion of three-dimensional space”<sup>9</sup> This

<sup>562</sup> Anm. Ö> Seescheide: offenbar wird nur ein komplexerer Teil zurückgebildet, während auch im sessilen Stadium ein Ganglion erhalten bleibt!

<sup>563</sup> Cf. Bilateria

<sup>564</sup> Es sei hier die selbstironische Bemerkung erlaubt, dass trotz penetranter Gewohnheit, schon rudimentärste Indizien als weit hergeholte evolutionäre Hintergründe kognitiver Potentiale geltend zu machen, dabei doch nicht so weit gegangen wird, das Ganglion der motilen Larve der Seescheide zu einem neurophysiologischen Ausgangspunkt eines protoperipatetischen biogenic approach to cognition in Betracht zu ziehen, nur weil in trivialer Auslegung die Schule der Peripatetiker gemeinhin mit dem Diskurs beim Gehen in der Wandelhalle assoziiert wird. Schon gar nicht ist auch noch unter dem Aspekt von bewegungsinduzierter Exaptation davon auszugehen, dass das Gehirn als neuronales Korrelat eines entsprechend philosophierenden Denkens im Rahmen der Plastizität des Konnektoms zu einem aristotelisch geschulten Gehirne modifiziert wurde. ☺

<sup>565</sup> Mail Dr. Joachim Schult vom 5.8.2017

<sup>566</sup> Cf. Kap. Zu Gunsten von Poincarés Indeterminismus

statement was also made by Poincaré, who wrote that Japanese mice, which have only two semi-circular canals, also only have a perception of two-dimensional space! These ideas of Poincaré and von Uexküll were very similar in that they thought that space was an active construct: ..." (Berthoz, 2009, S. 20)

Eine für die Fundamente von Geometrie relevante Affinität zwischen Uexküll und Poincaré kann man auch aus einem von Konrad Lorenz kolportierten Statement ableiten, wenn er über die Definition von Gegenständen schreibt: „Jakob von Uexkülls einfache Definition lautet: Ein Gegenstand ist das, was sich zusammen bewegt.“ (Lorenz, 1975, S. 157) Diese Definition ist kompatibel mit Poincarés Konzept der Bewegung und dem in dieser Arbeit propagierten Modell einer Objektkonstruktion durch Bildung von Gruppen koinzidenter Stimuli, die über die statistisch valide Häufigkeit ihres gemeinsamen Auftretens hinaus auch noch nach dem sehr selektiven Kriterium Kovarianz als beständig verifiziert werden können. Nämlich so, dass durch Relativbewegungen induzierte Veränderungen der Erscheinung durch intuitive oder bewusste Bewegungen des Betrachters kompensiert bzw. gemäß nachweisbarer Regelmäßigkeit geometrisch rekonstruiert werden können.

Zu beachten wäre auch noch, dass sich beide Wissenschaftler mit den Theorien von Helmholtz beschäftigt haben. Über diese allenfalls noch verifizierbaren Fakten hinaus ergibt sich unabhängig von konkret belegbarer Rezeption aber auch aus der Lektüre der Eindruck einer Kompatibilität der Ansätze Poincarés, die auch Assoziationen zu Johannes Müller\* wecken.

Als exemplarisches Indiz soll gelten, dass im Zusammenhang mit dem „Gesichtsraum“ Poincaré bezüglich der von zweidimensionalen Netzhautbildern ausgehenden Genese der dritten Dimension auf die mit Konvergenz und Akkommodation verbundenen Muskelempfindungen als fundamentale Faktoren zu sprechen kommt.

„Die dritte Dimension wird uns auf zwei Arten offenbart: durch die Anstrengung beim Accomodieren und durch die Konvergenz der Augen.“ (Poincaré, 1906, S. 55)<sup>567</sup>

Poincarés Hinweis auf „Empfindungen“ und „Anstrengung“ könnte/dürfte in Grundzügen mit jenen Komponenten kompatibel sein, durch die laut Heidelberger bei Müller „aus dieser grundlegenden Selbstempfindung des Leibes schließlich eine Wahrnehmung *äußerer* Objekte wird.“ (Heidelberger, 1997, S.3)

Ein ähnliches Potential als Indiz der Selbstbezogenheit hat nach dieser Lesart auch Poincarés Überlegung zur Lokalisierung eines Punktes im Raum:

„Was soll es aber bedeuten, wenn man nun sagt, daß wir ein bestimmtes Objekt an einem bestimmten Punkt des Raumes ‚lokalisieren‘? Das bedeutet einfach, dass wir uns die Bewegung vorstellen, welche man ausführen muß, um zu diesem Objekte zu gelangen.“ (Poincaré, 1906, S. 59)<sup>568</sup>

Über die konkreten Beispiele hinaus darf für eine Affinität Poincarés zum Milieu autopoietischer und konstruktivistischer Konzepte wohl gelten, was im Zusammenhang mit den Fragen von Selbstorganisation und Systemtheorie schon angedeutet wurde.

Auch Frank Mußman betont mit Bezugnahme auf Paslack die Rolle Poincarés in diesem Milieu:

„Rainer Paslack untersuchte ausführlich die Vorgeschichte der Selbstorganisationsforschung; im Detail hebt er als Vorarbeiten hervor die >>...Arbeiten von Poincaré zum Dreikörperproblem und von

<sup>567</sup> Cf. Konvergenz und Akkommodation: Ein akkordiert wirkendes, aber ungleiches Paar der Nahbereichstrias (Anhang)

<sup>568</sup> Cf. Berthoz: "Poincaré said: „To imagine a point in space is to imagine the movement to make it“ (Berthoz, 2011, Video)



Bertalanffy zur Theorie offener Systeme...Maxwells Reformulierung des Kausalprinzips, die Entdeckung der Mechanismen der biologischen Evolution durch Darwin, die thermodynamische Behandlung irreversibler Prozesse, die Erkenntnis der Ganzheitlichkeit des Organismus (Driesch), die Postulierung der Gesetze der Gestaltwahrnehmung (Köhler)...>Müllers Gesetz< der spezifischen Nervenenergie, die ersten neuronalen Vernetzungsmodelle (McCulloch / Pitts), die kybernetische Beschreibung von Rückkopplungsvorgängen, die Formulierung allgemeiner Systemgesetze...“ (Mußmann, 1995, S. 232)

#### 16.4 Poincarés Zugang zum Verständnis vom Raum und seinen Dimensionen basiert auf einem selbstbezogenen Konzept, das mit autopoietischen Modellen kompatibel ist

Vor diesem Hintergrund betrachtet scheinen sich in einer Passage Poincarés über die Möglichkeit „dem Raum eine vierte Dimension zu geben“ Überlegungen abzuzeichnen, die in ihrer Konzeption mit autopoietischen Modellen als kompatibel erscheinen. Akkurat in einem Kapitel mit dem Titel „Der Geist und der Raum“ appelliert Poincaré an die wichtige Rolle von Muskelempfindungen, die durch unsere Erfahrungen in Reihen klassifiziert und durch ein >sehr verwickeltes Gewebe< verbunden sind.

„Wenn man sagt, unsere Empfindungen seien ausgedehnt, so kann man damit nur meinen, daß sie immer mit der Vorstellung gewisser Muskelempfindungen verknüpft sind, die den Bewegungen entsprechen, durch die wir den Gegenstand, der sie verursacht, erreichen würden, mit anderen Worten, durch die wir uns ihrer erwehren. Und gerade weil diese Verbindung zum Schutz des Organismus nützlich ist, ist sie so alt in der Geschichte der Art und erscheint uns unzerstörbar. Nichtsdestoweniger ist es nur eine Ideenverbindung, und es ist denkbar, daß sie durchbrochen würde. Man darf also nicht sagen, daß die Empfindung nicht in das Bewußtsein eintreten könne, ohne in den Raum einzutreten; man kann nur sagen, daß sie in *Wirklichkeit* nicht in das Bewußtsein eintritt, ohne daß sie zugleich in den Raum eintritt, das heißt, ohne daß sie in diese Verbindung aufgenommen werde.“ (Poincaré, 1910, S. 98) <sup>569</sup>

„Es sei mir erlaubt, mich ... in ganz grober, ungenauer Weise auszudrücken, indem ich sage, daß unsere Reihe von Muskelempfindungen in drei Klassen geordnet sind, die den drei Dimensionen des Raums entsprechen...Wenn ich mir eine vierte Dimension vorstellen will, so denke ich mir eine andere Reihe von Muskelempfindungen, die einer vierten Klasse angehört. Da aber alle meine Muskelempfindungen schon in einer der bereits existierenden Klasse untergebracht sind, so kann ich mir nur eine Reihe denken, die einer dieser drei Klassen angehört, so daß meine vierte Dimension auf eine der drei anderen zurückführt.“ (Poincaré, 1910, S. 99)

Die Art, wie hier auf Muskelsinne und die systemintern organisierte Verankerung der mit ihnen verbundenen Empfindungen Bezug genommen wird, scheint autopoietischen Konzepten generell, sehr nahe zu stehen bzw. als Komponente eines erkenntnistheoretischen Ansatzes durchaus kompatibel zu sein.

Auch Poincarés darauf folgendes Resümee scheint mit dieser Zuordnung verträglich zu sein:

„Ich glaube also, daß, wenn man unter Raum ein mathematisches Kontinuum mit drei Dimensionen versteht, wäre es auch gestaltlos, der Geist es bildet; aber er schafft es nicht aus nichts, er braucht Material und Vorbilder. Dieses Material und die Vorbilder findet er in sich. Er hat aber nicht nur ein einziges Vorbild, das sich ihm aufzwingt, er hat die Wahl; er kann zum Beispiel zwischen dem Raum mit

---

<sup>569</sup> Diese Passage enthält mehr oder weniger zwischen den Zeilen auch den Ansatzpunkt für das Aufbrechen eines determinierenden Apriori, wenn trotz aller in Betracht bezogenen Hürden betont wird: „Nichtsdestoweniger ist es nur eine Ideenverbindung, und es ist denkbar, daß sie durchbrochen würde.“

vier und dem Raum mit drei Dimensionen wählen. Welche Rolle spielt nun dabei die Erfahrung? Sie gibt ihm die Anleitung, nach der er seine Wahl trifft.“ (Poincaré, 1910, S. 100)

Obige Formulierung „nicht nur ein einziges Vorbild, das sich ihm aufzwingt“ bringt deutlich die Distanzierung Poincarés gegenüber einem determinierenden Apriori der Dreidimensionalität auf Basis von (z.B. evolutionär begründeten) prinzipiell unüberschreitbaren Limiten kognitiver Potentiale zum Ausdruck.

Poincaré schließt sein Kapitel:

„Zum Schluß noch eine Frage: woher kommt der *quantitative* Charakter des Raumes? Er kommt von der Rolle, die die Reihe der Muskelempfindungen bei seiner Entstehung spielen. Es sind die Reihen, die sich wiederholen können, und aus ihrer Wiederholung entsteht die Zahl; weil sie sich endlos wiederholen können, ist der Raum unendlich...Also ist es die Wiederholung, die dem Raum seine wesentlichen Merkmale verleiht. Die Wiederholung aber setzt die Zeit voraus; damit ist gesagt, daß die Zeit logisch früher war als der Raum.“ (Poincaré, 1910, S. 100)

Auch wenn hier ein sehr ambivalenter Raumbegriff zu berücksichtigen wäre, scheint es doch legitim zu sein, auf Basis des ausdrücklichen Apells an die Muskelempfindungen auch die neurokognitiven Aspekte mit ihren biologischen Faktoren als dazu gehörende Perspektive der Betrachtungen zur Geltung zu bringen,

Wenn also Poincaré zu Ende seines hier angesprochenen Kapitels auch noch betont, dass zur fundamentalen Genese dieser Reihen von Muskelempfindungen und der daraus gefolgerten Optionen von Raum die Wiederholung und somit die Zeit entscheidende Faktoren sind, dann weckt dies auch die Assoziation zur schon an anderer Stelle angesprochenen Frage des „Gedächtnisses für regelmäßige Wiederkehr“ von Stimuli bzw. Perturbationen, das in entsprechender Form schon bei einfachsten Lebewesen anzunehmen ist.

#### 16.4.1 Lichtstimuli und Phänomene der Wahrnehmung als eine Art anleitende Erfahrung im Sinne Poincarés

Wenn Poincaré der Erfahrung die anleitende Rolle zur Auswahl der gemäß seiner inneren Vorbilder vom „Geist“ gestalteten geometrischen Konzepte zuschreibt, dann hat dies eine erwähnenswert erscheinende Konsequenz für die Einschätzung der Wahrnehmung.

Im Rahmen eines autopoietisch orientierten biogenic approach to cognition wird in dieser Arbeit versucht, dem dreidimensionalen Eindruck unserer visuellen Wahrnehmung bis auf die Ebene der Lichtsensibilität transmembraner Proteine von Einzellern nachzugehen und schließlich auch Licht als spezifisches Konstrukt mit essentiell Einfluss auf die Evolution kognitiver Potentiale in Ansatz zu bringen. Damit drängt sich im Rahmen einer zweifellos riskant weit gespannten Assoziation die Überlegung auf, die mit Strahlung einhergehenden Perturbationen und die daraus resultierende Option der Evolution visueller Systeme in dieses Modell Poincarés einzubinden. Nämlich so, dass eine entsprechend komplex entwickelte Wahrnehmung sowohl den Anlass gibt als auch eine Form phänomenaler Erscheinung bietet, anhand derer über das Schauspiel der Perspektiven Kriterien wahrnehmbar und als Erfahrung nutzbar werden, die eine Entscheidung darüber ermöglichen, welches Konzept von Geometrie als viabel tauglich und im Sinne Poincarés als bequem nutzbar ausgewählt wird. Damit werden aber als extern wahrgenommene Objekte über die spezifische Rolle für die Auswahl geometrischer Konzepte hinaus zu prinzipiell wertvollen Vehikeln entscheidungsorientierten Denkens. Wobei sich die Folgefrage stellt, ob ein damit notwendig verbundenes Unterscheidungsvermögen nicht überhaupt eine Basis und essentielle Dimension von Denken

ist.<sup>570</sup> Als Pointe ist dabei im Rahmen eines autopoietisch- konstruktivistischen Zuganges zu beachten, dass Licht, Dreidimensionalität der Wahrnehmung und der so erscheinende feste Körper als subjektive Konstrukte mit zumindest unterbestimmter, wenn nicht unbestimmbarer, Relation zur externen Realität in Ansatz gebracht werden. Das würde nahelegen, dass eine sachgemäße Korrelation der Erscheinung des Objekts mit der externen Realität für unser Denken weniger bedeutsam ist, als der Umstand, dass überhaupt eine analysierbare Form von Wahrnehmung/Wahrgenommenem zur Verfügung steht, die als äußerer Anlass für bewusste Überlegungen bemerkt werden kann.<sup>571</sup>

Genau weil der mit konstruktivistischen Auffassungen aktueller Wissenschaften wegweisend verbundene Ansatz Poincarés so umfangreich die Auseinandersetzung mit biologischen und neurokognitiven Aspekten der Raumwahrnehmung und der Rolle von Motilität für die Enzephalisation provoziert, ist der Hinweis auf damit kompatibler Konzepte Evolutionärer Erkenntnistheorie besonders wichtig.

## 17 KOMPARTIMENT Zu Gunsten von Poincarés Indeterminismus

In diesem Abschnitt geht es um folgende Aspekte:

Aktuellere Interpretationen von Evolution konterkarieren einen determinierenden Anpassungsdruck und einen davon abgeleiteten Determinismus, der von der externen Realität ausgeht. Sie eröffnen die Möglichkeit für emergente kognitive Potentiale autonomer Subjekte. Laut Schurz besteht „kein automatischer Zusammenhang von evolutionärem Erfolg und Wahrheitsnähe...“<sup>572</sup> und gemäß Oeser hat die Hominidenevolution einen Erkenntnisapparat hervorgebracht, dessen Reichweite größer ist, als er zum Überleben und zur Arterhaltung nötig ist.<sup>573</sup>

Laut Gruber (2004) bildet das Wirken von Poincaré eine wesentliche Voraussetzung, die dafür notwendige Selbstorganisation im Gehirn beschreiben zu können.

### 17.1 Neuere Konzepte Evolutionärer Erkenntnistheorie

Wenn man Poincarés Hinweis folgt, dass man bei der Suche nach den ersten Spuren räumlicher Assoziationen auch die untergeordnetsten Teile des Nervensystems in Betracht ziehen muss (cf. Poincaré, 1914, S. 91) und dies andererseits bis zum intersubjektiven Aspekt „kooperativer Augen“ (Rötzer, 2006) verfolgt, dann kann man in diesem Sinn sagen, dass es auch für die bevorzugte Stellung, die Poincaré dem hier zur Debatte stehenden visuomotorischen Komplex und den damit verbundenen kognitiven Potentialen einräumt,

---

<sup>570</sup> Das betrifft die Relationen der Potentiale zum Unterscheiden gegenüber zu jenen zur Gruppenbildung. Die auf den zweiten Blick wohl keineswegs trivialen Fragen, ob Denken bzw. Erkennen eher auf das Unterscheiden oder auf das Zusammenfassen ausgelegt oder darin begründet ist, oder wie diese Perspektiven interagieren, werden hier nicht weiter verfolgt. Dennoch ist anzumerken, dass gerade Fragen wie jene nach der Diskretisierung des Ambientes und der geometrieaffinen Formbestimmung von Objekten sowie das Unterscheidungsvermögen Themen sind, die viele Bereiche dieser Arbeit tangieren.

<sup>571</sup> Eine hier nicht weiter verfolgte Assoziation bezieht sich auch darauf, wie weit dieses von Poincaré als Modell angesprochene Wollen und Können des Geistes, sich optional auch eine vierte Dimension des Raumes zu erdenken und allenfalls sogar vorzustellen zu können, in Verbindung zu Schopenhauers *Die Welt als Wille und Vorstellung* gebracht werden kann.

<sup>572</sup> Schurz, o.J., S. 12

<sup>573</sup> Oeser (1987)

durch moderne Verfahren identifizierbare und intensiv untersuchte neurophysiologische Korrelate gibt, und somit Poincarés Argumentationslinie auch auf dieser Ebene durch aktuelle Forschung untermauert wird. Dabei wird im Rahmen dieser Arbeit vor allem die mit der Enzephalisation der Wahrnehmung verbundene neuronale Plastizität betont, welche zu Gunsten des Ansatzes von Poincaré ein determinierendes Apriori konterkariert, weil diese auch von Engels monierte Plastizität auf Basis von Small-World Networks kognitive Potentiale ermöglicht, die nicht gemäß einem zu eng ausgelegten Modell evolutionärer Anpassung in ihrem Erkenntnisvermögen auf einen dreidimensional erscheinenden Mesokosmos beschränkt sind.

Bei der mit Engels geltend gemachten Kritik an zu eng gefassten Modellen Evolutionärer Erkenntnistheorie ist zu beachten, dass der etwa ab der Mitte der 1970er Jahre an der Universität Wien tätige Wissenschaftstheoretiker Erhard Oeser auf zwei Stufen der Evolutionären Erkenntnistheorie hinweist und dabei eine wesentlich höhere Komplexität der kognitiven Potentiale in Ansatz bringt, als dies einfacheren Anpassungsmodellen entspricht.

„Die wichtigste empirische Stütze einer zweiten Stufe der evolutionären Erkenntnistheorie ist...der Nachweis, dass der Selektionsdruck in der Hominidenevolution einen Erkenntnisapparat hervorgebracht hat, dessen Reichweite größer ist, als er zum Überleben und zur Arterhaltung nötig ist.“ (Oeser 1987, S. 9.f.)<sup>574</sup>

Wenn man nun mit Oeser einen so weit reichenden Erkenntnisapparat ins Spiel bringt, dann bleiben aus Sicht traditioneller Anpassungsmodelle in Verbindung mit einem hoch bewerteten Selektionsdruck mit ökonomischer Komponente die Frage bzw. der Einwand bestehen, wie so ein überaus weit reichendes Potential, das noch dazu eines aufwendigen neurophysiologischen Systems bedarf, entstehen bzw. bestehen kann, wenn es der externen Realität nicht möglichst adäquat angepasst ist, um diese auch mit begründetem Wahrheitsanspruch erkennen und danach handeln zu können.

#### 17.1.1 Schurz: Keine zwingende Selektion dysfunktionaler Merkmale – Entkoppelung von determinierendem Realismus<sup>575</sup>

Auf diese bedeutsame Entkoppelung von evolutionärem Erfolg und (auf einen Realismus bezogene) Wahrheitsnähe macht Schurz aufmerksam:

„Doch aus der Sicht der modernen Evolutionstheorie besteht, wie ich ausführte, kein automatischer Zusammenhang von evolutionärem Erfolg und Wahrheitsnähe. Wie es Ghiselin einmal formulierte: die Evolution kümmert sich kein Jota um Wahrheit an sich, solange Ignoranz die Fortpflanzungschancen erhöht.“ (Schurz, o.J. S. 12)<sup>576</sup>

Eine der bei Schurz in diesem Zusammenhang genannten Komponenten bzw. Voraussetzungen ist ein gewisses selektionsresistentes Bestandsvermögen von dysfunktionalen Merkmalen.

---

<sup>574</sup> Vor dem Hintergrund von Potentialen, welche die Notwendigkeiten des unmittelbaren Überlebens überschreiten (können), bezeichnet Oeser das Gehirn auch als „Überschussorgan“, das mit einem selbstreferentiellem Bewusstsein „die reale Außenwelt zum Spiegel interner Konstruktionen machen.“ kann. (Oeser, 1988, S. 189 f.) (Siehe unten)

<sup>575</sup> Cf. Schurz Anhang

<sup>576</sup> Michael Tenant Ghiselin: „Der Evolutionsbiologe arbeitete zudem zur Geschichte und der Philosophie der Biologie. Die historischen Arbeiten befassen sich vor allem mit Charles Darwin, in dem Kontext er 1973 den Begriff evolutionäre Psychologie einführte,.... Ghiselin schlug 1974 vor, das abstrakte und statische mathematische Klassenkonzept durch ein Konzept zu ersetzen, in dem Arten als Individuen aufzufassen sind, die (im Unterschied zu Klassen) in Raum und Zeit Veränderungen unterworfen sind.“ ([https://de.wikipedia.org/wiki/Michael\\_Ghiselin](https://de.wikipedia.org/wiki/Michael_Ghiselin) 10.8.2019). Wenn man von so einem Konzept ausgeht, dann sollte man wohl nicht von „unterworfen sind“ sprechen, sondern von Individuen, die zur Veränderung fähig sind.

Es bildet einen etwas kokett erscheinenden Anschluss, wenn man mit dem Stichwort „disfunktional“ hier akkurat das Gehirn ins Spiel bringt, dessen neurophysiologische Komplexität jedenfalls eine bedeutsame Komponente des von Oeser ins Treffen geführten Erkenntnisapparates ist, auf den sich der hier vorgetragene Versuch stützt, eine Lockerung jener anpassungsbedingten Limitierung des Erkenntnisvermögens herbeizuführen, die Engels kritisiert.

Das von Schurz lancierte Zurückdrängen eines radikal selektiven Einflusses der externen Realität erhält auch durch Aussagen des Biologen und Hirnforschers Roth Auftrieb:

„Die Prinzipien der Evolution weichen z.T. erheblich von denen ab, welche die EE (Ö> Evolutionäre Erkenntnistheorie) in der Nachfolge des Neodarwinismus annimmt. Der kritische Begriff ist dabei derjenige der *Anpassung* ....Wichtig waren dabei die Entdeckungen....(b) daß umgekehrt Organismen sich zum Teil stark änderten, obwohl ihre Umwelt sich nicht änderte...Ganz offenbar übt die Umwelt auf die Evolution der Organismen nicht die *determinierende* Kraft aus, die ihr der Neodarwinismus zuschreibt...Für das Überleben genügt es, gewisse Minimalbedingungen z.B. hinsichtlich Nahrungserwerb, Flucht, Reproduktion, Stoffwechsel zu erfüllen, die zur erfolgreichen Erhaltung des Individuums und der Art führen. Die Umwelt definiert diese Minimalbedingungen, sie setzt eine *untere* Grenze, sie wählt aber in aller Regel nicht den „Bestangepassten“ aus.“ (Roth, 1997, S. 346 f.)

„Was hier für den Organismus allgemein gesagt wurde, gilt auch für das Gehirn und seine kognitiven Funktionen. Die meisten Merkmale der funktionalen Organisation des Gehirns sind nur unspezifisch genetisch festgelegt, sie gehorchen überwiegend epigenetischen, selbstorganisierenden und erfahrungsabhängigen Prozessen...Die vergleichende Hirnforschung hat in den letzten Jahren viele Beweise dafür geliefert, daß die Hirnevolution stark eigengesetzlich verlaufen ist...Die EE nimmt daher fälschlicherweise an, der Mensch könne nur dann überleben, wenn die kognitiven Prinzipien des Menschen den Merkmalen der objektiven Welt zumindest in wesentlichen Punkten entsprechen.“ (Roth, 1997, S. S 348)

Von diesem Hintergrund aus schließt sich Roth der schon von Engel vorgetragenen Kritik an Vollmer an, distanziert sich aber von der Annahme einer für sich als dreidimensional im Sinn euklidischer Geometrie bestehenden Welt.

„Zum anderen trifft natürlich auch die Aussage, der Raum sei *objektiv* euklidisch nicht zu. Es gibt eine Reihe von Hypothesen über die Struktur des Raumes, euklidische wie nicht – euklidische. Alle diese Hypothesen sind Teil unserer kognitiven Welt und werden, falls sie überhaupt überprüft werden können, in dieser kognitiven Welt überprüft. Ich teile mit der EE die Grundanschauung, daß Kognition ein biologisches Phänomen ist. Aus der biologisch- evolutiven Bedingtheit der Kognition und der Vermutung, daß sie *hinreichend* für das Überleben war, läßt sich jedoch keine Objektivität unseres Wissens ableiten.“ (Roth, 1997, S. 349)

Diese Aussagen Roths bergen eine gewisse Ambivalenz, weil sie einerseits die in dieser Arbeit verfolgte Distanzierung von einer für sich dreidimensional bestehenden externen Realität bestärken oder zumindest den Zweifel konvergent mit der Argumentation von Schurz neurokonstruktivistisch begründen. Andererseits wird, von einer biologisch - evolutiven Bedingtheit ausgehend, die Möglichkeit der Objektivität von Wissen radikal in Frage gestellt. Das provoziert ein Dilemma, welches nicht nur diese Arbeit, sondern auch Poincarés Plädoyer gegen ein determinierendes Apriori der Dreidimensionalität betrifft, wenn er im Zusammenhang mit einer vierten Dimension sagt „unsere Sinne lassen uns im Stich“. <sup>577</sup> Die

---

<sup>577</sup> „Unglücklicherweise können unsere Sinne uns nicht sehr viel dabei helfen; sie lassen uns im Stich, sobald wir uns über die klassischen drei Dimensionen erheben wollen.“ (Poincaré, 1914, S. 32) Gemäß den Überlegungen dieser Arbeit, dass akkurat das visuelle System zu einer Enzephalisation und emergentem Bewusstsein beigetragen hat, könnte man sogar (etwas kokett) sagen, dass die Sinne, die uns unmittelbar im Stich lassen, trotzdem die Möglichkeit eines Indeterminismus komplexer kognitiver Potentiale begründen.

hier vertretene Linie versucht Poincarés Ausweg aus diesem Dilemma zu folgen und für die Dreidimensionalität phänomenaler Wahrnehmung eine Art relativized apriori<sup>578</sup> gelten zu lassen. Dem wird aber mit dem Aufzeigen der evolutionären Strukturen von Small-World Networks usw. im Rahmen einer autopoietischen Entkopplung ein die Datenlage der sinnlichen Wahrnehmung übersteigendes Erkenntnisvermögen angefügt, das über einen biogenic approach to cognition in Verbindung mit Aufrechterhaltung der Homöostase eine viable Bedeutungszuweisung auf Basis von Koinzidenz externer Stimuli und systemspezifischer Perturbationen zulässt und sich besonders auf die Auswertung von Strukturen<sup>579</sup> beruft. Dabei soll eine beständige Kovarianz von Relationen als ein sehr selektives Kriterium zum Eliminieren zufälliger Koinzidenz gelten. Dazu kommt, dass gemäß hier verfolgter Hypothese, die phänomenale Dreidimensionalität keine Anpassung an die externe Realität, sondern ein (weitgehend) autonomes Konstrukt einer Selbstoptimierung darstellt. Wenn ein hochkomplexes neurokognitives System zur viablen Effizienzsteigerung einen simplexen Modus Operandi für bestimmte Funktionen entwickelt, dann kann das ja auch durch eine Beschränkung dieses Funktionsbereichs erfolgen. Wenn also nach hier vertretener Auffassung die Genese räumlicher Wahrnehmung auch mit Selbstbeschränkung<sup>580</sup> zu tun hat, dann kann aus der- wie weit auch immer reichenden- Beschränktheit dieses Teilsystems nicht prinzipiell auf eine idente Beschränktheit des gesamten kognitiven Systems mit umfassend determinierender Wirkung geschlossen werden.<sup>581</sup>

All dies soll die Möglichkeit emergenter intuitiver und rationaler Potentiale so untermauern, dass Poincarés Modell von Objektivität durch intersubjektiven Abgleich der über spontane bzw. triviale Kausalattribution hinausgehenden, logisch qualifizierten Schlussfolgerungen vernünftiger Wesen auch aus Perspektive Evolutionärer Erkenntnistheorie als tragfähig gelten kann. Wobei gemäß Poincarés methodisch subtiler (Selbst-) Beschränkung gilt, dass auch eine konventionell verifizierte Theorie eine hypothetische Basis hat, die ein permanentes Überprüfen durch Experimente erforderlich macht. Daraus wird hier, wie auch schon an anderer Stelle, der Schluss gezogen, dass objektive Erkenntnis in dem Sinn möglich ist, dass (zumindest pragmatisch gültig) verifiziert werden kann, welche hypothetisch konzipierten und theoriebezogen geprüften Interaktionen die externe Realität zulässt. Wie ebenfalls an anderer Stelle erwähnt wird, folgt daraus keine ontologische Aussage, dass die externe Realität insgesamt so und nur so beschaffen sei. Das wird als konvergent mit Poincarés „cachera eternellement“ geltend gemacht. Eine detailliertere Kompatibilität oder Divergenz mit den Aussagen von Roth wird bezüglich des speziellen Zitats nicht weiter untersucht. Allerdings wird sein Neurokonstruktivismus als vielfältig nützliche Basis der hier vorgetragenen Argumentation eingeschätzt und auch so verwendet; speziell auch für jene zu Gunsten von Poincarés Indeterminismus.

## 17.2 Progressive Enzephalisation der Wahrnehmung

Nach Oeser hat eine markante Entwicklung des Gehirns mit der progressiven Enzephalisation der Wahrnehmung zu tun. (Cf. Oeser, 1988, S. 37)

---

<sup>578</sup> Cf. Biagioli/Hölder

<sup>579</sup> Cf Strukturenrealismus, Ladyman

<sup>580</sup> Cf. 3D als simplexer quick&dirty Modus, cf. Glossar > quick&dirty

<sup>581</sup> Es wird unterstellt, dass der geläufige Satz „Eine Kette ist nur so stark wie ihr schwächstes Glied“ genau wegen der strukturspezifischen Potentiale von neuronalen small-world Netzwerken hier nicht anwendbar ist.

Oeser bezieht sich auf die schon von Lorenz betonte bedeutsame Rolle des Gehirns, wenn er schreibt:

„Als Resultat dieses Vergleichs ergibt sich jedoch nicht, wie meist der biologischen Evolutionstheorie überhaupt unterschoben wird, eine Einebnung des Unterschiedes von Mensch und Tier, sondern gerade im Gegenteil eine ausdrückliche Sonderstellung des Menschen, die neurobiologisch auf der sog. progressiven Enzephalisation der Wahrnehmung beruht. Damit ist die durch empirische Befunde (endokraniale Ausgüsse von fossilen Hominidenschädeln) gut belegte Tatsache gemeint, dass sich im Laufe der Hominidenevolution die Informationsverarbeitung von der Peripherie (Sinnesorgane) immer mehr ins Zentrum des Nervensystems (Gehirn) verlagert,...“ (Oeser, 1988, S. 38)

Oesers darauf folgende Passage ist ein so komplexes Netz von Argumenten und Hinweisen auf die oben aufgeworfenen Fragen und Probleme, dass die Aussagekraft nicht dem Risiko ausgesetzt werden soll, durch eine interpretierende Kürzung missverstanden zu werden:

Ausgehend von Lorenz betont Oeser:

„...hat die Evolution mit dem Menschenhirn einen Apparat hervorgebracht, der als Überschussorgan die unmittelbaren Bedürfnisse des Überlebens übersteigt. Während aber sonst im Bereich des Organischen stärkere Differenzierung meist zugleich eine Spezialisierung beutete, verhält es sich gerade beim Gehirn als Organ der „Entspezialisierung“ (Seitelberger 1983) ganz anders, worauf auch bereits Lorenz mit besonderer Eindringlichkeit hingewiesen hat... Wenngleich der weitere Ausbau der evolutionären Erkenntnistheorie weit mehr die adaptionsistische als die konstruktivistische Seite betont hat (Vollmer 1975) und die epigenetischen selbstorganisatorischen Prozesse, die vor allem für das Menschenhirn charakteristisch sind, vernachlässigt hat (Roth 1987), sollte mit diesen Hinweisen auf den ursprünglichen neuroethologischen Ansatz von Lorenz klar geworden sein, daß zwischen evolutionärer Erkenntnistheorie und Konstruktivismus kein kontradiktorischer Gegensatz besteht. „Anpassung“ sagt Lorenz, „ist ein vorbelastetes und mißverständliches Wort“ (1941, 1983 S. 99). Richtig verstanden hat es weder mit einer naiven Abbildungstheorie der Wahrnehmung noch mit einer trivialen Korrespondenztheorie der Wahrheit, noch mit einer bloß rezeptiv passiven Vorstellung von der Wahrnehmung zu tun, sondern stellt vielmehr Anfang und Ende des Prozesses menschlicher Erkenntnis dar, der je nach Höhe der Abstraktion mehrere konstruktive Schritte enthält, die jedoch alle in der unmittelbaren Erfahrung mit der Realität rückgekoppelt sind.“ (Oeser, 1988, S. 39)<sup>582</sup>

In dieser Passage lassen sich affirmative Verbindungsstellen zum bisherigen Kontext markieren: z.B. eine gewisse Abkehr von einem Adaptionsismus, das Einbeziehen von selbstorganisatorischen Prozessen und die Konsequenz, dass zwischen evolutionärer Erkenntnistheorie und Konstruktivismus kein kontradiktorischer Gegensatz besteht.

#### 17.2.1 Überschussorgan Gehirn: Entspezialisierung, dysfunktionale Merkmale

Ohne dass die Kompatibilität der Begriffe allzu streng betrachtet werden soll, wird die mit „**Entspezialisierung**“ beschriebene Besonderheit der Evolution des Gehirns mit Schurz' Hinweis auf das Bestandsvermögen „**disfunktionaler Merkmale**“ im Kontext der Überlegungen von Freiheitsgraden der Anpassung insofern als affirmativ zusammenhängend betrachtet, als es gemäß Oesers Bezeichnung als „**Überschussorgan**“ um eine aufwendige neurophysiologische Struktur geht, deren Potentiale die minimal notwendigen Funktionen der Steuerung der unmittelbar überlebensnotwendigen Systemprozesse übersteigen. Dabei können diese Spielräume zum Entwurf von „Weltbildern“ (s.u.) befähigen, die es ermöglichen, über triviale Interaktionen hinaus die Umwelt nicht nur gemäß den eigenen unmittelbar vitalen Bedürfnissen zu erfahren, sondern auch mit „überschießenden“ kognitiven Potentialen den

<sup>582</sup> Der Frage, wie weit Oesers Formulierung „Anfang und Ende des Prozesses menschlicher Erkenntnis“ reibungslos in diesen Kontext passt, wird hier nicht weiter nachgegangen.

unmittelbaren Eindruck der Wahrnehmung bewusst erweiternd zu interpretieren und in diesem Sinn auch (zumindest in hohem Ausmaß) indeterminiert zu gestalten.

Eine entsprechende Sonderstellung des Gehirns als Organ wurde an anderer Stelle auch schon mit Roths Hinweis auf das Versorgungsproblem illustriert. (Cf. Roth, 1997, S. 222) <sup>583</sup>

Oeser Zitat über die von Lorenz betonte Missverständlichkeit des Wortes „Anpassung“ deckt sich wohl mit jenem Ausgangspunkt der Kritik, den Engels aufgreift, wobei nach Darstellung Oesers hier weitergehende Differenzierungen notwendig sein dürften, als Engels sie gerade bezüglich Lorenz zu berücksichtigen scheint.

Die von Oeser zum Ausdruck gebrachte Auffassung des Erkenntnisprozesses als eine Reihe konstruktiver Schritte, die auch bei höheren Graden von Abstraktion „mit den unmittelbaren Erfahrungen der Realität rückgekoppelt“ sind, dürfte mit dem (pragmatischen) Ansatz Poincarés gut kompatibel sein. Das gewinnt deshalb an Bedeutung, weil Oeser damit die Tragfähigkeit eines Zugangs zur Begründung bzw. Interpretation von Erkenntnispotentialen bestätigt, welche Poincaré ebenfalls schon auf dieser evolutionären Ebene der neurophysiologischen Komponenten verankert bzw. verankern will und dabei wiederholt das Wechselspiel freier Bildung von Konzepten und durch Experimente bestätigte Erfahrung einschließlich sinnlicher Wahrnehmung anspricht.

Welche erkenntnisbegleitende Relevanz die wahrnehmungsspezifischen Erfahrungen bei Poincaré spielen, ist auch aus einer Deutung von Fynn Engler ablesbar:

„ Laut Poincaré sind sowohl die rohen (phänomenalistischen) als auch die wissenschaftlichen Tatsachen für die Einschätzung unseres Erkenntnisvermögens relevant. Die letzteren sind nichts anderes als Übersetzungen der ersteren in eine bequeme Sprache.“ (Engler, 2008, S. 50) <sup>584</sup>

17.2.2 Oesers „Weltbilder“, welche die reale Außenwelt zum Spiegel interner Konstruktionen machen, sind mit Poincaré und Boltzmann kompatibel

Auch das folgende Resümee Oesers scheint in hohem Maße kompatibel mit den Ansätzen von Poincaré und Boltzmann zu sein und wird gemäß oben genannter Überlegung ebenfalls als Langzitat wiedergegeben:

„ Durch diese umfassende repetitive Erregungsverteilung erfaßt das zentrale Nervensystem Zustände seiner selbst, weil intern generierte Signale auf dieselbe Weise in den Informationsfluß eintreten können wie die externen Signale. Dieser Verteilungs- und Wiedereinspielungsprozess bildet die Grundlage für die Selbstkonstruktion des intentionalen Bewußtseins, das auf einer neuen dynamisch-funktionell aufgebauten Integrationsstufe steht. Denn die funktional beschriebenen „Reflexionsschleifen“ und Verteilungsmuster sind nicht als neue Nervenbahnen, sondern als „Funktionsverdichtungen“ (Seitelberger 1983) zu verstehen. Da das Gehirn auf diese Weise kein Spiegel der Außenwelt ist, kann

---

<sup>583</sup> In gewissem Sinn kann man ein bis zum „Überschussorgan“ entwickeltes Gehirn als alternatives evolutionäres Modell gegenüber jener extremen Sparsamkeit/Parsimonie betrachten, wie sie mit der Beispiel der Rückbildung eines neuronalen Komplexes beim Übergang von der motilen Larve zur sessilen Seescheide illustriert wurde (Linás). Diese große Spannweite der evolutionären Optionen spricht auch für die bedeutsame Rolle der Motilität zu Gunsten komplexer Wahrnehmungssysteme.

<sup>584</sup> Trotz der von Engler in den Vordergrund gerückten Differenz der Positionen darf der vielfach richtungsweisende und nachhaltige Einfluss von Poincaré auf Schlick und den Wiener Kreis nicht übersehen werden. Dabei geht es um den Ansatz einer nicht (vorwiegend) metaphysisch orientierten Grundlegung von Erkenntnis, die nicht nur die Natur-, sondern auch die Geisteswissenschaften betrifft, der gerade auch im erkenntnistheoretischen Diskurs einschließlich des Problems der Kategorien wie Raum und Zeit besonders zu Geltung kommt. (Cf. z.B. Wissenschaftliche Weltauffassung, Der Wiener Kreis. Veröffentlichungen des Vereines Ernst Mach, <http://neurath.umcs.lublin.pl/manifest.pdf> (hrsg. vom Verein Ernst Mach. Artur Wolf Verlag, Wien 1929, 59 S. Das Werk hat keine offiziell genannten Verfasser. Moritz Schlick gewidmet.)



auch die Funktion des Bewußtseins nicht in der für die Erfahrung der realen Außenwelt nutzlosen Erkenntnis der eigenen neuralen Verarbeitungsmechanismen bestehen. Die metaorganische Funktion des Bewußtseins ist es vielmehr, den Aktionsraum des Körpers in der Außenwelt in entscheidender Weise zu erweitern. Sie besteht nicht nur darin, den Körper in einer bereits in allen Strukturen fertig vorhandenen Umwelt zu steuern, damit er sozusagen wohlbehalten nach Hause kommt. Das könnte das Gehirn von allein. Die eigentliche Funktion des intentionalen selbstreferentiellen Bewußtseins ist vielmehr das aktive ziel- und planvolle Beobachten und Abhören der eigenen Umgebung, um sie nach internen Plänen und Vorstellungen umzuändern. Dadurch entstehen „Weltbilder“ und menschliche Kulturen, die die reale Außenwelt zum Spiegel interner Konstruktionen machen.“ (Oeser, 1988, S. 189 f.)  
585

Hier scheint nicht nur die „repetitive Erregungsverteilung“ ein Modell zur Integration intern und extern stimulierter Signale zu bilden, das auf eine kognitive Mehrwert-Konstruktion hindeutet (Emergenz?). Dieses Modell scheint auch nützlich für eine Interpretation jener Prozesse zu sein, die Poincaré wiederholt mit seinem Hinweis auf die fundamentale Bedeutung der Muskelsinne für die genetische Konzeption von Raumvorstellung anspricht.

Ebenso dürfte Oesers Konzeption des Modellierens planvoller Beobachtungen nach internen Regeln gut zu autopoietischen Konzepten und einem Innen-Außen-Modell passen, das auch mit den Überlegungen von Johannes Müller\* kompatibel ist und ebenso mit dem Konzept der Bedeutungszuweisung (cf. Weber „signs“).

Auch wenn Oesers Text vielfach auf Karl Popper hinweist und eine gewisse Präferenz für dessen hypothetischen Realismus erkennen lässt, während Poincaré nicht erwähnt wird, so scheint es unabhängig von der Frage der Kompatibilität mit dem Modell Poppers in Summe legitim zu sein, in den Ausführungen Oesers ein Milieu affirmativer Perspektiven für Poincarés Ansätze zu sehen.<sup>586</sup>

### 17.3 Poincarés chaotischer Schmetterlingseffekt

Der chaotische Schmetterlingseffekt von Poincarés sehr kleiner Ursache, die für uns unbemerkt bleibt, aber einen beachtlichen Effekt bewirkt, kam in den Wissenschaften erst spät, aber dafür umso nachhaltiger zur Geltung und zu Anerkennung.

Liening stellt die Position und Bedeutung Poincares dar und schreibt ausgehend vom Drei-Körper Problem:

„Damit zeigte Poincaré, daß über lange Zeit stabile Systeme, auch ohne äußere Einwirkungen instabil werden können. Hiermit kam aber der Begriff Unordnung, des Chaos ins Spiel, ausgelöst durch eine beliebig schwache Störung...Er (Ö> Poincaré) schreibt: °Eine sehr kleine Ursache, die für uns unbemerkt bleibt, bewirkt einen beachtlichen Effekt... , und dann sagen wir, daß dieser Effekt vom Zufall abhängt?“ (Liening, 1998, S. 21)

---

<sup>585</sup> Oesers Umkehrung des Spiegel- Modells, welche die Außenwelt als gemäß interner Weltbilder strukturiert in Ansatz bringt, erscheint als kompatibel mit dem im Titel dieser Arbeit vorangestellten top-down Aspekt der Dreidimensionalität, die ja im Verlauf dieser Arbeit als spezifischer Modus Operandi gemäß Berthoz' simplexite interpretiert wird.

<sup>586</sup> Um allfälligen Missverständnissen vorzubeugen wird hier neuerlich betont, dass es nicht Ziel und Möglichkeit dieser Arbeit ist, die einzelnen fachwissenschaftlichen Sachverhalte zu klären, deren Modelle auf ihre Richtigkeit und wechselseitige Übereinstimmung zu prüfen bzw. zu bewerten und Poincarés Position eindeutig zuzuordnen. Hier geht es nur darum, ein Milieu von Konzepten verschiedener Fachbereiche so zu illustrieren, dass Affinitäten respektive Distanzen zu den Ansätzen Poincarés erkennbar werden und/oder diese als weiter untersuchenswert ins Spiel gebracht werden.

Liening beschreibt weiter, dass diese Einsicht Poincarés im Wesentlichen erst nach 1960 bei meteorologischen Modellrechnungen von Edward Lorenz bestätigt wurde und letztlich (auch) als so genannter **Schmetterlingseffekt** wieder zur Geltung kam.<sup>587</sup>

Wenn man diese „kleine Ursache“ in ein Wahrnehmungsmodell mit Reizen, die von der Außenwelt bestimmt sind, integriert, dann folgt daraus eine „Unterbestimmtheit“ dieser Außenwelt und weiters, dass immer noch ein Rest von möglicher extern determinierter Kausalität in die Bildung (neuro-) kognitiver Konzepte impliziert ist.<sup>588</sup> Bezogen auf den Entwurf der Autopoiesis nach Maturana und Varela im Kontext selbstreferentieller kognitiver Systeme höherer Ordnung (z.B. Gehirn) wird diese Kausalität dahingehend zurückgedrängt, dass dort die externe Realität (überhaupt) nicht mehr als kausal notwendiger Reiz(-geber) für Veränderungen des Systems angesehen wird, oder, wenn schon, dann allenfalls als perturbierender Stimulus, der Anlass zur Interaktion gibt, aber diese und deren strukturelle Grundlagen nicht determiniert. Damit wird dem so operational geschlossenen System ein genuines eigendynamisches Potential zugeschrieben, mit dem es auch (weitgehend) ohne „Information“ aus der Umwelt handlungsfähig ist.<sup>589</sup> Davon ausgehend wird in dieser Arbeit auch versucht zu zeigen, dass die Wahrnehmung von der Sensibilität für Licht bis zu komplexer visueller Verarbeitung unter starker Einbindung von top-down Komponenten hypothetisch und konstruierend agiert.

So gesehen wäre die im Rahmen einer Unterbestimmtheit „unbemerkte kleine Ursache“ in/aus der externen Realität nicht mehr das (vorrangige/ notwendige) Kriterium für die komplexe Dynamik des Gehirns und vor allem nicht für die Form seiner vielfältigen und letztlich nicht in einem (vollständig) bestimmbareren Zusammenhang mit der externen Realität stehenden Konzepte von Umwelt. (Das ist allerdings nur (m)eine sehr spekulative Assoziation!)

Das Beispiel der im Bereich von Wahrnehmung und damit verbundener Kognition offenbar tief verankerten „Licht von oben Hypothese“ (vgl. Zitat Kandel, Muffin-Blech), kann/muss bei aller Distanz zu einem naiven Realismus wohl als eines der Indizien dafür gesehen werden, dass es doch ein gewisses Maß von Kompatibilität mit einer externen Realität gibt, und dass diese Kompatibilität schon auf elementar kognitiver Ebene der weitgehend unbewussten Hypothesen der Wahrnehmung gewissermaßen als Prädisposition eine Schnittstelle zur Interaktion etabliert.<sup>590</sup> Das lässt, bei vorsichtiger Betrachtung der Komplexität der beteiligten Systeme bzw. der davon verfügbaren Modelle, im Rahmen eines gemäßigten Konstruktivismus durchaus zu, sich von allzu trivialen Anpassungsmodellen mit hohem Realitätsdruck (Abbild-Theorien, Passungs-Konzept, Pattern-Matching), aber auch von kreationistischen Intelligent Design Konzepten fern zu halten, ohne dadurch jegliche Möglichkeit des Erkennens und der

<sup>587</sup> Die von Liening zitierte Stelle Poincarés (vgl. Poincaré, 1914, S. 56) deutet nach meinem Verständnis mit dem Hinweis auf eine „sehr kleine unbemerkte Ursache“ auch auf die Frage der Unterbestimmtheit (Unterdeterminiertheit?).

<sup>588</sup> Cf. damit „drohender“ 3D- Determinismus!

<sup>589</sup> Damit ist noch nicht festgelegt, ob und in welchem Ausmaß externe Stimuli nützliche oder sogar in gewissem Ausmaß notwendige Anlässe für bewusste kognitive Aktivität bilden (können). Es geht nur darum, dass die Art und das Ergebnis dieser kognitiven Prozesse gemäß den in dieser Arbeit verfolgten Modellen nicht von diesen externen „Reizen“ determiniert sind (sein sollen).

<sup>590</sup> Wenn man Kandels Zusatz „und die scheint von oben“ (Kandel, 2012, S. 314) folgend den Ausdruck „Licht von oben Hypothese“ verwendet, dann ist deren ontologischen Aussagekraft nicht nur durch den hypothetischen Charakter limitiert, sondern auch dadurch, dass „oben“ kein für sich bestehendes Merkmal eines vom Betrachter unabhängigen Raumes ist, sondern ganz im Sinne Poincarés einen Rahmen darstellt, den wir gemäß der Selbstverständlichkeit unserer Körperachsen der externen Realität aufdrängen. Allerdings kann aus dem Beispiel des Muffin-Blechs, das ja bei vertikalem und horizontalem Helligkeitsverlauf räumlich wirkt, eine Prädisposition für Licht abgelesen werden, das von einer Seite kommt.

Interaktion durch radikal konstruktivistische Annahmen zu korrumpieren, die zu einer solipsistischen Abkapselung führen.

Die von Roth angesprochene „geringere determinierende Kraft“<sup>591</sup> scheint hier einen weitgehend tragfähigen Standpunkt der Betrachtung ohne Bindung an triviale Kausalitätsrelationen zu bieten.

Auch wenn also Poincaré an die „unbemerkte Ursache“ appelliert, können seine Einsichten über die Beschreibung komplexer dynamischer bzw. chaotischer Systeme als eine sachlich und wissenschaftsgeschichtlich essentielle Grundlage für jene Modelle der kognitiven Funktionalität biologischer Systeme und speziell auch des Gehirns gesehen werden, wie sie auch das Konzept der Autopoiesis darstellt.

#### 17.4 Dreidimensionalität visueller Wahrnehmung ein affines Modell für Bewusstsein?

Im Rahmen der Enzephalisation visueller Wahrnehmung sind verbunden mit der Integration dislozierter und evolutionär heterogener Leistungsbereiche zur orientierten Eigenbewegung, Lokalisation und Identifikation von Objekten durch mit neuronaler Plastizität verbundenem synaptisches Lernen spezialisierte Verarbeitungspfade entstanden/gebildet worden (cf. Konnektom). Dabei spielt die ventrale Bahn eine besonders erwähnenswerte Rolle für die Identifikation und das räumlich-plastische Erscheinen von Objekten (cf. Georgieva, shape from shading). Zugleich wird dieser ventrale Pfad auch mit essentiellen neuronalen Korrelaten des Bewusstseins in Zusammenhang gebracht.<sup>592</sup> Hier wird vorgeschlagen bzw. die Frage für legitim und weiterhin untersuchenswert gehalten, ob jene neuronalen Strukturen, Prozessabläufe und Verarbeitungsmuster, die zu phänomenalem 3D visueller Wahrnehmung führen, nicht auch ein nützliches Modell der Forschung nach den neuronalen Korrelaten des Bewusstseins bilden könnten.

Ausgehend von einer „top-down augmented perception“<sup>593</sup> wird im Rahmen des komplexen Milieus eines Small-World-Networks stereoskopisches 3D als simplexes Konstrukt angesehen, mit dem Gruppen von visuellen Stimuli, denen besonders hohe Bedeutung zugewiesen wurde (cf. Weber), so robust gegenüber Neural Competition (gemacht) werden, dass sie auch ins Bewusstsein gelangen. Damit wird die externe Realität zu einer Art von Augmented Reality. Es handelt es sich also um keine authentische Abbildung der externen Realität, sondern um ein autopoietisches Konstrukt mit hypothetischem Charakter. Diese visuokognitive, dreidimensionale Emulation (Berthoz) wird hier in Anspielung an Poincarés Charakterisierung der euklidischen Geometrie auch als „bequem /commode“ bezeichnet, weil sie top-down gemäß systemimmanenten Präferenzen konfiguriert wurde und deshalb für eine „interne Eigenschaft menschlicher Intelligenz“ genuin kognitiv kompatibel ist.<sup>594</sup>

An das Bestehen und die Eigenschaften von Intelligenz knüpft Poincaré, wie wir schon sahen, auch einen für ontologische Fragen relevanten Aspekt von Wirklichkeit:

---

<sup>591</sup> Cf. Roth, 1996, S. 346

<sup>592</sup> Cf. Koch, 2005, S. 301 : Spuren des Bewußtseins- inferotemporaler Cortex

<sup>593</sup> Cf. Glossar

<sup>594</sup> Cf Poincaré: „... Eigenschaft des Raumes, dreidimensional zu sein, nur eine Eigenschaft des Bildes, ..... sozusagen eine interne Eigenschaft menschlicher Intelligenz.“ (Poincaré, 1914, S 99)

„Besteht die Harmonie, die die menschliche Intelligenz in der Natur zu entdecken glaubt, auch außerhalb dieser Intelligenz? Nein, zweifellos ist eine Wirklichkeit, die vom Geist der sie begreift, sie sieht oder fühlt vollständig unabhängig ist, eine Unmöglichkeit.“<sup>595</sup> (Poincaré, 1910, S.7)

In dem Maße, wie Poincaré die Dreidimensionalität, die wir der Natur als Rahmen aufdrängen, mit einer internen Eigenschaft menschlicher Intelligenz in Zusammenhang bringt und im Sinn einer Naturalisierung des Transzendentalen dazu auffordert, auch den involvierten Strukturen des Nervensystems nachzugehen, wird die Enzephalisation der Wahrnehmung zu einem relevanten Faktor der von ihm propagierten Fundamente von Geometrie sowie seines erkenntnistheoretischen Ansatzes.<sup>596</sup>

### 17.5 Berthoz : „Le cerveau est une machine géométrique“

Wenn man in Rechnung stellt, wie sehr das visuelle System und darin besonders die Lokalisation und (vielleicht noch mehr) die Formbestimmung von Objekten strukturbildenden Einfluss haben, der auch das Konnektom betrifft, dann könnte man plakativ sagen: Durch dessen evolutionäre Verbundenheit mit der visuellen Wahrnehmung haben wir ein Gehirn mit weitreichender Präferenz für Objekte und deren geometrieaffine Merkmale. Auch die umfangreichen Potentiale räumlicher Gestaltwahrnehmung einschließlich so genannter optischer Täuschungen sprechen für Berthoz' pointierte Formulierung: „Le cerveau est une machine géométrique“ (Berthoz, 2009, S. 157)

« Nous sommes conscientes lorsque nous rêvons, bien qu'endormis, bien que déconnectés du monde extérieur. La conscience n'est donc rien d'autre que cette réalité interne renouvelée sans cesse pour préparer, émuler, simuler l'acte. Elle est ce projecteur de la conscience qui éclaire de son faisceau (3) (Berthoz, 2009, S. 221)

### 17.6 Llinás: One could say that reality is not all "out there," but is a kind of virtual reality

Unabhängig davon, ob man seine Argumentationskette fachwissenschaftlich evaluieren kann und man sich den Thesen von Rodolfo Llinás vollinhaltlich anschließt, oder auch nicht, kann im Sinn der hier verfolgten Multiperspektivität sein Ansatz als relevantes Indiz und als Beispiel für evolutionäre Modelle geltend gemacht werden, welche einen extern determinieren Realismus zurückdrängen und autonome Potentiale von Organismen bis hin zur Eigendynamik komplexer neuronaler Netzwerke untermauern.

„In *I of the Vortex*, Rodolfo Llinas, a founding father of modern brain science, presents an original view of the evolution and nature of mind. According to Llinas, the "mindness state" evolved to allow predictive interactions between mobile creatures and their environment...To move through the environment safely, a creature must anticipate the outcome of each movement on the basis of incoming sensory data. Thus the capacity to predict is most likely the ultimate brain function. One could even say that Self is the centralization of prediction...At the heart of Llinas's theory is the concept of oscillation...This simultaneity of neuronal activity is the neurobiological root of cognition. Although the internal state that we call the mind is guided by the senses, it is also generated by the oscillations within the brain. Thus, in a certain sense, one could say that reality is not all "out there", but is a kind of virtual reality.“ (Llinás, 2001, Overview)

---

<sup>595</sup> Für unseren Kontext ist auch bemerkenswert, dass Poincaré in dieses Modell von Wirklichkeitsbegründung nicht nur das geistige Begreifen, sondern explizit auch das Sehen und Fühlen einbezieht. In Verbindung mit der von Olga Pombo konstatierten intuitiven Dimension Poincarés wird dies auch als ein legitimierender Grund für die inhaltliche Ausrichtung dieser Arbeit geltend gemacht.

<sup>596</sup> Kompatibel mit Boltzmann, der die systemspezifischen Einflüsse des Gehirns in Betracht zieht.

Bezogen auf phänomenale Dreidimensionalität als eines in diesem Sinn simplexen Modus Operandi unserer die Umwelt gestaltenden Wahrnehmung könnte man sagen:

17.6.1 Even external reality probably isn't 3D, we might profit from our making it look like (3D)

Dieser kleine Slogan soll noch einmal themengemäß und in Anlehnung an Ladymans "objects are pragmatic devices"<sup>597</sup> sowie an Barthes Simulacrum<sup>598</sup> die Dreidimensionalität unserer Wahrnehmung als das top-down generierte Erscheinungsbild eines selbstreferentiell opportunen Modus Operandi unseres visuokognitiven Systems in den Fokus bringen. Diese Dreidimensionalität ermöglicht offenbar eine systemspezifisch viable Interaktionsmöglichkeit zum wahrnehmungstauglichen Strukturieren der Umwelt sowie für Antizipationspotentiale zur weitgehend effizienten Handlungsplanung. Es soll aber auch gelten, dass es sich nur um ein pragmatisch effizientes **quick&dirty System** handelt, das zwar gemäß seiner evolutionären Genese eng und einflussreich mit unseren neurokognitiven Potentialen einschließlich Bewusstsein verbunden ist, diese aber nicht durch ein determinierendes Apriori limitiert. Vor diesem Hintergrund werden diese Dreidimensionalität der Wahrnehmung und auch die entsprechend modellierte Umwelt in einem vergleichbaren Sinn als „bequem“ bezeichnet, wie dies Poincaré bei der Charakterisierung der Euklidischen Geometrie in den Raum stellt.

So gesehen kann man geometrieffine kognitive Potentiale und Bewusstsein als ab ovo rekursiv verknüpfte evolutionäre Faktoren bzw. Ergebnisse von Enzephalisation betrachten.

Wenn visuelle Wahrnehmung, Geometrie und Bewusstsein evolutionäre genuin verbunden sind, dann wirft das ein bestätigendes Licht auf die Motivation und Form, wie sich Poincaré nicht nur fachwissenschaftlich mit Geometrie auseinandergesetzt hat, sondern über die Wahrnehmung hinaus den bewusst werdenden kognitiven Potentialen und jenen des sublimen Ichs nachgegangen ist.

## 17.7 Poincaré ermöglicht Brain Modelling

Vor diesem vielschichten Hintergrund trifft es sich jedenfalls besonders gut, wenn Poincaré auch etwa hundert Jahre nach dem Erscheinen von „La Science et l'Hypothèse“ als eine essentielle Referenz für das Verständnis von Selbstorganisation im Gehirn hervorgehoben wird.

Unter dem Titel „**Brain Modelling**“ illustriert der Physiker Werner Gruber („2003/04) die kybernetische Betrachtungsweise und betont dabei lapidar die Grundlagen stiftende Rolle Poincarés.<sup>599</sup>

„Ohne das Wirken von Henry Poincaré wäre es nicht möglich gewesen, die Selbstorganisation im Gehirn zu beschreiben.“ (Gruber, 2004, o.S.)

<sup>597</sup> Cf: Kap. > Ladyman: Objects are pragmatic devices to construct approximate representations of the world

<sup>598</sup> Cf. Kap. > Barthes Simulacrum

<sup>599</sup> Leider stellt Gruber in seinem Text diese Zusammenhänge nicht detaillierter dar.

## 18 AUSKLANG

### 18.1 Resüme

Lässt man entsprechende konstruktivistische Modelle<sup>600</sup> mit autopoietischen Komponenten als wissenschaftlich legitimen Argumentationsrahmen gelten, dann untermauert eine Vielzahl dargestellter Indizien (bezüglich Poincaré) zeitgenössischer und andererseits auch gegenwärtiger Forschungen folgendes Ergebnis dieser Arbeit:

Der simplexe Top-down Faktor 3D und die geometrieaffine Enzephalisation der Wahrnehmung können als Sammelbegriffe für einen Komplex jener kognitiven Potentiale an der Schwelle zum Bewusstsein etabliert werden, denen Poincaré umfangreiche Aufmerksamkeit gewidmet hat und die in seinen erkenntnistheoretischen Überlegungen vielfach angesprochene Bezugspunkte bilden.

Verfolgt man gemäß Poincaré das projektive Schauspiel der Perspektiven visueller Wahrnehmung und die Eigenbewegung des erkennenden Betrachters als Fundamente von Geometrie, dann ist es auf Basis entsprechender konstruktivistischer Modelle möglich, die Dreidimensionalität visueller Wahrnehmung und den von Poincaré forcierten Indeterminismus kognitiver Potentiale trotz ihrer interdependent kohärenten Genese im Rahmen eines geeigneten Modells von Anpassung auch auf Ebene evolutionärer Erkenntnistheorie in Einklang zu bringen. Das öffnet auch den Weg für eine evolutionäre Verankerung der Möglichkeit von mehr als dreidimensionalen Geometrien.

Als Schlüsselstelle wird dabei akkurat das von Poincaré hervorgehobene räumliche Defizit des visuellen Fernsinns ausgemacht, das zur Überwindung projektiver Ambivalenz die Eigenbewegung in die Auswertung der visuellen Stimuli integriert und damit zu einer Enzephalisation der Wahrnehmung beiträgt, die zu neuronalen Small-World-Netzwerken mit emergente Potentialen führen kann. Dabei wird der für Poincarés Überlegungen essentielle „feste Körper“ nicht als gegebene Entität, sondern als Konstrukt<sup>601</sup> in Ansatz gebracht. So gesehen wird dieser feste Körper erst im Zuge der Interaktion mit einer wie auch immer beschaffenen externen Realität unter Bedingungen von Kontingenz als hypothetische viable Invariante identifiziert bzw. instanziiert; wenn man so will, als visuokognitiv kompatibles und in diesem Sinn bequemes Modell bzw. Bild<sup>602</sup>. Die geringe Strahlungstoleranz von Lebewesen wird mit der Entwicklung einer Sensibilität für Licht und damit verbundener Photomotorik schon auf Ebene von einzelligen als Modell rudimentär geometrieaffiner, intelligenter Interaktion weitgehend selbstreferentiell autonomer, aber nicht autarker Systeme angesehen, die weniger von der externen Realität gestaltet werden, als sie vielmehr selbst ihre Umwelt in einem konstruktivistischen Sinn zu einer für sie kompatiblen Emulation<sup>603</sup> von Realität gestalten.

Vieles spricht auch auf Ebene der neuronalen Strukturen von Lebewesen mit entsprechend komplexen kognitiven Potentialen dafür, dass Bewegung, räumliche Wahrnehmung,

---

<sup>600</sup> Der an anderer Stelle zitierte Reinhold Breil (2011) bezeichnet Poincaré als Protagonisten eines Konstruktivismus.

<sup>601</sup> Cf. Objekt als lichtaffines Konstrukt

<sup>602</sup> Cf. > Poincaré meets Boltzmann « ...notre besoin de penser avec des images. »

<sup>603</sup> Cf. « Le cerveau émulateur de réalité » (Berthoz, 2009, S. 77) / « Thus, in a certain sense, one could say that reality is not all "out there," but is a kind of virtual reality. » (Llinás, 2002) / „ Man is not a passive receiver of stimuli coming from an external world, but in a very concrete sense creates his universe. ” (Bertalanffy, 1968, S.194)

Bewusstsein und somit auch rationales Erkenntnisvermögen in einem spezifisch engen evolutionären Verhältnis stehen.

Wenn man lichtinduzierte Motilität als plausibel erscheinendes Ausgangsszenarium geometrieaffiner kognitiver Potentiale in Ansatz bringt, dann ist auch noch auf die bemerkenswerte Differenzierung in Strukturen und Leistungen zu achten, die sich vorwiegend auf Orientierung beziehen und solche, die bevorzugt auf das formbestimmende Erkennen von Objekten ausgerichtet sind.<sup>604</sup> Es wird in dieser Arbeit unterstellt und gemäß aufgezeigter Indizien als ein Ergebnis betrachtet, dass die auf Objektidentifikation bezogenen neuronalen Strukturen visueller Verarbeitung eine besonders starke Affinität zur Entstehung von Bewusstsein haben und damit nicht nur eine prinzipielle Grundlage für den Entwurf abstrakter geometrischer Konzepte usw. bilden, sondern speziell auch mit jenen Fundamenten von Geometrie essentiell kompatibel sind, die Poincaré im Umfeld von *corps solides* sowie dem bewegungsinduzierten Schauspiel der Perspektiven in seinem Ansatz verankert.

Wenn man es nahezu paradox anmutend so sagen will, dann sind akkurat die neuronalen Strukturen und Potentiale, welche zu einer top-down modellierten visuellen Wahrnehmung von dreidimensional erscheinenden festen Körpern führen, zugleich ein Schlüssel für den Zugang zu den neurokognitiven Potentialen jenseits eines determinierenden Apriori, das dieser Dreidimensionalität gerade aus evolutionärer Perspektive häufig zugeschrieben wurde und wird.

## 18.2 Rückblickende Wegbeschreibung

Linien sind ein probates grafisches Mittel, zweidimensionale Formen, aber auch dreidimensionale Objekte, auf einer Bildebene darzustellen. An gewölbten Objekten ohne Kanten fällt besonders beim Aktstudium auf, dass es auf der menschlichen Figur selbst keine Linien gibt, obwohl sie in der Zeichnung die Figur präzise bestimmen und sogar einen starken räumlich immersiven Eindruck provozieren können. Es liegt an umfangreich mitgestaltenden top-down Einflüssen auf das Perzept, dass man Linien als subjektives Konstrukt<sup>605</sup> in Ansatz bringen kann. Das legt folglich eine konstruktivistisch orientierte Auseinandersetzung mit der Wahrnehmung nahe; besonders mit der visuellen Raumwahrnehmung und ihrer phänomenalen Dreidimensionalität.<sup>606</sup>

Dreidimensionalität ist ein genuines Thema von Geometrie und wird dort mit unterschiedlichen Zugangsweisen in Betracht gezogen. Um 1900 kann man z.B. die dominant axiomatische Ausrichtung Hilberts einer Betrachtungsweise Poincarés gegenüberstellen, in der die Wahrnehmung und deren evolutionäre Aspekte eine umfangreiche Rolle spielen.<sup>607</sup>

Methode und Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den wahrnehmungsbezogenen Überlegungen Poincarés nachzugehen und aus unterschiedlichen Perspektiven zu illustrieren,

---

<sup>604</sup> Diesem Aspekt gilt u.a. die weitläufige Auseinandersetzung mit der dorsalen Wo- und der ventralen Was-Bahn visueller Verarbeitung.

<sup>605</sup> Cf. Glossar

<sup>606</sup> Die Angemessenheit einer konstruktivistisch orientierten Analyse lässt sich auch aus einem plakativen Buchtitel von Nora Newcombe und Janellen Huttenlocher (2003) ablesen, der im Untertitel auch die Spannweite hin zu komplexen kognitiven Prozessen andeutet: „Making Space. The Development of Spatial Representation and Reasoning.“ Dem „subjektiven Konstrukt“ Linie wird auch an anderen Stellen dieser Arbeit umfangreicher nachgegangen.

<sup>607</sup> Auch Hermann von Helmholtz und Ernst Mach verfolgen weitgehend kompatibel mit Poincaré die physiologischen und psychologischen Aspekte der Wahrnehmung und deren Bedeutung für die Grundlagen von Geometrie. Andererseits ist zu beachten, wie Poincaré geradezu mit einer apodiktischen Antwort an Russel die irreduzible psychologische Komponente von Erkenntnistheorie postuliert. Beides wird an anderen Stellen dieser Arbeit detaillierter angesprochen.

dass seine Betrachtungen nicht nur mit aktuellen Forschungsergebnissen kompatibel sind. Ebenso wird betont, dass seine Auffassung und Integration des Hypothetischen sowie die von Poincaré gezogenen erkenntnistheoretischen Konsequenzen, die auch die Frage eines Apriori der Anschauung betreffen, nachhaltig in Bereichen weitab seiner unmittelbaren Fachwissenschaften präsent sind.

Dies soll auch zur Charakterisierung Poincarés als subtiler Philosoph mit wahrnehmungs- und kognitionspsychologischer Orientierung beitragen, für den über die konsequente Logik hinaus auch präexistierende intuitive Potentiale eine tragende Rolle spielen: Für die Kreativität des Denkens insgesamt und auch in seinen Fachwissenschaften.<sup>608</sup>

Als ein zentrales Ergebnis, aus dem auch die hier zu Grunde liegende Arbeitshypothese ablesbar ist, steht in Aussicht, dass gerade das visuelle System mit seinen genuinen geometrieaffinen Strukturen entscheidend zu einer Enzephalisation der Wahrnehmung beigetragen hat. Und dass folglich ein hochkomplexes und eigendynamisches neuronales Small- World- Network auf Basis emergenter Potentiale einen Grad an Freiheit gewinnen konnte, der einen limitierenden Determinismus hintanhaltend bzw. überwinden kann. Die Dreidimensionalität der Wahrnehmung wird nicht als Wiedergabe einer (für sich in dieser Form) so bestehenden Strukturiertheit der externen Realität in Ansatz gebracht, sondern als simplexe<sup>609</sup> Ausdrucksform eines top-down gestaltenden Modus Operandi, der (als eines der möglichen Ergebnisse) mit einer Selbstoptimierung des neuronalen Netzwerks verbunden ist. Diese Einschätzung als evolutionär produktiv dynamischer Faktor bezieht sich nicht nur generell auf das visuelle System, sondern sieht, kompatibel mit Berthoz, einen entscheidenden Punkt auch in der projektiven Ambivalenz, die mit dem Dimensionswechsel vom zweidimensionalen Netzhautbild und seinem Hochrechnen zu einem dreidimensionalen Perzept einhergeht und die Integration umfangreicher kognitiver Leistungen fordert und fördert. Lässt man das gelten, dann wird dieser geometrische Aspekt zu einer der Schlüsselkomponenten der Evolution kognitiver Potentiale und ihrer neuronalen Korrelate. In diesem Sinn hätte „Geometrie“ schon ab ovo eine Art von evolutionär dynamischer „Protowissenschaft“ als Fundament, dessen Tragfähigkeit nicht nur unbewusst wirkende, ratiomorphe Prozesse der Wahrnehmung ermöglicht, sondern letztlich auch essentiell zu Potentialen bewussten Denkens beiträgt.

Die Interpretation dreidimensionaler Wahrnehmung als simplexe Lösung betrifft auf erkenntnistheoretischer Ebene besonders auch den Aspekt, ob und wie weit im Rahmen eines zu engen Modells von extern bestimmter evolutionärer Anpassung die kognitiven Potentiale durch die phänomenale Dreidimensionalität a priori und unüberwindbar limitierend beeinflusst werden.

Als affirmatives Indiz für ein Potential zum Überschreiten allfälliger evolutionärer Prädispositionen wird eine von Elisabeth Spelke (2010) ins Spiel gebrachte Überlegung geltend gemacht. Ausgehend von Forschungsergebnissen über das Bestehen von mehreren unterscheidbaren geometrischen Core Knowledge Systemen mit nicht identen Teilleistungsbereichen kommt Spelke zu dem Schluss, dass Kinder durch Zusammenführen unterschiedlicher Strategien der Analyse übergreifende geometrische Konzepte entwickeln, die abstrakter sind und eine höhere Allgemeingültigkeit haben, als die zu Grunde liegenden

<sup>608</sup> z.B. Poincarés Überlegungen zu kreativen Einfällen im Bereich Mathematik. (cf. Sublimes Ich)

<sup>609</sup> Simplex: Nach Berthoz, cf. Glossar und den schon oben zitierten Hinweis: “ «De mon point de vue, nombre d’illusions sont des solutions trouvées par le cerveau pour résoudre des problèmes d’ambiguïté perceptive.» (Berthoz, 2009, S. 96)



Core Knowledges.<sup>610</sup> Dieser Aspekt wird zugunsten der von Poincaré engagiert vertretenen indeterministischen Linie besonders betont, um jene Ansätze Evolutionärer Erkenntnistheorie zu unterlaufen, die zu einer Restauration der Dreidimensionalität als ein die kognitiven Potentiale determinierendes Apriori tendieren. Wenn man davon ausgeht, dass phänomenale Dreidimensionalität mit einer Selbstoptimierung des visuokognitiven Systems zu tun hat, dann konterkariert das einen naiven Abbildungsrealismus und führt im Gegenzug zu einer Entkopplung von der externen Realität. Wenn man weiters unterstellt, dass im Zuge der Verarbeitung ein Großteil der Stimuli/Daten durch Kaskaden selektiver Filter unterdrückt wird, während nur ein gewisser Teil mit Bedeutung versehen und durch Prozesse neuronaler Bindung zu Gruppen zusammengefasst wird, die im dreidimensionalen Perzept Gestalt annehmen und eine viable Interaktion mit der externen Realität ermöglichen, dann kann man sagen, dass diese Dreidimensionalität nur eine Art Modus Operandi unserer Wahrnehmung darstellt, der zwar unseren neurokognitiven Strukturen besonders entspricht, aber deren Potentiale nicht prinzipiell limitiert. Davon ausgehend könnte man diesen 3D- Modus als genuin kompatibel mit unserem kognitivem System in Betracht ziehen und in Anspielung an Poincarés Charakterisierung der euklidischen Geometrie diese dreidimensionale Erscheinungsform des Perzepts und damit verbunden auch Objekte als „bequem / commode“ interpretieren.<sup>611</sup>

In einem Kapitel über die Zukunft der Mathematik setzt sich Poincaré in Wissenschaft und Methode mit speziellen Potentialen der Geometrie und ihrer Nähe zur Wahrnehmung auseinander. Der möglichen Position „als könnte die Geometrie nichts enthalten, was nicht schon in der Algebra oder in der Analysis mit inbegriffen wäre...“ stellt er sofort entgegen „...das hieße nicht verstehen, was diese Sprache den Dingen selbst durch die Art, diese Dinge auszudrücken, und durch die Art ihrer Gruppierung hinzufügt.“ (Poincaré, 1914, S. 31)

Dabei betont Poincaré die genuine Affinität der Geometrie zur Wahrnehmung, macht aber auch auf das damit verbundene Problem der Dreidimensionalität aufmerksam, ohne sich allerdings damit abzufinden:

„Ein großer Vorteil der Geometrie beruht darin, daß bei ihr die Sinne den Gedanken unterstützen können und daß wir durch ihre Hilfe den Weg erraten, den wir einzuschlagen haben;...Unglücklicherweise können unsere Sinne uns nicht sehr viel dabei helfen; sie lassen uns im Stich, sobald wir uns über die klassischen drei Dimensionen erheben wollen. Muß man deshalb zugeben, daß wir an dieses enge Gebiet gebunden sind, in welches uns die Sinne einengen wollen, und daß wir darüber hinaus uns nur auf die Analysis verlassen dürfen, daß also jede Geometrie von mehr als drei Dimensionen gegenstandslos und überflüssig sei? Eine Generation früher hätten die größten Meister diese Frage mit „Ja“ beantwortet; heute ist uns die Vorstellung einer vierten Dimension so vertraut, daß wir selbst in einer Universitätsvorlesung davon sprechen können, ohne großes Aufsehen zu erregen.“ (Poincaré, 1914, S. 32)

Wenn Poincaré über die Sinne sagt „sie lassen uns im Stich, sobald wir uns über die klassischen drei Dimensionen erheben wollen“, dann führt das zu einem zentralen Problem eines determinierenden Apriori. Wenn Poincaré mit der Suggestivfrage „Muß man deshalb zugeben, daß wir an dieses enge Gebiet gebunden sind...?“ seinen Widerspruch einleitet, dann geht es um mögliche Auswege aus diesem Determinismus. Poincaré führt dieses Plädoyer für die Möglichkeit und den Nutzen von Geometrien mit mehr als drei Dimensionen über die Analysis

<sup>610</sup> Cf. Spelke: two core systems of geometry

<sup>611</sup> « On veut dire que par sélection naturelle notre esprit s'est adapté aux conditions du monde extérieur, qu'il a adopté la géométrie la plus avantageuse à l'espèce ; ou en d'autres termes la plus commode. » (Poincaré, 1902, S. 91)

Situs. Diese Linie kann mangels persönlichem Zugangsvermögen zu diesen Bereichen von Mathematik und Geometrie hier nicht verfolgt werden.

Wenn Poincaré allerdings bei der Argumentation über diese mehrdimensionalen Geometrien auch auf den verständnisfördernden Nutzen von Analogien hinweist, dann bringt er damit auch wieder ein mit unserer sinnlichen Wahrnehmung entwickeltes Vorstellungs- und Assoziationsvermögen ins Spiel.<sup>612</sup>

Damit geht es auch um jene Fragen und Vorschläge, die in diversen Kapiteln dieser Arbeit umfangreich versuchen, über die Enzephalisation der Wahrnehmung auch auf die evolutionäre Möglichkeit kognitiver Potentiale hinzuweisen, die nicht von einem Apriori der Dreidimensionalität endgültig limitiert sind.

Wenn sich die dort geltend gemachten Zitate und Überlegungen in ausreichendem Maß als triftig erweisen, dann vermögen sie vielleicht auch einen nützlichen Beitrag zu dem von Poincaré lancierten Ziel bilden, das er bezüglich der von Riemann forcierten Analysis Situs postuliert:

„Man muß dahin kommen, sie in den höheren Räumen vollständig zu entwickeln; dann würde man ein Hilfsmittel haben, um auch im Überraum wirklich zu sehen und unseren Sinnen nachzuhelfen.“  
(Poincaré, 1914, S. 33)

Diese Arbeit zielt also u.a. als eine Pointe darauf ab, dass die visuelle Wahrnehmung zwar auf eine simplexe Dreidimensionalität der Erscheinung beschränkt ist, die auch das visuelle Vorstellungsvermögen beeinflusst; wenn man so will, als eine Art relativized a priori.<sup>613</sup> Andererseits hat nach schon oben erwähnter Hypothese akkurat dieses visuelle System zu einem Ausmaß an Enzephalisation der Wahrnehmung geführt, dass die damit möglich gewordenen kognitiven Potentiale in Form bewussten Denkens ein determinierendes Apriori der Dreidimensionalität überschreiten und z.B. auch handlungstaugliche Konzepte von Geometrien mit mehr als drei Dimensionen entwickeln können.

In dem Maße, wie, angeregt durch Poincarés Frage nach der Rolle der Erfahrung der Vorfahren und der sélection naturelle, hier versucht wird, die Dreidimensionalität unserer Wahrnehmung vor dem Hintergrund der Evolution visuokognitiver Potentiale zu betrachten und Objekte als Konstrukte unter Einfluss der geometrieaffinen Verarbeitungsregeln, die im Rahmen der Enzephalisation der Wahrnehmung entstanden sind, in Ansatz zu bringen, in dem Maße ist darauf zu achten, dass nicht gewissermaßen durch die Hintertür Evolutionärer Erkenntnistheorie ein determinierendes Apriori restauriert wird, das Poincarés Indeterminismus konterkariert. Dies erscheint u.a. dadurch als abwendbar, dass man diese Verarbeitungsregeln weniger als unabänderlich starre Regeln geltend macht, sondern eher als Routinen, Präferenzen bzw. Verarbeitungsgewohnheiten. Hier wird unterstellt und propagiert, dass über Prozesse Hebb'schen Lernens und neuronaler Plastizität der Aspekt einer zwar hartnäckigen, aber prinzipiell veränderbaren Gewohnheit auch für die evolutionären Strukturen visuokognitiver Potentiale zutrifft. Dieser via Hebb'sches Lernen und neuronale

<sup>612</sup> „Zweitens erlaubt uns diese Sprache ähnliche Dinge mit gleichem Namen zu belegen und weist dadurch auf Analogien hin, die sich auf diese Weise in unserem Gedächtnisse einprägen. Ferner verschafft sie uns die Möglichkeit, uns in diesem für uns zu großen Räume zu bewegen, den wir nicht mit dem Auge messen können; die Ausdrucksweise erinnert uns unaufhörlich an den sichtbaren Raum, welcher ein zwar unvollkommenes Bild, aber doch ein Bild des allgemeineren Raumes ist. Wie in all den vorhergehenden Beispielen, so läßt uns auch hier die Analogie mit dem Einfacheren das Kompliziertere verstehen.“ (Poincaré, 1914, S. 32)

<sup>613</sup> Der Ausdruck ist an eine an anderer Stelle zitierte Passage von Francesca Biagioli angelehnt, die im Zusammenhang mit Otto Hölder von einem „relativized a priori“ spricht, ohne dass hier eine präzise Bedeutung behauptet wird.

Plastizität interpretierte Aspekt von Gewohnheit soll auf Ebene evolutionärer Erkenntnistheorie zur Illustration oder gar zum Untermauern von Poincarés Aussage über die Wahlmöglichkeit von Geometrien gemäß ihrer „Bequemlichkeit“ beitragen, mit der er eine Utopie über Lebewesen abschließt, deren Erziehung der Sinne einen anderen Verlauf genommen habe und zur Entwicklung einer anderen, für sie passenderen Geometrie, führte.

„ Des êtres qui y feraient leur éducation trouvaient sans doute plus commode de créer une géométrie différente de la nôtre, qui s’adapterait mieux à leur impressions. Quant à nous, en face des *mêmes* impressions, il est certain que nous trouverions plus commode de ne pas changer nos habitudes. » (Poincaré, 1895, S.12) <sup>614</sup>

Über Poincarés wahrnehmungsbezogene Analyse der Fundamente von Geometrie lässt sich mit dem Begriff der Konstitutionstheorie auch eine Brücke zu Kant schlagen. <sup>615</sup>

„Als Konstitutionstheorien werden ausgehend von Kant Auffassungen bezeichnet, welche die empirische Realität nicht als an sich seiende Außenwelt ansehen, sondern als etwas vom Bewusstsein konstituiertes. Konstitutionstheorien versuchen, die reinen (apriorischen) Formen unserer Anschauung, welche der Sinneswahrnehmung (Apperzeption) vorausliegen, zu erforschen und zu klassifizieren. Kant bezeichnete in der Kritik der reinen Vernunft seine Konstitutionstheorie als „kopernikanische Wende“ in der Erkenntnistheorie: „Wenn die Anschauung sich nach der Beschaffenheit der Gegenstände richten müsste, so sehe ich nicht ein, wie man a priori von ihr etwas wissen könne; richtet sich aber der Gegenstand (als Objekt der Sinne) nach der Beschaffenheit unseres Anschauungsvermögens, so kann ich mir diese Möglichkeit ganz wohl vorstellen.“ (aus der Einleitung der KrV).“

(<https://de.wikipedia.org/wiki/Konstitutionstheorie> 26.4.2016) <sup>616</sup>

Eine bestätigend gleichartige Interpretation gibt Möller:

<sup>614</sup> Dem von Poincaré benutzten Ausdruck „nos habitudes“ kommt im Rahmen unserer Betrachtungen besondere Aufmerksamkeit zu, weil darin nur scheinbar beiläufig ein zentraler Punkt seines Ansatzes zum Ausdruck kommt. Nämlich der, dass es eben auch im Bereich evolutionär erworbener Potentiale nicht um prinzipiell so sein müssende und nunc et semper unabänderliche Gesetzmäßigkeiten handelt, sondern eben um Gewohnheiten. Wenn auch um solche, die man aus heutiger Sicht über Modelle synaptischen Lernens als evolutionär in den neurokognitiven Strukturen stark verankerte Schemata betrachten kann, die aber andererseits über Modelle wie jene der neuronalen Plastizität und dass Wahrnehmung prinzipiell hypothetisch verfasst ist, nicht endgültig sind. Das steht in schlüssigem Zusammenhang damit, dass Poincarés Zitat von der „éducation“ seinen Ausgangspunkt nimmt, die nicht die Schulbildung, sondern die evolutionäre Erziehung der Sinne meint.

<sup>615</sup> Einer umfangreicheren Auseinandersetzung mit Kant und allfälligen Relationen zu Poincarés Überlegungen wurde im Zuge dieser Arbeit ausdrücklich aus dem Weg gegangen.

<sup>616</sup> Weil es hier nicht darum geht, das Thema Konstitutionstheorie ausführlicher zu verfolgen, sondern es nur als einen möglichen Horizont von Poincarés nachfolgend zitierter Aussage ins Spiel zu bringen, erfolgt keine detailliertere Auseinandersetzung mit der plausibel erscheinenden Wikipedia-Passage. Es wird lediglich das enthaltene Zitat Kants durch Wiedergabe als Fußnote in einen erweiterten Original-Kontext gestellt.

„In der Metaphysik kann man nun, was die Anschauung der Gegenstände betrifft, es auf ähnliche Weise versuchen. Wenn die Anschauung sich nach der Beschaffenheit der Gegenstände richten müsste, so sehe ich nicht ein, wie man a priori von ihr etwas wissen könne; richtet sich aber der Gegenstand (als Objekt der Sinne) nach der Beschaffenheit unseres Anschauungsvermögens, so kann ich mir diese Möglichkeit ganz wohl vorstellen. Weil ich aber bei diesen Anschauungen, wenn sie Erkenntnisse werden sollen, nicht stehen bleiben kann, sondern sie als Vorstellungen auf irgend etwas als Gegenstand beziehen und diesen durch jene bestimmen muß, so kann ich entweder annehmen, die Begriffe, wodurch ich diese Bestimmung zu Stande bringe, richten sich auch nach dem Gegenstande, und dann bin ich wiederum in derselben Verlegenheit, wegen der Art, wie ich a priori hievon etwas wissen könne; oder ich nehme an, die Gegenstände, oder, welches einerlei ist, die Erfahrung, in welcher sie allein (als gegebene Gegenstände) erkannt werden, richten sich nach diesen Begriffen, so sehe ich sofort eine leichtere Auskunft, weil Erfahrung selbst eine Erkenntnisart ist, die Verstand erfordert, dessen Regel ich in mir, noch ehe mir Gegenstände gegeben werden, mithin a priori voraussetzen muß, welche in Begriffen a priori ausgedrückt wird, nach denen sich also alle Gegenstände der Erfahrung notwendig richten und mit ihnen übereinstimmen müssen.“ (Kant, 1998, S. 21)

„Die Konstitutionstheorie besagt im Grundsätzlichen: Die von uns erlebte Welt wird (nach bestimmten in uns liegenden Regeln) von uns »konstituiert«, oder anders ausgedrückt »geschaffen«. Die von uns erlebte Wirklichkeit bzw. Realität existiere unabhängig von diesem Prozess des Konstituierens überhaupt nicht... Ein wichtiger Vertreter der Konstitutionstheorie war Kant, der behauptete, wir Menschen würden sogar die Naturgesetze in die Welt tragen, unabhängig von uns seien dort keine.“ (Möller, o.J., o.S.)

Diese Beschreibungen und das Zitat Kants lassen eine Kompatibilität/Affinität mit folgenden Sätzen Poincarés erkennen, die besonders auch Möllers Hinweis auf das Einbeziehen der Naturgesetze betreffen.

« Il faut ensuite examiner les cadres dans lesquels la nature nous parait enfermée ....ce n'est pas la nature qui nous les impose, c'est nous qui les imposons à la nature parce que nous les trouvons commodes, ... » (Poincaré, o.J, S. 7)

„Besteht die Harmonie, die die menschliche Intelligenz in der Natur zu entdecken glaubt, auch außerhalb dieser Intelligenz? Nein, zweifellos ist eine Wirklichkeit, die vom Geist der sie begreift, sie sieht oder fühlt vollständig unabhängig ist, eine Unmöglichkeit.“ (Poincaré, 1910, S.7 Wert)

„Kurz gesagt, die einzige objektive Wirklichkeit sind die Beziehungen der Dinge, aus denen die Harmonie der Welt hervorgeht. Allerdings können diese Beziehungen, diese Harmonie nicht außerhalb eines Geistes, der sie begreift oder sie fühlt, begriffen werden.“ (Poincaré, 1910, S. 204 Wert) <sup>617</sup>

In dem Maße wie Kant als Protagonist einer Konstitutionstheorie gilt, würden diese Sätze Poincarés auch zum Hinweis von Ladyman (2014, o.S., Kap. 3.1) auf einen Kantian flavour bei Poincarés Strukturenrealismus passen.

In dieser Arbeit wurde unterstellt und versucht, durch Indizien zu illustrieren, dass eine von der Sensibilität für Licht und Motilität beeinflusste Enzephalisation der Wahrnehmung eine hohe Affinität zu den von Poincaré in Ansatz gebrachten wahrnehmungsbezogenen Fundamenten von Geometrie hat. In diesen Kontext gestellt werden akkurat die Evolution der geometrieaffinen Komponenten von Wahrnehmung und daraus resultierender kognitiver Potentiale nicht nur zu den Fundamenten von Geometrie, sondern, übereinstimmend mit den zitierten Aussagen Poincarés, auch zu solchen der Konstitution von Wirklichkeit.

Im selben Maß, wie Poincaré mit so weitem Horizont nicht nur den Grundlagen von Geometrie, sondern auch jenen der Konstitution von Wirklichkeit nachgeht und dabei einen Indeterminismus kognitiver Potentiale etabliert <sup>618</sup>, ist Poincaré jenseits seiner Fachwissenschaften auch fundamentalkritischer Philosoph. Aus dieser Perspektive betrachtet entsprechen Poincarés Einlassungen über die wahrnehmungsbezogenen evolutionären Fundamente von Geometrie nicht nur fachwissenschaftlichen und erkenntnistheoretischen Fragen, sondern sind sie eine subtile Auseinandersetzung mit unserem „esprit“ hinsichtlich der Genese seiner neurokognitiven Grundlagen und Potentiale sowie deren Reichweite im Sinn einer weltbezogenen condition humaine.

<sup>617</sup> In diesen Sätzen zeichnet sich ab, dass Poincaré von einem indirekten Zugang zur externen Realität ausgeht, der nicht das unmittelbare Erkennen der Dinge an sich, aber doch einen viablen Interagieren auf Basis von detektierbaren Relationen als taugliche Möglichkeit in Ansatz bringt.

<sup>618</sup> Aus diesem Indeterminismus Poincarés scheint sich auch eine markante Distanz zu Kant zu ergeben; zumindest vordergründig betrachtet. Allerdings würde das Verifizieren dieser Einschätzung eine Lektüre Kants sowie ein von mir nicht leistbare Untersuchung erfordern, ob und gegebenenfalls welcher Art Kants Apriori auch bezüglich kognitiver Potentiale als deterministisch zu interpretieren ist und welche Relation zu Poincarés Indeterminismus sich daraus ergibt. Als ein Ergebnis der vorliegenden Arbeit sollte, bestärkt durch die Ausführungen Oesers und anderer, eine allzu triviale Form von adaptionistisch fundiertem Determinismus ausgeschlossen werden können.

### 18.3 Zum Schluss: Parturiunt montes...!

Auch wenn das Zusammenstellen eines Textes dieser Art immer auch mit der Hoffnung verbunden ist, themen- und sachgemäße Recherchen richtig wiederzugeben und vielleicht auch mit dem einen oder anderen nützlichen Gedankengang die Vielfalt involvierter Perspektiven plausibel und etwas horizonterweiternd aufzeigen zu können, so ist abschließend aus persönlicher Sicht über die hier angestellten Bemühungen mit Horaz doch nur zu sagen: Parturiunt montes...!

## 19 RÉSUMÉ EN FRANÇAIS

La perception visuelle est un phénomène se produisant sur un arrière-plan géométrique et dont l'influence complexe s'étend bien au-delà de l'horizon évident.

Dans ce mémoire, on examine les aspects de la perception spatiale dans la mesure où ils sont pertinents pour l'approche de Poincaré. Les motifs et les repères du travail sont les potentiels cognitifs d'interaction avec une réalité externe en affinité avec la géométrie, y compris une vue des différentes perspectives de l'épistémologie évolutionnaire.

Nous poursuivons l'approche de Poincaré exclusivement par rapport à ses considérations cognitives-psychologiques sur la perception spatiale. Celles-ci avaient une influence durable sur les concepts d'épistémologie, où contingence, hypothèse et expérience forment des facteurs pertinents. Dans l'oeuvre « philosophique » de Poincaré, l'intuition subtile joue également un rôle majeur.

Emile Boutroux, William James, Hermann Helmholtz, ainsi que Johannes Müller, qui avaient bien travaillé une génération avant Poincaré, sont également abordés. Le traité de Müller sur les énergies sensorielles spécifiques de 1826 avait déjà des conséquences épistémologiques qu'il avait lui-même tirées et qui étaient efficaces à de nombreux égards.

Contrairement à l'approche axiomatique qui domine chez Hilbert, Poincaré a intégré l'évolution de la perception dans ses considérations sur les fondements de la géométrie. C'est pourquoi quelques parties du présent travail se concentrent sur les composantes visuo-cognitives de l'intuition géométrique et leurs relations à la perception sensorielle en prenant en compte son potentiel cognitif, allant de *core knowledges* à la construction consciente de concepts abstraits.

En se basant sur l'activité photomotrice des archaebactéries extrêmophiles, on suppose que la *motilité* et la sensibilité à la lumière peuvent former des *small-world* réseaux neuronaux avec des potentiels émergents par le processus d'encéphalisation de la perception visuelle. Par conséquence, on propose l'émergence des potentiels cognitifs pour la structuration intelligente de la réalité extérieure. Ceci est en corrélation affirmative avec l'hypothèse de Poincaré: «...le concept général de groupe préexiste dans notre esprit au moins en puissance. » (Poincaré, 1902, S. 76)

Compatible avec l'argumentation en faveur des géométries avec plus de trois dimensions et laissant le libre choix, laquelle entre elles puisse être considérée comme la plus commode dans

chaque cas précis, la position de Poincaré est imprégnée d'un plaidoyer permanent contre un *a priori*.

En utilisant une approche biogénique de la cognition (Lyon), ce travail vise à montrer qu'il existe des concepts dans diverses disciplines qui, en faveur de l'indéterminisme de Poincaré, sapent l'*a priori* de la tridimensionnalité et ouvrent la possibilité de potentiels cognitifs qui peuvent transcender un déterminisme évolutionniste.

Les aspects évolutifs compatibles avec cette vue des choses comprennent, entre autres, l'encéphalisation de la perception (cf. Oeser), les modèles constructivistes (cf. Autopoiesis - Maturana et Varela), une approche biogénique de la cognition (Pamela Lyon), le modèle de Simplexité (Berthoz) ainsi que les potentiels émergents des petits réseaux mondiaux (Horx, Sporns: small world networks).

La faible tolérance aux rayonnements de l'ADN est considérée comme un facteur approprié du point de vue de l'évolution, à partir duquel la gamme spectrale de la lumière visible et l'apparence visuellement perceptible des corps solides opaques sont abordées comme une construction dans le cadre d'un concept constructiviste.

Outre la motilité, une importance particulière est accordée à l'évolution d'une sensibilité à la lumière que l'on retrouve déjà chez les organismes unicellulaires. En effet, selon l'hypothèse de travail soutenue ici, la mobilité d'organismes et l'ambivalence projective d'un système visuel avec des yeux en forme de « camera obscura » ont une influence particulièrement exigeante et stimulante sur l'encéphalisation de la perception et les potentiels cognitifs géométriques.

Pour le dire en quelques mots : « L'optique est bonne pour le cerveau. » (Knopf)

Des stimuli sensoriels sont considérés comme des perturbations d'organismes largement autonomes mais non autosuffisants. Ces perturbations sont codées de manière spécifique au système en fonction de leur effet sur l'homéostasie et pour la survie de l'organisme ; donc elles deviennent des signes d'expériences existentielles ayant une signification hypothétique sur l'effet de certaines interactions distinguables d'organisme avec la réalité extérieure.

La perception tridimensionnelle est abordée comme un *modus operandi* « quick&dirty simplexe » selon l'auto-optimisation du système de traitement visuel, qui construit la réalité externe comme subjectivement émulée.

Même dans la perspective d'un constructivisme modéré, ceci conduit à un découplage de la réalité extérieure, dont les conséquences sont ici étudiées dans le cadre à la fois de l'épistémologie évolutionniste et de quelques sciences affines. En procédant ainsi, il faut, d'une part, éviter un solipsisme hermétique et, d'autre part, éviter la restauration de la tridimensionnalité comme entité *a priori* à travers une position adaptative banale ; une telle restauration pourrait avoir une influence déterminante sur la conscience subjective comme sur la réalité extérieure.

Comme indication affirmative d'un potentiel de transcender les prédispositions évolutionnistes restrictives, on affirme la considération avancée par Elisabeth Spelke (2010), selon laquelle, en combinant différentes stratégies d'analyse, les enfants développent des concepts géométriques généraux qui sont plus abstraits et ont une plus grande universalité que les connaissances fondamentales géométriques sous-jacentes.

Donc, ce mémoire poursuit l'hypothèse que les éléments fondamentaux de la géométrie selon Poincaré, à savoir la lumière, le mouvement et les corps solides, sont en même temps des facteurs essentiels de l'évolution de la conscience. Il est alors probable de trouver des aspects de connexion qui pourraient combler les divergences entre un constructivisme langagier et un constructivisme qui se réfère aux fondements de la perception.

Tout compte fait, ce travail montre Poincaré en tant que philosophe dont l'oeuvre est marquée par une logique intrinsèque et une intuition subtile.

## Vue d'ensemble des sections de cette thèse :

- 1 Observations d'ordre général
- 2 Entrée- Différents aspects
- 3 L'objet en tant que construction de l'observateur qui mérite d'être interrogée.
- 4 Vue d'ensemble du système visuel
- 5 Conditions, cadres et avantages évolutifs d'une sensibilité à la lumière
- 6 De la sensibilité aux rayonnements à l'interprétation des stimuli
- 7 De la perception à la connaissance
- 8 Construction d'objets basée sur la sensibilité à la lumière
- 9 Problèmes épistémologiques d'une construction d'objet liée à la lumière
- 10 La lumière influence le développement du connectome
- 11 L'approche monoculaire de Poincaré de la spatialité induite par le mouvement est en corrélation avec un concept élargi de la vision
- 12 Binocular turn: Avantages et problèmes des yeux frontaux sur le chemin vers la 3D
- 13 Les gestes du regard comme composante intuitive de l'objectivité
- 14 L'objet est-il une métaphore polyvalente et commode ?
- 15 Le mésocosme évolutif s'oppose-t-il à l'épistémologie de Poincaré ?
- 16 Le milieu des modèles biologiques et évolutifs
- 17 D'autres preuves en faveur de l'indéterminisme de Poincaré
- 18 Résumé

## Abrégés des chapitres principaux

### Ad 2 Entrée- Différents aspects

Cette section prépare sous différents angles pluridisciplinaires le sujet abordé en relevant à la fois des aspects factuels et personnels.

Ainsi, on intègre par exemple la psychologie, le rôle des contours et des ombres dans la perception des corps solides, la distinction de Poincaré entre les changements de forme liés à la condition (état) et ceux liés au mouvement, et l'intégration de la perception et de ses aspects évolutifs dans les fondements géométriques comme le soutiennent — contrairement à Hilbert — Poincaré, Hölder et Mach.

L'aspect spatial des objets est également remis en question à partir d'exemples tirés de l'histoire de l'art. Angela Breidbach esquisse une influence de l'optique physiologique de Helmholtz (1867) sur Cézanne, qui va jusqu'à s'éloigner de la perspective centrale et à développer un langage formel cubiste multi-perspectif, ce qui pourrait même être directement influencé par Poincaré.

Les travaux d'Eric Kandel illustrent les composantes psychologiques et neurocognitives de la perception et de l'analyse des images, qui ne concernent pas seulement des éléments

géométriques comme les ombres et les lignes. En référence à Helmholtz, Kandel affirme la perception comme un test d'hypothèse et, via Gombrich, il met également en jeu la partie formatrice de l'observateur. Il en résulte des aspects constructivistes avec des conséquences épistémologiques.

Les remarques de Hoffman sur l'intelligence visuelle et son concept de vues régulières élargissent l'accès aux préférences géométriques de notre perception.

Ad 3 L'objet en tant que construction digne d'être interrogée par l'observateur

Dans les publications spécialisées, les phénomènes de perception spatiale sont illustrés par des images bidimensionnelles. Mais le changement de trois à deux dimensions sont ignorés pour la plupart.

Avec leur Géométrie descriptive, Gaspard Monge et ses successeurs ont développé des concepts ingénieux qui montrent combien d'efforts sont nécessaires pour compenser le déficit en information spatiale des images bidimensionnelles. Uniquement au moyen de constructions spécifiques, tenant compte de différents points de vue, les relations nécessaires peuvent être faites lisibles et appropriés pour des préparations précises d'actions.

Néanmoins, même des images monoperspectives d'objets peuvent donner au spectateur l'impression spontanée qu'il est suffisamment informé sur les conditions spatiales d'un objet ou d'une scène.

Cette impression *de facto* trompeuse est une caractéristique importante de nos potentiels visuocognitifs et a une cause réelle dans l'ambivalence spatiale de l'image bidimensionnelle de la rétine. Suivant la recherche de Poincaré sur les fondamentaux de la géométrie et de la perception spatiale, il convient d'étudier ce phénomène des images bidimensionnelles d'objets et de scènes et d'interroger leur force persuasive.

Sur cette base, les exemples de l'histoire de l'art ne font pas seulement partie de l'objet de la recherche en principe. Cette approche, qui affecte également ce que l'on appelle les illusions d'optique, présente également l'avantage que l'analyse de la perception de l'image par le spectateur permet de mieux comprendre le potentiel visuocognitif de ce dernier. Eric Kandel (2012), en référence à Hubel, Wiesel, Zeki et Gombrich, montre à quel point les contours et les ombres agissent comme un moyen privilégié de conception d'images parce qu'ils sont profondément ancrés dans notre perception créative et ses structures neurophysiologiques.

De plus, cette section vise à démontrer l'hypothèse selon laquelle les ombres et les contours forment des composantes de la perception spatiale qui sont véritablement liées dans le cadre des processus évolutifs. Et outre, ils sont aussi étroitement liés à l'encéphalisation et par conséquent à des potentiels cognitifs complexes, qui jouent également un rôle fondamental dans la pensée consciente.

Il s'agit donc de questionner la perception spatiale des représentations bidimensionnelles (linéaires) d'objets dans le but d'interpréter également les objets tridimensionnels comme des constructions propres au système selon des règles de traitement visuocognitives (Cassirer) et comme des dispositifs pragmatiques (Ladyman) pour une interaction avec la réalité externe.



#### Ad 4 Vue d'ensemble du système visuel

Cette section donne un aperçu des structures neurophysiologiques du traitement visuel et tente de mettre en évidence les corrélations avec la performance spatio-géométrique du système visuocognitif.

L'un des résultats de cette recherche est que deux voies de traitement visuel sont fortement corrélées avec des potentiels spatiaux distincts et, après Dehaene et d'autres, affectent également les connaissances mathématiques et géométriques de base. En plus de la voie dorsale, qui est plus fortement liée au mouvement et à la localisation, la voie ventrale joue un rôle à plusieurs niveaux dans la reconnaissance des objets, y compris dans la reconnaissance de leurs caractéristiques spatiales pertinentes, et, selon Koch, cette voie est aussi essentiellement intégrée aux corrélats neuronaux de la conscience.

En ce qui concerne le titre de cet ouvrage, il est remarquable qu'ils existent des zones cérébrales du traitement visuel qui sont actives non seulement dans le processus de perception, mais également dans l'activité de l'imagination et de la mémoire. Cela semble compatible avec le modèle d'une perception visuelle « top-down », soutenu dans ce travail et est, en plus, considéré comme indication qu'ils existent également des corrélats neuronaux qui peuvent être identifiés par observation. Certains des processus corrélatifs peuvent être localisés et représentés comme des noeuds fonctionnels de réseaux neuronaux, au moins partiellement.

#### Ad 5 Conditions cadres et avantages évolutifs d'une sensibilité à la lumière

Le coeur de l'hypothèse poursuivie ici est la tentative d'établir sur la base de preuves circonstanciées, que le rayonnement électromagnétique constitue l'une des composantes essentielles d'une biosphère, qui influence à la fois les conditions basiques de vie et soutient également l'évolution d'un potentiel perceptif, qui contribue notamment à l'émergence d'un sens visuel pour l'identification précise de forme d'objets et tout autant pour l'anticipation et le contrôle du mouvement. De plus, ce système visuel est affirmé comme un facteur important d'encéphalisation et d'émergence de potentiels cognitifs abstraits.

Le rayonnement électromagnétique, qui est hostile à la vie dans une large gamme du spectre, est une composante de l'évolution de la motilité et de notre système visuel. De ce point de vue, ces deux racines de l'évolution de potentiels cognitifs sont déjà présentes sous des formes rudimentaires au niveau des organismes unicellulaires, mais au cours de l'encéphalisation de la perception, elles vont bien au-delà.

La modification des protéines transmembranaires d'organismes unicellulaires en structures photosensibles ainsi que la photomotricité orientée sont citées comme exemples d'une chaîne d'indications qui devrait servir comme argument pour une véritable relation étroite d'évolution entre les yeux et le cerveau. Ce chemin est illustré par le stigmate opaque d'*Euglena viridis*, par la sensibilité à la lumière de la peau, par les creux de la peau comme les yeux en forme d'un coupe et puis aux yeux de la type camera obscura. L'accent est également mis sur la vision fovéale et la mobilité oculaire ainsi que sur la connectivité évolutive des yeux et du cerveau selon l'histologie embryonnaire et des gènes spécifiques, tels que p.e. Pax6.

En bref, cette chaîne de preuves conduit à la conclusion, qui exprime également l'un des résultats de ce mémoire :

La faible tolérance aux rayonnements des protéines et de l'ADN est un facteur décisif dans l'évolution des structures neuronales et des potentiels neurocognitifs complexes.

#### Ad 6 De la sensibilité aux rayonnements à l'interprétation des stimuli

Dans ce chapitre, on tente de relier la sensibilité aux rayonnements à l'attribution d'une signification aux stimuli externes dans le cadre d'une approche constructiviste. La « coïncidence » joue un rôle central pour tenter de résoudre ce problème.

Cette proposition s'appuie sur les modèles de « sense making » d'Andreas Weber et sur la « biogenic approach to cognition » de Pamela Lyon.

En tenant compte des aspects de la théorie des systèmes (Bertalanffy) et de l'approche autopoïétique de Maturana et Varela, les êtres vivants sont considérés comme des sujets façonneurs de l'environnement. Il est suggéré que cela soit compatible avec la phrase de Poincaré : « Non, sans doute, une réalité complètement indépendante de l'esprit qui la conçoit, la voit ou la sent, c'est une impossibilité. » (Poincaré, 1911, S. 10)

#### Ad 7 De la perception à la connaissance

Si, sous l'aspect d'une approche biogénique de la cognition, on suit les potentiels d'interaction des êtres vivants autonomes jusqu'à la sensibilité à la lumière des organismes unicellulaires, et si on prend comme point de départ de la perception la spécialisation des protéines transmembranaires, cela conduit à son tour à la question ou au problème d'une faculté cognitive objectivement valide. Le problème devient particulièrement virulent lorsqu'on suppose un cadre autopoïétique, comme c'est le cas ici.

Un symposium intitulé « De la perception à la connaissance » explore ce sujet dans une perspective évolutive. Les réflexions du biologiste Hubert Markl illustrent le problème dans son article : *Evolution de la perception cognitive. Qu'est-ce qui nous rend capables de savoir ?*

Bien que la question n'y soit pas formulée de cette façon, ce sujet fournit un contexte essentiel à un certain nombre de considérations de Poincaré.

Avec de multiples références à Markl ainsi qu'à Jürgen Mittelstraß, cette section tente de comprendre notre perception visuelle, basée sur la lumière, non pas comme une réception passive de stimuli mais comme une détection active, en se fondant sur l'exemple de Markl de la localisation sonore active de la chauve-souris. On suppose que la spécialisation évolutive sur la lumière en tant que domaine spectral visible, fait de notre perception visuelle une construction subjective pour structurer l'environnement généré sous cette forme.

Par conséquent, deux aspects sont revendiqués ici :

1 Le domaine spectral évolutif sélectionné de la lumière visible est un milieu propice à une interaction biologiquement tolérable avec le rayonnement électromagnétique dans la biosphère et constitue la base essentielle d'une télédétection pour une détection efficace et une détermination assez précise de la forme des corps solides (opaques).

2 La perception est abordée comme une sorte de science inconsciente à caractère hypothétique.

En utilisant l'exemple de la reconnaissance d'objets par la perception sonore de la chauve-souris, Markl attire l'attention sur la difficulté d'interpréter sans ambiguïté les stimuli sensoriels coïncidents de manière causale, car il faut aussi tenir compte du problème de la contingence.

A partir de là, la présente section tente de construire des ponts spéculatifs qui conduisent à la théorie des signes de Helmholtz, au problème d'induction de Hume et, via le concept de contingence, également à Boutroux et donc à l'environnement immédiat de l'approche épistémologique de Poincaré.

#### Ad 8 Construction d'objets basée sur la sensibilité à la lumière

Les concepts d'objet, de corps solide ainsi que de mouvement jouent un rôle fondamental dans la démarche de Poincaré. Afin de soutenir les hypothèses avancées ici, il convient donc de rapprocher le plus possible les corps solides des considérations sur le rôle évolutif significatif du rayonnement électromagnétique, de la lumière, de la perception visuelle et de la motilité pour l'encéphalisation. Il s'agit de considérer le corps solide en fonction de sa nature de construction ayant une affinité avec la lumière et de mettre en jeu le rôle (constructif) du mouvement. Dans un sens, c'est une tentative d'établir (d'instancier ?) l'objet comme modèle, qui est disponible comme invariant robuste au niveau sensoriel-cognitif et qui est compatible avec la réalité externe dans une mesure viable, sans fixer un énoncé ontologique sur le corrélat dans la réalité externe. Outre la construction des objets par le traitement des données sensorielles et par des processus de liaison neuronale, il s'agit également d'approcher les propriétés physiques de l'objet extérieur. Sont alors concernées en particulier les relations avec la perception tactile et visuelle, qui deviennent constamment efficaces comme stimuli invariables sur la perception sensorielle. (Ce qui n'implique pas un quelconque réalisme naïf!)

La coïncidence étonnamment fréquente de l'opacité et de la solidité mécanique dans le spectre visible est considérée comme une base viable pour faire de cette opacité un indicateur pour la détection visuelle et la détermination de la forme des corps solides. En ce qui concerne le problème d'induction que Markl a mis en jeu avec l'exemple de la chauve-souris, la question est de savoir si la coïncidence des stimuli haptiques et visuels avec lesquels nous percevons un objet comme un corps solide et le construisons dans ce sens, se produit de manière si cohérente les uns avec les autres qu'ils peuvent être considérés non seulement comme « conjoined » mais aussi dans une mesure suffisante comme « connected » pour tirer des pronostics fondés.

Ceci affecte non seulement le problème d'induction de Hume, mais aussi la compréhension que Poincaré a des objets extérieurs, pour lesquels il revendique un lien constant. Comme notre propre corps apparaît également largement opaque dans le même domaine spectral, l'activité des mains des primates dans le domaine visuel offre une manière particulièrement efficace d'utiliser le propre corps comme un outil intuitif de mesure géométrique comparatif. Cela crée un complexe de relations qui rend l'auto-perception du sujet agissant compatible avec les objets externes via l'opacité. Ce processus se fait selon des critères et d'une manière qui peut être décrite comme géométrique et qui semble également compatible avec l'approche de Poincaré.

## Ad 9 Problèmes épistémologiques d'une construction d'objet liée à la lumière

La lumière et les ombres jouent un rôle essentiel pour distinguer les objets de leur environnement et favoriser une impression réaliste. Ceci s'applique à la perception de notre environnement naturel ainsi qu'aux images et n'est pas seulement valable en peinture, mais aussi en géométrie descriptive, comme l'ont montré de façon impressionnante Monge, Brisson et Hachette.

On décrit comment Svetlana Georgieva (2008) identifie des corrélats neuronaux dans le gyrus temporel inférieur pour les potentiels de perception appelés « shape from shading ». Ce gyrus est une zone dans le trajet visuel ventral du cerveau.

De plus, cette section aborde « l'hypothèse de la lumière du dessus » et les caractéristiques spécifiques du système visuel des primates diurnes tels qu'identifiés par Alexandra de Sousa.

D'un point de vue épistémologique, cela soulève le problème de savoir dans quelle mesure la spécialisation évolutive pour l'ombre façonné par la lumière venant d'en haut, force un concept trop étroit de l'adaptation qui favorise un réalisme évolutionniste ontologique.

## Ad 10 La lumière influence le développement du connectome

Ce chapitre fournit une série d'indices supplémentaires qui (devraient) étayer l'influence considérable d'un système visuel sur l'encéphalisation et le développement de potentiels cognitifs complexes.

Parmi les aspects considérés, on peut citer la neurogenèse induite par la lumière, la miniaturisation du réseau neuronal et la conduction efficace des stimuli par myélinisation, ainsi que l'expansion et l'optimisation du connectome à la manière d'un « Small-World Network » avec des potentiels émergents.

## Ad 11 L'approche monoculaire de Poincaré de la spatialité induite par le mouvement est en corrélation avec un concept élargi de la vision

Bien que l'augmentation des performances due à la sommation binoculaire (binocular facilitation) favorise une position frontale des yeux, elle est également associée à des problèmes. D'un point de vue évolutionniste, le jeu complexe de la vision fovéale, de la coordination des yeux frontaux et de la fusion d'images divergentes en une perception spatiale homogène n'est en aucun cas aussi évident qu'il nous semble l'être en tant que phénomène quotidien.

Comme la rivalité binoculaire et l'image rétinienne bidimensionnelle jouent dans ce complexe un rôle qu'il ne faut pas sous-estimer, ces relations sont ici examinées plus en détail afin de montrer que de véritables affinités entre l'évolution d'un corps symétrique à tête mobile et à une paire d'yeux frontaux et les fondements de la géométrie peuvent être revendiquées grâce au mouvement.

Compatible avec Poincaré, le rôle des mouvements oculaires et des sens musculaires en particulier est développé en référence au modèle élargi de vision spatiale de Bell et à la référence de Bechterew au rôle de la mémoire de la séquence de mouvements pour atteindre un objet comme composante de l'idée d'espace.

## Ad 12 Binocular turn: Avantages et problèmes des yeux frontaux sur le chemin vers la 3D

La position d'une paire d'yeux frontaux dont les champs de vision se chevauchent, ne permet pas seulement les impressions visuelles spatiales que nous connaissons. La tridimensionnalité est une forme de perception très particulière et, d'un point de vue évolutif, elle n'est en aucun cas la seule solution possible. Elle conduit également à un certain nombre de problèmes, qui sont interprétés ici en tant que défis pertinents pour l'évolution du système visuocognitif contribuant de manière significative à l'encéphalisation progressive.

Selon Lorenz, même les premières formes évolutives de fixation téléotactique binoculaire sont considérées comme un pas important vers un comportement intelligent. Comme les vertébrés ont un degré élevé de traitement parallèle et de liaison neuronal, et comme le paradigme de la compétition s'applique également aux systèmes neuronaux, la fusion des images des deux yeux pour former une perception homogène ne va pas de soi. Cela est dû aussi au fait que les deux images deviennent de plus en plus divergentes avec la proximité croissante de l'objet focalisé de sorte que la rivalité binoculaire peut également entrer en jeu. En partant du phénomène de la rivalité fragmentaire (piecemeal rivalry), il est suggéré d'interpréter la tridimensionnalité stéréoptiquement perceptible comme une sorte de solution simple (simplexe) du problème de la rivalité, qui permet que dans une plage de tolérance viable, que la différence entre les images des deux yeux ne conduise pas à une suppression alternée, mais à la qualité émergente d'une impression spatiale homogène. Une indication à l'appui de cette thèse est l'existence des neurones dans les premières zones du traitement visuel qui sont spécifiquement sensibles à la disparité binoculaire.

Parmi les problèmes qui affectent particulièrement la planification et la manipulation des objets sous contrôle visuel, on trouve les vues de plus en plus divergentes des petits objets à courte distance et la rivalité binoculaire.

On soutient l'hypothèse que les yeux frontaux et la sensibilité spécifique pour l'évaluation de la disparité binoculaire forment un concept alternatif spécialisé et très efficace pour la localisation d'objets, la résolution de l'ambivalence projective et la détermination de la forme par parallaxe basée sur le mouvement du corps. Ce concept 3D simplexe réduit la quantité de mouvements du corps, permet d'obtenir un niveau d'information plus élevé et favorise également une solide cohérence des stimuli binoculaires sur le chemin du traitement vers la conscience.

Dans le modèle de compensation de Poincaré, cela conduit à un calcul plus simple et plus précis car les mouvements corporels très variables sont remplacés par la distance interpupillaire fixe. Et il est également compatible avec les nombreuses références de Poincaré au rôle des sens musculaires et des mouvements des yeux.

D'autres considérations dans ce chapitre sont consacrées à l'aspect déictique des mouvements oculaires intentionnels et à leur potentiel pour coordonner les concepts spatiaux des partenaires par des gestes du regard. C'est un facteur important pour la manipulation coopérative des objets.

Sur cette base, et compte tenu d'un projet de recherche sur la synchronisation inter-cerveau, on tentera d'établir un accès intuitif à l'objectivité compatible avec Poincaré, ce qui semble également possible en dehors de la communication linguistique.

## Ad 13 Les gestes du regard comme composante intuitive de l'objectivité

Dans ce contexte, il s'agit de confirmer l'importance fondamentale que Poincaré attribue à l'intuition et, au-delà, d'attirer l'attention sur la possibilité d'établir le modèle d'objectivité de

Poincaré également sur un plan non verbal ; ou du moins d'essayer de le faire. À cette fin, les potentiels intuitifs de la perception sensorielle sont particulièrement pris en considération et l'on suppose que les potentiels d'association visuo-cognitifs qui permettent la perception tridimensionnelle sont également des fondements essentiels de la cognition intuitive générale.

Avec l'incorporation de la perception dans les fondements de la géométrie par Poincaré, il ne s'agit plus seulement d'une logique sans contradiction des axiomes, mais aussi du rapport à la réalité extérieure et de la valeur épistémologique objective attribuée à la géométrie.

Poincaré déclare comme condition d'objectivité: « Ce qui nous garantit l'objectivité du monde dans lequel nous vivons, c'est que ce monde nous est commun avec d'autres êtres pensants. Par les communications que nous avons avec les autres hommes, nous recevons d'eux des raisonnements tout faits ; nous savons que ces raisonnements ne viennent pas de nous et en même temps nous y reconnaissons l'oeuvre d'êtres raisonnables comme nous. Et comme ces raisonnements paraissent s'appliquer au monde de nos sensations, nous croyons pouvoir conclure que ces êtres raisonnables ont vu la même chose que nous ; c'est comme cela que nous savons que nous n'avons pas fait un rêve. Telle est donc la première condition de l'objectivité : ce qui est objectif doit être commun à plusieurs esprits, et par conséquent pouvoir être transmis de l'un à l'autre, et comme cette transmission ne peut se faire que par ce « discours » qui inspire tant de défiance à M. le Roy, nous sommes bien forcés de conclure : Pas de discours, pas d'objectivité. » (Poincaré. 1911, § 6)

En tant qu'interprétation élargie du modèle de Poincaré, il s'agit ici de montrer que cette intersubjectivité n'est pas seulement générée par la logique du langage, mais que les gestes des yeux ont aussi un potentiel intuitif approprié pour consolider l'intersubjectivité.

Dans un contexte spatial (protogéométrique) cette méthode est particulièrement efficace lorsqu'un corps solide est observé et manipulé conjointement par des partenaires positionnés par vis-à-vis.

Ad 14 L'objet est-il une métaphore polyvalente et commode?

D'une part, il est suggéré d'interpréter une coïncidence fréquente de stimuli multimodaux au même endroit comme une sorte de "lien constant" pour la construction de l'objet avec une influence structurante sur le développement du connectome neuronal.

D'autre part, on tente de considérer les "objets réels/naturels" de Poincaré et les artefacts de l'illusion optique comme des constructions véritablement liées entre elles selon les préférences du traitement visuo-cognitif. Selon "...notre besoin de penser avec des images. " ça peut également être lié à Poincaré.

Sur la base de la phrase de Mill « Ce que nous appelons un objet n'est qu'une idée composite. », d'autres arguments incluent l'interprétation des objets par Ladyman « Les objets sont des dispositifs pragmatiques » ainsi que le « Simulacre » de Barthes et la question épistémologique suggestive de Boltzmann « Toutes les pensées humaines sont-elles autre chose que des images de la réalité ? ».

Ad 15 Le mésocosme évolutif s'oppose-t-il à l'épistémologie de Poincaré?

Dans son traité subtil sur „Erkenntnis als Anpassung“, Eve-Marie Engels (1989) se retourne contre un déterminisme évolutionniste qu'elle associe aux termes d'adaptation et de mésocosme. Bien que le plaidoyer d'Engels pour un indéterminisme cognitif soit en accord avec Poincaré, elle place les déclarations sur la « sélection naturelle » et « l'expérience des

ancêtres » dans l'environnement d'un réalisme ontologique. Mais cela ne convient pas à l'approche complexe de Poincaré.

Ce chapitre s'efforce donc de montrer la distance entre Poincaré et une « prison d'adaptation mésocosmique ». Afin d'illustrer le problème et comme indication de la position indéterministe de Poincaré, les aspects suivants sont abordés en plus de ses propres déclarations : Le concept

« Umwelt » d'Uexküll, les remarques de Copek sur Spencer, Helmholtz et Poincaré, la « contingence » de Boutroux, la critique de Krause sur Helmholtz, le concept d'« expérience intérieure » de Hume et le modèle d'« exaptation » de Gould.

Il s'ensuit que l'argument d'Engels en faveur d'une plasticité des potentiels neurocognitifs converge au moins partiellement avec l'indéterminisme de Poincaré. Cependant, la tendance à situer Poincaré dans le milieu du réalisme ontologique est fondamentalement contredite.

#### Ad 16 Description des modèles biologiques et évolutifs pertinents pour ce mémoire

Cette section tente d'illustrer les concepts biologiques et autres, afin de présenter de manière plus différenciée la relation complexe de Poincaré avec l'épistémologie évolutive.

On ce sens, on décrit, entre autres, les concepts d'auto-préservation et d'auto-organisation, le modèle d'autoergasie de Wilhelm Roux, la théorie environnementale d'Uexküll, la distinction entre systèmes conservateurs et dissipatifs d'Ilya Prigogine, le problème interne/externe abordé par Heidelberger dans Johannes Müller et l'intégration des sens musculaires par Charles Bell pour justifier un concept élargi de la vision. De plus, il se montre une tendance précoce de l'évolution à se découpler de la réalité extérieure lorsque, selon Paslack, les conditions aux limites biologiques (sous forme d'informations biologiques codées génétiquement) sont plus importantes pour l'optimisation évolutive du cycle biosynthétique que les conditions du milieu physique.

À partir d'Uexküll, il s'agit également d'un changement de paradigme de l'être vivant adapté vers l'être vivant autonome, ainsi que du modèle de la théorie de l'évolution de Francfort, selon lequel les organismes sont des acteurs autoformants de l'évolution.

Un autre domaine d'associations, en référence à Berthoz et Llinás, suppose que le mouvement favorise le développement de la cognition. On y tente de mettre en relation la motilité de la gaine de mer avec le concept de mouvement de Poincaré.

Avec le modèle des énergies sensorielles spécifiques de Müller et la théorie des signes d'Uexküll, on affirme un découplage de la réalité extérieure qui s'oppose à un réalisme naïf et conduit à un milieu constructiviste qui soutient l'indéterminisme de Poincaré.

On est ainsi conduit à affirmer que l'approche de Poincaré pour comprendre l'espace et ses dimensions, qui est basée sur un concept d'autoréférence, est compatible avec les modèles autopoïétiques.

#### Ad 17 D'autres preuves en faveur de l'indéterminisme de Poincaré

Des interprétations plus récentes de l'évolution s'opposent à un adaptationnisme global et à un déterminisme qui en découle et qui est fondé sur la réalité extérieure. Ils ouvrent la possibilité de faire émerger les potentiels cognitifs d'organismes autonomes. Selon Schurz <sup>619</sup>,

---

<sup>619</sup> Schurz, o.J., S. 12

"il n'y a pas de lien automatique entre le succès de l'évolution et la véracité. . . " et selon Oeser<sup>620</sup> (1987), l'évolution des hominidés a produit un appareil cognitif dont la portée est supérieure à ce qui est nécessaire pour la survie et la préservation de l'espèce.

Partant d'un constructivisme modéré qui est également applicable à Poincaré, l'encéphalisation de la perception transforme la réalité extérieure en une émulation de la réalité extérieure qui ne peut être interprétée qu'à partir de signes.

Cette approche peut être soutenue par les déclarations suivantes :

« Nous sommes conscientes lorsque nous rêvons, bien qu'endormis, bien que déconnectés du monde extérieur. La conscience n'est donc rien d'autre que cette réalité interne renouvelée sans cesse pour préparer, émuler, simuler l'acte. Elle est ce projecteur de la conscience qui éclaire de son faisceau (3) (Berthoz, 2009, S. 221)

"This simultaneity of neuronal activity is the neurobiological root of cognition. Although the internal state that we call the mind is guided by the senses, it is also generated by the oscillations within the brain. Thus, in a certain sense, one could say that reality is not all °out there°, but is a kind of virtual reality." (Llinás, 2001, Overview)

Sur cette base et à la suite des recherches sur les préférences du système de traitement visuel, je voudrais évaluer l'influence de la perception tridimensionnelle sur la réalité extérieure comme suit:

Even external reality probably isn't 3D, we might profit from our making it look like (3D)

#### Ad 18 Resümee

Grâce à l'analyse des fondements visuocognitifs de la géométrie effectuée par Poincaré, le concept de « Konstitutionsthorie » peut également être utilisé pour construire un pont vers Kant.

Ceci fait référence à la déclaration de Poincaré : « Il faut ensuite examiner les cadres dans lesquels la nature nous paraît enfermée ....ce n'est pas la nature qui nous les impose, c'est nous qui les imposons à la nature parce que nous les trouvons commodes, ... » (Poincaré, o.J, S. 7)

Dans ce contexte, l'évolution de la perception spatiale et les potentiels cognitifs qui en découlent deviennent non seulement les fondements de la géométrie considérée par Poincaré, mais aussi ceux de la constitution du réel.

Dans la mesure où Poincaré poursuit non seulement les fondements de la géométrie mais aussi ceux de la constitution du réel, établissant ainsi un indéterminisme des potentiels cognitifs, il est aussi un philosophe de la critique fondamentale au-delà des sciences spécialisées.

Vu sous cet angle, les réflexions de Poincaré correspondent à une considération subtile de notre "esprit", y compris ses fondements et potentiels neurocognitifs ainsi que sa portée. Même si ces considérations sont superficiellement orientées vers une interaction géométrique avec la réalité extérieure, Poincaré s'intéresse dans un sens plus profond aux questions fondamentales de la condition humaine.

---

<sup>620</sup> Oeser (1987)



## 20 REVUE FAVORISierter HYPOTHESEN, ANNAHMEN u. AUSSAGEN

Ausgehend von Phänomenen visueller Raumwahrnehmung und deren Genese sowie mit Hinweisen auf Autopoiesis, einen biogenic approach to cognition und mit Argumenten aus den Bereichen Systemtheorie, Konstitutionstheorie und Evolutionärer Erkenntnistheorie, versucht diese Arbeit, Poincarés „Rahmen, die wir der Natur aufdrängen“, <sup>621</sup> konstruktivistisch zu interpretieren, um so die qualifizierte Aktualität seiner Aussage zu untermauern. Zugleich soll die Möglichkeit emergenter Potentiale gemäß simplexer Selbstorganisation neuronaler Netzwerke ein „relativized a priori“ der Anschauung als Basis für einen mit Poincaré kompatiblen neurokognitiven Indeterminismus etablieren.

Das betrifft u.a. folgende Aspekte bzw. Annahmen:

Poincarés Grundlagen der Geometrie (Licht, Bewegung) überschneiden sich mit Faktoren biologischer Evolution.

Geringe Strahlungstoleranz von DNA und Proteinen erfordert und fördert Sensibilität für Strahlung.

Strahlungssensible transmembrane Proteine (Sensorrhodopsine) von Archebakterien als Übergang von Energiegewinnung zu rudimentären Ansätzen visueller Wahrnehmung.

Strahlungsinduzierte Motilität ist ein genuiner Faktor der Evolution kognitiver Systeme.

Sichtbares Licht ist bereits ein evolutionär evaluiertes, theoriebeladenes Konstrukt.

Schon lange vor der Ausbildung von visuellen Systemen, die ein räumliches Perzept generieren, ist Sensibilität für Licht ein (prinzipiell?) geometrieaffiner Faktor von Evolution.

Visuelles System mit camera obscura-Augen und projektiver Ambivalenz mit Bedarf nach top-down Disambiguation sowie Parallelverarbeitung und späte Bindung haben wesentlichen Einfluss auf Enzephalisation. Die Integration von Daten aus evolutionär unterschiedlich alten und dislozierten Subsystemen mit überschneidenden Teilleistungsbereichen provoziert ein hochkomplexes Konnektom, dessen Effizienz durch simplexe Selbstoptimierung gesteigert wird. (Cf. Small-World Network)

Bewegung nützt der räumlichen Auflösung projektiver Ambivalenz, die Poincaré als systemspezifisches Defizit des visuellen Fernsinns konstatiert. Das bildet auch eine Basis für geometrieaffine „Konzepte“ eines Fernraums jenseits der taktilen Reichweite.

Körperbau mit Hals und beweglichem Kopf sowie teleotaktisches Fixieren und Auswertung der binokularen Disparität und der Bewegungen frontaler Augen (Muskelsinne) als optimierte Alternative zu Bewegungsparallaxe.

Optische Täuschungen gelten nicht (vorrangig) als Defizite, sondern werden als aussagekräftiger Zugang zu Verarbeitungsschemata angesehen, mit denen das visuokognitive System schon aus minimalen Informationen zweidimensionaler Bilder der Netzhaut die

---

<sup>621</sup> „Dann müssen wir die Rahmen prüfen, in denen uns die Natur eingeschlossen erscheint und die wir die Zeit und den Raum nennen... Nicht die Natur drängt sie uns auf, wir drängen sie der Natur auf, weil wir sie bequem finden;...“ (Poincaré, 2013b, S. 9)

dreidimensionale Erscheinung eines Ambientes und besonders von diskreten manipulierbaren Objekten hochrechnet. Darauf beruhende antizipierende Handlungskonzepte werden durch sensomotorische Rückkopplung evaluiert und somit zu erfahrungserweiternden Experimenten über die Validität visuell basierter Prognosen.

Retinotopie Aktivierung visueller Areale bei Vorstellungsaufgaben unabhängig von aktuellen Wahrnehmungsprozessen bildet ein relevantes Indiz für die hier in Betracht befindlichen top-down Einflüsse und deren von äußeren Reizen weitgehend unabhängige Eigendynamik.

Vor dem Hintergrund dieser hohen systeminternen Eigendynamik visueller Konstruktionsprozesse ist die dreidimensionale Erscheinung so genannter realer Objekte mit zweidimensionalen Abbildungen genuin kompatibel. Es gilt es als weniger verwunderlich, dass sogar Linien immersiv räumliche Eindrücke generieren können, als vielmehr der für selbstverständlich gehaltene Umstand, dass dreidimensionale Objekte von ihren zweidimensionalen Abbildungen ohne Hilfe des Tastsinns visuell unterschieden werden können. Ebenso gilt die Möglichkeit der (optischen) Täuschung als weniger verwunderlich als das Vermögen, Illusion und „Realobjekt“ zu unterscheiden.

Sichtbare Linien und Konturen werden in Zusammenhang mit Mach'schen Streifen und Hell-Dunkel Kontrasten als lichtaffine Kriterien zur Strukturierung des Ambientes durch Detektion von Diskontinuitäten (cf. Tiefensprünge) interpretiert. Folglich wird Linien eine implizite räumliche Dimension zugeschrieben, die von der geometrischen Definition abweicht.

Diese implizite Wahrnehmungsbeladenheit tangiert die Relation geometrischer Visualisationen gegenüber den diesen zu Grunde liegende Axiomen.

Emergente Potentiale von Small World Networks konterkarieren determinierendes Apriori der Dreidimensionalität.

3D wird als viabler quick&dirty Modus Operandi gemäß simplexer Selbstoptimierung des neuronalen Netzwerks in Ansatz gebracht.

Wenn man diese Dreidimensionalität und die damit verbundenen neurophysiologischen Korrelate und visuokognitiven Verarbeitungsschemata als ein im Rahmen der Selbstoptimierung durch Selbstbeschränkung auf effiziente Viabilität getrimmtes Subsystems eines wesentlich komplexeren Gesamtsystems bzw. eines (autopoietisch agierenden) Netzwerks von Systemen in Betracht zieht, dann kann man für letztere(s) auch kognitive Potentiale gelten lassen, die nicht durch diese Dreidimensionalität adaptionsistisch determiniert bzw. limitiert sind.

Phänomenal dreidimensional erscheinende Objekte gelten nicht als in der externen Realität so bestehende Entitäten, sondern als auch unter Bedingung von Bewegung kovariierende Gruppen koinzidenter Stimuli, die durch Reizsummation und binocular facilitation zu besonders robusten Konstrukten bzw. zu Invarianten werden und folglich trotz des selektiven Drucks von neural competition die Schwelle zum Bewusstsein überschreiten können. Dabei wird unterstellt, dass binokulare Disparität frontaler Augen einem evolutionär optimierten Toleranzbereich der Differenz der zweidimensionalen Netzhautbilder entspricht, sodass statt binocular rivalry mit alternierender Unterdrückung durch binocular fusion ein viables Amalgam nach Art von piecemeal rivalry entstehen kann, das als simplexes Konstrukt durch Integration einer Tiefenachse zu einem homogen erscheinenden Perzept in Gestalt eines diskreten Objekts emuliert wird.

Durch häufige Koinzidenz von Opazität und mechanischer Festigkeit können Objekte über das visuelle System als handhabbare feste Körper konstituiert und folglich als lichtaffine Konstrukte bezeichnet werden. (Kompatibel mit Ladyman: objects are pragmatic devices)

Es wird davon ausgegangen, dass es im Rahmen so einer Objektkonstruktion um ein konstruktivistisches Wechselspiel der Art „**ohne feste Körper keine Geometrie- ohne Geometrie keine festen Körper**“ handelt, sodass Poincarés Satz „Wenn es also keine festen Körper in der Natur geben würde, so hätten wir keine Geometrie.“ (Poincaré, 1906, S. 63) in einen rekursiven Zirkel eingebunden ist.

Biogenic approach to cognition (Lyon) erlaubt z.B. durch Core Knowledges eine erkenntnisrelevante Integration nonverbaler intuitiver Prozesse einschließlich geometrieaffiner Blickgestik kooperativer Augen. Das bietet in Verbindung mit einer erweiterten „Hermeneutik zweiter Ordnung“ (Diebner, Keuth) auch einen Ansatz zur Überbrückung der Divergenz zwischen wahrnehmungs- und sprachbezogenem Konstruktivismus.

Überschreiten geometrischer Core Knowledges: Spelke und Izard verweisen auf „two core systems of geometry“ und Potentiale von Kindern, aus nicht leistungsidenten Teilsystemen abstrakte geometrische Konzepte mit erweitertem Leistungsbereich zu generieren.

Räumliche Orientierung und formbezogene Objekterkennung mit dem Potential zur planenden Antizipation vor Greifbewegungen werden als kooperationsstaugliche, aber auch bezüglich ihrer evolutionären Genese unterschiedliche Systeme betrachtet, die mit der Dissoziation der dorsalen Wo- und der ventralen Was- Bahn verbunden sind. Dem ventralen Strom visueller Verarbeitung wird eine besondere Bedeutung für Poincarés Fundamente der Geometrie im Rahmens des Schauspiels der Perspektiven zugeschrieben und zugleich darauf aufmerksam gemacht, dass im Milieu dieser Gehirnareale auch essentielle neuronale Korrelate von Bewusstsein vermutet werden. (Cf. Koch)

Davon ausgehend wird angedacht, das visuokognitive Konstrukt phänomenaler Dreidimensionalität als Modell zur Analyse des ebenfalls emergenten Phänomens „Bewusstsein“ in Betracht zu ziehen und wird unterstellt, dass beide systemspezifisch mit simplexer Selbstoptimierung eines neuronalen Netzwerks mit small - world Charakteristik verbunden bzw. dadurch entstanden sind .

Trotz der umfangreichen Auseinandersetzung mit neurophysiologischen Aspekten und emergenten Potentialen neuronaler Netzwerke geht es hier keinesfalls um eine reduktionistische Einschränkung auf Neuropsychologie, -philosophie usw. (Cf. Churchland, Hasler)

Poincarés konstruktivistischer Ansatz ist auch aktuell über seine unmittelbaren Fachwissenschaften hinaus einflussreich.

Aktuellere Konzepte evolutionärer Erkenntnistheorie konterkarieren evolutionären Adaptionismus, der einen extern verursachten Determinismus unterstellt und begünstigen autopoietische Konzepte, die Organismen als autonome Subjekte mit Potentialen zu plastischer Selbstorganisation sowie zur Gestaltung einer erkennbaren Umwelt in Ansatz bringen.

Johannes Müllers Konzept der sinnesspezifischen Energien, Darwins Evolutionstheorie, Boutroux Kontingenz und Helmholtz' „unbewusste Schlüsse“ sowie das Konzept der „Wahrnehmung als Hypothesenprüfung“ werden als relevante Faktoren einer Grundlagenkrise

der Wissenschaften im 19. Jh. mit Konsequenzen für Poincarés Fundamente von Geometrie und seine das Hypothetische sowie das Experiment als essentielle Komponenten integrierende Erkenntnistheorie angesehen.

Verbunden mit einer Entkopplung von der externen Realität wird der Begriff „Reiz“, der den Input extern generierter Information suggeriert, durch Perturbation ersetzt, dergemäß nur systemspezifischer Intake erfolgt, bei dem häufig koinzidenten Stimuli Bedeutung zugewiesen wird. Damit entsteht ein semiotisches Verhältnis zur externen Realität: Cf. Helmholtz' Zeichentheorie, Webers „sense making“ bzw. „signs“ und die Tendenz, durch Kausalattribution ein cum hoc mit einem propter hoc zu verknüpfen.

Via Entkoppelung und top-down augmented perception wird die externe Realität zu einer systemspezifisch konstituierten, subjektiven Emulation, die das Problem der Objektivität virulent macht.

Neuronale Reizleitung mit Aktionspotentialen bildet in Verbindung mit Reizsummation eine strukturspezifische Basis zur Konstruktion von Invarianten, wobei sogar zunächst unterschwellige Stimuli bei ausreichender räumlicher oder zeitlicher Koinzidenz noch erfasst werden. Hier wird nahegelegt, selektive Schwellenwerte und kompensativ vikariierende Summation als affine neurophysiologische Prozessstruktur bzw. als Beispiel für Poincarés präexistierendes Potential zur Bildung von Gruppen in Betracht zu ziehen.

Das visuelle System mit seinen geometrieaffinen ratiomorphen Potentialen wird als essentielle Basis eines generellen Assoziationsvermögens sowie für Intuition angesehen. Dabei wird unterstellt, dass dies mit Poincarés Hinweisen auf das Erkenntnisvermögen des sublimen Ichs und den präexistierenden Potentialen zu Bildung von Gruppen korreliert bzw. konvergent ist.

Wegen der starken gestaltbezogenen Komponente des visuellen Systems betrifft dies auch die Frage nach der Differenz visueller und sprachbezogener Assoziationsketten und tangiert somit auch den Aspekt, welche erkenntnistheoretische Validität man morphologisch orientierter Wissenschaft zugesteht. (Cf. bildhaftes Denken)

Neben der Theoriebeladenheit der Wahrnehmung ist auch eine „Wahrnehmungsbeladenheit“ der Begriffe über implizite visuell-assoziative Konnotationen incl. Räumlichkeit der Sprache in Ansatz zu bringen.

Poincarés Konstruktion von Objektivität durch intersubjektiven Abgleich der Beobachtungen und Schlussfolgerungen vernünftiger Wesen kann nicht nur, wie von Poincaré angenommen, durch die Sprache erfolgen, sondern hat (nach hier vertretener Ansicht) auch in der geometrieaffinen Blickgestik von Augen ein leistungsfähiges Pendant, das via Interbrain Synchronisation (V. Müller, MPI) bis zu raumkoordinierenden Forward- Modellen bei kooperativer Objektmanipulation führen kann. Das wird als konkretes Beispiel und als eine mit aktueller Forschung kompatible Bestärkung von Poincarés Wertschätzung der erkenntnisfördernden Leistungsfähigkeit intuitiver Potentiale geltend gemacht.

Aus diesem bereits mit evolutionärer Annahmen-, bzw. Theoriebeladenheit verbundenen, rekursiven Wechselspiel von Sprache und einer als Art hypothetische Protowissenschaft in Ansatz gebrachten visuellen Wahrnehmung ergeben sich auch Perspektiven zur Überbrückung der Divergenz von sprach- und wahrnehmungsorientierten Richtungen von Konstruktivismus.

## 21 ANHANG

Diese Arbeit beruht auf einem Konglomerat umfangreicher Zitate, welches mit oftmals weit hergeholt erscheinenden Assoziationen interpretiert und zu ohnehin schon sehr verschlungenen Indizienketten ausgebaut wurde. In manchen Bereichen erschien es nützlich zu sein, die Indizienbasis noch durch ergänzendes Material zu untermauern. Um den Textverlauf der Arbeit und die Nachvollziehbarkeit der Überlegungen nicht durch Überfrachtung mit weiteren Zusätzen zu konterkarieren, wurde dieses gezielt ausgewählte und teilweise auch themenspezifisch kommentierte Begleitmaterial in diesen Anhang ausgelagert, damit es bei Bedarf bzw. Interesse verfügbar ist, ohne aufwendig die Quellen aufsuchen zu müssen. Außerdem wird eine umfangreichere Wiedergabe von Referenzmaterial auch deshalb für opportun gehalten, weil mangels persönlicher Ausbildung in den Fachbereichen nur angelesene Information zur Argumentation herangezogen werden konnte.

### 21.1 Neurophysiologische Strukturen visueller Verarbeitung

#### 21.1.1 Beginn geometrieaffiner Reizverarbeitung in der Netzhaut <sup>622</sup>

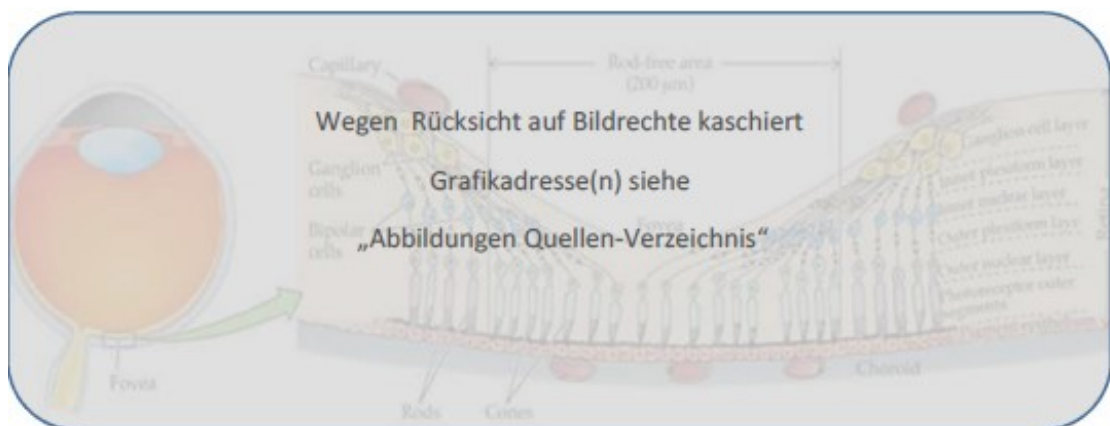


Abbildung 40 Organisation der Netzhaut 1 (Kocmut, 2016)

Die neurophysiologische Organisation der Netzhaut korreliert bereits mit strukturellen Merkmalen nachfolgender Verarbeitungsprozesse.

Die unterschiedliche Spezialisierung der Netzhaut auf eine besonders bewegungssensible periphere Wahrnehmung und eine hoch formauflösende Objektfokussierung in der Fovea lässt sich bis in korrelierende Gehirnareale verfolgen. Über das parvozelluläre System besteht einerseits eine spezifische Verbundenheit fovealer Daten mit der ventralen Was-Bahn. Andererseits werden über das magnozellanuläre System Daten des peripheren Bereichs mit der dorsalen Wo-Bahn verbunden.

<sup>622</sup> Abb: Kocmut, 2016 (<http://augenarztsalzburg.com/auge/aufbau/index.html> 8.1.2018) Anm. Ö: Zäpfchen (Cones) in der Fovea sind farbsensibel und haben ein erheblich höheres Potential zur Formaflösung im Rahmen des photopischen Tagsehens. Stäbchen (Rods) haben im peripheren Bereich der Retina eine höhere Lichtempfindlichkeit für das so genannte Dämmerungssehen bzw. skotopische Nachtsehen mit geringerer Formaflösung.

„Der dorsale Strom erhält seinen Input überwiegend aus *peripheren Gesichtsfeldrepräsentationen*, der ventrale Strom dagegen aus *fovealen Gesichtsfeldrepräsentationen* der vorgeschalteten extrastriären visuellen Areale. (Kerckhoff, 2006b, S. 133)

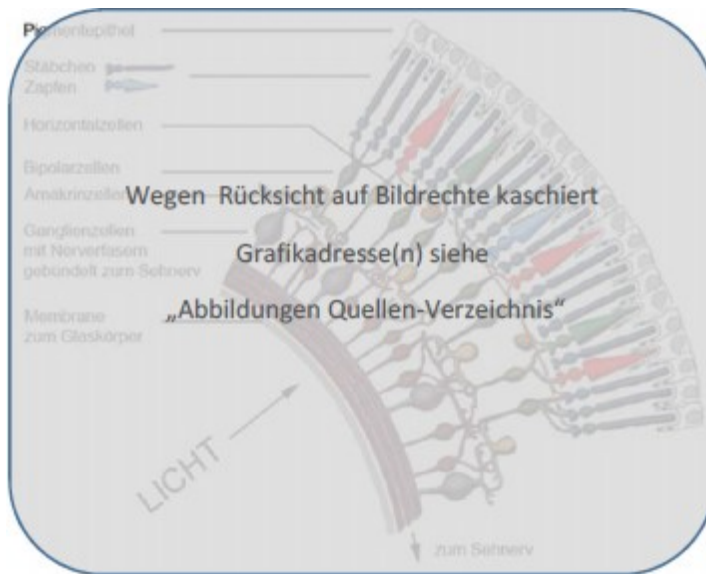


Abbildung 41 Organisation der Netzhaut 2 (Funk, 2006)



Abbildung 42 Organisation der Netzhaut 3 (Mißfeldt, 2019)

„Die einzelnen Zellschichten (von rechts nach links), in der Reihenfolge ihrer Funktionsweise:

- **Retinales Pigmentepithel (RPE):** Absorbieren von überschüssigem Licht, Abgrenzung der Fotorezeptoren von der stark durchbluteten Aderhaut.
- **Fotorezeptoren:** Umwandeln des Lichtes in Nervenimpulse.
- **Horizontalzellen:** Bündeln der Information aus den Fotorezeptoren. Sog. rezeptive Felder.
- **Bipolarzellen:** Verstärken und Bündeln der Informationen von Horizontalzellen und Fotorezeptoren.

- **Amakrinzellen:** Verarbeiten Informationen der Bipolar und Horizontalzellen.
- **Ganglienzellen:** Verstärken und Weiterleiten über die Axone ins Gehirn: Die Gesamtheit der langen Axone nennt man Sehnerv.“ (Abb. und Text: Mißfeldt, 2019)  
<https://www.onlineseh-tests.de/auge/netzhaut-retina.php> (5.4.2019)

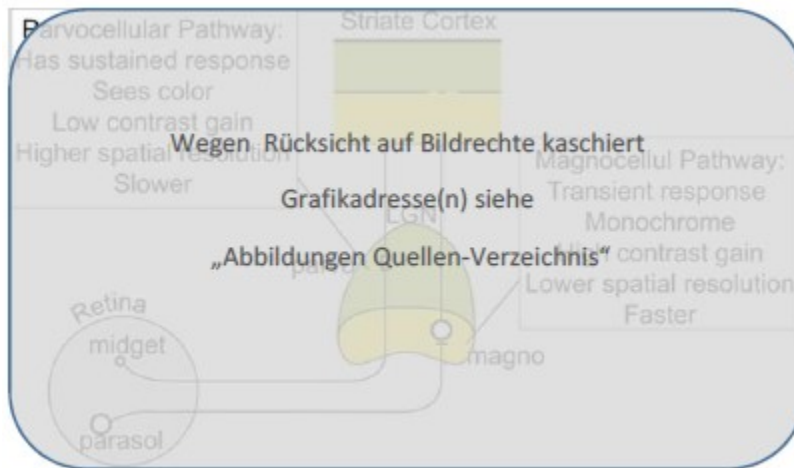


Abbildung 43 Magno-Parvocellular-Pathways

#### 21.1.1.1 Diskrete Struktur der Netzhaut provoziert Bindungsproblem

Die Betrachtungen über das visuelle System verfolgen das Ziel, strukturspezifische gestaltende Einflüsse auf das Perzept bzw. Herausforderungen für das neurokognitive System ausfindig zu machen.

Die Steigerung von Helligkeitsunterschieden durch Mach'sche Streifen wirkt sich auf die Detektion von Objekten durch Formabgrenzung mittels (subjektiver) Konturen aus. Gemäß Struktur der Netzhaut bedarf es glättender Verarbeitungsprozesse, um im Zuge der neuronalen Bindung aus den diskreten Punkten eine homogen erscheinende, kontinuierliche und möglichst scharfe Linie zu konstruieren. Das wird hier als ein Beispiel der Notwendigkeit bzw. der Wirksamkeit der Enzephalisation der Wahrnehmung angesehen. (cf. Hoffman, 2001, S. 101: Großer Teil des Gehirns mit Konstruktion von Linien beschäftigt)

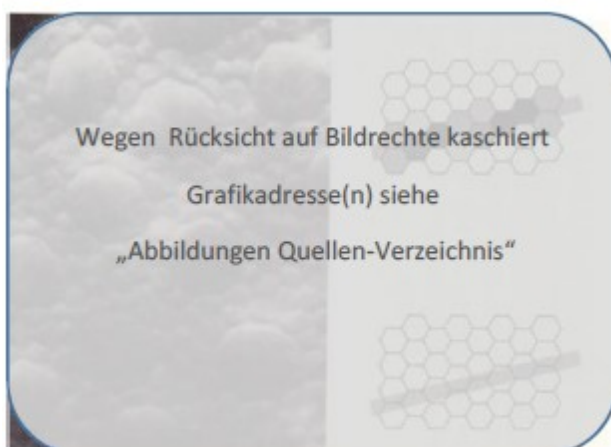


Abbildung 44 Diskrete Struktur Netzhaut (Hoffman, 2001, S. 96, 97)

### 21.1.1.2 Sehnerv / Chiasma

Der Abbildung über das Verschaltungsschema der Netzhaut ist zu entnehmen, dass die Signale der Ganglienzellen über den Sehnerv weitergeleitet werden.

Gemäß dem oben abgebildeten Gesamtschema der Sehbahn erfolgt im **Chiasma** eine teilweise Auskreuzung von Komponenten des Sehnervs und eine Zuordnung von Teilen der Netzhautsignale zur linken und rechten Gehirnhälfte. Dabei tauschen die Signale aus der nasalen Hälfte der Netzhaut des rechten Auges die Seiten und werden gemeinsam mit den Signalen der schläfenseitigen Hälfte des linken Auges zum linken seitlichen Kniehöcker weitergeführt. Gegengleich wird mit den anderen Halbbildern verfahren. Deshalb spricht man von einer kontralateralen Verschaltung der nasalen Hälften und einer ipsilateralen, nicht kreuzenden Verschaltung der lateralen Informationen, demgemäß nach dem Chiasma folglich die rechte Hälfte des Gesichtsfeldes mit der linken Gehirnhälfte verschaltet ist und das linke Gesichtsfeld mit der rechten Gehirnhälfte. (Teilw. nach Skript zur Vorlesung Bering, „Biologische Psychologie“, von Kim K. 2011, S. 31 [http://blog.hf.uni-koeln.de/fpsycho/wp-content/blogs.dir/56/files/2013/12/Bio\\_Bering\\_kr.pdf](http://blog.hf.uni-koeln.de/fpsycho/wp-content/blogs.dir/56/files/2013/12/Bio_Bering_kr.pdf) 2.5.2017)

### 21.1.1.3 Seitlicher Kniehöcker (corpus geniculatum laterale/CGL)/ parvozelluläres System

Wie der am Hören beteiligte mittlere Kniehöcker ist der seitliche Kniehöcker nicht Teil des Neocortex, sondern des Zwischenhirns, nämlich des (Meta-) **Thalamus**. Er nimmt zum Großteil die Axone der Sehbahn auf und gibt diese Signale großteils über die Sehstrahlung an den visuellen Cortex weiter. Im corpus geniculatum laterale (CGL) werden auch Daten aus anderen Gehirnbereichen integriert und modifiziert.

Gerhard Roth betont ausdrücklich: „Das CGL erhält weit mehr >absteigende Afferenzen< vom Cortex als aufsteigende Afferenzen von der Retina (schätzungsweise zehnmals mehr). Das CGL ist also keineswegs eine reine retino-corticale Umschaltstation, sondern hier findet bereits eine Verarbeitung der von der Retina ankommenden Erregung mit rücklaufender corticaler Information statt...“ (Roth, 1997, S. 161) <sup>623</sup>

Der seitliche Kniehöcker ist aus mehreren Schichten aufgebaut und enthält unterschiedliche Zelltypen. Die größeren **magnozellulären** Schichten sind vorwiegend für die Auswertung von Bewegung, Geschwindigkeit sowie räumliche Zuordnung zuständig und beziehen sich offenbar auf die dorsale **Wo Bahn**. Die namensgemäß aus kleineren Zellen bestehenden **parvozellulären** Schichten erhalten ihre Information schon aus parvozellulären Ganglienzellen der Retina. Dieser Zelltyp ist auf Farbwahrnehmung, feinere Formaflösung, Sehschärfe und Objekterkennung in Verbindung mit der ventralen **Was Bahn** ausgerichtet. <sup>624</sup>

Dieses parvozelluläre System trägt auch zur Wahrnehmung des Rot-Grün Kontrastes bei, ist damit in unserem Sinn auch für die Objektblösung vom Hintergrund relevant und wirkt demgemäß auch an einer konturierenden Formbestimmung mit. Es hat somit (nmE.) als Struktur der spezifischen Aufbereitung eines Teils der visuellen Daten eine geometrieaffine Funktion, die schon vor der Verarbeitungsebene der Sehrinde und in den auf diese folgenden Arealen zur Geltung kommt. <sup>625</sup>

<sup>623</sup> Auch das wird als ein Beispiel für die Bedeutung von top-down Einflüssen auf die Konstruktion des Perzepts interpretiert.

<sup>624</sup> (nach: <https://de.wikipedia.org/wiki/Metathalamus> und <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/corpus-geniculatum-laterale/15391> 25.4.2015, vgl. auch <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK10922> 28.6.2017)

<sup>625</sup> Nach: <http://flexikon.doccheck.com/de/P-System> 29.4.2017.



Außerdem erfolgt durch Konzentration des parvo-Systems auf fovealae Zäpfchen und durch die Verbindung zum ventralen Pfad folglich eine besondere Ausrichtung auf Objekte.

#### 21.1.1.4 Pulvinar

Das Pulvinar ist als Teil des Thalamus eng mit dem Corpus geniculatum verbunden. Indizien sprechen dafür „dass das Pulvinar eine entscheidende Rolle bei unserer Entscheidung darüber spielen dürfte, welches visuelle Objekt in einer Szene als hervorstechend ausgewählt wird und einer weitergehenden Analyse zugeführt wird, während irrelevante Aspekte der Szene herausgefiltert werden.“ (nach Thier /in Karnath, 2012, S. 37) <sup>626</sup>

#### 21.1.1.5 Sehstrahlung (radiatio optica)

Cf. Abbildung Vis Syst Überblick. Es geht um jene tw. strichlierten Linien, die von Corpus geniculatum zum primären visuellen Cortex führen.

Vom seitlichen Kniehöcker werden die visuellen Daten in stark aufgefächerten Nervenfasern vorwiegend zum Bereich **V1 des visuellen Cortex retinotop** weitergeleitet. <sup>627</sup>

#### 21.1.2 Primäre Sehrinde, V1, Area striata, Brodmann Areal 17 (striatärer bzw. Streifenkortex)

In den gemäß Gehirnhälften paarig angeordneten Bereichen von V1 erfolgt die Verarbeitung von Daten teilweise (s.u. Müsseler: erste binok. Zellen) noch getrennt gemäß Afferenz über die linke und rechte Sehbahn und unter retinotoper Implementierung der Daten. Allerdings werden dabei die zentral gelegenen Bereiche der Fovea in die lateral gelegenen Bereiche der Sehrinde projiziert (siehe Abb. u.)

---

<sup>626</sup> Der Begriff „Entscheidung“ ist hier mit dem Vorbehalt zu interpretieren, wie weit es dabei um bewusste oder unbewusste Prozesse der Steuerung von Aufmerksamkeit handelt, wobei die im Schema (Röslers) eingezeichneten Verbindungen mit präfrontalen Arealen zu Gunsten bewusster Einflussnahme zu beachten sind. In diesem Umfeld ist auch der Begriff **Salienz** zu beachten)

<sup>627</sup> (Anm. „Retinotopie w [von \*retin-, griech. topos = Ort], Erhaltung der Nachbarschaftsbeziehungen aus der Netzhaut in den dem Opticus nachgeschalteten Hirnregionen, welche die Signale aus dem Auge aufnehmen und weiterverarbeiten. So entstehen retinotope Repräsentationen oder Karten in vielen Hirnregionen, z.B. in den Colliculi superiores, im Corpus geniculatum laterale und im primären visuellen Cortex (Area 17; Sehrinde).“ (<http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/retinotopie/56461> 3.5.2017))

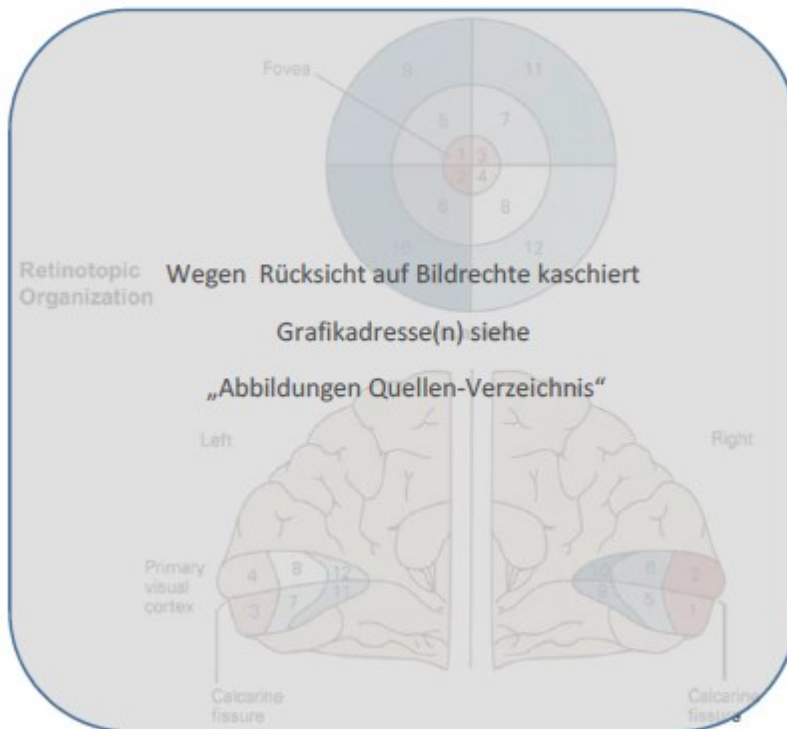


Abbildung 45 Retinotopie Karte der primären visuellen Rinde

„Eine sog. retinotopie Karte der primären visuellen Rinde zeigt dass die Mitte des Sehfeldes nicht in die Innenseite der linken und rechten Sehrinde liegt sondern außen.“

(<https://de.wikipedia.org/wiki/Retinotop> )

#### 21.1.2.1 Hoher V1- Anteil für Daten aus der Fovea! („foveale Lupe“)

Als Besonderheit dieser retinotopen Projektion ist auch noch zu beachten, dass der in der Retina und im Gesichtsfeld flächenbezogen sehr kleine foveale Bereich in V1 überproportional groß repräsentiert wird. Das korreliert mit der unterschiedlichen Dichte der Verteilung der Sehzellen in der Retina und dem hohen Auflösungsvermögen in der Fovea. (vgl. Abb. Gegenfurtner, s.o..)

Müsseler spricht bezogen auf diese erhöhte Repräsentanz von „**corticaler Vergrößerungsfaktor**“. (Müsseler, 2017, S. 17)

David Heeger illustriert dies folgend:

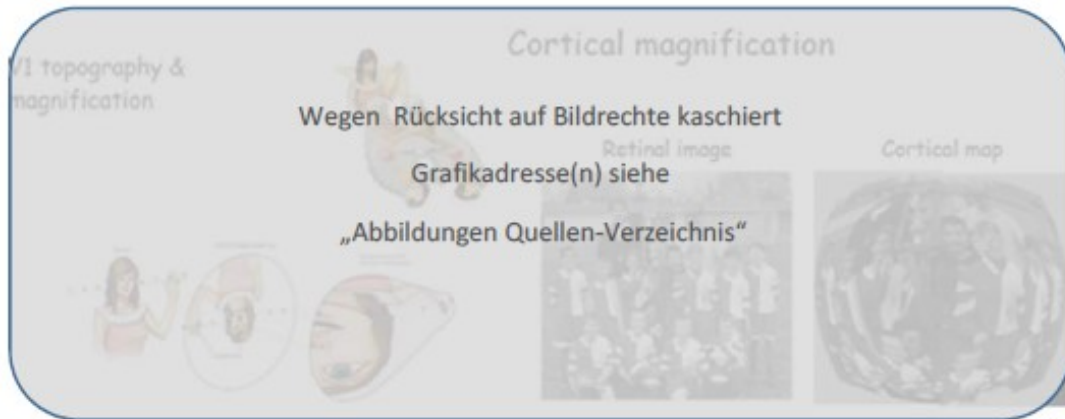


Abbildung 46 Cortical magnification (Heeger, o.J.)

(Anm. zu V1 topography...: links: Scene, Mitte: retinal image in right eye, rechts: striate cortex of left cerebral hemisphere)

Die hier dargestellte verzerrende Vergrößerung dient aber nur der Illustration der neuronalen Organisation, während das bewusst wahrgenommene Bild homogene Größenrelationen aufweist. Gegenfurtner interpretiert die Folgen dieses Sachverhalts genauer und betont dabei den Nutzen für eine hocheffiziente räumliche Auflösung.<sup>628</sup>

„Kortikale Vergrößerung: die Anzahl der Neurone, die den zentralen Bereich (*Fovea*) des visuellen Feldes repräsentieren, ist am größten und fällt zur Peripherie hin stark ab, sodass fast die Hälfte der Neurone in V1 allein die Fovea repräsentieren. Zusammen mit Blickbewegungen ist es dadurch möglich, eine hohe räumliche Auflösung mit einer begrenzten Anzahl von Neuronen zu erreichen.“ (Gegenfurtner, K. et.al. in Dorsch. Lexikon der Psychologie, online via <https://portal.hogrefe.com/dorsch/okzipitalkortex> 8.5.2017)

<sup>628</sup> Auf das Phänomen der fovealen Lupe wird hier deshalb besonders aufmerksam gemacht, weil Poincaré mit dem Hinweis auf den gelben Fleck auf die Inhomogenität des Bildes der Netzhaut aufmerksam macht. Das wird im Sinn des hier verfolgten Konzepts als Hinweis auf konstruierende neurokognitive Leistungen interpretiert. „Der gelbe Fleck kann unter keiner Bedingung als identisch einem Punkt des Randes der Netzhaut betrachtet werden. In der Tat, dasselbe Objekt ruft nicht nur an dieser Stelle weit lebhaftere Eindrücke hervor,.....“ (Poincaré, 1906, S. 54)



Abbildung 47 Foveale Repräsentation (Gegenfurtner)

21.1.2.2 Interne Selektions-, Verrechnungs- u. Konstruktionsleistungen : Kanten, orientierte Linien, Strecken

Nach Camphausen werden die kreisförmig aufgebauten rezeptiven Felder der (**parvo-**) **P-Zellen** im aufsteigenden Verlauf der Sehbahn immer größer und selektiver in ihrem Antwortverhalten.

„Auch in der Großhirnrinde kommen Nervenzellen mit kreisförmigen rezeptiven Feldern vor, die meisten sind dort aber anders organisiert. Sie heißen »simple«, »complex« oder »hypercomplex«. Alle drei Typen reagieren auf **Kanten** und **Linien bestimmter Orientierung**, die »hypercomplex«-Zellen registrieren auch deren **Enden**.“ (Camphausen, 2012, o.S.)

Eine leider kaum zu identifizierende Webseite beschreibt und illustriert diese zunehmend selektive Organisation sehr anschaulich.

“At every level, each cell "sees" more than the cells at the levels below it, and the highest-level cells have the greatest power of abstraction. This capability is generated by the neuronal connections at every stage along the visual pathways from the eyes right up to the various visual cortexes in the brain.

These levels of abstraction can be summarized as follows: the retina and the LGN "see" the position of an object, the simple cells see its axis of orientation, the complex cells see the movement of this axis, and the hypercomplex cells see the object's edges and angles.” (Incl. Abb. 67 aus:

[http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a\\_02/a\\_02\\_cl/a\\_02\\_cl\\_vis/a\\_02\\_cl\\_vis.html#3](http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_02/a_02_cl/a_02_cl_vis/a_02_cl_vis.html#3) 3.5.2017 ) (Ö> LGN: lateral geniculate nucleus)

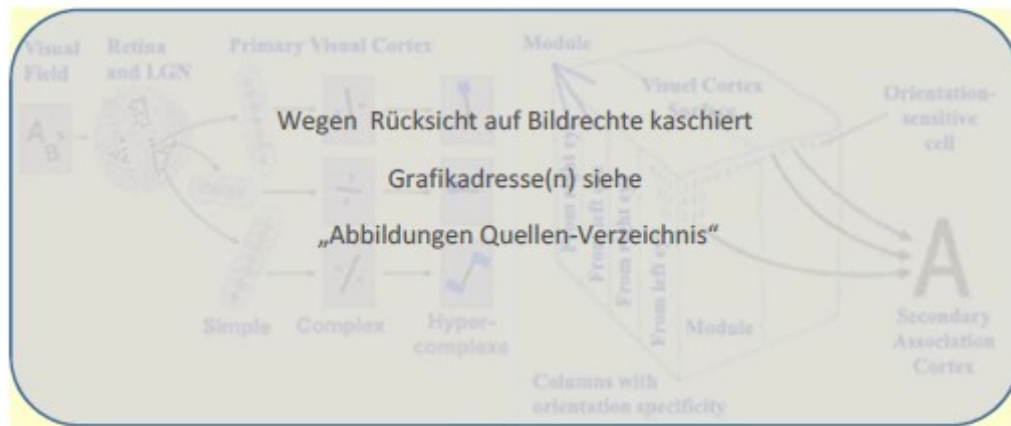


Abbildung 48 Selektive Filter V1 (Anordnung modifiziert)

Folgt man dieser schematischen Illustration, dann ergibt sich, dass im **primären visuellen Cortex** offenbar eine schrittweise Filterung bzw. Interpretation entsprechender visueller Daten erfolgt, die mittels spezialisierter neuronaler Module von der Bestimmung als Linie über deren Orientierung bis zur Definition als begrenzte Strecke führt. Das wird hier als präexistierende neuronale Struktur geltend gemacht, durch die Daten für eine geometrieaffine Objektbestimmung von Körpern durch Kanten und deren Winkel aufbereitet werden.

„Neben den einfachen und komplexen Zellen sind in V1 außerdem die *endinhibierten* Zellen (hyperkomplexen Zellen) isoliert worden, die sensitiv auf sich bewegende Ecken und Winkel einer bestimmten Länge reagieren.“ (Müsseler, 2017, S. 17)

Den weiteren Details des 6 schichtigen Aufbaues und der Funktionalität von V1 wird hier nicht nachgegangen.

### 21.1.3 Weitere Verarbeitung nach V1

Vor der Charakterisierung weiterer visueller Areale soll durch eine schematische Grafik das von V1 ausgehende und stark rückgekoppelte Vernetzungssystem angedeutet werden. (Cf. Abb. Engel 2003)

Die funktionellen Verbindungen (Konnektivität)<sup>629</sup> von V1 und der folgenden Areale zeigen eine Vielzahl von Afferenzen sowie Efferenzen. V1 erhält nicht nur Afferenzen der schon beschriebenen Sehstrahlung, sondern zum Teil auch aus dem Mittel- und Zwischenhirn.

Beim Versuch des Aufweises psychophysiologischer Korrelationen im Sinn einer funktionellen Zuordnung zu Arealen ist also immer das große Ausmaß an Parallelverarbeitung, die Interaktivität der Areale des Netzwerks und die synaptische Plastizität zu bedenken.

Die Charakterisierung der Areale V2, V3 usw. folgt mit zusammenfassenden Nachformulierungen weitgehend Förstl, 2006, S. 113 ff. Dabei werden nicht die gesamten Leistungen der jeweiligen Areale beschrieben, sondern bevorzugt jene, die in einem geometrieaffinen Zusammenhang im Sinn dieser Arbeit als relevant erscheinen.

In **V2 (BA 18)** gilt nicht mehr die Visuotopie (retinotopie Abbildung) wie in V1. V2 ist komplex mit V1 und vielen anderen Arealen vernetzt, erhält Afferenzen aus dem Pulvinar und sendet auch Efferenzen zum Corpus geniculatum. V2 ist aktiv bei der Form- und Farbwahrnehmung,

<sup>629</sup> Cf. auch die relativ jungen Begriffe Konnektom bzw. Funktionale Konnektomik, connectome, ...-ics und Human Connectome Project

bei visueller Vorstellung realer Objekte und spielt eine wichtige Rolle bei komplexen kognitiven Funktionen. ( BA : Brodmann Areal)

Die Rolle von **V3** ist nach Förstl offenbar nicht geklärt. Das Areal ist weniger bewegungselektiv als V3 beim Makaken und auch V3A beim Menschen und dürfte Teil des dorsalen visuellen Stroms sein.

Die Neurone der **Area V3A** reagieren passend zum Input aus V2 auf die Orientierung von Konturen und die Bewegungsrichtung. (vgl. V 7)

**V4** hat offenbar mit Farbwahrnehmung zu tun. Die Gruppe V3, V4 mit einem ventralen Bereich V4v und LO haben eine überproportional große Repräsentation der Fovea und eine Beteiligung an der Verarbeitung von Farb-, Form- und Texturmerkmalen gemeinsam. (Ö> LO Lateral occipital cortex)

### Ventral maps (hV4, VO-1)

“This region of cortex responds powerfully and selectively during object recognition tasks as subjects view a series of targets including faces, objects, text or even simple coloured patterns (Wandell, 2005, o.S.) ( VO: ventral occipital region)

### LOC Lateral Occipital Complex

Jessica Karanian et al. haben 2015 in ihrem Report „Memory for shape reactivates the lateral occipital complex“ festgestellt, dass der LOC nicht nur im Zuge der formbestimmenden Wahrnehmung, sondern auch bei Erinnerungsprozessen aktiviert wird bzw. aktiv ist und dabei sensibel auf die Charakteristik der Form einschließlich geometrischer Merkmale reagiert.

Folgende Abbildung zeigt die Lage des LOC zwischen primärer Sehrinde und Temporallappen

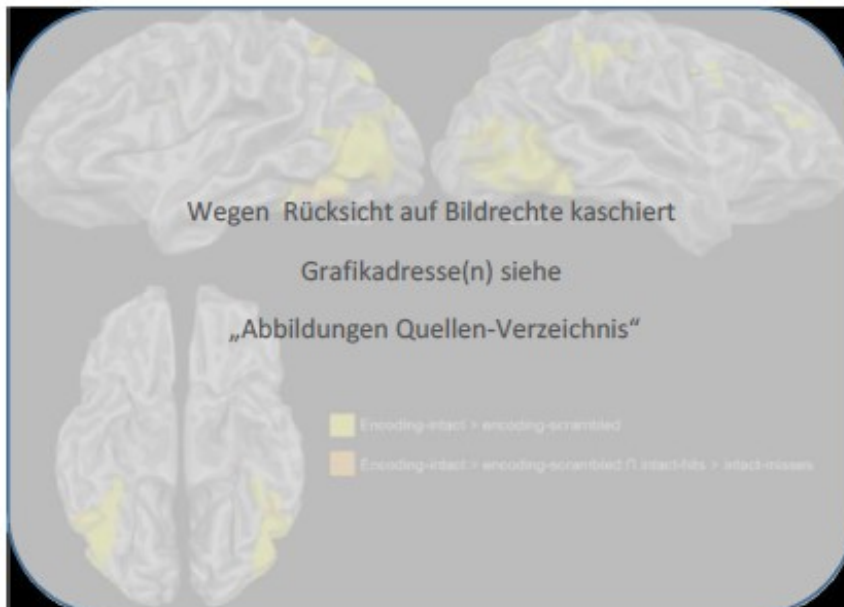


Abbildung 49 LOC Lateral Occipital Complex (Karanian et al. 2015)

“Fig. 3 – Memory for intact shapes preferentially activates LOC. LOC activity associated with shape perception/encoding (encoding-intact4encoding-scrambled), shown in yellow, and the conjunction of shape perception/encoding and intact shape retrieval (intact-hits4scrambled-hits), shown in orange (key to the bottom right).” (Karanian et al., 2015, S. 128)

### MT V5: Tiefenzellen im mediotemporalen Cortex

Wie in V1 finden sich auch im mediotemporalen Cortex so genannte Tiefenzellen, die für stereoptische Disparation sensibel sind:

„Tiefenzelle w, E depth cell, Bezeichnung für einzelne Zellen im Sehsystem, die die Fähigkeit zur Analyse von visueller Tiefeninformation besitzen. Bei höheren Säugetieren und Primaten werden solche Zellen im primären visuellen Cortex, aber auch später im parietalen Verarbeitungsweg in der Area MT (mediotemporaler Cortex) gefunden. Sie leisten einen Beitrag zum Entfernungsehen (Tiefensehen) durch Auswertung der Abbildungsunterschiede auf den Netzhäuten beider Augen.“

(<http://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/tiefenzelle/12977> 10.6.2017) <sup>630</sup>

### MST reagiert auf komplexe bewegte Muster wie Expansion und Kontraktion. <sup>631</sup>

“The medial superior temporal (MST) area is a part of the cerebral cortex, which lies in the dorsal stream of the visual area of the primate brain. The MST receives most of its inputs from the middle temporal (MT) area, which is involved primarily in the detection of motion. The MST uses the incoming information to compute things such as optic flow.”

([https://en.wikipedia.org/wiki/Medial\\_superior\\_temporal\\_area](https://en.wikipedia.org/wiki/Medial_superior_temporal_area) 8.5.2017 )

„Recent experiments from the author's laboratory indicate that visual, somatosensory, auditory and vestibular signals are combined in areas LIP and 7a of the posterior parietal cortex. The integration of these signals can represent the locations of stimuli with respect to the observer and within the environment. Area MSTd combines visual motion signals, similar to those generated during an observer's movement through the environment, with eye-movement and vestibular signals. This integration appears to play a role in specifying the path on which the observer is moving. All three cortical areas combine different modalities into common spatial frames by using a gain-field mechanism. The spatial representations in areas LIP and 7a appear to be important for specifying the locations of targets for actions such as eye movements or reaching; the spatial representation within area MSTd appears to be important for navigation and the perceptual stability of motion signals.“

(<https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.1997.0128> 26.12.2018)

**V6** Die dort zugeordnete Sensibilität bzw. Integration für/der Eigenbewegung ist in unserem Zusammenhang bedeutsam wegen der damit einhergehenden Rolle für die schon erwähnte Stationarität und Poincarés „Kompensation“ von Relativbewegungen.

„The dorsomedial area (DM) also known as V6, appears to respond to visual stimuli associated with self-motion [55] and wide-field stimulation.[56]“ ([https://en.wikipedia.org/wiki/Visual\\_cortex](https://en.wikipedia.org/wiki/Visual_cortex) 8.5.2017)

**V7** Nach Willmes (in Schneider, 2013, S. 323) ist V7 an der Wahrnehmung räumlicher Tiefe im Zusammenhang mit dem dorsalen visuellen Verarbeitungsweg beteiligt. <sup>632</sup>

“Dorsal maps (V3A, V3B, V7) .....Tasks involving motion and depth perception produce powerful responses in this region.” (Wandell, 2005, o.S.)

<sup>630</sup> Cf. Kapitel Zeki über MT/V5: polyvalenter Mikrokosmos

<sup>631</sup> Cf. Bildausdehnungsrate beim Fangen eines Balls > Berthoz

<sup>632</sup> Den bei V7 angesprochenen funktionellen neuroanatomischen Netzwerken der Raumwahrnehmung sowie den beiden visuellen Verarbeitungsbahnen (dorsaler Wo-, und ventraler Was- Pfad) wird an anderer Stelle extra nachgegangen. Siehe: Dissipation.....

## 21.2 Core Knowledges

### 21.2.1 Allgemeine (Generelle?) Mathematische Core Knowledges: Nicht nur beim Menschen

Weil ein Nahverhältnis von visueller Wahrnehmung und Geometrie von vornherein als plausibler erscheint, werden zunächst auch einige Aspekte mathematischer Core Knowledges kurz gestreift, um anzudeuten, dass Areale visueller Verarbeitung auch ein Nahverhältnis zu den als weniger anschaulich geltenden mathematischen Leistungen haben.

Neben der elementaren Verankerung des Potentials zu einer dem Zählen nahen Mengenerfassung in unserem wahrnehmungsnahen kognitiven System wird mit folgendem Statement von Gelman und Gallistel die Existenz vergleichbarer System bei Tieren behauptet. Damit wird nicht nur einer weit reichenden evolutionären Perspektive der Boden bereitet, sondern auch geradezu ein Paradigmenwechsel in den entsprechenden Wissenschaften pointiert.

„A half century or so ago it was commonly assumed that numerical cognition depended on language for its development and that it developed, therefore, only in humans. We now understand that numerical cognition is evolutionarily ancient.“ (Gelman, 2015, S. xiii)

Eine Reihe von Autoren von Gearys Sammelband „Evolutionary Origins and Early Development of Number Processing“ untersuchen diese Bereiche und werden zum Beispiel bei Fischen, Papageien und nichtmenschlichen Primaten fündig.

Darüber hinaus wird bezogen auf den Menschen ein komplexes Spektrum diesbezüglicher Aspekte aufgearbeitet, das auch die Entwicklung bei Kindern einschließt. Diese Vielfalt soll und kann hier nicht angemessen referiert oder als Ergebnis kurz zusammengefasst werden, so dass nur die Möglichkeit bleibt, sehr exemplarisch auf einige Schwerpunkte aufmerksam zu machen. Diese sind (von mir) vor allem nach ihren möglichen Querverbindungen zu Dehaene und Izard bestimmt und sollen speziell geometrische Aspekte und eine subtile Verbundenheit mit dem Wahrnehmungssystem illustrieren.

Bezüglich der Zuordnung neurophysiologischer Korrelate nach Dehaene ist vorweg zweierlei festzuhalten:

Einerseits der Umstand, dass auch abstrakte Operationen das visuelle System tangieren und dass dabei offenbar die „intraparietal area“ eine Rolle spielt.

Andererseits der Hinweis, dass sich Dehaene selbst bezüglich der Aussagekraft der Beobachtung von Aktivitäten auf neurophysiologischer Ebene und des daraus ableitbaren Wissens über detailliertere Zuordnung von „basic principals of formal arithmetic“ äußerste Zurückhaltung auferlegt:

“...in truth, we know next to nothing about the psychological or neural structures that underlie our understanding of the basic principles of formal arithmetic such as successor function, commutativity, infinity, or induction.“ (Dehaene, 2009, S. 237)



### 21.2.2 Dehaene: "Cerebral Networks of Number Sense, Calculation and the Intraparietal Area"

Der von ihm angesprochene Mangel an gesichertem Wissen hindert Dehaene jedoch nicht daran, seinen Text unmittelbar mit dem Kapitel „Cerebral Networks of Number Sense, Calculation and the Intraparietal Area“ fortzusetzen. (Dehaene, 2009, S. 237)

Auch wenn mit der von Dehaene eingemahnten Beschränktheit gesicherten Wissens die im Zuge dieser Arbeit hervorgehobenen Zusammenhänge hoch spekulativ sind, entspricht diese Herangehensweise offenbar doch einer vielfach und gezielt verfolgten Spur der fachspezifischen Grundlagenforschung. Und so geht es mir darum zu betonen, dass gerade die angesprochenen intraparietalen Bereiche, speziell auch der intraparietale sulcus, unter anderem sehr komplex mit der visuellen Wahrnehmung und speziell auch der Augensteuerung<sup>633</sup> verbunden sind. Das lässt sich trotz des erwähnten Vorbehalts auch mit folgender Passage Dehaenes exemplarisch illustrieren:

"Our group used fMRI to study the cerebral organization of six different functions previously associated with parietal systems: finger pointing, manual grasping, visual attention orienting, eye movement, written word processing, and calculation (Simon et al. 2004; Simon, Mangin, Cohen, et al. 2002). All subjects showed a reproducible geometrical layout of activations associated with these functions. Most notably, activation uniquely evoked by calculation was observed in the depth of the **intraparietal sulcus** (Ö<sup>634</sup>) and was surrounded by a systematic front-to-back arrangement of activation associated with grasping, pointing, attention, eyemovement, and language-related activations." (Dehaene, 2009, S. 240)

### 21.2.3 Koaktive neuronale Aktivitäten bei calculation, grasping, pointing, attention, eyemovement

Im weit gespannten spekulativen Rahmen des in dieser Arbeit hier verfolgten Versuchs, Indizien für einen Zusammenhang der Raumwahrnehmung mit der Fähigkeit zu abstraktem Denken ausfindig zu machen, wird unterstellt, dass der evolutionären Einfluss des visuellen Systems zu einer Enzephalisation geführt hat, die im opportunen Milieu von Licht und Bewegung ab ovo eine geometrieaffine Komponenten hat. Zugleich wird darauf abgezielt, dass die daraus resultierenden kognitiven Potentiale auch ein in hohem Ausmaß abstraktes Denken ermöglichen. Wenn nun laut Dehaene bei so abstrakten Operationen wie „calculation“ Gehirnnareale koaktiv sind, die vor allem mit räumlich- visuellen Funktionen in Zusammenhang gebracht werden, dann erscheint das mit dem hier versuchten Brückenschlag in der Form konvergent zu sein, dass sowohl die genuine Verbundenheit mit dem geometrieaffinen visuellen Milieu noch rudimentär erkennbar ist, als eben andererseits auch die weitgehende Offenheit für abstraktes Denken zum Ausdruck kommt.

Das obige Zitat Dehaenes zeigt einerseits die generelle Verwobenheit der genannten Prozesse/Leistungen auf dieser neurophysiologischen Ebene. Dass jene neuronale Aktivität, die ausschließlich „by calculation“ hervorgerufen wurde, begleitende neuronale Aktivitäten

<sup>633</sup> Augensteuerung spielt auch im Kapitel „kooperative Augen“ (Rötzer) eine bedeutsame Rolle.

<sup>634</sup> "The **intraparietal sulcus** (IPS) is located on the lateral surface of the parietal lobe,...Its principal functions are related to perceptual-motor coordination (e.g., directing eye movements and reaching) and visual attention, which allows for visually-guided pointing, grasping, and object manipulation that can produce a desired effect. The IPS is also thought to play a role in other functions, including processing symbolic numerical information,[4] visuospatial working memory[5] and interpreting the intent of others.[6]" ([https://en.wikipedia.org/wiki/Intraparietal\\_sulcus](https://en.wikipedia.org/wiki/Intraparietal_sulcus) 8.4.2019))

ausgelöst, die unter anderem mit „grasping, pointing, attention, eyemovement“ in Verbindung gebracht werden, erscheint hier als besonders bemerkenswert.

Ich hebe das nicht nur wegen des generellen Zusammenhanges mit dem visuellen System so gezielt hervor, sondern auch mit Blick auf das andernorts genannte Zitat Poincarés durch Berthoz: „Poincaré said: „to imagine a point in space is to imagine the movement to make it“. Dieser Satz Poincarés erfährt hier nämlich eine zunächst von Berthoz wohl noch nicht implizierte Erweiterung seines Geltungsmilieus vom Geometrischen ins Mathematische hinein, weil es bei der Aussage Dehaenes ja nicht um Prozesse geometrischer Vorstellung geht, bei denen für mich eine Verbindung zum visuellen Bereich als näher liegend erschiene: aber hier es geht ausdrücklich um Aktivitäten „uniquely evoked by calculation“. Auch diese tangieren offenbar nahe gelegene Hirnareale, die für das visuelle System sowie für Greif- und Zeigebewegungen relevant sind.<sup>635</sup>

Weiters wird auf die von Dehaene angedeutete Verbindung zu Augenbewegung auch im Hinblick auf deren Ausdrucksvermögen für Intentionalität und räumlich codierte Kommunikation bei kooperativer Objektmanipulation besonders hingewiesen.<sup>636</sup>

#### 21.2.4 Dehaene: Linking Numbers to Space - SNARC Effekt <sup>637</sup>

Stanislas Dehaene (2009) zeigt nicht nur das mit dem intraparietalen sulcus verortbare Nahverhältnis von „calculation“ zum visuellen System auf. Im Kapitel „Linking Numbers to Space“ geht er im Zusammenhang mit dem so genannten SNARC Effekt auch explizit auf eine Verbindung zu räumlich-geometrischen Aspekten ein. Bei SNARC <sup>638</sup> geht es um die intuitive Tendenz, Zahlen kleiner als 5 räumlich eher links einzuordnen.

#### 21.2.5 Subitizing, Approximate number system, Parallel individuation system affine to Object tracking system <sup>639</sup>

Im Unterschied zu sukzessivem Counting gibt es auch Systeme zum spontanen Erfassen einer kleineren Anzahl von Objekten. Ohne diese im Detail zu besprechen wird hier nur auf den

<sup>635</sup> Das könnte auch eine Brücke zu den Überlegungen in Abschnitt Kooperative Augen bilden.

<sup>636</sup> Cf. Kapitel > Deiktische Funktion von Augenbewegungen usw.

<sup>637</sup> I.e.: Spatial-Numerical Association of Response Codes

<sup>638</sup> “A final aspect of human numerical intuition that seems to be heavily influenced by education and cultural background is the linking of numbers with space. This mapping plays an essential role in mathematics, from measurement and geometry to the study of irrational numbers, Cartesian coordinates, the real number line, and the complex plane. In most human adults, the mere presentation of an Arabic numeral automatically elicits a spatial bias in both motor responding and attention orienting (Dehaene, Bossini, & Giraux 1993; Fischer, Castel, Dodd, et al. 2003; Hubbard et al. 2005; Zorzi, Priftis, & Umiltà 2002): even when performing a task as simple as deciding whether a digit is odd or even, or whether it is larger or smaller than 5, small numbers are automatically mapped to the left side of space, and large numbers to the right side Spatial-Numerical Association of Response Codes, or (SNARC effect)... We recently reported a similar systematic interference pattern during mental arithmetic, which we termed “operational momentum,” and which suggests that a spatial code and a sense of motion are automatically activated during mental arithmetic....These momentum and numerical–spatial interference effects may originate from the fact that the intraparietal region, which is active during number processing and calculation, is remarkably close and often overlapping with areas engaged in the coding of spatial dimensions such as size, location, and gaze direction..., the direction of the number–space association—small numbers to the left, large numbers to the right—varies with the cultural environment, particularly the direction of reading...” (Dehaene, 2009, S. 250 f.)

<sup>639</sup> “The Parallel individuation system, also called object tracking system is a non-symbolic cognitive system that supports the representation of numerical values from zero to three (in infants) or four (in adults and non-human animals). It is one of the two cognitive systems responsible for the representation of number, the other one being the approximate number system.[1] Unlike the approximate number system, which is not precise and provides only an estimation of the number, the parallel individuation system is an exact system and encodes the exact numerical identity of the individual items.[2] The parallel individuation system has been attested in human adults, non-human

Umstand aufmerksam gemacht, dass diese intuitiven Systeme eng mit den Strukturen zur Blickverfolgung von Objekten im Ambiente verbunden sind. Gemäß der hier verfolgten Hypothese wird auch das als Indiz dafür gesehen, dass nicht nur geometrische, sondern auch mathematische Core - Potentiale im Rahmen der Enzephalisation genuin mit dem visuellen System verbunden sind; dass also das visuelle System nicht nur mit dem Bereich eines anschauungsbezogenen Vorstellungs- und Assoziationsvermögens verbunden ist, sondern auch mit Core-Potentiale auf dem Weg zu mathematischem Denkvermögen.

Als Beleg für dieses Nahverhältnis mag folgende Feststellung von Dana Chesney genügen.

“It has been proposed that the mechanism that supports the ability to keep track of multiple moving objects also supports subitizing--the ability to quickly and accurately enumerate a small set of objects...These results suggest that a shared visual mechanism supports multiple object tracking and subitizing.” (Chesney et al., 2011, abstract) <sup>640</sup>

#### 21.2.6 Spelke: Successor function in natural number system

Wenn auch mit Beschränktheit des Leistungsbereiches auf eine kleine Anzahl, war auch noch eine Aussage über einen induktiven Ansatz in der Form zu finden, dass eines der mathematischen Core Systeme offenbar über eine prinzipielle, wenn auch limitierte, „successor function“ verfügt. <sup>641</sup>

#### 21.2.7 Rakoczy: “Apes are intuitive statisticians“

Es war in Zuge der Recherchen zwar nicht möglich, Abhandlungen zu finden, die unmittelbar und unter diesem Suchbegriff ein induktives Potential auf Ebene der mathematischen Core Knowledges ansprechen bzw. als spezifisches Forschungsergebnis etablieren. Jedoch lässt sich ein mit manchen induktiven Prozessen eng verbundener Bereich nachweisen: das auf Ebene der Core Knowledges verankerte intuitive Potential für Statistik bzw. statistic reasoning.

Als Vorbemerkung gilt, dass hier nicht spezielle statistische oder induktive mathematische Verfahren, sondern nur die Charakterisierung eines allenfalls auch nur rudimentären Potentials bzw. der Leistungstendenz entsprechender kognitiver Prozesse thematisiert werden. In diesem Sinn wird zur Untermauerung bzw. als Illustration des Zusammenhangs von

---

animals,[2] such as fish[3] and human infants, although performance of infants is dependent on their age and task.[4]” ([https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel\\_individualization\\_system](https://en.wikipedia.org/wiki/Parallel_individualization_system) 3.3.2017)

<sup>640</sup> „It has been proposed that the mechanism that supports the ability to keep track of multiple moving objects also supports subitizing--the ability to quickly and accurately enumerate a small set of objects. To test this hypothesis, we investigated the effects on subitizing when human observers were required to perform a multiple object tracking task and an enumeration task simultaneously. In three experiments, participants (Exp. 1, N = 24; Exp. 2, N = 11; Exp. 3, N = 37) enumerated sets of zero to nine squares that were flashed while they tracked zero, two, or four moving discs. The results indicated that the number of items participants could subitize decreased by one for each item they tracked. No such pattern was seen when the enumeration task was paired with an equally difficult, but nonvisual, working memory task. These results suggest that a shared visual mechanism supports multiple object tracking and subitizing.” (Chesney et al., 2011, Abstract)

<sup>641</sup> „That is precisely the lesson of studies of the construction of natural number (see [Carey, 2009](#); [Feigenson, Dehaene & Spelke, 2004](#)). Natural number is founded on two core systems of representation, each with true but limited numerical content. One system serves to represent numerically distinct individuals, supports the concept *one*, and allows for the operation of *adding one* to an array, but it includes no explicit, summary representations of other cardinal values (such as *\*two*) and has a capacity limit of about 3 individuals. The second system serves to represent sets and their approximate cardinal values, supports concepts such as *about eight*, and allows for operations of comparison and arithmetic on those concepts, but it has no successor function (*\*one more*) and is subject to a ratio limit on precision that rises from about .33 at birth to about .88 at maturity.” (Spelke, 2010, o.S.)

Statistik und Induktion aus einer Abhandlung für Wirtschaftswissenschaftler Ecksteins  
Einleitung zum Kapitel „Statistische Induktion“ herangezogen:

„Der Schluss vom Teil aufs Ganze unter Einbeziehung der Wahrscheinlichkeit ist die Grundidee der statistischen Induktion (lat.: *inductio* → das Hineinführen), die auch als Schließende, Konfirmatorische (lat.: *confirmare* → bestätigen) oder Inferentielle (engl.: *inference* → Schlussfolgerung) Statistik bezeichnet wird. Die Induktive bzw. die „vom Teil aufs Ganze schließende“ Statistik basiert auf mathematisch-statistischen Verfahren, mit deren Hilfe man anhand von Zufallsstichproben und unter Einbeziehung von Wahrscheinlichkeitsmodellen versucht, Aussagen über unbekannte Parameter bzw. Verteilungen von statistischen Grundgesamtheiten zu treffen.“ (Eckstein, 2012, S. 201)

Die Elementardefinition des „von Teilen aufs Ganze schließen“ wird von Rakoczy auf Lernprozesse bezogen und mit einer tief greifenden Dimension kognitiver Evolution unterlegt. Rakoczy spricht im Abstract zu „Apes are intuitive statisticians“ bezogen auf Lernprozesse explizit das Induktive an. Auch wenn das keine unmittelbar auf Zahlen beziehbare Aussage über Induktion als definiertes Verfahren der Mathematik ist, geht es im Sinn einer psychologischen Interpretation doch um „präexistierende“ intuitive Potentiale, die erst 2013 offenbar überraschend bei Experimenten mit Affen ausfindig gemacht wurden.<sup>642</sup>

Ohne hier weiter ins Detail zu gehen wird damit wohl illustriert, dass von der aktuellen Forschung die Betonung des Werts des Intuitiven durch Poincaré<sup>643</sup> auch auf Ebene von kognitiven Core Potentialen mit Affinität zu mathematischen Operationen auch bei nicht menschlichen Primaten ausfindig gemacht werden kann. Dies ergibt nach meiner Einschätzung eine evolutionär erweiterte Facette von Poincarés „préexiste“ und bietet darüber hinaus auch noch den für unsere auf Geometrie fokussierte Arbeit opportunen Aspekt, dass Rakoczy auch noch ausdrücklich erwähnt: „Moreover, statistical information is combined with geometrical and temporal information...“ (s.o.)<sup>644</sup>

Hier ist zu beachten, dass statistische Core - Potentiale auch für das Detektieren von invarianten Gruppen von Stimuli zu Gunsten einer visuokognitiven Objektkonstruktion im Rahmen einer hypothetisch agierenden Wahrnehmung nützlich/notwendig sind.

### 21.3 Binokulare Summation (binocular facilitation) höher als Summe der Einzelleistungen der Augen

Diese binokulare Komponente kommt zum Beispiel auch bei einem Phänomen zum Tragen, das Schröfl (2017) bei seinen Überlegungen über die Vor- und Nachteile von astronomischen Ferngläsern zur Geltung bringt, welche monokulare oder binokulare Beobachtung ermöglichen (z.B. Binocular).

---

<sup>642</sup> „Inductive learning and reasoning, as we use it both in everyday life and in science, is characterized by flexible inferences based on statistical information: inferences from populations to samples and vice versa. Many forms of such statistical reasoning have been found to develop late in human ontogeny, depending on formal education and language, and to be fragile even in adults. New revolutionary research, however, suggests that even preverbal human infants make use of intuitive statistics. Here, we conducted the first investigation of such intuitive statistical reasoning with non-human primates... This early intuitive statistics seems to be a cognitive capacity that is functionally integrated in humans with other cognitive domains from very early on:....Moreover, statistical information is combined with geometrical and temporal information in rather systematic ways to form predictions about future events (Téglás et al., 2011)“ (Rakoczy, 2014, S. 60)

<sup>643</sup> Cf. Huber, Pombo, Samuel)

<sup>644</sup> Dieser Verbundenheit mit geometrischen Aspekten soll in einem eigenen Kapitel noch weiter nachgegangen werden.

Ausgangslage bildet der von Schröfl unter dem Schlagwort von binocular facilitation referierte Umstand, dass Lichtreize auf beide Augen durch neurale Summation zu überproportional verstärkter Aktivierung des Gehirns führen.

„daß beim binokularen Sehen ein schwaches Lichtsignal – kurze Lichtblitze verschiedener Intensität - um das 1.4fache leichter erkannt werden konnten als beim monokularen Sehen... Zu einer optimalen Summation kommt es z.B. dann, wenn korrespondierende Stellen der beiden Retinas vom gleichen Objekt stimuliert werden und wenn die Stimuli den beiden Augen gleichzeitig oder zumindest innerhalb von 100msec gesetzt werden. In diesen Fällen wird die Gehirnaktivität mehr gesteigert als es der Summe der beiden Hirnaktivitäten, die von jedem Auge einzeln ausgelöst werden entspricht. Der über dem vorgenannten Wert des Faktors von 1.4 liegende und diesem Mechanismus zugeschriebene Zugewinn wird binocular facilitation...oder neurale Summation genannt. Eine andere wissenschaftliche Erklärung warum die binokulare Summation den Schwellenwert um den Faktor 1.4 herabsetzt, besteht im Argument, daß bei der Kombination des Inputs von 2 Augen die neuronalen Signale addiert werden, das neurale Hintergrundrauschen, vorausgesetzt es ist zufällig und unkorreliert, hingegen sich teilweise auslöscht.“ (Schröfl, 2018, S. 3 f. )

Schröfl berichtet weiter über seine Erfahrungen mit einem Binocular:

„Was sofort auffällt, ist der deutlich dunklere Himmelshintergrund gegenüber der monokularen Beobachtung. Ein sehr frappanter Effekt, wenn man am Binocular abwechselnd ein Auge schließt und wieder öffnet. Das verbesserte Signal-Rausch-Verhältnis ist unübersehbar.“ (Schröfl, 2018, S. 7).

Leider sind in Schröfls Artikel keine Quellen angegeben. Daher sind diese Aussagen nur mit Vorbehalt als tragfähig einzuschätzen, bilden aber trotzdem eine interessante Perspektive, die mit andern hier recherchierten Aussagen über Verarbeitung visueller Reize als kompatibel erscheint und hier deshalb in weitere Überlegungen einbezogen wird.

Schröfls Darstellungen illustrieren nicht nur eine quantitative Effizienzsteigerung, sondern betonen auch die Rolle der für beide Augen gleichzeitigen Präsenz des Objekts und verweisen darüber hinaus auch noch auf das Signal- Rauschverhältnis, das die bessere Wahrnehmbarkeit des fokussierten Objekts fördert.

Gerade auch der Hinweis auf die Abschwächung des unkorrelierten Rauschens ist mit dem Phänomen der lateralen Inhibition kompatibel und unterstützt die prominente Rolle des stabilen Objekts, das aus einer räumlich und zeitlich fix korrelierenden Gruppe von (koinzidenten) Stimuli gebildet wird.

Der Hinweis, dass ein binokular wahrgenommener Reiz stärker empfunden wird, gibt Anlass, zumindest darüber zu spekulieren, ob dies in Verbindung mit den von Cline geschilderten Effekten externer Lichtstimuli auf das Konnektom und noch dazu in Kombination mit Hebb'schen Lernprozessen allenfalls auch dazu führt, dass weitgehend idente Reize beider Augen durch ihre größere Redundanz prinzipiell ein robusteres Durchsetzungsvermögen im Zuge unmittelbarer visueller Verarbeitung haben und so zu einem tendenziell höheren Einfluss auf die Modellierung des Konnektoms führen, als Stimuli gleicher Basisintensität, die nur monokular wahrgenommen werden. Das würde nämlich Gruppierungen von identen oder sehr ähnlichen Stimuli im gleichzeitigen Fokus beider Augen einen Vorteil verschaffen, der auch in den neuronalen Strukturen seinen nachhaltig wirksamen Niederschlag findet.

So betrachtet würde eine binokulare Reizsummation nicht nur die optische Qualität des Bildes erhöhen, was für sich schon einen erheblichen Mehrwert darstellt, sondern in gewissem Maße auch die neuronale Verankerung dieser durch binokular fokussiertes Sehen „bevorzugt“ wahrgenommenen Gruppen von Stimuli beeinflussen. Wenn man so will, würde durch diese

Steigerung der Intensität der Wahrnehmung via Binokularität auch die neuronale Repräsentation von diskreten Objekten forciert.<sup>645</sup>

## 21.4 Okulomotorik mit Konvergenz und Akkommodation: Ein akkordiert wirkendes, aber ungleiches Paar der Nahbereichstrias

### 21.4.1 Poincarés Konzept setzt auf die stabile Korrelation von Konvergenz und Akkommodation

Poincarés Konzept setzt auf die stabile Korrelation von Konvergenz und Akkommodation und trifft damit ein essentielles Kriterium, das auch dann seine prinzipielle Gültigkeit behält, wenn es z.B. Ausnahmen in Form von Dysfunktionen gibt, bei denen diese Koordination gestört ist.

Diese Korrelation spielt auch in der aktuellen Ophthalmologie eine relevante Rolle und wird als **Akkommodative Konvergenz** bezeichnet, die sich auch als berechenbarer Richtwert ausdrücken lässt:

„Akkommodative K. tritt unwillkürlich gemeinsam mit der Akkommodation auf. Der AC/A-Quotient, d.i. das Verhältnis von akkommodativer K. (AC, gemessen in cm/m) und Akkommodation (A, gemessen in dpt, 1 dpt = 1/m) auf die Objektentfernung beschreibt die Kopplung von K. und Akkommodation. Die Einheit des AC/A-Quotienten ist cm. Sein idealer Wert entspricht dem Pupillenabstand (in cm).“  
(<https://www.spektrum.de/lexikon/optik/konvergenz/1650>)

Die Bezeichnung des **Pupillenabstands** als „idealer Wert“ wird als affirmatives Indiz im Sinn der hier vertretenen Hypothese angesehen, dass der fixe Abstand des frontalen Augenpaares einen wesentlichen Referenzwert darstellt, der die Anzahl der Variablen der bewegungsbezogenen Lokalisation und Formbestimmung des Objekts reduziert und so die Gegenverrechnung/Kompensation einfacher und präziser macht.

Wie auch Poincaré ins Treffen führt, ist (bei visuellen Systemen unseres Typs) Konvergenz eng mit **Akkommodation** verbunden (cf. Poincaré, 1906, S. 55f.). Allerdings ist zu beachten, dass es sich bei der Akkommodation um ein anderes Konzept handelt, das nicht auf dem von Poincaré vorrangig geltend gemachten Aspekt beruht, durch unterschiedliche Perspektiven Objekte, deren Netzhautbilder zusammenfallen, voneinander zu trennen.

Akkommodation ist ein Indikator für unterschiedliche Distanzen auf Basis der Schärfe der Abbildung und dient der entsprechenden Anpassung der optischen Brechung. Dafür gibt es aus evolutionärer Sicht unterschiedliche Systeme, wobei jenes des Menschen darauf beruht, dass durch den Ziliarmuskel die Form der (vor allem in jüngeren Jahren) elastischen Linse und somit deren Brechkraft entsprechend verändert wird.

Einen nicht zu unterschätzenden Faktor der mit der Distanz des Objekts korrelierenden Schärfe bildet die **Öffnung** bzw. Engstellung (Miosis) der **Pupille**, die sich neben der Regelung der Menge des einfallenden Lichts besonders auch auf die **Schärfentiefe** auswirkt.

„Eine ausgeprägte Miosis (um 2,0 mm) kann, selbst bei linsenlosen (aphaken) Menschen, zu einer gewissen Verbesserung der Sehschärfe führen. Denn durch die Einengung des Sehlochs wird die Schärfentiefe erhöht, ähnlich der Blendenwirkung beim Fotografieren, der Wirkungsweise einer

---

<sup>645</sup> Wenn man das gelten lässt, dann leistet teleotaktisches Fixieren einen Beitrag zur Robustheit und Prominenz von Objekten.

Lochkamera (Camera obscura) oder einer stenopäischen Lücke.“ (<https://www.biologie-seite.de/Biologie/Miosis> 18.7.2018)

Auch wenn sich Akkommodation nicht so unmittelbar das Konzept der Bewegung integrieren lässt wie die Konvergenz, so passt es doch bestens in das Konzept Poincarés, diese Komponenten gemeinsam ins Spiel zu bringen und insgesamt der Rolle der Augenbewegungen bzw. Augenmuskeln besondere Aufmerksamkeit zu widmen.

„Die Konvergenzbewegung gehört zu einem neurophysiologischen Regelkreis, zu dem auch der Mechanismus der Naheinstellung des optischen Systems (Akkommodation) und die Verengung der Pupille (Miosis) gehören. Der gesamte Komplex wird auch Naheinstellungstrias genannt.“ ([https://www.biologie-seite.de/Biologie/Konvergenz\\_%28Auge%29](https://www.biologie-seite.de/Biologie/Konvergenz_%28Auge%29) 18.7.2018)

Und diese **Naheinstellungstrias** samt ihren vielfältigen Verbindung zu diversen Arealen des Gehirns ist eng mit Aufmerksamkeit und so mit hochrangigen kognitiven Potentialen verbunden, die auch für das Potential zur Bildung geometrischer Konzepte wesentlich sind.

#### 21.4.2 Sakkaden und transsakkadisches Gedächtnis: noch im zeitgenössischen Abseits Poincarés, aber aus heutiger Sicht geradezu frappant kompatibel mit seinem Ansatz

Im Komplex der Augenbewegungen, die für Lokalisation, Blickverfolgung und foveale Fokussierung von Objekten wichtig sind, spielen auch die **Sakkaden** eine bedeutsame Rolle. So erscheint es zunächst etwas verwunderlich, dass (nach meiner Beobachtung) Poincaré auf diese Form von Augenbewegungen nicht eingeht. Das könnte auch damit zu tun haben, dass zwar schon Porterfield 1737 dieses Phänomen in Betracht gezogen hat, und Sakkaden von Émile Javal und Marius Tscherning um 1880 in einem Institut der Pariser Sorbonne thematisiert und untersucht wurden. Detaillierte Analysen waren aber erst nach Entwicklung spezifischer fotografischer Aufzeichnungsmethoden durch Dodge und Cline ab 1901 möglich. (nach Wade, 2010, S. 51 ff.) Auch wenn also möglicherweise für Poincaré zu wenig qualifiziertes Detailwissen verfügbar war, um Sakkaden in sein Konzept zu integrieren, ist nicht auszuschließen, dass Poincaré das Phänomen der Sakkaden bekannt war. Immerhin hat Tscherning in seine *Optique physiologique* von 1898 einen Abschnitt über „Les mouvements saccadés des yeux“ eingefügt. (Cf. Wade, 2005, S. 139)

Auch wenn also Poincaré die Sakkaden allem Anschein nach nicht ausdrücklich erwähnt, passen sie mit dem **Gedächtnis für Reihenfolgen von richtungsspezifischen Bewegungen** gut zu dem auf die Augenbewegungen bezogenen Ansatz Poincarés, besonders auch bezüglich seines Modells der Kompensation der bewegungsinduzierten Veränderung des Netzhautbildes.

„• Zwischen Sakkaden fixieren die Augen bestimmte Punkte in der Umwelt für ca. 200 bis 600 msec.: Fixation (...) • Während Fixationen werden visuelle Informationen aufgenommen. • Sakkaden können visuell nicht selbst wahrgenommen werden, da das Auge während der Dauer einer Sakkade den Sehvorgang unterdrückt und das zu erwartende Bild „vorausberechnet“ (Sakkadische Suppression) • Dieser Vorgang findet in den Arealen MT (medio temporales Areal) und MST (medie-superior temporales Areal) statt.“ (AG Neuroinformatik, 2011, Folie S. 15, Layout modifiziert)

Auch die Beschreibung Runges gibt trefflich diese Affinität wieder und ist mit dem Ausdruck „verrechnet“ sogar wortident mit den übersetzten Texten Poincarés:

„Damit trotz einer sakkadischen Augenbewegung der Raum in der Wahrnehmung als stabil wahrgenommen wird, wird die Größe der infolge der Augenbewegung zu erwartenden retinalen Bildverschiebung bereits im Vorfeld der Sakkade bestimmt. Dies geschieht am genauesten mittels der

Efferenzkopie-Information als Kopie des neuronalen Signals zur Ausführung der Sakkade. Diese Information wird im posterioren parietalen Kortex mit der tatsächlichen retinalen Bildverschiebung, der Affferenz verrechnet.“ (Runge, 2007, S. 51)

Weil also wegen der so genannten **sakkadischen Suppression** der Wahrnehmungsfluss periodisch unterbrochen wird und die Aufnahme externer Information nur während der Fixationsphase erfolgt, muss das schließlich bewusst werdende Perzept auch unter präziser Berücksichtigung der Eigenbewegung in erheblichem Ausmaß mit bereits gespeicherten Inhalten angereichert werden, damit es als zeitlich und räumlich homogen sowie inhaltlich konsistent erscheinen kann.

Damit gewinnt auch die von Poincaré postulierte Notwendigkeit eines Gedächtnisses an Bedeutung, die auch in der rezenten Fachliteratur betont wird. Passenderweise macht dies Runge akkurat am Beispiel der Lokalisation geltend, also einem Thema, dem Poincaré hohe Aufmerksamkeit widmet.

„Zur Lokalisation von Zielobjekten über Sakkaden hinweg benötigt man zusätzlich zur Efferenzkopie, welche die Größe der Augenbewegung anzeigt, ein Gedächtnis, welches die räumliche Lage des Zielpunktes vor der Sakkade speichert. Durch dieses transsakkadische Gedächtnis kann die prä- und postsakkadische Lokalisation eines Zieles verglichen werden.“ (Runge, 2007, S. 14)

Gerade ein **Vergleichen von Veränderungen der Position im zeitlichen Verlauf**, wie es Runge im Zusammenhang mit Sakkaden beschreibt, spielt im Ansatz Poincarés eine bedeutsame Rolle und führt sogar zu Aussage: „...daß die Zeit logisch früher war als der Raum.“ (Poincaré, 1910, S. 100)

Die frappante Kompatibilität von Poincarés Ansatz mit aktuellen Modellen der wahrnehmungsbezogenen Kognitionsforschung wird auch in folgendem Satz ablesbar, der sich auf Irwin (1991) beruft:

„Die Kapazität des Erinnerungsvermögens für visuelle Elemente wird auf drei bis sechs Elemente geschätzt. Irwin geht davon aus, das die Information, die während einer Sakkade gespeichert wird, aus einer räumlichen Anordnungsbeziehung besteht, also zwischen Elementen in der Umgebung, unabhängig ihrer absoluten Position im Raum. D.h. Objekte werden zueinander in objektrelativen bzw. in egozentrischen Koordinaten gespeichert (Irwin, 1991.“ (Runge, 2007, S. 13)

Diese Darstellung enthält zwei Aspekte, die hinsichtlich der Betrachtungen des Ansatzes von Poincaré besonders bemerkenswert sind:

Die Limitiertheit des sakkadischen Gedächtnisses auf eine relativ kleine Zahl von Objekten spricht zunächst einmal für den prinzipiellen Trend unserer Wahrnehmung zur Fokussierung auf Objekte. Sie weckt darüber hinaus Assoziationen zum Thema Core Knowledges sowie zum Aspekt Natural Number (cf. Dehaene usw.) und bringt kognitive Leistungen, die spezifisch mit Augenbewegungen verbunden sind, in den Nahbereich von matheamtsich- geometrischen Potentialen.

Unmittelbar auf Poincaré bezogen sticht aber vor allem Runges Hinweis auf Anordnungsbeziehungen gemäß **objektrelativen bzw. egozentrischen Koordinaten** ins Auge, weil das Aspekte sind, denen Poincaré in seinem Konzept eines **relationalen Raumes** fundamentale Bedeutung zuweist, wie z.B.:

„Wir könnten also den Raum ohne Anwendung eines Meßinstrumentes nicht konstruieren; dies Instrument nun, auf das wir alles beziehen und dessen wir uns instinktiv bedienen, ist unser eigener Körper. Nur in bezug auf unseren Körper beurteilen wir die Lage der Gegenstände außer uns, und die einzigen räumlichen Beziehungen dieser Gegenstände, die wir uns vorstellen können, sind ihre



Beziehungen zu unserem Körper. Der letztere dient uns sozusagen als System von Koordinatenachsen. (Poincaré, 1914, S. 87, *Wiss. Method: Kapitel „Die Relativität des Raumes“*)<sup>646</sup>

Das von Runge angesprochene Integrieren von objektrelativen bzw. in egozentrischen Koordinaten, um trotz sakkadischer Suppression ein homogenes Perzept aufrecht zu erhalten, wird hier als Beispiel für präexistierende Mechanismen der Gegenverrechnung mit hoher Kompatibilität zu Poincarés Konzept der Kompensation angesehen. Dass es dabei um unbewusste Prozesse geht, passt gut zu Poincarés Hinweis, dass unser Körper ein Messinstrument sei, „dessen wir uns unbewußt bedienen“.<sup>647</sup>

#### 21.4.3 „Halbkreisförmige Bögen“ liefern wertvollen Input für vestibulo-okuläre Reflexe

Im Zusammenhang mit der von Poincaré postulierten Rolle des eigenen Körpers als „instinktiv“ genutztes Koordinatensystem ist darauf hinzuweisen, dass dies gut mit aktuellen Befunden in Einklang zu bringen ist. Die kompensativ wirkenden Regelkreise der Augenbewegungen integrieren nämlich auch Daten des vestibulären Gleichgewichtsorgans und so sind Hals-, Kopf- und Augenbewegungen auch mit den Daten aus den von Poincaré angesprochenen „halbkreisförmigen Bögen“ verbunden. (cf. Poincaré, 1910, S. 101 f.)

Das von Hinghofer-Szalkay wiedergegebene Schema von vestibulo-okulären Reflexen (VOR) macht diese schon von Poincaré erwähnte Integration von Daten aus den Bogengängen am Beispiel der Drehung des Kopfes deutlich:

---

<sup>646</sup> Wenn man die auf die eigenen Körperachsen bezogene Konstruktion des Raumes bei Poincaré und die z.B. auch bei Bechterew als essentiell verankerte Rolle der Integration der (mehr oder weniger bewussten) Bewegung des eigenen Körpers in Wahrnehmungs- und Vorstellungsprozesse aus aktueller kognitionswissenschaftlicher Perspektive betrachtet, dann kommen auch Embodiment- Konzepte ins Spiel. Man könnte die Spekulation sogar so weit treiben, das in dieser Arbeit als Konstrukt in Ansatz gebrachte „Objekt“ samt seiner durch Bedeutungszuweisung mit ihm verbundene Konnotationen als ein in die externe Realität projiziertes „pragmatical device“ (cf. Ladyman) zur Unterstützung bzw. Organisation unserer kognitiven Prozesse zu betrachten. Diese Spekulation wird aber hier nicht weiter verfolgt, weil sie vermutlich allzu weit ausufern würde. (cf. Glossar > Enaktivismus)

<sup>647</sup> Cf. Eigener Körper als Messinstrument einer Géométrie lunatique de la lune (Anhang)

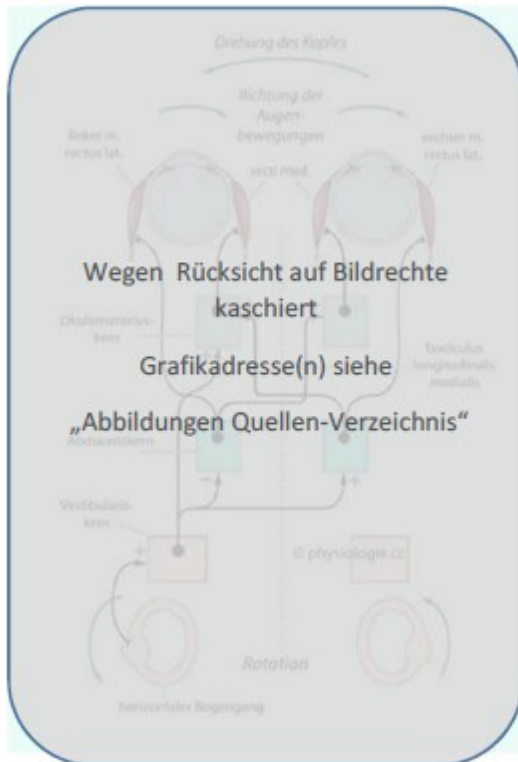


Abbildung 50 Vestibulo-okulärer Reflex (Hinghofer-Szalkay)

„>Abbildung: Vestibulo-okulärer Reflex (VOR)

Nach einer Vorlage in Bear / Connors / Paradiso, Neuroscience - Exploring the Brain, 4th ed 2016

Die Fixation (gezieltes Betrachten eines Objektes durch Abbildung auf die fovea centralis) wird durch den VOR stabilisiert: Drehung des Kopfes führt zu entsprechender Reizung von Bogengängen im Innenohr. Die Verschaltung auf Augenmuskelnkerne → Hirnnerven (III, IV, VI) → äußere Augenmuskulatur kompensiert die Kopfbewegungen und stabilisiert das Netzhautbild“ (Hinghofer-Szalkay o.J., o.S.)

In einem Fachlexikon werden die hier verfolgten Zusammenhänge unter dem Stichwort **„Gleichgewichtsbahn“** folgendermaßen zusammengefasst:

„Über diese komplexe Verschaltung kann ein Zusammenspiel der Bewegungen von Rumpf, Hals und Extremitäten mit den Augenbewegungen und vestibulären Reizen koordiniert werden. So ist zum Beispiel für das Fixieren eines Gegenstandes bei einer Kopfbewegung das Zusammenspiel von Gleichgewichtsorgan, Augen- und Halsmuskeln notwendig. Die Verschaltung mit dem Rückenmark ist hierbei für die Steuerung der Muskeln essentiell, die Verschaltung mit dem Kleinhirn für die Stützmotorik, mit dem Cortex für die Raumorientierung und mit den Augenmuskelnkernen für die reflektorischen Augenbewegungen.“ (<http://m.flexikon.doccheck.com/de/Gleichgewichtsbahn> 22.7.2018)

Dieser interaktive Komplex samt den infolge der sakkadischen Suppression vorausberechneten Bildern (vgl. eine Art visuelle Efferenzkopie) legt nicht nur nahe, wie sehr das Perzept ein mit hypothetischen Erwartungshaltungen und Gedächtnisinhalten angereichertes Konstrukt ist. Die gehirntopografische Lokalisation diesbezüglich essentieller Funktionen in den Arealen MT und MTS untermauert auch die Bedeutsamkeit des hier in Betracht stehenden Komplexes eines multimodalen Abgleichs bzw. der Integration von visuellen Daten mit jenen über Bewegung und Gleichgewicht auf hochrangiger kortikaler Ebene. (Cf. auch Abb. Hinghofer/ Donaughy)

#### 21.4.4 Regelkreise für Stationarität konvergent mit Poincarés Modell der Kompensation

Im umfangreichen Sammelband „Kognitive Neurowissenschaften“ beschreiben Uwe Ilg und Peter Thier im Kapitel „Zielgerichtete Augenbewegungen“ Regelkreise zum Ausgleich bewegungsinduzierter Bildverschiebungen, die mit den oben genannten Aspekten und speziell auch mit Poincarés der Kompensation konvergent sind. Dabei wird nicht nur das Perzept stabilisiert, sondern die Unterscheidung zwischen selbstinduzierten Bildveränderungen und solchen getroffen, welche die Bewegung der externen Objekte anzeigen.

Dabei werden, ausgehend von Körper- bzw. Kopfbewegungen, einerseits eigenbewegungskompensierende Augenbewegungen unter Einbindung der Information des Gleichgewichtsorgans (Bogengangsystem und Ortholithensystem) beschrieben. (Cf. Ilg u. Thier, 2012, S. 378) Andererseits werden auch Regelkreise erläutert, welche verhindern, eine von Augenbewegungen induzierte Bildverschiebung als extern verursacht zu deuten: „Eine solche augenbewegungsinduzierte Bildbewegung im Sinne von Bewegung der Welt zu interpretieren wäre fatal, müsste sie doch notwendigerweise unser Konzept einer verlässlich stabilen Welt gefährden.“ (Ilg u. Thier, 2012, S. 386)

„Die Lösung, der sich unser visuelles System bedient, ist die Schätzung des Maßes an retinaler Bildverschiebung, die Folge der Augenbewegung ist, und die Subtraktion dieses Schätzwertes (>>Referenzsignal<<) von der retinalen Bildverschiebung (>>Afferenz<<). Ist die retinale Bildverschiebung ausschließlich Folge einer langsamen Augenbewegung, dann wird das Referenzsignal der Afferenz entsprechen und beide werden sich auslöschen, ein Ergebnis, das im Sinne von Stationarität der Welt interpretiert wird. Löschen sich beide Größen nicht aus und bleibt ein Rest, dann spiegelt er den Teil der retinalen Bildverschiebung wider, der seine Ursache in einer Bewegung in der Außenwelt hat und im Sinne von Bewegung der Außenwelt interpretiert wird...Es gibt natürlich einen zweiten, komplementären Aspekt der Bewegungswahrnehmung während langsamer Augenfolgebewegungen, nämlich den der Wahrnehmung der Objektbewegung. Erfolgreiche langsame Augenfolgebewegungen stabilisieren das Bild des interessierenden Objektes in der Fovea, eliminieren die retinale Bildverschiebung also weitestgehend. Nichtsdestoweniger nehmen wir eine Objektbewegung wahr, was durch denselben referenziellen Mechanismus erklärt werden kann, der auch der Wahrnehmung der Hintergrundbewegung zugrunde liegt. Im Falle des Objektes ist die Afferenz gleich null und die Referenzgröße entspricht der Augenbewegung, die Differenz beider, die Grundlage der Wahrnehmung ist, entspricht also der Referenzgröße.“ (Ilg u. Thier, 2012, S. 387)

„Augenbewegungen dienen dem Sehen, indem sie entweder das Bild der visuellen Umwelt auf der Retina stabilisieren (eigenbewegungskompensierende Augenbewegungen) oder aber das Bild eines interessierenden Objektes in der Fovea platzieren (zielgerichtete Augenbewegungen). Die zwei Formen zielgerichteter Augenbewegungen sind die Sakkaden, die Objektbilder mit höchster Geschwindigkeit aus der Peripherie der Retina in die Fovea verschieben, und langsame Augenfolgebewegungen, die die Fovea nachführen, sollte sich das Objekt langsam und stetig relativ zum Betrachter bewegen. Beide werden unter natürlichen Bedingungen durch Kopfbewegungen unterstützt, die dafür sorgen, dass die Augen nicht an die mechanischen Grenzen stoßen. Zielgerichtete Augenbewegungen erfordern eine Auswahl des interessierenden Objektes und die Ermittlung seiner Position und Bewegung. Die optimale Anpassung der Augenbewegungen erfolgt im Falle langsamer Augenfolgebewegungen nach Art eines typischen Regelkreises, der die Abweichung des Blickzielbildes von der Fovea minimiert. Im Falle von Sakkaden basiert die optimale Anpassung der Sakkadengröße auf einer Adjustierung von Sakkadenparametern, die Erfahrungen über die Angemessenheit der gemachten Sakkaden in Rechnung stellt. Das visuelle System verfügt über elaborierte Mechanismen, die sicherstellen, dass retinale Bildverschiebungen, die Folge der gemachten Augenbewegungen sind, nicht zu einer illusionären Wahrnehmung von Bewegung oder einer Gefährdung der Konstanz unseres Wahrnehmungsraumes führen.“ (Ilg u. Thier, 2012, S. 388)

Die Ausführungen von Ilg und Thier machen deutlich, dass die „Konstanz unseres Wahrnehmungsraumes“ durch einen Komplex unbewusst wirkender Regelkreise des visuokognitiven Systems unter systematischer Integration der Augenbewegungen konstruiert wird. Die Notwendigkeit dafür ergibt sich aus der Präferenz für Objekte, die unter Bedingung von Sakkaden und anderen Bewegung im Fokus fovealen Sehens als homogene Einheit präsent bleiben und in einem als kontinuierlich erscheinenden Gesichtsraum lokalisiert werden sollen. Ein derartiges Zusammenspiel betrifft nicht nur prinzipiell Poincarés Fundamente von Geometrie, sondern auch das von ihm angesprochene Thema der Homogenität unseres Wahrnehmungsraumes. Poincaré kommt wegen der unterschiedlichen Verteilung der Rezeptoren auf der Netzhaut zum Schluss: „Dieser reine Gesichtsraum ist nicht homogen....Eine gründlichere Analyse würde uns ohne Zweifel zeigen, dass diese Kontinuität des Gesichts-Raumes und seine zwei Dimensionen nur auf Täuschung beruhen...“ (Poincaré, 1906, S. 54).<sup>648</sup> Damit ist die phänomenale Homogenität des Wahrnehmungsraumes ein Konstrukt, an dem die von Poincaré favorisierten Augenbewegungen samt ihren Regelkreisen eine bedeutsame Rolle spielen. Allerdings ist anzumerken, dass Poincaré stärker das Bewusstsein über diese Bewegungen in Betracht zieht, während hier vor allem die unbewusst automatisch wirkenden Regelkreise zu Debatte stehen, die aber auch bei willkürlichen Blickfolgebewegung im Spiel bleiben.

Auch die Rolle des Gleichgewichtsorgans wird von Poincaré in einer Weise integriert, die bemerkenswert mit den aktuellen Modellen der Funktionen von Augenbewegungen und Gleichgewichtsorgan für die Stationarität und Homogenität des Wahrnehmungsraumes übereinstimmt. So hält z.B. Poincaré seinem Kapitel „Die Rolle der halbkreisförmigen Kanäle“ fest: „...dadurch kommt uns zu Bewußtsein: 1. die Richtung der Vertikalen in bezug auf drei unveränderlich mit dem Kopf verbundene Achsen; 2. die drei Komponenten der Translationsbeschleunigung des Schwerpunktes des Kopfes; 3. die durch Drehung des Kopfes hervorgerufenen Zentrifugalkräfte; 4. die Beschleunigung der Drehbewegung des Kopfes...Die halbkreisförmigen Kanäle tragen also dazu bei, uns über die Bewegungen, die wir ausgeführt haben, Aufschluß zu geben, und zwar in gleichem Maße wie die Muskelempfindungen.“ (Poincaré, 1910, S. 103)

## 21.5 GAZE- System: Joint Attention durch deiktische Augenbewegungen

Dem Spiel mit Blickrichtungen kommt auch deshalb ein besonders bemerkenswertes Potential zu, weil damit auch die Orientierung der Blickrichtung des Visavis beeinflusst und die gemeinsame Aufmerksamkeit auf relevante Objekte gelenkt werden kann. Blickbewegungen haben also eine hoch effiziente deiktische Funktion mit einer stark räumlich orientierten Komponente, die von allem die Aufmerksamkeit für Objekte, deren Lokalisation und sogar ihre Wertschätzung (vgl. Wiese, 2010) betrifft.

Dieses Phänomen gilt nicht nur für den unmittelbar persönlichen Blickkontakt, sondern wirkt auch in Kommunikationsszenarien mit virtuellen Agenten.

So wird bei Joos das GAZE- System eines virtuellen 3D Konferenz- und Kooperationssystems mit Video-Teilnehmern dargestellt, wo durch Hilfstools in Echtzeit angezeigt wird, auf welche Textstelle der aktuelle Blick eines Konferenzteilnehmers gerichtet ist. Dadurch wird Joint Attention unterstützt und die Kooperation, gefördert.

---

<sup>648</sup> Cf. > foveale Lupe

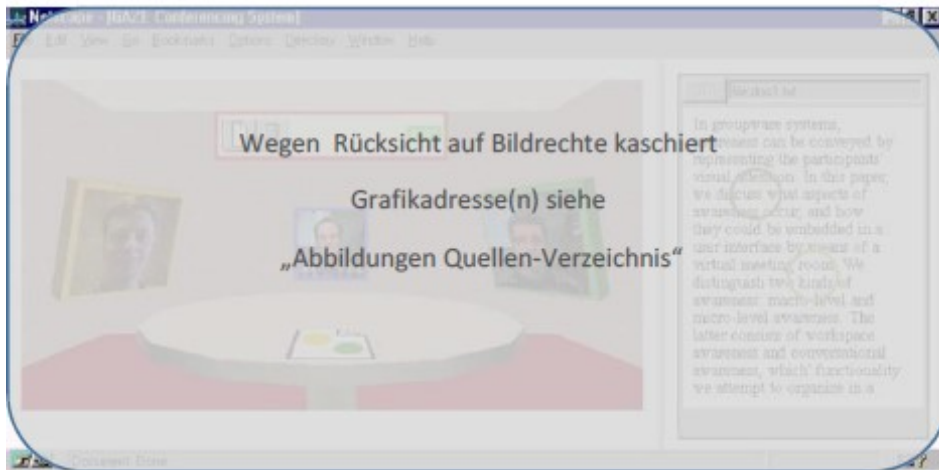


Abbildung 51 GAZE-System, virtueller Konferenzraum (Joos et al. 2003. S. 27)

„ Der virtuelle Konferenzraum des GAZE-Systems: Für eine Identifikation der Zugehörigkeit der Fixation wird eine zusätzlich Farbkodierung benutzt (nach Vertegaal, Velichkovsky & Van der Veer, 1997)“ (Joos et al. 2003. S. 27)

Die mit dem Begriff von Joint Attention verbundene Fähigkeit zur kommunikativen Blickfolge wurde erstmals 1975 auch bei Kindern beschrieben.<sup>649</sup> Diese Fähigkeit ist in gewissem Ausmaß auch bei anderen Lebewesen anzutreffen, speziell die kooperative Blickfolge spielt aber bei Menschen in auffälliger Weise schon bei Kleinkindern eine signifikant prominente Rolle.

## 21.6 Bistabile Perzepte Rubin-Vase und Necker- Würfel: Semantische versus räumliche Ambivalenz

Bei der Auseinandersetzung mit ambivalenten Formen und bistabilen Perzepten ist im Sinn unserer Arbeit eine weitere Unterscheidung bemerkenswert.

Die genannten Beispiele sind in der Illustration von Buckthought et al. (2012, siehe Abb. Teststimuli) mit den Buchstaben d und h bezeichnet.

Sowohl bei der Rubin-Vase wie auch beim Necker-Würfel handelt es sich um flächig dargebotene Teststimuli und das Alternieren des Perzepts erfolgt in der Regel auch bei monokularer Betrachtung. Die dabei zur Geltung kommenden Kriterien richten sich aber auf verschiedenartige Aspekte. Während im einen Fall zwischen verschiedenen Objekten, Vase und Gesicht, offenbar nach Formmerkmalen einer semantischen Objektbestimmung unterschieden wird, bleibt beim Necker- Würfel das Testobjekt in Form und Bedeutung ident. Das Umspringen bezieht sich also nur auf die Interpretation der Raumlage relativ zum Betrachter. Daraus wird hier die Vermutung abgeleitet, dass nicht nur gegenstandsbezeichnende „semantische“ Merkmale, sondern offenbar auch spezifische räumliche Merkmalskonstellationen von Stimuli so stark auf neurokognitiver Ebene

<sup>649</sup> „Joint attention or shared attention is the shared focus of two individuals on an object. It is achieved when one individual alerts another to an object by means of eye-gazing, pointing or other verbal or non-verbal indications. An individual gazes at another individual, points to an object and then returns their gaze to the individual. Scaife and Bruner were the first researchers to present a cross-sectional description of children's ability to follow eye gaze in 1975.“ ([https://en.wikipedia.org/wiki/Joint\\_attention](https://en.wikipedia.org/wiki/Joint_attention) 2.8.2018)

repräsentiert sein können, dass sie dominant als nach perspektivischen Kriterien rivalisierende Ansichten gemäß Blickwinkel zur Geltung kommen.

#### 21.6.1 Räumliche Ambivalenz und Disambiguation als eigenständige Phänomene, die semantische Kriterien dominieren können?

Im Umfeld dieser Beispiele kommen weitere strukturspezifische Merkwürdigkeiten unserer Wahrnehmung zum Tragen, die sich ebenfalls auf die Wahrnehmung des Necker- Würfel und eines Gesichts beziehen und offenbar von starken räumlichen top-down Faktoren beeinflusst sind. Aus einer aktuellen Untersuchung von Kornmeier et al. (2017) über die Wahrnehmung ambivalenter Stimuli bei Personen, die vom Asperger- Syndrom betroffen sind, geht hervor, wie eng Raumwahrnehmung und bistabile Perzepte verbunden sind. Dabei wird als wahrscheinliche Erklärung unterstellt, dass eine typisch reduzierte Intensität der top-down Einflüsse im autismusnahen Symptom-Komplex bei der Asperger- Versuchsgruppe einen entscheidenden Faktor darstellt.

#### 21.6.2 Asperger-Syndrom lässt reduzierte top-down Einflüsse auf Perzept vermuten, die auch den Neckerwürfel betreffen

Kornmeier referiert die Basisannahmen:

„Patients with autism spectrum disorder (ASD) show patterns of altered visual processing (e.g., [3]). Their perception is described as being generally dominated by bottom-up sensory information, whereas top-down contribution seems to be underweighted....Their perceptual interpretations are dominated by small sensory details, whereas they have difficulties to integrate spatial context [4] and prior perceptual experiences (e.g. [5,6]). Further, ASD observers are less susceptible to optical illusions (e.g., [7,8]).“ (Kornmeier et al., 2017, S. >2)

Im Zuge der Studie wurde von Kornmeier besonderes Augenmerk auf den markanten Umstand gerichtet, dass bei Tests mit Necker-Stimuli üblicherweise eine statistisch signifikante Präferenz für die Ansicht von schräg oben im Unterschied zur Interpretation als Ansicht von unten festgestellt wird. Die Testergebnisse der Asperger- Gruppe weichen von dieser Präferenz stark ab und Kornmeier et al. interpretieren dies so:

„One possible explanation for the fap-bias during perception of the Necker stimulus is that people more often adopt from-above-perspectives (fap) than from-below perspectives (fbp) in their every-day lives. This a priori perceptual bias can thus be interpreted as strong influence of top-down long-term perceptual memory during the disambiguation of the ambiguous sensory information.“ (Kornmeier et al., 2017, S. >4) <sup>650</sup>

“We interpret our current results as follows: The a priori incomplete, noisy and to varying degrees ambiguous sensory information is weighted with memorized concepts in order to construct stable and reliable percepts... Perception in Asperger observers is characterized by an underweight of endogenous perceptual memory factors, and an overweight of exogenous sensory input. They thus seem to see the world more “objectively”, which may be disadvantageous in many situations but it may sometimes also be advantageous [47,48].“ (Kornmeier et al., 2017, S. >8)

Wenn man nun gemäß den Aussagen Kornmeiers kombiniert, dass im Fall einer autistischen bzw. Asperger- Symptomatik einerseits der Einfluss von top-down Komponenten stark reduziert ist und andererseits signifikante Schwierigkeiten „to integrate spatial context“ bestehen, dann liegt die Option nahe, im generellen Fall einer nicht beeinträchtigten

---

<sup>650</sup> Verbindungen zu den Überlegungen über Licht von Hypothese bei Kandel?

Raumwahrnehmung gemäß den Überlegungen dieser Arbeit von einem offenbar prinzipiell markanten „top-down Faktor 3D“ mit Präferenz für Ansichten von schräg oben zu sprechen.

### 21.6.3 Hohlmaskentäuschung/ Vitrografie/ Umspringen rotierender Maske

Während es beim Beispiel der Rubin- Vase um die alternierende semantische Identifikation der Flächengestalt einer Vase und von zwei Gesichtern geht, kommt beim Phänomen der so genannten Hohlmaskentäuschung speziell der Aspekt räumlicher Interpretation von Gesichtsmerkmalen zum Tragen. In diesem Fall dient eine (entsprechend beleuchtete) Gesichts-Hohlmaske als Stimuluskonstellation, die gemäß der natürlichen plastischen Gliederung eines Gesichts bis etwa zur Ebene des Ansatzes der Ohren modelliert ist. Wie beim Test mit dem Liniennetz des Necker Würfels bleibt auch im Fall der Hohlmaske nach semantischen Kriterien das Objekt ident. Umso mehr kommt an den dabei beobachtbaren „Täuschungs“- Phänomenen die geradezu dominierende Eigendynamik räumlich interpretierender top-down Faktoren zur Geltung.<sup>651</sup> Bei prinzipiell gleicher Ausgangslage sind zwei Varianten zu unterscheiden:

**Fixe Variante:** Im einen Fall geht es um die klassische Hohlmasken-Täuschung, bei der eine entsprechend beleuchtete fix positionierte Negativform präsentiert wird, die vom Betrachter in der Regel aber als räumlich prominente Positivform wahrgenommen wird. (vgl. Ausnahmen bei schizophrener Symptomatik)

**Rotierende Variante:** Die damit eng verbundene zweite Variante ist aber in ihrer Aussagekraft über räumliche Verarbeitungsmuster noch wesentlich markanter und passt auch treffender in den hiesigen Kontext, weil es ebenfalls um ein wiederkehrendes Umspringen des Perzepts geht und weil für die zugrunde liegenden Stimuli eine projektive Ambivalenz zur Geltung kommt. Zusätzlich fällt auf, dass der Umspring- Effekt sowohl bei entsprechender Präsentation einer räumlichen Vorlage als auch bei filmischer, also zweidimensionaler Wiedergabe auftritt.

Lässt man eine passend beleuchtete Hohlmaske<sup>652</sup> rotieren, dann setzt ab dem Zeitpunkt, zu dem sich die prominente Seite der Maske abwendet und die Negativform sichtbar wird, ein Umspringeffekt ein, sodass auch die Negativformen prominent wahrgenommen werden. Der Effekt ist so dominant, dass er nicht nur wider besseren Wissens des Betrachters, der ja die Rotation bewusst verfolgen konnte, periodisch wiederkehrend eintritt. Dies gilt nicht nur für die Rotationsphase, in welcher der Großteil des Gesichts als Negativform sichtbar ist. Der Effekt setzt bereits ein, wenn die sich wegdrehende Positivansicht noch im verlorenen Profil erkennbar ist, aber zugleich schon erste Gesichtspartien der Negativform eingesehen werden.

---

<sup>651</sup> Auch in diesem Fall werden hier „Täuschungen“ als tragfähige Symptome zur Analyse von stark automatisierten und schematisierten Verarbeitungsregeln des neurokognitiven Systems herangezogen.

<sup>652</sup> Der selbe Effekt tritt auch bei Vitrografien auf, bei denen mittels Laser das Porträt in Form einer Punktwolke gemäß räumlicher Verteilung auf der Oberfläche des Gesichts in einen Glaskubus eingebrannt wurde.

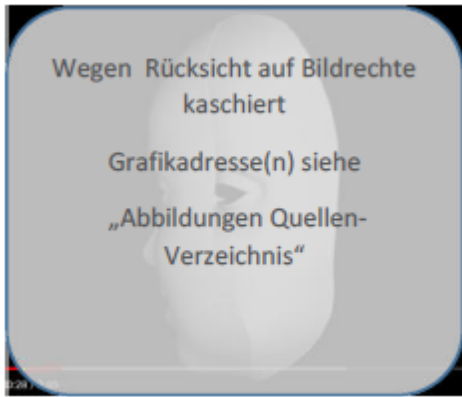


Abbildung 52 Rotating mask illusion, Screenshot aus Video, (eChalk, 2012)

Das Video zeigt das Umspringen von Teilen der Negativformen, die konvex zur Geltung kommen. Auch im Standbild ist der Effekt deutlich erkennbar. Die dabei wirksamen Mechanismen der räumlichen Um-Interpretation sind also offenbar so stark und zwanghaft, dass dabei sogar die integrale Gestalt und der Sinnzusammenhang des Gesichts konterkariert werden und gemäß Verlauf der Schnittlinie des Maskenrandes auch geometrisch „unmögliche Figuren“ in Kauf genommen werden. Das ist umso bemerkenswerter, als akkurat semantisch relevante Gestaltmerkmale der Gesichtserkennung in den neuronalen Strukturen sehr stark, höchst sensibel und treffsicher verankert sind.<sup>653</sup>

Trotz der hier propagierten Eigendynamik räumlicher Aspekte, die den semantischen Zusammenhalt konterkarieren können, darf nicht ignoriert werden, dass es wohl gerade beim Gesicht auch um ein mitgestaltendes Wissen darüber handelt, dass unter normalen Umständen die Nase usw. immer nur auf der dem Betrachter zugewandten Seite zu sehen ist.<sup>654</sup>

## 21.7 Poincarés intuitive Komponente von Objektivität

Diese Assemblage ausgewählter Passagen<sup>655</sup> aus dem Stanford Artikel „Henri Poincaré“ ist darauf ausgerichtet, Poincarés Wertschätzung des Intuitiven bzw. Psychologischen zu illustrieren, weil das einem der Schwerpunkte dieser Arbeit entspricht, nämlich dem „appeal to sense and to imagination“ (s.u.). Damit soll aber nicht suggeriert oder behauptet werden, Poincarés weitgespannte wissenschaftliche Position wäre insgesamt auf diese Bereiche einschränkbar oder dadurch umfassend zu definieren.

„ **Henri Poincaré** (xxx)

### 3. Philosophy of mathematics (xxx)

„It would be false, however, to believe that he thus conflates logic and psychology. Indeed, Poincaré does not use the term psychology in the modern sense, but rather in all situations where he wants to

<sup>653</sup> Cf. fusiform Gyrus. Cf. analytischer Kubismus

<sup>654</sup> Auch daraus ist ersichtlich, dass unsere räumliche Wahrnehmung von der Unterstellung bzw. Erfahrung opaker Objekte und deren somit räumlich formbestimmenden Oberflächen ausgeht und nicht von einem materialdurchdringenden Röntgenblick bzw. von transparenten Materialien wie z.B. bei Vitrografie. Cf. die Überlegungen zum festen Körper als lichtaffines Konstrukt.

<sup>655</sup> Ausgelassen Stellen sind durch (xxx) gekennzeichnet.



emphasize the dimension of understanding, in particular its historical elements, which he contrasts with the mere correct logical exposition of the result. (xxx) It should also be noted that the term “intuition” is quite ambiguous, a fact that is well known and explicitly discussed by Poincaré himself. In *The Value of Science*, he distinguished three kinds of intuition: an appeal to sense and to imagination, generalization by induction, and intuition of pure number—whence comes the axiom of induction in mathematics. The first two kinds cannot give us certainty, but, he says, “who would seriously doubt the third, who would doubt arithmetic?” (Poincaré 1905b: 33; 1913b: 216).

From 1905, Poincaré therefore opposed the logicist thesis that claims to be able to prove all mathematical truths without recourse to intuition, once the principles of logic are admitted. (xxx)

Concerning pure *and* applied geometry, Poincaré holds the modernist-sounding views that we have no pre-axiomatic understanding of geometric primitives, that rigor demands that we eliminate appeals to intuition in geometry, and that (metric) geometry is neither true nor false, not only because we cannot *verify* which one is true, but also because we cannot empirically determine the metric geometry of space ‘in principle.’ When we speak of space, all we can talk about is the relations of physical bodies: (xxx)

An answer to this difficulty can be found by examining four steps of Poincaré’s psycho-physiological reconstruction of the genesis of geometry. In his early articles, Poincaré argues that geometry concerns only the relations expressed in the axioms, not some inherent features of the primitives:

What we call geometry is nothing but the study of formal properties of a certain continuous group; so we may say, space is a group. (Poincaré 1898: 41)

The first step of Poincaré’s construction of geometrical space via groups proceeds from the observable fact that a set of impressions can be modified in two distinct ways: on the one hand without our feeling muscular sensations, and on the other, by a voluntary motor action accompanied by muscular sensations. (xxx)

Nevertheless, Poincaré begins his alternative reliability construction only *apparently* with sensations as ostensive contacts with the given, since he is not an empiricist. Instead, in a move similar to Helmholtz’s conception of intuition as imagined sensible impressions, Poincaré introduces a representation of a two-place sensation relation, based on the *imagination* of single sensations. The representation of an *object* in sensible space means nothing other than the deliberate and conscious representation of muscular sensations *thought* necessary to reach the object (Poincaré 1902: 82; 2017: 48–49). The sensation relations are then the place-holder of the categories (forms) of sensible space and of groups. Poincaré’s conventions in geometry are the tool that he uses to close the gap between the *exactness* of a structure and the *objectivity* of sensation-relations based on an imagined ostensive contact (*reflecting on sensations*). If this interpretation is right, then Poincaré’s concept of structure is not the new Hilbertian one that derives from the axiomatization of Euclidean geometry, but rather constitutes a development of the traditional algebraic concept of structure and concerns continuous groups. (xxx)

The genesis of the geometrical metric structure is as the advent of relations linked to the concrete in an *aesthetic analysis* of the general idea, rather than either the creation of the concrete material from the general idea (a group) or as the creation of the category (a group) from the concrete. What Poincaré calls “objective reality common to many thinking beings” is exactly the “harmony expressed by mathematical laws” (Poincaré 1905b: 23; 1913b: 209). To move along this predefined track of a reconciliation of aesthetic sensitivity and cognition leads directly to Nelson Goodman (1969).

As Philippe Nabonnand has remarked, Poincaré’s presentation of geometrical space is as a whole in fact circular:

In his 1898 paper, [Poincaré] put forward a (mathematical) explanation of the three dimensions of space. He observed that the Euclidean group, selected after many conventions, can be seen as acting on a space of three, four or five dimensions. The choice of a three-dimensional space is justified by considerations of commodity. Unfortunately, Poincaré’s argument is viciously circular because the choice of the Euclidean group was grounded on Lie’s classification of transformation-groups operating on  $R^3$  (Heinzmann and Nabonnand 2008: 171).

Nevertheless, Poincaré noted his mistake and introduced in 1905b a three-dimensional physical continuum in order to justify his utilization of Lie's classification. The consequence is that geometry is not independent of any further mathematical space, the structure of which must be presupposed as a primitive notion, contrary to the pragmatically suggested group notion existing in our mind." (Heinzmann, Stumpf, 2017, o.S. Kap. 3)

Diese Arbeit versucht über weite Bereiche dem zuletzt angesprochenen, präexistierenden Potential zur Bildung von Gruppen nachzugehen, das Poincaré als essentielle Komponente der Genese einer geometrisch beschreibbaren Vorstellung von Raum etabliert. Diese Untersuchung gilt vor allem evolutionären Aspekten wie z.B. der Enzephalisation unter Einfluss der Sensibilität für Licht und einer davon ableitbaren lichtaffinen Objektkonstruktion, die mit Poincarés „festem Körper“ und dem bewegungsinduzierten Schauspiel der Perspektiven kompatibel ist. Das formbezogene visuelle Assoziationsvermögen, wie es z.B. bei der Gestaltwahrnehmung aber auch bei so genannten optischen Täuschungen wirksam wird bzw. beobachtbar ist, wird dabei als eine Basiskomponente von Intuition geltend gemacht, die auch rationales sprachbezogenes Denken erheblich beeinflusst. Das kommt z.B. dann signifikant zum Ausdruck, wenn Abstrakta durch Metaphern benannt oder umschrieben werden. Das wiederum trifft sich mit Poincarés „besoin de penser avec des images“, also mit einem Modus Operandi qua human being, der gemäß der Spannweite des Ausdrucks „besoin“ ebenso einem notgedrungenen Bedarf wie (vielleicht auch) einem eher psychologisch motivierten Bedürfnis entspricht und in beiden Fällen wohl auch eine intuitive Dimension hat.

## 21.8 Huber: Intuitive Erkenntnis und exakte Wissenschaften

Nachfolgend wird ein Kapitel aus der Habilitationsschrift „Intuitive Erkenntnis und exakte Wissenschaften“ von Renate Huber an der TU Dortmund wiedergegeben, das sich umfangreich auf Poincaré bezieht.

### 21.8.1 „Poincarés Begriff der Intuition in der Mathematik

In seinem Buch *Der Wert der Wissenschaft* analysiert Poincaré (1853 – 1912) im ersten Kapitel *Anschauung und Logik in der Mathematik* Begriff, Funktionen und Grenzen der Intuition in der Mathematik. Im Streit um die Grundlagen der Mathematik, der zwischen den Vertretern des Logizismus, Intuitionismus und Formalismus ausgetragen wird, gilt Poincaré als Vordenker des Intuitionismus.

#### 1. Die verschiedenen Begriffe der Intuition. Poincaré unterscheidet zunächst zwei

grundverschiedene methodische Vorgehensweisen: (1) die *Methode der Analytiker*, die sich von der Logik leiten läßt und Schritt für Schritt vorgeht und (2) die *Methode der Geometer*, die sich der Anschauung bedient und „mit einem Schlag große Eroberungen macht, die aber nicht immer zuverlässig sind“. Poincaré streicht jedoch zu Recht heraus, daß auch die analytische Methode nicht allein auf Logik beruht, sondern der Intuition bedarf. Die Intuition ist aus seiner Sicht das Werkzeug der *Erfindung*. 549

Wir glauben, in unseren Schlußfolgerungen die Anschauung nicht mehr zu Hilfe zu rufen. Die Philosophen sagen uns, daß dies eine Einbildung sei. Die reine Logik führe uns stets nur zu Wiederholungen, sie könne nichts Neues schaffen, aus ihr allein könne keine Wissenschaft hervorgehen. Die Philosophen haben in einer Beziehung recht; zur Arithmetik sowohl als zur Geometrie oder zu irgend einer Wissenschaft braucht es noch etwas anderes als die reine Logik. Dies andere zu bezeichnen steht uns nur das Wort *Intuition* zur Verfügung; aber wieviel verschiedene Begriffe liegen in diesem einen Wort. 550

Poincaré spricht von verschiedenen Arten der Anschauung bzw. Intuition und gibt Beispiele aus Logik, Geometrie und Arithmetik: Die Grundbegriffe werden in der Anschauung gebildet; die Axiome gelten als intuitiv einsichtig und die Methoden werden durch den Verweis auf die Intuition begründet. Seine

wichtigsten Begriffe sind: (1) die Anschauung durch die Sinne und die Einbildungskraft (an anderen Textstellen spricht Poincaré von Intuition der Wahrnehmung bzw. sinnlicher Anschauung), (2) die Anschauung oder „Intuition der reinen Zahlen“ und (3) die vollständige Induktion, die auf dem abstrakten Zahlbegriff beruht und den Grenzübergang vom Endlichen zum Unendlichen einschließt.551

Wir haben also mehrere Arten von Anschauung, erstens die Berufung auf die Sinne und die Einbildungskraft, dann die Verallgemeinerung durch Induktion, die den experimentellen Wissenschaften sozusagen nachgebildet wird; wir haben endlich die Anschauung der reinen Zahlen, [...] die allein die wahre mathematische Schlußfolgerung erzeugen kann. [...] Demnach gibt es [...] nichts als Vernunftschlüsse oder die Berufung auf diese Intuition der reinen Zahlen, die einzige, die uns nicht täuschen kann.552

Der erste Begriff meint eine *phänomen-orientierte, sinnliche Intuition*, die sich auf konkrete geometrische Figuren bezieht. Der zweite Begriff meint eine *struktur-orientierte, rationale Intuition*, die auf einen abstrakten Zahlbegriff zielt. Dieser Zahlbegriff ist all seinen Bezügen zu konkreten raumzeitlichen Phänomenen enthoben und daher nur als ideales Konstrukt zu begreifen. Der dritte Begriff meint ebenfalls die struktur-orientierte, rationale Intuition, insofern die vollständige Induktion auf dem abstrakten Zahlbegriff beruht. Darüber hinaus beinhaltet diese Variante noch einen methodischen Aspekt.“ (Huber, 2013, S. 390 f.)

#### 21.8.1.1 Schurz: Evolution, Placeboeffekt, dysfunktionale Merkmale

Schurz macht darauf aufmerksam, dass keine radikal zwingende Selektion dysfunktionaler Merkmalsbildungen besteht. Das schafft erheblichen Freiraum gegenüber einem auf evolutionäre Argumente gestützten (naiven Anpassungs-) Realismus. Dies wird hier als ein bedeutsames Indiz bezüglich der im Zuge dieser Arbeit wiederholt forcierten Entkoppelung unseres visuokognitiven System von einer strikten Gebundenheit an die externe Realität im Sinn eines zu engen Begriffs von Anpassung und darüber hinaus als Chance auf überschreitende kognitive Potentiale gesehen. Das betrifft auch die Frage eines determinierenden Apriori der Dreidimensionalität.

Die nachfolgenden Passagen von Schurz enthalten auch Aspekte, welche den Themenkomplex unbewusste Schlüsse und Intuition ansprechen.

„Die evolutionäre Selektion bewirkt nicht, daß Organismen perfekt angepaßt sind, sondern nur, daß sie besser angepaßt sind als ihre evolutionären Vorgänger, und das nur ceteris paribus. Die Evolutionstheorie kennt zahlreiche Beispiele für disfunktionale Merkmalsbildungen und kann erklären, warum solche unter speziellen Bedingungen nicht aussterben. Es gibt in der Evolutionstheorie auch nichts, was ein Gesetz der „Evolution zum Höheren“ impliziert. Dennoch ist Evolution in ihrem Verlauf nicht tautologisch-beliebig: evolutionäre Prozesse besitzen immer Richtungen, in denen gewisse phänotypische Merkmale sukzessive optimiert werden, als Resultat des nachhaltigen Wirkens stabiler selektierender Umgebungsparameter.“ (Schurz. o.J., S. 6)

„Der Gegensatz zwischen der modernen evolutionären Kognitionswissenschaft und der älteren evolutionären Erkenntnistheorie spiegelt in gewisser Weise die generelle Wandlung im Verständnis der Evolutionstheorie wieder. Die evolutionäre Erkenntnistheorie trug noch normativ-idealistische Züge, insofern dieser Ansatz die aufklärerische Kernthese voraussetzte, d.h. einen durchgängigen Zusammenhang von evolutionärem Selektionserfolg und Wahrheitsnähe annahm: eine genetische Disposition für die Suche nach Wahrheit an sich müßte, wie es z.B. David Papineau unlängst formulierte, hohe Selektionschancen haben. Doch aus der Sicht der modernen Evolutionstheorie besteht, wie ich ausführte, kein automatischer Zusammenhang von evolutionärem Erfolg und Wahrheitsnähe. Wie es Ghiselin einmal formulierte: die Evolution kümmert sich kein Jota um Wahrheit an sich, solange Ignoranz die Fortpflanzungschancen erhöht.

### Das kognitive Unbewusste

Placebo-Effekte sind keineswegs der einzige Punkt, in dem idealistische Vernunftkonzeptionen durch naturalistisch-evolutionstheoretische Modelle menschlicher Kognition korrigiert werden. Der erste gravierende Unterschied besteht in der Rolle des Bewußtseins. Während bei Descartes und den meisten Aufklärungsphilosophen das menschliche Erkenntnisvermögen mit einer Fähigkeit des reflexiven Bewußtseins identifiziert wurde, laufen aus kognitionswissenschaftlicher Sicht die meisten kognitiven Prozesse unbewußt ab, und das Wissen, das unser reflexives Bewußtsein von ihrer Funktionsweise hat, ist sehr bescheiden. Es gibt also ein kognitives Unbewußtes, und dieses kognitive Unbewußte ist weitaus umfangreicher als das kognitive Bewußte, und vermutlich auch weitaus umfangreicher als das gefühlsmäßige Unbewußte, das Sigmund Freud entdeckt hatte. Wohlbekannt ist beispielsweise, dass alle Prozesse unserer visuellen Wahrnehmungsverarbeitung unbewußt verlaufen und nur ihr Ergebnis in unser Bewußtsein senden. Dies kann heutzutage jedermann in Selbst-experimenten zu 3D-Bildern eindrucksvoll nachvollziehen, die einem ein drei-dimensionales Objekt zum Greifen nahe erscheinen lassen, obwohl gar keines vorhanden ist. Unbewußt sind auch alle Suchprozesse unseres repräsentationalen Gedächtnisses – diese Prozesse der Erinnerungssuche werden in der Künstlichen Intelligenz-Forschung Information Retrieval genannt, das Absuchen riesiger Daten-banken nach relevanten Informationen, und das menschliche Information Retrieval ist enorm effektiv, ohne dass unser Bewußtsein die leise Ahnung davon hat, wie dieser Erinnerungs-Suchprozess eigentlich vor sich geht: nur sein Ergebnis wird ins Bewußtsein gesandt: "ah, jetzt fällt es mir ein". Neben dem repräsentationalen Gedächtnis, dessen Inhalte ins Bewußtsein gerufen werden können, wenngleich der Suchprozess unbewußt ist, gibt es aber auch noch das sogenannte prozedurale Gedächtnis, das aus kognitiven Fertigkeiten besteht, die durch Übung erlernt wurden, ohne dass diese als solche jemals bewußt werden, was durch Experimente mit gehirngeschädigten Personen eindrucksvoll belegt wurde.

Und dies sind längst nicht alle Prozesse, die kognitiv unbewußt ablaufen – sogar wesentliche Anteile des intuitiven menschlichen Schließens laufen unbewußt ab. Seit Jahrzehnten haben kognitionspsychologische Experimente immer wieder festgestellt, dass die Mechanismen des intuitiven Schließens von den korrekten Regeln des Schließens markant abweichen und zu intuitiven Fehlschlüssen führen. Daniel Kahneman hat für seine Untersuchungen zur probabilistischen Fehlschlüssen unlängst sogar den Nobelpreis erhalten.“ (Schurz, o.J., S. 12 f.)

Wenn Schurz oben geltend macht : „Es gibt also ein kognitives Unbewußtes, und dieses kognitive Unbewußte ist weitaus umfangreicher als das kognitive Bewußte,...“, dann trifft das in frappanter Kompatibilität mit jenen introspektiv motivierten Beobachtungen und Überlegungen zusammen, die Poincaré über das „sublime Ich“ und dessen intuitive Potentiale anspricht. (Cf. Kapitel > Poincarés Reflexionen über das „sublime Ich“ und dessen Potentiale.)

### 21.9 Cassirer: Wahrnehmung und Gruppentheorie

Für Poincarés Fundamente von Geometrie ist das präexistierende kognitive Potential zur Bildung von Gruppen essentiell.

« Ce qui est l'objet de la géométrie, c'est l'étude d'un « groupe » particulier ; mais le concept général de groupe préexiste dans notre esprit au moins en puissance. Il s'impose à nous, non comme forme de notre sensibilité, mais comme forme de notre entendement. » (Poincaré, 1902, S. 76)

Obwohl Poincaré einschränkend festhält, der Gruppen-Begriff „...er drängt sich uns auf, nicht als eine Form unseres Empfindungs-Vermögens, sondern als eine Form unserer Erkenntnis.“ (Poincaré, 1906, S. 73) wird im Zuge dieser Arbeit dennoch umfangreich versucht, dieses préexiste auch mit den Strukturen und Prozessen visueller Verarbeitung sowie deren Evolution in Zusammenhang zu bringen.

Dies erscheint als legitimiert und bestärkt durch den Hinweis Cassirers:

„The first attempt to apply certain mathematical speculations concerning the *concept of group* to psychological problems of perception was made by Helmholtz in his essay *Über die Thatsachen, die der Geometrie zu Grunde liegen* (1868).“ (Cassirer, 1944, S. 1)

Im Zuge eines umfangreichen Referats unter Auswertung unterschiedlicher Konzepte von Wahrnehmung, wie unter vielen anderen auch jener von Helmholtz, Hering oder auch Humes, bringt Cassirer zwei Schlüsselbegriffe ins Spiel, die er sowohl für die Wahrnehmungspsychologie als auch für das Denken als wesentliche Tendenzen ausmacht:

„...one meets again and again with two fundamental concepts that are familiar to us from another trend of thought: the concept of °invariance° and °transformation°. Both Helmholtz and Hering had emphasized that the objective stimuli are not imply °copied° in perception, but °transformed° in an certain direction...“ (Cassirer, 1944, S. 11)

Cassirer erwähnt, dass Hering diesbezüglich dem Gedächtnis (memory) die tragende Rolle zuschrieb, während Helmholtz „a function of *judgment*.“ geltend machte.<sup>656</sup> Damit grenzt Cassirer seinen Ansatz auch von pur sensualistischen Konzepten ab, für die mit Referenz auf Hobbes gilt:

„According to the sensationistic theory, the function and cognitive significance of perception consists in its close adaption to the object, i.e., the bare stimuli. On the basis of this assumption, perception appears as immediate mechanical reproduction.“ (Cassirer, 1944, S. 12)

Cassirer stellt auch fest: „Modern psychology rested on the °constancy-hypothesis°, i.e., the hypothesis of an immediate correspondence between °stimulus° and °sensation°.“ (Cassirer, 1944, S. 12)

Dagegen forciert Cassirer einen Ansatz, der mit dem in der hiesigen Arbeit wiederholt angesprochenen Aspekt der Entkopplung als kompatibel erscheint:

„The essential conclusion hence to be drawn is that perception in general is not confined to the mere *hic et nunc*. Perception expands the particular datum; it is integrated into a total experience; and it is only in virtue of this integration that perception can exercise its proper function an objective factor in knowledge.“ (Cassirer, 1944, S. 13)

Anknüpfend an Überlegungen von Helmholtz über Farbkonstanz schlägt Cassirer via Gestaltpsychologie eine Brücke zur Geometrie und hebt dabei den Aspekt von Invarianten heraus:

„Helmholtz thought that according to the kind and intensity the actual conditions of illumination or of what we believe these conditions to be, we apply different standards to our sensations of light and correspondingly change our judgements about external objects. What is the nature of such a standard? If I am not mistaken it rests on the very same factor which is most explicit and striking in the formation of geometrical concepts. The perceptual image as well involves that reference to certain possible groups of transformation. It changes when we refer it to a different group and determine the °invariants° of perception accordingly. In addition to Hering’s shadow-experiment ... ,we may mention all those facts that are by Gestalt-Psychology described in terms of the category of °figure and ground°.“ (Cassirer, 1944, S. 16)

Cassirer gibt aber mit Hinsicht auf erkenntnistheoretische Konsequenzen auch zu bedenken:

„All perception is confined to the °more or less°,....Only approximative, not absolute determinations are attainable in perception. This characteristic is also exhibited by perceptual *constancy*. Its realization is never ideally complete, but always remains between within certain limits.“ (Cassirer, 1944, S. 16)

---

<sup>656</sup> vgl. Unbewusste Schlüsse

Diese Charakterisierung weckt nicht nur Assoziationen zu Helmholtz' Wahrnehmung als Hypothesenprüfung, sondern, auf Poincaré und Geometrie bezogen, auch zur Unterscheidung zwischen den Objekten der Wahrnehmung und den idealen Objekten der Geometrie.

Cassirer spricht diese Relation von Wahrnehmung und Mathematik/Geometrie auch explizit an:

„The mathematical concept opposes to this lack of precision the postulate of exactness and accurate determination; it develops methods by which this postulate may be satisfied. On the other hand, the mathematical concepts are only the full actualisation of an achievement that, in rudimentary form, appears also in perception. Perception too involves a certain invariance and depends upon it for its inner constitution.“ (Cassirer, 1944, S. 17) <sup>657</sup>

Bezüglich des auch mit Hinweis auf Helmholtz dargestellten Versuchs, Mathematik und Psychologie auf Gemeinsamkeiten hin zu untersuchenden bzw. zusammenzuführen, stellt Cassirer fest:

„The direct road which he (Ö> Helmholtz) attempted to travel cannot lead to the goal, for there cannot possibly obtain an immediate correspondence between psychological and mathematical °facts°. But we might approach our goal in an indirect way with the help of a mediating principle of a higher order. Instead of following in the footsteps of geometrical empiricism, such as to search for the °facts which lie at the basis of geometry°, we may raise the question whether there are any concepts and principles that are, although in different ways and different degrees of distinctness necessary conditions for both the constitution of the perceptual world and the construction of the universe geometrical thought. It seems to me that the concept of group and the concept of invariance are such principles.“ (Cassirer, 1944, S. 19)

Gerade weil die unter dem Begriff Ockhams razor bekannte Mahnung zur Vorsicht beim Einführen von Prinzipien eine kritische Hürde darstellt, wird es für die im Zuge dieser Arbeit verfolgte Absicht, Poincarés Fundamente von Geometrie mit evolutionären Aspekten in Verbindung zu bringen, als opportune Referenz angesehen, wenn Cassirer ein „mediating principle of a higher order“ ins Spiel bringt. Die von ihm angeführten Beispiele „concept of group and the concept of invariance“ kommen also sehr gelegen, um die hier verfolgten Überlegungen zu motivieren (und hoffentlich auch sachlich zu unterstützen), dass Prozesse visueller Verarbeitung, neuronaler Bindung, Gestalt bildender Schemata usw. mit den von Cassirer forcierten Prinzipien kompatibel sind und auch zur sachgerechten Interpretation beitragen.

Ein weiterer Satz Cassirers scheint dies zu festigen:

„The truth is that the search for constancy, the tendency toward certain invariants, constitutes a characteristic feature and immanent function of perception. This is as much a condition of perception of objective existence as it is a condition of objective knowledge.“ (Cassirer. 1944, S. 21)

So affirmativ dieses Statement wirkt und gerne auch so geltend gemacht wird, so sehr muss der Ausdruck „objektiv“ mit Vorsicht betrachtet werden. Wenn man versucht, evolutionäre Grundlagen von Wahrnehmung und Denken geltend zu machen, dann spielt es nämlich eine erhebliche Rolle, von welchem Verständnis von Anpassung usw. man ausgeht. Gemäß dem hier verfolgten konstruktivistischen Rahmen unter Einbeziehung autopoietischer Konzepte werden die Invarianten der Wahrnehmung usw. nämlich zu subjektiven Konstrukten. Im Gegenzug wird der Weg zu objektivem Erkennen zu einem erkenntnistheoretischen Problem, das, wenn überhaupt, nicht auf direktem Weg so gelöst werden kann, dass es die von Cassirer

---

<sup>657</sup> Cfl. Boutroux' Positionierung gegen determinierende Kraft der Mathematik

genannten immanenten Tendenzen der Wahrnehmung und des Denkens als direkte Grundlagen von Objektivität in Ansatz bringt. Um Missverständnisse zu vermeiden wird hier ausdrücklich betont, dass diese Position Cassirer hier nicht zugeschrieben werden soll. Daher wird ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht, dass es im Zitat heißt „is a **condition of objective knowledge**“.<sup>658</sup>

Cassirer grenzt sich mit Rückbeziehung auf Kant von der Tragfähigkeit eines Abbild Konzeptes der Wahrnehmung auch dadurch ab, dass er Regeln eine essentielle Funktion zuweist.

„It is not possible to realize the thought of a perceptual *object* ....in perceptual consciousness by a mere image; it cannot be represented except by a *rule*.....Our foregoing reflections on the concept of *group* permit us to define more precisely what is involved in , and meant by, that °rule° which renders both geometrical and perceptual concepts universal. The rule may, in simple and exact terms, be defined as the *group of transformations* with regard to which the variation of the particular image is considered.“ (Cassirer, 1944, S. 22)

Auch typische Konstellationen spielen für unser Perzept eine essentielle Rolle, wie Cassirer mit Bezugnahme auf James betont:

„Reference to *typical* configurations proves to be one of the essential conditions of the process of the spatial objectification. As William James puts it in his felicitous manner: °In our dealing with objects, we always do pick out one of the visual images they yield, to constitute the real form or size.°“ (Cassirer, 1944, S. 28.)

Dieser Aspekt hat zwei unmittelbare Anknüpfungspunkte in der vorliegenden Arbeit. Einerseits die Brücke von James über Boutroux zu Poincaré (vgl. Trochu) und andererseits zu den mit Hoffman als Komponenten visueller Intelligenz ins Spiel gebrachten „regulären Ansichten“.

Diese Überlegungen Cassirers werden als kompatibel und affirmativ bezüglich der hier immer wieder ins Spiel gebrachten Verarbeitungsregeln und Schemata visueller Verarbeitung angesehen. Das Betonen der Regeln erscheint auch als kompatibel mit den hier propagierten Überlegungen, das wahrnehmbare Objekt als Konstrukt zu etablieren, das (weitgehend) gemäß Verarbeitungsregeln und (schematisierenden) Präferenzen des visuokognitiven Systems konstruiert wird. Das führt zu einem erkenntnistheoretischen Ansatz, der weniger das wahrnehmbare Objekt als vielmehr die Verarbeitungsregeln in den Fokus rückt. Plakativ formuliert: **Weg vom Objekt- hin zu Verarbeitungsregeln.**

Bei einer Betonung der Verarbeitungsregeln ist allerdings eine mögliche Konsequenz zu bedenken, die in einem gewissen Widerspruch zur Ausrichtung dieser Arbeit stehen könnte. Eine Anbindung an die Gruppentheorie fördert, wie auch von Cassirer angesprochen wird, tendenziell einen mathematischen analytischen Umgang mit Geometrie, während hier vorwiegend den visuellen und projektiven Aspekten nachgegangen wird. In dem Maße, wie aber Poincaré selbst sowohl dem mathematisch analytischen Zugang zu Geometrie als auch den licht- und wahrnehmungsaffinen Aspekten projektiver Geometrie gerade bei der Analyse der Fundamente seine Aufmerksamkeit widmet, wird es als legitim angesehen speziell diesem letzteren Bereich zu folgen, und die bestehende Differenz nur zur Kenntnis zu nehmen, ohne sie logisch auflösen zu können.<sup>659</sup>

<sup>658</sup> Der Themenkomplex subjektiv/objektiv wird hier nicht weiter ausgebreitet. Es wird auf diesbezügliche Überlegungen in anderen Kapiteln verwiesen.

<sup>659</sup> Vielleicht kann man dieses nur zur Kenntnis nehmen, aber Bestehenlassen des Dilemmas auch damit rechtfertigen, dass Poincaré neben dem logisch analytischen Zugang in seiner Antwort an Russel auch dem psychologisch (intuitiven) Aspekt eine tragfähige Position attestiert. Ebenso bei seiner Charakterisierung unterschiedlicher Persönlichkeitsprofile von Wissenschaftlern. (cf. sein Verweis auf Riemann und Weierstraß)

Cassirer selbst schließt seine Betrachtungen mit einem konstruktivistisch anmutenden Fokus auf Konstanz-Phänomene und hält fest:

„Thus psychology, as compared to its early sensationalistic beginnings, has achieved a thorough-going reevaluation. Psychology dismisses the dogma of the strict one-to-one correspondence between physical stimuli and perceptions. It is, on the contrary, the °transformed° impression, i.e., the impression as modified with respect to the various phenomena of constancy, which is regarded as the °true° impression, since we can on these grounds construct knowledge of reality. This, it seems to me, is a momentous step; for in no other way could the traditional separation, and even opposition, between the °psychological° and the °epistemological° problem in the domain of perception be overcome. On this new basis psychology and epistemology may meet and cooperatively attack the numerous problems still to be solved.“ (Cassirer, 1944, S 36)

## 21.10 Milieu biologischer und evolutionärer Modelle

Um eine Überfrachtung im Hauptteil zu vermeiden und den Hintergrund der dortigen Überlegungen leichter überprüfbar zu machen, werden hier einige affirmative historische und jüngere Aussagen zum Themenkreis Selbstgestaltung kurz umrissen. Es geht darum, einem Anpassungsmodell, das von einer determinierenden Wirkung der externen Realität ausgeht, mit Hinweis auf Selbstorganisation, Autopoiesis usw. Konzepte entgegenzustellen, deren Basisannahmen nicht von **gestalteten**, sondern von **gestaltenden** Lebewesen, bzw. Systemen ausgehen. <sup>660</sup>

### 21.10.1 Symmetriebruch und Körperachsen begünstigen Evolution gesteuerter Bewegung

In dieser Arbeit wird der Motilität eine wesentliche Rolle zu Gunsten der Evolution kognitiver Potentiale zugeschrieben. Bei den evolutionären Grundlagen von Fortbewegung ist schon bei einfachsten Lebewesen der Themenkomplex Symmetriebruch und Ausbildung von Körperachsen zu beachten.

A la long betrachtet trägt dies auch zur Entwicklung eines Körperbaus von Wirbeltieren bei, der sich für gezielte Fortbewegung und auch für die Ausbildung paariger Augen als günstig erweist; also zwei Aspekte betrifft, die im Zuge dieser Arbeit eine erhebliche Rolle spielen.

Ausgehend von der Unterscheidung radiär symmetrischer Organismen (z.B. Hohltiere, Schwämme) <sup>661</sup> und dem komplexen Bauplan von Bilateria (Würmer, Wirbeltiere) zeigt ein Forschungsprojekt aus 2014 der Max Perutz Laboratories (Wien) elementare Prozesse der Induktion von Körperachsen am Beispiel eines Süßwasserpolypen auf.

„Dies könnte ein Startpunkt in der Evolution für die Links-Rechts-Achsenbildung in den bilateral symmetrischen Tieren gewesen sein. Wie sich daraus evolutionär der komplexe Bauplan der Bilateria entwickelt hat, eröffnet weitere spannende Forschungsfragen“, erklärt Holstein. Schon jetzt ist jedoch klar, dass die molekularen Kernprozesse in der Embryonalentwicklung zwischen den einfachen Nesseltieren und den Wirbeltieren einschließlich des Menschen sehr ähnlich sind.“ (Max Perutz Laboratories, 2014, o.S.)

<sup>660</sup> Cf. Uexküll. Cf. Bertalanffy: “Man is not a passive receiver of extern stimuli but creates his universe.“ Eine Reihe der in diesem Zusammenhang relevanten Konzepte wird mit Zitaten von Varela, Lyon, Bertalanffy usw. in anderen Kapiteln dieser Arbeit angesprochen. Ein gewisses Ausmaß an Redundanzen ist dabei leider schwer zu vermeiden.

<sup>661</sup> Z.B. Hohltiere, Schwämme, vgl. <https://de.wikipedia.org/wiki/Bilateria> 27.11.2016)



### 21.10.2 Begriffe Selbsterhaltung und Selbstgestaltung sind mehrdimensional und verbinden Biologie, System- und Erkenntnistheorie

Eine Reihe der vorangegangenen Überlegungen ist am Modell autopoietischer Systeme orientiert bzw. basiert darauf. Im Konzept von Maturana und Varela spielen Fragen der Selbstorganisation und Selbsterhaltung eine fundamentale Rolle, wie Pamela Lyon mit dem von ihr vertretenen „biogenic approach“ markant zur Geltung bringt (vgl. Lyon, 2005, S. 22).

Geht man der Tradition des Begriffs Selbsterhaltung nach, dann trifft man schon zu Beginn des 19. Jahrhunderts und teilweise noch davor auf einen Gebrauch dieses Ausdrucks oder überschneidender Synonyme, welche sich auf Konzepte beziehen, die biologische Fragen unter Einbeziehung erkenntnistheoretischer Aspekte zur Interpretation von Lebewesen als weitgehend autonom organisierte Systeme richten. Dabei treten auch Modelle ins Licht, die dem Konzept der Autopoiesis nach Maturana und Varela sehr nahe stehen und teilweise auch mit sehr ähnlichen Begriffen (tw. Neologismen) versuchen, das Spezifische ihres Ansatzes zu verankern. Eine markante Rolle nehmen dabei Wilhelm Roux und sein von ihm in Varianten propagierter Begriff der Autoergasie ein.

### 21.10.3 Wilhelm Roux: Autoergasie

Toepfer (2011) legt in seiner „Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe“ eine von der Antike ausgehende Begriffs- und Bedeutungsgeschichte dar. Im hiesigen Zusammenhang liegt es nahe, folgenden Hinweis als Ausgangspunkt zur Betrachtung des Begriffes **Selbstgestaltung** zu wählen:

„Eine Eingrenzung der Bedeutung auf den organischen Bereich erfolgt danach: K.W.G. Kastner spricht 1821 allgemein von dem „Unterschiede zwischen organischer Bildung (Selbstgestaltung) und anorganischer Gestaltung oder Verkörperung“, und er bestimmt knapp: „Organisation d.i. Selbstgestaltung lebender Wesen.“ (Toepfer, 2011, S. 273)

„Zusammengefasst werden die verschiedenen Aspekte der Selbstbeziehung eines Organismus von Roux als *Autoergie*, d.h. „Selbsttätigkeit der Lebewesen“: „diejenige Tätigkeit des ganzen Lebewesens oder seiner lebensfähigen Teile, welche in den betreffenden Gebilden >determiniert< ist (.....), deren die Art [...] oder Qualität des Geschehens >bestimmende< Faktoren also in diesen Gebilden selber gelegen sind.“ Daneben verwendet Roux für diese „Selbsttätigkeit“ seit 1907 auch den Ausdruck **Autoergasie** ...“ (Toepfer, 2011, S. 275)

Wilhelm Roux befasst sich nach Toepfer auch mit der Selbstdifferenzierung von Systemen:

„Roux erläutert, die „Selbstdifferenzierung eines Systems von Theilen“ bedeute, „dass entweder die Veränderung in ihrer Totalität, oder doch die spezifische Natur der vor sich gehenden Veränderung vorwiegend durch die Energien des Systems selber bestimmt wird.“ (Toepfer, 2011, S. 274)

### 21.10.4 Roux, Lamarck: Theileauslese & funktionelle Anpassung

Mit dieser Einlassung zu einer Grundsatzfrage ist nicht nur eine systemtheoretische Integration verbunden, sondern mit Bertalanffys Hinweis auf Roux' „competition of its elements“ innerhalb einer Ganzheit wird auch noch ein Prinzip mit starker evolutionärer Dynamik im Milieu des Organismus zur Geltung gebracht: die von Roux propagierte **funktionelle Anpassung**, die offenbar schon auf Lamarck zurückgeht.

Benjamin Bühler zitiert zunächst Roux und erläutert dann:

„Die Variationen der gleichartigen lebensfähigen Theile des Organismus führen zu einer Theileauslese, bei welcher unter Selbstelemination oder unter Kampf der Theile die nicht oder wenig dauerfähigen Theile entfernt und die dauerfähigsten Theile gezüchtet werden. Dadurch wird die Dauerfähigkeit

(sogenannte Zweckmäßigkeit) des Individuums im Allgemeinen erhöht.<sup>662</sup> Roux erweitert die Darwinische Selektionstheorie nicht nur, er ergänzt sie darüber hinaus um die neolamarckistische These der funktionellen Anpassung...Eines der wichtigsten zusätzlichen Prinzipien sei die Wirkung des Gebrauchs und Nichtgebrauchs von Organen, das heißt die funktionelle Anpassung.“ (Bühler, 2004, S. 54 f.)

Dieses Prinzip der funktionellen Anpassung wird hier auch deshalb so hervorgehoben, weil es einerseits eine sehr dynamische Komponente der Selbstorganisation autopoietischer Systeme bildet und daher ein grundsätzliches Thema der hier aktuellen Betrachtungen evolutionärer Konzepte ist. Andererseits bestärkt dieses Modell auch die andernorts dargestellte Annahme der Möglichkeit, dass transmembrane Proteine im Milieu des Energiehaushaltes zu Sensoren umfunktioniert werden und so zu Schlüsselkomponenten einer sinnlich erfahrbaren Außenwelt bzw. zur Konstruktion einer Umwelt werden. Ebenso wird hier unterstellt, dass diese interne Konkurrenz und „Theileauslese“ der Komponenten eines (biologischen) Systems auch Strukturen des Gehirns betrifft. Das wird auch als ein Faktor der Ausbildung spezialisierter Bahnen visueller Verarbeitung mit der Konsequenz dislozierter Teilsysteme für diverse geometrische Potentiale angesehen.<sup>662</sup>

### 21.11 Bertalanffys Paradoxon: Every whole is based upon the competition of its elements

In diesem Zusammentreffen der Betrachtung von Lebewesen als autonome Einheiten bei gleichzeitiger Definition ihrer Selbständigkeit über die teilweise konkurrierende Interaktion ihrer Teile sieht Bertalanffy mit ausdrücklicher Bezugnahme auf Roux ein prinzipielles Problem, das er aus systemtheoretischer Sicht folgend beschreibt und löst:

„Another point of philosophical interest should be mentioned. If we are speaking of „systems,“ we mean “wholes” or “unities”. Then it seems paradoxical that, with respect to a whole, the concept of competition between its parts is introduced. In fact however, these apparently contradictory statements both belong to the essentials of systems. Every whole is based upon the competition of its elements, and presupposes the “struggle between parts” (Roux).“ (Bertalanffy, 1968, S. 66)

#### 21.11.1 Üexkülls Umweltlehre aus Perspektive von Bertalanffys Relativity of Categories

Bertalanffys Text schlägt kurz nach der oben zitierten Passage mit Berufung auf das Umwelt - Konzept von Jakob Uexküll in diese Richtung eine weit reichende Brücke, welche zu Fragen der Realitätsbezogenheit der Sinneserfahrung autopoietischer Systeme führt und die in Grundzügen mit dem Modell der strukturellen Kopplung von Maturana und Varela kompatibel zu sein scheint.

<sup>662</sup> Cf. Vor diesem Hintergrund wird die Dissipation der dorsalen Wo- und der ventralen Was- Bahn als Spezialisierung interpretiert, bei der unter Bedingung von Competition häufig genutzte neuronale Verbindungen zu einer Art sich selbst beständigender Prädisposition werden. Synaptisches Lernen einerseits und Konkurrenz der Teile andererseits erscheinen auch als kompatibel mit Poincarés Hinweis auf die „Erziehung der Sinne“ und Buehlers Bildung der räumlich visuellen Kompetenz. Buether (2010) weist darauf hin, wie manche prädisponierten kognitiven Potentiale der visuellen Wahrnehmung nur in einer frühen offenen Phase jugendlicher Entwicklung durch entsprechend aktive Nutzung in einem förderlichen Milieu ausgebildet werden oder andernfalls eher verkümmern. Buether schildert tragische Beispiele von Blindgeborenen, die erst viel später das optische Sehvermögen erlangten, aber mit der Verarbeitung dieser neuen visuellen Eindrücke nicht mehr zurechtkamen. (Cf. Buether, 2010, S. 186 und auch andere Passagen)

In einem Kapitel über „The Relativity of Categories“ geht Bertalanffy auf die Problematik relativistischer Ansätze von Kategorien der Erfahrung und des Erkennens ein und bringt dabei in direkter Form Uexküll und mit dem Stichwort „conventional“ vielleicht indirekt anklingend auch Poincaré ins Spiel:

„Relativism has often been formulated to express the purely conventional and utilitarian character of knowledge, and with the with (Ö>??) the emotional background of its ultimate futility. We can, however, easily see that such consequence is not implied. A suitable starting point for such discussion are views on human expressed by von Uexküll in connection with his *Umweltlehre* ...According to him, the world of human experience and knowledge is one of the innumerable ambients of the organisms...Even the world of physics, from the electrons an atoms up to galaxies is a merely human product, dependent upon the psychophysical organization of the human species.“ (Bertalanffy, 1968, S. 239) <sup>663</sup>

Bertalanffy plädiert anschließend für die Möglichkeit eines Zugangs zur externen Realität durch Interpretation externer Stimuli, ohne diese Stimuli als umfassend adäquate Träger von Information zu etablieren, sondern sie eher als Signale bzw. Indikatoren zur Bildung von Hypothesen in Ansatz zu bringen:

„It is not required that the categories of experience fully correspond to the real universe, and even less that they represent it completely. It suffices-and that is Uexküll's thesis-that a rather small selection of stimuli is used as guiding signals. As for the connections of these stimuli, i.e., the categories of experience, they need not mirror the nexus of real events but must, with a certain tolerance allowed, he (Ö> be?) isomorphic to it. For the biological! reasons mentioned above, experience cannot he completely "wrong" and arbitrary; but, on the other hand, it is sufficient that a certain degree of isomorphism exists between the experienced world and the "real" world, so that the experience can guide the organism in such way as to preserve its existence.“ (Bertalanffy, 1968, S. 241) <sup>664</sup>

So sehr Bertalanffy Uexkülls Umweltmodell für seine Betrachtungen heranzieht, geht er doch auch in gewissem Ausmaß auf kritische Distanz dazu, weil er es bezüglich der wissenschaftlichen Erkenntnispotentiale offenbar als zu sehr auf artspezifische Sinneswahrnehmung und die damit einhergehende psychophysische Konstitution beschränkt einschätzt.

“Coming now to the world of science, 'Uexküll's conception of the physical universe as but one of the innumerable biological ambients, is incorrect or at least incomplete.“ (Bertalanffy, 1968, S. 242)

Ohne die Details weiter zur referieren scheint ein Unterschied in den Positionen von Uexküll und Bertalanffy darin zu liegen, dass bei eher vergleichbarer Basis eines sich aus dem mit der psychophysischen Konstitution des erkennenden Subjekts ergebenden Umweltkonzepts bei Uexküll die Komponente eines subjektiven bzw. artspezifischen Konstruktivismus eine dominantere Rolle einnimmt. Bei Bertalanffy besteht offenbar eine stärkere Tendenz, den kognitiven Potentialen ein weiter reichendes Ausdehnen (Überschreiten?) über die auf die sinnliche Wahrnehmung bezogene subjektive Perspektive hinaus einzuräumen. Dies mündet in einer stärkeren Verankerung der Möglichkeit und des Anspruchs zur Objektivierung der Erkenntnis, deren methodisches Konzept die Hypothese bildet und als deren naturwissenschaftliche Vorgangsweisen das Experiment und die Beobachtung dienen. Gerade diesbezüglich sieht Bertalanffy in den vielfältigen technischen Möglichkeiten zur Erweiterung

<sup>663</sup> Cf. Licht als Konstrukt

<sup>664</sup> Cf. Entkoppelung, cf. Bedeutungszuweisung an externe Stimuli, cf. Webers „signs“ bzw. „meaning for the ongoing existence“

der unmittelbaren sinnlichen Wahrnehmung ein fundamentales Potential zum Gewinnen einer relativ objektiven Perspektive und Erkenntnis bezüglich der externen Realität.

21.11.2 Bertalanffys Perspektivität des Erkenntnisvermögens als asymptotische Annäherung via „ex omnibus partibus relucet totum“ (Cusanus) mit Poincaré kompatibel

Allerdings geht Bertalanffy dabei nicht von nicht von einem vollständigen Erfassen aus, sondern von einem Konzept **asymptotischer Annäherung**.<sup>665</sup>

“If, in the sense just indicated, the system of physics in its ideal state, which can be approached only asymptotically, is absolute, we must, however, not forget another and in some way antithetical aspect. What traits of reality we grasp in our theoretical system is arbitrary in the epistemological sense, and determined by biological, cultural and probably linguistic factors.” (Bertalanffy, 1968, S. 245)

In diesem Zusammenhang betont Bertalanffy die Perspektivität des Erkenntnisvermögens, die schon auf Ebene der biologisch kognitiven Disposition anzutreffen ist und auch mit der uns eigenen sprachlichen Struktur mit ihrer Tendenz zu gegensätzlicher Begriffsbildung verbunden sei. Die mögliche Relevanz dieser Problematik wird dabei explizit auch auf die Physik ausgedehnt:

“There is, perhaps, a deep-lying reason why our mental representation of the universe always mirrors only certain aspects or perspectives of reality. Our thinking, at least in occidental but possibly in any human language, is essentially in terms of opposites...But it appears that also the constructs of physics are such opposites, and that for this very reason prove inadequate in view of reality, certain relations of which are expressed in the formulas of theoretical physics...All our knowledge, even if de-anthropomorphized, only mirrors certain aspects of reality...” (Bertalanffy, 1968, S. 247 f.)

Auch wenn Bertalanffy nicht einem reinen Konventionalismus das Wort redet, scheint doch der Relativismus bzw. die Perspektivität in seinem Ansatz eine mögliche Affinität zu Poincaré anzudeuten. Letztlich zieht Bertalanffy sogar ein Resümee, das in der grundsätzlich humanistischen Konzeption von Erkenntnis unter Einbeziehung der biologischen Dispositionen des kognitiven Systems mit dem erkenntnistheoretischen Ansatz von Poincaré sogar eine sehr hohe Kompatibilität aufzuweisen scheint. Dafür spricht auch die an anderer Stelle zitierte Einschätzung Poincarés durch Katherine Brading.<sup>666</sup>

Bertalanffy bringt es so zum Ausdruck:

“Thus, the categories of our experience and thinking appear to be determined by biological as well as cultural factors. Secondly, this human bondage is stripped by a process of progressive deanthropomorphization of our world picture. Thirdly, even though de-anthropomorphized, knowledge only mirrors certain aspects or facets of reality. However, fourthly, *ex omnibus partibus relucet totum*, again to use Cusa's expression: Each such aspect has, though only relative, truth. This, it seems, indicates the limitation as well as the dignity of human knowledge.” (Bertalanffy, 1968, S. 248)

Der sich mit dem letzten Zitat anbietende und durchaus reizvolle Zugang, Cusanus' Konzept der *docta ignorantia* mit der erkenntnistheoretischen Haltung von Poincaré und seinem „*cachera eternellement*“ in Beziehung zu bringen, wird nicht weiter verfolgt.

Der hier als bedeutsam verfolgte Aspekt des Innen-Außen Problems und einer längeren Tradition damit verbundener autopoietischer Modelle der Biologie mit genereller Relevanz für

<sup>665</sup> Nähe zu hypothetischem Realismus?

<sup>666</sup> „More specially, he (( $\bar{O}$ ) Pcé)) is concerned repeatedly with that which is knowable by us-with the particular faculties we have qua human beings.” (Brading, 2010, S. 4 )

die Erkenntnistheorie ist mit den genannten Beispielen wohl auch als eine Facette dessen zu interpretieren, was mit Empirisierung des Transzendentalen oder Naturalisierung der Erkenntnis bezeichnet wird.<sup>667</sup>

## 21.12 Prigogines Unterscheidung von konservativen und dissipativen Systemen

Dieser Abschnitt soll auf Ebene der Systemtheorie durch das Konzept dissipativer Strukturen die prinzipielle Möglichkeit aufzeigen, dass dynamische Systeme ohne organisierenden Einfluss von außen, also aus Eigenem, einen höheren Grad des Zusammenwirkens entwickeln können. Dies soll als Indiz bzw. Modell dafür dienen, dass in Verbindung mit Enzephalisation der Wahrnehmung autopoietische kognitive Potentiale mit großem Freiheitsgrad entstehen können, die nicht durch einen von der externen Realität ausgehenden Anpassungs-Determinismus gestaltet und daraus ableitbar a priori limitiert sind.

Toepfer verweist weiterführend auf die Entwicklung komplexerer Modelle, in denen auf Grund der Wechselwirkungen mehrfach durchlaufene rekursive Prozesse und die Unvorhersagbarkeit der Systemdynamik eine wesentliche Rolle spielen und kommt, Ilya Prigogine folgend, zur Unterscheidung von **konservativen** und **dissipativen Systemen**.

„Ilya Prigogine... (1917-2003)...war ein russisch-belgischer Physikochemiker, Philosoph und Nobelpreisträger. Seine Arbeiten über Dissipative Strukturen, Selbstorganisation und Irreversibilität haben einen nachhaltigen Einfluss ausgeübt...Prigogines Theorie der dissipativen Strukturen wurde hauptsächlich in Theorien der Selbstorganisation, der Systemtheorie, der Synergetik und in kybernetischen Arbeiten rezipiert. Fritjof Capra etwa widmet in seinem Buch Lebensnetz ein ganzes Kapitel Prigogine und sieht ihn gemeinsam mit Humberto Maturana und Gregory Bateson als Wegbereiter einer neuen Konzeption des Lebens und lebendiger Vorgänge.“<sup>668</sup>

Dilip Kondepudi et al. belegen einen erheblichen Einfluss Poincarés auf Prigogine:

“Poincare’s classification of dynamical systems as integrable and nonintegrable systems was an important ingredient of Prigogine’s thinking... Poincare proved that in nonintegrable systems, it is not possible to construct a canonical or unitary transformation that generates new invariants of motion by acting on the corresponding unperturbed invariants. Prigogine saw a connection between this result and irreversibility. In addition, in “chaotic systems,” which show that dynamics is not a science that gives us the ability to predict the future behaviour indefinitely,...” (Kondepudi et al., 2017, S. >3)

Toepfer erläutert den Unterschied, der auch für die hier verfolgte Einschätzung von Organismen als autonome, aber nicht autarke Systeme relevant ist:

„Während konservative Strukturen sich ohne Zufuhr von Energie von außen in einem veränderungsfreien Zustand des Gleichgewichts halten..., bedürfen dissipative Strukturen zu ihrer Aufrechterhaltung der Zufuhr von Energie. Diese Zufuhr ermöglicht eine Ferne des Systems von seinem thermodynamischen Gleichgewichtszustand...“ (Toepfer, 2011, S. 283)

Jetschke führt dazu folgende Definition ein:

„*Organisation* nennen wir das funktionale Zusammenspiel der Elemente zu einer das gesamte System betreffenden Wirkung. Dies wird in der Regel von außen gesteuert. Bei der Ausbildung dissipativer Strukturen differenziert sich aber ein System, ohne daß dies von außen aufgeprägt wird. Wir sprechen dann von *Selbstorganisation* (oder spontaner Strukturbildung) und meinen damit die spontane, d.h.

<sup>667</sup> Cf. DFG- Netzwerk, 2014, (<http://empirisierung-des-transzendentalen.de/forschungsprogramm.html>) . Cf. Janich, 2000, S. 60f.

<sup>668</sup> Cf. [https://de.wikipedia.org/wiki/Ilya\\_Prigogine](https://de.wikipedia.org/wiki/Ilya_Prigogine) (7.1.2018)

ohne direkten äußeren Einfluss erfolgende Ausbildung eines höheren Grades des Zusammenwirkens der Elemente eines Systems, was zu einem höheren Grad an Ganzheit führt.“ (Jetschke, 1989, S. 15)

Strunk (2004) knüpft den weiterführenden Gedanken an nichtlineare dynamische Systeme und spannt den Bogen bis in die Nähe von autonomen kognitiven Potentialen:

„Nichtlineare dynamische Systeme, wie sie z.B. von Prigogine als dissipative Systeme beschrieben werden, sind jedoch in der Lage komplexe raumzeitliche Strukturen zu generieren, ohne dass ihnen diese, wie den Automatenfiguren des 16. Jahrhunderts zunächst hätten einprogrammiert werden müssen. Nichtlineare dynamische Systeme fernab von thermodynamischen Gleichgewicht bilden selbstorganisiert neue und höhere Ordnungsstrukturen aus. Die dabei auftretenden Prozesse sind in weiten Bereichen nicht reversibel und lassen einen gerichteten Zeitpfeil erkennen.

Obwohl in nichtlinearen dynamischen Systemen stabile Verhaltensmuster ausgebildet werden, die an Grundmechanismen eines Regelkreises erinnern sind diese Verhaltensmuster nicht immer so trivial wie die Homöostase eines Regelkreises. Irreversibles und damit historisch gewachsenes Verhalten kann in nichtlinearen dynamischen Systemen für zwei verschiedene Rahmenbedingungen beobachtet werden. Zum einen ist hier die Bifurkation zu nennen, zum anderen die deterministisch chaotische Prozessdynamik. In beiden Systemzuständen wird das System hochgradig empfindlich für kleinste Fluktuationen und Verstörungen durch die Umwelt. Diese Verstörungen können, so mikroskopisch sie auch sein mögen, das Systemverhalten nachhaltig und irreversibel beeinflussen. Wäre ein System frei von mikroskopischen Einflussnahmen aus der Umwelt, würde es sich vollständig determiniert und reversibel verhalten. Allerdings ist es praktisch unmöglich ein System frei von Einflüssen zu halten, die *beliebig* klein sein können.“ (Strunk, 2004, S. 169 f.)

Auch Paslack führt über „Moderne Konzepte der Selbstorganisation“ in diesem Sinn aus:

„Entscheidend für die Entstehung der modernen Selbstorganisationsforschung war, wie gesagt, die Erkenntnis, daß Strukturbildung als Entstehung von Ordnung nur weit weg vom thermodynamischen Gleichgewicht möglich ist. Dies verlangt die Offenheit der Systeme für Materie- und Energiefluß. Wird ein gleichgewichtiges System instabil, so geht es im allgemeinen von einem Ordnungszustand in eine anderen über. Instabilitäten bilden demnach den Ursprung der Systementwicklung.“ (Paslack, 1991, S. 7)

Diese Aussage über die notwendigen Offenheit für Materie- und Energiefluss führt im hiesigen Kontext zurück auf die schon oben mit Pamela Lyon angesprochene Bedeutung der Energiezufuhr und des Nutzens kognitiver Systeme zur Aufrechterhaltung der Homöostase<sup>669</sup> sowie die daran weiterführend geknüpften Überlegungen der Innen-Außen Problematik.<sup>670</sup>

Die in den angeführten Zitaten von Strunk ins Treffen geführten Hinweise auf die Bedeutung mikroskopisch kleinster Faktoren/Einflüsse auf die Dynamik der Systemveränderung und die daraus resultierenden Probleme der Vorhersehbarkeit seines Verhaltens erinnern an folgende Passage Poincarés: „Eine sehr kleine Ursache, die für uns unbemerkt bleibt, bewirkt einen beachtlichen Effekt...“ (Poincaré, 1914, S. 56 f.)<sup>671</sup>

21.13 „Für Eigen ist Lebensentstehung identisch mit der Entstehung biologischer Information innerhalb eines selbstinduktiven Biosynthesesyklus.“<sup>672</sup>

Auch wenn die zu diesen Fragen gehörenden Prozesse bzw. Modelle de facto offenbar eng und möglicherweise untrennbar miteinander verbunden sind, so geht es im Zuge der in dieser Arbeit

<sup>669</sup> „All biological processes that contribute to an organism’s survival—and cognition is clearly such a process—contribute to homeostatic regulation.“ (Lyon, 2005, S. 17)

<sup>670</sup> Cf. Heidelberger: Innen-Außen Problem bei Johannes Müller

<sup>671</sup> Cf. Kontingenz lt. Def. Heidelberger

<sup>672</sup> (Paslack, 1991, S. 115) vgl. Expo VI ...Stw.docx)

anstehenden Problematik keinesfalls um den Aspekt der Entstehung von Leben. Dagegen ist es im Zuge der Recherche nach den Fundamenten bzw. der Genese von (visueller) Wahrnehmung und der neuronalen Korrelate von kognitiven Potentialen sehr wohl von Interesse, elementare Konstellationen für die mögliche Entstehung von Information ausfindig zu machen.

Daher werden die oben genannten gekoppelten Komponenten hier methodisch getrennt und nur unter dem Aspekt der Information verfolgt.

Im Kontext der hier verfolgten autopoietischen Modelle und der Selbstorganisation im Rahmen dissipativer Systeme bietet das Modell selbstreproduktiver Hyperzyklen von Manfred Eigen dafür einen Ansatzpunkt, dessen Wurzeln nach Eigen schon in die präbiotische, chemische Phase zurück reichen.

Ohne das sehr komplexe Modell Eigens zu referieren, werden hier nur Teile einer Passage aus einer Replik von Paslack übernommen, die im Sinn der hier verfolgten Frage nach einem tragfähigen Milieu für Information als mögliche Basis angesehen wird, ohne dass dieses Modell weiter hinterfragt werden kann oder soll.

„...führt Eigen die Unterscheidung zwischen drei Evolutionsphasen ein: (I) einer präbiotischen, rein >>chemischen<< Phase, in der sich >>alle wichtigen Bestandteile biologischer Makromoleküle<<, z.B. Nukleotide und Aminosäuren, >> bilden und zu potentiellen >Informationsträgern< polymerisieren konnten<<; (II) einer Phase des Übergangs vom >>Unbelebten<< zum Belebten sowie (III) jener phylogenetischen Phase, in der die Entwicklung der Arten stattfindet...Eigen interessiert sich nun vor allem um die bislang vernachlässigte zweite Phase, die durch die Selbstorganisation der Materie zu replikationsfähigen >>Individuen<< gekennzeichnet ist... Es ist diese Phase, in der es zur Ausbildung kreisförmig geschlossener, selbstreproduktiver >>Hyperzyklen<< kommt, deren Wachstum autokatalytisch geregelt ist und die in hohem Maße zur Korrektur von Replikationsfehlern und damit zur Erhaltung und Weitergabe komplexer Information befähigt sind.“ (Paslack, 1991, S 114)

„ Der Prozess der Lebensentstehung setzt ein unter den biologisch unspezifischen Randbedingungen der chemischen Evolution, während der die Makromoleküle noch keinerlei genetische Information verschlüsseln, und geht im Verlauf der Selbstorganisation autokatalytischer Hyperzyklen sukzessive über zur Ausbildung spezifischer biologischer Randbedingungen, in denen genetische Informationen codiert werden (Selbstinstruktivität).“ (Paslack, 1991, S 114 f.)

Aminosäuren auch Bausteine zur Verankerung umweltsensibler Information?

Beim Versuch die obigen Passagen bezüglich des dort etablierten Modells von Information, die ja explizit als genetische Information bezeichnet wird, in den hier verfolgten Kontext der Suche nach Gewinnung und Verankerung von umweltsensibler Information zu integrieren, entsteht die heikle Frage, ob selbstinstruktive genetische Information und Bedeutungszuweisung an externe Stimuli in Zusammenhang gebracht werden können.

Im Sinn der schon angesprochenen Überlegungen zur Schnittstelle Membran und der Zuweisung von Bedeutung halte ich, trotz erheblicher Gefahr des Irrtums, diesen Zusammenhang für möglich, gerade vor dem Hintergrund der hier als Perspektive gewählten autopoietischen Modelle.

Es geht hier aber nicht um die Darstellung der Evolution von Leben, sondern auf der Suche nach Basiskomponenten von Wahrnehmung um das Potential zur Gewinnung, Codierung und Weitergabe von Information mit dem Potential zur Integration systemrelevanter externer Faktoren.

Dabei muss angemerkt werden, dass der sehr vielschichtige Begriff „Information“ hier ohne Versuch einer spezifischen Definition lediglich als sehr vage Metapher verwendet wird, welche nur die Ausrichtung meiner folgenden Überlegungen auf die Genese sensibler Strukturen und den weit entfernt liegenden Horizont kognitiver Prozesse umschreiben soll.

Laut Paslack bringt Eigen schon in einer ersten chemisch- präbiotischen Phase an der Schwelle des Übergangs vom Unbelebten zum Belebten die Entstehung von potentiellen Informationsträgern ins Spiel.

In dieser präbiotischen Phase kann trotz einsetzender Prozesse von Selbstorganisation wohl noch nicht von einem operativ geschlossenen autopoietischen System im Sinne von Maturana und Varela gesprochen werden, das sich ja auf bereits als Lebewesen autonom gewordene Einheiten bezieht.

Wenn nun nach Eigen schon in der präbiotischen Phase (I), die von den chemisch physikalischen Bedingungen der als extern zu bezeichnenden Realität geprägt ist, eine Disposition für Information in Form von dafür notwendigen Strukturen aufgebaut wird, dann darf man wohl auf Basis des Modells von Eigen das Milieu dieses Überganges auch als frühe Schnittstelle für umweltspezifische Information in Ansatz bringen, die im Zuge der weiteren Phasen II und III ins autopoietische System integriert wird bzw. bleibt. Dabei wird nicht unterstellt, dass explizit „Informationen“ über die externe Realität importiert werden. Es wird nur angenommen, dass, so wie beim Stoffwechsel, die präbiotischen chemisch physikalischen Grundlagen der externen Realität auch für die Strukturen zur Codierung von Information gelten und so auch auf dieser Ebene eine fundamentale Disposition informationstragender Strukturen für eine gewisse Kompatibilität mit der externen Realität über die Prozesse von Selbstorganisation (von Materie) in die Evolution autonomer Lebewesen und deren Strukturiertheit eingeht. Ausgehend von Paslack/Eigen erscheint es als naheliegend, Aminosäuren als konkrete Brückenelemente einer Argumentation zu Gunsten einer derartigen strukturellen Verankerung geltend zu machen, weil diese organischen Verbindungen auch außerhalb von Lebewesen vorkommen, aber gerade bei der Entstehung von Leben und der Bildung informationstragender Strukturen eine bedeutsame Rolle spielen.

„Indem die verschiedenen Hyperzyklen als >>Quasispezies<< untereinander um die knappen Aminosäuren zur Produktion von Proteinen streiten, stimulieren sie wechselseitig ihre Evolution: >schwächere<< Hyperzyklen mutieren entweder vorteilhaft oder sie fallen auseinander und aus den freiwerdenden Bausteinen bilden sich Hyperzyklen mit neuen Eigenschaften.“ (Paslack, 1991, S. 115)

Aminosäuren sind auch wesentlich für die Bildung von Proteinen und so bietet sich auch die Assoziation zu jenen transmembranen Proteinen an, die im Zusammenhang mit der Schnittstelle Membran als Brücke zur Umwelt in Ansatz gebracht wurden. Hier ist zu betonen, dass damit nicht das Modell der operationalen Geschlossenheit autopoietische Systeme grundsätzlich konterkariert werden soll. Die systemspezifische Auswahl bzw. der entsprechende Umgang mit externen Stimuli und die Zuweisung von Bedeutung im Rahmen des Modells autopoietischer Systeme werden damit ja nicht eliminiert. Es werden nur mögliche strukturelle Grundlagen einer Kompatibilität mit der externen Realität angesprochen und das scheint mit dem schon zitierten Hinweis von Maturana und Varela in Einklang zu bringen sein, der da lautet: „...da sie (Ö) autopoietische Einheiten) molekulare Komponenten haben, müssen sie auch die gesamte physikalische Gesetzlichkeit erfüllen.“ (Maturana, Varela, 2010, S. 60)

Diese physikalischen und chemischen Gesetzlichkeiten sind auch dahingehend bedeutsam, dass die stark begrenzte Strahlungsverträglichkeit von Aminosäuren und Proteinen eine Rolle



als selektiver Faktor bei der Bestimmung des wahrnehmbaren Spektrums von „Licht“ spielt und Proteine insgesamt für die hier zur Debatte stehenden Aspekte eine zentrale Rolle einnehmen:

„Sie (Ö> Proteine) verleihen nicht nur Struktur, sondern tragen als „molekulare Maschinen“ wesentliche Funktionen, indem sie Zellbewegungen ermöglichen, Metabolite transportieren, Ionen pumpen, chemische Reaktionen katalysieren und Signalstoffe erkennen können.“

(<https://de.wikipedia.org/wiki/Protein> 3.11.2017)

21.14 Evolutionär frühe Tendenz zur Entkoppelung von externer Realität:  
Biologische Randbedingungen (in Form genetisch codierter biologischer Information) wichtiger als die physikalischen Milieubedingungen

Im von Paslack referierten Modell Eigens sind aber auch noch Aspekte zu finden, die über eine (rudimentär) verbleibende Kompatibilität mit der externen Realität hinausgehen und eine Brücke zu einer Art Gedächtnis in Aussicht stellen, die zu dem oben schon bei Einzellern als notwendig unterstellten Potential führt, wiederkehrende Ereignisse systemintern nachhaltig zu verankern.

„Im Zuge der Evolution- in der Phase der evolutionären Optimierung des Biosyntheszyklus- werden die biologischen Randbedingungen (in Form genetisch codierter biologischer Information) allerdings wichtiger als die physikalischen Milieubedingungen, indem die selbstinstruktiven biologischen Randbedingungen mit der durch sie gesteuerten Systemdynamik rückgekoppelt sind.“ (Paslack, 1991, S. 116)

Das vorhergehende Zitat ist hier gleich zweifach bedeutsam, weil es mit dem Komparativ „wichtiger“ durchaus eine rudimentäre Integration der physikalischen Milieubedingungen im genetischen Code als Möglichkeit in den Raum stellt oder zumindest nicht ausschließt. Zweitens wird aber die Rolle der „selbstinstruktiven biologischen Randbedingungen“ in den Fokus gerückt und dies passt nicht nur zum autopoietischen Ansatz von Maturana und Varela. Es fügt sich auch in ein Modell der Konstruktion einer Außenbeziehung, die vorrangig von einem „Selbstverständnis“ ausgeht.<sup>673</sup>

Im Sinn der vorangegangenen Überlegungen wird hier genetische Codierung mit dem oben postulierten Begriff „Gedächtnis“ so assoziiert, dass es bei genetischer Codierung (Information) auch um Verankerung und Weitergabe der erfolgreich überlebten Interaktion mit der externen Realität im Milieu des Energiehaushalts dissipativer Systeme geht.

Diese Interpretation geht von der mit Paslack/Eigen dargestellten Codierung der zur Systemerhaltung notwendigen genetischen Verankerung und replikationsfähigen Weitergabe systemrelevanter biologischer Information aus, unterstellt aber, dass im Sinn eines (gemäßigten) Konstruktivismus in diese Information in gewissem Ausmaß auch die Bedeutungszuweisung an regelmäßig koinzidente externe Stimuli integriert ist, die mit unterscheidbaren „Perturbationen“ des Systems eihergehen. Diese Interpretation von „Gedächtnis“ bezieht also eine **nachhaltige Verankerung der Selbstbewertung von Systemzuständen** mit ein und will auch spezifische Prozesse zur Wiederherstellung der Homöostase oder der Variation von Strukturen im Fall von nachhaltigen Modifikationen des Systems einbinden. Somit wird genetisch codierter Information auch im Rahmen eines autopoietischen Modells bei (weitgehender) Geschlossenheit selbstreferentieller Systeme auch eine gewisse (ausreichende/viable) Kompatibilität mit der externen Realität zugeschrieben. Dabei wird diese externe Realität aber gemäß der systemspezifischen

---

<sup>673</sup> Cf. Johannes Müller)

Strukturen und Präferenzen der Codierung zu einer perspektivistisch (vgl. Bertalanffy) modulierten „Umwelt“ (vgl. Uexküll) emuliert (vgl. Berthoz<sup>674</sup>).

Dieses „Gedächtnis“ für die systemrelevante Bedeutung wiederkehrender externer Stimuli im Sinn der Selbsterhaltung autopoietischer Systeme könnte so gesehen ein Faktor der im Zusammenhang mit der Schnittstelle Membran usw. angesprochenen Komponenten zur Entwicklung einfachster umweltsensibler Organellen bis hin zu einem visuellen System sein.

### 21.15 Konzepte von Selbstorganisation und operationaler Geschlossenheit lockern extern gesteuerten Anpassungsdruck

Auf das Innen-Außen Verhältnis wurde deshalb so stark aus Perspektive autopoietischer Systeme eingegangen, weil diese mit ihren Modellkomponenten wie Selbstorganisation und operationale Geschlossenheit jenem Anpassungsmodell, das einen kausal wirksamen und sich stark im System abbildenden Anpassungsdruck der externen Realität orientierten Konzept entspricht, am weitesten ausweicht, ohne notwendigerweise zu einem radikalen Konstruktivismus zu führen und/oder erkenntnistheoretisch in einen hermetischen Solipsismus zu münden.

Die mit Roux ins Spiel gebrachte funktionelle Anpassung ist vor diesem Hintergrund nicht als eng an die externe Realität gekoppelte Form von Anpassung zu betrachten, sondern bezieht sich auf systeminterne Konkurrenz von Teilen und ist so einem autopoietischen Konzept stärker verbunden, als einem externen Selektionsdruck.

Wenn man, wie oben dargestellt, autopoietischen Systemen ein Interaktionspotential mit der externen Realität zuschreibt, dann wird diese aber im Sinn systemspezifischer Perspektiven modelliert und das führt zu Modellen von Innen-Außen Relationen, für die **Jakob von Uexküll** den nachhaltig rezipierten und auf vielen Ebenen auch rezent virulenten Begriff „**Umwelt**“ etabliert hat.

### 21.16 Vom gestalteten zum gestaltenden Lebewesen: Uexkülls Interaktionseinheit „Umwelt und Innenwelt der Tiere“

An Schriften von Uexküll fällt auf, dass sich die Darstellungen häufig auf die aus funktionaler Perspektive betrachtete Interaktionseinheit relativ einfacher Lebewesen, die offenbar auch Uexkülls bevorzugtes Feld biologischer Forschung bilden, beziehen und darin prinzipielle Aussagen über ein generelles Modell eingebunden werden. In „Umwelt und Innenwelt der Tiere“ wird damit ein Konzept verfolgt, zu zeigen, wie ausgehend von Amöben über Seeigel bis zu Libellen gemäß den komplexeren funktionellen Potentialen der Organismen einschließlich ihrer Sensorien immer komplexere Umwelten entstehen. Dabei ist allerdings zu beachten, dass damit ausdrücklich keine Teleologie unterstellt wird.

„Die Neigung, alle Tiere in vollkommenere und unvollkommenere zu scheiden, um dadurch eine aufsteigende Entwicklung zu demonstrieren, welche vom Minderwertigen zum Höheren fortschreitet, wird nirgends eindringlicher ad absurdum geführt als in solchen Fällen, wo Tiere von dem gleichen Typus, die nur nach verschiedenen Richtungen differenziert sind, ganz verschiedene Umwelten besitzen. Von verschiedenen Anpassungsgraden sollte nicht mehr die Rede sein, nur von gleich vollkommener Anpassung an verschiedenen Umwelten. (Uexküll, 1909, S. 89 f.)

---

<sup>674</sup> „emuliert“ siehe Glossar

Diese Abgrenzung von einem teleologischen Gesamtkonzept schließt aber nicht aus, dass unterschiedliche Komplexitätsgrade des Interaktionsgefüges von Lebewesen zur Kenntnis genommen werden und diese sogar innerhalb der Entwicklungsstadien eines konkreten Individuums erläutert werden.

„Und in der Tat haben die Manteltiere in ihrer Jugend ein reiches Leben geführt und eine reiche Umwelt besessen. Die freischwimmenden Larven, im Besitze von Auge und Statolithen, mit einer Art Rückenmark versehen, das von einer Chorda dorsalis gestützt wird, nähern sich bereits den einfachen Fischen und berechtigen zu den schönsten Hoffnungen. Und dann dieser Rückschlag! Die festsitzende Lebensweise und die Art des Nahrungsfanges scheint auf diese Tiere degenerierend eingewirkt zu haben. Ja, sie wirken in dieser moralischen Beleuchtung fast wie ein warnendes Beispiel. Und doch ist diese ganze Auffassung lächerlich. Die erwachsenen Tunikaten sind ihrer Umgebung und ihrem Dasein genau so gut angepaßt, wie ihre Larven. Daß sie es vermögen, so hohe Differenzierungen in ihren Larvenorganen zu zeitigen, beweist nur, wie mannigfaltig das ganze Tier ist und gewiß nichts gegen seine Vollkommenheit. Denn ein Tier ist nicht bloß eine momentane Einheit, sondern eine höhere Zusammenfassung aller in der Zeitfolge sich ablösenden momentanen Einheiten... Es gibt keine Entwicklung vom Schlechteren zum Besseren, vom Unvollkommeneren zum Vollkommeneren. Bereits das Ei ist vollkommen vollkommen.“ (Uexküll, 1909, S. 177)<sup>675</sup>

Uexküll nimmt in dieser Passage eine radikal pointierte Position ein, die in Summe und gerade bezüglich der solipsistischen Aspekte aus erkenntnistheoretischer Sicht nicht ausgeleuchtet werden kann. Hier geht es ja nur darum, darauf aufmerksam zu machen und zu illustrieren, dass autopoietische Konzepte, wie sie von Maturana und Varela oder auch der Frankfurter Evolutionstheorie vertreten werden, markante wissenschaftsgeschichtliche Wurzeln haben.

21.16.1 Uexküll beeinflusst Maturanas autopoietisches Konzept und dessen Frage „Was ist Kognition als biologisches Phänomen?“

Die Rezeption ist in diesem Fall nicht nur schlüssig, sondern auch konkret belegbar, weil Maturana ausdrücklich auf sein Studium der Schriften Uexkülls und deren Einfluss auf sein eigenes Forschen hinweist.<sup>676</sup>

Vor diesem Hintergrund bildet es eigentlich nur noch eine bestätigende Ergänzung, dass bei Uexküll auch Ansätze des Modells der schon erwähnten systemspezifisch zugelassenen Perturbationen finden. So zum Beispiel:

„Hier genügt der Hinweis, daß die Bauart der Rezeptoren eines jeden Tieres souverän darüber entscheidet, mit welchen Wirkungen der Außenwelt das Tier Beziehungen eingehen soll, und mit welchen nicht. Die Summe aller Reize, die ein Tier dank der Bauart seiner Rezeptoren empfängt, bildet seine Umwelt. Dies ist die nach außen gerichtete Seite eines jeden Rezeptors. Seine innere Seite richtet sich dem Tierkörper zu, denn seine Aufgabe ist erst erfüllt, wenn er den Außenreiz dem Reflexbogen zugänglich gemacht hat. (Uexküll, 1909, S. 55)

---

<sup>675</sup> Zu den von Uexküll ins Treffen geführten Manteltieren gehören übrigens auch die Seescheiden. Das Beispiel der (partiellen) Rückbildung des Neuronalkomplexes beim Übergang zum sessilen Stadium wird an anderer Stelle dieser Arbeit im Kontext von Motilität und dafür nötiger komplexerer kognitiver Potentiale angesprochen.

<sup>676</sup> „Als Biologe habe ich zum Beispiel schon sehr früh, bevor die neuen Entwicklungen begannen, von Uexküll gelesen, und mich beeindruckte seine Analyse der Beziehung zwischen Organismus und Umwelt. Später stellte ich mir eine Frage, die gewöhnlich nicht ernsthaft und bis zur letzten Konsequenz durchdacht wird - zumal Wissenschaftler sie gerne Philosophen überlassen: Was ist Kognition als biologisches Phänomen?“ (Maturana: Was ist Erkennen?, 1996 : 221) ([https://de.wikipedia.org/wiki/Jakob\\_Johann\\_von\\_Uexk%C3%BCll](https://de.wikipedia.org/wiki/Jakob_Johann_von_Uexk%C3%BCll) 28.9.2017) (Erg. 15.11.218) Cf. Lyon: biogenic approach to cognition

*Uexkülls entkoppelte Zeichentheorie: Reize der Außenwelt (werden) samt und sonders in eine nervöse Zeichensprache übersetzt, die mit dem Geschehen der Umwelt gar nichts zu tun hat.* <sup>677</sup> Ebenso wird eine Trennung von externem Reiz und internen Zeichen vorgenommen, was im schon an anderer Stelle mehrfach angesprochenen Sinn zur Folge hat, dass der externe Reiz nicht als direkter Input von systemprägender Information aus der externen Realität zur Geltung kommt.

„Alle Rezeptoren haben, wie wir wissen, die gleiche Aufgabe: die Reize der Außenwelt in Erregungen zu verwandeln. Es tritt also im Nervensystem der Reiz selbst nicht wirklich auf, sondern an seine Stelle tritt ein ganz anderer Prozeß, der mit dem Geschehen der Umwelt gar nichts zu tun hat. Er kann nur als Zeichen <sup>678</sup> dafür dienen, daß sich in der Umwelt ein Reiz befindet, der den Rezeptor getroffen hat. Über die Qualität des Reizes sagt er nichts aus. Es werden die Reize der Außenwelt samt und sonders in eine nervöse Zeichensprache übersetzt. Merkwürdigerweise tritt für alle Arten von äußeren Reizen immer wieder das gleiche Zeichen auf, das nur in seiner Intensität entsprechend der Reizstärke wechselt. Die Reizstärke muß erst eine gewisse Schwelle überschritten haben, ehe ein Erregungszeichen auftritt.“ (Uexküll, 1909, S. 192)

Uexküll stellt anschließend eine Schlüsselfrage mit weitreichenden erkenntnistheoretischen Folgen in den Raum, die gerade auch in darauf bezogenen Modellen der Sinnesphysiologie ein relevantes Thema darstellt.

„Wenn aber das Nervensystem bei allen Reizen nur das gleiche Zeichen erhält, wie wird es dann möglich, die Reizarten zu unterscheiden? Dies geschieht durch die Benutzung besonderer Nervenbahnen, für die besonders unterschiedenen Reizarten. Jedes Rezeptionsorgan verfügt über eine sehr große Anzahl zentripetaler Bahnen und ist dadurch in den Stand gesetzt, auch sehr feine Unterschiede in der Reizart ebenso sicher wie die größten zu differenzieren, indem es für jede Reizart eine besondere Nervenbahn bereithält.“ (Uexküll, 1909, S. 192) <sup>679</sup>

Mit der Trennung von externem Reiz und internem Signal <sup>680</sup> kommen nämlich die schon durch Weber in Zusammenhang mit Maturana und Varela angesprochen „signs“ und die damit verbunden Fragen von Semiotik bzw. Semantik ins Spiel. <sup>681</sup> Ebenso in historischer Sicht die Ansätze von Helmholtz, welche umfangreich die unmittelbaren physiologischen Aspekte der Erforschung des Nervensystems betreffen, aber auch mit den „unbewussten Schlüssen“ die Fragen der Zeichen- und Erkenntnistheorie in den Fokus rücken.

### 21.17 Frankfurter Evolutionstheorie: Organismen sind autoformative Subjekte der Evolution <sup>682</sup>

Mit der nicht sehr weit verbreiteten Frankfurter Evolutionstheorie wird hier als Alternative gegen einen zu engen Begriff von Anpassung auf ein indeterministisches Konzept hingewiesen, das die Potentiale von Organismen zur Selbstgestaltung sehr stark betont.

<sup>677</sup> Modifiziert nach Uexküll, vgl. auch Zeichen bzw. signs bei Helmholtz und Weber

<sup>678</sup> Man könnte gewissermaßen statt des hier verwendeten Begriffs „Reiz“ auch umschreibend sagen: Perturbation als Anlass zur Hypothesenbildung über das mögliche externe Etwas auf Basis von Ähnlichkeiten mit bereits verfügbaren Bedeutungszuweisungen.

<sup>679</sup> Cf. Joh. Müller, spezifische Sinnesenergien

<sup>680</sup> Transduktion/Transformation?

<sup>681</sup> Cf. Weber, 2004, S. 24

<sup>682</sup> Die Frankfurter Evolutionstheorie wird hier nur als Beispiel genannt, bei dem Organismen als gestaltende Subjekte in Ansatz gebracht werden. Es erfolgte keine fachspezifische Kritik bzw. Evaluation der Theorie.

„Die **Frankfurter Evolutionstheorie** ist ein vergleichsweise neues Erklärungsmodell in der Evolutionsforschung... Evolution wird schließlich als Konsequenz der kontinuierlich arbeitenden und sich selbst reproduzierenden Körperkonstruktion der Organismen angesehen; deswegen wird die Frankfurter Theorie auch **organismuszentrierte Evolutionstheorie** genannt... Organismen sind Subjekte der Evolution.“ (Senckenberg-Forschung, Frankfurt, o.J.)

Um Poincarés Indeterminismus von einem Apriori der Dreidimensionalität zu untermauern und gegenüber einer Restauration desselben durch zu enge Modelle von Anpassung auch auf Ebene evolutionärer Erkenntnistheorie abzusichern, ist es notwendig (oder zumindest hilfreich) zu zeigen, dass es Konzepte gibt, welche einen autopoietisch konstruktivistischen Ansatz unterstützen.

Dazu dienen nachfolgende Zusatzinformationen auf Basis einer Assemblage ausgewählter Zitate aus einem sehr detaillierten Wikipedia Artikel und einer vergleichenden Tabelle des Senckenberg Instituts.

„Frankfurter Evolutionstheorie ist eine Selbstbezeichnung durch Vertreter eines Konzepts der evolutiven Wandlung der Körperstruktur und -form von Organismen gemäß hydraulisch-energetischen Prinzipien. Sie geht auf Wolfgang Gutmann (1935–1997) vom Senckenberg Forschungsinstitut in Frankfurt am Main und seine damaligen Anhänger zurück.“

Ein Schwerpunkt der Betrachtung gilt der Evolution einer organismuszentrierten Morphologie:

„Eine organismuszentrierte Morphologie betrachtet Lebewesen ganzheitlich, d. h. als energiewandelnde, hydraulische Konstruktionen, die (a) funktionieren, (b) sich selbst reproduzieren, (c) sich selbst versorgen (autopoietisch sind) und (d) sich selbst erstellen (autoformativ sind).... Als operational geschlossene Systeme hingegen können Lebewesen die Energie und Materialien, die sie benötigen, nur durch eigene Leistung akquirieren.“

„Umweltbezug der Organismen / Autonomie der Organismen: Organismen sind insofern autonom als ihr Aufbau darüber entscheidet, was sie aus der Umgebung aufnehmen und verwerten und wo sie leben können. Der Wandel im Laufe der Generationen und die Ausbreitung in immer weitere Lebensräume führen zu Diversifizierung: Ursprünglich einheitliche Populationen driften auseinander, es kommt zur Bildung neuer Arten [17]. Das ist begleitet von zunehmender Spezialisierung auf spezifischen Raum-, Stoff- und Energie-Erwerb. Der Begriff Anpassung wird deswegen in der Frankfurter Theorie ersetzt durch den Begriff Spezialisierung, der den organismischen Vorgang treffender beschreibt: Der Organismus ist der treibende Teil des Wandels; Organismen sind Subjekte der Evolution, nicht die Objekte ihrer Umwelt [18]“

„ Dass das Konzept nicht wenigstens partiell in das Theorien- und Lehrgebäude der Evolutionsbiologie integriert wurde, sondern dass sich vielmehr unaufweichbare Fronten zwischen Anhängern und Gegnern herausbildeten, hatte vielfältige Gründe. Sie lassen sich auf wissenschaftstheoretischer Ebene ebenso finden, wie auf der Ebene der Diskussionen, der verwendeten ungewöhnlichen bis polemischen (später teilweise wieder abgeschwächten) Terminologie, der Argumentationen und bewussten Abgrenzungen sowie auch auf persönlicher Ebene.“ ( Alle Zitate:

[https://de.wikipedia.org/wiki/Frankfurter Evolutionstheorie](https://de.wikipedia.org/wiki/Frankfurter_Evolutionstheorie) 8.9.2018)

### „Vergleich zum Darwinismus und zur Synthetischen Theorie

Darwinismus, Synthetische Theorie	Frankfurter Theorie
-----------------------------------	---------------------

<p>Lebewesen haben einen Genotyp und einen Phänotyp. Der Genotyp bestimmt den Phänotyp, eine vollständige Kenntnis des Genotyps ist hinreichend für das Verständnis des Lebewesens.</p>	<p>Lebewesen werden hinsichtlich Ihrer Körperkonstruktion und ihrer spezifischen Eigenschaften als Organismen konstituiert ( Organismus -Begriff).</p>
<p>Umweltbedingte Auslese steuert die Evolution als Anpassung an die Umwelt.</p>	<p>Da die Evolution wird durch die inneren Prinzipien der Organisation gerichtet wird ist der Begriff Anpassung eine beliebige post-factum-Feststellung.</p>
<p>Evolution wird als ein kausal-determinierter mechanistischer Vorgang (als Interaktion von Lebewesen und Umwelt) angesehen und man ist auf der Suche nach den Mechanismen der Evolution (Mutation und Selektion).</p>	<p>Evolution ist ein indeterministischer Vorgang, der sich nicht bestimmen und vorhersagen läßt. Die Frankfurter Evolutionstheorie verwendet gezielt Metaphern und Erklärungsmodelle, um den Vorgang der Evolution zu bearbeiten, d.h. in erster Linie den Verlauf von Evolutionslinien zu rekonstruieren.</p>
<p>Die Lebewesen sind den externen Einflüssen der Umwelt ausgesetzt und werden als plastische Gebilde durch die Umwelt geformt. Lebewesen sind Objekte der Evolution.</p>	<p>Die Körperkonstruktion der Organismen selbst verursacht, bestimmt und richtet die evolutionären Veränderungen, und erlaubt es bestimmte Lebensräume zu erschließen. Organismen sind Subjekte der Evolution.</p>
<p>Die Veränderlichkeit wird auf ausschließlich auf Veränderungen in den DNA-Sequenzen zurückgeführt (Insertion, Deletion und Austausch von Basen).</p>	<p>Nicht nur die DNA-Sequenzen sind veränderlich, sondern auch übergeordnete chemische Strukturen. Sie und die Körperkonstruktion als Ganzes entscheiden, welche Veränderungen von seiten der Gene weiterwirken können. Das Funktionsgefüge der Konstruktion bestimmt, welche genetischen Veränderungen bestehen bleiben.</p>
<p>In der Evolution ist alles möglich, wenn nur hinreichend Zeit und eine sich verändernde Umwelt vorliegen.</p>	<p>In der Evolution ist nur möglich, was die innere Organisation der Organismen auf weiteren geordneten Bahnen zuläßt. <sup>683</sup></p>

Vergleichende Tabelle aus [http://www.senckenberg.de/root/index.php?page\\_id=1188](http://www.senckenberg.de/root/index.php?page_id=1188) [8.9.2018] <sup>684</sup>

<sup>683</sup> Das führt einen aus meiner Sicht unnötigen Determinismus ein, weil systemimmanent mögliche kleine Veränderungen gerade in komplexen Systemen zu unvorhersehbaren Emergenzen führen können. Wie ja in diesem Artikel weiter oben festgehalten wird, gilt Evolution als ein indeterministischer Vorgang.

<sup>684</sup> Seite war über diesen Link am 8.5.2020 nicht mehr erreichbar.

## 21.18 Müllers spezifische Sinnesenergien (1826) als paradigmatischer Meilenstein der Erkenntnistheorie

Über Uexküll und Helmholtz gelangt man sowohl biographisch als auch hinsichtlich der genannten Fragestellungen im Bereich der Physiologie zu einer zentralen Forscherpersönlichkeit der ersten Hälfte des 19. Jahrhunderts, deren Erkenntnisse und Modelle wohl als nachhaltig einflussreiche Quelle des Umganges mit diesen Themen auf Basis naturwissenschaftlicher biologischer Forschung gelten dürfen.<sup>685</sup>

Johannes Peter Müller\* (1801 – 1858) war Physiologie und die hier angedeutete biographische Brücke besteht darin, dass Helmholtz während seines Medizinstudiums auch Student von Müller\* war.<sup>686</sup>

Auf Ebene der Forschungsergebnisse bildet Müllers Gesetz der **spezifischen Sinnesenergien** von 1826 einen paradigmatischen Meilenstein, von dem ausgehend nicht nur Müller\* selbst umfangreiche erkenntnistheoretische Konsequenzen ableitete, sondern damit sowohl bezüglich der Modellbildung zur Sinnesphysiologie als auch der Erkenntnistheorie nachhaltig einflussreich war und ist. Nicht zuletzt spielt Müller damit auch eine bedeutsame Rolle hinsichtlich der so genannten Grundlagenkrisen der Naturwissenschaften.

Dabei erscheint schon der Buchtitel mit den darin zum Ausdruck gebrachten Intentionen des Autors einer Wiedergabe als Zitat wert zu sein, weil darin ausdrücklich zur Geltung gebracht wird, dass es nicht nur um eine fachwissenschaftsinterne medizinische Abhandlung geht, sondern dass explizit und sogar vorrangig genannt auch die Philosophen adressiert werden. Das darf wohl als Indiz dafür gelten, wie sehr Müller\* die erkenntnistheoretische Dimension seiner Ausführungen ein bewusstes Anliegen war.

Die Titelseite und eine Passage, in der Müller\* diesen Komplex anspricht, werden weitgehend ungekürzt wiedergegeben, weil es offenbar um zentrale Positionen geht und daher das Risiko einer für den Leser nicht selbst nachvollziehbaren Interpretation möglichst reduziert werden soll.

Hier soll zunächst nur eine Schlüsselstelle zitiert werden:

„Der Sinnesnerv auf jedweden Reiz, was immer einer Art, reagierend, hat die ihm immanente Energie; Druck, Friktion, Galvanismus und innere organische Reizung, alle diese Dinge bewirken in dem Lichtnerven, was sein ist, Lichtempfindung,...“ (Müller\*, 1826, Pkt. 6

---

<sup>685</sup> „So kommen wir zu der von Johannes Müller aufgestellten Lehre von den spezifischen Sinnesenergien, dem bedeutsamsten Fortschritt, den die Physiologie der Sinnesorgane in neuerer Zeit gemacht hat.“ (Helmholtz, 1855, o.S.)

<sup>686</sup> Cf. [https://de.wikipedia.org/wiki/Hermann\\_von\\_Helmholtz](https://de.wikipedia.org/wiki/Hermann_von_Helmholtz) (29.9.2017)

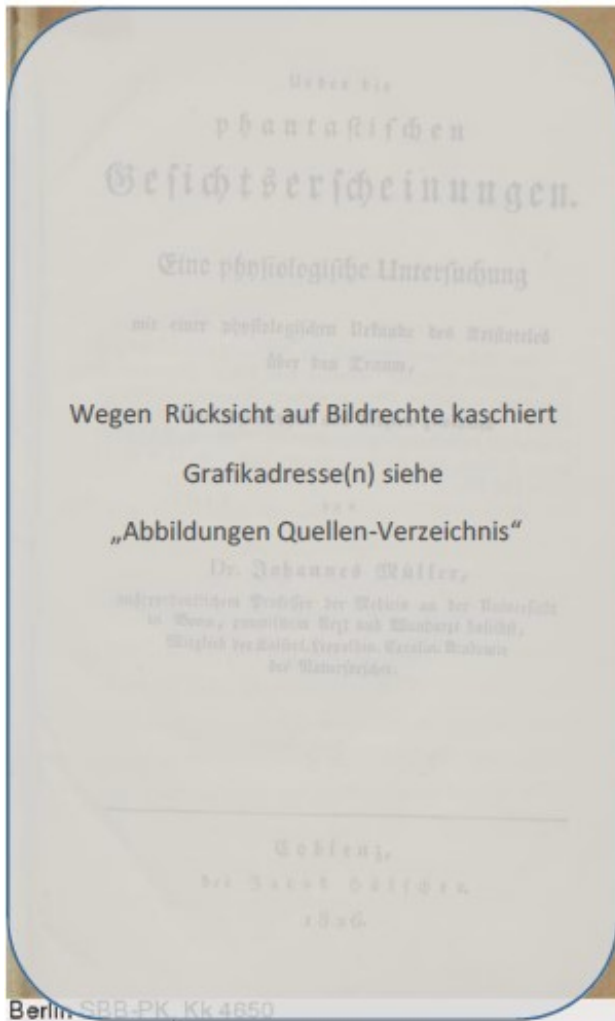


Abbildung 53 Müller\*: *Über die phantastischen Gesichtsercheinungen (Faksimile Titelseite, 1826)*

„ Über die phantastischen Gesichtsercheinungen. Eine physiologische Untersuchung mit einer physiologischen Urkunde des Aristoteles über den Traum, den Philosophen und Ärzten gewidmet von Dr. Johannes Müller\*, außerordentlichem Professor der Medizin an der Universität in Bonn, praktischem Arzt und Wundarzt daselbst, Mitglied der Kaiserl. Leopoldin. Carolin. Akademie der Naturforscher. Koblenz, bei Jacob Hölscher. 1826.

4. (...) Es gibt Veränderungen in der Natur, in welchen das Ursächliche weder seine eigene Wirksamkeit auf das Veränderte überträgt, wie in den mechanischen Veränderungen, noch mit der Wirksamkeit des Veränderten zu einem verschiedenen Tätigen vereinigt, wie in den chemischen Veränderungen, sondern wo das Ursächliche in dem, auf was es wirkt, immer nur eine Qualität des letzteren zur Erscheinung bringt, die dem Wesen nach unabhängig ist von der Art der Ursache.

5. (...) Es ist gleichviel, wodurch man das Auge reize, mag es gestoßen, gezerrt, gedrückt, galvanisiert werden, oder die ihm sympathisch mitgeteilten Reize aus anderen Organen empfinden, auf alle diese verschiedenen Ursachen, als gegen gleichgültige und nur schlechthin reizende empfindet der Lichtnerv seine Affektion als Lichtempfindung, sich selbst in der Ruhe dunkel anschauend. Die Art des Reizes ist also in Beziehung auf die Lichtempfindung überhaupt ein durchaus Gleichgültiges, sie kann nur die Lichtempfindung verändern. Einen anderen Zustand als Lichtempfindung und Farbenempfindung in der Affektion, oder Dunkel in der Ruhe gibt es für die Sehsinnsstoff nicht.



6. So ist es durchgängig mit allen organischen Reaktionen. Das chemisch Wirksame verbrennt die Haut. Nur in dem Verbrannten, Toten hat sich das chemisch Wirksame mit dem tierischen Stoff chemisch verbunden, an der Grenze des Lebenden reagiert das Organische gegen das chemische Agens durch organische Wirksamkeit, durch Entzündung. Mit allen Erklärungen der Wirkungsart der Nerven durch elektrische Strömung ist daher in der Tat gar nichts gewonnen, vielmehr werden hierbei die wesentlichen Energien der Organe übersehen. Der Sinnesnerv auf jedweden Reiz, was immer einer Art, reagierend, hat die ihm immanente Energie; Druck, Friktion, Galvanismus und innere organische Reizung, alle diese Dinge bewirken in dem Lichtnerven, was sein ist, Lichtempfindung, in dem Hörnerven, was dessen ist, Tonempfindung, (...)

8. Dem Äußeren kann daher nur der Anteil an der spezifischen Empfindung gestattet werden, daß es nach seiner Verschiedenheit und verschiedenen Einwirkung verschiedene Zustände der Erregung in der Sehinnsubstanz setze, welche verschiedene Zustände aber nur als subjektive dunklere und hellere Farben oder als Lichtes erscheinen. Von verschiedenen Reizen wird der eine mehr die Empfindung des Gelben, die des Blauen der andere mehr sollizitieren, und zwar nur dadurch, weil sie verschiedene Zustände der Erregung setzen. Eines und dasselbe, wie die mechanische Irritation durch Druck, bewirkt daher auch bald mehr die eine oder andere Farbenerscheinung, bald mehr die Lichterscheinung selbst, alles nach dem Maße seiner Einwirkung. Außer der Empfindung des Dunklen, der Farben und des Lichtes gibt es aber nimmer andere Zustände und Lebensäußerungen der Sehinnsubstanz des Auges.“ (Müller\*. 1826, o.S.) Ö> Die Ziffern geben die dortige Nummerierung der Kapitel an. Auslassungen sind mit (...) gekennzeichnet.

Die oben wiedergegeben Passagen Müllers bietet in selbsterklärender Form eine Reihe von Komponenten, die sich offenbar schlüssig in den Kontext der hier abgehandelten Aspekte über autopoietische Konzepte fügen und daher nicht mehr im Einzelnen aufgearbeitet werden. Auch deshalb nicht, weil es hier ja vorrangig nur um den Aufweis der historischen Wurzeln geht, und diese sind wohl evident.

#### 21.18.1 Müller\* und andere konterkarieren naiven Realismus

„Seit den sinnes- und neurophysiologischen Forschungen des 19. Jahrhunderts gilt derjenige als naiv, dem das Augenscheinliche auch das Wahre ist.“<sup>687</sup>

Vor diesem Hintergrund dürften Müllers Forschungen und die von ihm daraus gezogenen Schlüsse einen Faktor jener so genannten Grundlagenkrisen bilden, welche nicht speziell auf Mathematik und Geometrie bezogen sind, sondern die insgesamt das Selbstverständnis der Natur- und Geisteswissenschaften hinsichtlich der Möglichkeit zum Erkennen von Realität betreffen. Diese Problematik beeinflusst offenbar auch die erkenntnistheoretische Haltung von Poincaré, der seinerseits als Mitbegründer der Möglichkeit von mehr als dreidimensionalen Geometrien und der Aufhebung einer realitätsbezogenen Stringenz der Dreidimensionalität des Wahrnehmungsraums zur weitreichenden Verwurzelung der Problematik gesicherter Erkenntnis und Bestimmung von Realität beiträgt.

Nach Heidelberg (1997) unterscheidet Johannes Müller\* drei Perioden in der Geschichte der „physiologischen Lehren über die Sinnesthätigkeit“: eine nicht empirische mythisch-dogmatische bis zum Beginn der Neuzeit, eine auf die physikalisch optischen Bedingungen des Sehens gerichtete Periode und eine dritte, mit Goethe beginnende Phase, welche die physikalischen und physiologischen Verhältnisse auf eine philosophische Grundlage stellt.

Für den hier betreffenden Fragenkomplex bieten Heidelbergers Referat bzw. Interpretationen der Position Müllers aussagekräftige Resümees:

---

<sup>687</sup> Projektgruppe »Sinne und Synapsen« des Instituts für Germanistische und Allgemeine Literaturwissenschaft der RWTH Aachen ( [http://susy.germlit.rwth-aachen.de/index\\_start.html](http://susy.germlit.rwth-aachen.de/index_start.html) 29.4.2017).

„Die Realität und ihre Erkenntnis werden aufgefaßt als vom Bewußtsein abhängig und von ihm mitgestaltet. Sehen ist mehr als die passive Einwirkung einer physischen Ursache auf die Retina; die Eigenaktivität des Subjekts geht mit ein. Allerdings ist diese Aktivität für Müller nie rein geistiger, sondern immer auch physischer Natur. Sehen wird von Müller nun näherhin als ein Prozeß der Selbstempfindung des Leibes bestimmt. Das Selbstbewußtsein eines Organismus ist ursprünglich von den äußeren Ursachen ganz getrennt und weiß von ihnen nichts. Was zuerst empfunden wird, ist die °eigene Leiblichkeit.° .....°Die Wesenheit der äußeren Dinge und dessen, was wir äußeres Licht nennen, kennen wir nicht, wir kennen nur die Wesenheiten unserer Sinne.°“ (Heidelberger, 1997, S. 2, mit integrierten Zitaten Müllers)

21.18.2 Heidelberg: Müllers Problem, „wie aus dieser grundlegenden Selbstempfindung des Leibes schließlich eine Wahrnehmung *äußerer* Objekte wird.“<sup>688</sup>

Mit der Kurzformulierung „Wenn wir etwas räumlich auffassen, so kann dies nur heißen, daß wir uns selbst als den Raum erfüllend empfinden“ pointiert Heidelberg (1997, S. 3), dass Müller\* auch die Raumwahrnehmung markant in sein Konzept eingebunden hat und stellt fest:

„Damit seine Theorie plausibel wird, muß Müller zeigen, wie sich ein °Bewußtseyen der äußeren Ursachen von inneren Veränderungen° einstellt, d. h. wie aus dieser grundlegenden Selbstempfindung des Leibes schließlich eine Wahrnehmung *äußerer* Objekte wird.“ (Heidelberger, 1997, S. 3, mit integrierten Zitaten Müllers)

Mit Referat, wie Müller\* dies am Beispiel des Tastsinnes herleitet und dem Hinweis, dass dies in ähnlicher Form auch für das Sehen gilt, obwohl hier die Position Müllers offenbar nicht so genau zu belegen ist, fasst Heidelberg zusammen:

„Für Müller beruht also Wahrnehmung äußerer Gegenstände auf einer Annahme, die sich aus einem Kontrast der Selbstempfindung zu anderen Empfindungen ergibt. Die Intentionalität der Wahrnehmung leitet sich aus der ursprünglichen und intrinsischen Intentionalität des körperlichen Selbstgefühls ab.“ (Heidelberger. 1997, S. 3)

Auf dieses Innen-Außen Problem beziehen sich die an anderer Stelle dieser Arbeit angestellten Spekulationen über die Koppelung interner Zustände an extern veranlasste Perturbationen.

Mit den Darstellungen Heidelbergers soll in einem konstruktivistischen Sinn der Bereich autopoietischer Systeme sowohl mit der psychologischen wie der erkenntnistheoretischen Innen-Außenproblematik verbunden werden. Wobei es hier nicht darum geht und gehen kann, diese lange tradierten Probleme zu lösen. Es wird nur das Ziel verfolgt, diese Modelle und deren Zusammenhänge andeutungsweise zu illustrieren und zumindest einige ihrer historischen Wurzeln bis in Zeit Poincarés, oder knapp davor, zurück zu verfolgen.

21.19 Krause: Gegenüberstellung Helmholtz Kant

Krauses vergleichende Punktation ist so markant, dass sie hier im Anhang als Faksimile im Gesamten wiedergegeben wird.

---

<sup>688</sup> (Heidelberger. 1997, S.3)

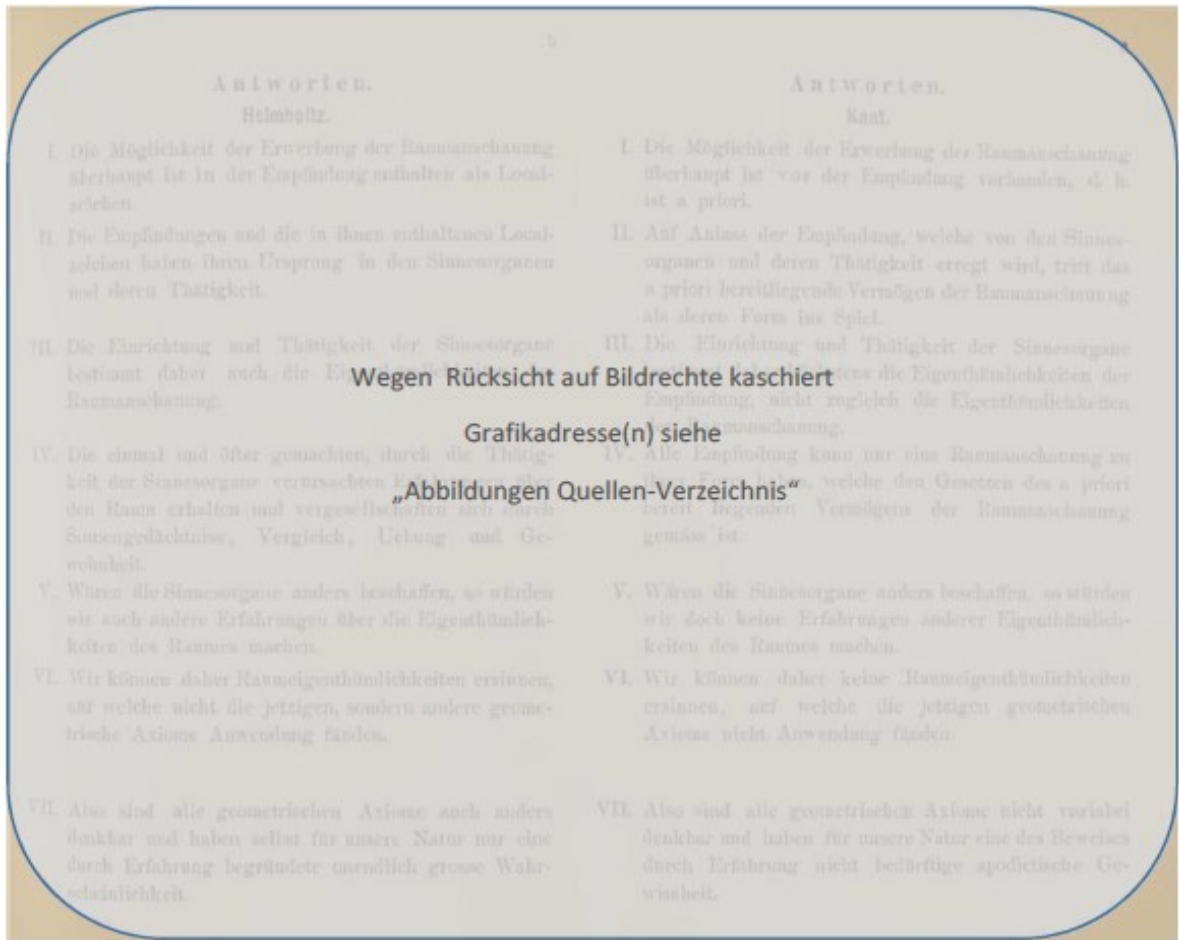


Abbildung 54 Krause: Gegenüberstellung Helmholtz Kant (Faksimile Krause, 1878, S. 5)

## 21.20 Schiemann: Die Hypothesisierung bei Hermann von Helmholtz

Dieser Zusammenschnitt eines Textes von Schiemann wird als erweiternde Illustration zu Bereichen dieser Arbeit angeboten, die sich mit den Aspekten des Hinterfragens des Apriori, der Naturalisierung der Erkenntnis und damit verbundener Grundlagenkrisen von Wissenschaft beschäftigen. Dies gilt besonders für die erkenntnistheoretische Position des Hypothesischen und macht trotz vielfacher Affinitäten auch einen bemerkenswerten Unterschied der Auffassungen von Helmholtz und Poincaré sichtbar.

Damit werden sollen speziell die beiden folgenden Überlegungen in dieser Arbeit untermauert werden:

1) Gerade bezüglich der essentiellen Rolle des Hypothesischen macht Schiemann trotz großer Nähe auch auf einen markanten Unterschied der erkenntnistheoretischen Haltung von Poincaré und Helmholtz aufmerksam. (Cf. Kap. : Schiemann: Die Hypothesisierung bei Hermann von Helmholtz...)

2) Auch wenn bezüglich der zitierten Gegenüberstellung Krauses zu beachten ist, dass man das Modell von Helmholtz nicht mit Poincarés Konzept gleichsetzen darf, so gilt doch für beide hinsichtlich der räumlichen Anschauung eine Abkehr vom Apriori Kants. Immerhin betont Poincaré das Recht, dieses Apriori zu hinterfragen und impliziert damit, dass dies auch

möglich sei. Ein radikales Hinterfragen betrifft nicht nur den Geltungsbereich eines Apriori, sondern unterläuft auch endgültige Gewissheit, weil der methodische Zugang zu Erkenntnis mehr oder weniger auf Hypothesen beruht. Gemäß Schiemann dürfte ein wesentlicher Unterschied zu Poincaré darin bestehen, dass zwar auch Helmholtz in seinem späteren Wirken das Hypothetische in seine Erkenntnistheorie integriert hat, aber nur als vorläufige Notwendigkeit zur Überbrückung von aktuell noch bestehenden Defiziten wissenschaftlicher Erkenntnis. Hingegen bildet in Poincarés Ansatz das Hypothetische eine irreduzible Komponente von Wissenschaft, welche auch die prinzipielle Fragwürdigkeit endgültiger Erkenntnis virulent macht. Das tangiert auch den Aspekt der „Bilder“ (vgl. Poincaré/Boltzmann) und deren Entkoppelung von der externen Realität.

Die nachfolgenden Textkompartimente Schiemanns machen vor allem ein hohes Ausmaß der Übereinstimmung des von Helmholtz sukzessiv erweiterten Konzepts des Hypothetischen mit Poincaré sichtbar, sodass die Differenz prima facie vorwiegend als Weiterentwicklung durch Nuancierung erscheint.

Dennoch wird hier davon ausgegangen, dass es sich um eine das Ausmaß von Nuancierung überschreitende prinzipielle Dimension zu handeln scheint.

Ein Indiz dafür klingt in Schiemanns Interpretation durch, wenn er über Helmholtz sagt: „Er selbst rechtfertigt sein Vorgehen unter anderem damit, daß Erklärungen vorläufig noch nicht verfügbar seien,...“ (s.u.) Dieser Appell an die Vorläufigkeit erweckt den Eindruck einer Art *reservatio mentalis*, die sich trotz aktueller Notwendigkeit eines Bekenntnisses zum Hypothetischen die Möglichkeit endgültiger Erkenntnis prinzipiell offen hält. Das scheint eher dem Annäherungskonzept an unabhängig vom Beobachter so bestehende, also objektive Strukturen der externen Realität im Sinn eines hypothetischen Realismus zu entsprechen. (?)

Hingegen scheint Poincaré eher dem nahe zu stehen, was Schiemann mit Heinrich Hertz geltend macht: „Den von Helmholtz noch aufrechterhaltenen Unterschied zwischen Modellbildung und Erklärung wird Hertz in seiner Wissenschaftstheorie ebenso beseitigen wie den Abbildungscharakter der Gesetze. Modelle müssen dann lediglich noch in ihren Voraussagen mit der Wirklichkeit übereinstimmen...“ (s.u.)

Diese Charakterisierung der Position von Hertz erscheint auch als konvergent mit dem Aspekt der „Bilder“, die im Abschnitt *Poincaré meets Boltzmann* angesprochen werden. Ebenso mit der Analyse Capeks: „Of all three thinkers, Helmholtz, Mach and Poincaré, the last was certainly closest not only to the spirit of modern physics, but also to its concrete content“ (Capek, 1971, S. 21.)

#### 21.20.1 Die Hypothesisierung des Mechanismus bei Hermann von Helmholtz (Zuschnitt)

(Anm.: Auslassungen mit (...) gekennzeichnet)

„ Die letzten Jahrzehnte des neuzeitlichen Mechanismus begannen in der Mitte des vergangenen Jahrhunderts mit einer großen Renaissance. Die experimentelle Naturforschung schien sich in vielen ihrer spezialisierten Bereiche endlich dem Ziel zu nähern, alle Phänomene durch Zurückführung auf mechanisch bewegte Materie zu erklären. In den 70er Jahren jedoch trat dann insbesondere im Zusammenhang mit weiteren Umsetzungsversuchen des mechanistischen Erklärungsprogramms in der Elektro- und Thermodynamik seine begrenzte Reichweite deutlicher zutage (...) In den Strudel einer letalen Krise gerieten aber nicht nur die Inhalte des mechanistischen Erklärungsprogramms, sondern auch die dabei erhobenen traditionellen Geltungsansprüche der Naturwissenschaften. Fragwürdig

wurde, ob wissenschaftliche Erkenntnis die seit der Antike behauptete alleinige, für immer gültige und vollständige Erkenntnis der Natur sein könne. Während im deutschen Idealismus dieser Wahrheitsanspruch noch einmal mit großem Einfluß auch auf die Naturwissenschaften formuliert wurde und erst mit dem Niedergang der Hegelschen Systemphilosophie an Boden verlor, war seine Kritik bereits vor dem 19. Jahrhundert durch den englischen Empirismus, namentlich durch das wissenschaftskritische Werk von David Hume, vorbereitet worden. Im Kontext der Auseinandersetzung um den Mechanismus verband sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts die Kritik an absoluten Geltungsansprüchen wissenschaftlicher Erkenntnis zum einen - wie beispielsweise bei Pierre Duhem und Henri Poincaré - mit einer Ablehnung des mechanistischen Erklärungsprogramms.<sup>3</sup> Zum anderen wurde die Relativierung von Geltungsansprüchen aber auch von den Vertretern des Mechanismus selbst betrieben. Neben Emil du Bois-Reymond hat hierfür Hermann von Helmholtz das bedeutendste Beispiel gegeben.<sup>4</sup> In der ersten Zeit seiner wissenschaftlichen Karriere, d.h. vom Ende der 40er bis etwa zum Ende der 60er Jahre, trägt Helmholtz seine mechanistische Naturauffassung noch mit absolutem Geltungsanspruch vor. Im Verlauf der 70er Jahre wird dann ein Wandlungsprozeß auffällig, der sich am deutlichsten in seinen öffentlichen Reden nachweisen läßt. Die mit dem Mechanismus verbundenen Geltungsansprüche werden einer Hypothesisierung unterworfen, wobei Helmholtz allerdings an den Grundaussagen seiner Naturauffassung im wesentlichen unbeirrt festhält (...) Im Unterschied zu Kant vertritt Helmholtz keinen dynamischen (allein auf Kräften aufbauenden), sondern einen dualen Mechanismus, und er gibt dafür in der Hauptsache keine (im Sinne von Kant) metaphysische, sondern eine empiristische Begründung, die jener allerdings im Wahrheitsanspruch keinesfalls nachzustehen gedenkt. <sup>17</sup> Für seinen Empirismus ist es im Zeitraum zwischen dem Ende der 40er und etwa dem Ende der 60er Jahre charakteristisch, daß er die Objektivität der wissenschaftlichen Erkenntnis streng gegen das bloß subjektive Zeugnis der unmittelbaren Sinneswahrnehmung abgrenzt. Das Verhältnis beider thematisiert er im Zusammenhang mit seiner Wahrnehmungstheorie, die er in den 50er und 60er Jahren entwickelt und die weniger für die Begründung des Wahrheitsanspruches des Mechanismus als für seine spätere Relativierung in wissenschaftstheoretischer Hinsicht relevant ist. <sup>18</sup> Anfänglich läßt er zwischen wissenschaftlicher Erkenntnis und dem Zeugnis der Sinneswahrnehmung keinerlei Gemeinsamkeit zu. <sup>19</sup> Erst im *Handbuch der physiologischen Optik* postuliert er 1867 eine Eigenschaft der Sinneswahrnehmung, mit der sie dem Wahrheitsstreben der Wissenschaft uneingeschränkt als empirisches Material zur Verfügung steht: Die Wahrnehmung ereigne sich gleichzeitig mit dem Wahrgenommenen und bilde deshalb die Zeitfolge des Wahrgenommenen ab. <sup>20</sup> Wissenschaft kann jetzt nicht nur, sondern muß auch, wie es später heißt, allein von "beobachtete[n] Thatsachen" (Helmholtz 1903, Bd. 2: 352) ausgehen (...) Die in den 70er Jahren hervortretende Relativierung des Geltungsanspruches der mechanistischen Naturauffassung kann als Anwendung bereits vorliegender Bestimmungen der Wahrnehmungstheorie auf die wissenschaftliche Erkenntnis verstanden werden. Zu den kennzeichnenden Merkmalen der Helmholtzschen Wahrnehmungstheorie gehört, daß sie dem qualitativen Inhalt der Sinneswahrnehmung im Gegensatz zum Abbildcharakter der zeitlichen Struktur nur eine relative Geltung zumißt, die von der erfolgreichen Verarbeitung der jeweiligen Wahrnehmung abhängt. Nachdem Helmholtz bereits den Wirklichkeitsbezug wissenschaftlicher Erkenntnis auf Wahrnehmbares eingeschränkt hat, unterwirft er in der Folgezeit auch die wissenschaftliche Zielsetzung und Methodik zunehmend diesen schwankenden Geltungsbedingungen.

Die Neuorientierung tangiert alle Bestimmungen seiner Wissenschaftsauffassung. Ihren ersten und auch deutlichsten Ausdruck findet sie aber in der auf wissenschaftlicher Erkenntnis basierenden Gesamtdeutung der Natur, wie Helmholtz sie in seinen öffentlichen Reden vertritt. Gerade zwei Jahre, nachdem er an prominentester Stelle, auf dem Podium der Naturforscherversammlung, dem Atomismus gehuldigt hat, wendet sich Helmholtz in seiner Rede "Zum Gedächtnis an Gustav Magnus" "gegen das Streben, aus rein hypothetischen Annahmen über [den] Atombau der Naturkörper die Grundlagen der theoretischen Physik herzuleiten" (Helmholtz 1903, Bd. 2: 45). Während Helmholtz hier den Ausdruck "hypothetisch" noch abwertend gebraucht und auf noch nicht gefundene unsichtbare Entitäten bezieht, führt er wenig später den Begriff der Hypothese erstmals mit positivem Sinn in seine Wissenschaftsauffassung ein. "Jede berechnete Hypothese", schreibt er 1874 in einer Vorrede zu dem von ihm mitübersetzten Handbuch der theoretischen Physik der englischen Physiker W. Thomson und P. G. Tait, "ist der Versuch, ein neues allgemeineres Gesetz aufzustellen" (Helmholtz 1903, Bd. 2: 416). Aus

der Induktion gehen jetzt nicht mehr unmittelbar Gesetze, sondern Hypothesen hervor, aus denen Gesetze erst durch nachträgliche empirische Verifikation gewonnen werden)<sup>1</sup> 1877, in der Rede "Das Denken in der Medizin", tritt die Verbindung des Wandels der Wissenschaftsauffassung mit 21 Helmholtz 1903, Bd. 2: 414. Vgl. a. Helmholtz 1897 ff., Bd. LI: 18 f. 158 Gregor Schiemann der Krise des Mechanismus bestimmter hervor. Einerseits gesteht Helmholtz dort ein, daß man bei einer "ursächliche[n] Erklärung" "nicht immer zurückgehn [könne] auf die Kräfte der Atome" (Helmholtz 1877: 31 f.).<sup>22</sup> Genau diese Reduktion hatte er jedoch bisher für möglich und erforderlich gehalten. Andererseits erklärt er die Verifikation von Hypothesen zu einer Arbeit, die "eigentlich nie" aufhöre und "nie zur unbedingten Wahrheit" führe (Helmholtz 1877: 26 f.). Wenn aber die Verifikation nicht abschließbar ist, erhalten Gesetze selbst hypothetischen Charakter. In diesem Zusammenhang gelangt Helmholtz zu einem Wissenschaftsverständnis, das bereits die Grundüberzeugung des kritischen Rationalismus, wie ihn Karl R. Popper begründen wird,<sup>23</sup> vorwegnimmt: Die von Helmholtz wörtlich so genannte "Infallibilität" wird für ihn zum Kennzeichen einer falschen Wissenschaftlichkeit (Helmholtz 1877: 15).<sup>24</sup> Bei Helmholtz läuft die Hypothesisierung von Gesetzesaussagen noch nicht der Aufgabe der Wissenschaft zuwider, nach einer allein gültigen Naturerkenntnis zu streben. Diese Aufgabenstellung wird erst durch weitere Schritte des Hypothesisierungsprozesses fragwürdig. Neben geometrischen Überlegungen zur äquivalenten Darstellbarkeit des mathematischen Raumes<sup>25</sup> gehört dazu die Annahme, daß unverzichtbare erkenntnistheoretische Voraussetzungen eine unbegründbare Wahl zwischen entgegengesetzten Positionen implizieren. In diesem Sinn stellt er in seiner wohl bedeutendsten Rede "Ueber die Thatsachen in der Wahrnehmung" von 1878 an zentraler Stelle seiner eigenen realistischen Position die idealistische als ebenso unwiderlegbare und deshalb gleichberechtigte gegenüber und bezeichnet beide als "metaphysische Hypothesen" mit "vollkommene[r] wissenschaftlicher[r] Berechtigung" (Helmholtz 1903, Bd. 2: 239). Von wissenschaftlichen Hypothesen kann bei Helmholtz also in dreifachem Sinn die Rede sein: Im Sinn von noch nicht gefundenen oder fiktiv angenommenen unsichtbaren Entitäten, von nicht hinreichend verifizierten oder nicht vollständig verifizierbaren Gesetzen und schließlich im Sinn von unwiderlegbaren erkenntnistheoretischen Voraussetzungen. (...)

Trotz des Einschnittes in Helmholtz' öffentlichen Stellungnahmen zu Beginn der 70er Jahre vollzieht sich der wahrnehmungstheoretisch vorbereitete Wandlungsprozeß allmählich und nicht immer kontinuierlich. Altes und Neues stehen teilweise unverbunden nebeneinander.<sup>36</sup> Daß sich die Konturen des Neuen erst langsam abzuzeichnen beginnen, ist Ausdruck der historischen Dimension, die der von Helmholtz mitgetragene Wandel hat: Er bricht mit der bis in die Antike zurückreichenden Tradition der Wahrheitssuche, die sich doch so nah schon an ihrem Ziel wähnte, und bereitet den modernen Prozeß der Wahrheitsrelativierung vor, der sich bis in die Gegenwart hinein fortgesetzt hat. (...)

Man könnte sagen, daß Helmholtz die auf Substanzen und Kräften basierende frühere Argumentation durch eine stärker phänomenologisch angelegte Betrachtung ersetzt. Die in den Gesetzen ausgedrückten Verhältnisbestimmungen faßt er weiterhin als ein Abbild der - allerdings nur noch hypothetisch angenommenen - Wirklichkeit auf. Ideengeschichtlich besteht zwischen dieser relationalen Widerspiegelungstheorie und Ludwig Wittgensteins späterer Abbildtheorie der Bedeutung eine enge Verwandtschaft. <sup>42</sup> Die Intentionen, die Helmholtz mit seiner Methode der Analogiebildung verfolgt, beschränken sich allerdings bei weitem nicht auf die formale Vereinheitlichung physikalischer Gesetze. Er selbst rechtfertigt sein Vorgehen unter anderem damit, daß Erklärungen vorläufig noch nicht verfügbar seien, und kann sein Vorgehen nicht erläutern, ohne beständig auf die Hypothese unsichtbarer Bewegungsursachen zurückzugreifen.<sup>43</sup> Die Bedingungen, die er für seine mechanischen Modelle festlegt, sollen gleichermaßen auch für die den Phänomenen zugrundeliegende Struktur gelten. <sup>44</sup> Seine Untersuchungen legen darüber hinaus die Vermutung nahe, die Ursachen selbst könnten rein mechanischer Natur sein. Daß die konkrete Form seiner Modelle nicht als Ursache in Frage kommen soll, schließt keinesfalls die Möglichkeit aus, daß die Ursachen nicht mechanisch sein könnten. Unausgesprochen nutzt Helmholtz vielmehr die Uneindeutigkeit mechanischer Modelle, die darin besteht, daß für eine gegebene mechanische Bewegungsgleichung die Anzahl mechanischer Modelle prinzipiell unbeschränkt ist.<sup>45</sup> Damit eröffnet sich der Analogiebildung ein weites Experimentierfeld, um aus verschiedensten Modellen eine Vielfalt hypothetischer Erklärungen zu entwickeln. Nicht Helmholtz, sondern sein Schüler Heinrich Hertz wird diesen Aspekt weiterer Relativierung des Mechanismus

systematisch ausbauen. Den von Helmholtz noch aufrechterhaltenen Unterschied zwischen Modellbildung und Erklärung wird Hertz in seiner Wissenschaftstheorie ebenso beseitigen wie den Abbildungscharakter der Gesetze. Modelle müssen dann lediglich noch in ihren Voraussagen mit der Wirklichkeit übereinstimmen.<sup>46</sup> Was als leichte Lockerung des ursprünglich selbst verkündeten Wahrheitsanspruches bei Helmholtz begann, wird schon zu seinen Lebzeiten und noch ganz im Rahmen der mechanistischen Naturauffassung bei Hertz zu einem Verlust des Wirklichkeitsbezuges führen, wie er größer in der wissenschaftlichen Erkenntnis bis heute kaum denkbar ist.“ (Schiemann, 1994, Extrakt aus S.155 – 165)

In folgender Passage aus einer anderen Abhandlung geht Schiemann auch explizit auf die Auffassung von Raum und Geometrie ein. Auch hier wird die große Übereinstimmung mit Poincaré deutlich, aber ebenso erkennbar gemacht, dass Poincaré mit seinem Konventionalismus einen markanten Schritt weiter geht als Helmholtz.

21.20.2 „Zwischen klassischer und moderner Wissenschaftstheorie: Hermann von Helmholtz und Karl R. Popper, erkenntnistheoretisch verglichen“

„Welche Bedeutung wissenschaftliche Theorien für die Repräsentation der empirischen Basis haben können, zeigt sich in seinen berühmten Arbeiten zur empirischen Begründung der nichteuklidischen Geometrien. In diesen führt er <sup>689</sup> anschaulich vor, daß Aussagen über den physikalischen Raum nicht mehr eindeutig, sondern nur in verschiedener, aber äquivalenter Weise möglich sind.

Im Anschluß an die Arbeiten von Bernhard Riemann leitet Helmholtz aus den Eigenschaften der formunveränderlichen und freien Bewegung von Festkörpern her, daß außer der euklidischen Geometrie auch nichteuklidische geometrische Systeme möglich sind. Welches System im Raum realisiert sei, könne man durch Messungen empirisch ermitteln. Für die physikalischen Rechnungen sei aber die reale Struktur des Raumes unerheblich, insofern sich die verschiedenen Systeme äquivalent ineinander überführen ließen.<sup>32</sup> Somit hängen die Darstellung des Raumes und die darauf bezogenen physikalischen Gesetze von der Entscheidung über das jeweils verwendete geometrische System ab. Gab es früher hierfür nur das euklidische System, dessen Struktur mit der Struktur des Raumes identifiziert wurde, so sind jetzt Aussagen über das empirisch im Raum Gegebene nur noch unter der Voraussetzung von theoretischen und im Prinzip frei wählbaren Annahmen möglich und deshalb nur relativ gültig. Mit dieser Einsicht nähert sich Helmholtz einer konventionalistischen Auffassung der Geometrie, wie sie später von Henri Poincaré begründet wird. Mit der Vielfalt der geometrischen Darstellungsmöglichkeiten gibt er ein frühes Beispiel für einen Theorienpluralismus, der (wie bei Popper) mit dem Verlust eines unzweifelhaft Gegebenen einhergeht.“ (Schiemann, 1995, S. 850 f.)

21.21 Eigener Körper als Messinstrument einer Géométrie lunatique de la lune

690

Anlässlich der astronomischen Konstellation eines so genannten Supermondes hat der Astrophysiker Gernot Grömer bezüglich der (bisweilen) stark wechselnden visuellen Größe knapp über dem Horizont und dem hoch stehenden Mond ein Referenzsystem zur

---

<sup>689</sup> Der einleitende Satz bezieht sich auf Helmholtz

<sup>690</sup> Dieses hoffentlich tolerierbare Wortspiel soll nur eine durchaus ernst gemeinte Unterstellung andeuten. Nämlich die Überlegung, dass die Wechselhaftigkeit der Erscheinung des Mondes einerseits eine Herausforderung für Erklärungen bildet, die neben einer Vielzahl von Mythen auch zu geometrisch-astronomischen Modellen führen. Andererseits gibt es im Französischen wie im Englischen davon abgeleitete Eigenschaftswörter, die u.a. auch zur Charakterisierung von Personen bzw. psychischen Zuständen verwendet wurden.

Relativierung dieser Mondillusion demonstriert, das stark an Poincarés Passage über die Rolle unseres Körpers als geometrieaffines Messwerkzeug erinnert.<sup>691</sup>

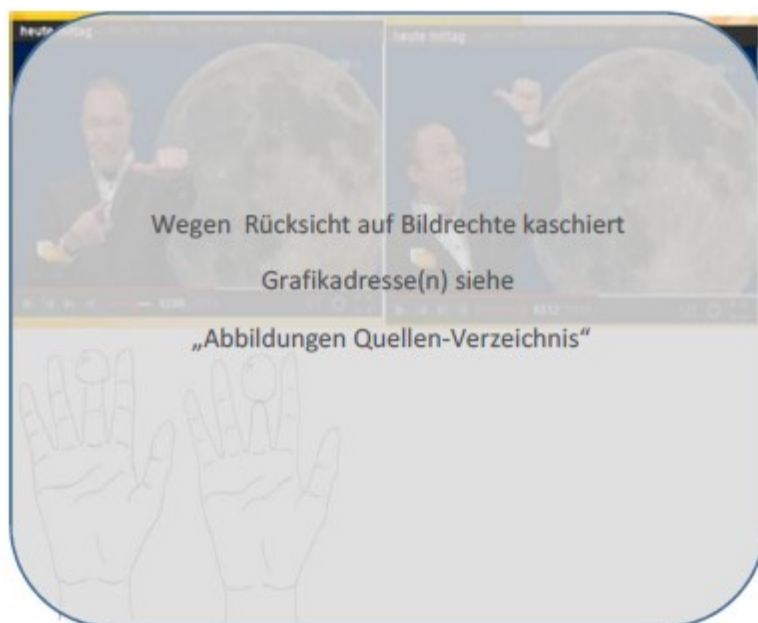


Abbildung 55 Daumenmaß Mondtäuschung (Screenshot ORF)<sup>692</sup>

Abbildung 56 Illusion geschrumpfter Finger (Obermüller, 2016, science.ORF.at)

Die von mir so verstandene Aussage war, dass bei gestrecktem Arm die Größe des Daumens beim Anvisieren die Mondscheibe sowohl über dem Horizont als auch die hochstehende gleich groß abdeckt und so die Größenillusion relativiert.<sup>693</sup>

Es handelt sich dabei offenbar um ein geometrisches Konzept zur Bestimmung von Größenrelationen. Die Verifikation der Exaktheit ist in unserem Zusammenhang sekundär. Wichtiger als Exaktheit ist hier das Prinzip und die damit verbundene Notwendigkeit, dass zumindest bei den Messwerkzeugen und ihrer Anordnung möglichst wenige variable Komponenten im Spiel sind. Das sind konkret die Armlänge und die Größe des Daumens, die als (relativ) stabile Faktoren wirken, mittels derer zumindest eine einigermaßen beständige Relation zum Sehwinkel etabliert werden kann.

Allerdings ist dabei zu beachten, dass sogar die hier als Messgröße ins Spiel gebrachte Hand in Ausnahmefällen optischen Illusionen unterworfen sein kann, die ihre Tauglichkeit als Messreferenz in gewissem Ausmaß konterkarieren.

Der Einfachheit halber wird hier im Anhang eine ganze Fremdpassage übernommen.

<sup>691</sup> „Wir könnten also den Raum ohne Anwendung eines Meßinstrumentes nicht konstruieren; dies Instrument nun, auf das wir alles beziehen und dessen wir uns instinktiv bedienen, ist unser eigener Körper.“ (Poincaré, 1914, S. 87, Wiss.- Method: Kapitel „Die Relativität des Raumes“)

<sup>692</sup> <http://tvthek.orf.at/profile/heute-mittag/4660089/heute-mittag/13895516/Supermond-ueber-Oesterreich/13912973> (20.11.2016)

<sup>693</sup> Quelle: <http://tvthek.orf.at/profile/heute-mittag/4660089/heute-mittag/13895516/Supermond-ueber-Oesterreich/13912973> (20.11.2016) Nach eigenen Versuchen, allerdings bei anderen Mondphasen, scheint es so zu sein, dass etwa es nicht um die volle Daumenbreite geht. Aber prinzipiell war der von Grömer beschriebene Effekt nachvollziehbar.



### „Illusion lässt Finger schrumpfen

Zauberkunststücke tricksen geschickt unsere Wahrnehmung aus. Manchmal ist die Täuschung so wirksam, dass sie selbst wider besseres Wissen fortbesteht: Demonstriert haben das Forscher nun mit einem „verkürzten“ Finger.

Es beginnt mit einem einzigen kleinen Ball, den der Magier zwischen Daumen und Zeigefinger hält. Mit jeder Handbewegung erscheint aus dem Nichts ein weiterer Ball zwischen den restlichen Fingern - der sogenannte Chicagoer Billardballtrick zählt zu den Zauberklassikern....Die Probanden müssen den schalenförmigen Halball auf der Fingerspitze balancieren. (Ö> s.o. Abb.: Illusion geschrumpfter Finger)

Dadurch verschwindet zwar tatsächlich ein Stück des Fingers, für die Betrachter sieht dieser aber noch deutlich kürzer aus. So als müsste der Finger Platz für die unsichtbare Hälfte des Balls machen. Das Erstaunliche: Die Illusion wirkt nicht nur optisch, die Versuchsteilnehmer spürten sie förmlich körperlich, der Finger fühle sich kürzer an.

Unser Gehirn arbeitet offenbar anders, als man das erwarten würde, so die Forscher. Denn die Probanden seien sich sehr wohl dessen bewusst, dass unsere Wahrnehmung etwas ergänzt, das gar nicht da ist. „Rein vernünftig betrachtet wissen wir, dass unser Finger nicht wirklich kürzer ist, dennoch bleibt die Illusion bestehen“, wie Ekroll den Umstand in einer Aussendung beschreibt. Das verdeutliche, dass unser visuelles System hinter der Illusion steckt und nicht unser bewusstes Denken.“ (Obermüller, 2016, o.S, (aus: <http://science.orf.at/stories/2767221> 1.11.2016)

### Betty Mohler: Illusion von Größenkonstanz bei dominanter Hand

Zugleich gibt es Konstruktionsleistungen unserer Wahrnehmung, die auch unter widrigen Bedingungen versuchen, optische Verzerrungen der Hand zu kompensieren.

Unter dem Titel „**Die rechte Hand neigt zu Illusionen**“ beschreibt Robert Czepl eine Studie von Betty Mohler.<sup>694</sup>

„...Wenn Menschen ihre bevorzugte Hand unter ein Vergrößerungsglas legen, scheint sie sich nicht an die Gesetze der Optik zu halten. Das berichten Forscher in einer aktuellen Studie..

Körper als Vergleichsobjekt

Dazu benötigt man ein Lineal. Nicht notwendigerweise eines, auf dem Zenti- und Millimeter aufgedruckt sind. Im Grunde eignet sich jeder Gegenstand mit fixer Größe dafür. Dass wir etwa Körperteile seit Urzeiten zum Größenvergleich einsetzen, ist Anthropologen schon lange bekannt. Mohler hat nun allerdings nachgewiesen, dass diese Praxis Spuren in unserer Wahrnehmung hinterlässt - bzw. hinterlassen hat.

Sie bat Probanden sich vor einen Tisch zu stellen, auf dem ein flaches Vergrößerungsglas montiert war, und wies sie an, die Vergrößerung der darauf befindlichen Gegenstände anzugeben. Stifte und andere Bürogegenstände lagen dort, später mussten die Probanden auch die eigenen Hände und Füße unter der Lupe zu betrachten.

Wie die US-amerikanische Wissenschaftlerin im Fachblatt "Psychological Science" schreibt, waren die Probanden recht gut beim Abschätzen der Größenverzerrung. Nur bei der rechten Hand versagten sie - hier behaupteten sie regelmäßig, die Vergrößerung sei geringer.

Und zwar wider besseres Wissen: Dass alle Gegenstände unter dem gleichen Vergrößerungsglas gleich verzerrt sein müssten, war ihnen bewusst. Dennoch ließ sich die Effekt nicht aus der Wahrnehmung tilgen. Für Mogler (Ö>Sic!) ist dieses Ergebnis ein Hinweis darauf, dass wir vor allem unsere dominante

---

<sup>694</sup> Auch hier wird ein Auszug der Passage übernommen

Hand als fixe Bezugsgröße einsetzen. "Die rechte Hand ist etwas Besonderes. Ich habe den Test ausprobiert und die Illusion selbst erlebt."

Nun will sie herausfinden, ob der Effekt bei Menschen stärker ausgeprägt ist, die ihre Hände häufig benutzen. Arbeiter wären bevorzugte Kandidaten für weitere Untersuchungen." (Czepele, 2014, o.S., science.ORF.at)

Ich interpretiere trotz der Illusion des schrumpfenden Fingers diese relative Resistenz gegen Verzerrungen der dominanten Hand als mögliches Indiz dafür, dass hier besonders starke visuokognitive Konstanz-Mechanismen der Form und Größenstabilisierung wirksam sind. (Das könnte auch mit sensomotorischer Rückkopplung verbunden sein)

Das würde diese Konstanz-Illusion der Hand eher zu einem „ent-täuschenden“ kompensierenden Mechanismus zur Aufrechterhalten der stabilen Referenzgröße der Hand (im Gesichtsfeld) machen. Wobei noch zur Debatte steht, ob hier nicht evolutionär ältere Mechanismen bzw. Hirnareale beim besonders bedeutsamen Objekt der dominanten Hand die optische Wirkung des Einflusses von Linsen „overrulen“. Ohne Möglichkeit eines Beweises wird hier eine Tendenz oder ein Potential des visuokognitiven Systems unterstellt, den eigenen Körper möglichst als stabile Größe wahrzunehmen, wenn man so will als Invariante, die auch zu egozentrisch orientierten räumlichen Strukturierung des Gesichtsfeldes beiträgt.

Unter Mitwirkung von Betty Mohler laufen am Max-Planck-Institut für biologische Kybernetik in Tübingen weitere Studienprojekte, die für die Frage der **Raumwahrnehmung in virtuellen Welten** wichtigen Input bieten und andeuten, dass auch in diesem Bereich sichtbare Teile des Körpers als Referenzgrößen herangezogen werden.

**“Visual body influences perception:** Seeing a virtual avatar in the virtual environment influences egocentric distance estimates. If this avatar is a self-animated avatar, egocentric distances are even more influenced (Mohler, Presence, 2010). Eye-height influences egocentric space and dimension estimates in virtual environments (Leyrer, APGV 2011). Seeing a virtual character (self or other) impacts subsequent performance of common tasks in virtual environments (McManus, supervised by Mohler, APGV 2011). The size of visual body parts (hands/arm length) influences size and distance estimates in virtual worlds (Linkenauger, ECVF and VSS 2011). These results taken together argue that the body plays a central role in the perception of our surrounding environment.” (Mohler, o.J.)

Eine unter Beteiligung von Mohler erstellte Studie betont schon im Abstract die hier zur Debatte stehende Rolle des Körpers als Referenzgröße.

“The notion of body-based scaling suggests that our body and its action capabilities are used to scale the spatial layout of the environment. Here we present four studies supporting this perspective by showing that the hand acts as a metric which individuals use to scale the ...” (Linkenauger et al., 2013, Abstract)

### 21.21.1 Rückkopplung des Beispiels Mondillusion auf Strukturenrealismus und Poincaré

Die oben beschriebenen Phänomene passen gut in das Milieu von Poincares folgenden Überlegungen.

„Wenn wir die Welt in einem jener kompliziert gestalteten Spiegel betrachten, welche die Gegenstände verzerren, so bleiben dabei doch die gegenseitigen Verhältnisse der einzelnen Teile dieser Welt unverändert; wenn sich zwei wirkliche Gegenstände berühren, so scheinen sich auch ihre Spiegelbilder zu berühren. Bei dem Blick in einen solchen Spiegel bemerken wir die Deformation sofort, aber nur

deshalb, weil die wirkliche Welt neben dem verzerrten Spiegelbilde steht; und selbst wenn uns diese wirkliche Welt verdeckt wäre, so gibt es immer etwas, das man nicht verdecken kann, das sind wir selbst; wir hören nicht auf, unseren Körper und unsere Glieder zu sehen oder wenigstens zu fühlen, und diese sind nicht deformiert, und dienen uns andauernd als Meßinstrumente. Stellen wir uns dagegen vor, daß unser Körper in derselben Weise deformiert werde wie wir ihn im Spiegel sehen, so würden auch diese Meßinstrumente versagen und die Deformation könnte nicht festgestellt werden.“ (Poincaré, 1914, S. 85)

Will man nun die dennoch weit hergeholt erscheinenden Aspekte der Mondtäuschung und der Handillusionen unter einen gemeinsamen Nenner bringen, der eine präzisere themengemäße Verbindung zu Poincarés Erkenntnistheorie legitimiert, dann findet man eine solche über den Begriff der Invarianz. Und zwar nicht nur jener von festen Körpern, sondern in der durch Messung verifizierbaren Beständigkeit von Relationen, welche explizit formulierte oder unbewusst unterstellte Vorannahmen bzw. Hypothesen durch Beobachtung und Messen nachvollziehbar machen.

#### 21.21.2 Metrologischer Strukturenrealismus nach Ehmann / Kaila

Alexander Ehmann (2014) stellt unter der Bezeichnung eines Metrologischen Strukturenrealismus ein von ihm erweitertes Konzept von Eino Kailas vor. Es geht dabei um „Die Idee, das Konzept der Messung als invarianzkonstituierendes Moment in der wissenschaftlichen Theorienbildung zu begreifen... Es soll gezeigt werden, dass Invarianz, Struktur und Messung fast untrennbar miteinander verknüpft sind.“ (Ehmann, 2014, S. 3)

Vorausgesetzt wird:

Es gibt „...bei Kaila ein hierarchisches System von Realitätsebenen, die entsprechend dem Grad der Invarianz, mit dem sie einhergehen, geordnet sind. Kaila unterscheidet dabei drei Ebenen:19

- Level 3: s-objects / physico-scientific objects (physikalische Gegenstände)
- Level 2: f-objects / physical objects (physische Gegenstände)
- Level 1:  $\phi$ -objects / phenomenal objects

Die Gegenstände der phänomenalen Wahrnehmung, die so genannten  $\phi$ -objects, befinden sich in dieser Darstellung auf der untersten Ebene..... Dennoch bilden sie die epistemologische Basis des Kailaschen Konstitutionssystems: sie sind zwar in hohem Maße subjektiv, im selben Moment aber auch gerade das, was uns direkt zugänglich ist.“ (Ehmann, 2014, S. 11)

„Von besonderer Bedeutung ist für uns allerdings, dass, aus Kailas Sicht, Gleichungen und Theorien nicht bloß adäquate und ökonomische Beschreibungen der durch Messungen gewonnenen Daten sind, sondern auch und vor allem invariante Beschreibungen der Relationen dieser Daten zueinander. Gerade hierdurch zeichnen sich generalisierte, insbesondere aber auch mathematisierte Theorien aus.“ (Ehmann, 2014, S. 18)

„Als verbindendes Element zwischen der Ontologischen und der Epistemologischen Forderung besteht die Rolle der Messung und ihrer invarianzkonstituierenden Funktion vor allem darin, den Übergang vom subjektiv Erfahrbaren zum objektiv Realen im Kailaschen Sinne zu ermöglichen. Die Messung als objektivierende Methode erfüllt dabei gleich zwei Funktionen: Sie kann einerseits theoriekonstituierend wirksam werden, indem sie die notwendigen Messdaten liefert, die im nächsten Schritt auf dem Weg zur Theorie den Prozess der Generalisierung durchlaufen. Sie kann andererseits theorieüberprüfend wirksam werden, indem sie die aus einer generalisierten und mathematisierten Theorie abgeleiteten Aussagen mit der Wirklichkeit im Sinne der Welt der f-objects – beispielsweise dem Zeiger eines Messgeräts – vergleichbar macht.“ (Ehmann, 2014, S. 34)

Es kann hier nicht darum gehen, die Schlüssigkeit dieses Konzepts und eine spezifisch erweiterte Tragfähigkeit im Vergleich zu einem ontologischen oder epistemischen Strukturenrealismus zu untersuchen bzw. zu verifizieren.

Gemäß oben genannter Zielsetzung geht es nur darum, mit Hilfe dieses Konzepts zu versuchen, eine Brücke von der Mondtäuschung zu Poincaré zu schlagen.

Poincaré macht die der Kompensation der Formveränderung fester Körper im Rahmen des Schauspiels der Perspektiven zu einem der Fundamente von Geometrie. Durch das Einbeziehen visueller Wahrnehmung kommen damit sowohl subjektive wahrnehmungspsychologische Faktoren als auch solche projektiver Abbildung samt deren Ambivalenzen als Variablen ins Spiel. Soll in diesem Milieu variabler Faktoren der feste Körper, der ja als Invariante unterstellt wird, als solche verifiziert werden, dann geht es darum, möglichst weitgehend auch die begleitenden Faktoren, die seine Erscheinung beeinflussen, in eine Ordnung zu bringen, die eine Kompensation der Wirkung dieser Faktoren ermöglichen. Es geht also darum, auch in den Komponenten der Wahrnehmung bzw. des Messsystems möglichst beständige Relationen zu finden, um so die Formveränderung des festen Körpers kalkulierbar zu machen.

Schließt man historisch relativ junge Mess- und Erkundungstechniken aus, dann kommt im Rahmen eines visuellen Fernsinns aber gerade am Beispiel des Mondes zum Tragen, dass dessen Bestimmung als fester Körper auf einer zunächst gar nicht so selbstverständlich gültigen Hypothese beruht, zu deren Untermauerung ein ziemlich komplexes astronomisches Modelle die unmittelbare Beobachtung des Formwandels erst als regelmäßige Mondphasen interpretieren muss. Kommen dazu noch Effekte wie ein so genannter Supermond und die Mondillusion, welche die augenscheinlichen Größenverhältnisse im Blickfeld markant verändern, dann wäre das aus naiver Sicht ein Grund, an der stabilen Größe des Mondes zu zweifeln. Das betrifft aber einen zentralen Punkt in Poincarés Fundamenten der Geometrie, nämlich die notwendige Unterscheidung eines Formenwandels aufgrund einer Veränderung des Zustands oder aufgrund eines bewegungsbedingten Formwechsels der Erscheinung. Unter diesen Prämissen ist bei Beobachtung mit freiem Auge schon viel gewonnen, wenn mit Hilfe eines Anvisierens über den Daumen eine einigermaßen plausible Stabilität der Größe nicht nur abstrakt erschlossen, sondern auch konkret beobachtet werden kann. Wenn gemäß Kaila Invarianz als „the defining feature of reality“ (Ehmann, 2014, S. 9) gilt, dann wird der hier als Beispiel beschriebene Mond allein schon durch die in Relation zur Hand stabilisierte Größe seiner Erscheinung nach der oben angegebenen Realitätshierarchie zu einem Objekt auf einer höheren Realitätsstufe auf dem im Rahmen eines metrologischen Strukturalismus erkenntnistheoretisch relevantem Weg von „phenomenal“ zu „physico-scientific objects“.

Wegen der Art, wie Poincaré die Bedeutung von Relationen und des Messens betont und dabei auch den eigenen Körper als Referenzsystem geltend macht<sup>695</sup>, wird dieses Konzept von Ehmann hier als nützlich erscheinender Aspekt zu Illustration von Poincarés Ansatz betrachtet.

---

<sup>695</sup> Cf. Poincaré, 1914, S. 85, Poincaré, 1914, S. 87, Wiss.- Method: Kapitel „Die Relativität des Raumes“. Cf.: „Unser Körper war unser erstes Meßwerkzeug;...“ (Poincaré, 1913, S. 38)

## 21.22 Boltzmann - Poincaré

Lettre Poincaré à Saint-Arroman, 1899-12-31 <sup>696</sup>

Cher Monsieur,

Monsieur Boltzmann, Professeur à l'Université de Vienne, désire qu'on lui envoie un exemplaire de mon rapport sur la décimalisation de l'heure.<sup>1</sup> Pouvez-vous lui faire cet envoi.<sup>2</sup>

Votre bien dévoué,

Poincaré

## 22 GLOSSAR

Mache Ausdrücke werden nach dem spezifischen Gebrauch in dieser Arbeit frei beschrieben, bei vielen anderen werden nur stark gekürzte generelle Worterklärungen aus diversen online-Lexika einschließlich Wikipedia herangezogen. Ebenso wurde eine Reihe von Glossareinträgen aus jener Fachliteratur übernommen, die im Zuge der Einarbeitung in die jeweiligen Themenbereiche zu Rate gezogen wurde.

Viele Begriffe werden in situ definiert oder es ergibt sich ihre Bedeutung aus den Zitaten im Text. Im Glossar werden manche der schon im Kontext der Arbeit erläuterten Ausdrücke noch einmal angeführt, wenn sie auch an anderen Stellen der Arbeit wiederholt verwendet werden.

**Affinität:** Der Ausdruck wird hier nicht im Sinn einer geometrischen Definition verwendet, sondern soll nur eine Ähnlichkeit, ein angenommenes Nahverhältnis oder eine nicht genau definierbare Korrelation umschreiben. So werden z.B. manche Funktionen visueller Areale, wie z.B. der dorsale und ventrale Pfad, oder Leistungsbereiche von Core- Knowledges einem als „geometrieaffin“ umschriebenen Milieu neurophysiologischer Strukturen zugeordnet. Ebenso wird von „wahrnehmungsaffinen“ Fundamenten von Geometrie gesprochen.

**Agnosie:** „Als Agnosie bezeichnet man eine neuropsychologische Störung in Folge zerebraler uni- oder bilateraler kortikaler bzw. subkortikaler Läsion mit Beeinträchtigung der zentralen Sinnesverarbeitung. Diese bedingt den Verlust der Interpretationsfähigkeit wahrgenommener Informationen verschiedener Sinnesmodalitäten bei erhaltener Funktion der perzeptiven Organe (Sinnesorgane, Rezeptoren) und peripheren Reizleitung (Nerven).“ (<https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Agnosie> 24.6.2019)

**Aktionspotential:** „Pulsartige, Alles-oder-Nichts.- Veränderung des elektrischen Potentials über der Nervenmembran mit einer Amplitude von ca. 100mV und einer Auer von 0,5 – 1 ms. Aktionspotentiale oder Spikes ...sind die Hauptwerkzeuge für eine rasche Weiterleitung spezifischer Informationen zwischen Neuronen und von Neuronen zu Muskelzellen.“ (Koch, 2005, S. 363)

Neuronale Reizleitung mit Aktionspotentialen, die durch das Entweder-oder Prinzip zu einer Digitalisierung der Reizleitung führen (c.f. Glossar:> Transformation) haben einen bemerkenswert ambivalenten Einfluss auf das Generieren von Information, weil gemäß dem Prinzip des Schwellenwerts schon auf struktureller Ebene „entschieden“ wird, welche Stimuli weiterer verarbeitet oder unterdrückt werden, weil sie über einer gewissen Intensität jedenfalls als relevante „signs“ für die „ongoing existence“ gelten (cf. Weber). Besonders bemerkenswert ist aber auch das Phänomen der Reizsummation, weil dabei auch noch im unterschwelligen Bereich gewissermaßen gezielt nach Stimuli „gesucht“ wird, die auf Grund

<sup>696</sup> Eintrag in den Archives Poincaré/ Nancy : La correspondance d'Henri Poincaré (<http://henripoincare.fr/s/correspondance/item/8107#?c=&m=&s=&cv=2.6.2019>)

besonderer Merkmale dennoch Bedeutung haben können, obwohl sie zunächst systemspezifisch als unterschwellig gelten. Wenn das dabei zur Geltung kommende Potential der „Summation“ die zeitliche und/oder räumliche Nähe sowie Häufigkeit als Kriterien wirksam werden lässt, dann betrifft dies die in dieser Arbeit angesprochene Rolle von Koinzidenz mit dem Aspekt der Kausalattribution (cf. Glossar) auf Basis von cum hoc- propter hoc und führt zugleich zu der für die Überlegungen von Cassirer und Poincaré relevanten Konstruktion von „Invarianten“.

**Albinismus:** Die mit Pigmentierungsdefiziten verbundene Symptomatik wird im Zusammenhang dieser Arbeit in Form des okulären Albinismus als illustrierendes Indiz dafür geltend gemacht, welche hohe Bedeutung Pigmente und opakes Material nicht nur als Schutz vor Strahlung, sondern auch für eine kontrollierbare Sensibilität für Licht und scharf abbildendes Sehen haben.

„Bei vorliegendem okulären Albinismus fehlen der Iris und der Netzhaut Pigmente, sogenannte Melanine, welche normalerweise eine Überstrahlung durch zu hohe Lichtintensität verhindern und einen Schutz gegen das Bilden von Krebszellen gewährleisten.... Da die schützenden Farbpigmente in der Iris und der Netzhaut fehlen und eine starke Lichteinwirkung die Folge ist, tritt bei Betroffenen ein starkes Augenzittern (Nystagmus) auf. Mit diesem Effekt versucht das Auge der Überstrahlung der lichtempfindlichen Netzhaut und der damit einhergehenden erhöhten Blendempfindlichkeit entgegen zu wirken.“ (OptAk GmbH, Forchheim: <https://www.optik-akademie.com/deu/info-portal/augenoptik/augenerkrankungen/okulrer-albinismus.html> 13.8.2019)

**Ambiguität, Ambivalenz:** Ohne präzise Definition werden diese Ausdrücke hier vor allem für die Mehrdeutigkeit visueller Reizkonstellationen und bisweilen alternierend gegensätzlichen Deutungsversuchen verwendet. Das betrifft zum Beispiel die wiederholt thematisierte projektive Ambivalenz/Ambiguität von unterschiedlich geformten Objekten, deren Projektion ein formidantes Bild auf der Netzhaut ergibt. Ebenso für eine Reihe optischer Täuschungen, die als bistabile Perzepte verarbeitet werden, z.B. Necker-Würfel oder Rubin-Vase.

**Annahmenbeladenheit der Wahrnehmung:** Cf. Theoriebeladenheit

**Archaeobakterien:** „Archaea sind einzellige Organismen, die nicht wie eukaryotische Zellen einen Zellkern mit Kernmembran haben, sondern wie auch die Bacteria in sich geschlossene DNA-Moleküle (zirkuläre Chromosomen[4]), die im Zellplasma als Kernäquivalent ohne Hülle vorliegen. Archaeen und Bakterien werden daher auch Prokaryoten genannt.“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Archaeen> 24.6.2019)

**Augmented Perception :** In Anlehnung an aktuelle technische Systeme von Augmented Reality soll das Stichwort zum Ausdruck bringen, dass auch die „natürliche“ Wahrnehmung ein top-down mit bereits bestehendem Wissen angereichertes, theoriebeladenes Konstrukt bildet, das keine authentische Abbildung der externen Realität ist, sondern bereits mit Hilfe und innerhalb jener Rahmen konstituiert wird, die wir laut Poincaré der Natur aufdrängen. (Poincaré, 2013b, S. 9).

**Autostereoskopische Displays:** Displays, bei denen mittels unterschiedlicher Technologien (Prismenraster, Linsenraster oder Parallaxbarrieren) den beiden Augen entsprechend unterschiedliche Bilder angeboten werden. Damit wird ein stereoskopisch räumlicher Bildeindruck möglich, ohne dass der Betrachter z.B. Polarisations- oder Anaglyphenbrillen tragen muss.

**Bedeutungszuweisung:** Der Ausdruck soll einen hier spekulativ in Ansatz gebrachten Komplex umschreiben, der im Rahmen autopoietisch konstruktiver Prozesse nahelegen will, dass und wie autonome, aber nicht autarke Organismen externe Stimuli bzw. Perturbationen zu

bedeutsamen Zeichen machen. Dies folgt Webers Aspekt des „sense making“: “A perturbation becomes a sign through its meaning for the ongoing existence of the organism.” (Weber, 2002, S. 24)

**Bindung:** Cf. Parallelverarbeitung

„Das Bindungsproblem stellt bis heute das wohl größte ungelöste Problem aller mit den Hirnfunktionen beschäftigten Wissenschaften dar. Darunter versteht man, stark vereinfacht, die Fähigkeit des Gehirns, aus der überwiegend parallelen Verarbeitung sensorischer Daten, ohne Vorhandensein eines alles koordinierenden Gehirnteiles zu einer einheitlichen Vorstellung zu gelangen. Anders ausgedrückt geht es dabei um die Frage, "wie die Informationen zusammengefasst werden, die in den neuronalen Prozessen im Cortex verteilt sind, um schließlich die Einheit der Wahrnehmung zu erreichen, zum Beispiel das Sehen eines kohärenten Gegenstandes." (Goldstein 2002, S. 141) Hinter dem Bindungsproblem, so wird vermutet, stehen aber letzten Endes mehrere verschiedene Bindungssysteme, die dafür sorgen, dass die zahlreichen, im Cortex getrennten Signale am Ende zur Wahrnehmung eines bedeutungshaltigen Gegenstandes oder Ereignisses wird. Drei Antworten auf das Bindungsproblem sollen hier dargestellt werden: Das klassische Konzept der Einzellenkodierung / Das konnektionistische Modell der Populationscodierung / Das Modell der Merkmalsintegration durch Aufmerksamkeit“ (Egle, o.J., o.S. [http://teachsam.de/psy/psy\\_wahrn/psy\\_wahrn\\_3\\_6.htm](http://teachsam.de/psy/psy_wahrn/psy_wahrn_3_6.htm) 26.6.2019)

**Binocular:** „Binokularansatz, der mittels Strahlenteilers zwei Okulare in verstellbarem Augenabstand an einem einzelnen Teleskop bedient.“ (Klaus-Peter Schröder <https://www.spektrum.de/wissen/mit-einem-binokular-ansatz-den-himmel-neu-entdecken/1304789> 13.5.2019)

**Binokulare Disparität:** „Die relative Unterschiedlichkeit der Bilder eines Objekts in den beiden Augen. Mithilfe dieser Disparität lässt sich der Abstand dieses Objekts zum Kopf – seine Tiefe- bestimmen.“ (Koch, 2005, S. 365)

**Binokulare Neuronen:** „Visuelle Neuronen, die von einer Input des einen wie des anderen Auges aktiviert werden können. Solche Neuronen treten erstmals im primären visuellen Cortex auf... Monokulare Neuronen reagieren nur auf den Input von einem Auge.“ (Koch, 2005, S. 365)

**Binokulärer Wettbewerb / Binocular Rivalry:** „Ein Beispiel für einen perzeptuellen Reiz, bei dem ein Bild ins linke Auge projiziert wird und ein anderes an die entsprechende Stelle im rechten Auge. Diese Reize werden nicht verschmolzen, sondern abwechselnd wahrgenommen. Dies liefert eine lebhaftere Illustration der *winner-take-all*-Dynamik von Neuronenkoalitionen, wobei eine konkurrierende Wahrnehmung völlig unterdrückt wird.“ (Koch, 2005, S. 365)

**Bistabile Perzepte:** „Multistabile Wahrnehmung, Gestaltwechsel, oder Wahrnehmungswechsel charakterisiert ein im Alltag seltenes Phänomen spontan wechselnder Interpretationen eines Perzeptes. Systematisch produzierte, Gestaltwechsel induzierende Stimuli nennt man Kippfiguren.... Unvorhersagbare und willentlich nicht vermeidbare „Wechsel“ der Wahrnehmung treten vor allem beim Betrachten visueller Illusionen auf, die mehr als eine Art von Reizinterpretation zulassen (sogenannte Kippfiguren, engl. Fachbegriff: *ambiguous patterns*). Bekannte Beispiele sind u. a. der Necker-Würfel und einige Bilder von M. C. Escher und Salvador Dalí.“ ([https://de.wikipedia.org/wiki/Multistabile Wahrnehmung](https://de.wikipedia.org/wiki/Multistabile_Wahrnehmung) 24.6.2019)

**biogenic approach to cognition:** “The biogenic approach to cognition is introduced not as a solution but as a means of approaching the issues. The traditional, and still predominant, methodological stance in cognitive inquiry is what I call the anthropogenic approach: assume human cognition as the paradigm and work 'down' to a more general explanatory concept. The biogenic approach, on the other hand, starts with the facts of biology as the basis for theorizing and works 'up' to the human case by asking psychological questions as if they were biological questions. Biogenic explanations of cognition are currently clustered around two main frameworks for understanding biology: self-organizing complex systems and autopoiesis.” (Lyon, 2005, Abstract)

**Biosemiotic coupling.** „ A sign is something that refers to something else. Signs, whether of natural or cultural origin, act by provoking a receptive system, human or nonhuman, to form an interpretant (a movement or a brain activity) that somehow relates the system to this “something else.” Semiotics sees meaning as connected to the formation of interpretants. In a biosemiotic understanding living systems are basically engaged in semiotic interactions, that is, interpretative processes, and organic evolution exhibits an inherent tendency toward an increase in semiotic freedom. Mammals generally are equipped with more semiotic freedom than are their reptilian ancestor species, and fishes are more semiotically sophisticated than are invertebrates. The evolutionary trend toward the production of life forms with an increasing interpretative capacity or semiotic freedom implies that the production of meaning has become an essential survival parameter in later stages of evolution.“ (Hoffmeyer, 2010, Abstract)

„Die Biosemiotik geht ursprünglich auf die Idee des estländischen Forschers Jakob von Uexküll...zurück, dass Organismen ihre „Umwelt“ durch die körperlichen Bedingungen ihrer Wahrnehmung, ihren „Bauplan“ konstruieren. Lebewesen erfahren somit Welt nicht als Information, sondern in Form von Bedeutungen vor dem Hintergrund dieses Bauplans. Sie sind „Subjekte“, die ihre Wirklichkeit konstruieren. Uexküll –der sich als empirischer Vollender von Immanuel Kants transzendentelem Konstruktivismus verstand- hatte damit einen „Enaktivismus“ avant la lettre geschrieben. Überlegungen aus der Entwicklungsbiologie begünstigen diese neue Sicht. Sie zeigen, dass die DNA Strukturen nicht instruiert, sondern dass Strukturen und Gene einander in einem zellulären Prozess gegenseitig interpretieren, sodass ein Gen je nach Kontext viele verschiedene Bedeutungen haben kann. Die Embryologen Marc Kirschner und John Gerhart ....sprechen in diesem Zusammenhang nicht mehr von Kausalität, sondern von einer „weak linkage“, von einer schwachen Kopplung zwischen Signal und seiner Bedeutung. Diese „schwache Kopplung“ ist nichts anderes als die „imaginäre Dimension“ Varelas, jener Interpretationsspielraum, den ein Zellgefüge hat, wenn es einen Reiz vor dem Hintergrund ihres (Ö) sic) Bedürfnisses nach Geschlossenheit bewertet.“ (Weber, 2015, S. 303 f.)

**Bottleneck Intelligenz:** Dieser Ausdruck wurde als metaphorischer Platzhalter gewählt, der ein neurokognitives Potential zur Organisation von Datenauswertung umschreiben soll. Es geht um die Lösung des elementaren Problems, dass gerade die von den visuellen Rezeptoren weitergeleitete sehr hohe Datenmenge wegen der vergleichsweise geringen Verarbeitungskapazität des Gehirns radikal reduziert werden muss und trotzdem ein zumindest viables Ausmaß relevanter an Information generieren soll. („Informationsaufnahme durch die Sinnesorgane von bis zu 10 Mbit/s (...) Informationsverarbeitungskapazität des Gehirns von 16 bit/s.“ (Zühlke, 2012, S. 19)

Der „überdurchschnittlichen Verbrauch an Sauerstoff und Stoffwechselenergie“ (Roth, 1997, S. 222) des Gehirns ist einer der Gründe für die notwendige Beschränkung des Datenvolumens.

In Anlehnung an Berthoz' Simplexité wird hier unterstellt, dass auch die phänomenale Dreidimensionalität ein gemäß diesen Rahmenbedingungen optimiertes viables quick&dirty Konstrukt ist.

**Competition:** Neural Competition spielt eine elementare Rolle bei neuronalen Prozessen und kommt zum Beispiel bei binokularer Rivalität zur Geltung. Competition wird von Koch (2006, S. 3) sogar als Paradigma bewertet. Cf.: > Winner take all

„So, you have the two images and the underlying neurons that represent them compete for attention. So, you can use this paradigm to, again, study the footprints of consciousness in the brain, in a human brain or in a monkey brain“. (Koch, 2006, S. 3)

„The biased competition theory of selective attention has been an influential neural theory of attention, motivating numerous animal and human studies of visual attention and visual representation. There is now neural evidence in favor of all three of its most basic principles: that representation in the visual



system is competitive; that both top-down and bottom-up biasing mechanisms influence the ongoing competition; and that competition is integrated across brain systems.” (Beck et al., 2009, Abstract)

Die Bindungsprobleme beim binokularen Sehen sind nach Logothetis markante Forschungsfelder bezüglich Competition. Cf. Binocular rivalry und piecemeal rivalry.

“Dichoptic stimulation offers an exquisite experimental paradigm for the study of visual awareness. First, any patterns presented dichoptically will compete for awareness.” (Logothetis, 1998. S. 1804)

**Core Knowledges/ Kernwissen:** „engl. core-knowledge (theories)], [EW, KOG], eine in den 1990er-Jahren aufgekommene Sichtweise zur kognitiven Entwicklung, basierend auf Ergebnissen der Kleinkindforschung, nach der Babys mit einem begrenzten Set an angeborenem Wissen in Kernbereichen (Domänen) wie Raum, Zeit, Zahlen, Objekte, lebende vs. nicht lebende Welt ausgestattet sind, aufgrund dessen die Kinder in aktiven Erkenntnisprozessen informelle, intuitive Theorien bilden, die ihnen das Verständnis der zentralen Domänen erleichtern, insbes. i. R. einer intuitiven Physik, intuitiven Biologie und intuitiven Ps. (theory of mind). Betont werden dabei die frühen Kompetenz der Kinder sowie die Bereichsspezifität der kogn. Entwicklung, im Kontrast zu traditionellen bereichsübergreifenden Theorien wie derjenigen von Piaget (Entwicklung, Stufentheorie nach Piaget).“ (Wilkening, O.J., o.S.)

**Cortikalisierung der Wahrnehmung:** Den von mir im Bemühen um eine weitere Differenzierung des Begriffs Enzephalisation benutzen Ausdruck habe ich bei Nachrecherchen auch bei Herculano-Houzel (2016) gefunden. “Corticalization of motor control in humans is a consequence of brain scaling in primate evolution,...” (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25891512> 15.5.2019))

**Disambiguation:** Auflösung von Mehrdeutigkeit. Der in englischen Texten verwendete Ausdruck disambiguation wird hier als Fachbegriff nicht übersetzt, sondern wie ein Fremdwort (f) verwendet. (vgl. Ambiguität)

**Diskretisierung des Ambientes:** Wenn man Poincaré folgend davon ausgeht, dass schon das Objekt eine Hilfsbezeichnung ist für ein „irgend Etwas...und diese wirklichen Objekte wird die Natur uns ewig verbergen °;...“ (Poincaré, 1906, S. 162), dann kann auch keine valide Aussage über eine externe Realität gemacht werden. Zugleich scheint unsere Wahrnehmung einen kontinuierlichen Strom von Stimuli, Reizen bzw. Perturbationen aufzunehmen. Gemäß Poincarés „...notre besoin de penser avec des images“ und Ladymans (2014, o.S.) „objects are pragmatic devices used by agents to orient themselves in regions of spacetime, and to construct approximate representations of the world.“ wird mit der Metapher “Diskretisierung des Ambientes” unterstellt, dass ein beträchtlicher Teil unserer visuellen Verarbeitung darauf ausgerichtet ist, ein als mehr oder weniger „noisy“ (Cf. Urakawa et al., 2014) zu charakterisierendes Ambiente durch Konstruktion möglichst eindeutiger Objekte zu strukturieren. Wenn man sie mutatis mutandis so bezeichnen darf, durch eine Art von (finiten?) Elementen, deren Form und Eigenschaften einigermaßen bestimmbar sind und deren wechselweisen Beziehungen in einem Rahmen überschaubarer Relationen beschreibbar und so viabel erkennbar werden.

Ausgangspunkt für diese Wortwahl ist das lateinische Verbum „discernere“ im Sinn von trennen bzw. unterscheiden. Bereits im Wort „cernere“ (unterscheiden, absondern, wahrnehmen, sehen, erkennen) ist die Verbundenheit von Wahrnehmen, Erkennen und Unterscheiden enthalten.

Markl macht bei seinen Ausführungen über evolutionäre Aspekte von Wahrnehmung und Erkenntnisfähigkeit das Unterscheiden und Ablösen vom Hintergrund als essentielle Voraussetzungen geltend. „Detektion und Diskrimination vom Hintergrund- eine extrem wichtige

Leistung zur Erfassung strukturierter Wirklichkeit; auf die Unterscheidung kommt es dabei vor allem an: keine Erkennung ohne Unterscheidung...Detektion und Diskrimination sind damit die Voraussetzung für jede Identifikation eines Objekts, sei es nach angeborenem Programmwissen, das in sensorischen Rezeptionsmechanismen niedergelegt ist, oder dank früherer Erfahrung nach eingespeicherter Information.“ (Markl, 2005, S. 38)

Im Rahmen dieser Arbeit wird versucht, die Gültigkeit dieser Rahmenbedingung so weit auszudehnen, dass einerseits schon die wie auch immer verankerte Unterscheidung von Innen und Außen einfachster Lebewesen gemäß einem biogenic approach to cognition als wenn auch rudimentäre, so doch elementare Form bzw. Grundlage von Wahrnehmung und Erkennen gelten soll. Andererseits sollen das Potential und die Präferenz unserer Wahrnehmung betont werden, Objekte nicht nur zu registrieren, sondern gemäß dem hier verfolgten konstruktivistischen Ansatz mittels konstruktiver Leistungen das Ambiente durch formbestimmte Objekte zu strukturieren. Damit wird der feste Körper sowohl zu einer essentiellen Komponente unserer gemäß Verarbeitungsregeln des Betrachters spezifisch emulierten Umwelt, wie er andererseits einen Baustein von Poincarés Fundamenten der Geometrie bildet.

**Dissipative Strukturen, nichtlineare dynamische Systeme:** „Eine dissipative Struktur (engl. dissipative structure ‚zerstreuende Struktur‘) bezeichnet das Phänomen sich selbstorganisierender, dynamischer, geordneter Strukturen in nichtlinearen Systemen fern dem thermodynamischen Gleichgewicht...Bereits ab 1950 arbeitete Alan Turing an einer neuen mathematischen Theorie der Morphogenese, welche die Auswirkungen nichtlinearer chemischer Reaktions- und Diffusionsfunktionen auf spontane Strukturbildungen zeigt.[1]....Der Begriff „Dissipative Struktur“ selbst wurde 1967 vom Physikochemiker Ilya Prigogine vorgeschlagen,[5][6] der ab den 1940er Jahren an der Entwicklung der Theorie der Nichtgleichgewichtsthermodynamik beteiligt war....Basierend auf den Arbeiten Alan Turings[2] und Lars Onsagers zeigte er, dass in offenen Systemen, in welchen autokatalytische chemische Reaktionen ablaufen, in der Nähe des thermodynamischen Gleichgewichts zunächst Inhomogenitäten auftreten, die durch Diffusion oder Strömungsprozesse aufrechterhalten werden können. Bei Erreichen eines Übergangspunkts fern vom Gleichgewicht kann das System Symmetriebrüche zeigen, indem es zur Ausbildung einer stationären, geordneten dissipativen Struktur kommt.“ ([https://de.wikipedia.org/wiki/Dissipative\\_Struktur](https://de.wikipedia.org/wiki/Dissipative_Struktur) 26.6.2019)

**Dissoziation:** Mit dem Begriff Dissoziation soll hier im Sinn der Neuropsychologie zum Ausdruck gebracht werden, dass ein unter normalen Umständen als homogen erlebtes Phänomen, z.B. jenes der Raumwahrnehmung, offenbar durch unterschiedliche und zumindest teilweise voneinander unabhängig funktionierende neuronale Systeme zustande kommt. (Cf. getrennte Schwerpunkte visueller Verarbeitung in der Wo- und Was- Bahn).

Historischer Ausgangspunkt Wo-Was Bahn:

„1982 postulierten Leslie Ungerleider und Mortimer Mishkin zwei anatomisch unterschiedliche und funktionell spezialisierte kortikale Projektionssysteme zur Verarbeitung visueller Eindrücke, die im primären visuellen Kortex (Area striata, BA17, auch V1 genannt) des Okzipitallappens ihren Ursprung nehmen: ein dorsales okzipitoparietales Projektionssystem, das sich über die visuellen Assoziationsareale des Parietallappens erstreckt, und ein ventrales okzipitotemporales, das die visuellen Areale des Temporallappens einbezieht. Beide Projektionssysteme unterhalten wechselseitige Verbindungen mit einer Reihe limbischer Strukturen und dem präfrontalen Kortex, wo Information von verschiedenen Sinnesmodalitäten integriert wird.“ (Munk, H., Logothetis, N, 2012, S. 150)

**Dorsale Bahn:** „Massiver anatomischer Strom, der im primären visuellen Cortex entspringt und durch die mittlere Schläfenregion in den dorsoventralen präfrontalen Cortex projiziert. Von dort sendet er Axone in den dorsolateralen präfrontalen Cortex. Auch als vision-for- action- oder °Wo°-Bahn bezeichnet.“ (Koch, 2005, S. 376)

**Dysfunktional** (Schreibweise Schurz: disfunktional): Schurz beschreibt damit Merkmale, Organe, Verhaltensweisen usw., die nicht streng eine unmittelbar lebenserhaltende Leistung erfüllen und trotzdem im Rahmen evolutionärer Selektion nicht eliminiert wurden. Damit lässt sich im Unterschied zu Modellen von Parsimonie die Möglichkeit größerer evolutionärer Freiräume untermauern. Das wird im Kontext dieser Arbeit auch bezüglich der Enzephalisation und emergenter kognitiver Potentiale geltend gemacht.

**Effferenzkopie:** Bezeichnet ein neuronales Geschehen, das Roth so beschreibt: „Überdies wird im Gehirn vor jeder Bewegung ein Bild derjenigen Rückmeldungen der Muskeln entworfen, die bei der Ausführung der Bewegung zu erwarten ist, und dieses Erwartungsbild wird dann mit den Rückmeldungen über die tatsächlich abgelaufenen Bewegungen verglichen. Diese sensomotorische Rückkopplungs-Schleife ist wichtig, damit die mit der Körper – und Bewegungssteuerung befassten Zentren der Großhirnrinde feststellen können: „Alles wie geplant ausgeführt!“ Erst dadurch nämlich wird der bewegte Körper zu meinem Körper...“ (Roth, 2009, S. 44 f.) (Cf. Reafferenzprinzip)

**egozentrisch /allozentrisch:** „Der Begriff allozentrisch (°zentriert in etwas anderem...°) bezeichnet in der Wahrnehmungspsychologie die Orientierung bzw. das sich Äußern °in einem objektiven (Welt-) Referenzrahmen°. Der Gegensatz dazu ist egozentrisch bzw. idiozentrisch. Neurobiologisch scheint es Karten (°Referenzsysteme°) im Hirn zu geben, die entweder egocentric oder allocentric sind, sich also entweder auf das eigene Ich bzw. auf den eigenen Körperstandpunkt beziehen, oder aber eben in einem °äußeren° Raum fixiert sind (°objektive Referenzsysteme°).“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Allozentrisch> 26.6.2019)

**Embodiment:** Ohne diesbezügliche Konzepte definieren zu wollen drängt sich das Stichwort u.a. auf Grund folgenden Statements von Poincaré auf: „Wir könnten also den Raum ohne Anwendung eines Meßinstrumentes nicht konstruieren; dies Instrument nun, auf das wir alles beziehen und dessen wir uns instinktiv bedienen, ist unser eigener Körper. Nur in bezug auf unseren Körper beurteilen wir die Lage der Gegenstände außer uns, und die einzigen räumlichen Beziehungen dieser Gegenstände, die wir uns vorstellen können, sind ihre Beziehungen zu unserem Körper. Der letztere dient uns sozusagen als System von Koordinatenachsen. (Poincaré, 1914, S. 87, Wiss. Method: Kapitel „Die Relativität des Raumes“)

Wenn man die auf die eigenen Körperachsen bezogene Konstruktion des Raumes bei Poincaré und die z.B. auch bei Bechterew als essentiell verankerte Rolle der Integration der (mehr oder weniger bewussten) Bewegung des eigenen Körpers in Wahrnehmungs- und Vorstellungprozesse aus aktueller kognitionswissenschaftlicher Perspektive betrachtet, dann kommen auch Embodiment- Konzepte ins Spiel. Man könnte die Spekulation sogar so weit treiben, das in dieser Arbeit als Konstrukt in Ansatz gebrachte „Objekt“ samt seiner durch Bedeutungszuweisung mit ihm verbundene Konnotationen als ein in die externe Realität projiziertes „pragmatical device“ (cf. Ladyman) zur Unterstützung bzw. Organisation unserer kognitiven Prozesse zu betrachten. Diese Spekulation wird aber hier nicht weiter verfolgt, weil sie vermutlich allzu weit ausufern würde. (Siehe auch > Enaktivismus)

**Emulation:** Hier verwendet im Sinn von Berthoz: „Notre cerveau émulateur fait donc des hypothèses. Mais il ne fait pas que simuler la réalité, il émule un monde possible. Par exemple, il suppose que les objets sont rigides ou il transforme le monde perçu pour le rendre aussi symétrique que possible, e cela au prix de déformations (perceptives) de la réalité physique. » (Berthoz, 2009, S. 77)

**Enaktivismus:** „Enaktivismus ist ein theoretischer Ansatz innerhalb der Kognitionswissenschaften. Er basiert auf der Vorstellung, dass Kognition sich aus der Interaktion von Lebewesen mit ihrer Umwelt entwickelt. Dabei ist zentral, dass das Lebewesen als complete agent körperlich mit der Umwelt interagiert (Embodiment; embodied und situated cognition). Der enaktivistische Ansatz überschneidet sich weitgehend mit dem der Embodied Cognitive Science. Der Enaktivismus kritisiert ältere Ansätze der Kognitionswissenschaften, die Geist (Mind) auf mentale Repräsentationen zurückführen wollen, und

verstehet sich als Alternative zu Kognitivismus, Computationalismus und Dualismus. Der Begriff geht zurück auf das Buch *Der Baum der Erkenntnis* von Humberto Maturana und Francisco Varela.[1]“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Enaktivismus>, 9.5.2019)

**Entkopplung von der externen Realität:** Zur Distanzierung von einem naiven Realismus hier als Sammelbegriff verwendet, der vor allem bezüglich Wahrnehmung und visuokognitiver Prozesse zum Ausdruck bringen soll, dass keine direkt abbildendes Verhältnis besteht, sondern dass gemäß dem hier unterstellten autopoietisch orientierten Rahmen die externe Realität als systemspezifisch modellierte Umwelt konstruiert wird.

**Enzephalisation:** Auf die Enzephalisation der Wahrnehmung (Oeser) wird im Zuge dieser Arbeit wiederholt verwiesen, um die Hypothese zu stützen, dass Orientierung und Objektwahrnehmung auf Basis eines visuellen Systems ein starker Faktor der Evolution sowohl eines hochkomplexen neuronalen Netzwerks als auch entsprechender kognitiver Potentiale sind.

„Als Zerebralisation (auch: Cerebralisation oder Encephalisation) bezeichnet man die evolutionäre Herausbildung einer Konzentration von Nervenzellen, aus der sich im Verlauf der Stammesgeschichte mehrfach und unabhängig voneinander ein zentrales Koordinationsorgan – ein Gehirn – bildete. Ein Sonderfall des Geschehens ist die evolutionäre Entwicklung der Großhirnrinde beim Menschen, die Kortikalisierung.“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Zerebralisation> 26.6.2019)

„Damit ist die durch empirische Befunde (endokraniale Ausgüsse von fossilen Hominidenschädeln) gut belegte Tatsache gemeint, dass sich im Laufe der Hominidenevolution die Informationsverarbeitung von der Peripherie (Sinnesorgane) immer mehr ins Zentrum des Nervensystems (Gehirn) verlagert,...“ (Oeser, 1988, S. 38)

**Erziehung der Sinne:** Eine von Poincaré wortwörtlich so verwendete Formulierung: „Ein Wesen, welches in einer solchen Welt die Erziehung seiner Sinne bewerkstelligt, würde ohne Zweifel dem vollständigen Gesichts-Raume vier Dimensionen beilegen.“ (Poincaré, 1906, S. 56). Auch Johannes Müller\* spricht in seiner Distanzierung von Steinbuch und dessen Überlegungen zur Entstehung der Raumwahrnehmung von der „Erziehung des Gesichtssinns“ (Müller\*, 1826, S. 52 f.)

**Forward Modell:** “In a forward model, any intended action is stored together with a variety of sensory inputs and appropriate motor commands, which in turn are associated with the corresponding efference copy signals to predict the sensory effects of the intended action” (Sänger et al. 2011, S. 655) (Cf. Viktor Müller°: Interactive Brains)

**Gegenverrechnung:** Cf. Kompensation) Dieser Ausdruck wird hier als umschreibende Metapher für unbewusste neurokognitive Prozesse und Leistungen verwendet, wenn es z.B. um sensomotorische Rückkopplung oder um die Integration der Muskelsinne in Poincarés Modell der Kompensation geht.

**Geometrieaffin:** Wie schon beim Stichwort Affinität angegeben, soll damit nur ein nicht präzisiertes Nahverhältnis umschrieben werden. So wird z.B. Licht wegen seiner geradlinigen Ausbreitung, die mit projektiver Geometrie korrespondiert, ebenso als geometrieaffin bezeichnet wie Strukturen visueller Verarbeitung im visuellen Cortex, die auf Detektion von Linien, deren Orientierung oder auf die Größe von Winkel spezialisiert sind.

**Genetisch:** Wird hier im Sinn von Genese als Herkunft bzw. Entstehungsgeschichte verwendet.

**Gruppenaffine Strukturen:** Dient nur als andeutende Umschreibung. Es entspricht weder meinen Möglichkeiten noch der Absicht, die Relationen der Kriterien einer mathematisch definierten Gruppentheorie bezüglich der Anwendbarkeit oder Gültigkeit für neurokognitive

Strukturen und Prozesse zu bestimmen. Es geht nur darum, darauf aufmerksam zu machen, dass Cassirer diesen Aspekt verfolgt hat.

**Gyrus:** „Als Gyri cerebri, Gyri oder Hirnwindungen bezeichnet man die zwischen den Hirnfurchen (Sulci cerebri) gelegenen Vorwölbungen der Großhirnrinde, die ihr typisches Oberflächenrelief bilden.“  
([https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Gyrus\\_cerebri](https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Gyrus_cerebri) 2.7.2019)

**Habituation und Sensitivierung:** „Nicht-assoziatives Lernen bezeichnet das Lernen der Bedeutung einer einzigen Reizart (Stimulus); dabei wird zwischen der Habituation und der Sensitivierung unterschieden. Die Habituation kennzeichnet die Abnahme einer Verhaltensreaktion auf einen wiederholt dargebotenen Stimulus, welcher weder positive noch negative Konsequenzen ankündigt. Die biologische Bedeutung dieser Lernform liegt darin, jene Reize zu ignorieren die für den Organismus keine Bedeutung haben. Die Sensitivierung dagegen kennzeichnet die Zunahme der Stärke von Verhaltensreaktionen auf einen wiederholt dargebotenen Stimulus, wie z.B. einem Schmerzreiz. Ein Unterschied zur Habituation ist, dass die Sensitivierung wenig reizspezifisch ist. Wenn eine Reaktion nach wiederholter Darbietung desselben Reizes sensitiviert ist, lässt sich die sensitivierte Reaktion auch durch andere Reize auslösen; durch die Sensitivierung ist der Organismus in einen generellen Erregungszustand versetzt worden.“ (Lex, 2010, S. 18)

„Im Gegensatz zur Langzeithabituation werden bei der Langzeitsensitivierung neue Synapsen ausgebildet.“ (Ruhr-Uni Bochum, WS 2001/02, Seminarbericht)

**Haptizität, visuelle Haptik:** Neben der Raumwahrnehmung zur Orientierung im Ambiente kann die plastische Objektwahrnehmung auch auf Distanzen außerhalb der Reichweite der Arme eine „visuelle Haptik“ prüfen und in einer für die Antizipation von Greifbewegungen viabel tauglichen Form vermitteln. Dabei spielt auch die häufige Koinzidenz von optischer Transparenz und mechanischer Penetrabilität eine wichtige Rolle. (Cf. Vollmer/Campbell, cf. Themenbereich: Opazität als viabler Indikator eines Fernsinns visueller Haptik)

**Hebb'sches Lernen** (Cf. Kandel, Hebb) „Als Entdecker der synaptischen Plastizität gilt Donald O. Hebb, der 1949 in seinem Buch *The Organization of Behavior* die so genannte **Hebb'sche Lernregel** formulierte: *°Wenn ein Axon der Zelle A [...] Zelle B erregt und wiederholt und dauerhaft zur Erzeugung von Aktionspotentialen in Zelle B beiträgt, so resultiert dies in Wachstumsprozessen oder metabolischen Veränderungen in einer oder in beiden Zellen, die bewirken, dass die Effizienz von Zelle A in Bezug auf die Erzeugung eines Aktionspotentials in B größer wird.°* Anders formuliert heißt dies, je häufiger ein Neuron A gleichzeitig mit Neuron B aktiv ist, umso bevorzugter werden die beiden Neuronen aufeinander reagieren, kurz *what fires together, wires together* – was zusammen feuert, verbindet sich. Die zugrunde liegenden molekularen Mechanismen hat in der Folge insbesondere der Neurobiologe Eric Kandel erforscht. Er konnte zeigen, dass plastische Vorgänge an Synapsen sowohl die Prä- als auch die Postsynapse betreffen können.“ (Schäfers, o.J., o.S.,  
<https://www.gehirnernen.de/gehirn/plastizit%C3%A4t> 3.6.2019)

**Hermeneutik, erweiterte, zweiter Ordnung:** „Mit dem Theologen, Altphilologen und Philosophen Friedrich Schleiermacher (1768-1834) verändert sich die Hermeneutik in ihren Grundsätzen. Er sucht die Einheit der Hermeneutik nicht mehr in der inhaltlichen Einheit von textlichen Überlieferungen.... Damit gründet er eine universelle Theorie des Verstehens, die sich als Kunstlehre auf die Bedingungen bezieht, derer es bedarf, um Lebensäußerungen nachzuvollziehen.“ (Müller<sup>3</sup>, 2017b, o.S.)

Diebner schreibt: „...kann man sich die gehirnpfysiologisch motivierte Frage stellen, wie das Gehirn hermeneutisches Denken produziert...Dass es sich hier um eine Spielart der Selbstreferentialität handelt, ist offensichtlich. Daher beschreibt Tsuda sein Vorhaben mit den Worten, dass wir interpretieren müssen wie das Gehirn interpretiert....Man kann diese Vorgehensweise auch als Hermeneutik zweiter Ordnung bezeichnen.“ (Diebner, o.J., S. 233)

Angeregt von dieser Interpretation Diebners wird im Zuge dieser Arbeit versucht, Poincarés Aussagen über die Fundamente von Geometrie im Sinn einer erweiterten Hermeneutik mittels Betrachtungen über geometrieffine visuokognitive Prozesse und Potentiale sowie deren evolutionäre Aspekte zu erläutern.

**homolog/konvergent/analog:** Ein Aspekt der Evolution bzw. Genese von biologischen Strukturen ist auch die Frage eines gemeinsamen Ursprungs oder selbständiger Entwicklung, die zu ähnlichen Ergebnissen geführt hat.

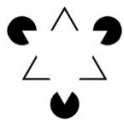
„Homologe Organe sind Organe die auf einen gemeinsamen Grundbauplan zurückzuführen sind (gemeinsamer Vorfahre).

Analoge Organe sind Organe die sich aufgrund von ähnlichen Umweltbedingungen entwickelt haben und sich in ihrer Funktion gleichen (kein gemeinsamer Vorfahre)

Konvergenz beschreibt die unabhängige Entwicklung von analogen Organen.“ (<http://www.biologie-schule.de/homologie-analogie-konvergenz.php> 26.6.2019)

**Hypothesenprüfung /Wahrnehmung:** „ Um die dynamische, dreidimensionale Welt, die dem Bild als Vorbild gedient hat, wiederzuerschaffen, benötigt das Gehirn zusätzliche Informationen. Daraus schloss Helmholtz, dass Wahrnehmung auch einen Prozess des Ratens und Prüfens von Hypothesen im Gehirn voraussetzt, der auf bereits gewonnenen Erfahrungen beruht. Solche wohlbegründeten Vermutungen erlauben uns, zu erschließen, was ein Bild repräsentiert. Da wir uns normalerweise nicht bewusst sind, dass wir visuelle Hypothesenprüfungen aufstellen und Folgerungen aus ihnen ziehen, bezeichnet Helmholtz diesen Top-down-Prozess der Hypothesenprüfung als *unbewussten Schluss*.“ ( Kandel, 2012, S. 245)

### **Illusory contours, IC effect, Subjektive Konturen, cognitive contours**



“Subjective or illusory contours are contours that are perceived where there is no physical luminance, colour or texture difference. The most famous example occurs in the so-called Kanizsa triangle, where one can see a triangle bounded by three pacmen figures that are positioned in such a way that the open angles of 60° all point inwards to the same region (see Figure 1). In addition to the subjective contours at the edge of the triangle, a second illusory component consists of seeing the triangle as being brighter than the surrounding region which has the same physical luminance.” Written by Naoki Kogo . (Text und Bild: <http://gestaltrevision.be/en/what-we-do/overview/39-what-we-do/overview/research-areas/mid-level/93-subjective-contours> 27.6.2019)

**Immersion, immersiv:** „Immersion (fachsprachlich °Eintauchen°) beschreibt den durch eine Umgebung der Virtuellen Realität (VR) hervorgerufenen Effekt, der das Bewusstsein des Nutzers, illusorischen Stimuli ausgesetzt zu sein, so weit in den Hintergrund treten lässt, dass die virtuelle Umgebung als real empfunden wird. Ist der Grad an Immersion besonders hoch, wird auch von °Präsenz° gesprochen. Im Unterschied zur passiven, filmischen Immersion erlaubt die virtuelle Realität eine Interaktion mit der virtuellen Umgebung, wodurch eine wesentlich höhere Intensität der Immersion erreicht werden kann.“

([https://de.wikipedia.org/wiki/Immersion\\_%28virtuelle\\_Realit%C3%A4t%29](https://de.wikipedia.org/wiki/Immersion_%28virtuelle_Realit%C3%A4t%29) 27.6.2019)

**Induzieren:** Wird hier nicht auf mathematische bzw. logische Induktion bezogen, sondern im Sinn von etwas hervorrufen, veranlassen im Zusammenhang mit biologischen bzw. evolutionären Geschehnissen verwendet. Gemäß hier verfolgter konstruktivistischer

Orientierung soll das Wort weniger im Sinn eines das Ergebnis weitgehend beeinflussenden Verursachens verstanden werden, sondern mehr als Auslösen systemspezifischer Optionen.

**Instanzieren:** Die Verwendung dieses Wortes bemüht sich, in laienhafter Anspielung auf Programmierung, ein auf die neurokognitiven Leistungen der Wahrnehmung bezogenes Modell von Objektkonstruktion auszudrücken.

**Interaktion:** vgl. Enaktivismus

**Joint Attention:** „Joint attention or shared attention is the shared focus of two individuals on an object. It is achieved when one individual alerts another to an object by means of eye-gazing, pointing or other verbal or non-verbal indications. An individual gazes at another individual, points to an object and then returns their gaze to the individual. Scaife and Bruner were the first researchers to present a cross-sectional description of children's ability to follow eye gaze in 1975.“

([https://en.wikipedia.org/wiki/Joint\\_attention](https://en.wikipedia.org/wiki/Joint_attention) 2.8.2018)

**Kausalattribution:** Die in dieser Arbeit wiederholt thematisierte Frage der Bedeutungszuweisung an koinzidente Stimuli tangiert auch dieses komplexe Thema, das hier nur mit einer gekürzten Darstellung eines Modells illustriert wird, das Mangold in seiner Dissertation referiert, weil darin auch eine für die hiesige Arbeit interessante Verbindung von Wahrnehmung und intuitivem Urteilen angesprochen wird.

„Kahneman und Frederick verstehen intuitives Denken als eine Art Erweiterung perzeptueller Verarbeitungsprozesse auf nicht notwendigerweise anwesende Beurteilungsobjekte.... Die beim intuitiven Denken benutzten Repräsentationen weisen die Eigenschaften Konkretheit und Spezifität auf. Darüber hinaus besitzen sie einen affektiven Gehalt und beinhalten kausale Tendenzen.... Die standardmäßige Annahme kausaler Beziehungen in der Welt ermöglichte es unseren Vorfahren, Veränderungen in der Umwelt schnell als Abweichungen von gewohnten kausalen Mustern zu erkennen und entsprechend zu reagieren. Sie ist somit ein Teil einer von unseren Vorfahren vererbten allgemeinen Vigilanz. Kausale Attributionen werden von Kahneman ebenfalls als eine Art Routineaufgabe des Intuitiven Systems verstanden, die automatisch bei der Wahrnehmung von Ereignissen durchgeführt werden... Die Neigung von Menschen, zufällige Ereignissequenzen... kausal zu interpretieren, werden als Beispiele für den intuitiven und automatischen Charakter kausaler Attributionen angeführt. Hingegen ist das Schließen auf Grundlage statistischer Regeln ein mühevoller Prozess, der nur auf der Basis vorhandenen statistischen Wissens im deliberierenden bzw. reflektierenden System 2 durchgeführt werden kann.“ (Mangold, 2012, S. 31 f.)

Mit Hinweis auf den Experimentalpsychologen Albert Michotte stellt Hagendorf fest: „Das Wahrnehmungssystem ist am Beginn der Entwicklung mit Konzepten ausgestattet, die das Informationsangebot strukturieren. Ein solches Konzept ist der wahrgenommene Kausalzusammenhang...Zwei Objekte, die sich unabhängig voneinander bewegen, erzeugen den Eindruck eines Kausalzusammenhangs, wenn bestimmte räumlich-zeitliche Bedingungen erfüllt sind.“ (Hagendorf, 2011, S.17)

**kognitive Last:** „Die Cognitive Load Theory (CLT) ist eine Theorie der kognitiven Belastung beim Lernen. Sie wurde von John Sweller und Paul Chandler aufgestellt. Die CLT geht davon aus, dass Lernen mit kognitiver Belastung verbunden ist, und beschreibt, wodurch das Lernen erleichtert bzw. erschwert werden kann... Es wird davon ausgegangen, dass die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses begrenzt ist und nur eine bestimmte Menge an Informationen aufrechterhalten werden kann. Eine weitere Annahme besagt, dass Menschen das Wissen in Schemata speichern. So werden beim Lernen sowohl neue Schemata konstruiert als auch neues Wissen mit bereits vorhandenen verknüpft. Es ist wichtig, dass das Arbeitsgedächtnis genügend verfügbare Kapazität aufweist und kognitiv nicht überlastet wird, um den Schemaerwerb und somit ein effektives Lernen zu ermöglichen.“

([https://de.wikipedia.org/wiki/Cognitive\\_Load\\_Theory](https://de.wikipedia.org/wiki/Cognitive_Load_Theory) 27.6. 2019) (Cf. Bottleneck Gehirn)

Die im Zitat angesprochenen Schemata werden im Rahmen dieser Arbeit als entlastende Faktoren im Sinne von Simplexité und Bottleneck-Intelligenz betrachtet. Und es wird nahegelegt, dass auch die phänomenale Dreidimensionalität als eine Art von Schema bzw. als Komplex von Verarbeitungsschemata modellhaft bzw. als Arbeitshypothese umschrieben werden kann.

**Koinzidenz:** Koinzidenz wird hier im Sinn des französischen Ausdrucks *concomitance* als gleichzeitiges Auftreten verstanden. Damit werden externe Stimuli als *symptômes concomitants* interpretiert, denen im Zuge der Veränderung innerer Zustände beim Wiederherstellen der Homöostase Bedeutung zugewiesen wurde.

**Kollinearität:** „...Eigenschaft, als zusammenhängende Linie perzipiert zu werden....“ (Willmes, 2013, S. 323)

**Kompatibilität, kompatibel, Interoperabilität:** Das im Zuge dieser Arbeit markant häufig verwendete Wort kompatibel soll in unterschiedlichen Anwendungsbereichen zum Ausdruck bringen, dass z.B. Aussagen, Hypothesen, aber auch Ergebnisse evolutionärer Prozesse, biologische Strukturen und deren Funktionsweisen generell im Sinn des französischen „compatible“ miteinander verträglich oder vereinbar sind. Damit soll ein mehr oder weniger synonymes Feld abgedeckt werden, das auch Aspekte von Konvergenz oder Interoperabilität einschließt.

„Zu dem Begriff Interoperabilität (von lateinisch *opus* ‚Arbeit‘ und *inter* ‚zwischen‘) existieren zwei unterschiedliche, jedoch sinngleiche Definitionen: 1. Als Interoperabilität bezeichnet man die Fähigkeit zur Zusammenarbeit von verschiedenen Systemen, Techniken oder Organisationen. Dazu ist in der Regel die Einhaltung gemeinsamer Standards notwendig. Wenn zwei Systeme miteinander vereinbar sind, nennt man sie auch kompatibel. 2. Interoperabilität ist die Fähigkeit unabhängiger, heterogener Systeme, möglichst nahtlos zusammenzuarbeiten, um Informationen auf effiziente und verwertbare Art und Weise auszutauschen bzw. dem Benutzer zur Verfügung zu stellen, ohne dass dazu gesonderte Absprachen zwischen den Systemen notwendig sind...In Zusammenhang mit Software spricht man vor allem dann von Interoperabilität, wenn mehrere Programme dasselbe Dateiformat oder dieselben Protokolle verwenden können.“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Interoperabilit%C3%A4t> 30.6.2019)

Auch wenn Interoperabilität im Text nicht verwendet wird, erscheint obige Definition z.B. gut mit Strukturen der neuronaler Verarbeitung heterogener Sinneseindrücke kompatibel zu sein. So werden z.B. alle Sinnesmodalitäten für das zentrale Nervensystem interoperabel, weil Schall, Geruchsstimuli, haptisch-taktile und visuelle Reize im Rahmen der Transduktion in bioelektrische Signale umgewandelt werden und gemäß Transformation auch noch als digitalisierte Entweder-oder Aktionspotentiale der „Sprache des Gehirns“ entsprechen. (Cf. >Transformation, >Transduktion)

Wenn heterogene Systeme wie der Tastsinn und die visuelle Wahrnehmung so in ein neuronales System integriert werden, dass sie möglichst nahtlos „zusammenzuarbeiten“, um Informationen der spezifischen Gehiranreale auf effiziente und Art und Weise abgleichen zu können, dann tangiert diese Kompatibilität der sinnesspezifischen Daten mit dem neuronalen Netzwerk auch unmittelbar das Thema dieser Arbeit, weil auch der Abgleich von haptisch-taktile und visuellen Eindrücken für Poincarés wahrnehmungsbezogenes Konzept von Raum ein relevanter Aspekt ist.

**Kompensation:** (Cf. Gegenverrechnung) Neben dem üblichen Wortgebrauch bezieht sich der Ausdruck in dieser Arbeit wiederholt auf einen Aspekt, den Poincaré in Zusammenhang mit der Unterscheidung von zustandsbedingten und positionsbedingten Formveränderungen in die Grundlagen der Geometrie einbezieht.



„Möge ein Objekt nur seinen Zustand oder nur seine Stellung verändern, für uns macht sich das immer in gleicher Weise geltend, nämlich durch eine Änderung einer gewissen Gesamtheit von Eindrücken....Wenn es sich nur um eine Ortsveränderung gehandelt hat, so können wir die ursprüngliche Gesamtheit von Eindrücken herstellen, indem wir Bewegungen ausführen, welche uns gegenüber dem bewegten Objekte wieder in die ursprüngliche relative Stellung zurückbringen.“ (Poincaré, 1906, S. 60)

Unter Einbeziehung der Eigenbewegung des Betrachters folgert Poincaré:

„Bedingungen der Kompensation. – Wie ist eine solche Kompensation möglich, wenn sie bewirken soll, daß zwei Bewegungen, die übrigens unabhängig voneinander sind, sich gegenseitig korrigieren. Ein Verstand, der schon Geometrie gelernt hat, würde in folgender Weise schließen: Damit die Kompensation stattfindet, müssen offenbar die verschiedenen Teile des äußeren Objekts einerseits, die verschiedenen Organe unserer Sinne andererseits sich nach der doppelten Veränderung in der selben *relativen* Stellung befinden. Überdies müssen die verschiedenen Teile des äußeren Objekts dabei die selbe lebe relative Stellung gegeneinander bewahrt haben, und das Gleiche muß für die verschiedenen Teile unseres Körpers in ihrem gegenseitigem Verhältnisse Geltung haben.“ (Poincaré, 1906, S. 61)

Diese elementare Beschreibung tangiert die Rolle des festen Körpers ebenso wie das Thema der Integration der Eigenbewegung durch Muskelsinne und reicht gemäß Überlegungen in dieser Arbeit bis zur Frage der Efferenzkopie und der Bedeutung eines fixen Abstandes frontaler Augen.

#### **Konnektom:**

„Als Konnektom (englisch connectome) bezeichnet man die Gesamtheit der Verbindungen im Nervensystem eines Lebewesens... Der Begriff „Konnektom“ geht auf die Neurowissenschaftler Olaf Sporns (Indiana University) und Patric Hagmann (École polytechnique fédérale de Lausanne) zurück... Ähnlich wie das Proteom ist das Konnektom nicht statisch, sondern aufgrund der neuronalen Plastizität ständigen Veränderungen unterworfen...Der Theorie funktioneller Spezialisierung und Integration zufolge erfordern konkrete Funktionen des Gehirns eine Integration spezialisierter Hirnareale.[12]... Während die funktionelle Spezialisierung durch Methoden der Elektrophysiologie und der funktionellen Bildgebung inzwischen relativ gründlich erforscht und belegt ist, erhofft man sich von der Erforschung des Konnektoms insbesondere weitere Einsichten über die bislang weniger detailliert verstandenen Mechanismen der funktionellen Integration.[13]“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Konnektom> 29.6.2019)

**Kontiguität:** Markl verwendet den Ausdruck im Sinn von zeitlicher Nähe. (vgl. Markl, 2005, S. 41)

„Die **Kontiguitätstheorie** ist eine behavioristische Lerntheorie, die von Edwin Guthrie entwickelt wurde. Guthrie geht davon aus, dass ein Verhalten (eine Bewegung), das im Zusammenhang mit einer Kombination von Reizen stand, dann wiederholt wird, wenn diese Reize erneut auftreten. Das Verhalten wird demnach unmittelbar gelernt (One-Trial Learning), sodass Wiederholungen keine Bedeutung haben, denn diese festigen lediglich das Gelernte durch Herausbilden von Gewohnheiten. Für das Lernen ist nach Guthrie einzig das zeitliche Zusammentreffen von Reiz und Reaktion, das als Kontiguität bezeichnet wird, von Bedeutung. Der Prozess des Lernens bedeutet für Guthrie also lediglich die Aneignung von Reiz-Reaktions-Verbindungen. Guthries Theorie ist umstritten und wurden oft als „Ein-Schuss-Theorie“ bezeichnet, da der ganze Lernprozess nach einem einzigen Durchgang abgeschlossen ist. (Stangl, 2019).“ (<https://lexikon.stangl.eu/9979/kontiguitaetstheorie> 14.8.2019)

**Kontingenz:** Heidelberger definiert im Sinne von Boutroux: „Ein Ereignis ist kontingent, wenn es nicht völlig durch vergangene Ereignisse determiniert ist und wenn die Abweichung vom bestimmten Fall sehr klein ist. Die Abweichung kann so geringfügig sein, dass sie nicht immer gleich in ihrer Wirkung erkennbar ist. Jedenfalls sind aber kleine Abweichungen nicht vernachlässigbar und machen für die Weltentwicklung einen Unterschied, der ganz wesentlich sein kann.“ (Heidelberger, o.J.a, S. 7 f.)

**Konstitutionstheorie:** „Als Konstitutionstheorien werden ausgehend von Kant Auffassungen bezeichnet, welche die empirische Realität nicht als an sich seiende Außenwelt ansehen, sondern als etwas vom Bewusstsein konstituiertes. Konstitutionstheorien versuchen, die reinen (apriorischen) Formen unserer Anschauung, welche der Sinneswahrnehmung (Apperzeption) vorausliegen, zu erforschen und zu klassifizieren. Kant bezeichnete in der Kritik der reinen Vernunft seine Konstitutionstheorie als "kopernikanische Wende" in der Erkenntnistheorie: "Wenn die Anschauung sich nach der Beschaffenheit der Gegenstände richten müsste, so sehe ich nicht ein, wie man a priori von ihr etwas wissen könne; richtet sich aber der Gegenstand (als Objekt der Sinne) nach der Beschaffenheit unseres Anschauungsvermögens, so kann ich mir diese Möglichkeit ganz wohl vorstellen." (aus der Einleitung der KrV) (<https://de.wikipedia.org/wiki/Konstitutionstheorie> 26.4.2016)

„Die Konstitutionstheorie besagt im Grundsätzlichen: Die von uns erlebte Welt wird (nach bestimmten in uns liegenden Regeln) von uns »konstituiert«, oder anders ausgedrückt »geschaffen«. Die von uns erlebte Wirklichkeit bzw. Realität existiere unabhängig von diesem Prozess des Konstituierens überhaupt nicht... Ein wichtiger Vertreter der Konstitutionstheorie war Kant, der behauptete, wir Menschen würden sogar die Naturgesetze in die Welt tragen, unabhängig von uns seien dort keine.“ (Möller, o.J., o.S. , <http://www.philolex.de/konstheo.htm> 26.4.2016)

**Konzept:** Neben dem üblichen Wortgebrauch ist hier im Zusammenhang mit Core-Knowledges noch ein Aspekt in Betracht zu ziehen, der in den Aussagen von Elisabeth Spelke durchschlägt und auf Susan Careys *Where Our Number Concepts Come From* zurückgehen dürfte.

„Like most cognitive scientists, I take concepts to be mental symbols. Mental symbols are not all concepts, as there are also sensory representations, motor representations, and perceptual representations. From the perspective of cognitive science, a theory of concepts must specify their format, what computations they enter into, what determines their content, and how they differ from other types of mental symbols. In a recent book (Carey, in press) I present case studies of the acquisition of several important domains of conceptual representations, arguing that the details of the acquisition process adjudicate among rival theories of concepts within cognitive science. The case studies bear on the existence and nature of innate concepts, and on the existence and nature of discontinuities in development. Human conceptual development involves the construction of representational resources that go beyond those from which they are built in theoretically interesting ways.“ (Carey, 1909, o.S.)

#### **Kovariation, Kovarianz:**

„Cela implique des mécanismes de détection de la covariation entre mon mouvement et la déformation des objets. » (Berthoz, 2009, S. 96). Der Ausdruck kommt im Rahmen dieser Arbeit durch Berthoz ins Spiel und scheint gemäß folgender Trivialdefinition ein gut brauchbares Denkmuster für die Betrachtung von visuokognitiven Leistungen darzustellen.

„Kovariation, das gemeinsame Variieren zweier oder mehrerer Merkmale; Voraussetzung für die Feststellung statistischer Abhängigkeiten oder Zusammenhänge (Statistik).“ (<https://www.spektrum.de/lexikon/psychologie/kovariation/8272> 28.6.2019)

Diese Definition kann man bei der Interpretation von Uexkülls „Ein Objekt ist das, was sich zusammen bewegt“ (in Lorenz, 1975, S. 157) ebenso in Betracht ziehen wie beim Thema Kausalattribution und bei der Objektkonstruktion auf Basis koinzidenter Gruppen von Stimuli. Nicht zuletzt auch bei Poincarés Unterscheidung der Veränderung des Zustands und der Veränderung des Blickwinkels als Grundlage für die Kompensation von Formveränderungen der Erscheinung im Rahmen des geometrieaffinen Schauspiels der Perspektiven, wie von Berthoz angesprochen.

**Kurzschluss:** Der Ausdruck wird hier wiederholt verwendet, um absichtlich in Kauf genommene Gedankensprünge zu markieren, bei denen nicht alle eigentlich sachlich oder

logisch notwendigen Zwischenschritte dargestellt, sondern nur möglich erscheinende Verbindungen entfernt liegender Aspekte in den Raum gestellt werden.

**Lien constant:** Dieses Stichwort wird wiederholt als Kurzform für den Hinweis auf Poincarés Überlegungen zur Interpretation seines Begriffs von „Objekt“ verwendet:

« Les objets extérieurs, par exemple, pour lesquels le mot objet a été inventé, sont justement des objets et non des apparences fuyantes et insaisissables parce que ce ne sont pas seulement des groupes de sensations, mais des groupes cimentés par un lien constant. C'est ce lien, et ce lien seul qui est objet en eux, et ce lien c'est un rapport. » (Poincaré, 1911, S. 266)

**Magnozelluläres System:** Vgl. Parvozelluläres System

„Magnozelluläres System, E magnocellular system, der besonders kontrastempfindliche, für Bewegungswahrnehmung spezialisierte Teil der Sehbahn. Die Neurone des magnozellulären Systems (M-Zellen der Primaten, Y-Neurone der Nicht-Primaten) sind in Netzhaut und Corpus geniculatum laterale größer als die kleineren Zellen des parvozellulären Systems (P-Zellen der Primaten, X-Neurone der Nicht-Primaten). Das magnozelluläre System projiziert subcortical auch in das Stratum superficiale colliculi der Colliculi superiores. Im primären visuellen Cortex (V1) innervieren die geniculären M-Zell-Axone die Schichten 4Cα und 6. Von V1 setzt sich die M-Bahn hauptsächlich im occipito-parietalen System fort (über die für Bewegungssehen und binokulares Sehen empfindlichen Zellen der mediotemporalen und medio-superior-temporalen Gebiete bis zu frontal gelegenen, motorischen Gebieten).“ (<https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/magnozellulaeres-system/7339> 29.6.2019)

**Mehrwert-Konstruktion 3D:** Ausgehend von der Überlegung, dass es sich bei der Dreidimensionalität der visuellen Wahrnehmung um ein viables quick&dirty Konstrukt im Zuge einer simplexen Optimierung der Verarbeitungsprozesse handelt, soll diese Formulierung zum Ausdruck bringen, dass trotz der in Kauf genommenen Defizite und Anfälligkeit für Täuschungen diese Dreidimensionalität auch Vorteile bringt. Zum Beispiel die rasche Auswertung von Tiefeninformation ohne aufwendige Bewegung des Kopfes oder des gesamten Körpers. Vor allem geht es aber um emergente Potentiale mit erheblichem Mehrwert, die sich mittelbar daraus ergeben, dass diese Spezialisierung visueller Verarbeitung auch als ein Faktor der Optimierung des Konnektoms als Small- World- Network in Ansatz gebracht werden kann. Darauf beziehen sich z.B. Überlegungen bezüglich der Affinität des ventralen Pfades zu neuronalen Korrelaten des Bewusstseins im inferotemporalen Cortex.

**Modalität:** Bezieht sich auf die spezifischen Sinne wie z.B. Gehör, Tastsinn, Sehsinn.

**Molyneux Problem:** „William Molyneux (1685-1735), irischer Naturwissenschaftler, Jurist, Gatte einer blinden Frau, stellte in einem Brief an **John Locke** die Frage, ob ein Blinder, der mit seinem Tastsinn gelernt hat, eine Kugel von einem Würfel zu unterscheiden, wohl in der Lage wäre, würde er sehend, rein mit dem Gesichtssinn, ohne Zuhilfenahme des Tastsinnes, Würfel- und Kugelform zu identifizieren. Locke hat das im Sinne seines **Empirismus** natürlich verneint. Die Frage löste eine nicht enden wollende philosophische Debatte aus, an der sich u. a. Berkeley, Voltaire, Diderot, Leibniz und Kant beteiligten (und sie ist bis heute wirksam).“ (<http://www.perlentaucher.de/feuilletons/2002-10-28.html> 9.1.2010)

„Experimentelle Lösung des Problems: 2011 wurden fünf von Geburt an blinde Kinder, die nach einer Operation im Alter von 8 bis 17 Jahren erstmals die Sehfähigkeit erlangt hatten, in einem ähnliche Versuchsaufbau untersucht. Vor der Operation ertasteten die Kinder ähnliche Figuren aus Bausteinen und lernten diese zu unterscheiden. Nach der Operation wurde der Versuch wiederholt und ihnen die zuvor ertasteten Gegenstände zusätzlich nur zum Ansehen gegeben. Sie konnten das Gesehene dem ertasteten primär nicht zuordnen. Im weiteren lernten sie jedoch sehr schnell.<sup>[24]</sup>“

(<https://www.biologie-seite.de/Biologie/Molyneux-Problem> 28.6.2019)

**Motilität:** Der Ausdruck wird hier statt Mobilität verwendet, um zur Unterscheidung von passiver Fortbewegung (z.B. in Wasser- oder Luftströmungen) die Rolle der eigenaktiven Fortbewegung für die Entwicklung eines komplexen neurokognitiven Systems und als bedeutsame Komponente in Poincarés Modell der Raumwahrnehmung zu skandieren.

„Motilität (lat. motio „Bewegung“) bezeichnet die Fähigkeit zur aktiven Bewegung. Dagegen wird die Eigenschaft, bewegt werden zu können, als Mobilität (passive Beweglichkeit) bezeichnet. Das Gegenwort ist Sessilität.“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Motilit%C3%A4t> 28.6.2019)

**Mutualistisch:** Als mutualistisch werden Effekte bzw. Relationen bezeichnet, bei denen Strukturen, Systeme, Organismen, Verhaltensweisen usw. von ihrer Wechselwirkung profitieren.

**NCC:** “The neural correlates of consciousness (NCC) constitute the minimal set of neuronal events and mechanisms sufficient for a specific conscious percept.... A science of consciousness must explain the exact relationship between subjective mental states and brain states, the nature of the relationship between the conscious mind and the electro-chemical interactions in the body (mind–body problem).” ([https://en.wikipedia.org/wiki/Neural\\_correlates\\_of\\_consciousness](https://en.wikipedia.org/wiki/Neural_correlates_of_consciousness) 3.7.2019)

**Neokortex:** „Die beiden Großhirnhemisphären. Er ist beim Menschen im Vergleich zum Tier stark vergrößert und unter anderem für unsere geistigen Fähigkeiten verantwortlich.“ (Gegenfurtner, 2011, S. 124)

**Neuron:** „Eine Nervenzelle. Sie umfasst den Zellkörper mit den Erbinformationen der Zelle, ein vom Zellkörper wegführendes (efferentes) Axon, das in Synapsen endet, sowie meist mehrere zum ZNS hinführende (afferente) Äste, die als Dendriten bezeichnet werden.“ (Gegenfurtner, 2011, S. 124 f)

**Objekt:** Für den Verwendungsbereich des Ausdrucks Objekt in dieser Arbeit kann keine durchgehend gültige Definition festgelegt, sondern nur eine Markierung anhand einiger Orientierungspunkte angegeben werden. Ausgehend von „...diese wirklichen Objekte wird die Natur uns ewig verbergen;...“ (Poincaré, 1906, S. 162), findet sich einer der hier dem Gebrauch zugrunde gelegten Punkte im Absatz über die Diskretisierung des Ambientes.

Es geht also um einen Zugang, in dem das Objekt und auch der feste Körper nicht als so bestehende Entität der externen Realität, sondern als Konstrukt in Ansatz gebracht werden, dessen erkennbare Präsenz und in Erscheinung tretende Homogenität vor allem den Verarbeitungsregeln des visuokognitiven Systems entsprechen. Wenn es tragfähig ist, wie hier die Wahrnehmung und die damit verbundenen Potentiale des Erkennens als stark hypothetisch-prognostisch in Ansatz gebracht werden, dann folgt daraus eine sehr ähnliche Verfasstheit von Wahrnehmung und hypothetisch orientierter Wissenschaft. Damit wäre Wahrnehmung vor allem im Zusammenhang mit ihrer prognostischen Dimension methodisch sehr ähnlich strukturiert wie Wissenschaft. Die Bildung der Objekte der Wahrnehmung und jene von abstrakten Objekten gemäß mathematischer bzw. geometrischer Vorstellung wären bezüglich ihrer kognitiven Verarbeitungsregeln (struktur-) verwandt und so trotz ihres unterschiedlichen sinnlichen Abstraktionsgrades genuin kompatibel. Das erscheint als konvergent mit dem anderorts beschriebenen Modell von „Wahrnehmung als Hypothesenprüfung“ und Poincarés Charakterisierung des Objekts als Metapher gemäß „...notre besoin de penser avec des images.“ (Poincaré, 1920, S.139)

**Objektkonstruktion, lichtaffine:** Diese Arbeit forciert die Hypothese, dass die Enzephalisation der Wahrnehmung unter besonders starkem Einfluss der Sensibilität für Licht erfolgte. Gemäß konstruktivistischem Ansatz wird in diesem Sinn auch von lichtaffiner Objektkonstruktion

gesprochen, die im Rahmen komplexer visuokognitiver Potentiale auch ein besonderes genuines Nahverhältnis zu Aspekten projektiver Geometrie impliziert.

**Parallelverarbeitung:** (Cf. Bindung) „Das visuelle System der Wirbeltiere zeigt deutlicher als die anderen sensorischen Systeme das Prinzip der *Parallelverarbeitung*. Damit ist gemeint, dass die Photorezeptoren und die unmittelbar nachgeschalteten Zellen jeweils bevorzugt auf bestimmte Einzelmerkmale der normalerweise komplexen Reize reagieren, wie Größe, Kontrast, Farbe, Ort im dreidimensionalen Raum, Bewegungsrichtung, Geschwindigkeit und Bewegungsmuster, und dass diese Merkmale in der Netzhaut und auf weiteren Stufen des visuellen Systems im Gehirn mehr oder weniger getrennt voneinander verarbeitet werden. Erst auf relativ „späten“ Stufen kommt es dann zu einem Zusammenfügen dieser Merkmale zu komplexeren Wahrnehmungsinhalten.“ (Roth, 2010, S. 283)

**Parsimonie-Prinzip:** Wird bisweilen in Anlehnung an Ockhams razor auf biologische Evolution übertragen und unterstellt dort eine strenge Ökonomie, dergemäß unter Selektionsdruck nur die sparsamsten Überlebensstrategien und damit korrelierende Organe, Verhaltensweisen usw. aufrecht erhalten werden können. Auch wenn bei evolutionären biologischen Prozessen eine überlebensfähigen „Kosten-Nutzen Relation“ eine Rolle spielt, wird Parsimonie hier nicht als umfassend gültig angesehen. Weil z.B. die mit Bezugnahme auf Schurz geltend gemachte Möglichkeit des Bestehens dysfunktionaler Merkmale dagegen spricht und so den Anpassungsdruck zu Gunsten emergenter Potentiale lockert.

**Parvozelluläres System:** Vgl. Magnozellan System

„Parvozelluläres System [von latein. parvus = klein], E parvocellular system, der farbempfindliche, räumlich hochauflösende, für Muster- und Detailanalyse spezialisierte Teil der Sehbahn. Die Neurone des parvozellulären Systems (P-Zellen bei Primaten, X-Zellen bei der Katze) sind in Netzhaut und Corpus geniculatum laterale (CGL) kleiner als die größeren Zellen des magnozellan Systems (M-Zellen, Y-Zellen). Das parvozelluläre System projiziert subcortical in die 4 dorsalen, parvozellulären Schichten des CGL der Primaten. Im primären visuellen Cortex (V1) innervieren die geniculären P-Zell-Axone die Schichten 4A, 4C $\beta$  und 6. Von V1 setzt sich das System im Parvo-Blob-System und im Parvo-Interblob-System und dann weiter im occipito-temporalen System fort (über die für Farben sowie Muster und Detail empfindlichen Zellen der inferotemporalen Gebiete werden Informationen bis zu nicht-visuellen Strukturen wie der Amygdala und zu Funktionen wie Lernen und Gedächtnis weitergeleitet). (<https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft/parvozellulaeres-system/9594> 29.6.2019)

**Persistenz:** „ Von lateinisch: persistere – andauern, Synonym: persistent. **Persistierend** oder **persistent** bedeutet °fortbestehend° bzw. °andauernd°. (<https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Persistierend> 28.6.2019)

**Perturbation:** Im Rahmen autopoietischer Konzepte wird der Begriff „Reiz“ problematisch und spielt die Frage der Irritation des systemspezifisch verträglichen Zustandes eine gewichtige Rolle.

„Aus dem Lateinischen: perturbare = völlig durcheinanderwirbeln. Zustandsveränderungen in der Struktur eines Systems, die von den Zuständen in dessen Umwelt ausgelöst werden. Ein von Maturana in den Konstruktivismus eingeführter Begriff, der heute meist eher Alltagssprachlich im Sinne von Verstörung benutzt wird.“ (<http://www.uni-koeln.de/hf/konstrukt/didaktik/woerterbuch/perturbation.html> 29.6.2019)

„**Qualia** (Sing. **Quale**): Elementare Gefühle und Empfindungen, die das bewusste Erleben ausmachen (ein Gesicht sehen, einen Ton hören). Qualia stehen im Zentrum des Leib-Seele-Problems. Ich argumentiere..., dass Qualia in kompakter Weise die riesige Menge an expliziter und impliziter Information symbolisieren, die in der ->Penumbra der Gewinner- Koalition enthalten ist. Diese Koalition reicht aus für *ein* bestimmtes bewusstes Perzept.“ (Koch, 2005, S. 379)

In der hiesigen Arbeit wird es als erwägenswert erachtet, das 3D der visuellen Wahrnehmung als eine Art Quale mit einem auffälligen Nahverhältnis zum Bewusstsein zu interpretieren. Wenn man es metaphorisch ausdrücken will: 3D als tragender Ton im Akkord der visuellen Wahrnehmung.

**Quick & dirty:** Dieses für meine Arbeit sehr nützlich erscheinende Modell wurde aus einer Passage von Gerhard Schurz über „Die evolutionäre Architektur der Kognition“ übernommenen.

„Diese enorm schnellen, aber auch stark mangelbehafteten intuitiven Kognitionsmechanismen werden in der künstlichen Intelligenzforschung auch quick-and-dirty systems genannt, und ihre enorme Schnelligkeit im Vergleich zum bewußten Verstand ist natürlich der Grund, warum sie evolutionstheoretisch unverzichtbar sind.“ (Schurz, o.J. S. 17) ([https://www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/fileadmin/Redaktion/Institute/Philosophie/Theoretische\\_Philosophie/Schurz/andere/Sind\\_Menschen\\_Vernunftwesen.pdf](https://www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/fileadmin/Redaktion/Institute/Philosophie/Theoretische_Philosophie/Schurz/andere/Sind_Menschen_Vernunftwesen.pdf))

**Ratiomorphe Prozesse:** Folgende umfangreiche Passage wird hier deshalb herangezogen, weil darin der Biologe und Evolutionstheoretiker Ruppert Riedl den Begriff mit seinen Assoziationen erläuternd illustriert, die eine Reihe von Aspekten in dieser Arbeit ansprechen. Dies betrifft z.B. das Konzept unbewusster Schlüsse von Helmholtz, das Thema Kausalattribution und auch weitere Fragen, die Poincaré tangieren. Wie weit Riedls Überlegungen eine nativistische Tendenz aufweisen, die gegebenenfalls mit Poincarés Ansatz insgesamt gesehen nicht kompatibel ist, wird hier nicht untersucht. Es geht ja nur darum, die Spannweite des für das Thema dieser Arbeit relevanten Begriffs aufzuzeigen.

„Der Begriff des Ratiomorphen stammt von EGON BRUNSWIK (1955), umgedeutet bekam er von KONRAD LORENZ (1973) Bedeutung: als die Summe unbewusster, kognitiver Anlagen. Für mich ist der wahre Entdecker DAVID HUME (1739/40). „Du kannst nur feststellen,“ sagte er, „dass der Stein warm wird, wenn die Sonne scheint, weil die Sonne scheint, musst Du als eine gedankliche Konstruktion hinzufügen“: die bedeutende Wende vom „post hoc“ zum „propter hoc“, die zur Orientierung nötige Erwartung notwendiger Zusammenhänge. HUME nennt das „ein Bedürfnis der Seele“. Das ist sehr treffend; und bekanntlich hat das KANT zur Darstellung der apriori gegebenen Verstandeskategorien in seinen kritischen Schriften angeregt und LORENZ dazu, diese als angeborene Anschauungsformen, als posteriori Lernprodukte der Stammesentwicklung empirisch untersuchbar zu machen. Mir ist dann aufgefallen, dass jenem propter hoc ein simul hoc, jener Vermutung gesetzlichen Nacheinanders die Vermutung gesetzlicher Gleichzeitigkeit zur Seite zu stellen ist. Zu den bekanntesten der hier wirkenden Mechanismen gehören die Schichten der Gestaltwahrnehmung; ein Gewirr von Punkten zu Linien, diese zu Bewegungen, zu „guten“ Gestalten zu machen, die vom Hintergrund abzuheben, aus der Erfahrung zu ergänzen und perspektivisch zu verrechnen. Zu dem kommt die automatische Reflexion in Ähnlichkeitsfeldern, indem etwa der Scherben eines Geschirrs, oder aber eines Schädels sogleich im Rahmen alle Geschirre oder Schädel „gesehen“ und gedeutet wird, die wir zu kennen meinen. Und auch diese Deutungen finden sich in einer Hierarchie von Ähnlichkeitsfeldern, da wir z. B. von einem Apfel erwarten, dass er aus Fruchtfleisch und Kerngehäuse bestehen und ebenso zu Baumfrüchten, Früchten und Vegetabilien gehören werde. Nochmals bilden sich höchst allgemeine Form- und Ordnungsbedingungen dieser Welt ab denen wir vertrauen können, weil sie über die endlosen, durchlaufenen Tests uns nicht eingebaut und erhalten wären.“ (Riedl, 2002, S. 255)

**Reafferenzprinzip:** Cf.> Efferenzkopie

**Realismus, naiver / viabler:** So geläufig der Ausdruck „naiver Realismus“ verwendet und auch hier so benutzt wird, so sehr ist er wohl unglücklich gewählt, weil das Wort naiv nicht die weitreichenden philosophischen Dimensionen zum Ausdruck bringt, sondern diese eher ignoriert bzw. vernebelt. Ohne dies weiter auszuführen wird hier vorgeschlagen, eher von einem „viablen Realismus“ in dem Sinn zu sprechen, dass zugunsten von Entlastung und

spontaner Handlungsfähigkeit ein pragmatisch vereinfachtes Weltbild nützlich ist. Das gilt nicht nur für ein als homogen wahrgenommenes Perzept, das wir für ein Abbild der externen Realität halten und auch im Alltag so damit umgehen. Das tangiert auch kognitive Modelle und „Theorien“ zur trivialen Absicherung von Handlungskonzepten, die fernab oder teilweise sogar in markantem Widerspruch zu wissenschaftlichen Modellen stehen. Dies erscheint als kompatibel mit Kandels Hinweis, dass sich nach Cavanagh Künstler bei der Bildgestaltung verschiedener Hilfsmittel bedienen, deren unbemerkte Wirksamkeit offenbart, „dass unser Sehsystem eine einfachere, reduzierte Physik anwendet, um die Welt zu begreifen“. (Kandel, 2012, S. 324 f.)

**Realität, externe:** Ohne Abklärung des Begriffs „Realität“ wird diese Formulierung für diverse Überlegungen verwendet, die das Innen-Außen betreffen. Gemäß Poincarés wiederholter Bezugnahme auf äußere bzw. natürliche Objekte und „wirkliche Gegenstände“ (vgl. Poincaré, 1906, S. 50) soll dies auch einem Ansatz im Sinn eines gemäßigten Konstruktivismus entsprechen bzw. zum Ausdruck bringen. Es wird hier auch nicht der Unterscheidung der Begriffe Realität und Wirklichkeit und den damit verbundenen philosophischen Aspekten von Ontologie und Metaphysik nachgegangen

**Retinotop:** „Als Retinotopie bezeichnet man die Abbildung von der Retina auf bestimmte Nervenzellareale des Gehirns — speziell des Corpus geniculatum laterale und des visuellen Kortex. Da die Topologie der Retina erhalten bleibt, werden die Informationen aus der Retina bildgetreu im Kortex abgebildet.“ ( Dr. physiol. John Urbas: <https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Retinotopie> 14. 8.2019)

**Rezeptoren:** „Z.B. Haarzellen im Ohr oder Zapfen und Stäbchen in der Retina. Sie sind für die jeweils verschiedenen Arten von Reizen (z.B. akustische) spezialisierte Zellen, die Reizinformationen aufnehmen und in Form von elektrischen Nervenerregungen weiterleiten.“ (Gegenfurtner, 2011, S. 126)<sup>697</sup>

**„Sakkade oder sakkadische Augenbewegungen:** Sehr rasche, aber dennoch gerichtete Augenbewegungen. Menschen und andere Primaten inspizieren und erforschen die Welt typischerweise dadurch, dass sie im Wachzustand jede Sekunde ein paar Sakkaden durchführen.“ (Koch, 2005, S. 380)

**Schauspiel der Perspektiven:** Das wiederholt verwendete Stichwort bezieht sich auf Poincarés Zugang zum Raum über die Auswertung der Gesetzmäßigkeit des bewegungsinduzierten Formenwandels der Erscheinung fester Körper:

„ Der Gesichts-Sinn, selbst mit einem Auge, verbunden mit Muskel- Empfindungen, die sich auf die Bewegung des Augapfels beziehen, würde genügen, um den dreidimensionalen Raum kennen zu lernen.“ (Poincaré, 1906, S. 70)

„Wir verstehen somit, wie der Begriff eines dreidimensionalen Raumes aus dem Schauspiel dieser Perspektiven entstehen konnte, wenngleich jede von ihnen nur zwei Dimensionen hat; denn sie folgen aufeinander nach gewissen Gesetzen.“ (Poincaré, 1906, S. 71)

**Sensitivierung:** Cf. Habituation

**Sensomotorische Rückkopplung:** Cf. > Efferenzkopie. Auch die Schreibweise sensumotorisch ist gebräuchlich.

**Simplex:** Bezieht sich auf das von Berthoz etablierte Prinzip der **Simplexité**

„Ce n'est pas seulement un jeu de langage. Ce mot résume, selon moi, une nécessité biologique apparue au course de l'évolution pour permettre la survie des animaux et de l'homme sur notre planète : malgré

<sup>697</sup> Auf das an anderer Stelle Problem des Begriffs „Reizinformation“ wird hier nicht eingegangen.

la complexité des processus naturels, le cerveau doit trouver des solutions, et ces solutions relèvent de principes simplificateurs. Elles permettent de traiter très rapidement, avec élégance et efficacité, des situations complexes, en tenant compte de l'expérience passée et en anticipant l'avenir. » (Berthoz, 2009, S. 17)

**Solipsismus:** „... philos. Meinung, die das subjektive Ich mit seinem Bewußtseinsinhalt für das einzige Seiende hält. Nach Schopenhauer gehören Vertreter des radikalen S. ins Tollhaus. Doch gibt es auch einen gemäßigten S., der eine überindividuelles Ich überhaupt als Träger der Bewußtseinsinhalte annimmt u. einen methodischen S., der wie bei Descartes u. Driesch mit dem S. beginnt, um von da aus zur außer dem Ich bestehenden Wirklichkeit vorzustoßen.“ (Schischkoff, 1974, -> Solipsismus)

Im Zusammenhang mit autopoietischen Konzepten, Selbstorganisation und operationaler Geschlossenheit wird bezüglich der daraus resultierenden Innen-Außen Problematik und ihren erkenntnistheoretischen Aspekten in dieser Arbeit von einer drohenden Solipsismus-Falle gesprochen. Dies tangiert auch Poincarés Zugang zur Objektivität durch Intersubjektivität.

**Stereopsis:** „Stereoskopisches Sehen (von altgriechisch στερεός *stereós*, „fest“, „starr“ und σκοπεῖν *skopéin*, „anschauen“, „beobachten“), auch räumliches Sehen, Stereosehen oder Stereopsis genannt, vermittelt durch die beidäugige Betrachtung von Objekten und Gegenständen eine echte, quantifizierbare Tiefenwahrnehmung und räumliche Wirkung des Außenraums. Das stereoskopische Sehen ist die höchste Form des beidäugigen Sehens (Binokularsehen). Das Sehen mit nur einem Auge wird als Monovision (Monokularsehen) bezeichnet.“

([https://de.wikipedia.org/wiki/Stereoskopisches\\_Sehen](https://de.wikipedia.org/wiki/Stereoskopisches_Sehen) 3.7.2019)

**Stimulus, Reiz, Perturbation:** Üblicherweise wird der Begriff Reiz mit dem englischen und auch französischen Wort *stimulus* übersetzt. Ohne auf die Unterscheidungen von adäquaten und inadäquaten Reizen und diverse Reiz-Reaktionsmodelle einzugehen, wird hier eine Tendenz unterstellt, dem (äußeren) Reiz eine instruierende bis determinierende Wirkung auf das wahrnehmende System zuzuschreiben. Diese Annahme ist mit autopoietischen Konzepten schwer verträglich, weil damit die Autonomie bzw. Eigendynamik des Organismus zu wenig zur Geltung kommt. Wenn man Wahrnehmung als Interaktion etablieren will, dann kommt auch das von Maturana und Varela forcierte Modell der Perturbation ins Spiel.

Demgemäß wird im Zuge dieser Arbeit versucht, den Begriff Reiz eher durch den neutraler anmutenden Ausdruck Stimulus zu ersetzen, um damit, wenn auch ohne präzise Definition, allfällige Konnotationen einer determinierenden Wirkung von „Reiz“ zu umgehen und den Stimulus nur als Anlass für eine Interaktion ins Spiel zu bringen, die mit dem autopoietischen Konzept von Perturbationen kompatibel ist.

Maturana und Varela erläuterten:

„In jedem Augenblick finden wir, daß das Nervensystem auf der Grundlage von vielfältigen inneren Zyklen neuronaler Interaktionen...sich in permanenter Veränderung befindet. Diese immense Aktivität wird von Veränderungen in der sensomotorischen Fläche durch Perturbationen überlagert und moduliert, die vom Organismus unabhängig sind, zum Beispiel vom Druck auf die Haut. Als Beobachter sind wir gewohnt, unsere Aufmerksamkeit auf das zu richten, was uns am leichtesten zugänglich ist, also auf die äußeren Perturbationen, und wir sind geneigt zu glauben, daß diese der determinierende Faktor seien. Dennoch können solche äußeren Perturbationen...nur das konstante Hin und Her der inneren sensomotorischen Korrelationen modulieren...Für gewöhnlich denken wir uns die optische Wahrnehmung als eine bestimmte Operation mit dem Bild auf der Netzhaut, dessen Abbildung (Repräsentation) im Inneren des Nervensystems transformiert wird. Dies ist ein repräsentationistischer Ansatz zur Erklärung des Phänomens. Dieser Erklärungsansatz für das optische Phänomen zerfällt jedoch, sobald wir feststellen, daß für jedes Netzhautneuron, das über den seitlichen Kniehöcker... des Thalamus auf unsere visuelle Hirnrinde projiziert wird, Hunderte von Neuronen, die aus anderen Teilen



des Nervensystems...stammen, auf den seitlichen Kniehöcker projizieren. Dieser ist also nicht einfach eine Schaltstelle für Projektionen der Netzhaut auf die Hirnrinde.“ (Maturana/Varela, 2010, S. 177 f.)

### **Strukturenrealismus:**

„Der Strukturenrealismus (SR) ist eine Bezeichnung für eine Vielzahl an wissenschaftstheoretischen Positionen, die sich in der These einen, dass unsere wissenschaftlichen Theorien uns keinen gegenständlichen, sondern einen strukturalen Zugang zur Welt ermöglichen. Hierbei wird zwischen einem epistemischen SR (ESR) und einer ontologischen Variante des SR (OSR) unterschieden: Der ESR besagt, dass wissenschaftliche Theorien Strukturen in der Welt referieren, wobei die den Strukturen zugrundeliegenden Objekte uns epistemisch unzugänglich sind. Die ontische Variante teilt die Position vom strukturalen Zugang zur Welt, behauptet aber im Gegensatz zum ESR, dass es lediglich Strukturen gibt (eliminativer OSR) bzw. bis auf Relationen charakterisierte Objekte (die moderate Version des OSR) und verneint gleichzeitig die Existenz von Objekten als Träger von Strukturen. Der SR stellt somit eine spezielle Variante des wissenschaftlichen Realismus dar, dem zufolge die besten und reifsten Theorien der Wissenschaft näherungsweise wahr sind und die in jenen Theorien enthaltenen Terme existierende, jedoch nicht direkt beobachtbare Objekte oder – wie im Fall des SR – existierende Strukturen abbilden.“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Strukturenrealismus> 14.8. 2019)

Josef Honerkamp beleuchtet das Thema aus der Perspektive theoretischer Physik mit ausdrücklicher Bezugnahme auf Poincaré:

„Der Strukturenrealismus und seine Varianten: Wer sich die Geschichte der Physik vor Augen führt, insbesondere die der physikalischen Theorien und Begriffe, entdeckt bald, dass sich die Entwicklung auf zwei verschiedenen Ebenen vollzieht, auf einer formal mathematischen einerseits und einer begrifflichen, verbal formulierten andererseits....Man kann die erste Ebene auch die Ebene der (mathematischen) Relationen und Strukturen nennen, die zweite die der Substanzen. Und die Geschichte zeigt deutlich, dass man auf der strukturellen Ebene stets festeren Boden unter den Füßen hat als auf der substantiellen...“

Der französische Physiker Henri Poincaré hat die beiden Ebenen schon 1904 in seinem Buch [2] "Wissenschaft und Hypothese" beschrieben und durch Beispiele belegt. Nennenswertes Wiederhall fand das im Jahr 1989, als der englische Philosoph John Worrall, inspiriert durch die Lektüre des Poincaréschen Buches, die These [3] propagierte, dass "unsere wissenschaftlichen Theorien keine gegenständlichen, sondern einen strukturalen Zugang zur Welt ermöglichen", und damit den "Strukturenrealismus" [4] begründete. Wie es typisch ist für jede philosophische Position, hat sich auch diese dann wieder in unzählige Verfeinerungen aufgespalten, die man grob in "epistemische" und "ontische" Varianten unterteilen kann. Sie unterscheiden sich in ihrer Behauptung über die "Träger der Strukturen", also über die Gegenstände, für die wir die Relationen erkennen: In den epistemischen Varianten wird behauptet, dass wir sie prinzipiell nicht erkennen können, in den ontischen Varianten gibt es diese Träger erst gar nicht...“ (Honerkamp. 2011, o.S.)

**Strukturenrealismus, metrologischer:** Alexander Ehmann stellt unter dieser Bezeichnung ein von ihm erweitertes Konzept von Eino Kailas vor. Es geht dabei um „Die Idee, das Konzept der Messung als Invarianzkonstituierendes Moment in der wissenschaftlichen Theorienbildung zu begreifen... Es soll gezeigt werden, dass Invarianz, Struktur und Messung fast untrennbar miteinander verknüpft sind.“ (Ehmann, 2014, S. 3)

**Subjektives Konstrukt Linie:** Cf. Illusory contours

**Sulcus:** „Als Sulci cerebri oder Hirnfurchen bezeichnet man die zwischen den Hirnwindungen (Gyri cerebri) gelegenen Einziehungen bzw. Furchen der Großhirnrinde.“ (<https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Sulcus%20cerebri> 2.7.2019) (Cf.:> Gyrus)

**Synaptisches Lernen:** „Sind miteinander verbundene Zellen gemeinsam aktiv, verstärken sich die Synapsen. Demnach aktiviert das Lernen immer wieder eine Anzahl miteinander verknüpfter

Pyramidenzellen. Deren Verbindung verstärkt sich nach und nach, „neuronalen Netzwerke“ entstehen. Je öfter sich der synaptische Lernprozess wiederholt, desto leichter lässt sich dieses „Netzwerk“ aktivieren.“ (Schipek, o.J., www.lernwelt.at <https://www.lernwelt.at/downloads/solernntdasgehirn.pdf> 3.6.2019). (Cf. Hebb'sches Lernen)

**Synaptische Plastizität:** „Biophysikalische und biochemische Veränderungen, welche die effektive Verbindungsstärke einer Synapse erhöhen oder vermindern. Synaptische Plastizität wird als entscheidend für langfristige Speicherung von Erinnerungen (-> Langzeitgedächtnis) angesehen.“ (Koch, 2005, S 381)

**Teleotaktisches Fixieren:** Der bei Lorenz gefundene Ausdruck wird aus zwei Gründen als besonders bedeutsam hervorgehoben. Weil es sich dabei um einen markanten Entwicklungsschritt intelligenten Verhaltens handelt und weil eine enge Verbindung von visueller Wahrnehmung zur Antizipation von Tastbewegungen ablesbar ist.<sup>698</sup> Beide Aspekte sind zentrale Anliegen dieser Arbeit.

„Tiere, die sich durch „teleotaktisches“ Fixieren orientieren, d.h. einen Gegenstand nach dem anderen auf die Stelle schärfsten Sehens zur Abbildung bringen und auf diese Weise den Raum um sich herum gewissermaßen austasten, tun dies stets, während sie am Platze bleiben. Auf die Phase dieses Orientierungsvorganges folgt dann eine Ortsbewegung, die bereits voll orientiert ist und wie geplant wirkt.“ (Lorenz, 1975, S 169)

#### **Theoriebeladenheit / geometrieaffine Theoriebeladenheit der visuellen Wahrnehmung:**

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts kam es in der Wahrnehmungs- bzw. Denkpsychologie zu einem Paradigmenwechsel, demgemäß nicht mehr die einzelnen Sinnesempfindungen, sondern Gestaltphänomene in den Fokus gerieten.

„Wilhelm Wundt war schon in seiner Theorie der „schöpferischen Synthese“ davon ausgegangen, daß die Empfindungselemente im Wahrnehmungsprozeß in einen Zusammenhang gebracht werden...Aber auch Willilam James wandte sich 1890 in *The Principles of Psychology* gegen die ‚Elementpsychologie‘, indem er die Wahrnehmung von Relationen geltend machte“ (Plümacher, 2003, S. 90)<sup>699</sup>

„Er (Ö> Cassirer) wendet sich gegen die erkenntnistheoretisch realistische Auffassungen der Wahrnehmung, denen zufolge Wahrnehmungsmechanismen lediglich Relationen, die eine a-mentale Welt bereithält, und die mit damit Wahrnehmung im wesentlichen als einen passiven Vorgang betrachtete. (sic) Er plädiert dafür, aus dem *Tatbestand*, daß die Wahrnehmung allgemeine Formelemente in sich schließt, nicht vorschnell zu folgern, daß diese Elemente ohne eine spezifische Aktivität des Bewußtseins, d.h. einzig durch Mechanismen passiver Rezeption und Verarbeitung von Reizen entstehen. Denn es kann sein – Cassirer war aus neukantianischer Sicht hiervon überzeugt - °daß der Prozeß des Wahrnehmens von dem des *Urteils* nicht zu trennen° sei.“ (Plümacher, 2003, S. 91 f.)

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welche Komponenten unbewusst gestaltend und interpretierend-deutend in das Perzept einfließen.

In *Patterns of Discovery* etabliert Norwood Russel Hanson den Ausdruck *theory-loaded* als Paradigma, das nicht nur bei wissenschaftlicher Beobachtung, sondern auch schon in der spontanen alltäglichen Wahrnehmung zur Geltung kommt.

“Seeing a bird in the sky involves seeing that it will not suddenly do vertical snap rolls; and this is more than marks the retina. We could be wrong. But to see a bird, even momentarily, is to see it in all these

<sup>698</sup> Cf. z.B. > Haptizität, visuelle Haptik

<sup>699</sup> Angesichts der fundamentalen Position von Relationen in Poincarés erkenntnistheoretischem Ansatz ist es zumindest ein reizvolles Zusammentreffen, wenn Martina Plümacher William James als Protagonisten charakterisiert, der „die Wahrnehmung von Relationen geltend machte“.

connexions. As Wisdom would say, every perception involves an aetiology and a prognosis." (Hanson, 1965, S. 21) <sup>700</sup>

Beisbart (2008) erläutert weitere Schwerpunkte der Bezugsrahmen von Theoriebeladenheit. Dabei bringt er einerseits Kuhns These der Wahrnehmungsverschiebung von Wissenschaftlern gemäß jeweils für gültig gehaltener Paradigmen ins Spiel. Im Zuge einer umfangreicheren Auseinandersetzung mit Kuhn stellt Beisbart fest:

„Kuhn selber (123) rechtfertigt seine These, dass Wissenschaftler mit unterschiedlichen Paradigmen (zum selben Sachgebiet) in unterschiedlichen Welten leben, indem er sagt, die Wissenschaftler hätten keinen anderen Zugang zur Welt außer dem, was sie wahrnehmen. Kuhns Redeweise, dass Wissenschaftler mit unterschiedlichen Paradigmen nicht dasselbe sehen, ist mit einem radikalen Konstruktivismus vereinbar. Der radikale Konstruktivist verneint, dass es eine von der Wahrnehmung (allgemeiner: dem menschlichen Geist) unabhängige Welt gibt.“ (Beisbart, 2008, S. 1)

Darüber hinaus führt Beisbart an:

„Andere Philosophen haben ähnliche Thesen wie Kuhn aufgestellt. Dabei jedoch nicht Bezug auf Paradigma, sondern auf Theorien. These von der Theorieabhängigkeit/Theoriebeladenheit der Erfahrung. Was jemand erfährt/ zu erfahren glaubt, hängt von Theorien ab, die er für richtig hält. Beispiel: Jemand, der in eine bestimmte Richtung blickt und Theorie T1 vertritt, sieht etwas anderes, als jemand, der in dieselbe Richtung blickt und Theorie T2 vertritt.

Schwächere These: These von der Annahmenbeladenheit der Erfahrung Was jemand erfährt/zu erfahren glaubt, hängt von Annahmen ab, die er für richtig hält (aber bei den Annahmen muss es sich nicht um Theorien handeln). Mit Erfahrung ist hier meist Wahrnehmung gemeint.“ (Beisbart, 2008, S. 2)

Zwar geht es allem Anschein nach bei der zuletzt genannten Variante noch immer um den Einfluss von individuellen oder kulturell tradierten Erfahrungen und Wahrnehmungsgewohnheiten. Dennoch wird diese „Schwächere These“ von er *Annahmenbeladenheit* der Wahrnehmung als legitimierende Grundlage dafür gesehen, den Bezugsrahmen der Theorie- bzw. Annahmenbeladenheit der Wahrnehmung im Zuge der hiesigen Arbeit bis in den Bereich der evolutionären Einflüsse zu verfolgen, und in diesem Sinn z.B. schon visuelle Wahrnehmung oder das dazu affine Spektrum von Licht in einem weit gespannten Sinn als theoriebeladen in Ansatz zu bringen. Demgemäß wird auch der Begriff „top-down“ sehr weit in diese Richtung gedehnt und dabei unterstellt, dass es sich wegen der geradlinigen Ausbreitung und damit verbundenen projektiven Eigenschaften von Licht um eine schon bis in diese evolutionären Wurzeln zurückreichende markant **geometrieaffine Theoriebeladenheit** handelt. Zudem wird der von Beisbart verwendete Ausdruck Annahmenbeladenheit als weiteres bestätigendes Indiz dafür gesehen, der Wahrnehmung einen hypothetischen Charakter zuzuschreiben.

**top-down / bottom-up:** Abweichend bzw. erweiternd zur nachstehenden Charakterisierung wird in der hiesigen Arbeit vor dem Hintergrund der Enzephalisation unsere Wahrnehmung insgesamt als stark top-down-lastig und schon evolutionär theoriebeladen in Ansatz gebracht.

„In der kognitiven Psychologie wurden die Begriffe Ende der 1940er Jahre von der Informatik übernommen. In der Wahrnehmungspsychologie wird die kognitive Verarbeitung, die nur aufgrund der Analyse der Reizmerkmale (z. B. Helligkeit, Farbe, Ausrichtung usw.) geschieht, als Bottom-up bezeichnet. Kognitive Einflüsse auf die Wahrnehmung werden dagegen als Top-down bezeichnet. Diese

---

<sup>700</sup> Im Kontext dieser Arbeit ist es bemerkenswert, dass Hanson ausdrücklich auch auf die Theoriebeladenheit der Sprache aufmerksam macht (Cf. Hanson, 1965, S. 59), weil auch Poincaré feststellt: „Jeder trägt in sich eine Weltanschauung, von der er sich nicht so leicht loslösen kann. Wir müssen uns z.B. der Sprache bedienen, und unsere Sprache ist von lauter vorgefaßten Meinungen durchdrungen,...“ (Poincaré, 1906, S. 145)

Einflüsse können beispielsweise durch Vorwissen einer Person oder durch den bedeutungshaltigen Kontext, in dem die Reizinformation auftritt, beeinflusst werden. Der Top-down-Prozess wird unter anderem ausgelöst, wenn bekannte Reize oder Objekte im passenden Zusammenhang schneller erkannt werden." ([https://de.wikipedia.org/wiki/Top-down\\_und\\_Bottom-up](https://de.wikipedia.org/wiki/Top-down_und_Bottom-up) 14.8.2019)

**topisch:** Hier auf die räumliche Anordnung im Gehirn bezogen.

**Transduktion:** „Wandelt einen Reiz (z.B. Schall) in ein elektrisches Signal um, das vom Nervensystem weitergeleitet werden kann...“ (Gegenfurtner, 2011, S. 127))

**Transformation** „Durch sie wird das von den Sinnesorganen erzeugte analoge Signal (stufenlose Spannungsänderungen) in ein digitales Signal (Aktionspotentiale) umgewandelt.“ (Gegenfurtner, 2011, S. 127)

**Trigger:** Der in unterschiedlichen Fachbereichen geläufige Ausdruck wird hier im Zusammenhang mit dem Potential von bildnerischen Gestaltungsmitteln verwendet, komplexes Vorwissen und visuelle Erinnerungen auszulösen bzw. wieder wach zu rufen und mehr oder weniger unbewusst in die spontane Wahrnehmung von Bildern als gestaltenden Input des Betrachters zu integrieren.

**Ventrale Bahn:** „Massiver anatomischer Strom, der im primären visuellen Cortex entspringt und in V4 und den inferotemporalen Cortex projiziert. Von dort sendet er Afferenzen in den ventrolateralen präfrontalen Cortex. Auch als Vision- for- Perception- oder Was-Bahn bezeichnet.“ (Koch, 2005, S. 383)

**Viabilität:** „Viabilität im Konstruktivismus: Da nach Ansicht des radikalen Konstruktivismus die Übereinstimmung der Überzeugungen mit der Wirklichkeit nicht möglich ist, verzichtet er auf einen Wahrheitsbegriff. Als Kriterium für die Überzeugungen setzt er statt dieses Begriffes den Begriff Viabilität. °Handlungen, Begriffe und begriffliche Operationen sind dann viabel, wenn sie zu den Zwecken oder Beschreibungen passen, für die wir sie benutzen.[1]° ...1. Ernst von Glasersfeld: *Radikaler Konstruktivismus*. Frankfurt M.: Suhrkamp Taschenbuch Wissenschaft 1997, S. 43“ (<https://de.wikipedia.org/wiki/Viabilit%C3%A4t> 28.6.2019)

**Vikariierend:** Verhaltensweisen, Strukturen, Systeme usw., die einander stellvertretend ersetzen können, z.B. „...bei Ausfall eines Organs übernimmt ein anderes die Tätigkeit des ausgefallenen;...“ (<https://www.wissen.de/lexikon/vikariierend> 28.6.2019)

**Visuokognitiv:** Der Ausdruck wurde in Anlehnung an Kerkhoff gebildet und wird hier in einem sehr weit gesteckten Rahmen zur Charakterisierung unterschiedlicher Bereiche visueller Verarbeitung und deren enge Verbundenheit mit kognitiven Potentialen verwendet. Kerkhoff spricht sowohl von „visuo-konstruktiven Fähigkeiten“ als auch von komplexen „visuell-kognitiven Leistungen“ und nennt dabei das Lesen und die Orientierung in ungewohnter Umgebung als Beispiele. (Kerkhoff, 2006 b, S. 134).

**Visuotopie:** Cf. retinotop

**Vorgespanntes System:** Angesichts der auch an optischen Täuschungen ablesbaren Tendenz unserer Wahrnehmung, schon aus minimalen Indizien eine räumliche Erscheinung zu generieren, wird das Modell eines **vorgespanntes Systems** nahegelegt. Ohne die exakte Stelle noch ausfindig machen zu können, ist mir in Erinnerung, den Ausdruck bei Konrad Lorenz im Zusammenhang mit auslösenden Schemata angetroffen zu haben. Im aktuellen Kontext soll damit auch zum Ausdruck gebracht werden, dass die phänomenale Dreidimensionalität nicht vom externen „Reiz“ ausgeht, sondern mit oft nur minimalem Anlass auf Basis weniger Stimuli gemäß einer systemspezifischen „Erwartungshaltung“ mit hoher Eigendynamik konstruiert wird.

**Winner take all:** Ob Wahrnehmungsreize bzw. neuronale Impulse im Zuge weiterer Verarbeitungsprozesse im Endeffekt ins Bewusstsein gelangen oder ignoriert werden, hängt u.a. auch mit Neural Competition und einem damit verbundenen Prinzip zusammen, das Koch so beschreibt:

„Winner take all.....: Ein Operationstyp, der in neuronalen Netzwerken leicht umzusetzen ist und bei dem sich nur Neuronen mit den stärksten und lebhaftesten Impulsen durchsetzen. Aufgrund der wettbewerbsorientierten synaptischen Wechselwirkungen werden Neuronen mit weniger aktiven Inputs teilweise (weiche Version von „winner take all“) oder vollständig (starke Version von „winner take all“) unterdrückt. Die Koalitionen die den -> NCC zu Grunde liegen, müssen winner take all Merkmale aufweisen.“ (Koch. 2005, S. 384)

**Wo-Bahn:** Cf. Glossar > Dissoziation bzw. > Dorsale Bahn

**Zyklopisches Sehen:** „Julesz ist bekannt für experimentelle Untersuchungen zur visuellen Wahrnehmung, zum Beispiel beim Tiefensehen (Stereoskopie). 1959 führte er seine bekannten *random dot Stereogramme* ein<sup>[1]</sup>, Paare von Bildern mit zufällig verteilten Punkten, die sich nur in einer in kleinen Details, wie der Verschiebung einer Untergruppe von Punkten, unterscheiden. Wird zum Beispiel eine Gruppe von Zufallspunkten horizontal verschoben, entsteht beim Betrachter der Eindruck einer Tiefenverlagerung der Punkte. Diese Effekte nannte Julesz *Zyklopisches Sehen* (nach dem einäugigen Zyklopen), da sie erst bei der Zusammensetzung der Bilder im Gehirn, und nicht in den jeweiligen Augen, entstehen. Er bewies damit experimentell, dass räumliche Wahrnehmung erst im Gehirn entsteht.“  
[https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9la\\_Julesz](https://de.wikipedia.org/wiki/B%C3%A9la_Julesz) 16.6.2019)

Gemeint ist der Wahrnehmungspsychologe Béla Julesz.

**Zytoarchitektur:** „Als Zytoarchitektur bezeichnet man die Zusammensetzung eines Gewebes im Hinblick auf die Größe, Anordnung, Dichte und Form der vorhandenen Zellen.“ (<https://flexikon-mobile.doccheck.com/de/Zytoarchitektur> 30.7.2019). Der Ausdruck wird im Zusammenhang mit der topografischen Ordnung der Gehirnnareale verwendet, die sich vorwiegend auf die Analyse des Gewebes und nicht auf eine Gruppierung nach Funktionen richtet.

## 23 INHALTSVERZEICHNIS

<b>1</b>	<b>ALLGEMEINES.....</b>	<b>1</b>
1.1	Abstract D.....	1
1.1.1	Multiperspektive Aspekte:.....	2
1.2	Abstract E .....	2
1.3	Abstract F / Résumé .....	3
1.4	Aktuelle Präsenz Poincarés außerhalb seiner unmittelbaren Fachwissenschaften.....	4
1.5	Vorbehalt.....	7
<b>2</b>	<b>ENTRÉE - Diverse Aspekte .....</b>	<b>10</b>
2.1.1	Allons! Nous cherchons la réalité, mais... ..	10
2.1.2	Die Auseinandersetzung mit Poincaré kann man in drei Bereiche aufteilen:....	11
2.1.3	Poincaré an Russel: Keine Epistemologie ohne Psychologie .....	11

2.1.4	Allgemeines zum Hintergrundphänomen Raumwahrnehmung .....	11
2.1.5	Erstes Heranführen an Poincarés erkenntnistheoretisches Problem der Raumwahrnehmung.....	14
2.1.6	Top-down Faktor 3D - geometrieffine Theoriebeladenheit unserer Wahrnehmung gemäß spezifischer visuokognitiver Potentiale .....	15
2.2	ENTRÉE VIA CORPS SOLIDES.....	17
2.2.1	Entrée Archives Poincaré: Zwei Skulpturen illustrieren Einbindung der Wahrnehmung in Grundlagen der Geometrie .....	19
2.2.2	From Pinocchio's nose to Poincarés foundations of geometry .....	21
2.2.3	Projektive Ambivalenz konterkariert eindeutige Relation zu externer Realität .	22
2.2.4	Projektive Ambivalenz komplexer Körper.....	23
2.2.5	Objekt konstruktion als eine rekursive Raison d'être für Geometrie .....	24
2.3	ENTRÉE VIA LINIEN .....	25
2.3.1	Subjektives Konstrukt Linie - ein persönlicher Zugang .....	25
2.3.2	Immersive Linien konterkarieren geometrieffine Definition von Kanten ....	27
2.3.3	Dimensionsproblem der sichtbaren Linie .....	28
2.3.4	Samuel: Poincarés pictorial epistemology .....	29
2.3.5	Linien- ein unnötig hochgespieltes Scheinproblem? .....	29
2.4	ENTRÉE RAUM – GEOMETRIE .....	30
2.4.1	Unterschiedliche Konzepte zur Fundamentierung von Geometrie: Poincarés Integration der Wahrnehmung vs. Hilberts puristische Axiomatik.....	30
2.4.2	Poincarés Zugang zur Genese eines Begriffs von Raum über das lichtaffine Schauspiel der Perspektiven fester Körper .....	32
2.4.3	Auch Hölder forciert Zugang via Thatsachen der Wahrnehmung und Kenntnis des Baus unserer Sinnessorgane.....	34
2.4.4	Francesca Biagioli bringt Konzept eines "relativized a priori" ins Spiel .....	34
2.4.5	Mach: Thema Raum tangiert viele Disziplinen.....	35
<b>3</b>	<b>KOMPARTIMENT Objekterscheinung als hinterfragenswertes Konstrukt des Betrachters .....</b>	<b>35</b>
3.1	Bemerkenswerte Relationen des visuellen Systems zu festen Körpern .....	36
3.2	Von den Seltsamkeiten wahrgenommener Objekte zu den Grundlagen und Verarbeitungsregeln der visuellen Wahrnehmung.....	37
3.2.1	Fragwürdige Solidität abgebildeter Körper.....	39
3.3	Kunstgeschichtlicher Exkurs zu wahrnehmungsspezifischen geometrieffinen Präferenzen.....	40
3.3.1	Visuokognitive Aspekte von Magrittes „Verrat der Bilder“ .....	41
3.3.2	Tangentialebenen, Schatten: Hummels Brunnenschale (Lordick, Monge, Brisson) .....	43
3.3.3	Helligkeitskontraste genuin mit Konturen verbunden: Mach'sche Streifen.....	45

3.3.4	Hoffmans visuelle Intelligenz regulärer Ansichten und Biedermanns signifikante Konturfragmente.....	46
<b>4</b>	<b>KOMPARTIMENT Visuelles System .....</b>	<b>50</b>
4.1	Neurophysiologische Strukturen visueller Verarbeitung vom Auge bis zur Sehrinde	50
4.1.1	Neocortex, visuelle Areale V1-V8 : Topografischer Überblick mit Funktionsangaben.....	52
4.2	Geometrieaffine funktionelle Schwerpunkte .....	54
4.2.1	Rösler: Schon auf Ebene der Retina emergente Eigenschaften durch Verschaltung von Neuronen .....	54
4.2.2	Mach'sche Streifen .....	55
4.2.3	Konturinformation .....	57
4.2.4	Kollinearität.....	57
4.2.5	Formwahrnehmung .....	57
4.2.6	Neuronale Zentralperspektive : Spezielle Zellpopulationen in V1 und MST sensibel für konzentrische Ausdehnung bzw. Schrumpfung der Projektion auf der Retina .....	61
4.2.7	Bildausdehnungsrate der Kontur zur Detektion von Objektbewegungen entlang der Tiefenachse .....	62
4.2.8	Stereopsis.....	62
4.2.9	In V1 auch erste binokulare Zellen: Als fix vorinstallierte Verrechnungskomponente zur Integration unseres Augenabstandes? .....	63
4.2.10	Weitreichende Aspekte von Stereopsis .....	66
4.3	Wo – Was - Bahn : Grundsätzliche Charakterisierung als bevorzugte neuronale Highways mit unterscheidbaren funktionellen Schwerpunkten .....	66
4.3.1	Dissoziation Wo – Was – Bahn: Unterscheidung objekt- vs. orientierungsbezogene Raumwahrnehmung .....	68
4.3.2	Dorsal getragene Objektablösung durch kontrastierende Bewegungsmuster: „Ein Gegenstand ist das, was sich zusammen bewegt“ .....	70
4.3.3	Bei Objekterkennung interagieren präfrontaler Cortex und inferotemporaler Cortex der ventralen Bahn .....	71
4.3.4	Izard: Distinct Cerebral Pathways for Object Identity and Number in Human Infants .....	72
4.3.5	Schwerpunkt ventraler Pfad als Arealkomplex formbezogener Objektbestimmung und Bewusstsein darüber .....	72
4.3.6	Koch: „Die Spuren des Bewusstseins führen in den inferotemporalen Cortex“	73
4.4	Core Knowledges .....	73
4.4.1	Affinität von Gehirnbereichen für Core Knowledges und Arealen visueller Verarbeitung .....	74
4.4.2	Allgemeine (Generelle?) Mathematische Core Knowledges: Nicht nur beim Menschen.....	74

4.5	Geometrische Core Knowledges .....	75
4.5.1	Spelke / Izard: two core systems of geometry.....	75
4.6	Resümee.....	77
<b>5</b>	<b>KOMPARTIMENT Sensibilität für Licht .....</b>	<b>78</b>
5.1	Sensibilität für Licht – ab ovo ein essentieller Faktor von Kognition und Geometrie	78
5.1.1	Von der Sensibilität für Strahlung zum projizierenden Komplexauge eines Fernsinns zur Lokalisation und Formbestimmung von Objekten .....	79
5.1.2	Strahlung als Faktor einer evolutionsfördernden Biosphäre (selektiv- mutagen) .....	80
5.1.3	Rahmenbedingungen: Strahlung als Faktor der Biosphäre .....	81
5.1.4	Halobakterielle Fotosensorik & Photomotorik: Selektiv fotosensible Änderung der Drehrichtung des Geiselmotors.....	82
5.1.5	Transmembrane Proteine, Sensorrhodopsin: Energiegewinnung und Schutz vor Strahlung.....	83
5.1.6	Lichtsensible Sinnesorgane begünstigen Entwicklung optimierter Motilität .....	85
5.1.7	Euglena: Mittels Stigma orientierte Photomotrik optimiert Selbstregulation der Homöostase .....	85
5.2	Opake Bauteile als Grundlage projektiver Abbildung.....	87
5.2.1	Vom Hautlichtsinn zur Camera obscura.....	87
5.2.2	Menschliches Auge.....	88
5.2.3	Evolution unterschiedlicher Typen von Foveae .....	89
5.2.4	Primaten: foveales Sehens korrespondiert mit Augenbewegungen .....	89
5.2.5	Binokulare Wahrnehmung, Frontalstellung, Augenmuskeln usw.....	90
5.3	Affinitäten von Auge und Gehirn .....	91
5.3.1	Pax6: Gemeinsame Gene fördern Entwicklung von Augen und Gehirn .....	91
5.3.2	Die Mutation „small eye“ führte bei Mäusen zu einer Reduktion der Augen. ...	93
<b>6</b>	<b>KOMPARTIMENT Strahlung-Sense Making .....</b>	<b>93</b>
6.1	Via Sensibilität für Strahlung vom Energiemanagement zum Informationsgewinn autonomer, aber nicht autarker Systeme.....	94
6.1.1	Entkoppelung der Wahrnehmung von externer Realität: Innen-Außen Problem .....	94
6.1.2	Vom informativen Reiz zur Perturbation autonomer Systeme .....	95
6.2	Lyon: „anthropogenic“ versus „biogenic approach to cognition“ .....	95
6.3	Systemtheorie, kybernetisch orientierter Modelle zur Beschreibung biologischer Systeme.....	97
6.3.1	Bertalanffy: The psychophysical organism as a primarily active system .....	98
6.3.2	Operationale Geschlossenheit als potentiell Problem einer solipsistischen Abkapselung von der externen Realität.....	98



6.3.3	Organisierte Komplexität, offene und geschlossene Systeme: Systemspezifisch zulässige Perturbation statt extern determinierter Reiz (Bertalanffy, Maturana, Varela, Lyon) .....	99
6.4	Autopoietic turn: Nervensystem „empfängt“ keine Information, es bringt eine Welt hervor .....	99
6.5	Lyon: Systemkomponenten Energiezufuhr, Homöostase.....	100
6.5.1	Organismen als (weitgehend) autonome, aber nicht autarke Systeme mit Potential für Außenkontakte?.....	101
6.6	Von Thermodynamik zum Informationspotential: Membran als informationsaffine Schnittstelle zur Außenwelt und Milieu der Entwicklung von Sinnesorganen .....	101
6.6.1	Definitionen nach Stangl: Autopoiese, Selbstreferentialität, operative Geschlossenheit, strukturelle Kopplung .....	102
6.7	Sense making: “A perturbation becomes a sign through its meaning for the ongoing existence of the organism.” (Weber).....	103
6.8	Bedeutungszuweisung gemäß Koinzidenz von Perturbationen?.....	104
6.8.1	Koinzidenz als eine mögliche Grundlage von Bedeutungszuweisung mit kausalen Implikationen: post hoc - propter hoc .....	105
6.8.2	Struktur-Detektor Gehirn mit Tendenz zu Kausalattribution?.....	107
6.8.3	„Denken ohne Gehirn“: Wimpertierchen und Aplysia: Sensitivierung, Habituation, Konditionierung .....	108
6.8.4	Begriff „Reiz“ verlangt besondere Reflexion.....	110
6.9	Resümee.....	112
6.9.1	Poincaré: Keine Welt ohne Beobachter? .....	112
<b>7</b>	<b>KOMPARTIMENT Von der Wahrnehmung zur Erkenntnis.....</b>	<b>112</b>
7.1	Erkenntnistheoretische Aspekte der (autopoietischen) Zuweisung von Bedeutung	113
7.2	Markl: Hürden der Evolution der Erkenntnisfähigkeit .....	114
7.3	Diebner, Keuth : Gehirnphysiologisch orientierte Hermeneutik zweiter Ordnung ..	115
7.4	Potential zu reflektierter Verhaltenssteuerung durch Entkoppelung von spontanen Reflexen.....	116
7.5	Empirisierung des Transzendentalen: „To understand the mind, we must understand the brain“ .....	116
7.6	Mittelstraß betont mehrmals die Rolle des Konstruktiven.....	118
7.7	Wahrnehmung als Hypothesenprüfung: Trifft Theoriebeladenheit der Wahrnehmung auf eine Wahrnehmungsbeladenheit der Begriffe? .....	119
7.7.1	Wahrnehmung als eine Art unbewusste Wissenschaft mit hypothetischem Charakter.....	120
7.7.2	Keine kategorische Abgrenzung! Essentielle Gemeinsamkeiten von Wahrnehmung und Wissenschaft.....	121
7.7.3	Experiment als realitätssensibles pragmatisches Kriterium gegen Deutungsmacht hypothetischer Modelle und gewohnter Bilder .....	121

7.8	Erkenntnistheoretische Aspekte der Schallortung der Fledermaus .....	122
7.8.1	Markls „Glitzergeräuschantwort“ als Umschreibung für „Reiz“ .....	123
7.8.2	Von Markls Fledermaus zu Helmholtz' Zeichentheorie .....	124
7.8.3	Von Markls konstruktivistischer Fledermaus zu Boutroux' Kontingenz .....	125
7.9	Licht als theoriebeladenes subjektives Konstrukt: Nutzung von Licht als eigendynamisch forciertes Konzept eines weitgehend selbstreferentiellen Systems.....	126
7.10	Resümee.....	128
<b>8</b>	<b>KOMPARTIMENT Objekt als lichtaffines Konstrukt .....</b>	<b>128</b>
8.1	Opazität trägt zur Formerkennung und Ablösung vom Hintergrund sowie zur Prognose mechanischer Festigkeit von Objekten bei .....	129
8.1.1	Mallot: Binokulare Disparität, Tiefensprünge, Konturen .....	130
8.1.2	Kandel: Muffin-Blech illustriert Licht von oben Hypothese .....	131
8.1.3	Weitgehende Opazität statt Infrarot- oder Röntgenblick als Fundament formbezogener Geometrie .....	132
8.1.4	Maßgebend geometrieaffine Rolle der Greifhand im Sichtbereich.....	133
8.2	Lichtaffinität fester Körper.....	134
8.2.1	Sichtbares Spektrum als viables Allround-Konstrukt zur Integration von Lokalisation und Formerkennung fester Körper in ein homogen dreidimensional erscheinendes Perzept.....	135
8.2.2	Opazität als viabler Indikator eines Fernsinns visueller Haptik .....	136
8.3	Resümee: Lichtaffinität fester Körper als angeeignetes (aneignendes) Konstrukt ..	137
<b>9</b>	<b>KOMPARTIMENT Erkenntnistheoretische Probleme lichtaffiner Objektconstruction .....</b>	<b>137</b>
9.1	Theoriebeladenes Konstrukt „Objekt“ bedarf Untersuchung impliziter Vorannahmen .....	138
9.2	Lichtaffine Objektconstruction kann ontologischen Realismus provozieren .....	139
9.2.1	Georgieva: Shape from Shading im ventralen Pfad .....	139
9.2.2	Monge, Brisson: Schattenrealismus in Géométrie descriptive .....	140
9.3	Korrelieren neurophysiologische Komponenten mit Licht von oben Hypothese? ...	142
9.3.1	Parvo-Magno-System als relevantes Modul mit großer Reichweite .....	143
9.3.2	Evolution des geniculocortikalen Systems korreliert mit Tagaktivität von Primaten .....	143
9.3.3	De Sousa: Tagaktiven Affen stärker auf das parvozelluläre System ausgerichtet .....	145
9.4	Resümee.....	145
<b>10</b>	<b>KOMPARTIMENT Licht forciert Konnektom .....</b>	<b>146</b>
10.1	„Optik ist gut fürs Hirn“.....	146
10.1.1	Cline: Lichtinduzierte Neurogenese bei Kaulquappen.....	146

10.2	Lernspezifische Dynamik des Konnektoms unter dem Einfluss sinnlicher Erfahrung .....	148
10.3	Reizsummation steigert Sensitivität .....	149
10.3.1	Binokulare Summation (binocular facilitation) höher als Summe der Einzelleistungen der Augen.....	150
10.4	Optimierung der Struktur des Konnektoms.....	150
10.4.1	Zeki über MT/V5: Polyvalenter Mikrokosmos kompensiert auch Eigenbewegung zugunsten eines räumlich stabilen Perzepts.....	151
10.4.2	MT/V5 als Indiz, dass dritter Pfad bei Menschen eine markante Rolle bei der Integration von Wahrnehmung, Handlung und Sprache spielt? .....	152
10.4.3	Horx/ Sporns: Optimierung des Konnektoms als Small-World Network .....	153
10.4.4	Bioelektrische Reizleitung eng mit visuellem System und Enzephalisation verbunden.....	154
10.5	Resümee: Optimierung neuronaler Strukturen nach Kriterien von Poincarés Fundamenten der Geometrie .....	156
<b>11</b>	<b>KOPARTIMENT Poincarés monokularer Zugang zu bewegungsinduzierter Räumlichkeit korreliert mit erweitertem Begriff des Sehens.....</b>	<b>157</b>
11.1	Muskelsinne, Lokalisation, Okulomotorik, erweiterter Begriff des Sehens (Bell), räumliche Auflösung projektiver Ambivalenz usw.....	158
11.1.1	Moving eyes moving brain moving eyes... ..	159
11.2	Fixer Augenabstand statt vielfältig variabler Eigenbewegung macht Bildauswertung leichter „berechenbar“ .....	160
11.3	Via Unterscheidung der Ursachen von Formveränderungen der Erscheinung fester Körper zur Idee des Raumes .....	160
11.4	Poincaré: Durch Auswertung der Muskelsinne auch monokularer Zugang zum dreidimensionalen Raum .....	161
11.4.1	Poincaré, Bechterew: Lokalisation durch Vorstellung der Bewegungsabfolge	161
11.4.2	Dimensionen gemäß Gruppenkriterien von Bewegungsabfolgen .....	163
11.5	Im Rahmen einer Naturalisierung der Erkenntnis sind alle Elemente eines Ansatzes zu hinterfragen.....	164
11.6	Von Steinbuch, Müller*, Bell und Tourtual bis Poincaré: Das Problem der Erziehung der Sinne und die Rolle der Augenmuskeln für die Konstruktion eines homogenen räumlichen Perzepts .....	165
11.6.1	Müller .....	166
11.6.2	Steinbuch.....	169
11.6.3	Tourtual.....	169
11.6.4	Bell.....	171
11.7	Dilemmata bewegungsbezogener Raumwahrnehmung.....	172
11.8	Resümee: Frontale Augen als evolutionär optimierter Bewegungsaufwand .....	172

<b>12 Binocular turn: Nutzen und Probleme frontaler Augen auf dem Weg zu phänomenalem 3D.....</b>	<b>173</b>
12.1 Vergenzen ersetzen beim teleotaktischen Fixieren die Variable Körperbewegung .	173
12.1.1 „Phylogenetisch sind Vergenzbewegungen relativ jung.“ .....	174
12.1.2 Blicksteuerung ist prominenter Faktor im neuronalen Netzwerk .....	175
12.2 Frontale Augen als struktureller Beitrag zur Objektkonstruktion auf sinnlicher und kognitiver Ebene .....	175
12.2.1 Teleotaktisches Fixieren als bedeutender Entwicklungsschritt mit Problemen im Nahbereich.....	176
12.2.2 Frontale Augen irritieren Objektidentität im Nahbereich .....	177
12.2.3 Bei Annäherung drohender Identitätsverlust des Objekts wird durch top-down wirksame Erfahrung und Verstärkung neurokognitiver Potentiale kompensiert.....	178
12.2.4 Bewegungsparallaxe und teleotaktisches Fixieren zwei verschiedene Prozesse .....	179
12.3 Trias Licht, Bewegung, Augen fördert kognitive Potentiale.....	179
12.3.1 Kompensative Integration der Eigenbewegung begünstigt Zugewinn von Information statt Störung durch Schauspiel der Perspektiven.....	180
12.3.2 Nach projektiven Regeln abbildendes Licht und fixer Augenabstand sind trotz spezifischer Probleme opportune Mittel zur raschen und präzisen Formbestimmung ...	180
12.4 Disambiguation .....	181
12.5 Stereoskopisches Sehen als Fenster zum Bewußtsein.....	182
12.6 Binocular rivalry, monocular rivalry, piecemeal rivalry / interocular grouping.....	184
12.7 Piecemeal fusion going 3D? .....	186
12.8 3D- das Beste aus zwei Welten? Phänomenales 3D als Quale?.....	187
12.8.1 3D als Mehrwert-Produkt einer Art evolutionärer „Bottleneck Intelligenz“? ..	189
12.8.2 Roth: Visuelles System der Wirbeltiere mit signifikanter Parallelverarbeitung und später Bindung.....	190
12.9 3D Wahrnehmung als viable neurokognitive Lösung des binokularen Datenproblems nach Art von Berthoz' Simplexité?.....	191
12.9.1 Berthoz: Simplexité .....	191
12.9.2 Cerveau un émulateur de la réalité .....	192
<b>13 KOMPARTIMENT Blickgestik als intuitive Komponente von Objektivität .....</b>	<b>193</b>
13.1 Intuitive Aspekte von Poincarés konventionalistischer Objektivität .....	194
13.2 Sublimes Ich als Komponente von Intuition .....	195
13.3 Bildhaftes Denken und visuell basierte Evidenz als konstruktive Facetten von (geometrieaffiner) Intuition .....	196
13.3.1 Didaktischer Vorschlag Poincarés zur Nutzung visuell basierter Evidenz.....	196

13.4	Intuitive Gestaltwahrnehmung als morphologischer Aspekt von Geometrie .....	197
13.5	Subjektive Komponenten erfordern intersubjektiven Abgleich .....	198
13.6	Vom subjektiven Wahrnehmen zum intersubjektiven Wahrnehmen durch Augenbewegungen .....	198
13.6.1	Poincarés Modell der Augenbewegungen kompatibel mit „Feature-Ring-Hypothese“ .....	200
13.6.2	Weißer Sclera begünstigt Blickgestik .....	201
13.7	Zu seinen Gunsten gegen Poincaré: Konventionelle Objektivität nicht nur durch die Rede!?	204
13.8	Theoriebeladenheit von Intuition .....	205
13.9	Intuitive Raumbezogenheit von Sprache .....	206
13.10	Resümee: Phänomenales 3D als evolutionär evaluierte protogeometrische Konvention .....	207
<b>14</b>	<b>KOMPARTIMENT Lichtaffin konstruiertes Objekt als multivalente „bequeme“ Metapher qua human being? .....</b>	<b>208</b>
14.1	Häufige Koinzidenz als „lien constant“ der Objektkonstruktion .....	209
14.1.1	Statistisch evaluiertes „Wissen“: Häufige Koinzidenz als Generator neuronaler Erfahrung macht Wahrnehmung zum Wiedererkennen (Kandel/Hebb) .....	209
14.1.2	Cassirer: Wahrnehmung und Gruppentheorie .....	210
14.1.3	Rudimentäres Potential zur Bildung gruppenaffiner formaler Strukturen schon in elementaren Prozessen neuronalen Lernens? .....	211
14.1.4	Objekt als Konstrukt multimodaler Redundanz durch beständige Relationen von Gruppen heterogener Stimuli „zusammengekittet“? .....	214
14.1.5	Schon Multimodalität der Wahrnehmung forciert robuste Objekte .....	216
14.2	„Natürliche Gegenstände“ und Artefakte optischer Täuschung als genuin verwandte Konstrukte .....	217
14.2.1	Mill: Gegenstand als zusammengesetzte Vorstellung nach den Gesetzen der Assoziation .....	218
14.2.2	Äußere Gegenstände durch kognitive Objektkonstruktion instanziiert? .....	218
14.3	Ladyman: Objects are pragmatic devices to construct approximate representations of the world .....	219
14.3.2	Auch Wahrnehmung erfolgt indirekt und bildet Gruppen .....	221
14.4	Cassirer: Wahrnehmung und Gruppentheorie – Vom Objekt zur Verarbeitungsregel .....	222
14.4.1	Wahrnehmung, Enzephalisation, Potential zur Gruppenbildung .....	223
14.4.2	Wahrnehmbare Objekte beeinflussen modo „als ob“ geometrisches Schlussfolgern .....	224
14.5	Auf Relationen gegründetes Objekt als strukturalistisch anmutende, austauschbare Metapher? .....	224
14.5.1	Barthes Simulacrum .....	228

14.6	Objekt als multivalente „bequeme“ Metapher qua human being? .....	229
14.6.1	Poincaré meets Boltzmann: « ... <i>notre</i> besoin de penser avec des images. » ..	230
14.7	Resümee.....	232
<b>15</b>	<b>KOMPARTIMENT Konterkariert evolutionärer Mesokosmos Poincarés Erkenntnistheorie?.....</b>	<b>232</b>
15.1	Unüberschreitbarkeit von Uexkülls Umwelt ist laut Engels erkenntnistheoretisch fragwürdig .....	233
15.2	Anpassungsbedingtes Gefängnis Mesokosmos? .....	233
15.2.1	Capek über Rolle Spencers: adequate replica of the objective order of nature in the human mind.....	234
15.2.2	Vollmers „kognitive Nische Mesokosmos“ und Uexkülls „Umwelt“ laut Engels problematisch .....	235
15.3	Poincaré als missverständlich kurz zitierter Zeuge gegen seine Überzeugung .....	236
15.3.1	Bewegungsreflexe toter Frösche als Beispiel für rudimentäre Fundamente von Geometrie machen Poincaré nicht zum „naiven Adaptionisten“ .....	236
15.3.2	Poincarés Ansatz ist nicht auf einen artspezifischen Mesokosmos reduzierbar: Einbildungskraft expandiert Raumkonzepte.....	237
15.4	Paradoxe Integration Poincarés in einen zu engen erkenntnistheoretischen Rahmen mit Dreidimensionalität als determinierendem Apriori .....	238
15.5	Spätestens seit Darwin gerät durch Hinterfragen des Apriori neben Philosophie auch Geometrie in den Fokus der Naturalisierung der Erkenntnistheorie .....	239
15.6	Boutroux hinterfragt Relation der Mathematik zur Wirklichkeit.....	241
15.6.1	Boelitz: Boutroux als Poincarés Brücke zur Kenntnis der Lehre Darwins?.....	242
15.7	Helmholtz versus Kant: Geometrische Axiome zwischen erfahrungsbegründeter Wahrscheinlichkeit und apodiktischer Gewissheit .....	242
15.8	Poincarés Nuancierung von <i>adapté</i> und <i>adopté</i> entlastet Geometrie von einem Realismusdruck gemäß Anpassung, der ihr wiederholt zugeschrieben wurde. ....	243
15.8.1	Gewohnheit statt Gesetz: Human reason- a system of mental habits (Capek)	244
15.9	Tendenz zu biologisch-evolutionärem Determinismus durch einen zu engen Begriff von Anpassung .....	246
15.10	Gemeinsamer hypothetischer Charakter von Wissenschaft und Wahrnehmung	246
15.10.1	Lockert hypothetisch basierte Objektkonstruktion von Wahrnehmung und Wissenschaft außenbestimmten Adaptionismus? .....	246
15.10.2	Humes „innere Erfahrung“ als wegweisende Abkehr von einer Außenbestimmtheit .....	247
15.11	Engels Plädoyer für offenen Spielraum des Verstandes auf Basis neuronaler Plastizität mit Poincaré kompatibel .....	248
15.11.1	Goulds Exaptation: Ein vom Anpassungs- Determinismus weitgehend entkoppeltes Konzept .....	248

15.11.2	Plastizität des ererbten Umgangs mit Raumwahrnehmung: Poincarés Beispiel erfolgreicher Fischjagd trotz optischer Brechung .....	249
15.12	Resümee: Poincarés Ansatz widerspricht evolutionärem Determinismus .....	249
<b>16</b>	<b>KOMPARTIMENT Milieu biologischer und evolutionärer Modelle ..</b>	<b>250</b>
16.1	Begriffe Selbsterhaltung und Selbstgestaltung sind mehrdimensional und verbinden Biologie, System- und Erkenntnistheorie.....	251
16.2	Bewegung begünstigt Kognition: Von der Motilität der Seescheide zu Poincarés Konzept der Bewegung .....	251
16.3	Relationen der Ansätze von Uexküll, Müller* usw. zu den Überlegungen Poincarés? .....	253
16.4	Poincarés Zugang zum Verständnis vom Raum und seinen Dimensionen basiert auf einem selbstbezogenen Konzept, das mit autopoietischen Modellen kompatibel ist.....	255
16.4.1	Lichtstimuli und Phänomene der Wahrnehmung als eine Art anleitende Erfahrung im Sinne Poincarés .....	256
<b>17</b>	<b>KOMPARTIMENT Zu Gunsten von Poincarés Indeterminismus.....</b>	<b>257</b>
17.1	Neuere Konzepte Evolutionärer Erkenntnistheorie.....	257
17.1.1	Schurz: Keine zwingende Selektion dysfunktionaler Merkmale – Entkoppelung von determinierendem Realismus .....	258
17.2	Progressive Enzephalisation der Wahrnehmung .....	260
17.2.1	Überschussorgan Gehirn: Entspezialisierung, dysfunktionale Merkmale .....	261
17.2.2	Oesers „Weltbilder“, welche die reale Außenwelt zum Spiegel interner Konstruktionen machen, sind mit Poincaré und Boltzmann kompatibel .....	262
17.3	Poincarés chaotischer Schmetterlingseffekt.....	263
17.4	Dreidimensionalität visueller Wahrnehmung ein affines Modell für Bewusstsein? .....	265
17.5	Berthoz : „Le cerveau est une machine géométrique“ .....	266
17.6	Llinás: One could say that reality is not all "out there," but is a kind of virtual reality .....	266
17.6.1	Even external reality probably isn't 3D, we might profit from our making it look like (3D) .....	267
17.7	Poincaré ermöglicht Brain Modelling.....	267
<b>18</b>	<b>AUSKLANG .....</b>	<b>268</b>
18.1	Resümee.....	268
18.2	Rückblickende Wegbeschreibung .....	269
18.3	Zum Schluss: Parturiunt montes...! .....	275
<b>19</b>	<b>RÉSUMÉ EN FRANÇAIS .....</b>	<b>275</b>
<b>20</b>	<b>REVUE FAVORISierter HYPOTHESEN, ANNAHMEN u. AUSSAGEN ...</b>	<b>287</b>
<b>21</b>	<b>ANHANG .....</b>	<b>291</b>
21.1	Neurophysiologische Strukturen visueller Verarbeitung.....	291

21.1.1	Beginn geometrieaffiner Reizverarbeitung in der Netzhaut .....	291
21.1.2	Primäre Sehrinde, V1, Area striata, Brodmann Areal 17 (striatärer bzw. Streifenkortex) .....	295
21.1.3	Weitere Verarbeitung nach V1 .....	299
21.2	Core Knowledges.....	302
21.2.1	Allgemeine (Generelle?) Mathematische Core Knowledges: Nicht nur beim Menschen.....	302
21.2.2	Dehaene: "Cerebral Networks of Number Sense, Calculation and the Intraparietal Area" .....	303
21.2.3	Koaktive neuronale Aktivitäten bei calculation, grasping, pointing, attention, eyemovement .....	303
21.2.4	Dehaene: Linking Numbers to Space - SNARC Effekt .....	304
21.2.5	Subitizing, Approximate number system, Parallel individuation system affine to Object tracking system .....	304
21.2.6	Spelke: Succesor fuction in natural number system.....	305
21.2.7	Rakoczy: "Apes are intuitive statisticians" .....	305
21.3	Binokulare Summation (binocular facilitation) höher als Summe der Einzelleistungen der Augen.....	306
21.4	Okulomotorik mit Konvergenz und Akkommodation: Ein akkordiert wirkendes, aber ungleiches Paar der Nahbereichstrias .....	308
21.4.1	Poincarés Konzept setzt auf die stabile Korrelation von Konvergenz und Akkommodation.....	308
21.4.2	Sakkaden und transsakkadisches Gedächtnis: noch im zeitgenössischen Abseits Poincarés, aber aus heutiger Sicht geradezu frappant kompatibel mit seinem Ansatz ...	309
21.4.3	„Halbkreisförmige Bögen“ liefern wertvollen Input für vestibulo-okuläre Reflexe .....	311
21.4.4	Regelkreise für Stationarität konvergent mit Poincarés Modell der Kompensation .....	313
21.5	GAZE- System: Joint Attention durch deiktische Augenbewegungen .....	314
21.6	Bistabile Perzepte Rubin-Vase und Necker- Würfel: Semantische versus räumliche Ambivalenz.....	315
21.6.1	Räumliche Ambivalenz und Disambiguation als eigenständige Phänomene, die semantische Kriterien dominieren können?.....	316
21.6.2	Asperger-Syndrom lässt reduzierte top-down Einflüsse auf Perzept vermuten, die auch den Neckerwürfel betreffen.....	316
21.6.3	Hohlmaskentäuschung/ Vitrografie/ Umspringen rotierender Maske.....	317
21.7	Poincarés intuitive Komponente von Objektivität.....	318
21.8	Huber: Intuitive Erkenntnis und exakte Wissenschaften.....	320
21.8.1	„ Poincarés Begriff der Intuition in der Mathematik .....	320
21.9	Cassirer: Wahrnehmung und Gruppentheorie .....	322



21.10	Milieu biologischer und evolutionärer Modelle.....	326
21.10.1	Symmetriebruch und Körperachsen begünstigen Evolution gesteuerter Bewegung .....	326
21.10.2	Begriffe Selbsterhaltung und Selbstgestaltung sind mehrdimensional und verbinden Biologie, System- und Erkenntnistheorie .....	327
21.10.3	Wilhelm Roux: Autoergasie.....	327
21.10.4	Roux, Lamarck: Theileauslese & funktionelle Anpassung .....	327
21.11	Bertalanffys Paradoxon: Every whole is based upon the competition of its elements .....	328
21.11.1	Üexkülls Umweltlehre aus Perspektive von Bertalanffys Relativity of Categories .....	328
21.11.2	Bertalanffys Perspektivität des Erkenntnisvermögens als asymptotische Annäherung via „ex omnibus partibus relucet totum“ (Cusanus) mit Poincaré kompatibel .....	330
21.12	Prigogines Unterscheidung von konservativen und dissipativen Systemen.....	331
21.13	„Für Eigen ist Lebensentstehung identisch mit der Entstehung biologischer Information innerhalb eines selbstinduktiven Biosynthesezyklus.“ .....	332
21.14	Evolutionär frühe Tendenz zur Entkoppelung von externer Realität: Biologische Randbedingungen (in Form genetisch codierter biologischer Information) wichtiger als die physikalischen Milieubedingungen.....	335
21.15	Konzepte von Selbstorganisation und operationaler Geschlossenheit lockern extern gesteuerten Anpassungsdruck .....	336
21.16	Vom gestalteten zum gestaltenden Lebewesen: Uexkülls Interaktionseinheit „Umwelt und Innenwelt der Tiere“ .....	336
21.16.1	Uexküll beeinflusst Maturanas autopoietisches Konzept und dessen Frage „Was ist Kognition als biologisches Phänomen?“ .....	337
21.17	Frankfurter Evolutionstheorie: Organismen sind autoformative Subjekte der Evolution .....	338
21.18	Müllers spezifische Sinnesenergien (1826) als paradigmatischer Meilenstein der Erkenntnistheorie.....	341
21.18.1	Müller* und andere konterkarieren naiven Realismus .....	343
21.18.2	Heidelberger: Müllers Problem, „wie aus dieser grundlegenden Selbstempfindung des Leibes schließlich eine Wahrnehmung <i>äußerer</i> Objekte wird.“ ..	344
21.19	Krause: Gegenüberstellung Helmholtz Kant .....	344
21.20	Schiemann: Die Hypothesisierung bei Hermann von Helmholtz .....	345
21.20.1	Die Hypothesisierung des Mechanismus bei Hermann von Helmholtz (Zuschnitt) .....	346
21.20.2	„Zwischen klassischer und moderner Wissenschaftstheorie: Hermann von Helmholtz und Karl R. Popper, erkenntnistheoretisch verglichen“ .....	349
21.21	Eigener Körper als Messinstrument einer Géométrie lunatique de la lune .....	349

21.21.1	Rückkopplung des Beispiels Mondillusion auf Strukturenrealismus und Poincaré .....	352
21.21.2	Metrologischer Strukturenrealismus nach Ehmann / Kaila .....	353
21.22	Boltzmann - Poincaré .....	355
22	GLOSSAR .....	355
23	INHALTSVERZEICHNIS.....	379
24	LITERATURVERZEICHNIS.....	392
25	PERSONENVERZEICHNIS.....	420
26	ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....	423
27	ABBILDUNGEN QUELLEN-VERZEICHNIS .....	425
28	ABKÜRZUNGEN .....	430

## 24 LITERATURVERZEICHNIS

Manche hier genannte Autorinnen und Autoren aus Recherchen und alten Entwürfen zu Kapiteln kommen in der Endversion nicht mehr mit direkten Zitaten vor. Sie wurden hier trotzdem aufgezählt, weil auch von diesen Abhandlungen ein Einfluss ausgegangen ist oder sein könnte, auch wenn er im Detail nur schwer identifizierbar ist. Diese Autoren wurden mit x vor dem Namen markiert. Autoren bzw. Quellen von Abbildungen und damit verbundener Begleittexte sind im Abbildungsverzeichnis angegeben.

Eine Reihe online zugänglicher Quellen ohne Angabe von Autoren werden nicht hier im Literaturverzeichnis aufgeführt, sondern unmittelbar beim Zitat, unter Angabe des Links und allfälliger weiterer Infos über die Quelle. Das betrifft vor allem die Interpretation von Begriffen mit Hilfe von Online-Lexika

Datum der Internet-Abfrage in eckigen Klammern, z.B.: [14.6.2017]

Angabe der Auflage durch hochgestellte Ziffer, z.B.: Czihak, G. et al. (1990<sup>4</sup>)

Weil Online- Ausgaben von Zeitschriften häufig so unterschiedliche bibliographische Angaben machen, dass diese nicht im Rahmen eines einheitlichen Zitierschemas wiederzugeben sind, wurden in nicht eindeutig zu klärenden Fällen die dortigen Zitiervorschläge übernommen und die Digital Object Identifier (doi) bzw. der PubMed Unique Identifier (PMID) angegeben. Z.B. Chesney, D. et al. (2011). Evidence for a shared mechanism used in multiple-object tracking and subitizing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73, S. 2457–2480. (DOI: 10.3758/s13414-011-0204-9) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21968785> [9.4.2019]

AG Neuroinformatik (2011). Augenbewegungen und visuelle Aufmerksamkeit. <https://www.techfak.uni-bielefeld.de/~ihkoesli/vab2011/07-vab2011-hk-augenbewegungen-sw.pdf> [17.7.2018]<sup>701</sup>

<sup>701</sup> Vortrags-Folien. Autor vermutlich Koesling Hendrik, Neuroinformatics Group, Faculty of Technology, Bielefeld University

- Aguilar, R. (2015). *Bild und Gleichnis bei Wittgenstein. Eine Untersuchung aus dem Nachlass*. Dissertation. München: Dissertationen der LMU München. Band 4. [https://edoc.ub.uni-muenchen.de/18733/1/Aguilar\\_Ruben.pdf](https://edoc.ub.uni-muenchen.de/18733/1/Aguilar_Ruben.pdf) [7.11.2017]
- Anken, J. et al. (2016). Cue-dependent circuits for illusory contours in humans. *NeuroImage*, 129, S. 335-344. (DOI: [10.1016/j.neuroimage.2016.01.052](https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2016.01.052)) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26827814> [14.6.2017]
- Anken, J. (2017). *Brain dynamics of illusory contour perception and perception via sensory substitution in healthy subjects*. Thesis. Lausanne: University of Lausanne. [https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB\\_8AOC22C02A96.P001/REF.pdf](https://serval.unil.ch/resource/serval:BIB_8AOC22C02A96.P001/REF.pdf) [1.11.2019]
- x Ayaz, H. et al. (2012). Tangram solved? Prefrontal cortex activation analysis during geometric problem solving. *34th Annual International Conference of the IEEE EMBS, San Diego, California USA*, S. 4724-4727. [https://www.biopac.com/wp-content/uploads/Tangram\\_Geometry\\_fNIRS.pdf](https://www.biopac.com/wp-content/uploads/Tangram_Geometry_fNIRS.pdf)
- Azuma, N. (2000). Molecular cell biology on morphogenesis of the fovea and evolution of the central vision. *Nippon Ganka Gakkai Zasshi*, 104, 12, S. 960-85. (PMID: 11193946) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11193946> [17.2.2018]
- x Baquiast, J.P. (2007). Second Nature Brain science and Human Knowledge par Gerald M. Edelman. (<http://automatesintelligent.blog.lemonde.fr/2007/05/29/la-neuro-epistemologie-presentation-du-dernier-livre-de-g-edelman-second-nature>) [1.11.2017]
- Beck, D., Kastner, S. (2009). Top-down and bottom-up mechanisms in biasing competition in the human brain. *Vision Research*, 49, 10, S. 1154-1165. (DOI: [10.1016/j.visres.2008.07.012](https://doi.org/10.1016/j.visres.2008.07.012)) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2740806> [3.7.2019]
- x Beck, J. (2015), Analogue Magnitude Representations: A Philosophical Introduction. *The British Journal for the Philosophy of Science*, 66, S. 829–855. (DOI: <https://doi.org/10.1093/bjps/axu014>) <https://www.journals.uchicago.edu/toc/bjps/2015/66/4> [7.3.2017]
- Beisbart, C. (2008). Grundprobleme der Wissenschaftsphilosophie. Thomas Kuhn (Fortsetzung) und Imre Lakatos (Zusammenfassung vom 24.6.2008). Dortmund: Technische Universität Dortmund, Institut für Philosophie. <http://www.fk14.tu-dortmund.de/medien/ifpp/Philosophie/Beisbart/teaching/su2008/ps/ps10.pdf> [15.8.2019]
- Bell, C. (1836). *Kar Bell's physiologische und pathologische Untersuchungen des Nervensystems*. Aus dem Englischen übersetzt. Berlin: Im Verlage der Stuhlfchen Buchhandlung. (Wort- und seitenident mit dieser Ausgabe: <https://books.google.at/books?id=on5VAAAacAAJ&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false> [13.8.2018])
- x Berner, M. (2009). *Störung der visuell-räumlichen Wahrnehmung nach Kleinhirnläsion?* Dissertation. Tübingen. Universität Tübingen. <https://publikationen.uni-tuebingen.de/xmlui/handle/10900/45489> [25.4.2017]
- Bertalanffy, L. (1968). *General System Theory. Foundations, Development, Applications*. New York: Braziller.

[https://monoskop.org/images/7/77/Von\\_Bertalanffy\\_Ludwig\\_General\\_System\\_Theory\\_1968.pdf](https://monoskop.org/images/7/77/Von_Bertalanffy_Ludwig_General_System_Theory_1968.pdf) [19.9.2017]

Berthoz, A. (2009). *La Simplexité*. Paris: Odile Jacob.

Berthoz, A. (2011). Video: The study of the brain, plain and simplex / L'étude du cerveau, en toute simplicité. Consulat France Vancouver (Hrsg.). Réalisation: Aribert Rinnert.

<https://www.youtube.com/watch?v=8whaC05VwYs> [20.1.2016]

x Berti, A. (o. J.). Spatial representations, distortions and alterations in the graphic and artistic production of brain-damaged patients and of famous artists.

[http://www.functionalneurology.com/materiale\\_cic/284\\_XXII\\_4/2626\\_spatial/index.htm](http://www.functionalneurology.com/materiale_cic/284_XXII_4/2626_spatial/index.htm) [19.6.2017]

Bethmann, A. (2012). *Die supramodale Verarbeitung individueller Konzepte am Beispiel menschlicher Stimmen und visuell präsentierter Comicfiguren*. Potsdam: Universitätsverlag

Biagioli, F. (2013). Between Kantianism and Empiricism: Otto Hölder's Philosophy of Geometry. *Philosophia Scientiae* ; 17, 1, S. 71-92. (Mit anderen Seitenangaben auch zugänglich via:

<https://journals.openedition.org/philosophiascientiae/828> [2.6.2019]

x Biagioli, F. (2016) *Space, Number, and Geometry from Helmholtz to Cassirer*. Archimedes, Vol. 46. Heidelberg: Springer. <https://de.scribd.com/document/397602489/Space-Number-And-Geometry-From-Helmholtz-to-Cassirer>

Biologie-Schule.de (o.J.). Die Synapse – Erregungsübertragung. <http://www.biologie-schule.de/synapse-erregungsuebertragung.php> [21.4.2018]

x Bischof, N. (1966). Erkenntnistheoretische Grundlagenprobleme der Wahrnehmungspsychologie. In K. Gottschaldt et al. (Hrsg.) *Handbuch der Psychologie*. Bd.1, (S. 409- 497). Göttingen: Hogrefe. <https://epub.ub.uni-muenchen.de/2903/1/2903.pdf> [17.8.2019]

Bischof, N. (1987). Zur Stammesgeschichte der menschlichen Kognition. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*. Band 46 1987 (S. 77-90). Bern: Hans Huber. <https://epub.ub.uni-muenchen.de/2856/1/2856.pdf> [17.8.2019]

Boelitz, O. (1907). *Die Lehre vom Zufall bei Émile Boutroux. Ein Beitrag zur Geschichte der neuesten französischen Philosophie*. Leipzig: Quelle & Meyer. [https://archive.org/stream/dielehrevomzufa00boelgoog/dielehrevomzufa00boelgoog\\_djvu.txt](https://archive.org/stream/dielehrevomzufa00boelgoog/dielehrevomzufa00boelgoog_djvu.txt) [11.8.2014.]

Brading, K. et al. (2010). Epistemic Structural Realism and Poincare's Philosophy of Science. [http://philsci-archive.pitt.edu/10079/1/Epistemic\\_Structural\\_Realism\\_and\\_Poincare's\\_Philosophy\\_of\\_Science.pdf](http://philsci-archive.pitt.edu/10079/1/Epistemic_Structural_Realism_and_Poincare's_Philosophy_of_Science.pdf) [5.11.2016]. (Keine weiteren bibliographischen Angaben.)

x Brandt, S. (2001). *Systemphysiologische Untersuchungen zur Bedeutung des frontalen und parietalen Kortex für visuelle Leistungen beim Menschen*. Habilitation. Berlin: Humboldt-Universität zu Berlin. <http://edoc.hu-berlin.de/habilitationen/brandt-stephan-a-2001-12-04/HTML/brandt.html> [14.4.2017] Oder: <https://edoc.hu-berlin.de/bitstream/handle/18452/14433/Brandt.pdf?sequence=1&isAllowed=y> [17.8.2019]

x Brehmen, A. (2014). *Reduktion der Prädominanz unter binokularer Rivalität durch Inversionseffekt und Augenwechsel*. Bachelorarbeit. Mainz: Johannes Gutenberg-Universität

- Mainz. [https://www.glk.uni-mainz.de/files/2018/08/FB02\\_Psychologie\\_Bachelorarbeit\\_Martin\\_Brehmen.pdf](https://www.glk.uni-mainz.de/files/2018/08/FB02_Psychologie_Bachelorarbeit_Martin_Brehmen.pdf) [17.8.2019]
- Breidbach, A. (2003). *Anschaunungsraum bei Cézanne. Cézanne und Helmholtz*. München: Fink.
- Breil, R. (2011). *Die Grundlagen der Naturwissenschaft: zu Begriff und Geschichte der Wissenschaftstheorie*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Bridge, H. (2016). Effects of cortical damage on binocular depth perception. *Philosophical Transactions B*. 2016 371 20150254. London: The Royal society Publishing.  
<http://rstb.royalsocietypublishing.org/content/371/1697/20150254> [14.6.2017]
- Brisson, B. (1839) *Théorie des ombres*. Siehe: Monge, G. (1839).
- Buckthought, A., Mendola, J. (2012). Neural Mechanisms for Binocular Depth, Rivalry and Multistability. In S. Molotchnikoff & J. Rouat (eds.) *Visual Cortex - Current Status and Perspectives* (pp. 83-110). London: IntechOpen Limited.  
<https://www.intechopen.com/books/visual-cortex-current-status-and-perspectives/neural-mechanisms-for-binocular-depth-rivalry-and-multistability> [7.3.2018] (Link 2020 nicht mehr aktiv, alternativer Zugang via: <https://www.intechopen.com/books/visual-cortex-current-status-and-perspectives/neural-mechanisms-for-binocular-depth-rivalry-and-multistability>)
- Buether, A. (2010). *Die Bildung der räumlich-visuellen Kompetenz*. Nr. 23 der Schriftenreihe Burg Giebichenstein. Halle: Kunsthochschule Halle
- Bühler, B. (2004). *Lebende Körper: biologisches und anthropologisches Wissen bei Rilke, Döblin und Jünger*. Würzburg: Königshausen & Neumann.
- Campbell, D. T. (1993<sup>3</sup>). Evolutionary Epistemology. In G. Radenitzky, W. Bartley, (Hrsg.) *Evolutionary Epistemology, Rationality, and the Sociology of Knowledge*. (S. 47- 90). Chicago: Open Court.
- Campenhausen, C. (2012). Augen und Gehirn.  
[http://universal\\_lexikon.deacademic.com/209231/Augen\\_und\\_Gehirn](http://universal_lexikon.deacademic.com/209231/Augen_und_Gehirn) [2.5.2017]
- x Cantlon, J. (2015). Analog Origins of Numerical Concepts. In C. Geary et al. (Hrsg.) *Evolutionary Origins and Early Development of Number Processing*. (Chapt 9, S. 225- 251). Amsterdam: Elsevier
- Capek, M. (1971). Bergson and Modern Physics. In R. Cohen, M. Wartofsky. (Hrsg.) *Boston Studies in the Philosophy of Science*. (Volume VII). Dordrecht: Springer
- Carey, S. (2009). Where Our Number Concepts Come From. *J Philos*. 106(4): 220–254. US National Library of Medicine. National Institutes of Health.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3489488> [5.3.2017]
- Carey, S. (2011). The Origin of Concepts: A Precip. *Behav Brain Sci*. 2011 Jun; 34(3): 113–162.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3489495> [23.1.2019]

- Carmel, David et al. (2010). How to create and use binocular rivalry. *Journal of visualized experiments : JoVE*, 45, 2030. doi: 10.3791/2030  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3159595> [5.3.2018]
- Cassirer, E. (1944). The Concept of Group and the Theory of Perception. *Philosophy and Phenomenological Research*. Volume V, No.1, S. 1-36.  
<http://wexler.free.fr/library/files/cassirer%20%281944%29%20the%20concept%20of%20group%20and%20the%20theory%20of%20perception.pdf> [13.8.2018]
- Chesney, D. et al. (2011). Evidence for a shared mechanism used in multiple-object tracking and subitizing. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73, S. 2457–2480. (DOI: 10.3758/s13414-011-0204-9) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21968785> [9.4.2019]
- Churchland, P. (Homepage). <http://patriciachurchland.com> [17.12. 2016]
- Ciccarello, L., Berger, D. (1996). *Tiefenwahrnehmung durch binokulare Stereopsis*. Universität Mannheim, Seminar: Ausgewählte Probleme der Wahrnehmungspsychologie, Wintersemester 1996/97. <http://irtel.uni-mannheim.de/lehre/seminararbeiten/w96/Tiefe/binoc.html> [9.5.2017]
- Cline, H. (2018). *The Scripps Research Institute- Research Overview*. La Jolla, CA: Hollis Cline's Lab., Department of Neuroscience. <http://www.scripps.edu/cline/research.html> [29.1.2018]
- Crary, J. (1996). *Techniken des Betrachtens. Sehen und Moderne im 19. Jahrhundert*. Dresden: Verlag der Kunst.
- Czepel, R. (2014) *Die rechte Hand neigt zu Illusionen*. Wien: science.ORF.at.  
<https://sciencev2.orf.at/stories/1747445/index.html> [1.11.2016]
- Czihak, G. et al. (1990<sup>4</sup>). *Biologie: Ein Lehrbuch*. Berlin: Springer
- x Dasgupta, S. et al. (2014). Shape and Orientation Matter for the Cellular Uptake of Nonspherical Particles. *Nano Letters*. S. 687-693. Jülich: Forschungszentrum Jülich.  
<http://pubs.acs.org/doi/pdf/10.1021/nl403949h> 10.11.2017
- Dehaene, S. et al. (2004). Arithmetic and the brain. *Current Opinion in Neurobiology*, 2004, 14, S. 218–224. ([http://www.unicog.org/publications/Dehaene\\_ReviewNumber\\_CurrOpNeurobiol2004.pdf](http://www.unicog.org/publications/Dehaene_ReviewNumber_CurrOpNeurobiol2004.pdf)) [14.2.2017]
- Dehaene, S. et al. (2009). Origins of Mathematical Intuitions. *The Year in Cognitive Neuroscience 2009: Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 1156, S. 232–259.  
<http://www.unicog.org/publications/Dehaene%20S%20%282009%29%20Origins%20of%20mathematical%20intuitions...The%20YearInNeuroscienceNYAS.pdf> [14.2.2017]
- x Dehaene, S. (2014). *Denken: Wie das Gehirn Bewusstsein schafft*. München: Albrecht Knaus
- Deutsche Forschungsgemeinschaft DFG. (2014). Projekt: Empirisierung des Transzendentalen. Epistemologische Voraussetzungen und Erscheinungsformen der Moderne in Wissenschaft, Literatur und Kunst um 1900. <http://empirisierung-des-transzendentalen.de/forschungsprogramm.html> [13.12.2014] (Cf. Heidelberger, M. (2014). <http://empirisierung-des-transzendentalen.de/workshops.html#workshop-2> [13.12.2014])
- Diebner, H. (2011). Systemtheorie – Von der Hermeneutik zum Konstruktivismus. In R. Capurro, J. Holgate (eds.): *Messages and Messengers. Angeletics as an Approach to the Phenomenology of Communication*. (S. 229- 254). München: Fink.

[http://diebner.de/texts/Diebner\\_Systemtheorie-VonDerHermeneutikZumKonstruktivismus.pdf](http://diebner.de/texts/Diebner_Systemtheorie-VonDerHermeneutikZumKonstruktivismus.pdf)  
[18.8.2019]

x Dilger, W. (2003). Neurokognition. Chemnitz: Script zu Vorlesung an der Technischen Universität; (WS 2003/04) (<https://www.tu-chemnitz.de/informatik/KI/scripts/Neurokognition-stud-1.pdf>) [3.7.2017]

x Dillon M. R. et al. (2013). Core foundations of abstract geometry. *PNAS*, 110, 35, o.S.  
<https://doi.org/10.1073/pnas.1312640110> [21.3.2017]

x Dillon, M.R. et al. (2015). Core geometry in perspective. *Dev Sci.*, 18(6), S. 894–908.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4529807> [21.3.2017]

DocCheck Flexikon. (<https://apps.doccheck.com/de/aboutus>) (Ö> Der Beleg von Zitaten aus diesem Online-Lexikon erfolgt im Text nur mit Angabe des jeweiligen Links)

Dorsch. Lexikon der Psychologie. Bern: Hogrefe. <https://portal.hogrefe.com/dorsch/de>

x Drepper, J. (2010). *Die Beteiligung des menschlichen Kleinhirns an kognitiven assoziativen Lernvorgängen*. Dissertation. Bochum: Ruhr- Universität Bochum. <http://www-brs.ub.ruhr-uni-bochum.de/netahtml/HSS/Diss/DrepperJohannes/diss.pdf> [26.4.2017]

x Drew, T., Vogel, E., (2008). Neural Measures of Individual Differences in Selecting and Tracking Multiple Moving Objects. *Journal of Neuroscience*, 28, 16, S. 4183-4191.  
<http://www.jneurosci.org/content/28/16/4183.full> [13.3.2017]

Eckstein, P. (2012). *Statistik für Wirtschaftswissenschaftler*. Wiesbaden: Gabler Verlag / Springer Fachmedien. [http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-8349-3569-4\\_7#page-2](http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-8349-3569-4_7#page-2) [26.2.2017]

Egle, G. (o.J.). *Das Bindungsproblem*. Konstanz: teachSam - Lehren und Lernen online.  
[http://teachsam.de/psy/psy\\_wahrn/psy\\_wahrn\\_3\\_6.htm](http://teachsam.de/psy/psy_wahrn/psy_wahrn_3_6.htm) [26.6.2019]

Ehmann, A. (2014). Messung und Invarianz – Ein Beitrag zum Metrologischen Strukturenrealismus. *Philosophia Naturalis*, 50, 2, o.S.. <http://philpapers.org/archive/EHMMUI> [23.9.2016], Link nicht mehr aktiv. Alternativ: DOI: 10.3196/003180215815620350 oder [https://www.researchgate.net/publication/275946188\\_Messung\\_und\\_Invarianz\\_-\\_Ein\\_Beitrag\\_zum\\_Metrologischen\\_Strukturenrealismus](https://www.researchgate.net/publication/275946188_Messung_und_Invarianz_-_Ein_Beitrag_zum_Metrologischen_Strukturenrealismus) [25.6.2019]

Emberson, L. et al. (2017). The Lateral Occipital Cortex Is Selective for Object Shape, Not Texture/Color, at Six Months. *J Neurosci.*, 37,13, S. 3698-3703.  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/28264984> [14.6.2017]

Engels, E. (1989). *Erkennen als Anpassung*. Frankfurt a.M.: Suhrkamp.

Engels, E. (1999). Erkenntnistheoretische Konsequenzen biologischer Theorien. In E. Kubli, A. K. Reichardt (Hrsg.): *Konsequenzen der Biologie – Die moderne Biologie und das Verhältnis zwischen Natur- und Geisteswissenschaften* (S. 51-67). Stuttgart : Ernst Klett.

([http://www.forum-grenzfragen.de/wp-content/uploads/2016/03/Engels\\_Erkenntnistheoretische.pdf](http://www.forum-grenzfragen.de/wp-content/uploads/2016/03/Engels_Erkenntnistheoretische.pdf) [14.10.2017]

Engler, F. (2008). *Realismus und Wissenschaft*. Tübingen: Mohr Siebeck.

x Ewert, J. (2006) *Neurobiologie Skripten*. (Block 1: ZNS und Neurone, Block 2: Bioelektrizität, Block 3: Erregungsleitung.). Kassel: Uni Kassel. (<http://www.s146213906.online.de/10.html>)

x Eysel, U. (2019<sup>32</sup>). Sehen. In R. Brandes et al. (Hrsg.). *Physiologie des Menschen* (S. 722-771) Stuttgart: Thieme.

x Fehrenbach, F. (2002). Der oszillierende Blick. Sfumato und die Optik des späten Leonardo. *Zeitschrift für Kunstgeschichte*, 65, S. 522-544. <https://core.ac.uk/download/pdf/32980459.pdf> [17.7.2019]

x Feigenson, L., et al. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 7, S. 307-314. <http://isites.harvard.edu/fs/docs/icb.topic1148654.files/Readings/10-12-2012/feigenson-et al04.pdf> [12.3.2017]

x Feigenson, L., et al. (2013). Links Between the Intuitive Sense of Number and Formal Mathematics Ability. *Child Development Perspectives* 7, 2, S. 74-79. [https://www.researchgate.net/publication/259809959\\_Links\\_Between\\_the\\_Intuitive\\_Sense\\_of\\_Number\\_and\\_Formal\\_Mathematics\\_Ability](https://www.researchgate.net/publication/259809959_Links_Between_the_Intuitive_Sense_of_Number_and_Formal_Mathematics_Ability) [12.3.2017]

x Felgner, U. (2012). *Das Induktionsprinzip*. Wiesbaden: Vieweg+Teubner und Deutsche Mathematiker-Vereinigung. <https://dmv.mathematik.de/index.php/publikationen/dmv-jahresbericht/dmv-jahresb-onl/jahrgang-2012/heft-1-3/261-ulrich-felgner/file> [22.2.2017]

Förstl, H. et al. (Hrsg.). (2006). *Neurobiologie psychischer Störungen*. Heidelberg: Springer. (Siehe Zilles)

x Frerichs, S. (o.J.). Grundlagen des erkenntnistheoretischen Konstruktivismus. [https://www.stefre.de/Grundlagen\\_des\\_Konstruktivismus.pdf](https://www.stefre.de/Grundlagen_des_Konstruktivismus.pdf) [26.4.2016]

x Fuchs, T. (2016) Im Kontakt mit der Wirklichkeit: Wahrnehmung als Interaktion. In: M. Schlette, T. Fuchs, A. M. Kirchner (Hrsg.), *Anthropologie der Wahrnehmung* (S. 65-95). Heidelberg: Winter. [https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/fileadmin/zpm/psychatrie/fuchs/Wahrnehmung\\_als\\_Interaktion.pdf](https://www.klinikum.uni-heidelberg.de/fileadmin/zpm/psychatrie/fuchs/Wahrnehmung_als_Interaktion.pdf)

Geary, D. et al. (Hrsg.), (2015<sup>1</sup>). *Evolutionary Origins and Early Development of Number Processing*. Amsterdam: Elsevier.

Gegenfurtner, K. (2004?). Retino-thalamische Projektion (Vortragsfolie 3). <http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/Wahrnehmung/Wahr-04-gehirn.pdf> [5. 5. 2017] Link 18.8.2019 nicht mehr aktiv.

Gegenfurtner, K. (2011). *Gehirn und Wahrnehmung. Eine Einführung*. Frankfurt am Main: Fischer.

Gegenfurtner, K. et al, (o.J.). Visuelle Informationsverarbeitung im Gehirn. In H.D. Huber, B. Lockermann, M.Scheibel (Hrsg.) *Bild | Medien | Wissen. Visuelle Kompetenz im*



- Medienzeitalter* (o.S.). München: Kopaed Verlag. <http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/aka.htm> [16.3.2017]
- Gegenfurtner, K. (2008?) Wahrnehmung. <http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/Wahrnehmung/Wahr-08-tiefe.pdf> [26.6.2018]
- Gehring, W. (2011) Auge um Auge - Entwicklung und Evolution des Auges. Wien: Science-Blog.at <http://www.science-blog.at/2012/10/auge-um-auge-entwicklung-und-evolution-des-auges> [14.8.2017]
- Gelman, R. (2015). Foreword . In: D. Geary et al. (Hrsg.) (2015<sup>1</sup>). *Evolutionary Origins and Early Development of Number Processing* (S. xiii-xix). Amsterdam: Elsevier.
- Georgieva, S. et al. (2008). The Extraction of 3D Shape from Texture and Shading in the Human Brain. *Cerebral Cortex*, 18, 10, S. 2416–2438. <https://academic.oup.com/cercor/article-lookup/doi/10.1093/cercor/bhn002> [19.5.2015]
- Georgieva, S. et al. (2009) The Processing of Three-Dimensional Shape from Disparity in the Human Brain. *Journal of Neuroscience*, 29, 3, S. 727-742; <http://www.jneurosci.org.uaccess.univie.ac.at/content/29/3/727> [18.5.2017]
- Glaeser, G. (2005). *Geometrie und ihre Anwendungen in Kunst, Natur und Technik*. München: Elsevier.
- Glaserfeld, E. (1997). Kleine Geschichte des Konstruktivismus. *Österreichische Zeitschrift für Geschichtswissenschaft*, 8, 1, S. 9–17. <http://www.univie.ac.at/constructivism/EvG/papers/200.pdf> [18.8.2019]
- x Glass, D. et al. (2008). A Brief History of the Hypothesis. *Cell*, 134, 3, S. 378-381. <http://www.cell.com/cell/pdf/S0092-8674%2808%2900953-7.pdf> [23.2.2017]
- Goldstein, E. Bruce (2010<sup>8</sup>). *Sensation and Perception*. Wadsworth: Cengage Learning. <http://dl.icdst.org/pdfs/files/613782cddfa896905bbd17706aecb765.pdf> [18. 5. 2019]
- Goodale, M. Milner, D. (1992). Separate visual pathways for perception and action. *Trends in Neurosciences*, 15, 1, S. 20-25. [http://www.cnbc.cmu.edu/braingroup/papers/goodale\\_milner\\_1992.pdf](http://www.cnbc.cmu.edu/braingroup/papers/goodale_milner_1992.pdf) [10.6.2017]
- x Gondo, A. (2018). : *La construction des vérités mathématiques dans la philosophie de Henri Poincaré*. Dissertationsprojekt. Nancy : Université de Lorraine/Nancy. [https://poincare.univ-lorraine.fr/sites/poincare.univ-lorraine.fr/files/users/documents/fichier\\_page/gondo/projet\\_de\\_these\\_gondo.pdf](https://poincare.univ-lorraine.fr/sites/poincare.univ-lorraine.fr/files/users/documents/fichier_page/gondo/projet_de_these_gondo.pdf) [10.6.2019]
- Goschke, T. (2013/14). Kognitive Kontrolle und präfrontaler Kortex. Folien zur Vorlesung. Dresden: TU Dresden/ Psychologie. [https://tu-dresden.de/mn/psychologie/allgpsy/ressourcen/dateien/lehre/lehreveranstaltungen/goschke\\_lehre/ws\\_2013/vl\\_motivation/VL09-Kognitive-Kontrolle.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/mn/psychologie/allgpsy/ressourcen/dateien/lehre/lehreveranstaltungen/goschke_lehre/ws_2013/vl_motivation/VL09-Kognitive-Kontrolle.pdf?lang=de) [24.7. 2017]
- Gray, J. (2012). *Henri Poincaré: A Scientific Biography*. Princeton: Princeton University Press
- Gray, J. (2019). Epistemology of Geometry. In E. N. Zalta (Hrsg.) *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (o.S.). Stanford: Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/cgi-bin/encyclopedia/archinfo.cgi?entry=epistemology-geometry&archive=fall2019> [26.3.2020]

- x Greene, J. (2005). Apraxia, agnosias, and higher visual function abnormalities. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 76, S. 25-34.  
[http://jnnp.bmj.com/content/76/suppl\\_5/v25](http://jnnp.bmj.com/content/76/suppl_5/v25)
- x Grefkes et al., 2005, The functional organization of the intraparietal sulcus in humans and monkeys. *J Anat.* 207, 1, S. 3–17. doi: 10.1111/j.1469-7580.2005.00426.x
- Grömer, G. (2016). Supermond über Österreich. In ORF Sendung "heute mittag" vom 14.11.2016. <http://tvthek.orf.at/profile/heute-mittag/4660089/heute-mittag/13895516/Supermond-ueber-Oesterreich/13912973> [20.11.2016]. (Beitrag 19.8.2019 nicht mehr abrufbar.)
- Grossberg, S. et al. (2008). How does binocular rivalry emerge from cortical mechanisms of 3-D vision? *Vision Research*, 48, 21, S. 2232-2250.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0042698908003295> [30.1.2018]
- Gruber, W. 2004, Brain Modelling. Physikalische Modelle über das Gehirn. Unterlagen zur Vorlesung. Wien: Universität Wien.  
[http://brain.exp.univie.ac.at/05\\_vorlesung\\_ws04/bilder.htm](http://brain.exp.univie.ac.at/05_vorlesung_ws04/bilder.htm) [27.7.2017]
- Haak, K. et al. (2017). Objective analysis of the topological organization of the human cortical visual connectome suggests three visual pathways. *Cortex* 98, S. 73-83.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0010945217301004> [15.4.2018]
- Haarmaier, T. (2012<sup>3</sup>). Bewegungssehen, Stereopsis und ihre Störungen. In H. Karnath, P. Thier (Hrsg.). *Kognitive Neurowissenschaften*. (S. 54-66). Berlin: Springer.
- Habermas, J. (2009). Sprache: Es beginnt mit dem Zeigefinger. *DIE ZEIT*, Nr. 51, 10.12.2009.  
<https://www.zeit.de/2009/51/Habermas-Tomasello> [25.7.2018]
- Hadamard, J. (1954). *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*. Mineola, NY: Dover Publications.
- Hagendorf, H. et al. (2011). *Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Allgemeine Psychologie für Bachelor*. Berlin: Springer.
- Hall, E. T. (1976). *Die Sprache des Raumes*. Düsseldorf: Schwann
- Hanson, N. R. (1965). *Patterns of Discovery. An Inquiry into the Conceptual Foundations of Science*. Cambridge: University Press. <https://archive.org/details/PatternsOfDiscovery> [19.8.2019]
- Hasler, F. (2014). *Neuromythologie: Eine Streitschrift gegen die Deutungsmacht der Hirnforschung*. Bielefeld: Transcript Verlag.
- Hayes, B. (2001). Review: From Motricity to Mentality. (Reviewed Work: I of the Vortex: From Neurons to Self by Rodolfo Llinás). *American Scientist*, 89, 4, S. 370.  
[https://www.jstor.org/stable/27857509?seq=1#page\\_scan\\_tab\\_contents](https://www.jstor.org/stable/27857509?seq=1#page_scan_tab_contents) [27.5.2019]
- Heberle, J. (o.J.). *Retinalproteine*. Berlin: FU Berlin/ AG Heberle, Experimentelle Molekulare Biophysik <http://www.physik.fu-berlin.de/einrichtungen/ag/ag-heberle/projekte/retinalproteine/index.html> [29.8.2017]

Hedg , J. et al. (2010). A Link between Visual Disambiguation and Visual Memory. *Journal of Neuroscience*, 30, 45, S. 15124-15133. <https://www.jneurosci.org/content/30/45/15124> [24.7.2019]

Heeger, D. (o.J.) Vortragsfolien ohne weitere Angaben. New York: Center for Neural Science, New York University.  
(<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perceptionAdvanced/lectureSlides/9%20visual-pathways.pdf>) [12.5.2017]

Heidelberger, M. (1997). Beziehungen zwischen Sinnesphysiologie und Philosophie im 19. Jahrhundert. In: H. J. Sandkühler, P. Lang (Hrsg.) *Philosophie und Wissenschaften. Formen und Prozesse ihrer Interaktion* (S. 37-58). Tübingen: Philosophische Fakultät, Universität Tübingen. <https://uni-tuebingen.de/fakultaeten/philosophische-fakultaet/fachbereiche/philosophie-rhetorik-medien/philosophisches-seminar/seminar/mitarbeiterinnen/ehemalige-professoren/prof-dr-i-r-michael-heidelberger/publikationen> [1.10.2017]

Heidelberger, M. (o.J. a). *Die Kontingenz der Naturgesetze bei  mile Boutroux*. Tübingen: Philosophische Fakultät, Universität Tübingen. [https://uni-tuebingen.de/fileadmin/Uni\\_Tuebingen/Fakultaeten/PhiloGeschichte/Dokumente/Downloads/ver%C3%B6ffentlichungen/heidelberger/Die\\_Kontingenz\\_der\\_Naturgesetze\\_bei\\_Imile\\_Boutroux\\_final.pdf](https://uni-tuebingen.de/fileadmin/Uni_Tuebingen/Fakultaeten/PhiloGeschichte/Dokumente/Downloads/ver%C3%B6ffentlichungen/heidelberger/Die_Kontingenz_der_Naturgesetze_bei_Imile_Boutroux_final.pdf) [19.5.2019]

Heidelberger, M. (o.J.b /1995). Helmholtz als Philosoph. *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 43,5, S. 835-844. ([http://www.academia.edu/7031956/Heidelberger\\_M.\\_-\\_Helmholtz\\_als\\_Philosoph](http://www.academia.edu/7031956/Heidelberger_M._-_Helmholtz_als_Philosoph)) [30.10.2014]

Heidelberger, M. (o.J.c/1993). Räumliches Sehen bei Helmholtz und Hering. *Philosophia Naturalis*, 30,1, S. 1-28. [https://www.academia.edu/7031970/Heidelberger\\_M.\\_-\\_R%C3%A4umliches\\_Sehen\\_bei\\_Helmholtz\\_und\\_Hering](https://www.academia.edu/7031970/Heidelberger_M._-_R%C3%A4umliches_Sehen_bei_Helmholtz_und_Hering) [30.10.2014]

x Heil, J. (2011). Philosophie und Psychologie im Denken von William James. Eine Einführung. *Internationale Zeitschrift für Philosophie und Psychosomatik*, 1, S. 1-29. [http://www.izpp.de/fileadmin/user\\_upload/Ausgabe\\_4\\_1-2011/13\\_1-2011\\_Heil\\_James.pdf](http://www.izpp.de/fileadmin/user_upload/Ausgabe_4_1-2011/13_1-2011_Heil_James.pdf) [28.12.2018]

Heinzmann, G. (1995). *Zwischen Objektkonstruktion und Strukturanalyse: zur Philosophie der Mathematik bei Jules Henri Poincaré*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.

Heinzmann, G., Stump, D. (2017). Henri Poincaré. In N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (o.S.). Stanford: Metaphysics Research Lab, Stanford University. <https://plato.stanford.edu/archives/win2017/entries/poincare/> [27.3.2020]

Helmholtz, H. (1855). * ber das Sehen des Menschen*. Vortrag gehalten zu Königsberg am 27. Februar 1855. Vorträge und Reden, Bd. 1. Braunschweig: Vieweg (1896). <https://www.gleichsatz.de/b-u-t/begin/bewu/helmholtz3.html> [10.6.2020]

Helmholtz, H. (1878). *Die Tatsachen in der Wahrnehmung*. Rede gehalten zur Stiftungsfeier der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin. Vorträge und Reden, Bd.2. Braunschweig: Vieweg (1896). <https://www.gleichsatz.de/b-u-t/begin/bewu/helmholtz2.html> [18.4.2015]

Hideo, Kawamoto (2006). Neue Formulierung der Autopoiesie. In H. R. Sepp et al. (Hrsg.) *Leben als Phänomen: Die Freiburger Phänomenologie im Ost-West-Dialog* (S. 190-198). Würzburg: Königshausen.

Hilbert, D. (1899). *Grundlagen der Geometrie*. Leipzig: Teubner.  
(<https://archive.org/details/grundlagendergeo00hilb/page/n3> 19.8.2019)

Hinghofer-Szalkay, H. (o.J.) Eine Reise durch die Physiologie. Funktion der motorischen Hirnrindengebiete; Augen- und Blickbewegungen. <http://physiologie.cc/XV.8.htm> [21.7.2018]

Höfer, F. (2007). *Die Notwendigkeit der Kommunikation: die Missachtung eines Phänomens bei Jakob von Uexküll*. Dissertation. Bonn: Philosophische Fakultät der Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität.

Hoffman, D. (2001<sup>3</sup>). *Visuelle Intelligenz. Wie die Welt im Kopf entsteht*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Hoffmann, B. (o.J.). *Albinismus – Sehnerven auf Abwegen – Eine allgemeinverständliche Einführung zur Sehbahnveränderung bei Albinismus*. Magdeburg: Universitäts-Augenklinik.  
[http://www.med.uni-magdeburg.de/augenklinik/vpl/papers\\_pdfs/2005Hoffmann\\_Albinismus.pdf](http://www.med.uni-magdeburg.de/augenklinik/vpl/papers_pdfs/2005Hoffmann_Albinismus.pdf) [26.7.2019]

Hoffmeyer, J. (2010). A Biosemiotic Approach to the Question of Meaning. *Zygon(r)* 45, 2, S.367 – 390.  
[https://www.researchgate.net/publication/230246516\\_A\\_Biosemiotic\\_Approach\\_to\\_the\\_Question\\_of\\_Meaning](https://www.researchgate.net/publication/230246516_A_Biosemiotic_Approach_to_the_Question_of_Meaning) [24.6.2019]

Hölder, O. (1900). *Anschauung und Denken in der Geometrie*. Akademische Antrittsvorlesung, gehalten am 22. Juli 1899. Leipzig: Teubner. [https://gdz.sub.uni-goettingen.de/id/PPN595117910?tify={%22pages%22:\[11\],%22panX%22:0.516,%22panY%22:0.808,%22view%22:%22info%22,%22zoom%22:0.725}](https://gdz.sub.uni-goettingen.de/id/PPN595117910?tify={%22pages%22:[11],%22panX%22:0.516,%22panY%22:0.808,%22view%22:%22info%22,%22zoom%22:0.725}) [20.8.2019]

Honey C. (2017). Algen gegen die Blindheit. Eine neue Seehilfe. Hannoversche Allgemeine Zeitung vom 24.3.2017. <http://www.haz.de/Sonntag/Technik-Apps/Eine-neue-Seehilfe> [30.8.2017]

Honerkamp, J. (2011). Strukturenrealismus und Evolution. SciLogs - Wissenschaftsblogs: Die Natur der Naturwissenschaft, Ansichten eines Physikers (2.August 2011).  
<https://scilogs.spektrum.de/die-natur-der-naturwissenschaft/strukturenrealismus-und-evolution> [14.8.2019]

Horx, M. (2010). *Komplexität und Emergenz*. Frankfurt a. M., Wien: Horx Zukunftsinstitut.  
<https://www.horx.com/zukunftsforschung/komplexitaet-und-emergenz> [20.8.2019]

Huber, R. (2013). *Intuitive Erkenntnis und exakte Wissenschaften*. Habilitationsschrift. Dortmund: TU Dortmund. <https://eldorado.tu-dortmund.de/bitstream/2003/30429/1/habilitationsschrift.pdf> [10.1.2017]

Hume, D. Siehe Schischkoff (1974)

- Hutter, H., Hutter, I. (1971). *Konfrontationen*. Stuttgart: Belser
- Huttner, W. (2016). *Ein Gen für mehr Gehirn*. Dresden: Max-Planck-Institut für molekulare Zellbiologie und Genetik. [https://www.mpg.de/10488211/mpi-cbg\\_jb\\_20161.pdf](https://www.mpg.de/10488211/mpi-cbg_jb_20161.pdf) [20.8.2019]
- x Hyde, D. (2011). Two Systems of Non-Symbolic Numerical Cognition. *Front Hum Neurosci.*, 5, 150, (o.S.). <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3228256/> [7.3.2017]
- Ilg, U., Thier, P. (2012<sup>3</sup>). Zielgerichtete Augenbewegungen. In H. O. Karnath, P. Thier (Hrsg.) *Kognitive Neurowissenschaften* (S. 377-388). Berlin: Springer Medizin. <https://books.google.hr/books?id=tDQeBAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false> [23.8.2019]
- x Inoue, M., Mikami, A. (2007) Top-down signal of retrieved information from prefrontal to inferior temporal cortices. *J Neurophysiol.*, 98, 4, S. 1965-1974. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17652415?dopt=Abstract>
- Izard, V. et al. (2008). Distinct Cerebral Pathways for Object Identity and Number in Human Infants. *Journal.pbio*.0060011. (Keine weiteren Angaben). <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pbio.0060011> [31.1.2017]
- Izard, V. et al. (2011a), Development of Sensitivity to Geometry in Visual Forms. *Human evolution*, 23, 3, S. 213–248. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3045057> [28.12.2016]
- x Izard, V. (2011b). Flexible intuitions of Euclidean geometry in an Amazonian indigene group. *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, 108, 24, S. 9782-9787. <http://www.pnas.org/content/108/24/9782> [31.1.2017]
- x Izard, V. et al. (2011c), Development of Sensitivity to Geometry in Visual Forms, *Hum Evol.*, 23, 3, S. 213–248. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3045057> [31.1.2017]
- James, W. (1901). Frederic Myers' Services to Psychology. *The Popular Science Monthly*, August 1901, S. 380–389. [https://books.google.at/books?id=3CMDAAAAMBAJ&pg=PA380&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.at/books?id=3CMDAAAAMBAJ&pg=PA380&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false) [30.12.2018]
- James, W. (1909). *Psychologie*. Leipzig: Quelle & Meyer. [https://ia802308.us.archive.org/10/items/WilliamJamesPsychologie/William\\_James\\_Psychologie.pdf](https://ia802308.us.archive.org/10/items/WilliamJamesPsychologie/William_James_Psychologie.pdf) [6.6.2018]
- Janich, P. (2000). *Was ist Erkenntnis? Eine philosophische Einführung*. München: C. H. Beck. <https://books.google.at/books?id=vA-NVuELhtsC&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false> [9.11.2017]
- Jetschke, G. (1989). *Mathematik der Selbstorganisation: Qualitative Theorie nichtlinearer dynamischer Systeme und gleichgewichtsferner Strukturen in Physik, Chemie und Biologie*. Wiesbaden: Vieweg.
- Joos, M. et al. (2003) *Bewegungen des menschlichen Auges: Fakten, Methoden und innovative Anwendungen*. Handbuch der Psycholinguistik. Berlin: ResearchGate.

<https://www.researchgate.net/publication/238065767> Bewegungen des menschlichen Auges Fakten Methoden und innovative Anwendungen [18.7.2018]

x Joos, M. et al. (2006). *Mit den Augen kommunizieren*. Dresden: TU Dresden. ([https://tu-dresden.de/ressourcen/dateien/forschung/wissens-und-technologietransfer/dresdner-transferbrief/transferbrief\\_01\\_2006/DTB\\_1.06\\_11.pdf?lang=de](https://tu-dresden.de/ressourcen/dateien/forschung/wissens-und-technologietransfer/dresdner-transferbrief/transferbrief_01_2006/DTB_1.06_11.pdf?lang=de)) [30.7.2018]

x Jung, C., (2011). *Die doppelte Natur des menschlichen Intellekts bei Aristoteles*. Würzburg: Königshausen & Neumann.

x Jütte, R. (2000). *Geschichte der Sinne. Von der Antike bis zum Cyberspace*. München: Beck.

x Kaiser- El-Safti, M. (2001). *Die Idee der wissenschaftlichen Psychologie: Immanuel Kants kritische Einwände und ihre konstruktive Widerlegung*. Würzburg: Königshausen&Neumann.

Kandel, E. (2012). *Das Zeitalter der Erkenntnis*. München: Siedler.

Kant, I. (1998). *Kritik der reinen Vernunft*. Nach der ersten und zweiten Originalausgabe herausgegeben von Jens Timmermann. Philosophische Bibliothek Band 505. Hamburg: Felix Meiner. Online zugänglich via:

[https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjdy5i3i97nAhWvtYsKHcgPC5AQFjABegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ciando.com%2Fimg%2Fbooks%2Fextract%2F3787321128\\_lp.pdf&usq=AOvVaw3vtNaS5tic8f0bWpPdLvkh](https://www.google.at/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=2ahUKEwjdy5i3i97nAhWvtYsKHcgPC5AQFjABegQIBRAB&url=http%3A%2F%2Fwww.ciando.com%2Fimg%2Fbooks%2Fextract%2F3787321128_lp.pdf&usq=AOvVaw3vtNaS5tic8f0bWpPdLvkh) (19.2.2020)

Karanian, J. et al. (2015). Memory for shape reactivates the lateral occipital complex. *Brain Research* 1603, S. 124-132. [https://www2.bc.edu/Md-slotnick/articles/karanian15\\_brain\\_res.pdf](https://www2.bc.edu/Md-slotnick/articles/karanian15_brain_res.pdf) [31.8.2019]

Kemp, M. (2003). *Bilderwissen. Die Anschaulichkeit naturwissenschaftlicher Phänomene*. Köln: DuMont

Kerkhoff, G. (2006 a). Störungen der visuellen Raumwahrnehmung und Raumkognition. In W. Hartje, K. Poeck. (Hrsg.), *Klinische Neuropsychologie*. (6.Aufl). (S. 316 – 333). Stuttgart: Thieme.

Kerkhoff, G. (2006 b). Visuelle und akustische Störungen der Raumorientierung. In H. Karnath et al. (Hrsg.), *Kognitive Neurologie* (S. 126 – 138). Stuttgart: Thieme.

Keuth, H. (1998). Zur Kritik am Anspruch einer universalen Hermeneutik. In B. Kanitscheider et al. (Hrsg.), *Hermeneutik und Naturalismus* (S. 63-82). Tübingen: Mohr Siebeck.

x Killing, W. (2001). *Lehrbuch der analytischen Geometrie*. Bremen: Outlook (Nachdruck des Buchs von 1893)

x Kim, K. (2011). Skript zur Vorlesung "Biologische Psychologie", (Version 1.0). Köln: Uni Köln. ([http://blog.hf.uni-koeln.de/fspsycho/wp-content/blogs.dir/56/files/2013/12/Bio\\_Bering\\_kr.pdf](http://blog.hf.uni-koeln.de/fspsycho/wp-content/blogs.dir/56/files/2013/12/Bio_Bering_kr.pdf))

Klinke, R. (2010<sup>6</sup>). Das zentrale Nervensystem - Grundlage bewussten Menschseins. In R. Kline et. al. (Hrsg.), *Physiologie* (S. 624-643). Stuttgart: Thieme

Knopf, D. (2002). *Optik ist gut fürs Hirn*. Heidelberg: Spektrum der Wissenschaft. <http://www.spektrum.de/news/optik-ist-gut-fuers-hirn/605549> [28.1.2018]

Koch, C. (2005). *Bewusstsein ein neurobiologisches Rätsel*. München: Elsevier/ Spektrum Akademischer Verlag.

x Koch, C. (2006). Consciousness and the Biology of the Brain. Conversations with History Blog. Berkeley: Institute of International Studies.

<http://globetrotter.berkeley.edu/people6/Koch/koch-con0.html> [20.2.2018]

Koch, C. (2013). *Bewusstsein: Bekenntnisse eines Hirnforschers*. Berlin: Springer

Kocmut, J. (2016). *Das Auge, Aufbau*. Salzburg: augenarztsalzburg.com

<http://augenarztsalzburg.com/auge/aufbau/index.htm> [8.1.2018]

Kogo, N. (o.J.). Subjective Contours. *Projekt Gestaltrevision*. Leuven: Laboratory of Experimental Psychology/University of Leuven. <http://gestaltrevision.be/en/what-we-do/overview/39-what-we-do/overview/research-areas/mid-level/93-subjective-Contours> [27.6.2019]

Kölle, M. (2013). Die Bedeutung retinotoper Kortexareale für die Erkennung von Orientierungskontrast. Eine Untersuchung mittels funktioneller Magnetresonanztomographie. Dissertation. Ulm: Medizinischen Fakultät der Universität Ulm. <https://d-nb.info/104689000X/34> [21.10.2019]

Kolmer, W. (1936). Die Netzhaut. In W. Kolmer, H. Lauber (Hrsg.), *Haut und Sinnesorgane*. (Zweiter Teil: Auge, S. 295-467). Berlin: Springer.

x Kolster, H. et al. (2010). The human MT/V5 cluster. *Journal of Vision*, 10, 7, S. 920.

<http://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2139063> [8.5.2017]

Kondepudi, D. et al. (2017). Dissipative structures and irreversibility in nature: Celebrating 100th birth anniversary of Ilya Prigogine (1917–2003). *Chaos: An Interdisciplinary Journal of Nonlinear Science*, 27, 10, S. 1-5. <https://aip.scitation.org/doi/pdf/10.1063/1.5008858> [4.3.2018]

König, O. (1975). *Urmotiv Auge. Neuentdeckte Grundzüge menschlichen Verhaltens*. Piper: München.

Körper, B. (2003). *Augenbewegungen bei der Betrachtung und Vorstellung komplexer visueller Szenen. Untersuchungen an normalsichtigen Probanden und an Patienten mit Hemianopie oder Neglekt*. Dissertation. Düsseldorf: Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. <https://docserv.uni-duesseldorf.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-2673/673.pdf> [26.7.2018]

x Kornmeier, J. et al. (2012). Ambiguous Figures – What Happens in the Brain When Perception Changes But Not the Stimulus. *Front Hum Neurosci.*, 6, 51, S. 1-23.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3309967> [14.3.2018]

Kornmeier, J. et al. (2017). A different view on the Necker cube—Differences in multistable perception dynamics between Asperger and non-Asperger observers. *PLoS One.*, 12,12, S. 1-14. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5731733> [14.3.2018]

x Krajcsi, A. (o.J.) Analog magnitude code of number representation and spatial working memory: two separate systems.

[https://www.researchgate.net/publication/268348098\\_Analog\\_magnitude\\_code\\_of\\_number\\_representation\\_and\\_spatial\\_working\\_memory\\_two\\_separate\\_systems](https://www.researchgate.net/publication/268348098_Analog_magnitude_code_of_number_representation_and_spatial_working_memory_two_separate_systems) [7.2.2017]

Krause, A. (1878) *Kant und Helmholtz. Über den Ursprung und die Bedeutung der Raumanschauung und der geometrischen Axiome*. Lehr: Moritz Schauenburg.  
<https://archive.org/details/kantundhelmholtz00krau/page/n0> [7.10.2018]

KTA 13 (1974). *Philosophisches Wörterbuch*. Stuttgart: Kröner.

x Kuo, W. J. et al. (2009). *Intuition and Deliberation: Two Systems for Strategizing in the Brain*. *Science* 324, S. 519-522. <http://www.spektrum.de/news/unterschiedliche-hirnareale-fuer-abwaegung-und-intuition/992838> [19.11.2018]

Ladyman, J. (2014). Structural Realism. In E. N. Zalta (Hrsg.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy* (o.S.). Stanford: Metaphysics Research Lab, Stanford University.  
<http://plato.stanford.edu/entries/structural-realism> [4.10.2016]

x Landau, B. et al. (1981). Spatial Knowledge and Geometric Representation in a Child Blind from Birth. *Science*, 213, 4513, S. 1275-1278.  
[https://www.researchgate.net/publication/15931539\\_Spatial\\_Knowledge\\_and\\_Geometric\\_Representation\\_in\\_a\\_Child\\_Blind\\_from\\_Birth](https://www.researchgate.net/publication/15931539_Spatial_Knowledge_and_Geometric_Representation_in_a_Child_Blind_from_Birth) [25.3.2017]

x Langenbach, J. (2016). Denken ohne Gehirn. Wien: *Die Presse* vom 11.6.2016  
[http://diepresse.com/home/science/5013151/Denken-ohne-Gehirn?from=gl.home\\_wissenschaft](http://diepresse.com/home/science/5013151/Denken-ohne-Gehirn?from=gl.home_wissenschaft) [11.6.2016]

Lenzen, M. (2016). Leonardo da Vinci – Künstler und Wissenschaftler.  
<https://www.dasgehirn.info/entdecken/meilensteine/leonardo-da-vinci-kuenstler-und-wissenschaftler> [17.7.2019]

Leonardo, nach Baxandall, M. (1987). *Die Wirklichkeit der Bilder. Malerei und Erfahrung im Italien des 15. Jahrhunderts*. Frankfurt am Main: Athenäum.

Leonardo da Vinci. *Traktat von der Malerei*. Nachdruck der Ausgabe Jena 1925. München: Eugen Diederichs Verlag, (1989).

Leuschina, L. I. (1979). Über die Beziehung zwischen visuellem und augenmotorischen System bei der räumlichen Wahrnehmung. In W. F. Lomow, N.J. Vergiles (Hrsg.), *Motorische Komponenten des Sehens* ( S. 135-154). Berlin: VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften

x Lewandowska, B. (2009). Question of Methodology of Scientific Theories of Complex Reality.  
<http://www.metanexus.net/essay/question-methodology-scientific-theories-complex-reality> [12.3.2015]

x Lewis, T. (2013). Is 'Numerosity' Humans' Sixth Sense? <http://www.livescience.com/39441-is-numerosity-humans-sixth-sense.html> [1.3.2017]

x Lex, B. (2010). *Die Rolle von Dopamin in cortico-striatalen Schaltkreise bei der Steuerung zielgerichteten Verhaltens*. Dissertation. Stuttgart: Biologisches Institut der Universität Stuttgart. [https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/1903/1/Dissertation\\_Bjoern\\_Lex.pdf](https://elib.uni-stuttgart.de/bitstream/11682/1903/1/Dissertation_Bjoern_Lex.pdf) [29.6.2019]

Lexikon der Neurowissenschaft. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag.  
<https://www.spektrum.de/lexikon/neurowissenschaft> [diverse Zeitpunkte]



Lexikon der Optik. Heidelberg : Spektrum Akademischer Verlag  
<https://www.spektrum.de/lexikon/optik> [diverse Zeitpunkte]

xLeyh, D. (2015). Netzwerke im Gehirn.

<https://www.dasgehirn.info/grundlagen/netzwerke/video-netzwerke-im-gehirn> [13.4.2018]

Liening, A. (1998). *Komplexe Systeme zwischen Ordnung und Chaos. Neuere Entwicklungen in der Theorie nicht-linearer dynamischer Systeme und die Bedeutung für die Wirtschaftswissenschaft und ihre Didaktik*. Münster: LIT Verlag.

xLindner et al. (2006?). Die inferentielle Natur der Wahrnehmung: Die Bedeutung des Reafferenzprinzips für das Bewegungssehen. *Neuroforum* 1, 6, S. 160-165.

<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/nf.2006.12.issue-1/nf-2006-0104/nf-2006-0104.pdf> [15.6.2017]

Lindqvist, S. (1989). *Grabe, wo du stehst. Handbuch zur Erforschung der eigenen Geschichte*. Bonn: Dietz.

Linkenauger, S. et al. (2013). Welcome to Wonderland: The Influence of the Size and Shape of a Virtual Hand On the Perceived Size and Shape of Virtual Objects. *PLoS ONE*, 8, 7, o.S.

<https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0068594> [21.8.2019]

Llinás, R. (2001). I of the Vortex. From Neurons to Self. Overview

<https://mitpress.mit.edu/books/i-vortex> [20.8.2019]<sup>702</sup>

Logothetis, N. (2000). Das Sehen ein Fenster zum Bewußtsein.

<http://www.spektrum.de/magazin/das-sehen-ein-fenster-zum-bewusstsein/826033>  
 [28.1.2018]

Lordick, D. (2007). Die Eigenschattengrenze des Torus als Einstieg in das Hochgebirge der Geometrie. Vortrag 6. 11. 2007 im Rahmen der 28. Fortbildungstagung für Geometrie in Strobl. <http://www.geometry.at/strobl/strobl2007/plan2007.htm> [21.8.2019]

Lorenz, K. (1975). *Die Rückseite des Spiegels. Versuch einer Naturgeschichte des menschlichen Erkennens*. München: Piper.

Lorenz, K. (1959) Gestaltwahrnehmung als Quelle wissenschaftlicher Erkenntnis. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 6, 1, S.118 – 165.

<http://www.klha.at/papers/1959-Gestaltwahrnehmung.pdf> [20.1.2017]

Lotze: Siehe Weitzenböck.

Lutz, I.(2001), *Vielkanal-Femtosekunden-Spektroskopie der Primärreaktionen von archaebakteriellen Retinalproteinen im sichtbaren (sic!) Spektralbereich*. Dissertation.

München: LMU. <https://core.ac.uk/download/pdf/11025672.pdf> [24.8.2017]

---

<sup>702</sup> "Rodolfo R. Llinás is the Thomas and Susanne Murphy Professor of Neuroscience and Chairman of the Department of Physiology and Neuroscience at the New York University School of Medicine."  
<https://mitpress.mit.edu/contributors/rodolfo-r-llinas> [26.8.2019]

- Lyon, P. (2005). The biogenic approach to cognition. *Cogn Process*, 7, 11–29. (DOI: 10.1007/s10339-005-0016-8) <http://staffwww.dcs.shef.ac.uk/people/A.Sharkey/biogenic.pdf> [31.7.2017]
- Lyre, H. (2006). Strukturenrealismus. *Information Philosophie*, 4, S. 32-37. <http://www.lyre.de/Lyre-InfoPhil2006.pdf> [26.4.2016]
- Mach, E. (1917). *Erkenntnis und Irrtum. Skizzen zur Psychologie der Forschung*. Leipzig: Barth.  
<sup>703</sup> <http://www.zeno.org/Philosophie/M/Mach,+Ernst/Erkenntnis+und+Irrtum> [12.11.2014]
- x Mach: Verein Ernst Mach. (1929): *Wissenschaftliche Weltauffassung, Der Wiener Kreis*. Wien: Artur Wolf Verlag. <http://neurath.umcs.lublin.pl/manifest.pdf> [12.11.2014]
- x Martinez Arias Lab. (2015). Boltzmann, Darwin and THE current challenge of the life sciences. <https://amapress.gen.cam.ac.uk/?p=1507> [8.11.2017]
- Maguire, E. et al. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 97, 8, S. 4398-4403. (DOI: 10.1073/pnas.0700395) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC18253> [14.5.2019]
- Mallot, H. (2000<sup>2</sup>). *Sehen und die Verarbeitung visueller Information: Eine Einführung*. Wiesbaden: Springer.
- Mangold, S. (2012). *Kognitive Verarbeitungsprozesse beim kausalen Urteilen und Entscheiden*. Dissertation. Göttingen: Universität Göttingen. <https://ediss.uni-goettingen.de/bitstream/handle/11858/00-1735-0000-000D-EF84-6/mangold.pdf?sequence=1> [21.8.2019]
- Markl, H. (2005). Evolution der Wahrnehmung. Was macht uns erkenntntisfähig? In M. Lessl, J. Mittelstraß (Hrsg.), *Von der Wahrnehmung zur Erkenntnis* (S. 29 - 46). Berlin: Springer
- Mast, F. (2005). Mit dem inneren Auge sehen – Wie hängen Wahrnehmung und Vorstellung zusammen? *Neuroforum*, 3, 5, S. 80-87. <https://nwg-info.de/sites/nwg-info.de/files/media/pdf/neuroforum/2005-3.pdf> [6.6.2029]
- Maturana, H., Varela, F. (2010<sup>3</sup>). *Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens*. Frankfurt a. M.: Fischer.
- Maturana, H. (1996). Was ist Erkennen? Zitat in: [https://de.wikipedia.org/wiki/Jakob\\_Johann\\_von\\_Uexk%C3%BCII](https://de.wikipedia.org/wiki/Jakob_Johann_von_Uexk%C3%BCII) [28.9.2017]
- Mausfeld, R. (1994). Hermann v. Helmholtz. Die Untersuchung der Funktionsweise des Geistes als Gegenstand einer wissenschaftlichen Psychologie. *Psychologische Rundschau*, 45, S. 133 – 147. [https://www.uni-kiel.de/psychologie/mausfeld/pubs/Mausfeld\\_Helmholtz\\_Die%20Untersuchung%20der%20Funktionsweise%20des%20Geistes\\_1994.pdf](https://www.uni-kiel.de/psychologie/mausfeld/pubs/Mausfeld_Helmholtz_Die%20Untersuchung%20der%20Funktionsweise%20des%20Geistes_1994.pdf) [4.1.2017]
- x Mausfeld, R. (2000). Essay Wahrnehmung. <http://www.wissenschaft-online.de/abo/lexikon/psycho/16602> [26.5.2014]

---

<sup>703</sup> Erstdruck: Leipzig (Johann Ambrosius Barth) 1905. Der Text folgt der postum erschienenen 3. durchgesehenen Auflage.

x Mausfeld, R. (2007). Über Ziele und Grenzen einer naturwissenschaftlichen Zugangsweise zur Erforschung des Geistes. In A. Holderegger, B. Sitter-Liver & Ch. Hess (Hrsg.) *Hirnforschung und Menschenbild*. (o.S.). Basel: Schwabe. [http://www.uni-kiel.de/psychologie/psychophysik/mausfeld/Naturw\\_Erforschung\\_des\\_Geistes.pdf](http://www.uni-kiel.de/psychologie/psychophysik/mausfeld/Naturw_Erforschung_des_Geistes.pdf) [21.4.2014]

Max Perutz Laboratories ( 2014). Wie unsere Körperachsen entstanden. <https://medienportal.univie.ac.at/uniview/forschung/detailansicht/artikel/wie-unsere-koerperachsen-entstanden> [18.9.2016]

x Meuris, J. (1990). *René Magritte 1898-1967*. Köln: Taschen

Mill, J. St. (1908). *Eine Prüfung der Philosophie Sir William Hamiltons*. Halle a. S.: Max Niemeyer. <https://archive.org/details/EinePrumlfungDerPhilosophieSirWilliamHamiltons> [27.6.2018]

x Mill, J.S. (1872). *System der deductiven und inductiven Logik: eine Darlegung der Grundsätze der Beweislehre und der Methoden wissenschaftlicher Forschung* (Band 1). Leipzig: Fues. ☒ Online-Ausgabe Düsseldorf : Universitäts- und Landesbibliothek, 2011. <http://digital.ub.uni-duesseldorf.de/urn/urn:nbn:de:hbz:061:1-73958> [19.2.2017]

Mißfeldt, M. (2019). Aufbau der Netzhaut. <https://www.onlinesehtests.de/auge/netzhaut-retina.php> [5.4.2019]

Mittelstraß, J. (2005). Zur Philosophie des Erkennens. In M. Lessl, J. Mittelstraß (Hrsg.), *Von der Wahrnehmung zur Erkenntnis* (S. 133 - 145). Berlin: Springer

x Miyashita, Y. (1993). Inferior Temporal Cortex: Where Visual Perception Meets Memory. *Annu. Rev. Neurosci.*, 16, S. 245-263  
<https://pdfs.semanticscholar.org/c300/f59a4fd840b544636b74e521d58745e16c8b.pdf>  
[7.6.2017]

Mohler, B. (o.J). Visual body influences perception.<sup>704</sup>  
<https://www.kyb.tuebingen.mpg.de/person/58777/86953> [21.8.2019]

Molderings, H. (2004). Ästhetik des Möglichen. In G. Mattenklott (Hrsg.), *Ästhetische Erfahrung im Zeichen der Entgrenzung der Künste: Epistemische, ästhetische und religiöse Formen von Erfahrung im Vergleich* (S. 103-136). Sonderheft des Jahrgangs 2004 der Zeitschrift für Ästhetik und Allgemeine Kunstwissenschaft. Hamburg: Felix Meiner.

Möller, P. (o.J). Konstitutionstheorie. <http://www.philolex.de/konsttheo.htm> [26.4.2016]

Monge, G. (1798). *Darstellende Geometrie*. Leipzig: Engelmann

Monge, G. (1839<sup>7</sup>). *Géométrie descriptive. Suivi d'une Théorie des ombres et de la perspective, extraite des papiers de l'auteur, par m. Brisson*. Bruxelles: Société Belge de Librairie.

x Moss, S. (2016). Ventrolateral prefrontal cortex.  
<http://www.sicotests.com/psyarticle.asp?id=313> [6.6.2017]

---

<sup>704</sup> Persönliche Homepage an der Uni Tübingen

Müller\*<sup>o23</sup> 705

Müller\*, J. (1826). *Über die phantastischen Gesichterscheinungen*. Koblenz: Jacob Hölscher.  
[http://www.uni-kiel.de/psychologie/psychophysik/mausfeld/Naturw\\_Erforschung\\_des\\_Geistes.pdf](http://www.uni-kiel.de/psychologie/psychophysik/mausfeld/Naturw_Erforschung_des_Geistes.pdf) [1.8.2019]

Müller<sup>2</sup>, M. (2017a). Visuelles System. Aufbau des Auges und dioptrischer Apparat. Vortragsfolien. Göttingen: Med. Uni Göttingen, Neurophysiologie. [http://stud.neurophysiol.med.uni-goettingen.de/uploads/WiS2017\\_2018/Mueller/Vorlesung\\_Auge.pdf](http://stud.neurophysiol.med.uni-goettingen.de/uploads/WiS2017_2018/Mueller/Vorlesung_Auge.pdf) [17.4.2018]

Müller<sup>3</sup>, S. (2017b). Hermeneutik. Die Kunst, das Verstehen zu verstehen. München: Focus online Wissen. [https://www.focus.de/wissen/mensch/philosophie/hermeneutik-die-kunst-das-verstehen-zu-verstehen\\_id\\_6767187.html](https://www.focus.de/wissen/mensch/philosophie/hermeneutik-die-kunst-das-verstehen-zu-verstehen_id_6767187.html) [29.6.2019]

Müller<sup>o</sup>, Viktor. Max Plank Institut Berlin. (<https://www.mpib-berlin.mpg.de/de/mitarbeiter/viktor-mueller>). Mail- Korrespondenz über „Intracative Brains“

Munk, H. et al. (2012<sup>3</sup>). Neuronale Implementierung der Objekt- und Gesichtserkennung. In H.O. Karnath, P. Thier (Hrsg.) *Kognitive Neurowissenschaften* (S. 149-161). Berlin: Springer. <https://www.springer.com/de/book/9783642255267>

Mußman, F. (1995). *Komplexe Natur – Komplexe Wissenschaft. Selbstorganisation, Chaos, Komplexität und der Durchbruch des Systemdenkens in den Naturwissenschaften*. Opladen: Leske + Budrich.

Müsseler, J. (2017<sup>3</sup>). Visuelle Informationsverarbeitung. In J. Müsseler, M. Riegler (Hrsg.) *Allgemeine Psychologie* (S. 13-50). Heidelberg: Springer.

Nabonnand, P., Volkert K. (2014). Poincaré's „vierte Geometrie“. *Mathematische Semesterberichte*, 61, S. 79 – 91. (DOI: <https://doi.org/10.1007/s00591-013-0120-2>) <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01082858/document> [21.8.2019]

Newcombe. N., Huttenlocher, J. (2003). *Making Space. The Development of Spatial Representation and Reasoning*. Massachusetts: MIT.

Nonnenmacher, A. (2016). Myelin. <https://medlexi.de/Myelin> [21.8.2019]

Obermüller, E. (2016). Illusion lässt Finger schrumpfen. <http://science.orf.at/stories/2767221> [1.11.2016] Link zur Studie: [Illusory Visual Completion of an Object's Invisible Backside Can Make Your Finger Feel Shorter](https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.01.020)

Optik Klütermann (o.J.). Albino-Augen – Beeinträchtigt Sehen bei Menschen mit Albinismus. [www.blickcheck.de](http://www.blickcheck.de) <https://www.blickcheck.de/auge/krankheiten-und-sehstoerungen/krankheiten-mit-auswirkungen-auf-die-augen/albinismus> [26.7.2019]

x O'Shea, R. et al. (2009). Monocular rivalry exhibits three hallmarks of binocular rivalry: Evidence for common processes. *Vision Research*, 49, 7, S. 671-681. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.01.020>)

x O'Shea, R. et al. (2017). On the Discovery of Monocular Rivalry by Tscherning in 1898: Translation and Review. *i-Perception* November-December 2017, S. 1–12. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.visres.2009.01.020>)

<sup>705</sup> Beim Namen Müller wurden hier zusätzlich die Zeichen \*<sup>o23</sup> eingefügt, um die Namen bei der Erstellung des Index unterscheidbar zu machen. Johannes Müller\*. Viktor Müller<sup>o</sup>, Müller<sup>2</sup>, M. (2017a) und Müller<sup>3</sup>, S. (2017b) wurden auch im Text und im Personenverzeichnis so markiert.

10.1177/2041669517743523)

<http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1177/2041669517743523> [8.2.2018]

Oeser, E. (1987), zitiert von Wuketits, M. (2008). Evolutionäre Erkenntnistheorie und Menschenbild. In J. Klose et al. (Hrsg.), *Gott oder Darwin?: Vernünftiges Reden über Schöpfung und Evolution* (S. 209 – 216). Berlin: Springer.

Oeser, E. Seitelberger, F. (1988). *Gehirn, Bewußtsein und Erkenntnis. Dimensionen der modernen Biologie* (Band 2). Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.

Oeser, E. (1994). Boltzmann und die Evolutionäre Erkenntnistheorie. *Plus Lucis*, 2/94, S. 14-21. (<https://www.univie.ac.at/pluslucis/PlusLucis/942/s14.pdf> [27.6. 2018] Link Archiv: **1994-2 PL 3 - Plus Lucis**)

Oeser, E. (2003). *Popper, der Wiener Kreis und die Folgen. Die Grundlagendebatte der Wissenschaftstheorie*. Wien: Facultas.

Oeser, E. (2006). Aussage laut Mitschrift einer Vorlesung am 24.4. 2006, Uni Wien.

Oesterheldt, D. (2006). Die Modellierung einer biologischen Verhaltensreaktion. Folien zum Vortrag bei den Münchner Wissenschaftstagen. Martinsried: Max Plank Institut für Biochemie. [http://www.muenchner-wissenschaftstage.de/mwt2006/content/e160/e707/e728/e961/filetitle/Oesterheldt\\_Systembiologie\\_ger.pdf](http://www.muenchner-wissenschaftstage.de/mwt2006/content/e160/e707/e728/e961/filetitle/Oesterheldt_Systembiologie_ger.pdf) [21.8.2017]

x Orban G. A. (2011). The extraction of 3D shape in the visual system of human and nonhuman primates. *Annual Review of Neuroscience*, 34, 1, S. 361-388. (DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev-neuro-061010-113819>)

Paslack, R. (1991). *Urgeschichte der Selbstorganisation: Zur Archäologie eines wissenschaftlichen Paradigmas*. Braunschweig: Vieweg.

x Perry, C. et al. (2014). Feature integration within and across visual streams occurs at different visual processing stages. *Journal of Vision*, 14, 10, o.S. (DOI: <https://doi.org/10.1167/14.2.10>)

x Plücker, J. (1835). *System der analytischen Geometrie auf neue Betrachtungsweisen geründet*. Berlin : Duncker und Humblot.

Plümacher, M. (2003). Die Erforschung des Geistes- Cassirers Auseinandersetzung mit der zeitgenössischen Psychologie. In H.J. Sandkühler, D. Pätzold (Hrsg.), *Kultur und Symbol. Ein Handbuch zur Philosophie Ernst Cassirers* (S. 85-104). Stuttgart: Springer.

Poincaré, H. (1895). L'espace et la géométrie. *Revue de la métaphysique et de morale*, troisième année (1895), page 631-664. [http://ekladata.com/n4Uusy\\_CBSC1B051W5DX5uYxf8eM/Henri-Poincare-L-Espace-et-La-Geometrie.pdf](http://ekladata.com/n4Uusy_CBSC1B051W5DX5uYxf8eM/Henri-Poincare-L-Espace-et-La-Geometrie.pdf) [7.6.2019]

Poincaré, H. (1898). On the foundations of Geometry. *The Monist*, 9, 1, S. 1-43. <https://archive.org/details/jstor-27899007/page/n1> [25.8.2019]

Poincaré, H. (1902). *La science et l'hypothèse*. Online – Ausgabe 2011: Ebooks libres et gratuits. (<https://www.ebooksgratuits.com>). Link: ([https://www.ebooksgratuits.com/pdf/poincare\\_science\\_hypothese.pdf](https://www.ebooksgratuits.com/pdf/poincare_science_hypothese.pdf))

Poincaré, H. (1905). *Science and Hypothesis*. London and Newcastle on Tyne: The Walter Scott Publishing Co., Ltd. New York. <https://www.gutenberg.org/files/37157/37157-pdf.pdf> [21.1.209]

Poincaré, H. (1905/1906). Les mathématiques et la logique. *Revue de Métaphysique et de Morale*, Années 1905, p. 815-835, 1906, p. 17-38, et p. 294-317. <http://tomlr.free.fr/Math%E9matiques/Fichiers%20Claude/Les%20Mathematiques%20Et%20La%20Logique.pdf> [23.10.2018]

Poincaré, H. (1906<sup>2</sup>). *Wissenschaft und Hypothese*. Leipzig: Teubner.

Poincaré, H. (1910<sup>2</sup>). *Der Wert der Wissenschaft*. Leipzig: Teubner.

Poincaré, H. (1911). *La Valeur de la Science*. Paris : Flammarion. Online-Ausgabe (o.J.): Wikisource. [https://fr.wikisource.org/wiki/La\\_Valeur\\_de\\_la\\_Science](https://fr.wikisource.org/wiki/La_Valeur_de_la_Science) [22.6.2018]

Poincaré, H. (1913a). *Letzte Gedanken von Henri Poincaré*. Leipzig: Akademische Verlagsgesellschaft.

Poincaré, H. (2013b). **Der Wert der Wissenschaft**. Heidelberg: Universitätsbibliothek Heidelberg.<sup>706</sup> <http://archiv.ub.uni-heidelberg.de/volltextserver/15331/1/wert.pdf>

Poincaré, H. (1913 /1946). *The Foundations of Science*. Lancaster, Pa.: Science Press. ([The foundations of science / by H. Poincaré - St. Isidore forum](#) [10.10.2017] (Link nicht mehr aktiv, aktueller Zugang via: <https://archive.org/details/foundationsscie01poingooq/page/n8> [22.8.2019])

Poincaré, H. (o.J., 1904?) *La Valeur de la Science*. Paris: Flammarion. <http://henripoincarepapers.univ-lorraine.fr/chp/hp-pdf/hp1919vs.pdf> [22.6.2018]

Poincaré, H. (1914). *Wissenschaft und Methode*. Leipzig: Teubner. [https://ia902605.us.archive.org/19/items/bub\\_gb\\_z4c7AQAAIAAJ/bub\\_gb\\_z4c7AQAAIAAJ.pdf](https://ia902605.us.archive.org/19/items/bub_gb_z4c7AQAAIAAJ/bub_gb_z4c7AQAAIAAJ.pdf) [10.6.2018]

Poincaré, H. (1920). *Science et Méthode*. Paris: Flammarion. <https://archive.org/details/scienceetmthod00poin/page/n7> [27.6.2019]

Pombo, O. (2012). Conceptions of intuition in Poincaré's philosophy of mathematics. [http://cfcu.fc.ul.pt/Seminarios/Artigo\\_Poincare\\_final\\_Olga\\_Pombo.pdf](http://cfcu.fc.ul.pt/Seminarios/Artigo_Poincare_final_Olga_Pombo.pdf) [20.12.2016]

Pratt, K. et al. (2016). An Evolutionarily Conserved Mechanism for Activity-Dependent Visual Circuit Development. *Front Neural Circuits*, 10, 79, o.S. (DOI: [10.3389/fncir.2016.00079](https://doi.org/10.3389/fncir.2016.00079)) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5073143/> [29.1.2018]

x Prigge, M. (2012). *Über die elektrophysiologische Untersuchung und Entwicklung von farbverschobenen Kanalrhodopsinchimären aus der Grünalge Volvox carteri*. Dissertation. Berlin : HU Berlin. <https://edoc.hu-berlin.de/handle/18452/17204>, [1.9.2017]

---

<sup>706</sup> Digitale Ausgabe erstellt von Gabriele Dörflinger

- Príncipe, J. (2017). Poincaré and Duhem: Resonances in their First Epistemological Reflections. *Transversal: International Journal for the Historiography of Science*, 2, S. 140-156. (DOI: <http://dx.doi.org/10.24117/2526-2270.2017.i2.13>)  
<https://dspace.uevora.pt/rdpc/bitstream/10174/21675/1/Jo%C3%A3o%20Pr%C3%ADncipe%20C%20Transversal%20Duhem%20and%20Poincar%C3%A9.pdf> [13.6.2019]
- Pulte, H. (2009). Darwin und die exakten Wissenschaften. Eine vergleichende wissenschaftstheoretische Untersuchung zur Physik mit einem Ausblick auf die Mathematik. In E. Engels (Hrsg.), *Charles Darwin und seine Wirkung* (S. 139-176). stw 1903. Frankfurt a. Main: Suhrkamp
- Rakoczy, H., et al. (2014). Apes are intuitive statisticians. *Cognition*, 131, 1, S. 60-68. (Doi: <https://doi.org/10.1016/j.cognition.2013.12.011>) [https://www.psych.uni-goettingen.de/de/development/team/rakoczy-hannes/publikationen-1/im-druck/Rakoczy\\_et\\_al\\_2014.pdf](https://www.psych.uni-goettingen.de/de/development/team/rakoczy-hannes/publikationen-1/im-druck/Rakoczy_et_al_2014.pdf) [19.2.2017]
- x Read, J. (2006). Early computational processing in binocular vision and depth perception. *Prog Biophys Mol Biol.*, 87, 1, S.77-108. (DOI: [10.1016/j.pbiomolbio.2004.06.005](https://doi.org/10.1016/j.pbiomolbio.2004.06.005))  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1414095/> [24.5.2017]
- Riederer, M. (2004). Erhöhte UV-Strahlung: Konsequenzen und Maßnahmen. In: Bayerische Akademie der Wissenschaften (Hrsg.), *Rundgespräche der Kommission für Ökologie*, Band 27 (2004), München: Verlag Dr. Friedrich Pfeil  
[https://www.badw.de/fileadmin/pub/akademieAktuell/2004/12/34\\_riederer.pdf](https://www.badw.de/fileadmin/pub/akademieAktuell/2004/12/34_riederer.pdf) [22.8.2019]
- Riedl, R. (1986). *Die Strategie der Genesis. Naturgeschichte der realen Welt*. München: Piper
- Riedl, R. (2002). Theorie der Theorienbildung. [https://www.zobodat.at/pdf/Matreier-Gespraech\\_2002\\_0254-0274.pdf](https://www.zobodat.at/pdf/Matreier-Gespraech_2002_0254-0274.pdf) [2.7.2019]
- x Riedl, R. (2005). *Der Verlust der Morphologie*. Seifert: Wien
- Riemann, B. (1854) Ueber die Hypothesen, welche der Geometrie zu Grunde liegen. [Aus dem dreizehnten Bande der Abhandlungen der Königlichen Gesellschaft der Wissenschaften zu Göttingen] <https://www.emis.de/classics/Riemann/Geom.pdf> [22.8.2019]
- x Rogler, E. (2007?)<sup>707</sup>. Gerhard Roths konstruktivistische Erkenntnistheorie und das Gehirnparadox. <http://www.protosociology.de/Download/Rogler-Roth.pdf>
- Rohen, J. W. (1962). Sehorgan. In H. Hofer et.al. (Hrsg.), *Primatologia. Handbuch der Primatenkunde*, II/ Teil 1 / Lieferung 6: Sehorgan. Basel: S. Karger.
- Rösler, F. (2011). *Psychophysiologie der Kognition. Eine Einführung in die Kognitive Neurowissenschaft*. Heidelberg: Spektrum.  
<https://www.springer.com/de/book/9783827425997>
- Roth, G. (1997). *Das Gehirn und seine Wirklichkeit. Kognitive Neurobiologie und ihre philosophischen Konsequenzen*. stw 1275. Frankfurt am Main: Suhrkamp .

---

<sup>707</sup> Keine bibliographischen Angaben im Dokument. Gemäß URL vermutlich: Frankfurt a. Main: ProtoSociology – An International Journal and Interdisciplinary Project: Including Philosophy. (<http://www.protosociology.de>).

Roth, G. (2009). *Aus der Sicht des Gehirns*. stw 1915. Frankfurt a. M.: Suhrkamp.

Roth, G. (2010). *Wie einzigartig ist der Mensch? Die lange Evolution der Gehirne und des Geistes*. Heidelberg: Spektrum, Akad. Verl.

Rötzer, F. (2006). Die Hypothese vom kooperativen Auge.  
<http://www.heise.de/tp/r4/artikel/24/24133/1.html> [2.8.2018]

Ruhr-Uni Bochum. (WS 2001/02). Die interzellulären Grundlagen von Habituation und Sensitivierung. Bochum: Uni Bochum. ([http://www.ruhr-uni-bochum.de/biopsyseminare/data/studentenprojekte/seminarlernen\\_ws0102/Habituation\\_2910/habituation.htm](http://www.ruhr-uni-bochum.de/biopsyseminare/data/studentenprojekte/seminarlernen_ws0102/Habituation_2910/habituation.htm)) [3.9.2017]<sup>708</sup>

Rumpel, S. et al. (2016). Das dynamische Konnektom. *Neuroforum*, 22, 3, S. 73–79. (DOI: <https://doi.org/10.1515/s12269-016-0048-2>)  
<https://www.degruyter.com/downloadpdf/j/nf.2016.22.issue-3/s12269-016-0048-2/s12269-016-0048-2.pdf> [13.4.2018]

Runge, A. (2007). *Räumliche Lokalisationsfähigkeit und Raumkonstanz nach sakkadischen Augenbewegungen. Der Einfluss von Parietalhirnläsionen*. Dissertation. Lübeck: Universität Lübeck. <http://www.zhb.uni-luebeck.de/epubs/ediss499.pdf> [28.6.2018]

x Rütting, T. (o.J.) Folie 19: „subjective space of an animal“. <http://www.math.uni-hamburg.de/home/rueting/Projekte.htm> [16.9.2017]. bzw. (Jakob von Uexküll and his "Institut für Umweltforschung in Hamburg" (PPT - Präsentation in English) [16.9.2017]. Beide Links am 23.8.2019 nicht mehr aktiv.

Samuel, N. (2012). Henri Poincaré und der chaotische Wirbelsturm der Erkenntnis: Zur Performanz mathematischen Denkens. *Studia Universitatis Babeş-Bolyai - Philosophia*, 57,1, S. 59–91.

Sänger, J. et al. (2011). Interactive brains, social minds. *Communicative & integrative biology*, 4, 6, S. 655-663. (DOI: 10.4161/cib.17934)  
<https://www.researchgate.net/publication/221976990> Interactive brains social minds [13.8.2018]

x Schäfers, A. (o.J.). Gehirn und Lernen. Das limbische System oder das „Säugergehirn".  
<http://www.gehirnlernen.de/gehirn/das-limbische-system-oder-das-s%C3%A4ugergehirn> [26.4.2017]

Schäfers, A. (o.J.). Gehirn und Lernen. Plastizität.  
<https://www.gehirnlernen.de/gehirn/plastizit%C3%A4t> [3.6.2019]

x Schall, J. (2009). Frontal Eye Fields.  
<http://www.psy.vanderbilt.edu/faculty/schall/pdfs/en2009FrontalEyeFields.pdf> [8.6.2017]

Schiemann, G. (1994). Die Hypothesisierung des Mechanismus bei Hermann von Helmholtz. Ein Beitrag zum Wandel der Wissenschafts- und Naturauffassung im 19. Jahrhundert. In L. Krüger (Hrsg.), *Universalgenie Helmholtz. Rückblick nach 100 Jahren* (S. 149-167). Berlin: Akademie-

<sup>708</sup> Link am 1.8.2019 nicht mehr aktiv und auch kein alternativer Zugang auffindbar.



Verlag. [https://www.philosophie.uni-wuppertal.de/fileadmin/philosophie/PDFs\\_allg/Schiemann/Aufs%C3%A4tze\\_neu/03Hypothetisierung\\_des\\_Mechanismus\\_2.pdf](https://www.philosophie.uni-wuppertal.de/fileadmin/philosophie/PDFs_allg/Schiemann/Aufs%C3%A4tze_neu/03Hypothetisierung_des_Mechanismus_2.pdf) [30.6.2019]

Schiemann, G. (1995). Zwischen klassischer und moderner Wissenschaftstheorie: Hermann von Helmholtz und Karl R. Popper, erkenntnistheoretisch verglichen! *Deutsche Zeitschrift für Philosophie*, 43, 5, S. 845-859. DOI: <https://doi.org/10.1524/dzph.1995.43.5.845>

Schipek, P. (o.J.). So lernt das Gehirn. <https://www.lernwelt.at/downloads/solerntdasgehirn.pdf> [3.6.2019]

Schischkoff, G. (1974<sup>19</sup>). *Philosophisches Wörterbuch*. Stuttgart. Kröner (KTA 13).

Schröfl, T. (2018?). Über das beidäugige Sehen. [http://www.alrukaba.at/cms/upload/Spektroskopie/thomas/Binocular/on\\_binocular\\_vision.pdf](http://www.alrukaba.at/cms/upload/Spektroskopie/thomas/Binocular/on_binocular_vision.pdf) [25.4.2018].

x Schroeter, M. (2011). *Die Industrialisierung des Gehirns. Eine Fundamentalkritik der kognitiven Neurowissenschaften*. Würzburg: Königshausen & Neumann.

x Schoute P.H. (1902). *Mehrdimensionale Geometrie*. Leipzig: Göschen

Schurz, G. (o.J.). Sind Menschen Vernunftwesen? Zum Zusammenhang von Evolution und Kognition. [https://www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/fileadmin/Redaktion/Institute/Philosophie/Theoretische\\_Philosophie/Schurz/andere/Sind\\_Menschen\\_Vernunftwesen.pdf](https://www.phil-fak.uni-duesseldorf.de/fileadmin/Redaktion/Institute/Philosophie/Theoretische_Philosophie/Schurz/andere/Sind_Menschen_Vernunftwesen.pdf) [19.11.2007]

Schurz, G. (2011). *Evolution in Natur und Kultur. Eine Einführung in die verallgemeinerte Evolutionstheorie*. Heidelberg: Spektrum.

Scott, W. (1996). Henri Poincaré's student notebooks, 1870–1878. *Philosophia Scientiæ*, 1, S. 1–17. [https://www.researchgate.net/publication/255013361\\_Henri\\_Poincare's\\_student\\_notebooks\\_1870-1878](https://www.researchgate.net/publication/255013361_Henri_Poincare's_student_notebooks_1870-1878) [21.7.2019]

Scriba, C., Schreiber, P. (2005<sup>2</sup>). *5000 Jahre Geometrie. Geschichte, Kulturen, Menschen*. Heidelberg: Springer.

x Seising, R. (2008). Rezension von: Hans-Jörg Rheinberger: Historische Epistemologie zur Einführung. *sehpunkte*, 8, 3. o.S. <http://www.sehpunkte.de/2008/03/14294.html> [23.8.2019]

Senckenberg-Forschung, Frankfurt, (o.J.). Frankfurter Evolutionstheorie.  
[http://www.senckenberg.de/root/index.php?page\\_id=1188](http://www.senckenberg.de/root/index.php?page_id=1188) [8.9.2018] Link am 23.8.2019  
 nicht mehr aktiv.

Sengpiel, F. (2013). The neuron doctrine of binocular rivalry. In S. Miller (Hrsg.), *The Constitution of Visual Consciousness. Lessons from Binocular Rivalry* (S. 167- 186). Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.  
<https://books.google.at/books?id=w7EbAgAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false> [23.8.2019]

Simm, M. (2016). Sehen- (k)ein selbstverständliches Wunder.  
<https://www.dasgehirn.info/wahrnehmen/sehen/sehen-kein-selbstverstaendliches-wunder>  
 [17.4.2018]

x Simon, O. et al. (2004) Automated clustering and functional geometry of human parietofrontal networks for language, space, and number. *NeuroImage*, 23, S. 1192-1202.  
 (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2004.09.023>)  
[http://www.unicog.org/publications/SimonDehaene\\_parietoFrontalMap\\_Neuroimage2004.pdf](http://www.unicog.org/publications/SimonDehaene_parietoFrontalMap_Neuroimage2004.pdf)  
 f [16.3.2017]

x Singh-Curry et al. (2009). The functional role of the inferior parietal lobe in the dorsal and ventral stream dichotomy. *Neuropsychologia*, 47, 6, S.1434–1448.  
 [DOI: [10.1016/j.neuropsychologia.2008.11.033](https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2008.11.033))  
 (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC2697316> 19.6.2017)

Sousa de-, A. et al. (2013). Lamination of the Lateral Geniculate Nucleus of Catarrhine Primates. *Brain Behav Evol.*, 81, 2, S. 93–108. (DOI: [10.1159/000346495](https://doi.org/10.1159/000346495))  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3741618> [7.7.2017]

Spelke, E., Sang Ah Lee, and Véronique Izard (2010). Beyond core knowledge: Natural geometry. *Cognitive Science*, 34, 5, S. 863-884. (DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1551-6709.2010.01110.x>) <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1551-6709.2010.01110.x/full> [29.1.2017]

Sporns, O. (2010). Connectome. *Scholarpedia*, 5, 2, o.S. (DOI: [10.4249/scholarpedia.5584](https://doi.org/10.4249/scholarpedia.5584))  
<http://www.scholarpedia.org/article/Connectome> [14.4.2018]

Sporns, O. et al. (2004). Organization, development and function of complex brain networks. *TRENDS in Cognitive Sciences*, 8, 9, S. 418-425. (DOI: [10.1016/j.tics.2004.07.008](https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.07.008).)  
<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.320.2809&rep=rep1&type=pdf>  
 [23.8.2019]

Stangl, W. (2017). *Online Lexikon für Psychologie und Pädagogik*. Linz: Werner Stangl.  
<http://lexikon.stangl.eu/2312/autopoiese> [12.8.2017]

Stan – Lotter, H. (2001) VU extremophile microorganismen. Skriptum zu Vorlesung an Universität Salzburg. <https://biophysics.sbg.ac.at/transcript/micro-efile.pdf> [24.8.2019]

Steinbuch, J. (1811). *Beytrag zur Physiologie der Sinne*. Nürnberg: Johann Leonhard Schrag.

x Stephan, K. (2003). *Untersuchungen zur funktionellen Konnektivität des Gehirns*. Dissertation. Düsseldorf: Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf. <https://docserv.uni-duesseldorf.de/servlets/DerivateServlet/Derivate-2475/475.pdf> [1.5.2017]

- Strunk, g. (2004). *Organisierte Komplexität. Mikroprozess-Analysen der Interaktionsdynamik zweier Psychotherapien mit den Methoden der nichtlinearen Zeitreihenanalyse*. Dissertation. Bamberg: Fakultät Psychologie der Otto-Friedrich-Universität Bamberg. <https://fis.uni-bamberg.de/handle/uniba/55>
- Stuit, S. et al. (2011). What is Grouping during Binocular Rivalry? *Front Hum Neurosci.*, 5, 117, o.S. (DOI: [10.3389/fnhum.2011.00117](https://doi.org/10.3389/fnhum.2011.00117)) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3196312> [6.3.2018]
- Thier, P. Ilg, U. (2012<sup>3</sup>). Neuronale Grundlagen visueller Wahrnehmung. In H. O. Karnath, P. Thier (Hrsg.) *Kognitive Neurowissenschaften* (S. 36 – 44). Berlin: Springer Medizin. <https://books.google.hr/books?id=tDQeBAAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false> [23.8.2019]
- x Thompson, P. et al. (1993). Chromostereopsis: a multicomponent depth effect? *Semantic Scholar*, 5, S. 227-234. (DOI:[10.1016/0141-9382\(93\)90093-K](https://doi.org/10.1016/0141-9382(93)90093-K)) <https://pdfs.semanticscholar.org/b714/7ccd28997e0464bd7eb86b807c4199a967a5.pdf> [27.4.2018]
- x Timmann, D., Daum, I. (2009). Kleinhirn und Kognition. Eine geheimnisvolle Beziehung. *NeuroTransmitter*, 4, 20, S. 58-60. [http://www.root.webdestination.de/kunden/01extern/bdn\\_redaktion\\_ssl\\_neu/upload/4-58\\_60.pdf](http://www.root.webdestination.de/kunden/01extern/bdn_redaktion_ssl_neu/upload/4-58_60.pdf) [25.4.2017]
- Todd, J. (2004). The visual perception of 3D shape. *Trends in Cognitive Sciences*, 8, 3, S. 115-121. (DOI:[10.1016/j.tics.2004.01.006](https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.01.006)) <https://www.semanticscholar.org/paper/The-visual-perception-of-3D-shape-Todd/69d18d2a845c99155609298b582e19037807a567> [24.7.2019]
- Toepfer, G. (2011). *Historisches Wörterbuch der Biologie. Geschichte und Theorie der biologischen Grundbegriffe*. (Band 3).<sup>709</sup> ([https://www.academia.edu/23445570/Georg\\_Toepfer\\_Historisches\\_W%C3%B6rterbuch\\_der\\_Biologie\\_Band\\_3](https://www.academia.edu/23445570/Georg_Toepfer_Historisches_W%C3%B6rterbuch_der_Biologie_Band_3)) [23.8.2019]
- Tomasello et al. (2006). Reliance on head versus eyes in the gaze following of great apes and human infants: the cooperative eye hypothesis. *Journal of Human Evolution*, 52, 3, S. 314-320. (DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jhevol.2006.10.001>) <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/17140637> [23.8.2019]
- Tourtual, C. (1842). *Die Dimension der Tiefe im freien Sehen und stereoskopischen Bilde : eine physiologische Untersuchung*. Münster: Copenrath. <https://sammlungen.ulb.uni-muenster.de/hd/content/titleinfo/2322293> [11.5.2019]
- Trafton, A. (2019). The inferotemporal cortex is key to differentiating between objects. <https://medicalxpress.com/news/2019-03-inferotemporal-cortex-key-differentiating.html> [12.6.2019]
- x Tripathy, S. P., Dennis M. Levi. (2008). On the effective number of tracked trajectories in amblyopic human vision, *Journal of Vision*, 8, 8, S. 1-22. (DOI:[10.1167/8.4.8](https://doi.org/10.1167/8.4.8).) (<http://jov.arvojournals.org/article.aspx?articleid=2122704>) [13.3.2017]

---

<sup>709</sup> Diese digitale Fassung entspricht im Layout der im Verlag J. B. Metzler Stuttgart Weimar 2011 veröffentlichten Ausgabe.

Trochu, Th. (2008). « Dans le champ de la conscience de l'inventeur » - ou comment Poincaré a utilisé la psychologie de James pour expliquer la genèse de ses couvertes?  
<http://pragmatisme.free.fr/?p=54#more-54> [27.12.2018]

Uexküll, J. (1909). *Umwelt und Innenwelt der Tiere*. Berlin: Julius Springer.  
[https://ia802708.us.archive.org/13/items/umweltundinnenwe00uexk/umweltundinnenwe00uexk\\_bw.pdf](https://ia802708.us.archive.org/13/items/umweltundinnenwe00uexk/umweltundinnenwe00uexk_bw.pdf) [2.8.2017]

x Uhlhaas, P. (2007). Neuronale Synchronisation als Mechanismus für Pathologie und Entwicklung in kortikalen Netzwerken. *Forschungsbericht 2007*. Frankfurt/Main: Max-Planck-Institut für Hirnforschung. <https://www.mpg.de/373982/forschungsSchwerpunkt> [0.4.2018]

Ulfig, N. (2009<sup>2</sup>). *Kurzlehrbuch Embryologie*. Stuttgart: Georg Thieme.

Urakawa et al. (2014). Temporal dynamics of the knowledge-mediated visual disambiguation process in humans: a magnetoencephalography study. *European Journal of Neuroscience*, 41, 2, S. 234–242. (DOI: <https://doi.org/10.1111/ejn.12778>) <https://onlinelibrary-wiley-com.uaccess.univie.ac.at/doi/full/10.1111/ejn.12778> [30.3.2018]

Vallortigara, G. (2015). Foundations of Number and Space Representation in Non-Human Species. In D. Geary et al. (Hrsg.), *Evolutionary Origins and Early Development of Number Processing* (S. 35 -66). Amsterdam: Elsevier.

x Vallortigara, G. (2017). An animal's sense of number. In J.W. Adams et al. (Hrsg.) *The Nature and Development of Mathematics: Cross Disciplinary Perspectives on Cognition, Learning and Culture* (S. 43-64). London a. New York: Taylor & Francis.  
<https://books.google.at/books?id=R0AlDwAAQBAJ&printsec=frontcover&hl=de#v=onepage&q&f=false> [23.8.2019]

x vanMarle, Kristy. (2015). Foundations of the Formal Number Concept: How Preverbal Mechanisms Contribute to the Development of Cardinal Knowledge. In D. Geary et al. (Hrsg.), *Evolutionary Origins and Early Development of Number Processing* (S. 175- 200). Amsterdam: Elsevier.

x Vogel, D., Edward K. (2008). Neural Measures of Individual Differences in Selecting and Tracking Multiple Moving Objects. *Journal of Neuroscience*, 28, 16, S. 4183-4191; (DOI: <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.0556-08.2008>)  
<http://www.jneurosci.org/content/28/16/4183.full> [13.3.2017]

Vollmer, G. (o.J.a): Der Passungscharakter der Wahrnehmungsstrukturen.  
<http://www.bio.vobs.at/evolution/e-eet11.php> [23.8.2019]

x Vollmer, G. (o.J.b.). Die Entwicklung der evolutionären Erkenntnistheorie.  
<http://www.bio.vobs.at/evolution/e-eet5.php> [20.8.2018]

x Wade, N. et al. (2005). *The Moving Tablet of the Eye: The Origins of Modern Eye Movement Research*. Oxford: University Press.

Wade N. (2010).Pioneers of eye movement research. *i-Perception*, 1, S. 33 – 68. (DOI: <dx.doi.org/10.1068/i0389>) <http://journals.sagepub.com/doi/pdf/10.1068/i0389> [8.6.2018]

Wade, N. et al. (o.J. 2013?) Early views on binocular rivalry. In S. M. Miller (Hrsg.) *The Constitution of Visual Consciousness* (S. 77-108). Amsterdam: John Benjamins Publishing Company.

<https://pdfs.semanticscholar.org/262d/4ebb798ed1426c380e1d0e148fa221069090.pdf>  
[23.8.2019]

Walther, D. et al. (2011). Simple line drawings suffice for functional MRI decoding of natural scene categories. *Proc Natl Acad Sci U S A*, 108, 23, S. 9661–9666. (DOI : <https://doi.org/10.1073/pnas.1015666108>)  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3111263/> [17.5.2017]

Wandell, B. (2005). Visual field map clusters in human cortex. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci.*, 360, 1456, S. 693–707. (DOI: [10.1098/rstb.2005.1628](https://doi.org/10.1098/rstb.2005.1628))  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1569486> [12.5.2017]

Weber, A. (2002). The ‘Surplus of Meaning’. Biosemiotic aspects in Francisco J. Varela’s philosophy of cognition. *Cybernetics & Human Knowing*, 9, 2, S. 11-29.  
[https://books.google.at/books?id=A5JsDhhT68gC&dq=Perturbation+Varela&hl=de&source=gb\\_s\\_navlinks\\_s](https://books.google.at/books?id=A5JsDhhT68gC&dq=Perturbation+Varela&hl=de&source=gb_s_navlinks_s) [10.8.2017]

Weber, A. (2015<sup>2</sup>). Die wiedergefundene Welt. In B. Pörksen (Hrsg.), *Schlüsselwerke des Konstruktivismus* (S. 300-318). Wiesbaden: Springer.

Weber, H. (1910). Anmerkungen und Zusätze. In Poincaré, H. (1910). *Der Wert der Wissenschaft* (S. 208- 245). Leipzig: Teubner

Weitzenböck, R. (1956). *Der vierdimensionale Raum*. Basel: Springer

Wiese, E. (2010). Im Auge des Anderen - Wie uns die Anwesenheit anderer beeinflusst. *The Inquisitive Mind*, 2, o.S. <http://de.in-mind.org/article/im-auge-des-anderen-wie-uns-die-anwesenheit-anderer-beeinflusst?page=2> [24.7.2018]

Whorf, B. L. (1975), *Sprache Denken Wirklichkeit*. rde 174. Reinbeck bei Hamburg: Rowolth.

Wilkening, F. (2019). Kernwissen. In M. A. Wirtz (Hrsg.), *Dorsch – Lexikon der Psychologie*. <https://m.portal.hogrefe.com/dorsch/kernwissen> [26.06.2019]

Willmes, K., Fimm, B. (2013<sup>2</sup>). Visuelles System und Objektverarbeitung. In F. Schneider, G. R. Fink (Hrsg.), *Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie* (S. 319- 343). Berlin: Springer

x Y Shi et al. (2017). Connectome imaging for mapping human brain pathways. *Molecular Psychiatry*, 22, S. 1230–1240. (DOI: <https://doi.org/10.1038/mp.2017.92>)  
<https://www.nature.com/articles/mp201792> [16.4.2018]

Zeki, S. (2015). Area V5—a microcosm of the visual brain. *Front Integr Neurosci.*, 9, 21, S. 1-18. (DOI: [10.3389/fnint.2015.00021](https://doi.org/10.3389/fnint.2015.00021)).  
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4381624/> [17.4.2018]

Zilles, K. (2006). Architektonik und funktionelle Neuroanatomie der Hirnrinde des Menschen. In H. Förstl et al. (Hrsg.), *Neurobiologie psychischer Störungen* (S. 77 – 130). Heidelberg: Springer.

Zühlke, D. (2012<sup>2</sup>) *Nutzergerechte Entwicklung von Mensch-Maschine-Systemen. Useware-Engineering für technische Systeme*. Heidelberg: Springer.

## 25 PERSONENVERZEICHNIS

- Abbotts.....16  
Aguilar .....209, 230, 393  
Anken .....59, 60, 61, 393  
Azuma .....89, 92, 393  
Beck.....358, 393, 403, 404  
Beisbart .....376, 377, 393  
Bell.... 23, 158, 165, 171, 173, 222, 250, 393  
Bertalanffy..... 93, 97, 98, 99, 100, 233, 235,  
236, 255, 268, 326, 328, 329, 330, 336,  
393  
Berthoz.... 9, 15, 16, 62, 121, 151, 159, 163,  
174, 181, 188, 191, 192, 198, 217, 218,  
227, 229, 248, 249, 251, 252, 253, 254,  
263, 265, 266, 268, 270, 304, 336, 358,  
361, 368, 373, 394  
Bethmann.....58, 394  
Biagioli.....34, 272, 394  
Bischof.....16, 115, 394  
Boelitz.....242, 394  
Boltzmann32, 117, 121, 230, 231, 248, 262,  
266, 268, 346, 354, 355, 408, 411  
Boutroux.. 5, 6, 15, 113, 123, 124, 125, 232,  
241, 242, 324, 325, 367, 394, 401  
Brading .....32, 117, 229, 330, 394  
Breidbach .....10, 27, 41, 395  
Breil .....6, 7, 16, 268, 395  
Bridge .....66, 395  
Brisson 43, 44, 131, 137, 140, 170, 395, 409  
Brodmann.....53, 295, 300  
Brötz .....71, 427  
Buckthought.....185, 315, 395  
Buether.....47, 200, 328, 395  
Bühler .....327, 328, 395  
Cajal.....195  
Campbell ... 30, 37, 129, 136, 192, 212, 213,  
229, 363, 395  
Camphausen.....298  
Cantril.....98  
Capek.....244, 245, 346, 395  
Carey .....4, 305, 368, 395  
Carmel.....185, 186, 396  
Cassirer ..2, 9, 36, 47, 67, 98, 146, 210, 211,  
218, 219, 222, 223, 322, 323, 324, 325,  
326, 362, 376, 394, 396  
Cavanagh .....27  
Cézanne .....10, 26, 27, 41, 49, 395  
Chesney .....305, 396  
Churchland.....53, 117, 230, 396  
Ciccarello .....64, 65, 396, 426  
Cline .....146, 147, 148, 307, 309, 396  
Crary .....12, 396  
Darwin .....6, 14, 92, 95, 114, 117, 191, 234,  
239, 240, 242, 253, 255, 258, 408, 411,  
413  
Dehaene...50, 67, 73, 74, 76, 200, 205, 302,  
303, 304, 305, 310, 396  
Diebner .....16, 115, 127, 199, 363, 397  
Duhem .....6, 12, 125, 242, 347, 413  
Eckstein.....306, 397  
Egle .....357, 397  
Ehmann.....133, 220, 353, 354, 375, 397  
Eigen .....40, 43, 332, 333, 334, 335  
Emberson.....58, 397  
Empoli.....183, 428  
Engel .....67, 259, 299, 427  
Engels.....66, 114, 192, 223, 232, 233, 234,  
235, 236, 240, 243, 247, 248, 249, 250,  
258, 259, 262, 397, 398, 413  
Engler.....262, 398  
Förstl.....299, 300, 398, 419  
Geary .....4, 395, 398, 399, 418  
Gegenfurtner .....24, 47, 48, 142, 143, 149,  
156, 296, 297, 298, 370, 373, 377, 378,  
398, 399  
Gehring .....92, 93, 399  
Gelman .....302, 399  
Georgieva 66, 137, 139, 140, 141, 142, 145,  
265, 399  
Glaeser.....179, 399  
Glasersfeld.....378, 399

- Goldstein ..... 221, 222, 227, 357, 399  
 Goodale ..... 69, 73, 399  
 Goschke ..... 70, 399  
 Gray ..... 13, 14, 67, 206, 399  
 Grömer ..... 349, 350, 400  
 Grossberg ..... 187, 400  
 Gruber ..... 7, 257, 267, 400  
 Haak ..... 152, 206  
 Haarmaier ..... 63, 400  
 Habermaas ..... 400  
 Hachette ..... 137, 140, 141, 427  
 Hadamard ..... 194, 196, 400  
 Hagendorf ..... 56, 400  
 Hall ..... 206, 207, 400  
 Hanson ..... 376, 400  
 Hayes ..... 252, 400  
 Heberle ..... 83, 401  
 Heeger ..... 296, 297, 401, 429  
 Heidelberger 6, 94, 124, 125, 191, 241, 242,  
 246, 250, 254, 332, 343, 344, 367, 396,  
 401  
 Heinzmann ..... 11, 193, 194, 210, 242, 319,  
 320, 401  
 Helmholtz .. 5, 10, 12, 13, 27, 30, 33, 34, 35,  
 41, 42, 49, 50, 53, 94, 103, 113, 117,  
 119, 120, 123, 124, 126, 127, 191, 222,  
 223, 232, 235, 236, 239, 240, 241, 242,  
 247, 254, 269, 319, 323, 324, 338, 341,  
 344, 345, 346, 347, 348, 349, 364, 372,  
 394, 395, 401, 402, 406, 408, 415  
 Henderson-Dairymple ..... 10  
 Hideo ..... 96, 402  
 Hilbert ..... 1, 2, 10, 31, 402, 419  
 Hinghofer-Szalkay .. 200, 311, 312, 402, 429  
 Höfer ..... 123, 402  
 Hoffman .... 45, 46, 47, 48, 49, 59, 118, 120,  
 293, 325, 402  
 Hoffmann ..... 49, 87, 402  
 Hoffmeyer ..... 358, 402  
 Hölder ..... 10, 34, 272, 394, 402  
 Honerkamp ..... 375, 402  
 Honey ..... 83, 402  
 Horx ..... 153, 190, 402  
 Hubel ..... 36, 46, 53  
 Huber. 5, 107, 110, 193, 194, 199, 205, 306,  
 320, 321, 394, 402  
 Hume ..... 124, 139, 234, 239, 247, 347, 402  
 Hummel ..... 43, 44, 425  
 Husserl ..... 224  
 Hutter ..... 40, 403  
 Huttner ..... 91, 403  
 Ilg 313, 314, 403, 417  
 Inoue ..... 71, 403  
 Izzard .... 67, 72, 73, 75, 76, 77, 302, 403, 416  
 James .5, 194, 195, 325, 376, 401, 403, 406,  
 417  
 Janich ..... 94, 164, 331, 403  
 Jetschke ..... 331, 332, 403  
 Joos ..... 89, 174, 314, 315, 403, 404  
 Julesz ..... 63, 184, 187, 379  
 Kandel 10, 27, 36, 42, 43, 44, 45, 46, 49, 56,  
 60, 61, 109, 119, 120, 124, 127, 131,  
 132, 139, 142, 209, 214, 247, 264, 316,  
 363, 364, 373, 404  
 Kant .... 31, 35, 114, 165, 167, 220, 221, 242,  
 273, 274, 325, 344, 345, 347, 367, 368,  
 369, 404, 406, 430  
 Karanian ..... 50, 58, 59, 300, 404  
 Kemp ..... 43, 404  
 Kerkhoff ..... 71, 72, 292, 378, 404  
 Keuth ..... 16, 115, 127, 199, 404  
 Klinke ..... 155, 398, 404  
 Knopf ..... 147, 404  
 Koch 7, 13, 26, 33, 45, 50, 69, 72, 73, 75, 77,  
 79, 118, 145, 152, 155, 206, 265, 355,  
 357, 358, 360, 371, 373, 375, 378, 379,  
 405  
 Kocmut ..... 291, 405  
 Kogo ..... 364, 405  
 Kölle ..... 60, 405  
 Kolmer ..... 89, 405  
 Kondepudi ..... 331, 405  
 König ..... 227, 405  
 Körber ..... 49, 162, 163, 200, 201, 205, 405  
 Kornmeier ..... 316, 405  
 Krause ..... 32, 35, 242, 344, 345, 406  
 Ladyman .. 9, 25, 36, 61, 209, 219, 220, 221,  
 225, 229, 232, 260, 267, 274, 406  
 Laplace ..... 7  
 Le Roy ..... 6, 125  
 Lenzen ..... 183, 406  
 Leonardo ..... 38, 182, 183, 398, 406, 428  
 Leuschina ..... 162, 201, 406  
 Liening ..... 263, 264, 407  
 Lindqvist ..... 19, 407  
 Linkenauer ..... 352, 407  
 Llinás 94, 251, 252, 253, 262, 266, 268, 400,  
 407  
 Logothetis .69, 152, 184, 185, 358, 360, 407  
 Lordick ..... 43, 131, 407  
 Lorenz .... 12, 33, 70, 89, 117, 126, 133, 159,  
 175, 176, 177, 179, 201, 206, 227, 233,  
 235, 236, 237, 248, 254, 261, 262, 264,  
 368, 376, 378, 407  
 Lotze ..... 243, 407  
 Lutz ..... 82, 84, 94, 104, 408, 427

- Lyon . 1, 2, 6, 14, 93, 94, 95, 96, 97, 99, 100,  
101, 103, 114, 120, 212, 326, 327, 332,  
337, 357, 408
- Lyre.....225, 408
- Mach . 10, 13, 29, 30, 35, 39, 45, 55, 56, 59,  
60, 117, 130, 136, 165, 170, 171, 230,  
236, 262, 269, 293, 346, 408
- Magritte .....42, 409, 425
- Maguire .....213, 408
- Mallot ..... 30, 43, 55, 60, 130, 136, 141, 408
- Mangold .....105, 365, 408
- Markl ... 6, 79, 112, 113, 114, 116, 122, 123,  
124, 127, 128, 359, 367, 408
- Mast ..... 50, 53, 58, 408
- Maturana..... 6, 85, 93, 96, 97, 98, 99, 100,  
101, 102, 103, 233, 249, 251, 264, 327,  
328, 331, 334, 335, 337, 338, 361, 371,  
374, 408
- Mausfeld ..... 123, 124, 127, 408, 409
- Michotte.....365
- Mill .....209, 218, 409
- Mißfeldt..... 89, 292, 293, 409
- Mittelstraß .... 112, 114, 116, 117, 118, 119,  
122, 408, 409
- Mohler..... 351, 352, 409
- Molderings ..... 16, 41, 409
- Möller,..... 216, 274, 368, 409
- Monge ... 35, 43, 44, 66, 131, 137, 140, 170,  
395, 409
- Müller\* ..... 12, 50, 117, 165, 166, 167, 213,  
239, 250, 253, 254, 263, 341, 342, 343,  
344, 362, 410
- Müller° ..... 159, 203, 229, 362, 410
- Müller<sup>2</sup> .....155, 410
- Müller<sup>3</sup> .....363, 410
- Munk .....360, 410
- Müsseler..... 63, 295, 296, 299, 410
- Mußman.....254, 410
- Nabonnand..... 223, 319, 410
- Newcombe .....269, 410
- Newton.....7
- Nonnenmacher ..... 155, 410
- Obermüller ..... 350, 351, 410
- Oeser . 6, 117, 230, 231, 249, 257, 258, 259,  
261, 262, 263, 362, 411
- Oesterhelt .....85, 411
- Paslack.... 250, 254, 332, 333, 334, 335, 411
- Piaget .....98, 167, 359
- Plümacher .....376, 411
- Poincaré1, 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13, 14,  
15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24, 25,  
26, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 34, 36, 37,  
38, 39, 40, 41, 45, 47, 49, 51, 53, 59, 61,  
66, 67, 68, 72, 77, 79, 89, 90, 92, 93, 94,  
97, 98, 103, 104, 112, 115, 117, 118,  
121, 122, 123, 125, 128, 129, 130, 131,  
132, 133, 134, 136, 137, 138, 148, 151,  
152, 157, 159, 160, 161, 162, 163, 164,  
165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 172,  
173, 174, 179, 180, 188, 192, 193, 194,  
195, 196, 197, 198, 199, 200, 201, 202,  
203, 204, 205, 206, 207, 208, 209, 210,  
212, 213, 214, 215, 216, 217, 218, 219,  
220, 221, 222, 223, 224, 225, 226, 227,  
228, 229, 230, 231, 232, 233, 235, 236,  
237, 238, 239, 240, 241, 242, 243, 244,  
245, 246, 247, 248, 249, 250, 251, 252,  
253, 254, 255, 256, 257, 259, 262, 263,  
264, 265, 266, 267, 268, 269, 270, 271,  
272, 273, 274, 287, 289, 297, 304, 306,  
308, 309, 310, 311, 314, 318, 319, 320,  
322, 324, 325, 329, 330, 332, 343, 345,  
346, 349, 350, 352, 353, 354, 355, 359,  
362, 366, 367, 369, 370, 372, 373, 375,  
376, 399, 401, 410, 411, 412, 413, 414,  
415, 417, 419
- Pombo..... 194, 266, 306, 412
- Pratt ..... 147, 148, 412
- Príncipe ..... 12, 413
- Pulte..... 240, 241, 413
- Racoczy ..... 305
- Rakoczy ..... 306, 413
- Ribot ..... 13
- Riederer ..... 82, 413
- Riedl ..... 139, 233, 372, 413
- Riemann..... 194, 272, 325, 349, 413
- Rogler..... 413
- Rohen..... 89, 413
- Rösler .....54, 55, 57, 65, 413
- Roth .48, 57, 68, 77, 96, 153, 175, 176, 181,  
187, 188, 189, 190, 193, 203, 259, 260,  
261, 262, 265, 294, 358, 361, 371, 413,  
414
- Rötzer ..... 159, 257, 414
- Rumpel..... 148, 149, 414
- Runge ..... 310, 311, 414
- Russel.....11, 32, 41, 67, 117, 194, 206, 269,  
325, 376
- Samuel ..... 29, 194, 196, 306, 414
- Sänger ..... 203, 362, 414
- Schiemann ..... 13, 345, 346, 348, 349, 415
- Schipek..... 375, 415
- Schischkoff..... 247, 374, 402, 415
- Schröfl..... 150, 175, 306, 307, 415
- Schurz ..6, 16, 156, 195, 257, 258, 259, 261,  
321, 322, 360, 371, 372, 415



Scott .....	29, 412, 415	Urakawa.....	181, 186, 189, 216, 359, 418
Scriba.....	66, 140, 415	Vallortigara .....	4, 5, 418
Sengpiel.....	184, 185, 416	Varela.....	6, 85, 93, 96, 97, 98, 99, 100, 101, 102, 103, 233, 249, 251, 264, 326, 327, 328, 334, 335, 337, 338, 361, 374, 408, 419
Simm .....	153, 416	Vollmer .	129, 136, 192, 212, 223, 233, 234, 235, 236, 242, 248, 259, 261, 363, 418
Sousa .....	37, 137, 142, 144, 145, 416	Wade.....	183, 309, 418
Spelke 4, 73, 75, 76, 77, 270, 271, 305, 368, 397, 416		Walther.....	57, 419
Sporns .....	150, 153, 154, 190, 367, 416	Wandell.....	300, 301, 419
Stan – Lotter.....	82, 416	Weber .....	1, 3, 31, 80, 93, 94, 95, 103, 105, 107, 113, 126, 165, 178, 197, 209, 265, 338, 356, 358, 419
Stangl.....	102, 367, 416	Weitzenböck.....	243, 407, 419
Steinbuch .....	165, 166, 167, 168, 169, 170, 171, 362, 416	Wheatstone .....	183
Strunk.....	332, 417	Whorf.....	98, 206, 419
Stuit .....	187, 417	Wiese .....	202, 229, 314, 419
Thier.....	166, 295, 313, 314, 400, 403, 410, 417	Wiesel .....	36, 46, 53
Todd .....	130, 141, 142, 417	Wilkening.....	359, 419
Toepfer.....	250, 327, 331, 417	Willmes ..	57, 58, 65, 66, 139, 301, 366, 419, 426
Tomasello.....	159, 400, 417	Wundt.....	50, 376
Tourtual..	136, 140, 165, 169, 170, 171, 417	Zeki ....	36, 46, 140, 151, 152, 153, 157, 301, 419
Trafton.....	71, 417	Zilles.....	62, 398, 419
Trochu .....	194, 325, 417	Zühlke .....	24, 189, 358, 419
Uexküll... 15, 16, 70, 98, 114, 121, 123, 159, 168, 233, 249, 250, 251, 253, 254, 326, 328, 329, 336, 337, 338, 341, 358, 402, 414, 418			
Ulfig.....	91, 92, 418		
Ungerleider .....	69, 360		

## 26 ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1 a) Büste Poincaré, b) Tetraeder, c) Büste Poincaré .....	19
Abbildung 2 Pinocchio's nose. Montage Autor, Folie aus eigenem Vortrag 2019.....	21
Abbildung 3 Shadow Art "David" (Wiegmann) .....	23
Abbildung 4 Projektive Ambivalenz des Netzhautbildes (Gegenfurtner, o.J., Folie 3) .....	24
Abbildung 5 a) Kaniza Dreieck, b) Necker Würfel .....	26
Abbildung 6 Claude Mellan 1598 – 1688, The veil of Saint Veronica (1649), Copper engraving .....	28
Abbildung 7 Poincaré: Doodles (Scott, 1996) .....	29
Abbildung 8 Magritte: Ceci n'est pas une pipe, b) Magritte: la pipe , c) Assoziationsvariante ..	42
Abbildung 9 Blumenstrauß (Farbauszüge), a) normale Farbaufnahme, b) Schwarz-Weiß, c) rein chromatisch (Kandel, 2012, S.287), Anordnung geändert.....	43
Abbildung 10 Hummel: Granitschale .....	44
Abbildung 11 Necker-, Kopfermann-Würfel (Hoffman, 2001, S. 42) .....	48
Abbildung 12 Testmuster Objekterkennung nach Biedermann (Hoffman, 2001, S. 131) Anordnung geändert.....	49
Abbildung 13 Visuelles System Überblick 1 .....	51
Abbildung 14 Gehirn, topografisch - funktionelle Gliederung.....	52
Abbildung 15 Aires corticales de la vision.....	54

Abbildung 16 a) Mach'sche Streifen b) Laterale Hemmung (Hagendorf et al., 2001, S. 70) ...	56
Abbildung 17 Teststimuli für Formwahrnehmungsleistungen .....	58
Abbildung 18 Binocular Fusion (Ciccarello et al., 1996) .....	64
Abbildung 19 Punktstereogramm (Ciccarello et al., 1996) .....	65
Abbildung 20 Projektionsbahnen der Sehrinde, Schema nach Engel 2003 .....	67
Abbildung 21 Schema ventrale und dorsale Bahn (Koch, 2005, S. 139) .....	69
Abbildung 22 Schema dorsale Route – Raumwahrnehmung (Brötz, 2006, S. 132) .....	71
Abbildung 23 Schema Halobakterium salinarium, Sensorrhodopsine (Lutz, 2001, S. 6) .....	84
Abbildung 24 a) Euglena, phototaktisches Bewegungssystem, b) Positive u. negative Phototaxis (Czihak et al., 1990, S. 146) .....	86
Abbildung 25 Schema Lichtsinnesorgane .....	88
Abbildung 26 a) Augenmuskeln (de Marées: Sportphysiologie. 2002) , b) Akkommodation (Mißfeldt) .....	89
Abbildung 27 Licht von oben Hypothese: a) lichtmodellierter Kugel , b u. c) konvex-konkaves Muffin-Blech (alle Abb. Kandel, 2012, S. 314 f.) .....	132
Abbildung 28 Schattenkonstruktion DG, Schülerarbeit Umfeld Hachette. ....	141
Abbildung 29 3D-Formbestimmung durch Schatten und Kanten (Todd, 2004, S. 118) .....	141
Abbildung 30 Corpus geniculatum laterale .....	144
Abbildung 31 Konnektom: Retinofugal visual pathway (Y Shi et al., 2017) .....	151
Abbildung 32 Schema Input MT/V5 (Zeki, 2015, o.S. >7) .....	152
Abbildung 33 Typen von Neuronen .....	155
Abbildung 34 Teleotaktisches Fixieren bei Fischen (Lorenz, 1975, S. 168) .....	177
Abbildung 35 Skizze divergierender Objektansichten (Autor) .....	177
Abbildung 36 a) Jacopo da Empoli: Stereoskopische Zeichnung. b) Leonardo: Optisches Schema .....	183
Abbildung 37 Teststimuli binocular rivalry usw. (Buckthought et al., 2012) Abbildung 38 Piecemeal rivalry (Carmel et al., 2010) .....	185
Abbildung 39 Doolittle: The Forest Has Eyes. (Goldstein, 2010, S.107) .....	221
Abbildung 40 Organisation der Netzhaut 1 (Kocmut, 2016) .....	291
Abbildung 41 Organisation der Netzhaut 2 (Funk, 2006) .....	292
Abbildung 42 Organisation der Netzhaut 3 (Mißfeldt, 2019) .....	292
Abbildung 43 Magno-Parvocellular-Pathways .....	293
Abbildung 44 Diskrete Struktur Netzhaut (Hoffman, 2001, S. 96, 97) .....	293
Abbildung 45 Retinotope Karte der primären visuellen Rinde .....	296
Abbildung 46 Cortical magnification (Heeger, o.J.) .....	297
Abbildung 47 Foveale Repräsentation (Gegenfurtner) .....	298
Abbildung 48 Selektive Filter V1 (Anordnung modifiziert) .....	299
Abbildung 49 LOC Lateral Occipital Complex (Karanian et al. 2015) .....	300
Abbildung 50 Vestibulo-okulärer Reflex (Hinghofer-Szalkay) .....	312
Abbildung 51 GAZE-System, virtueller Konferenzraum (Joos et al. 2003. S. 27) .....	315
Abbildung 52 Rotating mask illusion, Screenshot aus Video, (eChalk, 2012) .....	318
Abbildung 53 Müller*: Über die phantastischen Gesichterscheinerungen (Faksimile Titelseite, 1826) .....	342
Abbildung 54 Krause: Gegenüberstellung Helmholtz Kant (Faksimile Krause, 1878, S. 5) .....	345
Abbildung 55 Daumenmaß Mondtäuschung (Screenshot ORF) .....	350
Abbildung 56 Illusion geschrumpfter Finger (Obermüller, 2016, science.ORF.at) .....	350

## 27 ABBILDUNGEN QUELLEN-VERZEICHNIS

- Abbildung 1:** 1a) Büste Poincaré, 1b) Tetraeder, 1c) Büste Poincaré .....19
- Standort Büste Poincaré und Skulptur „Tetraeder“: Archives Poincaré, Nancy. Büste Poincaré: Abguss einer Skulptur von Joseph Cartier (1909). Alle Fotos: Autor
- Abbildung 2** Pinocchio's nose. Montage Autor, Folie aus Vortrag 2019 .....21
- a) Poincaré: Siehe Abb. 1b) Quelle Bild Pinocchio: <http://tuttosesto.net/25-novembre-incontro-firenze-pinocchio-lo-scrittore-sestese-filippo-canali> [21.7.2019] Diese Quelle enthält keine weiteren Angaben über die Herkunft des Bildes. Grafikadresse: <https://tuttosesto.net/wp-content/uploads/2016/09/pinocchio-970x545-696x391.jpg> [21.7.2019]. Bild hier seitenverkehrt montiert.
- Abbildung 3** Shadow Art "David" (Wiegmann).....23
- Quelle: Künstler: Wiegmann. D. (1984). David. Regarded from two sides 1984. <https://dietwiegman.tumblr.com/light%20sculptures> [21.7.2019]. Grafikadresse: [https://66.media.tumblr.com/tumblr\\_lmstbxNLB71qjgfu0.jpg](https://66.media.tumblr.com/tumblr_lmstbxNLB71qjgfu0.jpg) [21.7.2019] © The Diet Wiegman Archive 1965-2019
- Abbildung 4** Projektive Ambivalenz des Netzhautbildes (Gegenfurtner, o.J., Folie 3) .....24
- Quelle: Illustration Gegenfurtner, K. (o.J). Folie 3. <http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/Wahrnehmung/Wahr-08-tiefe.pdf> [26.6.2018] Link nicht mehr aktiv. Alternativer Zugang via docplayer (2019) . S. 3. <https://docplayer.org/21326850-Abbildung-auf-der-netzhaut-entsteht-ein-zwei-dimensionales-umgekehrtes-abbild-der-umwelt.html> [25.7.2019]. ©DocPlayer.org
- Abbildung 5** a) Kaniza Dreieck, b) Necker Würfel .....26
- Beide Abb. Quelle: <http://www.optik-reisdorff.com/taeuschungen/taeuschung4> [16.11.2018] (Optik Reisdorff e.K. Inh. Hannelore Feißt, Poststraße 5 , 77971 Kippenheim, ). Diese Quelle enthält keine weiteren Angaben über die Herkunft der Bilder.
- Abbildung 6** Claude Mellan 1598 – 1688, The veil of Saint Veronica (1649), Copper engraving .....28
- Quelle: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Claude\\_Mellan](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Claude_Mellan) [27.7.2019] Grafikadresse: [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Claude\\_Mellan#/media/File:Face\\_of\\_Christ\\_on\\_St.\\_Veronica%27s\\_Cloth\\_MET\\_DP822672.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Claude_Mellan#/media/File:Face_of_Christ_on_St._Veronica%27s_Cloth_MET_DP822672.jpg) [27.7.2019]. This file was donated to Wikimedia Commons as part of a project by the Metropolitan Museum of Art.
- Abbildung 7** Poincaré: Doodles (Scott, 1996) .....29
- Quelle: Scott, W. (1996). Henri Poincaré's student notebooks, 1870–1878. Published in *Philosophia Scientiæ* 1 (1996), 1–17. [https://www.researchgate.net/publication/255013361\\_Henri\\_Poincare's\\_student\\_notebooks\\_1870-1878](https://www.researchgate.net/publication/255013361_Henri_Poincare's_student_notebooks_1870-1878) [21.7.2019] Grafikadresse: [https://www.researchgate.net/profile/Scott\\_Walter3/publication/255013361/figure/fig1/AS:669451498319898@1536621083971/Doodles.ppm](https://www.researchgate.net/profile/Scott_Walter3/publication/255013361/figure/fig1/AS:669451498319898@1536621083971/Doodles.ppm) [21.7.2019].
- Abbildung 8** Magritte: Ceci n'est pas une pipe, b) Magritte: la pipe , c) Assoziationsvariante .....42
- a) Quelle : Magritte, R. (1929). *La trahison des images. Ceci n'est pas une pipe*. Los Angeles County Museum of Art. [https://de.wikipedia.org/wiki/La\\_trahison\\_des\\_images](https://de.wikipedia.org/wiki/La_trahison_des_images) [21.7.2019] Grafikadresse: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/en/b/b9/MagrittePipe.jpg> [18.11.2016]
- b), Quelle : Magritte, R. (1927). *la pipe*. <https://renemagritte-art.tumblr.com/post/182815899922/the-pipe-1927-rene-magritte> [21.7.2019] Grafikadresse : [https://66.media.tumblr.com/1494a1adbc28ad419929cc4c24a88b29/tumblr\\_pmwboehbgs1ts7it9o1\\_1280.jpg](https://66.media.tumblr.com/1494a1adbc28ad419929cc4c24a88b29/tumblr_pmwboehbgs1ts7it9o1_1280.jpg) [18.11.2016], c) = b) nur anders montiert
- Abbildung 9** Blumenstrauß (Farbauszüge), a) normale Farbaufnahme, b) Schwarz-Weiß, c) rein chromatisch (Kandel, 2012, S.287) Anordnung geändert. ....43
- Quelle siehe Literaturverzeichnis: Kandel, 2012, S. 287, Abb. 15\_6. Bildnachweis S. 685: Nach Principles of of Neural Science, hrsg. von E. R. Kandel, J. H. Schwartz, T. M. Jessel, 4. Aufl., New York 2000, S. 573, bearbeitet von Sonja Epstein.

- Abbildung 10** Hummel: Granitschale .....44
- Quelle: Hummel, J. E. (1831). Die Granitschale im Berliner Lustgarten. Alte Nationalgalerie, Staatliche Museen zu Berlin. [https://de.wikipedia.org/wiki/Johann\\_Erdmann\\_Hummel](https://de.wikipedia.org/wiki/Johann_Erdmann_Hummel) [21.7.2019] Grafikadresse: [https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Johann\\_Erdmann\\_Hummel\\_Granitschale\\_im\\_Berliner\\_Lustgarten\\_1831.jpg](https://de.wikipedia.org/wiki/Datei:Johann_Erdmann_Hummel_Granitschale_im_Berliner_Lustgarten_1831.jpg) [21.7.2019]
- Abbildung 11** Necker-, Kopfermann-Würfel (Hoffman, 2001, S. 42) .....48
- Quelle: Hoffman, D. (2001) Visuelle Intelligenz, wie die Welt im Kopf entsteht. Stuttgart: Klett Kotta. S. 42. Im dortigen Abbildungsverzeichnis ist die exakte Bildquelle nicht eindeutig identifizierbar.
- Abbildung 12** Testmuster Objekterkennung nach Biedermann (Hoffman, 2001, S. 131) Anordn. geändert .....49
- Quelle: Hofmann, 2001, S. 131. Dortiger Abbildungsnachweis S. 322: „Abbildung 131 abgedruckt aus Computer Vison, Vision, and Image Processing 32, S. 29-73 (Abbildung 17), „Human Image Understanding: Recent Research and Theory“, Irvin Biederman, © 1985, mit freundlicher Genehmigung von Irving Biederman und Academic Press, Inc., Orlando, Fla.
- Abbildung 13** Visuelles System Überblick 1 .....51
- Quelle: [http://psycho.xibrix.ch/index.php?title=Visuelles\\_System](http://psycho.xibrix.ch/index.php?title=Visuelles_System) [5.5.2017] Grafikadresse: Die Sehbahn, Folie24, [http://psycho.xibrix.ch/index.php?title=Datei:B\\_131128.6.jpg](http://psycho.xibrix.ch/index.php?title=Datei:B_131128.6.jpg) [5.5.2017] Kein Impressum, keine Kontaktadresse.
- Abbildung 14** Gehirn, topografisch - funktionelle Gliederung .....52
- Quelle: Bock, J. (2011). Gehirn und Umwelt. Funktionale Entwicklung der Feinstruktur des neuronalen und synaptischen Netzwerks Gehirn. Institut für Biologie, Otto von Guericke Universität Magdeburg. <http://docplayer.org/11973370-Gehirn-und-umwelt-funktionale-entwicklung-der-feinstruktur-des-neuronalen-und-synaptischen-netzwerks-gehirn.html> [4.5.2017] Grafikadresse: [http://docplayer.org/docs-images/40/11973370/images/page\\_3.jpg](http://docplayer.org/docs-images/40/11973370/images/page_3.jpg) [4.5.2017] © Brooks/Cole – Thomson Learning
- Abbildung 15** Aires corticales de la vision .....54
- Quelle: [http://svt-lnbt.fr/pages/doc\\_premiere\\_S/Documents\\_deux-femmes\\_aires\\_corticales\\_vision.pdf](http://svt-lnbt.fr/pages/doc_premiere_S/Documents_deux-femmes_aires_corticales_vision.pdf) Link zur hier wiedergegebenen Abb. nicht mehr aktiv. Die verwendete Abbildung ist eine modifizierte Form, deren Referenz zu SVT Dijon führt: Éditeur -Rectorat de l'académie de Dijon. <http://www.ac-dijon.fr/cid69221/mentions-legales.html> [22.7.2019]. Zugang Bild via: [http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article2647&debut\\_article\\_rubrique\\_date=30#pagination\\_article\\_rubrique\\_date](http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/spip.php?article2647&debut_article_rubrique_date=30#pagination_article_rubrique_date) [22.7.2019]. Grafikadresse: <http://svt.ac-dijon.fr/schemassvt/IMG/airesvisuoccipital.gif> [22.7.2019]
- Abbildung 16 a)** Mach'sche Streifen **b)** Laterale Hemmung (Hagendorf et al., 2001, S. 70) .....54
- Quelle: a) [http://psycho.xibrix.ch/index.php?title=Visuelles\\_System](http://psycho.xibrix.ch/index.php?title=Visuelles_System) [3.5.2017] Grafikadresse: Die Sehbahn, Folie 29, [http://psycho.xibrix.ch/index.php?title=Datei:B\\_131128.10.jpg](http://psycho.xibrix.ch/index.php?title=Datei:B_131128.10.jpg) [3.5.2017] Kein Impressum, keine Kontaktadresse. **b)** Hagendorf, H. et al. (2011). Wahrnehmung und Aufmerksamkeit. Allgemeine Psychologie für Bachelor. (S. 70, Abb. 6.2). Berlin: Springer.
- Abbildung 17** Teststimuli für Formwahrnehmungsleistungen .....58
- Quelle: Willmes, K., Fimm, B. (2013). In: Funktionelle MRT in Psychiatrie und Neurologie, herausgegeben von Frank Schneider, Gereon R. Fink. (2. Aufl.). Berlin: Springer [https://books.google.at/books?id=YsWpXUUEWRgC&pg=PA323&lpg=PA323&dq=V7+visuelles+Areal&source=bl&ot\\_s=vmlehsBU2b&sig=o3DI3IRm3Kk\\_7VaR9j5bsfBn1d4&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwjiiL34x-XTAhXCKiwKHTCaCb0Q6AEIOTAE#v=onepage&q=V7%20visuelles%20Areal&f=false](https://books.google.at/books?id=YsWpXUUEWRgC&pg=PA323&lpg=PA323&dq=V7+visuelles+Areal&source=bl&ot_s=vmlehsBU2b&sig=o3DI3IRm3Kk_7VaR9j5bsfBn1d4&hl=de&sa=X&ved=0ahUKEwjiiL34x-XTAhXCKiwKHTCaCb0Q6AEIOTAE#v=onepage&q=V7%20visuelles%20Areal&f=false) [12.5.2017]
- Abbildung 18** Binocular Fusion (Ciccarello et al., 1996) .....64
- Quelle: Ciccarello, L., Berger, D. (1996). Tiefenwahrnehmung durch binokulare Stereopsis. Universität Mannheim Seminar: Ausgewählte Probleme der Wahrnehmungspsychologie, Wintersemester 1996/97. <http://irtel.uni-mannheim.de/lehre/seminararbeiten/w96/Tiefe/binoc.html> [9.5.2017] Grafikadresse: <http://irtel.uni-mannheim.de/lehre/seminararbeiten/w96/Tiefe/baelle.gif> [9.5.2017].
- Abbildung 19** Punktstereogramm (Ciccarello et al., 1996) .....65

Quelle: Ciccarello, L., Berger, D. (1996). Tiefenwahrnehmung durch binokulare Stereopsis. Universität Mannheim Seminar: Ausgewählte Probleme der Wahrnehmungspsychologie, Wintersemester 1996/97. <http://irtel.uni-mannheim.de/lehre/seminararbeiten/w96/Tiefe/binoc.html> [9.5.2017] Grafikadresse: <http://irtel.uni-mannheim.de/lehre/seminararbeiten/w96/Tiefe/bunt.gif> [9.5.2017]

**Abbildung 20** Projektionsbahnen der Sehrinde, Schema nach Engel 2003 .....67

Quelle: Ackermann, H. (2006). Präsentation zum Thema: "Emotionalität und Hirnschädigung". Folie 20: Projektionsbahnen der Sehrinde, Engel 2003. Institut für Klinische Hirnforschung der Universität Tübingen. <https://slideplayer.org/slide/631572/22> [7.2019] . Grafikadresse: <http://slideplayer.org/631572/1/images/20/Projektionsbahnen+der+Sehrinde.jpg> [22.7.2019]

**Abbildung 21** Schema ventrale und dorsale Bahn (Koch, 2005, S. 139) .....69

Quelle: Koch, C. (2005). Bewusstsein ein neurobiologisches Rätsel. München: Elsevier. Abbildung 7.3. Seite 137. Nach N. Logothetis, verändert. Keine weiteren Angaben.

**Abbildung 22** Schema dorsale Route – Raumwahrnehmung (Brötz, 2006, S. 132 .....71

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Kerkhoff, 2006 b, S. 132, Abb. 10.8. Tabelle von Doris Brötz.

**Abbildung 23** Schema Halobakterium salinarium, Sensorrhodopsine (Lutz, 2001, S. 6) .....84

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Lutz, 2001, S. 6, Abb. 2.1. <https://core.ac.uk/download/pdf/11025672.pdf> [24.8.2017]

**Abbildung 24** a) Euglena, phototaktisches Bewegungssystem, b) Positive u. negative Phototaxis .....86

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Czihak et al, 1990, S. 146. Autor Abb. a: Schopfer, Biologisches Institut, Freiburg/Br., Autor Abb. b: Nach Mohr

**Abbildung 25** Schema Lichtsinnesorgane .....88

Quelle: Anonymer Artikel. (o.J.). Kompaktlexikon der Biologie: Lichtsinnesorgane. © 2001 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. <https://www.spektrum.de/lexikon/biologie-kompakt/lichtsinnesorgane/7022> [18.10.2018]. Grafikadresse: [https://www.spektrum.de/lexika/images/biok/f2f642\\_w.jpg](https://www.spektrum.de/lexika/images/biok/f2f642_w.jpg) [18.10.2018] Anordnung modifiziert.

**Abbildung 26** a) Augenmuskeln (de Marées: Sportphysiologie. 2002) , b) Akkommodation (Mißfeldt) .....86

a) Quelle: Spomedial (2001-9) Ausführende Stelle des Verbundprojekts ist das Institut für Kreislaufforschung und Sportmedizin, Deutsche Sporthochschule Köln. Grafik Autor: de Marées: Sportphysiologie. 2002. [http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e8554/e8574/e8581/e8595/index\\_ger.html](http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e8554/e8574/e8581/e8595/index_ger.html) [10.12.2018] Grafikadresse: [http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e8554/e8574/e8581/e8595/e8597/boc\\_muskeln\\_bunt476\\_ger.jpg](http://vmrz0100.vm.ruhr-uni-bochum.de/spomedial/content/e866/e2442/e8554/e8574/e8581/e8595/e8597/boc_muskeln_bunt476_ger.jpg) [10.12.2018]

b) Quelle: Mißfeldt, M. (o.J.). Was ist Akkommodation (Auge)? <https://www.brillen-sehhilfen.de/auge/akkommodation-auge.php> [10.12.2018] Grafikadresse: <https://www.brillen-sehhilfen.de/auge/images/akkommodation-neu1.jpg> [10.12.2018]

**Abbildung 27** Licht von oben Hypothese: a) Lichtmodellierte Kugel , b u. c) Konkav-konvexes Muffin-Blech .....132

a) Quelle siehe Literaturverzeichnis: Kandel, 2012, S. 314, Abb. 16-10. „Nach R. L. Solso. Cognition and the Visual Arts, Cambridge. MA. S 168, bearbeitet von Chris Willcox.“ (Kandel, 2012, S. 686)

b) Quelle siehe Literaturverzeichnis: Kandel, 2012, S. 315, Abb. 16-11. „Nach V. S. Ramachandran: >>Perceiving shape from shading<<, Scientific American 259 (1988), S. 78, bearbeitet von Chris Willcox.“ (Kandel, 2012, S. 686).

**Abbildung 28** Schattenkonstruktion DG, Schülerarbeit Umfeld Hachette. ....141

Quelle: Schülerarbeit Umfeld Hachette. Abgebildet in: Dupont, Jean-Yves (2000). Les dessins de machines à l'École polytechnique (1794-1850), iconographie commentée. Bulletin de la SABIX : 25/2000. <http://sabix.revues.org/258?lang=en> [18.5.2017] Grafikadresse : <http://sabix.revues.org/docannexe/image/258/img-8-small480.jpg> [18.5.2017]

**Abbildung 29** 3D-Formbestimmung durch Schatten und Kanten (Todd, 2004, S. 118) .....141

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Todd, 2004, S. 118, Figure 4. Grafikadresse: <https://ai2-s2-public.s3.amazonaws.com/figures/2017-08-08/69d18d2a845c99155609298b582e19037807a567/4-Figure4-1.png> [24.7.2019] Bild bezeichne mit: Trends in Cognitive Sciences.

**Abbildung 30** Corpus geniculatum laterale .....144

Quelle: Anonymer Artikel. (o.J). Kompaktlexikon der Biologie: Corpus geniculatum laterale. © 1999 Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg. <http://www.spektrum.de/lexikon/biologie/corpus-geniculatum-laterale/15391> [25.4.2017] Grafikadresse: [https://www.spektrum.de/lexika/images/bio/fff1627\\_w.jpg](https://www.spektrum.de/lexika/images/bio/fff1627_w.jpg) [25.4.2017]

**Abbildung 31** Konnektom: Retinofugal visual pathway (Y Shi et al., 2017) .....150

Quelle : Y Shi et al., 2017, Molecular Psychiatry volume 22, pages 1230–1240. Figure 4d. The reconstructed retinofugal pathways including the optic tract and optic radiation of both hemispheres. <https://www.nature.com/articles/mp201792> [16.4.2018] Grafikadresse: <https://media.nature.com/m685/nature-assets/mp/journal/v22/n9/images/mp201792f4.jpg> [23.7.2019]

**Abbildung 32** Schema Input MT/V5 (Zeki, 2015, o.S. >7) .....151

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Zeki, 2015, o.S. >7, Figure 3. Grafikadresse: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4381624/bin/fnint-09-00021-g0003.jpg> [17.4.2018] Copyright © 2015 Zeki. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (CC BY).

**Abbildung 33** Typen von Neuronen .....155

Quelle: Physiology e-Learning Portal, Lecturer 1. (2017). Classification Of Neurons By Structure And Function. (<http://physiologyplus.com/classification-of-neurons-by-structure-and-function> [21.4.2018] Grafikadresse: <http://physiologyplus.com/wp-content/uploads/2017/06/Structural-Classification-Of-Neuron.png> [21.4.2018]

**Abbildung 34** Teleotaktisches Fixieren bei Fischen (Lorenz, 1975, S. 168) .....177

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Lorenz, 1975, S. 168, Abb. 2. Bei Lorenz keine weiteren Angaben über Grafik.

**Abbildung 35** Skizze divergierender Objektansichten (Autor) .....177

**Abbildung 36 a)** Jacopo da Empoli: Stereoskopische Zeichnung. **b)** Leonardo: Optisches Schema .....183

a) Quelle: Jacopo Chimenti da Empoli (um 1600). Stereoscope Image. Handbuch der Stereoskopie, Berlin-Leipzig 1927. [https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Jacopo\\_Chimenti](https://commons.wikimedia.org/wiki/Category:Jacopo_Chimenti) [24.7.2019] Grafikadresse : [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jacopo\\_Chimenti\\_da\\_Empoli\\_stereoscope\\_image.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Jacopo_Chimenti_da_Empoli_stereoscope_image.jpg) [24.7.2019]

b) Quelle: Leonardo da Vinci, Optisches Schema, Manuskript C, fol. 19 recto, ca 1490. Paris, Institut de France. Gefunden in: Fehrenbach, 2002, S. 528, Abb. 2. <https://core.ac.uk/download/pdf/32980459.pdf> [17.7.2019]

**Abbildung 37** Teststimuli binocular rivalry usw. (Buckthought et al., 2012) .....185

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Buckthought et al., 2012, Figure 4. [https://www.researchgate.net/publication/265275316\\_Neural\\_Mechanisms\\_for\\_Binocular\\_Depth\\_Rivalry\\_and\\_Multistability](https://www.researchgate.net/publication/265275316_Neural_Mechanisms_for_Binocular_Depth_Rivalry_and_Multistability) [19.7.2019] Grafikadresse: [https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-multistability-a-b-Binocular-rivalry-gratings-c-monocular-rivalry\\_fig4\\_265275316](https://www.researchgate.net/figure/Examples-of-multistability-a-b-Binocular-rivalry-gratings-c-monocular-rivalry_fig4_265275316) [19.7.2019] Figures uploaded by Janine Dale Mendola.

**Abbildung 38** Piecemeal rivalry (Carmel et al., 2010) .....185

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Carmel et al., 2010, Figure 7. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3159595> [5.3.2018] Grafikadresse: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3159595/bin/jove-45-2030-6.jpg> [5.3.2018] Journal of Visualized Experiments: JoVE (<https://www.jove.com>)

**Abbildung 39** Doolittle: The Forest Has Eyes. (Goldstein, 2010, S.107) .....221

Quelle: Doolittle, B. (1984). The Forest Has Eyes. Gefunden in: Goldstein, B. Kapitel 5, aus einem Skriptum der Uni Mainz, Autor nicht verifizierbar. Link: <https://www.blogs.uni-mainz.de/fb02-fs-psychologie/files/.../Goldstein-Kapitel-5.docx> ). Das Skriptum bezieht sich auf Goldstein, E. Bruce, 2010, S. 107, Figure 5.20 (<http://dl.icdst.org/pdfs/files/613782cddfa896905bbd17706aecb765.pdf>)

- Abbildung 40** Organisation der Netzhaut 1 (Kocmut, 2016) .....291
- Quelle: Kocmut, J. (2016). Das Auge- Aufbau. Salzburg: augenarztsalzburg.com  
 (<http://augenarztsalzburg.com/auge/aufbau/index.htm> [8.1.2018] Grafikadresse:  
[http://augenarztsalzburg.com/images/711\\_640.jpg](http://augenarztsalzburg.com/images/711_640.jpg) [8.1.2018] ©JKocmut 2016
- Abbildung 41** Organisation der Netzhaut 2 (Funk, 2006) .....292
- Funk, G. (2006). Auge und Farbwahrnehmung. Netzhaut, Rezeptorzellen (Stäbchen und Zapfen). Linz: kunst universität linz. <http://www.dma.ufg.ac.at/app/link/Grundlagen%3AAllgemeine/module/16457?step=2> [28.4.2018]. Grafikadresse: <http://www.dma.ufg.ac.at/assets/16457/intern/retina.jpg> [28.4.2018]
- Abbildung 42** Organisation der Netzhaut 3 (Mißfeldt, 2019) .....292
- Quelle: Mißfeldt, M. (2019). Aufbau der Netzhaut. Panketal: Firma DUPLICON.  
<https://www.onlinesehstests.de/auge/netzhaut-retina.php> [5.4.2019] Grafikadresse:  
<https://www.onlinesehstests.de/auge/bilder/netzhaut-retina-aufbau-1.jpg> [5.4.2019]. © Mißfeldt
- Abbildung 43** Magno-Parvocellular-Pathways .....293
- Quelle: Wikipedia. ->Parasol cell. [https://en.wikipedia.org/wiki/Parasol\\_cell](https://en.wikipedia.org/wiki/Parasol_cell) [5.4.2019] Abbildung: Visual representation of the parvocellular and magnocellular pathways. Grafikadresse:  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d2/Magno\\_Parvocellular\\_Pathways.svg/1024px-Magno\\_Parvocellular\\_Pathways.svg.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/d/d2/Magno_Parvocellular_Pathways.svg/1024px-Magno_Parvocellular_Pathways.svg.png) [5.4.2019]
- Abbildung 44** Diskrete Struktur Netzhaut (Hoffman, 2001, S. 96, 97) .....293
- a) Quelle siehe Literaturverzeichnis: Hoffman, 2001, S. 96: „Abbildung 96 übernommen aus Investigative Ophthalmology and Visual Science 34, S. 3291 (Abb. 10a), Curcio, Millican, Alien und Kalina, © 1993“ (Hoffman, S. 322)
- b) Quelle siehe Literaturverzeichnis: Hoffman, 2001, S. 96. Keine weiteren Angaben zur Abbildung.
- Abbildung 45** Retinotopie Karte der primären visuellen Rinde .....296
- Quelle: Wikipedia. Retinotop. <https://de.wikipedia.org/wiki/Retinotop> [30.4.2017] Grafikadresse :  
[https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f5/Retinotopic\\_organization.png/627px-Retinotopic\\_organization.png](https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/f/f5/Retinotopic_organization.png/627px-Retinotopic_organization.png) [30.4.2017]
- Abbildung 46** Cortical magnification (Heeger, o.J.) .....297
- Quelle siehe Literaturverzeichnis: Heeger, D. (o.J.) Vortragsfolien ohne weitere Angaben  
<http://www.cns.nyu.edu/~david/courses/perceptionAdvanced/lectureSlides/9%20visual-pathways.pdf> [12.5.2017]  
 (Heeger, D. <https://www.cns.nyu.edu/~david>).
- Abbildung 47** Foveale Repräsentation (Gegenfurtner) .....298
- Quelle siehe Literaturverzeichnis: Gegenfurtner, K. (2004?). <http://www.allpsych.uni-giessen.de/karl/teach/Wahrnehmung/Wahr-04-gehirn.pdf> [5.5.2017]. Link nicht mehr aktiv. Alternativer Zugang:  
<https://slideplayer.org/slide/10304114> [26.7.2019]. Grafikadresse:  
<https://slideplayer.org/slide/10304114/33/images/19/Foveale+Repr%C3%A4sentation.jpg> [26.7.2019] © 2019 SlidePlayer.org Inc.
- Abbildung 48** Selektive Filter V1 (Anordnung modifiziert) .....299
- Quelle: [http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a\\_02/a\\_02\\_cl/a\\_02\\_cl\\_vis/a\\_02\\_cl\\_vis.html#3](http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_02/a_02_cl/a_02_cl_vis/a_02_cl_vis.html#3) [3. 5. 2017] Grafikadresse:  
[http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a\\_02/a\\_02\\_cl/a\\_02\\_cl\\_vis/a\\_02\\_cl\\_vis\\_2d.jpg](http://thebrain.mcgill.ca/flash/a/a_02/a_02_cl/a_02_cl_vis/a_02_cl_vis_2d.jpg) [20.7.2019] Site developed, researched, and written by: Bruno Dubuc. (Anordnung der Grafik als Querformat modifiziert).
- Abbildung 49** LOC Lateral Occipital Complex (Karanian et al. 2015) .....300
- Quelle siehe Literaturverzeichnis. © 2015 Elsevier
- Abbildung 50** Vestibulo-okulärer Reflex (Hinghofer-Szalkay) .....312

Quelle: Hinghofer-Szalkay. o.J., o.S.: <http://physiologie.cc/XV.8.htm> . [4.6.2018] .Abbildung: Vestibulo-okulärer Reflex (VOR). Nach einer Vorlage in Bear / Connors / Paradiso, Neuroscience - Exploring the Brain, 4th ed 2016. Grafikadresse: <http://physiologie.cc/VOR.jpg> [26.7.2019]

**Abbildung 51** GAZE-System, virtueller Konferenzraum (Joos et al. 2003. S. 27) .....315

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Joos et al., 2003, Abb. 7: Der virtuelle Konferenzraum des GAZE-Systems. Grafikadresse: [https://www.researchgate.net/figure/Abb-7-Der-virtuelle-Konferenzraum-des-GAZE-Systems-Fuer-eine-Identifikation-der\\_fig1\\_238065767](https://www.researchgate.net/figure/Abb-7-Der-virtuelle-Konferenzraum-des-GAZE-Systems-Fuer-eine-Identifikation-der_fig1_238065767) [30.7.2018]

**Abbildung 52** Rotating mask illusion (Screenshot aus Video, ( eChalk, 2012) .....318

Quelle: eChalk, (2012). <https://www.echalk.co.uk>. Videoadresse: <https://www.youtube.com/watch?v=sKa0eaKsdA0> [13.3.2018]

**Abbildung 53** Müller: Über die phantastischen Gesichterscheiungen (Faksimile Titelseite, 1826) .....342

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Müller, 1826, Titelseite. Grafiklink: [http://media.dwds.de/dta/images/mueller\\_gesichterscheiungen\\_1826/mueller\\_gesichterscheiungen\\_1826\\_0007\\_400px.jpg](http://media.dwds.de/dta/images/mueller_gesichterscheiungen_1826/mueller_gesichterscheiungen_1826_0007_400px.jpg) [26.7.2019] Staatsbibliothek zu Berlin – Preußischer Kulturbesitz.

**Abbildung 54** Krause: Gegenüberstellung Helmholtz Kant (Faksimile Krause, 1878, S. 5) .....345

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Krause, A. (1878). S. 5 . (Die Seitenzahl bezieht sich auf den zweiten Abschnitt des Buches!). <https://archive.org/details/kantundhelmholtz00krau/page/n0> [7.10.2018]

**Abbildung 55** Daumenmaß Mondtäuschung (Screenshot ORF) ..... 350

Quelle: Screenshot aus ORF Fernsehsendung „heute mittag“ vom 14.11.2016. (Supermond über Österreich) <http://tvthek.orf.at/profile/heute-mittag/4660089/heute-mittag/13895516/Supermond-ueber-Oesterreich/13912973> [20.11.2016]. Video in ORF tvthek nicht mehr verfügbar.

**Abbildung 55** Illusion geschrumpfter Finger (Obermüller, 2016, science.ORF.at) .....350

Quelle siehe Literaturverzeichnis: Obermüller, 2016, science.ORF.at: <http://science.orf.at/stories/2767221> [1.11.2016]. Grafikadresse ORF: <https://tubestatic.orf.at/static/images/site/tube/20160414/112017.5461534.jpg> [26.7.2019]. Referenzartikel: [https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822%2816%2930019-7?\\_returnURL=https%3A%2F%2Ff1inkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982216300197%3Fshowall%3Dtrue](https://www.cell.com/current-biology/fulltext/S0960-9822%2816%2930019-7?_returnURL=https%3A%2F%2Ff1inkinghub.elsevier.com%2Fretrieve%2Fpii%2FS0960982216300197%3Fshowall%3Dtrue) (26.7.2019). Dortige Grafikadresse: <https://els-jbs-prod-cdn.literatumonline.com/cms/attachment/c0135fc1-bf17-4dc3-a507-b8539fc44bbf/gr1.jpg> [26.7.201] Zeichnung von Rebecca Chamberlain.

## 28 ABKÜRZUNGEN

Cf.: conferre

DG.: Darstellende Geometrie

MPI : Max-Plank-Institut

mutmut.: persönliches Kürzel für mutatis mutandis

nmE.: Nach meiner Einschätzung

Ö> : Kennzeichnung von eigenen Anmerkungen, z.B. in Zitaten

o.J. : Ohne Jahresangabe

ORF: Österreichischer Rundfunk

o.S.: Ohne Seitenangabe / o.S. >3 : Keine originale, sondern nur intern genutzte Seitenangabe gemäß automatischer Seitenangabe in Word oder pdf Kopien.

tw.: teilweise

vs.: versus °xxxxxxx°: Durch kleine hochgestellte Ringe werden bereits bestehende Anführungszeichen innerhalb eines Zitats wiedergegeben.