

# Allgemeine Psychologie I

Mitschrift der Vorlesung von  
Dr. A. Kiesel und Prof. Dr. J. Hoffmann  
im WS 06/07 und SS 07

Roland Pfister

Bayerische Julius-Maximilians-Universität Würzburg

# Inhaltsverzeichnis

<b>0. Vorwort</b> .....	<b>9</b>
<b>1. Einführung</b> .....	<b>10</b>
<b>1.1. Gegenstand der kognitiven Psychologie</b> .....	<b>10</b>
<b>1.2. Biologische Wurzeln menschlichen Verhaltens</b> .....	<b>10</b>
1.2.1. Der Mensch, ein begabter Affe .....	10
1.2.2. Ursachen der Sonderstellung des Menschen .....	10
1.2.3. Veränderungen in der Evolution zum Menschen .....	10
1.2.4. Emanzipation des Menschen von der Evolution .....	11
<b>1.3. Das Problem des Bewusstseins</b> .....	<b>11</b>
1.3.1. Die Welt im Kopf.....	11
1.3.2. Bewusstsein bei Tieren.....	11
1.3.3. Das Verhältnis von Geist und Körper .....	11
<b>2. Elementare Verhaltensstrukturen</b> .....	<b>12</b>
<b>2.1. Bedürfnisse</b> .....	<b>12</b>
<b>2.2. Verhaltensbereitschaften</b> .....	<b>12</b>
<b>2.3. Schlüsselreize</b> .....	<b>12</b>
<b>2.4. Konsumatorische Endhandlung</b> .....	<b>12</b>
<b>2.5. Nature vs. Nurture</b> .....	<b>13</b>
<b>2.6. Lernen</b> .....	<b>13</b>
<b>3. Tierisches Lernen</b> .....	<b>14</b>
<b>3.1. Prolog</b> .....	<b>14</b>
<b>3.2. Der Behavioristische Ansatz: S-R-Psychologie</b> .....	<b>14</b>
3.2.1. Der bedingte Reflex (Pavlov).....	14
3.2.2. Operantes und instrumentelles Konditionieren .....	14
3.2.3. Diskriminationslernen .....	15
3.2.4. Fazit.....	15
<b>3.3. Nicht S-V- sondern V-E-Beziehungen</b> .....	<b>15</b>
3.3.1. Diskriminationslernen .....	15
3.3.2. Bedingtes Verhalten: CS-UCS-Verbindung (V-E).....	16
3.3.3. Instrumentelles Verhalten: V-E-Beziehungen .....	16
3.3.4. S-(V-E)-Beziehungen .....	16
<b>3.4. Kontingenz vs. Kontiguität</b> .....	<b>16</b>
3.4.1. Variation der Kontingenz (Kontiguität konstant).....	16
3.4.2. Blockierungsphänomen .....	17
3.4.3. Rescorla-Wagner-Modell .....	17

<b>3.5. Die Rolle der Aufmerksamkeit.....</b>	<b>17</b>
3.5.1. Beachtung diskriminativer Situationsmerkmale .....	17
3.5.2. Theoretische Ansätze .....	17
3.5.3. Preparedness .....	17
<b>3.6. Latentes Lernen.....</b>	<b>18</b>
3.6.1. Tolmans Erwartungslernen.....	18
3.6.2. Latentes S-S-Lernen, Sensory Preconditioning .....	18
3.6.3. Latentes V-E-Lernen .....	18
3.6.4. Antizipationsbedürfnis .....	18
<b>3.7. Fazit .....</b>	<b>19</b>
3.7.1. Verhalten ist primär erwartungsgesteuert.....	19
3.7.2. Reize aktivieren primär Erwartungen.....	19
3.7.3. Lernen: nicht passiv, sondern aktiv u. selektiv.....	19
3.7.4. Antizipationsbedürfnis .....	19
<b>4. Menschliches Lernen.....</b>	<b>20</b>
<b>4.1. Bedingte Reflexe beim Menschen.....</b>	<b>20</b>
<b>4.2. Instrumentelles Bedingen beim Menschen .....</b>	<b>20</b>
<b>4.3. Primat der Bildung von V-E-Beziehungen.....</b>	<b>20</b>
4.3.1. V-E Lernen blockiert S-V-Lernen.....	20
4.3.2. Response-Outcome Learning.....	20
<b>4.4. Berücksichtigung von Situationsmerkmalen.....</b>	<b>20</b>
4.4.1. Bedingungsabhängige V-E Beziehungen .....	20
4.4.2. Bedingungsabhängige V-E Kontingenzen .....	21
4.4.3. Situationen/Objekte als „occasion setter“ oder direkte S-V- Aktivierung? .....	21
<b>4.5. Latentes (Implizites) Lernen und die Rolle der Aufmerksamkeit .....</b>	<b>21</b>
4.5.1. Antizipationsbedürfnis und intrinsische Motivation .....	21
4.5.2. Implizites Lernen als Forschungsparadigma .....	21
4.5.3. Latentes V-E-Lernen und Aufmerksamkeit.....	22
4.5.4. Latentes Lernen und Aufmerksamkeit bei der Berücksichtigung von Situationsmerkmalen .....	22
4.5.5. Latentes Lernen von S-S Beziehungen und Aufmerksamkeit?.....	23
4.5.6. Fazit.....	23
<b>4.6. Bewusstheit und latentes (implizites) Lernen.....</b>	<b>23</b>
4.6.1. Ist eine bewusste Lernintention notwendig? .....	23
4.6.2. Ist ein bewusstes Erkennen der erlernten Strukturen notwendig? ...	24
4.6.3. Ist Bewusstheit des Lerngegenstandes notwendig?.....	24
4.6.4. Fazit.....	24

<b>5. Die ABC-Theorie.....</b>	<b>25</b>
<b>5.1. Der Aufbau verhaltenssteuernder S-V-E-Tripel .....</b>	<b>25</b>
5.1.1. Willkürlichem Verhalten geht die Antizipation von Effekten voraus .	25
5.1.2. Die Erzeugung antizipierbarer Effekte führt zu bidirektionalen V-E- Repräsentationen.....	25
5.1.3. Situationsabhängige Modifikation der V-E-Beziehungen .....	25
<b>5.2. Antizipative Verhaltenssteuerung.....</b>	<b>26</b>
5.2.1. Das Erwachen von Intentionen.....	26
5.2.2. Aktivierung von Verhaltensbereitschaften und ggf. Antizipationen der notwendigen Bedingungen .....	26
5.2.3. Verhaltensausführung .....	27
5.2.4. Vergleich antizipierter und realer Effekte.....	27
<b>5.3. Gleiche Lernmechanismen bei Mensch und Tier? .....</b>	<b>27</b>
<b>6. Verhaltensaufführung .....</b>	<b>28</b>
<b>6.1. Physiologische Grundlagen .....</b>	<b>28</b>
6.1.1. Skelettmuskel .....	28
6.1.2. Supraspinale sensomotorische Koordination.....	28
6.1.3. Propriozeption als 6. Sinn.....	28
6.1.4. Fazit.....	28
<b>6.2. Reizdetermination? .....</b>	<b>28</b>
<b>6.3. Die Programmierung von Bewegungen .....</b>	<b>29</b>
6.3.1. Das Programmierungsprinzip .....	29
6.3.2. Programmierung v. einzelnen Zielbewegungen.....	29
6.3.2.1. Die Vorinformationsmethode .....	29
6.3.2.2. Vorprogrammierung von abstrakten Eigenschaften auszuführender Bewegungen .....	30
6.3.3. Programmierung von Bewegungsfolgen.....	31
6.3.3.1. Vorprogrammierung konkreter Teilfolgen.....	31
6.3.3.2. Vorprogrammierung abstrakter Eigenschaften von Bewegungsfolgen.....	31
6.3.4. Bewegung ohne periphere Rückmeldung.....	32
6.3.5. Fazit.....	33
<b>6.4. Die Bewegung als Regelvorgang .....</b>	<b>33</b>
6.4.1. Das Regelungsprinzip .....	33
6.4.2. Dehnungsreflex und Gamma-Spindel-Schleife.....	33
6.4.3. Externe Regelung bei der Ausführung von Zielbewegungen.....	33
6.4.4. Interne Regelung bei der Ausführung von Zielbewegungen .....	34
6.4.5. Antizipationsmechanismen zur Effektivierung von Regelprozessen	34
6.4.5.1. Antizipation von distalen Führungsgrößen.....	34
6.4.5.2. Antizipation von feedback: feedforward .....	34
6.4.5.3. Zusammenfassung .....	34
6.4.6. Lernabhängige Adaptation sensomotorischer Regelprozesse.....	35
6.4.7. Fazit.....	35

<b>6.5. Theorien zum Erwerb zielbezogener bewegungsdeterminierender Repräsentationen .....</b>	<b>35</b>
6.5.1. Closed-Loop Theory (Adams, 1971).....	35
6.5.2. Schema Theory (Schmidt, 1975).....	36
<b>6.6. Die ideomotorische Hypothese (IMH).....</b>	<b>36</b>
6.6.1. Die Grundidee der IMH.....	36
6.6.2. Die aktuelle Renaissance der IMH .....	37
6.6.3. Die Sonderstellung der IMH.....	37
6.6.4. Empirische Evidenz für die IMH.....	37
6.6.4.1. Greenwald (1970).....	37
6.6.4.2. Hommel (1996).....	37
6.6.4.3. Kunde, Hoffmann und Zellmann (1999).....	38
6.6.4.4. Kunde (2001).....	38
6.6.5. Defizite der IMH.....	39
6.6.5.1. Lernproblem: Bildung von V-E-Beziehungen .....	39
6.6.5.2. Was ist ein Effekt? .....	39
6.6.5.3. S-(V-E).....	39
6.6.5.4. Was ist eine Aktion? .....	39
6.6.5.5. Keine Aussage über Verhaltensausführung.....	39
<b>7. Wahrnehmung.....</b>	<b>40</b>
<b>7.1. Funktionen von Wahrnehmung.....</b>	<b>40</b>
7.1.1. Wahrnehmung als Erkenntnis.....	40
7.1.1.1. Wahrnehmung als Rekonstruktionsprozess.....	40
7.1.1.2. Wahrnehmung von Invarianten.....	40
7.1.1.3. Probleme mit der Abbildungshypothese .....	40
7.1.2. Wahrnehmung dient der Verhaltenssteuerung .....	41
<b>7.2. Gemeinsame Bewegung.....</b>	<b>41</b>
7.2.1. Bewegungswahrnehmung .....	41
7.2.2. Objekt- vs. Eigenbewegung.....	41
7.2.3. Lernabhängige Adaptation.....	42
7.2.4. Ergänzung des RP: Korrelationsspeicher.....	43
7.2.5. Antizipative Kontrolle von Augenbewegungen.....	43
7.2.6. Bewegungserwartung und -wahrnehmung .....	43
<b>7.3. Konturen und Oberflächen.....</b>	<b>43</b>
7.3.1. Randkontraste .....	43
7.3.2. Simultane Flächenkontraste .....	43
7.3.3. Oberflächenunterschiede, Farbwahrnehmung.....	44
7.3.4. Die Konstanz von Helligkeiten und Farben.....	44
7.3.5. Der Einfluss von Erwartungen (Beispiele) .....	44
<b>7.4. Bestimmung von Lokation und Entfernung.....</b>	<b>45</b>
7.4.1. Fixation .....	45
7.4.2. Wahrnehmung der Lage nicht fixierter Objekte .....	45
7.4.3. Wahrnehmung der relativen Entfernung nicht fixierter Objekte .....	45
7.4.4. Empirische Tiefenkriterien (monokular).....	45

7.4.5. Größenkonstanz und -täuschungen .....	46
<b>7.5. Manipulationen der distalen-proximalen Abbildung .....</b>	<b>46</b>
7.5.1. Versuche mit Prismenbrillen .....	46
7.5.2. Die Veränderung der distal-proximalen Abbildungsverhältnisse durch Prismenbrillen .....	46
7.5.3. Adaptation an Prismenbrillen aus Perspektive der Widerspiegelung und der Handlungssteuerung.....	47
7.5.4. Adaptationen an Prismenbrillen: Beobachtungen.....	47
7.5.5. Adaptationen an Prismenbrillen: Schlussfolgerungen .....	47
<b>7.6. Dorsale und ventrale Bahn .....</b>	<b>49</b>
<b>8. Aufmerksamkeit .....</b>	<b>50</b>
<b>8.1. Die Selektivität der phänomenalen Wahrnehmung .....</b>	<b>50</b>
<b>8.2. Aufmerksamkeit aus Sicht der „Widerspiegelungshypothese“ .....</b>	<b>50</b>
8.2.1. Filtertheorie.....	50
8.2.1.1. Broadbent (1958): Frühe Selektion.....	50
8.2.1.2. Deutsch & Deutsch (1963): Späte Selektion.....	50
8.2.1.3. Probleme der Filtertheorien .....	51
8.2.2. Ressourcentheorien .....	51
8.2.2.1. Generelle unspezifische Ressourcen .....	51
8.2.2.2. Multiple Ressourcen .....	52
8.2.3. Das Homunculus-Problem.....	52
<b>8.3. Wahrnehmungsselektivität im Dienste der Verhaltenskontrolle.....</b>	<b>52</b>
8.3.1. Selektion durch Antizipation .....	52
8.3.2. Verwandte Konzepte .....	52
<b>8.4. Handlungsbegleitende Aufmerksamkeitsphänome .....</b>	<b>53</b>
8.4.1. Bevorzugte Wirkung von handlungsrelevanten Reizen .....	53
8.4.2. Die Unwirksamkeit verhaltensirrelevanter Reize („inattentional blindness“) .....	53
8.4.3. Die längerfristigen Folgen von verhaltensgebundener Aufmerksamkeit .....	54
8.4.4. Reizgetriggerte Aufmerksamkeit: Der Orientierungsreflex.....	55
8.4.5. Fazit.....	55
<b>8.5. Handlungsunabhängige Aufmerksamkeit.....</b>	<b>55</b>
<b>8.6. Ausrichtung d. (verdeckten) vis. Aufmerksamkeit auf einen Ort, unabhängig v. Fixationspunkt.....</b>	<b>56</b>
8.6.1. Die Spotlight-Metapher .....	56
8.6.2. Die „premotor hypothesis“ .....	56
8.6.3. Verdeckte visuelle Aufmerksamkeit als Konsequenz der antizipativen Vorbereitung eines Blickwechsels .....	57
<b>8.7. Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen Zeitpunkt .....</b>	<b>57</b>
<b>8.8. Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf Reize .....</b>	<b>57</b>
8.8.1. Visuelle Suche als experimentelles Paradigma .....	57
8.8.2. Pop-out und Merkmalsintegrationstheorie (MIT).....	57

8.8.3.	Probleme der MIT .....	57
8.8.4.	Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch Antizipation ihrer Reizwirkungen .....	58
<b>8.9.</b>	<b>Der Einfluss von Redundanzen in der raum-zeitlichen Verteilung von Reizen.....</b>	<b>58</b>
8.9.1.	Die Adaptation von Erwartungen an topographische Invarianten ....	58
8.9.2.	Die Adaptation von Erwartungen an Verteilungen in der Zeit .....	59
<b>9.</b>	<b>Begriffsbildung.....</b>	<b>60</b>
<b>9.1.</b>	<b>Vorbemerkungen .....</b>	<b>60</b>
<b>9.2.</b>	<b>Begriffsbildung durch Zusammenfassung von Objekten nach gemeinsamen Merkmalen.....</b>	<b>60</b>
9.2.1.	Der behavioristische Ansatz .....	60
9.2.2.	Begriffsbildungsalgorithmen und heuristische Techniken .....	60
9.2.3.	Kritik an Begriffsbildungsalgorithmen .....	60
9.2.4.	Begriffsbildung in konnektionistischen Netzwerken .....	61
<b>9.3.</b>	<b>Abstraktion von handlungsbezogenen Äquivalenzklassen .....</b>	<b>61</b>
9.3.1.	Abstraktion handlungsrelevanter Situationsbedingungen.....	61
9.3.2.	Abstraktion invarianter aber nicht-intendierter Handlungseffekte ....	61
<b>9.4.</b>	<b>Effektivierung der Suche nach handlungsrelevanten Reizkonfigurationen .....</b>	<b>62</b>
9.4.1.	Der Vorteil der Antizipation globaler Merkmale.....	62
9.4.2.	Lokalisierung von Detailmerkmalen .....	62
<b>9.5.</b>	<b>Perzeptives Lernen.....</b>	<b>62</b>
9.5.1.	Neuronale Plastizität als Voraussetzung des perzeptiven Lernens .	62
9.5.2.	Anpassung der Wahrnehmung an häufig auftretende verhaltensrelevante Reize .....	62
9.5.3.	Bildung funktionaler Repräsentationseinheiten für Klassen äquivalent erlebter Reizkonfigurationen (Unitization) .....	63
9.5.4.	Veränderung der Wahrnehmung von Unterschieden .....	63
<b>9.6.</b>	<b>Fazit .....</b>	<b>63</b>
<b>10.</b>	<b>Sprache als Handlung .....</b>	<b>64</b>
<b>10.1.</b>	<b>Spekulationen zur Entstehung der Sprache .....</b>	<b>64</b>
<b>10.2.</b>	<b>Bühlers Organonmodell der Sprache .....</b>	<b>64</b>
<b>10.3.</b>	<b>Ontogenese sprachlichen Handelns.....</b>	<b>64</b>
<b>10.4.</b>	<b>Sprachbedingte Begriffsbildungen.....</b>	<b>65</b>
<b>10.5.</b>	<b>Die Bildung von Wortklassen.....</b>	<b>65</b>
<b>10.6.</b>	<b>Sprache-Handeln-Wissen .....</b>	<b>65</b>
<b>11.</b>	<b>Objekterkennung: Die Wahrnehmung von Begriffen.....</b>	<b>66</b>
<b>11.1.</b>	<b>Objektrepräsentationen: Abstraktionen und innere Struktur .....</b>	<b>66</b>
<b>11.2.</b>	<b>Die Rolle von Erwartungen.....</b>	<b>66</b>
<b>11.3.</b>	<b>Objektidentifikation bei unspezifischen Erwartungen .....</b>	<b>66</b>

11.3.1.	Die bevorzugte Identifikation von Objekten auf dem Niveau der Basisbegriffe .....	66
11.3.2.	Die bevorzugte Identifikation des Ganzen vor seinen Teilen .....	67
11.3.3.	Die bevorzugte Identifikation von Objekten in kanonischer Perspektive .....	67
<b>11.4.</b>	<b>Modelle der Objektidentifikation .....</b>	<b>68</b>
11.4.1.	Hoffmann (1982) .....	68
11.4.2.	Kosslyn et al. (1990) .....	68
11.4.3.	Recognition by Components (Biederman, 1987) .....	69
<b>12.</b>	<b>Gedächtnis und Wissen .....</b>	<b>70</b>
<b>12.1.</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>70</b>
12.1.1.	Was ist Gedächtnis? .....	70
12.1.2.	Gedächtnis und Lernen: Die Notwendigkeit von KZG und Konsolidierung (LZG).....	70
12.1.3.	Corticale Plastizität als Grundlage aller Gedächtnisbildung .....	70
12.1.4.	Was sind Erinnerungen? .....	70
<b>12.2.</b>	<b>Das UKZG: Die Wirkung von Reizen über die Dauer ihrer Präsenz hinaus.....</b>	<b>71</b>
<b>12.3.</b>	<b>Das KZG: Nachwirkungen von Episoden vor ihrer Konsolidierung ..</b>	<b>71</b>
12.3.1.	Konsolidierungsforschung bei Tieren und retrograde Amnesie....	71
12.3.2.	Beginn der experimentellen Gedächtnisforschung beim Menschen (Ebbinghaus, 1885).....	71
12.3.3.	Gedächtnis als reproduzierbare episodische Erinnerung.....	72
12.3.4.	Die Begrenztheit der unmittelbaren Behaltensspanne .....	72
12.3.5.	Chunking: Die Vergrößerung der KZG-Kapazität.....	72
12.3.6.	Das KZG als Flaschenhals der IV .....	73
<b>12.4.</b>	<b>Aktive Prozesse der Konsolidierung: Working statt Short Term Memory.....</b>	<b>73</b>
12.4.1.	Das Modell von Allan Baddeley .....	73
12.4.2.	Konsolidierung durch (verbale) Wiederholung (phonological loop) 73	
12.4.3.	Konsolidierung durch anschauliche Vorstellungen (visuo-spatial sketchpad)74	
12.4.4.	Konsolidierung durch Handeln: Der TU-Effekt oder SPT (self performed tasks).....	74
12.4.5.	Die Level of Processing Hypothese und Transfer Appropriate Processing75	
12.4.6.	Konsolidierung durch emotionale Erregung: Flashbulb Memories (Brown & Kulik, 1977) .....	75
12.4.7.	Fazit .....	76
<b>12.5.</b>	<b>Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Gedächtnisinhalten im LZG..</b>	<b>76</b>
12.5.1.	Feeling of Knowing (FOK).....	76
12.5.2.	Tip of the Tongue (TOT) .....	76
12.5.3.	Die Erleichterung der Re-Produktion durch „retrieval cues“ .....	77

<b>12.6. Episodisches und Prozedurales LZG .....</b>	<b>78</b>
12.6.1. Der Fall des Patienten H.M.....	78
12.6.2. Dissoziationen zwischen episodischem Erinnern und Lernen bei Amnesiepatienten .....	78
12.6.3. Das implizite Gedächtnis: Dissoziationen zwischen episodischem Erinnern und Primewirkungen bei Gesunden .....	78
12.6.4. Episodische Spuren und Veränderungen verhaltenssteuernder Strukturen 79	
12.6.5. Eine Alternative: Gleiche Spuren aber unterschiedliche Zugänge 79	
<b>12.7. Semantisches Wissen: Ein drittes LZG .....</b>	<b>79</b>
<b>12.8. Strukturen im LZG .....</b>	<b>80</b>
12.8.1. Handlungsstrukturen .....	80
12.8.2. Taxonomische Strukturen .....	80
12.8.3. Topographisches Wissen über die Anordnung von Details bei Objekten oder von Objekten in vertrauten Szenen (Frames).....	80
12.8.4. Sequentielles Wissen über die Abfolge von Handlungen und Ereignissen (Scripts).....	81
12.8.5. Gedächtnis-Schemata: Feste Strukturen oder Tendenz zur Wiederholung.....	81

## **0. Vorwort**

Dozenten: Dr. Andrea Kiesel und Prof. Dr. Joachim Hoffmann

Termin: Donnerstag, 17:00 – 18:45, Kulpe-Hörsaal

Web: <http://wy2x05.psychologie.uni-wuerzburg.de/> → Lehre  
User: psy3  
PW: helmholtz

Klausur: Vier Teile: 1-5 / 6 / 7 & 8 / 9 - 12

# 1. Einführung

## 1.1. Gegenstand der kognitiven Psychologie

Ulric Neisser definierte im ersten Lehrbuch zur kognitiven Psychologie (cognoscere = erkennen, wahrnehmen): „Reizverarbeitung ist Informationsverarbeitung“. Seinem Verständnis zufolge dienen alle Kognitionen (Wahrnehmung, Aufmerksamkeit, Gedächtnis, Sprache etc.) der Erkenntnis.

Dies kann jedoch bezweifelt werden, da Kognitionen vielmehr der Steuerung und Kontrolle adaptiver Verhaltensweisen dienen (Hoffmann, 1993). „Kognitive Prozesse sind stets an die Verhaltenssteuerung gebunden und können auch nur in diesem Zusammenhang verstanden werden.“

## 1.2. Biologische Wurzeln menschlichen Verhaltens

### **1.2.1. Der Mensch, ein begabter Affe**

Die genetisch engsten Verwandten des Menschen sind die Schimpansen, wobei die beiden Arten vor etwa 6,4 Millionen Jahren begannen, sich divergent zu entwickeln.

### **1.2.2. Ursachen der Sonderstellung des Menschen**

Für die Sonderstellung des Menschen im Tierreich lassen sich 4 bedeutende Argumente finden:

- 1.) Evolutionäre Bevorzugung des aufrechten Gehens (energetisch günstiger Massenschwerpunkt (v.a. beim zurücklegen weiter Strecken auf offenem Gelände) sowie Freiheit der Hände).
- 2.) Evolutionäre Bevorzugung sozialer Kompetenz (sowohl hinsichtlich kooperativem als auch konkurrierendem Verhalten). Dies verlangt auch die Antizipation des Verhaltens anderer Gruppenmitglieder; die Entwicklung sozialer Kompetenz kann daher als Hauptursache für die Entwicklung hoher kognitiver Leistungsfähigkeit gesehen werden.
- 3.) Evolutionäre Bevorzugung des artikulierte Sprechens
- 4.) Evolutionäre Bevorzugung von mächtigeren und differenzierteren Hirnstrukturen.

### **1.2.3. Veränderungen in der Evolution zum Menschen**

- 1.) Zunahme des relativen Hirngewichts (Cephalisationsindex =  $\frac{\text{Hirngewicht}}{\text{Körpergewicht}^{2/3}}$ ).
- 2.) Vergrößerung des relativen Anteils des Neocortex.
- 3.) Funktionelle Differenzierung des Neocortex (größere motorische und somatosensorische corticale Areale, Beteiligung corticaler Regionen an der Sprachsteuerung sowie stärkere Lateralisation und größerer relativer Anteil des PFC).

### **1.2.4. Emanzipation des Menschen von der Evolution**

- 1.) Mit seinen Werkzeugen passt der Mensch die Umwelt an sich an (und nicht umgekehrt).
- 2.) Die Entwicklung der sprachlichen Kommunikation erlaubt eine rasche kulturelle Evolution.
- 3.) Gentechnische Methoden zerreißen das letzte Band zur Evolution.

## **1.3. Das Problem des Bewusstseins**

### **1.3.1. Die Welt im Kopf**

- - -

### **1.3.2. Bewusstsein bei Tieren**

Zwar ist das Bewusstsein von Tieren mit Sicherheit von einer anderen Qualität, jedoch sind auch im Tierreich Bewusstseinsphänomene nachzuweisen. Beispielsweise finden sich bei vielen Tieren flexible Verhaltensanpassungen an neue Situationen sowie physiologische Bewusstseinskorrelate.

### **1.3.3. Das Verhältnis von Geist und Körper**

Drei verschiedene philosophische Traditionen befassen sich mit dem alten Leib-Seele-Problem. Der Solipsismus (idealistischer Monismus) geht davon aus, dass der Körper ein Teil des Geistes ist und kann aus naturwissenschaftlicher Sicht nicht ernsthaft in Betracht gezogen werden.

Der Parallelismus (Dualismus) geht von einer völligen Unabhängigkeit von Körper und Geist aus – hier stellt sich jedoch die Frage, wie der Einfluss vom Geist auf den Körper (etwa im Sinne von Handlungsentscheidungen) erfolgen soll.

Der materialistische Monismus geht davon aus, dass der Geist lediglich ein Epiphänomen körperlicher Zustände darstellt und wirft damit die Frage nach dem Vorhandensein eines freien Willens auf.

Diese Position wird beispielsweise durch Befunde von Libet (1985) gestützt, der zeigen konnte, dass schon ca. 300ms vor einer bewussten Willensentscheidung kortikale Aktivierungsmuster vorhanden sind. Libet geht dabei jedoch nicht von einer völligen Determination von Entscheidungen aus, sondern spricht dem Bewusstsein zumindest ein Vetorecht zu.

## **2. Elementare Verhaltensstrukturen**

Eine Verhaltenskoordination im Tierreich lässt sich auf einen archetypischen Ablauf zurückführen: Exogene, endogene und situative Faktoren führen zum Erwachen eines Bedürfnisses (Appetenz), welches die Basis für eine Verhaltensbereitschaft darstellt. Durch einen Schlüsselreiz bzw. dem mit ihm verbundenen (angeborenen) Auslösemechanismus (AAM) wird schließlich die Verhaltensausführung eingeleitet. Die Effekte der konsumatorischen Endhandlung sorgen über sensorische Rückkopplung schließlich dafür, dass das Bedürfnis gehemmt wird.

Die einzelnen Schritte sollen im Folgenden näher erläutert werden.

### **2.1. Bedürfnisse**

Die meisten Bedürfnisse sind transient, also nur vorübergehend wach, und werden über bestimmte Indikatoren reguliert. Ist ein Bedürfnis stark genug kann es andere gleichzeitig bestehende Bedürfnisse hemmen und so eine noch stärkere Verhaltensbereitschaft hervorrufen.

Neben transienten Bedürfnissen gibt es jedoch auch die ständige Bereitschaft, sich durch Flucht oder Verteidigung zu schützen, die sich beispielsweise anhand der Orientierungsreaktion (Sokolov; Pavlov: investigativer Reflex) zeigt.

### **2.2. Verhaltensbereitschaften**

Verhaltensbereitschaften können zentral aktiviert werden, wie in Experimenten zur Gehirnreizung an Tieren demonstriert werden konnte. Man spricht in diesem Zusammenhang auch von Motivationszentren.

Schwache Verhaltensbereitschaften können nebeneinander bestehen, starke hemmen sich jedoch wie Bedürfnisse gegenseitig. Kommt es zu Konflikten zwischen zwei gleich starken Bereitschaften, so kann es zu Übersprunghandlungen kommen.

### **2.3. Schlüsselreize**

Ist bei Vorhandensein von Appetenz (Verhaltensbereitschaft) ein Schlüsselreiz präsent, so wird das Verhalten ausgelöst. Ansonsten kommt es zu einer Suche nach einem solchen (Appetenzverhalten).

In Atrappenversuchen konnte hierbei gezeigt werden, dass es sich hierbei nicht um einzelne Reize, sondern meist um Reizkomplexe handelt. Die Verhaltensauslösung selbst wird schließlich durch einen angeborenen Auslösemechanismus (AAM) gewährleistet.

Bei hoher Appetenz können Handlungen auch ohne Schlüsselreize ausgelöst werden: Leerlaufhandlungen. Schlüsselreize sind also weder notwendig (Leerlauf- und Übersprunghandlungen) für Verhalten, noch hinreichend (Appetenz).

### **2.4. Konsumatorische Endhandlung**

Nicht die Endhandlung an sich, sondern deren Effekte verursachen den Abbau des Bedürfnisses (sensorische Rückkopplung).

## **2.5. Nature vs. Nurture**

Verhaltenskoordinationen können sowohl angeboren sein (Erbkoordinationen) oder auch erlernt sein (Lerndisposition!). Eine Erbkoordination lässt sich über Kaspar Hauser Versuche nachweisen und ist stets durch Lernen modifizierbar.

In jeder Verhaltenskoordination sind dabei angeborene und erlernte Elemente beteiligt, sodass eine Trennung von angeborenem und erlerntem Verhalten nicht angemessen ist.

## **2.6. Lernen**

Man unterscheidet die Verbindung bekannter Verhaltensweisen mit neuen Reizbedingungen (klassische Konditionierung) und das lernen neuer Verhaltensweisen (instrumentelle Konditionierung).

## **3. Tierisches Lernen**

### **3.1. Prolog**

Man unterscheidet sprachgebundenes Wissen sowie mehr prozedurales Können. Tierisches Lernen kann als Anpassung des nicht-sprachbezogenen Verhaltens an Umweltgegebenheiten gesehen werden und entsteht als Resultat der individuellen Informationsverarbeitung. Eine Lerntheorie umfasst somit immer:

- 1.) Angaben über involvierte Strukturen
- 2.) Angaben über mögliche Veränderungen dieser Strukturen
- 3.) Angaben über den Einfluss von Umweltinformationen auf strukturelle Änderungen
- 4.) Angaben über die Richtung des Lernens

Die elementaren Strukturen der Verhaltensdetermination sind dabei S-V-E-Tripel.

### **3.2. Der Behavioristische Ansatz: S-R-Psychologie**

#### **3.2.1. Der bedingte Reflex (Pavlov)**

Pavlov (1889) zeigte in seinen Experimenten die klassische Konditionierung (bedingter Reflex) und führte ihn auf die Kontiguität (Kopplung) von CS und UCS zurück. Physiologisch erklärte er das Zustandekommen eines CV über die Schaffung einer Verbindung zwischen den zentralen Punkten von CS und (U)CV.

Methodische Variationen sind möglich über die Wahl der unbedingten Reflexe (appetitive vs. aversive Reflexe) sowie über die Wahl der zu konditionierenden Reize.

Aus behavioristischer Perspektive wird der bedingte Reflex über den Aufbau einer CS-(U)CV-Assoziation erklärt.

#### **3.2.2. Operantes und instrumentelles Konditionieren**

Konditionierte Reflexe (siehe 3.2.1) stellen eine Erweiterung der Auslösebedingungen für bestehende S-R-Beziehungen dar. Im Gegensatz dazu besteht operantes bzw. instrumentelles Konditionieren aus der Erweiterung des Verhaltensrepertoires.

Erste Untersuchungen hierzu wurden von Thorndike (1898) an Katzen in einer sog. puzzle box durchgeführt. Auch er erklärte die Stärkung der Assoziation zwischen Situation und bekräftigter Verhaltensalternative über Kontiguität.

Eine methodische Variation stellt die Skinner-Box (Skinner, 1938) dar, in der die Tiere kontinuierlich lernen und auch Verhaltenssequenzen erwerben. Weitere Variationen sind:

- 1.) Qualität der Verstärker:
- 2.) Präsentation entfernt/dargeboten (1+2 = Verstärkungsarten)
- 3.) Intermittierende Verstärkungspläne (fix/variabel x Quote/Intervall)

Thorndike (1911) ging in seinem „Law of Effect“ davon aus, dass das instrumentelle Verhalten durch Reize ausgelöst wird. Im Lernen wird die Stärke der S-V-Assoziation durch Bekräftigung/Bestrafung verändert.

Skinner hingegen sah die Bildung von S-V-Assoziationen nur bei bedingten Reflexen gegeben und führte instrumentelles Konditionieren auf die Erhöhung der Verhaltenswahrscheinlichkeit zurück (operantes Konditionieren).

### **3.2.3. Diskriminationslernen**

Hanson (1959) konnte bei Tauben die Diskrimination einfacher Merkmale nachweisen (Pickverhalten von Tauben in Abhängigkeit von der Wellenlänge des Lichts der Taste): situationsabhängige Verhaltensdifferenzierung.

Der Nachweis einer Diskrimination von Merkmalsverknüpfungen gelang Woodbury (1943) bei Hunden durch positives (UND) und negatives patterning (exklusives ODER): Verhaltensdifferenzierung von Einzelreizen und Compoundreizen.

Herrnstein, Loveland und Cable (1976) zeigten an Tauben, dass sogar Kategorien (durch die Abstraktion von Gemeinsamkeiten) gebildet werden können und Porter und Neuringer (1984) zeigten Kategorisierung nach Bach und Strawinsky (ebenfalls Tauben; Wahl verschiedener Verhaltensalternativen).

### **3.2.4. Fazit**

Durch das Ausschließen mentalistischer Konzepte (black box) wurde ein wichtiger, wenn nicht der zentrale Punkt der Verhaltenssteuerung übersehen: Verhalten wird nicht durch Reize, sondern durch Ziele determiniert.

## **3.3. Nicht S-V- sondern V-E-Beziehungen**

### **3.3.1. Diskriminationslernen**

Diskriminationslernen kann als auch situative Modifikation der Erwartungen gesehen werden, die das Verhalten steuern. Statt S-V-Beziehungen bilden sich also hierarchische S-(V-E)-Beziehungen heraus.

Differential Outcome Effect: Trapold (1970) konnte zeigen, dass das Lernen zweier Verhaltensweise auf bestimmte Situationen schneller erfolgt, wenn sie zu unterschiedlichen Effekten führen. Die Effekte werden also antizipiert, mit Verhalten in Verbindung gebracht und als V-E-Beziehung schließlich noch hinsichtlich verschiedener Situationsmerkmale differenziert.

Occasion Setting: Collwill und Rescorla (1988) konnten in einem Experiment mit Ratten zeigen, dass sich die situationsabhängige Auswahl einer Aktion an den antizipierten Effekten orientiert. Hierzu verwendeten sie zwei Lernphasen. In der ersten wurde bei Licht eine „nose poke“-Reaktion mit Pellets verstärkt, bei Lärm dieselbe Reaktion mit Zuckerlösung. In der zweiten Phase führte das Zerren einer Kette zu Pellets, das Drücken einer Taste zu Zuckerlösung. In einer Testphase, in der beide Reaktionen möglich waren, wurde bei der Anwesenheit von Licht an der Kette gezogen, in der Anwesenheit von Lärm wurde die Taste gedrückt. Licht und Lärm fungieren demnach als occasion setter, also als Signale für die Herstellbarkeit bestimmter Effekte. Die Antizipation dieser Effekte triggert wiederum das Verhalten.

### **3.3.2. Bedingtes Verhalten: CS-UCS-Verbindung (V-E)**

Holland und Straub (1979) konnten durch Devaluationsexperimente nachweisen, dass bedingtes Verhalten durch das Ausbilden von Erwartungen entsteht: es wird also eine CS-UCS-Assoziation aufgebaut (nicht CS-CV).

Zum Nachweis dieser Tatsache konditionierten sie ihre Versuchstiere auf einen Ton (CS; UCS: Futter). Den Tieren der Experimentalgruppe wurde direkt nach dem Fressen eine Übelkeit erregende Injektion verabreicht, den Kontrolltieren ebenfalls, jedoch zeitlich versetzt. Die Tiere der EG zeigten darauf hin kein konditioniertes Verhalten mehr (Erwartungen steuern Handeln).

Die Unterdrückung der CV wirkte jedoch nicht vollständig, was über eine unvollständige Devaluation oder aber auch auf partielles S-R-Lernen zurückzuführen sein kann.

### **3.3.3. Instrumentelles Verhalten: V-E-Beziehungen**

Colwill und Rescorla (1985) konnten ebenfalls mit Devaluationsexperimenten nachweisen, dass bei instrumentellem Verhalten (1) eine Erwartung des Verstärkers mit dem jeweiligen Verhalten verbunden wird und (2) diese Effektrepräsentation auf die Verhaltensausswahl wirkt.

Hierzu wurden zwei Konditionierungsphasen im selben Käfig verwendet (Phase 1: Zerren → Futterkugeln. Phase 2: Tasten → Zuckerlösung). In einer Testphase standen beide Verhaltensoptionen zur Auswahl, die Futterkugeln waren jedoch zuvor entwertet worden (→ Antizipation der jeweiligen Effekte → Tasten).

### **3.3.4. S-(V-E)-Beziehungen**

In einem weiteren Devaluationsexperiment konnten Colwill und Rescorla (1990) zeigen, dass hierarchische S-(V-E)-Assoziationen ausgebildet werden. Hierzu wurden wiederum zwei Konditionierungsphasen verwendet (Phase 1 (Licht): Zerren → Pellets, Tasten → Zuckerlösung; Phase 2 (Lärm): Zerren → Zuckerlösung, Tasten → Pellets). Nach Entwertung der Pellets wird bei Licht das Tastverhalten, bei Lärm das Zerren aktiviert. Die V-E-Beziehungen werden also situationsabhängig aktiviert.

## **3.4. Kontingenz vs. Kontiguität**

Der Behaviorismus geht davon aus, dass Konditionierungsprozesse auf der Kontiguität zweier Reize beruhen (raum-zeitliche Kopplung;  $P(\text{CS UND UCS})$ ). Es scheint jedoch unter der Annahme von Effektantizipationen wesentlich plausibler, diesen Vorgang auf Kontingenzen zurückzuführen (Zusammenhang bzw. Vorhersagbarkeit;  $P(\text{UCS}|\text{CS}) - P(\text{UCS}|\text{nichtCS})$ ).

### **3.4.1. Variation der Kontingenz (Kontiguität konstant)**

Rescorla (1968) konnte zeigen, dass bei steigender Kontingenz verbessertes Lernen zu beobachten ist. Ähnliche Befunde berichtet Hammond (1980) bei einem intervallisierten Verstärkungsplan.

### 3.4.2. Blockierungsphänomen

Kamin (1969) konnte zeigen, dass eine bereits ausgebildete CS-UCS-Assoziation die Ausbildung einer weiteren Assoziation blockiert, wenn der zweite CS zusammen mit CS1 präsentiert wird. Lernen erfolgt also nur, wenn Erwartungen verletzt werden.

### 3.4.3. Rescorla-Wagner-Modell

Genau diese Erkenntnis liegt auch dem Rescorla-Wagner-Modell zugrunde: (1) Die Assoziationsstärke zwischen CS und UCS verändert sich mit jeder einzelnen Erfahrung und (2) ist auf einen maximalen Wert beschränkt. (3) Die inkrementelle Veränderung ist proportional zu der Differenz der maximalen Assoziationsstärke (Acquisition) bzw. Null (Extinction) und der Summe der Assoziationsstärken aller aktuell wirkenden Reizbedingungen:

$$\Delta V_{CSj} = \alpha\beta \left( \lambda - \sum V_j \right)$$

mit  $\Delta V_{CSj}$  = Lernzuwachs/trial,  $\alpha\beta$  = CS- und UCS-spezifische Lernraten,  $\lambda = 0$ , wenn keine Bekräftigung und  $\lambda = \lambda_{max}$ , wenn Bekräftigung (UCS).  $V_j$  = Assoziationsstärken CSj-UCS. Das Modell geht also von einem inkrementellen Lernvorgang mit negativer Beschleunigung und Konkurrenz zwischen verschiedenen Prädiktoren aus (Rescorla und Wagner, 1972).

## 3.5. Die Rolle der Aufmerksamkeit

### 3.5.1. Beachtung diskriminativer Situationsmerkmale

Das Rescorla-Wagner-Modell kann negatives Patterning nicht erklären, es sei denn man nimmt an, dass Einzel- und Compoundreize unterschieden werden.

Insgesamt hängt Lernen nicht nur von der Beachtung des UCS ab, sondern auch von der Beachtung des CS, was beispielsweise am Phänomen der latent inhibition deutlich wird.

### 3.5.2. Theoretische Ansätze

- 1.) Wagners SOP-Theorie (Standard Operating Procedures): Der CS muss im Zentrum der Aufmerksamkeit stehen, um konditioniert werden zu können.
- 2.) Pearce-Hull-Modell: Tiere müssen einen Stimulus beachten, wenn sie dessen Konsequenzen vorhersagen wollen.
- 3.) Holyoak, Koh und Nisbett: Auch hier muss der CS beachtet werden, damit Lernen stattfinden kann (rules).

### 3.5.3. Preparedness

Garcia und Koelling (1966) konnten zeigen, dass Reize, die unter natürlichen Lebensbedingungen gute Prädiktoren sind (Geschmack für Übelkeit und Licht/Clicker für Stromschlag) werden schneller konditioniert als unökologische Prädiktoren (Geschmack für Stromschlag oder Licht/Clicker für Übelkeit).

Bolles (1973) konnte zeigen, dass Preparedness auch im instrumentellen Bedingen wirkt (wenden vs. aufrichten als Stromschlagvermeidung).

Bei Konditionierungsexperimenten muss also nicht nur zwischen sensorischer Saliens von Stimuli unterschieden werden, sondern auch zwischen unterschiedlicher Konditionierbarkeit (Preparedness).

## **3.6. Latentes Lernen**

Latentes Lernen bezeichnet den Aufbau von verhaltenssteuernden Erwartungen ohne Bekräftigung.

### **3.6.1. Tolmans Erwartungslernen**

Schon Tolman ging davon aus, dass Tiere nicht S-V-Beziehungen lernen, sondern das Verhalten primär von Erwartungen bestimmt wird. Aus der Sicht des Behaviorismus lässt sich jedoch das Ausbilden von Erwartungen ohne Bekräftigung (latentes Lernen) nicht erklären.

### **3.6.2. Latentes S-S-Lernen, Sensory Preconditioning**

Rizley und Rescorla (1972): In zwei Lernphasen wird zunächst das gemeinsame Auftreten von Licht und Ton konditioniert. In der zweiten Phase wird der Ton kontingent mit einem Schock präsentiert, was zu Vermeidungsverhalten führt. In der Testphase führt jedoch auch die Präsentation des Lichtreizes zu Vermeidungsverhalten, welches vermutlich die Erwartung des Tons und damit des Schocks hervorruft. Das Experiment von Rizley und Rescorla (1972) zeigt also, dass latentes S-S-Lernen stattfindet.

### **3.6.3. Latentes V-E-Lernen**

Sowohl das Experiment von Seward (1949; T-Labyrinth mit unterscheidbaren Boxen; Aufwertung einer Box führt zu zielstrebigem aufsuchen der Box) als auch die Studie von Tolman und Honzik (1930; Fütterung der EG ab dem 11. Tag) zeigen:

- 1.) Es findet ein Aufbau von V-E-Verbindungen statt
- 2.) Die Effekte müssen dabei keine Bekräftiger sein
- 3.) Werden die Effekte nachträglich verhaltensrelevant, beeinflussen sie die Verhaltensausswahl.

### **3.6.4. Antizipationsbedürfnis**

Das Eintreten eines antizipierten Effektes wirkt als Bekräftigung (Hoffmann, 1993). Dies ist eine nahe liegende Konsequenz, da hierdurch eine flexible und damit adaptive Verhaltenssteuerung ermöglicht wird, was sich evolutionär als Fortpflanzungsvorteil erweist: „Man könnte mithin sagen, dass durch die Antizipation des Antizipierbaren zugleich eine Antizipation des Unvorhersehbaren geleistet wird.“

Für latentes S-(V-E)-Lernen gibt es keine Evidenz, wobei Meck (1985) zeigen konnte, dass ein neutraler Reiz mitgelernt wird, wenn er zusätzlich zum Bekräftiger dargeboten wird (non-reversal transfer gelingt einfacher als reversal transfer). Diese Befunde lassen sich jedoch auch durch folgende Interpretation erklären: Der Neutrale Reiz (Ton) aktiviert die Vorstellung des Bekräftigers, welche wiederum die gewünschte Reaktion hervorbringt.

## **3.7. Fazit**

### **3.7.1. Verhalten ist primär erwartungsgesteuert**

- 1.) Tiere lernen, welche Verhaltensweisen zu Situationen führen, die eine Befriedigung ihrer Bedürfnisse erlauben (z.B. Colwill & Rescorla, 1985: Devaluation von Futterkugeln)
- 2.) Tiere lernen ihr Verhalten situationsabhängig anzupassen: S-(V-E)-Lernen (Colwill & Rescorla, 1988: Occasion setting, Colwill & Rescorla, 1990).
- 3.) Wenn Umweltreize verlässliche Prädiktoren für bedürfnisrelevante Situationen sind, werden Erwartungen und damit Verhalten aktiviert (bedingte Reflexe; Holland & Straub, 1979: Devaluation von Futter mit Übelkeit erregender Injektion).

### **3.7.2. Reize aktivieren primär Erwartungen**

Z.B. Holland und Straub (1979), Rescorla (1968), Hammond (1980), Kamin (1969), Rescorla und Wagner (1972)

### **3.7.3. Lernen: nicht passiv, sondern aktiv u. selektiv**

Z.B. Preparedness (Garcia & Koelling, 1966), Kamin (1969).

### **3.7.4. Antizipationsbedürfnis**

Tolman und Honzik (1930), Seward (1949), Rizley und Rescorla (1972).

## **4. Menschliches Lernen**

### **4.1. Bedingte Reflexe beim Menschen**

Beispiele für die Verbindung bestimmter Reize mit spezifischen Erwartungen sind die Studie zum kleinen Albert (Watson & Raynor, 1920) oder auch die Studie von Lachnit (1993) zu positivem und negativem Patterning von Buchstaben als CSs (AV: GSR).

### **4.2. Instrumentelles Bedingen beim Menschen**

Instrumentelles Bedingen kann auch erfolgen ohne dass sich die Probanden dessen bewusst sind (Greenspon, 1955: Pluralworte).

### **4.3. Primat der Bildung von V-E-Beziehungen**

#### **4.3.1. V-E Lernen blockiert S-V-Lernen**

Stock und Hoffmann (2002): Vier verschiedene Startsituationen werden durch unterschiedliche Symbole angezeigt, worauf mit einer von wiederum 4 Tasten reagiert werden kann (zusätzlich wird ein Zielsymbol angezeigt). In einer Bedingung erfolgt nur die Rückmeldung korrekt vs. inkorrekt (S-V-Lernen), in der anderen wird ein weiteres Symbol durch den Tastendruck gezeigt, welches dem Zielsymbol gleichen muss (V-E).

In beiden Situationen wird die korrekte Taste gleichermaßen vom Startsymbol vollkommen korrekt vorhergesagt, und doch gelingt nur den Probanden der ersten Bedingung (Diskriminationslernen) die korrekte Verhaltensanpassung: Primat der Bildung von V-E-Beziehungen.

#### **4.3.2. Response-Outcome Learning**

Pbn schätzen den Grad der Kontrolle, die sie auf einen Reiz ausüben können. Dabei wird die Kontingenz variiert. Schätzungen der Probanden kovariieren dabei schon nach wenigen Durchgängen perfekt mit der tatsächlichen Kontingenz (Wasserman et al., 1993).

Aber: Kontrollüberschätzung bei hoher Basisrate!

### **4.4. Berücksichtigung von Situationsmerkmalen**

#### **4.4.1. Bedingungsabhängige V-E Beziehungen**

Hoffmann und Sebold (2000): Glücksradexperimente mit Variation des Glücksradsymbols (Käfer vs. Schwein). Symbolabhängige Bekräftigung der Reaktionsstasten.

Für die Reaktionswahlen der Probanden wird ein Bedingungsabhängigkeitsindex (BAI) errechnet, der zwischen 0 (keine bedingungsabhängige Anpassung der Reaktion) und +/- 100 (vollständige Anpassung) liegt.

Dabei zeigt sich, dass zunächst generell Tasten mit hoher unbedingter Bekräftigungsrate bevorzugt (V-E-Lernen) und erst später diese Einheiten über Diskriminationslernen kontextualisiert (S-(V-E)) werden.

#### **4.4.2. Bedingungsabhängige V-E Kontingenzen**

Des Weiteren lässt sich variieren, wie stark die Kontingenz zwischen situationsabhängiger Tastenwahl und Erfolg ist (Erfolgswahrscheinlichkeit).

Es zeigt sich, dass die kritischen Tasten mit steigender unbedingter Bekräftigungsrate häufiger gewählt werden und mit bedingungsabhängiger Kontingenz auch die bedingungsabhängige Tastenwahl zunimmt. Eine leichte Reduktion der bedingungsabhängigen Kontingenz von 100/0 auf 80/0 führt dabei jedoch zu einer deutlichen Reduktion des BAI.

#### **4.4.3. Situationen/Objekte als „occasion setter“ oder direkte S-V-Aktivierung?**

Hinsichtlich der Handlungssteuerung durch Erwartungen muss zwischen drei Gegebenheiten unterschieden werden: 1.) Situationen oder Objekte wecken den Wunsch nach einer bestimmten Handlung (Aufforderungscharakter, Affordances) oder 2.) Das „Wollen“ ist gegeben – sei es durch bestimmte Ziele oder auch nur der hohe Automtizitätsgrad einer Verhaltensweise – und wird durch die Gegebenheiten lediglich ausgelöst (Ach: voluntive Objektion) oder 3.) hochautomatisierte und in Bereitschaft stehende Verhaltensweisen werden ohne Willen ausgelöst.

Beispiele für die automatische Auslösung überlernter oder in Bereitschaft stehender Verhaltensweisen sind der Stroop-Effekt (1935) oder auch der Simon Effekt (Simon & Rudel, 1967). Durch die automatische Verhaltensausrösung können auch sog. Action slips hervorgerufen werden.

Der Simon Effekt zeigt sich immer dann, wenn die geforderte Reaktion auf eine Situation mit der automatischen Reaktion inkompatibel (inkongruent) ist, auch wenn eigentlich auf zwei verschiedene Aspekte der Situation reagiert wird (willentlich: rotes vs. grünes Ziel => rechte vs. linke Taste, automatisch: Reiz erscheint links/rechts).

Durch eine veränderte Intention kann der Simon Effekt allerdings umgedreht werden (Hommel, 1993). Wenn mit der linken Hand ein rechtes Licht und mit der rechten Hand ein linkes Licht gezündet wird, dann reagieren die Pbn schneller auf Reize, deren Lage mit der Lage des Lichtes (also des Effektes) übereinstimmt.

### **4.5. Latentes (Implizites) Lernen und die Rolle der Aufmerksamkeit**

#### **4.5.1. Antizipationsbedürfnis und intrinsische Motivation**

Was bei Tieren als Antizipationsbedürfnis bezeichnet wurde, wird im Bezug auf den Mensch als intrinsische Motivation, Manipulationstrieb, instinct to master, effectance oder auch Flow bezeichnet.

#### **4.5.2. Implizites Lernen als Forschungsparadigma**

Implizites Lernen zeichnet sich dadurch aus, dass es 1.) inzidentell (beiläufig), 2.) aufmerksamkeitsunabhängig (automatisch) und 3. unbewusst abläuft.

Lewicki (1986): Implizites Kovariationslernen zwischen einem subliminalen Prime und der Position eines Targets (6) in einem der vier Quadranten der dargebotenen Zahlenmatrix. Umpolung der Cue-Quadrant-Zuordnung verhindert implizites Lernen.

Cleeremans und McClelland (1991): Implizites sequentielles Lernen in serieller Wahlreaktionsaufgabe (SRT). Die finite state grammar wird dabei von den Probanden erkannt (schneller als Kontrollgruppe mit zufälliger Folge).

Bei beiden Untersuchungen bleibt jedoch fraglich, was implizit gelernt wird (Lewicki, 1986: Cue-Ort, Cue-Augenbewegung oder Cue-Task? Bzw. Cleeremans & McClelland, 1991: S-S, V-V oder V-E?).

### **4.5.3. Latentes V-E-Lernen und Aufmerksamkeit**

Latentes, inzidentelles V-E-Lernen konnte von Siqueland und DeLucia (1969) schon bei Säuglingen nachgewiesen werden. Menschen scheinen also von Geburt an sensibel für kontingente Beziehungen zwischen ihrem Verhalten und Umwelteffekten zu sein.

Elsner und Hommel (2001): Latentes V-E-Lernen bei Erwachsenen: Auf ein Rechteck muss beliebig mit rechter oder linker Taste reagiert werden, wobei tastenspezifisch kontingente Effekttöne präsentiert werden.

In einer zweiten Phase: Auf Effekttöne so schnell wie möglich reagieren, dabei reversal/non-reversal. Pbn der non-reversal-Bedingung reagieren wesentlich schneller.

Ziessler (1998): Pbn lernen kontingente Beziehungen zwischen gedrückter Taste und Position des darauf folgenden Stimulus unbewusst (In einer 5x5-Buchstabenmatrix erscheint das Target immer in den 8 umgebenden Feldern des vorhergehenden Stimulus. Der Ort hängt dabei von der vorherigen Reaktion ab). Bei Aufhebung der Kontingenz nach 14 Durchgängen steigen Reaktionszeiten massiv an (der Zusammenhang bleibt den Pbn jedoch unbewusst).

Beide Experimente arbeiteten jedoch mit beachteten Stimuli und erfüllen somit die Bedingung für implizites Lernen nicht – wie und ob inzidentelles Lernen auch mit unbeachteten Stimuli verläuft bleibt unklar. Weitere offene Fragen sind das Problem der Blockierung sowie Lerndispositionen (Preparedness) beim Menschen.

### **4.5.4. Latentes Lernen und Aufmerksamkeit bei der Berücksichtigung von Situationsmerkmalen**

Norbert Schwarz: Stimmung beeinflusst das Lernen. Bei schlechter Stimmung wird die Aufmerksamkeit mehr auf die Situation gerichtet (cognitive tuning). Hierfür lieferte eine Variation von Hoffmann und Sebald (2000) empirische Evidenz: Bei Glücksradexperimenten mit bedingungsabhängiger Kontingenz von 80/0 wird die Bedingungsabhängigkeit schneller gelernt, wenn bei einer Niete ein hoher Punktverlust droht (negativer Affekt) – indiziert durch einen schnelleren und höheren Anstieg des BAI.

Weitere Variation: Kontingenzrelevante Situationsmerkmale verschiedener Plausibilität (Symbol des Glücksrads, Farbe der Karten (unplausibel), Positionsänderung des Ass (sehr plausibel)). BAI steigt mit Plausibilität an: Bewusstheit scheint notwendig.

Bei erfolgreichem Verhalten (positiver Affekt) werden kontingent dargebotene Situationsmerkmale nicht automatisch mitgelernt: Hoffmann und Sebald (2005): Karten-Rückseiten-Test (KRS). Die Probanden sollen bestimmen, ob Pik 7 bzw. Caro 6 links oder rechts lokalisiert ist, die zuvor dargebotene Rückseite der restlichen Karten prädiziert zu 100% den Ort und damit die geforderte Reaktion. Nur die Hälfte der Probanden lernt den Zusammenhang und kann davon bewusst berichten. Die anderen 8 Pbn geben an, die KRS nicht beachtet zu haben.

Eine Replikation der Kovariationsstudie von Lewicki (1986) von Hendrickx et al. (1997) arbeitete mit einem weniger offensichtlichen Cue (4. Ton einer zu ignorierenden Tonfolge) und fand auch keinen Hinweis auf implizites Lernen.

#### **4.5.5. Latentes Lernen von S-S Beziehungen und Aufmerksamkeit?**

Bei bisherigen Befunden zum impliziten Sequenzlernen (z.B. Cleeremans & McClelland, 1991) waren die Reizorte stets aufgabenrelevant und wurde daher beachtet. Jiménez und Méndez (1999) führten dagegen eine SRT-Studie durch, bei der verschiedene Zeichen erschienen (trotzdem war nur der Ort des Zeichens entscheidend für die Reaktion).

Die Art des Zeichens prädizierte jedoch den Ort des jeweils nächsten. Diese Tatsache wurde nur gelernt, wenn die Aufmerksamkeit auf die Zeichenart gelenkt wurde (bestimmte Zeichen zählen).

Ähnliche Befunde bei Hoffmann, Martin und Schilling (2003) beim uneindeutigen Übergang von Pik-Bube auf Herz-König.

#### **4.5.6. Fazit**

Latentes Lernen existiert vor allem für kontingente V-E-Beziehungen (Elsner & Hommel, 2001; Ziessler, 1998). Für inzidentelles S-(V-E)-Lernen gibt es keine Evidenz (Hoffmann & Sebald, 2005: KRS; Hoffmann & Sebald, 2000: Glücksraddexperimente mit verschiedenen kontingenzanzeigenden Rädern).

Auch das Verhalten nur kontingent begleitende (und nicht beeinflussende) Merkmale werden nur in die Verhaltenssteuerung integriert, wenn sie beachtet werden (Hoffmann & Sebald, 2005).

### **4.6. Bewusstheit und latentes (implizites) Lernen**

In allen bisherigen Experimenten waren Beachtung eines Stimulus und bewusste Wahrnehmung grundsätzlich konfundiert. Gerade in Abgrenzung zu tierischen Lernprozessen ist diese Unterscheidung jedoch von großer Bedeutung.

Es stellt sich zudem die Frage, was beim Lernen bewusst wird: Intention, Struktur oder Lerngegenstand.

#### **4.6.1. Ist eine bewusste Lernintention notwendig?**

Eine bewusste Lernintention ist nicht notwendig (z.B. Elsner und Hommel, 2001; Ziessler, 1998). In bestimmten Paradigmen zum impliziten Lernen (z.B. Lewicki, 1986) ist selbstinstruiertes Lernen jedoch nicht auszuschließen.

### **4.6.2. Ist ein bewusstes Erkennen der erlernten Strukturen notwendig?**

Es stellt sich die Frage, wie in dieser Hinsicht implizites Lernen operationalisiert werden sollte, etwa als Reduktion indirekter Maße wie RT ohne bewusstes Berichte. Diese Definition ist allerdings äußerst fragwürdig:

- Teilweise (z.B. bei Cleeremans & McClelland, 1991) wird die grammatikalische Struktur nicht erkannt, Pbn berichten aber von gehäuftem Auftreten gewisser Kombinationen, wodurch die Reduktion der RT auch erklärt werden könnte.
- Sensitivität der Messmethoden: RT-Maße („implizit“) sind äußerst genau und entdecken daher Differenzen schon wesentlich früher als die groben „expliziten“ bewussten Maße (ja/nein). Es kann also sein, dass der gleiche Prozess vorliegt nur nicht in durch beide Maße erfasst wird. [Auch: Hohe Korrelation von impl. und expl. Lernen]
- Informationsäquivalenz: Die expliziten Maße fragen evtl. nicht die gleichen Wissensstrukturen ab wie implizite Maße (vllt. beruht die RT-Reduktion auf R-R-Assoziationen, die Pbn müssen aber bewusst auf S-S-Beziehungen achten).
- Implizite Maße erfassen das Lernen online, explizite Maße erst nach der Durchführung des Experiments. Das bewusste Wissen kann also durchaus auch während des Experiments erworben worden und nachher wieder vergessen worden sein.

### **4.6.3. Ist Bewusstheit des Lerngegenstandes notwendig?**

Vermutlich ja, wie z.B. die Replikationsstudie von Hendrickx et al. (1997) von Lewickis Kovariationsexperiment zeigt.

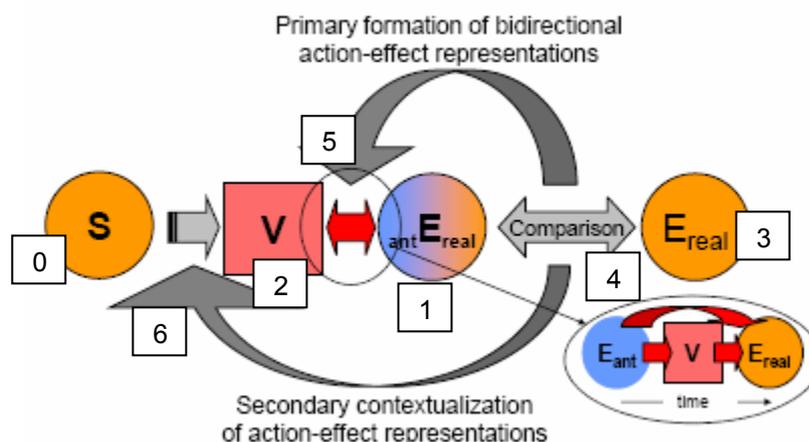
### **4.6.4. Fazit**

Weder bewusste Lernintentionen noch die Bewusstheit des Lernresultats sind notwendige Begleiterscheinungen des verhaltenssteuernden Lernens.

Die Forschung zum impliziten Lernen hat jedoch zu den Essentials einer Lerntheorie wenig beigetragen (vgl. auch 3.1, v.a. Unterpunkt 3).

## 5. Die ABC-Theorie

### 5.1. Der Aufbau verhaltenssteuernder S-V-E-Tripel



#### **5.1.1. Willkürlichem Verhalten geht die Antizipation von Effekten voraus**

Willkürliches Handeln setzt voraus, dass der gewollte Effekt vor dem Handeln in der Vorstellung präsent ist, d.h. antizipiert wird. Zusätzlich muss auch Wissen über die Möglichkeiten, den antizipierten Effekt zu erreichen repräsentiert sein.

#### **5.1.2. Die Erzeugung antizipierbarer Effekte führt zu bidirektionalen V-E-Repräsentationen**

Wird der antizipierte Effekt erreicht, werden die Beziehungen 1.) zwischen Antizipation und Verhalten und 2.) zwischen Verhalten und Effekten repräsentiert. V-E-Beziehungen werden dabei *bidirektional* reproduzierbar gespeichert (primärer Lernprozess).

Wissen entsteht also durch den Vergleich von realen und antizipierten Effekten. Dabei erfolgt nur Lernen im Bezug auf diejenigen Reize, die auch beachtet werden. In erster Linie werden dabei die antizipierten Effekte/Reize beachtet, es gibt aber auch Aufmerksamkeit lenkende Reize und latentes Lernen bei auffälligen Reizen (z.B. Ton bei Elsner und Hommel).

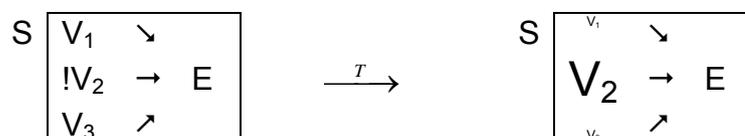
#### **5.1.3. Situationsabhängige Modifikation der V-E-Beziehungen**

V-E-Repräsentationen werden situationsabhängig modifiziert, wenn die Situationen 1.) die Kontingenz von V-E-Beziehungen substantiell und konsistent modifizieren und/oder 2.) die Herstellung von Verhaltenseffekten häufig und konsistent begleiten.

Auch hier gilt, dass die jeweiligen Situationsmerkmale beachtet werden müssen. Das Lernen erfolgt dabei immer graduell und nicht nach einem Alles-oder-Nichts-Prinzip: je häufiger antizipierte und reale Effekte übereinstimmen, desto stärker wird die Verbindung zwischen (Situation), Effekt und Verhalten.

Am stärksten sollten also solche Beziehungen sein, die sich auf den eigenen Körper beziehen. Exterozeptive Ereignisse werden weniger kontingent repräsentiert.

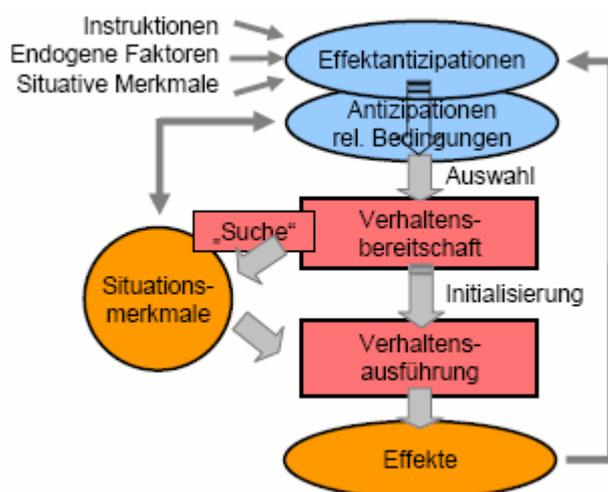
Wird allerdings immer nur eine V-E-Beziehung gestärkt, kann aus dem graduellen Lernen ein Alles-oder-Nichts-Verhalten resultieren:



Ingesamt ist die Theorie der Antizipativen Verhaltenssteuerung also ein äußerst mächtiges Lernschema, das Verhaltensanpassungen auch ohne starke Voraussetzungen an den lernenden Organismus erklären kann.

Anwendungen dieser Theorie finden sich daher beispielsweise auch in der KI (selbstlernende Computer) oder auch in der Sportpsychologie (Effektrepräsentationen sind beispielsweise über mentales Training zu stärken; Beobachtungslernen auf Video).

## 5.2. Antizipative Verhaltenssteuerung



### 5.2.1. Das Erwachen von Intentionen

Instruktionen (Komm essen!), endogene Faktoren (Hunger) oder auch Situationen (Dönerbude) können eine Effektantizipation auslösen.

### 5.2.2. Aktivierung von Verhaltensbereitschaften und ggf. Antizipationen der notwendigen Bedingungen

Angemessene Verhaltensweise werden über E-V-Verbindungen (Bidirektionalität!) ausgewählt. Die für den jeweiligen situationalen Kontext stärkste Verbindung wird ausgewählt (siehe oben).

Ist die passende Situation zur Erreichung des gewünschten Effektes nicht gegeben, so wird die entsprechende Situation antizipiert und übernimmt somit kurzzeitig die Funktion antizipierter Effekte.

### **5.2.3. Verhaltensausführung**

Wenn die aktivierten V-E-Beziehungen keine Situationsspezifität beinhalten oder der situationale Kontext gegeben ist wird die Verhaltensweise initiiert („Fiat“).

### **5.2.4. Vergleich antizipierter und realer Effekte**

Durch den Vergleich von antizipierten und tatsächlich eingetretenen Effekten wird zum einen die Verhaltensintention modifiziert (bei Übereinstimmung erlischt sie) und zum anderen gleichzeitig eine Modifikation der verhaltenssteuernden Repräsentationen (hierarchisch: S-(V-E)) vorgenommen.

## **5.3. Gleiche Lernmechanismen bei Mensch und Tier?**

Die ABC-Theorie ist ein gutes Erklärungsmodell sowohl für menschliches als auch für tierisches Lernen. Zwischen den beiden Lernarten bestehen also keine qualitativen Unterschiede. Der Mensch zeichnet sich jedoch trotzdem durch einige Besonderheiten aus:

- Mächtigstes und differenziertestes Verhaltensrepertoire
- Der Mensch kann sich beliebige (auch nicht homöostatische) Ziele setzen. Dabei können die Ziele sehr abstrakt werden und es liegt eine hohe Quantität vor.
- Daher muss der Mensch hocheffiziente Mechanismen zum Management konkurrierender Verhaltensbereitschaften und Ziele besitzen (exekutive Funktionen, v.a. PFC). Der Begriff der exekutiven Funktionen ist dabei nicht unbedingt auf Tiere zu übertragen.
- Menschen können (v.a. durch Sprache) Handlungen langfristig planen und sind zur Reflexion fähig.

## **6. Verhaltensausführung**

### **6.1. Physiologische Grundlagen**

Verhalten kann nur durch Muskelkontraktionen ausgelöst werden. Das Gehirn kann nur programmieren bzw. aktiv sein und somit eine Verhaltensbereitschaft auslösen. Man unterscheidet Herzmuskel, glatte und quergestreifte Muskulatur, wobei nur letztere willkürlich beeinflussbar ist (ca. 600 Muskeln).

#### **6.1.1. Skelettmuskel**

Ein Muskel kann sich auf zwei Arten verhalten: Verkürzung (Kontraktion; isotonisch) bzw. Spannungserhöhung ohne Bewegung (mehr Kraft; isometrisch). Natürlich ist immer eine Kombination beider Arten vorzufinden.

Ein Muskel besteht aus großen extrafusalen Fasern und kleinen intrafusalen Fasern (Muskelspindel). Efferenzen erhalten die extrafusalen Fasern aus  $\alpha$ -Fasern, die Muskelspindel aus  $\gamma$ -Fasern.

Neben zwei efferenten Verbindungen werden auch zwei Arten von Afferenzen unterschieden: Ia-Fasern (am schnellsten leitende Nervenfasern) kommen von den Muskelspindeln und liefern Informationen über den Dehnungszustand des Muskels, Ib-Fasern vom Golgi-Sehnenorgan und liefern Informationen über den Spannungszustand des Muskels. [Als Bezugspunkt für Efferenz bzw. Afferenz gilt jeweils das Gehirn]. Wichtig; Aktive und passive Veränderungen der Muskellänge führen zu unterschiedlichen Erregungsmustern in den Ia- und Ib-Fasern (bei aktiv: zusätzliche Einstellung der Muskelspindellänge).

#### **6.1.2. Supraspinale sensomotorische Koordination**

Efferenzen: Primärer Motorkortex, PMC (prämotorischer Kortex), SMA (supplementär-motorisches Areal), Basalganglien (v.a. Feinsteuerung von Zeit und Kraft), Kleinhirn (schnelle automatisierte Bewegungen), Hirnstamm und Rückenmark (pyramidales System; kontralaterale Verschaltung).

Afferenzen: Mittelhirn, Thalamus, somatosensorischer Kortex.

#### **6.1.3. Propriozeption als 6. Sinn**

Über Propriozeption lassen sich auch Informationen über die Umwelt erlangen (Objekt hochheben -> Wie schwer ist es?).

#### **6.1.4. Fazit**

Lotze: Klar dualistische Weltsicht (Seele will, der Körper macht). Besser ist zu fragen wie man seinen Körper steuert. Für das sensomotorische System gilt dabei immer: eine Trennung von Motorik und Sensorik ist sinnlos.

### **6.2. Reizdetermination?**

Aus Sicht des Behaviorismus wird das Verhalten völlig durch externe Reize determiniert (S-V/S-R). Mit dieser Sicht lassen sich auch komplexes Verhalten durch Reaktionsketten erklären. Allerdings ist der Ansatz bei weitem nicht so tragfähig, wie von den Behavioristen propagiert (Noam Chomskys Kritik an Spracherwerbstheorie von Skinner).

Auch sprechen die Untersuchungen von MacFarlane (1930) gegen eine reine Reizdetermination: Ratten finden den Weg durch ein Labyrinth auch dann noch, wenn es geflutet wurde und sie somit schwimmen müssen (gänzlich anderes Verhalten).

Trotz dieser Unzulänglichkeiten hält sich der Behaviorismus bis in der 50er/60er Jahre, um von der Computermetapher abgelöst zu werden. Diese ist momentan ebenfalls am ausklingen, wobei noch ein neues Paradigma gesucht wird.

## **6.3. Die Programmierung von Bewegungen**

Computermetapher: Die Verhaltensbereitschaft wird in einen zentralen Prozessor geladen (primärer Motorkortex), verarbeitet und ausgeführt (Hardware/Software).

### **6.3.1. Das Programmierungsprinzip**

Eine Bewegung besteht also aus zwei Schritten: 1.) Planung (Programmierung; Vorinformationsmethode!) und 2.) Handlungsausführung, welche ohne periphere Rückmeldung möglich ist. Der erste Teil ist dabei durchaus nachvollzieh- und überprüfbar, der zweite bereitet große methodische Probleme.

### **6.3.2. Programmierung v. einzelnen Zielbewegungen**

#### **6.3.2.1. Die Vorinformationsmethode**

Bei der Vorinformationsmethode handelt es sich um eine spezifische Form des Reaktionszeitexperiments, bei dem schon vor dem imperativen Stimulus ein Hinweisreiz (Cue) gegeben wird. Dieser Hinweisreiz enthält bestimmte Informationen über die Parameter der später auszuführenden Reaktion.

Ist die SOA zwischen Cue und Target groß genug, so können also die jeweiligen Parameter vorsezifiziert werden, nach Target-onset müssen also nur noch die verbleibenden Parameter spezifiziert werden (Target identifizieren -> verbleibende Parameter spezifizieren -> Reaktion starten). Die Vorinformation in Form des Cues bewirkt also eine Reaktionszeitverkürzung.

Rosenbaum (1980): Finger liegen auf Startfeldern und müssen zu Zielfeldern unterschiedlicher Farbe bewegt werden (imperativer Stimulus: entsprechende Farbe). Insgesamt stehen 8 Alternativen zur Auswahl, die durch folgende Parameter definiert sind: Arm (links/rechts), Entfernung (extend; weit/kurz) und Richtung (direction; vorwärts/rückwärts). [Cues: F: Bewegungsrichtung nach vorne, R = rechter Arm, N = nah].

Durch verschiedene Cues konnten also verschiedene Parameter vorsezifiziert und programmiert werden (SOA: 3 Sekunden). Dabei wurden die Cues FRN, FR, RN, FN, F, R, N und X (keiner) verwendet.

Durch Differenz der Reaktionszeiten bei kombinierten Cues (FR, RN) und einzelnen Cues (R) können so die Zeiten ermittelt werden, die die Spezifikation der einzelnen Parameter benötigt (normale Einfachwahlaufgabe: ca. 300 ms). [Frage: Interaktion?]

Rosenbaum (1980) berichtet, dass die einzelnen Parameter unabhängig voneinander spezifiziert werden können und diese Spezifizierung unter-

schiedlich lange dauert (je nach Parameter). Gegen diese einfache Interpretation spricht jedoch folgendes Problem: Vllt. wurden nicht die motorischen Parameter vorsezifiziert, sondern die Reizorte. Daher führte Rosenbaum ein Kontrollexperiment durch, in denen die Probanden nur verbal reagieren mussten, ob der jeweilige Reiz unter den vorsezifizierten war (keine Spezifizierung von Motorparametern mehr nötig). Hier zeigte sich, dass die Art der Vorinformation keinen differenzierenden Einfluss mehr nimmt.

### **6.3.2.2. Vorprogrammierung von abstrakten Eigenschaften auszuführender Bewegungen**

Bewegungen erfolgen in Raum und Zeit mit einer spezifischen Intensität. Daher ist es nahe liegend, dass auch diese Informationen vorprogrammiert werden können.

**Vorinformation „Raum“:** In den Experimenten von Rosenbaum (1980) ist eine methodische Schwachstelle, da die Vorinformation zu einer Einschränkung der Handlungsalternativen führt (Hick'sches Gesetz!). Daher führe Jeff Miller (1982) ein Experiment durch, bei dem immer 2 Handlungsalternativen gegeben waren (Variation der SOA).

Versuchsaufbau: Ein Sternchen kann an einer von 4 Stellen aufleuchten -> zugeordnete Taste drücken. Zwei Positionen werden vormarkiert (Hand-Cue, Finger-Cue, Neither-Cue). Miller schlussfolgert aus seinen Ergebnissen: nur der Parameter der Hand kann vorsezifiziert werden.

Reeve und Proctor (1984) führten eine Replikation der Studie von Miller (1982) durch, nur mit überkreuzten Fingern, sodass der Hand-Cue jetzt dem Neither-Cue entsprach und fanden für diesen eine signifikante Reaktionszeitverkürzung. Es scheint also nicht der Parameter „Hand“ zu sein, sondern es wird eine Ortsprogrammierung vorgenommen.

**Vorinformation Zeit:** Klapp (1977): Eine Reaktion soll mit Zeigefinger oder Daumen kurz oder lang („dit“ oder „dah“) ausgeführt werden. Dabei wird entweder Finger oder Dauer als Vorinformation gegeben. Wenn die Dauer als Cue dargeboten wird zeigen sich insgesamt längere Reaktionszeiten, die jedoch für beide Finger gleich sind (die Dauer kann also noch vor dem Finger spezifiziert werden). Wird als Vorinformation „Finger“ gegeben so zeigen sich insgesamt kürzere Reaktionszeiten, die sich jedoch unterscheiden, je nachdem ob eine lange Reaktion (dah) oder eine kurze (dit) gefordert war (Programmierung einer langen Bewegung dauert also auch länger).

**Vorinformation Intensität:** Zelaznik (1981): sanfte vs. starke isometrischen Muskelanspannung mit Beuger vs. Strecker [Balkenfarbe gibt Vorinformation von Muskel, x-Achse Vorinformation über Intensität]. Es zeigte sich, dass der Parameter Intensität auch ohne Wissen um den betreffenden Muskel vorsezifiziert werden kann. Die Vorinformation Muskel bringt jedoch bei der isometrischen Muskelkontraktion nur dann Vorteile, wenn zusätzlich die Intensität bekannt ist (weil keine Bewegungsrichtung spezifiziert werden kann – es erfolgt ja auch keine Bewegung).

**Diskussion:** Bei allen genannten Untersuchungen bleibt fraglich, ob der abstrakte Parameter (Ort, Dauer, Intensität) als solcher programmiert wird,

oder ob jede verbleibende Reaktionsalternative parallel aktiviert wird und so zu einer Verkürzung der Reaktionszeit führt.

Rosenbaum (1980, Exp. 3) führte hierzu eine Studie durch, in der er die Pbn explizit instruierte, die verbleibenden Reaktionsalternativen parallel vorzubereiten. Es zeigte sich ein anderes Reaktionsmuster: die RT steigt mit der Anzahl der Reaktionsalternativen (streng nach dem Hick'schen Gesetz) an. Es scheint also beide Arten der Vorinformation (abstrakte Parameter und verbleibende Alternativen) zu geben.

Welche Strategie wann verwendet wird kann die Vorinformationsmethode nicht klären. Als Fazit bleibt allerdings, dass Bewegungen sicher vor ihrem Beginn vorprogrammiert werden.

### **6.3.3. Programmierung von Bewegungsfolgen**

#### **6.3.3.1. Vorprogrammierung konkreter Teilfolgen**

Rosenbaum et al. (1984): Die Probanden werden instruiert, einen der beiden Zeigefinger (z = links, Z = rechts), Ring- und Mittelfinger in einer bestimmten Reihenfolge zu bewegen. Dabei wird gemessen, wie lange es dauert, bis der erste Tastendruck realisiert wird. Es zeigt sich dabei, dass die gesamte Sequenz vorprogrammiert wird, bevor die Bewegung gestartet wird, wobei jedes Element der Kette den RT-Beginn um einen festen Betrag (hier: 37ms) erhöht.

Rosenbaum et al. (1987): Der Sequenzlängeneffekt zeigt sich auch bei verbalen Silbenfolgen. Hier wird die jeweilige Sequenz durch eine kompatiblen (hoher ton für gi) bzw. inkompatiblen (tiefer Ton für gi) Reiz angekündigt. Der Kompatibilitätseffekt ist dabei unabhängig vom Sequenzlängeneffekt.

Rosenbaum et al. (1984): Vorprogrammierung von gemeinsamen Anfangselementen (2 Sequenzen vorprogrammieren, die teilweise gemeinsame Anfangsteilsequenzen aufweisen, z.B. zRm, zrM). Je mehr gemeinsame Elemente, desto geringer fallen die RTs aus: es erfolgt eine Vorprogrammierung bis zur unsicheren Stelle. Die Interresponse-Zeiten zwischen zwei Teilreaktionen werden dabei an der unsicheren Stelle deutlich größer, da dort das entsprechende Motorprogramm geladen wird.

Sequenzen müssen also nicht komplett programmiert werden, sondern können auch nachprogrammiert werden (vgl. Klavierspielen).

#### **6.3.3.2. Vorprogrammierung abstrakter Eigenschaften von Bewegungsfolgen**

Viviani und Terzuolo (1980) fanden in einer Studie zu Anschlagsmustern von Sekretärinnen, dass sich unabhängig von der jeweiligen RT ein invariables Zeitmuster ergibt.

Rosenbaum et al. (1983): Pbn führen eine 8er-Sequenz von Handlungen aus (Zz Zz Mm Mm), die einer ganz bestimmten Struktur folgen (in Zweierblöcken angegeben). Die zweite Reaktion erfolgt dabei jeweils wesentlich schneller, besonders lang dauert die Reaktion beim Paarwechsel.

Je kürzer die Reaktionszeit ist, desto mehr scheinen auch die motorischen Programme zusammenzuhängen (hierarchische Struktur von Unterprogrammeinheiten). Dieses hierarchische Entscheidungssystem ist auch für die unterschiedlichen Reaktionszeiten verantwortlich: je mehr Knotenpunkte im Programm durchlaufen werden müssen, desto größer die RT.

Viviani und Terzuolo (1980) konnten zudem zeigen, dass die räumlichen Strukturen von diskreten Bewegungen (Handschriften; Ableitung von Wendepunkten, Medianen etc. -> extrem komplex) ebenfalls Invarianzen zeigen.

Für räumliche Strukturen bei Folgen diskreter Bewegungen (SRT, Grafton, Hazeltine & Ivry, 1998) scheinen die Bewegungsmuster unabhängig von der ausführenden Muskulatur zu sein: die gelernten Bewegungsmuster finden sich auch bei der Verwendung eines überdimensionierten Keyboards, das keine Finger- sondern Armbewegungen erfordert.

Zießler, Hänel und Hoffmann (1988): Die Wiederholungsmuster bei Folgen diskreter Bewegungen sind vorprogrammierbar. Die Pbn wurden auf vier Sequenzen intensiv trainiert, wobei 2 Sequenzen jeweils gleiche Anfangsbuchstaben aufwiesen, die anderen beiden eine gleiche Struktur.

Die Vorinformation über die Struktur wirkt dabei gleichermaßen Latenzzeitverkürzend wie die Vorinformation gemeinsamer Anfangselemente. Es können also auch abstrakte Wiederholungsmuster vorprogrammiert werden: Man kann ein abstraktes Programm laden und erst zu danach mit Inhalt füllen.

#### **6.3.4. Bewegung ohne periphere Rückmeldung**

Unter 6.3.1 wurde aufgeführt, dass ein Motorprogramm immer aus einem Set von Bewegungsinstruktionen besteht, die vor der Bewegungsinitiierung spezifiziert werden können (das ist belegt), sowie die Durchführung ohne periphere Rückmeldung ermöglichen.

Hier muss zwischen intero- und exterozeptivem Feedback unterschieden werden. Während exterozeptives Feedback leicht manipuliert werden kann (Umweltkontrolle; aber auch hier Probleme: z.B. Afferenzen über Luftwiderstand), ist propriozeptives Feedback (6. Sinn) nicht experimentell manipulierbar (außer z.B. über Anästhesie, Pharmaka etc.).

Trotzdem lassen sich einige Argumente für die Programmtheorie finden:

- Feedback braucht Zeit, um rückgemeldet zu werden. Bei sehr schnellen Bewegungen (Tippen, Gitarrespielen) ist die Zeit evtl. zu knapp.
- Deafferenzierung

Zur Deafferenzierung führte Lashley (1917) an, dass ein Soldat aus dem ersten WK sein Bein auch ohne prop. Feedback beugen konnte. Auch Kelso (1977) berichtet, dass zielgerichtete Handbewegungen auch nach Abbinden des Armes und ohne visuelles Feedback erfolgen können.

Taub, Goldberg und Taub (1975) führten ein Experiment mit deafferenzierten Affen durch, die eine Zielbewegung entweder unter vollständiger visueller Kontrolle vs. nur Hand und Ziel vs. nur Ziel sichtbar lernen mussten, was ihnen auch gelang. Gesunde Kontrolltiere nutzten jedoch stark die propriozepti-

ve Rückmeldung und verließen sich nicht auf die Exterozeption. Zudem lernten die Tiere der Experimentalgruppe deutlich langsamer. Achtung: Alle Bewegungen wurden hier schon vorher (mit Afferenzen) gelernt. Insgesamt scheint die Propriozeption existentiell notwendig zu sein.

### **6.3.5. Fazit**

Die Vorinformationsmethode zeigt, dass vor dem Verhaltensakt eine Repräsentation des Verhaltens vorliegt (Kognitionen!). Es wird ein abstrakter Bewegungsplan auf abstrakter Ebene ohne die Beteiligung von Muskeln erstellt. Die Planung stellt sich als eine Repräsentation der erwünschten (also antizipierten) Konsequenzen dar.

Diese Pläne scheinen modalitätsspezifisch repräsentiert zu sein: „Will ich einen langen (vs. kurzen) Ton durch Tastendruck auslösen, so dauert die Programmierung länger. Ebenso für Intensität und Orte.

Unterschiedliche Eigenschaften einer Bewegung (z.B. Ort, Dauer, Intensität) können unabhängig voneinander programmiert werden, was auf unterschiedliche, spezifische Repräsentationen an spezifischen Orten im Gehirn schließen lässt.

Die Programmierungs idee war also durchaus brauchbar, aber die Annahme der Unabhängigkeit von Feedback kann nicht aufrechterhalten werden. Dies führt unweigerlich zu der Auffassung der Handlungsausführung als Regelvorgang (wichtigster Unterschied zwischen Programmierung und Regelung ist das Vorhandensein von Feedback).

## **6.4. Die Bewegung als Regelvorgang**

### **6.4.1. Das Regelungsprinzip**

Ein Regelkreis besteht aus Führungsgröße (Soll-Zustand), Regelgröße (Ist-Zustand), Stellglied und Regler. Wichtig ist hierbei die negative Rückkopplung von Veränderungswert der Regelgröße auf den Regler und somit auf das Stellglied.

Hinsichtlich physiologischer Regelkreise spricht man auch von Homöostase.

### **6.4.2. Dehnungsreflex und Gamma-Spindel-Schleife**

Die Einstellung von Muskellänge und -spannung ist ebenfalls als Regelkreis anzusehen, wobei Muskelspindel bzw. das Golgi-Sehnenorgan als Detektor und Stellglied fungieren. Der Regelkreis wird von  $\gamma$ -Motoneuronen eingestellt.

Bei Muskelkontraktion werden  $\alpha$ - und  $\gamma$ -Motoneurone gleichermaßen aktiviert ( $\alpha$ - $\gamma$ -Kopplung), sodass die Muskelsteuerung nicht als Servosteuerung (also  $\gamma$ -Motoneurone als Stellglieder), sondern als Servo-Unterstützung angesehen werden muss.

### **6.4.3. Externe Regelung bei der Ausführung von Zielbewegungen**

Es werden zwei Phasen der Bewegungsausführung unterschieden: primäre Teilbewegung in die Nähe des Ziels (normalerweise undershoots!) und sekundäre Feinadjustierung.

Die Rolle des exterozeptiven Feedbacks kann untersucht werden, indem das visuelle Feedback manipuliert wird. Zusätzlich wird normalerweise eine bestimmte Geschwindigkeit vorgegeben und die Genauigkeit der Bewegungsausführung erfasst (speed-accuracy-trade-off; Fitt'sches Gesetz).

Woodworth (1899): Pbn zeichnen zwischen zwei Grenzen Linien auf eine sich drehende Papierrolle. Ohne visuelles Feedback keine schlechtere Leistung bei hoher Geschwindigkeit, mit visuellem Feedback umso bessere Leistung je niedriger die Geschwindigkeit. Visuelles Feedback scheint demnach ab 450 ms verwendet werden zu können (heute: unter bestimmten Bedingungen ab 100 ms).

Woodworth (1899) unterscheidet dabei zwei Phasen: ballistische Initialbewegung und Zielnäherung unter visueller Kontrolle (online-Regelung). Spijkers und Spellerberg (1995) konnten jedoch zeigen, dass auch zu Beginn der Bewegung visuelles Feedback verwendet wird. Scheinbar sind höchstens die ersten 100 ms der Bewegung ballistisch (open-loop), danach setzt ein Regelvorgang (closed-loop) ein. Die strikte Trennung von ballistischer Initial- und visuell geführter Adjustierungsphase ist also nicht gerechtfertigt.

#### **6.4.4. Interne Regelung bei der Ausführung von Zielbewegungen**

An deafferenzierten Patienten wird deutlich, dass scheinbar bei allen Bewegungen propriozeptive Rückmeldungen verwendet werden. Die Ausführung von Zielbewegungen wird also extern und intern geregelt (Sachs, 1987).

#### **6.4.5. Antizipationsmechanismen zur Effektivierung von Regelprozessen**

##### **6.4.5.1. Antizipation von distalen Führungsgrößen**

Über Trackingversuche (Ziel- und Folgemarken) und der Verwendung unterschiedlicher Führungsfunktionen (Vorhersagbarkeit; Schnelligkeit), Manipulation der Verfügbarkeit visueller Informationen über Führungs- und Folgegröße und Manipulation sowie der Manipulation der Übertragungsfunktion von Bewegung auf Folgemarke kann gezeigt werden, dass die Bewegung über Antizipationen angepasst wird.

##### **6.4.5.2. Antizipation von feedback: feedforward**

Die Antizipation von sensorischem Feedback (feedforward) spielt ebenfalls eine große Rolle (auch automatisch und unbewusst), wie z.B. an Pbn mit anästhesiertem Zeigefinger gezeigt werden kann. Diese Pbn tippen zwar langsamer, machen jedoch keine Pausen nach Tippfehlern.

##### **6.4.5.3. Zusammenfassung**

Folgende Antizipationen spielen bei der Ausführung von Zielbewegungen eine wichtige Rolle:

- 1.) Antizipation von Zielveränderungen
  - 2.) Feedforward des exterozeptiven Feedbacks
  - 3.) Feedforward des propriozeptiven Feedbacks (Online-Kontrolle)
- } Vorausschauende  
} Verhaltensanpassung

### **6.4.6. Lernabhängige Adaptation sensomotorischer Regelprozesse**

Folgende Lernprozesse sind zu unterscheiden:

- 1.) Das Erlernen inverser Modelle: Ziel + Zustand → Aktion
- 2.) Das Erlernen von forward-Modellen: Aktion + Zustand → Effekt [Zusammen: S-(V-E)-Lernen]
- 3.) Das Erlernen von Redundanzen in der Aufeinanderfolge bzw. der Dynamik von Zielgrößen. Wulf und Schmidt (1997): Wiederholtes mittleres Drittel einer Trackingsequenz wird besser gelernt als ohne Wiederholung (gemessen am RMSE).
- 4.) Lernabhängige Verbesserung on der Koordination von externer und interner Regelung. Zwar werden hochgeübte Verhaltensweisen fehlerfreier ausgeführt als weniger geübte, dafür zeigt sich eine stärkere Verschlechterung bei Wegfall des visuellen/exterozeptiven Feedbacks (Proteau, 1987: 200x vs. 2000x Zielbewegung üben und anschließend ohne visuelles Feedback ausführen).

Es fragt sich jedoch noch, ob das Lernen direkt (distaler Effekt) erfolgt, oder über einen Zwischenschritt – also die Anpassung über propriozeptives Feedback.

Fink et al. (1999): Synchrones vs. asynchrones Öffnen und Schließen beider Hände mit visueller Information über linke Hand vs. Betrachtung des Spiegelbilds der rechten. Bei Spiegelbild wird der DLPFC aktiv (Anpassung der Ausführung) – es erfolgt also sehr wahrscheinlich eine Anpassung über die Transformation distaler in propriozeptive Führungsgrößen.

### **6.4.7. Fazit**

Regelung erscheint unverzichtbar. Da diese langsam ist (Rückmeldung von Feedback) haben sich insbesondere 3 Mechanismen herausgebildet:

- 1.) Mechanismen zur Antizipation von Informationen über Ziele bzw. deren Veränderung.
- 2.) Mechanismen zur Antizipation des exterozeptiven Feedbacks einer Zielbewegung (exteroceptive feedforward).
- 3.) Mechanismen zu Antizipation des propriozeptiven Feedbacks einschließlich der finalen Körperhaltung (proprioceptive feedforward).

## **6.5. Theorien zum Erwerb zielbezogener bewegungsdeterminierender Repräsentationen**

### **6.5.1. Closed-Loop Theory (Adams, 1971)**

Bei jeder erfolgreichen Bewegung (KR = Knowledge of Results) werden zwei Repräsentationen gebildet: memory trace (inverses Modell; Verhaltensinitiierung) und perceptual trace (forward model; Verhaltenskontrolle).

Nach der Closed-Loop Theory wird bei vorliegen eines bestimmten Ziels (+Zustand) eine memory trace (inverses Modell) aktiviert und generiert den initialen Bewegungsimpuls (Motorprogramm). Anschließend wirkt die perceptual trace (Vorwärtsmodell) als Führungsgröße für einen Regelkreis (closed loop) aus Bewegungsimpulsen, Muskelkontraktion und Wahrnehmung.

Adams et al. (1972): Pbn führen Zielbewegung aus und müssen diese kurz später wiederholen. Dabei wird die Verfügbarkeit des visuellen Feedbacks (Inhalt der perceptual trace) manipuliert. Ergebnis: Wenn visuelles Feedback vorhanden wird dieses genutzt, wenn nicht auf auditives zurückgegriffen, wenn möglich. Die Genauigkeit der Bewegungsausführung hängt von Menge des Feedbacks ab.

Defizite: Wie wird die Verbindung zwischen Ziel und memory trace aufgebaut? Nach welchen Gesetzmäßigkeiten werden memory und perceptual trace abstrahiert? Lernen nur bei erfolgreichen Handlungen?

### **6.5.2. Schema Theory (Schmidt, 1975)**

Unterscheidung von closed skills (Gleiche Bewegungen unter etwa konstanten Bedingungen) und open skills (Erreichen bestimmter Ziele bei variablen Bedingungen).

Wichtige Annahme: Wenn ein Motorprogramm ausgeführt wurde, werden vier Aspekte gespeichert: 1.) Ausgangsbedingungen (Situation), 2.) Parameter des Motorprogramms (Response Specification), 3.) Effekte und 4.) Sensorische Konsequenzen. Diese Informationen werden jedoch nur sehr kurz gespeichert, um eine Beziehung zwischen den Größen zu abstrahieren. Hier sind vor allem Recall und Recognition Schema wichtig:

Recall Schema (inverses Modell): Ziel + Zustand → Parameterspezifizierung  
Recognition Schema (feedforward): Ziel + Zustand → sens. Konsequenzen

Die Bewegungsausführung wird dabei zunächst durch das Recall Schema ausgelöst (open-loop) und nur wenn genügend Zeit besteht (ab 100 ms) durch das Recognition Schema in Form eines Regelkreises gesteuert.

Großer Unterschied zu Adams (1971): Keine Repräsentationen von Einzelbewegungen (memory und perceptual trace), sondern abstrakte Klassen von Bewegungen (Recall und Recognition Schema). Generalisierte Schemata vor allem weil 1.) gesonderte Gedächtnisspuren unplausibel sind, 2.) nach dem Lernen von Bewegungen unter spezifischen Umständen auch Transfereffekte zu verzeichnen sind und 3.) variables Training effektiver ist als Training unter konstanten Bedingungen (leichtere Abstraktion der Beziehungen).

Defizite der Schema Theory: 1.) Woher kommt das initiale Schema, das erste Motorprogramme ausführt?, 2.) Einfache Beziehungen zwischen Ziel, Zustand und motorischen/sensorischen Spezifikationen/Konsequenzen werden der komplexen Realität nicht gerecht. 3.) Recall und Recognition Schema sind sicher nicht unabhängig voneinander (wie angenommen).

## **6.6. Die ideomotorische Hypothese (IMH)**

### **6.6.1. Die Grundidee der IMH**

Herbart (1825) stellte die erste Formulierung der IMH an. Demnach wird zunächst „unabhängig von der Seele“ eine Handlung ausgeführt, die bestimmte Effekte hervorruft. Später ruft der Wunsch nach Exterozeption (Effekte) das Gefühl (Antizipation) und somit das Verhalten hervor.

Durch Lernen werden schließlich exterozeptive und propriozeptive Effekte mit dem Verhalten **bidirektional** verknüpft.

Diese bidirektionalen V-E-Beziehungen enthalten das inverse Modell (Ziel + Zustand → Aktion) sowie das Vorwärtsmodell (Aktion + Zustand → Effekte).

Die bidirektionalen Verknüpfungen sind dabei auf neuronaler Ebene äußerst schwer nachvollziehbar, da jedes Neuron Aktionspotentiale nur in jeweils eine Richtung schickt.

## **6.6.2. Die aktuelle Renaissance der IMH**

### **6.6.3. Die Sonderstellung der IMH**

Die IMH trifft keine Unterscheidung zwischen Ziel und antizipierten Effekten, wie Adams und Schmidt. Die Kausalitätsbeziehungen für die Initiierung einer Handlung werden umgekehrt, verglichen mit denen der Handlungsausführung.

Die Antizipation wird nicht durch das Ziel und die Initiierung der Handlung hervorgerufen (z.B. memory trace → perceptual trace), sondern geht der Handlung voraus. Die Antizipation der Effekte IST das Ziel.

### **6.6.4. Empirische Evidenz für die IMH**

Als wichtigstes Kriterium, um die IMH von anderen Konzeptionen abzugrenzen kann die These angesehen werden, dass die kontingent handlungsbegleitenden Effekte schon vor deren Initiierung antizipiert werden.

Es gilt also zu zeigen, dass die Effekte schon vor der Handlung antizipiert werden.

#### **6.6.4.1. Greenwald (1970)**

Wenn die Effektantizipation von Bedeutung ist, sollten Reaktionen schneller ablaufen, wenn deren Effekte in derselben Modalität zu finden sind, wie auch die handlungsauslösenden Reize (feedback modality).

Genau dieser Kompatibilitätseffekt konnte von Greenwald (1970) gezeigt werden, der in einer Wahlreaktionsaufgabe Pbn auf visuell vs. auditiv dargebotene Wörter mit schreiben vs. aussprechen reagieren lies.

#### **6.6.4.2. Hommel (1996)**

Hommel (1996) stellte ein wesentlich präziseres Experiment an. In der ersten von zwei Phasen trainierten die Probanden eine bestimmte Reiz-Reaktions-Zuordnung. Dabei wurde jede Reaktion von einem bestimmten Ton gefolgt.

In der zweiten (Test-)Phase sollten Pbn die gelernte Aufgabe wiederholen, allerdings wurde der Ton nun zusammen mit dem imperativen Stimulus dargeboten, wobei kompatible und inkompatible Zuordnungen möglich waren. Die Kompatibilitätseffekte entsprechen den Erwartungen.

Diese Vorgehensweise impliziert allerdings einen Denkfehler, da die ideomotorische Hypothese davon ausgeht, dass die Antizipation der Effekte VOR Handlungsbeginn vorhanden ist und nur die Antizipation und nicht der Effekt selbst für das Verhalten verantwortlich sind (automatisch!).

Würden auch die manifesten Effekte das jeweilige Verhalten auslösen, so würde das Verhalten endlos ausgeführt werden („circuläre“ Reflexe). Es

müssen also Mechanismen bestehen, die das Verhalten hemmen, wenn dessen Effekte schon in der Umwelt bestehen (siehe auch Greenwald, 1970: Antizipierte Effekte haben stärkere Repräsentation):

*Antizipation*  $\xrightarrow{\text{automatisch}}$  *Verhalten*  $\rightarrow$  *Effekt*  $\rightarrow$  *Stop*

### 6.6.4.3. Kunde, Hoffmann und Zellmann (1999)

Von vier möglichen Reaktionsalternativen führen jeweils zwei zu einem spezifischen Effekt. Über einen Cue wird in 2/3 aller Fälle valide die Reaktion vorsezifiziert.

Zu 1/3 ist der Cue invalide, wobei eine von zwei Reaktionen mit nicht korrespondierendem Effekt gefordert sein kann oder die andere Reaktion mit korrespondierendem Effekt. Sind die V-E-Beziehungen in einer ersten Phase gelernt worden, so zeigen sich deutlich kürzere Reaktionszeiten bei invalidem Cue aber korrespondierendem Effekt im Vergleich zu nicht korrespondierenden Effekten.

Der Effekt ist also schon vor der Handlungsausführung repräsentiert, so dass Handlungen, die zum selben Effekt führen, ebenfalls mitaktiviert werden.

### 6.6.4.4. Kunde (2001)

Kunde (2001) nutzte den Simon-Effekt aus, indem er eine Übertragung auf antizipierte Effekte zeigte. Der ursprüngliche Simon-Effekt beruht auf einer dimensionalen Überlappung zwischen Reiz und Reaktion. Er kann jedoch auch dann auftreten, wenn eine dimensionale Überlappung zwischen Effektantizipation und Reaktion besteht.

In einem Experiment (Kunde, 2001) wurde die Kompatibilität zwischen starkem/schwachem Tastendruck auf visuelles Signal und **danach** dar gebotenen lauten/leisen Ton manipuliert. Zwar wird der Ton erst nach der Reaktion dargeboten, die Antizipation der Effekte bewirkt aber dennoch eine Verkürzung der Reaktionszeit bei kompatibler Zuordnung.

Kunde, Koch und Hoffmann (2004) konnten zudem zeigen, dass die Effektantizipation nicht nur die Auswahl einer Handlung, sondern auch deren Ausführung beeinflusst.

Dabei zeigte sich, dass z.B. die Kraft durch Kompatibilitätseffekte lauter und leiser Töne moduliert wird:

Wenn „sanft“ + lauter Ton: geringere Intensität

Wenn „stark“ + leiser Ton: höhere Intensität

Die erlebten Effekte haben also Einfluss auf die Handlungsausführung. Dafür gibt es zwei Erklärungsansätze, die möglicherweise beide zutreffen:

- 1.) Die proximale Referenz (Führungsgröße; Stärke) wird verschoben
- 2.) Andere Dimension wird zusammen mit prox. Feedback verrechnet

## **6.6.5. Defizite der IMH**

### **6.6.5.1. Lernproblem: Bildung von V-E-Beziehungen**

Einfaches (supervised) Lernen von einseitigen Beziehungen zwischen Aktion und Effekt ist nicht ausreichend. Eventuell stellt die Hebb'sche Regel einen neuronalen Mechanismus für die Ausbildung von bidirektionalen V-E-Beziehungen dar.

### **6.6.5.2. Was ist ein Effekt?**

Wichtig ist die Unterscheidung zwischen propriozeptiven und exterozeptiven Effekten. Der Erwerb der Körperbeherrschung erfolgt dabei wahrscheinlich automatisch (i. S. des Hebb'schen Lernens).

Das Lernen von exterozeptiven Effekten beruht wahrscheinlich auf Bekräftigung und benötigt Beachtung (Aufmerksamkeit).

### **6.6.5.3. S-(V-E)**

Die IMH sagt nichts über die Situationsspezifität von V-E-Beziehungen aus, diese ist aber auf jeden Fall gegeben.

### **6.6.5.4. Was ist eine Aktion?**

Man unterscheidet effektor-spezifisches Körpergefühl und effektor-unspezifische Körperschemata. Beide Komponenten sind dabei wichtig: zum einen zeigen sich Transfereffekte von gelernten Verhaltensweisen, zum anderen gibt es Hinweise auf effektor-spezifisches Lernen (keine Übertragung bei Michael Berners Sequenzlernen).

### **6.6.5.5. Keine Aussage über Verhaltensausführung**

Die IMH sagt nichts über den Ablauf einer Aktion (Regelungsvorgang). Wenn man annimmt, dass nach Effektantizipation und Handlung ein Regelkreis folgt, so muss man eine hierarchische Verschaltung mehrerer Regelkreise für die verschiedenen Zeitpunkte der Bewegung (prop. vor ext. Feedback verfügbar) konzeptualisieren.

Der Steuerungsmechanismus ist also ein hierarchisches System, das zeitlich versetzt arbeitet. Hier ist jedoch noch eine genaue Spezifizierung notwendig.

## **7. Wahrnehmung**

Die phänomenale Wahrnehmung umfasst die Prozesse der Transformation zwischen proximalen (körpernahen) Reizen, neuronalen Repräsentationen und phänomenalen Wahrnehmungen (äußere und innere Psychophysik).

### **7.1. Funktionen von Wahrnehmung**

#### **7.1.1. Wahrnehmung als Erkenntnis**

Nach der Informationstheorie von Shannon und Weaver (1949), werden Informationen/Nachrichten von einer Informationsquelle ausgewählt, als Signal verschlüsselt und zum Empfänger gesendet, wobei Störungen auftreten können. Der Informationsempfänger muss dieses Signal dekodieren und erhält so die Nachricht.

Bezogen auf die Wahrnehmung werden gemäß der Informationstheorie Nachrichten von Form von distalen Reizen von der Umwelt ausgewählt (?!). Die Eigenschaften der Reize werden als Signale kodiert und wirken als proximale Reize auf die Rezeptoren des Empfängers.

Wahrnehmung als kognitiver Prozess ist nach dieser Auffassung die Dekodierung der in den proximalen Reizen kodierten Informationen über distale Reize. Kognitive Prozesse beginnen demnach erst mit der Wirkung eines (proximalen) Reizes (Ulric Neisser, 1967).

Die Kompensation von Störungen der Informationsübertragung, die den Rückschluss vom proximalen auf den distalen Reiz verzerren, lassen sich durch zwei Theorien beschreiben: Wahrnehmung als Rekonstruktionsprozess und Wahrnehmung von Invarianten.

##### **7.1.1.1. Wahrnehmung als Rekonstruktionsprozess**

Helmholtz (1866): Zur Deutung der proximalen Reize werden weitere Hinweise genutzt, wie beispielsweise die Stellung der Augen (unbewusster Schluss).

##### **7.1.1.2. Wahrnehmung von Invarianten**

Gibson (1979): Die Gesamtheit der proximalen Reize ist eine eindeutige Abbildung der Umwelt (higher order invariants).

##### **7.1.1.3. Probleme mit der Abbildungshypothese**

Beide Positionen sehen Wahrnehmung als Erkenntnisprozess mit dem Ziel, ein möglichst exaktes Bild der Umwelt zu erzeugen. Mit dieser Auffassung gibt es jedoch einige Probleme:

- 1.) Ein und derselbe distale Reiz kann auf verschiedene Weisen „korrekt“ wahrgenommen werden
- 2.) Warum entstehen im Prozess der Abbildung gänzlich verschiedene Strukturen?

Das Ziel der Wahrnehmung ist hierbei also viel eher in einer möglichst adaptiven Verhaltenssteuerung (Verhaltensvorteil) zu suchen, als in der Erkenntnis.

### **7.1.2. Wahrnehmung dient der Verhaltenssteuerung**

Handeln beginnt mit der Antizipation der distalen Reizwirkungen und führt seinerseits zu Veränderungen sowohl in den proximalen als auch den distalen Reizen. Diese Veränderungen werden wiederum mit den Erwartungen verglichen.

Wahrnehmung dient also dazu, Erwartungen über herstellbare Veränderungen von Reizwirkungen auszubilden; Wahrnehmung hat die Funktion, die Herstellbarkeit von Reizwirkungen zu kontrollieren. Die Struktur der distalen Welt wird dabei nicht durch eigene Handlungen erschlossen sondern vielmehr erst dadurch erzeugt. Wahrnehmung bildet also nicht die äußere Welt ab, sondern Kovariationen zwischen Aktivierungsvorgängen im Cortex.

Handlung und Wahrnehmung sind somit zwei Seiten ein und desselben Geschehens; die phänomenale Widerspiegelung der distalen Welt verliert dabei ihren Platz als ultimatives Ziel von Wahrnehmung und wird zum Nebenprodukt der Selbstorganisation von neuronalen Erregungen (Gedankenexperiment zum Steuermann im U-Boot).

Da organismische Interaktion mit der Umwelt (Verhaltenssteuerung) fast immer auf andere Objekte und Personen bezogen ist, erfordert erfolgreiches Handeln:

- 1.) Die zu einzelnen Objekten gehörenden Reizwirkungen müssen als zusammengehörig erkannt werden.
- 2.) Die Objekte müssen zumindest hinsichtlich der verschiedenen Handlungen unterschieden werden, die sie verlangen.
- 3.) Die Objekte müssen im egozentrischen Raum des Handelnden erfassbar sein.

Diese Diskriminationsleistung beruht vor allem auf der Unterscheidung durch gemeinsame Bewegungs- und Oberflächenmuster.

## **7.2. Gemeinsame Bewegung**

### **7.2.1. Bewegungswahrnehmung**

Die gemeinsame Bewegung von Objekten lässt diese als zusammengehörig erscheinen. Dabei spielt vor allem die relative Bewegung im Vergleich zum sonstigen Hintergrund eine Rolle (Gestaltgesetz des gemeinsamen Schicksals).

Hubel und Wiesel (1959) konnten im visuellen Cortex von Katzen Neuronen entdecken, die bei richtungsspezifischer Bewegung von Objekten feuern. Eine einfache Verschaltung wurde von Reichardt (1961) vorgeschlagen.

Die Existenz von Bewegungsdetektoren wird u.a. auch von Bewegungsnacheffekten gestützt (Wasserfall- oder Spiraleffekt). Die Phänomene lassen sich über neuronale Ermüdung erklären.

### **7.2.2. Objekt- vs. Eigenbewegung**

Ein großes Problem der Bewegungswahrnehmung ist, dass gleiche proximale (retinale) Bildbewegungen sowohl durch eigene als auch durch Objektbewegung zustande kommen können.

Zu dieser Unterscheidung werden extraretinale Informationen herangezogen. Hierbei unterscheidet man zwischen zwei gegensätzlichen theoretischen Positionen: nach dem outflow-model werden vor allem die Efferenzen verrechnet, nach dem inflow-model ist die Propriozeption der Augenstellung entscheidend.

Dabei scheint das outflow-model zuzutreffen – denn nur wenn das efferente Kommando nicht mit den retinalen Konsequenzen übereinstimmt wird eine Bewegung wahrgenommen, z.B. bei:

- Passiver Bewegung des Augapfels (Efferenz: nein, retinale Bewegung: ja)
- Aktiver Augenbewegung bei Nachbild (E: ja, RB: nein)
- Verfolgung eines bewegten Objektes mit den Augen (E: ja, RB: nein)
- Blickintention bei gelähmter Augenmuskulatur: (E: ja, RB: nein)

Zur Erklärung dieses Zusammenhangs postulierten von Holst und Mittelstaedt (1950) das Reafferenzprinzip (RP), welches einen einfachen physiologischen Mechanismus für das outflow-model darstellt.

Nach dem RP wird von jeder Efferenz eine Efferenzkopie erstellt (Antizipation der sensorischen Konsequenzen; entspricht: feedforward), die mit den tatsächlichen sensorischen Konsequenzen (Reafferenzen und Exafferenzen) verrechnet wird. Da sich Efferenzkopie und Reafferenz aufheben, wird nur die tatsächliche Bewegung in Form der Exafferenz wahrgenommen.

Da Efferenzkopie und Reafferenz jedoch aus zwei verschiedenen Quellen stammen muss die Efferenzkopie übersetzt werden, um eine Aufhebung zu gewährleisten. Es stellt sich nun die Frage, ob diese Übersetzung angeboren oder im Sinne des V-E-Lernens lernabhängig ist.

### **7.2.3. Lernabhängige Adaptation**

Festinger et al. (1967) demonstrierten einen Lerneffekt in der Wahrnehmung, bei veränderten Beziehungen zwischen Augenbewegungen und retinalen Reafferenzen. Hierzu wurden die Probanden mit Kontaktlinsen ausgestattet, auf deren Oberfläche ein Prisma angebracht war, das zu einer Verzerrung der Wahrnehmung führte (gerade Linien werden gekrümmt wahrgenommen).

Sollten nur zwei verschiedene Punkte auf einer geraden Linie abwechselnd fixiert werden, so zeigten sich im Sinne des RP „rubbery effects“: Die Differenz zwischen erwarteter und eintretender Reafferenz wird als Exafferenz wahrgenommen.

Mit der Zeit werden die „gekrümmten“ Linien jedoch wieder als gerade wahrgenommen und auch die rubbery effects verschwinden; ein erster Hinweis auf die Adaptation des visuellen Systems über Veränderung der Reafferenzenerwartungen.

In einem weiteren Experiment (Hajos und Fey, 1982) sollten Probanden eine zielgerichtete Sakkade durchführen, während derer das Ziel um einen bestimmten Betrag verschoben wurde (Verkürzung der Sakkade bei Bewegung nach links, Verlängerung der Sakkade bei Bewegung nach rechts).

Nach einigen Durchgängen werden die Efferenzen derart angepasst, dass das efferente Kommando die Verschiebung vorwegnimmt. Dabei erfolgt das undershoot Lernen schneller, sodass die Befunde nicht auf eine Koordinatenverschiebung zurückzuführen sind. Eine mögliche Erklärung wäre, dass Korrektursakkaden in Bewegungsrichtung einfacher zu programmieren sind.

### **7.2.4. Ergänzung des RP: Korrelationsspeicher**

Hein und Held (1962) führten den Korrelationsspeicher in das RP ein, um die lernabhängige Adaptation bei veränderter Efferenz-Reafferenz-Beziehung zu erklären. Dabei wird die Kovariation zwischen Efferenzen und Reafferenzen gelernt.

Das Konzept des Korrelationsspeichers kann jedoch nicht erklären, wie die gelernten Korrelationen auf die Efferenz zurückwirken. Hierzu ist jedoch der Ansatz der antizipativen Verhaltenssteuerung in der Lage.

### **7.2.5. Antizipative Kontrolle von Augenbewegungen**

Die Augenbewegung wird durch die Antizipation der Effekte gesteuert; die Antizipationen sind demnach keine Kopie der Efferenz (wie nach dem feedforward-model), sondern sie determinieren die Efferenzen (inverses Modell).

Wahrnehmung ist damit nicht nur reizgesteuert (bottom up) sondern auch immer durch Erwartungen beeinflusst (top down).

### **7.2.6. Bewegungserwartung und -wahrnehmung**

Gunnar Johansson (1975) konnte in Experimenten zur Bewegungserkennung anhand von Leuchtpunkten zeigen, dass Bewegungsdetektion nicht nur der Herauslösung von Entitäten aus der Vielfalt der äußeren Reize dient, sondern auch der individuellen Identifikation anhand spezifischer raumzeitlicher Bewegungsmuster.

Eine weitere Bestätigung der These, dass Wahrnehmung durch Handeln beeinflusst wird stellt das Phi-Phänomen dar: Ist der Abstand zwischen der Darbietung von mehreren Lichtreizen hinreichend kurz, so wird die Folge der Lichtreize als Bewegung wahrgenommen, weil das eigene Auge nicht schnell genug hin und her springen kann.

## **7.3. Konturen und Oberflächen**

Diskontinuitäten in Intensität und Qualität der proximalen Reizung werden als (Objekt-)Grenzen wahrgenommen. Wichtige Moderatoren sind die laterale Hemmung sowie die Erwartung.

### **7.3.1. Randkontraste**

Das visuelle System verstärkte Diskontinuitäten in der Helligkeitsverteilung, sodass eine gute Konturenwahrnehmung ermöglicht wird (z.B. Mach'sche Bänder). Dies wird durch den neuronalen Mechanismus der lateralen Hemmung gewährleistet, die proportional abhängig ist von Intensität der Erregung der hemmenden Fasern sowie von deren Nähe zum interessierenden Neuron.

Auch das Hermann-Gitter beruht auf lateraler Inhibition: An den Kreuzungspunkten der weißen Linien findet sich eine starke laterale Inhibition (von allen 4 Seiten), sodass diese dunkler erscheinen als Bereiche an die schwarze Quadrate grenzen.

### **7.3.2. Simultane Flächenkontraste**

Simultane Flächenkontraste (Helligkeitsfeldkontrast) lassen sich ebenfalls über laterale Hemmung (von weißen Flächen stärker) erklären.

### **7.3.3. Oberflächenunterschiede, Farbwahrnehmung**

Young (1802) und Helmholtz (1852) stellten die Trichromatische Theorie (Dreifarben-Theorie) auf, die Farbwahrnehmungen auf die Kombination von Rezeptormeldungen zurückführt, die jeweils spezifisch auf lang-, mittel- und kurzwelliges Licht reagieren (physiologische Evidenz!). Die unterschiedlichen Farbeindrücke ergeben sich danach aus dem Verhältnis der Erregungen, die von den drei Zapfensystemen kommen.

Die Gegenfarbentheorie von Hering (1878) entstand aus den Schwierigkeiten der Trichromatischen Theorie folgende Phänomene zu erklären: farbspezifische Nachbilder, Farb-Simultankontraste (am roten Rand zweier Farbstreifen, rot und grün, entsteht eine gründliche Kontur) und die Tatsache, dass rotblinde Menschen auch immer grünblind, blaublind auch immer gelbblind sind. Auch hierfür gibt es physiologische Evidenz in höheren neuronalen Zentren (CGL und V1).

Die beiden Theorien lassen sich jedoch integrieren, wenn man annimmt, dass die von den drei farbspezifischen Rezeptortypen ausgehenden Erregungen so verschaltet sind, dass gegensätzlich feuernende Neurone resultieren. Den verschiedenen Frequenzspektren einfallenden Lichtes werden somit unterschiedliche Erregungskonstellationen (Erregungsgleichgewichte) zugeordnet.

### **7.3.4. Die Konstanz von Helligkeiten und Farben**

Sowohl die Eigenschaften der Rezeptoren als auch die Art der retinalen Verschaltung führen dazu, dass sich das visuelle System an geänderte Lichtverhältnisse anpassen kann (Farb- und Helligkeitskonstanz). Hierbei geht es immer um Helligkeits- bzw. Farbintensitäten im Vergleich zur Umwelt.

### **7.3.5. Der Einfluss von Erwartungen (Beispiele)**

- 1.) Das Kanisza-Dreieck: An erwarteten Objekträndern tritt eine Konturverstärkung auf.
- 2.) Wertheimer-Dreieck: Obwohl beide Dreiecke gleich grau sind und dasselbe Umfeld haben (keine laterale Hemmung), wird das Dreieck im Kreuz heller gesehen als das Dreieck am Kreuz. Dies ist auf die Erwartung einer homogenen Oberfläche des Kreuzes zurückzuführen, sodass das Dreieck unerwartet hell ist.
- 3.) Schachbretttäuschung nach Adelson: Die Felder A und B sind gleich hell, da B jedoch im Schatten liegt und von dunkleren Flächen umgeben ist, wird es als weißes Feld gesehen, A als schwarzes.
- 4.) Ivo Kohler (1956): Doppelgleisige Adaptationen. Pbn tragen Brillen, deren Gläser je zur Hälfte in Gegenfarben eingefärbt sind. Weil mit den Blickbewegungen systematische Verfärbungseffekte verbunden sind, werden diese Verfärbungen antizipiert. Die eintreffenden Reizwirkungen werden mit den Antizipationen verglichen – stimmen diese überein, wird keine Verfärbung wahrgenommen.

## **7.4. Bestimmung von Lokation und Entfernung**

### **7.4.1. Fixation**

Die Fixation von Objekten ist durch die begrenzt scharfe Abbildung von Objekten (nur bei Fovealisierung) nötig. Durch sie werden Informationen über die egozentrische Lage von Objekten gewonnen.

Die Konvergenz von Blicklinien (definiert durch Drehpunkt und Fovea; Schnittpunkt im Fixationspunkt) und die Akkomodation (Einstellung der Brechkraft; Entfernung) ermöglichen die Lokation von Objekten. Die Konvergenz liefert Informationen über Entfernung und Lage eines Reizes, Akkomodation liefert zusätzliche Informationen über die Entfernung.

### **7.4.2. Wahrnehmung der Lage nicht fixierter Objekte**

Ein Objekt wird dort wahrgenommen, wohin sich die Augen bewegen müssten, um es zu fixieren (trotz kopfstehender, seitenverkehrter Abbildung auf der Retina).

### **7.4.3. Wahrnehmung der relativen Entfernung nicht fixierter Objekte**

Nicht-fixierte Objekte die in etwa gleich weit von den Augen entfernt sind wie der Fixationspunkt werden auf korrespondierende Netzhautstellen abgebildet (optischer Horopter). Demnach werden alle Objekte, die auf korrespondierenden Netzhautstellen abgebildet werden als gleich weit wahrgenommen (empirischer Horopter). Alle vor oder hinter dem Horopter liegenden Objekte werden auf querdissparat verschobene Netzhautstellen abgebildet.

Daraus ergibt sich für Objekte die weiter entfernt sind als der Fixationspunkt ein ungekreuztes Doppelbild, heteronyme Attraktion sowie divergente Disparität. Für nähere Objekte als der Fixationspunkt folgt ein gekreuztes Doppelbild, homonyme Attraktion und eine konvergente Disparität (alle drei Bezeichnungen stehen jeweils für denselben Sachverhalt).

Empirisch kann diese Vermutung über ein Stereoskop erforscht werden, mit dem querdissparat verschobene Bilder in die einzelnen Augen projiziert werden können. Hierzu sind interessanterweise keine Konturen (Objekte) notwendig, sondern lediglich gleichermaßen Querdissparat verschobene Zufallsmuster (Julesz, 1965).

Während die Fixation (Akkommodation und Konvergenz) als okulomotorischer Tiefencue bezeichnet wird, ist die Querdissparation (binokular) genauso wie monokulare Tiefencues ein retinales Tiefenkriterium.

### **7.4.4. Empirische Tiefenkriterien (monokular)**

Monokulare Tiefenkriterien lassen sich in statische (Verdeckung, relative Höhe zum Horizont, Atmosphärische Perspektive, Größe, Licht und Schatten, Perspektivische Verkürzung) und dynamische Tiefenkriterien (Bewegungsparallaxe) einteilen.

Die Bewegungs- oder Ortsparallaxe beruht darauf, dass sich bei Eigenbewegung ohne Fixation die retinalen Bilder weit entfernter Objekte weniger Bewe-

gen als die naher Objekte bzw. sich bei Eigenbewegung mit Fixation entfernte Objekte scheinbar gleich, nahe Objekte scheinbar gegensinnig bewegen.

### **7.4.5. Größenkonstanz und -täuschungen**

Die Größe des proximalen Netzhautbildes hängt von der Größe des Objektes und von seiner Entfernung ab. Die Entfernung wird dabei so verrechnet, dass Objekte trotz unterschiedlicher Entfernung gleich groß erscheinen (Größenkonstanz).

Holway und Boring (1941) stellten ein Experiment zur Größenkonstanz an, welches auf der Herstellungsmethode (zwei Quadrate, S und V) beruhte. Es zeigte sich, dass bei binokularen Tiefencues die Größenkonstanz ( $V \cdot S^* / S \cdot S^*$ )  $\times 100$  maximal ist (100), bei lediglich monokularen Tiefencues abnimmt und schließlich ohne solche auf 0 sinkt.

Die Beziehung zwischen (Nach-)Bild auf der Retina, Entfernung und tatsächlicher Größe eines Objektes wird im Emmert'schen Gesetz formuliert und kann beispielsweise die Mond-Täuschung oder geometrisch-optische Täuschungen wie die Ponzo- oder Mueller-Lyer-Täuschung erklären.

## **7.5. Manipulationen der distalen-proximalen Abbildung**

Die aus der proximalen Abbildung gewonnen Rückschlüsse bezüglich der Ortsinformationen für bestimmte Objekte ist von großer Bedeutung für die Verhaltenssteuerung. Die Beziehung zwischen distalen und proximalen Reizen kann beispielsweise über Prismenbrillen modifiziert werden.

### **7.5.1. Versuche mit Prismenbrillen**

Die ersten Versuche mit Prismenbrillen wurden von Helmholtz (1866) durchgeführt, der Prismenbrillen mit einer Verschiebung des gesamten Gesichtsfeldes nach links verwendete.

Internal programmierte Bewegungen (bei geschlossenen Augen) verfehlen dabei ein vorher anvisiertes Ziel; werden jedoch eine gewisse Zeit visuell geführte Bewegungen geübt, so zeigen sich Gewöhnungseffekte. Diese halten auch dann an, wenn die Prismenbrille entfernt wurde, sodass man nicht mehr links am Objekt vorbei greift (wie anfangs), sondern nunmehr rechts.

Später folgten systematische Versuche von Ivo Kohler (1951), der auch Prismenbrillen mit vollständiger links/rechts- bzw. oben/unten-Umkehrung verwendete.

### **7.5.2. Die Veränderung der distal-proximalen Abbildungsverhältnisse durch Prismenbrillen**

Wird eine links-rechts-vertauschende Brille verwendet, so ergibt sich eine Dissoziation von Lokationsinformationen bzgl. fixierter Objekte. Wird ein distal links lokalisiertes Objekt fixiert, so liefert die Propriozeption der Augenstellung die Information, das Objekt sei rechts, die taktile Information der Hand jedoch, dass das Objekt links lokalisiert ist.

Daher stellt sich die Frage, wie sich die Wahrnehmung verändert: Wird das Objekt dort gesehen, wo es die Augen oder dort, wo es die Hände orten?

Auch bei nicht fixierten Objekten ist diese Dissoziation gegeben. Zudem zeigt sich hier eine Veränderung der Querdissipation: aus gekreuzten werden ungekreuzte Doppelbilder und umgekehrt.

### **7.5.3. Adaptation an Prismenbrillen aus Perspektive der Widerspiegelung und der Handlungssteuerung**

Wenn Wahrnehmung tatsächlich der Erkenntnis dient, sollte sich primär eine Anpassung der phänomenalen Wahrnehmung zeigen – also noch vor einer Änderung des Verhaltens.

Wenn dagegen die Hauptfunktion der Wahrnehmung in der Verhaltenssteuerung liegt, sollte primär die Handlungssteuerungsfunktion adaptieren (Primat der Verhaltenssteuerung).

In diesem Zusammenhang sind zwei Tatsachen von Bedeutung: Die Augenbewegungen müssen nichts Neues lernen, um ein parafoveales Bild zu fovealisieren (hier geht es nur um die Retina). Die Verhaltensanpassung der Hände hingegen, muss neu „erlernt“ werden – in etwa vergleichbar zu den Anpassungen der Augenbewegungen bei Hajos und Fey (1982; 7.2.3).

### **7.5.4. Adaptationen an Prismenbrillen: Beobachtungen**

Hier lassen sich vor allem drei Gesichtspunkte hervorheben:

- 1.) Eigene Körperbewegungen sind für das Umlernen entscheidend (durch Vergleich von antizipierten und realen Handlungskonsequenzen). Held (1965) demonstrierte dieses Phänomen, indem er zwei Pbn mit Prismenbrillen (16° Verschiebung; also unmerklich) ausstattete. Einer der Pbn wurde dabei vom anderen in einem Rollstuhl geschoben, sodass beide exakt die gleichen visuellen Eindrücke hatten, der eine jedoch aktiv, der andere passiv war. In einem motorischen Nachtest schnitt der passive Proband wesentlich schlechter ab, als sein aktiver Partner.
- 2.) Die Verhaltenssteuerung der Pbn adaptiert nach wenigen Tagen, die phänomenale Anpassung erfolgt erst wesentlich später.
- 3.) Die phänomenale Anpassung erfolgt nicht als plötzliche Umdeutung, sondern graduell für einzelne Objekte – v.a. für vertraute und verwendete Objekte (Kottenhoff: nur sein eigenes Zimmer). Das erste was aufrecht gesehen wird sind dabei die eigenen Hände (vgl. Fink et al., 1999: Spiegel mit (a)synchroner Bewegung der Hände; scheinbar steuert der DLPFC den Abgleich von Sehen und Fühlen).

### **7.5.5. Adaptationen an Prismenbrillen: Schlussfolgerungen**

Die Beobachtungen der Adaptationen an das Tragen von Prismenbrillen lassen folgende Schlussfolgerungen zu:

- 1.) Verhaltenssteuerung ist primär: Es wird primär gelernt, die neuen visuellen Konsequenzen zu antizipieren und umgekehrt, jeweils die Körperbewegungen auszuführen, die die gewünschten Konsequenzen beim Tragen der Brille auch herstellen.

- 2.) Verhaltensanpassung ist selektiv: Es lernt immer nur der Effektor, der sein Verhalten ändern muss (Hand: ja, Auge: nein). Hier stellt sich die Frage, ob es bspw. für rechte und linke Hand getrennte Systeme gibt, oder ob es sich um ein einheitliches System handelt (dann müssten Transferleistungen zu beobachten sein). [Auch: „Was ist ein sensomotorisches System?“]

Hierzu führten Lenhard und Hoffmann (2003) eine Untersuchung durch, die der von Hajos und Fey (1982) ähnelt, jedoch analog zu Prismenbrillen eine Manipulation der Beziehung zwischen Motorik und visueller Rückmeldung beinhaltete.

Die Probanden sollte auf einer projizierten Telefontastatur bestimmte Tasten mit einem Stift anfahren, dabei sahen sie jedoch nur die Position des Stiftkopfes und die Tastenanordnung auf einem Bildschirm, ihre Hände wurden mit einem Sichtschirm verdeckt.

Sollten die Probanden die Taste 6 ansteuern, so wurde der Punkt der Stiftspitze nicht genau an seiner tatsächlichen Position angezeigt, sondern ein wenig verschoben, sodass die Probanden lernen mussten, bei dieser einen Zahl eine gewisse Strecke zu überschießen.

Diese Veränderung des motorischen Impulses wurde von den meisten Probanden unbewusst gelernt und es zeigten sich auch Transferleistungen von trainierter rechter auf untrainierte linke Hand: beide Hände zeigten das gleiche Lernmuster. Es scheint sich also um ein gemeinsames System zu handeln.

- 3.) Das phänomenale Sehen ist sekundär.
- 4.) Das Sehen wird durch Erfahrung determiniert (es ist also vor allem Wiedererkennen): Erwartungen scheinen für bestimmte vertraute Objekte eine größere Rolle zu spielen, als die Konfiguration der proximalen Reize, was unter anderem an der objektbezogenen Anpassung der phänomenalen Wahrnehmung deutlich wird.

Dies wurde von Linden, Singer et al. (1999) gezeigt, deren Pbn keine Umdeutung von Schattenbildern („Buckel und Löcher“) vornahmen. Auch zeigte sich im fMRI eine unveränderte retinotrope Abbildung in V1.

In diesem Zusammenhang stehen auch Versuche zur Maskenwahrnehmung, z.B. Hoffmann & Sebald, 2007: Hollow face illusion). Wie bereits beschrieben ändert sich bei r-l-vertauschenden Brillen die querdisparate Abbildung, wobei z.B. die Wirkung des Julesz'schen Quadrats umgekehrt wird. Dieser Effekt zeigt sich bei Gesichtern und Masken jedoch nicht.

Bei der Hollow face illusion (Hoffmann & Sebald, 2007) zeigt sich, dass die Augen beim Blick in die hohle Maske nicht auf den Punkt der tatsächlichen Nasenspitze blicken, sondern auf den Punkt der virtuellen Nasenspitze, wenn das Bild umgekehrt (also gesichtsförmig) wäre.

Es werden also sogar die Augenbewegungen von der Illusion getäuscht; ein Beleg dafür, dass Rekognition (Top down, Erwartungen) sowohl die phänomenale Wahrnehmung als auch das Augenverhalten beeinflussen.

Der Widerspruch zwischen (phänomenalem) Fixationspunkt und Informationen der Querdisparation ist dabei äußerst seltsam. Die Wiedererkennungsfunktion scheint also wichtiger zu sein, als Vergenz und Querdisparation.

## **7.6. Dorsale und ventrale Bahn**

Ungerleider und Mishkin (1982) fanden in einer Läsionsstudie an Affen (2 Aufgaben: auf Objektidentität vs. Bewegung achten), dass sich zwei Verarbeitungswegen der visuellen Information im Gehirn finden: ventraler Pfad (zum Temporallappen; Was-Bahn zur Objektidentifikation) und dorsaler Pfad (zum Parietallappen; Wo-Bahn mit Orts- und Bewegungsinformationen).

Nach der Auffassung von Milner und Goodale (1995) sind diese beiden Systeme nicht grundlegend verschieden, sondern unterscheiden sich nur nach ihrem Zweck: Die dorsalen Prozesse dienen der Initiierung und Ausführungskontrolle zielgerichteter Bewegungen. Hier erfolgt vermutlich die Anpassung an veränderte Efferenz-Reafferenz-Beziehungen (V-E-Beziehungen). => Handlungssteuerung.

Die ventralen Prozesse dienen hingegen der Formierung von Repräsentationen, die die invarianten Eigenschaften von wiederholt gegebenen visuellen Mustern widerspiegeln und die damit das bewusste Wiedererkennen ermöglichen. => Phänomenales Sehen.

Dass unterschiedliche corticale Areale für das phänomenale Sehen und die Verhaltenssteuerung verantwortlich sein sollen steht in Übereinstimmung mit der Beobachtung, dass die Verhaltensanpassung an Umkehrbrillen unabhängig von der Adaptation der phänomenalen Wahrnehmung erfolgt.

## **8. Aufmerksamkeit**

### **8.1. Die Selektivität der phänomenalen Wahrnehmung**

Es wird immer nur ein Teil aller gegebenen Reizwirkungen phänomenal wahrgenommen. Die Aufmerksamkeitsforschung beschäftigt sich dabei mit drei Fragen:

- Wodurch wird bestimmt, worauf wir achten?
- Welche Mechanismen vermitteln die bevorzugte Wirkung beachteter Reize?
- Worin unterscheidet sich die Wirkung beachteter und nicht beachteter Reize und welche Konsequenzen ergeben sich aus diesen Unterschieden?

### **8.2. Aufmerksamkeit aus Sicht der „Widerspiegelungshypothese“**

Wird Wahrnehmung als Prozess der Erkenntnis betrachtet, ergibt sich die Notwendigkeit von Aufmerksamkeitsausrichtung aus einem Verarbeitungsdefizit.

#### **8.2.1. Filtertheorie**

Den Filtertheorien liegt die Annahme eines sequentiellen Verarbeitungsprozesses zugrunde (zunächst elementare sensorische/physikalische Merkmale, anschließend die konzeptuelle Bedeutung von Reizen). Aufmerksamkeitsprozesse wirken in dem angenommenen Verarbeitungs kanal wie Filter, die nur einen Teil der Reize durchlassen.

Untersuchbar wird die Stelle der Filterung durch Experimente, in geprüft wird, welche Merkmale von nicht beachteten Reizen bemerkt werden.

##### **8.2.1.1. Broadbent (1958): Frühe Selektion**

Cherry (1953): Experimente zum dichotischen Hören mit Shadowing (Nachsprechen der zu beachtenden Tonspur). Hier zeigt sich das Party Phänomen: die Inhalte des nicht zu beachtenden Ohrs werden nicht bemerkt.

Moray (1959) lies in einem dichotischen Hörtest auf dem unbeachteten Ohr Wortlisten 35x darbieten, die später genauso schlecht erkannt wurden, wie völlig neue Listen.

In einem weiteren Experiment wurde gezeigt, dass die Identifikation von Reizen aufgrund ihrer Farbe wesentlich schneller abläuft als die Identifikation aufgrund von semantischem Inhalt (Wright, 1968).

Broadbent (1958) fasste diese Befunde in seiner Flaschenhalstheorie zusammen: Einfache physikalische Merkmale werden preattentional verarbeitet und als Grundlage für die Filterung benutzt.

##### **8.2.1.2. Deutsch & Deutsch (1963): Späte Selektion**

Beispielsweise das Phänomen des Breakthrough (etwa CCP) spricht gegen die Annahme einer frühen Selektion. Corteen und Wood (1972) konnten zudem zeigen, dass die konditionierte GSR auf bestimmte Städtenamen auf andere Städtenamen generalisiert wird.

Deutsch und Deutsch (1963) gingen deswegen von einer Selektion auf der höchsten Stufe der Verarbeitung aus.

### **8.2.1.3. Probleme der Filtertheorien**

Eine völlige Verarbeitung der nicht beachteten Reize konnte nicht nachgewiesen werden – beispielsweise zeigte sich in einem Literaturreview, dass die GSR auf Namen im nichtbeachteten Ohr schwächer und weniger zuverlässig ausfällt, der eigene Name auch nicht immer gehört wird und die Aufmerksamkeit häufig entgegen der Instruktion wechselt (Shadowing-Fehler: „äh“).

Auch die Behauptung, dass einfache Merkmale aufmerksamkeitsunabhängig verarbeitet werden ist nicht haltbar (Egeth, 1977). In einem Experiment sollten Pbn bestimmen, ob ein Display aus homogenen oder heterogenen Elementen besteht. Dabei konnten in der ersten Phase sowohl Farb- als auch Größenabweichungen auftreten. Die Reaktionszeiten waren jedoch wesentlich schneller, wenn nur eine der beiden Abweichungen (angekündigt) auftreten konnte (Aufmerksamkeitslenkung).

Diese Befunde legen nahe, dass die Konzeption eines sequentiellen Verarbeitungsprozesses an sich nicht korrekt ist – beispielsweise ist jede Objektidentifikation semantisch. Ein weiteres Argument ist, dass das Hirn nur Frequenzen fortgeleiteter Erregungen kennt und sich somit die Empfindung „grün“ nicht qualitativ von der Empfindung „Baum“ unterscheidet. Es gibt also kein früh oder spät, das Gehirn ist vielmehr auf bestimmte Konstellationen spezialisiert.

Aber auch hier gilt: Falsche Theorien werden nicht durch kontradiktorische Befunde abgelegt, sondern durch das Aussterben ihrer Vertreter.

## **8.2.2. Ressourcentheorien**

### **8.2.2.1. Generelle unspezifische Ressourcen**

Ressourcentheorien gehen von einer parallelen Verarbeitung der verschiedenen Merkmale einer gegebenen Reizsituation aus. Die Verarbeitung, so wird weiter angenommen, ist dabei von der Verfügbarkeit einer zentralen Ressource abhängig (Kahnemann, 1973).

Die Ressourcenzuteilung erfolgt auf verschiedene unabhängige Module und wird durch Arousal, Dispositionen und aktuelle Intentionen gesteuert. Dabei wird zwischen data-limited (ressourcen-unabhängig) und ressource-limited Prozessen unterschieden.

Der Ressourcenverbrauch einer Aufgabe kann bei Doppelaufgaben über die performance operating characteristics (POC-Kurven) bestimmt werden (Dual-Task-Paradigma).

Hinsichtlich der Konzeption einer generellen, unspezifischen Ressource gibt es zwei Probleme. Segal und Fusella (1970) konnten zeigen, dass eine visuelle Imagination eine visuelle Signalentdeckungsaufgabe stärker behindert als eine akustische Vorstellung und umgekehrt. Wird also eine visuelle Signalentdeckungsaufgabe gewählt, erscheint die visuelle Imagination als stark ressourcenabhängig, wird eine auditive Signalentdeckung durchgeführt die auditive.

Auch lassen sich automatisierte von nicht automatisierten Aufgaben nicht trennen, da sich automatisiert erkannte Reize negativ auf die Leistung auswirken, wenn sie ignoriert werden sollen.

### **8.2.2.2. Multiple Ressourcen**

Navon und Gopher (1977) gehen aufgrund der Befunde von Segal und Fellsella (1970) von multiplen Ressourcen aus. Damit verhält es sich jedoch nach Neumann (1985) wie mit einer russischen Puppe: für jede Aufgabe kann eine spezifische Ressource gefunden werden. Dieser Ansatz besitzt somit keinen Erklärungswert.

### **8.2.3. Das Homunculus-Problem**

Sowohl Filter- als auch Ressourcentheorien benötigen einen Mechanismus (Homunculus), der Ressourcen verteilt und auch auf irgendeine Weise darüber informiert werden muss, wohin er diese Ressourcen verteilen soll. (Homunculusproblem: „Wie bewirkt der Wille, dass das geschieht was er will?“).

Wesentlich sinnvoller ist es also, den Aufmerksamkeitsprozess nicht als gesondertes Phänomen sondern als Teil der Handlungskontrolle zu verstehen.

## **8.3. Wahrnehmungsselektivität im Dienste der Verhaltenskontrolle**

Wird die Selektivität der Wahrnehmung im Zusammenhang mit einer effektiven Verhaltenskontrolle betrachtet (selection for action), so ist diese kein Defizit, sondern ein adaptiver Mechanismus, konkurrierende Verhaltensweise zu unterdrücken und somit eine effektive Verhaltenssteuerung zu gewährleisten. Dies wird vor allem dadurch unterstützt, dass man im Normalfall sowieso nur eine Handlung zu einem Zeitpunkt ausführt (Buridans Esel).

Es stellt sich aber auch hier die Frage, welcher Mechanismus die Selektion hervorruft – oder: Woher weiß das Gehirn, was für eine bestimmte Handlung wichtig ist und wie kommt es zur Auswahl?

### **8.3.1. Selektion durch Antizipation**

Die Antwort auf diese Frage liefert die antizipative Verhaltenssteuerung (Antizipation des Zieles und der notwendigen Bedingungen). Durch diese Antizipation kommt es zur neuronalen Voraktivierung der relevanten Effekte. Wenn Reizwirkungen tatsächlich eintreffen, treffen sie also auf voraktivierte Zustände und werden daher bevorzugt verarbeitet.

### **8.3.2. Verwandte Konzepte**

Lewin beschreibt den Aufforderungscharakter von Objekten als Konsequenz einer Intention.

Achs Determinierende Tendenz ist eine noch frühere Konzeption und enthält schon alle wichtigen Elemente der ABC-Theorie. Ach geht davon aus, dass eine Willkürhandlung durch eine Zielvorstellung (Effektantizipation) und einer Bezugsvorstellung (Antizipation der notwendigen Bedingungen) ermöglicht wird.

Ein weiteres Konzept ist Heckhausens Rubikonmodell mit den Bewusstseinslagen des Abwägens (motivational) und Wollens (volitional). In der Phase des Wollens stehen die Ausführung (Intention) und die dafür notwendigen Bedingungen (Antizipation der rel. Bedingungen) im Vordergrund.

Duncan und Humphreys schließlich schlugen vor, dass eine visuelle Suche durch ein internal template (Antizipation) des Gesuchten geleitet wird, welches mit dem sensorischen Input verglichen wird.

## **8.4. Handlungsbegleitende Aufmerksamkeitsphänome**

### **8.4.1. Bevorzugte Wirkung von handlungsrelevanten Reizen**

Handlungsrelevante Reize werden auch dann verhaltenswirksam, wenn sie nicht bewusst wahrgenommen werden. Dies kann in Experimenten zum subliminalen (unterschwelligem) Priming gezeigt werden.

Naccache und Dehaene (2001) zeigten in ihren Versuchen zum unconscious semantic Priming, dass subliminal dargebotene Primes die Reaktion auf einen Targetreiz beeinflussen ( $>/< 5$ ). Dabei rufen sowohl target-primes als auch no target-primes Kongruenzeffekte hervor.

Insgesamt sind drei Erklärungsansätze: 1.) Eine Ausbildung von S-R-Beziehungen (unwahrscheinlich, da auch no target-primes Kongruenzeffekte produzieren), 2.) eine semantische Identifikation aller Reize i. S. einer late selection (von den Autoren bevorzugt) oder 3.) der Einfluss handlungsleitender Antizipationen (Hoffmann). Demnach werden die Kongruenzeffekte durch die Übereinstimmung von Primes mit verhaltenssteuernden Erwartungen verursacht.

Kunde, Kiesel und Hoffmann (2003) führten daher eine Replikation der Studie von Naccache und Dehaene (2001) durch, in der zunächst das Ergebnis repliziert wurde. Anschließend wurden als Ziele nicht mehr die Zahlen 1, 4, 6 und 9 (= Erwartung: 1-9) verwendet, sondern 3, 4, 6 und 7, sodass keine Erwartungen mehr für hohe/niedrige Zahlen mehr ausgebildet werden. Hierdurch verschwinden die Kongruenzeffekte bei no target-primes.

Narzis Ach sprach in diesem Zusammenhang von einer Bezugsvorstellung: Die Steuerung des Verhaltens geht von einer inneren Intention auf das Bezugsobjekt über.

### **8.4.2. Die Unwirksamkeit verhaltensirrelevanter Reize („inattentional blindness“)**

Verhaltensirrelevante Reize werden nicht wahrgenommen, wenn sie nicht explizit beachtet werden (inattentional blindness).

Mack und Rock (1998) konnten dieses Phänomen für statische Reize zeigen: Ihre Pbn sollten bestimmen, ob bei einem 200 ms maskiert dargebotenen Kreuz die horizontale oder vertikale Linie länger war. Nach einigen Durchgängen wurde zusätzlich zum (fixierten) Kreuz paravoveal ein weiterer Reiz dargeboten, der von 20% der Pbn nicht bemerkt wird (bzw. nicht erinnert wurde).

In einem weiteren Experiment wurde das Kreuz parafoveal dargeboten, sodass der kritische Reiz nun am Fixationspunkt erschien – und 66% der Pbn bemerkten ihn nicht.

Neisser und Becklen (1975) zeigten mit übereinander geblendeten Filmen, dass inattentional blindness auch bei dynamischen Reizen auftritt (vgl. auch Gorillas in our midst; auch mit getrennter Darbietung in beide Augen).

**Fazit:** Die Beachtung eines Reizes ist notwendig und hinreichend für seine Verhaltenswirksamkeit und notwendig, aber nicht hinreichend für seine bewusste (erinnerbare) Wahrnehmung.

Dies spricht wiederum für die ABC-Theorie im vgl. zur Erkenntnisfunktion der Wahrnehmung, sowie die Unterscheidung von handlungsrelevantem dorsalen visuellen Pfad und bewusstseinsrelevantem ventralen Pfad.

Ein weiterer Aspekt der inattentional blindness wird als change blindness bezeichnet. Zu deren Untersuchung wurden vier Paradigmen entwickelt:

- Flicker-Bilder
- Kopplung von Bildveränderungen mit Augenbewegungen
- Personen-/Objektänderungen nach Cuts in Filmen
- Langsames Ändern eines statischen Bildes

Der Name change blindness ist dabei irreführend, da gerade Veränderungen in der Umwelt bevorzugt wahrgenommen werden; die change blindness ist nur ein weiterer Beleg für die Tatsache, dass immer nur ein kleiner Teil der Umwelt wahrgenommen wird. Beispielsweise beruht das Flicker-Paradigma nicht auf der Entdeckung von plötzlichen Änderungen, sondern auf der Entdeckung von Unterschieden zwischen zwei völlig unterschiedlichen Reizkonfigurationen.

Insgesamt lässt sich also folgern, dass die scheinbare Vollständigkeit unserer Wahrnehmung eine Illusion darstellt, die auf den antizipierten Veränderungen durch Verhalten beruht.

### **8.4.3. Die längerfristigen Folgen von verhaltensgebundener Aufmerksamkeit**

Beachtung und Lernen stehen zwingend im Zusammenhang (vgl. KRS). Wenn Reize nicht beachtete (antizipierte) Reize die eigenen Handlungen kontingent begleiten, so wird nichts über diese Reize gelernt (Wie sehen die Ziffern der Armbanduhr aus? Auch: Wiederholung einer Wortliste beim dichotischen Hören: Moray, 1959).

Dieses Phänomen wird auch in dem Experimenten von Wolfe et al. (2000) gezeigt, bei dem Pbn entscheiden mussten, ob die zentrale Figur einer Figurenkonstellation unter den peripheren zu finden ist. Das Suchdisplay war dabei über alle Durchgänge konstant – die Pbn effektivierten ihre Suche jedoch trotzdem nicht. Scheinbar werden nur Gedächtnisspuren für handlungsrelevante Merkmale gebildet (hier: „Reiz = Target? ja/nein).

#### **8.4.4. Reizgetriggerte Aufmerksamkeit: Der Orientierungsreflex**

Wäre die obige Konzeption der Beachtung der einzige Mechanismus der Aufmerksamkeit, wäre eine wenig adaptive Grundlage gegeben: Gefahren und Anreize, die nicht direkt verhaltensrelevant sind werden hierdurch zwangsläufig übersehen.

Daher ist ein weiterer Mechanismus notwendig: der Orientierungsreflex. Diese reizgetriggerte Aufmerksamkeit wirkt auch gegen entsprechend andere Intentionen ausgelöst.

Experimentell spricht man dabei auch von attentional capture: Theeuwes (1992). Bestimmte Merkmale (z.B. Singletons) ziehen scheinbar automatisch Aufmerksamkeit und verzögern die Reaktion. Auf Basis dieser Befunde wurde gefolgert, dass reflexive Aufmerksamkeit ein rein reizgesteuertes Verhalten ist.

Aufmerksamkeit ist dabei aber nicht entweder reizgetrieben oder handlungsleitend, sondern beides. Hierfür spricht die Habituation des Orientierungsreflexes an gegebene Situationen und seine Modulation durch Handlungsabsichten.

Folk et al. (1992): Die reflektorische Aufmerksamkeitszuwendung wird durch aktuelle Handlungsabsichten moduliert (contingent involuntary orienting). Dabei sollten Pbn auf onset- oder color-targets reagieren, welche von einem Cue in 80% der Fälle valide angekündigt wurde (color- und onset-cues!). Wenn der Cue auf eine invalide Targetposition hindeutete führte nur der jeweils bedeutende Cue zu einer Verlangsamung der Reaktionszeit. Die Aufmerksamkeitszuwendung ist also durchaus von Intentionen beeinflusst.

#### **8.4.5. Fazit**

Aufmerksamkeit ist ein zwangsläufiges Nebenprodukt antizipativer Verhaltenssteuerung. Bewusste Wahrnehmung entsteht dabei durch den Vergleich von antizipierten und gegebenen Reizwirkungen.

Dieser Mechanismus wird durch zwei weitere ergänzt:

- Orientierungsreflex bei plötzlichen Änderungen
- Fähigkeit, Antizipationen auch unabhängig von Verhaltensabsichten zu generieren.

### **8.5. Handlungsunabhängige Aufmerksamkeit**

Pashler (1998) konnte zeigen, dass auch handlungsirrelevante, instruierte Vorstellungen einen Einfluss auf das Verhalten haben: Pbn sollten sich zunächst einen Fisch detailliert vorstellen und anschließend davon unabhängig in einer Reihe schnell aufeinanderfolgend dargebotener Bilder eine Zahl entdecken.

Die Zahl wird dabei umso schlechter identifiziert, je unmittelbarer sie auf den Fisch folgt (attentional blink effect).

## **8.6. Ausrichtung d. (verdeckten) vis. Aufmerksamkeit auf einen Ort, unabhängig v. Fixationspunkt**

### **8.6.1. Die Spotlight-Metapher**

Die Spotlight-Metapher kann als eine Art Ressourcentheorie verstanden werden und baut vor allem auf den Experimenten von Posner et al. (1978) auf. In diesen Experimenten zum Cue-Validity-Paradigma sollen die Probanden auf einen links bzw. rechts erscheinenden Reiz reagieren, wobei die Augen stets auf das Fixationskreuz gerichtet sein müssen.

Zusätzlich wird den Probanden ein Cue dargeboten, der in 80% der Fälle valide, in 20% der Fälle invalide ist. Im Vergleich zur nicht gecueten Bedingung bringen valide Cues Verarbeitungsvorteile (benefits), die sich in kürzerer RT und weniger Fehlern bemerkbar machen, invalide Cues verursachen hingegen Kosten (costs).

Aufmerksamkeit kann also, so Schlussfolgern die Autoren, als räumlich (nur auf konkrete Objekte in bestimmten Entfernungen) auszurichtender Spot verstanden werden. Dieser Spot hat folgende Eigenschaften: 1.) Nicht teilbar, 2.) kontinuierliche oder diskontinuierliche Bewegung möglich, 3.) Zoom lens, 4.) einstellbare Schärfe (Einstellung von lokal auf global einfacher).

### **8.6.2. Die „premotor hypothesis“**

Nach der Spotlight-Metapher ist der Aufmerksamkeitsmechanismus von der Augenstellung (Fixation) unabhängig. Dascola und Rizolatti (1991) hingegen postulierten eine untrennbare Kopplung der verdeckten visuellen Aufmerksamkeit mit der Antizipation der Blickbewegungen (also direkte Verbindung zwischen overt und covert attention).

Um diese Hypothese zu validieren muss gezeigt werden, dass 1.) jeder willkürlichen Augenbewegung eine Aufmerksamkeitszuwendung zuvor geht und 2.) jede Aufmerksamkeitszuwendung mit einer entsprechenden Blickintention verbunden ist.

Für das erste Kriterium wurde von Heiner Deubel und Werner E. Schneider (1996; München) direkte Evidenz erbracht: Probanden sollen ihre verdeckte visuelle Aufmerksamkeit zu einem von sechs eindeutig spezifizierten Zielen (eingefärbte digitale 8er) bei insgesamt 10 Reizen verlagern. Nach einem Go-Signal soll eine Sakkade durchgeführt werden. Sobald das Go-Signal erscheint (Cue verschwindet), werden alle 8er durch 2er und 5er ersetzt (Distraktoren), wobei eine 8 zu einem E bzw. spiegelverkehrtem E wird. Diese vollständig neue Reizkonfiguration wird dabei nur für 60 ms gezeigt, sodass die Reize schon vor Sakkadenende wieder verschwunden sind. Die Pbn sollen nun entscheiden, ob das E richtig oder spiegelverkehrt angezeigt wurde. Dies gelingt nur dann, wenn vorher die Aufmerksamkeit auf ein Ziel am selben Ort gelenkt wurde. Je weiter Zielposition und E auseinander liegen, desto schlechter ist die Diskriminationsleistung. Dies ist sogar dann der Fall, wenn den Pbn gesagt wird, dass das E immer nur an einer definierten Stelle erscheint!

Auch für das zweite Kriterium lässt sich Evidenz finden: Wird während einer Augenbewegung ein neuer Reiz (Singleton) präsentiert lenkt die zwangsläufige Aufmerksamkeitszuwendung auch die Blickbewegung in die entsprechende Richtung (Theeuwes et al., 1999).

### **8.6.3. Verdeckte visuelle Aufmerksamkeit als Konsequenz der antizipativen Vorbereitung eines Blickwechsels**

Die Kopplung von Blickbewegung und visueller Aufmerksamkeit entspricht genau dem Konzept der antizipativen Verhaltenssteuerung. Verdeckte Aufmerksamkeit erweist sich also als zwangsläufiges Resultat einer antizipativen Verhaltenssteuerung.

## **8.7. Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen Zeitpunkt**

Coull et al. (2000) nutzten die Posner'sche Cuing-Technik, um die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf Zeitpunkte zu erforschen. Pbn sollten dabei so schnell wie möglich auf einen Targetreiz reagieren, der entweder 600 ms oder 1400 ms nach Erscheinen des Cues angezeigt wurde (der Cue informierte in 80% der Fälle valide über die Dauer der SOA). Auch hier zeigt sich ein Einfluss des Cues im Sinne von benefits bei validem Cue bzw. costs bei invalidem Cue.

Wichtig ist hierbei der Unterschied zwischen invalidem 600ms- bzw. invalidem 1400ms-Cue. Bei ersterem zeigen sich wesentlich weniger costs, was darauf zurückzuführen sein kann, dass die Pbn nach ausbleiben des Targets Zeit haben, um sich auf die spätere Reaktion vorzubereiten.

## **8.8. Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf Reize**

### **8.8.1. Visuelle Suche als experimentelles Paradigma**

Die objektbezogene Aufmerksamkeit lässt sich über die visuelle Suche nach einem Target unter einer variablen Menge von Distraktoren untersuchen. Suchdauer (auch im Vergleich von present und absent trials) und Fehlerzahl geben hierbei Aufschluss über die Effektivität einer Suche.

### **8.8.2. Pop-out und Merkmalsintegrationstheorie (MIT)**

Unterscheidet sich ein Target in nur einem Merkmal von den Distraktoren (Merkmalssuche, singleton search, feature search) zeigt sich das Pop-out Phänomen, sodass hier auch von einer parallelen Suche gesprochen wird.

Bei einer Konjunktionssuche (conjunction search) steigen die Suchzeiten mit der Anzahl der Distraktoren linear an, wobei die Suchzeiten bei absent trials eine doppelt so hohe Steigung aufweisen wie bei present trials.

Auf diesen Beobachtungen beruht die Merkmalsintegrationstheorie (MIT) von Treisman und Gelade (1980), die davon ausgeht, dass elementare Merkmale aufmerksamkeitsunabhängig (preattentional) verarbeitet werden (parallele Suche, pop-out), während Konjunktionssuchen die Integration elementarer Merkmale durch räumliche Aufmerksamkeit voraussetzt (serielle, selbstabbrechende Suche).

### **8.8.3. Probleme der MIT**

Es ist jedoch gezeigt worden, dass die Verarbeitung „elementarer Merkmale“ (was auch immer das genau ist: „Das Hirn kennt nur Muster weitergeleiteter

Erregungen“) aufmerksamkeitsabhängig modulierbar ist (Egeth, 1977). Außerdem kann durch hinreichend große Erfahrungen mit einem Objekt auch ein Pop-out von komplexeren Objekten (konjunktives singleton) beobachtet werden (Enns, 1990).

Hoffmann und Grosser (1985) konnten zeigen, dass das Pop-out Phänomen von der Antizipation der Probanden abhängt: Ein Auto poppt nur dann, wenn ach einem Auto gesucht werden soll, nicht jedoch, wenn die Pbn instruiert sind, nach einem Fahrzeug zu suchen.

Treisman (1998) stellte eine Revision ihrer MIT vor, in der 4 Aufmerksamkeitsmechanismen angenommen werden: Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf 1.) einen Ort (Spot), 2.) ein elementares Merkmal, 3.) ein Objekt und 4.) die handlungsgerichtete Selektion eines Objekts unter vielen gleichartigen (Welche Kirsche möchte ich pflücken?).

#### **8.8.4. Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit durch Antizipation ihrer Reizwirkungen**

Die vorliegenden Befunde lassen sich widerspruchlos in die Theorie der antizipativen Verhaltenssteuerung eingliedern. Die Effektivität der visuellen Suche hängt dabei von mindestens zwei Faktoren ab: 1.) Der Distinktheit der reproduzierten Aktivitätsmuster (also vor allem die Häufigkeit der Exposition, s.u.) und 2.) die Erkennbarkeit bei parafovealer Abbildung.

Die Wichtigkeit von Erfahrungen (häufige Exposition) wurde von Shiffrin und Schneider untersucht, die ihre Probanden 3000x eine Reaktion auf 4 bestimmte Buchstaben durchführen ließen, wodurch sich ein effizienter Detektionsmechanismus ausbildete, der auch noch Tage nach dem Experiment nicht an Wirkung verlor.

### **8.9. Der Einfluss von Redundanzen in der räumlichen zeitlichen Verteilung von Reizen**

Objekte sind in bestimmten Situationen immer topographisch und zeitlich geordnet – so findet sich die Bahnhofsuhr beispielsweise immer „oben“.

#### **8.9.1. Die Adaptation von Erwartungen an topographische Invarianten**

Werden in einer visuellen Suchaufgabe Objekte an ihrer gewohnten Position gezeigt, so findet sich ein starker Kongruenzeffekt (Hoffmann & Klein, 1988). Werden die Objekte in typischen Situationen aber untypischen Orten gezeigt, so kehrt sich der Kongruenzeffekt um. Über die Entwicklung der Erwartungen liegen jedoch kaum Untersuchungen vor.

Musen (1996) untersuchte die Adaptation an Reiz-Lokationskurven und konnte zeigen, dass bei 100%iger Kovariation von Reizen und Positionen in einer 3x3-Matrix die Pbn sehr schnell Reiz-Lokationsverbindungen aufbauen. Die Umkehrung des Kongruenzeffektes zeigte sich nach Aufhebung der 100%igen Kovariation nach 10 Blöcken.

Hoffmann und Kunde (1999) stellten eine weitere Untersuchung an, bei der zwei Targets (H und F) in zwei verschiedenen Reizkonfigurationen (Welle vs. Vogel) gesucht werden mussten. Eines der beiden Targets erschien in einer

bestimmten Konfiguration mit extrem hoher Wahrscheinlichkeit an derselben Stelle, während das andere völlig zufällig präsentiert wurde. Es zeigte sich, dass an jeder der Lokationen in jeder der beiden Bedingungen jeweils dasjenige der beiden Targets schneller entdeckt wurde, das dort relativ häufiger dargeboten wurde. Dies beruht auf einer beschleunigten Identifikation des Targets.

Der lokationsspezifische Häufigkeitseffekt zeigt sich dabei nicht, wenn das Target poppt (z.B. als Farbsingleton präsentiert wird), wie von Kunde (1999) gezeigt werden konnte.

Lokationsspezifische Objekterwartungen sind dabei immer von einem allozentrischen Bezugssystem abhängig, was auf einen äußerst mächtigen Lernprozess verweist.

### **8.9.2. Die Adaptation von Erwartungen an Verteilungen in der Zeit**

Shin und Ivry (2002) konnten zeigen, dass Kovariationen zwischen relativen Zeitpunkten (relative Position in einer SOA-Sequenz) und relativen Lokationen bzw. Reaktionen gelernt werden und zu zeitspezifischen Erwartungen führen, wann das Target wo auftritt: Wird eine korrelierte SOA-Sequenz durch eine zufällige ersetzt, so steigen die Reaktionszeiten stark an.

## **9. Begriffsbildung**

### **9.1. Vorbemerkungen**

Invarianten in der Wahrnehmung müssen zwangsläufig abstrahiert werden, um eine adaptive Verhaltenssteuerung zu gewährleisten. Hierfür ist eine Unterscheidung von Objekten unerlässlich, wobei zwischen kurzfristiger Repräsentation (Aufmerksamkeit) und häufiger Unterscheidung (Kategorisierung, Begriffsbildung) unterschieden werden muss.

Sowohl phylogenetisch (laterale Hemmung: Mach'sche Bänder; Preparedness) als auch ontogenetisch werden also neuronale Verschaltungen entstehen, die diese Unterscheidung von Objekten fördern.

### **9.2. Begriffsbildung durch Zusammenfassung von Objekten nach gemeinsamen Merkmalen**

Es werden die beiden philosophischen Positionen des Realismus (Platon; es existieren nur die Begriffe) und des Nominalismus (Aristoteles; es existieren nur die Dinge) unterschieden. Heute liegt in Form des Empirismus (Locke) klar die zweite Position vor.

#### **9.2.1. Der behavioristische Ansatz**

Im Sinne des Behaviorismus ist Begriffsbildung eine kategoriale Reaktion (S-R-Verbindung). Hierbei wird durch einen Stimulus eine innere Kategorisierungsreaktion  $r$  ausgelöst, wodurch die Kategorie als neuer (innerer) Stimulus  $s$  resultiert, welche die eigentliche Reaktion  $R$  auslöst:  $S \rightarrow r \rightarrow s \rightarrow R$ .

#### **9.2.2. Begriffsbildungsalgorithmen und heuristische Techniken**

Begriffsbildungsalgorithmen (z.B. der Klix-Goede-Algorithmus; Goede & Klix, 1969) führen Begriffsbildung auf einen Vorgang der Hypothesengenerierung und -prüfung zurück.

In einem Experiment von Bruner et al. (1956) sollten die Pbn anhand von ja/nein-Antworten des VL lernen, Karten nach bestimmten Merkmalen zu kategorisieren wobei sie die definierenden Merkmale dieses Begriffes abstrahieren mussten (vgl. WCST).

#### **9.2.3. Kritik an Begriffsbildungsalgorithmen**

Nach Eleanore Rosch (1975) müssen an Begriffsbildungsalgorithmen drei grundlegende Kritikpunkte geäußert werden. 1.) Begriffe besitzen keine definierenden Merkmale, sondern eine Typikalitätsstruktur (Familienähnlichkeit), 2.) Es gibt nahezu unendlich viele Merkmale, die sich zur Klassifikation anbieten, sodass nahezu unendlich viele Möglichkeiten zu Klassifikation bestehen 3.) Um anhand „gemeinsamer“ Merkmale einen Begriff abzuleiten muss schon vorher bekannt sein, welche Objekte zusammengehören, sodass ein logisches Paradoxon entsteht.

Somit sind keine definitorischen Merkmale entscheidend für die Begriffsbildung, sondern vielmehr die funktionale Äquivalenz von Objekten. Bei Bruner et al. (1956) wurde diese funktionale Äquivalenz künstlich hergestellt: „Welches Merkmal muss ich wählen, damit der Versuchsleiter „ja“ sagt?“.

#### **9.2.4. Begriffsbildung in konnektionistischen Netzwerken**

Konnektionistische Netzwerke lernen gemäß der Delta-Regel (vgl. Rescorla-Wagner), welche Merkmale mit welchem Symptom wie stark verknüpft sind (gewichtete Verbindungen). Allerdings setzen auch sie einen Satz elementarer Merkmale voraus und können somit nur vorgegebene Klassifikationen von Objekten anhand ihrer Merkmale lernen, nicht jedoch selbst begriffliche Klassen bilden.

### **9.3. Abstraktion von handlungsbezogenen Äquivalenzklassen**

Die Abstraktion gemeinsamer Merkmale entsteht als zwangsläufiges Produkt der antizipativen Verhaltenssteuerung: Resultiert aus einem Verhalten wiederholt der antizipierte Effekt, wird die Verbindung zwischen Verhalten und Effekt gestärkt, was letztendlich zur Bildung von Äquivalenzklassen (=Begriffen) führt). Genauso werden alle Merkmale abstrahiert, die erfolgreiches Verhalten konsistent begleiten.

#### **9.3.1. Abstraktion handlungsrelevanter Situationsbedingungen**

Ann Brown (1989) konnte zeigen, dass Kinder, die in einer ersten Phase eine bestimmte Stange zum Heranziehen eines Spielzeugs als geeignet erlebt haben in einer zweiten Phase unter neuen Objekten nicht dasjenige Objekt auswählen, was der ersten Stange am ähnlichsten sieht, sondern dasjenige, welches funktional äquivalent ist.

Lüer et al. (1989) konnten zudem zeigen, dass nicht direkt verhaltensrelevante aber invariante Merkmale abstrahiert werden. Ihre Pbn lernten die Beziehung zwischen erstem Buchstaben eines Anagramms und erfolgreicher Umstellregel implizit, was sich an einer Verlängerung der Reaktionszeiten bei Vertauschung von Anfangsbuchstaben und Regel zeigt.

#### **9.3.2. Abstraktion invarianter aber nicht-intendierter Handlungseffekte**

Die latente Abstraktion von invarianten Eigenschaften nicht-intendierter Handlungseffekte wurde bisher noch nicht untersucht.

## **9.4. Effektivierung der Suche nach handlungsrelevanten Reizkonfigurationen**

### **9.4.1. Der Vorteil der Antizipation globaler Merkmale**

Nach Targets kann dann besonders effektiv gesucht werden (Pop-out), wenn sie sich von den sonstigen Reizen unterscheiden und auch bei parafovealer Darbietung erfasst werden können.

In diesem Zusammenhang spricht man auch vom Phänomen der global superiority, die u.a. in den Experimenten von Navon (1977, Benennung globaler Buchstaben interferiert nicht mit der Identität der konstituierenden Detailbuchstaben), Pomerantz et al. (1977, Benennung von Geradensteigung vs. Form) und Hoffmann und Zießler (1986; Formen als gleich/unterschiedlich anhand von globalen, groben Detail- und Detailmerkmalen klassifizieren) gezeigt wurde.

Globale Merkmale werden dabei jedoch nicht immer vor Details verarbeitet, sondern lediglich bevorzugt, wie Duncan und Humphreys (1989) in ihrem Experiment zum homogeneity coding zeigen konnten. Hierbei sollten die Pbn ein T in einem Kreis aus L's suchen (Konjunktionssuche), wobei sie die ursprüngliche Instruktion im Sinne von „Homogenität des Kreises: ja/nein“ umdeuteten, was zu einer Umkehrung der Befunde im Vgl. zu anderen Suchaufgaben führte: Mit zunehmender Distraktorenzahl und bei absent-trials zeigten sich schnellere Reaktionen.

### **9.4.2. Lokalisierung von Detailmerkmalen**

Globale Merkmale können als effektive Referenzsysteme zu Lokalisation von handlungsrelevanten Detailinformationen verwendet werden, i.S. von Lokationen der Details relativ zu globalen Konfigurationen.

## **9.5. Perzeptives Lernen**

### **9.5.1. Neuronale Plastizität als Voraussetzung des perzeptiven Lernens**

Plastizität neuronaler Verbindungen in Arealen der sensorischen Verarbeitung ist die Voraussetzung für perzeptives Lernen und damit letztlich auch für die Begriffsbildung.

### **9.5.2. Anpassung der Wahrnehmung an häufig auftretende verhaltensrelevante Reize**

Palmeri (1997): Mit genügend Training mussten die Pbn die Punkte einer Punkte nicht mehr abzählen, um zu entscheiden, ob ein 8-Punkt- oder 10-Punkt-Display vorlag, sie reagieren vielmehr direkt auf die vertrauten Punktmuster.

### **9.5.3. Bildung funktionaler Repräsentationseinheiten für Klassen äquivalent erlebter Reizkonfigurationen (Unitization)**

So wie für einzelne Reize (vgl. Palmeri, 1997) kann auch für Klassen unterschiedlicher Reize eine unitäre neuronale Repräsentation aufgebaut werden (Unitization), wie Hoffmann und Grosser (1985, 1986) zeigen konnten.

Die Pbn lernten eine Klassifizierung von Objekten anhand verschiedener Merkmale bzw. Merkmalskombinationen, wobei sich ein Pop-out-Effekt zeigte, wenn sich die Objekte durch globale Merkmale auszeichneten (nach langem Training).

Unitization setzt jedoch nicht die Existenz gemeinsamer Merkmale voraus, wie Shiffrin und Schneider (1977) in ihrem Experiment zur Buchstabensuche zeigen konnten. Entscheidend für die Herausbildung einer einheitlichen Repräsentation ist demnach die funktionale Äquivalenz von Objekten.

### **9.5.4. Veränderung der Wahrnehmung von Unterschieden**

Wahrnehmungsexpertise i.S. einer hocheffektiven Suche nach handlungsrelevanten Merkmalen ist auf den konkreten Handlungskontext beschränkt. Beispielsweise rekonstruieren Schachexperten nur dann mehr Spielstellung als Novizen, wenn es sich um echte Spielstellungen handelt. Zufallsstellungen hingegen werden von Novizen besser reproduziert (Chase & Simon, 1973).

## **9.6. Fazit**

Die Zusammenfassung von Objekten zu Äquivalenzklassen erfolgt durch das Handeln als direkte Konsequenz einer antizipativen Verhaltenssteuerung. Abstrahiert werden die Reizwirkungen, die

- während des erfolgreichen Handelns beachtet werden
- erfolgreiches Handeln konsistent oder wenigstens häufig begleiten
- Targets von Distraktoren unterscheiden und
- eine schnelle Lokation von Targets erlauben.

## **10. Sprache als Handlung**

### **10.1. Spekulationen zur Entstehung der Sprache**

Wichtige Voraussetzung zur Entwicklung sprachlichen Handelns sind die Absenkung des Kehlkopfes, was die differenzierte Modulation der Atemluft ermöglichte, die Ausbildung kortikaler sprachsteuernder Regionen, sowie das Aufkommen des FOXP2-Sprachgens. Insgesamt stellt die Sprache somit eine phylogenetisch junge Entwicklung dar.

Aus Lauten wird jedoch nur dann eine Sprache, wenn die Sprachlaute intentional verwendet werden (also um einen Effekt zu erreichen). Hierbei ist es wichtig, zwei Effekte des Sprechaktes zu unterscheiden: Soziale Effekte (welche das Ziel des Sprechaktes darstellen) und akustische Effekte (die die Herstellbarkeit und damit das Lernen des Sprechens ermöglichen). Die Modulation der Atemluft als Mittel zur Kommunikation ist also v.a. deswegen geeignet, weil es zu zwei externen Konsequenzen führt und weil der Sprechakt andere Handlungen nicht einschränkt.

### **10.2. Bühlers Organonmodell der Sprache**

Karl Bühler (1934) unterscheidet drei Funktionen sprachlicher Phänomene: 1.) Ausdruck der internen Zustände des Senders, 2.) Appell an den Empfänger und 3.) Symbolfunktion. Insgesamt dient die Sprache also der Synchronisation der internen Zustände von Sender und Empfänger, die sich gemeinsam auf ein Symbol beziehen; man braucht ein gemeinsames Referenzsystem, um zu verstehen was der andere meint.

### **10.3. Ontogenese sprachlichen Handelns**

Damit die Sprache ihren Zweck erfüllen kann, müssen mindestens drei Voraussetzungen erfüllt sein:

- 1.) Es müssen vergleichbare Repräsentationen bei den Kommunikationspartnern vorliegen.
- 2.) Die sprachlichen Äußerungen müssen mit den gemeinsamen Repräsentationen assoziiert werden.
- 3.) Es muss gelernt werden, dass die Sprache zur Aktivierung der mit ihnen assoziierten Repräsentationen eingesetzt werden kann.

Ontogenetisch lassen sich hier zwei wichtige Lernphasen unterscheiden: Zunächst muss erkannt werden, dass Wörter etwas bezeichnen und anschließend müssen bidirektionale Verbindungen zwischen Begriffen und Repräsentationen ausgebildet werden.

Bruner (1987) betonte hierbei die Funktion von Formaten – immer gleich strukturierten Interaktionen, die durch ihren stereotypen Aufbau definierte Erwartungen über anstehende Ereignisse ausgebildet werden können, sodass zu bestimmten Zeitpunkten beim Kind bestimmte Repräsentationen vorliegen.

Die Bildung von bidirektionalen Verbindungen zwischen Begriffen und Repräsentationen wird vor allem durch Was- und Wo-Spiele gewährleistet. Ist diese Verbindung vorhanden erfolgt eine sprachbedingte Begriffsexplosion.

## **10.4. Sprachbedingte Begriffsbildungen**

Um die unstrukturierten täglichen Erfahrungen zu strukturieren verwenden Kinder bestimmte Constraints, wie etwa die „whole object an taxonomic assumption“ und die „mutual exclusivity assumption“. Erstere führt zu einer Herauslösung von Objekten aus ihrem sonstigen situationalen Kontext, sodass taxonomische Kategorien entstehen.

Auch erfolgt durch die Sprache eine begriffliche Differenzierung der Welt. Insgesamt ist bei sprachbedingter Begriffsbildung jedoch zwischen Handlungsbegriffen und Nennkategorien zu unterscheiden, die beispielsweise auch Experten von Novizen unterscheiden. Durch Nennkategorien wird auch die sog. kulturelle Evolution ermöglicht.

Dabei hat jede Sprache ihre eigenen spezifischen Nennkategorien (Whorf'sche Hypothese).

## **10.5. Die Bildung von Wortklassen**

Wichtige Wortklassen sind Synonyme, Schimpfworte und andere Wortklassen, grammatische Kategorien sowie Klangkategorien.

## **10.6. Sprache-Handeln-Wissen**

Sprachliches Handeln ist Kommunikation, also die Synchronisation von mentalen Zuständen zwischen den Kommunizierenden.

Sprache ist jedoch nicht nur auf die Anwendung auf Kommunikationspartner beschränkt: Was mit der Sprache bei anderen bewirkt werden kann, kann auch auf sich selbst angewendet werden, was die Manipulation der eigenen Gedanken durch inneres Sprechen ist. Zwar sind nicht alle Repräsentationen an die Sprache gebunden, die Sprache ist jedoch das mächtigste und vorherrschende Mittel des Denkens.

# **11. Objekterkennung: Die Wahrnehmung von Begriffen**

## **11.1. Objektrepräsentationen: Abstraktionen und innere Struktur**

Objektrepräsentationen abstrahieren von den Erscheinungsformen der einzelnen Exemplare, aber auch von den unterschiedlichen Perspektiven auf ein und dasselbe Exemplar.

Zusätzlich haben Objektrepräsentationen eine interne Struktur: Man sieht nicht nur das Objekt, sondern man sieht es auch in seine Teile zergliedert und häufig reichen wenige markante Teile, um ein Objekt zu identifizieren.

## **11.2. Die Rolle von Erwartungen**

Wenn die globale Topographie von Reizwirkungen im visuellen System ein Echo findet (als vertraut erkannt wird), werden Erwartungen darüber geweckt, welche Details wo zu sehen sein sollten.

Erwartungen spielen also durchaus eine wichtige Rolle bei der Objekterkennung, sind aber nicht zwingend notwendig.

## **11.3. Objektidentifikation bei unspezifischen Erwartungen**

### **11.3.1. Die bevorzugte Identifikation von Objekten auf dem Niveau der Basisbegriffe**

Taxonomische Ordnungen sind Ausdruck der unterschiedlichen Spezifität menschlicher Handlungserfordernisse („Etwas zu trinken.“ vs. „Einen lieblichen Spätburgunder.“)

Auf dem so genannten Basisniveau dieser Taxonomien (Rosch & Mervis, 1975: basic level concepts) werden Objekte

- bevorzugt benannt
- am schnellsten benannt
- am schnellsten der Kategorie zugeordnet
- bei Suche nach der Basiskategorie am schnellsten gefunden und
- von Kindern zuerst dem Begriff zugeordnet

Es gibt also vielfache Belege für eine jeweils bevorzugte Ebene der Identifikation von Objekten. Nach Hoffmann und Zießler (1982) sind diese Basisbegriffe „die jeweils abstraktesten Begriffe innerhalb einer Taxonomie, die noch sensorisch repräsentiert sind.“

Zeichnen sich diese Objekte durch gemeinsame globale Merkmale aus, so wird die Identifikation der Objekte entscheidend erleichtert (global superiority). Globale Merkmale sind dabei jedoch weder notwendig noch hinreichend, um einen Basisbegriff zu bilden – entscheidend ist hier wie bei allen Begriffen die funktionale Äquivalenz.

So werden keine Begriffe für Objekte mit ähnlichen globalen Merkmalen gebildet, wenn keine funktionale Äquivalenz vorliegt und Experten bilden in ihren Fachgebieten Basisbegriffe für Objektmengen, die sich nicht in globalen Merkmalen von benachbarten Begriffen unterscheiden.

### **11.3.2. Die bevorzugte Identifikation des Ganzen vor seinen Teilen**

Neben taxonomischen Ordnungen, auf Basis der unterschiedlichen Spezifik der Handlungsanforderungen, existieren partonomische Ordnungen von Begriffen, die aus unterschiedlichen Handlungsanforderungen für verschiedene Teile von Objekten resultieren.

Innerhalb einer gegebenen Perspektive realisiert die Wahrnehmung das Ganze vor den einzelnen Teilen – jedenfalls dann, wenn das Ganze eine mehr oder minder vertraute Konfiguration darstellt (global superiority). In der phänomenalen Wahrnehmung hat das Ganze eine eigenen Qualität und Priorität; es ist mehr als die Summe seiner Teile.

### **11.3.3. Die bevorzugte Identifikation von Objekten in kanonischer Perspektive**

Vertraute, kanonische Ansichten erlauben meist eine etwas schnellere Identifikation der Objekte. Dies liegt vermutlich daran, dass die Objekte zunächst mental rotiert werden müssen, um eine Übereinstimmung mit der gespeicherten Repräsentation festzustellen (Palmer, Rosch & Chase, 1982).

Die Orientierungsabhängigkeit einer Identifikation hängt neben der Vertrautheit des Objektes davon ab, ob es durch globale orientierungsunabhängige Merkmale eindeutig ausgewiesen ist, oder ob einzelne Teile bzw. deren relative Lage identifiziert werden müssen.

Werden Objekte aus ungewohnter Perspektive dargeboten, erlauben die globalen Eigenschaften der Reizverteilung zwar häufig noch eine Identifikation auf Ebene der Basisbegriffe (Hand, Gesicht). Ist aber eine spezifischere Identifikation erforderlich (rechte oder linke Hand?), müssen die relativen Orte der zu prüfenden Details neu auf das egozentrische Bezugssystem abgebildet werden (damit die Augen korrekt dorthin bewegt werden können, wo nun bspw. links ist).

In diesem Zusammenhang steht auch der „face inversion effect“: Die Identifikation von kopfstehenden Gesichtern ist besonders schwer; vermutlich, weil die Individualisierung auf Detailmerkmalen beruht, für deren Überprüfung in gewöhnlicher Perspektive hocheffektive Mechanismen ausgebildet wurden. Diese Routinen versagen, sobald das Gesicht nicht in kanonischer Perspektive erscheint (vgl. Thatcher Illusion; Thompson, 1980).

Selbiges Phänomen zeigt sich bei Experten auf dem Gebiet ihrer Expertise. Bilaterale Läsionen in den tertiären parietalen Cortices können zu Prosopagnosie führen, wobei dieses Syndrom häufig mit der Unfähigkeit verbunden ist, Subklassifikationen im Allgemeinen zu bilden. Dieses Hirnareal ist also offensichtlich mit der Kontrolle kontextabhängiger Erwartungen für bestimmte Reize an bestimmten relativen Orten verbunden.

## **11.4. Modelle der Objektidentifikation**

### **11.4.1. Hoffmann (1982)**

Nach Hoffmann (1982) gehen zunächst von den globalen Reizeigenschaften Aktivierungswirkungen aus (global superiority). Finden diese ein Echo in den Repräsentationen, realisiert sich die Identifikation eines Basisbegriffs.

Die aktivierte Repräsentation liefert ggf. einen Bezugsrahmen zur Überprüfung von Details für speziellere Klassifikationen (Subklassifikation).

Ist dagegen die Zuordnung zu einem Oberbegriff gefordert, muss unanschauliches, abstraktes Wissen über begriffliche Zuordnungen aktiviert werden.

Das Modell wurde von Hoffmann (1982) gezielt überprüft, wobei Pbn tachistoskopisch (2-10 ms) dargebotene Bilder entweder auf Basisniveau oder auf Niveau der Oberklasse kategorisieren sollten („War das eine Blume?“ vs. „War das eine Frucht?“). War die Kategorisierung korrekt, wurde danach gefragt, welche jeweils niedrigere Kategorie gezeigt wurde (Was für eine Blume/Pflanze?). Dem Modell von Hoffmann (1982) zufolge sollte eine Identifikation auf Basisniveau immer möglich sein, wenn zuvor die Zugehörigkeit zur Oberklasse erkannt wurde, während die Erkennung der Unterklasse zusätzliche Detailmerkmale und somit mehr Zeit benötigen sollte. Die Daten entsprechen diesen Voraussagen.

Zimmer und Biegelman (1990) konnten zudem zeigen, dass nur global definierte Basisbegriffe schneller als die jeweiligen Unterbegriffe identifiziert werden können.

Zießler und Hoffmann (1985) testeten das Modell indirekt, wobei die Pbn die Bilder von global unterscheidbaren (Basis-)Begriffen vs. abstrakten Oberbegriffen kategorisieren sollten. Dabei wurden je 2x2 zusammengehörige Objekte verwendet, auf die mit z, Z, m und M reagiert werden musste. Handvorteile zeigten sich nur, wenn die Objekte eines Basisbegriffs einer Hand zugeordnet waren (Vorprogrammierung von „Ort“ möglich).

Für die Festlegung der Reaktion auf ein visuell dargebotenes Objekt werden also globale Formeigenschaften vor lokalen Details genutzt.

### **11.4.2. Kosslyn et al. (1990)**

Dieses Modell ist dem von Hoffmann (1982) sehr ähnlich und beruht vor allem auf neuropsychologischer Literatur. Diesem Modell zufolge werden visuelle Daten für ihre Weiterverarbeitung kurzzeitig zur Verfügung gehalten (Puffer). Auf Basis dieser Daten werden Informationen über die Lokation von Reizen sowie deren Merkmale extrahiert. Lokation und Merkmale zusammen erlauben schließlich die Basisidentifikation und zusammen mit der gezielten Suche nach Detailmerkmalen (Aufmerksamkeit; Ganzes als Referenzrahmen) auch eine Subklassifikation.

Im Vergleich zu dem Modell von Hoffmann (1982) wird die Basisidentifikation nicht einfach als Echo auf globale Merkmale postuliert, sondern als Integration von Informationen über die räumliche Verteilung und Merkmale von Reizen.

Allerdings fehlen in diesem Modell Mechanismen zur Superklassifikation völlig.

### **11.4.3. Recognition by Components (Biederman, 1987)**

Die Grundidee von Biederman's (1987) Recognition by Components ist, dass die Objekterkennung bei den elementaren Merkmalen eines Objekts beginnt (bottom up).

Die ersten Schritte der Reizverarbeitung dienen der Extraktion von Kanten aufgrund von Diskontinuitäten. Im nächsten Schritt werden „nonaccidental features“ extrahiert, also Eigenschaften der Kanten, die unabhängig von der jeweiligen Perspektive verlässlich auf Eigenschaften der zugrunde liegenden Körper verweisen (Zerlegung nach Konkavität und Ermittlung überzufälliger Merkmale).

Das Objekt wird so in Teilkörper zerlegt, wobei ein Alphabet von 36 Geonen (geometric icons) angenommen wird. Welches Geon jeweils vorliegt, bestimmt sich aus den non-accidental features seiner Kanten.

Schließlich werden Relationen zwischen den identifizierten Geonen bestimmt und die identifizierte Geonenanordnung mit den im Gedächtnis gespeicherten Objektmodellen verglichen. Die Zuordnung erfolgt zum ähnlichsten Modell.

Nach Biederman realisiert sich die Identifikation eines Objektes also durch die sequentielle Abstraktion von Grundelementen aus dem Datenstrom und aus ihrer Ordnung. So wie aus wenigen Buchstaben beliebige Worte gebildet werden können, so bildet das visuelle System durch Kombination einiger weniger Geone die unübersehbare Vielfalt der uns umgebenden Objekte ab.

Für Biedermans (1987) Modell spricht, dass das Weglassen von Konturen nur dann die Identifikation deutlich beeinträchtigt, wenn kritische non-accidental features, wie etwa die Art des Zusammenlaufens von Kanten, zerstört werden, sodass keine Geone mehr identifiziert werden können.

Im Gegensatz dazu kann man viele Details weglassen, ohne die Identifikation zu beeinträchtigen, vorausgesetzt, die Geonenstruktur bleibt unversehrt.

Hoffmanns (1982) Modell zufolge ist es wenig plausibel, dass elementare Merkmale den Anfang der Objektidentifikation bilden, schließlich sind globale Merkmale wesentlich früher verfügbar. Allerdings muss dabei berücksichtigt werden, dass das globale Merkmal auch erst einmal gebildet werden muss, wozu Hoffmanns Modell nichts aussagt. Biedermans Modell beschreibt also v.a. die Prozesse vor der Identifikation eines Objektes trefflich.

## **12. Gedächtnis und Wissen**

### **12.1. Einleitung**

#### **12.1.1. Was ist Gedächtnis?**

Jede gezielte Bewegung und jede Art von bewusster Wahrnehmung haben mit Gedächtnis zu tun. In diesem umfassenden Sinne bezeichnet „Gedächtnis“ alle (Nach-)Wirkungen in der Vergangenheit gemachter Erfahrungen auf das gegenwärtige Verhalten.

Diese Definition zeigt, dass Gedächtnis und Lernen untrennbar miteinander verknüpft sind [vgl. Klix (1971): „Lernen ist die Anpassung des nicht-sprachbezogenen Verhaltens an Umweltgegebenheiten im Resultat individueller Informationsverarbeitung“].

#### **12.1.2. Gedächtnis und Lernen: Die Notwendigkeit von KZG und Konsolidierung (LZG)**

Lernen ist also der Prozess der Verhaltensanpassung, Gedächtnis ist die Bewahrung erlernten Verhaltens über die Zeit.

Lernen setzt Gedächtnis dabei jedoch auch voraus, da für einen Lernvorgang vergangenes (Hebeldrücken) mit gegenwärtigem (Verstärkung) verbunden werden muss. Evolutionsbiologisch gesehen ist also die Funktion des Gedächtnisses darin zu sehen, die Antizipationen des Zukünftigen zu ermöglichen, um sein eigenes Verhalten danach zu richten.

Für das Lernen benötigt man also eine kurzfristige Bewahrung von ReizWIRKUNGEN, für die Speicherung einen weiteren Mechanismus.

#### **12.1.3. Corticale Plastizität als Grundlage aller Gedächtnisbildung**

Hier sind zwei unterschiedliche Prozesse zu unterscheiden: 1.) Veränderung der Übertragung an Synapsen (LTP, LTD) und 2.) Veränderungen von Morphologie, Anatomie und chemischen Prozessen (Rosenzweig: enriched environment).

#### **12.1.4. Was sind Erinnerungen?**

Es ist sowohl eine lokalisierte als auch verteilte Repräsentation von Gedächtnisinhalten anzunehmen: Bestimmte Hirnareale repräsentieren bestimmte Arten von Informationen (visuelle Informationen z.B. hauptsächlich im Occipitallappen), die Spezifik der Erinnerungen wird jedoch durch dynamische AktivierungsmUSTER hervorgerufen.

Eine Erinnerung ist also ein spezifisches Erregungsmuster in bestimmten Neuronenpopulationen (Metapher: Kaleidoskop). Zustände, die leicht ineinander übergehen repräsentieren zusammenhängende Erinnerungen (Assoziationen).

## **12.2. Das UKZG: Die Wirkung von Reizen über die Dauer ihrer Präsenz hinaus**

Sperling (1959): Bietet man Pbn für 50 ms eine 3x3-Buchstabenmatrix dar, so können sie 4-5 davon erinnern (whole report). Fraglich ist hier jedoch, ob nur die Hälfte gesehen wurde, oder ob alles gesehen, die Hälfte aber wieder vergessen wurde.

Partial report Technik: Nach der Darbietung der Matrix wird nach kurzen, variablem Verzögerungsintervall die Position eines der Buchstaben markiert, welcher von den Pbn wiedergegeben werden soll. Wird die Markierung unmittelbar nach der Präsentation dargeboten, so zeigt sich fast eine 100%ige Erinnerungsrate, überschreitet das Intervall 500 ms, so zeigt sich die bekannte 50%-Wahrscheinlichkeit.

Es werden also alle Reize gesehen und bis zu 500 ms in einem sensorischen Speicher repräsentiert (ikonisches Ultra-Kurz-Zeit-Gedächtnis bzw. sensorischer Informationsspeicher, SIS).

Mit einer vergleichbaren Technik fanden Darwin et al. (1972) auch ein UKZG für akustische Reize (Echo-Gedächtnis), das jedoch 2-4 s anhält.

Die sensorische Speicherung sichert jedoch noch keine längerfristige Reproduzierbarkeit. Hierfür muss die aufgenommene Information konsolidiert werden.

## **12.3. Das KZG: Nachwirkungen von Episoden vor ihrer Konsolidierung**

### **12.3.1. Konsolidierungsforschung bei Tieren und retrograde Amnesie**

In einem typischen Experiment wird zunächst eine bestimmte Verhaltensweise bis zum Erreichen eines Kriteriums gelernt. Danach wird der Lerndurchgang beendet und es folgt nach variabler „Konsolidierungszeit“ ein experimentelles Trauma (Kälteschock u. ä.).

Es zeigt sich: Je kürzer die Konsolidierungsphase (also je früher das Trauma), desto stärker ist die resultierende Amnesie (geringere Testleistung). Umgekehrte Befunde zeigen sich für stimulierende Drogen statt experimentellen Traumata. Insgesamt weisen diese Befunde also auf Konsolidierungsprozesse nach der Reizwirkung hin, die Zeit benötigen, um eine dauerhafte Veränderung der handlungssteuernden Strukturen zu bewirken.

### **12.3.2. Beginn der experimentellen Gedächtnisforschung beim Menschen (Ebbinghaus, 1885)**

Hermann Ebbinghaus (1885) untersuchte das Neu-Einprägen von Informationen und verwendete die Lernersparnis als Gedächtnismaß. Hierzu lernte er Listen von 13 sinnlosen Silben (Konsonant-Vokal-Konsonant-Trigramme), bis er eine Liste völlig korrekt reproduzieren konnte (Kriterium).

Nach einem variablen Zeitintervall ermittelte er die Anzahl von Lerndurchgängen, die er nun benötigte, um die Liste erneut fehlerfrei reproduzieren zu können.

Als Maß für die Gedächtnisleistung verwendete er also die Ersparnis an Lern-durchgängen.

$$E = [(L_1 - L_2) / L_1] \cdot 100$$

Die Abnahme der Ersparnis über der Zeit zeigt also das Vergessen an. Diese Vergessenskurve zeigt sich nicht nur bei verbalen Lerninhalten (Heller et al., 1991: Memory-Konstellationen) und lässt sich durch folgende Gleichung beschreiben (revolutionär!):

$$E = \left[ \frac{k}{k + (\log t / t_0)^c} \right] \quad c = \text{Vergessensrate}$$

### 12.3.3. Gedächtnis als reproduzierbare episodische Erinnerung

In der Folgezeit beschränkte sich die Gedächtnisforschung auf das Erfassen der Reproduktionsleistung (anstelle des Wiederlernaufwandes), wobei zwischen Recall und Recognition unterschieden werden muss.

Damit wurde das Gedächtnis für in der Vergangenheit erlebte Episoden zum zentralen Forschungsgegenstand. Zusätzlich wurden der Einfachheit halber meist alphanummerische Zeichen verwendet, sodass fast ausschließlich episodisches Gedächtnis für verbalisierbare Inhalte untersucht wurde. Die Analyse der eigentlichen Funktion von Gedächtnisleistungen, also der Bewahrung verhaltenssteuernder Strukturen, wurde dadurch verfehlt.

Trotzdem zeigten sich interessante Resultate, die im Folgenden kurz angesprochen werden sollen.

### 12.3.4. Die Begrenztheit der unmittelbaren Behaltensspanne

George Miller (1956) konnte zeigen, dass die „Kapazität“ des KZG  $7 \pm 2$  Einheiten beträgt (KZG als Register mit Steckplätzen). Da die Behaltensspanne häufig mit Ziffern überprüft wurde, wird sie bisweilen auch als digit span bezeichnet. Miller ging davon aus, dass das KZG nur eine begrenzte Anzahl von Informationen verarbeiten kann und bei einer Informationsüberflutung keine Konsolidierung mehr stattfinden kann.

Peterson und Peterson (1959) konnten dies experimentell bestätigen. Sie ließen ihre Probanden eine Folge von drei Konsonanten lernen und nach einem variablen Intervall in Dreierschritten rückwärts zählen (Konzentration verhindert die Beschäftigung mit den gelernten Buchstaben).

Je länger rückwärts gezählt werden muss, desto schlechter ist die Leistung. Interessant ist, dass die Leistung unabhängig davon ist, ob 3 Buchstaben oder 3 Wörter zu erinnern waren – die Größe der Einheiten scheint die Kapazität also nicht zu beeinflussen.

### 12.3.5. Chunking: Die Vergrößerung der KZG-Kapazität

Dieses Phänomen wird als Chunking bezeichnet: Wenn bestimmte Folgen als eine Einheit identifiziert werden, so braucht das Wort TOR genauso viel Kapazität wie der Buchstabe T.

In diesem Zusammenhang berichten Ericsson und Chase (1982) von einem Studenten, der durch Training eine digit span von 80 Ziffern erreichte. Zusätzlich zur Bildung der Chunks muss hierbei jedoch auch das Anlegen eines Retrievalschemas angenommen werden, in dem die Reihenfolge der Chunks gespeichert wird.

### **12.3.6. Das KZG als Flaschenhals der IV**

Dass Informationen ohne Konsolidierung nur kurzzeitig behalten werden, hat zu Modellen geführt, nach denen Reizinformationen eine serielle Abfolge von Speichersystemen durchlaufen:

Input → UKZG → KZG (Verhaltenssteuerung!) ↔ LZG

Ein solches Stufenmodell ist jedoch aus mehreren Gründen unangebracht:

- 1.) Da im KZG identifizierte Einheiten (Chunks) verarbeitet werden, müssen die Reizwirkungen Kontakt mit den Inhalten des LZG haben, BEVOR sie in das KZG aufgenommen werden.
- 2.) Aufgrund von Befunden zur proaktiven Interferenz (Verwendung von ähnlichem Material) ist die Konzeption des KZGs als passiver Speicher mit fester Zerfallsrate äußerst unwahrscheinlich.
- 3.) Da auch bei Auslastung des KZGs durch eine digit span Aufgabe parallel dargebotene Informationen korrekt verarbeitet werden, kann das KZG nicht der Flaschenhals der Informationsverarbeitung sein, an dem ja alle Informationen vorbeigeschleust werden müssten (Baddeley, 1986).

## **12.4. Aktive Prozesse der Konsolidierung: Working statt Short Term Memory**

### **12.4.1. Das Modell von Allan Baddeley**

Die Einschränkungen der Leistung des KZG (Behaltensspanne, schnelles Vergessen) verweisen eher auf Begrenzungen der Konsolidierung, als auf eine limitierte Speicherkapazität. Es sind also vor allem die aktiven Prozesse der Konsolidierung von Interesse.

Das Modell nimmt ein Aufmerksamkeitskontrollsystem, die zentrale Exekutive, und mehrere untergeordnete Sklavensysteme an. Die wichtigsten Sklavensysteme sind dabei das visuo-spatial sketch-pad sowie der phonologische Schleife. Die Tätigkeit der beiden Sklavensysteme führt zu einer besseren Konsolidierung.

### **12.4.2. Konsolidierung durch (verbale) Wiederholung (phonological loop)**

Neben der Alltagserfahrung bzgl. des Nutzens von mehrfacher Wiederholung zu memorierender Inhalte gibt es zahlreiche experimentelle Evidenz:

- Mehr Zeit/Item führt zu besserem Behalten (Konsolidierungsarbeit durch Wiederholen)
- Phonemische Ähnlichkeit verschlechtert auch bei visueller Darbietung die Behaltensleistung.

- Der Wort-Längeneffekt: Man kann sich weniger lange als kurze Worte merken. Dabei können etwa so viele Worte unmittelbar reproduziert werden, wie innerhalb von 2 Sekunden wiederholt werden können.  
Baddeley et al. (1975) boten ihren Pbn Listen mit jeweils 5 Wörtern dar, wobei die Wörter verschiedener Listen sich in ihrer Silbenzahl (1-5) unterschieden. Neben der Anzahl korrekt erinnerter Wörter wurde die Leserate (Wörter/s) ermittelt. Die 5 einsilbigen Wörter wurden mit einer Geschwindigkeit von 2,5 Wörtern/s gelesen und konnten nach 2 s Darbietungszeit auch vollständig erinnert werden.
- Artikulatorische Suppression: Sollen die Pbn während der Darbietung etwas Sinnloses artikulieren (blablabla), verschlechtert sich die Leistung und die Effekte von Wortlänge und phonemischer Ähnlichkeit werden aufgehoben.

Genauso lässt sich die „Erhöhung“ der Behaltensspanne mit dem Alter (Hulme et al., 1984) oder auch die höhere digit span von Chinesen (Gerd Lürer bzw. Chincotta & Underwood, 1997) durch eine Erhöhung der Sprechgeschwindigkeit bzw. kürzere Zahlwörter erklären.

### **12.4.3. Konsolidierung durch anschauliche Vorstellungen (visuo-spatial sketchpad)**

Kirkpatrick (1894): Objekte werden besser reproduziert als ihre Bezeichnungen. Dieser Vorteil vergrößert sich bei längeren Behaltensintervallen. Auch werden Wörter für Anschauliches besser erinnert als abstrakte Bezeichnungen (stärkerer Effekt, wenn die Pbn aufgefordert werden, sich die Objekte vorzustellen).

Die Überlegenheit der Reproduktion von Anschaulichem kann viele Gründe haben, u. a.:

- Doppelkodierung (sprachliche Objektidentifikation erfolgt „automatisch“)
- Bilder können mehr Assoziationen aktivieren
- Bilder integrieren die dargebotenen Informationen besser

Bower (1972) konnte die integrative Kraft von Bildern nachweisen, indem er seine Pbn entweder ein Wortpaar (Paar-Assoziationslernen) als ein Bild vorstellen lies oder als zwei getrennte Bilder. In letzterer Bedingung ging die Behaltensleistung drastisch zurück.

Brooks (1967) konnte zudem zeigen, dass 8 „Instruktionen“ besser behalten werden, wenn sie als anschaulicher Bewegungspfad (Trajektorie) in einer Matrix integrierbar sind.

Die bis hierher geschilderten Befunde sprechen stark für die von Baddeley postulierten Sklavensysteme. Es ist jedoch gleichzeitig klar, dass dies nicht alles sein kann, was hinter der Konsolidierung steht.

### **12.4.4. Konsolidierung durch Handeln: Der TU-Effekt oder SPT (self performed tasks)**

Engelkamp und Krumnacker (1980) bzw. Cohen (1981) konnten zeigen, dass Listen mit kurzen Sätzen wesentlich besser erinnert werden, wenn sich die Pbn nicht nur die Sätze einprägen, sondern die darin beschriebenen Handlungen auch tatsächlich oder pantomimisch ausführen.

Engelkamp (1996) konnte zudem zeigen, dass sich der TU-Effekt in eine Planungs- und eine Ausführungskomponente untergliedern lässt, indem er einen Teil der Probanden informierte, dass sie die beschriebenen Handlungen zu einem späteren Zeitpunkt würden ausführen müssen.

In diesem Zusammenhang ist auch der Generation-Effect zu nennen: Wenn Pbn eine Wortliste selbst produziert haben, zeigen sie eine wesentlich bessere Erinnerungsleistung, als wenn sie Listen lernen, die von anderen Probanden erstellt wurden.

Insgesamt sprechen diese Befunde also für ein neues Sklavensystem, in der Art eines „Moto-Loops“ oder dergleichen.

### **12.4.5. Die Level of Processing Hypothese und Transfer Appropriate Processing**

Die Level of Processing Hypothese von Craik und Lockhart (1972) geht von verschiedenen Verarbeitungsniveaus aus. Für visuell dargebotene Informationen wird eine initiale sensorisch-graphemische Enkodierung postuliert, gefolgt von einer phonemischen Umkodierung und schließlich einer semantischen Identifikation.

Craik und Lockhart (1972) manipulierten die Tiefe der Verarbeitung (Case vs. Rhyme vs. Sentence) in einer Recognition-Aufgabe und konnten zeigen, dass eine „tiefere“ Verarbeitung mit einer besseren Gedächtnisleistung einhergeht.

Obwohl auch unterschiedliche Zeiten auf die Enkodierung des Materials in den verschiedenen Bedingungen verwendet wurden konnte von Craik und Tulving (1975) nach einer Ausparialisierung der Verarbeitungszeit gezeigt werden, dass tatsächlich die Qualität der geforderten Verarbeitung entscheidend war.

Morris et al. (1977) konnten jedoch zeigen, dass eine „flachere“ Verarbeitung durchaus Behaltensvorteile beschert, wenn auch ein entsprechender Test verwendet wird („Auf Reim achten“ → „War in der Liste ein Wort, das sich auf Fisch gereimt hat?“).

Es ist also nicht zwischen verschiedenen Verarbeitungstiefen zu unterscheiden. Gute Erinnerungen finden sich immer dann, wenn in der Testsituation die Merkmale angesprochen werden, die auch in der Lernphase beachtet wurden. Das quantitative Konzept einer Tiefendimension ist also zugunsten einer qualitativen Enkodierspezifität (encoding specificity) aufzugeben.

Werden bei einer Transferaufgabe (Gedächtnistest) die in der Kodierungsphase spezifizierten Merkmale verlangt, spricht man von Transfer Appropriate Processing.

### **12.4.6. Konsolidierung durch emotionale Erregung: Flashbulb Memories (Brown & Kulik, 1977)**

Emotional erregende Ereignisse werden häufig sehr gut und detailliert erinnert. Dabei scheinen nicht nur die Ereignisse selbst, sondern auch damit zusammenhängende aber nebensächliche Informationen fest eingespeichert zu werden.

Diese Ereignisse scheinen wie durch ein Blitzlicht (flashbulb) in das Gedächtnis eingebrannt. Allerdings lassen sich diese Erinnerungen nur schwer über-

prüfen und es ist darüber hinaus nicht klar, ob die verbesserte Erinnerung durch die emotionale Erregung ermöglicht wird oder ob es sich hier nur um eine Variante des von Restorff-Effekts handelt (aus dem Alltag hervorstechende Ereignisse werden besser erinnert; vgl. release of proactive interference).

### **12.4.7. Fazit**

Es werden nicht Reize im Gedächtnis bewahrt, sondern Spuren ihrer Verarbeitung (Working Memory). Die Gedächtnisspur wird somit genau wie die Wahrnehmung nicht durch den Reiz alleine, sondern durch die Interaktion zwischen Reizbedingung und (intendiertem) Handeln bestimmt.

## **12.5. Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Gedächtnisinhalten im LZG**

Ein Inhalt gilt als im LZG gespeichert, wenn die ihn repräsentierenden Aktivationsmuster prinzipiell re-produzierbar sind. Wenn etwas aktuell nicht erinnerbar ist, bedeutet das also nicht, dass es nicht gespeichert ist. Oft sind Gedächtnisinhalte zwar gespeichert (available) aber nicht zugänglich (not accessible).

Dies zeigt sich zum Beispiel, wenn im Alter plötzlich lebendige Kindheitserinnerungen auftauchen, die vorher nicht präsent waren. Dies kann durch den mangelnden Input in späteren Lebensjahren erklärt werden.

### **12.5.1. Feeling of Knowing (FOK)**

Häufig hat man das sichere Gefühl etwas zu wissen, ohne es reproduzieren zu können, bzw. man kann auch häufig sicher angeben, etwas definitiv nicht zu wissen.

Dass FOK tatsächlich auf vorhandenen Gedächtnisinhalten beruht konnte beispielsweise von Baddeley (1997) experimentell nachgewiesen werden. In diesem Experiment sollten Pbn die Hauptstädte verschiedenster Staaten benennen.

Konnten sie die richtige Hauptstadt nicht benennen, sollten sie angeben, ob sie das Gefühl haben, die entsprechende Stadt zu kennen (FOK) oder nicht. Es zeigte sich, dass ein Cue (Anfangsbuchstabe) bei berichtetem FOK weit aus effektiver war, als wenn kein FOK berichtet wurde.

### **12.5.2. Tip of the Tongue (TOT)**

Ein ähnliches Phänomen ist das TOT oder "auf der Zunge liegen": Man weiß, dass man ein Wort kennt, aber es ist einem im Moment nicht möglich, dieses Wort zu erinnern.

Brown und McNeill (1966) provozierten exakt diesen Zustand und fanden neben der Verärgerung der Pbn über diesen „Gedächtnisausfall“, dass man oft Eigenschaften des jeweiligen Wortes (Anfangsbuchstabe, Silbenzahl) überzufällig häufig korrekt angeben kann. Zudem drängen sich sog. ugly sisters (ähnliche aber in diesem Kontext falsche Wörter) auf und das Gesuchte fällt einem später spontan wieder ein, wenn man die Suche schon längst aufgegeben hat.

Eine Erinnerung ist also nichts ganzheitlich Untrennbares, das entweder ganz oder gar nicht erinnerbar ist. Sie besteht vielmehr aus vielen unabhängig voneinander reproduzierbaren Teilen – und offensichtlich bleibt auch die Absicht,

das Gesuchte auszusprechen als unerledigte Handlung unbewusst bestehen, bis sie sich spontan erfüllt.

### **12.5.3. Die Erleichterung der Re-Produktion durch „retrieval cues“**

Hinweisreize helfen häufig, das zunächst nicht-reproduzierbare doch zu reproduzieren. Dabei haben sich die folgenden Hinweisreize als besonders effektiv erwiesen.

#### **1.) Die Wiederholung desselben Ereignisses (Recognition statt Recall)**

Man kann Sachverhalte, die man nicht aktiv reproduzieren kann häufig trotzdem wieder erkennen. Hier scheint die Flüssigkeit der Verarbeitung (fluency) als Indikator für schon einmal erlebtes fungieren.

Erstaunliche Rekognitionsleistungen wurden von Standing et al. (1970) für Bilder berichtet worden: Den Pbn wurden 2560 Farbdias (Urlaubsbilder) für je 10 Sekunden dargeboten und diese konnten noch nach mehreren Tagen in 90% der Fälle das bekannte unter zwei Bildern auswählen.

Werden zueinander wesentlich ähnlichere Fraktale verwendet sinkt die Leistung dramatisch, ist aber immer noch signifikant über Zufallsniveau.

[Recognition failure: Teilweise werden eigentlich reproduzierbare Objekte nicht erkannt, wenn sie in einem veränderten Kontext dargeboten werden, z.B. die Telefonnummer als 461 617].

Im Kontrast zur erstaunlichen Wiedererkennungslleistung nur einmal gesehener Bilder steht die zumeist sehr ungenaue Re-Produktion von tausendfach gesehenen Objekten wie der eigenen Armbanduhr. Offensichtlich unterscheidet das Gehirn sehr sensibel zwischen neuen und bereits erlebten Aktivierungsmustern, ohne die erlebten Muster im Detail eigenständig re-produzieren zu können. Möglicherweise hat die Re-Produktion eine vorherige Produktion zur Voraussetzung.

#### **2.) Hinweise auf Kategorien der zu erinnernden Items**

Tulving und Pearlstone (1966) gaben ihren Pbn eine lange Wortliste vor, wobei nur Worte aus bestimmten Kategorien verwendet wurden. Die spontane Reproduktionsleistung war hierbei relativ gering, wurden jedoch Hinweise auf die verwendeten Kategorien gegeben stieg sie dramatisch an.

George Mandler (1967) konnte zudem zeigen, dass die spontane Bildung von Kategorien beim späteren Abruf behilflich ist.

#### **3.) Situative Kontexte**

Godden und Baddeley (1975) zeigten etwa, dass Taucher Wortlisten, die sie unter Wasser gelernt hatten unter Wasser besser reproduzieren konnten als an Land und umgekehrt.

#### **4.) Der innere Kontext: Mood Congruent Memory**

Gilligan und Bower (1984) konnten zeigen, dass man sich in guter Stimmung besser an positive und in schlechter Stimmung besser an negative Erlebnisse erinnert. Es bleibt jedoch zu Hinterfragen, ob es sich um einen Kongruenzeffekt oder einen Kontexteffekt (in guter Stimmung erinnere ich mich an Ereignisse, die in guter Stimmung erlebt wurden) handelt.

Die Befunde zeigen also, dass bestimmte äußere Anregungen von Aktivationsmustern dazu beitragen, diesen Sachverhalt erinnern zu können (also die entsprechenden Aktivationsmuster zu re-produzieren). Das sind solche Muster, die mit den eigentlichen Erinnerungen

- in einem räumlich-zeitlichen Zusammenhang (Kontext) stehen,
- in einem sachlichen Zusammenhang stehen (Kategorien) oder
- diesen einfach ähnlich sind (Recognition).

Das spricht dafür, dass Muster, die schon einmal in einem Zusammenhang aktiv gewesen sind, die Tendenz haben, sich erneut gegenseitig hervorzurufen.

## **12.6. Episodisches und Prozedurales LZG**

Zusätzlich zu der Unterscheidung nach Speicherdauer und -kapazität ist auch eine Unterscheidung nach gespeicherten Inhalten in deklaratives (explizites) und nicht-deklaratives (implizites) Gedächtnis möglich.

Hinsichtlich der deklarativen Inhalte wird meist zusätzlich zwischen episodischen (autobiographischen) und semantischen Inhalten (Faktenwissen) unterschieden.

Es ist allerdings fraglich, ob es sich hier wirklich um verschiedene Systeme handelt. Dies ist anzunehmen, wenn die Konsolidierung und/oder die Re-Produktion der verschiedenen Inhalte unabhängig voneinander beeinflussbar wären – also z.B. Dissoziationen durch Störungen oder experimentelle Manipulationen.

### **12.6.1. Der Fall des Patienten H.M.**

Trotz anterograder Amnesie nach neurochirurgischem Eingriff konnte H.M. prozedural lernen.

### **12.6.2. Dissoziationen zwischen episodischem Erinnern und Lernen bei Amnesiepatienten**

Auch andere Amnesiepatienten (z.B. Korsakoff-Syndrom) zeigen diese Dissoziation, etwa in einer seriellen Wahlreaktionsaufgabe (Nissen & Bullemer, 1987). Obwohl ihnen die zugrunde liegende Grammatik nicht bewusst wird zeigen sie doch deutliche Anpassungen an die wiederkehrenden Muster der Reizfolge.

### **12.6.3. Das implizite Gedächtnis: Dissoziationen zwischen episodischem Erinnern und Primewirkungen bei Gesunden**

Das implizite Gedächtnis (=Nachwirkungen von zuvor dargebotenen Items auf das Verhalten ohne explizite Erinnerung) kann auch bei Gesunden nachgewiesen werden.

In einem typischen Experiment bearbeiten die Pbn Stimuli (Wörter, Bilder) ohne Lerninstruktion. Später folgt eine implizite Testaufgabe:

- Wortstammergänzung
- Wortfragmente
- Anagramme
- Lexikalische Entscheidungsaufgabe

- Objektfragmente
- Object-decision
- Wortassoziationen
- Kategoriernaufgabe (instance generation)
- Fragen beantworten

Werden zum anfänglichen Stimulusmaterial kongruente Antworten häufiger und/oder schneller gegeben werden als inkongruente, ohne dass sich die Pbn explizit daran erinnern, dass es sich um Elemente der Lernphase handelt, dann wird dieses Priming als Indiz für implizites Gedächtnis, d.h. Gedächtnis ohne Erinnerung gewertet.

Explizites Erinnern (recollective memory) und Priming (implicit memory) sind dabei wahrscheinlich zwei unterschiedliche Gedächtnissysteme. Graf und Mandler (1984) konnten beispielsweise zeigen, dass die Verarbeitungsqualität (sensorisch vs. semantisch) einen differenzierenden Einfluss auf die Testleistung in impliziten und expliziten Tests hat.

#### **12.6.4. Episodische Spuren und Veränderungen verhaltenssteuernder Strukturen**

Auf Basis der geschilderten Dissoziationen liegt es nahe, dass die beiden Gedächtnissysteme auch auf einer unterschiedlichen Art von Spurenbildung beruhen.

Darüber hinaus gibt es neuropsychologische Evidenz, nach der episodisches Gedächtnis vor allem durch kortikale Erregungen hervorgerufen wird, implizites Gedächtnis jedoch von phylogenetisch älteren subkortikalen Strukturen.

#### **12.6.5. Eine Alternative: Gleiche Spuren aber unterschiedliche Zugänge**

Die gefundenen Dissoziationen lassen sich aber auch dahingehend interpretieren, dass beispielsweise bei einer anterograden Amnesie durchaus weiterhin Spuren gebildet werden, der Zugang zu diesen Spuren aber verwehrt bleibt.

Zwischen den beiden Hypothesen könnte entschieden werden, wenn ein Patient mit anterograder Amnesie geheilt werden würde.

Auch die Befunde zu impliziten und expliziten Inhalten könnten durch die Annahme von verschiedenen Zugänglichkeiten der Spuren (Handlungs- vs. Situationskontext) erklärt werden.

### **12.7. Semantisches Wissen: Ein drittes LZG**

Semantische Gedächtnisinhalte (Faktenwissen) scheinen häufig nicht an den Akt des Lernens gebunden zu sein, sodass oft von einem semantischen LZG als dritte Art der Speicherung ausgegangen wird.

Jedoch sind auch abstrakte begriffliche Repräsentationen von sensorischem Format, etwa im Sinne der Erfahrung von Wortbild und -klang. Semantische Repräsentationen sind also nichts anderes als eine spezielle Form des prozeduralen oder impliziten Lernens.

## **12.8. Strukturen im LZG**

Da Menschen eines gewissen Kulturkreises sehr ähnliche Erfahrungen machen ist trotz (oder gerade wegen) der Sichtweise des Empirismus eine einheitliche oder wenigstens vergleichbare Strukturierung des LZGs zu erwarten.

### **12.8.1. Handlungsstrukturen**

Da sich der Aufbau von Wissen durch Abstraktionen aus Handlungserfahrungen ergibt, sollten Handlungen auch den Kern aller Gedächtnisbildung ausmachen (Klix, 1984). An diese werden weitere Sachverhalte (Akteur, Handlung, Rezipient) gebunden, sodass ein Geschehenstyp entsteht.

Hoffmann (1980) konnte diese Annahme bestätigen. Einerseits werden die Worte eines bestimmten Geschehenstyps auch bei unsystematischer Darbietung zusammen wiedergegeben (hierarchische Cluster-Analyse) und zum anderen sind Handlungen notwendig um bei mehreren Lerndurchgängen einen Lerneffekt zu erzielen (integrative Funktion von Handlungen in der Gedächtnisstruktur).

Handlungsschemata oder Geschehenstypen führen auch dazu, dass Information im Gedächtnis ergänzt wird (vgl. Wirkung von Schemata). Genauso werden Handlungen häufig fälschlicherweise erinnert wenn nicht sie selbst, wohl aber Elemente ihres jeweiligen Geschehenstypen gelernt werden.

### **12.8.2. Taxonomische Strukturen**

Nach einer klassischen Untersuchung von Collins und Quillian (1969) wird ein hierarchisch strukturiertes Netz angenommen, in dem auf jeder Ebene immer nur die Merkmale gespeichert sind, die zur Unterscheidung nebengeordneter Begriffe taugen. Die Merkmale höherer Hierarchieebenen sind jedoch transitiv.

Dies führt zu längeren Verifizierungszeiten (RT), je mehr Knotenpunkte in der hierarchischen Ordnung durchlaufen werden müssen. Die Zuordnung von Begriffen zu Oberbegriffen wird danach durch die Aktivierung der zwischen ihnen gespeicherten Verbindung ermöglicht.

Es gibt jedoch auch Ausnahmen:

- Verletzungen der Vorhersagen bzgl. RTs
- Transitivität der Merkmale nicht immer gewährleistet
- Typikalität statt diskrete ja/nein-Zuordnung

Andere Modelle (z.B. Smith et al., 1974) gehen davon aus, dass Begriffe nicht in verbundenen Netzwerken, sondern isoliert gespeichert sind. Zuordnungen vollziehen sich demnach nicht durch die Aktivierung der gespeicherten Verbindungen, sondern durch den Vergleich der jeweils gespeicherten Merkmale.

Insgesamt liegen wahrscheinlich sowohl direkte als auch hierarchische Repräsentationen vor.

### **12.8.3. Topographisches Wissen über die Anordnung von Details bei Objekten oder von Objekten in vertrauten Szenen (Frames)**

Mandler und Mitarbeiter untersuchten die Wirkung von topographischen Invarianten auf die Gedächtnisbildung und -leistung. Dabei zeigte sich, dass selbst

nach langer Behaltensdauer Informationen über Objekttypen sowie über die räumliche Anordnung der Objekte bei organisierten Bildern noch gut, bei unorganisierten Bildern kaum noch erinnert werden konnten.

Äußerst ungewöhnliche Objekte werden im Gegensatz zu Details ebenfalls extrem gut erinnert.

Erfahrungsabhängige Erwartungen hinsichtlich der üblichen Anordnung von Objekten beeinflussen also die Art der Reizverarbeitung, und die Art der Reizverarbeitung bestimmt die resultierenden Änderungen des LZG, sodass sich das Häufige, das Wiederkehrende, verfestigt.

#### **12.8.4. Sequentielles Wissen über die Abfolge von Handlungen und Ereignissen (Scripts)**

Neben räumlichen Anordnungen werden auch invariante zeitliche Abfolgen repräsentiert, wodurch sog. Scripts entstehen.

Dabei werden Berichte in kanonischer Folge besser reproduziert als solche mit untypischer Reihenfolge. Die Pbn haben die Tendenz, untypische Reihenfolgen in der Reproduktion script-typisch zu verfälschen und auch Ereignisse zu ergänzen, die nicht genannt wurden aber script-typisch sind.

Nach einer Untersuchung von Brewer und Tenpenny (1996) werden Sätze die ein Script ergeben besser reproduziert als die gleiche Anzahl unverbundener Sätze. Zudem werden ein und dieselben Sätze besser in der Script-Bedingung reproduziert, aber nur, wenn sie typische Elemente des Scripts enthalten oder script-inkonsistent sind und deshalb Aufmerksamkeit auf sich ziehen. Script-irrelevante Informationen werden dagegen schnell vergessen.

#### **12.8.5. Gedächtnis-Schemata: Feste Strukturen oder Tendenz zur Wiederholung**

In unserem Gedächtnis verdichten sich die Erfahrungen so, dass das, was häufig oder besonders intensiv im Zusammenhang erlebt worden ist, immer stärker die Tendenz gewinnt, sich gegenseitig zu aktivieren (durch Antizipation der folgenden/begleitenden Ereignisse). Tritt jedoch ein nicht erwartetes Ereignis ein, so wird es gerade aufgrund der Nichtübereinstimmung besonders beachtet.

Schemata (Scripts, Frames, Concepts,...) sind also nicht als feste Verbindungen zwischen statischen Gedächtniseintragungen zu sehen, nicht als semantische Netzwerke mit Aktivierungsströmen und auch nicht als fixe Datenstrukturen zur Organisation aktuellen Inputs.

Wir können vielmehr für wahrscheinlich halten, dass unser „Gedächtnis“ überhaupt keine festen Strukturen hat und dass alles, was wir erinnern, im Moment des Erinnerns selbst entsteht und nicht schon zuvor Bestand hatte.