

Uc

# Vorhersage und Erkenntnis

Die Funktion von Antizipationen in der  
menschlichen Verhaltenssteuerung  
und Wahrnehmung

*von*

Joachim Hoffmann



**Hogrefe · Verlag für Psychologie**  
**Göttingen · Bern · Toronto · Seattle**

10 | CP 4000

H 711

*Prof. Dr. Joachim Hoffmann*, geb. 1945. Studium der Psychologie an der Humboldt Universität Berlin, Promotion 1972, Habilitation 1978. 1982 Lehrstuhl für Allgemeine Psychologie an der Humboldt Universität Berlin. Ab 1983 Leitung des neugegründeten Bereichs für Psychologie an der Akademie der Wissenschaften der DDR. Seit 1988 Tätigkeiten an der Freien Universität Berlin, am Max-Planck-Institut für psychologische Forschung in München und an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Heute tätig an der Universität der Bundeswehr München.

Teilbibliothek  
Psychologie 2-4  
BV-Nr. 1780

Teilbibliothek  
Psychologie - ausgeschlossen -

© by Hogrefe · Verlag für Psychologie, Göttingen 1993



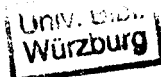
Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung außerhalb der engen Grenzen des Urheberrechtsgesetzes ist ohne Zustimmung des Verlages unzulässig und strafbar. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

---

Druck: Hubert & Co., Göttingen  
Printed in Germany

ISBN 3-8017-0705-9

09hg-609



# INHALT

|                                                                                                    | Seite |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| <b>Vorwort</b>                                                                                     | 11    |
| <b>Teil I</b>                                                                                      |       |
| <b>ANTIZIPATIVE VERHALTENSSTEUERUNG UND ERKENNTNIS</b>                                             | 13    |
| <b>Kapitel 1: Widerspiegelung und Verhaltenssteuerung</b>                                          | 15    |
| Die Umwelt als Informationsquelle                                                                  | 15    |
| Reizverarbeitung als Informationsverarbeitung                                                      | 17    |
| Das Problem der Auswahl einer Nachricht                                                            | 19    |
| Die Verhaltensrelevanz von Informationen                                                           | 20    |
| Verhaltenskontrolle und Widerspiegelung                                                            | 22    |
| <b>Kapitel 2: Der Zusammenhang von Wahrnehmung und Verhalten in der Geschichte der Psychologie</b> | 23    |
| Die Kontrolle willkürlichen Verhaltens                                                             | 23    |
| Wilhelm Wundt und William James                                                                    | 24    |
| Hugo Münsterberg und John Dewey                                                                    | 26    |
| Willkürhandlungen als Mittel der Realisierung antizipierter Reizwirkungen                          | 28    |
| Narziß Ach und die determinierende Tendenz                                                         | 29    |
| Erich von Holst und das Reafferenzprinzip                                                          | 30    |
| Victor von Weizsäcker und der Gestaltkreisansatz                                                   | 32    |
| James J. Gibson und die ökologische Wahrnehmung                                                    | 33    |
| Ulric Neisser und die antizipierenden Schemata                                                     | 34    |
| Wolfgang Prinz und das Konzept verhaltensgeleiteter Erkenntnis                                     | 35    |
| Jean Piaget und die Prozesse der Assimilation und Akkomodation                                     | 36    |
| Resümee                                                                                            | 37    |
| <b>Kapitel 3: Antizipative Verhaltenssteuerung</b>                                                 | 39    |
| Die Bedingungsabhängigkeit von Verhaltenskonsequenzen                                              | 40    |
| Das Bedürfnis nach effektiver Verhaltenskontrolle                                                  | 41    |
| Der lernabhängige Aufbau einer antizipativen Verhaltenssteuerung                                   | 44    |
| Die kontinuierliche "Belehrung" der antizipativen Verhaltenssteuerung durch die Umwelt             | 47    |
| Die "Erkenntnisse" einer antizipativen Verhaltenssteuerung                                         | 48    |
| Die Bewertung von Verhaltenskonsequenzen                                                           | 49    |
| Antizipation und anschauliche Vorstellung                                                          | 49    |

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| Antizipative Verhaltenssteuerung und das "Handeln als ob"               | 50 |
| Antizipative Verhaltenssteuerung und die Repräsentation von Wissen      | 51 |
| Der evolutionäre Selektionswert einer antizipativen Verhaltenssteuerung | 54 |

## **Teil II**

### **KOGNITIVE LEISTUNGEN ALS AUSDRUCK ANTIZIPATIVER VERHALTENSSTEUERUNG** 57

|                                                                            |    |
|----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Kapitel 4: Die Stabilisierung der visuellen Informationsaufnahme</b>    | 59 |
| Die "Störung" retinaler Reizwirkungen durch Eigenbewegungen                | 59 |
| Die Subtraktion der Störung                                                | 60 |
| Das Problem der Verrechnung von Afferenzen und Efferenzen                  | 63 |
| Die Anpassung an verschiedene Formen der Störung                           | 64 |
| Das Erlernen korrelativer Zusammenhänge zwischen Efferenzen und Afferenzen | 66 |
| Die Bedingungsabhängigkeit der Störungsanpassung                           | 67 |
| Resümee                                                                    | 69 |
| Die antizipative Steuerung intendierter Blickbewegungen                    | 70 |
| Offene Probleme                                                            | 72 |

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Kapitel 5: Selektive Reizverarbeitung</b>                                                  | 75 |
| Selektive Wahrnehmung als defizitäre Informationsübertragung                                  | 76 |
| Frühe oder späte Selektion?                                                                   | 77 |
| Die Verteilung von Ressourcen                                                                 | 79 |
| Automatische versus gesteuerte Informationsverarbeitung                                       | 81 |
| Probleme der Ressourcenannahme                                                                | 82 |
| Multiple Ressourcen                                                                           | 83 |
| Resümee                                                                                       | 85 |
| Die Selektion von Reizen für die Verhaltenssteuerung                                          | 85 |
| Das Phänomen des Durchbrechens der Selektion                                                  | 87 |
| Das Phänomen der höheren Effektivität sensorischer gegenüber semantischen Selektionskriterien | 89 |
| Das Phänomen wechselnder Interferenzen bei Doppelaufgaben                                     | 90 |
| Das Phänomen der Ressourcenabhängigkeit von Automatismen                                      | 91 |
| Resümee                                                                                       | 92 |

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| <b>Kapitel 6: Die orts- und objektgebundene Reizselektion</b>  | 95 |
| <b>6.1. Die Spotlightmetapher der visuellen Aufmerksamkeit</b> | 95 |
| Die verdeckte Fokussierung eines Ortes                         | 95 |



|                                                                                           |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Die Differenzierung der Spotlight-Metapher                                                | 96  |
| Die Grenzen der Spotlightmetapher                                                         | 97  |
| Die Funktion der ortsgebundenen Aufmerksamkeit in der Verhaltenssteuerung                 | 99  |
| Weitere Befunde                                                                           | 100 |
| Willkürliche und unwillkürliche Konzentration der visuellen Aufmerksamkeit                | 102 |
| <b>6.2 Die Merkmalsintegrationstheorie</b>                                                | 103 |
| Visuelle Suche und der "pop-out" Effekt                                                   | 104 |
| Annahmen der Merkmalsintegrations-Theorie                                                 | 104 |
| Die experimentellen Daten                                                                 | 105 |
| Die Probleme der MIT                                                                      | 106 |
| Auch "konjunktive Targets" zeigen den pop-out Effekt                                      | 106 |
| Visuelle Suche und antizipative Verhaltenssteuerung                                       | 110 |
| Die Homogenität der Distraktoren und globale "Suchkriterien"                              | 112 |
| Die Abhängigkeit der Effektivität der Suche von Targetantizipationen                      | 113 |
| Die Abhängigkeit der Effektivität der Suche von der intendierten "Verwertung" des Targets | 114 |
| Resümee                                                                                   | 115 |
| <b>6.3. Der Verhaltensbezug der orts- und objektspezifischen Aufmerksamkeit</b>           | 116 |
| <br>                                                                                      |     |
| <b>Kapitel 7: Bildung und Repräsentation von Begriffen</b>                                | 119 |
| <b>7.1. Begriffe als Klassifikationen von Objekten nach ihren Merkmalen</b>               | 119 |
| Begriffsbildung als Abstraktion klassifizierungsrelevanter Merkmale                       | 119 |
| Begriffsbildungsalgorithmen                                                               | 121 |
| Familienähnlichkeit und Typikalität                                                       | 123 |
| Begriffe als Merkmalsmengen                                                               | 125 |
| Begriffe als Prototypen                                                                   | 126 |
| Begriffe als Menge der erlebten Beispiele                                                 | 128 |
| Begriffsbildung in konnektionistischen Netzwerken                                         | 129 |
| Resümee                                                                                   | 132 |
| <b>7.2. Weitere Eigenschaften natürlicher Begriffe</b>                                    | 132 |
| Die Kontextabhängigkeit begrifflicher Identifikationen                                    | 133 |
| Die relationale Verknüpfung von Begriffen                                                 | 135 |
| Begriffstaxonomien und das Phänomen der Basisbegriffe                                     | 138 |
| Die implizite Bildung von Begriffen                                                       | 142 |
| Resümee                                                                                   | 144 |
| <b>7.3. Begriffe und Verhaltenssteuerung</b>                                              | 145 |
| Die funktionale Determination begrifflicher Klassifikationen                              | 145 |
| Antizipative Verhaltenssteuerung und implizite Begriffsbildung                            | 146 |

|                                                                                           |            |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| Antizipative Verhaltenssteuerung und die Bildung der Basisbegriffe                        | 147        |
| Antizipative Verhaltenssteuerung und die partonomische Ordnung der Begriffe               | 148        |
| Antizipative Verhaltenssteuerung und taxonomische Relationen zwischen Begriffen           | 149        |
| Begriffserwerb durch Benennung                                                            | 150        |
| Resümee                                                                                   | 151        |
| <b>Kapitel 8: Die visuelle Identifikation von Objekten und Erscheinungen</b>              | <b>153</b> |
| Drei Phänomene der Objektidentifikation                                                   | 153        |
| <b>8.1. Die (Un)Abhängigkeit der Objektidentifikation von der Betrachtungsperspektive</b> | <b>154</b> |
| 3-D Modelle, kanonische Repräsentationen und mentale Rotation                             | 154        |
| Orientierungs(un)abhängigkeit und Wahrnehmungslernen                                      | 156        |
| Orientierungs(un)abhängigkeit und die "Wahl" objektspezifischer Merkmale                  | 158        |
| Die Abstraktion verhaltenssteuernder Invariante und die Orientierungs(un)abhängigkeit     | 160        |
| <b>8.2. Die Wahrnehmung von Objekten und ihren Teilen</b>                                 | <b>162</b> |
| Die spontane Gliederung der visuellen Welt                                                | 163        |
| Der gestalttheoretische Ansatz                                                            | 164        |
| Die strukturelle Informationstheorie                                                      | 166        |
| Recognition by components                                                                 | 167        |
| Resümee                                                                                   | 171        |
| Die Determination von Teilen eines Objektes durch das Verhalten                           | 171        |
| <b>8.3. Die Ursachen der Effektivität von Basisidentifikationen</b>                       | <b>173</b> |
| Die Dominanz globaler Merkmale                                                            | 173        |
| Die Dominanz globaler Merkmale und Basisbegriffe                                          | 175        |
| Globale Merkmale als verhaltensrelevante Bezugssysteme                                    | 177        |
| Das Modell der Objektidentifikation von Kosslyn und Mitarbeitern                          | 178        |
| Resümee                                                                                   | 180        |
| <b>Kapitel 9: Mechanismen der Verhaltensvorbereitung</b>                                  | <b>183</b> |
| Verhaltensvorbereitung und die Methode der Vorinformation                                 | 183        |
| Die Vorbereitung motorischer Parameter                                                    | 185        |
| Die Schematheorie von R.A. Schmidt                                                        | 189        |
| Die Vorbereitung auf zu erwartende Reaktionssignale                                       | 192        |
| Verhaltensvorsatz und Reizerwartung                                                       | 199        |
| Die Vorbereitung auf zu erwartende Verhaltenskonsequenzen                                 | 201        |
| Schematheorie und antizipative Verhaltenssteuerung                                        | 208        |
| Resümee                                                                                   | 212        |

|                                                                                                                                     |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <b>Kapitel 10: Sequentielle Strukturen und Verhaltensplanung</b>                                                                    | 215 |
| Die Strukturierung von Folgen einfacher motorischer Akte                                                                            | 215 |
| Motorische Programme                                                                                                                | 219 |
| Programme zur Steuerung verbaler Reproduktionen                                                                                     | 223 |
| Der implizite Erwerb sequentieller Strukturen                                                                                       | 228 |
| Die Koordination der Strukturbildung in Reiz-Reaktionsfolgen                                                                        | 233 |
| Modelle sequentieller Strukturbildung                                                                                               | 235 |
| Zur Angemessenheit der Strukturbildungsmodelle                                                                                      | 241 |
| Sequentielle Strukturierung und antizipative Verhaltenssteuerung                                                                    | 242 |
| <br>                                                                                                                                |     |
| <b>Teil III</b>                                                                                                                     |     |
| <b>PROBLEME UND AUSBLICK</b>                                                                                                        | 249 |
| <br>                                                                                                                                |     |
| <b>Kapitel 11: Probleme</b>                                                                                                         | 251 |
| Assoziationen zwischen S-S, S-R und R-K                                                                                             | 251 |
| Die lernabhängige Integration von S, R und K                                                                                        | 252 |
| Das Problem der Berücksichtigung von Ausgangsbedingungen bei der Bildung von S-R-K Einheiten durch antizipative Verhaltenssteuerung | 255 |
| Das Problem der Festlegung der Ausgangssituation                                                                                    | 258 |
| Das Problem der Festlegung von Verhaltenskonsequenzen                                                                               | 260 |
| Das Problem der Festlegung von Verhaltensakten                                                                                      | 262 |
| Das Problem der verhaltensunabhängigen Erkenntnis                                                                                   | 265 |
| Die antizipative Steuerung sprachlichen Verhaltens                                                                                  | 267 |
| <br>                                                                                                                                |     |
| <b>Kapitel 12: Ausblick</b>                                                                                                         | 271 |
| Antizipative Strukturbildung in rekurrenten Netzwerken                                                                              | 273 |
| Die Ausbildung generalisierbarer Strukturen in rekurrenten Netzwerken                                                               | 275 |
| Die Strukturierung von herstellbaren Reizfolgen in rekurrenten Netzwerken                                                           | 277 |
| Erfahrungsunabhängige Erwartungen in Netzwerken oder die Simulation des Einflusses der Aufmerksamkeit auf das Lernen                | 281 |
| Die Simulation von Interaktionen zwischen Verhalten und Antizipationen                                                              | 284 |
| Die Simulation von Prozessen der Verhaltensplanung                                                                                  | 285 |
| Resümee                                                                                                                             | 287 |
| <br>                                                                                                                                |     |
| <b>Literaturverzeichnis</b>                                                                                                         | 289 |
| <b>Sachwortverzeichnis</b>                                                                                                          | 315 |
| <b>Namensverzeichnis</b>                                                                                                            | 321 |



## VORWORT

Die diesem Buch zugrunde liegenden Überlegungen haben ihren Anfang in Diskussionen genommen, die in den Jahren 1986 bis 1988 mit meinen damaligen Mitarbeitern Rosemarie Klein, Udo Grosser, Uwe Kämpf und Michael Zießler immer wieder entstanden. Wir hatten in einer Reihe von Experimenten einige Faktoren isolieren können, die der bevorzugten Nutzung der sogenannten Basisbegriffe bei der Identifikation von Objekten zugrunde liegen. Auf Grund welcher Zusammenhänge die Ausbildung der Basisbegriffe jedoch favorisiert wird, konnten diese Faktoren nicht erklären. Warum, so haben wir gelegentlich die Frage zugespitzt, entstehen überhaupt begriffliche Repräsentationen, wo doch die Umwelt mit ihren Objekten stets präsent ist und deshalb nicht repräsentiert werden muß?

In der Literatur wird die funktionale Äquivalenz von Objekten als Ursache begrifflicher Zusammenfassungen genannt. Wie also, so mußte weiter gefragt werden, kann ein Organismus die funktionale Äquivalenz von Objekten erfahren? Offensichtlich nur dann, wenn er sie in sein Handeln einbezieht. Von diesen anfänglichen Überlegungen ausgehend, hat sich bei mir die Überzeugung gefestigt, daß man Erkenntnisleistungen nur verstehen kann, wenn man ihre Funktion für die Verhaltenssteuerung zum Ausgangspunkt der Analyse macht. Im Buch verweise ich auf Diskussionen dieses Gedankens in der Problemgeschichte der Psychologie, entwerfe, von ihm ausgehend, eine Konzeption verhaltenssteuernder Informationsverarbeitung und versuche, seine Tragfähigkeit in einigen Bereichen der kognitionspsychologischen Forschung zu demonstrieren.

Die Beschäftigung mit dem Thema und auch seine empirische Elaboration ist durch meine Entscheidung unterbrochen worden, im Oktober 1988 die Akademie der Wissenschaften der DDR zu verlassen und nach neuen Arbeitsmöglichkeiten in Westdeutschland zu suchen. Bei der beruflichen und auch sonstigen Neuorientierung haben mir viele Kollegen hilfreich zur Seite gestanden, ganz besonders Paul B. Baltes, Dietrich Dörner, Hubert Feger, Theo Herrmann, Gerd Lüer, Lars-Göran Nilsson, Wolfgang Prinz, Wolfgang Schönplüg und Franz E. Weinert. Ihnen widme ich dieses Buch in Dankbarkeit. Ohne ihre Ermutigung wäre es nicht geschrieben worden.

Jürgen Beckmann, Heiner Deubel, Kurt Kohl und Thomas Stoffer haben Teile des Manuskriptes gelesen und mir wertvolle Hinweise für Korrekturen gegeben, für die ich ihnen herzlich danke. Auch der Max-Planck-Gesellschaft und den Kollegen des Max-Planck-Instituts für Psychologische Forschung in München sage ich Dank. Wesentliche Teile des Buches sind während eines Gastaufenthaltes an diesem Institut geschrieben worden, und ich habe auf vielfache Weise von seiner anregenden Atmosphäre und seinen Einrichtungen profitiert. Angelika Gilbers hat das Manuskript gestaltet und Max Schreder die Zeichnungen angefertigt. Ich danke beiden für die gute Zusammenarbeit. Dem Hogrefe Verlag danke ich für die verlegerische Betreuung. Mein besonderer Dank gilt meiner Frau Thekla und unserer Tochter Maren, die beide einen großen Anteil daran haben, daß das Buch auch über Irritationen hinweg zu Ende gebracht wurde.

München im Dezember 1992  
Joachim Hoffmann



## **Teil I**

# **ANTIZIPATIVE VERHALTENSSTEUERUNG UND ERKENNTNIS**

Alle aktiven Organismen können Eigenschaften ihrer Umwelt erkennen. Dafür steht ihnen keine andere Möglichkeit zur Verfügung, als die Verwertung der von der Umwelt ausgehenden Reize. Nur durch deren Wirkungen können sie Kenntnis davon erhalten, wie die Welt 'da draußen' beschaffen ist. Das ist die traditionelle Sichtweise der Kognitionspsychologie: Organismen, so wird angenommen, entnehmen den Reizen Informationen über ihre Verursachung und fügen sie zu einem Abbild der Umwelt zusammen. Die Prozesse, die dies leisten, werden kognitive Prozesse genannt.

Ich werde behaupten, daß diese Sichtweise irreführend ist. Sie suggeriert, daß der Zweck organismischer Reizverarbeitung im Aufbau eines möglichst korrekten Abbildes der Umwelt besteht. Dies ist, denke ich, falsch. Die Biologie kennt letztlich allein den Zweck der Selbsterhaltung. Reizverarbeitung dient nicht der Erkenntnis, sondern dem Überleben. Organismen verarbeiten Reize, so die These dieses Buches, um das ihnen mögliche Verhalten für den Erhalt ihrer Existenz und die Befriedigung ihrer Bedürfnisse einzusetzen. Das gelingt ihnen nur dann, wenn sie die Konsequenzen ihres Verhaltens voraussehen können.





## Kapitel 1: Widerspiegelung und Verhaltenssteuerung

### Die Umwelt als Informationsquelle

Gegenstand der kognitiven Psychologie sind die Prozesse, die Organismen und im besonderen den Menschen, in die Lage versetzen, Eigenschaften ihrer Umwelt zu erkennen. Die auch gegenwärtig noch vorherrschende Betrachtung dieser Prozesse ist gegen Ende der fünfziger Jahre durch drei Entwicklungen entscheidend geprägt worden (vgl. Mandler, 1985, Eysenck & Keane, 1990): Erstens, durch die Überlegungen von Claude E. Shannon und Warren Weaver zur mathematischen Beschreibung von Kommunikationsprozessen; zweitens, durch die von Alan M. Turing und John von Neumann vorangetriebene Entwicklung symbolverarbeitender Maschinen und schließlich drittens, durch das Entstehen der Kybernetik, die von Norbert Wiener begründet wurde.

Shannon und Weaver (1949) erarbeiteten ein allgemeines Strukturschema für die Analyse von Kommunikationsprozessen, das in Abbildung 1.1. wiedergegeben ist. Es werden eine Informationsquelle und ein Informationsempfänger unterschieden. Information entsteht durch den Wechsel der Zustände der Informationsquelle, aus denen eine Nachricht *selektiert* wird: "The information source selects a desired message out of a set of possible messages" (S.7). Die Nachricht wird in einem Signal kodiert. Das Signal wird zum Informationsempfänger übertragen, wobei es Störungen ausgesetzt sein kann. Auf der Seite des Empfängers besteht die Aufgabe in einer Rekonstruktion der ursprünglichen Nachricht aus dem gegebenen Signal, in einer Dekodierung. Die Übertragung ist perfekt, wenn jedem empfangenen Signal die Nachricht zugeordnet wird, die ihm von der Informationsquelle "mitgegeben" wurde.

Etwa gleichzeitig mit der Entwicklung der Informationstheorie zeichnete sich die Möglichkeit ab, Kodierung und Dekodierung von Informationen als Prozesse der Transformation von Symbolen zu verstehen und in symbolverarbeitenden Maschinen, in Computern, nachzustellen. In seinem berühmten Aufsatz "Computing machinery and intelligence" diskutiert etwa Turing (1950) die These, daß (Rechen)Maschinen denken können (vgl. auch von Neumann, 1958). Norbert Wiener (1948) lieferte mit seinem Buch "Cybernetics" schließlich die Grundlage für die Vergleichbarkeit von Prozessen der Informations- bzw Symbolverarbeitung in lebenden Organismen mit denen, die in Maschinen stattfinden. Der Untertitel seines programmatischen Buches lautete:

"Steuerung und Kommunikation in Lebewesen und Maschine". Vor diesem Hintergrund mußte es möglich erscheinen, die Erkenntnisleistungen des Menschen zu erkennen und

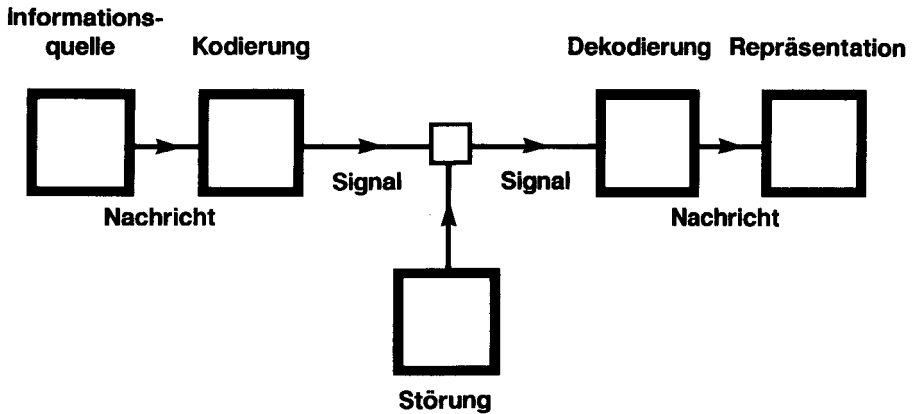


Abbildung 1.1.: Allgemeines Schema der Informationsübertragung nach Shannon und Weaver (1949).

in Computern nachzubilden (z.B. Newell, Shaw & Simon, 1958; Newell & Simon, 1961). Es eröffnete sich die viele von uns auch noch heute faszinierende Perspektive, daß es, wie es Klix (1971, S.20) formuliert hat: "...der menschlichen Erkenntnistätigkeit möglich wird, hinter die Gesetze ihres eigenen Ursprungs, ihrer Wirkungsweise und ihrer Leistungsfähigkeit zu kommen".

Shannon und Weaver hatten bei der Entwicklung der Informationstheorie in erster Linie an die Kommunikation zwischen aktiven Systemen gedacht, etwa an ein Telefongespräch, wo der Sprecher die Informationsquelle und der Hörer der Informationsempfänger ist. Die Äußerungen des Sprechers bilden die zu übertragenden Nachrichten. Sie werden in ein elektrisches Signal verwandelt und als Impulsmuster übertragen. Während der Übertragung kann es zu (leider manchmal erheblichen) Störungen kommen. Auf der Seite des Empfängers muß dann aus dem gestörten Signal die ursprüngliche Nachricht rekonstruiert werden. Die Informationsübertragung ist perfekt, wenn diese Rekonstruktion vollständig gelingt.

Überträgt man diese Vorstellungen auf organismische Erkenntnisprozesse, dann erscheinen als Informationsquelle die Umwelt und als Informationsempfänger die erkennenden Organismen. In der Umwelt entsteht Information durch die Vielfalt und den Wechsel der dort herrschenden Zustände. Diese Information gilt es, den Organismen zu übertragen. Die Übertragung wird auch hier durch physikalische Prozesse wie etwa Schall- oder Lichtwellen gewährleistet, die durch die Zustände der Umwelt (die Nachrichten) in spezifischer Weise geprägt werden und damit zu Signalen im Sinne von Nachrichtenträgern werden. Die Organismen sind auf der anderen Seite

für die Signale empfindlich. Sie wirken hier als Reize, die nervale Prozesse anregen und damit zu wiederum spezifischen inneren Zuständen des Empfängers führen. Während der Übertragung sind die Signale vielfältigsten Einflüssen ausgesetzt, die die Übermittlung der Nachrichten stören können (z.B. Bischof, 1966; Klix, 1971). Die Informationsübertragung gilt als vollständig, wenn zwischen den Zuständen, die in der Umwelt gegeben sind und den inneren Zuständen, die ein Organismus in Abhängigkeit von den Reizwirkungen annimmt, eine eindeutige Abbildung hergestellt wird, wenn also jeder zu unterscheidende Zustand der Umwelt einem spezifischen Zustand des Organismus zugeordnet wird.

Wenn man in diesem Sinne kognitive Prozesse als Prozesse der Informationsübertragung betrachtet, ergeben sich zwei grundsätzliche Probleme, die man als das Repräsentationsproblem und das Übertragungsproblem bezeichnen kann. Das *Repräsentationsproblem* bezieht sich auf die innerorganismischen Zustände, in denen die Gegebenheiten der Umwelt abgebildet werden. Es ist unmittelbar einsichtig, daß ein Organismus nur solche Zustände der Umwelt unterscheiden kann, die auf unterschiedliche eigene Zustände abgebildet sind und daß er nur solche Zusammenhänge zwischen Zuständen der Umwelt "erkennt", denen Zusammenhänge zwischen eigenen Zuständen entsprechen. Man kann auch sagen, daß die der Informationsaufnahme dienenden Zustände des Empfängers und die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen ein Modell der Umwelt und ihrer Veränderungen darstellen, das den dort herrschenden Verhältnissen mehr oder weniger gut entsprechen kann.

Das *Übertragungsproblem* bezieht sich auf die Realisierung der Zuordnungen zwischen den Zuständen der Umwelt und denen des Empfängers, auf die Frage also, wie es gewährleistet wird, daß trotz vielfältiger Störungen gleiche Zustände der Umwelt zuverlässig zu immer gleichen Zuständen beim Empfänger führen. Die kognitive Psychologie bemüht sich hauptsächlich um die Lösung dieser beiden Probleme. Es handelt sich bei den von ihr verfolgten Fragen fast immer um solche nach der Herausbildung und der Art von Repräsentationen der Umwelt und nach den Mechanismen ihrer Aktivierung durch die ihnen entsprechenden Gegebenheiten.

### **Reizverarbeitung als Informationsverarbeitung**

Die Betrachtung von Erkenntnisprozessen als solche der Informationsübertragung läßt uns ihren Zweck in einer möglichst vollständigen und zuverlässigen Widerspiegelung von Eigenschaften der Umwelt vermuten. Je vollständiger und zuverlässiger die Widerspiegelung ist, desto besser erfüllen die Erkenntnisprozesse ihre Aufgabe. Sie haben zu gewährleisten, daß die Struktur derjenigen inneren Zustände, die der

Informationsaufnahme dienen, den Strukturen der Umwelt möglichst weitgehend entsprechen, und sie haben dafür Sorge zu tragen, daß mögliche Störungen bei der Informationsübertragung vermieden oder kompensiert werden.

Organismische Erkenntnisprozesse können erst dann in die Informationsübertragung eingreifen, wenn die von der Umwelt veranlaßten Reize auf den Organismus einzuwirken beginnen. Die Aufgabe der Erkenntnisprozesse besteht danach darin, die Reizwirkungen jeweils so zu verarbeiten, daß diejenigen inneren Zustände entstehen, die ihrem Ursprung entsprechen. In Übereinstimmung mit dieser Überlegung formuliert Ulric Neisser (1967; S.4) in seinem Buch, das der Kognitiven Psychologie den Namen gegeben hat: "... the term *cognition* refers to all the processes by which the sensory input is transformed, reduced, elaborated, stored, recovered, and used."

Das diesen Überlegungen entsprechende Rahmenmodell für die Analyse kognitiver Prozesse veranschaulicht Neisser (1976) neun Jahre später, in einer allerdings bereits karikierenden Absicht, in der Abbildung 1.2. Im hier verwendeten Beispiel der visuellen Wahrnehmung bilden die Reizwirkungen auf der Netzhaut den Ausgangspunkt der Verarbeitungsprozesse. Das "Bewußtsein" umfaßt auf der anderen Seite die Gesamtheit der inneren Zustände, die der Abbildung von Umweltgegebenheiten dienen. Zwischen dem Netzhautbild und dem Bewußtsein vermitteln Prozesse, die unter Verwendung von gespeicherten Informationen dafür Sorge tragen, daß die Reize zur Wahrnehmung der sie verursachenden Gegebenheiten führen. Das Ziel der Verarbeitung ist die Erzeugung einer adäquaten Abbildung der Umwelt im Bewußtsein des wahrnehmenden Organismus auf der Grundlage der in den Reizen enthaltenen Informationen. Nach diesem Bild besteht die Aufgabe kognitionspsychologischer Forschung darin, die Arbeitsweise der einzelnen Verarbeitungsmechanismen zu analysieren und ihr Zusammenwirken zu beschreiben.

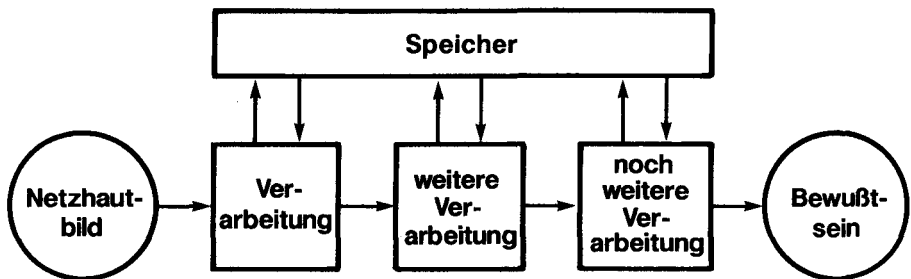


Abbildung 1.2.: Modell der menschlichen Informationsverarbeitung am Beispiel der visuellen Wahrnehmung (aus Neisser, 1976)

## Das Problem der Auswahl einer Nachricht

Das in Abbildung 1.2 dargestellte Rahmenmodell betont sehr eindringlich die Tatsache, daß Organismen auf keine andere Weise über ihre Umwelt informiert werden, als eben über die von ihr veranlassten Reizwirkungen. Und es kann m.E. gar kein Zweifel daran bestehen, daß eine Grundeigenschaft organismischer Erkenntnis in der Tat darin besteht, Reize hinsichtlich der in ihnen enthaltenen Informationen über die Umwelt zu verarbeiten, daß also Reizverarbeitung im Sinne von Informationsverarbeitung realisiert wird. Ein anderes, ebenso grundsätzliches Problem wird im Rahmen dieser Überlegungen allerdings nicht thematisiert. Es ist das Problem der Auswahl von Nachrichten.

Shannon und Weaver (1949) sind in ihren Überlegungen davon ausgegangen, daß es die Informationsquelle ist, die eine Nachricht auswählt. Die Mechanismen, nach denen dies geschieht, waren für die Betrachtung der Zuverlässigkeit der Informationsübertragung allerdings ohne Belang und blieben deshalb unerörtert. Im Kontext von Erkenntnisprozessen aber erhält das Problem der Auswahl der Nachrichten grundsätzliche Bedeutung. Die Umwelt ermöglicht un abzählbar viele Unterscheidungen von Zuständen, Eigenschaften und Zusammenhängen, die alle gleichermaßen potentielle Nachrichten sind. Von dieser gewaltigen Menge potentieller Informationen wird immer nur ein geringer Teil tatsächlich erkenntniswirksam. Wodurch wird aber bestimmt, welche Zustände oder Eigenschaften für welche Organismen Nachrichten im Sinne der Informationsübertragung sind?

Für die Verhaltenswissenschaften ist es eine Selbstverständlichkeit, daß sich die "Nachrichten", die Organismen der jeweils gleichen Umwelt entnehmen, drastisch voneinander unterscheiden (vgl. z.B. Tinbergen, 1952; Lorenz, 1973). Von Uexküll (1921) hat in diesem Sinne von unterschiedlichen "Merkwelten" gesprochen. Was ein Organismus wahrnehmen kann, wird allein schon durch die Leistungsfähigkeit seiner Sinnessysteme begrenzt. Es können jeweils nur solche Gegebenheiten wahrgenommen werden, die zu Reizwirkungen führen, für die der Organismus auch sensibel ist. Hier gibt es bekanntermaßen deutliche Unterschiede: Druckschwankungen der Luft führen etwa beim Menschen nur bis zu einer Frequenz von etwa 20 kHz zu unterscheidbaren Reizwirkungen. Beim Hund liegt die obere Hörgrenze bei 80 bis 100 KHz und die Fledermaus reagiert noch auf Ultraschallreize von 175 KHz. Was für die Fledermaus also erkennbare Geräuschquelle ist, ist für Hund und Mensch schon nicht mehr existent.

Schmidt (1970) hat in diesem Sinne von *habituellen Umwelten* gesprochen und darunter jeweils diejenigen Ausschnitte der Umgebung eines Organismus verstanden, die aufgrund seiner Sinnesausstattung prinzipiell wahrnehmbar sind. Darüber hinausgehend hat insbesondere die Instinktforschung deutlich gemacht, daß selbst innerhalb habituellen Umwelten die Sensibilität der Organismen sehr unterschiedlich

ausgeprägt ist. So ist bspw. das Gehör der Fledermaus in besonderer Weise für Töne zwischen etwa 50 bis 80 Khz sensibel, das visuelle System des Frosches spricht besonders auf kleine dunkle Punkte mit Eigenbewegung an (Grüsser & Grüsser-Cornehls, 1968) und Stichlingsmännchen reagieren in der Laichzeit besonders sensibel auf die Farbe Rot (Tinbergen, 1952).

Es kann also kein Zweifel daran geben, daß Organismen für bestimmte Reizwirkungen in jeweils ganz besonderer Weise empfänglich sind, während sie andere mehr oder weniger ignorieren. Warum ist dies so? Wodurch wird bestimmt, welche Reizwirkungen besonders zuverlässig zu verarbeiten und welche zu vernachlässigen sind. Betrachtet man Erkenntnis als Resultat einer möglichst zuverlässigen Informationsübertragung, können auf Fragen dieser Art nur schwer Antworten gefunden werden. Wenn der Zweck der Reizverarbeitung darin gesehen wird, Gegebenheiten der Umwelt möglichst vollständig in inneren Zuständen des Organismus abzubilden, dann kann nicht begründet werden, warum dieser Zweck immer nur teilweise und für unterschiedliche Gegebenheiten in unterschiedlicher Qualität erfüllt wird. Organismische Erkenntnis sollte vielmehr stets eine möglichst vollständige Abbildung anstreben, und jede noch nicht erkannte Eigenschaft sollte Anreiz zu einer Verbesserung der Informationsverarbeitung sein. Man sollte also erwarten können, daß die Evolution zu immer vollständigeren Erkenntnisleistungen führt.

### **Die Verhaltensrelevanz von Informationen**

Es ist offensichtlich, daß die Evolution nicht zu immer vollkommeneren Erkenntnisleistungen führt. Die Hörschwelle der Hunde hat sich nicht der Fledermäuse angenähert, und auch die Frösche haben ihre visuelle Sensibilität nicht auf andere Reize erweitert. Dafür gibt es auch keine Gründe: Organismen müssen die Eigenschaften ihrer Umwelt ja stets nur insoweit erkennen, wie es für eine erfolgreiche Ausführung der ihnen möglichen Verhaltensweisen notwendig ist. Ihre Erkenntnisleistungen müssen lediglich den Erfordernissen ihrer Verhaltenssteuerung entsprechen. Konrad Lorenz (1973) beschreibt bspw. eine sehr einfache Abstimmung von Verhaltens- und Erkenntnismöglichkeiten am Beispiel der Kinesis primitiver Organismen, deren Verhaltensmöglichkeiten sich zwischen Beschleunigung und Verlangsamung der Eigenbewegung erschöpfen. Diesen Verhaltensalternativen entspricht eine Sensibilität für die Kohlensäurekonzentration des umgebenden Mediums, die Information über deren Nährstoffgehalt enthält: "Was der Organismus über die Außenwelt erfährt, läßt sich in die einfachen Worte kleiden 'Hier ist es besser' oder 'Hier ist es weniger gut'. Die

Konsequenzen, die er aus diesem Wissen zieht, sind nicht weniger einfach: 'Hier laß uns ein wenig weilen' oder 'Von hier laß uns forteilen'" (Lorenz, 1973, S.74). Die Erkenntnisse dieser "Urtierchen" entsprechen also exakt den Notwendigkeiten der von ihnen zu treffenden Verhaltensentscheidungen. Darüber hinausgehende Erkenntnisse sind bedeutungslos und werden nicht vermittelt.

In vergleichbarer Weise sind Fledermäuse besonders für diejenigen Frequenzen sensibel, mit denen sie ihre Beute orten (50-80 Khz), Frösche sind für diejenigen Reize besonders empfänglich (kleine dunkle Punkte mit Eigenbewegung), die ein Insekt in Reichweite ihrer Zunge als mögliche Beute signalisieren, und Stichlingsmännchen reagieren in der Laichzeit besonders auf die rote Farbe, weil in dieser Zeit die konkurrierenden Männchen eine rötliche Bauchfärbung zeigen. In vielen Fällen ist mit den Reizwirkungen die Ausführung eines bestimmten Verhaltens unmittelbar verbunden. Tinbergen (1952) spricht von *Schlüsselreizen*, und er versteht darunter Reizkonstellationen, die in der Lage sind, das jeweils in Bereitschaft stehende Verhalten unmittelbar auszulösen, weil sie Gegebenheiten signalisieren, die unter den gewöhnlichen Lebensumständen des Tieres seinen Erfolg oder doch wenigstens seine Angemessenheit garantieren.

In immer wieder neuen Beispielen ist stets das gleiche gezeigt worden: Organismen besitzen eine besondere Empfänglichkeit für diejenigen Reizwirkungen, die Informationen über verhaltensrelevante Gegebenheiten enthalten. Was für einen Organismus also eine Nachricht ist, wird durch ihren Bezug zu seinen Verhaltensmöglichkeiten bestimmt. Nur Informationen über diejenigen Umgebungseigenschaften sind eine Nachricht, auf die der Organismus in spezifischer Weise reagieren kann und reagieren muß, wenn seine Aktionen Erfolg haben sollen.

Nach dem Konzept der Informationsübertragung erzeugt die Informationsquelle eine Nachricht, indem sie einen ihrer möglichen Zustände auswählt. Diese Betrachtung ist angemessen, wenn man dabei an die Kommunikation zwischen aktiven Partnern denkt. Betrachtet man dagegen die Umwelt als Informationsquelle und Organismen als Informationsempfänger, dann muß die Feststellung, daß es die Informationsquelle ist, die die Nachrichten erzeugt, in Zweifel gezogen werden. Nach den eben diskutierten Zusammenhängen wird das, was für einen Organismus eine Nachricht ist, in gleicher Weise durch die Gegebenheiten wie durch seine Verhaltensmöglichkeiten bestimmt. Um die Gegensätzlichkeit der Betrachtungsweisen noch deutlicher zu machen: Nicht die Umwelt, sondern der erkennende Organismus erzeugt die Nachrichten, indem er diejenigen Gegebenheiten als Objekte der Erkenntnis auswählt, die für eine erfolgreiche Kontrolle seines Verhaltens unterschieden werden müssen.

## **Verhaltenskontrolle und Widerspiegelung**

Im Vergleich zur traditionellen Auffassung der Kognitionspsychologie bringt der vorangegangene Satz nicht nur eine etwas veränderte Betrachtung organismischer Erkenntnisprozesse zum Ausdruck, sondern eine grundsätzlich andere Definition ihres Inhalts. Es interessiert nun weniger, wie die Mechanismen beschaffen sind, die der Dekodierung der in den Reizen enthaltenen Informationen dienen. Es interessiert vielmehr, wie ein Organismus die für seine Verhaltenskontrolle notwendigen Unterscheidungen erlernt. Die Bedeutung eines Reizes ist nicht länger durch die Gegebenheiten bestimmt, auf die er in der Umwelt verweist, sondern durch den Verhaltensakt, den er spezifiziert und der die Gegebenheiten, auf die er verweist, erst zur Nachricht macht. Die Identifikation der Bedeutung eines Reizes erscheint nun auch nicht mehr als Voraussetzung für eine angemessene Reaktion auf ihn. Es ist vielmehr umgekehrt die Einbeziehung des Reizes in die Aktionen des Organismus, die seine Identität bestimmt. Unsere Überlegungen führen zu der grundsätzlichen Feststellung, daß die der Erkenntnis zugrunde liegenden Prozesse nicht einer adäquaten Widerspiegelung dienen, sondern einer erfolgreichen Steuerung des Verhaltens. Nur indem sie diesen Zweck erfüllen, vermitteln sie Erkenntnisse über Eigenschaften der Umwelt.

Wenn diese Überlegungen richtig sind, dann sind kognitive Prozesse stets an die Verhaltenssteuerung gebunden und können letztlich nur in diesem Zusammenhang verstanden werden. Die Wahrnehmung, die Identifikation von Objekten, die selektive Aufmerksamkeit oder die Begriffsbildung sind dann nicht als eigenständige Erkenntnisleistungen zu betrachten. Erkenntnisse vermitteln sie nur in den für sie relevanten Verhaltensbezügen. Um also kognitive Leistungen zu verstehen, so die These, ist ihr Beitrag für die Effektivierung der Verhaltenssteuerung herauszuarbeiten.

In der Mehrzahl der vorliegenden Analysen kognitiver Prozesse wird allerdings ihr hier behaupteter Verhaltensbezug kaum thematisiert. Es wird zumeist von der anfangs skizzierten Auffassung ausgegangen, nach der die Funktion kognitiver Prozesse im Aufbau eines adäquaten Umweltmodells besteht. Im vorliegenden Buch soll nun gezeigt werden, daß die so orientierte Kognitionsforschung zu Beobachtungen geführt hat, die im Rahmen des ihr zugrunde liegenden Paradigmas widersprüchlich erscheinen. Es soll weiter gezeigt werden, daß solche Widersprüche aufgehoben werden können, wenn kognitive Leistungen unter dem Gesichtspunkt ihres Beitrages zur Verhaltenssteuerung betrachtet werden. Bevor wir jedoch mit dieser Diskussion beginnen, sollen zwei Dinge geleistet werden. Ich will zunächst Überlegungen zum Zusammenhang von Erkenntnis und Verhaltenssteuerung aus der Geschichte der Psychologie in Erinnerung rufen. Ich werde versuchen, das Gemeinsame in diesen Überlegungen herauszuarbeiten, um dann den eigenen Ansatz der antizipativen Verhaltenssteuerung aus ihnen abzuleiten.



## Kapitel 2: Der Zusammenhang von Wahrnehmung und Verhalten in der Geschichte der Psychologie

### Die Kontrolle willkürlichen Verhaltens

Der Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Verhalten war zu Beginn der Entwicklung unseres Fachgebietes ein zentrales Thema (vgl. Neumann & Prinz, 1990). Damals waren die wissenschaftlichen Diskussionen auch weniger als heute durch die Suche nach Erklärungen für isolierte experimentelle Beobachtungen bestimmt, als vielmehr durch das Bemühen, die Zusammenhänge zu erkennen, die das unter natürlichen Bedingungen beobachtbare Verhalten hervorbringen. Die Frage nach der Steuerung des Verhaltens durch Wahrnehmungen ist dabei so offensichtlich, daß man nicht umhin konnte, über die Art dieses Zusammenhanges nachzudenken.

Wir wollen unsere Betrachtungen auf Überlegungen beschränken, die zur Steuerung und Kontrolle willkürlicher Verhaltensakte angestellt worden sind, also zu der Frage, welche Mechanismen es gewährleisten, daß etwa die Absicht, eine Tasse zu ergreifen, um aus ihr zu trinken, zu eben den Bewegungen führt, die die Absicht in die Tat umsetzen. Jede auch noch so sorgfältige Selbstbeobachtung der Verhaltensaufführung ergibt, daß sie von keinerlei Reflexionen über die Wahl der zu innervierenden Muskeln, über die Stärke der zu realisierenden Kräfte oder über die zeitliche Dynamik der auszuführenden Bewegungen begleitet wird. Und doch müssen alle diese Festlegungen mit Notwendigkeit getroffen werden, damit sich die Hand zur Tasse bewegt, der Henkel ergriffen, die Tasse zum Munde geführt und dann geneigt wird.

Hermann Lotze hat bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts auf dieses Phänomen der willentlichen Steuerung von zielgerichteten Bewegungen ohne erkennbare Kontrolle der Ausführungsorgane eindringlich hingewiesen:

"Wir sehen ein, dass wir zwar wollen können, aber nicht selbst vollbringen, dass vielmehr an unsern Willen und an andere Zustände unserer Seele ein von unserm Willen völlig unabhängiger Naturlauf mit mechanischer Nothwendigkeit Veränderungen unseres Körpers geknüpft hat, aus denen sich Bewegungen der Glieder in bestimmten Grössen und Richtungen ohne weiteres Zuthun entwickeln müssen. Uns selbst steht nichts zu, als jene psychischen Zustände in uns zu erzeugen, die diesen physischen Processen als *Ausgangspunkte* dienen, und von denen aus sie nach Gesetzen und durch Vermittlungen, welche sämtlich unserm Bewusstsein entgehen, in Uebereinstimmung mit unsern Zwecken abrollen" (Lotze, 1852, S.288).

Die Steuerung eines willkürlichen Verhaltensaktes wird nach der Selbstbeobachtung also durch die Erzeugung psychischer Zustände realisiert, an die die Motorik nach festen Gesetzen gebunden ist. Die Aufgabe psychologischer Forschung bestand (und besteht) darin, diese veranlassenden Zustände zu differenzieren und die Gesetzmäßigkeiten ihrer Entstehung und ihrer Wirkung auf die Motorik zu begreifen. Wir werden sehen, daß es weitgehende Übereinstimmungen in den Auffassungen über die Eigenschaften dieser verhaltenssteuernden Zustände gab.

### **Wilhelm Wundt und William James**

Wilhelm Wundt sah in den "Affekten" die Zustände, die Willkürhandlungen veranlassen. Er verstand darunter herausgehobene Konfigurationen von Gefühlen und Vorstellungen mit eigener zeitlicher Dynamik und begleitenden "pantomimischen Bewegungen". Eine Willkürhandlung wird als ein Vorgang beschrieben, in dessen Verlauf sich von mehreren Affekten einer als dominierend erweist und damit zur bestimmenden Handlungsmotivation wird. Mit der Handlungsausführung verändern sich Vorstellungs- und Gefühlsinhalte des dominierenden Affektes und er kommt zum Abschluß (Wundt, 1907, S.219ff). Als das wesentliche Moment von Willkürhandlungen werden also Veränderungen von Vorstellungs- und Gefühlsinhalten angesehen, die mit einem spezifischen Affekt beginnen und mit der Auflösung desselben enden. An anderer Stelle bekräftigt Wundt diese Überlegungen, wenn er schreibt:... "dass die äußere Willenshandlung ihrem ursprünglichen Wesen nach nichts anderes ist als eine spezielle Form der Apperception", d.h. der Hervorhebung von Vorstellungen im Bewußtsein, insbesondere von solchen, "die sich auf den eigenen Körper des handelnden Wesens beziehen" (Wundt, 1893, S.568). Die die Handlung realisierenden Bewegungen sind dagegen von zweitrangiger Bedeutung. Wundt erkennt etwa ausdrücklich auch innere Willenshandlungen an, die sich ohne jede körperliche Bewegung vollziehen. Für äußere Willenshandlungen allerdings, schreibt er den Bewegungen eine besondere Funktion zu:

"Ein Willensvorgang, der in eine äußere Willenshandlung übergeht, ließe sich hiernach definieren als ein Affekt, der mit einer pantomimischen Bewegung abschließt, die ... die besondere Bedeutung hat, daß sie *äußere Wirkungen hervorbringt, die den Affekt selbst aufheben* (Wundt, 1907, S.220).

Die mit den äußeren Willenshandlungen verbundenen Wirkungen beschreibt Wundt etwas später als Gefühl der Tätigkeit:

"Als Totalgefühl ist das Tätigkeitsgefühl ein ... Vorgang, der sich über den gesamten Verlauf der Handlung erstreckt und mit dem Ende derselben in die sehr mannigfaltigen Gefühle der Erfüllung, Befriedigung, Enttäuschung u. dgl., sowie in die verschiedenen Gefühle und Affekte übergeht, die an die besonderen Erfolge der Handlung geknüpft sind" (Wundt, 1907, S.227).

Ein willkürlicher Verhaltensakt wird nach diesen Überlegungen durch eine spezifische Konfiguration von Gefühlen und Vorstellungen (einen Affekt) ausgelöst. Seine Ausführung führt zu Reizwirkungen, die ihrerseits neue Affekte, Tätigkeitsgefühle hervorbringen, in denen der veranlassende Affekt aufgehoben wird. Daß Wundt die den Verhaltensakt auslösenden Affekte auch durch Reizwirkungen hervorruft, wird allein schon aus der Tatsache deutlich, dass er zur Untersuchung von Willensvorgängen Wahlreaktionsanforderungen verwendet, "wo der Sinneseindruck als einfaches Motiv benutzt wird, dem eine bestimmte Handlung eindeutig zugeordnet ist". Aber, es ist niemals der Reiz, den Wundt als Veranlasser der Handlung sieht, sondern stets der Willensvorgang als eine, "der Einwirkung des Sinnesreizes vorausgehenden *Vorbereitung* der Handlung" (vgl. Wundt, 1907, S.236/237). An anderer Stelle präzisiert er, daß sich die einer Willenshandlung vorausgehende Vorstellung "auf den *Effekt* der auszuführenden Bewegung zu beschränken pflegt, womit dann unmittelbar die an die wirkliche Bewegung geknüpften Bewegungsempfindungen associirt werden" (Wundt, 1893, S.571).

Für William James (1881/1890) sind die an die Bewegungen geknüpften Empfindungen die alleinige Grundlage für ihre willentliche Ausführung. Bewegungen, so seine Argumentation, können zunächst immer nur unwillkürlich ausgeführt werden. Bei ihrer ersten Ausführung hinterlassen sie eine Gedächtnisspur der dabei erlebten sensorischen Effekte. Erst wenn dies der Fall gewesen ist, können sie willkürlich aktiviert werden, um eben diese Effekte erneut und diesmal gezielt hervorzubringen;

"When a particular movement, having once occurred in a random, reflex, or involuntary way, has left an image of itself in the memory, then the movement can be desired again, proposed as an end, and deliberately willed. But it is impossible to see how it could be willed before" (James, 1881/1890, S.1099).

Die Bewegung wird, wie James annimmt, durch die Antizipation der mit ihr verbundenen sensorischen Effekte initiiert. Zur Unterstützung dieser These verweist er u.a. darauf, daß mit dem Verlust der Wahrnehmung von Verhaltenskonsequenzen, etwa schon bei einer "eingeschlafenen" Hand, auch die Kontrolle über die Verhaltensausführung verloren geht. Er argumentiert mit der Tatsache, daß wir unmittelbar Überraschung empfinden, wenn die üblichen Konsequenzen einer Handlung einmal nicht eintreffen, wenn etwa ein Apfel dem Druck unserer zugreifenden Hand nachgibt, weil es sich um eine Attrappe aus Schaumstoff handelt. Er verweist auf Beobachtungen, die zeigen, daß sensorische Effekte, die denen eigener Bewegung entsprechen, unmittelbar das Gefühl eben dieser Bewegung hervorzurufen vermögen, wie dies etwa der Fall ist, wenn sich der benachbarte Zug an unserem Abteufenster vorbei bewegt und uns glauben läßt, der eigene Zug hätte sich in Bewegung gesetzt. Diese und andere Überlegungen führen James zu der Überzeugung, daß es keiner anderen Initiierung

einer Willkürbewegung bedarf, als der mentalen Vorwegnahme ihrer sensorischen Effekte:

An anticipatory image, then, of the sensorial consequences of a movement, plus (on certain occasions) the fiat that these consequences shall become actual, is the only psychic state which introspection lets us discern as the forerunner of our voluntary acts (James, 1981/1890, S.1111/1112).

Unter den zu antizipierenden sensorischen Konsequenzen einer Bewegung unterscheidet er "*remote ones, made by the movement on the eye or ear or distant skin, etc., and the resident ones, made on the moving parts themselves, muscles joints, etc.*" (James, 1981/1890, S.1127). Beide Arten von Antizipationen können gleichberechtigt als "mental cue" für die Initiierung Verwendung finden, obwohl er vermutet, daß mit zunehmender Übung die Initiierung immer stärker an die Antizipation ihrer äußeren (remote) Endresultate gebunden wird. Mit dem Hinweis auf interindividuelle Unterschiede in der anschaulichen Vorstellungskraft verweist er zusätzlich auf die Möglichkeit, daß Individuen unterschiedliche sensorische Konsequenzen ihrer Handlungen für deren Kontrolle bevorzugen könnten.

### **Hugo Münsterberg und John Dewey**

Auch Münsterberg (1889) kommt zu der Schlußfolgerung, daß ein willkürlicher Verhaltensakt im wesentlichen durch eine Erinnerungsvorstellung der seine Ausführung früher begleitenden Wahrnehmungen ausgelöst wird. Er schreibt:

"Der einfachste, lediglich auf die Ausführung einer Bewegung gerichtete Willensakt besteht in dem Innervationsgefühl und der auf dasselbe folgenden Wahrnehmung der ausgeführten Bewegung hauptsächlich vermöge des Muskelsinns. Kein aktives Element, keine Kraftregung, nichts schiebt sich psychisch zwischen das Innervationsgefühl und die Bewegungswahrnehmung; eingehende Untersuchung aber beweist, dass jenes Innervationsgefühl nichts anderes ist als die Erinnerungsvorstellung der früher vollzogenen Wahrnehmung, der ganze Vorgang also darin besteht, dass der Wahrnehmung der vollzogenen Bewegung die Erinnerungsvorstellung derselben vorausgeht. In genau derselben Weise besteht bei jeder auf äußere Wirkungen zielenden Willenshandlung der psychische Vorgang darin, dass der Wahrnehmung des erreichten Effektes das Erinnerungsbild desselben vorausgeht, begleitet von Spannungsempfindungen in der Kopfmuskulatur und eingeleitet von jenem Impulsgefühl, das in der Innervationsempfindung der ersten auszuführenden Bewegung besteht. Kurz, unser Wille ist psychisch genau so ein Empfindungskomplex wie die Erscheinungen der sinnlichen Wahrnehmung" (Münsterberg, 1889, S.23/24).

Insbesondere der letzte Satz drückt den engen Zusammenhang aus, den Münsterberg zwischen Wahrnehmung und Verhaltenssteuerung sieht. Reizwirkungen führen nach

seinen Überlegungen zu Empfindungskomplexen, die immer auch die motorischen Elemente enthalten, die reflektorisch oder erfahrungsgemäß mit ihnen verbunden sind. Da andererseits die motorischen Komponenten mit Erinnerungen an die Reizeinwirkungen verbunden sind, die bei ihrer Ausführung gewöhnlich auftreten, sind von motorischen Erfahrungen unabhängige Wahrnehmungen genauso wenig zu denken, wie von Wahrnehmungen unabhängige Verhaltensakte. Beide bedingen einander, so "dass mithin im Flusse unseres Geisteslebens keine deutliche Vorstellung auftaucht, die nicht als mitwirkenden Faktor eine motorische Muskelinnervation enthält" (Münsterberg, 1989, S.138).

Lassen wir mit John Dewey noch einen letzten Autor aus der Zeit um die Jahrhundertwende zu Wort kommen. Ich beziehe mich hier auf einen Artikel, in dem sich Dewey (1896) kritisch mit der Theorie des Reflexbogens auseinandersetzt, die damals (und noch ein halbes Jahrhundert später) als Erklärungsprinzip für die Verbindung von Reizeinwirkungen und Reaktionen weithin anerkannt wurde. Dewey bezweifelt vor allem die Angemessenheit der konzeptionellen Trennung von Reiz und Reaktion. Er erläutert seine Position am Beispiel einer bedingten Fluchtreaktion auf einen Ton.

Nach reflextheoretischer Auffassung löst die Wahrnehmung des Tones (als Hinweis auf eine Bedrohung) die Fluchtreaktion aus. Eine solche Auffassung läßt erstens unberücksichtigt, daß Reize auf Organismen treffen, die zumeist "beschäftigt" sind. Es ist also nicht der Reiz, der den Organismus zu einer Aktivität veranlaßt, sondern es sind vielmehr die Aktivitäten, die einen Kontext für die Reizwirkungen schaffen. Zweitens läßt die Reflextheorie unberücksichtigt, daß die Wahrnehmung selbst ein Verhaltensakt ist, der alle Aktivitäten einschließt, die der Beachtung des Reizes dienen. Schließlich verweist Dewey darauf, daß die Reaktion auf den Reiz nicht nur ein motorischer Akt ist, sondern immer auch Auswirkungen auf die gegebene Reizsituation hat. Die Fluchtreaktion bspw. führt zur Verringerung der Lautstärke des Tones.

Die Einbeziehung der Reizwirkung in das aktuelle Verhalten und die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf ihn, muß nach Dewey ebenso als ein selbständiger Verhaltensakt betrachtet werden, wie umgekehrt die auf den Reiz folgende Reaktion als Prozeß erneuter Reizaufnahme betrachtet werden muß:

"It is the motor response or the attention which constitutes that, which finally becomes the stimulus to another act... The motor reaction involved in the running is, once more, into, not merely to, the sound. It occurs to change the sound, to get rid of it... What we have is a circuit... this circuit is more truly termed organic than reflex, because the motor response determines the stimulus, just as truly as sensory stimulus determines movement. Indeed, the movement is only for the sake of determining the stimulus, of fixing what kind of a stimulus it is, of interpreting it" (S. 363).

Was in der Reflextheorie als Reiz und Reaktion erst durch eine entsprechende Assoziation in Beziehung gebracht wird, das gehört nach den Überlegungen Dewey's bereits insofern unauflöslich zusammen, als (bewußte) Reizaufnahme ohne Reaktion nicht denkbar ist und jede Reaktion durch die mit ihr zusammenhängenden Reizwirkungen bestimmt ist:

The reflex arc idea, as commonly employed, is defective in that it assumes sensory stimulus and motor response as distinct psychical existences, while in reality they are always inside a coordination and have their significance purely from the part played in maintaining or reconstituting the coordination; and (secondly) in assuming that the quale of experience which precedes the 'motor' phase and that which succeeds it are two different states, instead of the last being always the first reconstituted, the motor phase coming in only for the sake of such mediation" (Dewey, 1896; S.360).

Man kann diese Ausführungen wohl dahingehend paraphrasieren, daß ein 'Ereignis' erst dadurch zu einem Reiz wird, indem es aktiv verändert wird, und daß eine Aktion erst dadurch zu einer "Re"aktion wird, indem sie Reizbedingungen verändert. Die Einheit zwischen Reiz und Reaktion, zwischen Wahrnehmung und Verhalten wird durch die mit den Aktionen eines Organismus systematisch einhergehenden Veränderungen der Reizwirkungen gestiftet.

### **Willkürhandlungen als Mittel der Realisierung antizipierter Reizwirkungen**

Trotz einzelner Unterschiede in den angedeuteten Positionen läßt sich erkennen, daß alle Autoren in der willentlichen Initialisierung einer Handlung *nicht* einen Prozeß der Bestimmung von motorischen Kommandos sahen. Es werden vielmehr die mit den Aktionen systematisch einhergehenden Reizänderungen als Grundlage für deren willentliche Realisierung angesehen. Willkürhandlungen werden nach übereinstimmender Auffassung durch eine (mentale) Vorwegnahme oder Erinnerung der mit ihrer Ausführung zu erwartenden Reizwirkungen initiiert. Dabei spielen kinästhetische oder propriozeptive Konsequenzen ebenso eine Rolle, wie die in der Umwelt bewirkten Veränderungen. Die Aktion selbst wird als das Mittel betrachtet, mit dem die antizipierten Effekte zu erreichen sind. Man könnte diese zur Jahrhundertwende mehrfach vertretene Auffassung vielleicht dahingehend zusammenfassen, daß willkürliche Verhaltensakte der Realisierung antizipierter Wahrnehmungen dienen.

Nach der Jahrhundertwende wurden die Diskussionen in der Psychologie durch den aufkommenden Behaviorismus und die Gestaltpsychologie zunehmend dominiert, die beide, aus jeweils unterschiedlichen Gründen, Fragen nach dem Zusammenhang von Wahrnehmung und Verhalten aus dem Zentrum wissenschaftlichen Interesses

verdrängten (vgl. Neumann & Prinz, 1990; Prinz, 1983). Für den Behaviorismus standen die Gesetzmäßigkeiten der lernabhängigen Bindung von Reaktionen an auslösende Reizbedingungen im Zentrum. Von der Gestaltpsychologie wurden dagegen vor allem ihre Bemühungen zur Aufdeckung von Gesetzmäßigkeiten der (Selbst)Organisation sinnlicher Erkenntnis wahrgenommen. Die in ihrem Kontext entwickelten Überlegungen zum Zusammenhang von Wahrnehmung und Verhalten (z.B. Koffka, 1935; Lewin, 1928, 1931; Metzger, 1962) fanden demgegenüber nur geringere Beachtung.

Als Ende der 50er Jahre Behaviorismus und Gestaltpsychologie durch das Paradigma der Informationsverarbeitung abgelöst wurden, änderte sich der Stellenwert des Zusammenhangs von Wahrnehmung und Verhalten in der wissenschaftlichen Diskussion nur geringfügig. Zwar wurden durch die Kybernetik Untersuchungen von Regelvorgängen bei Folgebewegungen (Tracking) angeregt (vgl. etwa Poulton, 1984), aber diese Ansätze hatten nur wenig Einfluß auf die Psychologie, da sie, wie Neumann und Prinz (1990) feststellen, eher in einen biologischen als einen psychologischen Kontext eingebettet waren (vgl. z.B. Mittelstaedt, 1961; Hassenstein, 1970). Die entstehende Kognitionspsychologie konzentrierte dagegen ihre Untersuchungen auf Mechanismen der Reizkodierung, auf die Struktur des Gedächtnisses, auf Begriffsbildungs- und Problemlöseprozesse, auf das Verstehen von Sprache usw. Kurzum, sie untersuchte vor allem "innere Willkürhandlungen". Dies gilt noch heute. Die in den Experimenten geforderten Reaktionen sind in den meisten Fällen nur das Mittel, um Meßwerte zu erhalten, von denen man auf die "inneren" Prozesse rückschließen kann.

Obwohl also der Zusammenhang von Wahrnehmung und Verhalten nicht wieder zu einem zentralen Problem der Psychologie wurde, so hat es doch einzelne Ansätze gegeben, in denen aus unterschiedlicher Perspektive das Thema immer wieder aufgegriffen wurde. Einige von ihnen sollen kurz charakterisiert werden.

### **Narziß Ach und die determinierende Tendenz**

Ach (1910, 1935) ging in seinen willenspsychologischen Überlegungen u.a. von der Beobachtung aus, daß sich Verhaltensakte auf ein und dieselben Reizbedingungen in ihrer Ausführung und in den sie begleitenden Vorstellungen deutlich verändern, wenn die Personen die Ziele wechseln, denen sie folgen. Ob Pbn in einem Reiz-Reaktionsversuch den Reiz deutlich zu erfassen oder die Reaktion besonders präzise auszuführen suchen (sensorielle versus muskuläre Reaktion), ob auf ein Reizwort mit einer Assoziation oder mit einem Reim geantwortet werden soll, ob zwei Zahlen zu addieren oder voneinander zu subtrahieren sind, usw.; in all diesen Fällen verändert sich mit dem Ziel die Auffassung der gesamten Situation.

Zur Erklärung dieser Befunde führt Ach das Konstrukt der determinierenden Tendenz ein:

"Unter der Determination ist die eigentümliche Nachwirkung zu verstehen, welche insbesondere von der "Zielvorstellung", von der übernommenen Aufgabe, also vor allem von der Absicht oder vom Vorsatz ausgeht, und die eine Realisierung des Geschehens im *Sinne oder gemäß der Bedeutung dieser Zielvorstellung nach sich zieht*" (Ach, 1935; S.143).

Wir finden also wieder den Gedanken, daß eine Vorwegnahme der zu erreichenden Effekte, eine Zielvorstellung eben, die Verhaltensaufführung bereits von der Reizaufnahme an beeinflusst.

Ach unterscheidet verschiedene Wirkungen der Determination: So spricht er von einer "determinierten Abstraktion" in der Weise, "daß von allen Teilerlebnissen, welche für den Ablauf des Prozesses unnötig sind, abstrahiert wird". Davon unterscheidet er die "Lenkung der Aufmerksamkeit durch die determinative Wirkung, indem die Aufmerksamkeit fortlaufend vor allem diejenigen Bewußtseinsinhalte in der Beachtung hervortreten läßt, die ... insbesondere für die Erreichung des Ziels von Wichtigkeit sind". Wir wollen diese Differenzierungen hier nicht weiter verfolgen (vgl. Gollwitzer, 1991; Heckhausen, Gollwitzer & Weinert, 1987; Kuhl & Beckmann, 1985) sondern lediglich festhalten, daß nach Ach "...die Determination letzten Endes stets auf die *Erreichung des eigentlichen Zieles* gerichtet ist", so daß das Handlungsziel bereits die Wahrnehmung der vorliegenden Handlungsbedingungen determiniert (Ach, 1935; S.148/149).

### **Erich von Holst und das Reafferenzprinzip**

Von Holst und Mittelstaedt (1950) gehen in ihrer klassischen Arbeit über das Reafferenzprinzip von der Analyse eines optomotorischen Reflexes aus. Bei ruhig dasitzenden Insekten (etwa bei der Fliege *Eristalis*) führt eine seitliche Verlagerung visueller Reize zu einer reflektorischen Folgebewegung. Das Tier versucht, sein Blickfeld "festzuhalten". Eigenbewegungen, die zu gleichen Verlagerungen führen, haben dagegen keine Verhaltenskonsequenzen. Dreht man jedoch den Kopf der Fliege um 180 Grad (was ohne Beeinträchtigung der Fliege möglich ist) und fixiert ihn in dieser Lage, so daß Körperbewegungen im Vergleich zu den gewohnten, zu gegen-gerichteten Bildverlagerungen führen, dann treten auch bei Eigenbewegung des Tieres reflexartige Kompensationsbewegungen auf. Da nun jede Bewegung erneut eine Bildverlagerung hervorruft, die das Tier reflexartig zu kompensieren sucht, führt der Vorgang zu einer Paralisierung des Verhaltens. Diese Beobachtung veranlaßt die Autoren zu der folgenden Erklärung:



"Wir können es fürs erste so formulieren: Das laufende Tier "erwartet" eine ganz bestimmte retinale Bildverschiebung, die, sofern sie eintrifft, irgendwie neutralisiert wird. Tritt aber nach Vertauschung beider Augen eine retinale Bildverschiebung *entgegen* der erwarteten Richtung ein, so löst diese sofort eine optomotorische Wendung aus. Diese Wendung aber vergrößert die nicht erwartete Bildverschiebung, und so schaukelt der Vorgang sich auf...Das Ende ist offenbar eine zentrale Katastrophe! Wenn diese vorläufige Deutung zutrifft, müssen wir fragen: Woher "weiß" das ZNS, welche Bildverschiebung es beim Laufen gerade zu erwarten hat?" (von Holst & Mittelstaedt, 1950; S.138)

Zur Beantwortung der rhetorisch gestellten Frage nehmen die Autoren an, daß den efferenten Bewegungskommandos Aktivitätsänderungen in benachbarten Ganglienzellen zugeordnet sind, die als Efferenzkopie bezeichnet werden. Die durch die Bewegung hervorgerufenen sensorischen Wirkungen werden Reafferenzen genannt. Die grundlegende Annahme des Reafferenzprinzips lautet: "Die Efferenzkopie und die Reafferenz heben sich ... gegenseitig genau auf" (von Holst und Mittelstaedt, 1950, S.145). Das ZNS "weiß" also, welche Bildverschiebung es beim Laufen gerade zu erwarten hat, weil die Efferenzkopien der "Laufkommandos" die Information über die mit ihrer Ausführung verbundenen Reafferenzen bereitstellen, noch bevor sie eingetreten sind. Das Reafferenzprinzip beruht damit auf einer Antizipation sensorischer Verhaltenskonsequenzen.

Die geschilderte Paralyisierung des Verhaltens bei *Eristalis* erklärt sich nach dem Reafferenzprinzip aus der bei verdrehter Augenstellung mit jeder Bewegung einhergehenden Differenz zwischen der erwarteten und der eintretenden Bildverlagerung. Diese "Exafferenz" löst stets erneut Kompensationsbewegungen aus und führt damit zum Zusammenbruch der Verhaltenssteuerung. Das Reafferenzprinzip kann sich auch auf andere Beobachtungen stützen. Es ist bspw. gezeigt worden, daß sich Willkürbewegungen durch eine Manipulation ihrer Reafferenzen modifizieren lassen. So wird bspw. bei Fischen das Ausmaß willkürlicher Lageveränderungen durch eine künstliche Verstärkung der von den Statolithen vermittelten (Re)Afferenzen verringert. Damit ist ein wichtiger Zusammenhang gezeigt: "Die 'Willkürbewegung' erweist sich als *abhängig* vom *afferenten Rückstrom* den sie verursacht!" (von Holst & Mittelstaedt, 1950; S.139). Nach dem Reafferenzprinzip ist dies so, weil mit der Efferenzkopie, eine Vorhersage des zu erwartenden afferenten Rückstroms verbunden ist.

Es muß hier allerdings beachtet werden, daß die Efferenzkopie eine von der Efferenz abhängige Größe ist, eben nur ihre Kopie, die das Original nicht verändern kann. Das Reafferenzprinzip erlaubt also lediglich die rückwirkende Veränderung der Efferenz aufgrund eventuell festgestellter Exafferenzen nicht aber ihre vorausschauende Anpassung an veränderte Reafferenzen. Es erlaubt auch nicht, um noch einen Schritt weiter zu gehen, eine selektive Verwertung von Reafferenzen in Abhängigkeit von der Absicht, mit der eine Bewegung ausgeführt wird. Es gibt etwa keine Instanz, nach der

eine Efferenz zwischen unterschiedlichen Kopien, im Sinne unterschiedlicher Erwartungsbildungen "wählen" könnte.

### Victor von Weizsäcker und der Gestaltkreisansatz

Die Vertreter des Gestaltkreisansatzes (von Weizsäcker, Derwort, Buytendijk) haben vor allem diese Nicht-Berücksichtigung der Intentionalität am Reafferenzprinzip kritisiert. Ein und dieselbe Bewegung, so argumentieren sie, kann mit unterschiedlichen Absichten ausgeführt werden und wird dann auch anhand unterschiedlicher Reafferenzen kontrolliert. Der Zusammenhang von Wahrnehmung und Verhalten beruht nicht allein darauf, daß Reizwirkungen im Vergleich zu verhaltensgebundenen Erwartungen (Efferenzkopien) wahrgenommen werden, sondern daß auch umgekehrt, Efferenzen erst durch ihren Bezug zu erwarteten Reizwirkungen zu Willkürbewegungen werden: "Die Wahrnehmung enthält nicht die Selbstbewegung als Faktor, der sie bedingt: Sie ist Selbstbewegung" (von Weizsäcker, 1950, S.21).

Buytendijk und Christian (1963, S.101) verdeutlichen den Unterschied des Gestaltkreisansatzes zum Reafferenzprinzip am Beispiel von Tastwahrnehmungen:

"Wahrnehmung und Bewegung sind im Gestaltkreis keine Wechselwirkung, die abzubilden wäre in einer Kausalkette  $A \rightarrow B \rightarrow A \rightarrow B$ , sondern ein dialektisches Verhältnis; d.h. A ist schon B, setzt B voraus; A und B bilden sich gegenseitig ab, ... Der Gestaltkreis ist insofern prinzipiell ein anderer Begriff als der Regelkreis. Im Gestaltkreis ist A gleichzeitig mit B, er stellt seiner Definition nach eine Koinzidenz, nicht eine Kausalität dar. Demgegenüber aber geschehen im Regelkreis kausal gekoppelte Vorgänge in der physischen Zeit" (zitiert nach Ennenbach, 1989).

Die experimentellen Beobachtungen, auf die sich der Gestaltkreis-Ansatz in der Auseinandersetzung mit dem Reafferenzprinzip stützen kann, beinhalten vor allem Modifikationen von Reafferenzwirkungen in Abhängigkeit von den Intentionen des Wahrnehmenden (vgl. dazu die ausführliche Darstellung bei Ennenbach, 1989). Sie verweisen nachdrücklich auf die Notwendigkeit, das Reafferenzprinzip, wenigstens in seiner Anwendung auf menschliche Willkürhandlungen, durch eine intentionale Komponente zu ergänzen. Sensorische Erwartungen wirken nicht nur als Kopien von Efferenzen, sondern auch als selbständig gebildete Verhaltensziele. Von Holst und Mittelstaedt hatten allerdings ohnehin keine Allgemeingültigkeit für das Reafferenzprinzip in Anspruch genommen, sondern es ausdrücklich "als *ein* Mechanismus *neben anderen*" betrachtet (von Holst & Mittelstaedt, 1950; S.165).

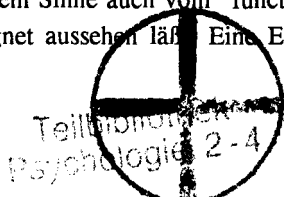
## James J. Gibson und die ökologische Wahrnehmung

Auch der von Gibson (1961, 1966, 1979) entwickelte ökologische Ansatz geht, ähnlich wie der Gestaltkreisansatz, von der Einheit von Wahrnehmung und Verhalten aus: "...I realized that perceiving is an act, not a response, an act of attention, not a triggered impression, an achievement not a reflex" (Gibson, 1979; S.149). Den wohl deutlichsten theoretischen Ausdruck findet diese Einsicht im Konzept der "Affordances". Es beruht auf dem Gedanken, daß sensorische Wirkungen nicht nur Gegebenheiten der Umwelt charakterisieren, sondern immer auch die in jedem Moment gegebenen Verhaltensmöglichkeiten des wahrnehmenden Organismus festlegen. Jede Reizsituation macht quasi "Angebote" zu ihrer Veränderung. Sie enthält eben "Affordances", die nach Gibson *direkt* wahrgenommen werden. Eine ebene und horizontale Oberfläche von ausreichender Größe, die etwa in Kniehöhe des Betrachters wahrgenommen wird, bietet bspw. an, sich auf sie zu setzen. Die Oberfläche sieht unmittelbar "draufsetzbar" (sit-on-able) aus:

"What we perceive when we look at objects are their affordances, not their qualities, we can discriminate the dimensions of difference if required to do so in an experiment, but what the objects afford us, is what we normally pay attention to" (Gibson, 1979, S.133).

Zum Konzept der Affordances ist Gibson, wie er selber schreibt, durch den Begriff des Aufforderungscharakters bei Koffka (1935) und Lewin (1926, 1931) angeregt worden (vgl. auch das Konzept des "demand value" bei Tolman, 1932). Für die Gestaltpsychologen Koffka und Lewin war der Aufforderungscharakter allerdings an die Organisation eines dynamischen "psychobiologischen" (Lewin) oder "behavioural" (Koffka) Feldes gebunden und damit subjektiv bestimmt. Gibson betont dagegen die objektive Verankerung der Affordances in Eigenschaften der jeweils gegebenen Reizstrukturen. Affordances, so argumentiert er, kovariieren mit zumeist komplexen relationalen Eigenschaften der Reizstrukturen, die als "high-order invariants" unmittelbar wahrgenommen werden. Die zentrale Bedeutung dieser Annahme für seine Theorie wird betont, wenn er schreibt: "The notion of *invariants* that are related at one extreme to the motives and needs of an observer and at the other extreme to the substances and surfaces of a world provides a new approach to psychology" (Gibson, 1979; S.143).

Die "Affordances" ergänzen die um die Jahrhundertwende diskutierten Antizipationsmechanismen um einen banalen aber eben doch wichtigen Punkt: Sie verweisen darauf, daß die Initiierung einer Handlung neben einer Antizipation ihrer Konsequenzen immer auch Ausgangsbedingungen voraussetzt, die ihre Ausführung möglich machen. Gibson (1979, S.128) spricht in diesem Sinne auch vom "functional layout", das Objekte für bestimmte Handlungen geeignet aussehen läßt. Eine Erklärung, wie es zur direkten



Wahrnehmbarkeit des "Machbaren" kommt, bleibt Gibson allerdings schuldig. Für Affordances wie etwa "Draufsetzbar" lassen sich noch relativ leicht charakterisierende Invarianten denken. Welche Invarianten uns aber bspw. "eßbar" oder "ansprechbar" erkennen lassen, ist ohne weiteres nicht zu sagen. Die den Gedanken illustrierenden Beispiele sind also noch durch die Beschreibung der Mechanismen zu ergänzen, die uns verstehen lassen, wie es zur Ausbildung der Wahrnehmbarkeit von Affordances kommt.

### **Ulric Neisser und die antizipierenden Schemata**

Neisser (1976) kritisiert trotz grundsätzlicher Zustimmung zum ökologischen Konzept Gibson's die Auffassung von der direkten Wahrnehmbarkeit der Affordances aus einem ähnlichen Grund. Mit dem Hinweis auf "direkte Wahrnehmung", so fürchtete er, wird das Problembewußtsein für wichtige Fragen der Wahrnehmungsforschung, etwa zum Wahrnehmungslernen, zur Wissensabhängigkeit oder zur Selektivität, geschwächt. Er erweitert daher die ökologische Perspektive durch Überlegungen zu den Mechanismen, die den "Akt" der direkten Wahrnehmung von Invarianten steuern könnten. Er schreibt:

"Meines Erachtens sind die für das Sehen entscheidenden kognitiven Strukturen die antizipierenden Schemata, die den Wahrnehmenden darauf vorbereiten, bestimmte Arten von Informationen eher aufzunehmen als andere, und die so das Sehen steuern. Weil wir nur sehen können, wonach wir zu suchen vermögen, bestimmen diese Schemata (zusammen mit der wirklich verfügbaren Information) was wahrgenommen wird. Wahrnehmung ist tatsächlich ein konstruktiver Prozeß, aber was konstruiert wird, ist nicht ein Vorstellungsbild, im Bewußtsein erscheinend und dort vom inneren Menschen bewundert. In jedem Augenblick konstruiert der Wahrnehmende Antizipationen bestimmter Arten von Information, die ihn dazu befähigen, sie aufzunehmen, wenn sie verfügbar werden. Oft muß er den optischen Bereich aktiv erkunden, um sie verfügbar zu machen, indem er seine Augen, seinen Kopf oder seinen Körper bewegt. Diese Erkundungen sind durch die antizipierenden Schemata geleitet, die Pläne für die Wahrnehmungstätigkeit und Bereitschaften für gewisse Arten optischer Struktur sind. Das Ergebnis der Erkundungen - die aufgenommene Information - verändert das ursprüngliche Schema. So verändert, leitet es weitere Erkundung und wird für weitere Information bereit" (Neisser, 1976; zitiert nach der deutschen Übersetzung 1979, S.26)

Während Gibson's Ansatz vorrangig durch die Auffassung bestimmt ist, daß Invarianten wahrgenommen werden, die für in die Umwelt gerichtete Verhaltensakte, wie etwa das Hinsetzen, das Umgehen von Hindernissen oder das Ergreifen von Objekten, bedeutsam sind, betont Neisser, daß die Wahrnehmung selbst ein Verhaltensakt ist, der von gegebenen Reizsituationen ausgeht und neue Reizsituationen gezielt erzeugt. Und er nimmt wieder die alte Idee auf, nach der dieses Erkundungs- oder Explorations-

verhalten, wie alles andere intentionale Verhalten auch, durch eine Antizipation seiner Effekte gesteuert wird.

In Beantwortung einer Kritik von Hampson und Morris (1978) präzisiert Neisser (1978) seine Vorstellungen über die, den Antizipationen zugrunde liegenden Prozesse. Er erläutert dort, daß unter den Antizipationen Aktivitäten der vorbereitenden Wahrnehmung zu verstehen sind, die in einer anschaulichen Vorstellung (imagining) der jeweils erwarteten Reizwirkungen bestehen: "Imagery is the inner aspect of perceptual anticipations, of readiness to perceive" (Neisser, 1978, S.170).

### **Wolfgang Prinz und das Konzept verhaltensgeleiteter Erkenntnis**

Prinz (1983) stellt seinem Buch mit dem für unser Thema programmatischen Titel "Wahrnehmung und Tätigkeitssteuerung" die folgende These voran:

"Die hauptsächlich theoretische Botschaft, die die folgenden Überlegungen übermitteln wollen, läßt sich in der These kondensieren, daß die Repräsentation von reizabhängiger Information (Repräsentationsfunktion) auf der einen und die Steuerung der Tätigkeit (Exekutionsfunktion) auf der anderen Seite so eng miteinander verzahnt sind, daß eine Theorie perzeptiver Erkennungsprozesse als bloße Repräsentationstheorie überhaupt nicht möglich ist" (Prinz, 1983, S.3).

Die Art der Verzahnung von Repräsentations- und Exekutionsfunktion wird ausführlich diskutiert. Wir beschränken unsere Darstellung wieder auf wenige Grundgedanken: Zielgerichtete Tätigkeiten, so nimmt Prinz an, sind in der Regel als Folgen von bedingten Operationen repräsentiert. "Dazu gehört neben der Repräsentation der Tätigkeit selbst (d.h. der Steuerung ihrer Exekution) insbesondere auch die Repräsentation der Bedingungen, an deren Erfüllung die Exekution der Operation gebunden ist" (S.337). Die Intention eine bestimmte Tätigkeit auszuführen, bewirkt eine Markierung der mit ihren Operationen verbundenen Exekutionsbedingungen. "Die Markierungsstärke eines Attributs regelt die Chance, daß es im Falle einer Aktivierung verhaltenswirksam wird...(S.338)." Die Markierungen haben also die Funktion, die Realisierung der intendierten Operationen zu erleichtern wenn die entsprechenden Exekutionsbedingungen gegeben sind. Da Prinz den Erkennungsprozeß als "Zuordnung eines Bewegungsprogramms zu einer gegebenen Reizrepräsentation (S.118)" definiert, kann man auch sagen, daß die Markierungsprozesse das *Erkennen* gerade derjenigen Reize selektiv fördern, die als Exekutionsbedingungen repräsentiert sind. "Die Selektion steht im Dienste der Exekutionsfunktion. ... Genetisch folgt die Handlung nicht der Wahrnehmung, sondern die Handlung geht der Wahrnehmung voraus. Die Repräsentationsfunktion entwickelt sich aus der Exekutionsfunktion (S.3f)."

## Jean Piaget und die Prozesse der Assimilation und Akkomodation

In seiner Schrift über das Erwachen der Intelligenz beim Kinde beschreibt Piaget (1975/1959) sechs Stadien der Entwicklung sensomotorischer Koordination. Die Entwicklung beginnt bei Reflexen, wie etwa dem Saugreflex, und führt bis zur gedanklichen Neukombination von Aktionen in der Vorstellung, wie sie etwa in einsichtigen Problemlösungen zum Ausdruck kommt. Dieses "Erfinden" von Handlungen in der "Vorstellung" markiert für Piaget den Übergang vom Handeln zum schöpferischen Denken. Die Entwicklung führt also von einfachen Reflexen zum schöpferischen Denken, und sie wird nach Piaget vor allem durch zwei Prozesse vorangetrieben, die Assimilation und die Akkomodation.

Die Akkomodation bewirkt eine Differenzierung und Strukturierung von Verhaltens- oder Bewegungsabläufen in Abhängigkeit von den sensorischen Erfahrungen, die ihre Ausführung begleiten. Die Assimilation bewirkt komplementär dazu eine Differenzierung und Strukturierung der Wahrnehmung sensorischer Wirkungen in Abhängigkeit von den Verhaltensschemata in deren Kontext sie auftreten. Das Gemeinte läßt sich am besten anhand eines Beispiels veranschaulichen:

Piaget beschreibt das Verhalten eines Mädchens (Lucienne, 4 Monate), das vergeblich versucht, eine am Wiegendach befestigte Spielklapper zu ergreifen, sie dabei zufällig stößt und ins Schaukeln bringt. Nach diesem zunächst zufällig hervorgerufenen Effekt, wiederholt sie "mit einer ohne Zweifel beabsichtigten Heftigkeit" (S.173) den Handstreich und trifft die Klapper erneut. Daraufhin systematisiert sich das Verhalten. Lucienne schlägt regelmäßig auf die Klapper ein und wendet später dieses Verhalten auch auf andere Gegenstände an. Es ist das Verhaltensschema des "Schlagens" entstanden. In einer theoretischen Reflexion dieser und anderer Vorgänge schreibt Piaget (1975/1959, S. 181/182):

Sobald das Kind ... entdeckt hat, daß dieses Ergebnis von seiner Handtätigkeit abhängt, wird es nun den Effekt durch Assimilation an diese Handtätigkeit zu erzeugen versuchen. Da aber das Kind dieses neuartige Resultat gerade durch eine zufälligerweise erzeugte Differenzierung erzielt hat, muß es also lernen, diese Differenzierung intentional zu vollziehen. Darin besteht aber die ... Akkomodation: Die Bewegungen, die zur Erzeugung des beobachteten Resultates geführt haben, sollen von neuem vollzogen werden. Diese Akkomodation geht also der Assimilation nicht voraus ... Sie ergänzt vielmehr die Assimilation in dem Augenblick, wo sich das neue Verhaltensschema bildet.

Akkomodation und Assimilation bedingen also einander. Die Assimilation bindet sensorische Wirkungen als zu erwartende Effekte an Verhaltensschemata, während die Akkomodation zu einer Differenzierung der Verhaltensschema in Abhängigkeit von den Effekten, die sie erzeugen, führt. Akkomodation und Assimilation verbinden quasi die durch das Handeln verursachten Veränderungen in den Reizsituationen mit den

Handlungen selbst und stellen damit die Einheit von Handeln und Wahrnehmen in immer stärker strukturierten und immer komplexer koordinierten Verhaltensschemata her.

## **Resümee**

Ich will den kurzen Überblick über einige Konzeptionen zum Zusammenhang von Wahrnehmung und Verhalten beenden. Auch in der aktuellen Literatur wird er in unterschiedlichen Kontexten diskutiert. So etwa in der Aufmerksamkeitsforschung (Allport, 1987; Neumann, 1985, 1987, 1990, 1992; Prinz, 1986), im Zusammenhang mit Analysen der Bewegungssteuerung (Prinz, 1987, 1990a, 1992), bei Untersuchungen zur Entwicklung der Bewegungskoordination (von Hofsten, 1987; von Hofsten & Rönnqvist, 1988; Turvey, 1977; Turvey & Carello, 1986), bei der Analyse von Prozessen der Reaktionsvorbereitung (Schmidt, 1975, 1988; Rosenbaum, 1980, 1983; Heuer, 1987, 1988), oder bei der Modellierung menschlichen Verhaltens in komplexen Situationen (Dörner, Schaub, Stäudel & Strohschneider, 1988; vgl. auch die Sammelbände: Heuer & Sanders, 1987; Prinz & Sanders, 1984; Neumann & Prinz, 1990). Wir werden auf diese aktuellen Diskussionen in ihrem jeweiligen Kontext später noch zu sprechen kommen. Jetzt will ich versuchen, die Übereinstimmungen in den behandelten Konzeptionen herauszuarbeiten.

Im Überblick der kurz charakterisierten Konzeptionen läßt sich m.E. erkennen, daß seit der Jahrhundertwende die folgenden Grundgedanken, bei jeweils unterschiedlicher Einbettung und Akzentuierung immer wieder vertreten werden:

- (1) Wahrnehmung und Verhalten, Reiz und Reaktion, Afferenz und Efferenz bilden insofern eine funktionale Einheit, als sie sich wechselseitig bedingen; (intentionales) Verhalten hängt von den gegebenen Wahrnehmungen ab, so wie die Wahrnehmungen von den jeweils verfolgten Intentionen bestimmt werden.
- (2) Der Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Verhalten wird durch die Tatsache gestiftet, daß bestimmte Verhaltensweisen mit bestimmten Veränderungen von Reizeinwirkungen gesetzmäßig zusammenhängen, so daß Veränderungen von Reizwirkungen und die sie bewirkenden Verhaltensakte in den Grenzen dieser Gesetzmäßigkeiten aufeinander abgebildet werden.
- (3) Der psychologische Mechanismus, der diese Zusammenhänge für eine Kontrolle des Verhaltens und für die Interpretation (Wahrnehmung) von Reizwirkungen nutzt, ist die Erinnerung, Antizipation, anschauliche Vorstellung oder Markierung der mit der Ausführung von Verhaltensakten verbundenen Reizwirkungen.

Vergleichbare Überlegungen hatten bereits Mitte des vorigen Jahrhunderts Herrmann Lotze zu den folgenden Formulierungen veranlaßt:

"Denn wir haben früher zu zeigen versucht, dass der Wille selbst ein ziemlich accessorisches Element in der Hervorbringung auch der willkürlichen Bewegungen ist, und dass seine Wirksamkeit sich in der Herstellung einer Vorstellung oder eines Gemüthszustandes erschöpft, mit welchem weiter das Entstehen der Bewegung als automatische Folge verbunden ist. Und ferner ist es uns nicht unwahrscheinlich gewesen, dass weder Vorstellung noch Gemüthsaffect unmittelbar als psychische Elemente diese Folge erzeugen, sondern dass sie zunächst auf die sensiblen Centralorgane rückwärts wirken und in ihnen dieselben Zustände erwecken, die sie erfahren würden, wenn der Inhalt der Vorstellung von Neuem als Sinnesreiz auf uns einwirkte. Haben wir nun darin Recht, und besteht der nächste Ausgangspunkt der Bewegung in einer Veränderung des Nervensubstrats, welche von der Vorstellung eines entweder beabsichtigten oder doch zugelassenen Erfolges derselben Bewegung ausgeht, so würden natürlich auch die motorischen Elemente des Nervensystems nicht sowohl unter sich zu einem einzigen Bewegungscentralorgan, sondern vielmehr auf das Engste mit jenen anderen Elementen verbunden zu denken sein, durch welche ihnen eben die Anregung zur Ausübung ihrer Functionen zugeführt werden. Man würde deshalb Veranlassung haben, so viele einzelne motorische Centralstellen zu vermuthen, als es überhaupt abgeschlossene in sich zusammenhängende Systeme motorischer Leistungen, oder eben so abgeschlossene Gruppen von Anregungen gibt, welche Bewegungen zu erzeugen vermögen. Und von diesen Organen allen würden rein motorische nur etwa diejenigen sein, welche Bewegungen regulirten, die dem Einflusse der Seele überhaupt entzogen sind; alle jene andern dagegen, zu deren Leistungen psychische Elemente irgend eine Mitbedingung bilden, würden nothwendig zugleich sensible Theile enthalten müssen. Wir dürfen daher einer gewöhnlichen Meinung nicht beistimmen, welche die Summe der motorischen Nervelemente hier, die der sensiblen dort in den Centralorganen localisirt; nur gemischte Organe für einzelne *Systeme von Leistungen*, nicht Organe für die allgemeinen Kategorien: Sensibilität und Mobilität würden uns wahrscheinlich sein" (Lotze, 1852, S.313/314).



### Kapitel 3: Antizipative Verhaltenssteuerung

Was wir wahrnehmen hängt davon ab, was wir tun: Wir sehen nur die Dinge, auf die unser Blick gerichtet ist. Mit unseren Händen fühlen wir nur das, was wir mit ihnen ergreifen und was wir hören, hängt davon ab, wo wir uns befinden und wohin wir uns wenden usw. Dieser Einfluß des Verhaltens auf die Wahrnehmung ist so allgegenwärtig wie etwa die Schwerkraft. Und so, wie ohne Berücksichtigung der Schwerkraft geordnetes Verhalten nicht möglich wäre, so wäre es auch ohne Berücksichtigung seiner Wirkungen auf die Wahrnehmung unmöglich. Versuchen wir uns nur einen Organismus zu denken, der nichts davon weiß, daß seine Wahrnehmungen vom eigenen Verhalten abhängen. In der Vielfalt ständig wechselnder Reize wäre es ihm unmöglich, zwischen Änderungen zu unterscheiden, die er selbst hervorgerufen hat und solchen, die auf andere Ursachen zurückgehen. Die Welt müßte ihm chaotisch erscheinen, weil sich alles unvorhersehbar ständig ändert, und er wäre diesem Chaos hilflos ausgeliefert.

Vielleicht ist ein neugeborenes Baby in einer solchen Situation. Nur, das Baby macht im Chaos der Reizwirkungen wichtige Entdeckungen. Es entdeckt bspw. daß bei einer bestimmten Aktivität stets ein dunkler Schatten auftaucht - plötzlich gibt es im Chaos wenigstens diesen einen Zusammenhang: Ein Schatten kann *hergestellt* werden. Vermutlich geht eine solche Entdeckung auch mit positiven Emotionen einher, denn der Vorgang wird immer und immer wieder mit offensichtlicher Befriedigung wiederholt. Babys verbringen viele Stunden damit, ihre Hände zu betrachten. Wie dem auch sei, unser Gedankenexperiment soll deutlich machen, daß ohne die Berücksichtigung des Zusammenhangs von Wahrnehmung und Verhalten weder geordnete Wahrnehmungen noch geordnetes Verhalten möglich wären.

Dieser Gedanke ist, wie wir wissen, nicht neu, und er ist ja eigentlich auch trivial. Alle im vorigen Kapitel erwähnten Konzeptionen haben ihn betont und ihn als konstituierend entweder für die Steuerung intentionalen Verhaltens, für die Wahrnehmung, oder für beides angesehen. Ich will in diesem Kapitel nun versuchen, die referierten Überlegungen in einem einheitlichen Rahmen zusammenzufassen. Dabei geht es mir nicht um eine erneute Differenzierung des Zusammenhanges sondern um die Frage *wie* er seinen Einfluß auf Wahrnehmung und Verhaltenssteuerung gewinnt. Wenn es richtig ist, daß geordnete Wahrnehmung und geordnetes Verhalten immer nur relativ zueinander möglich sind, dann kann man darauf wetten, daß die Evolution auch für Mechanismen gesorgt hat, die diese Abstimmung gewährleisten. Diesen Mechanismen gilt mein Interesse. *Wie* entwickelt das Verhalten seinen Einfluß auf die Wahrnehmung

und *wie* gerät es andererseits unter ihre Kontrolle? Ich werde die Vermutung begründen, daß es der Mechanismus der antizipativen Verhaltenssteuerung ist, der beides gleichermaßen gewährleistet.

### **Die Bedingungsabhängigkeit von Verhaltenskonsequenzen**

Beginnen wir unsere Diskussion mit der im ersten Kapitel begründeten Auffassung, daß die Reizverarbeitung einer effektiven Verhaltenssteuerung dient. Wenn man dieser Auffassung folgt, stellt sich die Frage, wodurch denn einem Organismus die Effektivität seines Verhaltens "bemerkbar" wird. Die Antwort liegt, denke ich, auf der Hand: Im allgemeinsten Sinne wohl dadurch, daß das Verhalten die Ziele erreicht, für die es in Gang gesetzt wurde. Allerdings, um dem Verhalten Ziele geben zu können, müssen seine Konsequenzen bekannt sein. Nur, wenn man weiß, zu welchen Konsequenzen das eigene Verhalten führt, so hat schon William James argumentiert, kann man es zielgerichtet einsetzen. Ohne ein solches Wissen, bliebe einem nichts anderes übrig, als sich "blind" zu verhalten und zu hoffen, daß schon das Richtige geschehen wird.

Nun hängen die Konsequenzen eines Verhaltensaktes in aller Regel von den Bedingungen ab, auf die er angewendet wird. Dies ist schon bei elementarsten Bewegungen so. Das Beugen des Unterarmes führt etwa in Abhängigkeit von der Ausgangslage zu sehr verschiedenen Haltungen. Das Schließen der Hand um ein Glas führt zu anderen Konsequenzen als bei einem Plastebecher. In komplexeren Verhaltenszusammenhängen fallen die Unterschiede noch deutlicher aus: Das Betätigen der Bremse, das auf trockener Fahrbahn den Wagen zum Stehen bringt, führt auf vereister Straße zu seinem unkontrollierbaren Ausbrechen. Im Programmodus rufe ich mit Tastaturanschlägen ein Unterprogramm auf, mit denen im Textmodus ein Wort geschrieben wird, und ein Kind erhält für eine freche Bemerkung von der Mutter eine Ohrfeige, auf die der Opa nur freundlich die Stirn runzelt, usw. In all diesen Fällen müssen, wie wohl fast immer, die jeweils vorliegenden Ausgangsbedingungen berücksichtigt werden, um die Konsequenzen des Verhaltens angemessen kalkulieren zu können. Eine effektive Verhaltenssteuerung setzt also unabdingbar Wissen darüber voraus, welche Verhaltensweisen zu welchen Konsequenzen *unter welchen Bedingungen* führen, oder, um es anders zu formulieren: Welche Gegebenheiten durch welches Verhalten wie verändert werden können.

Ein solches Wissen kann angeboren sein. Die beeindruckende Angemessenheit instinktiven Verhaltens beruht zum größten Teil auf angeborenem Wissen dieser Art. Die von Tinbergen (1952) beschriebenen angeborenen auslösenden Mechanismen sorgen dafür, daß das jeweils zur Ausführung drängende (Instinkt)Verhalten allein in solchen Situationen zur Anwendung kommt, in denen es angemessen ist und erfolgreich sein

kann. Es sind hier die bereits erwähnten Schlüsselreize, die für die Auslösung von Angriffs-, Nestbau-, oder Brutpflegeakte sorgen, weil sie natürliche Umweltbedingungen kennzeichnen, unter denen das jeweilige Verhalten seinen "Zweck" auch erfüllen kann. Sie markieren Ausgangsbedingungen, so könnte man auch sagen, die seine erfolgreiche Realisierung erwarten lassen.

Für den Menschen allerdings ist das Wissen über die Abhängigkeit der Konsequenzen seines Verhaltens von Ausgangsbedingungen, wenn überhaupt, dann vermutlich nur in seltenen Fällen und in allgemeiner Form genetisch fixiert. Wir müssen in der Regel mühsam und nicht selten unter schmerzhaften Erfahrungen lernen, zu welchen Konsequenzen unser Verhalten unter welchen Bedingungen führt. Man braucht nur daran zu denken, wie lange es dauert, bis das Laufen, das Binden einer Schleife, das Essen mit einem Löffel, das Schreiben, Fahrradfahren usw. sicher beherrscht werden, um sich anschauliche Beispiele solcher langwierigen Lernvorgänge zu vergegenwärtigen. Wenn wir also über die Strukturen einer effektiven Verhaltenssteuerung nachdenken, dann müssen unsere Überlegungen auch die Lernprozesse einschließen, die zur Herausbildung dieser Strukturen führen.

### **Das Bedürfnis nach effektiver Verhaltenskontrolle**

Lernen kann allgemein als umgebungsbezogene Verhaltensänderung definiert werden, die als Folge einer individuellen Informationsverarbeitung eintritt (Klix, 1971). Die Art und die Schnelligkeit der eintretenden Verhaltensänderungen werden nach allgemeiner Auffassung durch dem Lernen zugrunde liegende Bedürfnisse bestimmt. Verhalten, das zur Bedürfnisbefriedigung beiträgt, wird verstärkt und solches, das den Bedürfnisdruck nicht reduziert, wird verändert oder ausgemerzt. Dieser Zusammenhang fand etwa im Gesetz des Effektes (Thorndike, 1905) oder im Prinzip der Bekräftigung durch Bedürfnisreduktion (Hull, 1943) seinen klassischen Ausdruck. Jeder Lernvorgang bedarf also eines Bedürfnisses auf dessen Befriedigung er hinarbeitet, das bestimmt, welche Verhaltensweisen zu erhalten und welche zu verändern sind. Die verschiedenen Bedürfnisse führen so zum Erwerb und fortlaufenden Differenzierung der zu ihrer Befriedigung notwendigen Verhaltensweisen, das Bedürfnis nach Nahrung etwa zur Differenzierung des (Fr)Essverhaltens, oder das Bedürfnis nach Geborgenheit zur Differenzierung sozialen Verhaltens.

Es läßt sich wenigstens für den Menschen feststellen, daß ihn Situationen, in denen die Konsequenzen seines Verhaltens nur unzureichend abgeschätzt werden können, gewöhnlich verunsichern: Wenn wir etwa das erste Mal ein neues Auto chauffieren, prüfen wir zunächst vorsichtig, wie es auf unsere Handlungen reagiert; wenn die Bahn neue Fahrkartenautomaten aufstellt, dann bedienen wir die Tasten mit Bedacht und beachten jeden Effekt; und in einem fremden Land mit ungewohnten Bräuchen achten

wir besonders aufmerksam auf die Reaktionen, die unser soziales Verhalten hervorruft. Erst nach einiger Zeit stellt sich dann Vertrautheit mit den jeweils neuen Bedingungen ein und wir handeln wieder zügig und selbstbewußt. Wir haben dann gelernt, daß die Bewohner des fremden Landes unsere ausgestreckte Hand als aggressiven Akt mißverstehen; wir wissen, wie eine Servolenkung reagiert, und Fahrkarten lösen wir fast ohne hinzusehen und belächeln mitleidig die Fremden, die versuchen, den wirren Bedienungsinstruktionen zu folgen. Kurzum, wir wissen wieder genau, was unser Handeln bei welchen Voraussetzungen bewirkt und wir setzen es dementsprechend so ein, daß es die von uns gewünschten Wirkungen auch erzielt. Wir haben wieder das Gefühl von Kompetenz und Sicherheit gewonnen.

Es ist also so, daß uns Situationen, in denen die Konsequenzen eigenen Handelns nicht vorhersagbar sind, in der Regel verunsichern, uns nur zögernd handeln lassen und manchmal sogar ängstigen. Die sichere Vorhersagbarkeit der Verhaltenseffekte erzeugt demgegenüber Kompetenz und Selbstsicherheit, eben das Gefühl, die Situation zu beherrschen und nicht, ihr ausgeliefert zu sein. Diese gegensätzlichen Gefühlsregungen lassen vermuten, daß die Vorhersagbarkeit von Verhaltenskonsequenzen ein Bedürfnis sein könnte, dessen Nichtbefriedigung mit Unlust und dessen Befriedigung mit Lust in der gleichen Weise verbunden ist, wie dies für andere Bedürfnisse auch gilt. Nur, die Befriedigung dieses Bedürfnisses ist nun nicht länger an das Eintreten spezifischer Konsequenzen gebunden. Es wird befriedigt durch das Eintreten beliebiger Effekte, wenn sie nur vorhergesagt wurden.

Karl Bühler (1924) hat diesen Unterschied hervorgehoben, indem er im Gegensatz zu einer "Befriedigungslust" von einer "Funktionslust" gesprochen hat. Als Beleg für die Existenz einer solchen Funktionslust verweist er u.a. auf die Freude, die Kinder daran haben, einen Verhaltensakt immer und immer wieder zu wiederholen; vermutlich, um sich am Eintreffen der vorhergesagten Konsequenzen immer wieder neu zu erfreuen. Man kann diese Überlegung zur "Lust" am Eintreffen vorhergesagter Verhaltenskonsequenzen auch mit dem sogenannten "Flow-Erlebnis" in Zusammenhang bringen (Csikszentmihalyi, 1985, Csikszentmihalyi & Csikszentmihalyi, 1988). Darunter kann man ein Gefühl tiefer Befriedigung verstehen, das sich einstellt, wenn alles reibungslos funktioniert und "perfekt läuft". "Flow" wird vor allem in Situationen erlebt, in denen eine handelnde Person ihre Fähigkeiten voll ausschöpfen kann und dabei klare Rückmeldungen auf ihre Handlungen erhält. "Sie ist daher Teil eines rationalen Systems von Ursache und Wirkung, in dessen Rahmen, das was sie tut, realistische und vorhersagbare Konsequenzen hat" (Csikszentmihalyi, 1985, S.58). Im "Flow" erzeugen unsere Handlungen die Konsequenzen, die wir mit ihnen angestrebt haben. Wir bilden mit der Umwelt eine Einheit, indem sie genau die Reizwirkungen liefert, die wir erwarten und hergestellt wissen wollten, so daß sich das eigene Verhalten im Fluß der Reizeinwirkungen wie von selbst zu realisieren scheint.

"Inhaltsbezogene" Bedürfnisse werden nur durch jeweils spezifische Verhaltenskonsequenzen befriedigt. Im Unterschied dazu würde ein Bedürfnis nach Vorhersagbarkeit durch beliebige Ereignisse befriedigt werden, solange sie nur antizipiert wurden. Ein Antizipationsbedürfnis würde also jedes Verhalten fördern, das zu vorhersagbaren Konsequenzen führt. Während also inhaltsbezogene Bedürfnisse die Verhaltensmöglichkeiten auf solche zur Erreichung bestimmter Ziele einschränken, würde ein Antizipationsbedürfnis für eine Erweiterung der Verhaltensmöglichkeiten sorgen. Darüber hinaus würde es Lernprozesse auch dann veranlassen, wenn kein sonstiger Mangel vorliegt. Es wären Lernprozesse, die dafür Sorge tragen, daß Verhaltenskonsequenzen immer vollständiger und sicherer antizipiert werden, so daß das Verhalten immer gezielter eingesetzt werden kann, um diese Konsequenzen auch zu erreichen. Ein Organismus, ausgestattet mit einem Antizipationsbedürfnis würde also, allein schon indem er dieses Bedürfnis befriedigt, lernen, mit seiner Umwelt immer vollständiger und effektiver zu interagieren.

Lernvorgänge, ohne Befriedigung eines spezifischen Bedürfnisses werden auch bei Tieren beobachtet. Tolman (1932) spricht in diesem Zusammenhang von latentem Lernen (latent learning), das etwa hungrige Ratten beim Durchlaufen eines Labyrinths auch ohne jede Bekräftigung durch Nahrung zeigen. Das Ergebnis latenten Lernens besteht nach Tolman vor allem darin, daß das aktive Tier die Reizwirkungen seiner Umgebung nicht einfach aufnimmt, sondern vielmehr Relationen zwischen ihnen herstellt, so daß "upon the comprehension of a first group of stimuli ... he becomes prepared for the further *to come* groups of stimuli" (Tolman, 1949, S.145). Das Tier lernt es also, zukünftige Reizeinwirkungen vorauszusehen, es bildet "field expectancies" aus.

Auch von anderen Autoren ist darauf hingewiesen worden, daß inhaltsbezogene Bedürfnisse allein nicht ausreichen, um die Vielfalt und Flexibilität des Verhaltens höherer Säugetiere lernabhängig entstehen zu lassen. Berlyne (1950, 1958) hat bspw. von der Notwendigkeit gesprochen, ein Explorationsbedürfnis anzunehmen. Harlow (1953) argumentiert für die Existenz eines Manipulationstriebes. Hendrick (1943) spricht von einem Bedürfnis nach Meisterschaft (instinct to master) und White (1959) kommt beim Versuch einer Integration solcher Vorstellungen zu dem Schluß, daß die höheren Säugetiere, ebenso wie die Menschen, ein elementares Bedürfnis nach effektiver Verhaltenssteuerung (motivation of effectance) besitzen, dessen Befriedigung mit einem Gefühl der Effizienz (feeling of efficacy) einhergeht und das in seinem Wirken Kompetenz erzeugt, d.h., "an organisms capacity to interact effectively with its environment" (White, 1959, S.297).

Alle diese Überlegungen unterstützen unsere Annahme von der Existenz eines Antizipationsbedürfnisses, das neben inhaltsbezogenen Bedürfnissen und diese ergänzend Lernprozesse zur Effektivierung der Verhaltenssteuerung veranlaßt. Die zitierten

Arbeiten lassen weiter vermuten, daß ein solches Bedürfnis einen in der Evolution weit zurückliegenden Ursprung hat. Wenn ich es hier vorziehe, statt von Funktionslust, Explorationsbedürfnis, oder Bedürfnis nach Effizienz usw., von einem Antizipationsbedürfnis zu sprechen, dann vor allem deshalb, weil ich mit dieser Bezeichnung Vorstellungen über die Struktur einer antizipativen Verhaltenssteuerung und über die in ihr stattfindenden Lernprozesse verbinde, die in den zitierten Konzeptionen so nicht ausgearbeitet worden sind. Diesen Vorstellungen wollen wir uns jetzt zuwenden.

### Der lernabhängige Aufbau einer antizipativen Verhaltenssteuerung

Die Antizipation von Verhaltenskonsequenzen kann in der Regel nur dann erfolgreich sein, wenn die Ausgangsbedingungen berücksichtigt werden, auf die der jeweilige Verhaltensakt angewendet wird. Gelernt werden muß also nicht nur, welche Verhaltensakte zu welchen Konsequenzen führen, sondern *unter welchen Bedingungen*, welche Verhaltensakte zu welchen Konsequenzen führen. Es muß, wie man auch sagen könnte, gelernt werden, welche Situationen durch das eigene Verhalten wie verändert werden.

Eine möglicherweise zweckmäßige Struktur für einen solchen Lernprozeß veranschaulicht die Abbildung 3.1.

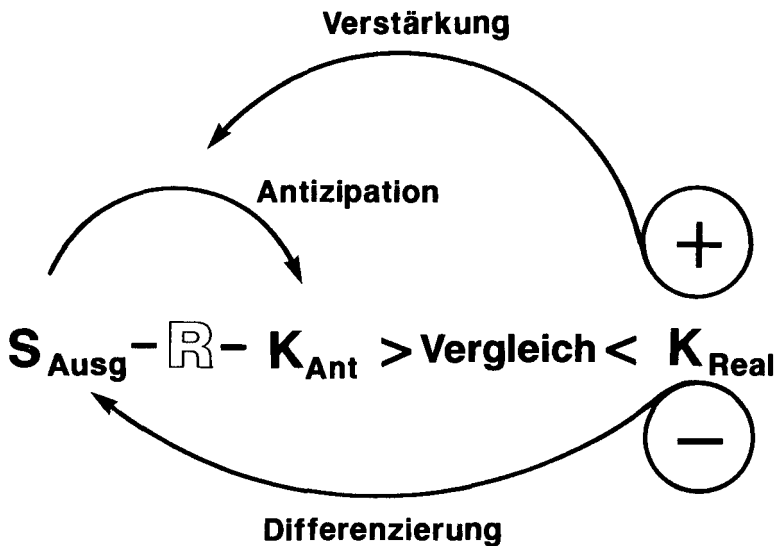


Abbildung 3.1.: Veranschaulichung der Struktur eines hypothetischen Lernmechanismus zum Aufbau von verhaltenssteuernden Antizipationen.

Es wird angenommen, daß erstens intentionales Verhalten ( $R$ ) stets von Antizipationen der nach bisherigen Erfahrungen in der jeweils gegebenen Ausgangssituation ( $S_{\text{Ausg}}$ ) zu erwartenden Konsequenzen ( $K_{\text{Ant}}$ ) begleitet wird. Es wird zweitens angenommen, daß die Antizipationen mit den tatsächlich eintretenden Konsequenzen ( $K_{\text{Real}}$ ) kontinuierlich verglichen werden. Übereinstimmungen sollten die verhaltensbezogene Bindung der bestätigten Antizipationen an die Reizwirkungen der vorliegenden Situation, von denen sie ausgingen, verstärken. Ein solches Lernen würde dazu führen, daß unter den jeweils gegebenen Bedingungen immer genauer diejenigen Konsequenzen antizipiert werden, die mit dem jeweiligen Verhaltensakt kontingent eintreten. Es würden also die mit dem Verhalten *invariant* einhergehenden Situationsänderungen abstrahiert werden.

Unzureichende Übereinstimmungen zwischen antizipierten und eintretenden Situationsänderungen sollten zur Differenzierung der Situationsbedingungen hinsichtlich der mit ihnen verbundenen Verhaltenskonsequenzen führen. Das Nichteintreten der erfahrungsgemäß zu erwartenden Konsequenzen signalisiert ja, daß sich die gegebene von den gewohnten Situationen unterscheidet. Besagen vorliegende Erfahrungen etwa, daß ein Glas dem Druck der zugreifenden Hand einen festen Widerstand entgegensetzt, dann wird dieser Widerstand beim Ergreifen eines Glases antizipiert. Wird nun erstmalig ein Plastebecher ergriffen und dabei erfahren, daß der Becher dem Druck der Hand überraschenderweise nachgibt, dann "lehrt" diese Erfahrung, daß Plastebecher von Gläsern zu unterscheiden sind, weil eben gleiches Verhalten bei ihnen zu unterschiedlichen Konsequenzen führt. Eine solche Differenzierung kann erreicht werden, wenn diejenigen Reize der gegebenen Ausgangssituation, die für die vorangegangenen (und nicht bestätigten) Antizipationen *nicht* berücksichtigt wurden, mit den nun unerwartet eingetretenen Konsequenzen neu verbunden werden. In unserem Beispiel sollten also sensorische Wirkungen von Plastebechern, die sie von invarianten Merkmalen der Gläser unterscheiden, mit der Erwartung eines geringeren Widerstandes beim Ergreifen verbunden werden. Wird später diese neue Erwartung wiederholt bekräftigt, wird sie immer fester an Reizwirkungen gebunden, die für Plastebecher spezifisch sind.

Ein Lernmechanismus mit solchen Eigenschaften würde zwangsläufig zu einer Differenzierung von Situationsbedingungen nach den mit oder in ihnen erlebten Verhaltenskonsequenzen führen, und er würde gleichzeitig bewirken, daß die invarianten Konsequenzen des Verhaltens in Abhängigkeit von den Bedingungen, unter denen es realisiert wird, immer sicherer antizipiert und damit auch kontrolliert werden können. Organismen mit einem solchen Lernmechanismus würden immer vollständigeres Wissen darüber erwerben, unter welchen Umweltbedingungen welche ihrer möglichen Verhaltensweisen zu welchen Konsequenzen führen, und sie könnten dieses Wissen ständig effektiver für einen gezielten Einsatz ihres Verhaltens zum Erreichen erwünschter Ziele unter den wechselnden Bedingungen ihrer Umwelt einsetzen.

Im Resultat eines solchen Lernprozesses wäre ein intentionaler Verhaltensakt mit zwei Arten von Antizipationen verbunden (vgl. Abbildung 3.2.): Eine Antizipation von Eigenschaften des zu erreichenden Zielzustandes, die im Resultat der Verhaltensausführung erfahrungsgemäß erwartet werden und eine Antizipation von Eigenschaften des Ausgangszustandes, die erfahrungsgemäß gegeben sein müssen, damit das Verhalten auch zu den erwarteten Konsequenzen führt.

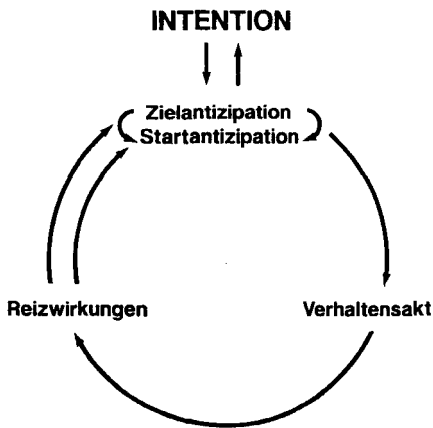


Abbildung 3.2.: Hypothetisches Schema der antizipativen Steuerung zielgerichteten Verhaltens

Beide Antizipationen ergeben zusammen ein (mentales) Bild von den erfahrungsgemäß zu erwartenden Veränderungen einer (Ausgangs)Situation im Resultat des gegenwärtig intendierten Verhaltens. Sie erlauben zugleich eine sichere Kontrolle über den Einsatz und den Erfolg der Verhaltensausführung: Entspricht die gegebene Reizstruktur den antizipierten Ausgangsbedingungen hinreichend, kann der intendierte Verhaltensakt ausgeführt werden. Weiterhin können die durch das Verhalten hervorgerufenen Änderungen der Situation mit den Zielantizipationen unmittelbar verglichen werden. Erfolg oder Mißerfolg der Verhaltensausführung kann so direkt registriert und für eine Differenzierung der Antizipationen genutzt werden.

Die angenommene Struktur einer antizipativen Verhaltenssteuerung bringt viele der im vorangegangenen Kapitel dargestellten Überlegungen in einen zwanglosen Zusammenhang: Sie enthält erstens die Überlegung, daß einem intentionalen Verhaltensakt eine Antizipation der zu erwartenden sensorischen Konsequenzen oder Reafferenzen vorausgeht (Lotze, Wundt, James, von Holst). Sie enthält zweitens den Gedanken, daß intentionales Verhalten durch Reize nicht initiiert, sondern in seiner Ausführung lediglich gelenkt und kontrolliert wird: Es ist nicht die Wahrnehmung des Reizes, die den Verhaltensakt verursacht, sondern es ist umgekehrt, die bestehende Verhaltens-



bereitschaft, die die Wahrnehmung des Reizes determiniert (Dewey, Ach). Darüber hinaus ist die hier vorgeschlagene Struktur auch mit der Überlegung vereinbar, daß eine Reizsituation Informationen über die auf sie anwendbaren Verhaltensweisen, über "Affordances", wie es Gibson genannt hat, beinhaltet: Die Wahrnehmung einer Situation enthält nicht nur die aktuellen Gegebenheiten sondern auch ihre Veränderbarkeiten durch eigenes Verhalten. Damit stehen unsere Spekulationen in Übereinstimmung mit den Überlegungen Neissers und von Weizsäckers, nach denen die Wahrnehmung ein aktiver Vorgang ist, der durch Antizipationen von herstellbaren Veränderungen geleitet wird. Kurzum, die vorgeschlagene Struktur bindet die Prozesse der Wahrnehmung unlösbar an die Prozesse der Verhaltenskontrolle indem sie Wahrnehmung als Vergleich oder Abstimmung von gegebenen mit verhaltensabhängig antizipierten Reizwirkungen versteht.

Unserer weiteren Diskussion liegt die Vermutung zugrunde, daß Lernprozesse mit den hier spekulativ angenommenen Eigenschaften für eine kontinuierliche Effektivierung der Verhaltenssteuerung Sorge tragen und dabei zu Erkenntnissen über Eigenschaften der Umwelt führen, die den Notwendigkeiten der Verhaltenssteuerung immer besser entsprechen.

### **Die kontinuierliche "Belehrung" der antizipativen Verhaltenssteuerung durch die Umwelt**

Unter den Eigenschaften der vermuteten Lernprozesse zur Vervollkommnung antizipativer Verhaltenssteuerung soll erstens hervorgehoben werden, daß es sich um einen *kontinuierlichen* Lernprozeß handelt. Es werden keine Phasen des Lernens von solchen des Könnens unterscheiden. Es werden auch nicht Prozesse der Speicherung von Erfahrungen, der Abstraktion von Zusammenhängen und der Umsetzung abstrahierter Beziehungen in der Verhaltenssteuerung voneinander unterschieden. Noch wird das Lernen von Verhaltensregeln von den Lernprozessen getrennt, die der Vervollkommnung der Verhaltensaussführung dienen. Es handelt sich vielmehr um eine das Verhalten kontinuierlich begleitende Form des Lernens, deren Grundlage die bedingungsabhängigen Antizipationen von Verhaltenskonsequenzen sind und die einfach darin besteht, daß die erfahrungsgemäß antizipierten den tatsächlichen eintretenden Konsequenzen kontinuierlich angepaßt werden.

Die Anpassung erfolgt zunächst hinsichtlich der an die Verhaltensakte gebundenen Antizipationen. Erst in der Folge veränderter Antizipationen kommt es auch zu Verhaltensänderungen da immer nur die Verhaltensakte realisiert werden, die mit den intendierten Zielen verknüpft sind, und die vermieden werden, die unerwünschte Konsequenzen erwarten lassen. Den lernabhängigen Verhaltensänderungen liegen nach dieser Auffassung also nicht Veränderungen in Reiz-Reaktionsverknüpfungen zugrunde,

sondern vielmehr Veränderungen der jeweils situationsgebunden antizipierten Konsequenzen, durch die das Verhalten initiiert und kontrolliert wird.

Eine zweite bemerkenswerte Eigenschaft des Lernvorganges besteht darin, daß es sich um einen Vorgang handelt, der keiner externen Belehrung bedarf. Es handelt sich um einen *selbstbelehrenden* Vorgang. Nach den diskutierten Überlegungen beruhen verhaltenssteuernde Antizipationen auf einem Bedürfnis nach Vorhersage. Ihre Veränderungen werden durch Unterschiede zwischen antizipierten und eintretenden Verhaltenskonsequenzen bestimmt. Da die Verhaltenseffekte zwangsläufig eintreten, bedarf es keiner expliziten Belehrung. Oder, um es anders zu sagen: Die Antizipationen werden durch die herrschenden Verhältnisse belehrt. Sie folgen kontinuierlich den tatsächlich eintretenden Konsequenzen des Verhaltens und spiegeln diese, soweit sie konsistent erfahren werden, immer vollkommener wider.

### **Die "Erkenntnisse" einer antizipativen Verhaltenssteuerung**

Konsistente Verhaltenskonsequenzen treten nur dann ein, wenn entsprechende Gesetzmäßigkeiten ihre Wiederholbarkeit sichern. In einer Umwelt, in der es keine dauerhaften Zusammenhänge gibt, in der sich alles ständig ändert, würden Verhaltensweisen zu immer anderen Effekten führen. Eine antizipative Verhaltenskontrolle würde, weil eben nichts vorhergesehen werden könnte, keinen Erfolg haben. Umgekehrt gilt: Wenn die Konsequenzen eigenen Verhaltens zuverlässig antizipiert werden können, dann beruhen sie vermutlich auf gesetzmäßigen Zusammenhängen. Die immer wieder erfolgende Bestätigung der Antizipationen ist der unmittelbare Ausdruck dieser Gesetzmäßigkeiten. Antizipationen repräsentieren damit *Wissen* um Gesetzmäßigkeiten. Es ist als Wissen über die Veränderbarkeit der von der Umwelt ausgehenden Reizwirkungen, als Wissen über ihre *Herstellbarkeit* repräsentiert.

Allerdings ist dieses Wissen auf diejenigen Umweltausschnitte und Eigenschaften beschränkt, die durch den Organismus in konsistenter Weise beeinflussbar sind. Die Erkenntnismöglichkeiten eines Organismus werden nach diesen Überlegungen also nicht nur durch seine sensorische Leistungsfähigkeit begrenzt, sondern auch durch seine Verhaltensmöglichkeiten. Die Erkenntnisse bleiben auf den Teil der Umwelt begrenzt, der durch das Verhalten erschlossen wird. Über Umweltbereiche, in die ein Organismus nicht eingreifen kann, über Eigenschaften, die er nicht verändern kann, kann er auch keine Erkenntnis gewinnen. Für das von Konrad Lorenz beschriebene "Urtierchen" etwa, das in seinem Verhalten nur zwischen Beschleunigung und Verlangsamung der Eigenbewegung wählen kann, muß sich Erkenntnis auf eine Unterscheidung von Situationen beschränken, die entweder zum Verweilen einladen oder zum Verlassen auffordern. Feinere Unterscheidungen könnten selbst dann nicht erfaßt werden, wenn das Tier über feinere Sinnesleistungen verfügen würde. Organismen, so die generelle

Überlegung, erkennen nur das, was mit ihrem Verhalten in konsistenten Beziehungen steht. Innerhalb dieses Bereiches aber ist die Veritabilität der Erkenntnisse durch ihre kontinuierliche Überprüfung an den Verhaltenseffekten gesichert.

### **Die Bewertung von Verhaltenskonsequenzen**

Wenn wir argumentieren, daß antizipative Verhaltenskontrolle ein Bedürfnis nach Vorhersage befriedigt, dann soll damit nicht behauptet werden, daß nicht auch spezifische Inhaltsmotive oder explizite Belehrung Einfluß auf die Verhaltenssteuerung nehmen. Im Gegenteil, sie erst erlauben die Bewertung von Verhaltenskonsequenzen, die ohnedem lediglich als antizipiert oder nicht-antizipiert klassifiziert werden könnten. Ohne sie könnten positive nicht von negativen, anzustrebende nicht von zu meidenden Verhaltenskonsequenzen unterschieden werden. Der geschilderte Lernvorgang würde zwar dazu führen, daß Verhaltenskonsequenzen immer perfekter vorhergesagt werden können, er könnte dem Verhalten aber keine Ziele geben. Es wäre ein Mechanismus, für den die Perfektion Selbstzweck ist, der allein danach strebt, Verhaltenskonsequenzen möglichst exakt vorherzusagen, aber nicht danach, ganz bestimmte Konsequenzen möglichst zuverlässig zu erreichen und andere zu meiden.

Es kann gelegentlich Verhalten beobachtet werden, das allein durch ein Streben nach Perfektion oder Meisterschaft bestimmt zu sein scheint. Das ist aber eher die Ausnahme. Die Verhaltensziele werden in der Regel durch inhaltliche Motive oder eben explizite Belehrung differenziert. Hier soll lediglich betont werden, daß Erkenntnisse über die Manipulierbarkeit der Umwelt allein schon auf der Grundlage eines Bedürfnisses nach Vorhersage, also ohne ein konkretes Verhaltensziel anzustreben, gewonnen werden können. Die zunächst ungezielt erworbene Verhaltenskontrolle kann später in den Dienst der Erreichung spezieller Ziele gestellt werden. Aus dieser Sicht erscheinen Lernvorgänge, die durch das Bedürfnis nach Vorhersage getrieben werden, als primär gegenüber den Lernvorgängen, die der Befriedigung inhaltlicher Bedürfnisse dienen. Schon Woodworth (1958) hat in diesem Sinne argumentiert: "We are making the claim that this direction of receptive and motor activity toward the environment is the fundamental tendency of animal and human behavior and that it is the all-pervasive primary motivation of behavior" (zitiert nach White, 1959, S.317).

### **Antizipation und anschauliche Vorstellung**

Der zentrale Vorgang der angenommenen Verhaltenssteuerung ist die Antizipation. Wie ist dieser Vorgang zu verstehen? Welche Mechanismen liegen ihm zugrunde? Wir folgen hier den im vorigen Kapitel referierten Auffassungen, nach denen Antizipationen

zentralnervöse Vorgänge zugrunde liegen, die gewöhnlich durch die erwarteten Reize hervorgerufen werden. Wir vermuten also, daß Antizipationen auf einer Vorwegnahme von zu erwartenden zentralnervösen Erregungszuständen beruhen.

Wir hatten Lotze (1852) mit dem Satz zitiert: "Und ferner ist es uns nicht unwahrscheinlich gewesen, dass weder Vorstellung noch Gemüthsaffect unmittelbar ... diese Folge erzeugen, sondern dass sie zunächst auf die sensiblen Centralorgane rückwärts wirken und in ihnen dieselben Zustände erwecken, die sie erfahren würden, wenn der Inhalt der Vorstellung von Neuem als Sinnesreiz auf uns einwirkte". Im gleichen Sinne sprach James (1890) von "anticipatory images", Münsterberg (1889) von der "Erinnerungsvorstellung der früheren Wahrnehmung" und Neisser (1978) von "imagery as the inner aspect of perceptual anticipations".

Daß zumindest im menschlichen Zentralnervensystem Zustände hervorgerufen werden können, die denen von Reizwirkungen weitgehend entsprechen, ohne daß diese tatsächlich gegeben sind, belegt unsere Fähigkeit zum Träumen. Warum also, so kann man argumentieren, sollte diese Fähigkeit zur anschaulichen Vorstellung nicht auch in den Dienst der Verhaltenssteuerung gestellt sein. Man wird sogar eher umgekehrt vermuten können, daß die Fähigkeit zum Träumen in der Zweckmäßigkeit einer antizipativen Verhaltenssteuerung ihren Ursprung hat. Es ist wohl wahrscheinlicher, daß die Evolution Nervensysteme mit der Fähigkeit zu anschaulichen Vorstellungen hervorgebracht hat, weil mit der Antizipation von Verhaltenskonsequenzen eine effektive Verhaltenskontrolle ermöglicht wird, als daß dies geschehen ist, um unseren Schlaf mit Bildern zu beleben. Wie dem auch sei, die Annahme ist, daß die verhaltenssteuernden Antizipationen in mehr oder weniger präzisen anschaulichen Vorstellungen der zu erwartenden Reizeinwirkungen bestehen.

### **Antizipative Verhaltenssteuerung und das "Handeln als ob"**

Die Überlegung, daß den Verhaltensakten anschauliche Vorstellungen der zu erwartenden Reizänderungen vorausgehen, hat die wichtige Konsequenz, daß sie von deren Ausführung unabhängig sind. Es sind, so könnte man auch sagen, selbständige mentale Verhaltensakte, die dem motorischen Akt vorausgehen. Wenn weiterhin unsere Auffassung richtig ist, daß es sich bei den verhaltenssteuernden Antizipationen um Vorstellungen über die Transformierbarkeit von Ausgangs- in Zielsituationen handelt, dann bilden sie in ihrer Summe quasi ein mentales Modell der Umwelt, das deren Zustände mit ihren Veränderbarkeiten jeweils soweit erfaßt, wie konsistente Verhaltenserfahrungen gemacht wurden.

Solange Antizipationen an die Verhaltensausführung gebunden sind, bleiben sie ein Mittel der Verhaltenskontrolle. Sobald aber von der Möglichkeit Gebrauch gemacht wird, sie unabhängig von der Verhaltensausführung zu erzeugen, gewinnen sie eine

neue Qualität. Allein in der Vorstellung können zentralnervöse Zustände erzeugt und verändert werden, *als ob* in die Umwelt tatsächlich eingegriffen werden würde. Die in der Vorstellung erzeugten Zustände repräsentieren gerade jene Veränderungen, bzw. deren zentralnervöse Wirkungen, die erfahrungsgemäß eintreten, wenn der Verhaltensakt tatsächlich ausgeführt wird. Auf die so vorgestellten Verhaltenskonsequenzen kann man *in Gedanken* erneut einen Verhaltensakt anwenden, indem man sich die resultierenden Veränderungen erneut vorstellt usw. Allein in der Vorstellung lassen sich auf diese Weise Folgen von Verhaltenskonsequenzen in beliebiger Weise verbinden, ohne daß ein einziger Verhaltensakt tatsächlich ausgeführt werden muß.

Es ist aus unserer Diskussion die folgende Überlegung hervorzuheben: Antizipationen von Reizänderungen machen die zentralnervösen Zustände, die sonst nur in der Folge tatsächlicher Reizwirkungen eintreten, von eben diesen unabhängig. Dadurch wird die Grundlage für eine vom Vorliegen der Reize unabhängige Manipulation dieser Zustände geschaffen. Dies kann auch als mentale Manipulation von Repräsentationen, als Denken bezeichnet werden. Ein Mechanismus, der in seinem Ursprung der Kontrolle der Verhaltensausführung dient, liefert auf diese Weise die Grundlagen für die Entwicklung verhaltensunabhängigen Denkens (vgl. auch Piaget, 1959/1975; Aebli, 1980, 1981, 1988).

### **Antizipative Verhaltenssteuerung und die Repräsentation von Wissen**

Wissen entsteht als Resultat von Erkenntnisprozessen. Es ist gewissermaßen die Repräsentation der gewonnenen Erkenntnisse im Gedächtnis. In der Kognitionspsychologie wird vielfach zwischen deklarativem und prozeduralem Wissen unterschieden (vgl. Anderson, 1983; Oswald & Gadenne, 1984). Deklaratives Wissen bezieht sich auf (Er)Kenntnisse über die nach Begriffen unterschiedenen Gegebenheiten, über Eigenschaften der begrifflichen Einheiten und über zwischen ihnen bestehende Beziehungen. Prozedurales Wissen bezieht sich dagegen auf die erworbenen Fähigkeiten zum Handeln. Es sind (Er)Kenntnisse darüber, welche Verhaltensakte *wie* ausgeführt werden müssen. Die Unterscheidung spiegelt die geläufige Trennung von Wissen und Können, von dem Wissen "Was" und dem Wissen "Wie" (Ryle, 1969/1948) wider. Sie steht in Übereinstimmung mit der offensichtlichen Tatsache, daß es zwei völlig verschiedene Dinge sind, etwa über Tennis zu sprechen und Tennis zu spielen. Und sie entspricht der nicht seltenen Beobachtung, daß jemand zwar über etwas reden, aber es nicht tun kann und daß umgekehrt jemand etwas tun, aber nicht darüber reden kann. Deklaratives und prozedurales Wissen scheinen also weitgehend unabhängig voneinander zu sein.

Vor dem Hintergrund der Überlegungen zur Ableitung der Erkenntnisprozesse aus den Mechanismen der Verhaltenssteuerung muß die Unterscheidung deklarativen und

prozeduralen Wissens allerdings hinterfragt werden. Erkenntnisse stehen nach unseren Überlegungen stets im Dienste der Verhaltenssteuerung und sollten deshalb auch nicht unabhängig von den "prozeduralen" Strukturen repräsentiert werden, die ihnen zugrunde liegen. Nach unseren Vorstellungen akkumuliert sich sowohl prozedurales als auch deklaratives Wissen in der fortschreitenden Differenzierung einer antizipativen Verhaltenssteuerung. Deklaratives Wissen betrifft in diesem Rahmen die Differenzierung von Situationen, die durch bestimmte Verhaltensakte in antizipierbarer Weise verändert werden oder als Konsequenz ihrer Ausführung eintreten können. Es ist das Wissen um die invarianten Eigenschaften von Ausgangs- und Zielzuständen intentionaler Verhaltensakte. Es handelt es sich dabei zugleich um prozedurales Wissen, da ja Ausgangs- und Zielzustände stets in Bezug auf die Verhaltensakte definiert sind, für die sie konsistent erfahren wurden. Begriffliches Wissen über Klassen von Zuständen oder Erscheinungen ist danach nicht unabhängig von den Verhaltensakten zu denken, denen es seine Entstehung verdankt, und prozedurales Wissen ist nicht unabhängig zu denken von begrifflichem Wissen über die Situationen, unter denen es zur Anwendung kam. Die Unterscheidung von prozeduralem und deklarativem Wissen wird aus dieser Perspektive aufgehoben (vgl. auch Hoffmann, 1990a).

Die Schwierigkeiten, die eine solche Auffassung für die Betrachtung menschlichen Wissens mit sich bringt, ergeben sich vor allem aus der Tatsache, daß sich die Umwelt dem Menschen quasi zweifach präsentiert: Auf der einen Seite sehen wir uns den realen Gegebenheiten, den Objekten und Situationen gegenüber und auf der anderen Seite gibt es die Sprache, die sich auf eben diese Gegebenheiten bezieht. Beide, die Gegebenheiten wie die Sprache, sind für den Menschen zu erkennende Realitäten. In diesem Sinne kann man vielleicht von einer "gegenständlichen" und einer "symbolischen" Umwelt sprechen, ohne dabei zu übersehen, daß die symbolische Welt in ihrer Erscheinungsweise als Lautsprache oder Schrift in der gleichen Weise Realität ist, wie alle anderen Gegebenheiten auch.

In beiden "Welten" gilt es, sich erfolgreich zu verhalten. In der gegenständlichen Welt gilt es etwa, Zielorte zu erreichen, Hindernissen auszuweichen, Objekte zu ergreifen, mit ihnen zu manipulieren usw. In der Welt der Sprache dagegen gilt es, die Symbole zu verstehen, sie korrekt zu produzieren und vor allem, sie in der Kommunikation richtig zu verwenden. Es geht etwa darum, einen Kommunikationspartner zu einer Handlung zu veranlassen, seine Aufmerksamkeit zu fesseln oder das Gesagte bestätigt zu bekommen. Beide Verhaltensanforderungen sind etwa gleich bedeutsam. Es ist wohl nicht übertrieben zu sagen, daß das Sprechen für einen Menschen so wichtig sei, wie etwa das Greifen. In beiden Welten besteht der Erfolg des Verhaltens im Erzielen gewünschter Effekte und in beiden Welten wird man den Erfolg sichern können, wenn man die Effekte des Verhaltens korrekt antizipieren kann, den Effekt einer Greifbewegung ebenso, wie den Effekt einer sprachlichen Äußerung. Ich

argumentiere also, daß das sprachliche Verhalten genauso durch eine Antizipation seiner Effekte kontrolliert und gesteuert wird, wie das Verhalten in der gegenständlichen Welt.

Nach dem Ausmaß der Verhaltenserfahrungen, die jemand in verschiedenen Bereichen macht, werden sich seine Möglichkeiten, in ihnen erfolgreich zu handeln, unterschiedlich entwickeln. Ein Chirurg kann im Operationssaal und ein Förster im Wald erfolgreich handeln, aber in der Regel nicht umgekehrt. Das ist selbstverständlich. In gleicher Weise können unterschiedliche Erfahrungen in der gegenständlichen und der symbolischen Welt vorliegen und unterschiedliche Handlungskompetenzen bedingen. Es ist also auch selbstverständlich, daß sich die sprachlichen und praktischen Leistungen von Individuen unterscheiden. Die Besonderheit liegt hier jedoch, anders als beim Wald und dem Operationssaal, darin, daß sich die Bereiche, auf die sich das sprachliche und praktische Verhalten beziehen, weitgehend überschneiden, ja sogar identisch sein können. Es kommt ja nicht selten vor, daß jemand, bspw. über Tennis sehr interessant sprechen kann, ohne jemals Tennis gespielt zu haben. Es heißt dann, daß er in diesem Bereich zwar über deklaratives aber nicht über prozedurales Wissen verfügt.

Aus unserer Perspektive sollte jedoch auch das sprachgebundene deklarative Wissen als prozedurales Wissen verstanden werden. Als Wissen darüber, wie eine Erzählung begonnen und fortgesetzt werden muß, um einen Gesprächspartner zu beeindrucken; darüber, welche spezifischen Fachausdrücke zu verwenden sind und an welchen Stellen sie geäußert werden müssen, um keinen Widerspruch zu erzeugen usw. Kurzum, es handelt sich auch hier um Wissen über erfolgreiches Erzählen, Diskutieren oder allgemein, um Wissen über erfolgreiches kommunikatives Verhalten, von dem wir annehmen, daß es in prinzipiell gleicher Weise auf Antizipationen zu erwartender Verhaltenseffekte beruht, wie das Wissen über erfolgreiches manipulatives Verhalten.

Nach dieser Auffassung sind nicht deklaratives und prozedurales Wissen sondern Strukturen zur Steuerung sprachlichen (kommunikativen) Verhaltens von Strukturen zu unterscheiden, die der Steuerung gegenständlichen Verhaltens dienen. Eine genauere Analyse dieser (antizipativen) Strukturen wird vermutlich ergeben, daß Teile von ihnen durchaus gemeinsam genutzt werden können, daß etwa Zustände, die für die Steuerung manipulativer Handlungen zu antizipieren sind, im Sinne von "Situationsmodellen" (van Dijk & Kintsch, 1983; Johnson-Laird, 1983) Grundlage für die Ableitung und das Verständnis sprachlicher Beschreibungen sein können, oder daß umgekehrt, eine sprachliche Aussage als Selbstinstruktion für die Verhaltenssteuerung genutzt werden kann. Es wird im Resultat solcher Analysen auch deutlich werden, welche verhaltenssteuernden Mechanismen jeweils spezifisch und damit nicht übertragbar sind. All dies sind Fragen, die sich aus der hier vertretenen Auffassung einer generell verhaltensgebundenen Wissensrepräsentation erst ergeben und deren Beantwortung zukünftigen Untersuchungen vorbehalten bleibt.

## **Der evolutionäre Selektionswert einer antizipativen Verhaltenssteuerung**

Wir wollen unsere Überlegungen zu einem vorläufigen Abschluß bringen. Der hauptsächliche Gedanke bestand darin, daß Verhalten nur dann erfolgreich zur Erreichung bestimmter Ziele eingesetzt werden kann, wenn seine Konsequenzen vorhergesehen werden. Dies wiederum setzt voraus, daß sie in Abhängigkeit von den Ausgangsbedingungen antizipiert werden, auf die er angewendet wird. Systematische Zusammenhänge zwischen Ausgangsbedingungen, Verhaltensakten und eintretenden Konsequenzen können lernabhängig erfahren werden, wenn das Verhalten begleitende Antizipationen kontinuierlich an die eintretenden Konsequenzen angepaßt werden. Im Resultat eines solchen Lernvorgangs wird immer differenzierteres Wissen darüber gewonnen, unter welchen Bedingungen welche Verhaltensweisen zu welchen Konsequenzen führen. In diesem Wissen spiegeln sich dann notwendigerweise diejenigen Eigenschaften und Strukturen der Umwelt wider, die für einen erfolgreichen Einsatz der Verhaltensmöglichkeiten des Organismus relevant sind.

Die lernabhängige Differenzierung antizipativer Verhaltenskontrolle setzt voraus, daß die Vorhersage von Verhaltenskonsequenzen ein elementares organismisches Bedürfnis ist, das die hier vermuteten Mechanismen zu seiner Befriedigung hervorbringt. Es ist, wie ich denke, leicht zu sehen, daß ein Organismus, der über die Fähigkeit verfügt, die Konsequenzen seines Verhaltens vorherzusehen, einen wesentlichen Vorteil gegenüber Organismen besitzt, die dazu nicht in der Lage sind. Ohne Fähigkeit zur Antizipation von Verhaltenskonsequenzen ist ein Organismus den Reizbedingungen in seiner Umgebung insofern ausgeliefert, als er sich darauf beschränken muß, zu lernen, auf sie angemessen zu reagieren. Er steht seiner Umwelt fremd gegenüber, da er ihre Gegebenheiten immer nur hinnehmen kann. Mit der Fähigkeit zur Antizipation dagegen kann ein Organismus sein Verhalten einsetzen, um für ihn günstige Bedingungen aktiv herzustellen. Er reagiert nicht länger auf seine Umwelt, sondern er bildet mit ihr eine Einheit, indem er sie, entsprechend seinen Verhaltensmöglichkeiten und nach seinen Bedürfnissen gestaltet.

Ein weiterer Vorteil eines Bedürfnisses nach Vorhersage besteht darin, daß es Lernvorgänge in Gang hält, ohne daß irgendein anderer Mangel den Organismus treibt. Es sind Lernvorgänge, die einer Perfektionierung der Verhaltenssteuerung dienen, ohne ein bestimmtes Ziel zu verfolgen. Das Spielen heranwachsender Tiere und Kinder und die dabei zu beobachtende unermüdliche Wiederholung von einzelnen Verhaltensabläufen lassen sich als im Dienste einer Perfektionierung der Verhaltenssteuerung stehend verstehen (Groos, 1899; K. Bühler, 1930; Piaget, 1972/1950; Skinner, 1953). Das "spielerisch" gewonnene Wissen über Konsequenzen eigenen Verhaltens unter verschiedenen Bedingungen ist deshalb so nützlich, weil es Voraussetzungen für einen zweckmäßigen Einsatz des Verhaltens zum Erreichen zukünftiger Verhaltensziele schafft. Das Bedürfnis nach Vorhersage von Verhaltenskonsequenzen unterstützt damit



Lernprozesse, die der Bewältigung zukünftiger Verhaltensanforderungen dienen. Es beinhaltet in diesem Sinne eine Antizipation von in der Zukunft liegenden Verhaltensanforderungen. Man könnte mithin sagen, daß durch die Antizipation des Antizipierbaren zugleich eine Antizipation des Unvorhersehbaren geleistet wird. Organismen erschließen sich mit dieser Fähigkeit vorsorglich Verhaltensmöglichkeiten, die ihnen gegenwärtig noch gar nicht abverlangt werden.

Wenn diese Überlegungen richtig sind, dann ist es durchaus wahrscheinlich, daß sich unter dem Druck der Evolution die Antizipation von Verhaltenskonsequenzen als ein Mechanismus entwickelt hat, der nicht nur eine effektive Bewältigung von gegebenen sondern auch von zukünftigen Verhaltensanforderungen unterstützt, der die Integration der Organismen mit ihrer Umwelt fördert und ihre Anpassungsfähigkeit an wechselnde Umweltbedingungen vorausschauend erhöht. Daß die Vorhersagbarkeit von künftigen Ereignissen ein möglicherweise grundlegender Faktor organismischer Evolution sein könnte, ist auch von anderen Autoren vermutet worden. So sieht etwa Piaget (1980) das hauptsächliche Geheimnis des Instinkts in der Antizipation von künftigen Situationen. Klix (1980) spricht bei der Diskussion der Bedingungen, die im Tier-Mensch-Übergangsfeld zur Entwicklung des Menschen geführt haben könnten, von einem individuell und sozial tief verwurzelttem Bedürfnis nach der Voraussagbarkeit künftiger Ereignisse, und Riedl (1987, S.47) schreibt in seinem Buch über die biologischen Grundlagen des Erkennens und Begreifens:

"Der Zweck, oder die lebenserhaltende Funktion, ist im Lebendigen überhaupt, oder doch bis an die Grenzen der kulturellen Evolution, ein rein pragmatischer. Es geht um das, was in unserer Sprechweise richtige Voraussicht, Prognostik oder Vorwegnahme des Problems genannt wird: um richtige Entscheidung, um Antizipation der Problemlösung aus der Erfahrung. ... Das Prinzip (aber) ist so grundsätzlich und alt, daß wir sagen können, die Möglichkeit des Lebens überhaupt beruht auf der Antizipierbarkeit der Problematik der Lebenserhaltung".



## **Teil II**

# **KOGNITIVE LEISTUNGEN ALS AUSDRUCK ANTIZIPATIVER VERHALTENSSTEUERUNG**

Im vorangegangenen Teil des Buches habe ich argumentiert, daß Organismen (und damit auch der Mensch) Reize nicht um der Erkenntnis willen, sondern zum Zwecke der Verhaltenssteuerung verarbeiten. Reizverarbeitung und Verhaltenssteuerung werden vermutlich durch Mechanismen einer antizipativen Verhaltenssteuerung aufeinander bezogen. Diese Spekulation wird durch viele gleichgerichtete Überlegungen und durch die Zweckmäßigkeit einer antizipativen Verhaltenssteuerung legitimiert. Das Zweckmäßige aber auch schon für das Gegebene zu halten, das wäre eine, wie das Ivo Kohler (1955) einmal genannt hat, "Tischlein deck dich Psychologie". Es gilt also, unsere Spekulation an empirischen Phänomenen zu überprüfen.

Es ist zu zeigen, daß die Annahme einer antizipativen Verhaltenssteuerung nicht nur ein allgemeines Verständnis der Verhaltensbezogenheit menschlicher Erkenntnis vermittelt, sondern es auch gestattet, empirische Befunde vollständiger als vorliegende Theorien zu erklären. In den folgenden Kapiteln soll dies für einige Gebiete der Kognitionspsychologie versucht werden. Ich werde jeweils einen Überblick über einschlägige Experimente und theoretische Vorstellungen geben und herausarbeiten, welche Befunde mit den vorliegenden Erklärungen nicht oder nur schwer vereinbar sind. Es wird dann diskutiert, inwieweit die antizipative Verhaltenssteuerung einen Rahmen bietet, der es wenigstens im Prinzip erlaubt, die jeweils bestehenden Erklärungsdefizite zu überwinden.



## **Kapitel 4: Die Stabilisierung der visuellen Informationsaufnahme**

Der "Augenschein" liefert uns die wohl wichtigsten Informationen über die Umwelt. Manches glauben wir erst, wenn wir es sehen, und was wir sehen, ist uns unmittelbar wahrhaftig. Diese Überzeugung, daß die Welt so ist, wie wir sie sehen, beruht u.a. auf der stillschweigenden Annahme, daß die retinalen Abbilder eindeutig durch die Gegebenheiten der Umwelt bestimmt sind, daß sie uns also, ähnlich wie ein Spiegel, ein korrektes Bild von ihr vermitteln. Dies ist jedoch keineswegs der Fall (vgl. z.B. Bruce & Green, 1990). Von den vielfachen Verzerrungen, die die tatsächlichen Verhältnisse im retinalen Abbild erfahren, wollen wir im folgenden diejenigen diskutieren, die durch Eigenbewegungen, insbesondere durch Augenbewegungen verursacht werden.

### **Die "Störung" retinaler Reizwirkungen durch Eigenbewegungen**

Objektbewegungen führen zu gleichsinnigen Bewegungen ihrer retinalen Abbilder auf dem Augenhintergrund. Bewegungen retinaler Abbilder sollten uns dementsprechend eine Bewegung ihrer "Originale" wahrnehmen lassen. Eigenbewegungen verursachen allerdings gleichfalls Bewegungen des retinalen Abbildes. Verlagerungen des Retinabildes können also sowohl auf Bewegungen in der Umwelt als auch auf Eigenbewegungen verweisen. In der Regel unterscheidet unsere Wahrnehmung spontan und richtig zwischen diesen beiden Fällen. Eine ruhende Umwelt nehmen wir auch dann als ruhend wahr, wenn wir uns in ihr bewegen, und ein sich bewegendes Objekt sehen wir auch dann sich bewegen, wenn wir selber ruhen. Blicken wir bspw. gedankenverloren in einen strahlend blauen Himmel, an dem eine Wolke vom Wind getrieben wird, dann bewegt sich auch ihr retinales Abbild auf dem Augenhintergrund. Eine gleiche Bewegung des Retinabildes einer stillstehenden Wolke kann durch eine entsprechende Veränderung der Blickrichtung hervorgerufen werden. Beim Wechsel der Blickrichtung sehen wir die Wolke stillstehen und bei ruhendem Blick sehen wir sie sich bewegen. Dies ist insofern erstaunlich, als es gleiche retinale Bildbewegungen sind, die einmal zur Wahrnehmung einer sich bewegendes, das andere Mal zur Wahrnehmung einer ruhenden Wolke führen.

Betrachtet man diese Zusammenhänge aus der traditionellen Perspektive der Kognitionspsychologie, dann ist das retinale Abbild ein Signal, das Informationen über

Bewegungen in der Umwelt enthält. Das Problem für die Übertragung dieser Information stellt sich nun folgendermaßen dar: Da das retinale Abbild sowohl durch Eigen-, wie durch Umweltbewegungen verändert werden kann, enthalten Bildbewegungen Informationen nicht nur über eine mögliche Umweltbewegung, sondern potentiell immer auch über eine mögliche Eigenbewegung. Man kann auch sagen, daß im retinalen Signal die Information über Umweltbewegungen durch Eigenbewegungen überlagert wird. Dies ist eine Störung (vgl. Abbildung 1.1.), die es zu kompensieren gilt: Bewegungen retinaler Abbilder sind so zu verarbeiten, daß die Informationen über Umwelt- und über Eigenbewegungen getrennt werden. Es darf nur der Anteil wirksam werden, der durch die Umwelt verursacht wird, während der durch Eigenbewegungen hervorgerufene Anteil zu ignorieren ist. Dies geschieht offensichtlich, denn wir "sehen" ja stets, ob sich die Umwelt bewegt, oder ob wir uns in ihr bewegen. Die Frage ist, wie diese Trennung der Informationen realisiert wird.

Das diskutierte Problem betrifft jeden Organismus mit aktivem Verhalten und ist damit grundsätzlicher Art. In allgemeinerer Formulierung besagt es, daß Reizverarbeitung die Erkenntnis von Eigenschaften der Umwelt nur dann ermöglicht, wenn Modifikationen der Reizwirkungen durch eigenes Verhalten kompensiert werden können (vgl. Bischof, 1966). Nur wenn dies gelingt, kann die Informationsübertragung von der Quelle (der Umwelt) auf den Empfänger (den Organismus) zuverlässig gewährleistet werden. Wir wollen die weitere Betrachtung hier auf die Kompensation der Augenbewegungen bei der Wahrnehmung von Objektbewegungen beschränken. Es handelt sich dabei um ein Problem, das nach Grüsser (1986) bereits in der antiken griechischen Philosophie diskutiert wurde.

### **Die Subtraktion der Störung**

Es sind zwei prinzipiell unterschiedliche Überlegungen darüber angestellt worden, wie die hier diskutierte "Störung" kompensiert werden könnte. Die erste und wohl auch naheliegende Überlegung geht davon aus, daß der Wahrnehmende ja "weiß", wann und wie er seine Augen bewegt, so daß er dieses Wissen in die Auswertung der retinalen Reizwirkungen einbeziehen kann. Hinsichtlich der Frage, wodurch "extraretinale" Informationen (Matin, 1972) über die eigenen Augenbewegungen vermittelt werden, sind zwei Varianten zu unterscheiden. Die Augenbewegungen könnten entweder, wie dies schon James (1981/1890) vermutet hat, durch propriozeptive Meldungen aus der Augenmuskulatur (inflow model) oder aber durch das Bewegungskommando zu ihrer Ausführung, durch die zugrunde liegende "Willensanstrengung" (Helmholtz, 1866), spezifiziert werden (outflow model). Die retinalen Bildbewegungen müßten also entweder mit den "einfließenden" propriozeptiven Meldungen über stattgefundene, oder mit den "ausfließenden" efferenten Kommandos über intendierte Augenbewegungen so

verrechnet werden, daß von den gegebenen Bildbewegungen diejenigen *abgezogen* werden, die auf Augenbewegungen zurückzuführen sind. Die noch verbleibenden Bildbewegungen könnten dann als Umweltbewegungen ungestört wahrgenommen werden.

Eine grundsätzliche Alternative zu dieser Überlegung besteht in der Auffassung, daß es keiner extraretinalen Information über Augenbewegungen bedarf, um retinale Bildbewegungen nach ihrer Verursachung zu unterscheiden. So argumentiert etwa Gibson (1966, 1968, 1979), daß sich die durch Augenbewegungen erzeugten Bildbewegungen eindeutig von denen unterscheiden, die durch Objektbewegungen hervorgerufen werden. Durch Augenbewegungen wird etwa die Lage aller Reizwirkungen auf der Retina gleichsinnig und homogen verändert. Ein Teil der Reizwirkungen verläßt auf der einen Seite das Blickfeld, während gleichzeitig auf der anderen Seite neue Reizwirkungen hinzukommen. Darüber hinaus lassen sich selbsterzeugte Bildbewegungen rückgängig machen, indem die ursprüngliche Blickrichtung wieder eingenommen wird. Alle diese Eigenschaften gelten nicht für Objektbewegungen. Gibson nimmt nun an, daß solche invarianten Eigenschaften der mit Augenbewegungen einhergehenden retinalen Veränderungen direkt als solche, eben als Augen- und nicht als Objektbewegungen wahrgenommen werden. Augen- und Objektbewegungen sind nach Gibson also durch jeweils spezifische Invarianten in den Reizwirkungen charakterisiert, die unmittelbar wahrgenommen werden.

Zwischen den Alternativen kann aufgrund der folgenden Beobachtungen eindeutig entschieden werden (vgl. Wolff, 1984, 1985; Grüsser, 1986; Bridgeman, im Druck): Eine ruhende Umgebung wird als unbewegt wahrgenommen, wenn wir sie mit dem Blick aktiv explorieren; sie wird jedoch als bewegt wahrgenommen, wenn die Augen, etwa durch seitlichen Druck auf den Augenbulbus, passiv bewegt werden. Umgekehrt verhält es sich bei Nachbildern, die auf einer kurzzeitig veränderten Sensibilität von Teilen der Retina beruhen. Diese quasi an einer bestimmten Stelle der Retina "eingebrennten" Bilder bewegen sich bei aktiven Augenbewegungen mit, werden aber bei passiven Augenbewegungen als ruhend wahrgenommen (Purkinje, 1825, Mack & Bachant, 1969). Werden die Augen, bspw. durch Lähmung der Muskulatur, daran gehindert, einer "Willensanstrengung" zur Veränderung der Blickrichtung zu folgen, dann führt allein der Versuch einer Blickrichtungsänderung zur Wahrnehmung einer, der intendierten Blickrichtung entsprechenden Umgebungsbewegung (Kornmüller, 1931, 1947; Brindley & Merton, 1960).

Alle diese Beobachtungen zeigen übereinstimmend, daß ein Bewegungskommando ohne retinale Veränderung (gelähmte Muskulatur, aktives Nachbild, Verfolgen eines Objektes mit den Augen) und eine retinale Veränderung ohne Bewegungskommando (passive Augenbewegungen) zur Wahrnehmung einer Umweltbewegung führen, während keine Bewegungen wahrgenommen werden, wenn keines von beiden (passives Nachbild) oder beides im natürlichen Zusammenhang (aktive Exploration einer

ruhenden Umgebung) gegeben ist. Sie unterstützen damit eindeutig das "outflow" Modell, das im Reafferenzprinzip (von Holst und Mittelstaedt, 1950) seinen deutlichsten Ausdruck gefunden hat.

Die Abbildung 4.1. veranschaulicht die Anwendung des Reafferenzprinzips auf das hier diskutierte Problem.

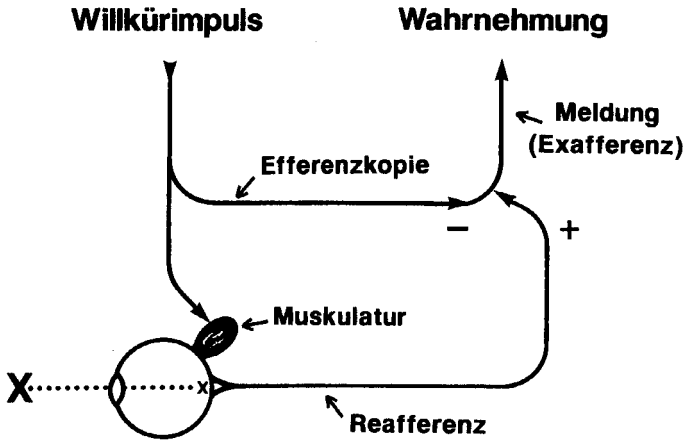


Abbildung 4.1.: Veranschaulichung des Reafferenzprinzips am Beispiel der Steuerung von Augenbewegungen

Der Grundgedanke besteht darin, daß die retinalen Bildbewegungen mit den Efferenzkopien der Augenbewegungskommandos verrechnet werden. Von den gegebenen Bildveränderungen werden diejenigen zum Abzug gebracht, die auf Augenbewegungen zurückgehen (die Reafferenzen). Die nach der Verrechnung verbleibenden Meldungen enthalten dann nur noch die sogenannten Exafferenzen, d.h. die in der Umgebung tatsächlich stattgefundenen Bewegungen. Sie bestimmen das, was wahrgenommen wird, d.h. sie lassen uns nur noch die Bewegungen sehen, die tatsächlich stattgefunden haben. Der "Trick" des Reafferenzprinzips besteht also darin, daß die durch die Eigenbewegung verursachten "Störungen" in der Informationsübertragung erstens durch eine gesonderte Erfassung ihrer Verursachung und zweitens durch eine anschließende Verrechnung kompensiert werden: Die Stabilität der wahrgenommenen Umwelt erklärt sich aus einer Subtraktion der selbst hervorgerufenen Variabilität von der Gesamtvariabilität ihrer Reizwirkungen.



## Das Problem der Verrechnung von Afferenzen und Efferenzen

Ein erstes Problem, das die Reafferenztheorie aufwirft, entsteht mit der Frage nach der Art der Verrechnung von Efferenzkopie und Reafferenz. Die Efferenzkopie beinhaltet nervale Impulse, die die Augenmuskeln veranlassen, eine Augenbewegung zu realisieren. Die Reafferenz beinhaltet dagegen nervale Impulse, die durch Bewegungen des retinalen Abbildes hervorgerufen werden. Die efferenten Impulse beziehen sich also auf die jeweils sechs Augenmuskeln, während die afferenten Impulse Reizveränderungen an den über die Retinae verteilten Rezeptoren repräsentieren. So ungleiche Impulsströme können genausowenig unmittelbar miteinander verrechnet werden, wie etwa der Stromverbrauch der Pumpe eines Kühlschranks mit der Temperatur, die in ihm herrscht, obwohl die Temperatur von der Leistung der Pumpe natürlich ebenso abhängt, wie die retinalen Bildbewegungen von der Tätigkeit der Augenmuskulatur. Bevor Efferenzkopie und Reafferenz miteinander verrechnet werden können, müssen sie aufeinander bezogen werden.

Prinz (1984, 1990 a,b, 1992) hat dieses Problem der Inkommensurabilität efferenter und afferenter Impulse ausführlich diskutiert. Er kommt zu der wohl unabweisbaren Schlußfolgerung, daß es einer gemeinsamen Kodierung bedarf, wenn efferente mit afferenten Impulsen in Beziehung treten sollen. Im Vergleich der verschiedenen Möglichkeiten zur Lösung des Problems argumentiert er für die Überlegung, daß, anstatt ineinander übersetzt zu werden, afferente und efferente Impulse in einem gemeinsamen "Medium" in Wechselwirkung miteinander treten. In diesem sind sie dann gleichermaßen repräsentiert, oder, um es genauer zu formulieren, das ihnen Gemeinsame ist gleichermaßen repräsentiert. Was aber ist das Gemeinsame an Afferenz und Efferenz, an Rezeptormeldungen und Muskelkontraktionen? Nichts, wird man antworten müssen, bis auf die Tatsache, daß sie sich beide auf Gegebenheiten der Umwelt (einschließlich des eigenen Körpers) beziehen. Rezeptormeldungen haben in Reizwirkungen dieser Umwelt ihren Ursprung und Muskelkontraktionen führen zu Veränderungen in ihr. Allein hinsichtlich dieses Bezugs zu einer gemeinsamen Umwelt, in der sich Wahrnehmung und Verhalten gleichermaßen realisieren, sind sie miteinander vergleichbar, ja sogar miteinander verrechenbar, wie dies das Reafferenzprinzip fordert: "Thus, the distinction between percept and act codes is not anchored in the distinction between the body and its environment, but rather in the distinction between event representation and event effectuation" (Prinz, 1990a, S.172).

Von Holst und Mittelstaedt haben vermutlich eine vergleichbare Überlegung verfolgt, als sie für das Beispiel einer Augenbewegung nach rechts schrieben: "...dann entstehen tatsächlich zwei einander komplementäre Impulsströme: eine Efferenzkopie, die uns die Umwelt nach rechts, und eine Exafferenz, die sie nach links bewegt sehen läßt. Da diese beiden sich aber schon auf tiefer Stufe gegenseitig annullieren, so kommt keine

Meldung nach oben" (von Holst & Mittelstaedt, 1950, S.149). Efferenzkopie und Reafferenz sind nach diesem Zitat also hinsichtlich dessen vergleichbar, was sie uns jeweils *sehen lassen* und auch nur diesbezüglich können sie sich gegenseitig annullieren. Wie sie allerdings bereits auf "tiefer" Stufe gegeneinander verrechnet werden, was man wohl verstehen kann als: noch bevor sie uns etwas sehen lassen, bleibt unklar. Wir wollen hier vielmehr den Überlegungen von Prinz folgen und annehmen, daß die Verrechnung dort stattfindet, wo Afferenz und Efferenz gemeinsam repräsentiert werden.

### **Die Anpassung an verschiedene Formen der Störung**

Aus dem eben Gesagten ergibt sich ein weiteres Problem für die Reafferenztheorie: Wodurch wird bestimmt, was uns welche Efferenz sehen (erwarten) läßt? Wir hatten im zweiten Kapitel bereits das Experiment mit der Fliege (*Eristalis*) erwähnt und die Autoren mit der rhetorischen Frage zitiert: "Woher 'weiß' das ZNS, welche Bildverschiebung es beim Laufen gerade zu erwarten hat?" (von Holst & Mittelstaedt, 1950). Nach dem Reafferenzprinzip wird dieses Wissen von der Efferenzkopie geliefert. Wir sehen nun, daß mit einer solchen Antwort das Problem höchstens dort geklärt ist, wo man annehmen kann, daß die mit den Efferenzen zu erwartenden Reafferenzen genetisch fixiert sind. Wo man also einfach voraussetzt, daß im Resultat einer evolutionären Abstimmung die Efferenzkopien schon die richtigen Reafferenzen "sehen" lassen. Dies gilt für die Augenbewegungen des Menschen mit Sicherheit nicht. Man kann vielmehr zeigen, daß das, was uns eine intendierte Blickbewegung "sehen" läßt, lernabhängig verändert werden kann. Man muß lediglich dafür sorgen, daß die Augenbewegungen nicht länger zu den gewohnten Bildverlagerungen führen.

Eine Veränderung der mit den Augenbewegungen einhergehenden Bildverlagerungen, erfordert eine Manipulation der optischen Abbildungsverhältnisse im Auge, die mit den Augenbewegungen gekoppelt ist. Eine Möglichkeit, dies zu erreichen, besteht in der Verwendung von prismatischen Kontaktlinsen. Da sich Kontaktlinsen mit dem Auge mitbewegen, wird auch die prismatische Verzerrung mitbewegt. Die Konsequenzen lassen sich im Sinne des Reafferenzprinzips wie folgt beschreiben: Soll ein in der Peripherie des verzerrt wahrgenommenen Blickfeldes liegender Punkt fixiert werden, wird ein entsprechendes efferentes Kommando ausgelöst, dessen Kopie uns die resultierende Bildverlagerung "sehen" läßt. Da sich aber mit dem Auge auch das Prisma bewegt, wird die Verzerrung durch die Augenbewegung verändert. Diese führt dann zwar zur Fovealisierung des Ortes, an dem der zu fixierende Punkt gesehen wurde, nur sorgt das Prisma dafür, daß der Punkt nun an einem anderen Ort gesehen wird. Mit anderen Worten: Die zu fixierenden Punkte verändern mit den Augenbewegungen ihre

(gesehene) Lage, so daß diese ihre Fixationsziele regelmäßig verfehlen müssen. Es ist ähnlich wie das Schießen auf ein Ziel, das sich in dem Moment, in dem der Schuß abgefeuert wird, zu bewegen anfängt. Nach dem Reafferenzprinzip führt dies dazu, daß das, was uns die Efferenzkopie "sehen" läßt, nicht mit dem übereinstimmt, was die Reafferenz uns sehen läßt. Dies sollte zur Wahrnehmung von Exafferenzen, also von Umweltbewegungen führen.

Dieser Effekt tritt zunächst auch ein. Die Pbn nehmen bei jeder Augenbewegung verschwommene Umweltbewegungen wahr (rubbery effects), die auf die prismatisch erzeugten Differenzen zwischen Efferenzkopien und Reafferenzen zurückgeführt werden können. Diese Erscheinungen verschwinden allerdings schon nach kurzer Zeit (z.B. Festinger, Burnham, Ono & Bamber, 1967; Taylor, 1962; vgl. auch Wolff, 1985). Offensichtlich paßt sich das Verhältnis von Efferenzkopie und Reafferenz den neuen "prismatischen" Beziehungen an. Die Efferenzkopie, so kann man vermuten, lernt es, die Verlagerung des Zielpunktes vorwegzunehmen, so daß sie mit der prismatisch verzerrten Reafferenz wieder übereinstimmt. Dies aber heißt nichts anderes, als daß die Beziehungen zwischen den Efferenzen und dem, was sie uns "sehen" lassen, lernabhängig verändert werden.

Gleiche Zusammenhänge sind auch mit anderen Methoden gezeigt worden. Fordert man etwa einen Pbn auf, den Blick von einem Punkt eines Computerbildschirms zu einem anderen Punkt zu wechseln, dann kann während der etwa 10 bis 30 ms dauernden Augenbewegung der Zielpunkt in beliebiger Weise verlagert werden. Die Situation entspricht dem Tragen prismatischer Kontaktlinsen insofern, als die Augenbewegungen regelmäßig ihr Ziel verfehlen, weil dieses während ihrer Ausführung verlagert wird. Das Ausmaß der Verlagerungen wird gewöhnlich so gewählt, daß sie nicht bemerkt werden. Als abhängige Größe werden deshalb auch nicht Veränderungen subjektiver Wahrnehmungen, wie etwa "rubbery" Effekte, sondern Veränderungen der Augenbewegungen analysiert. Festgestellt wird aber das Nämliche: Die Augenbewegungen passen sich lernabhängig den Zielverlagerungen an, so daß sie nach einigem Training das Ziel trotz seiner Verlagerung treffen (z.B. Deubel, Wolf & Hauske, 1986; Deubel, 1987; Mack, Fendrich & Pleune, 1978; Hajos & Fey, 1982; Miller, Anstis & Templeton, 1981). Es muß also wieder ein Lernvorgang angenommen werden, der dafür sorgt, daß die zu erwartende Zielverlagerung im efferenten Bewegungskommando vorweggenommen wird: "Das System der Okulomotorik gewöhnt sich daran (=lernt) solche Willensimpulse (=Efferenzen) zu geben, welche geeignet sind, die Bewegungen zum 'Erfolg' zu 'regeln' (Hajos & Fey, 1982, S.156)."

Zwischen den beschriebenen Ergebnisse beider Methoden besteht ein geringfügiger Unterschied: In Bezug auf die "Prismenexperimente" haben wir davon gesprochen, daß im Resultat des Lernprozesses die Efferenzkopie die Verlagerung des Zielpunktes vorwegnimmt und bei den Computereperimenten davon, daß die zu erwartende

Zielverlagerung in den efferenten Bewegungskommandos vorweggenommen wird. Wir haben damit einmal die Wahrnehmungs- und das andere Mal die Verhaltenskonsequenzen eines vermutlich einheitlichen Lernprozesses hervorgehoben: Indem gelernt wird, zu welchen veränderten Konsequenzen die Augenbewegungen führen, wird auch gelernt, die Augenbewegungen so zu verändern, daß sie die jeweils intendierten Konsequenzen wieder zuverlässig erzeugen. Die mit den Efferenzen verbundenen Erwartungen sind ihnen also nicht nur als "Kopien" passiv zugeordnet, sondern es hängen auch umgekehrt die Efferenzen von den mit ihnen verbundenen Erwartungen ab. Dieser Zusammenhang kann, wie die geschilderten Experimente zeigen, lernabhängig an künstlich veränderte Verhältnisse angepaßt werden. Damit entsteht die Frage, wie diese Lernvorgänge organisiert sind.

### Das Erlernen korrelativer Zusammenhänge zwischen Efferenzen und Afferenzen

Um Lernvorgänge der behandelten Art beschreiben zu können, haben Hein und Held (1962) vorgeschlagen, das Reafferenzprinzip durch eine Einheit zu ergänzen, in der zwischen efferenten Kommandos und eintretenden Reafferenzen Korrelationen bestimmt werden (vgl. Abbildung 4.2.).

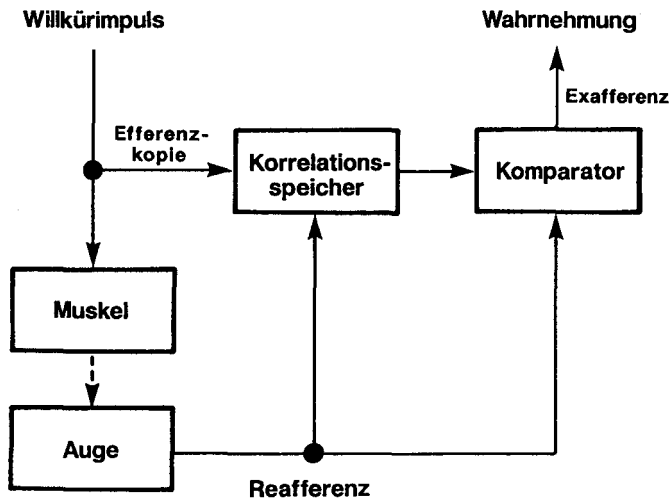


Abbildung 4.2.: Zur Veranschaulichung des Prinzips der Korrelation von Efferenzen und Reafferenzen nach Hein und Held (1962).

Hohe Korrelationen werden festgestellt, wenn zwischen Efferenzen und Reafferenzen systematische Kovariationen bestehen. Es können dann die mit der Ausführung der Efferenzen zu erwartenden Afferenzen zuverlässig vorhergesagt werden. Die Erwartun-

gen, so könnte man auch sagen, werden an die tatsächlich eintretenden Reafferenzen kontinuierlich in dem Maße angepaßt, in dem diese mit den Efferenzen kovariieren. Angesichts der ja nicht nur bei Augenbewegungen gegebenen Adaptivität sensomotorischer Koordinationen stellt dies eine grundlegende und zu Recht vielbeachtete Erweiterung des Reafferenzprinzips dar. Allerdings bleibt in diesem Vorschlag die Reduktion der Lernvorgänge auf das Erfassen korrelativer Zusammenhänge zu unspezifisch (vgl. auch Heuer, 1983). Betrachtet man nämlich die Untersuchungen zur Adaptivität der Augenbewegungen genauer, wird eine erstaunliche Spezifik der Adaptationsprozesse deutlich, der ein korrelatives Lernprinzip nicht gerecht wird.

### Die Bedingungsabhängigkeit der Störungsanpassung

In der bereits zitierten Untersuchung von Hajos und Fey (1982) wurden von den Pbn Augenbewegungen nach rechts und nach links gefordert. Die jeweils zu fixierenden Punkte wurden während der Augenbewegungen u.a. gleichermaßen nach rechts verlagert. Um diese Verlagerungen zu adaptieren, müssen Augenbewegungen nach rechts verlängert, Augenbewegungen nach links dagegen verkürzt werden. Es sind also gleichzeitig zwei verschiedene Adaptationen vorzunehmen. Dies geschieht auch. Dabei werden Verkürzungen (undershoots) schneller adaptiert als Verlängerungen (overshoots, vgl. auch Wolf, Deubel & Hauske, 1983; Miller, et al., 1981; Deubel, Wolf & Hauske, 1986). Aufgrund dieser unterschiedlichen Adaptationsgeschwindigkeiten kann man vermuten, daß die beiden Adaptationen unabhängig voneinander ausgebildet werden.

Weitere Untersuchungen zeigen, daß diese *Richtungsspezifik* der Adaptationen auch für andere Zielverlagerungen gilt. Deubel (1987) berichtet bspw. über Untersuchungen, in denen Fixationsziele auch seitlich verlagert wurden. Die Ziele werden zunächst immer nur in einer Richtung angeboten. Erst nach abgeschlossener Adaptation wird die Richtung der geforderten Augenbewegung variiert. Es zeigte sich, daß die Stärke der Adaptation mit zunehmendem Abstand von der "Erwerbsrichtung" nachläßt. Die Adaptation an die Zielverlagerung wird also nur für eine bestimmte Richtung erworben. Augenbewegungen in andere Richtungen bleiben davon unberührt. Deubel vermutet, daß Richtungssektoren von etwa 30 Grad existieren, auf die die jeweiligen Adaptationen beschränkt bleiben.

Übereinstimmend mit dieser Überlegung können Augenbewegungen in verschiedene Richtungssektoren unabhängig voneinander adaptiert werden (z.B. overshoots nach rechts und undershoots nach links). Werden jedoch zwei unterschiedliche Zielverlagerungen innerhalb des gleichen Richtungssektors realisiert, dann führt dies zu einer Adaptation, die dem algebraischen Mittel der beiden zu erwartenden Einzeladaptationen entspricht (Semmlow, Gauthier & Vercher, 1989). Innerhalb eines Richtungssektors

wird offensichtlich die "Erwartung" der Zielverlagerung an das Mittel der in dieser Richtung erlebten Verlagerungen angepaßt.

Im diesem Zusammenhang sind auch Beobachtungen von Ivo Kohler bei Experimenten mit sogenannten Prismenhalbrillen von Interesse (Kohler, 1951, vgl. dazu auch Hajos & Fey, 1982). Bei diesen Brillen wird jeweils nur die obere oder untere Hälfte des Blickfeldes prismatisch verzerrt. Verlagerungen der anvisierten Fixationsziele treten hier nur bei vertikalen aber nicht bei horizontalen Augenbewegungen auf, also nur dann, wenn der Blick von der normal zur prismatisch verzerrt gesehenen Umgebung oder umgekehrt wechselt. Nach längerem Tragen der Brille werden diese blickrichtungsspezifischen Zusammenhänge fast vollständig adaptiert. Der Träger der Brille kann dann wieder jedes Objekt in seiner Umgebung sicher fixieren, unabhängig davon, ob dazu eine vertikale oder horizontale Augenbewegung notwendig ist.

Auch andere richtungsspezifische Adaptationen sind beobachtet worden. Trägt ein Pb bspw. eine Brille, deren beide Gläser rechtsseitig blau und linksseitig gelb gefärbt sind, erscheint ihm beim Blick nach links die Welt zunächst gelb und beim Blick nach rechts blau verfärbt. Nach längerem Tragen der Brille werden jedoch auch hier beide Farbverzerrungen gleichermaßen adaptiert und die Welt erscheint wieder homogen gefärbt, wohin der Träger der Brille auch blickt. Es findet also sowohl eine Adaptation an die Verschiebung der Farbwerte nach Blau als auch nach Gelb statt. Dies ist umso erstaunlicher als es sich um Gegenfarben handelt, an die eine gleichzeitige Adaptation nicht denkbar sein sollte. Kohler (1956, S.393) spricht deshalb auch von *mehrgleisigen Adaptationen*, für die u.a. die Augenstellung den "Weichensteller" spielen kann. D.h. es finden gleichzeitig und unabhängig voneinander mehrere Adaptationsvorgänge statt, die aber jeweils an bestimmte Bedingungen, hier die Augenstellung, gebunden sind.

Es liegen also Hinweise vor, die vermuten lassen, daß Efferenzen und Reafferenzen von Augenbewegungen nicht einfach korreliert werden, um sie aufeinander abzustimmen. Die Beobachtungen lassen vielmehr bedingungsspezifische, insbesondere richtungsspezifische Lernvorgänge vermuten. Die Richtungsspezifik kann aus zwei Perspektiven kommentiert werden. Einmal kann vermutet werden, daß sie auf einer entsprechenden Organisation der motorischen Steuerung von Augenbewegungen beruht (Deubel, 1987, 1991): Wenn Blicke in verschiedene Richtungen von unterschiedlichen motorischen Einheiten gesteuert werden, dann handelt es sich um voneinander unabhängige Verhaltensakte, die auch unabhängig voneinander adaptiert werden sollten. Andererseits kann es sich bei den Adaptationen aber auch um einen Lernmechanismus handeln, in dem die jeweils vorliegenden Ausgangsbedingungen einer Augenbewegung bei der Kalkulation ihrer Konsequenzen Berücksichtigung finden. Die Richtung in der ein Fixationsziel liegt, würde dann eine Ausgangsbedingung darstellen, an die die Erwartung spezifischer Konsequenzen gebunden wird.

Welche der beiden Erklärungsalternativen vorzuziehen ist, kann gegenwärtig nicht entschieden werden. Dazu bedarf es weiterer Experimente. Es sollte vor allem systematisch untersucht werden, ob neben der Bewegungsrichtung auch andere Situationsbedingungen, wie etwa die Form des zu fixierenden Reizes oder die Ausgangsstellung der Augen, mit spezifischen Adaptationen verbunden werden können. Beide Betrachtungsweisen schließen sich aber auch nicht aus, und es ist möglicherweise beides an den "mehrgleisigen" Adaptationen beteiligt. In jedem Fall aber läßt sich die geschilderte Spezifik der Anpassungsleistungen nur schwer mit den korrelativen Lernvorgängen erklären, wie sie Hein und Held (1962) vorgeschlagen haben.

## Resümee

Die Stabilität der wahrgenommenen visuellen Welt ist eine wichtige Voraussetzung für die Gewinnung von Erkenntnissen über ihre Eigenschaften. Man braucht sich nur vorzustellen, wie chaotisch unsere visuellen Eindrücke wären, würden wir bei jeder Augenbewegung unsere Umgebung sich bewegen sehen. Nach traditioneller kognitionspsychologischer Auffassung sind Erkenntnisse über Stabilität und Bewegung unserer Umwelt das Resultat der Verarbeitung von Informationen, die in der retinalen Reizung enthalten sind. Diese Information wird durch Einflüsse von Eigenbewegungen überlagert. Es läßt sich schlußfolgern, daß die Stabilität der visuellen Wahrnehmung nur gesichert werden kann, wenn diese störenden Einflüsse kompensiert werden. Die Lösung dieses Problem lieferte ein erweitertes Reafferenzprinzip: Mit der Efferenzkopie wird die Eigenbewegung (hier speziell die Augenbewegung) erfaßt und von den registrierten Bewegungen der retinalen Abbilder zum Abzug gebracht. Die Korrespondenz von Efferenzkopie und Reafferenz wird dabei durch ihre kontinuierliche Korrelation gesichert. Die verbleibende Exafferenz enthält in der Konsequenz nur noch Informationen über Bewegungen in der Umwelt, die dann auch als solche wahrgenommen werden. Der Gedankengang erscheint zwingend und die Lösung elegant.

Wir haben dennoch Probleme mit dieser Argumentation gesehen: Das erste Problem entsteht durch die Frage, *wie* die Verrechnung von Efferenzkopie und Reafferenz gewährleistet wird, obwohl die efferenten und afferenten Impulse nicht unmittelbar aufeinander zu beziehen sind. Das zweite Problem betrifft die Frage, wie die Korrespondenz zwischen Efferenzkopie und Reafferenz auch unter sich selektiv verändernden Umweltbedingungen aufrecht erhalten wird. Für die beschriebenen *bedingungsspezifischen* Adaptationen schien uns die Korrelation von Efferenzen und Afferenzen keine befriedigende Lösung zu sein.

## **Die antizipative Steuerung intendierter Blickbewegungen**

Für die Lösung beider Probleme liefert das Konzept einer antizipativen Verhaltenssteuerung einen möglicherweise befriedigenderen Rahmen (siehe auch Wolff, 1984, 1985, 1986 für eine vergleichbare Argumentation). Betrachten wir eine Augenbewegung als einen Verhaltensakt, der eingesetzt wird, um ein Objekt oder eine Erscheinung in der Umgebung zu fixieren. Um einen Verhaltensakt zielgerichtet einsetzen zu können, müssen, wie wir wissen, seine Konsequenzen bekannt sein. Und diese Konsequenzen hängen, so hatten wir weiter argumentiert, in der Regel von den Ausgangsbedingungen ab, unter denen er zur Anwendung kommt. Vor diesem Hintergrund kann vermutet werden, daß auch intendierte Augenbewegungen durch bedingungsabhängige Antizipationen ihrer Konsequenzen gesteuert werden, und daß diese Antizipationen durch einen Vergleich mit den tatsächlich eintretenden Konsequenzen kontinuierlich an die gegebenen Verhältnisse angepaßt werden. Gelernt wird, unter welchen Bedingungen welche Augenbewegungen zu welchen Konsequenzen führen, und es werden in der Folge jeweils die Augenbewegungen realisiert, die die unter den gegebenen Bedingungen angestrebten und antizipierten Konsequenzen erfahrungsgemäß auch realisieren.

Was würde ein Organismus lernen, der die Wirkungen seiner Augenbewegungen unter natürlichen Bedingungen ausprobiert? Er würde bspw. erfahren, daß eine Augenbewegung um, sagen wir 10 Grad nach rechts, zu bestimmten Veränderungen der retinalen Reizwirkungen führt. Diese Veränderungen würden gespeichert, bei jeder Wiederholung der Augenbewegung antizipiert und mit den eintretenden Konsequenzen jeweils verglichen werden. Was sich dabei unter den ständig wechselnden Reizeindrücken als zu antizipierende Invariante herausbilden würde, ist leicht zu sehen: Alle diese Augenbewegungen führen erstens zur Fovealisierung desjenigen Ausschnitts des retinalen Abbildes, der 10 Grad links vom zuvor fovealisierten Ausschnitt gelegen hat und sie führen zweitens zu einer gleichsinnigen Verlagerung des übrigen Netzhautbildes. Da unter natürlichen Bedingungen diese Beziehungen für alle Blickrichtungen und alle Blickweiten invariant sind, würde also gelernt werden, wie die jeweils gegebenen retinalen Reizwirkungen in systematischer, eben vorhersagbarer Weise durch Augenbewegungen modifiziert werden können, unabhängig davon, um welche Reizwirkungen es sich im einzelnen handelt.

Dem Lernprozeß würden kontinuierliche Vergleiche der jeweils antizipierten mit den tatsächlich eintretenden Afferenzen zugrunde liegen. Ergäben diese Vergleiche, etwa unter den Bedingungen eines entsprechenden Experimentes, daß in Abhängigkeit von bestimmten Ausgangsbedingungen jeweils spezifisch veränderte Afferenzen eintreten, würden diese Ausgangsbedingungen differenziert und die Antizipationen in Abhängigkeit von ihnen spezifisch adaptiert werden. Die beschriebenen blickrichtungs-spezifischen Adaptationen könnten als Ausdruck einer solchen bedingungsabhängigen Adaptation von Antizipationen verstanden werden.



Das Problem der Inkommensurabilität efferenter und afferenter Impulse wäre bei einer antizipativen Steuerung dadurch aufgehoben, daß Reafferenzen nicht mit Efferenzkopien sondern mit antizipierten Afferenzen verglichen werden. In diesen Vergleichen wäre sichergestellt, was Prinz (1990 a,b, 1992) gefordert hat: Die efferenten und die afferenten Impulse treten nicht direkt, sondern über ihren gemeinsamen Umgebungsbezug in Wechselwirkung. Es kann hier eingewendet werden, daß Augenbewegungen nur Veränderungen retinaler Reizwirkungen aber nicht Veränderungen in der Umwelt bewirken. Es läßt sich zwar verstehen, so könnte ein Kritiker argumentieren, wie gelernt wird, mit Augenbewegungen die retinale Reizung zu manipulieren, welche Erkenntnis aber damit über die Umwelt gewonnen wird, bleibt unklar. Um dieser Argumentation zu begegnen, muß eine weitere Überlegung ergänzt werden:

Nach dem Gesetz der Konvergenz führt die Fovealisierung einer Erscheinung dazu, daß sich die Blicklinien am Ort der Erscheinung treffen. Die Konvergenz der Blicklinien realisiert damit in besonders effektiver Form das in der Evolution schon früh "entdeckte" Prinzip der Zweipunktpeilung zur Bestimmung der Lage eines Ortes relativ zum Betrachter (vgl. Lorenz, 1973). Eine Fovealisierung dient also nicht nur dem Zweck, eine differenziertere Betrachtung einer Erscheinung zu ermöglichen, sie dient zugleich ihrer egozentrischen Lokation. Ein Wechsel der Fovealisierung bedeutet damit immer auch eine neue Peilung in die Umwelt, und die erfolgreiche Fovealisierung einer Erscheinung ist immer auch ihre erfolgreiche egozentrische Ortung. Indem also ein Organismus lernt, seine Augen so zu bewegen, daß antizipierte Fovealisierungen auch gelingen, lernt er es, die retinal abgebildeten Erscheinungen sicher (visuell) zu orten.

In anderen Worten: Durch eine antizipative Steuerung der Blickbewegungen werden die efferenten Kommandos gelernt, die Blicklinien beider Augen auf den Ort der Erscheinung ausrichten, deren Fovealisierung jeweils intendiert ist. Hier liegt der gemeinsame Umgebungsbezug von retinaler Afferenz und efferenten Augenbewegungskommandos. So, wie retinale Abbildungen Orte in der Umgebung spezifizieren, an denen sich ihre Originale befinden, so spezifizieren die Augenbewegungen Orte, an denen sich die Blicklinien treffen. Die antizipative Kontrolle der aus den Augenbewegungen resultierenden Fovealisierungen hält also kontinuierlich eine Korrespondenz der Abbildungsorte auf der Retina zu den Orten in der Umgebung aufrecht. Sie sichert, so könnte man auch sagen, die Veritabilität der *visuellen* Erkenntnisse<sup>1</sup> über die egozen-

---

<sup>1</sup> Durch eine Störung oder Modifikation des Konvergenzmechanismus, etwa durch das Tragen einer Prismenbrille, kann die visuelle Ortung von Objekten verfälscht werden. Die greifende Hand verfehlt dann das Objekt, das durch eine Blickbewegung noch immer zuverlässig fovealisiert werden kann. Um dies zu kompensieren ist die Steuerung von Greif- und sonstigen Bewegungen an die "neuen" visuellen Ortungen zu adaptieren, d.h. sie sind so zu verändern, daß sie wieder die Ziele erreichen, zu denen sie in Gang gesetzt wurden. Dies geschieht auch (vgl. Kohler, 1951). Die antizipative Ortung von Objekten für ihre zuverlässige Fovealisierung und die für ihr zuverlässiges Ergreifen sind also voneinander zu unterscheiden. Für die visuelle Stabilität ist die zuverlässige Fovealisierung eine hinreichende Bedingung, während sie für eine angemessene handlungsleitende Raumrepräsentation zwar notwendig, aber nicht hinreichend ist.

trische Lokation der Dinge, die auf der Retina abgebildet sind. Als natürliche Folge dieses Zusammenhangs erscheint uns die visuelle Welt solange als stabil, solange wir die Fovealisierung (Lokationen) der auf der Retina abgebildeten Erscheinungen zuverlässig antizipieren können.

Im Gegensatz zur traditionellen kognitionspsychologischen Auffassung wird nach diesen Überlegungen die Information über Umweltbewegungen der retinalen Reizung nicht dadurch entnommen, daß die durch Augenbewegungen verursachten Störungen von den retinalen Veränderungen "abgezogen" werden, sondern es sind im Gegenteil die Augenbewegungen, die die Information über Umweltbewegung oder Umweltstabilität *erzeugen*. Oder, wie es Wolff formuliert hat: "Die retinale Reizung fungiert ... überhaupt nicht als ein Datum, welches einen anderen Sachverhalt indiziert. Die reafferente Variation ... verkörpert die Gesetzmäßigkeit, nach der sich die retinale Reizung intentional variieren läßt. Und genau diese Gesetzmäßigkeit ist das, was im Prozeß des Wahrnehmungslernens erkannt wird und die Wahrnehmungswelt ausmacht" (Wolff, 1985, S.105). Die Erkenntnis geht nicht von den Reizwirkungen aus sondern von der Systematik der Veränderbarkeit der Reizwirkungen durch das eigene Verhalten.

### **Offene Probleme**

Unsere Überlegungen bedürfen in vielfacher Hinsicht der Präzisierung. Wir gehen bspw. davon aus, daß für jeden Verhaltensakt gelernt wird, unter welchen Ausgangsbedingungen er zu welchen Konsequenzen führt. Was aber ist bei den hier betrachteten Augenbewegungen ein Verhaltensakt? Wie genau wird zwischen Augenbewegungen unterschieden? Wir sind bereits auf Hinweise eingegangen, die eine Klassifikation von Augenbewegungen nach Richtungssektoren vermuten lassen (Deubel, 1987, 1991). Wenn dies richtig ist, sollten sich spezifische Antizipationen innerhalb eines Sektors nur dann nachweisen lassen, wenn sie mit unterschiedlichen Ausgangsbedingungen systematisch verbunden sind. Auch die Frage, welche Ausgangsbedingungen überhaupt Berücksichtigung finden können, bedarf der Klärung. Ist die Ausgangslage der Augen eine wirksame Ausgangsbedingung, finden foveale Reizwirkungen eine stärkere Berücksichtigung als periphere Reizwirkungen, oder werden eher globale Charakteristika der retinalen Reizung als Ausgangsbedingung wirksam usw. (vgl. Deubel, Findley, Jacobs & Brogan, 1990)?

Die unterschiedliche Schnelligkeit, mit der Zielüber- und Zielunterschreitungen (over- und undershoots) adaptiert werden, läßt vermuten, daß ein Überschießen des Ziels eher zu Korrekturen Anlaß gibt, als ein Unterschießen. Abweichungen vom antizipierten Ziel würden danach unterschiedliche Bewertungen erfahren, je nachdem, welche Form der Abweichung vorliegt. Auch hier stehen Untersuchungen noch aus, die solchen Zusammenhängen systematisch nachgehen. Man wird ebenfalls untersuchen müssen, wie differenziert der Vergleich zwischen antizipierten und eintretenden Reafferenzen denn

vorgenommen wird. Wie weit muß eine Blickbewegung ihr antizipiertes Ziel überhaupt verfehlen, damit eine Korrektur vorgenommen wird? Es ist bekannt, daß jede Verfehlung eines Fixationszieles durch eine sogenannte Korrektursakkade reflektorisch ausgeglichen wird, so daß Zielverlagerungen bis zu manchmal 30% der Blickbewegungsweite nicht bemerkt werden (vgl. Wolff, 1985). Die zitierten Untersuchungen haben gezeigt, daß trotzdem eine Adaptation der Blickbewegungssteuerung eintritt. Die Adaptation der Blickbewegungen an veränderte Reafferenzen bedarf also keiner bewußten Wahrnehmung ihrer Zielverfehlungen. Wir müssen damit annehmen, daß die Adaptation der antizipativen Steuerung der Augenbewegungen an veränderte Bedingungen ein wenigstens teilweise unbewußter Vorgang ist.

Möglicherweise ist die Unterscheidung von unbewußten und bewußten Komponenten auch für die Zusammenhänge zwischen Wahrnehmungsurteilen und der Steuerung von Blickbewegungen von Bedeutung. Es liegen hier widersprüchliche Berichte vor. Coren (1986) konnte bspw. zeigen, daß sich mit der Weite der Augenbewegungen zwischen zwei Reizkonfigurationen auch die subjektiven Urteile über die Entfernung zwischen ihnen gleichsinnig verändern. Ebenso ändern sich die Urteile über die Gekrümmtheit einer Linie in Abhängigkeit von den Augenbewegungen, die für ihr visuelles "Abtasten" erforderlich sind (Festinger, et al., 1967). In einer anderen Untersuchung waren dagegen die Wahrnehmungsurteile über die Gekrümmtheit einer Linie unabhängig von den Abtastbewegungen der Augen (Miller & Festinger, 1977). Ich will die Diskussion dieser interessanten Phänomene hier nicht vertiefen (vgl. auch Bridgeman, im Druck), sondern lediglich anmerken, daß unsere Überlegung einer antizipativen Steuerung von Blickbewegungen es sinnvoll erscheinen läßt, zwischen Bewegungen zu unterscheiden, deren Ziel willkürlich gewählt und solchen, deren Ziel unwillkürlich (etwa reflektorisch) gestellt wird. Nur im ersten Fall sollte man erwarten, daß die Steuerung der Bewegungsausführung auf Antizipationen beruht, auf denen dann auch Wahrnehmungsurteile beruhen könnten. Für unwillkürliche Blickbewegungen kann man dagegen vermuten, daß sie mit entsprechenden Antizipationen "automatisch" verbunden und damit unabhängig von aktuellen Wahrnehmungsurteilen sind. Dies aber sind Spekulationen, deren Brauchbarkeit erst noch zu testen ist.

Kurzum, unsere Überlegungen zu einer antizipativen Verhaltenssteuerung liefern für das hier betrachtete Problem der Stabilität der visuellen Welt trotz ständiger Bewegung ihres retinalen Abbildes zunächst nur einen Rahmen, der noch in vielerlei Hinsicht präzisiert werden muß. Es ist aber ein Rahmen der, wie ich hoffe gezeigt zu haben, erstens einige Probleme der vorliegenden Erklärungsansätze zu lösen verspricht und der zweitens neuartige Fragestellungen aufwirft, die einer experimentellen Bearbeitung unmittelbar zugänglich sind.



## Kapitel 5: Selektive Reizverarbeitung

Von den vielfältigen Reizen, die uns unablässig umgeben, nehmen wir auch im Wachzustand nur einen Bruchteil wahr. Während ich bspw. diesen Absatz schreibe, werden meine Augen nicht allein vom entstehenden Text auf dem Bildschirm des Computers "angesprochen", sondern ebenso durch Vorgänge auf der Straße, die ich durch das Fenster sehe. In meine Ohren dringt das Geklapper der Tastatur ebenso, wie der Straßenlärm und Geräusche vom Flur. Meine Finger fühlen den Widerstand der Tasten beim Schreiben, meine Füße den Druck der Schuhe und mein Rücken den der Stuhllehne. Im Mund habe ich noch den Geschmack vom Morgenkaffee und in der Nase den Geruch von Renovierungsarbeiten usw. Aber, von alledem nehme ich, wenn ich nicht gerade die verschiedenen Reizwirkungen zu beschreiben suche, kaum etwas wahr. Ich sehe den Text auf dem Bildschirm entstehen, höre das Geklapper der Tastatur und fühle den Widerstand der Tasten beim Tippen, was aber auf der Straße oder auf dem Flur vor sich geht, das sehe oder höre ich beim Schreiben gewöhnlich nicht. Ich bin, wie man sagt, auf das Schreiben konzentriert und alles andere entgeht meiner Aufmerksamkeit. Dies ist ein ganz gewöhnlicher Tatbestand: Wer eine Arbeit konzentriert verrichtet, ist mehr oder weniger "blind und taub" gegenüber Reizen, die nicht mit ihr zusammenhängen.

Wir können aber auch unsere Aufmerksamkeit den unterschiedlichsten Reizwirkungen nach Belieben zuwenden: etwa allen Reizen, die von der Haustür kommen, wenn wir argwöhnen, dort macht sich ein Einbrecher zu schaffen; allen Hinweisen auf eine Tankstelle, wenn das Benzin zur Neige geht; oder allen Namen in einem Text, wenn wir ein Literaturverzeichnis überprüfen. Die Reize, auf die wir unsere Aufmerksamkeit richten, nehmen wir dann gegenüber anderen Reizen bevorzugt oder doch wenigstens leichter wahr, als wenn unsere Aufmerksamkeit nicht auf sie gerichtet wäre. Unsere Wahrnehmung bevorzugt also das, was uns entweder gerade beschäftigt oder dem wir unsere Aufmerksamkeit aus anderen Gründen gezielt zuwenden.

Wilhelm Wundt hat für diese Selektivität der Wahrnehmung den Ausdruck "Apperception" verwendet und darunter sowohl passive als auch aktive Vorgänge verstanden, die dazu führen, daß das Bewußtsein "bestimmten Vorstellungen in höherem Grade zugewandt ist als anderen" (Wundt, 1893, S.267). Die Aufgabe der psychologischen Forschung besteht darin, aufzuklären, welche Mechanismen dieser "Apperception" zugrunde liegen und von welchen Faktoren sie beeinflußt werden. Wie wird der Teil der Vorstellungen oder Reize ausgewählt, der hervorgehoben werden soll? Nach

welchen Kriterien wird diese Auswahl vorgenommen? Welche Wirkungen haben die verbleibenden, nicht ausgewählten aber eben dennoch vorhandenen Reize? Und welche Vorgänge führen unter welchen Bedingungen zu einem Wechsel der Auswahlkriterien?

### **Selektive Wahrnehmung als defizitäre Informationsübertragung**

Aus traditionell kognitionspsychologischer Perspektive stellt sich die Selektivität der Reizverarbeitung als Eigenschaft der Informationsübertragung dar. Von den in den Reizwirkungen enthaltenen Informationen wird nur ein Teil für die Übertragung ausgewählt, ein anderer Teil aber davon ausgeschlossen. Die Ursache dafür wird in einer begrenzten Verarbeitungskapazität gesehen: Die Informationsübertragung ist selektiv, weil die Kapazität in der Regel nicht ausreicht, um die Gesamtheit der gegebenen Reize zu verarbeiten (vgl. Neumann, 1985, 1992). Wenn man weiterhin davon ausgeht, daß die Informationsübertragung in mehreren Schritten realisiert wird (vgl. Abbildung 1.2.), dann drängt sich die Vorstellung auf, daß die Selektion an einer bestimmten Stelle in der Sequenz von Verarbeitungsschritten erfolgt. Die vor der Selektion liegenden Prozesse finden gleichermaßen auf alle Reize Anwendung. Weiterführende Verarbeitungsprozesse kommen dagegen nur noch den ausgewählten Reizen zu. Man sollte also aufmerksamkeitsunabhängige Prozesse (preattentional) von aufmerksamkeitsabhängigen Prozessen der Reizverarbeitung unterscheiden können.

Solche Überlegungen haben Experimente angeregt, in denen mehrere Reize gleichzeitig dargeboten wurden, die Pbn aber nur auf einige von ihnen zu reagieren hatten. Sie sollten also ihre Aufmerksamkeit auf einen Teil der Reize konzentrieren. So wurden bspw. über Kopfhörer verschiedene Texte gleichzeitig im rechten und im linken Ohr dargeboten (dichotisches Hören) und die Pbn aufgefordert, nur den Text in einem Ohr zu beachten. Sie hatten ihn etwa nachzusprechen (shadowing) oder auf das Auftreten bestimmter Worte zu achten. Der Text im anderen Ohr sollte dagegen ignoriert werden, so wie man etwa Gespräche anderer Personen ignoriert, wenn man mit Interesse den Nachrichten zuhört. Eine analoge Anforderung besteht im visuellen Bereich, wenn mehrere Reize gleichzeitig dargeboten werden, die Pbn aber wieder nur auf einen Teil von ihnen reagieren sollen. Von mehreren Buchstaben sind bspw. nur diejenigen zu benennen, die an einem bestimmten Ort oder in einer bestimmten Farbe dargeboten werden. Die jeweils anderen Buchstaben sollen wieder ignoriert werden, so wie man etwa als Autofahrer auf Verkehrszeichen achtet, aber Reklametafeln ignoriert.

## **Frühe oder späte Selektion?**

In den Experimenten zum dichotischen Hören interessierte vor allem, welche Eigenschaften der Reize im "abgewandten" Ohr noch wahrgenommen werden. Es wurde beobachtet, daß die Pbn bspw. eine Veränderung der Tonhöhe oder der Stimme sofort, aber einen Wechsel der Sprache von Englisch auf Deutsch, das zig-fache Wiederholen eines Wortes oder sogar ein Rückwärtslaufen des Tonbandes nicht bemerken (Cherry, 1953; Broadbent, 1958). Vom zu ignorierenden Text scheinen also lediglich sensorische Reizeigenschaften, nicht aber seine Bedeutung wahrgenommen zu werden. In den "visuellen" Experimenten interessierte vor allem, inwieweit die Verarbeitung der Reize, auf die die Aufmerksamkeit gerichtet war (Targets) von den zu ignorierenden Reizen (Distraktoren) beeinflußt wurde, wie effizient also auch hier die Distraktoren von einer Verarbeitung ausgeschlossen werden. Die Ergebnisse sind denen im akustischen Bereich vergleichbar. Die Pbn sind leicht in der Lage, selektiv auf Targets zu reagieren, die sich durch ihren Darbietungsort, ihre Farbe, ihre Größe oder ihre Helligkeit von den Distraktoren unterscheiden. Eine Selektion nach der Bedeutung der Reize, etwa von Buchstaben unter Ziffern, oder von Vokalen unter Konsonanten gelingt dagegen kaum (Coltheart, 1980; van der Heijden, 1987; von Wright, 1968).

Diese Beobachtungen lassen eine "frühe" Selektion vermuten. Alle Reizwirkungen werden hinsichtlich ihrer sensorischen Eigenschaften wie etwa Lokation, Farbe, Größe, Helligkeit, Tonhöhe, Lautstärke usw. aufmerksamkeitsunabhängig verarbeitet. Eine weitere Verarbeitung erfahren nur noch die Reize, auf die die Aufmerksamkeit gerichtet ist. Nur noch für sie wird etwa die Bedeutung ermittelt. Deshalb wird von den zu ignorierenden Texten allein die Tonhöhe oder Lautstärke wahrgenommen und deshalb gelingt eine Selektion visueller Reize nach sensorischen Eigenschaften effizienter als nach ihrer Bedeutung. Die Übertragung der Information erfolgt, so kann man diese Auffassung zusammenfassen, in einem einheitlichen Übertragungskanal und "... a selective operation is performed upon the input to this channel, the operation taking the form of selecting information from all sensory events having some feature in common" (Broadbent, 1958, S.297; vgl. Abbildung 5.1.).

Gegen eine "frühe" Selektion sprechen Beobachtungen, die zeigen, daß teilweise doch die Bedeutung auch der Reize identifiziert wird, die eigentlich von weiterer Verarbeitung ausgeschlossen sein sollten. Sie scheinen die für sie aufgerichtete Verarbeitungssperre zu "durchbrechen" (Broadbent, 1982). So nehmen Pbn beim dichotischen Hören bspw. ihren eigenen Namen auch im abgewandten Ohr häufig wahr (Moray, 1959), sie identifizieren dort dargebotene Tiernamen, (Ostry, Moray & Marks, 1976), oder sie reagieren mit einem galvanischen Hautreflex wenn dort schockassoziierte

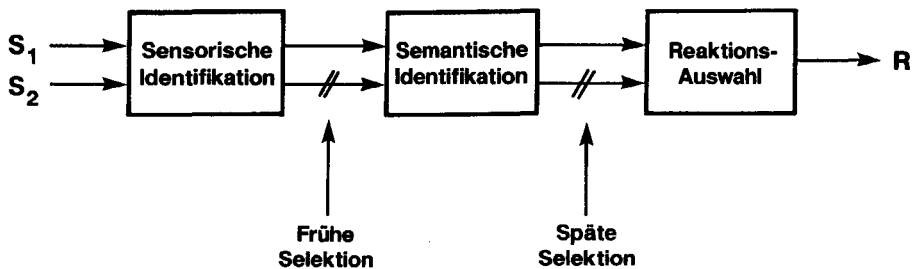


Abbildung 5.1.: Zur Veranschaulichung der Auffassungen von einer frühen und einer späten Selektion in einem einheitlichen Strom der Reizverarbeitung.

Worte dargeboten werden (Corteen & Wood, 1972; Corteen & Dunn, 1974; vgl. auch Dawson & Schell, 1982).

Auch im visuellen Bereich beeinflussen die Distraktoren die Verarbeitung der Targets, wenn sie nicht allzu weit von ihnen entfernt sind (vgl. Überblick bei Johnston & Dark, 1986). Ihr Einfluß ist dabei nicht nur von ihrer sensorischen Ähnlichkeit zu den Targets (z.B. Bjork & Murray, 1977; Neisser, 1967) sondern auch von ihrer Bedeutung abhängig. So wird bspw. die Identifikation eines Targetwortes von seiner semantischen Beziehung zu einem parafoveal dargebotenen Distraktorwort beeinflusst (Bradshaw, 1974; Underwood, 1976, 1981). Oder, die Identifikation der Farbe einer Figur wird verlangsamt, wenn in ihrer (näheren) Umgebung ein zu ignorierendes Farbwort dargeboten wird, das eine andere Farbe bezeichnet (Gatti & Egeth, 1978; Kahneman & Henik, 1981; Kahneman & Chajczyk, 1983; Neumann, 1987b). Alle diese Effekte belegen, daß die Bedeutung der Distraktoren erkannt wurde, obwohl sie ignoriert werden sollten.

Unter dem Eindruck solcher Beobachtungen ist im Gegensatz zur frühen, eine späte Selektion vermutet worden. Nach dieser Auffassung wird für alle Reizwirkungen eine vollständige Verarbeitung bis zur Identifikation ihrer Bedeutung vorgenommen. Die Selektion erfolgt erst danach: "... all sensory messages which impinge upon the organism are perceptually analysed at the highest level" (Deutsch & Deutsch, 1963, S.85). Es ist nun selbstverständlich, daß die Bedeutung auch der zu ignorierenden Reize identifiziert wird und Einfluß auf die Verarbeitung der jeweils beachteten Reize nehmen kann.

Unter der Annahme einer späten Selektion kann allerdings nicht erklärt werden, warum Reize nach sensorischen effizienter als nach semantischen Kriterien selektiert werden (vgl. Johnston & Heinz, 1978, 1979; Johnston & Dark, 1986; Kahneman & Treisman, 1984). Wenn alle Reize in allen ihren Eigenschaften vollständig verarbeitet



werden, dann sollte es keine Unterschiede in der Effektivität der Kriterien geben. Es ist gezeigt worden, daß die geringere Effektivität semantischer Selektionskriterien durch Übung aufgehoben werden kann (z.B. Duncan, 1983). Nur bleibt dann immer noch zu fragen, warum eine semantische im Gegensatz zu einer sensorischen Selektion des Trainings bedarf, wenn doch beide Kriterien aufmerksamkeitsunabhängig ermittelt werden.

Ein weiteres Problem entsteht der Gegenüberstellung von später und früher Selektion aus der Tatsache, daß die Identifikation von Reizen erleichtert wird, auf welche ihrer Merkmale auch immer die Aufmerksamkeit gerichtet ist. Ob man die Aufmerksamkeit auf Reize einer bestimmten Farbe oder Größe (Egeth, 1977; Frankolini & Egeth, 1980) oder auf einen Ort (Posner, 1980) richtet, auf Buchstaben (Gleitman & Jonides, 1978) oder auf Worte mit einer bestimmten Bedeutung (Ostry, Moray & Marks, 1976, Fisk & Schneider, 1983), stets kann man feststellen, daß die jeweiligen Reize leichter verarbeitet werden, als wenn die Aufmerksamkeit nicht auf sie gerichtet wäre. Generell sollte ja gelten, daß die Verarbeitung aufmerksamkeitsunabhängiger Reizeigenschaften durch Zuwendung nicht beeinflußt werden kann. Die zitierten Untersuchungen und auch die Alltagserfahrung zeigen aber, daß es praktisch kein Reizmerkmal gibt, dessen Erfassung nicht erleichtert wird, wenn die Aufmerksamkeit speziell auf dieses Merkmal gerichtet wird. Wirklich aufmerksamkeitsunabhängig scheint danach die Identifikation überhaupt keines Reizmerkmals zu sein (Hoffmann, 1987; Lambert, 1985).

## **Die Verteilung von Ressourcen**

Die Debatte für und wider eine frühe oder späte Selektion hält zwar noch an (z.B. Lambert, 1985; Navon, 1989a), doch es scheint keine der beiden Auffassungen in der Lage zu sein, die vorliegenden Beobachtungen widerspruchsfrei zu integrieren. Angesichts dieser Schwierigkeiten drängt sich die Vermutung auf, daß die dem Streit zugrunde liegende Auffassung einer Sequenz von Verarbeitungsschritten, beginnend bei sensorischen Merkmalen und endend bei der Bedeutung der Reize, den Verhältnissen nicht gerecht wird. Die Frage, ob die Selektion früh oder spät erfolgt, ist möglicherweise deshalb nicht eindeutig zu beantworten, weil es einen einheitlichen Kanal der Reizverarbeitung überhaupt nicht gibt, in dem früher oder später Selektionen vorgenommen werden können.

Im Gegensatz zur Auffassung von einem einheitlichen Informationskanal läßt sich ein verzweigtes Netz von Kanälen denken, in dem unterschiedliche Reizaspekte gleichzeitig verarbeitet werden (Allport, Antonis & Reynolds, 1972). Die Lokation eines visuellen Reizes, seine Form und seine Farbe könnten bspw. unabhängig voneinander identifiziert werden. In einem weiteren "Kanal" könnten parallel dazu Hinweise auf seine begriffliche Identität akkumuliert werden usw. In einem so verzweigten System sollte

die Reizverarbeitung allerdings nur dann selektiv sein, wenn der Umfang an gleichzeitig zu realisierenden Verarbeitungsleistungen begrenzt ist, so daß entschieden werden muß, wie die begrenzte Kapazität auf die einzelnen Verarbeitungsleistungen verteilt werden soll.

Schon Treisman (1960, 1964) hatte den Vorschlag gemacht, frühe Selektion nicht als strikte Auswahl von Reizen sondern eher als Konzentration der Aufmerksamkeit auf bestimmte Eigenschaften zu verstehen, so daß die ignorierten Reize zwar eine reduzierte aber eben doch noch eine Verarbeitung erfahren. Andere Autoren haben in der Verteilung von Verarbeitungskapazitäten *den* zentralen Mechanismus selektiver Aufmerksamkeit gesehen. Kahneman (1973) argumentiert etwa, daß jede Leistung auf zwei Voraussetzungen beruht: Es müssen erstens die jeweils notwendigen Reizbedingungen gegeben sein, um die Leistung vollbringen zu können und zweitens "...a nonspecific input, which may be variously labeled effort, capacity, or attention. To explain man's limited ability to carry out multiple activities at the same time, a capacity theory assumes that the total amount of attention which can be deployed at any time is limited" (Kahneman, 1973, S.9). Norman und Bobrow (1975, S.45) schreiben im gleichen Sinne: "Resources are always limited. If several processes request a portion of the same available resource, this resource must be allocated among them. The results that the processes produce depend upon the nature of the data which they receive and the amount of resources that have been allocated to them." Die Selektion in der Reizverarbeitung erfolgt nach diesen Überlegungen also nicht durch ihre frühe oder späte Beschränkung auf Reize mit bestimmten Eigenschaften, sondern durch eine flexible Verteilung einer limitierten Ressource unter den jeweils aktuell angesprochenen Verarbeitungsprozessen.

Eine experimentelle Analyse der Verteilung von Ressourcen erfordert Situationen, in denen verschiedene Prozesse in der Beanspruchung von Ressourcen konkurrieren. Dies ist der Fall, wenn Pbn zwei Aufgaben gleichzeitig zu bewältigen versuchen (dual tasks), etwa einen Text nachsprechen und ein gelegentlich ertönendes Signal quittieren, oder Klavier spielen und eine Geschichte lesen. Nach den Ressourcentheorien sollte die Bewältigung der einen Aufgabe umso weniger durch die zweite Aufgabe beeinträchtigt werden, je weniger Ressourcen diese beansprucht und umgekehrt. Wenn etwa das Nachsprechen eines Textes durch Klavierspielen stärker gestört wird, als durch die Signalüberwachung, läßt sich schlußfolgern, daß die Signalüberwachung weniger Ressourcen beansprucht als das Klavierspielen. Der aufgabenspezifische Zusammenhang von Leistung und Ressourcenverfügbarkeit sollte sich also aus der Bilanz der Leistungen bei alleiniger und gleichzeitiger Aufgabenbewältigung ableiten lassen (Norman & Bobrow, 1975, 1976).

Die für das Erbringen einer Leistung erforderlichen Ressourcen sind selbstverständlich vom Grad der Geübtheit abhängig. Was einem Anfänger noch äußerste

Konzentration abverlangt und deshalb auch leicht gestört wird, das beansprucht nach intensiver Übung oftmals kaum noch Ressourcen und kann leicht neben anderem bewältigt werden. Ein Konzertpianist wird bspw. ein einfaches Klavierstück gleichzeitig zum Nachsprechen eines Textes ebenso flüssig und fehlerfrei spielen können, als hätte er nur dies zu tun (Allport, et al., 1972; Shaffer, 1975, 1980). Aber auch alltägliche Verrichtungen, wie das Laufen, das Treppen steigen, das Fahrrad oder Auto fahren, das Anziehen, das Binden einer Schleife usw., waren alle einmal Vorgänge, die äußerste Konzentration erforderten und die wir jetzt nebenbei, oder, wie man auch sagt, "automatisch" verrichten.

### **Automatische versus gesteuerte Informationsverarbeitung**

Norman und Bobrow (1975, 1976) haben auf der Grundlage solcher Überlegungen die Unterscheidung zwischen ressourcen- und datenabhängigen Prozessen eingeführt. Ressourcenabhängige Prozesse benötigen für ihre Realisierung die Bereitstellung von Ressourcen, während datenabhängige Prozesse stets in gleicher Qualität erbracht werden, wenn nur die reizseitigen Voraussetzungen für ihre Realisierung erfüllt sind. Es lag nahe, *Automatismen* als in diesem Sinne datenabhängige Prozesse zu betrachten (Posner & Snyder, 1975; Schneider & Shiffrin, 1977; LaBerge, 1975; Neely, 1977): "Any process that does not use general, nonspecific processing resources and does not decrease the general, nonspecific processing capacity available for other processes is automatic" (Schneider, Dumais & Shiffrin, 1984, S.21). Das Vorliegen eines automatischen Prozesses kann nach dieser Definition dadurch operationalisiert werden, daß er (1) die Ausführung anderer Prozesse nicht behindert und umgekehrt von der Ausführung anderer Prozesse selbst nicht behindert wird, daß er (2) in gleich effektiver Weise realisiert wird, gleichviel ob die Aufmerksamkeit auf ihn gerichtet ist oder nicht, und daß es sich schließlich (3) um einen Prozeß handelt, der allein abhängig von der Qualität der jeweiligen Inputreize ist. Im Gegensatz zu den automatischen Prozessen wurden die zu steuernden Prozesse (controlled processes) gesehen, die Ressourcen beanspruchen und deshalb auch mit der gleichzeitigen Realisierung anderer Prozesse interferieren.

Die Ressourcenannahme und die Unterscheidung von automatischen und gesteuerten Prozessen erlauben nun relativ einfache Erklärungen der im Streit zwischen früher und später Selektion widersprüchlich erscheinenden Resultate: Einzelne Reize durchbrechen die Sperre einer frühen Selektion, entweder weil sie automatisch identifiziert werden (etwa der eigene Name) oder weil die Verarbeitung der Targets nicht alle Ressourcen beansprucht, so daß auch die Distraktoren eine teilweise Verarbeitung erfahren können. Die Differenzierung zwischen Targets und Distraktoren gelingt nach sensorischen

Kriterien einfacher, weil diese automatisch identifiziert werden oder doch wenigstens weniger Ressourcen beanspruchen als die Identifikation semantischer Kriterien. Und, wenn der Nachteil einer semantischen Differenzierung durch Übung aufgehoben werden kann, dann eben, weil durch Übung für die entsprechenden Identifikationen weniger Ressourcen beansprucht werden. Schließlich kann die Identifikation beliebiger Merkmale durch Ressourcenzuteilungen verbessert werden. Die Ressourcenannahme erweist sich damit als so flexibel, daß auf ihrer Grundlage praktisch jeder Befund erklärt werden kann.

### **Probleme der Ressourcenannahme**

Die Operationalisierung der Ressourcenbeanspruchung erfordert, daß die für eine Leistung benötigten Ressourcen, abgesehen von lernabhängigen Veränderungen, stabil bleiben. Stabilität ist jedoch nicht gegeben. Es zeigt sich vielmehr, daß die von einer Anforderungsbewältigung ausgehende Beeinträchtigung einer zweiten Aufgabe, d.h. der Umfang der von ihr beanspruchten Ressourcen, vom Charakter der Aufgabe abhängt, die gleichzeitig zu bewältigen ist. Eine Gedächtnisleistung wird etwa durch den Versuch, gleichzeitig eine Rechenaufgabe zu lösen, stärker gestört als durch die gleichzeitige Ausführung einer gezielten Handbewegung. Umgekehrt wird die kontinuierliche Betätigung von Schaltern durch eine Zielbewegung der (anderen) Hand stärker gestört als durch eine Rechenaufgabe. Bezogen auf die Gedächtnisleistung beansprucht also die Rechenaufgabe, bezogen auf die Betätigung von Schaltern, die Zielbewegung jeweils mehr Ressourcen (Manzey, 1988; vgl. auch Segal & Fusella, 1970; Bosshardt, 1975). Die Ressourcenannahme führt also bei der Interpretation von Doppelaufgabeninterferenzen zu keinen konsistenten Aussagen. Wenn die Ressourcenbeanspruchung einer Leistung von der jeweils gleichzeitig zu erbringenden Leistung abhängt, dann kann die gegenseitige Beeinträchtigung zweier Leistungen nicht von ihrer jeweiligen Ressourcenbeanspruchung bestimmt sein. Das Konzept der Ressource verliert damit seine empirische Operationalisierbarkeit (vgl. Neumann 1985, Manzey 1988).

Auch Automatismen lassen sich nicht widerspruchsfrei operationalisieren (Humphreys, 1985; Neumann, 1984, 1989b). In Untersuchungen von Shiffrin und Schneider (1977) hatten die Pbn bspw. verschiedene Targetbuchstaben unter einer unterschiedlichen Anzahl gleichzeitig dargebotener Distraktorbuchstaben zu entdecken. Wenn jeweils die gleichen Targets unter den gleichen Distraktoren immer wieder zu entdecken sind (constant mapping), dann werden die Targets nach längerem Training gleich schnell und sicher entdeckt, unabhängig davon, unter wieviel Distraktoren sie "versteckt" werden. Die Targets müssen dann nicht mehr gesucht werden, sie springen unmittelbar in's Auge (pop out effect). Diese Unabhängigkeit der Entdeckungsleistung von der Anzahl gleichzeitig dargebotener Distraktoren wird als Beleg für ihre

Automatisierung verstanden: Das Erscheinen eines Targets löst seine Entdeckung automatisch aus. Werden anschließend allerdings "automatisierte" Targets als zu ignorierende Distraktoren verwendet, dann stören sie die Suche nach den neuen Targets erheblich. Ihre "automatisierte" (ressourcenunabhängige) Entdeckung interferiert nun mit der Entdeckung der neuen Targets, was als Indiz für Ressourcenabhängigkeit gilt.

Der oben zitierten Definition wurde deshalb eine zweite hinzugefügt: "Any process that demands resources in response to external stimulus inputs, regardless of subjects attempts to ignore the distraction, is automatic" (Schneider, Dumais & Shiffrin, 1984, S.21). Der Vergleich beider Definitionen macht den Widerspruch explizit: Automatische Prozesse können sowohl ressourcenunabhängig als auch ressourcenabhängig sein, je nachdem, ob sie intendiert sind oder unterdrückt werden sollen. Die Unterscheidung von automatisierten und gesteuerten Prozessen nach ihrer Ressourcenabhängigkeit verliert damit allerdings jeden Erklärungswert (vgl. die Diskussion bei Neumann, 1984, 1989).

Dem Konstrukt der Ressource entsteht noch ein anderes Problem. Die gegenseitige Beeinträchtigung zweier Leistungen sollte davon abhängig sein, wieviel Ressourcen sie jeweils unabhängig voneinander beanspruchen. Nun zeigt sich aber, daß mit zunehmender Übung der gleichzeitigen Ausführung die Interferenz in der Regel abnimmt. In einem Versuch von Spelke, Hirst und Neisser (1976) übten bspw. zwei Studenten über 17 Wochen nach Diktat zu schreiben und gleichzeitig Kurzgeschichten zu lesen. Zu Beginn des Versuchs behindern sich die beiden Leistungen enorm. Nach einiger Zeit gibt es jedoch kaum noch Interferenzen. Die Leistungen im Diktat und die Nach-erzählungen der Geschichten sind so, als wäre die jeweilige Aufgabe ungestört gewesen. Man kann hier wohl kaum argumentieren, daß im Verlaufe des Versuchs das Diktatschreiben und das Geschichtenlesen "automatisiert" wurden. Man wird vielmehr annehmen wollen, daß die beiden Studenten es gelernt haben, beide Anforderungen zu *koordinieren*, so wie ja auch Artisten es lernen, bspw. jonglieren und balancieren perfekt zu vereinen, was jedem, der beides nur allein beherrscht, unmöglich ist (vgl. auch Hoffman, Nelson & Houck, 1983). Hirst, Spelke, Reaves, Caharack und Neisser (1980, S.98) ziehen in einer Übersicht vergleichbarer Beobachtungen dann auch den Schluß: "The ability to divide attention is constrained primarily by the individuals level of skill, not by the size of fixed pool of resources".

## Multiple Ressourcen

Die geschilderten Probleme haben zu einer Modifikation der Ressourcenannahme geführt. Nach der ursprünglichen Idee war eine zentrale Ressource auf verschiedene Leistungen zu verteilen, so wie in einem Betrieb die Arbeitskräfte auf anstehende

Aufträge zu verteilen sind. Die Spezifik der gegenseitigen Beeinträchtigung zweier Leistungen legte nun den Gedanken nahe, daß sie nicht um eine, sondern um mehrere Ressourcen konkurrieren, so daß Leistungen nur dann interferieren, wenn sie gleiche Ressourcen beanspruchen: "...the human system is probably not a single-channel mechanism but rather a complicated system with many units, channels, facilities. Each may have its own capacity ... Each specific capacity can be shared by several concurrent processes; thus it constitutes a distributable resource. Different tasks may require those different types of resources in various compositions" (Navon & Gopher, 1977, S.233). Man kann, um die Analogie mit einem Betrieb wieder aufzunehmen, bei den spezifischen Ressourcen an Gruppen von Facharbeitern denken: Zwei Aufträge behindern sich nur insoweit, wie sie beide die gleichen Facharbeiter beanspruchen, ansonsten aber können sie unabhängig voneinander ausgeführt werden.

Die Annahme multipler Ressourcen erlaubt es, die oben geschilderten Inkonsistenzen aufzuklären: Die Rechenaufgabe, so läßt sich nun argumentieren, interferiert mit der Gedächtnisleistung deshalb besonders stark, weil gemeinsam "mentale" Ressourcen beansprucht werden, während die Zielbewegung mit der Betätigung von Schaltern besonders stark interferiert, weil beide "motorische" Ressourcen beanspruchen (vgl. Manzey, 1988; Wickens, 1980, 1984). Auch die übungabhängige Koordination von zwei Leistungen läßt sich nun als Abbau der Beanspruchung gleicher Ressourcen vorstellen usw. Und warum sollte ein so komplexes System wie das menschliche ZNS nicht in der Tat mit unterschiedlichen Ressourcen ausgerüstet sein, damit es seinen ständig wechselnden Aufgaben gerecht werden kann (vgl. Navon, 1989b)?

Es wäre im Sinne wissenschaftlicher Exaktheit allerdings wünschenswert zu wissen, über wieviel verschiedene Ressourcen das menschliche ZNS verfügt, für welche Aufgaben es also spezielle "Kompetenzen" besitzt. Es wäre weiter wünschenswert, bestimmen zu können, wie groß die individuellen Ressourcen in diesen Fähigkeitsbereichen jeweils sind. Es muß auch gefragt werden, ob es neben spezifischen auch eine zentrale Ressource gibt, die etwa für Koordinationsaufgaben verantwortlich ist usw. Und hier liegt das Problem. Die Versuche zur Beantwortung dieser Fragen führen nicht zu konvergierenden Einsichten, sondern zu einer inflationären Differenzierung von immer neuen Ressourcen: Wenn eine Leistung A mit einer Leistung B stärker als mit einer Leistung C interferiert, dann, nach dem Konzept der multiplen Ressourcen deshalb, weil die Leistungen A und B eine spezifische Ressource gemeinsam beanspruchen, die A aber nicht mit C teilt. Neumann (1985) zeigt, daß bei einer Interpretation vorliegender Befunde nach diesem Muster außerordentlich spezifische Ressourcen angenommen werden müssen; gesonderte Ressourcen etwa für Hand- und Beinbewegungen, für kontinuierliche und diskontinuierliche Bewegungen, für die Kontrolle von Raum- und Zeitparametern einer Bewegung, für die Verarbeitung von Buchstaben und Ziffern usw. Durch eine immer differenziertere Wahl der Aufgaben

können immer spezifischere Interferenzen gefunden werden, so daß immer spezifischere Ressourcen postuliert werden müssen, "so wie in der russischen Puppe immer noch eine kleinere steckt" (Neumann, 1985, S.203). Kurzum, die Ressourcen sind immer genauso spezifisch zu definieren, wie sich Interferenzmuster zwischen Aufgaben finden lassen. Interferenzen werden damit nicht auf ihnen zugrunde liegende Ursachen zurückgeführt, sondern lediglich umschrieben.

## **Resümee**

Weder die Überlegungen zu einer frühen oder späten Selektion, noch die zur Verteilung von zentralen oder multiplen Ressourcen führen zu einer befriedigenden Erklärung der Selektivität menschlicher Wahrnehmung. Unzufriedenheit mit dem Stand des theoretischen Verständnisses wird auch von anderen Autoren zum Ausdruck gebracht. Johnston und Dark (1986, S.43/44) schreiben etwa: "In reviewing the literature on attention we were struck by several observations. One was a widespread reluctance to define attention. Another was the ease with which competing theories can accomodate the same empirical phenomena. A third observation was the consistent appeal to some intelligent force or agent in explanation of attentional phenomena ... As a consequence, the more we read, the more bewildered we became." Und Kahneman und Treisman (1984, S.57) beenden einen Literaturüberblick mit der Feststellung: "The participants in the debate about the automaticity of semantic processing and early selection have shared many presuppositions. In particular, they have shared the notion of a standard path of information processing and the idea that attention operates at one or more bottlenecks (or roadblocks) along that path to select the message that should be processed further, or perhaps to attach to each message a single value of relevance. While we continue the debate within the old framework, we should remain alert to the possibility that it could soon become obsolete."

Wir wollen in den folgenden Abschnitten nun zu zeigen versuchen, daß die Überlegungen zur antizipativen Verhaltenssteuerung einen Rahmen bilden, der ein widerspruchsfreieres Verständnis der im Lichte der vorliegenden Erklärungsansätze so widersprüchlich erscheinenden Befunde ermöglicht.

## **Die Selektion von Reizen für die Verhaltenssteuerung**

Wenn die Aufgabe der Reizverarbeitung darin gesehen wird, die in den Reizen enthaltene Information auf eine möglichst vollständige Repräsentation der Umwelt abzubilden, erscheint ihre Selektivität als defizitäre Verarbeitung. Der Grund für das

Defizit wird in der Unfähigkeit des Organismus gesehen, alle dargebotenen Informationen gleichzeitig zu verwerten. Die Verarbeitung ist selektiv, so das Argument, weil das Informationsangebot die Verarbeitungsmöglichkeiten überfordert. Zu klären bleibt "nur" noch, wo und wie im Prozeß der Reizverarbeitung die Selektion vorgenommen wird; warum sie vorgenommen wird, ist nicht zu hinterfragen.

Henning (1925), Prinz (1983), Allport (1987), van der Heijden (1992) und vor allem Neumann (1985, 1987a,b, 1990, 1992) leiten dagegen die Selektivität der Reizverarbeitung aus den Notwendigkeiten der Verhaltenssteuerung ab. Für die Realisierung aktueller Verhaltensabsichten ist der größte Teil der jeweils gegebenen Reizwirkungen ohne Belang. Für das Schreiben dieses Textes etwa sind die Ereignisse auf der Straße oder auf dem Flur völlig belanglos. Von Bedeutung sind nur die Tastatur und die Zeichen auf dem Bildschirm. Ohne das erste würden meine Finger nicht die richtigen Tasten finden, und ohne das zweite könnte ich nicht kontrollieren, ob ich auch das geschrieben habe, was ich schreiben wollte. In der gleichen Weise muß etwa ein Autofahrer Informationen über den Verlauf der Straße, über seine Geschwindigkeit, über Verkehrszeichen usw. berücksichtigen, damit er sein Ziel erreicht. Die Reklametafeln am Straßenrand vermitteln ihm dagegen keine verhaltensrelevanten Informationen.

Generell gilt also, daß die Sinnesorgane stets mehr an Informationen über die Umwelt bereitstellen, als für die Ausführung der Verhaltensabsichten gerade benötigt wird. Unsere Sinne sind, so kann man vermuten, darauf ausgerichtet, für alle möglichen Verhaltensanforderungen die notwendigen Informationen bereitzustellen, in der gleichen Weise etwa, wie ein Warenhaus für alle möglichen Kundenwünsche Waren bereit hält. Welcher Teil davon in jedem Moment verwertet wird, bestimmen der jeweils in Gang befindliche Verhaltensakt und/oder die bestehenden Verhaltensabsichten, so wie auch im Warenhaus jeder Kunde immer nur einen Bruchteil des Angebots beansprucht. Ein Mechanismus, der dafür sorgt, daß von den insgesamt verfügbaren Informationen diejenigen bevorzugt werden, die für den Fortgang des Verhaltens relevant sind, wäre für den Verhaltenserfolg ebenso nützlich, wie ein Verkäufer, der immer genau die Waren bereit hält, die der jeweilige Kunde gerade fordert, für den Geschäftserfolg eines Warenhauses nützlich ist.

Ein solcher Mechanismus müßte, damit er wirkungsvoll sein kann, Kenntnisse darüber haben, welcher Verhaltensakt welche Informationen benötigt. Die Frage, wie solches Wissen erworben wird, führt zu den Überlegungen über eine antizipative Verhaltenssteuerung: Wir hatten argumentiert, daß eine antizipative Verhaltenssteuerung zu Kenntnissen führt, die immer genauer spezifizieren, unter welchen Bedingungen welche Verhaltensweisen welche Resultate erbringen. Mit der Antizipation des Ziels und der für seine Erreichung notwendigen Ausgangsbedingungen werden die Verhaltensakte bestimmt, die erfahrungsgemäß ein Erreichen des Ziels unter den jeweiligen Bedingungen gewährleisten. Unter dem hier diskutierten Gesichtspunkt wird nun deutlich, daß damit die Kenntnisse zur Verfügung stehen, die für eine verhaltensgerechte Selektivität



der Reizverarbeitung zu fordern sind. Die Antizipationen spezifizieren ja nicht nur den Verhaltensakt, sondern eben auch die für seine Ausführung relevanten Reizwirkungen. Es liegt nun nahe, den Gedankengang mit der Annahme abzuschließen, daß es ihre Antizipation ist, die die bevorzugte Verarbeitung der verhaltensrelevanten Reize sichert.

Die Selektivität der Wahrnehmung ist nach diesen Überlegungen kein Defizit im Sinne einer unvollständigen Abbildung der Umwelt, sondern es ist im Gegenteil ein außerordentlich sinnvoller Mechanismus, der die Verarbeitung auf die Reizwirkungen konzentriert, die die Kontinuität und den Erfolg des gegenwärtigen Verhaltens nach Maßgabe der vorliegenden Erfahrungen sichern. Die Selektivität beruht auch nicht auf Mechanismen der Ausfilterung von zu verarbeitenden Informationen oder der Verteilung von Ressourcen. Sie beruht vielmehr auf den Mechanismen der Verhaltenskontrolle selbst, sie ist deren untrennbarer Bestandteil. *Indem* intentionales Verhalten durch die Antizipation verhaltensbegleitender Reizwirkungen gesteuert wird, werden die Bedingungen für die Selektivität der Reizverarbeitung geschaffen. Die antizipierten Reize werden nicht bevorzugt verarbeitet, weil sie einen Filter passieren oder weil auf ihre Verarbeitung besonders viele Ressourcen konzentriert werden, sondern einfach deshalb, weil sie auf Zustände treffen, die denen ihrer Wirkungen bereits weitgehend entsprechen. Die Selektion erfolgt nicht im Strom der Reizverarbeitung an einer oder mehreren Stellen, nicht, nachdem aufmerksamkeitsunabhängige Prozesse ihre Resultate für eine solche Selektion zur Verfügung stellen, sondern sie erfolgt bereits *vor* dem Eintreffen der Reize als verhaltensvorbereitende Antizipation ihrer erwarteten Wirkungen.

Inwieweit erlauben nun diese Überlegungen ein einheitlicheres Verständnis der bislang widersprüchlich erscheinenden Beobachtungen? Wir wollen diese Frage nacheinander für die behandelten Phänomene diskutieren.

### **Das Phänomen des Durchbrechens der Selektion**

Neben intentionalem gibt es auch reflektorisches Verhalten, d.h. Verhaltensakte die zwangsläufig an auslösende Reize gebunden sind. Ein Luftstrom auf unsere Augen löst bspw. unabwendbar einen Lidschlag aus, und ein Kratzen im Hals löst Husten oder Räuspern aus. Dies geschieht unabhängig davon, welche Verhaltensabsicht wir gerade verfolgen, denn unsere Augen müssen vor Fremdkörpern und die Luftröhre vor einem Verschluß bewahrt werden, ganz gleich, was wir gerade tun. Es ist also selbstverständlich, daß solche "Reflexreize" die Selektivität der Reizverarbeitung in dem Sinne durchbrechen, daß sie auch dann verhaltenswirksam werden, wenn die Aufmerksamkeit nicht auf sie gerichtet ist.

Ein Lidschlag oder ein Räuspern stören den Fortgang aktuellen Verhaltens in der Regel nicht. Es gibt aber Reflexe, die zu einer Unterbrechung gegebenen Verhaltens

zwingen. Der in unserem Zusammenhang wichtigste Reflex dieser Art ist der schon von Pavlov (1953) beobachtete und von ihm so benannte Orientierungsreflex. Es handelt sich um eine komplexe Reaktion mit motorischen, sensorischen und physiologischen Komponenten, die vor allem auf unerwartete Änderungen eintritt und eine Ausrichtung aller Sinnesorgane auf den neuen Reiz, eine Konzentration der Aufmerksamkeit auf ihn, beinhaltet (Sokolov, 1963).

Die Funktion des Orientierungsreflexes liegt auf der Hand. Er sorgt dafür, daß trotz aller Konzentration auf gegenwärtiges Verhalten der Organismus nicht "blind und taub" gegenüber Veränderungen seiner Umwelt bleibt, die zu einer Umbewertung gegenwärtiger Absichten führen könnten, etwa dazu, das Fressen zu unterbrechen, um vor einem Feind zu fliehen. "Wenn das Tier nicht mit einem Reflex dieser Art ausgestattet wäre, dann würde sein Leben in jedem Moment an einem Faden hängen" schreibt Pavlov (zitiert nach Klix, 1971, S.475). Daß die Reize, die einen Orientierungsreflex auslösen, die Selektivität der Reizverarbeitung durchbrechen, ist also ebenso biologisch sinnvoll, wie etwa die Aufmerksamkeitsunabhängigkeit des Hustenreflexes. Es handelt sich in beiden Fällen um Reflexe, die der Lebenserhaltung dienen und deren Grundlagen vermutlich schon früh in der Evolution ausgebildet worden sind.

Reflektorisches Verhalten kann, wie wir seit Pavlov wissen, an neue Reizbedingungen gebunden werden. Man spricht dann von bedingten Reflexen. Wenn etwa mit einem leichten elektrischen Schock immer wieder die Darbietung von Worten einer bestimmten Kategorie verbunden wird, dann löst schon ein Wort der jeweiligen Kategorie den Schutzreflex zur Vermeidung des Schocks aus. Oder, wenn die Zuwendung zu einer Reizquelle immer wieder von Reizen einer bestimmten Qualität, etwa vom Klang des eigenen Namens, gefordert wird, dann löst der eigene Name eine bedingt-reflektorische Orientierungsreaktion aus. Und so, wie wir es für biologisch sinnvoll gehalten haben, daß die unbedingten Reize unbedingter Reflexe die Selektion durchbrechen, so muß es nun auch sinnvoll erscheinen, daß die entsprechenden bedingten Reize ebenfalls unabwendbar ihre bedingten Reaktionen auslösen, ob nun die Aufmerksamkeit auf sie gerichtet ist oder nicht.

Im Kontext einer verhaltensgebundenen Selektivität ist ein Durchbrechen der Selektion also stets von solchen Distraktoren zu erwarten, die entweder reflektorisch oder bedingt-reflektorisch anderes als das gegenwärtige Verhalten auslösen. Von besonderer Bedeutung sind dabei Reize, die eine Orientierungsreaktion auslösen und damit eine Neuorientierung des Verhaltens erzwingen. Das Durchbrechen der Selektion spricht damit nicht gegen ihre Verhaltensgebundenheit, sondern verweist auf ihre biologisch sinnvolle Ergänzung durch einen Mechanismus zur Überprüfung der Angemessenheit der Verhaltensabsichten bei sich ändernden Umgebungsbedingungen.

## **Das Phänomen der höheren Effektivität sensorischer gegenüber semantischen Selektionskriterien**

Nach den Überlegungen der antizipativen Verhaltenssteuerung werden die verhaltensrelevanten Reize umso effektiver selektiert, je präziser sie antizipiert werden und je deutlicher sie sich von irrelevanten Reizen unterscheiden. Es muß allerdings bedacht werden, daß nicht objektive Reizmerkmale sondern subjektive Reizempfindungen antizipiert werden. Ein Organismus erfährt immer nur die Wirkungen von Reizen. Nur diese werden gespeichert und auch nur sie können erinnert und antizipiert werden.

Die Wirkungen von Reizen hängen in genetisch vorgeformter Weise von ihren Eigenschaften ab. Das etwa nur Licht bestimmter Wellenlänge zu visuellen Wahrnehmungen führt, gehört zur Grundausstattung unseres Organismus. Die Reizwirkungen sind jedoch in Grenzen veränderbar. So können wir es bspw. lernen, Unterschiede wahrzunehmen, wo uns zunächst alles gleich erscheint. In der populären Sendung "Wetten daß?" des Deutschen Fernsehens sind wiederholt spektakuläre Wahrnehmungsleistungen demonstriert worden, die sich die Kandidaten in wenigen Wochen antrainiert hatten: Wenn sie bspw. am Klang der zuschlagenden Tür den Typ des Autos oder an den Lichtreflexionen einer Schallplatte ihren Titel erkannten. Diese Beispiele demonstrieren, daß nur ausreichendes Training dazu gehört, um Unterschiede sehen oder hören zu lernen, die uns die Sinne zunächst nicht unterscheiden lassen. Für Gibson und Gibson (1955) ist die Differenzierung der, wie sie es nennen, "identifying responses" der Sinnessysteme das wesentliche Charakteristikum des Wahrnehmungslernens überhaupt.

Aus dem Gesagten ergibt sich, daß Reize am ehesten anhand derjenigen ihrer Wirkungen selektiert werden können, in denen sie sich entweder genetisch oder durch vorherige Übung bereits deutlich unterscheiden. Dies gilt vor allem für Unterschiede in elementaren sensorischen Merkmalen, wie etwa der Lokation, der Farbe, der Helligkeit, der Tonhöhe usw. Soll dagegen eine Selektion nach semantischen Kriterien vorgenommen werden, sind etwa nur Buchstaben unter Ziffern, Tiernamen unter anderen Wörtern oder Vokale unter Konsonanten zu verarbeiten, dann kann dies nur insoweit gelingen, als für die Targets Reizwirkungen antizipiert werden können, die sie von den jeweiligen Distraktoren deutlich unterscheiden. Dies wird nicht von vornherein der Fall sein, denn es handelt sich um Unterscheidungen, die im Alltag kaum verlangt werden, und die deshalb auch nicht vorgeprägt sind.

Kurzum, aus unserer Sicht erklärt sich die höhere Effektivität sensorischer Selektionskriterien nicht daraus, daß es sich um frühe Resultate der Reizverarbeitung handelt, sondern aus der Annahme, daß einige Reizmerkmale von "vornherein" zu deutlichen Unterschieden in ihren Wirkungen führen, so daß ihre Antizipation eine unmittelbare Differenzierung zwischen antizipierten und nicht-antizipierten Reizen gewährleistet. Eine vergleichbare Differenzierung zwischen "nur" semantisch

unterschiedenen Reizen muß in der Regel erst erworben werden, so daß die Selektion hier zunächst weniger effektiv ist. Aus dieser Überlegung ergibt sich zugleich, daß sich durch eine Differenzierung der "identifying responses" auf Targets und Distraktoren die Effektivität semantischer Selektionskriterien im Verlaufe eines Experimentes verbessern kann.

### **Das Phänomen wechselnder Interferenzen bei Doppelaufgaben**

Wenn zwei Verhaltensabsichten gleichzeitig verfolgt werden, dann kann sich ihre Ausführung aus verschiedenen Gründen behindern. Am offensichtlichsten ist die Interferenz, wenn gleiche Effektoren beansprucht werden. Es ist bspw. unmöglich, sich zu kämmen und gleichzeitig die Hände zu waschen. So, wie sich die Ausführung zweier Verhaltensweisen ausschließen kann, so lassen sich auch Unvereinbarkeiten in verhaltensvorbereitenden Prozessen vermuten (vgl. Heuer, 1984, 1986, 1987). Da die Verhaltensvorbereitung nach unseren Überlegungen Antizipationen verhaltenssteuernder Reize einschließt, können gegenseitige Behinderungen von Antizipationen als Ursache von Interferenzen in Betracht gezogen werden. Die Vorbereitung zweier Verhaltensweisen sollte bspw. umso stärker interferieren, je schwerer die ihre Ausführung vorbereitenden Antizipationen vereinbar sind. Es ist etwa plausibel, anzunehmen, daß eine gleichzeitige Antizipation von Reizen an unterschiedlichen Orten Schwierigkeiten bereitet oder daß es schwerfällt, den Fortgang zweier Melodien gleichzeitig zu antizipieren. Es sollte vergleichsweise eher möglich sein, mit der Antizipation eines visuellen die eines akustischen Reizes zu verbinden, oder einen visuellen Reiz für die Kontrolle einer Fußbewegung und gleichzeitig einen propriozeptiven Reiz für die Kontrolle einer Handbewegung zu antizipieren usw. Die Interferenz zwischen zwei gleichzeitig auszuführenden Verhaltensakten ist also nach der hier vertretenen Auffassung nicht vom Grad ihrer Konkurrenz um eine oder mehrere Ressourcen abhängig, sondern vom Grad der Vereinbarkeit ihrer verhaltenssteuernden Antizipationen. Die berichtete Variabilität der Interferenzen zwischen Handlungen ist aus dieser Sicht Ausdruck der unterschiedlichen Schwierigkeiten, ihre Ausführung gleichzeitig antizipativ zu kontrollieren.

Es ist mit dieser Auffassung auch vereinbar, daß sich die Interferenz zweier Verhaltensweisen durch ein Training ihrer gemeinsamen Ausführung verringern läßt. Interferenzen sollten in dem Maße abgebaut werden können, in dem es gelingt, die unvereinbaren Antizipationen zu entflechten oder zu integrieren. Die für die Verhaltenskontrolle kritischen Reize könnten bspw. so gewählt werden, daß sie zu unterschiedlichen Zeitpunkten zu antizipieren sind. Eine andere Möglichkeit der Reduktion von Interferenzen besteht in einem Wechsel der Modalität verhaltenssteuernder Antizipationen (vgl. Heuer, 1984). In konstanten Umgebungen, wie bspw. an einer

Schreibmaschinentastatur, kann die Kontrolle des "Tippens" von visuellen auf propriozeptive Effekte verlagert werden. Hier bestätigt das eine so verlässlich den Erfolg der Handlung wie das andere. Wird bspw. gleichzeitig zum Tippen eines diktierten das Lesen eines anderen Textes verlangt, dann kann die Interferenz zwischen beiden Leistungen dadurch abgebaut werden, daß das Tippen zunehmend propriozeptiv kontrolliert wird und damit das Lesen immer seltener unterbricht, was übrigens geübte Sekretärinnen mühelos beherrschen (Shaffer, 1975).

Die Vereinbarkeit und Integration verhaltensvorbereitender Prozesse ist bislang nur andeutungsweise untersucht worden (Damos & Wickens, 1980; Fracker & Wickens, 1989; Manzey, 1988). Es soll jedoch hervorgehoben werden, daß unser Ansatz das Problem der *Koordination* der zu erbringenden Leistungen betont. Dies erscheint heuristisch sinnvoller als der nichtssagende Verweis auf ihre Ressourcenbeanspruchung.

### Das Phänomen der Ressourcenabhängigkeit von Automatismen

Im Sinne einer antizipativen Verhaltenssteuerung ist ein Verhaltensakt automatisiert, wenn die seine Ausführung kontrollierenden Reizwirkungen vollständig vorbestimmt sind. Führt etwa ein Verhaltensakt beim Vorliegen immer wieder derselben Reizwirkung zum Erfolg, dann wird die Intention, ihn auszuführen, mit der Erwartung eben dieser Reizwirkung verbunden. Wenn sie dann vorliegt, wird er unmittelbar ausgeführt, da sein Erfolg erfahrungsgemäß gesichert ist. Es handelt sich um ein dem Reflex ähnlichen Zusammenhang, mit dem allerdings wichtigen Unterschied, daß ein Reflex keiner Intention bedarf. Automatisiertes Verhalten wird dagegen nur dann auf den auslösenden Reiz hin realisiert, wenn es intendiert ist (vgl. Düker, 1983). Neumann (1984, 1989a) hat für solche festen Zusammenhänge zwischen Verhaltensausführung und Reizwirkung den Ausdruck *direkte Parameterspezifikation* geprägt: Das zur Ausführung drängende Verhalten wird durch Reizbedingungen so vollständig spezifiziert, daß es bei deren Vorliegen unmittelbar realisiert wird.

Automatisiertes Verhalten ist in diesem Sinne also keineswegs aufmerksamkeits- oder ressourcenunabhängig sondern, ganz im Gegenteil, mit einer außerordentlich selektiven Erwartung der auslösenden Reizbedingungen verbunden. Es ist gerade diese Selektivität, die automatisiertes Verhalten gegenüber anderen Reizwirkungen so erfolgreich abschirmt, daß es weitgehend ungestört durch Distraktoren realisiert werden kann. Und es ist andererseits ebenfalls diese Selektivität, die automatisiertes Verhalten zu einem Störfaktor werden läßt, wenn die auslösenden Reizwirkungen ignoriert werden sollen (vgl. die Diskussion bei Neumann, 1984, 1989b).

Von Automatismen ausgehende Interferenzen sind also immer dann zu erwarten, wenn sie zwar intendiert, ihre Auslösebedingungen aber dennoch zu ignorieren sind. Ein bekanntes Beispiel für einen solchen Fall ist das Stroop Phänomen (Stroop, 1935).

Bietet man Farbworte in unterschiedlichen Farben an und fordert die Pbn auf, die Farben zu benennen, ohne auf die Worte zu achten, dann sind die zu ignorierenden Worte hochtrainierte Auslösebedingungen für die intendierte Nennung von Farbnamen. Sie stören, wenn das Wort einen anderen Farbnamen als den zu nennenden spezifiziert (vgl. für einen Überblick Glaser & Glaser, 1989). Ist bspw. das Wort ROT mit grüner Tinte geschrieben, dann haben die Pbn die Farbe 'Grün' zu benennen. Das Wort spezifiziert in diesem Fall jedoch das Aussprechen des Farbnamens 'Rot' und verzögert damit die 'Grün-Reaktion'.

Auch andere Beobachtungen lassen sich hier einordnen: In Experimenten, in denen die Pbn auf visuelle Targets zu reagieren haben, die von zu ignorierenden Distraktoren "flankiert" werden, hängen die von den Distraktoren ausgehenden Interferenzen vor allem davon ab, inwieweit sie Auslösebedingungen für mögliche Reaktionen auf die Targets sind, inwieweit sie also zum intendierten "response set" gehören (z.B. Eriksen & Eriksen, 1974; Eriksen & Schultz, 1979; La Heij, 1988; Mohr, 1984). Auch bestimmte Verhaltensfehler sind in diesem Zusammenhang interessant (Heckhausen & Beckmann, 1990): Wenn etwa ein Busfahrer auf seiner üblichen Route an eine Haltestelle fährt und dort stoppt, obwohl er mit seinem Privatwagen unterwegs ist, dann wohl deshalb, weil unter der Intention des Fahrens die Wahrnehmung der Haltestelle die hochtrainierte Auslösebedingung für das Anhalten ist.

Die als widersprüchlich diskutierten Befunde, daß automatisiertes Verhalten einerseits weitgehend distraktorunabhängig realisiert wird, auf der anderen Seite aber andere Verhaltensweisen empfindlich stören kann, lassen sich also mit den Annahmen einer antizipativen Verhaltenssteuerung widerspruchsfrei vereinbaren. Die Distraktorunabhängigkeit ist der Ausdruck einer Antizipation von spezifischen Auslösebedingungen, die den Einfluß von Distraktoren so lange wirkungsvoll unterdrückt, so lange sich deren Reizwirkungen von den antizipierten Auslösebedingungen hinreichend unterscheiden. Die Interferenzphänomene bringen auf der anderen Seite zum Ausdruck, daß die antizipierten Auslösebedingungen das intendierte Verhalten zwangsläufig initiieren, also auch dann, wenn sie von zu ignorierenden Reizen ausgehen.

## **Resümee**

Aus der traditionellen Perspektive der Kognitionspsychologie ist die Selektivität der Reizverarbeitung ein Defizit der Informationsübertragung. Von der Gesamtheit aller gegebenen Reize müssen einzelne selektiert werden, weil es dem Organismus aufgrund einer begrenzten Verarbeitungskapazität unmöglich ist, alle zu verarbeiten. Für die Selektion sind verschiedene Mechanismen in Betracht gezogen worden. Allerdings werden weder die Annahmen einer frühen oder späten Selektion noch die der Verteilung

einer oder mehrerer Ressourcen den beobachteten Phänomenen gerecht. Anstelle der traditionellen Perspektive haben Henning (1925), Prinz (1983), Allport (1987) van der Heijden (1992) und vor allem Neumann (1985, 1987, 1992) die Auffassung vertreten, daß die Selektivität der Reizverarbeitung ein notwendiger Mechanismus der Verhaltenssteuerung ist. Wir haben uns dieser Auffassung angeschlossen und sie mit den Überlegungen zu einer antizipativen Verhaltenssteuerung verbunden.

Die Selektivität der Wahrnehmung beruht nach unseren Überlegungen auf einer Antizipation der nach vorliegenden Erfahrungen jeweils verhaltensrelevanten Reizwirkungen. Treten die antizipierten Reizwirkungen ein, dann treffen sie auf Zustände, die denen ihrer Wirkungen bereits entsprechen, so daß sie schneller, sicherer, genauer usw. identifiziert und verarbeitet werden können als nicht-antizipierte Reize. Die Mechanismen der antizipativen Verhaltenssteuerung sorgen damit zwangsläufig für eine Selektion der erfahrungsgemäß verhaltensrelevanten aus der Gesamtheit der gegebenen Reize. Gesonderte Selektionsmechanismen sind nicht erforderlich.

Diese Überlegungen bieten einen Interpretationsrahmen, der es möglich erscheinen läßt, die in der Aufmerksamkeitsforschung kontrovers diskutierten Phänomene widerspruchsfrei zu verstehen. Damit soll nicht behauptet werden, sie wären schon erklärt. Erklärungen verlangen mehr als nur Verständnis. Sie verlangen die konkrete Ableitung der Phänomene aus den jeweils gegebenen Bedingungen nach theoretisch begründeten Zusammenhängen. Um dies zu leisten, müßten wir u.a. spezifizieren, worin sich die Verarbeitung antizipierter und nicht antizipierter Reizwirkungen unterscheidet, welche Lernmechanismen eine Koordination der antizipativen Steuerung mehrerer Verhaltensakte ermöglichen, oder worin sich Grade der Automatisierung unterscheiden. Dies alles ist noch zu leisten. Nur, die hier vertretene Auffassung führt zu anderen Fragestellungen als die vorliegenden Ansätze, die es trotz der von ihnen reichlich angeregten Forschung bislang nicht vermocht haben, die verschiedenen Phänomene einer integrativen Erklärung zuzuführen. Eine theoretische und vor allem auch experimentelle Differenzierung der hier angedeuteten Fragen, läßt demgegenüber hoffen, zu einem angemesseneren Verständnis der Selektivität unserer Wahrnehmung zu kommen.

Ich werde die Diskussion zur Selektivität der Wahrnehmung im folgenden Kapitel fortsetzen, um die Selektion von Reizen nach dem Ort ihres Auftretens und nach dem Objekt, von dem sie ausgehen, zu diskutieren. Es erschien mir notwendig, hierfür ein eigenes Kapitel vorzusehen, da die Diskussion zu diesen Themen durch zwei aktuell sehr einflußreiche theoretische Konzepte dominiert wird (die Spotlight- und die Merkmalsintegrationstheorie), deren kritische Diskussion eine etwas ausführlichere Darstellung verlangt.





## **Kapitel 6: Die orts- und objektgebundene Reizselektion**

### **6.1. Die Spotlightmetapher der visuellen Aufmerksamkeit**

Was wir besonders aufmerksam betrachten wollen, das fixieren wir. Der Fixationsort wird dann in beiden Augen foveal abgebildet, so daß die von ihm ausgehenden Reize eine höhere Auflösung erfahren als Reize von anderen Orten. Wir können dort Details unterscheiden, die wir bei parafovealer Abbildung nicht wahrnehmen würden. Nun gibt es die bereits von Helmholtz (1866) hervorgehobene Tatsache, daß wir unser Interesse auch anderen als den gerade fixierten Orten zuwenden können. Es kennt wohl jeder Situationen, in denen bspw. ein Gesprächspartner noch angeschaut wird, obwohl das Interesse schon einer anderen Person gilt oder wo der unschuldige Blick den Lehrer verfolgt, während die Aufmerksamkeit auf das Heft des Nachbarn gerichtet ist usw.

#### **Die verdeckte Fokussierung eines Ortes**

Dieses Phänomen der "verdeckten" Zuwendung der visuellen Aufmerksamkeit wurde von Posner und seinen Mitarbeitern einer experimentellen Analyse unterzogen. Die Pbn standen u.a. vor der Aufgabe, das Auftauchen eines kleinen Quadrates auf einem Bildschirm so schnell wie möglich zu quittieren, ohne dabei den Blick von einem vorgegebenen Fixationspunkt zu wenden. Vor jeder Darbietung erhielten sie einen Hinweis darauf, ob das Quadrat rechts oder links vom Fixationspunkt zu erwarten ist. Diesem Hinweis wurde jedoch nicht immer gefolgt. In einigen Fällen (z.B. 20%) wird der Reiz an der nicht angekündigten Stelle dargeboten. Die Resultate zeigen, daß im Vergleich zu einer Situation ohne Vorankündigung, Quadrate an der angekündigten Stelle schneller und an der nicht-ankündigten Stelle langsamer entdeckt werden. Unabhängig von der Fixation wird die Reizverarbeitung am erwarteten Ort zu ungunsten anderer Orte erleichtert (Posner, Nissen & Ogden, 1978; Posner, Snyder & Davidson, 1980; Posner, 1980).

Die Autoren vermuten zur Erklärung dieser Beobachtung erstens, daß eine mentale Repräsentation des Raumes existiert. Sie nehmen zweitens einen Vorgang an, der einzelne Orte des mentalen Raumes selektiv hervorzuheben vermag. Sie vermuten schließlich drittens, daß dieser Vorgang im mentalen Raum "wandern" kann, so wie auch der äußere Blick von einem Ort der Umgebung zum anderen wechselt. Der Blick

in die Umgebung wird quasi durch einen von ihm unabhängigen "inneren" Blick ergänzt. Die Autoren veranschaulichen ihre Auffassung mit der Metapher eines Scheinwerfers: "Attention can be likened to a spotlight that enhances the efficiency of detection of events within its beam" (Posner, Snyder & Davidson, 1980, S. 172). Bezogen auf die im vorigen Kapitel besprochenen Konzeptionen, handelt es sich um die Version einer frühen Selektion nach dem Ort der Reizwirkung, die aufgrund einer begrenzten Verarbeitungskapazität (begrenzter Scheinwerferkegel) vorgenommen wird.

### **Die Differenzierung der Spotlight-Metapher**

Die Spotlight-Metapher läßt erstens danach fragen, wie die Repräsentation des mentalen Raumes beschaffen ist, in dem sich der Spot bewegt und zweitens, welche Eigenschaften der Spot selbst besitzt. Zur ersten Frage haben u.a. Downing und Pinker (1985) relevante Daten berichtet: Die verdeckte Aufmerksamkeit konnte einerseits auf unterschiedliche Entfernungen gerichtet werden, während andererseits für gleich weit entfernte Reize die Wirkung der Aufmerksamkeitskonzentration mit dem *retinalen* Abstand des Reizes vom Aufmerksamkeitsfokus abnahm. Dies läßt vermuten, daß der mentale Raum zwar eine Tiefendimension hat, ansonsten aber nach retinalen Koordinaten strukturiert ist. "...the mental representation has as its dimensions a visual-angle scale ... and a scale representing distance in depth" (Downing & Pinker, 1985, S.185).

Zur Charakterisierung des Spots sind zahlreiche Untersuchungen durchgeführt worden. Es wurde gezeigt, daß die Aufmerksamkeit nicht gleichzeitig auf voneinander entfernte Orte gerichtet werden kann. Der Spot, so wurde geschlußfolgert, ist unteilbar (Posner, et al., 1980). Es wurde weiterhin gezeigt, daß in Abhängigkeit von der Größe des erwarteten Reizes die Aufmerksamkeit unterschiedlich stark fokussiert werden kann, daß also die Weite des Spots willkürlich einstellbar ist (La Berge, 1983; Cave & Kosslyn, 1989). Untersuchungen von Eriksen und St.James (1986) sowie von Downing (1988) haben darüber hinaus deutlich gemacht, daß die Grenzen der visuellen Aufmerksamkeit nicht scharf konturiert sind. Mit dem Abstand vom Fokus des Spots nimmt seine erleichternde Wirkung kontinuierlich ab, um schließlich in eine hemmende Wirkung überzugehen. Die Autoren haben deshalb vorgeschlagen, anstelle der Spotlight-Metapher von einer "Gummilense" (zoom lens) zu sprechen. Sie konnten zudem zeigen, daß die Steilheit des "Wirkungsgradienten" von der Komplexität der geforderten Reizverarbeitung abhängt. Sind bspw. Formeigenschaften des Reizes zu unterscheiden, fällt der Gradient steiler aus, als wenn allein Helligkeiten zu diskriminieren sind. Weitere Untersuchungen haben sich mit der Verlagerung der verdeckten Aufmerksamkeit, den Bewegungen des Spots beschäftigt. Es wurden Untersuchungen zur Schätzung der Geschwindigkeit durchgeführt, mit der sich der Spot

im mentalen Raum bewegt (z.B. Tsal, 1983; Ullman, 1984; Remington & Pierce, 1984; Eriksen & Murphy, 1987). Dabei wurde von einer kontinuierlichen Bewegung ausgegangen. LaBerge und Brown (1989) haben dagegen Daten berichtet, nach denen ein Wechsel des Aufmerksamkeitsfokus eher als diskrete Umverteilung von Verarbeitungsressourcen zu beschreiben ist. Darüber hinaus sind vor allem aufgrund neuropsychologischer Befunde Teilprozesse des Aufmerksamkeitswechsels wie das Lösen vom gegebenen Fokus (Disengaging), die Bewegung des Spots zum neuen Fokus (Moving) und seine Ausrichtung auf ihn (Engaging), unterschieden worden (Posner, Inhoff, Friedrich & Cohen, 1987; Posner, Petersen, Fox & Raichle, 1988). Insgesamt ist also eine umfangreiche Forschung von der Spotlightmetapher inspiriert worden.

### **Die Grenzen der Spotlightmetapher**

Die von der Spotlightmetapher angeregten Untersuchungen bleiben ihr in ihrem Aufbau natürlich verpflichtet: Bei fester Fixation wird die Aufmerksamkeit der Pbn auf einen bestimmten Ort gelenkt, und der zu verarbeitende Reiz wird mit unterschiedlichen Wahrscheinlichkeiten an diesem und anderen Orten dargeboten. Im Vergleich zu einer Kontrollbedingung, in der keine Erwartungen über den Ort der Reizdarbietung ausgebildet ist, wird dann analysiert, inwieweit die Reaktion auf den Reiz in Abhängigkeit von seinem Darbietungsort erleichtert oder erschwert wird (vgl. für eine kritische Diskussion Gawryszewski, Riggio, Rizzolatti & Umiltà, 1987). Die Art der geforderten Verarbeitung bleibt einfach und wird während des Versuchs nicht gewechselt. Es geht zumeist lediglich darum, die Reize zu entdecken oder einfachste Unterscheidungen zwischen Helligkeiten, Buchstaben oder Linien zu treffen.

Diese Bedingungen können nicht gerade "natürlich" genannt werden. Unter natürlichen Bedingungen haben wir die verschiedensten Reize an wechselnden Orten zu verarbeiten. Zwischen ihren Eigenschaften und ihrem Ort bestehen nicht selten systematische Zusammenhänge. Verkehrszeichen bspw. finden sich gewöhnlich am rechten Straßenrand, die Klingel zumeist neben der Tür in mittlerer Höhe, die Enter-Taste befindet sich rechts vom Buchstabenblock, und die Nase liegt stets mitten im Gesicht usw. Werden solche Zusammenhänge zwischen dem (relativen) Ort des Auftretens eines Reizes und seinen Eigenschaften in's Spiel gebracht, lassen sich Effekte beobachten, die im Rahmen der Spotlightmetapher nur schwer zu erklären sind.

In Experimenten von Lambert (1987), sowie von Lambert und Hockey (1986) hatten die Pbn u.a. so schnell wie möglich zu entscheiden, ob eine dargebotene Ellipse oder ein Rhombus mit der Hauptachse waagrecht oder senkrecht ausgerichtet sind. Die Reize wurden rechts und links von einem Fixationspunkt dargeboten. Vor jeder Darbietung erhielten die Pbn einen Hinweis darauf, ob der Reiz rechts oder links zu

erwarten ist. Wie in den zitierten Untersuchungen von Posner et al. (1980) folgt die Darbietung dem Hinweis in nur 80% aller Fälle. Zusätzlich wird nun die folgende Bedingung eingeführt: Die Form des Reizes (Ellipse oder Rhombus) wird mit seiner Darbietungsposition (rechts oder links) systematisch kovariert. So wird bspw. rechts vom Fixationspunkt in 80% aller Fälle eine Ellipse und links von ihm in 80% aller Fälle ein Rhombus dargeboten. Nach der Spotlight-Theorie sollte der Hinweis auf die Darbietungslotation zu einer schnelleren Reaktion auf Reize am erwarteten als am nicht-erwarteten Ort führen. Dies ist auch der Fall. Allerdings läßt sich eine interessante Wechselwirkung beobachten: Der Effekt ist für die am erwarteten Ort häufig dargebotenen Reize sehr viel stärker ausgeprägt, als für die dort selten dargebotenen Reize. Das Ergebnis läßt sich auch anders beschreiben: Die Pbn reagieren an den jeweiligen Orten stets auf diejenigen Reize schneller, die sie dort besonders häufig erlebt haben, also etwa rechts schneller auf eine Ellipse und links schneller auf einen Rhombus und zwar unabhängig davon, ob die Aufmerksamkeit auf den jeweiligen Ort gerichtet ist (vgl. auch Kingstone & Klein, 1991).

Miller (1988) berichtet vergleichbare Ergebnisse. In einem seiner Experimente (Experiment 2) hatten die Pbn einen von zwei Target-Buchstaben in einer Sequenz von vier Buchstaben zu entdecken. Ein Target (A) wurde auf allen vier Positionen gleich häufig dargeboten (innerhalb eines Blockes 10:10:10:10), das andere Target (B) wurde an einer der Positionen 17mal häufiger dargeboten als an den verbleibenden Stellen (innerhalb eines Blockes 34:2:2:2). Die Pbn reagierten auf Targets an der insgesamt bevorzugt verwendeten Position (44:12) am schnellsten. Dies entspricht der Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf den Ort mit den meisten Targetdarbietungen (Shaw & Shaw, 1977). Vergleicht man die Reaktionszeiten für die beiden Targets an der erwarteten mit denen an den nicht erwarteten Positionen, zeigt sich auch hier die beschriebene Wechselwirkung: An den jeweiligen Stellen wird schneller auf dasjenige Target reagiert, das dort häufiger erlebt worden ist. An der bevorzugt verwendeten Position wird auf das dort häufiger (10:34) verwendete Target B und an den anderen Positionen auf das dort häufiger (10:2) verwendete Target A schneller reagiert.

Die Resultate sind ohne Zusatzannahmen durch die Spotlight-Theorie nicht zu erklären. Die Metapher des Spots läßt an einen Mechanismus denken, der Reize allein nach ihrer Lokation selektiert, unabhängig davon, um welche Reize es sich handelt. Die Tatsache der selektiven Bevorzugung unterschiedlicher Reize an unterschiedlichen Orten, also etwa der Ellipsen rechts und der Rhomben links vom Fixationspunkt, würde dagegen eine Reizspezifik des Spots und zugleich seine Teilung erfordern: rechts ein ellipsenspezifischer und links ein rhombenspezifischer Spot. Kurzum, die der Spotlight-Metapher zugrunde liegende Annahme eines sowohl unspezifischen als auch unteilbaren Mechanismus bietet für die Erklärung der Wechselwirkungen zwischen Reizqualität und Darbietungsort keinen Ansatzpunkt (vgl. auch die Diskussionen bei Lambert, 1987; Miller, 1988). Diese Wechselwirkungen weisen vielmehr darauf hin, daß die visuelle

Aufmerksamkeit für Kovariationen zwischen der Qualität von Reizen und ihren (relativen) Lokationen sensibel ist.

### **Die Funktion der ortsgebundenen Aufmerksamkeit in der Verhaltenssteuerung**

Jede objektbezogene Handlung setzt eine egozentrische Lokation des Objektes voraus. Ob wir uns einem Objekt nähern oder uns von ihm entfernen wollen, ob wir nach ihm zeigen oder nach ihm werfen wollen, ob wir es ergreifen oder umstoßen wollen, ohne zu bestimmen, wo sich das Objekt relativ zu uns befindet, können wir es in unser Handeln, was auch immer es sein mag, nicht einbeziehen. Man könnte auch sagen: Indem wir ein Objekt in unser Handeln einbeziehen, lokalisieren wir es. Allport (1987) und Neumann (1987b, 1990) sehen in diesem Zusammenhang zwischen der Wahl eines Objektes als Gegenstand einer Handlung und der dafür notwendigen Bestimmung seines Ortes die wesentliche Grundlage für die ortsspezifische Selektivität der visuellen Wahrnehmung. Ich schließe mich dieser Auffassung an. Danach dient die Konzentration der Aufmerksamkeit auf einen Ort nicht vordergründig der Erleichterung der Verarbeitung der von dort kommenden Reize, sondern sie ist vielmehr Ausdruck der Bereitschaft, dort lokalisierte Objekte in das Handeln einzubeziehen.

Die egozentrische Lokation eines Objektes erfolgt im visuellen System nach dem Prinzip der Zweipunktpeilung durch Fixation. Im vierten Kapitel haben wir dies bereits diskutiert und dabei die Vermutung begründet, daß ein willkürlicher Wechsel der Fixation durch eine Antizipation der mit ihm einhergehenden retinalen Reizänderung, insbesondere der Fovealisierung des "angezielten" Reizausschnittes, eingeleitet wird. Davon ausgehend, liegt es im vorliegenden Zusammenhang nahe zu vermuten, daß es dieser Vorgang der antizipativen Fovealisierung ist, der der verdeckten ortsgebundenen visuellen Aufmerksamkeit zugrunde liegt. Es handelt sich danach nicht um ein von den Blickbewegungen unabhängigen mentalen Mechanismus, nicht um einen zusätzlichen inneren Blick oder um einen Spot, der in einem mentalen Raum den einen oder anderen Ort beleuchtet. Es handelt sich vielmehr um einen Vorgang zur Steuerung und Kontrolle von Blickbewegungen, um einen Mechanismus also, der gerade nicht unabhängig von ihnen ist.

Die in der Literatur beschriebenen Eigenschaften des "Spots" lassen sich mit dieser Auffassung komplikationslos vereinbaren. Aus der Antizipation der Fovealisierung retinaler Bildausschnitte ergibt sich, daß sich die Ausrichtung der Aufmerksamkeit an retinalen Koordinaten orientiert. Die Unteilbarkeit des "Spots" ergibt sich aus der Unmöglichkeit, Blickbewegungen in unterschiedliche Richtungen gleichzeitig auszuführen oder vorbereiten zu wollen. Der Gradient der Aufmerksamkeitswirkungen entspricht der typischen Ungenauigkeit von Blickbewegungen, d.h. der Verteilung der Endpunkte von Sakkaden um ein Ziel herum. Die Möglichkeit, die Weite der

Aufmerksamkeit willkürlich zu beeinflussen, korrespondiert mit der Möglichkeit, Augenbewegungen mehr oder weniger genau zu zielen (vgl. das Fitts'sche Gesetz). Und daß der Fokus der Aufmerksamkeit vermutlich nicht stetig sondern eher sprunghaft verlagert wird (LaBerge & Brown, 1989) entspricht der Tatsache, daß ein willkürlicher Wechsel der Blickrichtung ruckartig erfolgt. Die hier vertretene Auffassung bietet damit den Vorteil, daß sich die Eigenschaften der visuellen Aufmerksamkeit aus ihrer funktionalen Bindung an die Steuerung von Blickbewegungen ableiten lassen und nicht einem "Spot" ad hoc zugeordnet werden müssen.

Unsere Auffassung hat den weiteren Vorteil, daß sie auch die zitierten widersprüchlichen Resultate zu integrieren vermag: Wenn in einer experimentellen Situation der Blickwechsel in eine bestimmte Richtung (etwa nach rechts) fast ausschließlich zur Fovealisierung bestimmter Reize führt (etwa Ellipsen), dann *muß* eine antizipative Verhaltenssteuerung dazu führen, daß unter den Ausgangsbedingungen, unter denen diese Erfahrung konsistent gemacht wird, ein Blick in diese Richtung mit einer Antizipation eben dieser Reize zunehmend verbunden wird. Und wenn mit unterschiedlichen Blickrichtungen unterschiedliche Reizwirkungen systematisch einhergehen, dann sollte dies, wie bei den von Ivo Kohler beschriebenen mehrgleisigen Adaptationen, zu richtungsspezifischen Antizipationen führen. Nach dieser Überlegung ist es nicht so, daß ein Aufmerksamkeitsmechanismus sich teilt, um an verschiedenen Orten unterschiedliche Reize zu bevorzugen. Es ist vielmehr so, daß in einem festen Kontext mit verschiedenen Blickbewegungen auch unterschiedliche Antizipationen einhergehen und dazu führen können, daß die Verarbeitung der Reize, die diesen Antizipationen entsprechen, jeweils an den Orten erleichtert wird, an die sie gebunden sind. Genau dies haben die zitierten Untersuchungen von Lambert (1987), Lambert & Hockey (1986) und Miller (1988) gezeigt.

### **Weitere Befunde**

In einer Arbeit von Kingstone und Klein (1991) wurde zusätzlich gezeigt, daß mit der Darbietung eines Reizes am nicht-angekündigten Ort (20%) auch eine Hemmung der Verarbeitung des am angekündigten Ort erwarteten Reizes einhergeht. Das Resultat verweist auf einen zusätzlichen Mechanismus, der mit dem Tatbestand zusammenhängen könnte, daß bei einem Blickwechsel in aller Regel auch die fovealen Reizeindrücke wechseln, daß also nicht erwartet wird, das Gleiche zu sehen. Ob es eine solche "Nicht-Erwartung" im Sinne einer aktiven Hemmung tatsächlich gibt, oder ob es sich eher um eine passive Verzögerung bei der Wiederherstellung von Zuständen handelt, die den gerade "gelöschten" oder "verworfenen" Antizipationen entsprechen, müssen weitere Experimente zeigen.

In den zitierten Untersuchungen zur Spotlight-Theorie wurden Kovariationen zwischen der Qualität und der Lokation der Reize vermieden. Unter diesen Bedingungen kann eine antizipative Verhaltenssteuerung lediglich "feststellen", mit welchen Wahrscheinlichkeiten die verhaltensrelevanten Reize an welchen Orten auftreten, so daß Blickbewegungsintentionen zu diesen Orten das dortige Auftreten des Reizes in einer entsprechenden Stärke antizipieren. Diese Überlegung stimmt mit Beobachtungen überein, nach denen sich die lokationsgebundenen Reaktionszeiten umgekehrt proportional zu den relativen Auftrittshäufigkeiten der Reize an diesen Lokationen verhalten (z.B. Shaw & Shaw, 1977).

Andere Untersuchungen haben zeigen können, daß bereits kurz vor dem Beginn einer Blickbewegung zu einem Zielort dort dargebotene Reize eine bessere Verarbeitung erfahren, als Reize an Orten, zu denen der Blick nicht zielte (Remington, 1980; Posner, 1980; vgl. auch Hoffman, 1986). Auch dieser Befund steht in Übereinstimmung mit der Annahme, daß eine antizipative Fovealisierung der Blickbewegung voraus geht. Neumann (1990) sowie Kosslyn, Flynn, Amsterdam und Wang (1990) haben zudem auf eine Reihe neuropsychologischer Befunde aufmerksam gemacht, die ebenfalls einen Zusammenhang zwischen verdeckter Aufmerksamkeit und der Steuerung von Blickbewegungen unterstützen. So sind bspw. corticale Neuronen identifiziert worden, die nur dann auf das Auftreten eines peripheren Reizes verstärkt reagieren, wenn dieser Reiz als Auslöser einer Sakkade fungiert (z.B. Bushnell, Goldberg & Robinson, 1981). Andere Studien haben gezeigt, daß eine selektive Verstärkung der Reaktion von Neuronen auf Zielreize von Blickbewegungen bereits kurz vor dem Beginn der Bewegung eintreten (Robinson, Goldberg & Stanton, 1978; vgl. auch Posner & Cohen, 1980).

Rizzolatti und Mitarbeiter vertreten ebenfalls eine "...premotor hypothesis of attention, ... which postulates a strict link between covert attention and the programming of ocular movements (Umiltà, Riggio, Dascola & Rizzolatti, 1991, S.249; Rizzolatti, Riggio, Dascola & Umiltà, 1987). Sie beschreiben u.a. einen sogenannten "Meridian-Effekt", der darin besteht, daß bei gegebenem Fixationspunkt die Verarbeitungsleistungen für Reizdarbietungen, die von der erwarteten Lokation abweichen, nicht symmetrisch sind: Reaktionen auf Reize, die in der gleichen Richtung liegen wie die erwartete Lokation sind weniger verlangsamt als solche, die in entgegengesetzter Richtung aber gleichweit entfernt von der erwarteten Lokation dargeboten werden. Die Autoren erklären diese Asymmetrie mit der im zweiten Fall notwendigen Richtungsänderung beim Wechsel der Blickintention. D.h. die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Ort wird auch hier als Prozess der Vorbereitung einer Blickbewegung zu diesem Ort verstanden.

Wir können zusammenfassend feststellen, daß die Überlegung einer antizipativen Steuerung willkürlicher Blickbewegungen einen Erklärungsrahmen liefert, der viele der

besprochenen Phänomene widerspruchsfrei zu integrieren gestattet. Im vierten Kapitel hatten wir diskutiert, daß die Stabilität der visuell wahrgenommenen Welt auf dem gleichen Mechanismus beruhen könnte. Die Wahrnehmung ist dann stabil, so unsere Überlegung, wenn die Blickbewegungen zu den erfahrungsgemäß antizipierten Änderungen der retinalen Reizwirkungen führen. Nur wenn die Lage der Objekte tatsächlich stabil ist, lassen sie sich auch verlässlich mit dem Blick "orten". Die Verlässlichkeit der Fovealisierung beliebiger Ausschnitte des retinalen Bildes ist der innerorganismische Ausdruck der verlässlichen Ortung von Objekten in der Umwelt. Die Auswahl der zu ortenden Objekte wird nach unserer Vermutung durch die Antizipation ihrer Fovealisierung realisiert. In diesem Vorgang sehen wir nun auch die Ursache für eine vom gegebenen Fixationspunkt unabhängige Ausrichtung der Aufmerksamkeit. Sie ist deshalb vom gegebenen Fixationspunkt unabhängig, weil sie bereits den nächst folgenden vorbereitet. Die erleichterte Verarbeitung von Reizen an Orten, auf denen unsere verdeckte Aufmerksamkeit ruht, ist danach das Resultat der Vorbereitung ihrer Fixation, und die Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit auf einen bestimmten Ort ist die vorweggenommene egozentrische Lokation der dort befindlichen Objekte.

### **Willkürliche und unwillkürliche Konzentration der visuellen Aufmerksamkeit**

Wodurch aber wird bestimmt, welche Ausschnitte des Retinabildes als nächstes zu fovealisieren, welche Objekte zu lokalisieren und in die Handlung einzubeziehen sind? Es ist ganz offensichtlich, daß wir unseren Blick willkürlich lenken können und unser Wille dabei durch verschiedene Faktoren beeinflusst werden kann, etwa durch eine explizite Aufforderung, einen bestimmten Ort zu beachten. In den zitierten Experimenten wurde dies durch eine entsprechende Instruktion oder durch Hinweisreize (Cues) realisiert. Der Wille, zu einem bestimmten Ort zu blicken, kann aber auch von der Erinnerung gelenkt werden, an ihm das Gewünschte sehen zu können. Wenn etwa in einem Experiment in 80% der Fälle der verhaltensrelevante Reiz an einem bestimmten Ort dargeboten wird, dann besagt die Erfahrung, daß ein Blick zu diesem Ort mit hoher Wahrscheinlichkeit zur Fovealisierung des verhaltensrelevanten Reizes führen wird. Die Pbn könnten sich dann selbst die Instruktion geben, auf diesen Ort zu "achten". Ob nun selbst- oder fremdinstruiert, in beiden Fällen gibt es einen inneren Vorsatz, eine "endogene" Intention, einen bestimmten Ort zu beachten.

Die Tendenz, zu einem bestimmten Ort zu blicken, kann aber auch durch Eigenschaften der dort wirkenden Reize geweckt werden. Im Zusammenhang mit dem Orientierungsreflex haben wir bereits diskutiert, daß plötzlich auftretende, unerwartete oder besonders intensive Reize reflektorisch eine Aufmerksamkeitszuwendung auslösen, also *unwillkürlich* den Blick auf sich ziehen. Wenn der Blick dann aber, wie in den besprochenen Experimenten, an einen Fixationspunkt gebunden ist, dann kann man



vermuten, daß die entsprechenden Reize wenigstens die Intention, zu ihnen zu blicken, hervorrufen. Solche "exogen" hervorgerufenen Blickintentionen sind von den Intentionen "endogenen" Ursprungs zu unterscheiden (Yarbus, 1967). Auch unterschiedliche Aufmerksamkeitseffekte sind zu erwarten. Man kann etwa vermuten, daß endogene Intentionen eher mit spezifischen Reizerwartungen verbunden sind als exogen provozierte Blickintentionen. Es handelt sich bei den ersteren ja schließlich um vorsätzliche Blickbewegungen. Bei den letzteren sind spezifische Reizerwartungen dagegen nur im Resultat konsistenter Erfahrungen zu erwarten. Erst, wenn immer wieder erlebt wurde, daß ein Blick zu einem bestimmten Ort zu immer denselben Wahrnehmungen führt, wird auch eine reflektorisch ausgelöste Intention, zu diesem Ort zu blicken, von einer Antizipation dieser Reizwirkungen unmittelbar kontrolliert werden.

Im Experiment werden endogen kontrollierte Blickintentionen, wie erwähnt, in der Regel durch "zentrale" Hinweisreize induziert. Am Fixationspunkt erscheint etwa ein Pfeil, der nach rechts oder nach links zeigt und damit angibt, wo der nächste Reiz zu erwarten ist. Blickintentionen zu den gleichen Orten können aber auch durch rechts oder links dargebotene "periphere" Hinweisreize ausgelöst werden. Es handelt sich dann um exogen ausgelöste Blickintentionen. Die Methoden führen in Übereinstimmung mit unseren Überlegungen tatsächlich zu unterschiedlichen Effekten (vgl. Klein, Kingstone & Pontefract, 1992; Umiltà et al., 1991). Die Aufmerksamkeitseffekte peripherer Cues treten bspw. schneller ein, als die der zentralen Cues. Werden zentrale und periphere Cues gemeinsam verwendet, kommt allein der Effekt des peripheren Cues zur Wirkung u.a.m. Wir wollen diese Resultate hier nicht im einzelnen diskutieren. Sie zeigen insgesamt, daß je nach der Veranlassung der Aufmerksamkeitslenkung unterschiedliche Effekte zu beobachten sind, und sie betonen damit die Notwendigkeit der Unterscheidung zwischen willkürlichen und unwillkürlichen Blickintentionen. Sie fordern zugleich dazu auf, die Zusammenhänge zwischen (1) den Mechanismen der antizipativen Steuerung willkürlicher Blickbewegungen, (2) der reflexiven Steuerung unwillkürlicher Blickbewegungen, (3) der willkürlichen Unterdrückung von Blickbewegungen und (4) den Phänomenen der verdeckten ortsspezifischen visuellen Aufmerksamkeit weiter zu differenzieren. Dies bleibt der zukünftigen Forschung vorbehalten.

## **6.2 Die Merkmalsintegrationstheorie**

Neben der Spotlight-Theorie gehört die von Treisman und ihren Mitarbeitern entwickelte Merkmalsintegrationstheorie (MIT) zu den in den letzten Jahren einflußreichsten Konzeptionen der visuellen Aufmerksamkeit. Die MIT bezieht sich auf eine Situation, die der eben besprochenen in gewisser Weise entgegengesetzt und zugleich sehr viel häufiger ist. Wir sind ja nur selten in der glücklichen Lage, den Ort

erwarteter Reize zu kennen, um unsere Aufmerksamkeit vorsorglich auf ihn zu richten. Es ist zumeist das Gegenteil der Fall. Wenn wir bspw. in einer Schublade nach einem Bleistift, auf dem Frühstückstisch nach Salz, auf der Straße nach einem Taxi, im Regal nach einem Buch oder in einem Text nach einem Namen suchen, wissen wir zwar in etwa wie das Gesuchte aussieht, wir kennen aber nicht seine Lokation. Wir wollen die Objekte in unser Handeln einbeziehen und können es nicht, weil wir nicht wissen, wo sie sich befinden. Wir müssen sie suchen.

### **Visuelle Suche und der "pop-out" Effekt**

Im Experiment läßt sich visuelle Suche dadurch provozieren, daß den Pbn mehrere Reize mit der Aufforderung dargeboten werden, so schnell wie möglich zu entscheiden, ob sich unter ihnen ein zuvor vereinbarter Zielreiz (das Target) befindet. Dies entspricht etwa einer Situation, in der man vor einem Regal steht und entscheiden muß, ob sich ein gesuchtes Buch unter der Menge der Buchrücken "versteckt". Das Target wird gewöhnlich umso langsamer entdeckt, je mehr Reize gleichzeitig dargeboten werden, so wie wir ja auch nach einem Buch unter zwanzig länger als unter zehn Buchrücken suchen. Von dieser Regel aber gibt es Ausnahmen: Wenn sich das gesuchte Target in einem auffälligen Merkmal von den gleichfalls dargebotenen Reizen (Distraktoren) unterscheidet, wird es immer gleich schnell entdeckt, unabhängig davon, unter wievielen Distraktoren es versteckt ist. Es springt dem Suchenden quasi in's Auge (pop out), so wie uns auch ein besonders dickes unter lauter dünnen Büchern in's Auge springen würde.

### **Annahmen der Merkmalsintegrations-Theorie**

Nach der MIT beruht der "pop out effect" auf den folgenden Zusammenhängen (Treisman & Gelade, 1980; Treisman, 1982; Treisman & Schmidt, 1982; Treisman & Gormican, 1988): Das menschliche visuelle System verfügt über Detektionsmechanismen für elementare visuelle Merkmale (feature maps), die auf deren Reizwirkungen unmittelbar ansprechen, unabhängig davon, von welchem Ort sie ausgehen und ob auf diesen Ort die Aufmerksamkeit gerichtet ist. Die Identifikation elementarer Merkmale ist also ein aufmerksamkeitsunabhängiger Prozeß (vgl. auch Julesz, 1981; Witkin & Tenenbaum, 1983; Biederman, 1987). Unterscheidet sich ein gesuchtes Target von seinen Distraktoren in einem elementaren Merkmal, dann aktiviert nur das Target den entsprechenden Detektionsmechanismus. Die Aktivierung lenkt innerhalb einer mentalen Repräsentation des Raumes (master map) die Aufmerksamkeit auf den Ort, von dem die Reizwirkung ausgeht und liefert zugleich die Evidenz für das Vorhandensein des

Targets. Nach ihm muß nicht gesucht werden, es springt unmittelbar in's Auge. Dies ist bspw. der Fall, wenn nach einem (runden) C unter (eckigen) Vieren (Egeth, Jonides & Wall, 1972), nach einem blauen Buchstaben in einem Feld mit sonst nur braunen und grünen Buchstaben (Treisman, 1982), oder nach einer geneigten unter sonst nur vertikalen Linien (Treisman & Gormican, 1988) gesucht wird, eben dann, wenn sich das Target von den Distraktoren in einem elementaren Merkmal (rund vs. eckig, blau vs. braun/grün, geneigt vs. vertikal) eindeutig unterscheidet.

Die Identifikation von Relationen zwischen elementaren Merkmalen verlangt dagegen die Konzentration einer visuellen Aufmerksamkeit auf den Ort, an dem die Relation besteht. Ist also ein Target von den Distraktoren nur durch die relationale Verknüpfung elementarer Merkmale zu unterscheiden, muß die Aufmerksamkeit auf seinen Darbietungsort gelenkt werden, um es identifizieren und entdecken zu können. Ist etwa ein blaues C in einem Feld von Buchstaben zu entdecken, in dem es auch andersfarbige C's und andere blaue Buchstaben gibt, so daß nur die Konjunktion von Form (C) und Farbe (blau) das Target eindeutig spezifiziert, dann ist für dessen Identifikation die Konzentration der Aufmerksamkeit auf den Ort des Targets und damit eine Suche nach diesem Ort notwendig. Die Ausrichtung der Aufmerksamkeit wird im Sinne der Spotlight-Theorie als Konzentration einer limitierten Verarbeitungskapazität auf einen Ort variabler Größe verstanden. Da auch hier der Spot als unteilbar angesehen wird (Briand & Klein, 1987) und immer nur auf ein Objekt, auf eine Region (Treisman, 1982) oder höchstens auf eine Gruppe von Objekten (Egeth, Virzi & Garbart, 1984) gerichtet sein kann, muß umso länger nach dem Target gesucht werden, je mehr Objekte oder homogene Gruppen von ihnen gleichzeitig dargeboten werden.

Nach den hier skizzierten Grundgedanken (für zusätzliche Überlegungen vgl. Treisman, 1986, 1990; Treisman & Gormican, 1988) handelt es sich bei der MIT um die Variante einer frühen Selektion. Elementare sensorische Merkmale werden aufmerksamkeitsunabhängig identifiziert. Die Integration der "frei schwebenden" (free-floating) Merkmale zu individuellen Objekten, erfordert dagegen Ressourcen, die limitiert sind und ortsgebunden zur Verfügung gestellt werden. Merkmale können somit immer nur an dem Ort zu Objekten integriert werden, auf den die Ressourcen konzentriert sind. Der Ort ist das Selektionskriterium und die begrenzte "Integrationsressource" ist der Grund für die Selektivität.

### **Die experimentellen Daten**

Die MIT stützt sich vor allem auf folgende Beobachtungen: Bei der Suche nach Targets, die sich von ihren Distraktoren in einem elementaren Merkmal unterscheiden, stellt sich der "pop-out" Effekt ein. Die Zeiten für die Suche nach Targets, die sich nur durch eine spezifische Konjunktion elementarer Merkmale von ihren Distraktoren unter-

scheiden lassen, steigen dagegen mit deren Anzahl kontinuierlich an (Treisman & Gelade, 1980; Treisman & Gormican, 1988). Weiterhin konnte gezeigt werden, daß "elementare Targets" nur sehr ungenau, "konjunktive Targets" dagegen sehr präzise lokalisiert werden (Treisman & Gelade, 1980). Dies entspricht der Annahme, daß allein konjunktive Targets eine Fokussierung und damit ihre Lokation erfordern, während über die Anwesenheit elementarer Targets ohne Fokussierung entschieden wird. Darüber hinaus geben Pbn nach einer flüchtigen Betrachtung von Objekten mit unterschiedlichen Merkmalen oftmals an, Merkmalskombinationen wahrgenommen zu haben, die so nicht dargeboten wurden. Sehen sie bspw. flüchtig ein rotes Dreieck, einen grünen Kreis, und ein blaues Quadrat, dann "erinnern" sie sich, etwa ein blaues Dreieck gesehen zu haben. Solche "illusionären Merkmalskombinationen" treten dagegen kaum auf, wenn die Reize konzentriert betrachtet werden (Treisman & Schmidt, 1982; Prinzmetal, Presti & Posner, 1986; Briand & Klein, 1987; Cohen & Ivry, 1989). Dies entspricht der Annahme, daß bei flüchtiger Betrachtung die elementaren Merkmale nur unabhängig voneinander und nicht zu Objekten integriert wahrgenommen werden, so daß sie in der Erinnerung in beliebiger Weise kombinierbar sind.

### **Die Probleme der MIT**

Die Annahmen der MIT sind hinsichtlich der einzelnen Prozessschritte relativ vage. Es wird etwa nicht angegeben, über welche elementaren Merkmale (feature maps) das visuelle System verfügt, mit welcher Präzision bereits die Lokation elementarer Merkmale festgestellt wird, oder welche Prozesse der Integration von Merkmalen zugrunde liegen (vgl. Tsal, 1989 a,b; Briand & Klein, 1989; Navon, 1990 a,b; Treisman, 1990, 1991). Dennoch kann die MIT als eine gegenwärtig einflußreiche Theorie der visuellen Aufmerksamkeit gelten. Allerdings werden zunehmend Befunde berichtet, die nur schwer mit ihr vereinbar sind. Wir wollen im folgenden einige dieser Beobachtungen schildern und dabei wieder zu zeigen versuchen, daß sie mit den Überlegungen einer antizipativen Verhaltenssteuerung besser in Übereinstimmung stehen, als mit den Annahmen der MIT.

### **Auch "konjunktive Targets" zeigen den pop-out Effekt**

Hoffmann und Grosser (1985) haben Experimente berichtet, in denen zwei, vier oder sechs kolorierte Zeichnungen natürlicher Objekte dargeboten wurden. Die Pbn hatten zu entscheiden, ob sich unter den dargestellten ein zuvor vereinbartes Objekt, bspw. ein Baum, ein Vogel oder ein Spaten befindet. Für einige der Objekte (z.B. Baum, Vogel, Zange, Apfel) zeigte sich der pop-out Effekt. Für andere Objekte dagegen (z.B. Schiff,

Spaten, Pistole) stiegen die Suchzeiten mit der Anzahl dargebotener Objekte kontinuierlich an (vgl. auch Hoffmann, Grosser & Klein, 1987). Ob sich also etwa ein Baum unter den dargestellten Objekten befindet, konnte unmittelbar entschieden werden, während nach etwa einem Spaten gesucht werden mußte.

Da die Zusammenstellung der Objekte stets gewechselt wurde, waren, anders als in den berichteten Versuchen sonst üblich, Targets und Distraktoren durch kein elementares Merkmal konsistent zu unterscheiden. Es kann also nicht argumentiert werden, daß einige der Objekte deshalb in's Auge sprangen, weil sie sich in einem elementaren Merkmal von allen Distraktoren unterschieden. Die Autoren vermuten vielmehr, daß nach einigen der Objekte deshalb nicht gesucht werden mußte, weil sie anhand von charakteristischen globalen Formeigenschaften identifizierbar sind, die bei der Suche nach ihnen antizipiert werden und die, wenn sie vorliegen, die Aufmerksamkeit unmittelbar auf sich lenken. Da es sich bei diesen objektspezifischen globalen Merkmalskonfigurationen kaum um elementare Merkmale handelt, lassen die Ergebnisse im Gegensatz zur MIT Detektionsmechanismen (feature maps) auch für Merkmalskomplexe (Konjunktionen von elementaren Merkmalen) vermuten.

Um dieser Vermutung nachzugehen, wurden Versuche durchgeführt, die es gestatten sollten, die lernabhängige Herausbildung solcher komplexen Detektionsmechanismen zu beobachten (Hoffmann & Grosser, 1986). Die Pbn trainierten mit verschiedenen Methoden (Benennung, Klassifikation, Zuordnung) an fünf aufeinanderfolgenden Tagen eine bestimmte Klassifikation geometrischer Muster, von denen die Abbildung 6.1. einige Beispiele zeigt.

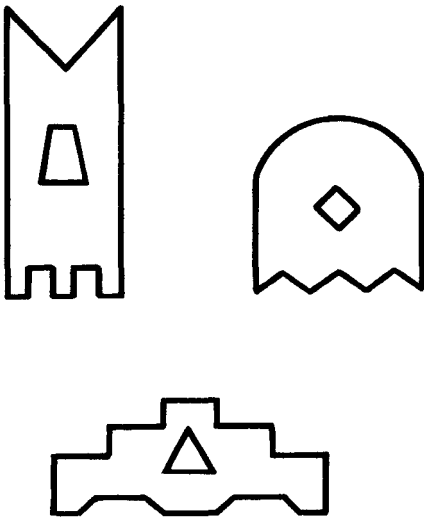


Abbildung 6.1.: Beispiele für Figuren aus einer Untersuchung von Hoffmann und Grosser (1986). Die Figuren unterscheiden sich in ihrer globalen Form, in ihrem oberen Abschluß, in ihrem unteren Rand und in der Form der jeweiligen Innenfigur.

Am Ende eines jeden Trainingstages wurde eine visuelle Suche bei Variation der Anzahl gleichzeitig dargebotener Muster durchgeführt. Wir diskutieren hier nur die Suchzeiten für Muster einer bestimmten Klasse, die mit der sinnlosen Silbe "Mip" bezeichnet sein soll. Die "Mips" waren unterschiedlich definiert. Es handelte sich einmal um Figuren, die eine hohe schlanke Form zeigten (1). Für andere Pbn waren die Mips alle die Muster, die ein Dreieck als Innenfigur zeigten (2). Für eine weitere Pbn-Gruppe waren die Mips durch eine Konjunktion der globalen Form mit der Form des oberen Randes bestimmt, es waren alle hohen schlanken Muster mit einem nach innen gerichteten Dreieck als oberen Rand (3). Für eine vierte Gruppe schließlich gehörten alle Muster mit einem Dreieck und einer gezackten unteren Begrenzungslinie zur Kategorie der Mips (4). Die Abbildung 6.2. zeigt, wie sich die Suche nach den Mips in Abhängigkeit von der Art der sie definierenden Merkmale im Verlaufe des Trainings verändert.

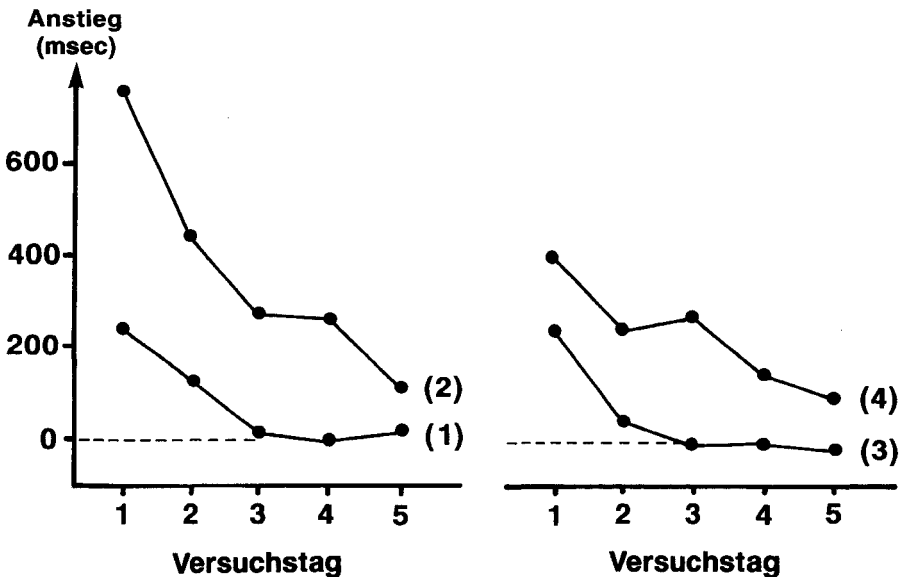


Abbildung 6.2.: Mittlere Anstiege der Entdeckungszeiten in Abhängigkeit von der Anzahl gleichzeitig dargebotener Objekte für aufeinanderfolgende Versuchstage. Der "pop-out" Effekt hat sich dann eingestellt, wenn der Anstieg Null beträgt, d.h. wenn die Entdeckungszeiten von der Anzahl dargebotener Objekte unabhängig sind. Gesucht wurde nach einem globalen Einzelmerkmal (1), nach einem Detailmerkmal (2) sowie nach Konjunktionen globaler (3) oder lokaler (4) Merkmale (nach Hoffmann und GROSSER, 1986).

Die Daten zeigen erstens, daß sich die Effektivität der Suche mit dem Training erhöht und zweitens, daß die bei gleichem Trainingsaufwand erreichbare Effektivität von der Merkmalscharakteristik der Mips abhängig ist. Nach drei Trainingstagen stellt sich bei der Suche nach Mips mit einem einzelnen globalen Merkmal (1) bzw. mit einer

Konjunktion zweier globaler Merkmale (3) der pop-out Effekt ein. Für Mips, die durch ein einzelnes Detailmerkmal (2) bzw. durch die Konjunktion zweier Detailmerkmale (4) definiert waren, wird ein solcher Zustand auch nach fünf Trainingstagen nicht erreicht. Bemerkenswert ist, daß der wesentliche Unterschied nicht zwischen den Kategorien besteht, die durch ein Einzelmerkmal und denen, die durch eine konjunktive Verknüpfung definiert waren, sondern zwischen den Kategorien, die durch mehr globale Merkmale definiert waren und denen, die anhand von Details identifiziert werden mußten.

Inzwischen ist auch in anderen Experimenten der pop-out Effekt für konjunktive Targets beobachtet worden. Nakayama und Silverman (1986) fanden den Effekt bspw. für die Suche nach Targets einer bestimmten Farbe *und* einer bestimmten Bewegung oder für Konjunktionen von Farbe *und* Größe oder Größe *und* Entfernung (Muster unterschiedlicher Querdisparation). McLeod, Driver und Crisp (1988) berichten über das in's Auge springen bei Konjunktionen von Form *und* Bewegung, Treisman und Sato (1990) bei verschiedenen Konjunktionen mit dem Merkmal Größe. Wolfe, Cave und Franzel (1989) fanden den pop out Effekt für Konjunktionen von Farbe *und* Form, Farbe *und* Orientierung, sowie Farbe *und* Größe.

Die Befunde zwingen zu einer Revision der MIT. Treisman und Sato (1990) diskutieren verschiedene Möglichkeiten einer solchen Revision. Sie sehen erstens die Möglichkeit, die ortsgebundene durch eine merkmalsgebundene Selektion zu ergänzen, die immer dann wirksam wird, wenn sich die zu durchsuchenden Muster in wenigstens einem der relevanten Targetmerkmale deutlich unterscheiden. Ist bspw. unter Mustern unterschiedlicher Größe und Farbe ein rotes *und* großes Muster zu entdecken, und der Unterschied zwischen großen und kleinen Mustern ist auffällig genug, dann läßt sich ein Mechanismus denken, nach dem die Reizwirkungen der nicht gesuchten kleinen Muster unterdrückt werden (inhibition of a feature map), so daß unter den dann allein noch wirksamen großen Mustern lediglich nach dem Merkmal "Rot" gesucht werden muß. D.h. durch eine Absonderung (segregation) aller Muster, die eines der zu integrierenden Merkmale nicht tragen, wird die "konjunktive Suche" auf die Entdeckung eines elementaren Merkmals reduziert.

Die Autoren denken darüber hinaus an die Möglichkeit, daß nicht nur ein sondern mehrere irrelevante Merkmale gehemmt werden könnten (feature inhibition hypothesis). Die Stärke der Hemmung könnte dabei umso größer sein, je stärker sich das jeweilige Merkmal vom entsprechenden Merkmal des gesuchten Targets unterscheidet. Bei ausreichender Unterscheidbarkeit würde dann die Wirkung aller Distraktoren so stark unterdrückt, daß allein das Target die Aufmerksamkeit auf sich zieht, also in's Auge springt, unabhängig davon, durch wieviele Merkmale es definiert ist.

Cave und Wolfe (1990) machen einen vergleichbaren Vorschlag. Nach ihren Überlegungen sollte die MIT durch einen Mechanismus ergänzt werden, der die

(serielle) Suche nach einem konjunktiven Target in intelligenter Weise steuert (guided search). In einem ersten Schritt führen nach diesem Modell alle Merkmale unabhängig voneinander zu einer Gewichtung ihrer Lokationen. Das Gewicht hängt hier jedoch anders als bei Treisman und Sato (1990) von der *Ähnlichkeit* des jeweiligen Merkmals zum entsprechenden Merkmal des gesuchten Targets ab. Wird bspw. nach einem roten und großen Muster gesucht, führen alle "Farbreize" und alle "Größenreize" in ihren feature maps zu einer Gewichtung ihrer Lokationen nach ihrer Ähnlichkeit zur erwarteten Größe und Farbe des Targets. Die Gewichtungen aller Merkmalsdimensionen werden in einer mentalen Raumrepräsentation (master map) ortsbezogen kumuliert und mit einer Zufallsgröße überlagert. In einem zweiten Schritt werden diese Orte dann in der Reihenfolge ihrer Gewichtung fokussiert, um zu überprüfen, ob die gesuchte Konjunktion realisiert ist. Ein konjunktives Target springt danach dann in's Auge, wenn der Ort seiner Darbietung als erster überprüft wird, und dies ist dann zu erwarten, wenn es sich in seinen erwarteten Merkmalen deutlich genug von allen Distraktoren unterscheidet.

Im Vergleich zur "feature inhibition" Hypothese von Treisman und Sato (1990) wird nach Cave und Wolfe (1990) die merkmalsgebundene Selektivität nicht durch eine Unterdrückung dem Target unähnlicher sondern durch eine Förderung dem Target ähnlicher Reizwirkungen bewirkt. Beide Überlegungen halten aber am Grundgedanken der MIT fest, nach dem die einzelnen Merkmale der Objekte ihre Wirkungen zunächst unabhängig voneinander realisieren und für ihre Integration eine Fokussierung des Objektes notwendig ist. Allerdings werden nach beiden Auffassungen die unabhängigen Wirkungen der einzelnen Merkmale bereits ortsgebunden akkumuliert. Dieser Widerspruch zwischen einer aufmerksamkeitsunabhängigen Akkumulation von Merkmalsgewichten auf der einen und einer aufmerksamkeitsabhängigen Integration von Merkmalen auf der anderen Seite verweist zumindest auf einen Mangel an innerer Konsistenz (vgl. auch Navon, 1990 a,b), wie überhaupt die Diskussion das Problem der MIT deutlich macht, das in's Auge springen konjunktiver Targets durch Zusatzannahmen post hoc erklären zu müssen.

### **Visuelle Suche und antizipative Verhaltenssteuerung**

Wir wollen nun die Experimente aus der Perspektive antizipativer Verhaltenssteuerung betrachten. Es stellt sich die folgende Situation dar: Die Pbn haben die Wahl zwischen zwei Verhaltensakten zu treffen, von denen der eine dann gewählt werden soll, wenn sich das gesuchte Target unter den dargebotenen Objekten befindet und der andere dann, wenn sich kein Target unter ihnen befindet. Bei einer wiederholten Konfrontation mit den Reizvorlagen "sucht" die antizipative Verhaltenssteuerung nach Invarianten unter jeweils den Reizwirkungen, für die der eine und/oder der andere Verhaltensakt



erfolgreich war, d.h. er sucht nach Invarianten, die Vorlagen mit Target von Vorlagen ohne Target unterscheiden. Gibt es solche Invarianten, dann werden sie mit der Intention, die entsprechende Reaktion auszuführen, immer sicherer als verlässliche Auslösebedingungen antizipiert. Im Falle ihres Eintretens wird dann die intendierte Reaktion immer zügiger zur Ausführung gebracht.

Nach diesen Überlegungen kann es nur dann zum "pop-out" Effekt kommen, wenn die Entdeckungsreaktion (und/oder die alternative Reaktion) an eine Invariante gebunden wird, die unabhängig vom gerade zufällig gegebenen Fixationspunkt "gesehen" werden kann. Dafür gibt es verschiedene Möglichkeiten: Die Invariante kann erstens eine globale Eigenschaft der gesamten Vorlage betreffen. Sie kann zweitens so "auffällig" sein, daß sie auch bei parafovealer Abbildung realisiert wird, und sie kann drittens eine Orientierungsreaktion reflektorisch auslösen. Sind Invarianten mit diesen Eigenschaften nicht gegeben, muß die Vorlage mit dem Blick "abgetastet" werden, um die antizipierte Reizwirkung durch eine entsprechende Fovealisierung möglicherweise doch noch zu erzeugen. Daß dabei die Sequenz der Fixationen durch die Art der Verteilung der Reize auf der Vorlage, durch die Art der antizipierten Auslösebedingung (z.B. die Größe des antizipierten Targets), aber auch durch Erfahrungen über die relativen Häufigkeiten ihrer Lokationen, beeinflusst werden kann, haben wir bereits im vorigen Abschnitt diskutiert. Hier soll festgehalten werden, daß nach den Überlegungen einer antizipativen Verhaltenssteuerung sowohl für das in's Auge springen, als auch für die Effektivität einer anderenfalls notwendigen Suche, verschiedene Ursachen oder Faktoren in Betracht gezogen werden.

Unsere Überlegungen schließen ein, daß sich Detektionsmechanismen (feature maps) auch für konjunktive Targets herausbilden können. Die Spezifik der Detektionsmechanismen ist hier an die Möglichkeiten einheitlicher Antizipationen gebunden und allein durch diese begrenzt. Darüber ist noch kaum etwas bekannt. Die Untersuchungen von Hoffmann & Grosser (1986) lassen vermuten, daß sich Merkmale, die gemeinsam die Umrißfigur der Targets bestimmen, offensichtlich leicht, Detailmerkmale einer Figur an unterschiedlichen Lokationen dagegen nur sehr schwer, möglicherweise überhaupt nicht, in einer Antizipation integrieren lassen.

In diesem Zusammenhang sind auch Beobachtungen von Wolfe, Yu, Steward, Shorter, Friedman-Hill und Cave (1990) von Interesse, die gezeigt haben, daß Konjunktionen von Merkmalen gleicher Dimensionen nur sehr schwer integriert werden. Die Suche etwa nach der französischen Trikolore (Konjunktion dreier Farben) unter anderen Fahnen ist sehr viel aufwendiger als die Suche nach Konjunktionen von Formen und Farben. Die unterschiedliche Leichtigkeit von Merkmalsintegrationen ist aus unserer Sicht Ausdruck der unterschiedlichen Vereinbarkeit von Merkmalen in antizipativen Vorstellungen. Von welchen Faktoren sie abhängt, ist kaum bekannt. Es ist erst noch zu untersuchen, für welche Arten von Konjunktionen mit welchem

Aufwand pop-out Effekte erreicht und für welche sie trotz intensivsten Trainings möglicherweise nicht erreicht werden können.

Handelt es sich bei den Targets um vertraute Reize, wie etwa alltägliche Objekte (Hoffmann & Grosser, 1985), dann sind targetspezifische Antizipationen vermutlich bereits zu Beginn des Experimentes ausgebildet und können per Instruktion aktiviert werden. Ansonsten aber gehen unsere Überlegungen im Gegensatz zur MIT davon aus, daß sich die verhaltenssteuernden Invarianten lernabhängig ausbilden. Dem entspricht die trainingsabhängige Erhöhung der Effektivität der Suche, die bereits im Verlaufe eines Experimentes von der seriellen Suche bis zum pop-out führen kann (Hoffmann & Grosser 1986; Shiffrin & Schneider 1977). Die Interpretation der visuellen Suche als antizipative Steuerung der "Entdeckungsreaktion" bietet damit sowohl für das in's Auge springen konjunktiver Targets als auch für ihre lernabhängige Effektivierung plausible Erklärungen an. Es gibt aber noch weitere Beobachtungen, die der MIT Schwierigkeiten bereiten, unseren Interpretationsansatz aber unterstützen.

### **Die Homogenität der Distraktoren und globale "Suchkriterien"**

Die Effektivität der visuellen Suche wird nicht nur durch die Merkmale des Targets sondern auch durch die Merkmale der Distraktoren bestimmt. Sie sinkt mit der Ähnlichkeit zwischen Target und Distraktoren und sie steigt mit der Ähnlichkeit innerhalb der Distraktoren (Humphreys, Riddoch & Quinlan, 1985; Humphreys, Quinlan & Riddoch, 1989; Duncan & Humphreys, 1989). Von besonderem Interesse ist die Beobachtung, daß bei der Suche nach Targets unter identischen Distraktoren, die in homogener Weise, etwa kreisförmig, angeordnet sind, nicht nur der "pop-out" Effekt beobachtet wird, sondern Reaktionen auf Vorlagen ohne Target schneller ausfallen, als auf solche mit Target. In einigen Fällen konnte sogar eine Verkürzung der Reaktionszeiten mit Erhöhung der Anzahl der Distraktoren festgestellt werden (vgl. Duncan & Humphreys, 1989; Humphreys, et al., 1989). Die Autoren erklären die Beobachtungen mit einer Homogenitäts-Kodierung (homogeneity coding). Die Vorlage ohne Target ist eine homogen angeordnete Menge identischer Zeichen, etwa ein Kreis von L's. Der Austausch eines Distraktors durch ein Target, etwa ein T, zerstört diese Homogenität. Vorlagen mit und ohne Target unterscheiden sich damit ganzheitlich als heterogene versus homogene Anordnungen und "... a response can be based on the perceived properties of this whole-array unit" (Duncan & Humphreys, 1989, S.449).

Die Erklärung stimmt mit den Annahmen einer antizipativen Verhaltenssteuerung insofern überein, als erstens nach ihnen vorausgesagt wird, daß Invarianten, die Vorlagen mit und ohne Target voneinander unterscheiden, als verhaltensauslösende Reizbedingungen abstrahiert werden; zweitens, daß dabei fixationsunabhängige, also globale ganzheitliche Invarianten bevorzugt werden; und drittens, daß die Pbn dazu

tendieren, sich auf diejenige Antwort vorzubereiten, die durch die "einfachere" Invariante (in diesem Fall, die homogene Vorlage ohne Distraktor) ausgelöst wird. Es kann also vorhergesagt werden, daß die Pbn unter den geschilderten Versuchsbedingungen dazu übergehen werden, ein homogenes Display zu erwarten, um bei seinem Eintreten die Reaktion "Kein Target" auszuführen. Dabei kann umso schneller reagiert werden, je eindeutiger der Eindruck der Homogenität vermittelt wird (je dichter bspw. gleiche Zeichen homogen angeordnet sind, d.h. je mehr Reize dargeboten werden). Tritt kein homogener Reizeindruck ein, muß die Verhaltensbereitschaft gewechselt und die dann korrekte "Targetreaktion" ausgeführt werden. Die beschriebenen Phänomene, die den Annahmen der MIT direkt widersprechen, sind also mit den Überlegungen einer antizipativen Verhaltenskontrolle vereinbar.

Vergleichbare Phänomene sind von Untersuchungen zur visuellen Suche in Listen berichtet worden (Prinz, 1986, 1990b; Prinz & Nattkemper, 1987). In diesen Experimenten werden den Pbn Buchstabenlisten dargeboten, die sie Zeile für Zeile nach einem bestimmten Buchstaben durchsuchen sollen, der, wenn überhaupt, nur einmal in der Liste vorkommt. Bei jedem "Blick" haben sie zu entscheiden, ob ein Target vorliegt, oder die Suche fortgesetzt werden muß. Die Fortsetzung ist der ungleich häufigere Fall. Er ist immer dann gegeben, wenn nur Distraktoren wahrgenommen werden. In der Konsequenz gewinnen die "Auslösebedingungen" der häufigen Reaktion zunehmend Kontrolle über das Suchverhalten. Die Pbn, so könnte man auch sagen, suchen zunehmend weniger nach den sensorischen Wirkungen des Target, sondern beschleunigen die Entscheidungen zur Fortsetzung der Suche aufgrund der visuellen Wirkungen der Distraktoren: "Targets are then detected by default, i.e. by virtue of the fact of not being nontargets" (Prinz, 1990b, S.415).

### **Die Abhängigkeit der Effektivität der Suche von Targetantizipationen**

Nach unseren Überlegungen beruht die Entdeckung eines Targets auf der Übereinstimmung zwischen antizipierten und gegebenen Reizwirkungen. Duncan und Humphreys (1989) verfolgen offensichtlich einen ähnlichen Gedanken, wenn sie schreiben, daß die visuelle Suche auf einem Prozess beruht, der: "... matching input descriptions against an internal template of the information needed in current behavior" (S.444). Das Konstrukt eines "template" entspricht ziemlich genau unseren Überlegungen zur Antizipation verhaltensauslösender Invarianten, es ist "...an advance specification of the information sought.." (S.446). Zur Unterstützung dieser Annahme diskutieren Duncan und Humphreys interessante Ergebnisse von Pashler (1987).

Die Pbn suchten in Buchstabendisplays nach einem C oder E unter den Distraktoren X und N, die beide keine Ähnlichkeit zu keinem der Targets haben. In einigen Displays

wurden jedoch entweder der Buchstabe G, ähnlich dem Target C, oder der Buchstabe F, ähnlich dem Target E, als zusätzliche Distraktoren verwendet. Es zeigt sich, daß die zusätzlichen Distraktoren nicht nur die Entdeckung des Targets zu dem sie ähnlich sind, sondern auch die des jeweils anderen Targets verzögern. So verzögert etwa der Distraktor F nicht nur die Entdeckung des E's sondern auch die Entdeckung des C's. Entscheidend für den Effekt ist also nicht die Ähnlichkeit zum gegebenen sondern die Ähnlichkeit zu den insgesamt möglichen Targets. Dies ist mit der Annahme vereinbar, daß die Pbn Eigenschaften beider Targets antizipieren, um auf sie gleichermaßen vorbereitet zu sein. F-Distraktoren lenken dann aufgrund ihrer Ähnlichkeit zum antizipierten E den Blick auf sich und vom zu entdeckenden C ab.

### **Die Abhängigkeit der Effektivität der Suche von der intendierten "Verwertung" des Targets**

Nach unseren Überlegungen sollte auch das auf das Target geforderte Verhalten Einfluß auf die Effektivität der Suche nehmen. Kahneman, Treisman und Burkell (1983) berichten dazu interessante Ergebnisse. Als Target diente ein "weißes" Wort, das unter Ketten farbiger Symbole dargeboten wurde. Einmal hatten die Pbn lediglich zu entscheiden, ob eine Vorlage ein Target enthält (Entdeckung). Ein anderes Mal war das Targetwort auch zu lesen (Identifikation). Das Target wurde unter der Entdeckungsanforderung sehr viel schneller gefunden als bei geforderter Identifikation. Die Autoren vermuten, daß die Suche unter den beiden Bedingungen durch jeweils andere Merkmale kontrolliert wird: Bei geforderter Entdeckung durch eine weiße unter farbigen Zeichenketten und damit durch ein auffälliges Merkmal; bei geforderter Identifikation dagegen durch ein Wort unter sinnlosen Zeichenketten und damit durch ein Detailmerkmal, dessen Identifikation der Fokussierung bedarf. Die Pbn suchen jeweils nach verschiedenen Targets, einmal nach einer weißen Zeichenkette, das andere Mal nach einem Wort.

Duncan (1985) kann diese Überlegung in Transferexperimenten bestätigen. Er spricht davon, daß die funktionellen Targetmerkmale (functional defining attributes) der geforderten Reaktion auf das Target angepaßt werden (vgl. auch das Konzept des "functional stimulus" bei Underwood, Ham & Ekstrand, 1962). Wir würden sagen, daß eine antizipative Verhaltenssteuerung die verhaltensauslösenden Invarianten immer nur unter den Merkmalen "sucht", die als verhaltensrelevant beachtet werden.

Es überrascht an diesem Resultat, daß die Pbn bei der Identifikationsanforderung offensichtlich keinen Gebrauch von dem "Farbmerkmal" machen, das ihnen ja helfen würde, das Target schnell und sicher zu lokalisieren. Verhindert hier die Konzentration auf die verhaltensrelevanten Merkmale (Worthaftigkeit) die Nutzung eines effektiveren Merkmals (Farbe) zum Auffinden des Targets? Wir begegnen hier einem interessanten

Phänomen, das auf die Kosten aufmerksam macht, die mit der Einschränkung der Wahrnehmung auf einmal gelernte verhaltensrelevante Reizaspekte einhergehen können: Möglichkeiten der Effektivierung des Verhaltens durch seine Orientierung an anderen als den erfahrungsgemäß hinreichenden Merkmalen werden leicht auch dann *übersehen*, wenn sie für einen unvoreingenommenen Betrachter ganz offensichtlich sind. Ich werde später auf den sich hier andeutenden Zusammenhang zwischen antizipativer Verhaltenssteuerung, selektiver Aufmerksamkeit und Einschränkung des Lernbaren zurückkommen.

## Resümee

Wir wollen die Diskussion empirischer Phänomene der visuellen Suche hier abbrechen. Die Forschung in diesem Gebiet wurde und wird durch die MIT wesentlich inspiriert. Ich habe jedoch auf eine Reihe von Beobachtungen hingewiesen, die mit ihr nur schwer vereinbar sind und wieder zu zeigen versucht, daß dagegen die Überlegungen zu einer antizipativen Verhaltenssteuerung ein zusammenhängendes Verständnis der berichteten Phänomene erlauben. Wenn die Pbn versuchen, möglichst valide und fixationsunabhängige Auslösebedingungen für das von ihnen geforderte Verhalten zu abstrahieren, dann ist verständlich, daß die Effektivität der Suche zunimmt, wenn es solche Invarianten gibt, daß globale Invarianten bevorzugt Einfluß auf das Verhalten gewinnen, daß dasjenige Verhalten zunehmend intendiert wird, das durch die einfacheren Auslösebedingungen gesteuert werden kann, und daß die Invarianten vom geforderten Verhalten auf das Target abhängig sind. Eine weitere Überprüfung unserer Annahmen verlangt, die Lernvorgänge zu untersuchen, die einer Effektivierung der visuellen Suche zugrunde liegen. Bis auf wenige Ausnahmen (z.B. Schneider & Shiffrin, 1977; Hoffmann & Grosser, 1986; Prinz, 1986) waren diese Lernvorgänge bisher kaum Gegenstand der Forschung. Es käme vor allem darauf an, verschiedene "Angebote" an verhaltenssteuernden Invarianten unter verschiedenen Verhaltensanforderungen zu machen und zu untersuchen, wie sie für die Steuerung der Suchprozesse lernabhängig wirksam werden.

Ich will zum Abschluß die beiden m.E. wesentlichen Unterschiede zwischen der MIT und unserem Ansatz noch einmal hervorheben. Nach unseren Annahmen wird die visuelle Suche durch Merkmale gesteuert, die als Invarianten abstrahiert und an die konkreten Bedingungen kontinuierlich angepaßt werden. Nach der MIT dagegen, ist die Suche an ein Reservoir elementarer Merkmale (feature maps) gebunden, die als "Alphabet" die unmittelbaren Reaktionsmöglichkeiten des visuellen Systems bestimmen. Zweitens besteht nach unserer Auffassung der Unterschied zwischen dem pop-out und einer seriellen Suche nicht im Gegensatz zwischen aufmerksamkeitsunabhängig

identifizierten elementaren Merkmalen und aufmerksamkeitsabhängiger Merkmalsintegration. Wir unterscheiden vielmehr zwischen verhaltenssteuernden Invarianten, die ihre (globalen) Wirkungen fixationsunabhängig realisieren und verhaltenssteuernden Details, die eine Fokussierung erfordern, um identifiziert zu werden. Je nachdem, wo zwischen diesen beiden Extremen die ausgebildeten Invarianten liegen, bedarf es nur eines Blickes oder eben zunehmend vieler Blicke, um das Target zu finden.

### **6.3. Der Verhaltensbezug der orts- und objektspezifischen Aufmerksamkeit**

Ich habe die orts- und die objektgebundene Aufmerksamkeitssteuerung unabhängig voneinander behandelt, weil es mir zunächst darum ging, die Spotlighttheorie und die MIT kritisch zu diskutieren. Das Kapitel kann aber nicht beendet werden, ohne noch einmal über den Zusammenhang nachzudenken, der zwischen beiden Mechanismen besteht. Jedes objektbezogene Verhalten verlangt zweierlei: Erstens die egozentrische Lokation des Objektes und zweitens die Berücksichtigung seiner Eigenschaften. Wenn wir bspw. ein bestimmtes Buch aus einem Regal nehmen wollen, müssen wir wissen, *wohin* und *wie* wir zu greifen haben. Beides wird durch die Fixation des Objektes, hier des Buches, gewährleistet. Die Konvergenz der Blicklinien sorgt sowohl für die Ortung des Objektes als auch für eine detaillierte Wahrnehmung seiner Eigenschaften. Die in diesem Kapitel diskutierten Befunde lassen vermuten, daß beide "Ziele" von Fixationen zwar einen festen Zusammenhang bilden, aber auch unabhängig voneinander antizipiert werden können (vgl. auch van der Heijden, 1992). Die verdeckte Zuwendung der visuellen Aufmerksamkeit zu einem Ort ist nach unserer Vermutung die antizipierte Fovealisierung seiner retinalen Abbildung. Da die Korrespondenz von retinalen Orten und Orten in der Umgebung ständig aufrechterhalten wird (vgl. Kapitel 4), kann die Antizipation einer Fovealisierung auch als antizipative Ortung verstanden werden. Die Antizipation beinhaltet hier zunächst nur diejenigen Veränderungen retinaler Reizung, die generell bei Blickbewegungen konsistent erfahren werden. Dies ist, wenn man so will, die pure Ausrichtung der visuellen Aufmerksamkeit auf einen Ort, durch die Antizipation seiner Fovealisierung.

Die pure Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf bestimmte Reizwirkungen liegt dagegen vor, wenn wir sie zwar erwarten, aber nicht wissen, wo wir sie erwarten sollen. Unsere Antizipationen können sich hier lediglich auf uns bekannte Reizwirkungen des gesuchten Objektes beziehen. Sie führen nach unseren Überlegungen zu ihrer bevorzugten Verarbeitung und zwar unabhängig davon, wo sie *realisiert* werden. Allerdings kann ihre Realisierbarkeit mehr oder weniger eingeschränkt sein. Details können etwa nur bei fovealer Abbildung ihre Wirkung realisieren. Bei der Suche nach einem Buch wird uns etwa die Antizipation seines Titels nur wenig helfen. Sie zwingt uns vielmehr, Buchrücken für Buchrücken durchzugehen, bis wir den Titel gefunden

haben. Globale oder auffällige Reize realisieren ihre Wirkungen dagegen auch bei parafovealer Abbildung. Suchen wir etwa nach einem besonders dicken Buch in auffallend gelbem Einband, dann wird die Antizipation dieser auffälligen Konfiguration auch dann den Blick auf sie lenken, wenn sie am Rande unseres Blickfeldes realisiert wird. Die Antizipation objektspezifischer Reizwirkungen erleichtert also die Suche nach ihnen umso stärker, je wahrscheinlicher sie auch bei parafovealer Abbildung realisiert werden.

Vergegenwärtigen wir uns jetzt noch einmal, daß die Fixation ein Mechanismus ist, der die egozentrische Ortung eines Objektes mit der Spezifizierung seiner visuellen Eigenschaften auf äußerst sinnvolle Weise verbindet. Mit den Blicklinien wird das Objekt geortet und dabei gleichzeitig fovealisiert. Es ist daher nur naheliegend, wenn dieser Mechanismus für Kovariationen zwischen den beiden Leistungen, die er vollbringt, sensibel ist. Kovariationen zwischen egozentrisch definierten Orten und den dort zu findenden Reizwirkungen kann es allerdings immer nur situationsabhängig geben. Wenn wir in unserem Bücherregal Ordnung halten, dann könnten wir bspw. erwarten, beim Blick in seine obere rechte Ecke den Buchrücken von "Der kleine Prinz" zu sehen. Der Blick nach "rechts oben" realisiert diese Reizwirkungen natürlich nur, wenn wir vor dem Bücherregal stehen. Es wäre ja töricht zu glauben, man bräuchte, wo immer man sich befindet, nur nach rechts oben zu schauen, um den "Prinzen" zu sehen. Kovariationen gibt es also nur zwischen *relativen* Lokationen und den jeweils dort zu erwartenden Reizwirkungen. Die Bestimmung relativer Lokationen setzt aber zwingend Bezugssysteme voraus: Es ist die Form des Regals, die den Ort bestimmt, der seine rechte obere Ecke ist. In gleicher Weise bestimmt die Ausdehnung einer Tür den Ort, an dem man die Klingel erwarten kann und die Gestalt einer Tastatur bestimmt den Ort, wo die Enter-Taste liegt usw. Unsere Welt ist übervoll von solchen "Konfigurationen", die an jeweils bestimmten Stellen immer die gleichen Details erkennen lassen.

Solche Zusammenhänge zwischen den relativen Orten globaler Konfigurationen und den dort gegebenen lokalen Details sind für einen Organismus mit beweglichen Augen und fovealer Abbildung ohne großen Verhaltensaufwand zu erfahren, *wenn er über eine antizipative Verhaltenssteuerung verfügt*. Er braucht nur die Augen zu bewegen und dabei ständig den Versuch zu machen, die im Resultat der Blickbewegungen eintretenden *fovealen* Reizwirkungen in Abhängigkeit von den gegebenen Ausgangsbedingungen so sicher wie möglich zu antizipieren. Dort, wo es kontingente Zusammenhänge dieser Art gibt, wird er sie lernen. Er wird lernen, bei welchen Reizkonfigurationen (Ausgangsbedingungen) er durch welchen Blick welche visuellen Details *erzeugen* kann. Oder, um es anders zu sagen: Er wird es lernen, die Lokation von Details in globalen Ganzheiten vorherzusagen. Wir erkennen so, daß eine antizipative Steuerung der Blickbewegungen nicht nur die Stabilität der visuellen Welt aufrecht erhält, sondern darüber hinaus zu Erkenntnissen über die topologische Struktur der

Erscheinungen in ihr führt. Die antizipative Steuerung von Blickbewegungen kann damit eingesetzt werden, um allein diese Erkenntnisse zu gewinnen. Wir sprechen dann von *explorativem* Verhalten (vgl. auch Neumann, 1990). Der Blick, der explorativ die Umgebung abtastet, dient nicht mehr der Ortung eines bestimmten Objektes für ein bestimmtes Verhalten sondern vielmehr dem Sammeln und Überprüfen von Erfahrungen über die relativen Lokationen aller möglichen Objekte. Wenn solche Erfahrungen allerdings erst einmal vorliegen, dann erleichtern sie die spätere Suche nach einem Objekt insofern erheblich, als nun relative Orte antizipiert werden können, an denen es mit hoher Wahrscheinlichkeit zu finden ist. Das explorative "Training" der antizipativen Steuerung des Blickverhaltens dient in diesem Sinne letztlich wieder der Effektivierung *zukünftigen* objektbezogenen Verhaltens, so wie die antizipative Verhaltenssteuerung einen Organismus generell auf zukünftige Anforderungen vorbereitet.



## **Kapitel 7: Bildung und Repräsentation von Begriffen<sup>2</sup>**

### **7.1 Begriffe als Klassifikationen von Objekten nach ihren Merkmalen**

Die ständig auf uns einwirkenden Reize bilden in ihrer Gesamtheit ein chaotisches Gewirr. Überdenken wir bspw. die visuellen Reizwirkungen, die sich bei einem Spaziergang durch eine belebte Straße ergeben: Unseren Augen bieten sich Linien, Formen, Flächen, Helligkeiten, Farben, Lichtreflexe, Spiegelungen usw. in steten Veränderungen dar. Lichter tauchen auf und verschwinden. Reflexionen bewegen sich mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten in verschiedene Richtungen. Umrisse verändern ihre Form. Flächen überdecken und lösen sich wieder voneinander usw. Von alledem erleben wir nichts. Wir sehen Passanten, die an uns vorüberreichen, eine Straße mit parkenden und fahrenden Autos, Verkehrsampeln, Bäume am Straßenrand, die Auslagen der Schaufenster, die Leuchtschrift der Reklame, eine Taube auf einem Fenstersims, und wenn wir unserem Spiegelbild begegnen, dann lächeln wir ihm freundlich zu. Trotz der im einzelnen chaotischen Reizwirkungen, sehen wir eine geordnete Welt. Wir sehen nicht Linien, Flächen, Formen, Farben usw. sondern Menschen, Bäume, Autos, Tauben usw. Die Reizwirkungen, die von den Objekten und Erscheinungen ausgehen, lassen uns, so könnte man auch sagen, unmittelbar ihre begriffliche Identität wahrnehmen. Wahrnehmung ist begriffliche Erkenntnis.

#### **Begriffsbildung als Abstraktion klassifizierungsrelevanter Merkmale**

Die begrifflichen Einheiten, davon wollen wir ausgehen, sind nicht angeboren. Sie werden erworben. Warum kommt es zur Ausbildung der Begriffe, nach denen wir unsere Umwelt ordnen? Wie werden die Reizwirkungen, die bspw. von unterschiedlichen Autos oder Tauben ausgehen, zu den Begriffen AUTO und TAUBE integriert? Die Antwort scheint nahe zu liegen: Autos und Tauben haben, trotz ihrer individuellen Erscheinungsformen, jeweils gemeinsame Merkmale, die sie uns als Exemplare einer Klasse zusammengehöriger Individualitäten erleben lassen. Begriffe sind, so kann man vermuten, Zusammenfassungen von Objekten und Erscheinungen nach ihren Merkmalen. Sie abstrahieren von den individuellen Erscheinungsformen und

---

<sup>2</sup> Das Kapitel ist die erweiterte Fassung eines in *Sprache und Kognition* eingereichten Artikels.

repräsentieren jeweils das ihnen allen Gemeinsame, das sie zugleich von anderen Erscheinungsformen unterscheidet.

Begriffe erwerben wir durch Belehrung und der wohl wichtigste "Lehrmeister" ist die Sprache. Indem wir es lernen, Worte zu verstehen und korrekt zu verwenden, lernen wir es, die mit ihnen vorgegebenen begrifflichen Unterscheidungen zu treffen. Wenn ein Kind etwa lernt, die Bezeichnungen Hund und Katze richtig zu verwenden, lernt es, Hunde von Katzen zu unterscheiden. Aus allen Erlebnissen mit (so bezeichneten) Hunden und Katzen abstrahiert es sowohl das ihnen jeweils Gemeinsame als auch das sie voneinander Unterscheidende. Im Resultat bilden sich die Begriffe HUND und KATZE.

Solche Begriffsbildungsprozesse lassen sich im Labor nachgestalten. Die Abbildung 7.1. zeigt ein Teil des von Clark L. Hull (1920) in einem der ersten Begriffsbildungs-experimente verwendeten Materials.

|          | Name | Figur         |
|----------|------|---------------|
| Klasse B | yer  | 彳 廾 廾 廾 廾 廾 廾 |
| Klasse C | li   | 力 勹 勹 勹 勹 勹 勹 |
| Klasse D | ta   | 弓 亞 弧 弓 弗 𠂇 𠂇 |
| Klasse E | deg  | 石 𠂇 𠂇 𠂇 𠂇 𠂇 𠂇 |
| Klasse F | ling | 宀 宀 宀 宀 宀 𠂇 𠂇 |

Abbildung 7.1.: Das von Clark L. Hull (1920) verwendete Material zur Untersuchung von Begriffsbildungsprozessen. Die jeweils in einer Klasse zusammengefaßten Zeichen bilden einen Begriff, der durch eine ihnen allen gemeinsame Figur und durch einen gemeinsamen Namen bestimmt ist.

Es handelt sich um eine Menge einander insgesamt ähnlicher Konfigurationen (vergleichbar denen chinesischer Schriftzeichen), die in mehrere Klassen gegliedert sind. Die Konfigurationen einer Klasse enthalten jeweils eine gemeinsame Figur und tragen den gleichen Namen. Die Pbn werden mit der Klassenzugehörigkeit einzelner Konfigurationen vertraut gemacht, indem ihnen deren Namen zunächst genannt werden. Sie sollen dann die Benennungen selbständig vornehmen. Korrekte Benennungen werden bestätigt und falsche korrigiert, so wie etwa eine Mutter ihr Kind bestätigt, wenn es zu einem Hund "WauWau" sagt und es korrigiert wenn es ihn "Miez" nennt. Die Begriffe gelten als erlernt, wenn alle Konfigurationen korrekt benannt werden. Narziß Ach

(1921) verwendete in einem anderen frühen Begriffsbildungsexperiment eine vergleichbare Methode.

Obwohl die Methodik dieser beiden "Pionierarbeiten" in nachfolgenden Experimenten vielfach variiert wurde, blieb der Untersuchungsgegenstand unverändert: Untersucht wurde stets die Abstraktion der die Elemente einer begrifflichen Klasse spezifisch charakterisierenden Merkmale. Begriffe sind nach dieser Auffassung Klassifikationen von Objekten nach ihren Merkmalen (z.B. Eckes, 1991; Frege, 1969/1892; Klix, 1971). Sie werden durch die Abstraktion klassifizierungsrelevanter Merkmale gebildet und durch jeweils die Merkmalskonfiguration repräsentiert, die die zum Begriff gehörenden Objekte invariant und spezifisch auszeichnet.

Aus der traditionellen Perspektive der Kognitionspsychologie sind es von den Objekten und Erscheinungen ausgehende Reizwirkungen, die die Information über deren begriffliche Zugehörigkeit enthalten. Diese Information wird durch irrelevante Merkmale im Sinne einer Störung überlagert. Die begriffliche Identifikation verlangt also eine Unterdrückung der Verarbeitung irrelevanter und eine Förderung der Verarbeitung relevanter Merkmale. Die Vorteile einer solchen *begrifflichen* Reizverarbeitung liegen auf der Hand: Sie bleibt auf klassifizierungsrelevante Reize beschränkt. Objekte und Erscheinungen müssen nicht in ihrer Individualität erfaßt werden, und es können auch zuvor nie wahrgenommene Erscheinungen identifiziert werden, solange sie die begriffsrelevanten Merkmale aufweisen.

Die Fragen, die sich aus einer solchen Perspektive ergeben, konzentrieren sich auf zwei Probleme: Erstens, wie werden relevante von irrelevanten Merkmalen unterschieden und zweitens, wie werden die Begriffe so repräsentiert, daß Objekte und Erscheinungen mit entsprechenden Merkmalen ihnen unmittelbar zugeordnet werden können? Im folgenden soll ein kurzer Überblick über verschiedene Ansätze zur Beantwortung dieser beiden Fragen und über die dabei auftretenden Probleme gegeben werden. Da zu diesem Thema mehrere zusammenfassende Darstellungen aus neuerer Zeit vorliegen (z.B. Eckes, 1991; Hoffmann, 1986; Klimesch, 1988; Smith & Medin, 1981), können wir uns auf die Diskussion einiger Grundgedanken beschränken.

### **Begriffsbildungsalgorithmen**

Eine Untersuchung der lernabhängigen Differenzierung von relevanten und irrelevanten Merkmalen erfordert Versuchsmaterial, in dem, anders als bei Hull (1920), die Merkmale klar erkennbar sind. Geometrische Figuren etwa, die sich in ihrer Form, ihrer Farbe, ihrer Umrandung und ihrer Anzahl deutlich unterscheiden (vgl. Abbildung 7.2.). Die Merkmale können nun in unterschiedlicher Verknüpfung begriffliche Klassen definieren. In dem in Abbildung 7.2. dargestellten Material ließe sich ein Begriff bspw.

durch alle die Figuren festlegen, die rote Muster zeigen. Die Farbe der Figuren wäre dann allein klassifizierungsrelevant. Es könnten aber auch alle Figuren mit roten Kreuzen den Begriff definieren. Die Merkmale Farbe und Form wären dann in konjunktiver Verknüpfung (Rot *und* Kreuz) klassifizierungsrelevant. Die Menge der Figuren, die rot *oder* Kreuze sind, ist ein Beispiel für eine disjunktive Verknüpfung zweier Merkmale.

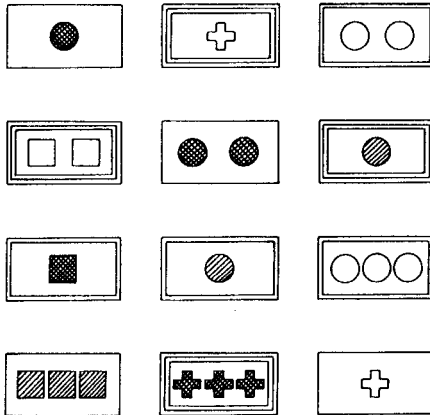


Abbildung 7.2.: Objekte, wie sie in typischen Begriffsbildungsexperimenten Verwendung finden. Die Objekte unterscheiden sich in der Form, Anzahl und Farbe der dargestellten Figuren sowie in der Umrandung.

In einem typischen Begriffsbildungsexperiment legt der Experimentator eine Klassifikation der Figuren durch die Wahl der relevanten Merkmale und die Art ihrer (Boolschen) Verknüpfung fest. Die Pbn werden über die Begriffszugehörigkeiten einzelner Objekte informiert. Ihre Aufgabe besteht darin, die realisierte Klassifikationsregel herauszufinden. Unter diesen Rahmenbedingungen läßt sich beobachten, daß die Pbn im Verlaufe des Versuchs explizite Vermutungen über die Relevanz der Merkmale und die Art ihrer Verknüpfung anstellen. Wenn ein Pb bspw. erlebt, daß eine Figur mit zwei schwarzen Kreuzen zum Begriff gehört, vermutet er etwa, daß der Begriff durch alle Figuren mit Kreuzen gebildet wird. Er hält also die Form für das relevante Merkmal und klassifiziert nachfolgende Figuren dieser Vermutung entsprechend. Wird er später darüber belehrt, daß bspw. eine Figur mit einem roten Kreuz nicht zum Begriff gehört, muß diese Hypothese revidiert werden. Er könnte sich nun etwa denken, daß nur alle schwarzen Kreuze zum Begriff gehören, bis auch dies durch ein Gegenbeispiel widerlegt wird usw. Die Vermutungen werden also revidiert, sobald eine Figur falsch klassifiziert wird, und eine Vermutung entspricht der gesuchten Klassifikation umso sicherer, je mehr Figuren auf ihrer Grundlage korrekt klassifiziert wurden.

Nach solchen Beobachtungen ist Begriffsbildung als Bildung, Überprüfung und Änderung von Hypothesen über relevante Merkmale und ihre Verknüpfung zu

beschreiben. Die entsprechenden Forschungsbemühungen konzentrierten sich darauf, die Gesetzmäßigkeiten dieser Vorgänge zu erfassen. Einfachere Modelle versuchten zunächst, den Wechsel zwischen verschiedenen Hypothesen durch eine Kalkulation der Übergangswahrscheinlichkeiten zwischen ihnen zu beschreiben (Mehrstadienmodelle, z.B. Restle, 1962; Bower & Trabasso, 1964; Trabasso & Bower, 1966). Anspruchsvollere Modelle bemühten sich um die Erfassung von Strategien und heuristischen Techniken, mit denen die Pbn ihre Hypothesen an die Begriffsstruktur annäherten (z.B. Bruner, Goodnow & Austin, 1956; Hoffmann, 1973; Hoffmann, Ulbrich & Selig, 1976). Die Simulation solcher Strategien erlaubte es darüber hinaus, die Leistungen von Pbn mit denen der Modelle unter verschiedenen experimentellen Bedingungen zu vergleichen (Dörner, Lutz & Meurer, 1967; Goede & Klix, 1969; Hunt, Marin & Stone, 1966; Wysotzki, 1974).

Obwohl zwischen den Leistungen von Pbn und denen der simulierten Begriffsbildungsalgorithmen immer wieder Unterschiede bestanden, so wurden sie doch andererseits so weitgehend übereinstimmend von verschiedenen Versuchsbedingungen beeinflußt, daß man annehmen konnte, wesentliche Eigenschaften der menschlichen Begriffsbildung in den Algorithmen erfaßt zu haben. Begriffsbildung erschien damit als algorithmische Verarbeitung von Informationen zur Annäherung einer hypothetischen an die tatsächliche Begriffsstruktur. Die letzte, nicht mehr widerlegte Hypothese, repräsentierte den Begriff in Form einer Vorschrift, die für jedes Objekt eindeutig zu entscheiden gestattet, ob es zum Begriff gehört oder nicht.

### **Familienähnlichkeit und Typikalität**

Begriffsbildungsalgorithmen geben für die unter den geschilderten Bedingungen auftretenden Prozesse eine vermutlich angemessene Beschreibung. Für die Pbn war die Menge der zu klassifizierenden Figuren überblickbar und ihre Merkmale waren bekannt und deutlich zu unterscheiden. Darüber hinaus wurde den Pbn zumeist mitgeteilt, daß die zu suchende Klassifikation nur auf einem Teil der Merkmale beruht, und oft sind auch die verschiedenen Möglichkeiten der Booleschen Verknüpfung genannt worden. Es ist nicht verwunderlich, daß Pbn unter solchen Bedingungen versuchen, die Menge der möglichen Klassifikationen systematisch einzuschränken, bis die Gesuchte gefunden ist. Die erwähnten Algorithmen beschreiben die dabei "trickreich" angewandten Techniken der Informationsverwertung. Sie sind in diesem Sinne aufschlußreiche Dokumente der Fähigkeit des Menschen, mit möglichst geringem Aufwand möglichst viel der gegebenen Information zu nutzen. Mechanismen der Ausbildung natürlicher Begriffe dokumentieren sie dagegen nicht.

Im Vergleich zu Booleschen Klassifikationen sind natürliche Begriffe von offensichtlich anderer Art (vgl. Bierwisch, 1974). Ein erster grundsätzlicher Unterschied betrifft die Abstufung der Zugehörigkeit zum Begriff. Die Zugehörigkeit zu natürlichen Begriffen folgt nicht dem Alles-oder-Nichts Prinzip, sie ist vielmehr graduell gestuft. Die Objekte gehören den einzelnen Begriffen mehr oder weniger an. Sie sind, wie man auch sagt, Begriffsbeispiele jeweils unterschiedlicher Typikalität. Eine Eiche ist bspw. ein typischer und eine Pappel ein untypischer Baum. Ein Hammer ist ein typisches, ein Bleistift dagegen ein untypisches Werkzeug usw. (Ashcraft, 1978a; Rosch, 1975; Oden, 1977; Hoffmann & Ziebler, 1982; Cordier & Dubois, 1981; u.a.). Selbst für völlig eindeutig definierte Begriffe, wie z.B. "Gerade Zahl", ist etwa die Zahl 100 den Pbn ein typischeres Element als die Zahl 96 (Bourne, 1982; Armstrong, Gleitman & Gleitman, 1983). Natürliche Begriffe sind also nicht als klar umgrenzte Boolesche Mengen von Objekten mit eindeutigen Zuordnungskriterien zu beschreiben, sondern vielmehr als "unscharfe Mengen" mit Objekten unterschiedlicher Zugehörigkeit (vgl. Zadeh, 1965, 1982).

Natürliche Begriffe unterscheiden sich von Booleschen Klassifikationen zweitens dadurch, daß sich ihre relevanten Merkmale nur höchst selten verbindlich angeben lassen. Zum Begriff HEMD werden bspw. Merkmale wie Knöpfe, Kragen, Ärmel, Stoff und Manschetten assoziiert (Ashcraft, 1978b). Ein Sporthemd ohne Knöpfe und Kragen identifizieren wir dennoch ohne Zögern als Hemd, während ein Jackett zwar alle genannten Merkmale aufweisen kann, ohne jedoch ein Hemd zu sein. Das Beispiel soll verdeutlichen, daß es zumeist unmöglich ist, eine Menge notwendiger und hinreichender Merkmale anzugeben, die es gestatten würde, alle zum Begriff gehörenden Objekte eindeutig zu identifizieren. Wittgenstein (1971/1953) hat deshalb davon gesprochen, daß natürliche Begriffe nicht durch gemeinsame Merkmale, sondern durch die "Familienähnlichkeit" der zu ihnen gehörenden Objekte und Erscheinungen charakterisiert sind: Innerhalb eines Begriffes sind die Objekte ähnlicher als zu Objekten anderer Begriffe. Die Ähnlichkeiten beruhen aber auf stets wechselnden Merkmalen. Es gibt nicht relevante und irrelevante Merkmale, sondern vielmehr Merkmale, die sich in ihrer Relevanz graduell unterscheiden.

Angesichts dieser Unterschiede natürlicher Begriffe zu Booleschen Klassifikationen, können die Algorithmen, die die Bildung dieser beschreiben nicht als die Prozesse gelten, die der Bildung jener zugrunde liegen. Wenn natürliche Begriffe nicht als eindeutige Entscheidungsregeln für Begriffszugehörigkeiten repräsentiert sind, kann ihre Bildung nicht durch Algorithmen beschrieben werden, die zu solchen Entscheidungsregeln führen. Diese Einsicht regte die Entwicklung von Modellen der Begriffsbildung an, die den Phänomenen der Typikalität und Familienähnlichkeit besser gerecht werden. Ich werde im folgenden vier dieser Ansätze kurz charakterisieren.

## Begriffe als Merkmalsmengen

Die angedeuteten Überlegungen legten es nahe, die Unterscheidung zwischen relevanten und irrelevanten Merkmalen aufzugeben. Rips, Shoben und Smith (1973) haben es in diesem Sinne vorgezogen, zwischen definierenden und charakterisierenden Merkmalen, Barsalou (1982) zwischen kontextabhängigen und kontextunabhängigen und Klix (1980a) zwischen obligatorischen und fakultativen Merkmalen zu unterscheiden (vgl. auch Katz, 1978, 1981; Klimesch, 1981; Kluwe, Wolke & Bunge, 1982). Die zum Begriff gehörenden Objekte müssen nun nicht mehr bestimmte Merkmalsverknüpfungen sondern lediglich hinreichend viele Merkmale mit hinlänglicher Begriffsrelevanz aufweisen. Ihre Typikalität ergibt sich aus der Relevanz aller ihrer Merkmale (z.B. Ashcraft, 1978 a,b; Smith, Shoben & Rips, 1974; Tversky, 1977; Hoffmann & Zießler, 1982; für mathematisch ausgearbeitete Modelle vgl. Hayes-Roth & Hayes-Roth, 1977; McCloskey & Glucksberg, 1979).

Eine empirische Überprüfung solcher Modellvorstellungen setzt die Kenntnis der jeweiligen Merkmale und ihrer Gewichte voraus. Die ist in der Regel jedoch nicht gegeben. Welche Merkmale kennzeichnen etwa mit welchem Gewicht den Begriff ELEFANT? Um hier zu Daten zu kommen, müssen entweder Merkmalsassoziationen erhoben werden (die Pbn werden gefragt, welche Merkmale sie zu welchen Begriffen assoziieren, z.B. Ashcraft, 1978a; Hoffmann & Zießler, 1982; Katz, 1978; Klimesch, 1981; Tversky & Hemenway, 1984), oder es sind reduktionistische Verfahren anzuwenden, die bspw. den minimalen Merkmalsraum bestimmen, der notwendig ist, um die zwischen Begriffen empfundenen Ähnlichkeiten zu beschreiben (z.B. Rips, Shoben & Smith, 1973). Beide Vorgehensweisen sind unbefriedigend. Die Merkmalsassoziationen sind mit den Nachteilen introspektiver Daten verbunden, und die reduktionistischen Verfahren werden der Differenziertheit begrifflichen Wissens nicht gerecht. Wenn Rips, et al. (1973) etwa zu dem Resultat kommen, daß die Ähnlichkeiten zwischen Tieren allein durch Ausprägungen auf den Merkmalsdimensionen "Größe" und "Wildheit" beschrieben werden können, dann ist damit unser Wissen über Tiere wohl kaum erschöpfend beschrieben.

Neben dem methodischen müssen auch zwei grundsätzliche Bedenken gegen die Merkmalsmodelle erhoben werden. Wenn für einen Begriff wie HEMD Merkmale wie Knöpfe, Ärmel und Manschetten, oder für einen Begriff wie ELEFANT Merkmale wie Groß, Stoßzähne und Rüssel repräsentiert werden, dann sind einige dieser Merkmale selbst begriffliche Identitäten (z.B. KNOPF und RÜSSEL), deren Herausbildung genauso zu hinterfragen ist, wie die der begrifflichen Einheiten, deren Merkmal sie sind. Da die Merkmalsmodelle die Existenz der Merkmale voraussetzen, lassen sie das Problem der *Merkmalsbildung* unberücksichtigt. Darüber hinaus sind Begriffe durch Merkmale allein noch keineswegs vollständig charakterisiert. Die Merkmale müssen vielmehr in bestimmte Relationen zueinander treten, um begriffliche Identität zu

konstituieren. Die Manschetten eines Hemdes müssen sich an den Enden seiner Ärmel befinden und der Rüssel des Elefanten zwischen den beiden Stoßzähnen usw. Sobald die Relationen verletzt werden, die aus einer Summe von Merkmalen erst die Ganzheitlichkeit eines Objektes erstehen lassen, wird auch dessen begriffliche Identität zerstört. Um eine angemessene Repräsentation natürlicher Begriffe zu gewährleisten, müßten also die Merkmalsmodelle durch Annahmen erstens zur Herausbildung der Merkmale und zweitens zu ihrer relationalen Verknüpfung ergänzt werden (vgl. vor allem Klimesch, 1988).

### **Begriffe als Prototypen**

Ende der 60'er, Anfang der 70'er Jahre wurden Experimente berichtet, in denen Pbn zunächst eine Anzahl von Punktmustern dargeboten wurde, die sie sich einprägen sollten (vgl. Abbildung 7.3). Alle Muster stammten von einem Prototyp ab, d.h. es handelte sich um eine jeweils andere Verzerrung oder Transformation eines prototypischen Musters. Der Prototyp selbst wurde jedoch nicht dargeboten und den Pbn wurden auch keinerlei Hinweise auf seine Existenz gegeben. Nach der Lernphase wurde ein Wiedererkennungsexperiment durchgeführt. Neben den "alten" wurden auch zuvor nicht dargebotene neue Muster, darunter auch der Prototyp, dargeboten. Die Pbn hatten jeweils zu entscheiden, ob sie das Muster bereits in der Lernphase gesehen hatten, und sie sollten angeben, wie sicher sie sich ihrer Entscheidung sind. Die Resultate zeigen, daß die Pbn auf der einen Seite zwar zwischen alten und neuen Mustern annähernd unterscheiden, andererseits aber fest überzeugt sind, den Prototyp in der Lernphase gesehen zu haben (Posner, Goldsmith & Welton, 1967; Posner & Keele, 1968, 1970; vgl. auch Bransford & Franks, 1971; Franks & Bransford, 1971). Die Autoren vermuten, daß die Pbn in der Lernphase das den dort gesehenen Mustern "Gemeinsame" abstrahieren und als durchschnittliche Erfahrung speichern. Da alle Muster aus dem Prototyp abgeleitet sind, sind ihnen vor allem Eigenschaften des Prototyps gemeinsam. Im Wiedererkennungstest wird dann jedes Testmuster mit der gespeicherten Abstraktion verglichen und umso eher wiedererkannt, je ähnlicher es ihr ist. Nach dieser Interpretation sind sich die Pbn also deshalb so sicher, den Prototyp gesehen zu haben, weil er der abstrahierten durchschnittlichen Erfahrung so ähnlich ist.

Es lag nahe, auch die Bildung wenigstens anschaulicher natürlicher Begriffe auf Abstraktionen durchschnittlicher Erfahrungen zurückzuführen. Begriffe sind nach dieser Überlegung als Prototypen repräsentiert, die aus den Erfahrungen mit den bislang erlebten Begriffsobjekten abstrahiert wurden. Die Familienähnlichkeit ergibt sich aus der Ähnlichkeit aller Objekte zum gemeinsamen Prototyp und die Typikalität entspricht



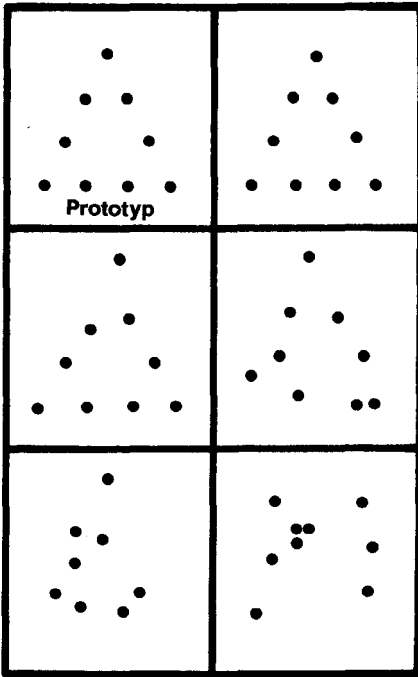


Abbildung 7.3.: Ein von Posner, Goldsmith und Welton (1967) verwendeter Prototyp und fünf unterschiedlich starke Verzerrungen.

ihrer jeweiligen Stärke. Familienähnlichkeit und Typikalität finden so eine zwanglose Deutung (Rosch, 1977; Rosch & Mervis, 1975; Mervis & Rosch, 1981).

Die Überlegung, daß anschauliche Begriffe wie BAUM, FAHRRAD, FISCH, KATZE, GABEL, usw. in Form eines Prototyps repräsentiert sind, ist insofern suggestiv, als wir uns einen prototypischen Baum, ein prototypisches Fahrrad usw. ohne Schwierigkeiten vorstellen können. Es gibt dennoch berechtigte Einwände, von denen wir zwei aufgreifen wollen (vgl. Oden, 1977; Osherson & Smith, 1981, 1982; Medin, Wattenmaker & Hampson, 1987; Hoffmann, 1983): Der Ansatz macht erstens keine Aussagen zu den Lernmechanismen, die zur Bildung des Prototyps führen. Rosch und Mervis (1975, S.600) stellen in einer einschlägigen Arbeit bspw. ausdrücklich fest: "...that the principle of family resemblance ... is a descriptive, not a processing principle". Es wurde zweitens nicht spezifiziert, wie ein Prototyp repräsentiert ist. Ist er eine anschauliche Vorstellung, eine Liste von Merkmalen, eine propositionale Beschreibung oder ein Ort in einem mehrdimensionalen Merkmalsraum repräsentiert? Posner und Keele (1968, S. 362) haben dieses Problem bereits gesehen, wenn sie schreiben: "... To say subjects learn the central tendency ... does not tell in what type of a coding system such information is stored". Ohne eine Differenzierung der

Repräsentationsform lassen sich aber Vergleiche von Objekt und Prototyp, die ja den begrifflichen Identifikationen zugrunde liegen sollen, nicht charakterisieren (vgl. für verschiedene Ansätze Eckes, 1991; S.62ff).

### **Begriffe als Menge der erlebten Beispiele**

Es wird wohl niemand bestreiten, daß wir neben den Begriffen auch Erinnerungen an einzelne Objekte bewahren. Neben dem Begriff MENSCH haben wir selbstverständlich die Mitglieder unserer Familie und alle unseren näheren und fernerer Bekannten individuell repräsentiert, ebenso wie wir unser eigenes Auto, den Baum vor unserem Haus, den Hund des Nachbarn usw. neben den Allgemeinbegriffen AUTO, BAUM und HUND repräsentiert haben. Diese Tatsache hat einige Autoren vermuten lassen, daß den Begriffen möglicherweise überhaupt keine Abstraktionen zugrunde liegen, daß sie vielmehr auf separaten Repräsentationen individueller Erscheinungen beruhen (z.B. Brooks, 1978, 1987; Hintzman, 1986; Landauer & Meyer, 1972; Logan, 1988; Medin & Shaffer, 1978; Smith & Medin, 1981).

Der Gedanke einer solchen "Exemplarrepräsentation" wurde auf verschiedene Weise ausgeführt. Zur Erläuterung der Grundidee wähle ich das von Hintzman (1986) vorgeschlagene Modell. Jede "exemplarische Erfahrung" wird individuell mit ihren besonderen Merkmalen gespeichert. Ist die begriffliche Identität eines Objektes zu bestimmen, wird zunächst dessen Ähnlichkeit zu allen gespeicherten Exemplaren ermittelt. In einem zweiten Schritt werden die Merkmale der Exemplare mit diesem Ähnlichkeitswert gewichtet. Die Merkmale ähnlicher Exemplare erhalten ein hohes, die unähnlicher ein niedriges Gewicht. In einem dritten Schritt werden die gewichteten Merkmale aller zu einem Begriff gehörenden Exemplare zu einem begriffsspezifischen "Echo" akkumuliert (vgl. auch Ratcliff, 1978). Das vorliegende Objekt wird demjenigen Begriff zugeordnet, der mit dem stärksten Echo reagiert. Es ist leicht zu sehen, daß dies jeweils der Begriff sein wird, der die meisten zum vorliegenden Objekt ähnlichen Exemplare enthält.

Das Modell besitzt viele der für natürliche Begriffe typischen Eigenschaften: Ein Objekt, das zu vielen Exemplaren eines Begriffes ähnlich ist, ruft ein stärkeres Echo hervor, als ein Objekt, das nur wenigen Exemplaren ähnlich ist. Dies entspricht den unterschiedlichen Typikalitäten. Häufig erlebte Objekte werden sicherer als selten erlebte Objekte klassifiziert, weil die ihnen entsprechenden Exemplare mehrfach gespeichert sind und damit das Echo mehrfach verstärken. Aus einem ähnlichen Grund werden auch Prototypen besonders leicht klassifiziert. Sie rufen ein starkes Echo hervor, weil sie zu insgesamt vielen Exemplaren eine hohe Ähnlichkeit aufweisen usw. (vgl. Hintzman, 1986).

Exemplarmodelle können also viele Eigenschaften natürlicher Begriffe überzeugend darstellen. Es gibt dennoch einen zunächst spontanen Vorbehalt gegen sie. Die Annahme, daß die unabzählbar vielen Objekte, die wir von Tausenden von Begriffen erleben, individuell gespeichert sein sollen, übersteigt das Vorstellbare an Speicherkapazität des menschlichen Gehirns (obwohl wir zugeben müssen, daß uns strenge Kriterien für deren Begrenzung fehlen). Gravierender als dieser Mangel an Plausibilität ist jedoch, daß die Exemplarmodelle das eigentliche Problem der *Begriffsbildung* unbeantwortet lassen. Wodurch wird bestimmt, über welchen Exemplaren Echos zu akkumulieren sind? Begriffe wie bspw. TIER umfassen Exemplare aus Kategorien wie LÖWE, RAUBTIER, HAUSTIER, KATZE usw., die sich mehrfach überschneiden. Ein Löwe ist zwar eine Katze und eine Katze ist ein Haustier, aber ein Löwe ist kein Haus- sondern ein Raubtier (vgl. Hampton, 1982). Um solche einander überlappenden Begriffszugehörigkeiten bestimmen zu können, müssen Echos über teilweise den gleichen Exemplaren auf unterschiedliche Weise akkumuliert werden. Wie werden solche Prozesse koordiniert? Wie kommt es überhaupt zu überlappenden begrifflichen Klassifikationen gleicher Exemplare? Darauf geben die Exemplarmodelle keine Antwort. Sie betonen zwar zu Recht die Möglichkeit der gesonderten Repräsentation einzelner Objekte, sie erklären jedoch nicht die Herausbildung und die Strukturierung ihrer begrifflichen Zusammenfassungen (vgl. auch Hoffmann, 1983, S.55-60; Smith & Medin, 1981, S.143-161).

### **Begriffsbildung in konnektionistischen Netzwerken**

Einfache konnektionistische Netzwerke bestehen aus elementaren Eingangs- und Ausgangseinheiten (vgl. Abbildung 7.4). Die Eingangseinheiten repräsentieren insofern Merkmale der Umwelt, als jede einzelne Einheit immer nur durch ein bestimmtes Merkmal aktiviert wird. Die Ausgangseinheiten repräsentieren insofern Verhalten, als ihre Aktivitätszustände die Reaktionen des Netzwerks bestimmen. Es bestehen darüber hinaus Verbindungen, die die Aktivierung der Eingangseinheiten auf die Ausgangseinheiten übertragen. Diese Verbindungen besitzen ein variables Gewicht, das lernabhängig veränderbar ist. Ein solches Netzwerk bildet einen Begriff, wenn es lernt, auf individuell unterschiedliche Objekte in gleicher und spezifischer Weise zu reagieren; so, wie auch ein Kind etwa den Begriff BAUM bildet, indem es lernt, alle Bäume und nur sie, so verschieden sie auch sein mögen, als Baum zu bezeichnen. Ohne auch nur versuchen zu wollen, einen Überblick über konnektionistische Modelle der Begriffsbildung zu vermitteln (vgl. Rumelhart & McClelland, 1986; McClelland & Rumelhart, 1986; Strube, 1990; Kemke, 1988), will ich einige Grundgedanken wieder an einem konkreten Beispiel verdeutlichen.

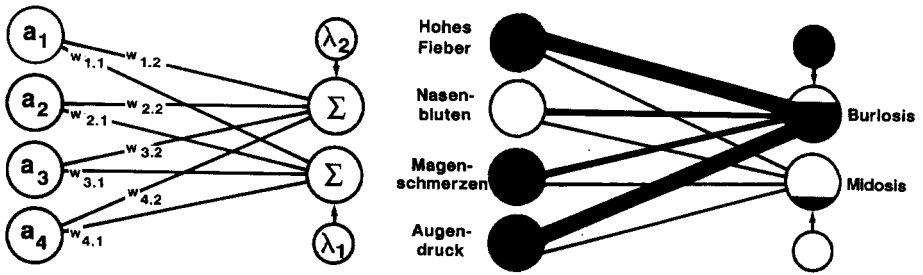


Abbildung 7.4.: Die Grundstruktur eines einfachen Klassifikationsnetzwerkes (links): Von Eingangsknoten  $a_i$  werden Aktivierungen auf Ausgangsknoten nach Maßgabe der Gewichte der bestehenden Verbindungen  $w_{i,j}$  übertragen. Die Ausgangsknoten summieren die gewichteten Aktivierungen der mit ihnen verbundenen Eingangsknoten. Die entstehende Aktivierung wird mit entsprechenden Vorgaben  $\lambda_i$  verglichen (nach Gluck und Bower 1988 a,b). Rechts ist die Anwendung des Netzwerkes zur diagnostischen Entscheidung zwischen zwei Krankheiten anhand vorliegender Symptome veranschaulicht. Der aktuelle Patient leidet vermutlich an Burlosis, erkennbar vor allem am Augendruck und dem hohen Fieber.

Gluck und Bower (1988a,b) haben Begriffsbildungsprozesse in einem Netzwerk simuliert, das aus lediglich vier Eingangseinheiten und zwei Ausgangseinheiten besteht (Abbildung 7.4.). Das Netzwerk sollte es lernen, fiktive Patienten nach zwei fiktiven Krankheitsbildern (Burlosis und Midosis) zu klassifizieren. Die Eingangseinheiten repräsentieren Symptome, wie etwa hohes Fieber, Nasenbluten, Magenschmerzen und Augendruck. "Patienten" aktivieren jeweils nur diejenigen Einheiten, die ihren Symptomen entsprechen. Jede Eingangseinheit ist mit jeder Ausgangseinheit verbunden. Diese Verbindungen übertragen die Aktivierung von den Eingangs- auf die Ausgangseinheiten. Im vorliegenden Beispiel soll die Übertragung dazu führen, daß Patienten mit "Burlosis" zur Aktivierung des einen, Patienten mit "Midosis" zur Aktivierung des anderen Ausgangsknotens führen. Mit dem aktivierten Ausgangsknoten soll praktisch die Krankheit des jeweiligen Patienten korrekt diagnostiziert werden. Um dies zu erreichen, werden dem Netz in einer Lernphase Patientendaten dargeboten, und es wird über die vorliegende Krankheit jeweils dadurch belehrt, daß vorgegeben wird, welche der beiden Ausgangseinheiten aktiviert sein sollte. Weichen die vom Netz realisierten von den vorgegebenen Aktivitätszuständen ab, werden die Gewichte der Verbindungen zwischen Eingangs- und Ausgangseinheiten so verändert, daß die Abweichung verringert wird (Delta-Regel). Eine kontinuierliche Belehrung nach der Delta-Regel führt dazu, daß die für die eine Krankheit typischeren Symptome (respektive die ihnen zugeordneten Eingangseinheiten) stärker mit der einen und die für die andere Krankheit typischeren Symptome stärker mit der anderen Ausgangseinheit verbunden werden. Nach dem Lernprozeß repräsentieren die Ausgangsknoten quasi Krankheitsbegriffe und die Gewichte der Verbindungen repräsentieren die Relevanz der jeweiligen Symptome für die jeweilige Krankheit (vgl. auch Estes, Campbell, Hatsopoulos & Hurwitz, 1989).

Die konnektionistischen Ansätze knüpfen unmittelbar an behavioristisch orientierten Überlegungen aus den 50er Jahren an. So hatten bspw. bereits Bourne und Restle (1959) Begriffsbildung als Konditionierung begriffsrelevanter und Adaptation begriffsirrelevanter Merkmale beschrieben. Obwohl sie zur Modellierung der Lernprozesse anstelle der Delta-Regel die Reizauswahltheorie von Estes (1950, 1955) wählten; der Grundgedanke, Begriffsbildung auf Prozesse der selektiven Bindung begriffsspezifischen Verhaltens an begriffsspezifische Merkmale zurückzuführen, ist beiden Ansätzen gemeinsam (vgl. Gluck, 1991). Die konnektionistischen Ansätze werden deshalb auch aus teilweise gleichen Gründen kritisiert, wie zuvor schon die behavioristischen Ansätze. Netzwerke, in denen Eingangs- und Ausgangseinheiten direkt miteinander verbunden sind, so ein wesentlicher Kritikpunkt, können nur "lineare" Klassifikationen erwerben (Minsky & Papert, 1969). Pbn erlernen aber auch nicht-lineare Klassifizierungen. Die Modelle sind daher wenigstens ungeeignet, die Bildung komplexerer Begriffe zu beschreiben.

Es ist interessant, daß die "Konnektionisten" dieser Kritik auf gleiche Weise begegnen, wie schon 30 Jahre zuvor die Behavioristen. Um auch nicht-lineare Klassifikationen zu ermöglichen, wurden die behavioristischen Modelle durch vermittelnde Prozesse (mediational responses) erweitert. Das S-R Schema wurde durch das S-r-s-R Schema ersetzt. Die äußeren Reize (S), so wurde vermutet, veranlassen zunächst interne Reaktionen (r), die ihrerseits interne Reizbedingungen (s) determinieren, auf die dann das externe Verhalten (R) bezogen wird. Die Bildung eines Begriffes bestand damit nicht allein in der Bindung einer spezifischen Reaktion an begriffsrelevante Reizbedingungen, sondern in der zusätzlichen Ausbildung einer begriffsspezifischen *inneren* Reaktion: "A mediational response is the hallmark of a true concept" (Osgood, 1953, zitiert nach Bourne, Ekstrand & Dominowski, 1971, S.200).

In vergleichbarer Weise ergänzen nun auch die "Konnektionisten" die einfachen Netzwerkmodelle durch eine Schicht von sogenannten verdeckten Einheiten (hidden units), die zwischen Eingangs- und Ausgangseinheiten vermitteln (vgl. Abbildung 7.5.). Da die Aktivität der verdeckten Einheiten im Verlaufe des Lernprozesses in Abhängigkeit von Aktivitäts*konfigurationen* der Eingangseinheiten gerät, repräsentieren sie ebenso Zusammenfassungen elementarer Merkmale, wie es die "mediational responses" bereits taten. Auf ihrer Grundlage sind nun auch Klassifikationen möglich, die auf nicht-linearen Kombinationen elementarer Merkmale beruhen. Bedeutsamer erscheint mir allerdings die Tatsache, daß mit so konstruierten Netzwerken die Bildung eines Begriffes mit der Herausbildung der für seine Identifikation notwendigen (Komplex)Merkmale in einem einheitlichen Lernvorgang verbunden ist (vgl. Elman & Zipser, 1987; Hanson & Burr, 1989; Sejnowski & Rosenberg, 1987).

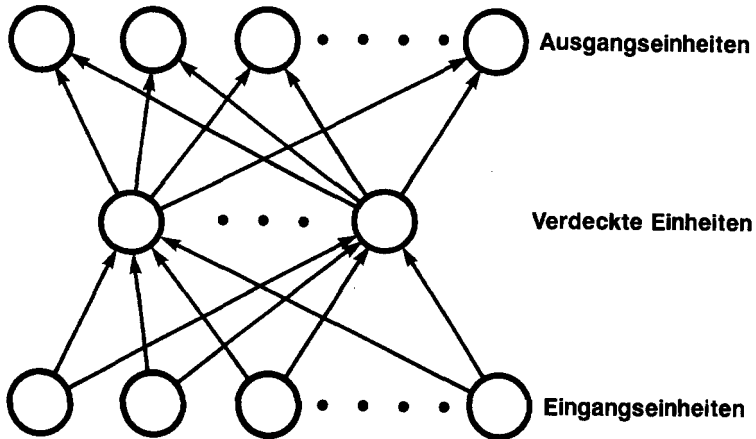


Abbildung 7.5.: Die Grundstruktur eines Netzwerkes mit verdeckten Einheiten (hidden units).

## Resümee

Im Vergleich aller besprochenen Ansätze bilden Netzwerke mit verdeckten Einheiten die Eigenschaften natürlicher Begriffe gegenwärtig m.E. am vollständigsten ab. Die Eingangseinheiten repräsentieren elementare und die verdeckten Einheiten komplexe Merkmale, die sich lernabhängig an die geforderte Klassifikation anpassen. Die Stärke ihrer Verbindungen zu den Ausgangseinheiten repräsentiert ihre jeweilige Klassifikationsrelevanz, während die Stärke der Ausgangsaktivierungen der Typikalität eines vorliegenden Begriffsobjektes entspricht. Die Merkmalskombination, die die begriffsspezifische Ausgangsaktivierung am deutlichsten erzeugt, entspricht dem Prototyp des Begriffs und das Phänomen der Familienähnlichkeit korrespondiert mit der Tatsache, daß Begriffszugehörigkeiten aus unterschiedlichsten Merkmalskombinationen resultieren können. Selbst die Repräsentation von individuellen Begriffsbeispielen kann in Netzwerkmodellen beschrieben werden (z.B. McClelland & Rumelhart, 1985). Lediglich die Abbildung von Relationen zwischen den Merkmalen bedarf besonderer Netzwerkstrukturen, die ad hoc konstruiert werden müssen (z.B. McClelland & Rumelhart, 1981).

## 7.2. Weitere Eigenschaften natürlicher Begriffe

Im folgenden Abschnitt sollen nun einige weitere Eigenschaften natürlicher Begriffe angesprochen werden, die selbst in konnektionistischen Ansätzen nur unvollständig erfaßt werden.

## Die Kontextabhängigkeit begrifflicher Identifikationen

Die mittlere Figur in Abbildung 7.6. wird in der Zeile als Buchstabe B und in der Spalte als Zahl 13 identifiziert. Ein und dieselbe Erscheinung wird also unterschiedlichen Begriffen zugeordnet, je nachdem, ob sie im Kontext des Alphabets oder einer Zahlenreihe wahrgenommen wird. Obwohl sich nicht immer gleich die Identität eines Objektes mit dem Kontext ändert, in den es eingebettet ist, so zeigt doch die Alltagserfahrung, daß die Identifikation eines Objektes durch eine passende kontextuelle Einbettung erleichtert werden kann. Was uns bei isolierter Betrachtung oftmals Rätsel aufgibt, dem ordnen wir im passenden Kontext ohne jedes Zögern eine begriffliche Identität zu.

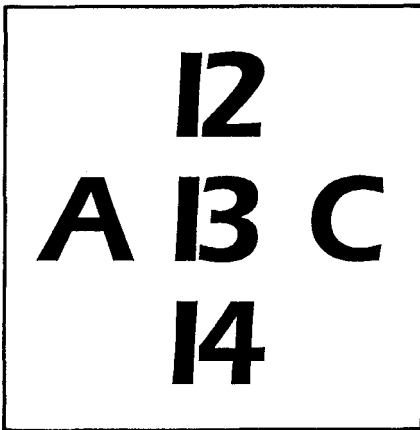


Abbildung 7.6.: Steht in der Mitte die Zahl 13 oder der Buchstabe B?

Die Wirkung der Reizumgebung auf begriffliche Identifikationen ist in zahlreichen Experimenten belegt worden (z.B. Antes, Penland & Metzger, 1981; Biederman, 1972; Biederman, Glass & Stacy, 1973; Boyce, Pollatsek & Rayner, 1989; Hoffmann & Klein, 1988; Palmer, 1975). In diesen Experimenten wurden zu identifizierende Objekte u.a. in kongruente, inkongruente und ungeordnete Bildkontexte eingebettet. Die Ergebnisse zeigen, daß die begriffliche Identität eines Objektes (z.B. eines Toasters) in einem kongruenten Kontext (z.B. Küche) schneller und sicherer festgestellt wird, als in einem inkongruenten Kontext (z.B. Bahnhof) oder in einer ungeordneten Ansammlung von Objekten. Es ist darüber hinausgehend gezeigt worden, daß kongruente Kontexte die Identifikation nur dann erleichtern, wenn die Objekte an Orten dargeboten werden, an denen sie auch gewöhnlich lokalisiert sind. Werden sie dagegen an ungewöhnlichen Orten dargeboten (der Toaster etwa in der Spüle), dann wird ihre

Identifikation nicht nur nicht erleichtert, sondern sogar erschwert (Hoffmann & Klein, 1988; Reinert, 1985; Meyers & Rhoades, 1978; vgl. auch Hoffmann, im Druck a).

Wir machen also die bedeutsame Feststellung, daß die identitätsstiftende Wirkung von (visuellen) Kontexten ortsgebunden ist. Dies erinnert an die im vorigen Kapitel berichteten Ergebnisse, nach denen die Verarbeitung von Reizen selektiv an den Orten gefördert wird, an denen sie in der Vergangenheit gehäuft erlebt worden sind.

Auch die sprachliche Aktivierung begrifflichen Wissens ist vom jeweiligen Kontext abhängig. Wird der Begriff KLAVIER bspw. im Kontext der Beschreibung eines Umzugs angesprochen, dann ist einem das Merkmal SCHWER besonders gegenwärtig. In der Schilderung eines Konzertbesuchs werden dagegen andere Merkmale wie etwa KLANG und TASTEN aktiviert (Barclay, Bransford, Franks, McCarrell & Nitsch, 1974; Barsalou, 1982, 1987; Denis, 1982). Kontextwirkungen kommen ebenfalls in der Spezifizierung, die abstrakte Begriffe beim Lesen von Texten spontan erfahren, zum Ausdruck. Lesen wir etwa, daß ein Junge in den Stall geht, um die TIERE zu melken, dann denken wir spontan an Kühe, während wir an Pferde denken, wenn die TIERE gestriegelt werden sollen (z.B. Dubois, 1980; Dubois & Denis, 1988; Roth & Shoben, 1983). Die Bedeutung eines abstrakten Begriffes wird also dem jeweiligen Kontext, in dem er verwendet wird, unmittelbar angepaßt.

Die kontextuelle Abhängigkeit der Aktivierung von "Begriffsbedeutungen" weist darauf hin, daß Begriffe keine Einheiten sein können, die in stets gleicher Weise aktiviert werden. Es muß sich vielmehr um Einheiten handeln, die ihre Struktur den jeweils gegebenen Kontexten anpassen können (vgl. Barsalou, 1989; Goschke & Koppelberg, 1990). Die im vorigen Abschnitt besprochenen Modellvorstellungen können diese kontextuelle Flexibilität durch Zusatzannahmen teilweise abbilden. Im Rahmen der Merkmalsmodelle kann man etwa annehmen, daß sich Gewichte von Merkmalen, kontextabhängig ändern (z.B. Medin & Schaffer, 1978), oder daß nur ein Teil der begrifflichen Merkmale vorgegeben ist, während weitere Merkmale erst durch den Kontext spezifiziert werden (Barsalou, 1982, Smith, Osherson, Rips & Keane, 1988).

Es sind auch Netzwerkmodelle entworfen worden, die kontextuelle Abhängigkeiten berücksichtigen. Sie wurden so strukturiert, daß begriffliche Einheiten nicht nur von ihren Komponenten (Merkmalen) aktiviert werden, sondern daß auch umgekehrt die Einheiten ihre Komponenten aktivieren können. Der Begriff KÜCHE, so wird bspw. angenommen, kann zu ihm gehörende Objektbegriffe wie HERD, KÜHLSCHRANK oder TOASTER aktivieren. Es ist leicht zu sehen, daß eine solche Struktur dazu führt, daß sobald ein Begriff wie bspw. KÜCHE aktiviert ist, die Identifikation der zu ihm gehörenden Komponenten wie bspw. TOASTER erleichtert wird (vgl. z.B. McClelland & Rumelhart, 1981; Rumelhart & McClelland, 1982). Allerdings setzen diese vorstrukturierten Netzwerkmodelle voraus, das bekannt ist, welche Komponenten zu



welchen Begriffen zusammenzufassen sind. Warum sie zusammengefaßt werden und wie dies geschieht, können sie dagegen nicht klären.

Lediglich die konnektionistischen Modelle berücksichtigen kontextuelle Abhängigkeiten bereits bei der Bildung der Begriffe, da sie von einer interaktiven Verarbeitung *aller* jeweils gleichzeitig gegebenen Reizwirkungen ausgehen (Rumelhart & McClelland, 1986). Die Begriffsspezifik einzelner Merkmale wird also niemals isoliert, sondern stets im Kontext aller gegebenen Merkmale erworben. Dies führt dazu, daß die begriffsrelevanten Merkmale unauflöslich mit den Kontexten verbunden bleiben, unter denen sie abstrahiert worden sind. Die Begriffe, so könnte man auch sagen, sind hier nicht durch isolierte Merkmale unterschiedlicher Relevanz definiert, sondern durch Strukturen, die gleichen Merkmalen unter verschiedenen Randbedingungen unterschiedliche Relevanz verleihen (z.B. Gluck & Bower, 1988a; McClelland & Kawamoto, 1986). Es muß allerdings auch hier die Einschränkung gemacht werden, daß mit diesem Vorgehen nur die kontextuellen Wirkungen gleichzeitig gegebener Reizbedingungen erfaßt sind. Die Berücksichtigung von Kontexten aus Vergangenheit und Zukunft, von Strukturen in der Zeit also, bedarf noch anderer als der bisher besprochenen Netzwerk-Architekturen. Wir werden auf diesen Punkt zurückkommen.

### Die relationale Verknüpfung von Begriffen

Zwischen Begriffen bestehen Relationen unterschiedlichster Qualität: Zwischen BAUM und EICHE besteht eine *Ober-Unterbegriffsrelation*, LACHS und FORELLE sind einander *nebengeordnete* Begriffe, Die ZINKEN sind ein *Teil* der GABEL, das BILD ist das *Objekt* und der PINSEL das *Instrument* des MALENs usw. Alle diese Relationen sind uns unmittelbar geläufig und erschließen sich unserem Verständnis in der Wahrnehmung ebenso selbstverständlich wie beim Lesen oder Hören entsprechender Aussagen. Wie bildet sich, so muß man fragen, mit den Begriffen zugleich dieses relationale Wissen aus, und wie ist es repräsentiert?

Nach einer verbreiteten Überlegung werden begriffliche Relationen in semantischen Netzen repräsentiert (vgl. Abbildung 7.7.). Die Begriffe bilden die Knoten des Netzes und die Verbindungen der Knoten, die Kanten, repräsentieren die zwischen ihnen bestehenden Relationen. Die Kanten sind gerichtet und nach der Art der jeweils repräsentierten Relation bezeichnet. Der Reproduktion relationalen Wissens liegt, so wird weiter angenommen, eine Aktivierung der die Begriffe verbindenden Kanten sowie Prozesse zur Identifikation ihrer Spezifik zugrunde (Anderson, 1976, 1983; Anderson & Bower, 1973; Collins & Loftus, 1975; Collins & Quillian, 1972a,b; Glass & Holyoak, 1975; Rumelhart & McClelland, 1982; u.a.).

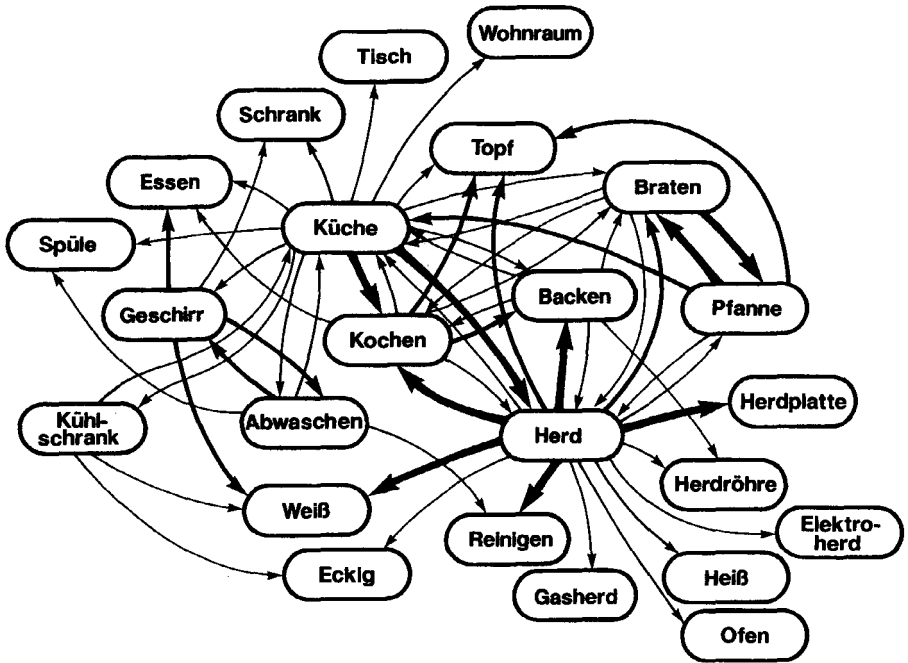


Abbildung 7.7.: Zur Veranschaulichung eines semantischen Netzwerks. Einzelne Begriffe bilden die Knoten des Netzes, die durch gerichtete Kanten unterschiedlicher Stärke verbunden sind. Auf eine Bezeichnung der Verbindungen ist hier verzichtet worden. Es muß also hinzugedacht werden, daß etwa die Verbindung von HERD zu WEIß eine Eigenschaftsrelation und die Verbindung von HERD zu GASHERD eine Ober-Unterbegriffsrelation repräsentiert (Aus einer unveröffentlichten Studie von Hoffmann & Schmuck, 1987).

Ohne hier auf Unterschiede zwischen verschiedenen semantischen Netzen einzugehen (vgl. Hoffmann, 1983; Wender, 1988) kann festgestellt werden, daß sie im Ganzen keine befriedigende Antwort auf die gestellten Fragen sind. Sie liefern erstens keine Begründungen für die Art und die Anzahl der unterschiedenen Relationen. Es werden zweitens auch keine Erklärungen für die Herausbildung der jeweiligen Netzstrukturen geliefert, die lediglich auf Plausibilitätsüberlegungen beruhen. Es wird schließlich drittens zwar angenommen, daß sich die Kanten im Netz (durch ihre Benennung) voneinander unterscheiden, es wird allerdings nicht spezifiziert, worin die Unterschiede bestehen. Es ist ja offensichtlich, daß wir Relationen unterscheiden. Die Forschung hat zu klären, *wie* diese Unterscheidungen in der Realität und im Gedächtnis getroffen werden. In einer kritischen Diskussion verschiedener Netzwerkmodelle kommen Johnson-Laird, Herrmann und Chaffin (1984, S.313) so auch zu der Feststellung: "...networks lack connections to representations of the world. They only provide connections between words". Semantische Netzwerke repräsentieren keine extensionale

Bedeutung und verfehlen damit den Zweck, Modell der Umwelt zu sein (vgl. auch Hoffmann, 1983, 1988).

Es sind m.W. nur von zwei Arbeitsgruppen Untersuchungen zur empirischen Differenzierung begrifflicher Relationen durchgeführt worden. In Untersuchungen der einen Gruppe (Chaffin & Herrmann, 1984, 1986; Herrmann & Chaffin, 1986; Stasio, Herrmann & Chaffin, 1985; Winston, Chaffin & Herrmann, 1987) waren die Pbn u.a. aufgefordert, Wortpaare nach der Art der zwischen den Worten bestehenden Relationen zu kategorisieren bzw. die Ähnlichkeit der Relationen zu beurteilen. Die Ergebnisse lassen eine Differenzierung von fünf Relationsklassen erkennen: Kontrastrelationen (z.B. TAG-NACHT), Ähnlichkeit (z.B. WIND-STURM), Inklusionen (z.B. ROSE-BLUME), Kasusrelationen (z.B. CHAUFFEUR-AUTO) und Teil-Ganzes-Relationen (z.B. LENKER-FAHRRAD). Für die einzelnen Relationsklassen werden die sie kennzeichnenden Elemente abgeleitet und die Ähnlichkeiten zwischen ihnen auf Übereinstimmungen und Unterschiede in ihren Elementen zurückgeführt. Begriffliche Relationen werden also wie Begriffe selbst behandelt; wie diese, so wird angenommen, unterscheiden sie sich in einzelnen Merkmalen und lassen sich nach Gemeinsamkeiten in ihrer Merkmalscharakteristik zu Kategorien zusammenfassen.

Die andere Arbeitsgruppe (Klix, 1984, 1986, 1988; Klix, van der Meer, Preuß & Wolf, 1987; van der Meer, 1986) analysierte vor allem den Zeitaufwand, den Pbn für die Unterscheidung zwischen verschiedenen semantischen Relationen benötigen (etwa zwischen Oberbegriff und Nebenordnung: EICHE-BAUM vs. EICHE-BIRKE oder zwischen Instrument und Objekt: MALEN-PINSEL vs. MALEN-BILD u.ä.). Die Ergebnisse lassen zwei Klassen von Relationen vermuten, die als zwischen- und innerbegriffliche Relationen bezeichnet wurden. Zu den zwischenbegrifflichen Relationen gehören u.a. die Aktor-, die Objekt- und die Instrumentrelation. Es handelt sich um Relationen, die Beziehungen innerhalb von Ereignissen bestimmen. Zu den innerbegrifflichen Relationen gehören u.a. die Nebenordnung, der Kontrast und der Oberbegriff. Es handelt sich um Relationen, die vorrangig Beziehungen innerhalb begrifflicher Taxonomien bestimmen.

Die Relationen beider Klassen, so vermuten die Autoren, werden unterschiedlich repräsentiert. Zwischenbegriffliche Relationen strukturieren häufig erlebte Ereignisse, die als "Geschehenstypen" in Form ereignisbezogener Netzwerke repräsentiert sind. Die Relationen, die bspw. innerhalb des Geschehenstyps SCHULE Begriffe wie LEHRER, SCHÜLER, SCHULE, PAUSE, UNTERRICHT, WISSEN usw. verbinden, sind als Kanten des jeweiligen Netzwerkes direkt repräsentiert. Das Wissen um sie wird durch ihre Aktivierung reproduziert. Innerbegriffliche Relationen wie sie etwa zwischen EICHE und BIRKE (Nebenordnung), HIMMEL und HÖLLE (Kontrast) oder DACKEL und HUND (Oberbegriff) bestehen, sind dagegen nur indirekt repräsentiert. Die Art der Relation wird durch die Merkmale bestimmt, die die jeweiligen Begriffe unabhängig

voneinander charakterisieren. Eine Oberbegriffsrelation etwa liegt vor, wenn der eine Begriff (DACKEL) alle Merkmale des anderen Begriffes (HUND) und zusätzlich noch einige spezifizierende Merkmale aufweist. Innerbegriffliche Relationen werden also nicht aktiviert, sie werden vielmehr durch Merkmalsvergleiche bestimmt.

Auf einen weiteren Repräsentationsunterschied hat Zimmer (1988) verwiesen. Er analysierte die Reaktionszeiten seiner Pbn bei der Überprüfung von einfachen Merkmalsaussagen wie etwa "Ein Ball ist rund" oder "Ein Apfel ist rund". Die Ergebnisse legen eine Unterscheidung zwischen explizit und implizit gespeicherten Merkmalen nahe. Die Bestätigung impliziter Merkmale (Apfel ist rund) dauert nicht nur länger, sie wird auch stärker durch eine zusätzlich geforderte visuelle Behaltensleistung beeinträchtigt als die expliziter Merkmale (Ball ist rund). Dies deutet darauf hin, daß explizite Merkmalsinformationen im Sinne von korrekten Wortverbindungen "direkt" abrufbar sind, während implizite Merkmalsinformationen eine (anschauliche) Vorstellung des jeweils bezeichneten Objektes erfordern, um dann von dieser "abgelesen" zu werden. Auch Johnson-Laird, et al. (1984, S.313) machen darauf aufmerksam, daß "...it remains highly likely that certain intensional relations are directly learned as such and that they may accordingly represented by associative relations between representations of words".

Die referierten Untersuchungen liefern empirische Begründungen für eine psychologische Differenzierung begrifflicher Relationen. Sie geben Merkmale an, in denen sich Relationen unterscheiden und sie unterscheiden Relationen etwa danach, ob sie in Ereignissen erlebbar sind oder ob sie Abstraktionen aus Erlebnissen repräsentieren. Sie weisen darauf hin, daß Relationen als Beziehungen zwischen Worten und als Beziehungen zwischen Erscheinungen repräsentiert sein können usw. Die grundsätzliche Frage, wie sich diese Unterschiede herausbilden, wie also gleichzeitig mit dem Wissen über begriffliche Klassen das Wissen über die Relationen zwischen ihnen differenziert und repräsentiert wird, bleibt allerdings ungeklärt.

### **Begriffstaxonomien und das Phänomen der Basisbegriffe**

Wir müssen zwischen Erscheinungen manchmal mehr, manchmal weniger genau differenzieren. Einmal kommt es darauf an, zwischen Meise und Rotkehlchen zu unterscheiden, während es ein anderes Mal ausreichend ist, einen Vogel oder gar nur ein Tier zu identifizieren. Die Folge dieser unterschiedlich genauen Identifikationsanforderungen sind taxonomische Begriffssysteme, in denen Objekte immer genauer unterschieden werden, von den TIEREN etwa über die VÖGEL bis hin zu den MEISEN und KOHLMEISEN. Von all diesen möglichen Identifikationen fallen uns in der Regel

diejenigen mittlerer Genauigkeit am leichtesten. Eine Meise etwa identifizieren wir leichter als *VOGEL*, denn als *MEISE* oder *TIER*, eine Eiche leichter als *BAUM*, denn als *EICHE* oder *PFLANZE*, oder einen Jeep leichter als *AUTO*, denn als *JEEP* oder *FAHRZEUG*. Diese gewöhnliche Tatsache ist durch Arbeiten von Rosch und ihren Mitarbeitern in den Rang eines wissenschaftlichen Phänomens gehoben worden. Sie nannten die bevorzugten Begriffe mittlerer Allgemeinheit Basisbegriffe (basic level concepts).

Die Dominanz der Basisbegriffe ist in vielen Anforderungen demonstriert worden: Fordert man bspw. Pbn auf, Objekte so schnell wie möglich zu benennen (Was ist das?), werden bevorzugt Basisbegriffe gewählt. Die Basisbenennungen werden dabei auch schneller realisiert als andere Benennungen (Hoffmann & Kämpf, 1985; Jolicoeur, Gluck & Kosslyn, 1984; Rosch, Mervis, Gray, Johnson & Boyes-Braem, 1976; Segui & Fraise, 1968). Kinder verwenden in der Regel zuerst Basisbegriffe, bevor sie genauere Unterscheidungen und allgemeinere Zusammenfassungen beherrschen (Anglin, 1977; Brown, 1958; Mervis & Crisafi, 1982; Mervis & Pani, 1980; Mervis & Rosch, 1980). Verlangt man von Pbn die Zugehörigkeit eines Objektes zu einem vorgegebenen Begriff so schnell wie möglich zu verifizieren (Ist es das?), gelingt dies für Basisbegriffe schneller als für speziellere oder allgemeinere Begriffe (Hoffmann, 1982; Hoffmann, Ziebler, Grosser & Kämpf, 1985; Rosch, et al., 1976; Zimmer, 1983). Und läßt man schließlich nach Objekten suchen (Wo ist es?), dann werden sie unter sonst gleichen Bedingungen schneller gefunden, wenn nach ihnen als Objekt eines Basisbegriffes und nicht als Objekt eines spezielleren oder allgemeineren Begriffes gesucht wird (Hoffmann & Grosser, 1985, 1986). Die Bevorzugung der Basisbegriffe kann so mit Recht als ein "Basisphänomen" menschlicher Begriffsbildung und Begriffsverwendung bezeichnet werden.

Die Ursachen für die Bevorzugung der Basisbegriffe werden vor allem in Besonderheiten ihrer Merkmalscharakteristik vermutet. Rosch und Mervis (1975) argumentieren, daß sich die Basisbegriffe durch eine besonders hohe Familienähnlichkeit auszeichnen (vgl. auch Mervis & Rosch, 1981; Murphy & Brownell, 1985; Medin, Wattenmaker & Hampson, 1987). Rosch, et al. (1976, S.435) bestimmen die Basisbegriffe als "...the most general classes at which attributes are predictable, objects of the class are used in the same way, objects can be readily identified by shape, and at which classes can be imaged". Jones (1983) betrachtet die Verlässlichkeit, mit der aus Objektmerkmalen auf die begriffliche Identität des Objektes (*cue validity*) und mit der aus der Begriffszugehörigkeit eines Objektes auf seine Merkmale (*category validity*) geschlossen werden kann, und er vermutet, daß Basiskategorien diejenigen Begriffe sind, bei denen das Produkt beider Maße (*collocation measure*) maximal ist (vgl. auch Medin, 1983). Auch Corter und Gluck (1992) betrachten die Verlässlichkeit, mit der Objektmerkmale aus der Begriffszugehörigkeit erschlossen werden können. Für sie ist jedoch der Zuwachs an

Verlässlichkeit im Vergleich zum reinen Raten, die *cue utility*, das entscheidende Maß. Basisbegriffe sind nach ihren Überlegungen Begriffe mit maximaler *cue utility*. Nach Anderson (1990) beruhen begriffliche Klassifikationen generell auf der Vorhersagbarkeit von Objektmerkmalen. Die Basisbegriffe entsprechen dabei denjenigen Klassifikationen, für die im Mittel die gegenseitige Vorhersagbarkeit von Merkmalen der Objekte innerhalb einer Klasse maximiert wird. Tversky und Hemenway (1983, 1984) bestimmen Basisbegriffe als diejenigen, die durch besonders viele Teil-von-Merkmale (Auto *hat* Räder, Baum *hat* Blätter, Stuhl *hat* Lehne, usw.) gekennzeichnet sind, und Hoffmann und Zießler (1982) definieren Basisbegriffe als die jeweils relativ allgemeinsten Begriffe, die noch überwiegend durch gemeinsame anschauliche Merkmale charakterisiert werden (vgl. Hoffmann, 1982, 1986, 1990).

Es werden also die verschiedensten Ursachen für die Bevorzugung der Basisbegriffe diskutiert. Einige der Überlegungen gehen allein von der Merkmalsverteilung aus (family resemblance, collocation, cue utility, Merkmalsvorhersagbarkeit). Andere Überlegungen betonen dagegen die besondere Qualität der Merkmale von Basisbegriffen, etwa die gemeinsame Form, gemeinsame Teilkonfigurationen oder allgemeiner, gemeinsame globale Merkmale. Keiner der Ansätze beschreibt jedoch die Prozesse, die zur Hervorhebung der Basisbegriffe führen. Es handelt sich, bis auf eine aktuelle Ausnahme, die wir gleich besprechen werden, um Struktur- nicht um Prozeßmodelle.

Gluck, Corter und Bower (1992) haben kürzlich über Begriffsbildungsprozesse in einem "konfiguralen" Netzwerk berichtet, aus denen sich die bevorzugte Ausbildung von Basisbegriffen zwangsläufig ergibt. Ohne die Details dieser Simulation zu diskutieren, soll lediglich festgestellt werden, daß das Netzwerk Basisbegriffe deshalb bevorzugt bildet, weil zwischen ihnen aufgrund von Linearkombinationen der relativ wenigsten Objektmerkmale differenziert werden kann. Die Differenzierung speziellerer Begriffe bedarf der Berücksichtigung zusätzlicher Merkmale und die Differenzierung allgemeinerer Begriffe erfordert nicht-lineare Klassifikationen, die für das Netzwerk schwerer zu erwerben sind. Die Bevorzugung der Basisbegriffe beruht hier also allein auf der strukturellen Verteilung der Merkmale zwischen den Begriffen und auf der "Sensibilität" des Netzwerkes gegenüber diesen Strukturen. Die Qualität der begriffsbestimmenden Merkmale spielt dagegen keine Rolle (vgl. auch Anderson, 1990). Dies wird den empirisch gegebenen Zusammenhängen nicht gerecht.

Ich hatte im vorigen Kapitel bereits Untersuchungen von Hoffmann und Grosser (1986) erwähnt, in denen die Pbn Klassifikationen über geometrischen Figuren zu erlernen hatten. Diese Untersuchungen zeigten, daß bei gleicher Struktur, stets diejenigen Begriffe schneller erworben werden, die auf globalen Merkmalen beruhen. Auch einige der oben zitierten Autoren haben die globale Merkmalscharakteristik von Basisbegriffen betont (Rosch, et al., 1976; Hoffmann & Zießler, 1982; Tversky & Hemenway, 1984). Daß die Globalität der Merkmale für die *Bildung* von Basisbegriffen

tatsächlich entscheidend ist, haben Zimmer und Biegelmann (1990) in einem Experiment überzeugend bestätigt gefunden. Die Pbn lernten in Anlehnung an Versuche von Hoffmann und Zießler (1983) zwei hierarchische Klassifikationen von Figuren, die in Abbildung 7.8. wiedergegeben sind. Die Basisbegriffe liegen in beiden Hierarchien auf der mittleren Ebene. In der links dargestellten Hierarchie sind sie jeweils durch eine gemeinsame globale Form, in der rechts dargestellten Hierarchie dagegen durch ein gemeinsames Detail (die Innenfigur) gekennzeichnet. Die übliche Bevorzugung wurde nur für die global bestimmten Basisbegriffe beobachtet: "Nur jene Pbn, die einen global definierten Basisbegriff gelernt hatten, klassifizierten auf diesem Niveau schneller als auf einem spezifischeren Niveau. Die lokale Gruppe klassifizierte auf beiden Ebenen gleich schnell" (Zimmer & Biegelmann, 1990, S.4). Bei identischer Struktur der Merkmalsverteilung wird die mittlere Klassifikationsebene also nur dann im Sinne von Basisbegriffen hervorgehoben, wenn in ihr aufgrund globaler Merkmale differenziert wird.

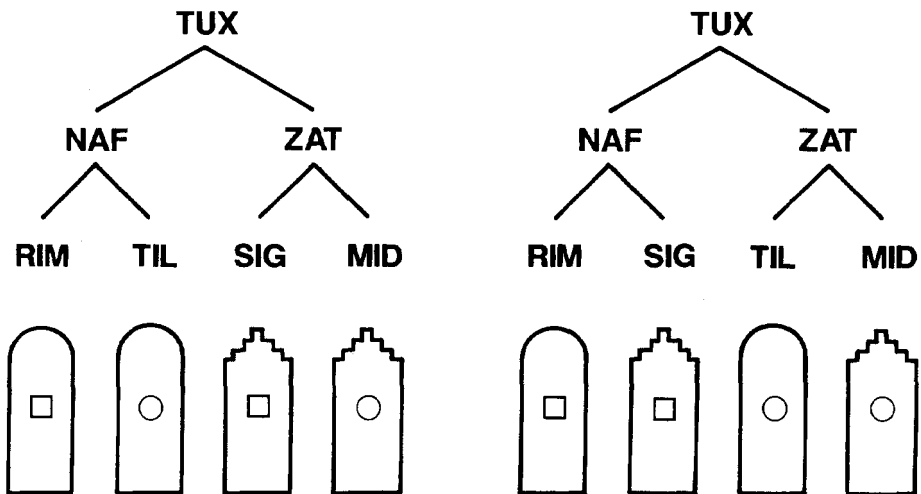


Abbildung 7.8.: Das von Zimmer und Biegelmann (1990) verwendete Material zur Untersuchung der Abhängigkeit der Basisbegriffe von ihrer Merkmalscharakteristik.

Die besondere Bedeutung, die globale Merkmale für die Herausbildung begrifflicher Einheiten spielen, wird uns im nächsten Kapitel noch weiter beschäftigen. Hier soll zunächst festgehalten werden, daß die Ableitung des Entstehens von Basisbegriffen aus den Lernmechanismen, die der Begriffsbildung zugrunde liegen, offensichtlich beides verlangt: Die Berücksichtigung der Verteilung der Merkmale innerhalb und zwischen den zu bildenden Klassen als auch die Berücksichtigung der besonderen Qualität dieser Merkmale. Das konfigurale Netzwerk von Gluck, Corter und Bower (1992) markiert einen m.E. wichtigen Fortschritt in den Bemühungen um eine Erklärung der

Basisbegriffe, da es erstmals ihre Entstehung aus einem Lernprozeß abzuleiten gestattet. Dennoch ist der Ansatz noch nicht hinreichend, da er die Funktion globaler Merkmale bei der Herausbildung von Basisbegriffen nicht erfaßt. Man kann somit feststellen, daß das für menschliche Begriffsbildungen grundlegende Phänomen der Basisbegriffe noch durch keinen der vorliegenden Ansätze angemessen reflektiert wird.

### Die implizite Bildung von Begriffen

Wir sind bislang davon ausgegangen, daß irgendwie schon festgelegt sei, welche Objektmengen jeweils begrifflich zusammenzufassen sind. In den Experimenten werden die geforderten Klassifikationen in der Tat durch den V. vorgegeben. Auch für natürliche Begriffsbildungen geben die Worte der Sprache ein Kategoriensystem vor. Es werden allerdings auch Begriffe gebildet, die weder durch Worte vorgegeben sind noch explizit gelehrt werden. Experten zeigen in den Gebieten ihrer Expertise bspw. deutlich andere Begriffsbildungen als Laien, die ihnen niemand lehren konnte, da ja nur sie über sie verfügen (z.B. Chi, Glaser & Rees, 1982; Schiano, Cooper, Glaser & Zhang, 1989; Gruber, 1991). Auch bei Kindern kann man spontane Klassifikationen beobachten. So unterscheiden bspw. bereits 7 1/2 Monate alte Kinder zwischen Gesichtern von Frauen und Männern, obwohl doch niemand eine solche Unterscheidung von ihnen fordert (Cohen & Strauss, 1979; Fagan & Singer, 1979; Clark, 1983). Der Erwerb von Begriffen scheint also nicht auf explizite Belehrung angewiesen zu sein. Dieser Aspekt des *impliziten* Erwerbs begrifflicher Klassifikationen ist nach meinem Überblick in nur wenigen Experimenten untersucht worden:

Lüer, Ruhlender, Klettke und Lass (1989) berichten über eine implizite Klassifizierung von Anagrammen. Anagramme sind sinnlose Buchstabenfolgen, aus denen durch Umstellung der Buchstaben ein Wort zu bilden ist. Aus der Folge ALSZ kann bspw. das Wort SALZ gebildet werden. In einer Lernphase waren von den Pbn insgesamt 39 Anagramme zu lösen. 16 der Anagramme begannen jeweils mit einem A (z.B. ALSZ) oder einem O (z.B. OBRK). In den A-Anagrammen waren die Buchstaben stets nach einem festen Schema X, und in den O-Anagramme nach einem festen Schema Y vertauscht. Die notwendigen Umstellungen zur Lösung der Anagramme waren damit durch ihren Anfangsbuchstaben eindeutig bestimmt. Die Pbn wurden darüber allerdings nicht informiert. Sie waren lediglich aufgefordert, die Anagramme so schnell wie möglich zu lösen. In einer anschließenden Testphase wurden jeweils 6 Anagramme mit den Anfangsbuchstaben O und A dargeboten, von denen jeweils 3 nach Schema X bzw. Schema Y aufgebaut waren. Die Pbn lösten hier jeweils die Anagramme schneller, die den in der Lernphase realisierten Zusammenhängen entsprachen, d.h. A-Anagramme wurden schneller gelöst, wenn sie nach Schema X und O-Anagramme, wenn sie nach Schema Y aufgebaut waren.



Die Autoren vermuten, daß der in der Lernphase erlebte Zusammenhang zwischen dem Anfangsbuchstaben des Anagramms und seiner Lösung zu einer selektiven Bindung von Lösungsstrategien an jeweils die Anagramme führte, bei denen sie in der Vergangenheit erfolgreich waren: Die Lösung X an A-Anagramme und die Lösung Y an B-Anagramme. Die Anagramme, so kann man auch sagen, werden nach Klassen unterschieden, in denen jeweils unterschiedliche Lösungen erfolgreich sind. Das den Anagrammen einer Klasse Gemeinsame (hier der Anfangsbuchstabe) wird abstrahiert und als Kriterium für die Wahl der angemessenen Lösungsstrategie verwendet. Diese Klassenbildung wurde nicht gelehrt, sie wurde erfahren. Interessanterweise war sie den Pbn noch nicht einmal bewußt. Sie erklärten, keine Unterschiede zwischen A- und O-Anagrammen bemerkt zu haben.

Auch ein Experiment von Hoffmann und Ziebler (1986) enthält Hinweise auf implizite Begriffsbildungen. Vor einem Begriffsbildungsexperiment mit expliziter Belehrung hatten die Pbn auf die später zu klassifizierenden Figuren verschiedene Reaktionen entweder mit der rechten oder linken Hand oder mit dem rechten oder linken Fuß auszuführen (Wahlreaktionsexperiment). Die so mit den Figuren assoziierten Reaktionen beeinflussten im anschließenden Begriffsbildungsexperiment die Leichtigkeit ihrer Klassifikation. Es wurden die Figuren leichter zu einem Begriff zusammengefaßt, die zuvor schon mit ähnlichen Reaktionen, bspw. mit den Handreaktionen, verbunden waren. Die Autoren vermuten, daß bereits im Wahlreaktionsexperiment implizite Klassifikationen der Figuren nach den mit ihnen verbundenen Reaktionen gebildet wurden. Es sind etwa Figuren, auf die mit den Händen zu reagieren ist, in einer solchen impliziten Klasse zusammengefaßt worden. Werden anschließend gleiche Klassifizierungen explizit gelehrt, können sie leicht realisiert werden, weil sie schon vorgeprägt sind. In vergleichbarer Weise wird man bspw. erwarten, daß jemand die Unterscheidung von Eis- und Firnschnee leichter "verstehen" lernt, wenn er zuvor bereits die Erfahrung gemacht hat, daß man in der Skiführung auf beide Schneearten unterschiedlich reagieren muß.

Die Beobachtungen von Lüer, et. al (1989) und von Hoffmann und Ziebler (1986) lassen vermuten, daß eine Tendenz besteht, Erscheinungen spontan zusammenzufassen, auf die ein ähnliches Verhalten ausgeführt werden muß, seien es nun einfache Reaktionen oder Strategien der Anagrammlösung. Die daraus resultierenden Klassenbildungen repräsentieren quasi Verhaltenserfahrungen. Diese implizite Form der Begriffsbildung ist bislang kaum theoretisch reflektiert worden. Rosch et al. (1976) haben zwar darauf hingewiesen, daß Basisbegriffe zumeist Objekte zusammenfassen, "... which are used in the same way", sie haben diesen funktionalen Aspekt jedoch nicht weiter vertieft (vgl. auch Hoffmann, 1986). Lediglich in der Entwicklungspsychologie hat Katherine Nelson (1974, 1983) einen Erklärungsansatz entwickelt, nach

dem sich die Begriffe aus den Verhaltenskontexten entwickeln, in denen die Objekte von den Kindern erlebt werden.

Sie vertritt die Auffassung, daß sich in der Ontogenese zunächst Strukturen ausbilden, die die mit der Ausführung von Handlungen verbundenen Erfahrungen ganzheitlich repräsentieren: "...the child's *initial* mental representations are in the form of scripts for familiar events involving social interaction and communication" (Nelson, 1983; S.135). Erst in einem zweiten Schritt werden Klassen von Erscheinungen aus den Handlungskontexten herausgelöst und begrifflich separiert. Dieser Differenzierungsprozeß wird durch das Erleben von verschiedenen Erscheinungen in gleichen Funktionen gelenkt. Das den Erscheinungen jeweils Gemeinsame wird allein deshalb abstrahiert, weil sie in gleichen Funktionen erlebt werden. Das Erleben der gleichen Funktion ist das Primäre und die Abstraktion gemeinsamer Merkmale das Sekundäre. Welche Lernmechanismen allerdings zur Differenzierung von Funktionen und zur Abstraktion von Gemeinsamkeiten führen, wird nicht spezifiziert: "... they (die Begriffe) are the product of a powerful set of cognitive operations on the contexted array that the culture presents to the child" (Nelson, 1983; S.146). Eine Charakteristik dieser "machtvollen" kognitiven Operationen wird jedoch nicht gegeben. Es läßt sich damit feststellen, daß auch die implizite Bildung von Begriffen in den vorliegenden Konzeptionen noch ungenügend reflektiert ist.

## Resümee

Natürliche Begriffe spiegeln die erlebte Einbettung von Objekten und Erscheinungen in ihre Umgebung wider. Sie repräsentieren zumeist sowohl Teile einer jeweils übergeordneten Ganzheit als auch selbst wieder Ganzheiten, denen Teile zugeordnet sind. Es gehört weiter zu den Eigenschaften menschlicher Begriffsbildung, daß Ganzheiten mit globalen anschaulichen Gemeinsamkeiten bevorzugt gebildet und hervorgehoben werden. Diese Begriffe bilden gewissermaßen eine Basis, von der aus allgemeinere Zusammenfassungen und genauere Unterscheidungen vorgenommen werden. Im Resultat entstehen neben den in der Wahrnehmung gegebenen Partonomiebeziehungen die im Gedanklichen erzeugten Taxonomien. Alle diese Eigenschaften natürlicher Begriffe sind aus den Mechanismen ihrer Bildung abzuleiten. Dabei ist an Mechanismen zu denken, die in der Lage sein sollten, auch ohne eine explizite Belehrung Begriffe zu bilden. Keine der vorliegenden Konzeptionen, dies sollte deutlich geworden sein, kann diesen umfassenden Anspruch erfüllen.

### 7.3. Begriffe und Verhaltenssteuerung

Ich will nun, wie angekündigt, die Probleme der Begriffsbildung aus der Perspektive einer antizipativen Verhaltenssteuerung diskutieren. Beginnen wir mit einer grundsätzlichen Überlegung. Begriffsbildung ist nach vorherrschender Meinung ein Prozeß der Abstraktion begriffsspezifischer Merkmale. Dabei wird übersehen, daß ein Abstraktionsprozeß die Bestimmung derjenigen Erscheinungen voraussetzt, über denen die Abstraktion erfolgen soll. Um die einen Begriff bestimmenden Merkmale abstrahieren zu können, müssen die Objekte bestimmt sein, die zum Begriff gehören. Anderenfalls können deren Gemeinsamkeiten nicht abstrahiert werden. Die begriffliche Identifikation eines Objektes beruht aber nach den vorliegenden Überlegungen auf seinen begriffscharakteristischen Merkmalen. Es ergibt sich das Paradoxon, daß zur Bestimmung der Erscheinungen, deren Gemeinsamkeiten zu abstrahieren sind, diese Gemeinsamkeiten bekannt sein müssen. Die m.E. zwingende Schlußfolgerung aus diesem Paradoxon lautet: Die Ursachen für begriffliche Zusammenfassungen von Erscheinungen können nicht in deren gemeinsamen Merkmalen liegen (vgl. auch Hoffmann, im Druck a).

#### Die funktionale Determination begrifflicher Klassifikationen

Bereits Hull (1920, S.15) hat bei der Diskussion der Eigenschaften, die in einem Begriffsbildungsexperiment verwirklicht sein sollten, betont, daß: "the concept (in the mind of the subject) must never be an end in itself but rather a means to successful reactions to concrete experiences". Der Zweck der Begriffsbildung, so könnte man auch sagen, darf nicht in der Bildung von Begriffen liegen, sondern in der Sicherung des Verhaltenserfolges unter wechselnden Bedingungen. Allgemeiner formuliert: Erscheinungen werden zu Begriffen zusammengefaßt, weil im Umgang mit ihnen gleiche Verhaltensweisen gleichermaßen zum Erfolg führen, weil sie *funktional äquivalent* sind. Deshalb gehören auch so unterschiedliche Dinge wie etwa ein Baumstumpf und ein Stuhl zu einem gemeinsamen Begriff (Sitzgelegenheit), eben weil sie beide gleichermaßen die Gelegenheit zum "sich setzen" bieten.

Obwohl allgemein anerkannt wird, daß begriffliche Zusammenfassungen auf funktionaler Äquivalenz beruhen, so ist doch selten die Konsequenz daraus gezogen worden, Begriffsbildung *nicht* als Abstraktion gemeinsamer Merkmale sondern als einen Vorgang zur Bestimmung funktionaler Äquivalenzen zu untersuchen. Zieht man aber diese Konsequenz, dann muß man fragen: Wie kann ein Organismus die funktionale Äquivalenz von Erscheinungen überhaupt erfahren? Funktionale Äquivalenz ist gegeben, so möchte ich vorschlagen zu definieren, wenn Erscheinungen im Kontext eines bestimmten Verhaltens ausgetauscht werden können, ohne die Erreichung des Verhaltenszieles zu gefährden (vgl. Hoffmann, 1990, S.251). In anderen Worten: Zwei

Erscheinungen sind für einen (irgendeinen) Verhaltensakt funktional äquivalent, wenn seine Anwendung auf beide Erscheinungen zu gleichen Konsequenzen führt. Daraus ergibt sich, daß ein Organismus die funktionale Äquivalenz zweier Erscheinungen nur dann bestimmen kann, wenn er kontrolliert, inwieweit die Ausführung eines Verhaltensaktes bei beiden zu gleichen Konsequenzen führt. D.h., die Feststellung funktionaler Äquivalenz verlangt einen Vergleich der bei der Anwendung von Verhaltensakten auf unterschiedliche Erscheinungen eintretenden Konsequenzen - anders läßt sich funktionale Äquivalenz und damit begriffliche Identität, wenn sie denn auf funktionaler Äquivalenz beruht, nicht feststellen.

Es ist leicht zu sehen, daß die Mechanismen einer antizipativen Verhaltenssteuerung genau diese Äquivalenzbestimmung leisten. Indem sie zu einer Differenzierung von Erscheinungen führen, in denen Verhaltensakte zu gleichen Konsequenzen führen, bilden sie Klassen von funktional äquivalenten Ausgangssituationen. Sie fassen gerade jeweils diejenigen Erscheinungen zusammen, die untereinander ausgetauscht werden können, ohne daß sich die Konsequenzen des jeweiligen Verhaltens ändern. Und sie trennen die Erscheinungen voneinander, die zu unterschiedlichen Verhaltenskonsequenzen führen. Begriffe sind nach diesen Überlegungen Zusammenfassungen von Erscheinungen, die durch ein bestimmtes Verhalten in invarianter und damit vorhersagbarer Weise verändert werden können. Es soll nun wieder diskutiert werden, inwieweit eine solche funktionale Betrachtungsweise ein vollständigeres Verständnis der Phänomene menschlicher Begriffsbildungen ermöglicht, als es die vorliegenden Konzeptionen vermitteln.

### **Antizipative Verhaltenssteuerung und implizite Begriffsbildung**

Die Effektivierung der antizipativen Verhaltenssteuerung wird durch Unterschiede zwischen antizipierten und eintretenden Verhaltenskonsequenzen veranlaßt. Das Nichteintreffen antizipierter Konsequenzen signalisiert, daß die gegebenen Ausgangsbedingungen zu einer anderen Äquivalenzklasse gehören, als diejenigen, auf denen die Antizipation beruhte. Auf diese Weise werden Klassen äquivalenter Ausgangsbedingungen differenziert. In dem im dritten Kapitel verwendeten Beispiel werden Plastebecher von Gläsern unterschieden, weil der Druck der zugreifenden Hand zu jeweils anderen Konsequenzen bei ihnen führt. Aus vergleichbaren Gründen könnten die von Lür, et al. (1990) gezeigten impliziten Unterscheidungen von Anagrammen gelernt worden sein. Wenn eine Lösungsbemühung X nur bei einem Teil der Anagramme und eine andere Bemühung Y nur bei einem anderen Teil der Anagramme zu einer Lösung führt, werden sie als zwei Klassen von Ausgangsbedingungen für die erfolgreiche Anwendung verschiedener Lösungsbemühungen unterschieden. Auch hier beruht die Differenzierung darauf, daß innerhalb der Klassen gleiche und zwischen den Klassen

verschiedene Konsequenzen der Lösungsbemühungen X und Y konsistent erlebt und damit antizipiert werden. Und der Lernvorgang wird allein durch die erlebten Differenzen zwischen den antizipierten und den eintretenden Konsequenzen veranlaßt. Eine explizite Belehrung darüber, daß zwei Klassen von Anagrammen zu unterscheiden sind, ist nicht notwendig. Aus der Perspektive einer antizipativen Verhaltenssteuerung ist die Äquivalenzklassenbildung also ein Prozeß der keiner anderen Belehrung als der durch die eintretenden Verhaltenskonsequenzen bedarf.

Damit ist nicht gesagt, daß explizite Belehrungen keinen Einfluß auf Begriffsbildungen haben. Die Begriffe, die wir bilden, sind bspw. überwiegend durch die Worte der Sprache explizit vorgegeben. Indem wir gezielt belehrt werden, die Worte korrekt zu verwenden, lernen wir es, die zu ihnen gehörenden Erscheinungen zu unterscheiden. Nur, nach unseren Überlegungen werden durch Worte (oder auch andere Formen expliziter Belehrung) keine Begriffe, sondern lediglich Verhaltensakte und/oder Verhaltenskonsequenzen vorgegeben. Erst deren Beherrschung führt zu entsprechenden Begriffsbildungen. Die Verwendung des Wortes *Impressionismus* erzwingt bspw. die Bildung einer Klasse von Erscheinungen, auf die das Wort korrekt angewendet ist. Und, wenn eine Mutter beginnt, bei ihrem Kind die pauschale Verwendung des Wortes *Vogel* zu unterbinden, indem sie auf Bezeichnungen wie *Meise*, *Amsel* oder *Buchfink* verweist, erzwingt sie mit der Differenzierung ihrer Rückmeldungen die Bildung von Äquivalenzklassen, die ohnedem vermutlich nicht entstehen würden. In allen diesen Fällen modifiziert die explizite Belehrung den Begriffsbildungsprozeß, aber sie trägt ihn nicht. Getragen wird er von dem Bemühen, Äquivalenzklassen für die korrekte Anwendung des vorgegebenen Verhaltens und/oder zur sicheren Antizipation der vorgegebenen Konsequenzen zu bilden.

### **Antizipative Verhaltenssteuerung und die Bildung der Basisbegriffe**

Äquivalenzklassen bilden sich nach ihrem Bedarf aus. Verhaltensweisen und Verhaltensziele, die besonders häufig in Anspruch genommen werden, erlauben es am ehesten, Erfahrungen darüber zu sammeln, welche Ausgangsbedingungen ihre Realisierung unterstützen. Die Bildung von Äquivalenzklassen ist darüber hinaus auch von der Homogenität der Erfahrungen abhängig. Erweisen sich Ausgangsbedingungen mit ständig wechselnden Reizwirkungen als funktional äquivalent, werden die Zielantizipationen an immer neue Merkmale gebunden und eine konsistente Charakteristik der Klasse kann sich nur schwer ausbilden. Gehen der Realisierung der Zielantizipationen jedoch wenigstens teilweise invariante Reizwirkungen konsistent voraus, dann werden sie immer stärker mit eben diesen Invarianten verbunden. Die Invarianten, so kann man auch sagen, werden als zuverlässige Hinweise auf die Verhaltenskonsequenz abstrahiert, sie *repräsentieren* die Äquivalenzklasse. Nach diesen

Überlegungen sollten sich Äquivalenzklassen besonders dort schnell bilden, wo Situationen mit invarianten Merkmalen häufig als funktional äquivalent erlebt werden.

Die besondere Bedeutung globaler Merkmale für die Ausbildung von Äquivalenzklassen ergibt sich vermutlich aus dem folgenden Zusammenhang: Globale Merkmale werden in der Regel fixationsunabhängig wirksam. Details werden dagegen nur gesehen, wenn der Blick auf ihnen ruht. Globale Merkmale haben also allein schon deshalb eine größere Chance, abstrahiert zu werden als jedes Detail, weil sie ihre Wirkungen stets realisieren und damit auch bei jeder Gelegenheit "bekräftigt" werden. Details können dagegen immer nur dann "bekräftigt" werden, wenn der Blick zufällig auf ihnen ruht. Globale Invarianten und häufige Beanspruchung der funktionalen Äquivalenz bieten somit gleichermaßen gute Voraussetzungen für eine Äquivalenzklassenbildung. Dort, wo beides gegeben ist, kann man die Bildung der stabilsten Begriffe, eben der Basisbegriffe, erwarten (vgl. auch Hoffmann, 1986).

Diese funktionale Ableitung der Entstehung der Basisbegriffe bindet sie nicht länger an eine bestimmte Abstraktionsebene. Basisbegriffe bilden sich dort aus, wo die genannten Bedingungen gegeben sind, unabhängig davon, ob sie auch für "benachbarte" Begriffe zutreffen. Es sollte also durchaus möglich sein, daß unter Begriffen gleicher Allgemeinheit nur einige im Sinne von Basisbegriffen hervorgehoben sind, daß bspw. nur die Begriffe BAUM und BLUME Eigenschaften von Basisbegriffen zeigen, während benachbarte Begriffe wie etwa GRAS oder STRAUCH aufgrund geringerer Erfahrungen mit ihren Objekten weniger stabil repräsentiert sind. Es sollte ebenso möglich sein, daß Teilklassen von Basisbegriffen ebenso stabil repräsentiert sind, wie die Basisbegriffe selbst. Ein untergeordneter Begriff wie etwa ROSE könnte in gleicher Weise Eigenschaften eines Basisbegriffes aufweisen wie BLUME, weil Rosen gegenüber anderen Blumen erstens eine eigenständige funktionale Äquivalenz besitzen (als Zeichen besonderer Zuneigung) und zweitens, weil sie sich auch in globalen Merkmalen von anderen Blumen hinreichend unterscheiden. Diese Spekulationen werden durch entsprechende Beobachtungen bestätigt.

Es finden sich erstens deutliche Unterschiede in der Verfügbarkeit der Begriffe auf der "Ebene der Basisbegriffe" (z.B. Hoffmann & Kämpf, 1985). Zweitens gibt es immer wieder Unterbegriffe von Basisbegriffen (z.B. Rose von Blume oder Huhn von Vogel), die gleiche Eigenschaften wie die Basisbegriffe selbst besitzen (Hoffmann & Kämpf, 1985, Jolicoeur et al., 1984; Tanaka & Taylor, 1991; Zimmer, 1984).

### **Antizipative Verhaltenssteuerung und die partonomische Ordnung der Begriffe**

Eine antizipative Verhaltenssteuerung verbindet die invarianten Eigenschaften von Ausgangssituationen mit den invarianten Eigenschaften von Konsequenzen. Da die Konsequenzen eines Verhaltensaktes zumeist selbst wieder Ausgangsbedingungen für

weiteres Verhalten darstellen, sind auch sie häufig Gegenstand der Äquivalenzklassenbildung. Die antizipative Verhaltenssteuerung spezifiziert in solchen Fällen also Verhaltensakte, die Elemente der einen in Elemente einer anderen Äquivalenzklasse verwandeln, sie spezifiziert, so kann man auch sagen, zwischen den Klassen bestehende Relationen. Die Bildung begrifflicher Einheiten ist in dieser Sicht mit der Ausbildung von zwischen ihnen bestehenden Relationen unmittelbar verbunden. Daß dabei Relationen zwischen Ganzheiten und ihren Teilen, also partonomische Beziehungen, bevorzugt erzeugt werden, ergibt sich aus folgenden Überlegungen:

Einzelne Verhaltensakte bewirken in den meisten Fällen nur lokale Veränderungen einer gegebenen Situation. Zumeist werden nur Details verändert. Unter diesen Bedingungen führt eine antizipative Verhaltenssteuerung zwangsläufig dazu, daß globale Charakteristika der Ausgangssituation mit lokalen Effekten der in ihr realisierten Handlungen antizipativ verbunden werden. Sie führt, so kann man auch sagen, zur Ausbildung partonomischer Relationen zwischen Ganzheiten und ihren Teilen. Begriffspaare wie MESSER und GRIFF, FAHRRAD und KLINGEL, HAUS und TÜR, HEMD und KNOPF aber auch OPERATION und SKALPELL usw., spiegeln nach diesen Überlegungen Verhaltenserfahrungen wider, in denen der eine Begriff für Ausgangssituationen steht und der andere Begriff auf die Ausführung bestimmter Verhaltensweisen in ihnen bezogen ist.

### **Antizipative Verhaltenssteuerung und taxonomische Relationen zwischen Begriffen**

Je genauer zwischen verschiedenen Verhaltenskonsequenzen zu unterscheiden ist, desto differenzierter sind auch die Äquivalenzklassen zu bilden. Wenn es bspw. nur darum geht, den Durst zu löschen, ist jedes Getränk recht. Geht es jedoch darum, die passenden Weine für ein Menue zu wählen, sind genauere Unterscheidungen zu treffen. Beliebige Austauschbarkeit gilt nun längst nicht mehr. Ebenso muß etwa ein Florist zwischen verschiedenen Blumenarten ständig unterscheiden, wo wir als gelegentliche Blumenkäufer mit einem Dutzend Kategorien auskommen (Zimmer, 1984). Beispiele dieser Art erinnern daran, daß wir, entsprechend der Differenziertheit unserer Bedürfnisse und Zielvorstellungen, mehr oder weniger differenzierte Äquivalenzklassen über gleichen Objektmengen bilden. Je unspezifischer unsere Ambitionen gerade sind, desto großzügiger fallen die erlebten Äquivalenzen aus. Die Folge sind mächtige Äquivalenzklassen wie die der Getränke, der Blumen, der Möbel, der Autos, usw. Wird unser Verhalten jedoch durch immer präzisere Zielvorstellungen getrieben, schränken sich auch die Äquivalenzklassen immer stärker ein: Von den Getränken etwa zu den Weinen, zu den Weißweinen, den trockensten oder den französischen Weißweinen usw.

Zwischen den Äquivalenzklassen unterschiedlicher Differenziertheit lassen sich Relationen der Über-, Unter- und Nebenordnung bestimmen, so daß sie in taxonomi-

schen Begriffssystemen geordnet werden können. Im Unterschied zu den partonomischen Ordnungen spiegeln taxonomische Ordnungen aber keine verhaltensbedingten Situationsänderungen wider. Sie entsprechen vielmehr möglichen Änderungen in den Verhaltensabsichten. Begriffe wie FAHRRAD und KLINGEL oder OPERATION und SKALPELL sind durch entsprechende Verhaltensakte unmittelbar aufeinander bezogen. Begriffe wie GETRÄNK und WEIN oder WEIN und BIER werden dagegen durch einen Wechsel von Verhaltensintentionen wohl eher getrennt als verbunden. Darüber hinaus besitzen partonomische Relationen einen natürlichen Bezugsrahmen, der die Begriffe verbindet. In taxonomischen Ordnungen stehen die Begriffe dagegen eher isoliert nebeneinander. Begriffe wie WEIN, BIER, GETRÄNK und SAFT aktivieren nur schwer eine Gesamtstruktur, während Begriffe wie RAHMEN, KLINGEL, PEDALE und SATTEL leicht die Vorstellung eines Fahrrads wecken, die einen vollständigen Zusammenhang zwischen ihnen herstellt. Taxonomische Beziehungen haben also einen völlig anderen Verhaltensbezug als partonomische Beziehungen. Die von Klix und Mitarbeitern vorgeschlagene Unterscheidung von zwischen- und innerbegrifflichen Relationen kommt der hier vorgeschlagenen Differenzierung von partonomischen und taxonomischen Relationen bereits nahe (vgl. Hoffmann, 1988; Preuß & Cavegn, 1990). Nur, der wesentliche Unterschied besteht m.E. nicht in der Repräsentation der Relationen, sondern in ihrem unterschiedlichen Verhaltensbezug.

### **Begriffserwerb durch Benennung**

Ich habe bislang so argumentiert, als müßten wir jeden Begriff durch das Erleben der ihn kennzeichnenden Verhaltensäquivalenzen mühselig erwerben. Dem ist mitnichten so. Die Dauer unseres Lebens würde vermutlich nicht ausreichen, um all die Verhaltenserfahrungen zu machen, die notwendig sind, um die Tausende von Begriffen zu bilden, über die wir verfügen. Wir müssen nicht die Meere befahren, um zu wissen was ein Sextant ist, und wir müssen auch nicht die Sahara durchqueren, um einen Begriff von einer Oase zu haben. Wir verfügen vielmehr über die verschiedensten Möglichkeiten, Wissen über Sextanten, Oasen u.a. zu gewinnen, ohne mit ihnen umgehen müssen. An die Stelle der realen Objekte können Stellvertreter treten: Worte, die sie bezeichnen, Bilder die sie darstellen, Beschreibungen, die ihre Eigenschaften nennen oder Filme, die sie zeigen. An die Stelle der Erfahrungen im Umgang mit den "Originalen" treten nun die Erfahrungen im Umgang mit den "Stellvertretern". An die Stelle des richtigen Umgangs mit einem Sextanten tritt etwa die korrekte Verwendung seines Namens, die richtige Aufzählung seiner Eigenschaften oder die Beschreibung seiner Handhabung. Der Begriff SEXTANT der diesen Leistungen zugrunde liegt, kann als Äquivalenzklasse mentaler Zustände beschrieben werden, die es erlauben die jeweiligen sprachlichen Leistungen zu realisieren; zum korrekten Umgang mit einem



Sextanten befähigt er dagegen nicht. Die Sprache vermittelt uns so gelegentlich die Illusion, viel zu wissen, wo wir eigentlich ahnungslos sind.

## **Resümee**

Begriffe sind nicht als Klassen von Erscheinungen mit gemeinsamen Merkmalen zu definieren, sondern als Klassen von Erscheinungen funktionaler Äquivalenz. Sie werden gebildet, indem für einzelne Verhaltensakte Klassen von Ausgangsbedingungen unterschieden werden, unter denen sie zu jeweils gleichen Konsequenzen führen. Diese Betrachtungsweise ist mit dem Vorteil verbunden, daß sie Phänomene in einen Zusammenhang bringt, die in vorliegenden Modellvorstellungen nur schwer zu integrieren sind: (1) Die Bildung verhaltensbezogener Äquivalenzklassen erfolgt nach dem Kriterium der Antizipierbarkeit der eintretenden Verhaltenskonsequenzen. Da die Verhaltenskonsequenzen zwangsläufig eintreten, bedarf sie keiner expliziten Belehrung. Die implizite Bildung von Begriffen ist also kein besonderes Phänomen sondern der grundsätzliche Vorgang, der durch explizite Belehrung lediglich modifiziert wird. (2) Mit der Bildung eines Begriffes werden zugleich Erwartungen über Verhaltenskonsequenzen verbunden, die ebenfalls wieder klassifiziert werden können. Mit den Begriffen bilden sich also zugleich Relationen zwischen ihnen aus. Die Relationen lassen sich nach der Art ihres Verhaltensbezuges in partonomische und taxonomische Relationen unterscheiden. (3) Die bevorzugte Bildung und Verwendung von Basisbegriffen ergibt sich aus dem Zusammentreffen von Bedingungen, die die Äquivalenzklassenbildung fördern. Dies sind insbesondere die Häufigkeit des Erlebens der Äquivalenz und die Globalität der sie kennzeichnenden Invarianten. (4) Begriffe sind untrennbar mit dem Verhalten verbunden, dem sie ihre Bildung verdanken. Daraus folgt, daß jede Erscheinung im Kontext unterschiedlichen Verhaltens unterschiedlichen Äquivalenzklassen angehören kann. Die vielfältigen Kontextwirkungen, die sowohl von gegebenen Verhaltensintentionen als auch von gegebenen Situationen auf begriffliche Identifikationen ausgehen, lassen sich daraus zwanglos ableiten. (5) Bestätigte Antizipationen werden jeweils an die Merkmale der gegebenen Ausgangssituation gebunden. In äquivalenten Ausgangssituationen ständig wechselnde Merkmale haben demzufolge wenig Chancen, mit den Antizipationen verbunden zu werden, da sie keine konsistente Bekräftigung erfahren. Sich wiederholende invariante Merkmale werden dagegen immer fester mit den Antizipationen verbunden. Aus der Menge der Merkmale äquivalenter Ausgangsbedingungen werden also die invarianten Merkmale zwangsläufig abstrahiert. Nur, die Abstraktion invarianter Merkmale ist nicht der primäre, sondern gegenüber der Klassifikation nach funktionaler Äquivalenz der sekundäre Vorgang.



## **Kapitel 8: Die visuelle Identifikation von Objekten und Erscheinungen**

Ich hatte das vergangene Kapitel mit der Feststellung eingeleitet, daß die begriffliche Identität von Erscheinungen unmittelbar "gesehen" wird. Beim Blick in eine belebte Straße, so das verwendete Beispiel, sehen wir nicht ein Gewirr elementarer Reize, das wir erst mühselig zu interpretieren haben. Wir sehen vielmehr Passanten, Bäume, Autos, Schaufenster usw. Wir können gar nicht anders, als die Dinge als das zu sehen, was sie sind oder wenigstens zu sein scheinen. Diese elementare "Begrifflichkeit" unserer Wahrnehmung läßt vermuten, daß die besprochenen Begriffsbildungsprozesse auch unsere Wahrnehmung bestimmen: Wenn wir unmittelbar begriffliche Identitäten wahrnehmen, dann muß das, was die Zugehörigkeit der Erscheinungen zu den Begriffen bestimmt, auch ihre Wahrnehmung determinieren. Wenn weiter unsere Auffassung richtig ist, daß sich die Begrifflichkeit der Dinge aus ihrer Äquivalenz für die Ausführung bestimmter Verhaltensweisen ableitet, dann sollte auch ihre Wahrnehmung durch die Funktionen bestimmt sein, die sie für unterschiedliche Verhaltensweisen erfüllen. Oder, wie es schon Hugo Münsterberg vermutet hat: "We all perceive the world just as far as we are prepared to react to it" (Münsterberg, 1914, S.141). Bevor wir diesen Gedanken weiter verfolgen, wollen wir uns die Probleme vergegenwärtigen, die ein Wahrnehmungssystem zu lösen hat, um Objekte begrifflich zu identifizieren.

### **Drei Phänomene der Objektidentifikation**

Ein erstes Problem entsteht aus der Tatsache, daß Klassen funktional äquivalenter Objekte wie etwa Bäume, Schuhe, Stühle, Koffer usw. nicht nur unterschiedlich aussehende Objekte zusammenfassen, sondern daß darüber hinaus jeder einzelne Baum, Schuh, Stuhl, Koffer usw., je nachdem aus welcher Perspektive er gesehen wird, zu unterschiedlichen Reizwirkungen führt. Da die Wahrnehmung der begrifflichen Identität von der Perspektive, aus der ein Objekt gesehen wird, nur geringfügig abhängt, sind Wahrnehmungsmechanismen zu fordern, die von der Perspektive abstrahieren.

Wir nehmen nicht nur die begriffliche Identität der Objekte unmittelbar wahr. Sie erscheinen uns mit gleicher Selbstverständlichkeit in Teile gegliedert. Wir sehen etwa einen Baum aus Stamm, Krone, Ästen und Blättern bestehen, so wie wir auch nicht nur einen Stuhl, sondern zugleich seine Beine, den Sitz und die Lehne sehen usw. Wenn ein Objekt verdeckt wird, reicht oftmals die Wahrnehmung nur eines Teils von ihm aus,

um es zu identifizieren. Das Teil muß nur charakteristisch genug für das jeweilige Objekt sein. Es sind also Wahrnehmungsmechanismen zu fordern, die neben der begrifflichen Identität auch die innere Struktur der Erscheinungen in einer Weise vermitteln, die es erlaubt, aus dem Ganzen seine Teile und aus einzelnen Teilen das Ganze abzuleiten.

Schließlich werden Objekte hinsichtlich ihrer "Basisidentität" am schnellsten identifiziert. Es ist also nicht nur, wie im vorangegangenen Kapitel, zu diskutieren, warum die Basisbegriffe bevorzugt ausgebildet werden, sondern auch, warum ihre Identifikation schneller gelingt, als die anderer Begriffe. Die Wahrnehmungsmechanismen sollten also Eigenschaften aufweisen, die dieses Phänomen verständlich machen.

Die folgenden Ausführungen sind nach diesen drei Phänomenen gegliedert. Ich werde jeweils einige der zu ihrer Erklärung entwickelten Ansätze besprechen und deren Grenzen aufzeigen. Nachfolgend werden wir dann wieder diskutieren, inwieweit die Annahmen einer antizipativen Verhaltenssteuerung überzeugendere Erklärungen erlauben.

### **8.1. Die (Un)Abhängigkeit der Objektidentifikation von der Betrachtungsperspektive**

Objekte führen, je nachdem aus welchem Blickwinkel wir sie betrachten, zu teilweise sehr unterschiedlichen Reizmustern. Diese Veränderungen der von den Objekten ausgehenden Reize beeinflussen die Leichtigkeit, mit der wir sie identifizieren, nur geringfügig. Ein Telefon etwa erkennen wir zumeist ohne Schwierigkeiten, ob wir es nun von vorne, von der Seite oder von oben betrachten. Die sichere Identifikation von Objekten aus beinahe beliebiger Perspektive spricht nach den traditionellen Überlegungen der Kognitionspsychologie dafür, daß in den blickwinkelabhängigen retinalen Reizkonfigurationen blickwinkelunabhängige Anteile enthalten sind. Sie spricht weiter dafür, daß es diese blickwinkelunabhängigen Reizanteile sind, die durch geeignete Verarbeitungsprozesse selektiert werden und die die Wahrnehmung des Objektes bestimmen. Über die Art der dabei realisierten Prozesse sind unterschiedliche Vorstellungen entwickelt worden:

#### **3-D Modelle, kanonische Repräsentationen und mentale Rotation**

Marr und Nishihara (1978) vermuten Verarbeitungsprozesse, die die vom Blickwinkel abhängige retinale Reizstruktur eines Objektes in ein vom Blickwinkel unabhängiges dreidimensionales Objektmodell transformieren (vgl. auch Marr, 1982). Die einzelnen Verarbeitungsschritte lassen sich wie folgt charakterisieren: Nach einer Berechnung der

in den retinalen Reizverteilungen gegebenen Konturen und Texturen (primal sketch) werden in einem zweiten Schritt Beschreibungen für Formen und ihre Teile aus der Sicht des Betrachters abgeleitet (2 1/2D sketch). Aus dieser noch subjektzentrierten Reizbeschreibung wird schließlich in einem dritten Schritt ein objektzentriertes Koordinatensystem abstrahiert. Ausgehend von der Ausrichtung (elongation) und den Symmetrien der gegebenen Formen werden zunächst Hauptachsen für die Gesamtkonfiguration und zunehmend detaillierter auch für einzelne ihrer Teile bestimmt. Die Achsen bilden in ihrer relativen Lage zueinander eine Struktur, die als dreidimensionales Gerüst der räumlichen Anordnung von elementaren Körpern (cones) interpretiert wird. Aus der gegebenen Reizstruktur wird also ein grobes dreidimensionales Modell des Körpers (vergleichbar einem Drahtmodell) abgeleitet, von dem die Reizwirkungen ausgehen. Um die begriffliche Identität dieses Modells zu bestimmen, wird es mit im Gedächtnis repräsentierten Objektmodellen verglichen. Die Identifikation eines Objektes ist hier insoweit unabhängig vom gegebenen Blickwinkel als sie auf einem dreidimensionalen Objektmodell beruht, und sie ist insoweit abhängig von ihm, als verschiedene Ansichten des Objektes unterschiedlichen Aufwand für die Ableitung seines Modells erfordern können.

Nach einer anderen Überlegung werden Objekte nicht in Form dreidimensionaler Modelle sondern durch eine (oder mehrere) besonders typische (kanonische) zweidimensionale Reizstruktur(en) im Gedächtnis repräsentiert (Palmer, Rosch & Chase, 1981; Reed, 1978; Rock, 1973). Weiterhin wird angenommen, daß die von einem Objekt erzeugten Reizwirkungen "mental" transformiert werden können. Die Identifikation eines Objektes beruht nach diesen Vorstellungen auf einem Vergleich der gegebenen mit den repräsentierten kanonischen Reizwirkungen, die einander entweder unmittelbar entsprechen oder durch "mentale Rotation" in Übereinstimmung gebracht werden. Palmer, et al. (1981) haben entsprechend gezeigt, daß dreidimensionale Objektzeichnungen in der Regel am schnellsten identifiziert werden, wenn die Objekte schräg von vorn dargestellt sind. Mit dem Grad der Abweichung von dieser "kanonischen" Perspektive steigen die Identifikationszeiten kontinuierlich an. Dieser Anstieg wird mit den mentalen Rotationen erklärt, die notwendig sind, um die gegebenen Reizwirkungen mit der gespeicherten kanonischen Perspektive in Deckung zu bringen.

Die Idee einer "kanonischen" Repräsentation setzt die Fähigkeit voraus, die Reizwirkungen eines Objektes in der Vorstellung so zu transformieren, als würde es tatsächlich im Raum rotieren. Solche "mentalen Rotationen" wurden vor allem durch Untersuchungen nahegelegt, in denen Pbn zwischen Standard- und Spiegelbildversionen von zwei- und dreidimensionalen Figuren zu unterscheiden hatten. Die Figuren wurden in verschiedenen Orientierungen dargeboten (Cooper & Shepard, 1973; Metzler & Shepard, 1974; Shepard & Metzler, 1971). Der wesentliche Befund besagt, daß die Entscheidungszeiten mit dem Abstand der dargebotenen Figur von ihrer Standardorien-

tierung bzw. mit dem Abstand der Orientierungen zweier zu vergleichender Figuren monoton ansteigen. Dies gilt gleichermaßen für Abstände zwischen Orientierungen in der Ebene und im dreidimensionalen Raum (Metzler & Shepard, 1974; Shepard & Metzler, 1971; Shepard & Metzler, 1988; vgl. aber Rock & DiVita, 1987; Rock, DiVita & Barbeito, 1981). Der Befund spricht also für Prozesse, deren Aufwand monoton mit den Differenzen zwischen den Orientierungen ansteigt, und es lag nahe, dabei an mentale Rotationen im besprochenen Sinn zu denken (vgl. für andere Interpretationen Bethell-Fox & Shepard, 1988; Carpenter & Just, 1978; Cooper & Podgorny, 1976; Just & Carpenter, 1976; Robertson, Palmer & Gomez, 1987; Rock, Wheeler & Tudor, 1989; Shepard & Cooper, 1982).

Beide Modellüberlegungen gehen von der zweidimensionalen Reizverteilung auf der Retina aus und versuchen die Frage zu beantworten, wie aus ihr die dreidimensionale Identität eines Objektes ermittelt wird. Nach Marr und Nishihara wird aus der Reizverteilung ein dreidimensionales Modell abgeleitet, das mit gespeicherten Objektmodellen verglichen wird. Nach Palmer et al. wird die Reizverteilung mit kanonischen Objektperspektiven verglichen. Der vermittelnde Mechanismus ist hier die mentale Rotation. Die Ableitung eines 3-D Modells wie auch die mentale Rotation werden als elementare Leistungen des visuellen Systems angesehen, die universell auf beliebige Reizkonfigurationen angewendet werden können. Ihre Aufgabe ist es, den Einfluß des Blickwinkels auf die Reizwirkungen zu kompensieren. Ganz im Sinne der Informationsübertragung wird die Identität des Objektes als die zu übertragende Nachricht angesehen. Die Veränderungen seiner Reizwirkungen durch die Perspektive werden als Störung der Nachrichtenübertragung betrachtet, die es zu kompensieren gilt, entweder durch eine Selektion der vom Blickwinkel unabhängigen Signalanteile oder dadurch, daß sie durch mentale Rotation rückgängig gemacht werden. Wie ich im weiteren zeigen werde, gerät diese traditionelle Betrachtungsweise mit experimentellen Beobachtungen in Konflikt.

### **Orientierungs(un)abhängigkeit und Wahrnehmungslernen**

Die Orientierungsabhängigkeit von Identifikationen ist, wie erwähnt, besonders stark ausgeprägt, wenn Pbn zwischen Originalen und ihren Spiegelbildversionen zu unterscheiden haben. Die Abb. 8.1. zeigt ein Beispiel. Die Pbn haben hier zu entscheiden, ob es sich um den Buchstaben R oder um sein Spiegelbild handelt. Solche Entscheidungen dauern um so länger, je stärker die Konfigurationen von ihrer gewohnten (aufrechten) Orientierung abweichen (vgl. zusammenfassend Shepard & Cooper, 1982). Haben die Pbn die Figuren jedoch lediglich zu identifizieren, also ohne sie von ihren Spiegelbildversionen unterscheiden zu müssen, zeigen sich in einigen

Untersuchungen die Identifizierungszeiten allerdings nicht mehr von der Orientierung abhängig (Corballis, 1988; Corballis, Zbrodoff, Shetzer & Butler, 1978; Corballis & Nagourney, 1978; Eley, 1982; Shepard & Cooper, 1982; White, 1980). In anderen Untersuchungen waren jedoch auch einfache Identifikationen orientierungsabhängig. Dies betraf etwa zweidimensionale Objektzeichnungen (Jolicoeur, 1985; Maki, 1986), alphanumerische Zeichen (Jolicoeur & Landau, 1984; Kolers & Perkins, 1969a, 1969b) und buchstabenähnliche Konfigurationen (Tarr & Pinker, 1989). Die Abhängigkeit der Identifikation von der Orientierung und, wie man vielleicht verallgemeinern kann, auch vom Blickwinkel, scheint kein allgemeingültiges Phänomen zu sein, sondern nur unter bestimmten Bedingungen aufzutreten. Es ist zu fragen, welche Faktoren das Phänomen modifizieren und warum sie es tun.

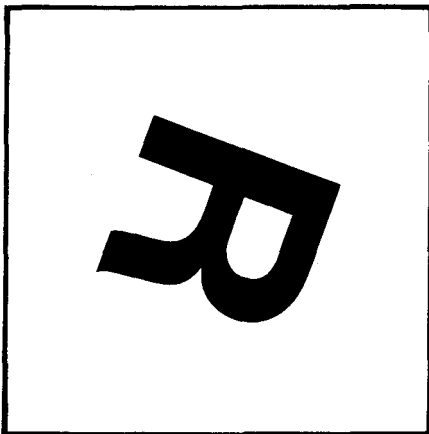


Abbildung 8.1.: Ein fast auf dem Kopf stehendes R. Oder sein Spiegelbild?

Die Abhängigkeit der Identifikation von der Orientierung wird möglicherweise vom Grad der Vertrautheit mit den Figuren modifiziert (Koriat & Norman, 1985). Orientierungseffekte treten möglicherweise nur auf, wenn die Pbn mit den Figuren noch wenig vertraut sind. Mit einer solchen Überlegung übereinstimmend, berichtet Jolicoeur (1985) eine deutliche Verringerung der Orientierungsabhängigkeit bei zunehmender Erfahrung der Pbn mit zu identifizierenden Objektzeichnungen. Der "Trainigseffekt" bleibt jedoch auf die Zeichnungen beschränkt, mit denen die Erfahrung gewonnen wurde. Werden nach längerem Training neue Zeichnungen zusätzlich angeboten, entspricht die Orientierungsabhängigkeit dieser neuen Objekte annähernd derjenigen zu Beginn des Versuches (Jolicoeur, 1985, Exp.3). Weitere Untersuchungen zeigen, daß die Erfahrungen einschlägig sein müssen: Werden die Objekte wiederholt nur in aufrechter Orientierung wahrgenommen, wird die Orientierungsabhängigkeit nicht reduziert (Jolicoeur & Milliken, 1989; Exp.1).

Ergebnisse von Tarr und Pinker (1989) lassen darüber hinaus vermuten, daß sich die Identifikationsleistungen nur an die wiederholt erlebten Orientierungen anpassen. Die Pbn hatten buchstabenähnliche Figuren so schnell wie möglich mit zuvor vereinbarten Namen zu benennen. Während des Trainings wurden die Figuren in drei bzw. vier ausgewählten Orientierungen dargeboten. Das Training führt zur Unabhängigkeit der Benennungszeiten von diesen Orientierungen. Werden jedoch die Figuren plötzlich in anderen als den trainierten Orientierungen dargeboten, zeigen sich die Benennungszeiten für diese ungewohnten Orientierungen wieder orientierungsabhängig. Sie steigen nun mit dem Abstand der neuen zu den trainierten Orientierungen kontinuierlich an. Es ist also offensichtlich keine generelle Orientierungsunabhängigkeit erworben worden, sondern lediglich eine Anpassung an die erlebten Orientierungen.

Die berichteten Beobachtungen sprechen insgesamt gegen Auffassungen, nach denen es sich bei der Orientierungs- und möglicherweise auch bei der Blickwinkel(un)abhängigkeit begrifflicher Identifikationen um den Ausdruck allgemeingültiger und universell einsetzbarer Kompensationsmechanismen handelt. Sie sprechen weit eher dafür, daß hier Lernvorgänge stattfinden, die die Identifikation der Objekte an genau die Wahrnehmungserfahrungen binden, die mit ihnen gemacht worden sind. Werden die Objekte einer Klasse in verschiedenen Orientierungen erlebt, dann werden die Identifikationsprozesse für die erlebten Orientierungen einander angeglichen. Dies beruht möglicherweise auf einer zunehmenden Betonung von Objektmerkmalen, die über allen wahrgenommenen Orientierungen hinweg als invariant erlebt worden sind. Es kann aber auch darauf beruhen, wie Tarr und Pinker (1989) argumentieren, daß für alle erlebten Orientierungen spezifische Repräsentationen gespeichert werden.

### **Orientierungs(un)abhängigkeit und die "Wahl" objektspezifischer Merkmale**

Die Identität von Objekten kann immer nur anhand von Merkmalen festgestellt werden, in denen sie sich von ähnlichen Objekten unterscheiden. Die Identität bspw. des Buchstabens R anhand der Merkmale, in denen er sich von anderen Buchstaben und die eines Pudels anhand der Merkmale, in denen er sich von anderen Hunden unterscheidet usw. Auf welchen Merkmalen die Identifikationen also jeweils beruhen, hängt von den zu treffenden Unterscheidungen ab. Konsequenterweise hängt auch die Orientierungsabhängigkeit von ihnen ab. Ob etwa eine Reizstruktur ein Gesicht darstellt, wird in allen möglichen Orientierungen auf Anhieb entschieden, während eine Unterscheidung von männlichen und weiblichen Gesichtern umso schwerer fällt, je stärker das Gesicht geneigt ist (Rock, 1973; Sergent & Corballis, 1989). Ebenso wird das Bild einer Hand unabhängig von ihrer Orientierung stets sicher identifiziert. Die Entscheidung aber, ob es sich um eine rechte oder linke Hand handelt, ist dagegen orientierungsabhängig (Cooper & Shepard, 1975; Parsons, 1987). Auch für die Identifikation alphanumeri-



scher Zeichen sind vergleichbare Phänomene beobachtet worden. Sind Zeichen zu unterscheiden, die mit der Orientierung ihre Identität ändern (z.B. 6 und 9, b und q, M und W), dann zeigt sich die Identifikation von der Orientierung abhängig. Wird dagegen nur verlangt, Buchstaben von Ziffern zu unterscheiden, sind die Identifikationen von der Orientierung unabhängig (Corballis & Nagourney, 1978).

Die Orientierungsabhängigkeit wird also durch die Unterscheidungen bestimmt, die jeweils zu treffen sind. Takano (1989) hat vor diesem Hintergrund vorgeschlagen, zwischen orientierungsfreien und orientierungsgebundenen Merkmalen zu unterscheiden. Merkmale wie etwa die Farbe oder die Größe eines Objektes, die mit seiner Orientierung nicht variieren, sind orientierungsfrei. Demgegenüber sind vor allem richtungsspezifische Relationen zwischen Teilen eines Objektes orientierungsabhängig. Warum dies so ist, soll an folgendem Beispiel erläutert werden: Die Buchstaben p, q, b und d setzen sich aus einer geraden Linie und einem Kreis zusammen. Sie unterscheiden sich darin, ob der Kreis oben oder unten und rechts oder links der Linie lokalisiert ist. Die Relationen "oben", "unten", "rechts" und "links" sind *richtungssensible* Relationen, deren Identifikation die Bezugsetzung zur Perspektive des Betrachters verlangt. So, wie es bspw. bei einer Wegbeschreibung vom Standpunkt des Betrachters abhängt, ob man eine Straße hinauf oder hinunter geht und dann rechts oder links abbiegt, so hängt die Definition von richtungssensiblen Relationen zwischen Teilen einer Figur vom "Standpunkt" dessen ab, der die Figur betrachtet.

Unterscheiden sich nun in einem Experiment die Figuren allein in richtungssensiblen Relationen (wie eben die Buchstaben p, q, d und b), dann verlangt ihre Identifikation eine Bezugsetzung zur Perspektive des Betrachters. Und dies, so kann man vermuten, ist umso aufwendiger, je stärker die Figur von der gewohnten Orientierung abweicht. Die Orientierungsabhängigkeit ist nach dieser Überlegung an die Prozesse zur Identifikation der identitätsbestimmenden Merkmale gebunden. Takano demonstriert die Tragfähigkeit der Idee u.a. in einem Experiment, in dem die Pbn Figuren zu identifizieren haben, die verschiedene Kodierungen zulassen (vgl. Abb. 8.2.). Die Figuren unterscheiden sich in der relativen Lage des oberen Hakens, der einmal nach links, das andere Mal nach rechts zeigt. Dies ist ein orientierungsgebundenes Merkmal (rechts-links). Sie unterscheiden sich aber auch darin, daß in der einen Figur die Öffnung des Hakens und des unteren Teils in die gleiche Richtung, bei der anderen Figur jedoch in entgegengesetzte Richtungen zeigen. Dies ist ein orientierungsfreies Merkmal. Takano kann nun zeigen, daß in Abhängigkeit davon, ob die Pbn die Figuren anhand des einen oder des anderen Merkmals kodieren, die Identifikationsleistungen orientierungsabhängig bzw. orientierungsunabhängig ausfallen. Damit ist bewiesen, daß die Orientierungsabhängigkeit von den jeweils verwendeten Kodierungsmerkmalen bestimmt wird.

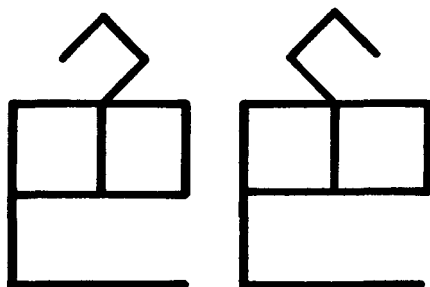


Abbildung 8.2.: Zwei der von Takano (1989) verwendeten Figuren. Sie unterscheiden sich nicht nur in der Richtung des Hakens, sondern auch darin, ob die Öffnung des Hakens und die untere Öffnung in die gleiche Richtung zeigen.

### Die Abstraktion verhaltenssteuernder Invariante und die Orientierungs(un)abhängigkeit

Die Unterscheidung von orientierungsfreien und orientierungsgebundenen Merkmalen erlaubt im Zusammenhang mit den diskutierten Lernvorgängen die folgende Überlegung: Im Verlaufe eines Experimentes "suchen" die Pbn nach möglichst einfachen Merkmalen zur Unterscheidung der zu identifizierenden Figuren. Der Erfolg dieser Suche hängt von den tatsächlich erlebten Unterschieden ab. Werden invariante Unterschiede konsistent erlebt, werden die Identifikationen immer stärker an diese Invarianten gebunden. Handelt es sich dabei um orientierungsfreie Merkmale werden die Identifikationen immer unabhängiger von der Orientierung, wie dies etwa in den Untersuchungen von Jolicoeur (1985) und Jolicoeur und Milliken (1989) beobachtet wurde. Unterscheiden sich die Figuren allerdings lediglich in der räumlichen Anordnung von ansonsten identischen Teilen, also nur in orientierungsgebundenen Merkmalen, dann können auch keine orientierungsfreien Merkmale abstrahiert und die Identifikationen damit auch nicht unabhängig von der Orientierung werden. Dies ist bspw. immer der Fall, wenn zwischen Spiegelbildversionen zu unterscheiden ist, und auch die von Tarr & Pinker (1989) verwendeten Figuren konnten nur anhand orientierungsgebundener Merkmale unterschieden werden. Es entspricht dieser Überlegung, daß in beiden Fällen auch nach längerem Training keine Orientierungsunabhängigkeit eintritt. Orientierungsabhängigkeit oder -unabhängigkeit der Identifikationen wird von der Qualität der Merkmale bestimmt, die zwischen den Objekten unter allen erlebten Wahrnehmungsbedingungen (Orientierungen) sicher zu unterscheiden erlauben (vgl. auch Hoffmann, im Druck a).

Es ist leicht zu sehen, daß eine antizipative Verhaltenssteuerung einer solchen lernabhängigen Ausbildung orientierungs(un)abhängiger Identitätskriterien eher gerecht

wird, als die Konzeptionen zur Ableitung von 3-D Modellen oder zur mentalen Rotation. Unter den Reizwirkungen, so hatten wir argumentiert, bilden jeweils alle diejenigen eine Äquivalenzklasse, auf die gleiches Verhalten zu gleichen Konsequenzen führt. Die Zusammenfassung äquivalenter Reizwirkungen geschieht durch die Bindung der jeweils bestätigten Antizipationen an die jeweils erlebten Ausgangsbedingungen. Weisen nun äquivalente Ausgangsbedingungen Merkmale auf, die sie von anderen eindeutig unterscheiden, dann werden diese Invarianten die Identität der jeweiligen Äquivalenzklasse immer stärker bestimmen - denn sie sind es, die immer stärker die Antizipation der Verhaltenskonsequenzen determinieren. Nach diesen Überlegungen, sehen wir die Welt deshalb im Lichte unserer Verhaltensintentionen, wie dies schon Münsterberg formuliert hatte, weil sich unsere Wahrnehmung an den Merkmalen orientiert, die die Konsequenzen unseres gegenwärtig intendierten Verhaltens zu antizipieren gestatten.

Daß es sich dabei zumeist um Merkmale handelt, die von der Betrachtungsperspektive abstrahieren, ist eine Konsequenz der Tatsache, daß Objekte mit dem Wechsel der Betrachtungsperspektive ihre funktionale Äquivalenz in der Regel nicht ändern. Und weil dies so ist, werden Merkmale abstrahiert, die unter den verschiedenen Perspektiven invariant oder wenigstens häufig wahrgenommenen worden sind, vorausgesetzt das es solche Merkmale gibt. Sind sie nicht vorhanden, können sie auch nicht abstrahiert werden. Es bleibt allein die Möglichkeit, die begriffliche Identität an vor allem häufige (kanonische) Wahrnehmungserfahrungen zu binden. Die Identifikation fällt dann umso schwerer je stärker die gegebene von der repräsentierten kanonischen Perspektive abweicht. Insgesamt befähigen uns sowohl die von den erlebten Perspektiven unabhängigen Invarianten als auch die an häufig erlebte Perspektiven gebundenen "kanonischen" Repräsentationen bspw. ein Telefon zu erkennen, ob wir es nun von vorne, von der Seite oder von oben betrachten. Sehen wir dagegen ein Telefon direkt von unten, dann werden wir (wenn wir nicht gerade Postmechaniker sind) Schwierigkeiten haben, zu erkennen, worum es sich handelt. Unsere Fähigkeit, Objekte aus verschiedenen Perspektiven mühelos zu identifizieren, ist eben strikt an die Wahrnehmungserfahrungen gebunden, die wir mit ihnen gemacht haben.

Mit unserer Diskussion soll keinesfalls bestritten werden, daß es auch allgemeingültige, objektunspezifische Mechanismen der Reizverarbeitung gibt, die den zweidimensionalen retinalen Reizwirkungen Hinweise auf ihren dreidimensionalen Ursprung entnehmen. Die Auswertung der Querdisparation (Linschoten, 1956) ist etwa solch ein Mechanismus. Nur, diese allgemeinen Mechanismen dienen wohl eher der Vermittlung von Informationen über Richtung und Entfernung von Objekten, als der Identifikation ihrer Begrifflichkeit. Auch der Mechanismus der mentalen Rotation läßt sich in unsere Überlegungen einordnen. Es handelt sich, so kann man vermuten, um Antizipationen von Reizveränderungen, die als Folge von Eigenbewegungen zu erwarten sind. Wir

können uns "vorstellen", welche *allgemeinen* Reizänderungen bei Drehung eines Objektes eintreten werden, eben weil wir es gelernt haben, die bei Drehungen invariant eintretenden Änderungen zu antizipieren. Die Antizipation *objektspezifischer* Änderungen bedarf dagegen entsprechender Wahrnehmungserfahrungen. Antizipationen werden auch nicht selten eingesetzt, um Schwierigkeiten bei einer Identifikation zu überwinden. Wir versuchen dann durch eine leichte Änderung der Perspektive, zusätzliche Informationen zu gewinnen. Selbst bei der Betrachtung von Rätselbildern verfallen wir gelegentlich in diese Gewohnheit, die hier aber wenig hilfreich ist. Allerdings macht sie darauf aufmerksam, daß die Identifikation von Objekten nicht allein auf der Verwertung statischer Abbilder beruht, sondern auch auf deren Veränderbarkeit durch eigene Aktivitäten. Aber dies ist nicht eine mentale Rotation zur "Normalisierung" einer verzerrten Reizkonfiguration, sondern es ist im Gegenteil die Prüfung, ob eine bestimmte "Verzerrung" *hergestellt* werden kann (vgl. Turvey & Carello, 1986; Turvey, Solomon & Burton, 1989).

## 8.2. Die Wahrnehmung von Objekten und ihren Teilen

Objekte setzen sich in der Regel aus einzelnen Teilen zusammen. Ein Messer besteht aus einem Griff und einer Klinge; eine Kanne aus dem Behälter, einem Henkel, einer Tülle und einem Deckel; ein Stuhl aus dem Sitz, den Beinen und einer Lehne usw. Mit den Objekten nehmen wir zwangsläufig auch die Teile wahr, aus denen sie bestehen. Wir können nicht einen Stuhl sehen, ohne auch zu sehen, daß er eine Sitzfläche, Beine und eine Lehne hat. Im vorigen Kapitel hatten wir besprochen, daß die begriffliche Identität eines Objektes durch seine Teile und deren Konfiguration bestimmt ist. Ein Stuhl wird ja erst dadurch zum Stuhl, daß er Sitzfläche, Lehne und Beine in bestimmter Konfiguration anbietet. Es erscheint damit selbstverständlich, daß wir mit den Objekten auch die Teile sehen, denen sie ihre begriffliche Identität verdanken. Allerdings sehen wir auch uns unbekannte Erscheinungen in Teile gegliedert. Biederman (1987) hat dies an dem Phantasieobjekt der Abb. 8.3. demonstriert. Wir sehen einen Behälter mit Aufbauten, eine Art Griff, eine Art Rad und ein etwas seltsames Anhängsel. Obwohl wir das Objekt nicht identifizieren können, sehen wir doch, daß es aus Teilen zusammengesetzt ist.

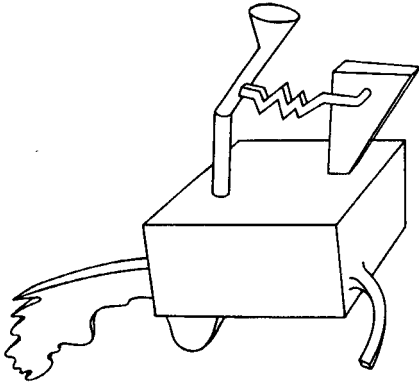


Abbildung 8.3.: Ein aus mehreren Teilen bestehendes unbekanntes Objekt (aus: Biederman, 1987)

### Die spontane Gliederung der visuellen Welt

Die Tatsache, daß wir auch unbekannte Erscheinungen in Teile gegliedert sehen, weist darauf hin, daß unser visuelles System die Zerlegung von Reizkonfigurationen in Teile spontan unterstützt, wenn nicht sogar spontan erzeugt. Der Wahrnehmungsprozeß, so kann man spekulieren, führt dazu, daß einzelne der gegebenen Reizwirkungen jeweils als enger zusammengehörig gesehen werden als andere, so daß eine Konfiguration stets als ein Ganzes erscheint, das sich in Gruppen unterschiedlich eng zusammengehöriger Reizanteile gliedert. Wenn diese Überlegungen richtig sind, dann wird die Gliederung der von uns gesehenen Welt durch die Prozesse bestimmt, die die phänomenale Zusammengehörigkeit von Reizwirkungen determinieren. Die Frage nach der Struktur dieser Prozesse ist insofern von erkenntnistheoretischer Bedeutung, als es von ihrer Beantwortung abhängt, inwieweit wir berechtigt annehmen können, daß die Struktur der gesehenen Welt ihrer tatsächlich gegebenen Struktur entspricht. Sehen wir die Welt so gegliedert, wie sie ist, oder so, wie sie unser visuelles System gegliedert erscheinen läßt? Oder, explizit gefragt: Sehen wir die Objekte in bestimmte Teile gegliedert, weil sie aus ihnen zusammengesetzt sind, oder weil wir sie nur so und nicht anders sehen können? Wir wollen diese erkenntnistheoretische Problematik nicht weiter vertiefen (vgl. etwa Klix 1971; Riedl, 1987). Es sollte nur deutlich gemacht werden, daß es sich hier um eine grundsätzliche Frage visueller Erkenntnisfähigkeit handelt.

## Der gestalttheoretische Ansatz

Nach gestaltpsychologischen Vorstellungen (z.B. Köhler, 1924, 1929; Koffka, 1935; Wertheimer, 1925) führen visuelle Reize zu zentralnervösen Erregungen, die einer Selbstorganisation unterworfen sind. Köhler (1924, S.189f) spricht etwa davon, daß die Erregungszustände, die die physischen Korrelate optisch-phänomenaler Felder darstellen, ein in sich zusammenhängendes System bilden, in dem das psychophysische Geschehen die allgemeinen Eigenschaften von physischen Raumgestalten annimmt. Die im vorliegenden Zusammenhang wichtigsten Eigenschaften bestehen darin, daß (1) das psychophysische Geschehen stets von der gesamten retinalen Reizkonfiguration abhängig ist, daß sich (2) im Ergebnis der Reizwirkungen stabile Zustände, die sogenannten "psychophysischen Gestalten" ausbilden, die schließlich (3) diejenige Ausbreitungsart annehmen, "welche unter den retinalen und sonstigen Bedingungen des jeweiligen Geschehens die kleinste mögliche Strukturenergie im ganzen ergibt" (Köhler, 1924, S.253). Die Strukturierung der Wahrnehmung ist nach dieser Auffassung das Resultat der *Selbstorganisation* der jeweils hervorgerufenen Erregungsprozesse, die nach einem Zustand *minimaler Energie* streben.

Die Eigenschaften visueller Wahrnehmungsorganisation wurden in sogenannten *Gestaltgesetzen* systematisch erfaßt (z.B. Köhler, 1929; Wertheimer, 1923; Metzger, 1975; Koffka, 1935). Das Gesetz der Nähe etwa besagt, daß innerhalb einer Konfiguration nahe beieinander liegende Reize eher als zusammengehörig gesehen werden als voneinander entfernte Reize; das Gesetz der kontinuierlichen Fortführung besagt, daß Linien an Schnittpunkten bevorzugt im Sinne einer Fortführung ihrer bisherigen Linienführung gesehen werden. Das Gesetz der Ähnlichkeit besagt, daß ähnliche Reize eher als zusammengehörig erlebt werden als unähnliche Reize. Das Gesetz der Geschlossenheit verweist auf die Tendenz, in geometrischen Gebilden geschlossene Linienzüge als strukturelle Einheiten wahrzunehmen usw. (vgl. Boring, 1942).

Palmer (1977) hat einen der wenigen Versuche unternommen, die Wirkung einiger der Gestaltfaktoren experimentell zu erfassen. Er verwendet Figuren, die durch die Auswahl von 6 aus einer Gesamtheit von 16 Linien entstehen (vgl. Abb. 8.4.). Angeregt durch die entsprechenden *Gestaltgesetze*, werden die zwischen diesen "Elementareinheiten" bestehenden Relationen der Nähe, der Verbundenheit, der Kontinuität der Fortsetzung und der Ähnlichkeit in Orientierung und Länge erfaßt. Für jede beliebige Teilmenge von Linien einer Figur werden die zwischen ihren Elementen bestehenden Relationen bestimmt und mit den Relationen zu den außerhalb der Teilmenge liegenden Elementen verglichen. Die Teilmenge ist ein umso besseres Teil der Figur, je stärker ihre Elemente untereinander und je schwächer sie mit anderen Elementen der Figur verbunden sind. D.h. die "Güte" eines Teils berechnet sich in Abhängigkeit von der Gesamtheit der (betrachteten) Relationen zwischen den Elementen

dieses Teils relativ zur Gesamtheit der Relationen dieser Elemente zu den anderen Elementen der Figur.

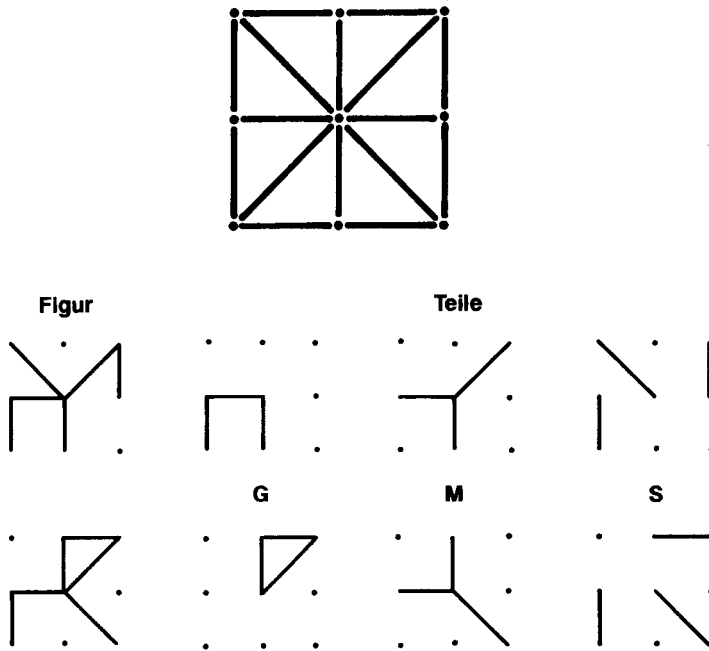


Abbildung 8.4.: Aus einer Grundgesamtheit von 16 Strichen (oben) werden jeweils 6 Striche gewählt. Es entstehen Figuren, die ihrerseits wieder in Teile zu jeweils drei Strichen zerlegt werden können. Zwei Beispiele für Figuren und jeweils gute (G), schlechte (S) und mittelgute (M) Teile sind unten gezeigt (nach Palmer, 1977).

Die Abb. 8.4. zeigt die 16 Linien, zwei aus jeweils 6 Linien gebildete Figuren sowie Teile dieser Figuren aus jeweils 3 Linien, die nach der angedeuteten Berechnung als gute (G), mittlere (M), bzw. schlechte (S) Teile gelten. Palmer forderte in verschiedenen Experimenten seine Pbn auf, Figuren in ihre "natürlichen Teile" zu zerlegen, die Güte von Teilen einer vorgegebenen Figur zu beurteilen, so schnell wie möglich zu bestimmen, ob ein Teil in einer Figur enthalten ist, und sie wurden schließlich gebeten, zwei getrennt vorgegebene Teile in der Anschauung zu einem Ganzen zu verbinden. In allen diesen Anforderungen zeigten sich die Leistungen von der theoretisch bestimmten Güte der jeweiligen Teile abhängig: Die Pbn zerlegten die Figuren fast ausschließlich in "gute" Teile, das subjektive Urteil über die Güte korrelierte hoch mit der theoretisch bestimmten Güte, "gute" Teile wurden sehr viel schneller entdeckt als schlechtere Teile, und sie wurden in der Anschauung auch schneller integriert (vgl. auch Bower & Glass, 1976).

Die Resultate bestätigen die grundsätzliche Aussage der Gestalttheorie, nach der visuelle Reizkonfigurationen als ganzheitliche Gebilde wahrgenommen werden, die sich aus zueinander in Beziehung stehenden Teilen zusammensetzen, wobei die Teile sowohl durch ihre innere Kohärenz als auch durch ihre Beziehungen zum Ganzen bestimmt sind. Die Resultate bestätigen darüber hinaus den Einfluß der hier betrachteten Relationen Nähe, Verbundenheit, Kontinuität und Ähnlichkeit auf die spontanen Tendenzen der Pbn, die Gesamtkonfiguration in Teile zu gliedern. Der Ansatz liefert jedoch keine Erklärung dafür, warum gerade diese Relationen die Wahrnehmungsorganisation vorherzusagen gestatten. Es handelt sich, wie Palmer ausdrücklich bemerkt, um einen Ansatz lediglich zur Beschreibung von Wahrnehmungsstrukturen, nicht um eine Charakteristik der Prozesse, die zu dieser Strukturierung führen.

### Die strukturelle Informationstheorie

Die Vertreter der strukturellen Informationstheorie (Hochberg & McAlister, 1953; Leeuwenberg, 1969, 1971; Buffart, Leeuwenberg & Restle, 1981; Leeuwenberg & Buffart, 1983; Buffart & Leeuwenberg, 1983; u.a.) gehen wie die Gestaltpsychologen davon aus, daß die Wahrnehmungsorganisation nach einem Minimum strebt (Hatfield & Epstein, 1985). Anders als im gestalttheoretischen Ansatz versuchen sie jedoch eine formale Beschreibung zu entwickeln, die es gestattet, unter allen möglichen Strukturierungen eine Minimalstruktur zu bestimmen. Das Vorgehen läßt sich wie folgt beschreiben: Eine Reizkonfiguration wird als eine aus elementaren Einheiten (Linien, Winkel, Bögen) bestehende Kontur betrachtet. Um die Figur zu kodieren, werden die zu unterscheidenden Elementareinheiten ihrer Kontur, von einer Stelle ausgehend und in einer Richtung voranschreitend, linear aneinandergereiht. Es entsteht eine Sequenz elementarer Kodierungselemente. Diese Sequenz wird der *Primitivcode* der Figur genannt. Das weitere Vorgehen ist darauf gerichtet, Regelmäßigkeiten im Primitivcode zu entdecken.

Bezeichnen wir der Einfachheit halber die Kodierungselemente mit Buchstaben, 'a' etwa für eine Linie bestimmter Länge und 'b' für einen rechten Winkel. Die Sequenz 'abababab' kodiert dann ein Quadrat. In ihr wiederholt sich vier mal das Paar 'ab', so daß die Sequenz bei Anwendung eines Wiederholungsoperators auch als  $W4(ab)$  dargestellt werden kann. Eine Sequenz wie 'abcba' kann durch Anwendung eines Symmetrieoperators als  $SYM(abc)$  beschrieben werden. In einer Sequenz wie 'cabdabeabfabg' ist die Teilsequenz 'ab' mehrere Male an unterschiedlicher Stelle enthalten, was durch einen Verteilungsoperator beschrieben werden kann:  $VERT(ab) < (c)(d)(e)(f)(g) >$  usw. Durch Anwendung solcher "Verkürzungsoperatoren" kann also die Länge des Primitivcodes und damit der Aufwand zur Beschreibung der Figur reduziert werden.



Die Vorgehensweise bedingt, daß Primitivcodes auf unterschiedliche Weise reduziert werden können. Wird etwa in einer Sequenz wie 'aabccbaabc' die Symmetrie betont, entstehen Strukturen wie SYM(aabc)(bc). Anstelle der Symmetrie kann auch die Wiederholung von Elementen oder die Verteilung von Teilfolgen betont werden. Dann entstehen Strukturen wie W2(a)(b)W2(c)(b)W2(a)(bc) oder VERT(aa) <(bccb)(bc)>. Oder, wenn Symmetrien und Wiederholungen gemeinsam berücksichtigt werden, entsteht eine Struktur wie W2(a)SYM(bc)W2(a)(bc). Jede dieser Strukturierungen zerlegt die Konfiguration in andere Teile. Es wird nun angenommen, daß von allen möglichen diejenige Struktur wahrgenommen wird, die mit dem geringsten Aufwand, d.h. mit der kleinsten Anzahl von Strukturelementen, beschrieben werden kann. Diese Kodierung wird *Minimalcode* genannt. Durch die Bestimmung des Minimalcodes von Konfigurationen sollte also vorausgesagt werden können, welche Strukturierungen bevorzugt gesehen werden.

Solche Vorhersagen sind empirisch überprüft worden. Es konnte u.a. gezeigt werden, daß erstens Urteile über visuelle Komplexität, zweitens Interpretationen komplexer Muster, drittens die Art der Ergänzung unvollständiger Muster, viertens die Stärke subjektiver Konturen und schließlich fünftens das Entstehen von Kippfiguren den theoretischen Vorhersagen weitgehend entsprechen (vgl. Buffart, Leeuwenberg & Restle, 1981; Leeuwenberg, 1971; Leeuwenberg & Buffart, 1983).

Der wesentliche Beitrag der strukturellen Informationstheorie besteht in der Erarbeitung einer formalen Definition für das, was im gestalttheoretischen Ansatz "prägnante Form" genannt wurde. Der Minimalcode ermöglicht es, die "natürlichen" Gliederungen visueller Konfigurationen aus einer formalisierten Theorie abzuleiten. Damit wird allerdings wiederum nicht erklärt, wie die Wahrnehmung diese Strukturen erzeugt: "It is important to emphasize that structural information theory is not a theory about the perceptual process" (Leeuwenberg & Buffart, 1983, S.44).

## Recognition by components

Biederman (1987) hat ein Modell der Objekterkennung entwickelt, das explizit von den Teilen ausgeht, aus denen die Objekte bestehen (Recognition by components). Wie aber kommt das visuelle System zur Identifikation der Teile noch bevor das Objekt bestimmt ist, das sie konstituieren? Bei der Beantwortung dieser für seinen Ansatz ja grundlegenden Frage beruft sich Biederman auf das sogenannte "Likelihood" Prinzip, das auf Überlegungen von Helmholtz (1910) zurückgeführt wird. Danach "schlußfolgert" das visuelle System aus den vorliegenden Reizwirkungen auf diejenigen Gegebenheiten, die mit größter Wahrscheinlichkeit die nämlichen Reizmerkmale erzeugt haben könnten (vgl. auch Brunswik, 1956; Gregory, 1974; Hochberg, 1978, 1981; Klix, 1962).

Für die hier interessierende Wahrnehmung von Teilstrukturen ist vermutlich die von Hoffman und Richards (1984) so genannte Transversalität (*transversality*) ein wichtiges Merkmal. Hoffman und Richards zeigen, daß die äußere Kontur eines Objektes an den Stellen, an denen Teile zusammengefügt sind, stets konkave Diskontinuitäten aufweist, d.h. Spitzen oder Scheitelpunkte (*cusps*), die in die Konfiguration gerichtet sind. Diese Gesetzmäßigkeit, so vermuten sie, führt in der Wahrnehmung dazu, daß Konturen an Stellen konkaver Diskontinuitäten zerlegt werden. Konkave Diskontinuitäten stellen danach ein Merkmal dar, das dort wo es auftritt, zur spontanen Gliederung einer Kontur führt, weil es darauf "schließen" läßt, daß an dieser Stelle zwei Teile zusammengefügt sind.

Nach der Zerlegung der Konturen ist der nächste Schritt nach Biederman darauf gerichtet, die Körperformen der separierten Teile zu identifizieren. Auch hier werden nicht-zufällige (*nonaccidental*) Merkmale verwertet, die auf entsprechende Formeigenschaften verweisen. So lassen etwa gerade Linien auf gerade und gekrümmte Linien auf gekrümmte Körper schließen. Symmetrien in den Konturen verweisen auf symmetrische Körper. Parallel verlaufende Linien lassen auf parallel verlaufende Kanten schließen usw. (vgl. Lowe, 1987; Witkin & Tenenbaum, 1983). Aus der Kombination solcher Merkmale leitet Biederman 36 elementare Körperformen (*Geons*, für *geometrical ions*) ab. Jedem Teil wird nun die Körperform zugeordnet, die der Kombination seiner Merkmale entspricht.

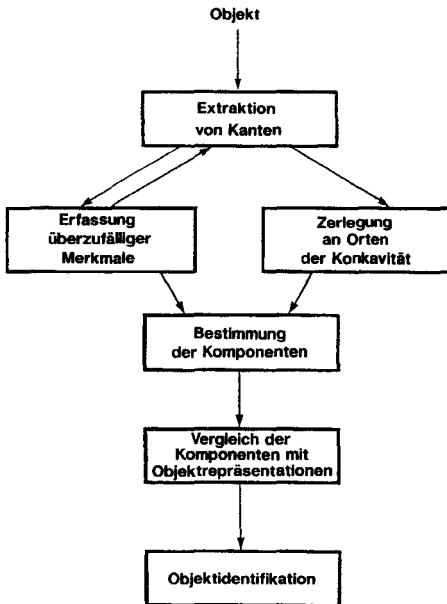


Abbildung 8.5.: Die einzelnen Schritte der visuellen Identifikation eines Objektes nach der "Recognition by components theory" von Biederman (1989).

Welches Objekt vorliegt, wird im weiteren Verlauf durch die zwischen seinen Teilen (Geons) bestehenden Relationen bestimmt. Vier verschiedene Relationen (zwischen

jeweils zwei Geonen) werden diskutiert: Erstens die relative Größe der Geone im Vergleich, zweitens ihre relative Anordnung zueinander (z.B. vertikal vs. horizontal), drittens die Art ihrer Verbindung untereinander und schließlich viertens den jeweils relativen Ort ihrer Verbindung. Die Identität des Objektes erschließt sich dem Wahrnehmenden im Resultat eines Vergleichs (matching) der wahrgenommenen Geonenstruktur mit gespeicherten Strukturen für Tausende von (Basis)Begriffen (vgl. Abb. 8.5.).

Biederman kann zur Unterstützung seiner "recognition by components theory" auf eine Reihe von experimentellen Beobachtungen verweisen. So wird gezeigt, daß Objekte auch dann noch identifiziert werden können, wenn Details weggelassen werden. Dies wird als Unterstützung für die These interpretiert, daß Identifikationen auf der Wahrnehmung einiger weniger Komponenten (Geons) beruhen (vgl. Abb. 8.6.).

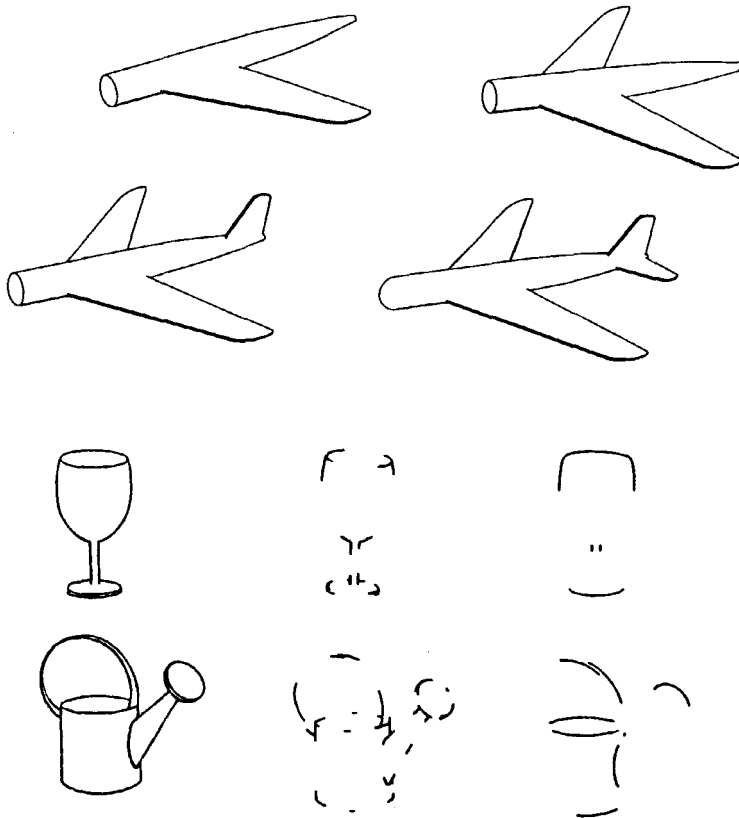


Abbildung 8.6.: Wieviel Details kann man weglassen um ein Flugzeug noch identifizieren zu können? Durch welche Konturauslassungen wird die Identifikation des Weinglases und der Gießkanne stärker gestört? Nur bei den mittleren Figuren bleibt die Identifikation nicht-zufälliger Merkmale erhalten. Versuchsmaterial aus Untersuchungen von Biederman (1989).

In anderen Experimenten wurden Teile der Kontur weggelassen. Einmal betraf es Konturelemente, die die Identifizierbarkeit nicht-zufälliger Merkmale verhinderten, während das andere Mal deren Identifizierbarkeit gewährleistet blieb (vgl. Abb. 8.6.). Nur im ersten Fall ist die Identifikation gestört, was die Vermutung unterstützt, daß sie auf den nicht-zufälligen Merkmalen der Kontur aufbaut. Es wurde weiterhin gezeigt, daß die Darbietung von Objekten als Strichzeichnung oder als Farbfoto ihre Identifizierbarkeit nicht beeinflußt (Biederman & Ju, 1988; vgl. auch Hoffmann, Zießler, Grosser & Kämpf, 1985). Dies unterstützt die Auffassung, nach der es Kontureigenschaften (nicht die Farbe) sind, auf denen die Identifikationen aufbauen (vgl. jedoch Zimmer, 1984 für die Rolle der Farbe bei der Klassifikation von Blumen durch Floristen, sowie Zimmer & Biegelmann, 1990b).

Nach den Überlegungen Biedermans gliedert sich eine visuelle Reizkonfiguration deshalb in natürliche Teile, weil uns elementare Merkmale diejenigen (Teil)Körper wahrnehmen lassen, die wahrscheinlich (nicht-zufällig) die gegebenen Reizstrukturen veranlaßt haben. Die Wahrnehmung ist also auf die Identifikation von Körpern gerichtet und nicht das Resultat autonomen Strebens nach einer minimalen psychophysischen Repräsentation oder Kodierung. Die Überlegungen sind allerdings an vielen Stellen noch ungenau. Es wird bspw. nur darauf verwiesen, daß die Transversalität ein geeignetes Merkmal für die Zerlegung einer Kontur ist, der Prozeß der Zerlegung (parsing) wird jedoch nicht beschrieben. Auch die vier Relationen, die zwischen Geonen betrachtet werden, sind vermutlich nicht ausreichend. Es werden auch keine Angaben zur Organisation des Vergleichs der Geonenstruktur mit den im Gedächtnis gespeicherten Objektrepräsentationen gemacht.

Vor allem aber wird nicht spezifiziert, wie das visuelle System bestimmt, welche der Konturelemente jeweils zu einem Geon und welche der Geone jeweils zu einem Objekt gehören. Nur, wenn dies festgelegt ist, können die Relationen (Parallelität, Symmetrie usw.) zwischen den "richtigen" Konturelementen zur Identifikation der Geone und die Relationen zwischen den "richtigen" Geonen zur Identifikation der Objekte verwertet werden. Bei sich überschneidenden Konturen ist aber keineswegs eindeutig bestimmt, welche Elemente zu jeweils welchen Einheiten gehören. Unter diesen gewöhnlichen Wahrnehmungsbedingungen müßte das visuelle System also bereits "wissen" welche Geone und welche Objekte zu identifizieren sind, um die Teile bestimmen zu können, anhand derer sie erst identifiziert werden können. Wir begegnen hier erneut dem bereits im Zusammenhang mit der Begriffsbildung besprochenen Paradoxon, daß das Objekt bereits identifiziert sein muß, um die Merkmale bestimmen zu können, anhand derer es zu identifizieren ist.

## Resümee

Die besprochenen Ansätze erfassen zwar einen großen Teil der Phänomene visueller Strukturbildungen, sie liefern jedoch keine befriedigende Beschreibung der ihnen zugrunde liegenden Prozesse. Die gestaltpsychologischen Überlegungen beruhen auf der Annahme, daß die visuellen Strukturen Produkt der Selbstorganisation psychophysischer Prozesse sind. Die Prozesse der Selbstorganisation aber werden ebensowenig spezifiziert, wie die Frage behandelt wird, wie denn die Übereinstimmung der phänomenalen mit den tatsächlich gegebenen Strukturen hergestellt und aufrecht erhalten wird. Die strukturelle Informationstheorie präzisiert die gestaltpsychologischen Überlegungen, indem sie eine formale Beschreibung visueller Strukturen entwickelt. Sie präzisiert aber wiederum nicht die Prozesse, die zu ihrer Herausbildung führen. Erst die "recognition by components" Theorie beschreibt die zur Strukturierung führenden Prozesse als schrittweise Verwertung nicht-zufälliger Merkmale, insbesondere von Relationen zwischen Teilen (Konturelemente und Geone), um die Ganzheiten (Geone und Objekte) zu bestimmen, die sie jeweils konstituieren. Dies setzt allerdings voraus, daß die zu identifizierenden Ganzheiten eindeutig separiert sind, damit die Relationen zwischen den jeweils "richtigen" Teilen bestimmt werden können. Unter natürlichen Bedingungen ist diese Voraussetzung jedoch kaum gegeben. Im Ganzen also sind die behandelten Überlegungen noch unbefriedigend. Ich werde im folgenden wieder eine Betrachtungsweise vorschlagen, die von der Funktion der Teile für die Steuerung objektbezogenen Verhaltens ausgeht.

## Die Determination von Teilen eines Objektes durch das Verhalten

In aller Regel sind es die Teile der Objekte, die die Art unseres Umgangs mit ihnen bestimmen. Um mit einem Messer etwas zu zerschneiden, müssen wir es am Griff und nicht an der Klinge fassen; um aus einer Tasse zu trinken, sollte sie am Henkel ergriffen, und um eine Tür zu öffnen, muß ihre Klinke niedergedrückt werden usw. Die manipulative Verwendung der Objekte, ihre Einbeziehung in die verschiedensten Tätigkeiten, praktisch jeder Umgang mit ihnen, erfordert die Identifikation derjenigen Teile, an denen unsere Aktionen jeweils anzugreifen haben. Was an einem Objekt als Teil zu gelten hat, wird nach diesen Überlegungen durch die Tatsache bestimmt, daß wir uns verschiedenen "Bereichen" eines Objektes gegenüber unterschiedlich zu verhalten haben, oder daß wir sie auf verschiedene Weise in unser Verhalten einbeziehen müssen, wenn wir erfolgreich sein wollen.

Nach den Überlegungen einer antizipativen Verhaltenssteuerung definieren die Verhaltenszwänge nicht nur, was als Teil zu gelten hat, sondern sie veranlassen zugleich die Wahrnehmung, nach Möglichkeiten zu suchen, die verhaltensrelevanten

Bereiche eines Objektes zuverlässig voneinander zu unterscheiden. Dort, wo Unterschiede in den Verhaltenskonsequenzen eine Unterscheidung verhaltensleitender Reizstrukturen erfordern, sucht eine antizipative Verhaltenssteuerung nach Merkmalen, die verlässlich mit den Verhaltenskonsequenzen kovariieren. Können solche Merkmale gefunden werden, dann werden nicht nur die Antizipationen immer stärker an sie gebunden, sondern sie bestimmen auch zunehmend die Wahrnehmung der jeweiligen Reizstrukturen. Die Anwendung dieses allgemeinen Prinzips auf die Differenzierung der Objektwahrnehmung führt dazu, daß die Wahrnehmung von solchen Merkmalen (mit)bestimmt wird, die es erlauben, zwischen Bereichen eines Objektes mit unterschiedlicher Verhaltensrelevanz sicher zu unterscheiden.

Manche dieser Merkmale, wie etwa die Transversalität können dabei so konsistent zur Differenzierung von Teilen hervorgehoben werden, daß sie bereits dort Teile "sehen" lassen, wo deren Verhaltensbezug noch gar nicht erfahren worden ist. Nach diesen Überlegungen "schlußfolgert" die Wahrnehmung nicht aus der Existenz von Transversalitäten auf die Existenz von Teilen, sondern sie antizipiert Unterschiede in Verhaltenskonsequenzen für die durch Transversalitäten getrennten Bereiche, weil in der Vergangenheit solche Unterschiede konsistent erlebt wurden. Die Strukturierung der gesehenen Welt, so kann man unsere Auffassung vielleicht zusammenfassen, dient grundsätzlich der Differenzierung von Ausgangsbedingungen zur sicheren Prädiktion von Verhaltenskonsequenzen. Da das Verhalten nur dann erfolgreich sein kann, wenn die Objekte auch in die Teile strukturiert wahrgenommen werden, aus denen sie tatsächlich bestehen, wird die Angemessenheit der Struktur der gesehenen Welt durch den Erfolg des Verhaltens, das auf dieser Struktur beruht, kontinuierlich überprüft.

Die Identität eines Objektes ergibt sich, so hatten wir bereits argumentiert, nicht allein aus seinen Teilen sondern erst aus deren Konfiguration. Ein Rumpf, vier "Säulen", ein Kopf, zwei Stoßzähne und ein Rüssel machen halt noch keinen Elefanten, wenn sie nicht in der für einen Elefanten spezifischen Weise strukturiert sind. Erst durch ihre relative räumliche Anordnung wird aus einer Menge von Teilen ein Objekt. Die Stabilität dieser Anordnungen erleichtert, wie wir bereits im sechsten und siebten Kapitel besprochen haben, die egozentrische Lokation der Teile. Wenn innerhalb einer Gesamtkonfiguration die relativen Lokationen von Teilen konstant bleiben, dann erleichtert dies ihre Ortung und Wahrnehmung an den ihnen erfahrungsgemäß zukommenden Orten. Wir sehen jetzt, daß damit auch der Umgang mit den Objekten erleichtert wird, der ja voraussetzt, daß wir den Ort und die Eigenschaften der Teile bestimmen, an denen unser Verhalten angreifen muß. Ich werden im folgenden begründen, daß dieser Zusammenhang vermutlich auch die bevorzugte Identifikation von Basisbegriffen wenigstens unterstützt, wenn nicht sogar konstituiert.

### 8.3. Die Ursachen der Effektivität von Basisidentifikationen

Wir haben bereits im vorangegangenen Kapitel diskutiert, daß Erscheinungen bevorzugt auf dem Niveau der Basisbegriffe identifiziert werden. Die Reizkonfiguration in Abbildung 8.7. wird, um an eines der verwendeten Beispiele zu erinnern, schneller als Vogel, denn als Meise oder Tier identifiziert. Wir haben weiter darauf hingewiesen, daß die Ursachen für die Bevorzugung der Basisidentifikationen nicht allein in der Merkmalsverteilung liegen, sondern daß auch die Qualität der begriffsbestimmenden Merkmale berücksichtigt werden muß. Basisbegriffe zeichnen sich vor allem dadurch aus, daß die zu ihnen gehörenden Objekte wenigstens mehrheitlich durch gemeinsame globale Merkmale charakterisiert werden können. Dieser Feststellung entspricht ein Phänomen, das in der Wahrnehmungsforschung als "Dominanz globaler Merkmale" (global superiority, global precedence) bezeichnet wird.

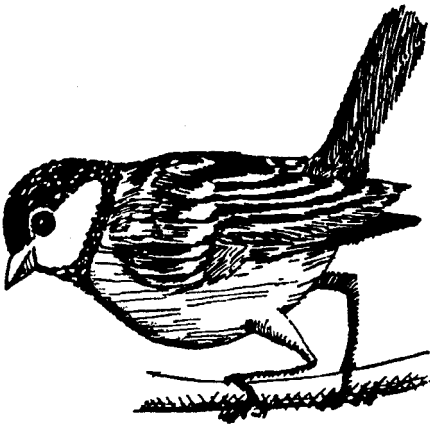


Abbildung 8.7.: Eine Meise und ein Tier, aber vor allem ein Vogel.

#### Die Dominanz globaler Merkmale

Die Dominanz globaler gegenüber lokalen Reizwirkungen ist vielfach demonstriert worden. Pomerantz, Sager und Stoeber (1977) ließen ihre Pbn bspw. zwischen einem Pfeil und einem Dreieck bzw. zwischen einer positiv und einer negativ geneigten Diagonale unterscheiden (vgl. Abb.8.8.a). Pfeil und Dreieck werden schneller unterschieden als die beiden Diagonalen, obwohl sie sich in genau nichts anderem unterscheiden, als eben in der Lage der Diagonale. Ein Unterschied im Detail wird also schneller erkannt, wenn er zu einem Unterschied in einer globalen Form führt, als wenn er isoliert wahrgenommen wird (vgl. auch Pomerantz, 1983; Wandmacher & Arend, 1985). Navon (1977, 1981b) hat die in Abbildung 8.8.b dargestellten Reize verwendet.

Es sind sogenannte globale Buchstaben, die durch eine entsprechende Anordnung von lokalen Buchstaben gebildet sind. Er kann zeigen, daß Identifikationen der globalen Buchstaben von der Identität der lokalen Buchstaben, aus denen sie bestehen, unabhängig sind, während Identifikationen der lokalen Buchstaben durch die Identität des globalen Buchstaben, von dem sie ein Teil sind, beeinflußt werden. Globale Buchstaben können also ohne Berücksichtigung der lokalen Buchstaben identifiziert werden, während die lokalen Buchstaben nicht identifiziert werden können, ohne den globalen Buchstaben zu berücksichtigen. Die Abbildung 8.8.c zeigt schließlich Material, das von Hoffmann und Ziebler (1986) verwendet wurde. Es handelt sich um global unterschiedliche Umrisse, in die "Einschnitte" unterschiedlicher Größe als lokale Details "eingearbeitet" sind. Auch hier werden Unterschiede der globalen Form schneller registriert als Unterschiede in der Form der Einschnitte (Hoffmann & Ziebler, 1986; Ziebler & Hoffmann, 1987).

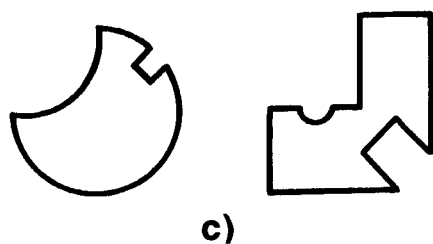
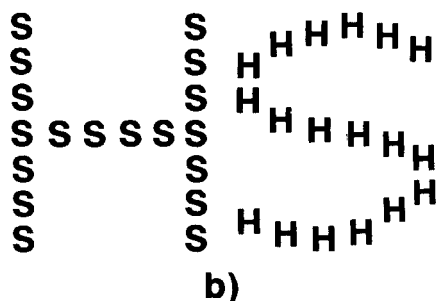
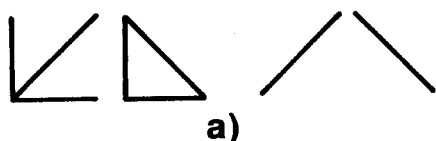


Abbildung 8.8.: Versuchsmaterialien zur Untersuchung der Dominanz globaler Merkmale in der visuellen Wahrnehmung.

Der "Globalitätseffekt" wird allerdings durch eine Reihe von Faktoren modifiziert. Dies ist insbesondere an den globalen Buchstaben demonstriert worden: Der Effekt



verschwindet, wenn die globalen Buchstaben aus nur wenigen lokalen Buchstaben gebildet werden (Martin, 1979); er kehrt sich um, wenn der Blickwinkel, unter dem die globalen Buchstaben betrachtet werden, ungefähr 7 Grad überschreitet (Kinchla & Wolfe, 1979), und er ist abhängig von der Diskriminierbarkeit der Buchstaben auf der globalen und der lokalen Ebene (Hoffman, 1980). Im Vergleich zu einer fest vorgegebenen Darbietungsposition verstärkt sich der Globalitätseffekt, wenn die Darbietungsorte variiert werden (Pomerantz, 1983), und er hängt schließlich davon ab, ob die Aufmerksamkeit der Pbn auf die globalen oder die lokalen Merkmale gelenkt wird (Boer & Keuss, 1982; Kinchla, Solis-Macias & Hoffman, 1983; Miller, 1981a,b; Wandmacher & Arend, 1985; Ward, 1982).

Die Beeinflussbarkeit des Globalitätseffektes läßt verschiedene Vermutungen über seine Ursachen zu. Globale Merkmale dominieren, so läßt sich argumentieren, weil sie großräumiger, leichter unterscheidbar, visuell auffälliger oder schneller zu lokalisieren sind als lokale Merkmale (vgl. Navon, 1981a). Unabhängig davon, welche dieser Ursachen in welchem Umfang für die beobachteten Phänomene verantwortlich zu machen sind; sie alle tragen dazu bei, daß Informationen über globale Eigenschaften eher zur Verfügung stehen, als Informationen über Details (vgl. für ausführlichere Diskussionen Hoffmann, im Druck a).

### **Die Dominanz globaler Merkmale und Basisbegriffe**

Die bevorzugte Identifikation der Basisbegriffe kann nach den eben diskutierten Zusammenhängen als Ausdruck der schnellen Verarbeitung der ihre Identität bestimmenden globalen Merkmale verstanden werden. Die Basisidentität eines Objektes wird deshalb besonders schnell realisiert, so kann man vermuten, weil die als erste verfügbaren globalen Merkmale keine andere begriffliche Identität erkennen lassen. Ein von diesem Zusammenhang ausgehendes Modell ist von Hoffmann und seinen Mitarbeitern entwickelt und in zahlreichen Experimenten überprüft worden (Hoffmann, 1982; Hoffmann, Zießler & Grosser, 1984; Hoffmann, 1986). Die wesentlichen Annahmen werden in Abbildung 8.9. veranschaulicht:

Die von einem Objekt (z.B. Meise) ausgehenden visuellen Wirkungen werden kontinuierlich für eine immer genauere Bestimmung seiner begrifflichen Identität genutzt. Die früh verfügbaren globalen Merkmale erlauben seine Zuordnung zunächst nur zu einer Kategorie, die (wenn es sie gibt) durch globale Merkmale gekennzeichnet ist, eben zum Basisbegriff (VOGEL). Eine Identifikation auf einem spezielleren Niveau (MEISE) erfordert die zusätzliche Verarbeitung von Merkmalen oder Details an bestimmten Stellen (etwa die Form des Schnabels oder die besondere Färbung der Kopffedern). Die Zuordnung zu einem übergeordneten Begriff (TIER) ist dagegen nicht

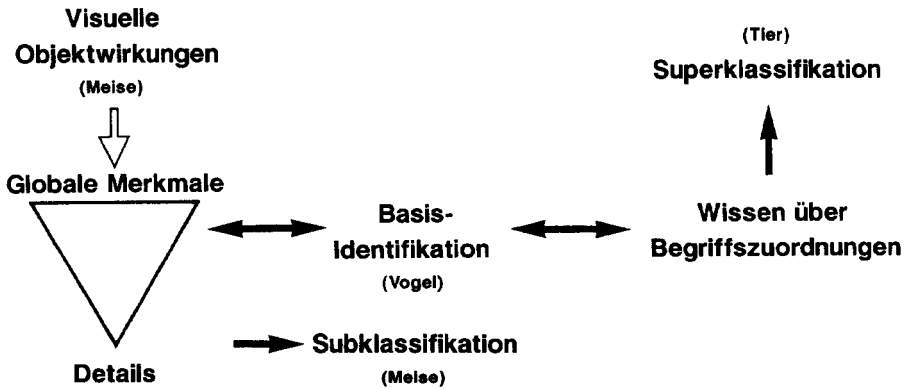


Abbildung 8.9.: Ein Modell der visuellen Identifikation begrifflicher Einheiten.

von der Verarbeitung weiterer Merkmale abhängig, sondern vom Wissen über die begriffliche Zugehörigkeit des identifizierten Basisbegriffes zu übergeordneten Kategorien.

Die in Abbildung 8.9. veranschaulichten Zusammenhänge konnten in vielen Experimenten bestätigt werden, von denen hier nur einige Erwähnung finden sollen (vgl. zusammenfassend Hoffmann, 1986). Verlangt man bspw. die Zuordnung eines tachistoskopisch nur für wenige Millisekunden gezeigten Objektes zu einem Basis- oder zu einem übergeordneten Begriff und fordert die Pbn nach einer korrekten Zuordnung auf, das gesehene Objekt nachträglich zu spezifizieren (z.B. "Ja, das war ein Baum/Tier, können sie auch sagen, was für ein Baum/Tier es war?"), dann gelingen Spezifizierungen übergeordneter Begriffe (TIER) unabhängig von der Darbietungszeit fast immer. Korrekte Spezifizierungen von Basisbegriffen (BAUM) nehmen dagegen erst mit längerer Darbietungszeit langsam zu (Hoffmann, 1982). Das Resultat entspricht der Annahme, daß für die Zuordnung nur zu einem übergeordneten aber nicht zu einem Basisbegriff die Identifikation des Objektes auf der untergeordneten Ebene Voraussetzung ist.

In einer anderen Untersuchung (Hoffmann, et al., 1984) wurde gezeigt, daß ein verbales Training von untypischen Zuordnungen (z.B. eine Eibe ist ein Baum, ein Pilz ist eine Pflanze, usw.) lediglich Objektzuordnungen zu übergeordneten (PFLANZE) aber nicht zu Basisbegriffen (BAUM) beschleunigt. Diese Beobachtung entspricht der Annahme, daß nur bei Zuordnungen zu übergeordneten Begriffen explizites (sprachgebundenes) Wissen über begriffliche Zuordnungen eine Rolle spielt

In Studien mit künstlichen Begriffshierarchien über geometrischen Figuren (Hoffmann & Zießler, 1983; Hoffmann & Zießler, 1986; Hoffmann & Grosser, 1986) wurde gezeigt, daß die Charakteristik einer Figurenmenge allein durch globale

Merkmale ausreicht, um Phänomene der Basisidentifikation beobachten zu können (vgl. auch Murphy & Smith, 1982). Zusätzlich wurde gezeigt, daß sich die Phänomene auch nur dann einstellen, wenn die entsprechende Objektmenge durch ein globales aber nicht, wenn sie unter sonst identischen Bedingungen durch ein lokales Merkmal charakterisiert ist (Hoffmann & Grosser, 1986; Hoffmann, Grosser & Klein, 1987; Zimmer & Biegelmann, 1990a,b). Ein gemeinsames globales Merkmal scheint also sowohl notwendig als auch hinreichend zu sein, um für eine Menge funktional äquivalenter Objekte den Status eines Basisbegriffes feststellen zu können.

### Globale Merkmale als verhaltensrelevante Bezugssysteme

Im vorangegangenen Kapitel haben wir die besondere Rolle der globalen Merkmale für die Herausbildung der Basisbegriffe mit dem Hinweis begründet, daß sie fixationsunabhängig sind und damit stets gesehen werden. Sie bieten die besten Voraussetzungen, als Invariante abstrahiert zu werden. Ich werde jetzt argumentieren, daß globale Merkmale den weiteren Vorteil bieten, die Lokation der sie konstituierenden Teile in idealer Weise zu unterstützen.

Identifikationen unterhalb des Niveaus der Basisbegriffe verlangen in aller Regel die Überprüfung von Detailmerkmalen. Wenn wir bspw. einen Baum genauer klassifizieren wollen, dann haben wir die Art der Baumrinde oder die Form der Blätter zu berücksichtigen, genauso wie wir, um etwa eine Meise zu erkennen, auf die Färbung der Halsfedern oder die besondere Form des Schnabels zu achten haben usw. Diese Details verlangen zumeist ihre Fixation, um wahrgenommen zu werden. Sie verlangen also ihre egozentrische Lokation (vgl. Kapitel 6). Im vorigen Abschnitt habe ich deutlich gemacht, daß auch der Umgang mit Objekten die Lokation ihrer Teile erfordert. Um eine Tür zu öffnen, muß ihre Klinke und um eine Tasse zu ergreifen ihr Henkel lokalisiert werden usw. Kurzum, sowohl der Umgang mit den Objekten als auch ihre genauere Identifikation verlangen beide gleichermaßen die egozentrische Lokation der sie konstituierenden Teile.

Die egozentrische Lokation von Teilen, das wissen wir bereits aus vorangegangenen Diskussionen, kann erheblich erleichtert werden, wenn ihre *relativen* Lokationen invariant sind, so daß sie antizipiert werden können. Die relative Lokation bspw. des Stammes im Kontext der Erscheinung eines Baumes ist nun in der Tat weitgehend invariant, ebenso wie die Lokation des Schnabels am Kopf eines Vogels oder die der Klinke an einer Tür usw. Es gilt eben fast immer, daß bestimmte Teile an bestimmten Orten der Gesamterscheinung eines Objektes zuverlässig zu finden sind. Wenn diese Zusammenhänge für die Lokation der Teile genutzt werden sollen, dann *muß* der Gesamterscheinung eines Objektes seinen Teilen gegenüber Priorität eingeräumt werden, denn erst sie definiert den Rahmen, auf den sich deren Lokationen beziehen. Globale

Merkmale werden nach diesen Überlegungen nicht einfach nur deshalb für die Charakteristik von Begriffen bevorzugt, weil sie fixationsunabhängig wahrgenommen werden. Sie liefern vielmehr die für die Lokation spezifischer Teile notwendigen *Bezugssysteme*.

Es ergibt sich, daß Basisbegriffe nicht allein äquivalente Ausgangsbedingungen für die Realisierung häufig verfolgter Handlungsziele sondern zugleich ideale Ausgangsbedingungen für die Lokation von Details repräsentieren. Ihre begriffliche Identität realisiert sich sowohl im erfolgreichen Vollzug der intendierten Handlung wie in der erfolgreichen Lokation der Details durch deren Fixation. Weil wir an bestimmten (relativen) Stellen einer gegebenen Reizkonfiguration bspw. einen Stamm, Äste und Blätter wahrnehmen, identifizieren wir sie als Baum. Ein Objekt oder eine Erscheinung, so kann man vermuten, erhält seine begriffliche Identität durch die Bestätigung der antizipierten Lokationen seiner Details und umgekehrt erhalten die Details ihre Identität dadurch, daß an den jeweiligen (relativen) Orten die antizipierten Reizwirkungen auch gesehen werden. Das Ganze und seine Teile sind durch die Invarianz ihrer räumlichen Anordnung aufeinander bezogen. Wir sehen jetzt, daß die im sechsten Kapitel besprochene Sensibilität des visuellen Systems für Kovariationen zwischen spezifischen Reizwirkungen und ihren relativen Lokationen Ausdruck eines Vorgangs ist, der auch der Differenzierung von begrifflichen Einheiten dient.

### **Das Modell der Objektidentifikation von Kosslyn und Mitarbeitern**

Kosslyn, Flynn, Amsterdam und Wang (1990) haben erst kürzlich ein Modell zur Objektidentifikation vorgestellt, das unsere Überlegungen weitgehend unterstützt. Die Abb. 8.10. vermittelt einen Überblick über die Hauptkomponenten des Modells.

Es werden zwei Repräsentationen visueller Informationen unterschieden, ein visueller Pufferspeicher und ein assoziatives Gedächtnis. Im visuellen "Puffer" werden die retinalen Reizwirkungen in Form elementarer Merkmale repräsentiert. Das assoziative Gedächtnis enthält dagegen amodale Beschreibungen visueller Konfigurationen von Objekten in Verbindung mit weiteren Kenntnissen etwa über den Namen, die Verwendung oder über andere nicht wahrnehmbare Merkmale. Die Aufgabe der visuellen Verarbeitung besteht in einer Zuordnung der im visuellen "Puffer" vorliegenden Reizbeschreibungen zu den im assoziativen Gedächtnis gespeicherten Objekten. Zur Struktur der Verarbeitungsprozesse werden drei grundlegende Annahmen gemacht: (1) Von den im "Puffer" vorliegenden Reizbeschreibungen kann in jedem Moment immer nur ein Teil genutzt werden. Welcher Teil dies ist, wird durch ein "Aufmerksamkeitsfenster" bestimmt. (2) Informationen über die Lage von Reizwirkungen und über ihre Qualität werden getrennt verarbeitet. (3) Aktivierungen im

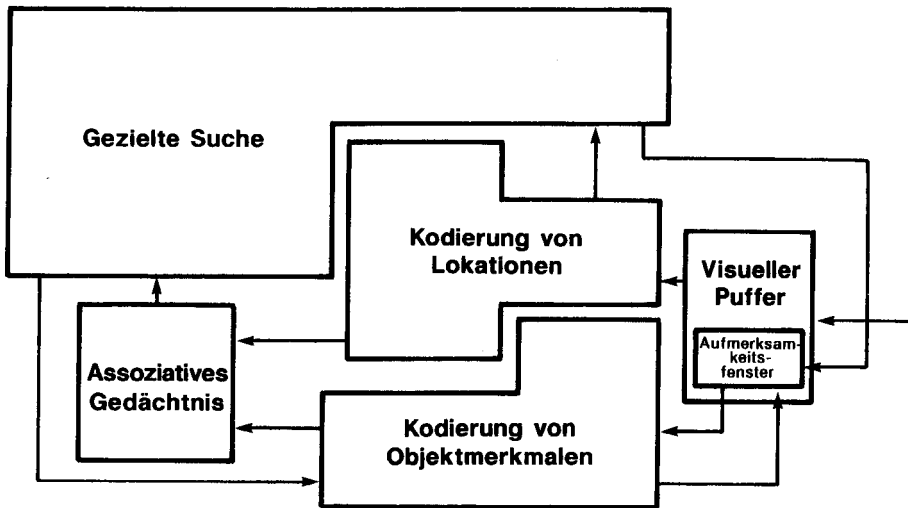


Abbildung 8.10.: Die Grundkomponenten der visuellen Identifikation von Objekten nach Kosslyn, et al. (1990).

assoziatives Gedächtnis können auf die Aktivierungsprozesse in zweifacher Weise zurückwirken (Gezielte Suche). Sie können einmal das Aufmerksamkeitsfenster veranlassen, Reizgegebenheiten eines bestimmten Ortes (oder einer bestimmten Auflösung) auszuwählen (Wo?), und sie können zum zweiten Erwartungen für bestimmte Reizqualitäten (Was?) auslösen und damit die Wahrnehmung dieser Reize erleichtern.

Die Identifikation eines Objektes beinhaltet nach den Vorstellungen von Kosslyn et al. die folgenden Stufen: Die durch das Aufmerksamkeitsfenster selektierten Reizgegebenheiten werden einer Vorverarbeitung unterworfen, in der eine erste Beschreibung in Form einer groben Konfiguration nicht-zufälliger Merkmale (pattern) erarbeitet wird. Entspricht dieses "pattern" einem der im Gedächtnis gespeicherten Objektmuster hinreichend, wird das entsprechende Objekt unmittelbar identifiziert. Ansonsten wird im Sinne einer Hypothese dasjenige Objekt im assoziativen Gedächtnis aktiviert, dessen Form (shape) der vorliegenden Reizkonfiguration (pattern mit weiteren Merkmalen angereichert) am besten entspricht. Die mit dem "vermuteten" Objekt assoziierten Informationen über Teile oder Details an bestimmten Stellen werden nun schrittweise getestet. Das Aufmerksamkeitsfenster wird auf die betreffenden Stellen gerichtet und es wird geprüft, ob die dort gegebenen Reize die erwarteten Eigenschaften aufweisen. Die in solchen Prüfschritten gewonnene Evidenz wird akkumuliert. Wird ein Grenzwert überschritten, wird das Objekt identifiziert. Wird ein anderer Grenzwert unterschritten, wird ein anderes Objekt vermutet und der Prüfprozeß beginnt erneut (vgl. auch

Hoffmann, 1986a). Die hier nur grob gekennzeichneten Prozesse werden detailliert beschrieben und mit zahlreichen unterstützenden Befunden aus der Neurophysiologie und Neuropathologie des visuellen Systems in Beziehung gebracht. Dies kann hier nicht dargestellt werden. Ich will lediglich hervorheben, welche unserer Überlegungen durch Annahmen des Modells unterstützt werden.

Die Identifikation von Objekten wird grundsätzlich als ein sequentieller Prozeß verstanden, der von einer groben (globalen) Beschreibung der Reizwirkungen ausgeht und zu einer immer detaillierteren Erfassung ihrer Eigenschaften führt. So wie die repräsentierte Form (shape) eines Objektes die Ableitung von Hypothesen über Details an bestimmten Stellen erlaubt, so erlauben nach unseren Vorstellungen globale Merkmale einer Reizkonfiguration die Antizipation der Wahrnehmbarkeit von Details an bestimmten Stellen. So, wie das Aufmerksamkeitsfenster zu bestimmten Stellen gelenkt und gleichzeitig bestimmte Merkmale "geprimt" werden, so wird nach unseren Überlegungen der Blick zu bestimmten Stellen mit Antizipationen der dort erfahrungsgemäß zu erwartenden Reize verbunden. Und so, wie sich die Identität eines Objektes aus der Akkumulation von Evidenzen ergibt, so realisiert sich nach unseren Vorstellungen die Identität einer Reizkonfiguration durch die aktive Herstellung der antizipierten Reizwirkungen.

Nach den Überlegungen von Kosslyn et al. beruht die Suche nach definierenden Objektmerkmalen auf entsprechendem Wissen im assoziativen Gedächtnis. Wie dieses Wissen erworben, überprüft und ständig erweitert wird, bleibt unerörtert. Es wird einfach angenommen, daß es existiert. Unsere Überlegungen lassen dagegen den Aufbau solchen Wissens als das Resultat eines Lernvorganges verstehen, der versucht, Ausgangsbedingungen zu differenzieren, unter denen bestimmte Verhaltensweisen zu antizipierbaren Konsequenzen führen. Globale Reizkonfigurationen werden als äquivalente Ausgangssituationen sowohl für objektbezogene Handlungen als auch für Blickbewegungen gelernt, mit denen foveale Reizwirkungen auf vorhersagbare Weise hergestellt werden können. Aus dieser Sichtweise ist es vielleicht angemessener, zu formulieren, daß Objekte eine Identität besitzen, nicht, weil sie bestimmte Merkmale aufweisen, sondern weil sie es erlauben, Reizwirkungen gezielt herzustellen (vgl. auch Wolff, 1985, 1986).

## **Resümee**

Beim Sehen einer Erscheinung erkennen wir am schnellsten ihre Basisidentität und mit ihr auch die Gliederung in ihre Teile. Beide Erkenntnisleistungen sind weitgehend unabhängig von der Perspektive, aus der wir die Erscheinung betrachten. Nach den traditionellen Überlegungen der Informationsübertragung sind alle drei Phänomene Ausdruck der Verarbeitung von entsprechenden Informationen, die in den retinalen

Reizwirkungen enthalten sind. Es muß also Reizanteile geben, die die Basisidentität einer Konfiguration und ihre Gliederung in Teile unabhängig von der Betrachtungsperspektive abzuleiten gestatten. Solche "nicht-zufälligen" Reizanteile lassen sich in der Tat ausmachen und es sind Verarbeitungsmechanismen spezifiziert worden, die es erlauben, die Identität und die Teile eines Objektes aus solchen nicht-zufälligen Reizanteilen zu rekonstruieren. Warum aber ist das visuelle System so organisiert, daß es aus den retinalen Reizen dreidimensionale, in Teile gegliederte Körper rekonstruiert? Warum wird bspw. die Wahrnehmung von Konturen durch deren "Transversalitäten" so bestimmt, daß unmittelbar der Eindruck eines in Teile gegliederten Ganzen entsteht? Und wie gewährleistet schließlich die Wahrnehmung, daß die von ihr rekonstruierten Strukturen den tatsächlichen Verhältnissen entsprechen? Nach traditioneller Sichtweise rekonstruiert die visuelle Wahrnehmung deshalb die Eigenschaften der Umwelt (der Informationsquelle) aus den "nicht-zufälligen" Reizen, weil dies ihre Funktion ist. Wie aber im Resultat phylogenetischer und/oder ontogenetischer Lernprozesse die Wahrnehmungsmechanismen dazu befähigt werden, diese Funktion so trefflich zu erfüllen, bleibt unbeantwortet.

Nach unseren Überlegungen lassen sich die Phänomene der Objektidentifikation vollständiger verstehen, wenn man auch sie als Ausdruck der Einbindung der visuellen Wahrnehmung in die Verhaltenssteuerung interpretiert. Danach kommt der Wahrnehmung die Aufgabe zu, für Klassen äquivalenter Reizbedingungen die Eigenschaften zu bestimmen, die es gestatten, die Konsequenzen des eigenen Handelns verlässlich zu antizipieren. Dies können nur Eigenschaften sein, die bei allen äquivalenten Reizbedingungen im Idealfall invariant gegeben sind, oder doch wenigstens häufig vorkommen. Durch ihre häufige oder konsistente Bekräftigung werden die Antizipationen immer stärker an diese Eigenschaften gebunden und sie werden zugleich immer häufiger als geeignete Ausgangsbedingungen antizipiert, wenn ein mit ihnen verbundenes Verhaltensziel angestrebt wird. Es sind dann diese invarianten Eigenschaften, die immer stärker die Wahrnehmung bestimmen, weil ihre "Verwendung" kontinuierlich bekräftigt wird.

Eine antizipative Verhaltenssteuerung führt also zwangsläufig zur spontanen Wahrnehmung von begrifflichen Identitäten, weil die Begriffe die Äquivalenzklassen sind, die es für eine erfolgreiche Verhaltenssteuerung zu unterscheiden gilt. Sie führt gleichzeitig zu einer bevorzugten Wahrnehmung von Basisidentitäten, weil die Basisidentitäten die am häufigsten beanspruchten Äquivalenzklassen repräsentieren. Ebenso wird sie Reizwirkungen von Objekten bevorzugen, die weitgehend invariant gegenüber der Betrachtungsperspektive bleiben, weil sich mit der Betrachtungsperspektive die Verwendung eines Objektes in der Regel nicht ändert. Eine antizipative Verhaltenssteuerung wird weiterhin die Wirkung von Merkmalen unterstützen, die mit der Gliederung von Objekten in verschiedene Teile kovariieren, weil die einzelnen Teile eine unterschiedliche Handhabung verlangen und deshalb unterschieden werden müssen.

Schließlich wird sie auch die Wirkung von globalen Eigenschaften fördern, weil allein auf ihrer Grundlage die egozentrische Lokation der verhaltensrelevanten Teile erleichtert werden kann.

Die Tatsache, daß im Chaos der auf uns einwirkenden visuellen Reize kaum etwas so verläßlich ist, wie die relative Lokation von Teilen innerhalb ihrer natürlichen Konfigurationen, ist vielleicht die unsere Wahrnehmung am nachdrücklichsten bestimmende Eigenschaft der Umwelt. Unser visuelles Wahrnehmungssystem ist durch die Augenbewegungen mit eigenen Verhaltensmöglichkeiten ausgestattet. Ein so aktiv bewegliches Wahrnehmungssystem *muß* im Rahmen einer antizipativen Steuerung seiner Aktivitäten der Konstanz der relativen Lokation von Teilen "erliegen", weil nichts anderes geeigneter ist, die Vorhersagbarkeit fovealer Konsequenzen von Augenbewegungen zu stabilisieren. Vielleicht ist die Beweglichkeit unseres visuellen Systems sogar Ausdruck einer phylogenetischen Anpassung seiner Struktur an diese außerordentliche Konstanz relativer Lokationen. In jedem Fall aber ist die Möglichkeit, den Fokus einer fovealen Abbildung willkürlich verlagern zu können, der Konstanz relativer Lokationen ideal angepaßt. Die retinalen Gesamtkonfigurationen entsprechen den globalen Erscheinungen, die fovealen Reizwirkungen entsprechen lokalen Details, und die Möglichkeit, zu antizipieren, an welchen Stellen welche fovealen Reizwirkungen *erzeugt* werden können, entspricht der Konstanz ihrer relativen Lokationen. Man könnte auch sagen: Die visuelle Wahrnehmung vermittelt vor allem deshalb die begriffliche Identität von Erscheinungen weil es sich um Ausgangsbedingungen handelt, die die gezielte Herstellbarkeit von Reizwirkungen garantieren und sei es "nur" durch einen Blickwechsel.



## **Kapitel 9: Mechanismen der Verhaltensvorbereitung**

In den vorangegangenen Kapiteln wurde diskutiert, inwieweit Eigenschaften der Reizverarbeitung aus ihrer Einbeziehung in die Steuerung und Kontrolle erfolgreichen Verhaltens abgeleitet werden können. Die beiden folgenden Kapiteln sind nun den Prozessen der Verhaltenssteuerung selbst gewidmet. Im vorliegenden Kapitel werden zunächst Mechanismen der Verhaltensvorbereitung diskutiert. Ich werde der Frage nachgehen, was es eigentlich heißt, auf die Ausführung eines bestimmten Verhaltens vorbereitet zu sein. Das 10te Kapitel beschäftigt sich dann mit Mechanismen der Strukturierung von Verhaltensfolgen. Damit verlassen wir durchaus nicht die thematische Orientierung dieses Buches auf Erkenntnisprozesse. Erkenntnis manifestiert sich nicht allein in der Art, wie wir unsere Umwelt wahrnehmen, sondern auch in der Art, wie wir uns in ihr verhalten.

### **Verhaltensvorbereitung und die Methode der Vorinformation**

In unserem alltäglichen Verhalten reagieren wir zumeist prompt und ohne weiteres Nachdenken auf ständig wechselnde Reize mit angemessenem Verhalten. Wenn wir eine Straße überqueren, dann umgehen wir geschickt den Verkehr. In der U-Bahn Station beachten wir die Anzeigen, um in den richtigen Zug zu steigen. Im Institut begegnen wir mit freundlichem Gruß den Kolleginnen und Kollegen, und im Büro wird die Post gesichtet, das Telefon bedient, und es werden tausend andere Handlungen mit zumeist schlafwandlerischer Sicherheit getätigt. Diese Sicherheit unseres Verhaltens erscheint uns wenig erstaunlich. Wir verrichten diese Dinge ja Tag für Tag in zwar nicht immer derselben aber doch in hinreichend ähnlicher Weise unter hinreichend ähnlichen Umständen, so daß wir es gewohnt sind, sie zu tun. Wenn wir eine Straße überqueren, dann erwarten wir, daß es gilt, auf den Verkehr zu achten. Wenn wir in den Zug steigen, wissen wir, daß man sich vergewissern muß, wohin er fährt, und natürlich sind wir darauf eingestellt, im Institut zu grüßen. Im sich wiederholenden Strom der Ereignisse eilt unsere Bereitschaft, das Gewohnte zu tun, den Ereignissen praktisch voraus, so daß wir ihnen, wenn sie dann eintreten, unmittelbar begegnen können. Wir bewegen uns, so kann man vermuten, in vertrauten Umgebungen deshalb mit so schlafwandlerischer Sicherheit, weil wir in den meisten Fällen schon bereit sind, das jeweils angemessene Verhalten zu realisieren, noch bevor die es erfordernden Situationen vorliegen.

Die den Gegebenheiten vorausseilende Verhaltensbereitschaft hat verschiedene Ursachen. Zum einen folgen wir einfach festen Gewohnheiten. Ich gehe gewöhnlich nach dem Aufstehen zunächst ins Bad, putze mir die Zähne, rasiere mich und dusche danach. Vor dem Ankleiden gehe ich in die Küche und setze die Kaffeemaschine in Gang usw. Solche ritualisierten Verhaltensfolgen erlauben es, immer schon vor auszusehen, was als nächstes zu tun sein wird und lassen uns darauf vorbereitet sein, noch ehe es getan werden muß. Man könnte diese Form der Verhaltensvorbereitung als gewohnheitsmäßige Bereitschaft beschreiben. Neben die gewohnheitsmäßige tritt die vorsätzliche Bereitschaft. Wir nehmen uns etwa am Morgen vor, einen Brief in den Postkasten zu werfen, einen Termin abzusprechen und Theaterkarten für das Wochenende zu bestellen. Mit solchen Vornahmen stellen wir uns darauf ein, bereiten wir uns darauf vor, das Gewollte auch tatsächlich zu tun.

Natürlich reagieren wir auch auf unerwartete Ereignisse zumeist ohne Schwierigkeiten; wenigstens dann, wenn es sich um im Prinzip vertraute Anforderungen handelt. Unser Verhalten geht in solchen Fällen allerdings nicht ganz so reibungslos und selbstverständlich vonstatten. Es bedarf immer erst einer gewissen Umorientierung, bevor wir in dem neu aufgezwungenen Verhaltensstrom wieder sicher "schwimmen". Auf Verhaltensanforderungen vorbereitet zu sein, egal aus welchem Grund, erleichtert uns also ihre Bewältigung. Jedoch, was heißt es, für die Ausführung eines Verhaltensaktes bereit zu sein? Welche Prozesse liegen der Verhaltensbereitschaft zugrunde? Welche Komponenten werden wie vorbereitet und welche Auswirkungen hat die Bereitschaft auf die Verhaltensausführung?

Nach den traditionellen Überlegungen der kognitiven Psychologie wird die Auswahl des in einer Situation zu realisierenden Verhaltens durch die von der Situation gelieferten Informationen bestimmt. Danach gilt es, zunächst die Situation anhand ihrer Reizwirkungen zu identifizieren, um dann den ihr entsprechenden Verhaltensakt auszuwählen und zu aktivieren. Diese Vorgänge können in sogenannten Wahlreaktionsexperimenten untersucht werden. Unterschiedlichen Reizen sind verschiedene Reaktionen fest zugeordnet. Auf die Darbietung eines der Reize ist die ihm zugeordnete Reaktion so schnell wie möglich auszuführen. Die Aufgabe verlangt die Identifikation des Reizes sowie die Auswahl und Aktivierung der ihm zugeordneten Reaktion. Wird den Pbn nun bereits vor der Darbietung des Reaktionssignals ein Hinweis darauf gegeben, aus welcher Teilmenge die nächste Reaktion gefordert werden wird, dann können sie sich auf Reaktionen dieser Teilmenge vorbereiten, noch bevor die auszuführende Reaktion bestimmt ist. Führt die Vorinformation zu einer verbesserten, etwa schnelleren Reaktion, dann kann dies als ein Effekt der Reaktionsvorbereitung interpretiert werden. Mit dieser *Vorinformationsmethode* (pre-cuing method, Rosenbaum 1980, 1983) können also Reaktionsvorbereitungseffekte (response preparation effects) in Abhängigkeit von der Art der Vorinformation systematisch untersucht werden.

Im Vergleich zu Verhaltensbereitschaften im Alltag, werden mit der Vorinformationsmethode nur sehr einfache Verhaltensvorbereitungen erfaßt. Die Methode kann gleichwohl als geeignetes Instrument zur Untersuchung verhaltensvorbereitender Prozesse insofern verteidigt werden, als ihre Bedingungen mit denen alltäglicher Verhaltensvorbereitungen wenigstens im Prinzip vergleichbar sind. So wie im Alltag erfolgt die Vorbereitung auf einen zunächst nur allgemein charakterisierten Verhaltensakt. Und so wie im Alltag die konkrete Situation, so spezifiziert nun das Reaktionssignal das tatsächlich auszuführende Verhalten. Der Vorteil der Methode besteht darin, daß durch die Manipulation der Vorinformation verschiedene Aspekte des zu realisierenden Verhaltens gezielt vorbereitbar gemacht werden können. Anhand der eintretenden Effekte kann dann geprüft werden, inwieweit sie tatsächlich vorbereitet wurden.

### **Die Vorbereitung motorischer Parameter**

Rosenbaum (1980, 1983) berichtet über Experimente, in denen die Pbn u.a. mit der rechten oder linken Hand Zielbewegungen zu nahen oder entfernten Targets (runde Zielpunkte) ausführen sollten, die, von den Startpositionen aus gesehen, entweder distal oder proximal lokalisiert waren. Es gab also acht Reaktionen, die sich hinsichtlich der ausführenden Hand (links/rechts), hinsichtlich der Bewegungsrichtung (distal/proximal) und hinsichtlich der Bewegungsweite (nah/fern) voneinander unterschieden. Die Targets hatten unterschiedliche Farben. Als Reaktionssignal wurde ein farbiger Punkt verwendet. Die Farbe des Punktes bestimmte das Target gleicher Farbe, zu dem die Bewegung so schnell wie möglich ausgeführt werden sollte. Vor dem Reaktionssignal wurde eine Vorinformation gegeben, die in unterschiedlichem Umfang Eigenschaften der auszuführenden Reaktion vorinformierte. Die Pbn wußten schon im voraus, daß die nächstfolgende Reaktion bspw. mit der rechten Hand auszuführen sein wird, daß es sich um eine Bewegung in distale Richtung, oder um eine der rechten Hand zu einem nahe gelegenen Target handeln wird usw. Alle möglichen Varianten der Vorinformation wurden verwendet, von einem unspezifischen Achtung-Signal bis hin zur vollständigen Vorspezifikation der Reaktion. Die Abbildung 9.1. zeigt die mittleren Reaktionszeiten in Abhängigkeit von den jeweils vorinformierten Eigenschaften.

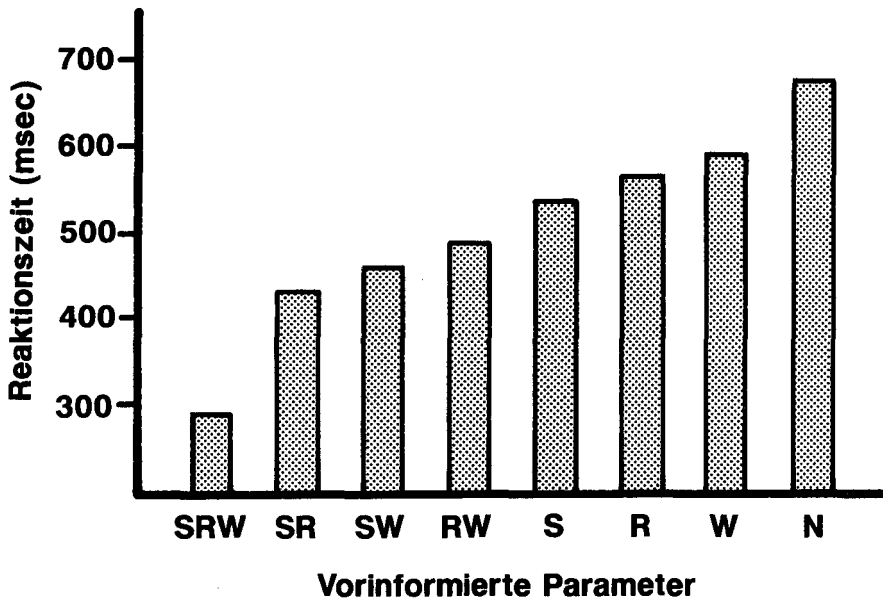


Abbildung 9.1.: Der Einfluß von Vorinformationen über die zu erwartende Reaktionsseite (S), die Reaktionsrichtung (R) und die Reaktionsweite (W) auf die Reaktionsgeschwindigkeit (nach Rosenbaum, 1983).

Die Daten besitzen interessante Eigenschaften, von denen drei hervorgehoben werden sollen (vgl. für ausführliche Diskussionen Rosenbaum, 1983): Es ist erstens festzustellen, daß im Vergleich zum unspezifischen Achtung-Signal alle Vorinformationen zu einer Reduktion der Reaktionszeiten führen. Die Vorbereitungseffekte fallen jedoch für die verschiedenen Vorinformationen unterschiedlich aus. Die Vorinformation über die Hand (S) führt etwa zu einer stärkeren Reaktionszeitverkürzung als die Vorinformation über die Bewegungsweite (W). Zweitens zeigen sich die Vorbereitungseffekte unabhängig von den jeweils sonst noch vorzubereitenden Eigenschaften. Die Vorinformation über die Hand führt bspw. zu einer Verkürzung der Reaktionszeiten um etwa 130 ms unabhängig davon, ob sie zusätzlich zur Bewegungsrichtung oder zur Bewegungsweite vorinformiert wurde. Schließlich verkürzen sich die Reaktionszeiten umso stärker, je mehr Eigenschaften vorinformiert sind, wobei sich die Effekte der einzelnen Informationen aufsummieren.

Rosenbaum spricht von den verschiedenen Reaktionseigenschaften im Sinne von motorischen Parametern (values) die vollständig spezifiziert werden müssen, bevor die Bewegung ausgeführt werden kann. Die Spezifikation der Parameter scheint nach den beeindruckend systematischen Ergebnissen sequentiell (Summationseffekt) und in beliebiger Reihenfolge (Unabhängigkeitseffekt) zu erfolgen. Je nach der gegebenen

Vorinformation werden einzelne Parameter (die vorinformierten) bereits vor, andere (die nicht vorinformierten) erst nach dem Reaktionssignal spezifiziert. Die Reaktionszeiten sind nach dieser Interpretation Ausdruck der Summe der nach dem Reaktionssignal noch verbleibenden Parameterspezifikationen. In verallgemeinerter Formulierung wird damit die Auffassung vertreten, daß die Vorbereitung eines Verhaltensaktes in einer Vorspezifikation (einiger) seiner motorischen Parameter besteht.

Die hier aus den Daten abgeleitete Erklärung der Vorbereitungseffekte durch die Vorspezifikation motorischer Parameter konnte allerdings in anderen Untersuchungen nicht bestätigt werden. Es zeigt sich vielmehr, daß die Vorbereitungseffekte nicht nur von Art und Anzahl der vorinformierten Parameter sondern auch von weiteren Faktoren abhängig sind. Goodman und Kelso (1980) realisierten bspw. gleiche Bedingungen wie in der eben geschilderten Versuchsanordnung. Sie verwendeten als Reaktionssignale lediglich keine farbigen Punkte, sondern Lampen, die in gleicher Weise angeordnet waren wie die Targets. Es sollte eine Bewegung zu jeweils dem Target ausgeführt werden, dessen Lage der Lage des Reaktionssignals entsprach. Die Vorinformation wurde jetzt durch eine gleichzeitige Markierung aller Positionen gegeben, an denen das ultimative Reaktionssignal auftreten konnte. Rosenbaum hatte dagegen Buchstaben, wie 'R' für Rechts, 'D' für Distal oder 'N' für Nah verwendet. Unter den neuen Bedingungen entspricht nun eine Markierung bspw. aller rechten Positionen der Vorinformation 'R' bei Rosenbaum. Durch beide Vorinformationen werden die gleichen Parameter vorbestimmt, dennoch ergeben sich unterschiedliche Ergebnisse. Die Vorinformationen gehen nun nicht mehr mit spezifischen Effekten einher. Die Reaktionszeiten fallen einfach umso kürzer aus, je weniger Reaktionsalternativen verbleiben. Damit wird eine allgemein bekannte Gesetzmäßigkeit reproduziert (Hick'sche Gesetz), aus der sich Vermutungen über Prozesse der motorischen Vorbereitung nicht mehr ableiten lassen. Da im Vergleich zur Untersuchung von Rosenbaum lediglich die Form der Reaktionssignale und die Form der Vermittlung der Vorinformation verändert wurden, kann man vermuten, daß die Reaktionsvorbereitung nicht nur motorische Parameter betrifft, sondern auch die Verarbeitung der reaktionsauslösenden Reizbedingungen irgendwie mit einbezieht.

In anderen Untersuchungen (z.B. Hoffmann & Ziebler, 1986; Ziebler & Hoffmann, 1987) wurden neben Hand- auch Fußreaktionen verlangt. Die Pbn sollten mit der/dem rechten oder linken Hand oder Fuß eine innere oder äußere Taste drücken. Es lassen sich auch hier drei Parameter unterscheiden: Hand oder Fuß, rechts oder links und Bewegung nach innen oder außen. Bei den Handreaktionen zeigten sich ähnlich wie bei Rosenbaum (1980) spezifische Vorbereitungseffekte, die jedoch bei den Fußreaktionen nicht auftreten. Die Spezifikation von Seite und Richtung der Bewegung führt bei Handreaktionen zu unterschiedlichen und bei Fußreaktionen zu gleichen Effekten. Es läßt sich schlußfolgern, daß es sich bei den verwendeten Parametern entweder nicht um abstrakte Einheiten handelt, die unabhängig vom konkret zu steuerndem Verhalten

vorspezifiziert werden, oder aber, daß die Parameter nicht unabhängig voneinander spezifiziert werden, wie es Rosenbaum angenommen hat.

Ergebnisse von Miller (1982) führen zu vergleichbaren Überlegungen. In seinen Untersuchungen hatten die Pbn mit dem Zeige- oder Mittelfinger der rechten oder linken Hand auf ein entsprechendes Signal hin so schnell wie möglich eine Taste zu drücken. Auch hier wurden Vorinformationen über drei Parameter gegeben. Es wurde entweder über die zu reagierende Hand (rechts/links), über den zu reagierenden Finger (Zeige-/Mittelfinger) oder über die Lage des zu reagierenden Fingers (rechte/linke Finger beider Hände) vorinformiert. Lediglich die Vorinformation über die Hand führte zu einem Effekt. Nach Miller deutet dieses Ergebnis darauf hin, daß Fingerreaktionen nicht vorbereitet werden können, solange nicht die Hand spezifiziert ist, mit der zu reagieren sein wird. Er vermutet also eine sequentielle Abhängigkeit in der Spezifikation von Fingerbewegungen, nach der erst die Hand festgelegt sein muß, bevor Fingerbewegungen dieser Hand vorbereitet werden können.

Diese "motorische" Interpretation wird durch Ergebnisse von Reeve und Proctor (1984) allerdings in Frage gestellt. In ihren Untersuchungen wurde bei sonst gleicher Versuchsanordnung die Zuordnung der Finger zu den Tasten variiert. In einer der Varianten waren die Tasten von links nach rechts mit dem Mittelfinger der linken Hand, dem Zeigefinger der rechten Hand, dem Zeigefinger der linken Hand und dem Mittelfinger der rechten Hand zu drücken. Die Zeigefinger beider Hände überkreuzen sich also. Wird unter diesen Bedingungen die Vorinformation gegeben, daß eine der beiden rechten oder linken Tasten gedrückt werden soll, dann wird damit nun über die Lage der Finger vorinformiert, die vorzubereiten sind: Die beiden linken Tasten sind bspw. mit den beiden linken Fingern beider Hände (Mittelfinger der linken Hand und Zeigefinger der rechten Hand) zu drücken. In den Untersuchungen von Miller entsprach die gleiche Vorinformation einer Spezifikation der Hand. Die Vorinformationseffekte sind jedoch unter beiden Bedingungen etwa gleich. Obwohl also bei Miller die Hand und bei Reeve und Proctor die Lage der zu reagierenden Finger vorzubereiten waren, ergeben sich gleiche Effekte. Die Reaktionsvorbereitung, so schlußfolgern Reeve und Proctor (1984), beruht nicht auf einer Spezifikation motorischer Parameter, sondern auf einer Vorbereitung der *reizgesteuerten* Wahl der Reaktion.

Reeve und Proctor (1984) haben weitere Ergebnisse berichtet, die an einem noch anderen Punkt eine Differenzierung der bisherigen Überlegungen erzwingen. In den erwähnten Untersuchungen von Miller (1982, 1983) wurde die Vorinformation maximal 1000 ms vor dem Reaktionssignal dargeboten. Die Pbn hatten also maximal 1 sec Zeit, um sich auf die vorinformierten Reaktionen vorzubereiten. Reeve und Proctor verlängerten die Vorbereitungszeit auf 3 sec und erhielten völlig andere Resultate. Während nach 1 sec allein Vorinformationen über die Hand zu Vorbereitungseffekten führen, werden nach 3 sec für alle drei Parameter (Hand, Finger und Seite) Vorbereitungseffekte gleicher Stärke beobachtet. Dieses Resultat (vgl. auch Ziebler &

Hoffmann, 1987) läßt vermuten, daß es sich bei der Reaktionsvorbereitung nicht um einen diskreten sondern um einen kontinuierlichen Vorgang handelt, bei dem Vorinformationen unterschiedlich schnell genutzt werden. Die Vorbereitung von Reaktionen einer Hand, so kann man argumentieren, gelingt schneller als die Vorbereitung von Fingerreaktionen beider Hände, so daß diese erst nach längerer Zeit zu Effekten führt. In weiteren Untersuchungen (Proctor & Reeve, 1988) konnte zusätzlich gezeigt werden, daß die bei kurzen Vorbereitungszeiten beobachteten Unterschiede nicht nur durch eine Verlängerung der Vorbereitungszeit sondern auch durch andauerndes Training eliminiert werden können.

Wir wollen an dieser Stelle die teilweise sehr lebhaft geführte Diskussion über Resultate der Vorinformationemethode nicht weiter verfolgen (vgl. Cauraugh & Horrell, 1989; Heuer, 1987, 1988; Miller, 1983, 1985; Proctor & Reeve, 1985, 1986; Reeve & Proctor, 1985; Rosenbaum, Barnes & Slotka, 1988). Es soll lediglich festgehalten werden, daß die Abhängigkeit der Vorinformationseffekte von den verschiedenen Versuchsbedingungen mit der an den Anfang gestellten Interpretation nur schwer vereinbar ist. Die beobachteten Effekte lassen sich offensichtlich nicht allein auf die Vorspezifikation motorischer Parameter zurückführen.

### **Die Schematheorie von R.A. Schmidt**

Die Konzentration der erwähnten Untersuchungen auf die Frage der Vorbereitbarkeit *motorischer* Parameter, ist insofern erstaunlich, als bereits zur Zeit ihrer Durchführung eine Theorie vorlag, nach der die Steuerung eines Verhaltensaktes wesentlich mehr Komponenten enthält, als die Spezifizierung motorischer Parameter - die sogenannte Schematheorie von R.A. Schmidt (1975). Die Schematheorie ist der Versuch einer Antwort auf die Frage, wie Mechanismen der Verhaltenssteuerung so ausgebildet werden, daß sie auch unter veränderten Bedingungen den Verhaltenserfolg sichern. Wie kommt es, daß Verhaltensakte, wie etwa das Ergreifen eines Gegenstandes, das Umgehen eines Hindernisses, das Öffnen einer Tür usw. auch unter Bedingungen komplikationslos ausgeführt werden, die zuvor noch nie angetroffen wurden? Offensichtlich haben sich Kontrollstrukturen ausgebildet, die es erlauben, die Verhaltensaussführung an neue Bedingungen anzupassen, sofern diese in den "Bereich" der zuvor gemachten Erfahrungen fallen. Es ist eine Art flexibles Verhaltensschema entstanden, das an unterschiedliche Bedingungen angepaßt werden kann. Die Schematheorie macht Annahmen über die Prozesse, die der Ausbildung solcher generalisierten Verhaltensschemata zugrunde liegen (Schmidt, 1975, 1982, 1988).

Die Schematheorie wurde vor dem Hintergrund der Literatur zum Erlernen zielgerichteter linearer Bewegungen entwickelt (z.B. Adams, 1971). Es wird

angenommen, daß bei der Ausführung einer solchen Bewegung jeweils vier Informationen gespeichert werden: Erstens, die gegebenen Ausgangsbedingungen, zweitens, die motorischen Spezifikationen der ausgeführten Bewegung, drittens, die propriozeptiv und exterozeptiv erfahrenen Konsequenzen der Bewegungsausführung und schließlich viertens, ob die Bewegung das angestrebte Ziel erreicht oder verfehlt hat (knowledge of result). Wenn diese Informationen für eine Reihe einzelner Bewegungen gesammelt worden sind, setzen, so wird weiter vermutet, nicht näher beschriebene Prozesse ein, die verallgemeinerbare Relationen aus der gegebenen Informationsmenge extrahieren. Es geht dabei erstens um Relationen zwischen dem Erfolg der Bewegung und den motorischen Spezifikationen unter verschiedenen Ausgangsbedingungen, also um die Frage, unter welchen Bedingungen welche Bewegungen ausgeführt werden müssen, um ein bestimmtes Ziel zu erreichen. Das Resultat dieser Abstraktion wird das *Recall-schema* genannt. Es wird zweitens nach Relationen zwischen dem Erfolg der Bewegung und den unter verschiedenen Ausgangsbedingungen erlebten proprio- und exterozeptiven Wahrnehmungen gesucht. Das Resultat dieser Abstraktion wird das *Recognitionschema* genannt. Recall- und Recognitionschema bilden zusammen das Verhaltensschema (motor-response-schema).

Die Abbildung 9.2. veranschaulicht die Steuerung eines Verhaltensaktes durch ein Verhaltensschema. Die Ausgangsbedingungen und das Verhaltensziel sind gegeben (Ausgangs- und Zielzustand). Auf der Grundlage des Recallschemas werden die motorischen Spezifikationen vorgenommen, die erfahrungsgemäß unter den gegebenen Ausgangsbedingungen eine Erreichung des Ziels gewährleisten. Für neue zuvor noch nicht erlebte Ausgangsbedingungen werden die motorischen Spezifikationen durch *Interpolation* aus dem Recallschema abgeleitet. Gleichzeitig werden auf der Grundlage des Recognitionschemas die zu erwartenden proprio- und exterozeptiven Konsequenzen der Bewegungsausführung antizipiert und mit den tatsächlich eintretenden Konsequenzen verglichen. Bei Nichtübereinstimmungen werden entsprechende Fehler an das Schema rückgemeldet.

Die konzeptionelle Nähe der Schematheorie zu unseren Überlegungen einer antizipativen Verhaltenssteuerung liegt auf der Hand. Beide Überlegungen gehen davon aus, daß die Verhaltenssteuerung auf der Auswertung von Erfahrungen beruht, die festhalten, welche Verhaltensakte bei welchen Ausgangsbedingungen zu welchen Konsequenzen führen. Die Art der Erfahrungsbildung wird allerdings unterschiedlich konzipiert. Während nach den Annahmen der Schematheorie Erfahrungen über die motorischen Kommandos und über sensorische Konsequenzen getrennt voneinander abstrahiert werden, gehen unsere Vorstellungen davon aus, daß erst durch die Antizipation der sensorischen Konsequenzen die motorischen Kommandos festgelegt werden, die erfahrungsgemäß zu diesen Konsequenzen unter den gegebenen Bedingungen führen.



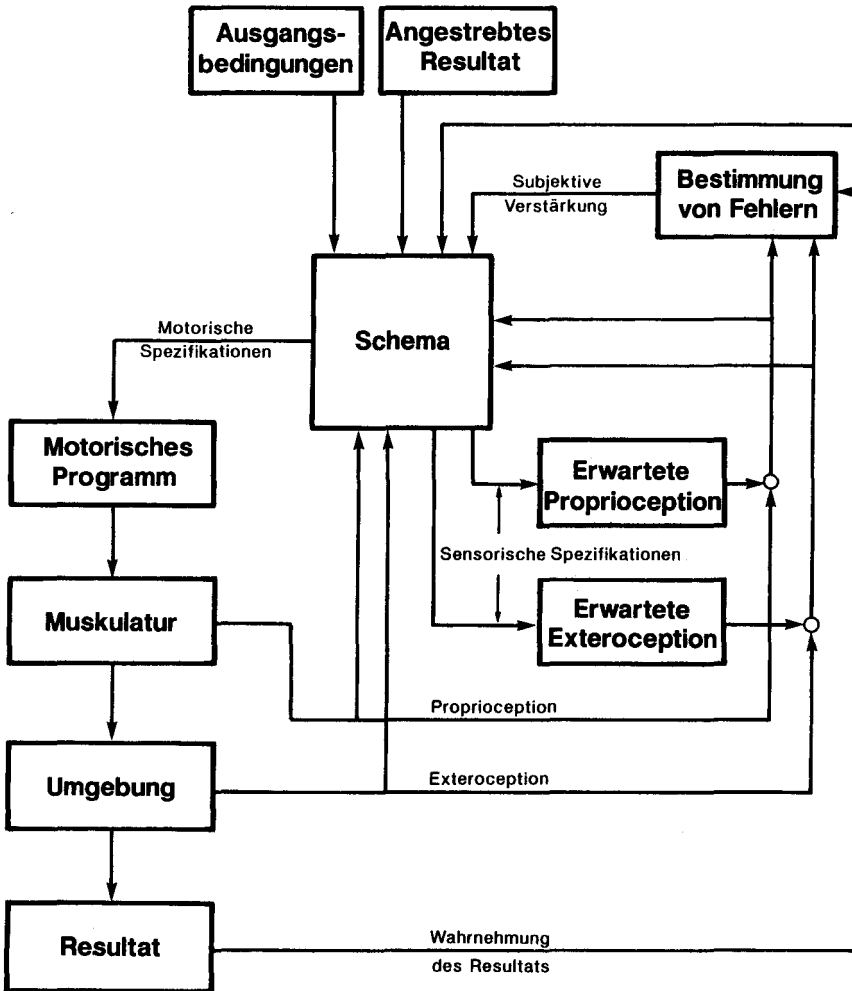


Abbildung 9.2.: Nach der Schematheorie von R.A. Schmidt (1975) spezifiziert bei einer Handlungsaufforderung das SCHEMA in Abhängigkeit von den gegebenen Bedingungen und dem angestrebten Resultat das motorische Programm der auszuführenden Bewegungen und die proprio- und exterozeptiven Reize, die mit der Bewegungsausführung erfahrungsgemäß zu erwarten sind.

Nach der Schematheorie kann bspw. motorisches Verhalten durch passive Wahrnehmungserfahrungen nicht verbessert werden. Wahrnehmungserfahrungen verändern lediglich das Recognition- aber nicht das Recallschema. Nach unserer Auffassung können dagegen auch passive Erfahrungen über die mit erfolgreichem Verhalten einhergehenden Wahrnehmungen zu Verhaltensverbesserungen führen, da sie die verhaltenssteuernden Antizipationen zu präzisieren vermögen. In der Tat diskutieren Shapiro und Schmidt (1982) einige Befunde, die darauf hindeuten, daß passive Wahrnehmungserfahrungen bereits zu einer Verbesserung aktiven Verhaltens führen

können, und auch die Erfolge, die mit mentalem Training erreicht werden (Heuer, 1985), unterstützen diesen Gedanken. Die Autoren räumen vor diesem Hintergrund ein, daß die in der Schematheorie angenommene Unabhängigkeit von Recall- und Recognitionsschema den tatsächlichen Verhältnissen möglicherweise nicht gerecht wird.

Ich werde den Vergleich der Schematheorie mit den Vorstellungen einer antizipativen Verhaltenskontrolle später wieder aufgreifen. Zunächst soll jedoch die Frage nach den Mechanismen der Verhaltensvorbereitung im Lichte der Schematheorie weiter diskutiert werden. Wenn wir bedenken, daß es sich in den Experimenten wie auch im Alltag um die Vorbereitung vertrauter Verhaltensakte handelt, dann kann davon ausgegangen werden, daß deren Ausführung durch etablierte Kontrollmechanismen, eben Schemata, gesteuert wird. Ihre Vorbereitung läßt sich also als vorbereitende Aktivierung des entsprechenden Schemas verstehen. Legen wir die Annahmen von Schmidt über die Struktur solcher Schemata zugrunde, ergeben sich folgende Teilprozesse einer Verhaltensvorbereitung: Die Erwartung von Ausgangsbedingungen, die Erwartung von sensorischen Konsequenzen und schließlich die Vorspezifikation motorischer Parameter. Neben einer motorischen Vorbereitung kommen also auch Antizipationen der das Verhalten begleitenden Wahrnehmungen, wenn man so will, sensorische Vorspezifikationen als Komponenten der Verhaltensvorbereitung in Betracht.

### **Die Vorbereitung auf zu erwartende Reaktionssignale**

Daß Vorinformationen in einem Wahlreaktionsexperiment nicht nur die Menge der zu erwartenden Reaktionen, sondern auch die Menge der zu erwartenden Reaktionssignale einschränken, ist offensichtlich. Es wurde daher bereits bei den ersten Anwendungen dieser Methode der Versuch unternommen, den Beitrag, den spezifische Reizerwartungen an den Vorinformationseffekten haben, abzuschätzen. Rosenbaum (1980) veränderte in einem Kontrollexperiment den Versuchsablauf bspw. dahingehend, daß die Pbn lediglich zu entscheiden hatten, ob das Reaktionssignal der angekündigten Vorinformation entsprach. Die Vorinformation spezifiziert hier also keine Reaktionen sondern lediglich eine Teilmenge von zu erwartenden Signalen. Vorbereitungseffekte können hier allein Effekte perceptiver Erwartungen sein. Da diese Effekte erstens geringer sind als die Reaktionsvorbereitungseffekte und auch Unterschiede in Abhängigkeit von der Art der Vorinformation nicht auftreten, wird argumentiert, daß es sich bei den oben beschriebenen Reaktionsvorbereitungseffekten in erster Linie um Effekte der motorischen Vorbereitung handelt (vgl. auch Rosenbaum, 1983).

Bei einer kritischen Wertung solcher Kontrollexperimente muß darauf hingewiesen werden, daß erstens durch die Veränderung der Aufgabe (Bewertung der Zugehörigkeit eines Reizes zu einer angekündigten Reizmenge anstatt Realisierung einer zugeordneten Reaktion) und zweitens durch die Tatsache, daß nun die Vorinformation durch den

nachfolgenden Reiz häufig nicht bestätigt wird, die Reizverarbeitung so modifiziert sein kann, daß sie mit der Verarbeitung im Wahlreaktionsexperiment nicht mehr vergleichbar ist. Die Ergebnisse der Kontrolleexperimente erlauben also keine zwingenden Rückschlüsse auf die Reizverarbeitung in den Reaktionsvorbereitungsexperimenten. Wir wollen uns aber an dieser Stelle nicht in methodenkritischen Diskussionen verlieren. Ich will vielmehr Beobachtungen berichten, die die Beteiligung von Erwartungen der Reaktionssignale an den Vorbereitungseffekten auf andere Weise unterstreichen.

Eine erste Überlegung, nach der Erwartungen des Reaktionssignals eine größere Bedeutung für die Reaktionsvorbereitung eingeräumt wird, ist die einer kontinuierlichen Umsetzung von Reizinformationen in motorische Kommandos (continuous flow of information). Nach dieser Überlegung sind Reizidentifikation und Initiierung einer zugeordneten Reaktion keine aufeinanderfolgenden (z.B. Sternberg, 1969) sondern vielmehr miteinander "verzahnte" Stufen eines Gesamtprozesses (z.B. Eriksen & Schultz, 1979; Meyer, Osman, Irwin & Kounios, 1988; Miller, 1982, 1983; Ratcliff, 1988; Ziebler & Hoffmann, 1985). Es muß nicht erst die Identität des Reizes bestimmt sein, bevor die ihm entsprechende Reaktion initiiert werden kann. Die Initiierung der Reaktion geht vielmehr mit der Verarbeitung des Reizes Hand in Hand. Sie wird in dem Maße vorangetrieben, wie Eigenschaften des Reizes erkannt werden, die eine Spezifizierung der zugeordneten Reaktion erlauben.

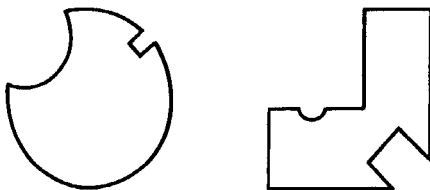
Zur Veranschaulichung dieses Gedankens wollen wir zunächst ein einfaches, später ein etwas komplexeres Beispiel betrachten. Wir hatten schon die Experimente von Miller (1982) erwähnt, in denen die Pbn mit den Zeige- und Mittelfingern der rechten und linken Hand auf entsprechende Reaktionssignale hin jeweils eine Taste zu drücken hatten. In einem der Experimente wurden als Reaktionssignale Buchstaben wie S, s, W und w verwendet, also zwei verschiedene Buchstaben in jeweils unterschiedlicher Größe. Variiert wurde die Zuordnung der Buchstaben zu den Reaktionen. Es wurden entweder gleiche Buchstaben (Ss-Ww) oder Buchstaben gleicher Größe (SW-sw) den Reaktionen gleicher Hände zugeordnet. In einer Kontrollbedingung entfielen auf die Reaktionen gleicher Hände unterschiedliche Buchstaben unterschiedlicher Größe (sW-Sw). Die schnellsten Reaktionen wurden realisiert, wenn durch den Buchstaben die Hand spezifiziert wurde (Ss-Ww). Die Reaktionszeiten der beiden anderen Bedingungen unterschieden sich nicht voneinander (vgl. auch Ziebler & Hoffmann, 1985).

Das Ergebnis wird von Miller im Sinne eines "impliziten" Vorbereitungseffektes interpretiert: Im Prozeß der Kodierung des Buchstabens erschließt sich dem Wahrnehmenden zunächst dessen Identität und erst später seine Größe. Wird nun durch die Identität die zu reagierende Hand spezifiziert, dann können die Reaktionen der dem Buchstaben entsprechenden Hand schon vorbereitet werden, noch bevor durch die nachfolgende Identifikation der Buchstabengröße der Finger spezifiziert ist, der zu reagieren hat. Dies führt, wie wir schon besprochen haben, zu größeren Vorbereitungs-

effekten als wenn Finger beider Hände vorsezifiziert werden. Miller nimmt also an, daß jede visuell kodierte Information unmittelbar für eine Vorbereitung von motorischen Parameter genutzt wird, noch ehe der Reiz insgesamt identifiziert ist. Die Information, so könnte man auch sagen, wird von der Wahrnehmung auf die Motorik *kaskadenförmig* übertragen (McClelland, 1979). Reizverarbeitung und Reaktionsvorbereitung werden einander überlappend teilweise gleichzeitig realisiert. Noch während der Verarbeitung des Reizes wird die Reaktion auf ihn schon vorbereitet.

Ich habe bereits darauf hingewiesen, daß durch die Experimente von Reeve und Proctor in Frage gestellt werden muß, ob es sich bei der Weitergabe sensorischer Codes tatsächlich um eine Vorbereitung motorischer Parameter handelt. Diesen Aspekt der Diskussion wollen wir hier jedoch nicht verfolgen (vgl. dazu de Jong, Wierda, Mulder & Mulder, 1988; Miller, 1985; Proctor & Reeve, 1985, 1986). Unabhängig davon, ob es sich um einen Effekt der motorischen Vorbereitung oder um einen Effekt der Zuordnung von Reaktionen zu Reizen handelt, das Resultat verweist darauf, daß Reizverarbeitung und Verhaltensaktivierung nicht voneinander unabhängige sondern aufeinander bezogene Prozesse sind, die damit auch in Wechselwirkung zueinander treten können.

Solche *Wechselwirkungen* sind mit den bislang beschriebenen Ergebnissen allerdings noch nicht gezeigt worden. Gezeigt ist lediglich, daß die Sequenz der Kodierung von Reizeigenschaften die Effektivität der zugeordneten Reaktionsvorbereitung beeinflusst, aber nicht, daß auch umgekehrt die geforderte Reaktionsspezifizierung die Kodierung von Reizeigenschaften quasi rückwirkend beeinflussen kann. In Experimenten von Ziebler und Hoffmann (1987) haben sich Hinweise auf solche rückwirkenden Einflüsse ergeben. Die Pbn hatten, wie bereits erwähnt, auf ein Reaktionssignal hin so schnell wie möglich mit der/dem rechten oder linken Hand oder Fuß eine innere oder äußere Taste zu drücken. Als Reaktionssignale wurden die in Abbildung 9.3. dargestellten Figuren verwendet.



*Abbildung 9.3.: Versuchsmaterial aus einer Untersuchung von Ziebler und Hoffmann (1987). Die Figuren unterscheiden sich in ihrer globalen Form sowie in der Form der großen und kleinen Aussparung.*

Diese Figuren unterscheiden sich in ihrer globalen Form, in der Form eines großen Ausschnittes und schließlich in der Form einer weiteren kleinen Aussparung, die jeweils rund oder eckig sein konnten. Den drei Parametern der Reaktionen (Hand/Fuß, rechts/links, innen/außen) stehen also drei Eigenschaften der Reaktionssignale gegenüber (globale Form, Form des großen und des kleinen Ausschnitts). Variiert wurde die Zuordnung der Reize zu den Reaktionen, wobei jeweils eine Eigenschaft der Reize einem Parameter der Reaktionen zugeordnet war und alle möglichen Zuordnungen realisiert wurden. Die kürzesten Reaktionszeiten ergaben sich, wenn die globale Form des Reizes dem Hand/Fuß Parameter, die Form des großen Ausschnitts der Reaktionsseite (rechts/links) und die Form des kleinen Ausschnitts der Reaktionsrichtung (innen/außen) zugeordnet waren (Serie ESP). Die längsten Reaktionszeiten wurden ermittelt, wenn zwischen Fuß und Hand anhand des kleinen Ausschnitts, zwischen rechts und links anhand des großen Ausschnitts und zwischen innen und außen anhand der globalen Form unterschieden wurde (Serie PSE, vgl. Abbildung 9.4.)

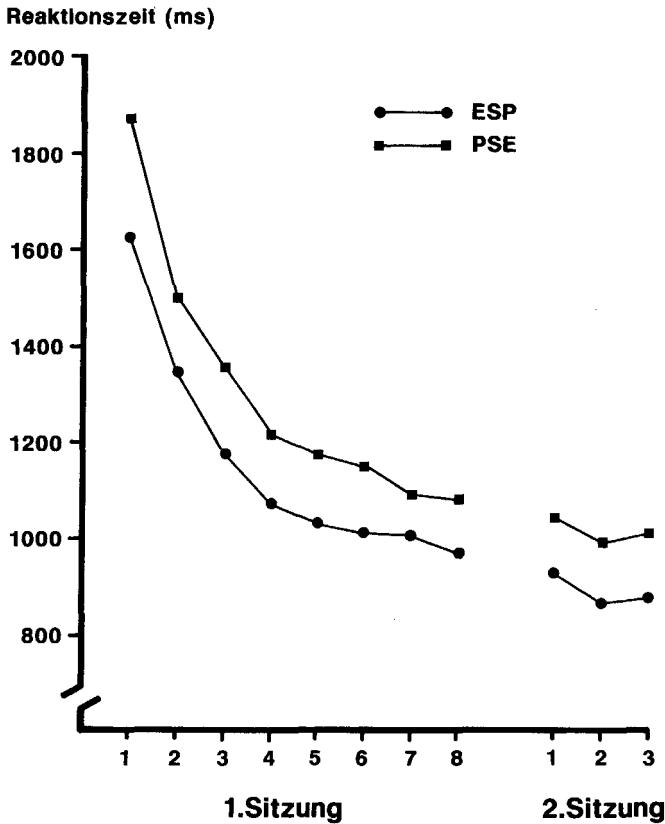


Abbildung 9.4.: Trainingsabhängige Reduktion von Reaktionszeiten in einem Wahlreaktionsexperiment von Ziefeler und Hoffmann (1987) bei unterschiedlichen Reiz-Reaktionszuordnungen.

Die Reaktionszeitunterschiede können vollständig auf die unterschiedliche Effektivität impliziter Reaktionsvorbereitungseffekte zurückgeführt werden. In unabhängigen Untersuchungen wurde erstens gezeigt, daß die Eigenschaften des Reaktionssignals in der Reihenfolge globale Form, Form des großen Ausschnitts und Form des kleinen Ausschnitts kodiert werden. Es konnte zweitens gezeigt werden, daß die Vorbereitungseffekte für den Hand-Fußparameter über denen für die Reaktionsseite und diese wiederum über denen für die Bewegungsrichtung liegen. Die Effektivität der verschiedenen Reiz-Reaktionszuordnungen ergibt sich nach diesen Ergebnissen aus der Effektivität der noch während der Reizverarbeitung einsetzenden Reaktionsvorbereitung (vgl. für genaue Berechnungen Zießler & Hoffmann, 1987). Die Ergebnisse bestätigen also die Annahme einer kaskadenförmigen Informationsübertragung von der Wahrnehmung zur Verhaltensgenerierung.

In einem weiteren Experiment wurde eine Reiz-Reaktionszuordnung gewählt, die in Abbildung 9.5. dargestellt ist.




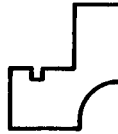




|      | LINKS                                                                              |                                                                                    | RECHTS                                                                             |                                                                                    |
|------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|
|      | AUSSEN                                                                             | INNEN                                                                              | INNEN                                                                              | AUSSEN                                                                             |
| HAND |   |   |   |   |
| FUSS |  |  |  |  |

Abbildung 9.5.: Eine unsystematische Zuordnung von Hand- und Fußreaktionen zu den reaktionsauslösenden Reizen. Kein Konstruktionsmerkmal der Figuren (vgl. Abbildung 9.3.) kovariiert mit einem Unterscheidungsmerkmal der Reaktionen (nach Zießler und Hoffmann, 1987).

Die Eigenschaften der Reaktionssignale stehen nun in keiner systematischen Beziehung zu den Parametern der Reaktionen, so daß ihre Kodierung keinerlei Vorspezifikationen motorischer Parameter erlaubt. An die global runden Figuren sind bspw. sowohl Hand- als auch Fußreaktionen, sowohl rechte als auch linke Reaktionen und sowohl Bewegungen nach innen als auch nach außen gebunden, und dies gilt für alle anderen Reizeigenschaften ebenso. Nach den bisherigen Überlegungen sind jetzt erst alle Eigenschaften des Reaktionssignals zu kodieren, bevor die Parameter der Reaktion

spezifiziert werden können. In der Konsequenz sollte die unsystematische Zuordnung zu längeren Reaktionszeiten führen als jede systematische Zuordnung. Dies ist jedoch nicht der Fall. Die unsystematische Zuordnung führt bereits nach kurzem Training zu schnelleren Reaktionen als die oben geschilderte Serie PSE (Abbildung 9.6.)

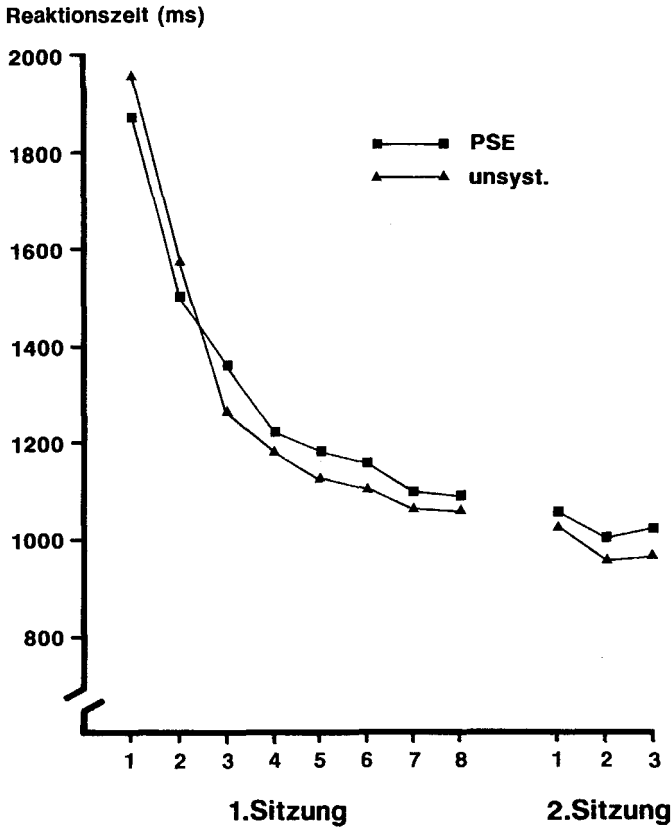


Abbildung 9.6.: Trainingsabhängige Reduktion von Reaktionszeiten in einem Wahlreaktionsexperiment von Zießler und Hoffmann (1987). Es wird eine systematische mit einer unsystematischen Reiz-Reaktionszuordnung verglichen.

Dieses Ergebnis hat zu der Vermutung Anlaß gegeben, daß bei der hier gewählten Zuordnung die sensorische Verarbeitung der Reaktionssignale möglicherweise dahingehend verändert wird, daß "versteckte" Eigenschaften, die mit den Reaktionsparametern kovariieren, an Bedeutung gewinnen. Eine genauere Analyse der Zuordnung in Abbildung 9.5. zeigt, daß es solche kovariierenden Eigenschaften tatsächlich gibt. So erfordern etwa alle Figuren, in denen die globale Form mit der Form des großen Ausschnitts übereinstimmt (rund-rund oder eckig-eckig) eine "linke" und alle Reize, in denen eine Nichtübereinstimmung der Formen besteht, eine "rechte" Reaktion. Es wäre

also möglich, daß die Pbn diese Kovariation auszunutzen lernen und die *Relation* zwischen der globalen Form und der Form des großen Ausschnitts zu einem Kodierungsmerkmal wird, auf dessen Grundlage eine Reaktionsvorbereitung noch vor Abschluß der Reizkodierung realisiert werden kann. Die relativ verkürzten Reaktionszeiten wären dann als Ausdruck einer solchen Reaktionsvorbereitung zu verstehen. In allgemeinen Worten: Die Wahrnehmung abstrahiert aus dem Reizangebot Invarianten, die mit Parametern des zu realisierenden Verhaltens kovariieren und "betont" diese verhaltensrelevanten Reizeigenschaften zum Zwecke einer effektiven Verhaltensvorbereitung.

Die Autoren haben Daten berichtet, die eine solche Interpretation unterstützen. Die Abbildung 9.7. zeigt die mittleren Reaktionszeiten für die beiden systematischen Zuordnungen (ESP und PSE) sowie für die unsystematische Zuordnung aus Abbildung 9.5.

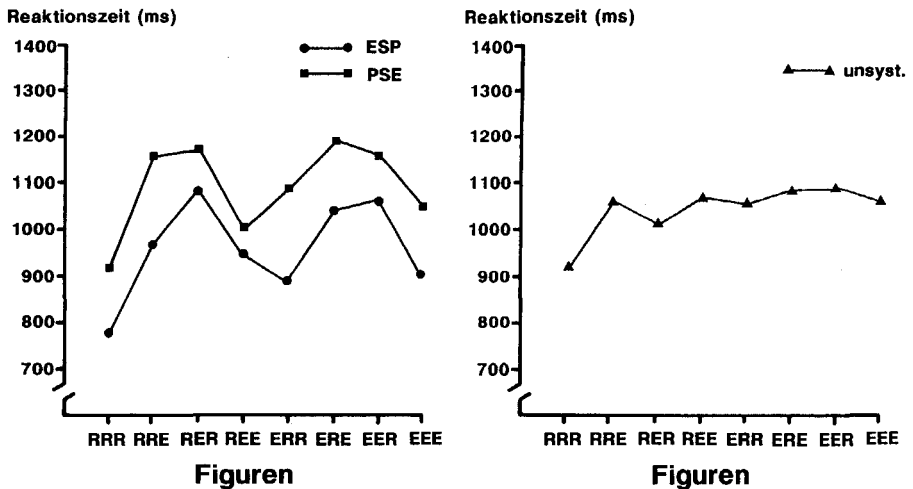


Abbildung 9.7.: Mittlere Reaktionszeiten auf die reaktionsauslösenden Figuren in einem Wahlreaktions-experiment von Ziefler und Hoffmann (1987) nach intensivem Training (Daten vom letzten Trainings-block). Die Figuren sind mit drei Buchstaben kodiert. Der erste Buchstabe bezeichnet ihre globale Form (Rund/Eckig), der zweite Buchstabe die Form der großen Aussparung (Rund/Eckig) und der dritte Buchstabe die Form der kleinen Aussparung (Rund/Eckig, vgl. Abbildung 9.3.). Es werden die Daten für zwei systematische Reiz-Reaktionszuordnungen mit denen einer unsystematischen Zuordnung verglichen.

Die Reaktionszeiten sind über den Reaktionssignalen gemittelt und zeigen für die systematischen Serien ein typisches Profil. Da in jeden Mittelwert unterschiedliche Reaktionen eingehen, kann dieses Profil nicht durch die Art der jeweils realisierten Reaktionen determiniert sein. Es kann vielmehr als ein Ausdruck von Unterschieden in der sensorischen Verarbeitung der einzelnen Reize interpretiert werden. Vor diesem



Hintergrund ist es bemerkenswert, daß bei der unsystematischen Zuordnung dieses typische Profil nicht mehr auftritt. Dies kann als Hinweis auf eine veränderte Form der visuellen Kodierung im Sinne der diskutierten Hervorhebung verhaltenssteuernder Invariante interpretiert werden. In nachfolgenden Untersuchungen (Ziebler, 1990) konnte diese Interpretation bekräftigt werden.

Ich habe die Untersuchung von Ziebler und Hoffmann (1987) deshalb so ausführlich dargestellt, da sie auf die theoretisch bedeutungsvolle Möglichkeit verweist, daß in einem Wahlreaktionsexperiment die Vorbereitung eines Reaktionsparameters nicht nur mit einer Erwartung der spezifizierenden Reizeigenschaft einhergeht, sondern daß sich auch umgekehrt der Wahrnehmungsprozeß an die Erfordernisse der Verhaltensvorbereitung anpaßt. Durch die Ergebnisse wird die Hypothese nahegelegt, daß von den sensorischen Wirkungen diejenigen Anteile abstrahiert und zu Merkmalen der Wahrnehmung werden, die als invariante Eigenschaften reaktionsauslösender Bedingungen immer wieder erfahren werden. Die Abstraktion erfolgt dabei für jeweils Klassen von Reaktionen, die gleichermaßen einer bevorstehenden Verhaltensanforderung genügen. Mit der Bereitschaft, einen Verhaltensakt der entsprechenden Klasse zu realisieren, wird dann eine Antizipation der verhaltensauslösenden Invarianten verbunden und damit die Identifikation von Reizen erleichtert, die diese Invariante tragen. Im 7ten Kapitel hatten wir bereits ähnliche Zusammenhänge der impliziten Bildung von Begriffen zugrunde gelegt.

Wohlgemerkt, dies sind Spekulationen, die durch die berichteten Resultate zwar nahegelegt, keineswegs aber belegt werden. Um unsere Überlegungen gezielt zu prüfen, sind Experimente durchzuführen, in denen von den Pbn verlangt wird, unterschiedliche Klassen von Reaktionen in Bereitschaft zu halten, die an Reaktionssignale mit unterschiedlichen Invarianten gebunden sind. Die dann beobachtbaren Veränderungen der Vorbereitungseffekte in Abhängigkeit von der Bindung gleicher Reaktionen an unterschiedliche Invariante und unterschiedlicher Reaktionen an gleiche Invariante sollten eine genauere Charakteristik der hier vermuteten Prozesse erlauben. Solche Untersuchungen stehen jedoch noch aus.

### **Verhaltensvorsatz und Reizerwartung**

Die Frage nach der vorbereitenden Erwartung reaktionsauslösender Reize ist in der Motivationspsychologie aus einer noch anderen Perspektive behandelt worden. Es interessierten hier die Auswirkungen, die Vorsätze auf die Wahrnehmung von Gelegenheiten zu ihrer Realisierung nehmen. Bekannt ist das anekdotische Beispiel, das Lewin (1928) zur Veranschaulichung des Problems verwendet hat: "Man nimmt sich etwa vor, einen Brief in den Postkasten zu werfen. Der nächste Postkasten, an dem man

vorüber kommt, leuchtet plötzlich auf und erinnert an die Handlung. Man wirft den Brief hinein" (Lewin, 1928, S. 335). Der Postkasten ist die erfahrungsgemäß geeignete Ausgangsbedingung, um die beabsichtigte Handlung zu realisieren. Die Metapher des "Aufleuchtens" verdeutlicht, das der Vorsatz, den Brief einzuwerfen, eine selektive Bevorzugung der Wahrnehmung von Postkästen beinhaltet. Allgemein formuliert: Die Bereitschaft zur Handlung geht einher mit einer selektiven Bereitschaft, erfahrungsgemäß günstige Bedingungen zur Handlungsausführung wahrzunehmen (vgl. auch die Begriffe der Bezugsvorstellung und der voluntionalen Objektion bei Ach, 1913, 1935, sowie den Begriff der funktional-topischen Antizipation bei Duncker, 1935).

Gollwitzer und Mitarbeiter haben die Frage der Auswirkung von Vorsätzen auf die Wahrnehmung von Gelegenheiten neuerdings wieder aufgegriffen. In einem der durchgeführten Experimente wurde bspw. die Wirkung von Vorsätzen auf die Wahrnehmung von eingebetteten Figuren untersucht. Es fanden die bekannten Gottschaldt-Figuren Verwendung (Gottschaldt, 1926, 1929). In den Gottschaldt'schen Experimenten hatten die Pbn eine zuvor oft gesehene Teilfigur (a-Figur) in einer komplexen Figur (b-Figur) zu entdecken. Die Aufgabe wurde dadurch erschwert, daß die b-Figuren so gewählt waren, daß die a-Figuren nicht als deren natürliche Teile (leicht) erschienen, sondern in den Strukturen der b-Figuren "versteckt" waren.

In der hier zu referierenden Untersuchung (Steller, 1992) wurde den Pbn die fiktive Aufgabe gestellt, neue Verkehrszeichen zu entwerfen. Die Form der zu gestaltenden Zeichen wurde vorgegeben. Diese Formen wurden als a-Figuren in komplexe b-Figuren eingebettet. Im Resultat entsprechend angelegter Experimente zeigt sich, daß Pbn, die einen ernsten Vorsatz ausgebildet hatten, eine bestimmte Form als neues Verkehrszeichen auszugestalten, auch besser in der Lage waren, die Figur dieses Zeichens in den komplexen b-Figuren zu entdecken, als Pbn, die einen solchen Vorsatz nicht verfolgten, sich mit der entsprechenden Figur aber gleich intensiv beschäftigt hatten. Es ist also nicht der Grad der Beschäftigung mit einer Figur, die sie sicherer wahrnehmen läßt, sondern die Tatsache, daß die Figur die Gelegenheit darstellt, den gefaßten Vorsatz zu realisieren: "Eine Person, die Vorsätze bezüglich der Handlungsinitiierung gebildet hat, ist also optimal auf das Auftreten der kritischen Gelegenheit vorbereitet" (Steller, 1992, S.188).

Wir wollen diese motivationspsychologisch orientierten Ansätze hier nicht weiter verfolgen (vgl. Gollwitzer, 1992). Sie bestätigen unsere Überlegung, daß die Bereitschaft, eine bestimmte Handlung zu realisieren, so wie auch die Vorbereitung auf die Ausführung einer einfachen Reaktion, nicht nur durch die Vorspezifizierung von motorischen Parametern realisiert wird, sondern auch eine Vorspezifizierung der sensorischen Wirkungen von Gelegenheiten oder reaktionsauslösenden Reizen beinhaltet. Nach der Schematheorie von Schmidt handelt es sich um eine Erwartung der im Schema

gespeicherten Startbedingungen (initial conditions) was unseren Überlegungen einer Antizipation von erfahrungsgemäß notwendigen Ausgangsbedingungen für eine erfolgreiche Verhaltensrealisierung entspricht. Nach der Schematheorie wie auch nach unseren Vorstellungen wird das Verhalten aber auch durch die Antizipation der mit seiner Ausführung zu erwartenden sensorischen Konsequenzen gesteuert. Wir wenden uns jetzt der Frage zu, inwieweit auch solche Antizipationen bei der Verhaltensvorbereitung zur Wirkung kommen.

### **Die Vorbereitung auf zu erwartende Verhaltenskonsequenzen**

Nach der Schematheorie wird ein intentionaler Verhaltensakt gleichermaßen durch Festlegungen motorischer Parameter wie durch Erwartungen proprio- und exterozeptiver Verhaltenskonsequenzen gesteuert. Die "Gründungsväter" unserer Wissenschaft vertraten sogar die Ansicht, daß die Initiierung willkürlicher Handlungen allein auf der Antizipation ihrer Konsequenzen beruht (vgl. Kapitel 2). Wenn trotz dieser theoretischen Hinweise der Einfluß von Verhaltenskonsequenzen auf die Verhaltensvorbereitung bislang kaum experimentelle Beachtung gefunden hat, dann wohl vor allem deshalb, weil aus der traditionellen Sicht der Kognitionspsychologie die Informationsübertragung als abgeschlossen gilt, wenn der Reiz erkannt und die ihm entsprechende Reaktion ausgeführt ist. Daß die auf die Reaktion hin eintretenden Konsequenzen einen rückwirkenden Einfluß auf die vorangegangenen Prozesse haben, erscheint aus dieser Sicht nicht nur nicht wahrscheinlich sondern unmöglich und damit als wenig fruchtbare Forschungshypothese.

Einen Versuch, den Einfluß von Verhaltenskonsequenzen auf die Verhaltensvorbereitung nachzuweisen, berichtet Hoffmann (1990b). Es wurde eine bereits geschilderte Versuchsanordnung verwendet (Miller, 1982; Reeve & Proctor, 1984): Die Pbn waren aufgefordert mit dem Mittel- oder Zeigefinger der linken bzw. rechten Hand eine von vier Tasten so schnell wie möglich auf die Darbietung eines Buchstabens hin zu drücken. Jeder Einzelversuch begann mit der Darbietung einer Vorinformation, die entweder unspezifisch war, oder die Reaktionen einer Hand, die Reaktionen der Mittel- bzw. Zeigefinger, oder die der beiden rechten bzw. linken Finger beider Hände vorspezifizierte. In Ergänzung zu dieser traditionellen Durchführung des Experimentes wurde den Pbn eine Rückmeldung über die Korrektheit ihrer Reaktion auf zweierlei Weise gegeben. Es erschien entweder das Wort 'Richtig' auf dem Bildschirm oder aber es ertönte ein Dreiklang. Auf falsche Reaktionen wurde keine Rückmeldung gegeben. Korrekte Reaktionen waren also dadurch charakterisiert, daß sie entweder mit einer visuellen Konsequenz (Schriftzug 'Richtig') oder aber mit einer akustischen Konsequenz (Dreiklang) verbunden waren. Die wichtigste Variation bestand in der Zuordnung der

Konsequenzen zu den Reaktionen. In einer Kontrollbedingung waren alle vier Reaktionen mit einer akustischen bzw. visuellen Konsequenz verbunden. Unter experimentellen Bedingungen wurden jeweils zwei der Reaktionen mit der akustischen und die zwei anderen mit der visuellen Konsequenz verbunden. Identische Konsequenzen fielen dabei entweder auf die Reaktionen der gleichen Hand, des gleichen Fingers, bzw. auf Reaktionen von Fingern gleicher Lage. Die Abbildung 9.8. veranschaulicht das experimentelle Vorgehen.

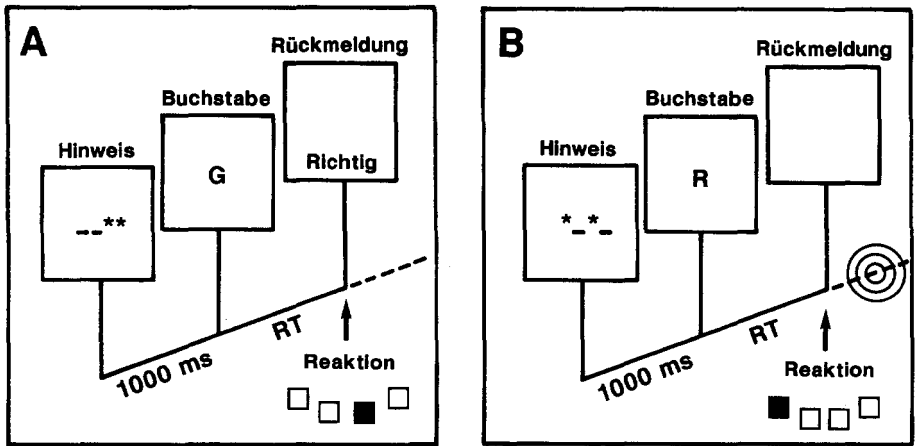


Abbildung 9.8.: Das experimentelle Vorgehen in einem Wahlreaktionsexperiment mit Vorinformation. Der einzige Unterschied zwischen den Varianten A und B besteht in der Form der Rückmeldung. In A erhalten die Pbn ein visuelle, in B eine akustische Rückmeldung bei richtigen Reaktionen (nach Hoffmann, 1990b).

Die Überlegungen, die dem Versuch zugrunde liegen, lassen sich folgendermaßen charakterisieren: Wenn die Antizipation von Verhaltenskonsequenzen Bestandteil der Verhaltensvorbereitung ist, dann kann erwartet werden, daß zwei Reaktionen relativ effektiver vorbereitet werden, wenn sie zu gleichen als wenn sie zu unterschiedlichen Konsequenzen führen. Dies kann erwartet werden, wenn man plausiblerweise annimmt, daß eine gleichzeitige Antizipation unterschiedlicher Konsequenzen zu Effektivitätsmindernden Interferenzen führt.

Die Abbildung 9.9. zeigt die mittleren Vorbereitungseffekte für die verschiedenen Vorinformationen in Abhängigkeit von der Verteilung der Reaktionskonsequenzen.

Die relative Effektivität der Vorinformationen ist von der Verteilung der Reaktionskonsequenzen abhängig: In der Kontrollbedingung (Alle-RM: alle Reaktionen mit gleichen Konsequenzen) werden die in der Literatur unter vergleichbaren Bedingungen beobachteten Ergebnisse repliziert. Die Vorinformation über die Hand führt im Vergleich zu Vorinformationen über zu reagierende Finger beider Hände zu stärkeren

Effekten. Sind dagegen nur die Reaktionen jeweils der beiden Zeige- bzw der beiden Mittelfinger mit gleichen Konsequenzen verbunden (Finger-RM), führt die Vorspezifikation der Zeige- bzw. Mittelfinger zu den stärksten Vorinformationseffekten. Sind die Reaktionen jeweils einer Hand mit gleichen Konsequenzen verbunden (Hand-RM), führt, wie in der Kontrollbedingung, die Vorspezifikation der Hand zu den stärksten Vorinformationseffekten. Und sind schließlich die Reaktionen der beiden linken und rechten Finger mit gleichen Konsequenzen verbunden (Seite-RM), wird die relative Effektivität ihrer Vorspezifikation gegenüber den anderen Vorinformationen deutlich erhöht. Man kann die Ergebnisse dahingehend zusammenfassen, daß sich die *relative* Wirksamkeit der Vorbereitung von Reaktionen erhöht, wenn sie mit gleichen anstatt mit verschiedenen Konsequenzen verbunden sind.

### Vorbereitungseffekte (msec)

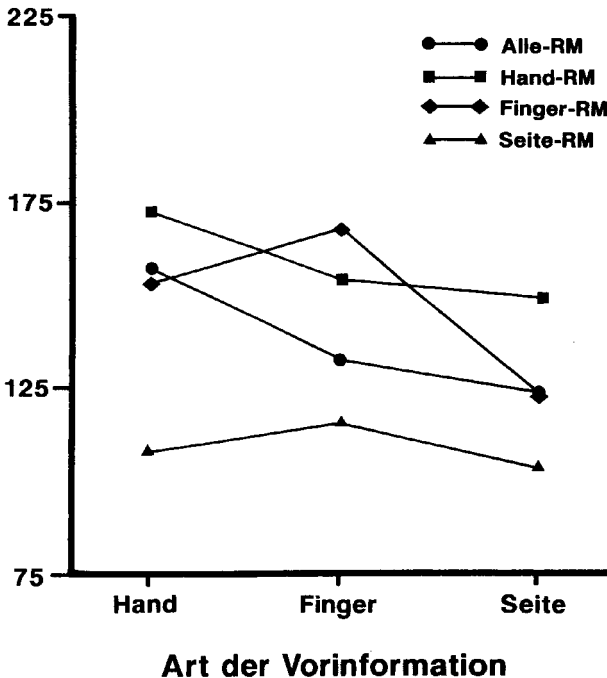


Abbildung 9.9.: Vorbereitungseffekte ( $R_t$  ohne Vorinformation minus  $R_t$  mit Vorinformation) in einem Wahlreaktionsexperiment in Abhängigkeit von der Art der Vorinformation und der Identität der Rückmeldung auf die Reaktionen (Nach Hoffmann, 1990b).

Ohne hier auf weitere Details einzugehen (vgl. dazu Hoffmann, 1990b) wollen wir festhalten, daß die Resultate die Annahme unterstützen, daß in die Vorbereitung von Reaktionen deren Konsequenzen mit einbezogen werden. Die Bereitschaft, eine

bestimmte Reaktion auszuführen, beinhaltet danach auch die Ausbildung einer Erwartung für die sensorischen Konsequenzen, die erfahrungsgemäß mit der Reaktion einhergehen. Diese Komponente der Reaktionsvorbereitung wird vermutlich umso stärker zur Wirkung kommen, je bedeutungsvoller die Konsequenzen sind. In der hier referierten Untersuchung hatten sie vor allem in der Anfangsphase des Experimentes Bedeutung. Sie mußten beachtet werden, um die richtige Zuordnung der Reaktionen zu den Buchstaben zu lernen. Bei vier Reaktionen ist dies allerdings schnell geschehen, und nach kurzem Training werden kaum noch Fehler gemacht. Mit der Sicherheit, mit der die Reaktionen den Buchstaben zugeordnet werden, nimmt auch die Bedeutung der Reaktionskonsequenzen ab. Dem entspricht die Beobachtung, daß ihr Einfluß auf die Vorbereitungseffekte im Versuchsverlauf ebenfalls abnimmt. Durch eine Erhöhung der Bedeutung von Verhaltenskonsequenzen sollte sich also ihr Einfluß auf die Verhaltensvorbereitung verstärken lassen. Entsprechende Untersuchungen stehen noch aus. Allerdings wird die nächste zu referierende Untersuchung auf andere Weise bestätigen, daß der Einfluß von Verhaltenskonsequenzen auf die Verhaltensinitiiierung vom Grad ihrer Beachtung abhängig ist.

Den Ausgangspunkt für die zu beschreibende Untersuchung bildet der sogenannte Simon-Effekt (Simon & Rudel, 1967): In einem Wahlreaktionsexperiment, in dem die Reize an verschiedenen Orten dargeboten werden und die Reaktionen an verschiedenen Orten auszuführen sind, erfolgen die Reaktionen stets schneller, wenn die Lokation der Reaktionsausführung der Lokation des auslösenden Reizes entspricht. Ist bspw. auf einen hohen Ton eine rechte und auf einen tiefen Ton eine linke Taste zu drücken, dann geschieht dies schneller, wenn der hohe Ton rechts und der tiefe Ton links dargeboten wird (kompatible Zuordnung), als wenn dies umgekehrt geschieht (inkompatible Zuordnung). Führt man noch eine Kontrollbedingung ein, in der der Ton im rechten und linken Lautsprecher gleichzeitig ertönt, dann führt im Vergleich dazu die kompatible Zuordnung zu einer Beschleunigung und die inkompatible Zuordnung zu einer Verlangsamung der Reaktionen (Hommel, 1990).

Es sind verschiedene Ursachen in Erwägung gezogen worden: Der Effekt könnte etwa Ausdruck der Tatsache sein, daß bei kompatiblen Zuordnungen die Reize in jeweils der Hemisphäre abgebildet werden, in der auch die Initiierung der zugeordneten Reaktion erfolgt. Der Effekt tritt allerdings auch dann ein, wenn die rechte Reaktions-taste mit der linken Hand und die linke Taste mit der rechten Hand zu bedienen sind (Simon, Hinrichs & Craft, 1970; Wallace, 1971, 1972). Er bezieht sich also *nicht* auf die Kompatibilität zwischen der Lage des reaktionsauslösenden Reizes und der (körperbezogenen) Lage des ausführenden Effektors, sondern auf die Kompatibilität zwischen dem (distalen) Ort des Reizes und dem (distalen) Ort der Reaktionsausführung (vgl. auch Prinz, Aschersleben, Hommel & Vogt, im Druck).

Eine andere Überlegung geht von der ökologischen Zweckmäßigkeit kompatibler Reaktionen aus. Ein verhaltensrelevanter Reiz erfordert gewöhnlich eine Hinwendung zu ihm. Das könnte dazu führen, daß gewohnheitsmäßig jeweils die Effektoren bevorzugt innerviert werden, die die Hinwendung zum Reiz möglichst schnell bewirken. Bei einer Erfahrungsabhängigkeit der Kompatibilitätseffekte sollten sie sich allerdings durch dauerhaft entgegengesetzte Erfahrungen verändern lassen. Die Kompatibilitätseffekte sind jedoch außerordentlich übungsresistent. Selbst wenn Pbn tausende Mal erfahren, daß etwa auf einen rechts dargebotenen Reiz auch eine Hinwendung zu einer linken Reaktionstaste verlangt werden kann, die rechte Taste wird stets schneller als die linke Taste gedrückt (Simon, Craft & Webster, 1973, Hommel, 1992). Der Kompatibilitätseffekt scheint danach nicht das Resultat einer lernabhängigen oder gewohnheitsmäßigen Bevorzugung bestimmter Reaktionen auf bestimmte Reize zu sein.

Es ist auch argumentiert worden, daß bei kompatibler Zuordnung der Ort der Reizdarbietung und der von ihm spezifizierter Ort der Reaktionsausübung kongruent, bei inkompatibler Zuordnung dagegen inkongruent sind. Betrachtet man beides als Reizeigenschaften, die gleichermaßen kodiert werden, so wie man etwa die Form und die Farbe eines Gegenstandes kodiert, dann lassen sich die Kompatibilitätseffekte als Ausdruck von Interferenzen zwischen einander widersprechenden Reizinformationen verstehen. Die Kodierung eines rechts dargebotenen Reizes, der eine linke Reaktion fordert, führt genauso zu Interferenzen, so kann man argumentieren, wie die Kodierung etwa einer roten Banane wegen der Inkongruenz von Farbe und Form zu Interferenzen führt (Hasbroucq & Guiard, 1991). Der Effekt wird nach dieser Überlegung nicht in der sensomotorischen Umsetzung von Reizinformationen sondern bereits während der Reizkodierung verursacht. Allerdings muß dann angenommen werden, daß die Lage der zu realisierenden Reaktion bereits vor der Reaktionsauswahl als eine Eigenschaft des Reizes kodiert wird.

Die hier angedeuteten Erklärungen machen deutlich, daß die Ursachen dieses einfachen und plausiblen Effektes durchaus umstritten sind. Alle Ansätze gehen dabei von der traditionellen Betrachtungsweise der Kognitionspsychologie aus: Die Erklärung wird in den Prozessen gesucht, die die mit dem Reiz gegebene Information in eine Reaktion umsetzen. Hommel (1990) hat nun jedoch eine kleine Variation der Methode vorgenommen, die schlaglichtartig deutlich macht, daß diese Betrachtung den tatsächlichen Zusammenhängen nicht gerecht wird. Die Variation bestand darin, daß mit dem Drücken der Reaktionstasten (rechts oder links) eine rechts oder links angeordnete Lampe zum Leuchten gebracht wurde. Der linken Taste war die rechte Lampe und der rechten Taste die linke Lampe zugeordnet. Die geforderten Reaktionen hatten damit zweierlei sensorisch definierbare Konsequenzen. Sie führten einmal zum (zumindest propriozeptiv spürbaren) Niederdrücken einer Reaktionstaste und gleichzeitig zum (exterozeptiv wahrnehmbaren) Aufleuchten einer Lampe. Allerdings ereigneten sich die Konsequenzen an verschiedenen Orten. Hommel variierte nun ihre Bedeutung indem er

einmal die Pbn instruierte, auf den entsprechenden Reiz hin so schnell wie möglich die rechte oder linke Taste zu drücken, das andere Mal jedoch, so schnell wie möglich die rechte oder linke Lampe zum Leuchten zu bringen. Die reaktionsauslösenden Reize waren ein hoher Ton für die rechte und ein tiefer Ton für die linke Taste, die entweder von einem rechten, einem linken oder von beiden Lautsprechern gleichzeitig (Kontrollbedingung) erzeugt wurden (vgl. Abbildung 9.10.)

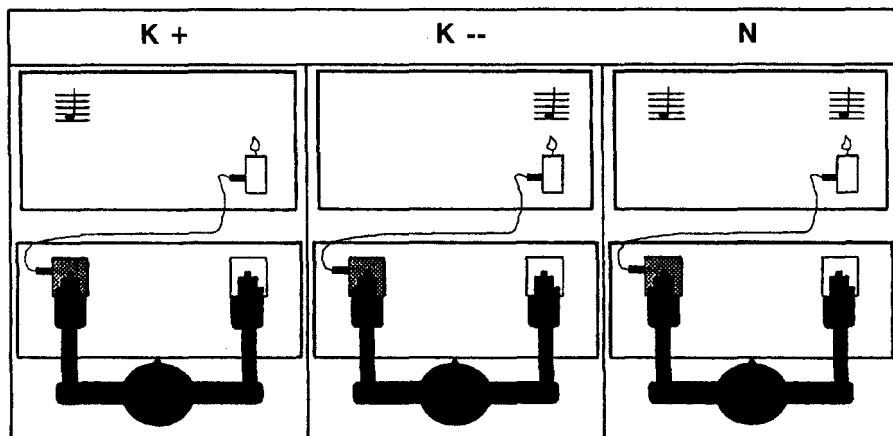


Abbildung 9.10.: Die Versuchsbedingungen eines Wahlreaktionsexperimentes von Hommel (1990): Die Pbn haben auf einen rechts oder links dargebotenen Ton hin eine rechte oder linke Taste zu drücken, mit der sie auf der jeweiligen Gegenseite ein Licht anschalten. Hier sind nur die Bedingungen für das Drücken der linken Taste veranschaulicht.

Die Abbildung 9.11. zeigt die mittleren Reaktionszeiten. Die Kompatibilitätsbedingungen sind nach der traditionellen Sichtweise bezeichnet, d.h. nach der Kompatibilität des Ortes der Reizdarbietung mit dem Ort der zu drückenden Taste. Sind die Pbn instruiert, so schnell wie möglich die Taste zu drücken (Tastengruppe), werden die bekannten Kompatibilitätseffekte beobachtet. Sind die Pbn dagegen instruiert, so schnell wie möglich eine der Lampen zum Leuchten zu bringen (Lichtgruppe), verkehren sich die Effekte in ihr Gegenteil. Die rechte Taste bspw. wird nun schneller gedrückt, wenn der ihr zugeordnete hohe Ton nicht rechts sondern links dargeboten wird. Es kommt, so kann man schlussfolgern, weder auf die Kompatibilität zwischen der Lage des Reaktionssignals und der Lage des Effektors, noch auf die Kompatibilität zwischen der Lage des Reaktionssignals und der Lage der Reaktionstaste, sondern auf die Kompatibilität zwischen der Lage des Reaktionssignals und der Lage der mit der geforderten Reaktion *angezielten Konsequenzen* an. Die Umsetzung der Reizinformation in die Reaktion wird beschleunigt, wenn die Lage des Reizes mit der Lage der angestrebten Verhaltenseffekte kompatibel, und sie wird verzögert, wenn sie inkompatibel sind. Wenn die Pbn sich auf das Niederdrücken der Tasten konzentrieren, dann ist die Lage



der Tasten entscheidend für die Kompatibilität und wenn sie sich auf das "Zünden" der Lampen konzentrieren, dann ist es die Lage der Lampen. Nicht die Reaktion ist für die Kompatibilität das Entscheidende, sondern die mit der Reaktion angestrebten (distalen) Effekte in der Umwelt, in der auch das (distale) Reaktionssignal wahrgenommen wird (vgl. auch Prinz, 1992; Prinz, Aschersleben, Hommel & Vogt, im Druck).

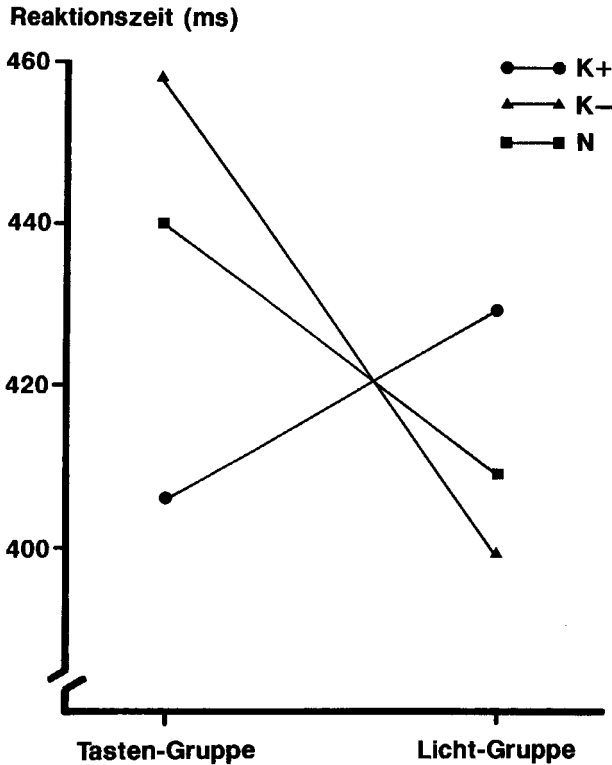


Abbildung 9.11.: Reaktionszeiten aus einem Wahlreaktionsversuch von Hommel (1990) in Abhängigkeit von der Kompatibilität von Reaktionssignal und Reaktion (K+ Kompatibel, K- Inkompatibel, N Neutrale Vergleichsbedingung) und von der Intention der Reaktionsausführung (Tasten- vs. Lichtgruppe, aus Prinz, Aschersleben, Hommel & Vogt, im Druck).

In der geschilderten Untersuchung ging es nicht um Vorbereitungseffekte. Dennoch können die Resultate als Beleg für die Beteiligung von Konsequenzantizipationen an der Initiierung von Verhaltensakten und damit an der Verhaltensvorbereitung gewertet werden. Aufgrund der Beobachtungen kann man etwa erwarten, daß die Vorbereitung auf eine Reaktion zu stärkeren Effekten führt, wenn die reaktionsauslösenden Reize und die angezielten Konsequenzen an kompatiblen anstatt inkompatiblen Orten erwartet werden können. Die verhaltenssteuernden Start- und Zielantizipationen beziehen sich dann auf den gleichen Ort. Die Aufmerksamkeit, so könnte man auch sagen, muß sich

nicht verschiedenen Orten zuwenden. Diese Zusammenhänge zu belegen, bleibt weiteren Experimenten vorbehalten. Zunächst ist festzuhalten, daß in Experimenten, in denen die Konsequenzen der Verhaltensakte variiert wurden, ihr Einfluß auf die Initiierung und Vorbereitung der Verhaltensakte überzeugend nachgewiesen wurde.

### **Schematheorie und antizipative Verhaltenssteuerung**

In den vorangegangenen drei Abschnitten habe ich zu zeigen versucht, daß die Bereitschaft, einen bestimmten Verhaltensakt zu realisieren, auch Erwartungen hinsichtlich der auslösenden Reizbedingungen (bzw. Gelegenheiten) und hinsichtlich der eintretenden Konsequenzen oder zu erreichenden Effekte beinhaltet. Beides setzt zwangsläufig voraus, daß entsprechende Erfahrungen vorliegen. Die Schematheorie wie auch unsere Annahme einer antizipativen Verhaltenssteuerung enthalten Überlegungen dazu, wie solche Erfahrungen gewonnen und repräsentiert werden. Im folgenden sollen die Unterschiede zwischen beiden Ansätze herausgearbeitet werden.

Nach der Schematheorie werden Informationen über einzelne Verhaltensakte zunächst getrennt gespeichert. Für jeden Verhaltensakt wird festgehalten, unter welchen Ausgangsbedingungen welche motorischen Parameter zu welchen sensorischen Konsequenzen geführt haben und ob das Verhalten erfolgreich war. Erst wenn solche Informationen über mehrere Verhaltensakte vorliegen, werden verallgemeinerbare Beziehungen abstrahiert und als Recall- und Recognitionsschema repräsentiert. Eine solche Vorgehensweise setzt voraus, daß das System über Kriterien verfügt, die jeweils die Menge der Einzelerfahrungen bestimmt, über denen die Abstraktion vorzunehmen ist. Jeden Morgen führen wir etwa Verhaltensakte wie Zähneputzen, Rasieren, Duschen, Ankleiden, Kaffeekochen usw. hintereinander aus. Ist nun ein Verhaltensschema zu entwickeln, daß für alle diese nacheinander gespeicherten Verhaltensakte nach gemeinsamen und abstrahierbaren Beziehungen sucht. Wird ein gemeinsames Recallschema für das Zähneputzen und für das Rasieren gesucht, oder bilden sich gemeinsame Schemata für das Duschen und für das Kaffeekochen? Vermutlich keines von beiden. Schemata bilden sich allein für solche Verhaltensakte aus, so wird man vermuten wollen, die einander hinreichend ähnlich sind. Allerdings entsteht auch dann die Frage, wodurch denn "hinreichende Ähnlichkeit" bestimmt wird. Kaffee umrühren, Tee umrühren, Pfeffer mahlen, Tapetenleim anrühren, eine Kurbel drehen usw. sind alles irgendwie (motorisch) ähnliche Verhaltensakte. Wird deshalb für sie ein gemeinsames Schema ausgebildet, oder werden nur Tee und Kaffee umrühren zusammengefaßt?

Wir stehen hier vor dem gleichen Problem, das wir schon im Kapitel 7 im Zusammenhang mit den Exemplarmodellen der Begriffsrepräsentation besprochen

haben: Jedes Repräsentationsmodell, das auf der individuellen Speicherung von Erfahrungen beruht, muß, um Abstraktionsleistungen erklären zu können, Kriterien zur Bestimmung der Abstraktionsklassen unabhängig vom Resultat der Abstraktion angeben. Solche Kriterien fehlen in der Schematheorie. Das Problem wird von Shapiro und Schmidt (1982) zwar diskutiert und sie erwägen, die Rhythmik von Verhaltensabläufen zur Bestimmung der Abstraktionsklassen heranzuziehen. Nur, ein Rhythmus stellt sich bei den meisten Verhaltensakten erst *nach* andauerndem Training ein. Er ist wohl eher ein Resultat der Abstraktion einer verallgemeinerten (schematischen) Verhaltenssteuerung als ein Kriterium zur Bestimmung der Verhaltensklasse, über der die Abstraktion vorzunehmen ist.

Man muß darüber hinaus fragen, wie denn die Ausbildung von Recall- und Recognitionschemata Hand in Hand vorangehen kann, wo doch die Ähnlichkeiten in der motorischen Ausführung und in den sensorischen Konsequenzen außerordentlich divergieren können. Das Umrühren von Kaffee und das Anrühren von Tapetenleim sind zwar motorisch einander ähnlich, führen aber zu deutlich anderen Konsequenzen. Noch deutlicher fallen die Unterschiede zum Drehen einer Kurbel aus. Wonach wird also abstrahiert, nach Ähnlichkeiten in der Motorik, oder nach Ähnlichkeiten in der Sensorik; dominiert das Recall- das Recognitionschema oder ist es eher umgekehrt?

Folgt man den Vorstellungen zur lernabhängigen Differenzierung einer antizipativen Verhaltenssteuerung, heben sich diese Probleme auf. Nach unseren Überlegungen werden bei jeder Wiederholung eines Verhaltensaktes die zuvor erlebten Konsequenzen antizipiert. Werden diese Antizipationen nicht bestätigt, werden die gegebenen Ausgangsbedingungen von denen differenziert, auf denen die Antizipation beruhte. Auf diese Weise entstehen Klassen von äquivalenten Ausgangsbedingungen, für die bei Anwendung eines bestimmten Verhaltensaktes gleiche Konsequenzen erwartet werden. Klassen von äquivalenten Ausgangssituationen werden so immer umfassender und auch immer differenzierter mit Klassen von Situationen verbunden, in die sie aktiv überführbar sind. In diesen Paaren von ineinander transformierbaren Situationsklassen wird die gesamte Verhaltenserfahrung repräsentiert. Eine gesonderte Speicherung motorischer Parameter erfolgt nicht. Die zu realisierende Motorik wird jeweils durch die vorliegende Klasse der Ausgangsbedingungen und die Klasse der zu erreichenden Konsequenzen festgelegt. Spezifizierungen der Motorik werden durch Spezifizierungen der jeweiligen Klassenzugehörigkeiten realisiert, bis das Verhalten eindeutig bestimmt ist. Es gibt nach unseren Überlegungen, so könnte man auch sagen, keine Recall- sondern nur Recognitionschemata.

Nach der Schematheorie, handelt es sich bei der Herausbildung der Schemata um einen diskontinuierlichen Prozeß. Es müssen immer erst einige individuelle Verhaltenserfahrungen akkumuliert werden, bevor über den gespeicherten Einzelbeispielen die Abstraktion der schematischen Beziehungen erfolgen kann. Wie viele solcher Erfahrungen allerdings notwendig sind, um eine erste Abstraktion zu wagen, und in

welcher Weise die bereits bestehenden Schemata mit den Individualerfahrungen verbunden werden, bleibt unklar. Nach unseren Überlegungen dagegen wird die Verhaltenssteuerung kontinuierlich vervollkommen. Bei jedem einzelnen Verhaltensakt werden die eingetretenen mit den antizipierten Konsequenzen verglichen und aus den beobachteten Übereinstimmungen und Nichtübereinstimmungen die beschriebenen Veränderungen abgeleitet. Unmittelbare Rückmeldungen über das Nichteintreten antizipierter Konsequenzen sind auch nach der Schematheorie vorgesehen (vgl. Abbildung 9.2.). Allerdings wird nicht spezifiziert, zu welchen Veränderungen des Schemas solche Rückmeldungen führen. Der Erwerb und die Anwendung eines Schemas werden in der Schematheorie getrennt diskutiert. Der natürliche Lernprozeß aber besteht wohl eher in einer kontinuierlichen Verwertung jedweder Verhaltenserfahrung.

Ein letzter Punkt betrifft den von Schmidt angenommenen Vorgang der Interpolation. Wenn ein Verhaltensziel unter Bedingungen angestrebt wird, für die keine Verhaltenserfahrungen vorliegen, oder wenn ein bislang noch nicht erprobtes Verhaltensziel erreicht werden soll, dann werden, so die Annahme, die motorischen Parameter und die sensorischen Konsequenzen aus dem Recall- und dem Recognitionsschema durch Interpolation gewonnen. Dieser Vorgang ist insofern von zentraler Bedeutung, als er das Grundanliegen der Schematheorie betrifft: Zu erklären, warum unser Verhalten auch unter neuen Bedingungen in der Regel erfolgreich gesteuert werden kann. Allerdings werden die Mechanismen der Interpolation nicht genauer beschrieben. Schmidt (1988) denkt an funktionale Beziehungen, die zwischen Merkmalen der Ausgangssituation und motorischen Parametern vermitteln und die es erlauben, die motorischen Parameter für neue Situationen im Sinne einer mathematischen Interpolation zu bestimmen. Wie allerdings aus wenigen Beispielerfahrungen verallgemeinerbare funktionale Beziehungen abgeleitet werden, und wie es dann zur Interpolation kommt, bleibt unklar.

Auch die eigenen Überlegungen sind an dieser Stelle noch wenig differenziert. Ich will in diesem Zusammenhang nur noch einmal auf einen wichtigen Unterschied zur Schematheorie verweisen: Nach der Schematheorie sind sowohl die motorischen Parameter als auch die sensorischen Konsequenzen abhängige Variablen von Eigenschaften der Ausgangssituation. Dies ist eine Konsequenz der Unabhängigkeit von Recall- und Recognitionsschema. Bei einer antizipativen Verhaltenssteuerung werden dagegen die motorischen Parameter nicht unabhängig von der Antizipation sensorischer Konsequenzen sondern durch sie bestimmt. *Indem* Veränderungen der gegebenen Situation antizipiert werden, wird das Verhalten spezifiziert, das diese Veränderungen erfahrungsgemäß herstellt. Die Interpolation ist nach unseren Überlegungen kein gesonderter Mechanismus sondern Ausdruck der sich lernabhängig ausgebildeten Umsetzung von Antizipationen in erfolgreiches Verhalten.

Beispiele für die lernabhängige Veränderung der Umsetzung von Antizipationen in Verhalten haben wir bereits besprochen. Erinnern wir uns etwa an die Anpassung der Augenbewegungen an Prismen, mit denen ihre Konsequenzen systematisch verzerrt wurden. Wir hatten gesehen, daß sich die Augenbewegungen spontan an diese Verzerrungen anpassen. Die Pbn können nicht anders, als ihre Augen wieder so zu bewegen, daß sie die Fixationsziele auch erreichen. Auch in der Forschung zur sogenannten "intuitiven Physik" ist wahrscheinlich gemacht worden, daß oftmals spontan erfolgreiches Verhalten realisiert wird, ohne daß über die Regeln, denen das Verhalten folgt, reflektiert werden kann (McCloskey, 1983; Krist, 1989; Fieberg & Krist, 1989). Vergleichbare Beobachtungen sind im Rahmen der Forschungen zum impliziten Lernen gemacht worden (z.B. Berry & Broadbent, 1984, 1988; Lewicki, Hill & Sasaki, 1989; Lüer, Ruhlender, Klettke & Lass, 1989). Alle diese Beobachtungen sprechen dafür, daß wir es auch ohne gezielte Absicht lernen, unser Verhalten in Abhängigkeit von gegebenen Ausgangsbedingungen so zu variieren, daß es wechselnde Ziele auch erreicht. Nach unseren Überlegungen werden diese "inzidentellen" Lernvorgänge wenigstens teilweise von den vermuteten Mechanismen der antizipativen Verhaltenssteuerung getragen. Sie lassen uns zwangsläufig lernen, unter welchen Bedingungen welches Verhalten zu welchen Konsequenzen führt (vgl. Hoffmann, im Druck c). Inwieweit dabei allerdings welche funktionalen Beziehungen zwischen Eigenschaften der Ausgangsbedingungen und Verhaltenskonsequenzen auf der einen und Parametern des zu realisierenden Verhaltens auf der anderen Seite den Lernprozeß erleichtern bzw. erschweren ist m.W. noch kaum untersucht.

Es ist zwar bekannt, daß wir relativ gut in der Lage sind, die Modifikation von Verhaltenseffekten durch zwischengeschaltete "Verstärker" beherrschen zu lernen, wenn die Art der Verstärkung konstant bleibt und nicht allzu kompliziert ist. Wir lernen etwa relativ schnell, den Cursor mit der Maus auf dem Bildschirm zu bewegen, gefühlvoll mit dem Fuß die Geschwindigkeit eines Autos oder mit der Fernbedienung die Lautstärke des Radios zu regulieren usw. (vgl. für einen Überblick Heuer, 1983). Inwieweit wir allerdings in der Lage sind, solche vermittelten Zusammenhänge zwischen unserem Tun und den eintretenden Konsequenzen zu erfassen, wenn sie sich in Abhängigkeit von den Bedingungen, auf die wir sie anwenden, ändern, ist ein m.W. bislang kaum behandeltes Thema. Daß wir bspw. schlecht (aus)gerüstet sind, langfristige Konsequenzen unseres Tuns zu berücksichtigen, beweisen seine ökologischen Folgen. Vermutlich gibt es noch andere Begrenzungen unserer Fähigkeit, Verhaltenskonsequenzen angemessen zu berücksichtigen. In einer Welt der immer globaleren Zusammenhänge bei gleichzeitig immer mächtigeren Möglichkeiten der technischen Verstärkung von Verhaltenseffekten erscheint es allerdings dringend geboten, die natürlichen Grenzen unserer spontanen Fähigkeiten, Verhaltenserfahrungen zu verwerten, genauer zu kennen (vgl. auch Dörner, 1981, 1989).

**Resümee**

Die aus der traditionellen Perspektive der kognitiven Psychologie nahegelegte Annahme, es handele sich bei der Vorbereitung erwarteten oder beabsichtigten Verhaltens um Vorspezifikationen motorischer Parameter, erweist sich als unzureichend. Die geschilderten Beobachtungen weisen vielmehr darauf hin, daß auch Antizipationen sowohl verhaltensauslösender Reizbedingungen als auch zu erwartender Konsequenzen Bestandteil der Verhaltensvorbereitung sind. Für diese Annahme konnten einige (noch wenige) experimentelle Belege besprochen werden.

Beides wurde schon durch die Schematheorie von Schmidt (1975) nahegelegt. Die Schematheorie ist jedoch mit einer Reihe von theoretischen Problemen behaftet: Sie erklärt nicht, wie die Menge der Verhaltensakte bestimmt wird, für die sich ein gemeinsames Verhaltensschema ausbildet. Sie spezifiziert nicht, zu welchen Veränderungen des Schemas Fehlermeldungen im Verhaltensvollzug führen, und sie muß schließlich einen gesonderten Mechanismus, die Interpolation, annehmen, um den Transfer der gelernten Verhaltenssteuerung von bekannten auf unbekannte Situationen zu erklären.

Auch unsere Überlegungen zu einer antizipativen Verhaltenssteuerung beinhalten die Antizipation von Ausgangsbedingungen und Konsequenzen. Sie sind jedoch nicht ein Bestandteil der Verhaltensvorbereitung sondern ihr alleiniger Mechanismus. Nach unseren Überlegungen gibt es keine gesonderte Vorspezifikation motorischer Parameter. Die motorischen Parameter werden vielmehr durch die Antizipation der zu erreichenden Konsequenzen und durch deren Verhältnis zu den gegebenen (oder erwarteten) Ausgangsbedingungen bestimmt. Die Umsetzung von Differenzen zwischen Ausgangsbedingungen und Ziel erfolgt zwangsläufig und entsprechend den in der Vergangenheit gemachten Erfahrungen. Das heißt aber auch, daß sie nur und nur dann in Verhalten umgesetzt werden, wenn Erfahrungen über die aktive Transformierbarkeit des gegebenen (oder erwarteten) Zustandes in den Zielzustand vorliegen. In einer fremden Umgebung können diese Erfahrungen auf die propriozeptiven Konsequenzen von Körperbewegungen eingeschränkt sein. Die Möglichkeiten für *gezieltes* Verhalten sind dann auf einfache Körperbewegungen beschränkt. In vertrauten Situationen dagegen, können durch die Antizipation exterozeptiver Konsequenzen ganze Handlungssequenzen spezifiziert werden. Die "Mächtigkeit" der antizipativen Verhaltenssteuerung hängt also von den jeweils vorliegenden Erfahrungen ab.

Die Vorbereitung eines Verhaltensaktes ist seine vorweggenommene Initiierung. Sie unterscheidet sich von ihr durch die noch nicht erfolgte "Freigabe" des Verhaltens und dadurch, daß die Ausgangsbedingungen in der Regel nicht gegeben, sondern nur antizipiert sind. Die Effektivität einer Verhaltensvorbereitung hängt von den gleichen Bedingungen ab, wie die Effektivität der Verhaltenssteuerung selbst: Von der Qualität (der Antizipation) verhaltensauslösender Reizbedingungen, von der Qualität der

Antizipation angestrebter Konsequenzen und schließlich von der Qualität der vorliegenden Erfahrungen über die aktive Veränderbarkeit der (antizipierten) Ausgangsbedingungen in die antizipierten Konsequenzen.

Unsere hier noch einmal skizzierte Auffassung überwindet nicht nur die Probleme der Schematheorie, sie liefert auch Ansatzpunkte für ein Verständnis der einleitend angedeuteten Inkonsistenzen in den mit der Vorinformationsmethode erhobenen Befunden. Wenn Vorbereitungseffekte auf sensorische Antizipationen zurückgehen und von den jeweils zugrunde liegenden Verhaltenserfahrungen abhängen, dann ist es verständlich, daß sie vielfachen Einflüssen unterliegen. Die Pbn können sich bspw. entweder auf die Antizipation von Reaktionssignalen oder auf die von Verhaltenskonsequenzen konzentrieren und mit diesen verschiedenen "Techniken" dann auch unterschiedliche Effekte produzieren. Hoffmann (1990) berichtet über entsprechende Äußerungen seiner Pbn. Während einige Pbn sagten, sie hätten versucht, sich die zu erwartenden Reaktionssignale (Buchstaben) vorzustellen, äußerten andere Pbn, sie hätten die Finger stärker gefühlt, die in Bereitschaft gehalten werden sollten. Es ist auch zu erwarten, daß die Effekte für unterschiedliche Effektoren verschieden ausfallen. Aktionen der Hände werden etwa häufiger getrennt voneinander geplant und ausgeführt als Aktionen der Füße. Die "vorexperimentellen" Strukturen der Steuerung von Handreaktionen differenzieren daher vermutlich stärker zwischen rechts und links als die von Fußreaktionen. Es ist dann nicht erstaunlich, wenn auch die Vorbereitungseffekte für Hand- und Fußreaktionen unterschiedlich ausfallen. Die Abhängigkeit der Effekte von der Vorbereitungszeit ergibt sich aus dem Zeitaufwand, den sensorische Antizipationen benötigen, und auch die Trainingsabhängigkeit der Vorbereitungseffekte fügt sich in unsere Auffassung. Sie ist zu erwarten, da das im Versuch geforderte Verhalten immer stärker an die entsprechenden Antizipationen gebunden wird.

Alle diese Spekulationen beschreiben mögliche Erklärungsansätze, die noch einer experimentellen Überprüfung bedürfen. Es sollte aber deutlich geworden sein, daß unsere Überlegungen auch zu den Ergebnissen passen, die unter der Annahme einer motorischen Vorspezifikation erhoben worden sind. Sie erweisen sich damit auch in diesem Forschungsgebiet als ein nützlicher theoretischer Rahmen sowohl für die Integration vorliegender Befunde als auch für die Ableitung weiterführender Fragestellungen. Von besonderem Interesse scheinen mir Untersuchungen zu sein, die die Grenzen der Erlernbarkeit von Beziehungen zwischen Verhaltenskonsequenzen und Verhaltensspezifikationen aufzudecken helfen. Solange die Konsequenzen unseres Verhaltens unmittelbar eintreffen und zwischen ihren Eigenschaften und den Verhaltensparametern monotone Zusammenhänge bestehen, solange scheint es einfach zu sein, diese Zusammenhänge der Verhaltenssteuerung zugrunde zu legen. Treten die Verhaltenskonsequenzen jedoch verzögert ein, und ist ihr Zusammenhang mit Verhaltensparametern nicht monoton, dann wird es schwieriger, das Verhalten

erfolgreich zu steuern. Und wenn die Zusammenhänge noch von vielleicht unauffälligen Ausgangsbedingungen abhängen, gibt es möglicherweise unüberwindbare Grenzen für ihre Berücksichtigung. Dies herauszufinden, bedarf einer gezielten Variation von Beziehungen zwischen Eigenschaften von Ausgangsbedingungen, Eigenschaften von Verhaltenskonsequenzen und Parametern des zwischen beidem vermittelnden Verhaltens. Es wird sich dann zeigen, welche Zusammenhänge nach welchem Lernaufwand in erfolgreiche Verhaltenssteuerung umgesetzt sind und für welche Zusammenhänge dies möglicherweise nie erreicht wird.



## **Kapitel 10: Sequentielle Strukturen und Verhaltensplanung**

Im Alltag stehen wir selten in der Situation, auf ein bestimmtes Verhalten vorbereitet zu sein und nur noch auf ein Signal warten zu müssen, um es auszuführen. Selbst, wenn wir an einer Ampel auf "Grün" warten, oder auf das Klingeln des Kurzzeitweckers, um Brötchen aus dem Ofen zu nehmen, sind diese Situationen in Verhaltensfolgen eingebettet, bspw. in die Vorbereitung eines Frühstücks oder in die Fahrt zum Büro. Verhaltensfolgen sind in der Regel nicht homogen. Einige der aufeinanderfolgenden Verhaltensakte gehören immer enger zusammen als andere. Die Gesamtfolge, so kann man auch sagen, gliedert sich in Teilfolgen. Die Frühstücksvorbereitung bspw. setzt sich aus Teilhandlungen wie Kaffeekochen, Brötchen aufbacken, Tisch decken usw. zusammen, und die Fahrt zum Büro gliedert sich in die Ausfahrt aus der Garage, den Weg zur Hauptstraße, die Fahrt auf der Hauptstraße und die Abfahrt zum Institutsparkplatz. Nach welchen Gesetzmäßigkeiten kommt es zur Herausbildung dieser Teilhandlungen? Wodurch wird bestimmt, welche Verhaltensakte jeweils zusammengefaßt werden? Wie stabilisiert sich die Verhaltensaussführung innerhalb der Teilhandlungen, und nach welchen Regeln werden sie zu längeren Verhaltensketten verbunden? Wie wird ihre Ausführung geplant und kontrolliert? Dies sind die Fragen, die wir in diesem Kapitel diskutieren werden.

Ich werde einige ausgewählte Befunde zur Strukturierung von Verhaltensfolgen aus verschiedenen Bereichen darstellen. Die Beobachtungen sind dabei so weitgehend übereinstimmend, daß man generelle Mechanismen der Strukturbildung vermuten kann. Die vorliegenden Ansätze zur Modellierung dieser Mechanismen werden den Beobachtungen jedoch nur teilweise gerecht. Ich werde am Schluß dieses Kapitels wieder zu zeigen versuchen, daß die Überlegungen zur antizipativen Verhaltenssteuerung einen Rahmen bieten, der die bestehenden Erklärungsdefizite möglicherweise zu überwinden erlaubt.

### **Die Strukturierung von Folgen einfacher motorischer Akte**

Beginnen wir unsere Diskussion mit der Schilderung eines einfachen Experimentes (Rosenbaum, Kenny & Derr, 1983). Die Pbn hatten mit den Zeige- und Mittelfingern beider Hände acht Tastenanschläge in immer wieder gleicher Folge sechs Mal hintereinander zu realisieren. Eine der Anschlagfolgen war bspw. die Folge "ZzZzMmMm".

Die Buchstaben Z und M stehen für Anschläge mit dem Zeige- und Mittelfinger, wobei Großbuchstaben Finger der rechten und Kleinbuchstaben Finger der linken Hand bezeichnen. Die wiederholte Realisierung einer solchen Folge ist vergleichbar mit dem Schreiben immer desselben Wortes auf einer Schreibmaschine oder mit dem Spielen immer derselben Melodie am Klavier. Schon nach kurzem Training zeigen die Zeiten zwischen den Anschlägen ein festes Profil, das in Abbildung 10.1. wiedergegeben ist.

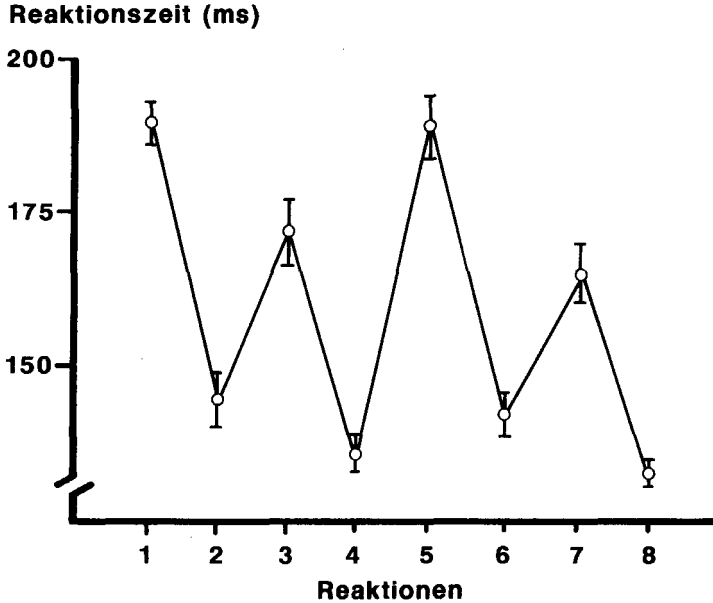


Abbildung 10.1.: Reaktionszeitprofil für die wiederholte Ausführung einer festen Folge von Tastenanschlägen (nach Rosenbaum, Kenny & Derr, 1983).

Interpretiert man die Reaktionszeiten als Ausdruck der Zusammengehörigkeit der beiden jeweils aufeinanderfolgenden Anschläge, so daß sie als umso enger zusammengehörend angesehen werden, je kürzer die Zeit zwischen ihnen ist, dann verweist das Zeitprofil der Abbildung 10.1. auf die folgende Struktur: Besonders eng gehören die jeweils paarweise aufeinanderfolgenden Anschläge zusammen. Sie bilden offensichtlich elementare Teilfolgen. Am wenigstens eng sind der vierte mit dem fünften und der achte mit dem ersten Anschlag verbunden. D.h., die Paare sind offensichtlich zu Quadrupeln verbunden. Die Struktur läßt sich somit als  $((Zz)(Zz))((Mm)(Mm))$  darstellen. Die Klammerungen bringen die Gliederung der Anschlagfolge in zwei Quadrupel zum Ausdruck, die ihrerseits wieder in je zwei Paare gegliedert sind. Die zeitliche Rhythmik der Ausführung wird hier als Indiz und Kriterium für die Struktur der Folge verwendet.

Solche Rhythmen lassen sich auch bei vielen anderen Verhaltensfolgen beobachten: Viviani und Terzuola (1980) haben bspw. Anschlagzeiten bei Sekretärinnen gemessen und festgestellt, daß die Rhythmen, mit denen einzelne Worte geschrieben werden, über die verschiedensten Kontexte hinweg außerordentlich konstant bleiben. Zwar schwanken die Gesamtzeiten für das Schreiben eines Wortes teilweise erheblich, die *Zeitrelationen* zwischen den Anschlägen bleiben jedoch unverändert. Konstante Rhythmen konnten die Autoren auch für handschriftliches Schreiben nachweisen. Im Vergleich zu Folgen diskreter Anschläge ist es bei kontinuierlichen Bewegungen allerdings aufwendiger, deren Rhythmik zu erfassen. Es müssen zunächst Weg-Zeit-Kurven der Schreibbewegung aufgezeichnet werden. Diskontinuitäten in diesen Weg-Zeit-Kurven, wie etwa Wendepunkte, können dann verwendet werden, um einzelne Bewegungsabschnitte voneinander zu trennen. Der Zeitverbrauch der Bewegungsabschnitte kann nun ermittelt werden. Es zeigt sich, daß etwa beim wiederholten Schreiben eines Wortes zwar die Gesamtzeit in Abhängigkeit von den jeweiligen Umständen variiert, die Relationen zwischen den Zeiten einzelner Bewegungsabschnitte aber unverändert bleiben.

Man findet bei den meisten Verhaltensweisen, die unter konstanten Bedingungen wiederholt auszuführen sind, solche Rhythmen (vgl. Shaffer, 1982). Beim 'Laufen' bspw. sind die Schwingungsphasen der verschiedenen Extremitäten in einem festen Rhythmus aufeinander abgestimmt. Der lauftypische Rhythmus ändert sich erst, wenn mit dem Überschreiten einer bestimmten Geschwindigkeit eine andere Form der Koordination einsetzt und zum 'Joggen' übergegangen wird (Shapiro, Zernicke, Gregor & Diestel, 1981). Diese Rhythmen der Bewegungsausführung können verschiedene Ursachen haben. Biomechanische und biokinetische Eigenschaften der auszuführenden Bewegungen können allein schon bestimmte zeitliche Verhältnisse erzwingen (Easton, 1978; Schneider, Zernicke, Schmidt & Hart, 1989; Viviani, 1986; Zernicke, Schneider, Buford, 1991). Ein besonders einfaches Beispiel liefern Anschläge auf einer Schreibmaschine. Es ist bekannt, daß Anschlagwechsel zwischen den Händen generell schneller ausgeführt werden, als Anschlagwechsel innerhalb einer Hand (Salthouse, 1984; Rumelhart & Norman, 1982). Bei der komplexeren Koordination von Bewegungen verschiedener Gliedmaßen stellen sich dagegen spontan rhythmische Interaktionen ein (Grunkel, 1962; von Holst, 1939). Neben solchen "peripher" wirkenden Faktoren können jedoch auch "zentrale" Ursachen der Rhythmisierung vermutet werden.

Die von Viviani und Terzuola beobachteten Rhythmen beim Schreiben bleiben bspw. auch dann erhalten, wenn durch Versteifung des Handgelenks anstatt mit der Hand mit dem Arm geschrieben werden muß, so daß die Schreibbewegungen nun von anderen Muskeln übernommen werden (Viviani & Terzuola, 1980; Merton, 1972; Raibert, 1978). Oder, der in Abbildung 10.1. gezeigte Rhythmus stellt sich auch dann ein, wenn die Anschläge in anderer aber gleich strukturierter Folge (bspw. ZmZmMzMz) realisiert werden. Er wird also nicht durch die speziellen Eigenschaften einzelner Anschlagwechsel verursacht (Povel & Collard, 1982). Diese Unabhängigkeit der

Rhythmik von der Spezifik der konkret auszuführenden Bewegungen deutet darauf hin, daß sie wenigstens teilweise durch "zentrale" Mechanismen bedingt ist, die auf unterschiedliche Verhaltenselemente gleichermaßen angewendet werden. In der Literatur wird die zentrale Verhaltenssteuerung mit dem Konzept des generalisierten motorischen Programms verbunden (Keele, 1968; Pew, 1974; Shaffer, 1982; Rosenbaum, 1985; u.a.). Die Ausführung der Verhaltensakte, so wird angenommen, wird durch ein Programm kontrolliert, das ihre Aufeinanderfolge festlegt: ".. a motor program is a set of grammatical representations of intended action, constructed by a control system, as a hierarchy of abstractions, terminating in motor output" (Shaffer, 1982, S.110).

Rosenbaum, et al. (1983) nehmen bspw. an, daß die Ausführung der untersuchten Anschlagfolgen durch ein Motor-Programm mit hierarchischer Struktur gesteuert wird. Die Programmstruktur ist in Abbildung 10.2. wiedergegeben. Auf der untersten Ebene sind konkrete Anschlagbewegungen repräsentiert. Die Reihenfolge ihrer Ausführung wird durch die zwischen ihnen bestehenden Verbindungen festgelegt. Auf der ersten Ebene der Hierarchie sind Paare von jeweils nacheinander auszuführenden Anschlägen verbunden. Auf der nächsten Ebene ist festgelegt, in welcher Folge diese Paare auszuführen sind. Und schließlich wird auf der höchsten Ebene die Aufeinanderfolge der Quadrupel bestimmt. Die Ausführung erfolgt, indem die gegebene Struktur von links nach rechts "durchlaufen" wird (tree traversal process). Die Zeiten zwischen den Anschlägen ergeben sich aus der Anzahl der Verbindungen, die jeweils durchlaufen werden müssen, um zum nächsten Element zu gelangen. Der in Abbildung 10.1. dargestellte Rhythmus ist nach diesen Überlegungen durch die hierarchische Struktur des motorischen Programms bedingt, das die Ausführung der Anschläge steuert (vgl. Rosenbaum et al., 1983).

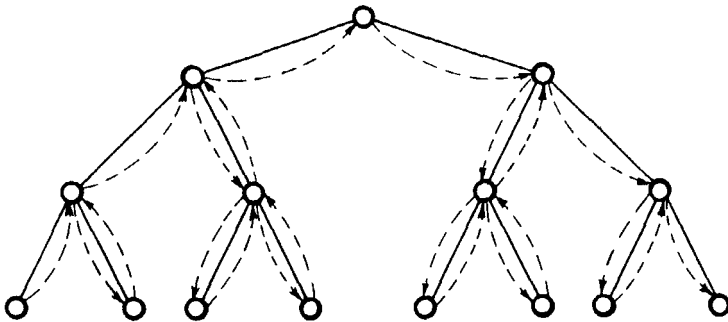


Abbildung 10.2.: Ein hierarchisches Programm zur Steuerung einer Folge von diskreten Bewegungen, das ein Reaktionszeitprofil wie in Abbildung 10.1. erzeugen würde (nach Rosenbaum, Kenny & Derr, 1983). Die gestrichelten Linien verweisen auf Prozesse der Verhaltensgenerierung beim "Durchlaufen" des Programmes.

## **Motorische Programme**

Die Überlegung, daß motorische Programme die Ausführung von Verhaltensfolgen steuern, wird durch weitere experimentelle Beobachtungen unterstützt, über die ich im folgenden einen kurzen Überblick gebe.

Die im vorigen Kapitel beschriebene Wahlreaktionsmethode ist dahingehend erweitert worden, daß die Pbn auf ein entsprechendes Reaktionssignal nicht eine von mehreren Reaktionen, sondern eine von mehreren Verhaltensfolgen, etwa Folgen von Arm-, Sprech- oder Fingerbewegungen zu realisieren hatten. In solchen Wahl-Verhaltensfolge-Experimenten sind die Zeiten von der Darbietung des Signals bis zum Beginn der Verhaltensfolge von deren Länge und Komplexität abhängig. Je länger und je komplexer die zu realisierende Folge ist, desto mehr Zeit "nehmen" sich die Pbn bis sie mit der Ausführung beginnen (z.B. Henry & Rogers, 1960; Sternberg, Monsell, Knoll & Wright, 1978; Klapp, 1974, 1978; Sheridan, 1984; Rosenbaum, Gordon, Stillings & Feinstein, 1987). Dieser Zusammenhang unterstützt die Annahme, daß vor dem Beginn der Ausführung ein für die Verhaltenssteuerung notwendiges Programm spezifiziert werden muß und daß dieser "Programmiervorgang" umso länger dauert, je länger und komplexer die Verhaltensfolge ist.

Längere Folgen, so wird man allerdings annehmen müssen, werden nicht insgesamt vorprogrammiert. Daß etwa ein Pianist alle Anschlagbewegungen eines Satzes vorprogrammiert, bevor er ihn zu spielen beginnt, ist höchst unwahrscheinlich. Er wird vermutlich höchstens das erste Thema vorprogrammieren und während er dies spielt, die folgenden Abschnitte vorbereiten. Die Ausführung längerer Verhaltensfolgen geht also vermutlich mit einer vorseilenden Vorprogrammierung Hand in Hand. So ist auch von Sekretärinnen bekannt, daß die "Vorhaltespanne", mit der das Lesen dem Schreiben eines Textes vorseilt, mit der Berufserfahrung größer wird (Salhouse, 1984). Und geübte Skiabfahrtsläufer berichten, daß bei einer Abfahrt ihr Blick immer mindestens 10 m voraus ist: "Der Abstand geht dauernd vor mir her, ein dauerndes Vortasten" (Kohl, 1956, S.74). Wie allerdings diese Gleichzeitigkeit von Verhaltenssteuerung und vorseilender Verhaltensplanung organisiert und lernabhängig verbessert wird, wurde bisher m.W. kaum untersucht (vgl. Rosenbaum, Hindorff & Munro, 1987).

In den Wahl-Verhaltensfolge-Experimenten lassen sich gleiche Kompatibilitätseffekte beobachten, wie wir sie bereits für Wahl-Reaktions-Experimente besprochen haben. Kompatibilität zwischen dem Ort des Reaktionssignals und dem Ausführungsort der ersten Aktion führt im Vergleich zu inkompatiblen Zuordnungen zu schnelleren Reaktionen. Inhoff, Rosenbaum, Gordon und Campbell (1984) haben darüber hinausgehend gezeigt, daß nicht nur die Kompatibilität zur ersten sondern auch zu späteren Aktionen Einfluß auf die Reaktionszeit hat (vgl. auch Rosenbaum, et al.,

1987). Dies ist gut mit der Überlegung vereinbar, daß Eigenschaften der später zu realisierenden Aktionen vorprogrammiert werden, so daß ihre Kompatibilität zum Reaktionssignal Einfluß bereits auf den Beginn der Verhaltensausführung nehmen kann.

Eine andere Überlegung geht von den im vorigen Kapitel besprochenen Reaktionsvorbereitungseffekten aus. Wenn es möglich ist, für Reaktionen gemeinsame motorische Parameter vorzuspezifizieren, dann sollte es auch möglich sein, für Verhaltensfolgen gemeinsame Anteile ihrer Programme vorzubereiten. Rosenbaum und seine Mitarbeiter sind in zahlreichen Experimenten dieser Überlegung nachgegangen. Das prinzipielle Vorgehen soll an einem einfachen Beispiel erläutert werden (Rosenbaum, Inhoff & Gordon, 1984). Die Pbn hatten jeweils eine von zwei Folgen dreier Anschläge mit den Zeige-, Ring- und Mittelfingern beider Hände (Z,R,M und z,r,m) auszuführen. Die Folgen unterschieden sich jeweils nur in einem einzigen Anschlag. Variiert wurde die Position, an der dieser Unterschied lag. Er konnte entweder an erster (z.B. zrm/zrM), an zweiter (z.B. zrm/zRm) oder an dritter Stelle (z.B. zrm/zrM) liegen. Das Ergebnis ist eindeutig. Je später der Unterschied zu berücksichtigen ist, desto schneller reagieren die Pbn. Das Resultat besagt, daß eine von zwei Verhaltensfolgen um so schneller begonnen wird, je mehr *Anfangselemente* beide Folgen gemeinsam haben.

Dieser Zusammenhang konnte in vielen weiteren Experimenten bestätigt werden (Rosenbaum, Saltzman & Kingham, 1984; Rosenbaum, Hindorff & Munro, 1987; Rosenbaum, 1985, 1987). Er läßt vermuten, daß vor dem Beginn wenigstens kürzerer Verhaltensfolgen ihre Ausführung jeweils soweit vorprogrammiert wird, soweit die Verhaltensakte vorausbestimmt werden können. Die Vorprogrammierung endet an der Stelle, an der die erste Unsicherheit über das weitere Verhalten auftritt. Je später diese Stelle liegt, desto vollständiger ist die Vorprogrammierung und desto weniger Programmieraufwand verbleibt, wenn durch das Reaktionssignal die Unsicherheit über die Verhaltensfortführung aufgehoben wird. Es ist diese Ersparnis im Programmieraufwand, die in der Verkürzung der Reaktionszeiten zum Ausdruck kommt.

Nach den bisherigen Überlegungen werden ausschließlich die konkret auszuführenden Verhaltensakte vorprogrammiert. Ziebler, Hänel und Hoffmann (1988) haben ergänzend gezeigt, daß auch abstrakte Struktureigenschaften einer Verhaltensfolge vorprogrammiert werden können. In einem der Experimente (Experiment 2) wurden die in Abbildung 10.3. dargestellten Folgen von Tastenanschlägen verwendet.

Die Folgen sind mit den Buchstaben W, F, S und X bezeichnet. Die Buchstaben M, m, Z und z stehen wieder für die Mittel- und Zeigefinger beider Hände. Jeweils zwei der Folgen (W und F sowie S und X) haben gemeinsame Anfangselemente, jeweils zwei andere weisen gemeinsame Struktureigenschaften auf: In den Folgen W und S sind die ersten drei Anschläge zu wiederholen. In den Folgen F und X ist dagegen das erste

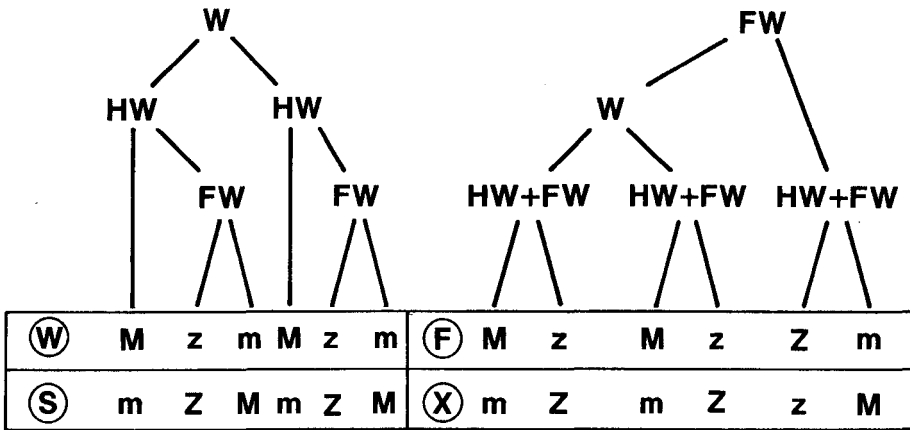


Abbildung 10.3.: Vier Folgen von Tastenschlägen mit den Mittel- und Zeigefingern beider Hände (Mm und Zz) aus einem Experiment von Zießler, Hänel und Hoffmann (1988). Die Strukturbeschreibungen beziehen sich auf Wechsel zwischen Fingern (FW) zwischen Händen (HW) und auf Wiederholungen (W).

Paar zu wiederholen und ein weiteres Paar anzufügen. Die "Wiederholungsstruktur" bei W und S kann als (123 123) und die bei F und X als (12 12 34) beschrieben werden.

Im Experiment haben die Pbn immer nur zwischen zwei der vier Folgen zu wählen. Welche der beiden auszuführen ist, wird durch das Reaktionssignal bestimmt. Variiert wird die Zusammenstellung der Alternativen. Bei einer Wahl zwischen Folgen mit gemeinsamen Anfangselementen (z.B. W und F), sollten diese vorprogrammiert werden und damit zu einer Ersparnis im noch verbleibenden Programmieraufwand führen. Ist dagegen zwischen Folgen mit gleichen Strukturen zu wählen (z.B. W und S), dann unterscheiden sich die Alternativen bereits im ersten Anschlag und eine Vorprogrammierung sollte nach den bisherigen Überlegungen nicht möglich sein. In einer Kontrollbedingung werden Alternativen verwendet, die weder gemeinsame Anfangs-

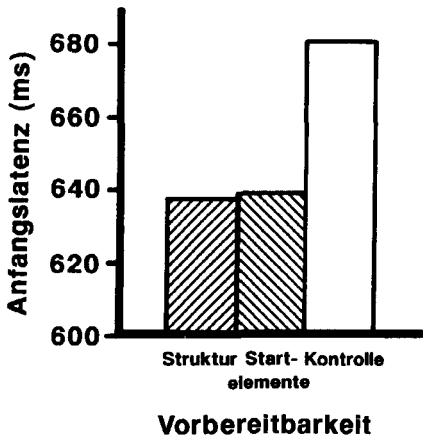


Abbildung 10.4.: Mittlere Latenzen bis zum Beginn der Bewegungsausführung in Abhängigkeit davon, ob Anfangselemente, Struktureigenschaften oder keine Eigenschaften (Kontrolle) der auszuführenden Sequenzen vorbereitet werden konnten (nach Zießler, Hänel & Hoffmann, 1988).

elemente noch gemeinsame Strukturen aufweisen (W und X sowie S und F). Im Ergebnis zeigt sich, daß im Vergleich zur Kontrollbedingung beide Arten von Gemeinsamkeiten zu einer Verkürzung der Reaktionszeiten führen (vgl. Abbildung 10.4.).

Die Pbn können sich unter den geschilderten Bedingungen offensichtlich nicht nur auf gemeinsame Anfangselemente vorbereiten, sondern auch darauf, ob sie eine Dreiersequenz zu wiederholen oder aber drei Paare zu realisieren haben, von denen nur das erste zu wiederholen ist. Diese Vorbereitung läßt sie dann schneller reagieren, obwohl die konkret auszuführenden Anschläge erst durch das Reaktionssignal spezifiziert werden. Dies belegt, daß neben konkreten Elementen auch abstrakte Struktureigenschaften von Verhaltensfolgen Bestandteil motorischer Programme sein können, die unabhängig von den auszuführenden Verhaltensakten vorprogrammierbar sind. Motorische Programme enthalten danach nicht nur Festlegungen über die Folge der zu realisierenden Verhaltensakte sondern auch über Relationen, die zwischen ihnen innerhalb der Verhaltensfolge bestehen, im vorliegenden Fall über Identitätsrelationen.

Diese Schlußfolgerung konnte in einem nachfolgenden Experiment bekräftigt werden (Zießler, Hänel & Sachse, 1990). Dieses Experiment ist insofern von besonderem Interesse, als es sich um ein Lernexperiment handelt. Die Pbn hatten die Ausführung der in Abbildung 10.5. beschriebenen Folgen nacheinander zu lernen. Mit der wiederholten Ausführung verkürzen sich die Zeiten zwischen den Anschlägen kontinuierlich. Die jeweilige Folge wird also immer flüssiger realisiert. Es wurde nun gezeigt, daß dieser sequenzspezifische Übungsgewinn größer ist, wenn zuvor eine Folge mit gleichen Struktureigenschaften geübt wurde. Die Autoren interpretieren das Resultat als weiteren Hinweis darauf, daß durch invariante strukturelle Eigenschaften von Verhaltensfolgen eine Art Erzeugungsprinzip, konstituiert wird, das mit der Übung erworben und auf andere Verhaltenssequenzen übertragen werden kann. Um eine strukturgleiche neue Sequenz zu beherrschen, müssen dann "nur" noch die neuen Verhaltensakte gelernt werden, ihre strukturelle Anordnung ist bereits fixiert. Es ist vermutlich vor allem dieser strukturelle Transfer, der es etwa einem versierten Klavierspieler relativ leicht macht, Akkordeon spielen zu lernen, obwohl dort völlig andere Bewegungen verlangt werden.

Die referierten Beobachtungen lassen vermuten, daß mit der wiederholten Ausführung von Verhaltensfolgen Strukturen ausgebildet werden, die die Aufeinanderfolge der einzelnen Verhaltensakte steuern und ihre "ordnungsgemäße" Ausführung kontrollieren. Solche motorischen Programme, wie sie genannt worden sind, werden wenigstens für kürzere Verhaltensfolgen noch vor dem Beginn ihrer Ausführung in Bereitschaft gesetzt oder festgelegt. Sie spezifizieren, welche Verhaltensakte in welcher Reihenfolge ausgeführt werden sollen. In diesem Sinne repräsentieren sie einen Verhaltensplan. Es



ist weiter gezeigt worden, daß motorische Programme auch Relationen zwischen den Verhaltensakten vorsezifizieren können und in diesem Sinne von ihnen abstrahieren. Es handelt sich dann um abstrakte oder generalisierte Programme, mit denen Struktureigenschaften des Verhaltens festgelegt werden, ohne das zu realisierende Verhalten selbst schon zu bestimmen. Welche Relationen allerdings für eine solche Strukturbildung genutzt werden und nach welchen Gesetzmäßigkeiten sie erfolgt, ist noch nicht systematisch untersucht.

### **Programme zur Steuerung verbaler Reproduktionen**

Im vorigen Abschnitt ging es um die Strukturierung von Verhaltensfolgen, die aus dem Gedächtnis zu reproduzieren waren. Wenn ein Pb etwa eine Folge von Tastenschlägen ausführen soll, dann muß er wissen, in welcher Folge welche Tasten zu drücken sind. In gleicher Weise muß ein Klavierspieler, der nicht vom Blatt spielt, wissen, in welcher Folge er welche Tasten anschlagen muß. Ein Mechaniker muß wissen, in welcher Folge welche Schrauben zu lösen sind, ein Koch in welcher Folge er welche Zutaten begeben muß usw. Dieses Wissen um die sequentielle Ordnung von Verhaltensakten muß irgendwie im Gedächtnis gespeichert sein, und unsere Diskussion hat die weit verbreitete Auffassung wiedergegeben, daß es in Form motorischer Programme gespeichert ist.

Wenn wir uns nun an die Stelle von motorisch definierten Verhaltensakten Buchstaben oder Zahlen denken und fragen, wie denn die Reproduktion bspw. des Alphabets oder von Telefonnummern organisiert ist, dann haben wir es mit dem gleichen Problem zu tun. Auch hier sind einfache Elemente in einer bestimmten Reihenfolge zu reproduzieren und es muß gefragt werden, wie denn das Wissen um die jeweiligen Folgen gespeichert ist. Vielleicht, so kann man vermuten, existieren auch hier Programme, die Informationen über die jeweiligen sequentiellen Strukturen repräsentieren.

Diese Überlegung ist insofern suggestiv, als sie sich mit unserer Alltagserfahrung deckt. Auch verbale Reproduktionen sind nicht homogen, sondern strukturiert. Wenn wir eine Telefonnummer erinnern, dann zumeist als eine Sequenz von Teilfolgen. Die einzelnen Teile bilden hier so enge Einheiten, daß wir sogar die eigene Nummer nicht wiedererkennen, wenn sie in einer anderen als der gewohnten Gliederung genannt wird: Ist 3 36 46 64 die gleiche Nummer wie 33 64 66 4? Wir bilden solche Strukturen nicht willkürlich, sondern nutzen zumeist Beziehungen zwischen den Elementen, um uns ihre Reihenfolge leichter einzuprägen. Wir profitieren bspw. davon, daß in den genannten Beispielen zwischen 36 und 46, zwischen 46 und 64 oder zwischen 33 und 66 feste Beziehungen bestehen. Auch das Alphabet reproduzieren wir nicht monoton, sondern in Teilen von jeweils zusammengehörenden Buchstaben. Bei Untersuchungen an

amerikanischen Pbn ist mit trickreichen Techniken gezeigt worden, daß sich das (amerikanische) Alphabet in die Cluster ABCDEFG/HIJK/LMNOP/QRST/UV/WXYZ gliedert, die auch in einem typischen Rhythmus reproduziert werden (Klahr, Chase & Lovelace, 1983). Es spricht also einiges dafür, daß auch verbale Reproduktionen durch Programme gesteuert werden, mit denen ihre sequentielle Strukturierung bestimmt wird. Ich werde wieder einige Ergebnisse beschreiben, die diese Auffassung stützen (vgl. auch Hoffmann, im Druck b).

Man hat schon bei freien Reproduktionen immer wieder beobachtet, daß sich Cluster von jeweils zusammengehörigen Elementen bilden. Fordert man Pbn bspw. auf, alle ihnen bekannten Komponisten, Hauptstädte, Baumarten, Autotypen o.ä. zu nennen, erfolgen die Reproduktionen zumeist "stotternd". Es werden jeweils relativ schnell hintereinander mehrere Beispiele genannt, zwischen deren Reproduktion immer länger werdende Pausen eintreten (Bousfield & Sedgewick, 1944; Walker & Kintsch, 1985). Die zusammenhängend reproduzierten Beispiele repräsentieren dabei zumeist homogen verbundene Items, wie bspw. Autos, die auf dem Institutsparkplatz stehen; Autos, die in der Familie gefahren werden; Autos japanischer Hersteller usw.

Die strukturbildende Wirkung von Relationen zeigt sich ebenfalls deutlich, wenn Listen von Worten reproduziert werden, die so ausgewählt sind, daß zwischen ihnen systematische Relationen bestehen. In einer Untersuchung von Hoffmann (1980) wurde bspw. eine Liste der folgenden 20 Wörter verwendet:

|                 |                    |                |                   |
|-----------------|--------------------|----------------|-------------------|
| <i>Polizist</i> | <i>verfolgen</i>   | <i>Dieb</i>    | <i>Auto</i>       |
| <i>Hausfrau</i> | <i>putzen</i>      | <i>Fenster</i> | <i>Lappen</i>     |
| <i>Mann</i>     | <i>rasieren</i>    | <i>Bart</i>    | <i>Klinge</i>     |
| <i>Maurer</i>   | <i>bauen</i>       | <i>Haus</i>    | <i>Kran</i>       |
| <i>Arzt</i>     | <i>untersuchen</i> | <i>Patient</i> | <i>Stethoskop</i> |

Zeilenweise sind jeweils vier der Worte durch einen situationalen Zusammenhang verbunden. Die Liste wurde den Pbn sechs mal in unterschiedlicher aber immer ungeordneter Folge dargeboten. Nach jeder Darbietung waren die Worte in freier Folge zu reproduzieren. Unterwirft man die Nachbarschaftsbeziehungen in den Reproduktionsfolgen einer hierarchischen Clusteranalyse (Johnson, 1967), dann zeigt sich bei der sechsten Reproduktion das in Abbildung 10.5. dargestellte Ergebnis. Die situational zusammenhängenden Worte werden auch zusammenhängend reproduziert. Man könnte auch sagen, die Pbn haben ein Reproduktionsprogramm gebildet, in dem die Reproduktionsfolge durch die situationalen Beziehungen zwischen den Worten determiniert wird (vgl. für ähnliche Beobachtungen bspw. Bousfield, 1953; Hoffmann, 1983; Kintsch, 1971, 1972, Mandler, 1968; Tulving, 1962, 1966, 1968; Wortmann, 1975).

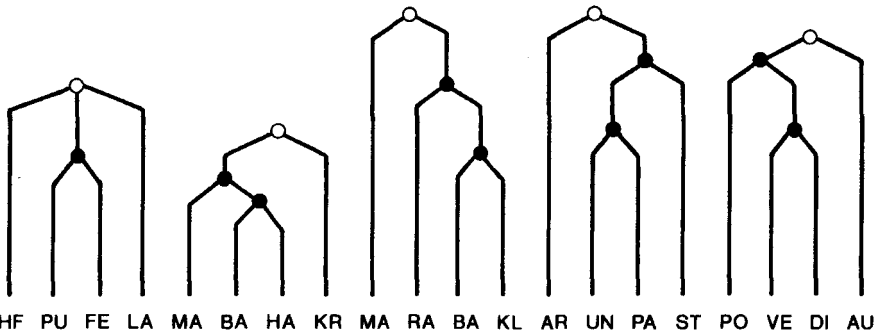


Abbildung 10.5.: Nachbarschaftsbeziehungen zwischen frei reproduzierten Worten einer wiederholt ungeordnet dargebotenen Wortliste. Die Buchstaben HF, PU, FE usw. beziehen sich auf die im Text vorliegende Wortliste (z.B. HF-Hausfrau, PO-Polizist usw., nach Hoffmann, 1980).

Wenn die freie Reproduktion von Worten durch die zwischen ihnen bestehenden Beziehungen organisiert wird, dann liegt es nahe, zu vermuten, daß die Reproduktion einer fest vorgegebenen Folge umso leichter gelingen wird, je vollständiger die Darbietungsordnung relational determiniert ist. Die Abbildung 10.6. zeigt bspw. eine Folge, die durch zwischen den Worten bestehende Relationen vollständig determiniert

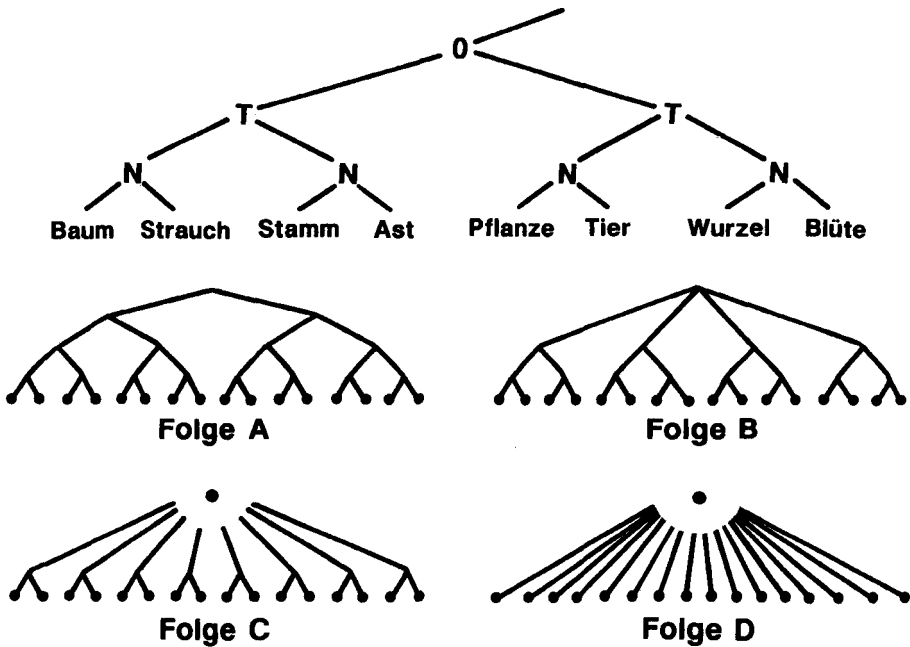


Abbildung 10.6.: Eine Wortliste deren Abfolge vollständig durch eine hierarchisch organisierte Anwendung semantischer Relationen determiniert ist (oben). Von Folge A zu Folge D wird der Grad der Determiniertheit schrittweise von oben nach unten abgebaut (nach Hoffmann & Rushkova, 1977).

ist. Jeweils Paare von benachbarten Worten sind durch eine Nebenordnungsrelation verbunden (Baum-Strauch, Stamm-Ast). Die ersten Elemente dieser Paare verbindet eine Teil-von-Relation (Baum-Stamm, Pflanze-Wurzel), so daß geordnete Qadrupel entstehen (z.B. Baum-Strauch-Stamm-Ast). Die ersten Elemente dieser Qadrupel sind durch eine Oberbegriffsrelation verbunden (Baum-Pflanze). Die Aufeinanderfolge der Worte wird also durch eine systematische Anwendung von Relationen zur Erzeugung der Folge bestimmt. Es entsteht eine hierarchische Struktur. Man kann eine solche Hierarchie schrittweise auflösen, indem man erst die Systematik in der Aufeinanderfolge der Qadrupel, später die in der Aufeinanderfolge der Paare und schließlich die innerhalb der Paare abbaut, so daß die Worte letztlich vollständig ungeordnet dargeboten werden (vgl. auch Underwood, Shaughnessy & Zimmermann, 1974).

Wortfolgen dieser Art wurden von Hoffmann und Rushkova (1977) verwendet. Die Pbn waren aufgefordert, das jeweils nächste Element der Folge vorauszusagen, und die Worte wurden solange dargeboten, bis sie in der gegebenen Reihenfolge fehlerfrei reproduziert werden konnten. Die Abbildung 10.7. zeigt die mittlere Anzahl von Reproduktionsfehlern in Abhängigkeit vom Grad der hierarchischen Organisiertheit. Mit

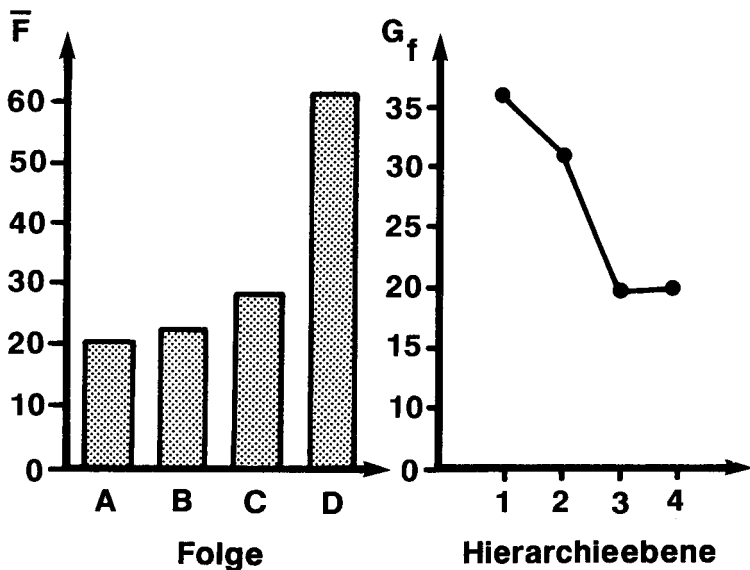


Abbildung 10.7.: Links, mittlere Anzahl von Fehlern, die Pbn machen, bis sie eine Liste von 16 Worten fehlerfrei in der vorgegebenen Folge reproduzieren können, in Abhängigkeit vom Grad der hierarchischen Ordnung der Aufeinanderfolge der Worte (A: vollständige hierarchische Struktur, D: Zufallsfolge, vgl. Abbildung 10.6.).

Rechts, mittlere Anzahl von Gesamtfehlern bei der Reproduktion einzelner Worte der hierarchischen Folge A in Abhängigkeit vom Hierarchieebeneniveau der jeweils determinierenden semantischen Relation (nach Hoffmann & Rushkova, 1977).

dem Grad der Organisiertheit wird der Lernaufwand kontinuierlich geringer. Die Abbildung zeigt auch die mittlere Anzahl von Reproduktionsfehlern für Worte an unterschiedlichen Positionen der hierarchischen Folge (A). Es werden jeweils die Worte zusammengefaßt, die durch eine gemeinsame Hierarchieebene determiniert sind. Die auf den unteren Hierarchieebenen 4 und 3 determinierten Worte (die jeweils zweiten Worte der Paare und die ersten Worte des jeweils zweiten Paares in einem Quadrupel) werden deutlich schneller gelernt als die anderen Worte.

Vergleicht man diese Befunde mit den Beobachtungen zur Reproduktion von Verhaltensfolgen (Abbildung 10.1), ergeben sich weitgehende Übereinstimmungen. So, wie dort die Schnelligkeit der Reproduktion von Anschlägen auf einer Tastatur durch eine hierarchische (Wiederholungs)Struktur der Folge determiniert wird, so wird hier die Leichtigkeit der Reproduktion der Worte durch die hierarchische Struktur ihrer relationalen Beziehungen determiniert. Dort werden die auf der untersten Hierarchieebene determinierten Items am schnellsten realisiert, hier werden sie am schnellsten gelernt. Auch die für Verhaltensfolgen festgestellte Transferierbarkeit motorischer Programme läßt sich für die Reproduktion von Wortfolgen zeigen. Die bei einer ersten Wortfolge zur Anwendung gekommenen Organisationsstrukturen können auf Folgen anderer Worte übertragen werden. Pbn lernen im Vergleich zu Kontrollgruppen Wortfolgen deutlich schneller, wenn sie zuvor eine Folge mit gleicher Organisationsstruktur gelernt haben, und die Organisationsstruktur einer zuvor gelernten Folge wird, wenn dies möglich ist, auf eine neue ungeordnete Folge übertragen (Hoffmann, 1975, 1979; vgl. auch Chase & Ericsson, 1981, 1982).

Zusammenfassend weisen die Ergebnisse darauf hin, daß die verbale Reproduktion aus dem Gedächtnis vergleichbaren Gesetzmäßigkeiten unterliegt, wie die Reproduktion von Verhaltensfolgen. Auch verbale Reproduktionen scheinen durch "Programme" gesteuert zu werden, in denen die Aufeinanderfolge der Items durch zwischen ihnen bestehende Relationen bestimmt wird. Sind die Relationen systematisch geordnet, dann entstehen hier wie dort hierarchische Strukturen. Auf der untersten Ebene werden benachbarte Einheiten zusammengefaßt, deren Aufeinanderfolge auf der nächst höheren Ebene erneut bestimmt wird usw. Die Daten zur verbalen Reproduktion belegen ferner, daß auch hier die ihnen zugrunde liegenden Strukturen in dem Sinne von den zu reproduzierenden Items abstrahieren, als sie zwischen Listen unterschiedlicher Items ebenso transferiert werden, wie motorische Programme. Auch wenn die Ergebnisse, die wir hier vergleichen, mit verschiedenen Forschungsintentionen erarbeitet wurden, einmal mit der Intention, die Mechanismen der Verhaltenssteuerung zu verstehen und das andere Mal mit der Intention, die Struktur deklarativen Wissens aufzudecken, so spricht doch nichts dagegen, ihre Entstehung auf gleiche Mechanismen zurückzuführen: Auf Mechanismen der *Verhaltensplanung*.

### Der implizite Erwerb sequentieller Strukturen

Die Frage, wie die Strukturen zur Planung und Steuerung von Verhaltensfolgen, seien es nun motorische Akte oder verbale Reproduktionen, erworben werden, haben wir bisher nur beiläufig gestreift. Obwohl in einigen der besprochenen Untersuchungen lernabhängige Veränderungen Gegenstand der Auswertung waren, so standen die Lernmechanismen doch niemals im Zentrum des Interesses. Wir werden später Modellüberlegungen zum sequentiellen Lernen noch ausführlich besprechen. An dieser Stelle soll auf ein aktuelles Forschungsgebiet eingegangen werden, in dem die Frage nach der lernabhängigen Strukturierung von Verhaltensfolgen unter dem Gesichtspunkt ihrer Bewußtheit untersucht wird (vgl. auch Perrig, 1990; Hoffmann, im Druck c). Obwohl die Forschungen zum unbewußten oder impliziten Lernen auch andere Phänomene umfassen, so ist doch die Mehrzahl der Untersuchungen mit dem Paradigma der sequentiellen Wahlreaktion durchgeführt worden.

In einer sequentiellen Wahlreaktionsanforderung werden den Pbn nacheinander Reize dargeboten, auf die sie mit vereinbarten Reaktionen so schnell wie möglich antworten sollen. Die für unser Thema kritische Bedingung ist die Aufeinanderfolge der Reize: Sie können in zufälliger oder aber in einer mehr oder weniger determinierten Anordnung dargeboten werden. So werden die Reize entweder in einer festen Folge ständig wiederholt, oder aber ihre Darbietung wird durch grammatische Regeln bestimmt. Die Abbildung 10.8 zeigt das Beispiel einer "Finite State" Grammatik.

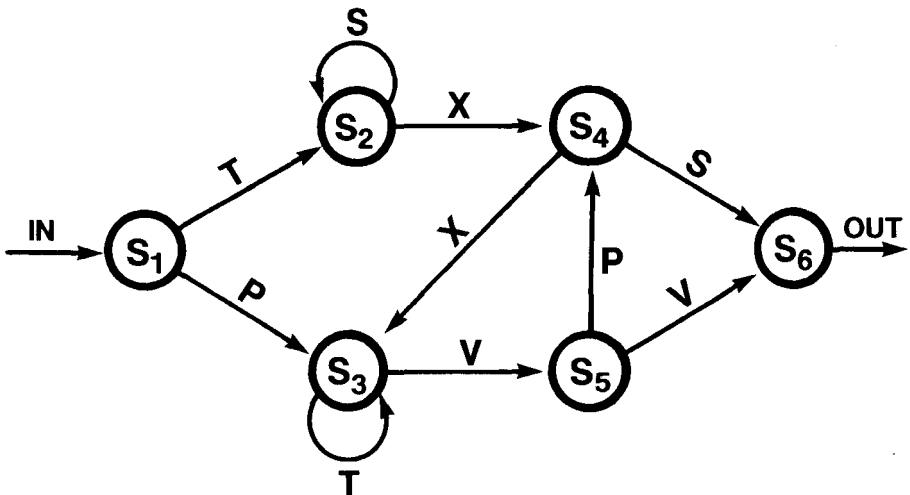


Abbildung 10.8.: Eine Finite State Grammatik: Sie schränkt die Übergänge zwischen einer begrenzten Anzahl von Zuständen auf einige wenige Möglichkeiten ein.

Eine endliche Menge von Zuständen  $S_i$  ist gegeben. Die Übergänge zwischen den Zuständen werden durch die Grammatik auf einige wenige eingeschränkt. Folgt man

diesen Übergängen und realisiert dabei den jeweils angegebenen Buchstaben, entstehen Folgen wie TSSXS, TSXXVPS, PTVPS oder PVPXVPS. Diese Folgen heißen "grammatisch" strukturiert. Im Vergleich dazu ist bspw. die Folge PXTVSXS agrammatisch, weil sie Übergänge zwischen P und X sowie zwischen V und S enthält, die nach den grammatischen Regeln untersagt sind. Die finite state Grammatik schränkt also die Aufeinanderfolge der Buchstaben in ähnlicher Weise ein, wie die Grammatik unserer Muttersprache die Aufeinanderfolge von Worten einschränkt.

Bietet man Pbn grammatisch strukturierte Reizfolgen kontinuierlich an und durchmischt sie mit einigen "agrammatischen" Reizen, dann zeigt sich bald ein grammatikspezifischer Lerngewinn (Cleeremans & McClelland, 1991): Die Reaktionszeiten auf grammatisch korrekt platzierte nehmen schneller ab, als auf agrammatisch platzierte Reize (vgl. Abbildung 10.9.).

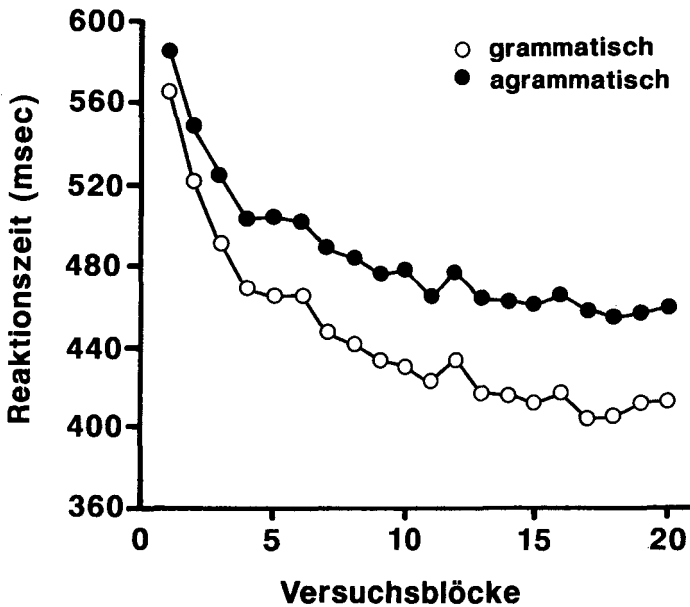


Abbildung 10.9.: Trainingsabhängige Reduktion der mittleren Reaktionszeiten auf nacheinander dargebotene Reize, deren Aufeinanderfolge einer Finite State Grammatik entsprach (grammatisch) bzw. nicht entsprach (agrammatisch, nach Cleeremans & McClelland, 1991).

Vergleichbare Ergebnisse sind für Reaktionen auf Reize beobachtet worden, deren Aufeinanderfolge entweder durch einzelne Regeln bestimmt war (Lewicki, 1989 a,b; Lewicki, Czyzewska & Hoffman, 1987; Lewicki & Hill, 1989; Lewicki, Hill & Bizot, 1988), oder einfach ständig wiederholt wurde (Cohen, Ivry & Keele, 1990; Nissen &

Bullemer, 1987; Willingham, Nissen & Bullemer, 1989). Auch hier nehmen die Reaktionszeiten stets schneller ab, als bei zufälliger Darbietung der gleichen Reize. Darüber hinaus wurde gezeigt daß grammatisch strukturierte Reizsequenzen im Vergleich zu zufälligen Folgen auch besser erinnert werden (Miller, 1958; Reber, 1967, 1976; Reber & Allen, 1978; zusammenfassend Reber, 1989).

Die Ergebnisse belegen, daß die sequentielle Struktur der Reize umso stärkeren Einfluß auf das Verhalten gewinnt, je vertrauter die Pbn mit den Reizfolgen im Verlaufe des Experimentes werden. Dennoch können sie oftmals, auch auf intensives Befragen hin, keine oder nur bruchstückhafte Angaben über Regelmäßigkeiten in der Aufeinanderfolge der Reize machen. Die Struktur der Reizdarbietung hat zwar Einfluß auf ihr Verhalten gewonnen, sie scheinen sie dennoch nicht bemerkt zu haben. Diese Dissoziation zwischen der Verhaltenswirksamkeit und der Berichtbarkeit sequentieller Strukturen hat einige Autoren veranlaßt, von einem impliziten Lernprozeß im Sinne einer unbewußten Anpassung des Verhaltens an strukturelle Eigenschaften der Umgebung, zu sprechen (z.B. Lewicki, 1986 a,b; Reber, 1989). Die Frage, inwieweit die beobachteten Lernvorgänge tatsächlich unbewußt sind, soll hier nicht diskutiert werden (vgl. Hoffmann, im Druck c). Wir wollen uns vielmehr auf die Frage konzentrieren, welche Mechanismen für die implizite Wirksamkeit sequentieller Strukturen verantwortlich gemacht werden können.

Es gibt einige Beobachtungen, die darauf hindeuten, daß die implizite Wirksamkeit sequentieller Strukturen vor allem auf kontingenten Nachbarschaftsbeziehungen zwischen den Reaktionssignalen beruht. So variierten Cohen, Ivry und Keele (1990) in ihren Experimenten die Eindeutigkeit der Aufeinanderfolge von Reizen. Es wurden Leuchtpunkte an unterschiedlichen Positionen dargeboten, auf die eine jeweils zugeordnete Taste so schnell wie möglich zu drücken war. Bezeichnen wir die Reize mit Ziffern, dann folgen in der Sequenz 15243... auf 1 stets 5, auf 2 stets 4, auf 3 stets 1, auf 4 stets 3 und auf 5 stets 2. Die Nachbarschaftsbeziehungen sind hier eindeutig. In der Sequenz 132312... dagegen, folgen auf 1 sowohl 3 und 2, auf 2 folgen 1 und 3, und nach 3 können 1 und 2 auftreten. Die Nachbarschaften sind hier mehrdeutig, da auf jeden Reiz stets einer von zwei anderen Reizen folgen kann. Eine hybride Sequenz wie 142312... besitzt dagegen sowohl eindeutige als auch mehrdeutige Nachbarschaften. Im Experiment werden Sequenzen aller drei Arten in ständiger Wiederholung dargeboten. In allen Sequenzen ist die Anordnung der Reize also deterministisch. Hinweise auf strukturspezifische Lerneffekte ergeben sich jedoch allein bei Sequenzen mit eindeutigen Nachbarschaften. Die implizite Wirksamkeit sequentieller Strukturen scheint danach von der Existenz eindeutiger Nachbarschaften, abhängig zu sein.

Mit einer anderen Methode kommen Perruchet und Pacteau (1990) zu ähnlichen Schlußfolgerungen. Die Pbn haben grammatisch strukturierte Buchstabenfolgen zu memorieren. Erst nach der "Gedächtnisprüfung" wird ihnen mitgeteilt, daß die Folgen nach grammatischen Regeln strukturiert waren, und sie werden nun aufgefordert, die



"Grammatikalität" einer Reihe neuer Folgen zu beurteilen. Die Anforderung ist mit einer Situation vergleichbar, in der man erst einige korrekte Sätze einer unbekannt Fremdsprache memoriert und dann für andere Sätze in dieser Sprache entscheiden soll, ob sie der (unbekannten) Grammatik genügen. Man kann hier, wenn überhaupt, nur ein intuitives Urteil haben, und auch die Pbn in der geschilderten Versuchsanordnung urteilen nach eigenen Aussagen intuitiv. Allerdings liegt ihre Urteilsfähigkeit deutlich über der Ratewahrscheinlichkeit. Die Pbn haben während des Memorierens, so wurde geschlußfolgert, die Grammatikalität der Folgen intuitiv zu erfassen gelernt (Dulany, Carlson & Dewey, 1984, 1985; Mathews, Buss, Stanley, Blanchard-Fields, Cho & Druhan, 1989; Reber, 1989, 1990). Perruchet und Pacteau (1990) führen nun eine Kontrollbedingung ein, in der die Pbn in der Lernphase anstelle grammatischer Folgen lediglich Paare grammatisch benachbarter Buchstaben lernen. Sie werden also nur mit den "lokalen" Restriktionen der Grammatik bezüglich möglicher Nachbarschaften vertraut gemacht. Die Ergebnisse zeigen, daß diese reduzierten Erfahrungen bereits ausreichen, um Grammatikalitätsurteile mit vergleichbarer Zuverlässigkeit abzugeben, wie Pbn, die zuvor ganze Folgen memoriert hatten. In anderen Worten: Die mit dem Memorieren erworbene Fähigkeit, Grammatikalität zu erfassen, kann auf Erfahrungen über nur Nachbarschaftsbeziehungen zurückgeführt werden. Es wird nicht *die* Grammatik gelernt, so argumentieren die Autoren, sondern lediglich die mit der Grammatikalität einhergehenden Nachbarschaftskontingenzen.

In diesem Zusammenhang ist auch eine randständige Beobachtung von Mathews, et al. (1989) von Interesse. In einer der dort berichteten Experimente wurden Buchstabenfolgen verwendet, deren Struktur durch kontingente Beziehungen zwischen *nicht*-benachbarten Reizen bestimmt war (bikonditionale Grammatik). Buchstaben an einer Stelle waren Buchstaben an einer anderen nicht-benachbarten Stelle fest zugeordnet. Die Resultate zeigen, daß solche entfernten Kontingenzen auch dann nicht gelernt werden, wenn die Pbn sie wiederholt erleben. Kontingenzen müssen also zwischen benachbarten Elementen bestehen, um implizit erfaßt zu werden.

Insgesamt lassen die Ergebnisse vermuten, daß der implizite Erwerb sequentieller Strukturen mit dem Erfassen von kontingenten Nachbarschaften beginnt. Wenn in einer Folge von Reizen auf einen Reiz A immer wieder (oder doch wenigstens häufig) ein anderer Reiz B und nur dieser folgt, dann wird dieser Zusammenhang vermutlich in dem Sinne erfaßt, daß nach dem Reiz A der Reiz B intuitiv erwartet wird. A und B werden auf diese Weise miteinander verbunden. Sie bilden eine Teilfolge, die sich von zufällig aufeinanderfolgenden Reizen abhebt. Die Gesamtfolge wird so in Teile gegliedert und damit strukturiert. Ausschlaggebend für diese elementare Form der Strukturbildung sind die statistischen Eigenschaften der Aufeinanderfolge von Reizen, genauer gesagt, die bedingten Auftrittswahrscheinlichkeiten erster Ordnung (vgl. auch die früheren Untersuchungen von Miller, 1958). Die qualitativen Beziehungen zwischen

den benachbarten Reizen spielen bei dieser Betrachtung keine Rolle. Es werden jedoch vereinzelt Aussagen von Pbn berichtet, die zeigen, daß die Qualität der Nachbarschaften sehr wohl auf die Strukturbildung Einfluß nimmt. Es fallen den Pbn bspw. Alternationen wie TVTV oder SQSQ besonders auf (Cleeremans & McClelland, 1991), oder sie bemerken, daß sich Reize niemals unmittelbar wiederholen (Lewicki, et al., 1988, vgl auch die Diskussion bei Hoffmann, im Druck c).

Daß implizite Strukturbildungen nicht allein auf der Verwertung von Übergangswahrscheinlichkeiten beruhen, zeigen auch strukturspezifische Transfereffekte. Die Abbildung 10.10. veranschaulicht entsprechende Versuchsvariationen einer frühen Untersuchung von Reber (1969). Es wurden zwei Grammatiken verwendet, die mit zwei unterschiedlichen Sätzen von Buchstaben realisiert wurden. Wird in zwei aufeinanderfolgenden Versuchen nur die Buchstabenbelegung einer schon zuvor verwendeten Grammatik geändert, ergibt sich ein starker positiver Transfer des im ersten Versuch erworbenen Wissens. Wird dagegen bei Verwendung gleicher Buchstaben die Grammatik verändert, wird kein Transfer beobachtet. Dieser positive "Grammatiktransfer" wurde auch in neueren Untersuchungen bestätigt (Mathews, et al., 1989). Er belegt, daß das im Lernprozeß erworbene implizite Wissen von den konkreten Elementen der Folge abstrahiert, d.h. daß es *Relationen* zwischen den Elementen zum Inhalt hat, die auf andere Elemente übertragen werden können, so, wie eben auch eine Melodie in eine andere Tonart übertragen werden kann.

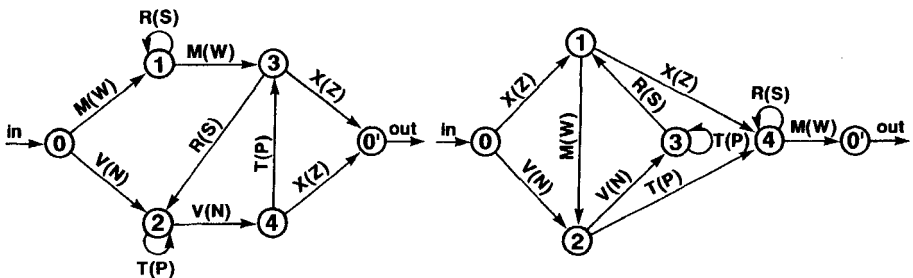


Abbildung 10.10.: Zwei Finite State Grammatiken, die mit jeweils zwei unterschiedlichen Sätzen von Buchstaben realisiert werden können (nach Reber, 1969).

Ob damit allerdings gezeigt ist, daß die Pbn "die Grammatik" abstrahiert haben, wie Reber (1989, 1990) und Mathews (1990) argumentieren, muß hinterfragt werden: Wird tatsächlich die durch die Grammatik determinierte Struktur auf die neue Buchstabenmenge übertragen, oder beruht der Transfer auf anderen Relationen zwischen den Buchstaben? (Brooks & Vokey, 1991; Hoffmann, im Druck c). Machen die Pbn mit Folgen einer ersten Menge von Buchstaben bspw. die Erfahrung, daß wiederholt Teilfolgen der Art VXV, VXXV oder VXXXV auftreten, dann könnten sie verallgemeinern, daß "Grammatikalität" u.a. daran erkennbar ist, daß sich zwischen zwei

identischen Elementen ein anderes Element wiederholt. Eine aus anderen Buchstaben bestehende Teilfolge LMML würde dann als Hinweis auf "Grammatikalität" gewertet werden, weil sie eben diese Relationen bewahrt. In gleicher Weise entspricht bspw. eine Folge wie MXVVVM der aus anderen Buchstaben bestehenden Folge BDCCCB, weil jeweils Anfangs- und Endbuchstaben identisch sind und sich ein anderer Buchstabe dreimal wiederholt usw. Brooks und Vokey (1991) sprechen von *relationalen Analogien*, die hier auf der Übertragung von Identitätsrelationen beruhen (Wiederholung des Identischen, Identisches an ausgezeichneten Positionen). In einer finite state Grammatik spielen jedoch Identitätsbeziehungen, wie überhaupt die Qualität der Beziehungen zwischen den Elementen, keine Rolle. Die Grammatik legt allein die Aufeinanderfolge von Elementen fest, unabhängig davon, ob sie identisch sind, oder welche Beziehungen sonst noch zwischen ihnen bestehen.

Brooks und Vokey (1991) haben von diesen Überlegungen ausgehend in Transferexperimenten neben der Grammatikalität der Folgen auch deren "relationale Analogien" variiert und dabei gezeigt, daß die Transferleistungen von beiden Faktoren beeinflußt werden. Es kann also kein Zweifel daran geben, daß auch die zwischen den Elementen bestehenden *spezifischen* Relationen, Einfluß auf die Strukturbildung nehmen. Systematische Untersuchungen darüber, welche Relationen welchen Beitrag zur Strukturbildung leisten, stehen hier allerdings noch genauso aus, wie wir dies für die Wirksamkeit von Relationen zwischen motorisch definierten Verhaltensakten bereits konstatiert haben.

Zusammenfassend können wir feststellen, daß die Beobachtungen zur impliziten Ausbildung sequentieller Strukturen mit den in anderen Bereichen gemachten Beobachtungen übereinstimmen. Es wurde wieder gezeigt, daß die sequentielle Strukturbildung vermutlich bei benachbarten Elementen ansetzt und dabei die zwischen den Elementen bestehenden Relationen Einfluß auf die Strukturbildung nehmen. Das hier vorrangig verwendete Paradigma der sequentiellen Wahlreaktionen macht aber auch auf ein bislang noch nicht behandeltes Problem aufmerksam, das m.E. von so grundsätzlicher Bedeutung für das Verständnis sequentieller Strukturbildungen ist, daß es in einem eigenen Abschnitt behandelt werden soll.

### **Die Koordination der Strukturbildung in Reiz-Reaktionsfolgen**

In einer sequentiellen Wahlreaktionsanforderung sind die Reaktionen den Reizen fest zugeordnet. Die Reizfolgen und die Reaktionsfolgen sind also stets in gleicher Weise strukturiert. Was also wird gelernt? Lernen die Pbn die Struktureigenschaften einer Folge von Reizen (wie bei der Reproduktion einer Wortliste), lernen sie Struktureigenschaften einer Folge von Reaktionen (wie bei der Reproduktion einer Folge von

Anschlägen), oder lernen sie beides? Ist die strukturspezifische Reduktion der Reaktionszeiten darauf zurückzuführen, daß die Pbn es immer besser lernen, den nächstfolgenden Reiz vorauszusehen und/oder darauf, daß sie sich immer besser auf die nächstfolgende Reaktion vorbereiten?

Cohen, Ivry und Keele (1990) sowie Stadler (1989) sind dieser Frage nachgegangen. Sie boten ihren Pbn jeweils unterschiedlich strukturierte Reizfolgen dar. Den Reizen waren Tastendruck-Reaktionen zugeordnet, die so schnell wie möglich ausgeführt werden sollten. In beiden Untersuchungen zeigt sich nach längerem Training die typische strukturspezifische Beschleunigung der Reaktionen. Werden die Pbn plötzlich aufgefordert, die Tasten mit anderen Fingern zu drücken, beeinflußt dies ihre Reaktionsgeschwindigkeit kaum. Wird dagegen bei gleichbleibenden Reaktionen die Erscheinungsweise der Reize geändert, kommt es zu einem vergleichsweise deutlichen Leistungseinbruch. Man kann schlußfolgern, daß die strukturspezifische Leistungsverbesserung nicht auf einer "motorischen" sondern auf einer "sensorischen Strukturierung" beruht. Die Autoren argumentieren, daß der Lerneffekt in erster Linie darauf zurückgeführt werden muß, daß die Pbn es lernen, den jeweils nächstfolgenden Reiz vorherzusehen. Wird dann plötzlich die Erscheinungsweise der Reize geändert, versagt die Vorhersage, und die Pbn müssen es erst wieder lernen, die nun neuen Reize korrekt vorherzusehen.

Diese Schlußfolgerung wird jedoch durch eine interessante Beobachtung von Willingham, Nissen und Bullemer (1989) in Frage gestellt. In einem ihrer Experimente werden den Pbn Reize unterschiedlicher Farbe, an unterschiedlichen Lokationen dargeboten. Die Reaktionen sind an die Farbe gebunden. Werden die Reize so dargeboten, daß ihre Lokationen eine feste Sequenz bilden, ihre Farben jedoch zufällig aufeinander folgen, entsteht eine Situation, in der eine fest strukturierte Sequenz von Reizlokationen gelernt werden kann, während die Reaktionen zufällig aufeinander folgen. Unter diesen Bedingungen gibt es nicht die geringsten Hinweise auf strukturspezifische Lerneffekte. Die Vorhersagbarkeit der Reizlokationen allein scheint also nicht ausreichend zu sein, um Lerneffekte zu erzeugen. Es werden dagegen die üblichen Effekte beobachtet, wenn mit den Reizen auch die Reaktionen in strukturierter Sequenz gefordert werden. Die Struktur muß also auch in der Motorik realisiert sein, um gelernt zu werden. Die Autoren haben unter Berücksichtigung noch anderer Beobachtungen dieses Ergebnis dahingehend interpretiert, daß sequentielle Strukturen zwischen Reizeigenschaften nur dann erlernt werden, wenn sie *verhaltensrelevant* sind und damit auch eine strukturierte Reaktionssequenz determinieren: "What is learned may be thought of as a series of condition-action statements mapping stimuli onto responses" (Willingham, Nissen & Bullemer, 1989, S.1058).

Der hier gezeigte Einfluß von Zusammenhängen zwischen der Struktur von Verhaltensfolgen und der von Reizfolgen auf die Strukturbildung ist insofern von grundsätzlicher

Bedeutung für unser Thema, als solche Zusammenhänge unter natürlichen Bedingungen stets vorliegen. In welcher Folge wir welchen Ereignissen begegnen, wird vor allem dadurch bestimmt, in welcher Folge wir welche Verhaltensweisen realisieren, angefangen beim Wechsel von Blickfixationen, über die Fortbewegung, bis hin zur gezielten Manipulation von Objekten. Was wir jeweils als nächstes wahrnehmen, hängt davon ab, wohin wir blicken, wohin wir gehen und was wir sonst als nächstes tun. Unter natürlichen Bedingungen sind also die sequentiellen Strukturen unseres Verhaltens mit denen der Reizwirkungen *unauflöslich* verbunden. Dieser Zusammenhang kommt in den zitierten Ergebnissen von Willingham, et al. (1989) zum Ausdruck. Sie belegen, daß die Lernmechanismen nicht einfach nach Strukturen in erlebten Reizfolgen suchen, sondern nach Strukturen in *herstellbaren* Reizfolgen, d.h. nach systematischen Zusammenhängen zwischen dem eigenen Verhalten und den daraufhin eintretenden Konsequenzen.

### Modelle sequentieller Strukturbildung

Modelle sequentieller Strukturbildung sollten nach der bisherigen Diskussion wenigstens die folgenden drei Eigenschaften besitzen: Sie sollten erstens realisieren, daß die Strukturierung mit der Zusammenfassung von benachbarten Elementen beginnt. Sie sollten zweitens zum Ausdruck bringen, daß die zwischen den Elementen bestehenden Relationen zum Aufbau von generalisierbaren Strukturen genutzt werden. Und sie sollten drittens berücksichtigen, daß die Strukturen von Reizsequenzen und die Strukturen von Verhaltenssequenzen aufeinander bezogen sind. Wir werden feststellen, daß keines der vorliegenden Modelle allen drei Anforderungen entspricht.

Eine erste Modellüberlegung zum Erwerb sequentieller Strukturen wurde von Simon und Kotovski (1963) vorgestellt. Es handelte sich zugleich um eines der ersten Computermodelle zur Simulation geistiger Leistungen des Menschen. Die Autoren entwickelten ein Computerprogramm, das in Buchstabenfolgen sequentielle Strukturen erkennen und fortsetzen konnte. Solche Anforderungen werden gelegentlich in Intelligenztests gestellt. Es werden zunehmend schwieriger strukturierte Folgen vorgegeben die von den Pbn korrekt fortzusetzen sind. In einer Folge wie bspw. cdcddc.... ist die Wiederholung des Paares cd leicht zu erkennen und fortzusetzen. Die Struktur von mabmbcmcdm.... ist schon schwieriger zu erkennen, und bei ponnmmmlmk.... wird nur noch von etwa der Hälfte der Pbn die "richtige" Fortsetzung ....lkjk gefunden. Das Erkennen solcher Strukturen beruht auf der Identifikation der zwischen den Buchstaben bestehenden Relationen und deren Systematik. In dem Modellansatz von Simon und Kotovski wird zwischen den Relationen Identität:  $I(a)=aa$ , nächstes Element im Alphabet:  $N(a)=ab$  und vorausgehendes Element im Alphabet:

$V(b)=ba$  unterschieden. Unter Verwendung dieser drei Relationen kann bspw. die Sequenz  $pononmmlmk\dots$  als Folge von dreibuchstabigen Einheiten beschrieben werden. Innerhalb jeder Einheit ergeben sich die Buchstaben aus der wiederholten Anwendung der Relation 'V'. Darüber hinaus sind auch die Einheiten durch die Relation 'V' verbunden. Die Gesamtfolge wird also durch die geordnete Anwendung einer einzigen Relation auf einen einzigen Anfangsbuchstaben (im gegebenen Beispiel 'p') erzeugt:  $VVV..(VV(p)) = pon onm nml mlk \dots$

Das Modell von Simon und Kotovski beschreibt nun eine Reihe von Prozeduren, mit denen sowohl Relationen zwischen Buchstaben als auch die Systematik ihres Auftretens entdeckt und zu einer Struktur integriert werden, die die Folge durch eine geordnete Anwendung von Relationen auf möglichst wenige Ausgangselemente erzeugt (vgl. auch Kotovski & Simon 1973, Greeno & Simon, 1974). Diese Prozeduren müssen wir nicht diskutieren, da mit ihnen eher Problemlösestrategien als die uns interessierenden induktiven Lernprozesse beschrieben werden. Die Art der gewählten Strukturbeschreibung ist allerdings auch für unser Thema von Interesse: Sequentielle Strukturen werden durch die zwischen den Elementen bestehenden spezifischen Relationen und deren Systematik bestimmt.

Ein zweiter Modellansatz wurde von Restle und Brown entwickelt (Restle, 1970; Restle & Brown, 1970a,b). Anders als im Modell von Simon und Kotovski geht es nun jedoch nicht um das einsichtige Erfassen einer sequentiellen Struktur, sondern um ihren kontinuierlichen Aufbau im Resultat von Verhaltenserfahrungen. In den der Modellentwicklung zugrunde gelegten Untersuchungen sahen sich die Pbn einer Reihe von sechs horizontal angeordneten Lampen gegenüber (1...6). Die Lampen wurden in einer bestimmten Reihenfolge zum Leuchten gebracht. Die Aufgabe der Pbn bestand in der Prädiktion der jeweils nächstfolgend leuchtenden Lampe. Innerhalb einer Folge sind die "Leuchtereignisse" durch verschiedene Relationen verbunden. Es werden die Wiederholung:  $W(2)=22$ , die Transposition nach rechts:  $T_+(2)=23$  oder nach links:  $T_-(2)=21$  und die Spiegelung:  $S(6)=61$  unterschieden. Die Abbildung 10.11. zeigt das Beispiel einer hierarchisch organisierten Folge, die durch die rekursive Anwendung der genannten Relationen erzeugt wird.

Die Sicherheit, mit der in so strukturierten Sequenzen die Pbn die Position der nächstfolgenden Lampe vorherzusagen lernen, wird eindeutig durch die hierarchische Struktur determiniert. Die Abbildung 10.12. zeigt entsprechende Ergebnisse. Es werden die relativen Häufigkeiten korrekter Vorhersagen für verschiedene fünfstufig-hierarchische Folgen dargestellt. Die Werte sind jeweils für alle die Positionen zusammengefaßt, die durch eine gemeinsame Hierarchieebene determiniert werden. Ereignisse, die durch die unterste Hierarchieebene determiniert sind, werden am sichersten korrekt vorhergesagt.

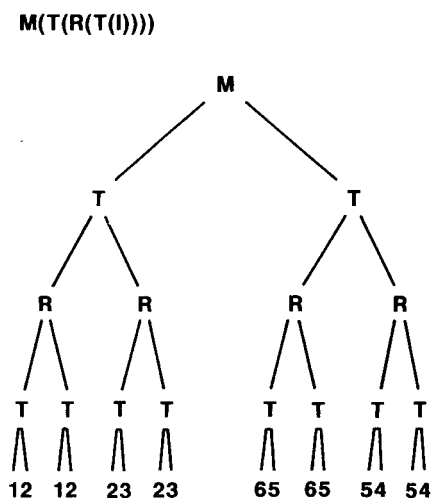


Abbildung 10.11.: Die hierarchische Struktur einer Folge von horizontal angeordneten "Leuchtereignissen" (nach Restle und Brown, 1970a).

Mit der Höhe der determinierenden Ebene nehmen die korrekten Vorhersagen kontinuierlich ab (vgl. auch Abbildung 10.7.).

Diese und weitere Beobachtungen lassen die Autoren einen Lernprozeß vermuten, in dessen Verlauf die Pbn zunächst die zwischen unmittelbar benachbarten Ereignissen bestehenden Relationen erfassen. Wird dabei ein und dieselbe Relation wiederholt bemerkt, dann werden die durch sie verbundenen Ereignisse zu Teilfolgen zusammengefaßt, zwischen denen nun erneut Relationen erfaßt werden können usw. Im Versuch werden dann den Vorhersagen, so wird weiter angenommen, die erkannten relationalen Beziehungen zugrunde gelegt. Das gegebene und/oder zurückliegende Ereignisse werden mittels der erinnerten Relation(en) in das zu erwartende Ereignis transformiert. Die Struktur wird also wie bei Simon und Kotovski als *Erzeugungsstruktur* verstanden, die die Pbn von "unten" nach "oben" erwerben. Es werden Regeln zunächst für die Ableitung unmittelbar benachbarter Elemente und dann, darauf aufbauend, auch für benachbarte Teilfolgen erfaßt, bis die gesamte Folge als relationale Transformation möglichst weniger Ausgangselemente repräsentiert ist.

Einer Verallgemeinerung dieser Überlegungen stellen sich allerdings eine Reihe von Schwierigkeiten entgegen. Ihre Anwendbarkeit ist an Ereignisse gebunden, für die die zwischen ihnen bestehenden Relationen bekannt sind. Dies ist jedoch nur bei so umgrenzten Ereignismengen wie sechs horizontal angeordneten Lampen oder den Buchstaben des Alphabets der Fall. Verläßt man die abgeschlossenen "Welten" solcher

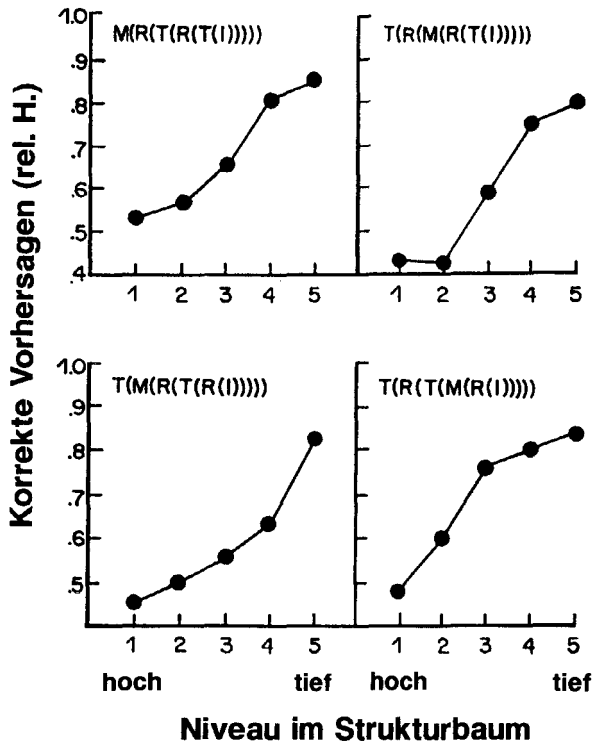


Abbildung 10.12.: Relative Häufigkeiten der korrekten Vorhersage von Elementen in einer Folge von Ereignissen, deren Aufeinanderfolge durch eine hierarchische Struktur determiniert ist, in Abhängigkeit von der Höhe der jeweils determinierenden Hierarchieebene (nach Restle & Brown, 1970a).

vorstrukturierten Ereignismengen, dann lassen sich die strukturbildenden Relationen nicht mehr vollständig angeben. Allein schon zwischen Zahlen lassen sich so vielfältige Relationen definieren, daß eine verbindliche Strukturbeschreibung von Zahlenfolgen unmöglich ist. Über die "richtige" Strukturierung von Telefon- oder Kontonummern kann man sich deshalb auch endlos streiten. Ein weiterer Punkt betrifft Unterschiede in der strukturbildenden Wirksamkeit verschiedener Relationen. Restle und Brown stellen bspw. fest, daß die Relationen 'Wiederholung' und 'Transposition nach rechts' die Strukturbildung stärker bestimmen, als die Relationen 'Spiegelung' und 'Transposition nach links'. Die Relationen treten gelegentlich auch in Konkurrenz zueinander. Je nachdem, ob bei einer Folge wie 12233445 die Transposition oder die Wiederholung dominiert, entsteht entweder die Struktur  $((12)(23))((34)(45))$  oder die Struktur  $(1)(22)(33)(44)(5)$ . Restle (1976) hat solche strukturellen Mehrdeutigkeiten untersucht und dabei feststellen müssen, daß es nicht vorhersagbar ist, welche Struktur von den Pbn gewählt wird. Er kommt zu der resignativen Feststellung: "Both the subject and



the experimenter share the same problem in these experiments, a problem caused by structural ambiguity" (S.377, vgl. auch Greeno & Simon 1974, Jones, 1981). Daß nicht vorhersagbar ist, welche Strukturen unter welchen Bedingungen gewählt werden, ist schließlich vor allem dadurch bedingt, daß Restle und Brown nur Eigenschaften des Lernvorgangs beschreiben, aber nicht die Prozesse, die diese Eigenschaften hervorbringen.

Einen stärker prozeßorientierten Ansatz haben erst kürzlich Servan-Schreiber und Anderson (1990) vorgestellt. Es geht Ihnen um das Erfassen von Strukturen, wie sie durch Finite State Grammatiken erzeugt werden. Den Vorgang der Strukturbildung nennen sie "competitive chunking". In Anlehnung an die Arbeiten von Miller (1958) vermuten sie, daß bei der Wahrnehmung von Reizfolgen benachbart auftretende Reize zu chunks zusammengefaßt werden, die bei wiederholter Nachbarschaft wiederum größere chunks bilden können usw. Die Bildung von chunks, so nehmen die Autoren weiter an, folgt zwei einfachen Regeln. Es werden erstens nur benachbarte Einheiten zweitens nur dann zusammengefaßt, wenn sie genügend vertraut sind, wenn sie genügend "support" haben, wie es in der Sprache des Modells heißt. Der support eines chunks hängt dabei von der Häufigkeit seiner Wahrnehmung und von einem Vergessensprozeß ab, der umso stärker zum Tragen kommt, je länger der entsprechende chunk nicht wahrgenommen wurde. Ein chunk hat also hohen support, wenn er erst kürzlich oft wahrgenommen wurde, und ein neuer chunk wird mit hoher Wahrscheinlichkeit gebildet, wenn zwei chunks mit hohem support benachbart wahrgenommen werden. Die auf diesen beiden Faktoren aufbauende Bildung von chunks wird verstanden: "...as a process that is extremely primitive and going on all the time. We assume that whenever attention is paid to complex stimuli, chunks are created and their strength revised automatically" (Servan-Schreiber & Anderson, 1990, S.606).

Der m.E interessanteste Modellansatz ist mit den aktuellen Versuchen gegeben, sequentielle Strukturbildungen mit rekurrenten Netzwerken zu simulieren: (Allen, 1988; Elman, 1990; Jordan, 1986; Smith & Zipser, 1989).

Die Abbildung 10.13. zeigt das Beispiel eines rekurrenten Netzwerkes zur Vorhersage des jeweils nächsten Elementes einer Folge von Reizen. Die Eingangseinheiten des Netzes sind mit seinen Ausgangseinheiten über vermittelnde Einheiten (hidden units) verbunden und die Aktivitätszustände der hidden units (eine Kopie von ihnen) werden als Teil des Eingangsvektors dem Netz wieder rekursiv zugeführt. Die Funktion dieser Architektur kann in der folgenden Weise verstanden werden. Die Aktivierung der hidden units durch den Eingangsvektor hängt von den vorausgegangenen Belehrungen der Eingangs-Ausgangsverbindungen ab. Ihre Aktivitätszustände repräsentieren damit in der Vergangenheit gemachte Erfahrungen. Dadurch, daß diese "Erfahrungen" dem Netz als

Teil des Eingangsvektors zurückgeführt werden, nutzt das Netz bei seiner Reaktion auf jeden neuen Input seine Erfahrungen aus vorangegangenen Reaktionen. Auf diese Weise repräsentiert es zeitliche Strukturen, obwohl es lediglich über isolierte Eingangs-Ausgangsverbindungen belehrt wird.

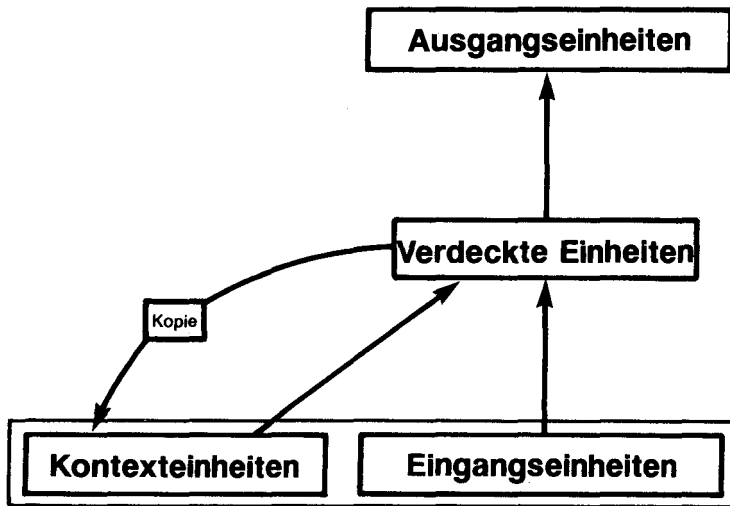


Abbildung 10.13.: Die Grundstruktur eines einfachen rekurrenten Netzwerks zur Vorhersage des jeweils nächsten einer Folge von Eingangsreizen.

In einer Reihe von Simulationen wurden rekurrenten Netzwerken strukturierte Sequenzen von Reizen (Eingangsvektoren) mit der Aufgabe angeboten, auf jeden Eingangsvektor mit einem Ausgangsvektor zu reagieren, der dem jeweils nächsten Eingangsvektor der Sequenz entspricht (z.B. Allen, 1988; Elman, 1990; Smith & Zipser, 1989). Der Lernprozeß wird durch die Differenzen zwischen dem antizipierten und dem tatsächlich eintretenden Eingangsvektor gesteuert. Die zwischen den Eingangs- und Ausgangseinheiten vermittelnden Verbindungen (einschließlich der hidden units) werden jeweils so verändert, daß diese Differenzen verringert werden (Delta-Regel). Das Netzwerk wird also belehrt, in einer Sequenz von Reizen den jeweils nächsten Reiz möglichst korrekt zu antizipieren. Elman (1990) kann an verschiedenen Beispielen zeigen, daß ein solcher Lernmechanismus zwangsläufig dazu führt, daß sich die Korrektheit der Antizipationen vor allem an den Stellen der Sequenz verbessert, an denen die strukturellen Einschränkungen in der Aufeinanderfolge der Reize besonders stark sind.

Direkte Vergleiche der Lernleistungen eines rekurrenten Netzwerkes mit denen von Pbn wurden von Cleeremans und McClelland (1991) berichtet. Es wurden Sequenzen dargeboten, die durch eine "Finite State" Grammatik erzeugt waren. Die Pbn hatten auf

die Reize so schnell wie möglich zu reagieren (sequentielle Wahlreaktion), während das Netzwerk den jeweils nächsten Reiz der Folge vorherzusagen hatte. Um Reaktionszeiten und Vorhersagen vergleichen zu können, wird angenommen, daß sich die Reaktionszeiten umgekehrt proportional zur Stärke der Antizipation des reaktionsauslösenden Reizes verhalten. Das Netzwerk zeigt (nach einigen Modifikationen) qualitativ gleiche Lernresultate wie die Pbn. So werden bspw. die Reaktionszeiten der Pbn und die Antizipationen des Netzwerkes auf gleiche Weise durch die Eigenschaften der "Finite State" Grammatik zunehmend beeinflußt. Die Autoren vermuten, daß das mit dem Netzwerk simulierte Antizipationslernen der Strukturanpassung der Reaktionszeiten der Pbn zugrunde liegt: "Encoding of the temporal structure seems to be primarily driven by anticipation of the next element of the sequence" (Cleeremans & McClelland, 1990, S.34).

### **Zur Angemessenheit der Strukturbildungsmodelle**

Wir wollen nun diskutieren, inwieweit die geschilderten Modellüberlegungen den an den Anfang gestellten drei Anforderungen entsprechen: Sie sollten realisieren, so hatten wir dort gesagt, daß die Strukturierung bei benachbarten Elementen beginnt, daß Relationen zum Aufbau der Struktur genutzt werden, und daß sensorische und motorische Strukturen aufeinander bezogen sind.

Die beiden letztgenannten Ansätze betonen ausschließlich die Bedeutung der statistischen Eigenschaften von Ereignissequenzen für die Strukturbildung. So hängt beim "competitive chunking" die Bildung einer Teilfolge (chunk) in erster Linie von der Häufigkeit seiner Komponenten und von der Häufigkeit ihres benachbarten Auftretens ab. In den rekurrenten Netzwerken wird die Sicherheit der Antizipationen gleichfalls durch Kontingenzen zwischen aufeinanderfolgenden Reizen vorangetrieben. Erst später im Lernverlauf werden auch bedingte Übergangswahrscheinlichkeiten höherer Ordnung berücksichtigt. Beide Modelle entsprechen damit der immer wieder gemachten Beobachtung, daß die Strukturbildung mit der Zusammenfassung von benachbarten Ereignissen beginnt. Die spezifischen Relationen zwischen den Einheiten spielen für die Strukturbildung allerdings weder beim "competitive chunking" noch bei den rekurrenten Netzwerken eine Rolle. Die Modelle werden damit der ebenfalls immer wieder gemachten Beobachtung, daß generative Strukturen ausgebildet werden, die auf Relationen zwischen den Elementen beruhen, nicht gerecht.

Die beiden erstgenannten Modellansätze betonen dagegen explizit die Bedeutung der zwischen den Einheiten bestehenden Relationen für die Strukturbildung. Die sequentiellen Strukturen werden bei ihnen durch die Systematik relationaler Transformationen definiert. Die Struktur wird als ein generativer Algorithmus beschrieben, der die Sequenz erzeugt, indem er auf einige wenige Ausgangselemente angewendet wird. Die

Struktur wird also unabhängig von den Elementen definiert, aus denen die Sequenz besteht. Die Modelle bilden damit vor allem die Tatsache ab, daß sequentielle Strukturen übertragbar sind. Allerdings beschreiben beide Ansätze keine Prozesse der lernabhängigen Herausbildung der so definierten Strukturen. Simon und Kotovski haben Prozeduren der gezielten Suche nach systematischen Relationen und damit eher Problemlöse- anstatt Lernprozesse untersucht. Restle und Brown haben zwar Eigenschaften der Strukturbildung in Lernexperimenten erfaßt, aber sie haben keine konkreten Hypothesen zu den Mechanismen entwickelt, die die beobachteten Eigenschaften der Strukturbildung hervorbringen.

Keines der behandelten Modelle macht schließlich Aussagen zu Beziehungen zwischen der Strukturierung von Reiz- und Verhaltensfolgen. Die Beobachtungen, nach denen das Erlernen der Struktur einer Reizfolge von der Verhaltensrelevanz der Reize abhängig ist, können also aus keinem der Modelle abgeleitet werden. Dies muß als ein besonders schwerwiegendes theoretisches Defizit angesehen werden, da es sich bei dem Zusammenhang zwischen der Strukturierung von Reiz- und Verhaltenssequenzen um einen unter natürlichen Bedingungen *unauflösblichen* Zusammenhang handelt. In welcher Folge wir welche Wahrnehmungen machen hängt von unserem Verhalten ab, genauso, wie unser Verhalten davon abhängt, welche Konsequenzen wir in welcher Folge hergestellt wissen wollen. Dies ist ein so offensichtlicher Zusammenhang, daß seine bisherige Vernachlässigung wohl nur darauf zurückgeführt werden kann, daß nach der in der Kognitionspsychologie dominierenden Auffassung, Strukturerkennung nichts mit Verhaltenssteuerung zu tun hat.

### **Sequentielle Strukturierung und antizipative Verhaltenssteuerung**

Ich möchte nun wieder zu zeigen versuchen, daß die Erklärungsdefizite der vorliegenden Modelle möglicherweise überwunden werden können, wenn sequentielle Strukturbildungen als Resultat antizipativer Verhaltenssteuerung betrachtet werden.

Vergegenwärtigen wir uns zunächst die Gegebenheiten bei der Realisierung natürlicher Verhaltensfolgen. Sie dienen in der Regel dem Erreichen eines bestimmten Ziels. Ein Ausgangszustand  $S_a$  soll durch mehrere Verhaltensakte in einen Zielzustand  $S_z$  überführt werden. Die Konsequenzen jedes einzelnen Verhaltensschrittes liefern dabei zugleich die Ausgangsbedingungen für den nächstfolgenden Schritt. Wenn ich bspw. mit dem Auto zum Institut fahre, dann treffe ich zunächst auf die vor dem Haus gelegene Straße. Biege ich nach rechts ab, erreiche ich nach wenigen Metern einen Übergang, der es mir erlaubt, zu wenden. Wenn ich dies tue, komme ich an eine beampelte Kreuzung, die mir drei Möglichkeiten für die Weiterfahrt bietet. Wähle ich jetzt die nach links führende Straße, geht die Fahrt über eine Brücke bis zu einer Ausfahrt, wo ich mich in den Verkehr einer belebten Straße einfädeln muß. Nach

kurzer Zeit erreiche ich das Institut und biege unter Beachtung des lebhaften Gegenverkehrs auf den Institutsparkplatz ab. Jedes einzelne "Manöver" in dieser Verhaltenssequenz führt zu einer neuen Situation und jede neue Situation bietet neue Verhaltensalternativen, zwischen denen gewählt werden muß. Und so wie in diesem einfachen Beispiel ist es bei allen anderen Verhaltensfolgen auch: Die Konsequenzen jedes einzelnen Aktes bestimmen die Möglichkeiten des zukünftigen Verhaltens.

Wenden wir nun unsere Überlegungen einer antizipativen Verhaltenssteuerung auf diese Gegebenheiten an. Die im dritten Kapitel beschriebenen Lernmechanismen "suchen" innerhalb der Folge der auftretenden Situationen kontinuierlich nach konsistenten Beziehungen zwischen Ausgangsbedingungen von Verhaltensakten und den auf sie eintretenden Konsequenzen. Aus dem Strom der Reizwirkungen werden also diejenigen hervorgehoben, die Ausgangssituationen von Verhaltensakten und/oder deren Konsequenzen charakterisieren. Wird die Erfahrung gemacht, daß bei Ausgangssituationen mit bestimmten invarianten Eigenschaften ( $S_i$ ) bestimmte Verhaltensakte zu Situationen mit immer wieder denselben invarianten Eigenschaften führen ( $S_{i+1}$ ), dann werden diese Invarianten als zu erwartende Konsequenzen des Verhaltensaktes antizipiert. Auf diese Weise, so hatten wir gesagt, werden Klassen von Situationen antizipativ miteinander verbunden. Die Situationen der einen Klasse werden als Konsequenz der Anwendung eines Verhaltensaktes auf Situationen der anderen Klasse antizipiert. Im unaufhörlichen Strom der Reizwirkungen wird, so kann man auch sagen, eine erste elementare Teilfolge ( $S_i$ - $S_{i+1}$ ), ein chunk von zwei aufeinanderfolgenden Situationen gebildet, weil sie als konsistent ineinander überführbar ( $S_i$ - $R_i$ - $S_{i+1}$ ) erlebt worden sind.

Wird nun auf die Situation ( $S_{i+1}$ ), die als Konsequenz eines Verhaltensaktes  $R_i$  antizipiert wurde, erneut ein Verhaltensakt  $R_{i+1}$  angewendet, der nun wieder zu invarianten und damit antizipierbaren Konsequenzen ( $S_{i+2}$ ) führt, dann ist die ursprüngliche Ausgangssituation ( $S_i$ ) mit den Konsequenzen ( $S_{i+2}$ ) nicht durch einen, sondern durch zwei nacheinander ausgeführte Verhaltensakte ( $S_i$ - $R_i$ - $S_{i+1}$ - $R_{i+1}$ - $S_{i+2}$ ) verbunden. Wenn diese Beziehungen stabil sind, also oft genug in immer wieder der gleichen Form erlebt werden, dann kann von der Situation  $S_i$  ausgehend, die Situation  $S_{i+2}$  mit Sicherheit antizipiert und damit die Verhaltensfolge  $R_i$ - $R_{i+1}$  in einem Schritt initiiert werden. Die vermittelnde Zwischensituation  $S_{i+1}$  wird der zu erreichenden Konsequenz  $S_{i+2}$  quasi untergeordnet, weil sie auf dem Wege ihrer Herstellung als zwangsläufig eintretend erlebt worden ist. Aus der elementaren Teilfolge, die nur zwei Situationen verbindet, wird eine Teilfolge, die drei aufeinanderfolgende Situationen integriert.

Wohlgermerkt, eine solche Integration oder Verdichtung nacheinander herstellbarer Situationen in eine einzige Transformation sollte nur dann geschehen, wenn die Zwischensituationen tatsächlich stets so invariant eintreten, daß sie mit immer

demselben Verhalten fortgesetzt werden können. Für die oben beschriebenen Etappen meiner Fahrt zum Büro gilt dies bspw. nicht: Bevor ich auf die Straße fahre, muß ich auf den Verkehr achten. Die Ampel steht oft auf "Rot", und wenn ich auf den Parkplatz einbiegen will, muß ich eine der seltenen Lücken im Gegenverkehr abpassen. An diesen Stellen sind wichtige verhaltensrelevante Eigenschaften der anzutreffenden Situationen durch das vorausgehende Verhalten nicht zu beeinflussen und damit unvorhersehbar. Da je nach den vorliegenden Eigenschaften das Verhalten auf unterschiedliche Weise fortgesetzt werden muß, markieren diese Situationen hervorgehobene Stellen, an denen sich die Verhaltenssteuerung auf dem Weg zum Ziel an eben unvorhersehbare Bedingungen aktuell anpassen muß. Es sind, wenn man so will, jeweils anzusteuernde Teilziele, die erfahrungsgemäß mit immer demselben Verhalten sicher erreicht werden und an denen sich entscheidet, wie das Verhalten fortzusetzen ist.

Zwischen solchen Teilzielen vermitteln in der Regel Verhaltensfolgen, die unter stets so gleichbleibenden Bedingungen realisiert werden, daß man das Endresultat nur zu "denken" braucht, um die entsprechende Bewegungsfolge auszuführen. Während einer Autofahrt gehören bspw. das Anfahren, das Schalten, das Abbiegen, das Anhalten usw. zu diesen "automatisierten" Verhaltensabläufen, bei denen alle Zwischenschritte in die Antizipation des Resultats eingeschlossen sind, weil sie sich in hinreichend gleicher Weise stets wiederholen.

Nach diesen Überlegungen sind es allein die unterschiedlichen Grade erlebter Verlässlichkeit von Antizipationen, die eine Strukturierung von Verhaltensfolgen zwangsläufig bewirken. Dort, wo Konsequenzen stets so verlässlich antizipiert werden, daß auch die Fortführung des Verhaltens festgelegt ist, bilden sich die am engsten verbundenen Teilfolgen. Die einzelnen Verhaltensschritte werden hier durch die Antizipation des zu erreichenden Endzustandes in praktisch einem Schritt initiiert. In diesen Fällen sprechen wir von automatisierten Handlungen. An den Stellen, an denen die Konsequenzen in ihren verhaltensrelevanten Aspekten jedoch unvorhersehbar variieren, so daß das Verhalten je nach den gegebenen Bedingungen unterschiedlich fortzusetzen ist, entstehen Zäsuren der Neuorientierung, an denen die Verhaltenssequenz in Teile gegliedert wird. Die Zäsur ist dabei vermutlich umso tiefer, je mehr Alternativen sich für die Weiterführung auftun und je unsicherer es ist, welche der Alternativen eintreten wird. Im Beispiel meiner Autofahrt bilden bspw. das erste Abbiegen auf die Straße und das folgende Wendemanöver eine relativ enge Einheit, da an der wenig belebten Straße beides in zumeist gleicher Weise ausgeführt werden kann. Wie dann die Ampel geschaltet sein wird, ist allerdings weder vorherseh- noch beeinflussbar. Hier muß also in jedem Fall eine Neuorientierung vorgenommen werden. Der anschließende Weg über die Brücke mit der Ausfahrt und dem Einfädeln bilden wieder eine eng zusammenhängende Teilfolge mit wenig Variationen. Lediglich das Einfädeln verlangt eine verstärkte Berücksichtigung des aktuellen Verkehrs. Der Akt

des Abbiegens auf den Parkplatz ist dann, aufgrund der ständig wechselnden Ausgangsbedingungen, vom vorangegangenen Verhaltensstrom wieder abgehoben.

Die gleichen Zusammenhänge wirken auch auf die Strukturierung wahrgenommener Situationsfolgen. Aus dem sonst als zufällig erlebten Strom der Ereignisse heben sich diejenigen Folgen ab, die in konsistenter Weise durch eigenes Verhalten wiederholt hergestellt werden. Und es ist allein ihre Herstell- oder Antizipierbarkeit, durch die sie von den sonstigen Reizwirkungen abgehoben werden. Aus der unübersehbaren Vielfalt ständig wechselnder Reizeinwirkungen werden, so kann man auch sagen, die konsistent *herstellbaren* hervorgehoben. Es ergibt sich so, daß die sensorische Strukturierung von Reizsequenzen und die motorische Strukturierung von Verhaltenssequenzen gleichermaßen durch die Verlässlichkeit der verhaltenssteuernden Antizipationen geprägt wird. Die Repräsentation des Weges zum Institut folgt so der Struktur meines Fahrverhaltens. Eine erste Teilstrecke führt bis zur Ampel, eine nächste bis zum Einfädeln und die letzte bis zum Abbiegen auf den Parkplatz. In die sensorische Repräsentation der Teilstrecken sind vor allem diejenigen Eigenschaften eingebunden, die verhaltensrelevant sind. Wenn ich mich bspw. an die Geschäfte erinnern sollte, die an der Stelle des Einfädelns liegen, würde ich völlig versagen. Das Fahren verlangt dort eine verstärkte Beachtung des Verkehrs, so daß alle verhaltensirrelevanten Reize, wie etwa die Geschäftsauslagen, in den Hintergrund treten (vgl. Kapitel 5). Es kommt also nicht auf konsistente Folgen irgendwelcher Situationsmerkmale an, sondern auf konsistente Folgen der das Verhalten bestimmenden Merkmale.

So wie das hier gewählte Beispiel der Fahrt zum Institut, so gibt es Tausende von alltäglichen Verhaltensfolgen, die abschnittsweise entweder unter gleichen, ähnlichen oder völlig verschiedenen Bedingungen auszuführen sind. Die Mechanismen der antizipativen Verhaltenssteuerung führen unter diesen Bedingungen *zwangsläufig* zu einer sequentiellen Strukturierung sowohl der Verhaltensfolge als auch der Situationsfolge, die durch das Verhalten hergestellt wird. Um es noch einmal zusammenzufassen: Es werden zunächst aufeinanderfolgende Situationen zu Teilfolgen zusammengefaßt, die als konsistent ineinander überführbar erlebt worden sind. Diese Teilfolgen werden dann zu größeren Einheiten verbunden, je nachdem, mit welcher Verlässlichkeit die Konsequenzen solcher Verbindungen antizipierbar sind. Die Strukturbildung ist ein kontinuierlicher Vorgang, der durch den Vergleich der verhaltensteuernden Antizipationen mit den tatsächlich eintretenden Konsequenzen ständig vorangetrieben wird. In jedem aktuellen Fall folgt die Verhaltenssteuerung der jeweils momentan aufgebauten Struktur, in der die in der Vergangenheit erlebten Verlässlichkeiten von Antizipationen manifestiert sind. Die Verhaltenssteuerung folgt dieser Struktur einfach dadurch, daß die Antizipationen dem gegenwärtigen Verhalten nach Maßgabe ihrer Verlässlichkeit vorausseilen.

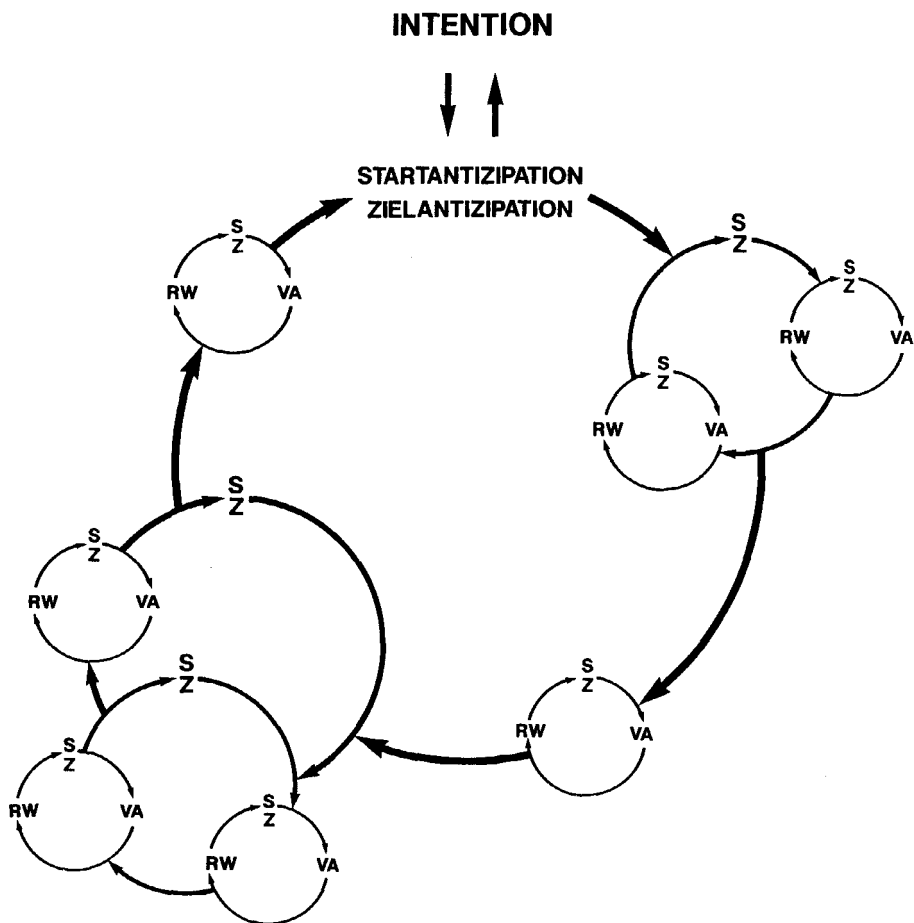


Abbildung 10.14.: Die hierarchische Strukturierung von Antizipationen bei der Planung, Ausführung und Kontrolle einer Folge von Verhaltensakten. Es werden vor allem solche Verhaltensakte zusammengefaßt, deren Konsequenzen sicher antizipiert werden können, und die Sequenz wird vor allem dort in Teilfolgen zerlegt, wo Unsicherheiten in der Antizipation von Verhaltenskonsequenzen bestehen.

Die Abbildung 10.14. soll diese Form der Verhaltenssteuerung am Beispiel der diskutierten Fahrt zum Institut veranschaulichen. Die erste Einheit umfaßt die beiden Fahrmanöver bis zur Ampel. Hier wird die Ausgangssituation für den dritten Verhaltensakt, das Abbiegen nach links, bestimmt. Es folgen die Fahrt über die Brücke, die Ausfahrt und, davon etwas abgehoben, das Einfädeln in den Verkehr der Hauptstraße. Der letzte Verhaltensakt ist das Abbiegen auf den Parkplatz. Die gesamte Verhaltensfolge gliedert sich in vier Teile, von denen einer noch weiter untergliedert ist. Die Enge des Zusammenhangs der Teile entspricht dabei den gemachten



Erfahrungen über die Verlässlichkeit, mit der ihre Konsequenzen antizipiert werden können.

Unsere Überlegungen zum Aufbau sequentieller Strukturen durch Mechanismen der antizipativen Verhaltenssteuerung sind spekulativ. Aber es handelt sich um Spekulationen die sich streng aus unseren bisherigen Annahmen ableiten lassen. Es müssen keinerlei Zusatzannahmen gemacht werden. Die sequentielle Strukturierung ergibt sich zwangsläufig aus der Anwendung der Mechanismen einer antizipativen Steuerung auf die nacheinander ausgeführten Verhaltensakte. Der Ansatz besitzt darüber hinaus den Vorteil, den genannten drei Forderungen an eine Modellierung sequentieller Strukturbildung gleichermaßen zu entsprechen.

Die antizipative Strukturbildung beginnt mit der Zusammenfassung kontingent ineinander überführbarer Ereignisse d.h., sie beginnt, wie gefordert, mit der Zusammenfassung von benachbarten Einheiten. Die Ereignisse werden nicht passiv sondern durch einen Verhaltensakt verbunden. Mit der Spezifik der Verhaltensakte werden die zwischen den Ereignissen bestehenden Relationen festgelegt. Die gesamte Verhaltenssequenz repräsentiert dann eine Organisationsstruktur, die insofern abstrakt ist, als sie auf andere Ereignisfolgen übertragen werden kann. Der Ansatz entspricht damit auch der Forderung, die zwischen den Ereignissen bestehenden Relationen für die Ableitung generalisierbarer Strukturen zu nutzen. Schließlich liefert er nicht nur einen Zugang zum Verständnis des Zusammenhanges zwischen der Strukturierung von Verhaltens- und von Ereignissequenzen; er macht vielmehr die bedeutsame Annahme, daß die Strukturbildung auf diesem Zusammenhang beruht. Da die Ereignisse durch ihre aktive Überführbarkeit und die Verhaltensakte durch die Antizipierbarkeit der mit ihrer Ausführung einhergehenden Änderungen gegliedert werden, *müssen* beide Strukturierungen parallel erfolgen.

Die hier entwickelten Überlegungen sind nicht nur spekulativ, sondern auch noch wenig differenziert. Sie befinden sich, folgt man der von Marr (1982) getroffenen Unterscheidung, auf dem "computational level", d.h. sie spezifizieren lediglich, welche Informationen zu welchen Veränderungen führen müssen, um die interessierenden Strukturbildungen hervorzubringen. Ich habe zu zeigen versucht, daß unsere Überlegungen wenigstens im Prinzip in der Lage sind, die berichteten experimentellen Befunde zusammenhängend zu erklären. Für tatsächliche Erklärungen brauchen wir allerdings auch hier wieder präzisere Annahmen. Ein nächster Schritt im Ausbau unserer Überlegungen muß also in einer algorithmischen Präzisierung der Vorgänge der antizipativen Verhaltenssteuerung liegen. Die dafür noch zu beantwortenden Fragen lassen sich leicht absehen und sie können m.E. nur im Wechselspiel zwischen Experiment und Simulation beantwortet werden. Für solche Simulationen bieten die erwähnten rekurrenten Netzwerke den m.E. gegenwärtig erfolgversprechendsten

Ansatzpunkt. Nicht nur, weil in ihnen bereits das Prinzip des Lernens an nicht bestätigten Antizipationen realisiert ist, sondern vor allem, weil sie die Möglichkeit bieten, die Antizipationen an Verhaltensakte zu binden.

## Teil III

# PROBLEME UND AUSBLICK

Die Idee einer antizipativen Steuerung willkürlichen Verhaltens ist so alt wie die Psychologie selbst. Sie ist auch immer wieder zur Erklärung verschiedener Phänomene herangezogen worden. Das vorliegende Buch setzt diese Tradition fort. Es versucht, Erkenntnisleistungen als Erfordernis antizipativer Verhaltenssteuerung abzuleiten. Dies gelingt, wie ich hoffe gezeigt zu haben, erstaunlich gut. Viele Phänomene menschlicher Erkenntnisleistungen lassen sich mit einer antizipativen Verhaltenssteuerung besser vereinbaren als mit der traditionellen Perspektive der Kognitionspsychologie. Die Verhaltensbezogenheit kognitiver Prozesse scheint mir daher ein heuristisch sinnvoller Ausgangspunkt für weitere Forschungen zu sein: Wir müssen analysieren, wie die Reize in die Verhaltenssteuerung einbezogen werden, um zu verstehen, wie ihnen Information über die Umwelt entnommen wird.

An welchen Reizen sich das Verhalten zu orientieren hat, muß gelernt werden. Wenn sich Umweltbedingungen ändern, dann paßt sich das Verhalten diesen Änderungen an; Augenbewegungen etwa an prismatische Kontaktlinsen, oder soziales Verhalten an die Bräuche eines fremden Landes. Es wird jeweils gelernt, so der Grundgedanke des vorliegenden Buches, unter welchen Ausgangsbedingungen welches Verhalten zu welchen Konsequenzen führt. Im dritten Kapitel habe ich eine Struktur beschrieben, in der sich solches Lernen vollziehen kann. Es sind aber auch die Mechanismen anzugeben, die es realisieren. Am überzeugendsten wäre es wohl, den lernabhängigen Aufbau einer antizipativen Verhaltenssteuerung zu simulieren und dann zu zeigen, daß sich die Eigenschaften menschlicher Erkenntnisleistungen aus den Simulationen ergeben.

Ich wünschte, ich könnte das Buch mit der Darstellung eines solchen Simulationsprogrammes abschließen. Dies muß jedoch weiterer Arbeit vorbehalten bleiben. Aber schon die Beschäftigung mit dieser noch zu leistenden Arbeit macht Probleme deutlich, die nun am Schluß des Buches angesprochen werden sollen. Im folgenden Kapitel werden Fragen der Konkretisierung unseres Ansatzes behandelt. Im letzten Kapitel gebe ich einen Ausblick auf erkennbare Möglichkeiten der Simulation.



## **Kapitel 11: Probleme**

Jeder Verhaltensakt, und ist er noch so einfach, verändert eine gegebene Situation. Die Ausgangssituationen (S), die Verhaltensakte (R) und die mit ihnen eintretenden Konsequenzen (K) bilden somit unauflösliche Einheiten. Eine antizipative Verhaltenssteuerung sorgt dafür, daß die in diesen Einheiten bestehenden invarianten Beziehungen abstrahiert und zur Grundlage der Verhaltenssteuerung gemacht werden. Die Lernmechanismen, die es zu beschreiben gilt, müssen also darauf gerichtet sein, systematische Beziehungen zwischen allen drei Elementen eines Verhaltensaktes herzustellen. Sucht man hier nach Anregungen bei den "klassischen" Lerntheorien, stellt man fest, daß diese vorzugsweise die Ausbildung von Beziehungen zwischen jeweils nur zwei der Elemente zum Gegenstand hatten.

### **Assoziationen zwischen S-S, S-R und R-K**

Der bedingte Reflex ist das klassische Beispiel für den lernabhängigen Aufbau einer Beziehung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Reizen. Die Ausgangssituation ist durch eine feste Reiz-Reaktionsverbindung gegeben (UCS-R), etwa durch die Fluchtreaktion einer Katze auf einen elektrischen Schock. Wird nun in einem festen raum-zeitlichen Zusammenhang mit dem Schock (UCS) ein neutraler Reiz mehrfach dargeboten, etwa ein Lichtsignal (CS), dann erfolgt nach einigen Wiederholungen die Fluchtreaktion bereits auf das Licht (CS-R). Ein bedingter Reflex ist ausgebildet. Ihm liegt nach traditioneller Auffassung eine Festigung der assoziativen Beziehung zwischen dem sogenannten bedingten (CS) und dem unbedingten Reiz (UCS) zugrunde. Gelernt wird eine Beziehung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Reizen, so daß der erste zum Signal für den folgenden wird. Grundlage für den Lernvorgang, so wurde vermutet, ist die raum-zeitliche Kontiguität im Auftreten beider Reize (Pavlov, 1927; Guthrie, 1940).

Das instrumentale oder operante Bedingen ist das klassische Beispiel für den lernabhängigen Aufbau einer Beziehung zwischen einer Reizsituation und einer Reaktion. Die Ausgangssituation ist durch ungerichtete Aktivitäten eines irgendwie bedürftigen Tieres gegeben (law of readiness), bspw. durch Aktivitäten eines hungrigen Hundes in einer "Skinner-Box". Führt dabei das Zerren an einer Schnur zuverlässig zur Darbietung von Futter, dann zeigt das Tier die zunehmende Tendenz, an der Schnur zu zerren (law of effect). Das bekräftigte Verhalten wird zum Instrument der Bedürfnis-

befriedigung. Diesem Lernvorgang liegt nach traditioneller Auffassung eine Festigung der assoziativen Beziehung zwischen der gegebenen Ausgangssituation (Hunger und Skinnerbox) und einem Verhaltensakt (Zerren an der Schnur) zugrunde (Thorndike, 1905, 1931; Hull, 1943; Skinner, 1938). Gelernt wird eine Assoziation zwischen einer Situation (S) und einer Reaktion (R). Die positiven Konsequenzen des Verhaltens sind zwar die Ursache für die Verstärkung (reinforcement) der Assoziation, sie sind aber nicht Bestandteil der sich ausbildenden Beziehung.

Der Aufbau von Assoziationen zwischen Verhaltensakten und ihren Konsequenzen ist m.W. erst in neuerer Zeit untersucht worden (Allan & Jenkins, 1980; Alloy & Abramson, 1979; Dickinson, Shanks & Evenden, 1984; Shanks, 1985; vgl. auch Bolles, 1972). In diesen Untersuchungen konnten Pbn das Eintreten von Konsequenzen auf einen bestimmten Verhaltensakt über einen längeren Zeitraum hinweg beobachten. Sie registrierten bspw. in einem Computerspiel die erzielten Treffer beim Schießen auf Panzer (man hätte auch anderes Verhalten wählen können). Die Panzer konnten auch von Minen zerstört werden. Variiert wurden erstens die Wahrscheinlichkeit, mit der Treffer beim Schießen erzielt werden ( $p(K/R)$ ), zweitens die Wahrscheinlichkeit, mit der "Treffer" auf Minen zurückgehen ( $p(K/No-R)$ ), sowie drittens die Häufigkeit des Auftretens von Treffern überhaupt ( $p(K)$ ). Es wird gezeigt, daß die Pbn trotz einiger Illusionen über ihre Leistungen (sogenannte Kontrollillusionen, vgl. Alloy & Abramson, 1988; Gollwitzer & Kinney, 1989; Langer, 1975), ihre Einschätzung der Effektivität ihres Handelns an die tatsächliche Trefferquote annähern. Dem Lernvorgang liegt nach Auffassung einiger Autoren eine Festigung von Assoziationen zwischen dem Verhaltensakt (R) und seinen Konsequenzen (K) nach Maßgabe der relativen Häufigkeit ihres gemeinsamen Auftretens zugrunde (z.B. Shanks, 1985). Die Ausgangsbedingungen, unter denen diese Beziehungen hergestellt werden, finden keine Berücksichtigung.

### **Die lernabhängige Integration von S, R und K**

Edward C. Tolman (1932) war wohl einer der ersten Lernforscher, der darauf gedrungen hat, alle drei Komponenten eines Verhaltensaktes im Zusammenhang zu sehen. Organismen, so eines seiner Hauptargumente, lernen nicht, bestimmte Reaktionen auf bestimmte Reize hin auszuführen. Ihr Verhalten ist vielmehr auf Ziele gerichtet und das Wichtigste, was es zu lernen gilt, sind Erwartungen über zukünftige Reizwirkungen, die als zu erreichende Ziele mit Verhaltensweisen verbunden werden. Es wird etwa gelernt, welche Objekte besonders geeignet sind, bestimmte Bedürfnisse zu befriedigen (cathexes). Es wird gelernt, welche Situationen eine Annäherung an ein Ziel signalisieren (equivalence beliefs), welche Ereignisse zu welchen zukünftigen Reizbedingungen führen (field expectancies), oder es wird die Wahrnehmung einer Situation in Abhängigkeit von den in ihr gemachten Verhaltenserfahrungen verändert

(field cognition modes, vgl. Tolman, 1949). Organismen wiederholen nicht nur einfach erfolgreiches Verhalten, sondern sie erwerben die Fähigkeit, in ihrer Umgebung auch auf neue Weise erfolgreich zu handeln. Ratten erwerben bspw. Kenntnisse über die Struktur eines "Labyrinths", die sie den kürzeren von zwei Umwegen wählen lassen, wenn der gewohnte kürzeste Weg zur Futterbox blockiert ist (Tolman & Honzik, 1930). Es werden nach Tolman also nicht nur S-R Verbindungen aufgebaut, sondern Assoziationen zwischen Reizsituationen unter Berücksichtigung des sie verbindenden Verhaltens. Der Ansatz ist deshalb auch als S-R-S-Modell bezeichnet worden (vgl. Bolles, 1972; Eyferth, 1964).

Ein anderer Versuch, die Einseitigkeit klassischer Lerntheorien zu überwinden, geht von Beobachtungen aus, nach denen bedingte Reflexe *nicht* auf der raumzeitlichen Kontiguität von CS und UCS beruhen (Rescorla & Wagner, 1972). Eine dieser Beobachtungen ist das sogenannte Blockierungsphänomen (Kamin, 1968): Ein Reiz (CS<sub>2</sub>) wird trotz raum-zeitlicher Nachbarschaft zum UCS nicht bedingt, wenn er gemeinsam mit einem anderen Reiz (CS<sub>1</sub>) auftritt, der bereits bedingt ist. In den Experimenten von Kamin lernten Ratten bspw. daß auf einen Ton (CS<sub>1</sub>) ein leichter elektrischer Schock (UCS) folgt. Nachdem dieser Reflex ausgebildet war, wurde in weiteren Versuchen gemeinsam mit dem Ton ein Lichtsignal (CS<sub>2</sub>) dargeboten. Auf diesen Komplexreiz (CS<sub>1</sub> + CS<sub>2</sub>) folgte ebenfalls wiederholt ein leichter elektrischer Schock. Dennoch löst das Lichtsignal allein keinerlei Fluchtreaktion aus. Offensichtlich verhindert der bereits bestehende bedingte Reflex auf den Ton die Konditionierung des mit ihm verbundenen Lichtsignals. Aus dieser und anderen Beobachtungen leiteten Rescorla und Wagner (1972) die Vermutung ab, daß nicht einfach raum-zeitlich benachbarte Reize assoziiert werden, sondern die Tiere vielmehr versuchen, aus gegebenen Reizen die nächst folgenden vorherzusagen. Für das Lernen sind nicht Kontiguitäten sondern Nichtübereinstimmungen zwischen Vorhersagen und eintretenden Reizen bestimmend. Das Credo dieses Ansatzes lautet: "Organisms only learn when events violate their expectations" (Rescorla & Wagner, 1972, S.75).

Das Phänomen der Blockierung läßt sich jetzt so ableiten: Wenn das Tier aufgrund des vorliegenden Tones den Schock bereits antizipiert, dann bestätigt dieser, wenn er eintritt, die Vorhersage, und es besteht kein Anlaß, nun noch zu lernen, daß auch das Lichtsignal den Schock zuverlässig ankündigt. Diese und andere Zusammenhänge sind von Rescorla und Wagner in einem Modell präzisiert worden, das mit der folgenden Gleichung beschrieben ist:

$$\Delta V_i = \alpha_i + \beta(\lambda - \Sigma V_i)$$

Nach dem Modell werden die Assoziationen aller vorliegenden Reizkomponenten ( $CS_j$ ) zum UCS im Sinne einer gemeinsamen Erwartung seines Auftretens aufsummiert ( $\Sigma V_j$ ). In jedem Lernschritt hängen die Veränderungen der Assoziationen der einzelnen Reizkomponenten ( $\Delta V_j$ ) von der Differenz zwischen der jeweils erwarteten ( $\Sigma V_j$ ) und der eingetretenen Stärke ( $\lambda$ ) des UCS linear ab. Für unsere Diskussion ist entscheidend, daß die Assoziationen nicht passiv erworben, sondern durch den Vorgang der Antizipation aktiv hergestellt werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, das eigene Verhalten in die Ausbildung von Assoziationen zwischen Reizsituationen einzubeziehen (vgl. auch Rescorla, 1988; Anochin, 1961, 1967).

Es gibt jedoch Beobachtungen, denen auch das Rescorla-Wagner-Modell nicht gerecht wird. Tiere können es bspw. lernen, auf einen Ton und auf einen Lichtreiz eine Reaktion zu konditionieren, auf die gemeinsame Darbietung beider Reize aber nicht zu reagieren (z.B. Rescorla, 1972). Sie lernen hier etwas, was man eine XOR-Verbindung nennt: Reagiere entweder auf den einen oder auf den anderen Reiz, aber nicht auf beide zusammen. Ein solches Reaktionsmuster ist mit der Annahme des Rescorla-Wagner-Modells, daß sich die Erwartung des UCS aus der *Summe* der Assoziationen der einzelnen Reizkomponenten ergibt, unvereinbar. Darüber hinaus ist gezeigt worden, daß vertraute Reize langsamer konditioniert werden als Reize, die der gewohnten Umgebung plötzlich hinzugefügt werden und damit auffällig sind (z.B. Baker & Mackintosh, 1977; Kremer, 1971). Es haben also Relationen zwischen den zu konditionierenden Reizen (hier die relative Vertrautheit) Einfluß auf den Lernvorgang, die das Modell nicht berücksichtigt. Es wird auch nicht jeder Reiz mit jedem UCS gleichgut assoziiert. Geschmacksreize werden bspw. mit inneren Schmerzreizen schneller konditioniert als visuell-akustische Reize (Garcia & Koelling, 1966; Garcia, McGowan, Ervin & Koelling, 1968). Es ist, als würden die Tiere im Geschmack der Nahrung eher Hinweise auf zukünftige "Leibschmerzen" vermuten, als in Lichtern und Tönen. Man kann solche Beobachtungen wohl dahingehend zusammenfassen, daß sich Assoziationen nicht zwischen unabhängigen Reizen, sondern zwischen *Reizstrukturen* ausbilden, die selbst nicht assoziativ, sondern nach anderen Gesetzen gebildet sind (vgl. auch Gallistel, Brown, Carey, Gelman & Keil, 1991; Seligman, 1970).

Um u.a. solchen Phänomenen der "Vorstrukturierung" der Erfahrungsbildung gerecht zu werden, haben Holyoak, Koh und Nisbett (1989) eine Konzeption vorgeschlagen, nach der Konditionierungsvorgänge als Bildung und Veränderung von "Verhaltensregeln" zu beschreiben sind: "...the rules of the model have a form that is not simply S-R, but rather S-S,R. That is, each rule specifies two action components: a description of the expected next state of the environment and an effector action appropriate to that expected state" (Holyoak, et al., 1989, S.322). Mit einer solchen Regel wird also festgelegt, unter welchen Bedingungen (S-) welche zukünftigen Reizwirkungen erwartet werden können und welches Verhalten zu realisieren ist (-S,R). Treten die erwarteten



Reizwirkungen ein, wird die Regel verstärkt, anderenfalls wird sie abgeschwächt. Diese Konsequenzen betreffen allerdings immer nur die zur Anwendung gekommene Regel und damit nur die in ihr enthaltenen Reize oder Merkmale: "Unless a feature is included in a candidate rule, nothing can be learned about its relation to other features or to appropriate behavior" (Holyoak, et al., 1989, S.320). Auf diese Weise blockiert die erfolgreiche Anwendung einer gewohnten Verhaltensregel das Erlernen eines neuen Zusammenhanges.

Regeln können darüber hinaus sowohl für einzelne Reize als auch für Reizkombinationen unabhängig voneinander gebildet werden. Es können etwa zwei Regeln bestehen, von denen die eine besagt: 'Nach Ton erwarte Schock-Flucht' und die andere: 'Nach Ton *und* Licht erwarte NichtSchock-Weitermachen'. Erlaubt eine Situation die Anwendung beider Regeln (Ton und Licht sind gegeben), dann treten ihre Verhaltensanweisungen in Konkurrenz zueinander. Im Modell wird angenommen, daß stets die speziellere Regel zur Anwendung kommt, hier also die Verhaltensanweisung, die nicht nur den Ton sondern auch das Lichtsignal berücksichtigt. Auf diese Weise wird verständlich, wie es zur Ausbildung einer "XOR-Verbindung" kommen kann.

Wir können diesen umfassenden theoretischen Entwurf hier nicht im einzelnen diskutieren (vgl. Holland, Holyoak, Nisbett & Thagard, 1986). Wir wollen lediglich festhalten, daß erstens im Lernprozeß Einheiten (Regeln) gebildet werden, die Ausgangssituationen, Verhaltensakte und eintretende Konsequenzen verbinden, daß zweitens diese Einheiten durch die Bestätigung von Antizipationen gefestigt werden, und daß schließlich drittens neben Prinzipien assoziativen Lernens (Verstärkung durch Erfolg) auch nicht-assoziative Mechanismen der Bildung und Verwendung von (Verhaltens)Regeln zur Anwendung kommen. Die Autoren vermuten, daß solche Einschränkungen assoziativen Lernens durch übergeordneten "Prinzipien" der Verhaltenssteuerung weit über den Bereich des Konditionierungslernens hinaus Bedeutung haben: "We are optimistic that the present theory can provide insights into forms of learning more complex than classical conditioning" (Holyoak, et al., 1989, S.335).

### **Das Problem der Berücksichtigung von Ausgangsbedingungen bei der Bildung von S-R-K Einheiten durch antizipative Verhaltenssteuerung**

Nach unseren Überlegungen werden Ausgangsbedingungen, Verhaltensakte und ihre Konsequenzen durch die assoziative Bindung von verhaltenssteuernden Antizipationen an gegebene Situationsbedingungen integriert. Die eben geführte Diskussion verweist nun darauf, daß assoziative Lernmechanismen allein der Differenziertheit organismischer Verhaltenssteuerung nicht gerecht werden. Dies wird auch durch Ergebnisse einer Pilotstudie unterstrichen, die ich kurz schildern will (Hoffmann, 1990b).

Den Pbn wurde ein erster Reiz, ein sogenannter Cue dargeboten, der die Form eines Quadrates oder eines Kreises hatte. Auf diesen Cue hin sollten sie entweder die linke oder rechte äußere von vier horizontal angeordneten Tasten bedienen, um die Darbietung eines Buchstabens auszulösen. Es wurde ihnen ausdrücklich freigestellt, welche der beiden Tasten sie jeweils bedienen wollen. 500 ms oder 2000 ms nach dieser frei gewählten "Auslöseaktion" wurde ein kleines oder ein großes W oder S rechts oder links vom Cue dargeboten. Die Pbn hatten nun möglichst schnell zu entscheiden, ob ein Klein- oder ein Großbuchstabe vorliegt und dementsprechend eine der beiden inneren Tasten zu drücken. Es erfolgte eine Rückmeldung über die Korrektheit der Reaktion und nach einer kurzen Pause wurde ein neuer Versuch eingeleitet (vgl. Abbildung 11.1.).

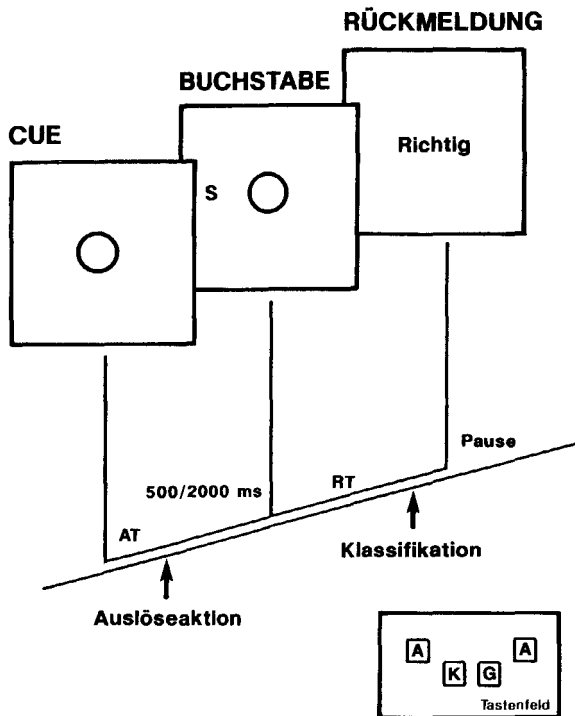


Abbildung 11.1.: Die Versuchsanordnung eines Experimentes von Hoffmann (1990b) zur Untersuchung der lernabhängigen Herausbildung einer antizipativen Verhaltenssteuerung.

Der Versuchsablauf wurde so programmiert, daß in Abhängigkeit von der Form des Cues die beiden Auslöseaktionen Eigenschaften des dann erscheinenden Buchstabens überzufällig bestimmten. Bei einem Quadrat führte bspw. die rechte Auslöseaktion mit 90%iger Wahrscheinlichkeit dazu, daß der Buchstabe rechts dargeboten wurde, während

die linke Auslöseaktion weder eine Antizipation des Darbietungsortes noch irgendeiner anderen Eigenschaft des Buchstabens erlaubte. Bei einem Kreis dagegen, führte die linke Auslöseaktion mit 90%iger Wahrscheinlichkeit dazu, daß der Buchstabe links dargeboten wurde, während nun die rechte Auslöseaktion keine Antizipationen erlaubte. Mit anderen Worten: Die Pbn konnten die Antizipierbarkeit von Eigenschaften des Buchstabens durch die Wahl der geeigneten Auslöseaktion in Abhängigkeit von der Form des Cues selbst *herstellen*, wenn und nur wenn sie den Zusammenhang zwischen dem Cue, ihrer Auslöseaktion und den Eigenschaften des dann erscheinenden Buchstabens "erkannten".

Der Bezug der experimentellen Situation zu unseren theoretischen Überlegungen dürfte deutlich sein. Die Cues stehen für unterschiedliche Ausgangssituationen. In Abhängigkeit von ihrer Form führen Auslöseaktionen zu antizipierbaren bzw. nicht antizipierbaren Buchstabeneigenschaften. Über diese Zusammenhänge können die Pbn Erfahrungen sammeln, genauso, wie sie unter natürlichen Bedingungen erfahren, unter welchen Ausgangsbedingungen welches Verhalten zu welchen Konsequenzen führt. Die Frage war, inwieweit sich solche Erfahrungen in der Verhaltenssteuerung niederschlagen.

Es zeigt sich u.a., daß ohne einen Hinweis auf die Möglichkeit der Beeinflussung von Buchstabeneigenschaften, die gegebenen Zusammenhänge von den wenigsten Pbn erkannt und zur "Herstellung" von antizipierbaren Buchstabeneigenschaften genutzt werden. Selbst wenn der Darbietungsort *und* die Größe des Buchstabens (d.h. auch die auszuführende Reaktion) mit 100%iger Sicherheit hergestellt werden können, lernen es nur wenige Pbn, die Auslöseaktion in Abhängigkeit vom Cue jeweils so zu wählen, daß sie Ort und Größe des Buchstabens mit Sicherheit antizipieren und dann auch besonders schnell auf ihn reagieren können. Die Mehrheit der Pbn bleibt selbst gegenüber diesem deterministischen Zusammenhang "blind".

Die Beobachtung, daß die (bedingte) Antizipierbarkeit von Verhaltenskonsequenzen nicht zwangsläufig auf die Verhaltenssteuerung Einfluß nimmt, unterstreicht den generellen Gedanken, daß nicht allein assoziative Lernvorgänge der antizipativen Verhaltenssteuerung zugrunde liegen können. Es liegt etwa nahe zu vermuten, daß die Pbn unter den geschilderten Bedingungen den Cue lediglich als Startsignal verstehen und die Unterscheidung von Quadrat und Kreis nicht beachten. Damit werden die von der Form des Cues abhängigen Kovariationen zwischen den Auslöseaktionen und ihren Konsequenzen nicht mehr erlebbar und können auch nicht wirksam werden. Holyoak, et al. (1989) würden vermutlich argumentieren, daß der Cue nicht Bestandteil der verwendeten Verhaltensregeln war und deshalb auch nichts über die von ihm abhängigen Beziehungen gelernt werden konnte. Dem entspricht die Beobachtung, daß bereits ein beiläufiger Hinweis auf mögliche Zusammenhänge zwischen dem Cue, der Auslöseaktion und Buchstabeneigenschaften genügt, um bei allen Pbn eine ent-

sprechende Anpassung des Verhaltens zu beobachten. Die für die Verhaltenskonsequenzen bedeutsamen Eigenschaften der Ausgangsbedingungen müssen also *beachtet* werden, um Einfluß auf die Verhaltenssteuerung zu gewinnen.

Unsere Überlegungen enthalten bereits einen Mechanismus, der eine selektive Beachtung von Ausgangsbedingungen eines intendierten Verhaltensaktes vermitteln könnte: Die Antizipation invarianter Auslösebedingungen (vgl. Abbildung 3.2.). Nur, wir sind bis jetzt davon ausgegangen, daß es sich dabei um Merkmale handelt, mit denen die angezielten Verhaltenskonsequenzen erfahrungsabhängig assoziiert worden sind. Wir müssen nun auch an die Möglichkeit denken, daß uns bereits *vor* allen Erfahrungen generalisierte Erwartungen auf einige Ausgangsbedingungen stärker achten lassen als auf andere. Bei der Bedienung eines Computers achten wir bspw. von vornherein besonders auf den am Monitor angezeigten Zustand und vernachlässigen dabei die "Zeichen" über den Zustand der Tastatur. Wir wundern uns dann bspw., daß bei der Bedienung des Zahlenblocks nicht Zahlen geschrieben, sondern der Cursor bewegt wird, weil wir eben nicht beachtet haben, daß der Zahlenmodus nicht eingestellt war.

Darüber hinaus ist auch daran zu denken, daß Verhaltensakte mit bestimmten Reizwirkungen bereits *neuronal* bevorzugt verbunden sein könnten. Für die Steuerung der Augenbewegungen sind bspw. allein die retinalen Reizwirkungen relevant. Die Berücksichtigung etwa akustischer Reize ist hier müßig. Die neuronale Vernetzung der Augenmotorik könnte also auf Verbindungen zu möglicherweise bereits speziellen retinalen Signalen eingeschränkt sein, weil sich in der Evolution allein diese als verhaltensrelevant erwiesen haben. Auch die Steuerung anderer Verhaltensakte könnte im Resultat phylogenetischen Lernens auf bestimmte Reizwirkungen eingeschränkt sein, so daß die Intention sie auszuführen, zwangsläufig zu deren besonderen Beachtung führt. Wie dem auch sei, es ist eine Aufgabe zukünftiger Forschungen solche Vorstrukturierungen unserer Erfahrungsmöglichkeiten genauer zu kennzeichnen (vgl. z.B. Carey, 1985; Gallistel, et al., 1991; Keil, 1981; Weinert & Waldmann, 1988). Für die Konkretisierung der Mechanismen der Verhaltenssteuerung heißt dies aber, daß neben lernabhängigen assoziativen Antizipationen auch vorstrukturierte verhaltenssteuernde Erwartungen zu berücksichtigen sind.

### **Das Problem der Festlegung der Ausgangssituation**

Die Ausgangssituationen von Verhaltensakten lassen sich auf mannigfaltige Weise beschreiben. Zu ihnen gehören neben den in allen Sinnesgebieten anfallenden exterozeptiven Reizwirkungen auch interozeptive Reize, die über Lage und Haltung des eigenen Körpers informieren. Es sind also jeweils visuelle, akustische, olfaktorische, gustatorische, haptische, labyrinthäre und propriozeptive Reize gegeben, die alle auf die

Konsequenzen des jeweiligen Verhaltens Einfluß haben können. Es ist aber eher unwahrscheinlich, daß alle diese zum Zeitpunkt einer Verhaltensaussführung gegebenen Reizwirkungen gleichermaßen Berücksichtigung finden. Vermutlich werden immer nur einige von ihnen als potentiell verhaltensrelevant beachtet und die anderen mehr oder weniger ignoriert. Die Zweckmäßigkeit der eben besprochenen selektiven Beachtung von Ausgangsbedingungen wird also auch durch die Fülle der stets gleichzeitig gegebenen Reize nahegelegt.

Darüber hinaus ist auch zeitlich einzuschränken, was als Ausgangssituation eines Verhaltensaktes gelten soll. Sollen im Lernvorgang nur die Reize berücksichtigt werden, die zum Zeitpunkt des Verhaltensbeginns wirksam sind, oder auch Reize, die kurz zuvor wirksam waren? Vermutlich gilt das zweite. Aber, wieviel Zeit soll das "kurz zuvor" umfassen. Sollen hier Sekunden, Minuten oder Stunden gezählt werden? Ist die Zeitspanne, die die Ausgangssituation umfaßt, eine feste Größe, wie man es bspw. vom Kurzzeitgedächtnis vermutet, oder paßt sie sich an die Art des jeweiligen Verhaltens an? Und, wenn dies der Fall ist, nach welchen Gesetzmäßigkeiten vollzieht sich die Anpassung?

Jeder weiß aus der Alltagserfahrung, daß es schwerfällt, den Einfluß zurückliegender Situationen auf die Konsequenzen gegenwärtigen Verhaltens zu erkennen und zu berücksichtigen. Insbesondere im sozialen Bereich zeitigt unser Verhalten oftmals Wirkungen, die von Situationen abhängen, an die wir längst nicht mehr denken. Wir wundern uns dann über die Reaktionen, die wir hervorrufen, und verstehen deren zurückliegende Ursachen erst, wenn wir auf sie hingewiesen werden. Auch in einigen der besprochenen Experimente gab es bereits Hinweise auf die Schwierigkeit, frühere Reizbedingungen zu berücksichtigen. Im 10ten Kapitel hatten wir bspw. darauf hingewiesen, daß die Bildung sequentieller Strukturen von benachbarten Ereignissen ausgeht. Manche Strukturen beruhen aber auf Beziehungen zwischen nicht benachbarten Ereignissen, so daß weiter zurückliegende Reizwirkungen bei der Kalkulation gegenwärtigen Verhaltens beachtet werden müssen. Dies ist etwa beim Sprechen der Fall. Die Beziehungen zwischen den Worten werden durch sogenannte Phrasenstrukturgrammatiken determiniert. Die Form einer Verbphrase hängt bspw. von der Nominalphrase ab. Beide liegen, insbesondere im Deutschen, oftmals weit auseinander. Dennoch erkennen und berücksichtigen wir die zwischen ihnen bestehenden regelhaften Beziehungen. Es fällt uns bspw. nicht schwer, zu erkennen, daß der Satz: "Die Bäume, die man aus der Entfernung gut sehen konnte, war vom Wind gebeugt" nicht korrekt ist, weil "die Bäume" und "war" nicht zusammen passen.

Weinert (1990) hat gezeigt, daß Beziehungen zwischen entfernten Einheiten einer Sequenz nur dann erfaßt werden, wenn die Aufmerksamkeit auf die jeweiligen Einheiten gerichtet wird. In einem ihrer Experimente memorierten Pbn Sätze einer künstlichen Miniatursprache, die nach einer Phrasengrammatik strukturiert waren. Die Sätze wurden den Pbn vorgesprochen. Variiert wurde ihre Prosodie. Im Vergleich zu einer

Kontrollgruppe erfaßten allein die Pbn die Grammatikalität, denen die Sätze im Rhythmus ihrer Phrasenstruktur vorgetragen wurden. Die Beziehungen zwischen den Phrasen wurden also nur erkannt, wenn sie durch eine entsprechende Betonung hervorgehoben waren (vgl. auch Servan-Schreiber & Anderson, 1990; Jones, Boltz & Kidd, 1982). In anderen Worten: Zurückliegende Teile einer Sequenz werden nur dann zu aktuellen Reizen in Beziehung gesetzt, wenn sie beachtet werden.

Umgekehrt kann durch die Beachtung bestimmter Reize die Verhaltensrelevanz nichtbeachteter Reize übersehen werden. Wir haben in der Studie von Hoffmann (1990b) gerade den Fall der "Nichtbeachtung" verhaltensrelevanter Cues kennengelernt. Bei der Diskussion der visuellen Suche hatten wir im 6ten Kapitel ein vergleichbares Beispiel besprochen (Duncan, 1985). Die Pbn suchten hier nach einem Wort unter sonst sinnlosen Buchstabenketten. War das Wort gefunden, sollte es vorgelesen werden. Für das intendierte Lesen ist die Buchstabenkonfiguration entscheidend. Indem die Pbn ihre Aufmerksamkeit auf diese richteten, "übersahen" sie, daß sich das gesuchte Wort auch durch seine Farbe auszeichnete, anhand der es viel leichter hätte entdeckt werden können. Die Orientierung des Verhaltens an einem bestimmten Merkmal (Buchstabenkonfiguration) blockiert hier das "Entdecken" einer Verhaltensstruktur, die mit weniger Aufwand zum gleichen Ziel führen würde. Dies ist wohl der Preis, den wir für die Stabilität unserer Verhaltensorganisation zu zahlen haben: Wenn wir erst einmal einer hinreichend erfolgreichen Verhaltensgewohnheit "verfallen" sind, dann ist es außerordentlich schwer, diese zugunsten einer effektiveren Vorgehensweise zu ändern. Dies ist so, weil uns die der Verhaltenssteuerung untergeordnete Selektivität der Reizverarbeitung die anderen Möglichkeiten gar nicht mehr wahrnehmen läßt.

Aus den hier besprochenen Zusammenhängen ergibt sich erneut die Notwendigkeit, Möglichkeiten der selektiven Beachtung von Ausgangsbedingungen bereits vor allen Verhaltenserfahrungen vorzusehen. Die Selektion sollte sowohl hinsichtlich des Zeitpunktes als auch hinsichtlich des Inhalts der Reizwirkungen möglich sein.

### **Das Problem der Festlegung von Verhaltenskonsequenzen**

Alle Punkte, die wir eben für Ausgangsbedingungen diskutiert haben, gelten auch für Verhaltenskonsequenzen. Auch sie können nach extero- und interozeptiven Reizwirkungen unterschieden werden (vgl. schon James, 1981/1890). Auch hier gilt, daß sofort eintretende Konsequenzen stärker als später eintretende berücksichtigt werden, wenn nicht die Aufmerksamkeit auf sie gerichtet wird (z.B. Berry & Broadbent, 1988). Eine Selektion erfolgt auch hier durch die Antizipation der erfahrungsgemäß eintretenden Konsequenzen und es ist schließlich wieder zu vermuten, daß bereits vor allen

Verhaltenserfahrungen die Aufmerksamkeit selektiv auf nur einen Teil von ihnen gerichtet wird.

Eine solche "Vorselektion" kann nach unseren Überlegungen etwa dadurch realisiert werden, daß schon vor jeder Abstraktion erfahrungsgemäß eintretender Konsequenzen einfach die *erwünschten* Effekte antizipiert werden. Indem wir das erwünschte Resultat ungeübten Verhaltens antizipieren, heben wir aus der Vielfalt der eintretenden Konsequenzen diejenigen hervor, die mit dem Wunsch in Beziehung stehen. Nur, erinnern wir uns: Bereits William James hatte darauf hingewiesen, daß wir Verhalten nur dann zielgerichtet aktivieren können, wenn wir dessen Konsequenzen bereits erfahren haben. Erst *nachdem* wir wissen, zu welchen Effekten ein bestimmtes Verhalten führt, können wir es mit deren Antizipation auch aktivieren. Wenn unsere Verhaltenssteuerung allerdings auf die Verwertung von sich zufällig ergebenden Verhaltenskonsequenzen beschränkt bleiben würde, könnten Ziele, die sich nicht en passant realisieren, nie gebildet werden.

Betrachten wir stellvertretend für alle anspruchsvolleren Zielbildungen ein Beispiel aus dem Bereich des Leistungssports. Da niemand so nebenbei über zwei Meter hoch springt, kann man die Erfahrung, was zu tun ist, um diese Leistung zu erreichen, nicht machen. Und, allein zu wünschen, zwei Meter hoch zu springen, reicht halt nicht aus, es auch tun zu können. Um eine solche Leistung vollbringen zu lernen, muß erstens das Ziel, sie zu erreichen, aus anderen Quellen als der Verhaltenserfahrung abgeleitet und gebildet werden. Es sind zweitens Verhaltenserfahrungen zu *suchen*, die es erlauben, sich dem Ziel anzunähern. Umgangssprachlich ausgedrückt: Wenn man nicht weiß, wie man zwei Meter hoch springt, ist wenigstens herauszufinden, was man tun muß, um besonders hoch zu springen. Anders als bei der spielerischen Erprobung von Verhaltensmöglichkeiten ist ein besonderes Training erforderlich. Die Besonderheit besteht darin, die Aufmerksamkeit gezielt auf diejenigen Verhaltenskonsequenzen zu richten, deren sichere Herstellbarkeit die außergewöhnliche Leistung hervorzubringen erlaubt. Dies sollten Konsequenzen sein, die erstens hohe Sprünge möglichst invariant kennzeichnen, die zweitens gut erlebbar sind und die sich drittens deutlich genug von allen sonst noch eintretenden Konsequenzen unterscheiden. Solche leistungsstabilisierenden Invarianten herauszufinden, sie erlebbar zu machen und vor allem auch Verhaltensbedingungen zu schaffen, unter denen ihre Herstellbarkeit erleichtert wird, ist wohl das, was einen guten Trainer (nicht nur im Sport) vor allem ausmacht.

Die umgekehrte Konsequenz aus diesen Überlegungen besagt, daß man die Leistungsfähigkeit für das Erreichen anspruchsvollerer Ziele nicht aufbauen kann, wenn man nie erfährt, welches Verhalten der Annäherung an das Ziel dienlich ist. Man kann sich dann zwar wünschen, das Ziel zu erreichen, nur wird der Wunsch ohne Wirkung bleiben, weil die Erfahrung kein Verhalten bereit stellt, das ihn erfüllen könnte. Wenn man in diesem Zustand verharrt, muß es auch beim Wünschen bleiben. Um ihn zu überwinden,

ist es unabdingbar notwendig, aktiv zu werden. Es gibt keinen anderen Weg, Verhaltenskompetenzen zu erwerben, als den, die Konsequenzen eigenen Verhaltens zu erfahren, selbst wenn es zunächst nur die zufällig gewählten Verhaltens sein können. Oder, wie es Erich Kästner einmal gesagt hat: "Es gibt nicht Gutes, außer man tut es".

Wenn wir an dieser Stelle ein wenig weiter spekulieren, dann lassen sich auch psychologische Folgen gesellschaftlicher Bedingungen einordnen, die in den ehemals kommunistisch regierten Ländern deutlich werden. Das Leben war dort Jahrzehnte lang in nahezu allen Verhaltensbereichen durch Vorgaben, Verordnungen, Genehmigungspflichten usw. reglementiert. Es gab nur sehr eingeschränkte Möglichkeiten, eigenständige Verhaltensplanung zu erproben. Vor allem gab es wenig Gelegenheiten zu erfahren, daß man die Kompetenz erwerben kann, ein *selbstgewähltes* Ziel zu erreichen. Es dominierte vielmehr die Erfahrung, daß Lebensgestaltung nur gelingt, wenn man sich an den vorgegebenen Zielen der Gesellschaft (wenigstens scheinbar) orientiert. Man erwarb das befriedigende Gefühl sich kompetent und erfolgreich verhalten zu können, in der Regel nur dann, wenn man sich dem Diktat vorgegebener Erfordernisse unterordnete.

Nun haben sich die gesellschaftlichen Bedingungen geändert. Aus der Anpassung an eine totalitäre Bevormundung, sind die Menschen in eine demokratisch offene Konkurrenz gestellt, in der neben Anpassung vor allem Selbstbehauptung gefordert ist. Die erworbenen Verhaltensgewohnheiten sind nun nutzlos und teilweise sogar kontraproduktiv. Es gilt ja nicht nur, einfach neue Vorgaben und Regeln berücksichtigen zu lernen, sondern es ist vor allem die Kompetenz zu gewinnen, sich mit selbst gewählten Verhaltenszielen zu behaupten. Aber gerade die Selbstbehauptung des Individuums war unterdrückt und dem Kollektivismus rigoros untergeordnet. Es fehlen also Erfahrungen, wie man Ziele bildet und die für ihre Erreichung notwendige Kompetenz erwirbt. Die daraus für viele Menschen erwachsenden Schwierigkeiten, sich eine selbstbestimmte Lebensführung zu erarbeiten, gehören m.E. zu dem schwersten psychologischen Erbe, das die kommunistischen Diktaturen hinterlassen.

Aber, kommen wir wieder zum engeren Anliegen des Kapitels zurück. Unsere Diskussion verweist zwingend darauf, daß eine antizipative Verhaltenssteuerung mit Mechanismen der Zielbildung ausgestattet sein muß, die über die Verwertung von Verhaltenserfahrungen hinausgehen. Anderenfalls müßte sie bei der Perfektionierung der Herstellung zufällig erzielbarer Verhaltenskonsequenzen stehen bleiben.

### **Das Problem der Festlegung von Verhaltensakten**

Die Verhaltensmöglichkeiten eines Organismus sind durch seinen "Bauplan" fest vorgegeben, durch die Freiheitsgrade seiner Gelenke ebenso, wie durch Anzahl und



Ansatzpunkte seiner Muskeln. Das vorgegebene Verhaltensrepertoire wird durch Erfahrung differenziert. Besonders häufig ausgeführte Bewegungen werden gegenüber anderen hervorgehoben, und wiederholt in gleicher Folge ausgeführte Bewegungen werden zu Einheiten zusammengefaßt usw. Nach unseren Annahmen vollzieht sich diese Differenzierung und gleichzeitige Integration von Bewegungseinheiten nach den Gesetzmäßigkeiten antizipativer Verhaltenssteuerung. Es werden jeweils diejenigen Bewegungen zusammengefaßt und voneinander unterschieden, die jeweils Ausgangssituationen einer bestimmten Klasse in Zielsituationen einer anderen Klasse transformieren. Die Bewegungseinheiten werden also nicht motorisch sondern sensorisch definiert. Zu einer Einheit gehören alle die Verhaltensakte, die in jeweils gleicher Weise bestimmte Reizgegebenheiten transformieren. Diese Einheiten sind das, was wir einen Verhaltensakt nennen. Es kann sich dabei um elementare Bewegungen, wie etwa das Ballen der rechten Faust, wie auch um komplexe Bewegungssequenzen, wie etwa das Trinken aus einer Tasse, das Unterschreiben mit dem eigenen Namen oder um die Fahrt zum Institut handeln. Wichtig ist allein, das ein bestimmter Zielzustand von einem bestimmten Ausgangszustand aus hergestellt wird.

Aus der Bestimmung von Verhaltensakten nach ihren Zielen ergibt sich, daß gleiche Bewegungen unterschiedlichen Verhaltensakten zugehören können. Wenn ich etwa meinen Namen schreibe, um einmal einen Vertrag zu unterschreiben und das andere Mal, um meinen Absender zu schreiben, dann handelt es sich um unterschiedliche Verhaltensakte, obwohl die gleichen (ähnlichen) Bewegungen ausgeführt werden. Der Verhaltensakt, wird nicht durch die Bewegungen, die ihn tragen, sondern durch das Ziel, das mit ihm erreicht werden soll, definiert, und dies ist in beiden Fällen unterschiedlich. Darüber hinaus können die mit einfachen Verhaltensakten angezielten Konsequenzen durch ein gemeinsames Ziel aufeinander bezogen werden. Ich fahre etwa mit dem Wagen aus der Garage, *um* zur Straße zu kommen, ich wende dann, *um* die Kreuzung zu erreichen, ich biege links ab, *um* über die Brücke zu fahren usw.; und ich tue dies alles, *um* schließlich zum Institut zu kommen. Einzelne Verhaltensakte werden also in dem Maße integriert, in dem die mit ihnen angestrebten Konsequenzen auf ein Gesamtziel gerichtet sind.

Daß die Definition von Verhaltensakten nach ihren Zielen auch unserem Selbstverständnis entspricht, haben Vallacher und Wegner (1985) in ihrem Buch "A Theory of action identification" überzeugend nachgewiesen. Sie zeigen dort anhand vieler Beispiele, daß wir eigenes Handeln nach den Zielen identifizieren, die wir zu erreichen wünschen, und daß wir in der Lage sind, diese Ziele in unterschiedlicher Differenziertheit anzugeben. Das Schreiben unseres Namens identifizieren wir einmal als Akt des Unterschreibens und ein anderes Mal als Schreiben unseres Absenders, und wenn wir auf sehr ungewohnte Weise schreiben, etwa mit einer "Maus" auf dem Computerbildschirm, identifizieren wir das, was wir tun, als das *Malen* einzelner Buchstaben. Diese unsere Gewohnheit, das was wir tun, anhand der Ziele zu identifizieren, die wir jeweils

anstreben und unsere Fähigkeit, sie sowohl global als auch spezifisch zu benennen, kann als phänomenologischer Ausdruck der Tatsache gewertet werden, daß unser Verhalten antizipativ gesteuert wird.

Im 9ten und 10ten Kapitel haben wir diskutiert, wie sich Verhaltenseinheiten in der Verwertung von Erfahrungen ausbilden und strukturieren. Wir werden jedoch auch hier wieder davon ausgehen müssen, daß das Verhaltensrepertoire nicht nur erfahrungsabhängig strukturiert wird, sondern bereits vor aller Erfahrung Strukturen aufweist. Seit den Untersuchungen von Hess (1948) ist bekannt, daß bei höheren Säugetieren die Reizung bestimmter Hirnareale komplexe Verhaltensmuster wie Jagd- oder Freßverhalten auslöst, ohne daß die entsprechenden Umgebungsbedingungen dafür vorliegen. Dies weist darauf hin, daß die für die Realisierung lebenswichtiger Ziele angemessenen Verhaltenseinheiten bereits vorgeprägt sind und zur genetischen Grundausstattung eines Organismus gehören. Bolles (1972) spricht in diesem Zusammenhang von "prior expectancies" um darauf zu verweisen, daß wenigstens bei Tieren bestimmte Verhaltensweisen bereits genetisch mit der Erwartung bestimmter Konsequenzen verbunden sein können. Dies gilt für den Menschen in sicher geringerem Maße. Es ist aber wahrscheinlich, daß auch ihm elementare Verhaltenskoordinationen etwa für das Laufen, das Greifen, das Blicken usw., angeboren sind. Im 4ten Kapitel haben wir bspw. diskutiert, daß die Steuerung der Blickbewegungen möglicherweise in voneinander unabhängige Richtungssektoren gegliedert ist (Deubel, 1987). Auch werden elementare sensomotorische Koordinationen, wie etwa die Auge-Hand-Koordination so schnell erworben, daß man annehmen muß, daß die sie steuernden Strukturen nicht erst aufgebaut werden, sondern schon vorhanden sind. Sie müssen nur noch an die gegebenen Bedingungen angepaßt oder "kalibriert" werden (vgl. Bauer & Held, 1975; von Hofsten, 1986, 1989). Wir begegnen also erneut der Tatsache, daß verhaltenssteuernde Strukturen in einigen Bereichen nicht erst erfahrungsabhängig gebildet werden müssen, sondern bereits vorgeformt sein können.

Aus der Diskussion der letzten drei Abschnitte ergibt sich die wichtige Konsequenz, daß die besprochenen assoziativen Lernmechanismen, die Wahrnehmung und Verhaltenssteuerung antizipativ aufeinander beziehen, allein nicht ausreichen, um die Zielstrebigkeit der Erfahrungsbildung erfassen zu können. Offensichtlich gibt es vor allen Erfahrungen wenigstens teilweise Erwartungen darüber, wo relevante Invarianten in den Ausgangsbedingungen und Konsequenzen bestimmten Verhaltens zu finden sind. Diese Vorstrukturierungen können den Lernprozess fördern, ihn aber auch blockieren. Sie können auf generalisierten individuellen oder auf phylogenetischen Erfahrungen beruhen. Individuelle Erfahrungen finden ihren Niederschlag in selektiven Erwartungen, während evolutionäre Erfahrungen in neuronalen Strukturen manifestiert sein können, die einzelne Verhaltensakte bevorzugt mit bestimmten sensorischen Wirkungen

verbinden. Für die konkrete Umsetzung unseres Ansatzes ergibt sich in jedem Fall die Notwendigkeit, *nichtassoziative* Strukturbildungen zu berücksichtigen.

### Das Problem der verhaltensunabhängigen Erkenntnis

Gegen unsere These, daß sich organismische Erkenntnis auf herstellbare Reizbeziehungen beschränkt, kann man erstens einwenden, daß auch Beziehungen zwischen aufeinanderfolgenden Reizen erkannt werden, die unabhängig vom eigenen Verhalten sind, und zweitens, daß systematisch hergestellte Änderungen nicht in jedem Fall erkannt werden. Wir erkennen etwa, daß auf einen Blitz ein Donner folgt, obwohl wir den Donner nicht herstellen, und wenn wir andererseits bspw. das Ziffernblatt unserer Armbanduhr beschreiben sollen, fehlen uns viele Details, obwohl wir deren Reizwirkungen 'zig Mal am Tag mit dem Blick auf die Uhr herstellen. Dem zweiten Einwand ist relativ leicht zu begegnen: Unsere Aussagen gelten für zielgerichtetes Verhalten. Die mit der Intentionalität des Verhaltens verbundene Selektivität der Wahrnehmung haben wir ausführlich besprochen. Es werden eben nicht Beziehungen zwischen beliebigen Reizwirkungen erkannt, sondern nur zwischen denen, die als verhaltenssteuernde Invariante abstrahiert werden. Die Details unserer Armbanduhr werden also deshalb nicht erinnert, weil sie für das Ablesen der Zeit irrelevant sind. Zum zweiten Einwand ist etwas ausführlicher zu argumentieren.

Ein erster Gedanke betrifft die Überlegung, daß "Verhalten" nicht nur manipulatives Eingreifen in die Umgebung sondern auch exploratives Verhalten umfaßt. Wir gewinnen Erkenntnisse nicht allein bei den mannigfachen Tätigkeiten, die wir an oder mit Objekten verrichten, sondern schon bei der scheinbar müßigen Betrachtung unserer Umgebung. Wir hatten bereits im 8ten Kapitel ausführlich besprochen, daß die Erkenntnis über die Stabilität von Objekten und ihren Anordnungen vor allem darauf zurückgeht, daß wir es lernen, ihre Wahrnehmung (Fovealisierung) durch gezielte Blickbewegungen herzustellen. Unser visuelles System, so hatten wir gesagt, ist durch die Verbindung einer unscharfen globalen mit einer präzisen fovealen Abbildung in idealer Weise dazu geeignet, Invarianzen in den Erscheinungen unserer Umwelt auf dem Wege der Herstellbarkeit ihrer Reizwirkungen zu erkennen. Wenn also von verhaltensabhängiger Erkenntnis gesprochen wird, dann muß auch das explorative Verhalten als Erkenntnisquelle gewürdigt werden.

Ein zweiter Gedanke betrifft unsere Überlegung, daß sich Erkenntnis im Aufbau von sich bestätigenden Antizipationen realisiert. Die Antizipationen gehen den Verhaltensakten voraus. Sie sind also in dem Sinne unabhängig, als sie auch dann gegeben sind, wenn das initiierte Verhalten aus irgendwelchen Gründen nicht zur Ausführung kommt. Wenn die antizipierten Reizwirkungen dann dennoch eintreffen, wird erkennbar, daß

ein verhaltensunabhängiger Zusammenhang vorliegt. Der hier diskutierte Fall ist konstruiert. Ich will mit ihm lediglich deutlich machen, daß Erkenntnisgewinn allein schon durch die Antizipation von Reizwirkungen möglich ist. Er ist nicht auf die Herstellung der antizipierten Konsequenzen angewiesen.

Die Antizipation hat sich im Verlaufe der Evolution als ein für die Verhaltenssteuerung unabdingbar notwendiger Mechanismus herausgebildet. Nachdem er aber einmal herausgebildet ist, kann er auch unabhängig von seiner ursprünglichen Funktion zur Wirkung gebracht werden. Er kann nicht nur zur Verhaltenssteuerung eingesetzt werden, sondern auch zur spielerischen oder versuchsweisen Antizipation von Reizwirkungen, die ohne eigenes Zutun eintreten. Dies ist etwa der Fall, wenn wir nach dem Blitz gespannt auf den Donner lauschen. Wenn er dann konsistent eintritt, gewinnen wir in gleicher Weise Kenntnis über den Zusammenhang von Blitz und Donner, "als ob" wir ihn selbst herstellen. So können wir Kenntnis auch von Zusammenhängen erhalten, auf die wir keinen Einfluß nehmen. Voraussetzung aber ist, und dies sei noch einmal hervorgehoben, daß wir sie aktiv antizipieren. Das passive "Erdulden" von Reizwirkungen, ohne jeden Versuch sie vorherzusagen, sollte uns dagegen keinerlei Zusammenhänge erkennen lassen, auch wenn sie noch so offensichtlich sind (vgl. Goschke, 1992 für eine aktuelle Demonstration zu dieser Behauptung).

Ein dritter Gedanke ist eher technischer Art. Denken wir uns ein System mit einem Repertoire von insgesamt  $N$  Verhaltensakten. Das System wendet diese Akte auf unterschiedliche Situationen an, registriert die eintretenden Effekte und versucht, sie zu antizipieren. Es ermittelt auf diese Weise unter welchen Ausgangsbedingungen welche Verhaltensakte zu welchen Konsequenzen führen. Denken wir uns weiterhin eine Ausgangssituation (z.B. Blitz), bei der die Anwendung aller Verhaltensakte zu stets gleichen Konsequenzen führt (z.B. Donner). Die antizipative Verhaltenssteuerung führt dann zu der Erkenntnis, daß, ganz gleich welches Verhalten realisiert wird, auf einen Blitz stets ein Donner folgt. Die Feststellung daß eine Konsequenz von *allen* Verhaltensakten "hergestellt" wird, beinhaltet so die Erkenntnis eines verhaltensunabhängigen Zusammenhangs. Man kann diesen Gedanken noch dahingehend erweitern, daß man annimmt, unser gedachtes System verfügt neben den  $N$  Verhaltensakten auch über eine Kodierung  $N+1$  für den Fall, daß kein Verhalten realisiert wird. Das System, so könnte man sagen, "döst" vor sich hin. Es ist festzustellen, daß  $N+1$  einen Systemzustand markiert, dessen Einfluß auf Reizwirkungen in prinzipiell gleicher Weise registriert und ausgewertet werden kann, wie der aller  $N$  Verhaltensakte. Wenn man also das "Nichtstun" als Verhaltensmöglichkeit betrachtet, dann lassen sich verhaltensunabhängige Konsequenzen als Konsequenzen des "Nichtstuns" verstehen.

Ich denke, daß die Möglichkeiten des Erkennens von Zusammenhängen, die unabhängig von unserem Verhalten eintreten, die grundsätzliche Verhaltensgebundenheit der Erkenntnis nicht in Frage stellt. Es gilt erstens anzuerkennen, daß sich mit dem

explorativen Verhalten eine Verhaltensform entwickelt hat, die allein dem Erkenntnisgewinn dient. Zweitens, Antizipationen können von ihrer verhaltenssteuernden Funktion gelöst und in den Dienst "reiner" Erkenntnis gestellt werden. Darüber hinaus ist für den Menschen noch eine weitere Erkenntnisquelle anzuerkennen: Die Sprache. Ich will mit einigen wenigen Spekulationen zur antizipativen Steuerung sprachlichen Verhaltens das vorliegende Kapitel abschließen.

### **Die antizipative Steuerung sprachlichen Verhaltens**

Die Sprache dient in erster Linie der Kommunikation. Wir sprechen in der Regel, um anderen etwas mitzuteilen, um sie von einem Gedanken oder einer Idee zu überzeugen. Wir wollen etwas erfragen, jemanden zu einer Handlung veranlassen oder einfach nur seine Aufmerksamkeit erregen usw. Diese Ziele erreichen wir, indem wir die richtigen Worte wählen und mit angemessener Betonung sprechen. Was richtige Worte und angemessene Betonung jeweils sind, das hängt u.a. davon ab, in welchem Verhältnis wir zu unserem Kommunikationspartner stehen, was er bereits kennt, ob wir sein Interesse voraussetzen können usw. Herrmann und Mitarbeiter haben in aktuellen Studien sehr überzeugende Beispiele für solche Anpassungen des Sprechens an den Kommunikationspartner gezeigt (z.B. Herrmann & Hoppe-Graff, 1988). Chefs bitten etwa, um wenigstens ein Beispiel zu nennen, in einer tieferen Tonlage ihre Sekretärinnen darum, Kaffee zu kochen, wenn sie glauben, daß sie dies ungern tun (Dorn-Mahler, Grabowski-Gellert, Funk-Müldner & Winterhoff-Spurk, 1989). Kurzum, auch im sprachlichen Verhalten werden die kommunikativen Ausgangsbedingungen (wenigstens manchmal) beachtet, um die angestrebten Ziele zu erreichen. Und es liegt nahe anzunehmen, daß die hier wirkenden Zusammenhänge in gleicher Weise durch antizipative Steuerung vermittelt werden, wie bei allen anderen Verhaltensweisen auch. In diesem Punkt also unterscheidet sich das Sprechen von anderen Verhaltensbereichen nicht.

Bei genauerer Betrachtung ergibt sich allerdings, daß sprachliches Verhalten ganz außergewöhnlich ist. Das Sprechen zeitigt ja nicht nur Wirkungen bei den Kommunikationspartnern, sondern es wirkt auch auf den Sprecher selbst zurück. Er hört sich reden und kann unmittelbar kontrollieren, ob er wirklich das gesagt hat, was er sagen wollte. Darüber hinaus verändert das Gehörte seine innere "Zuständlichkeit", wie die Wahrnehmung jedes anderen Reizes auch. Wir können zwar unterscheiden, ob das was wir hören, von uns selbst oder von anderen produziert wurde, nur, ob wir den eigenen oder den fremden Argumenten mehr Glauben schenken, ist damit längst nicht entschieden.

Wenn die Rückwirkungen des Sprechens auf den Sprecher von seinen kommunikativen Wirkungen getrennt und zum alleinigen Zweck gemacht werden, dann

haben wir den einmaligen Fall eines Verhaltensaktes vorzuliegen, der die Bedingungen für seine Ausführung vollständig selbst herstellt. Während alle anderen Verhaltensakte auf eine Umwelt gerichtet sind, von deren Eigenschaften ihr Einsatz und ihre Wirkungen abhängen, muß ein Sprecher sich nur selber hören, um die Bedingungen manipulieren zu können, die ihn etwas sagen lassen. Wenn er spricht, um allein diesen Zweck zu erfüllen, dann befindet er sich, wie man auch sagt, in einem inneren Monolog.

Auch das Monologisieren bedarf einer Steuerung. Ich denke, daß es, wie anderes Verhalten auch, durch die Antizipation der mit ihm angezielten Effekte gesteuert wird. Diese Effekte beziehen sich jedoch nicht auf Wirkungen in einer Umwelt, sondern auf Veränderungen innerer Zustände, die zugleich Ausgangsbedingungen für zukünftige Sprechakte sind, und die ich "sprachgebundene Repräsentationen" nennen will. In einem inneren Monolog sind also sowohl die Ausgangsbedingungen als auch die Konsequenzen der Sprechakte durch die jeweils vorliegenden und eintretenden Repräsentationen vollständig bestimmt. Indem wir Monologe "trainieren", lernen wir, welche Sprechakte bei welchen Ausgangsrepräsentationen zu welchen Zielrepräsentationen führen. Wie in anderen Verhaltensbereichen auch, werden sich häufig realisierte Transformationen stabilisieren. Ihre wiederholte Ausführung in ähnlicher Folge wird zu sequentiellen Strukturen führen. Funktional äquivalente Ausgangsrepräsentationen werden begrifflich zusammengefaßt, und es müßten hier überhaupt alle Gesetzmäßigkeiten antizipativer Strukturbildung in gleicher Weise wie sonst auch zur Wirkung kommen. Im Resultat bilden sich "Monologisierungsfähigkeiten" und "-gewohnheiten" aus, die man hier wohl treffender als Denkfähigkeiten und Denkgewohnheiten bezeichnet (vgl. auch Vygotsky, 1962/1934).

Um einem möglichen Mißverständnis vorzubeugen, soll noch einmal hervorgehoben werden, daß der Unterschied des "Monologisierens", oder vielleicht besser, des sprachgebundenen Denkens, zu anderem Verhalten nicht darin besteht, daß es durch die Antizipation von Repräsentationsänderungen gesteuert wird. Dies gilt für alle Verhaltensweisen. Es können immer nur Reizwirkungen aber niemals die Reize selbst antizipiert werden. Nein, der wesentliche Unterschied ist ein anderer: Während im gegenständlichen Verhalten Antizipationen nur dann realisiert werden, wenn gelernt wurde, die Umwelt zu meistern, setzen sich beim Monologisieren der Realisierung angestrebter Konsequenzen keinerlei Widerstände entgegen. Es gilt hier der einmalige Fall, daß allein der Wunsch schon ausreicht, um das Ergebnis eintreten zu lassen. Es muß nicht einmal mehr ein Sprechakt ausgeführt werden, um eine Repräsentation in eine andere zu transformieren. Denn, indem die herzustellende Repräsentation antizipiert wird, ist sie auch schon realisiert. Nichts begrenzt hier die Möglichkeiten der Transformation von Repräsentationen. Alles kann in alles überführt werden. Die Gedanken sind eben frei.

Wenn die Gedanken frei von allen Beschränkungen sind, dann steht es ihnen auch frei, unrealistisch zu sein. Sie sind es immer dann, wenn die gedanklichen Transformationen von Repräsentationen nicht auch durch Handeln in der Umwelt realisiert werden können. Damit also das "Monologisieren" den Kontakt zu den in der Umwelt realisierbaren Transformationen nicht verliert, ist es an diesen hin und wieder zu überprüfen. Oder, der Monolog ist wenigstens zur Kommunikation zu erweitern, um zu testen, ob das, was einem selbst so plausibel klingt, auch anderen einleuchtet. Geschieht dies nicht, dann besteht die Gefahr, daß Repräsentationsstrukturen aufgebaut werden, die nur scheinbar Erkenntnisse über die Umwelt enthalten, während sie in Wirklichkeit allein der Steuerung von Monologen dienen, an denen gelegentlich sogar mehrere beteiligt sein können.

Die hier angedeutete Anwendung der antizipativen Steuerung auf sprachliches Verhalten führt zu m.E. sehr anregenden Überlegungen. Die Spekulationen, die sich für die Steuerung sowohl kommunikativen Sprechens als auch von "Monologen" ergeben, scheinen mir genauso interessant zu sein, wie die Beziehungen, die zwischen den Repräsentationen entstehen, die sprachliches und gegenständliches Verhalten steuern. Dies alles genauer zu durchdenken und in der Forschung umzusetzen, ist, wie ich denke, ein lohnendes Unternehmen.





## Kapitel 12: Ausblick

Unsere gesamten Überlegungen sind letztlich aus dem einfachen Gedanken abgeleitet, daß ein Organismus seine Verhaltensmöglichkeiten nur dann zielgerichtet einsetzen kann, wenn er dessen Konsequenzen kennt. Dies ist wohl unbestreitbar. Es läßt sich ableiten, daß Organismen mit dem Bedürfnis und der Fähigkeit ausgestattet sein müssen, dieses Wissen zu erwerben. Nach unseren Überlegungen streben sie nach einer immer zuverlässigeren Antizipation von Verhaltenskonsequenzen. Sie realisieren dieses Streben, indem sie Differenzen zwischen antizipierten und eintretenden Effekten nutzen, um zu lernen, nur noch diejenigen Konsequenzen zu erwarten, die unter den jeweils vorliegenden Ausgangssituationen invariant eintreten. Auf diese Weise erwerben sie Erkenntnisse zwar nur über Eigenschaften der Umwelt, von denen die Wirkungen ihres Verhaltens beeinflußt werden, aber diese erwerben sie zwangsläufig und zuverlässig.

Die Anwendung dieser Überlegungen auf menschliche Erkenntnisleistungen erlaubt es, viele ihrer Eigenschaften aus der Einbindung der Reizverarbeitung in die Verhaltenssteuerung abzuleiten. Es entsteht vielleicht sogar der Eindruck, daß sich bei Einbeziehung auch sprachlichen Verhaltens möglicherweise alle menschlichen Erkenntnisleistungen aus Mechanismen antizipativer Verhaltenssteuerung ableiten lassen. Dies ist vermutlich nun doch nicht der Fall.

Wir haben im vorigen Kapitel schon diskutiert, daß das Antizipationslernen durch erfahrungsunabhängige Erwartungen ergänzt werden muß, um die Zielstrebigkeit der Erfahrungsbildung erklären zu können. Oder, um es anders zu sagen: Die erfahrungsabhängige Induktion verhaltenssteuernder Invarianten muß durch eine hypothesengeleitete Suche nach ihnen modifiziert werden können. Menschliche Erkenntnis beruht nicht allein auf der Auswertung zufällig gemachter Erfahrungen, sondern ist auch durch die *gezielte* Suche nach ihnen gekennzeichnet. Daß bspw. in rechtwinkligen Dreiecken die Beziehung  $c^2 = a^2 + b^2$  gilt, kann man nicht beiläufig entdecken, danach muß gezielt gesucht werden. Wodurch aber wird die Suche gerichtet, und woher kommen die sie steuernden Hypothesen? Es liegt hier die Antwort nahe, daß Menschen Erkenntnisse eben nicht nur induktiv gewinnen, sondern auch deduktiv ableiten. Nur, wie entstehen Regeln deduktiven Schließens? Möglicherweise beruhen auch sie auf generalisierten Verhaltenserfahrungen, auf, wie man auch sagen könnte, "Figuren" sprachgebundenen Denkens.

Ich will diese Überlegung an einem Beispiel aus dem syllogistischen Schließen verdeutlichen. In einem Syllogismus werden Aussagen der Form "Alle A sind B", "Einige B sind C" u.ä. in jeweils zwei Prämissen vorgegeben. Sie enthalten stets ein gemeinsames Element, den sogenannten Mittelterm. In den Beispielen ist B der Mittelterm, und A und C sind die Randterme. Der syllogistische Schluß besteht in der Ableitung einer Aussage, die jeweils die beiden Randterme "korrekt" verbindet. Aus den Prämissen: 'Alle Eichen sind Bäume' und 'Alle Bäume sind Pflanzen' kann man schließen, daß alle Eichen Pflanzen sind, ohne jemals den Wahrheitsgehalt dieser Aussage direkt erfahren zu haben. Bei etwas anderer Wahl der Prämissen sind die Schlußfolgerungen nicht mehr so offensichtlich, und es kommt leicht zu Fehlern. Es ist nun interessant, daß bestimmte Fehler besonders häufig gemacht werden. Auf Prämissen der Form A-B, B-C werden bspw. Schlüsse der Form A-C (und nicht C-A) bevorzugt, unabhängig davon, ob sie korrekt sind. Aus den Prämissen 'Alle A sind B' und 'Einige B sind C' wird etwa häufig der falsche Schluß 'Einige A sind C' gezogen. Dieser Einfluß der *Anordnung* der Prämissen auf die Form der Schlußfolgerung wird Figureneffekt genannt (vgl. Johnson-Laird & Steedman, 1978).

Es könnte sich beim Figureneffekt um den Ausdruck einer Gewohnheit handeln, Sprachfiguren der Form 'Wenn A-B und B-C ... dann A-C' zu bilden. Eine Gewohnheit des Sprechens könnte sich so in einer Denkgewohnheit ausdrücken, die uns bestimmte Schlüsse eher ziehen läßt als andere. Johnson-Laird (1983) hat darüber hinaus darauf hingewiesen, daß die dem deduktiven Schließen seiner Auffassung nach zugrunde liegenden "mentalen Modelle" ihre Existenz der Intentionalität des Verhaltens zu verdanken haben: "An organism can have an intention only if it has an operating system that can elicit a *model of a future state of affairs*, and decide that it 'itself' should act so as to try to bring about that state of affairs" (Johnson-Laird, 1983, S.473). Ich lese dieses Zitat als einen Verweis darauf, daß auch die Grundlagen deduktiven Schließens, die mentalen Modelle, letztlich aus der antizipativen Steuerung intentionalen Verhaltens hervorgehen (vgl. auch Johnson-Laird & Byrne, 1991).

Aber, so lange wir spekulieren, sind wir frei, alles mit allem im Zusammenhang zu sehen. Damit Spekulationen nicht den Kontakt zur Realität verlieren, so hatten wir im vorigen Kapitel festgestellt, sind sie an den in der Umwelt herstellbaren Zusammenhängen zu überprüfen. Es gilt also zu zeigen, welche Zusammenhänge mit einer antizipativen Verhaltenssteuerung tatsächlich hergestellt werden können. Dies erfordert ihre Simulation. Simulationen lassen im Vergleich zum Verhalten von Pbn am ehesten erkennen, welche Erkenntnisleistungen erfaßt und welche Zusatzannahmen gemacht werden müssen, um welche weitergehenden Leistungen erklären zu können. Die bereits erwähnten rekurrenten Netzwerke bieten gegenwärtig den m.E. geeignetsten Ausgangspunkt für die Simulation antizipativer Verhaltenssteuerung.

## Antizipative Strukturbildung in rekurrenten Netzwerken

Wir haben die Grundstruktur rekurrenter Netzwerke im 10ten Kapitel bereits besprochen (vgl. Abbildung 10.13.). Die Eingangseinheiten des Netzes sind mit seinen Ausgangseinheiten über vermittelnde Einheiten verbunden und die Aktivitätszustände dieser "hidden units" werden als Teil des Eingangsvektors dem Netz rekursiv wieder zugeführt. Die Aktivitätszustände der "hidden units" repräsentieren in der Vergangenheit gemachte Erfahrungen insofern, als ihre Aktivierung von vorausgegangenen Belehren abhängt. Indem das Netz auf jeden neuen Eingangsvektor im Kontext seiner "Erfahrungen" reagiert, repräsentiert es zeitliche Strukturen, obwohl es lediglich über einzelne Eingangs-Ausgangsverbindungen belehrt wird.

Wir hatten auch bereits erwähnt, daß rekurrente Netze zur Antizipation von Reizwirkungen eingesetzt wurden. Wir wollen jetzt eines der untersuchten Beispiele genauer betrachten.

Elman (1990) bot einem rekurrenten Netzwerk strukturierte "Wortfolgen" an. Die Worte waren in Klassen gegliedert. Es wurden verschiedene Arten von Substantiven und Verben unterschieden. Die Aufeinanderfolge der Worte wurde durch Regeln bestimmt, die festlegten, Worte welcher Klasse auf Worte welcher anderen Klasse folgen können. Eine dieser Regeln lautete bspw. das auf ein Substantiv aus der Klasse MENSCH erst ein Verb aus der Klasse ESSEN und dann ein Substantiv aus der Klasse NAHRUNG folgt. Eine andere Regel besagte, daß auf ein Substantiv aus der Klasse MENSCH erst ein Verb aus der Klasse WAHRNEHMEN und dann ein Substantiv aus der Klasse UNBELEBT folgt usw. Die erste Regel erlaubt es, Folgen wie: 'Frau ißt Kuchen', oder 'Mann ißt Brot' zu bilden, und die zweite Regel führt zu Folgen wie 'Mann sieht Buch' usw. Die Regeln, so könnte man auch sagen, geben Muster für die Bildung einfachster Sätze vor.

Das Netz bestand aus 10 Eingangs-, 10 Ausgangs- und 50 vermittelnden Einheiten. Jedes einzelne der insgesamt 35 verwendeten Worte wurde als 10-bit Vektor kodiert. Es wurde also für jedes Wort festgelegt, welche der Eingangseinheiten jeweils aktiviert (1) und welche nicht aktiviert (0) sein sollen. Die Kodierung wurde zufällig vorgenommen. Die Worte einer Klasse waren also einander nicht ähnlicher kodiert als Worte unterschiedlicher Klassen. Es wurden 10.000 "Sätze" nach den angedeuteten Regeln gebildet, die aneinandergereiht eine Folge von insgesamt 27.354 Worten ergaben (es gab auch Zweiwortsätze). Diese Folge wurde dem Netz fünf mal hintereinander dargeboten. Es wurde dabei belehrt, auf jedes eingegebene das nächstfolgende Wort vorherzusagen.

Die von jedem Wort an den Eingangseinheiten erzeugten Aktivierungen (1 oder 0) werden über die vermittelnden Einheiten an die Ausgangseinheiten weitergegeben. Die dort entstehenden Aktivierungen werden mit denen des nächstfolgenden Wortes verglichen. Entsprechend den auftretenden Differenzen werden die Gewichte der

Verbindungen zwischen Eingangs- und Ausgangseinheiten so verändert, daß die Differenzen zunehmend verringert werden (back propagation, vgl. Rumelhart, Hinton & Williams, 1986). Das Netz wird also belehrt, auf jeden Eingangsvektor eine Aktivierung seiner Ausgangseinheiten zu erzeugen, die dem Vektor des nächstfolgenden Wortes möglichst nahe kommt. Da die Wortvektoren zufällig gewählt sind, bestehen zwischen den Bit-Mustern aufeinanderfolgender Worte keine systematischen Beziehungen. Auch nach der intensiven Belehrung mit über 130.000 Worten kann das Netzwerk deshalb nur mäßige Vorhersagefähigkeiten ausbilden. Elman zeigt, daß im Netzwerk trotzdem Wissen über die verwendeten Satzstrukturen aufgebaut und repräsentiert wurde.

Nach der Lernphase wurden dem Netz alle 27.354 Worte einer Folge noch einmal dargeboten. Es wurden die Aktivierungszustände der vermittelnden Einheiten jeweils registriert (50 Bit-Vektoren) und untereinander verglichen. Es zeigte sich, daß sie durch Worte aus jeweils einer der in den Regeln verwendeten Klassen in ähnlicher und durch Worte aus verschiedenen Klassen in unterschiedlicher Weise aktiviert wurden. Die Aktivitätszustände der "hidden units" differenzierten also zwischen Substantiven und Verben und innerhalb der Substantive zwischen Klassen wie MENSCH, NAHRUNG usw. und innerhalb der Verben zwischen Klassen wie WAHRNEHMEN, ESSEN usw. Allein das "Bemühen", das nächstfolgende Wort vorherzusagen, führte zu einer Zusammenfassung jeweils solcher Worte, die gleiche Vorhersagen erfordern. Es wurden also Klassen von Reizen mit äquivalenten Antizipationen zusammengefaßt und damit ein wesentliches Prinzip antizipativer Strukturbildung realisiert.

Die in unserem Kontext wichtigen Eigenschaften dieser Lernstruktur sollen noch einmal hervorgehoben werden: Der Lernvorgang wird erstens durch einen Vergleich zwischen antizipierten und eintretenden Reizbedingungen getrieben. Er strebt zweitens danach, die beobachteten Differenzen zu minimieren. Um dieses Ziel zu erreichen, bildet er drittens selbständig Klassen über denjenigen Ausgangsbedingungen, die jeweils gleiche Antizipationen erfordern. Schließlich realisiert sich diese Klassenbildung zwangsläufig, indem die Aktivierungen der vermittelnden Einheiten für funktional äquivalente Reize immer spezifischer werden. Man wird unmittelbar an das Zitat von Osgood (1953) erinnert: "A mediational response is the hallmark of a true concept" (vgl. Kapitel 7).

Obwohl die Lernstruktur bereits wichtige Eigenschaften einer antizipativen Verhaltenssteuerung aufweist, fehlt das Wichtigste: Das Netzwerk steuert kein Verhalten. Die Antizipation ist hier Selbstzweck. Es werden nicht Konsequenzen eigenen Verhaltens sondern lediglich von außen herangetragene Reizwirkungen antizipiert. Darüber hinaus können die sich bildenden Strukturen nicht verallgemeinert werden. Sie sind an die verwendeten Reize gebunden. Selbst wenn andere Worte nach genau gleichen Regeln angeordnet werden würden, der Lernvorgang müßte wieder von vorne beginnen. Um antizipative Verhaltenssteuerung zu simulieren, ist die Struktur

rekurrenter Netzwerke also dahingehend zu erweitern, daß sie erstens verallgemeinerbare Strukturen in zweitens nicht nur beobachtbaren sondern in herstellbaren Reizsequenzen zu entdecken in der Lage sind.

### **Die Ausbildung generalisierbarer Strukturen in rekurrenten Netzwerken**

Die im Netzwerk Elman's ausgebildeten Strukturkenntnisse sind deshalb nicht generalisierbar, weil die Kodierungen der Worte zufällig gewählt waren. Die zu einer Äquivalenzklasse gehörenden Worte wiesen demzufolge auch keine gemeinsamen Eigenschaften auf. Die Antizipationen konnten sich also nur auf konkrete Wort-Muster nicht aber auf Invariante beziehen, die die Worte einer Klasse gemeinsam charakterisieren. Wählt man dagegen die Kodierungen äquivalenter Reize so, daß sie gemeinsame Kodierungsmerkmale aufweisen, dann wird die Äquivalenzklassenbildung sowohl erleichtert als auch auf andere Reize übertragbar. Ein Beispiel für die Ausbildung einer solchen generalisierbaren Antizipationsstruktur liefert eine Simulation von Mozer (1991).

Mozer stellt ein rekurrentes Netzwerk vor, das nicht nur Strukturen von Melodien erfasst, sondern auch komponieren kann. Er nennt das Netzwerk CONCERT. Den Eingangsknoten werden Folgen von Tönen dargeboten und CONCERT wird wie bei Elman (1990) belehrt, den jeweils folgenden Ton vorherzusagen. Die verwendeten Töne umfassen vier Oktaven. Da jede Oktave 12 Tonschritte (einschließlich der Halbtonschritte) enthält, sind insgesamt 49 Töne zu unterscheiden. Ihre Kodierung in den Eingangs- und Ausgangsknoten wird so gewählt, daß als ähnlich wahrgenommene Töne auch ähnliche Kodierungen erhalten. Mozer stützt sich hier auf Untersuchungen von Shepard (1982), der gezeigt hatte, daß Ähnlichkeitsurteile zwischen Tönen erstens von ihrer Höhe, zweitens von ihrer relativen Stellung innerhalb der chromatischen Tonleiter und drittens von ihrer relativen Stellung innerhalb des Quintenzirkels beeinflusst werden. Alle drei Aspekte werden in jeweils 13 Eingangs- und Ausgangsknoten kodiert. Neben der Tonqualität wird auch die Tondauer in einer vergleichbar differenzierten Weise kodiert, so daß auch rhythmische Struktureigenschaften erfaßt werden können.

In einer Serie von Simulationen werden CONCERT Tonfolgen unterschiedlicher Komplexität angeboten, beginnend bei Teilfolgen aus Tonleitern in verschiedenen Tonarten, bis hin zu einfachen Klavierstücken J.S. Bachs. Der Grad der Strukturerkennung läßt sich jeweils an der Häufigkeit korrekter Prädiktionen ablesen. Es kann zusammenfassend festgestellt werden, daß einfach strukturierte Tonfolgen bereits nach kurzer, komplexere Musikstücke erst nach längerer Belehrung nahezu perfekt prädiziert werden. Die allgemeine Struktur der Tonleiter ist etwa bereits nach 55 Wiederholungen einzelner Teilfolgen so sicher erkannt, daß 98,4% der Prädiktionen korrekt sind. Die

Prädiktionsleistungen in den Klavierstücken Bachs erreichen ein vergleichbares Niveau (95%) erst nach 3000facher Wiederholung der "Trainingsstücke".

Die erworbenen Strukturen können transponiert werden. Die Tonleiter wird bspw. auch in Tonarten korrekt prädiziert, die in der Lernphase nicht verwendet wurden. Man kann CONCERT sogar dazu bringen, Klavierstücke im Stile Bachs zu "komponieren". Es sind ihm lediglich eine kurze Anfangssequenz und dann die von ihm prädizierten Töne nacheinander vorzugeben, so daß es auf der Grundlage der prädizierten Sequenz zu immer neuen Prädiktionen angeregt wird. Es entstehen auf diese Weise kleine Musikstücke, die denen Bachs kaum nachstehen und die belegen, daß CONCERT die den Bach'schen Werken zugrunde liegenden Strukturen in einer generalisierbaren Form erkannt hat.

Die Generalisierbarkeit der erworbenen Strukturen beruht auf der besonderen Form der Kodierung. Die Töne sind nicht zufällig kodiert, sondern durch ihre Kodierungsmerkmale bereits in Klassen geordnet. So können etwa alle Töne einer Oktave oder Töne mit gleicher relativer Position in der chromatischen Tonleiter anhand ihrer Merkmalsbeschreibung voneinander unterschieden werden. Daraus folgt, daß antizipative Beziehungen nicht zwischen einzelnen Tönen, sondern zwischen Tönen mit bestimmten Merkmalen, also zwischen Klassen von Tönen aufgebaut werden. In den dargebotenen Teilfolgen aus Tonleitern bspw. bestehen systematische Beziehungen vor allem zwischen den "chromatischen" Positionen aufeinanderfolgender Töne. Aus der "chromatischen" Position des gegebenen kann die des folgenden Tones präzise antizipiert werden. Wird diese Beziehung abstrahiert, kann sie auf alle Töne angewendet werden, unabhängig davon, ob sie zur Lernmenge gehörten oder nicht. Ganz im Sinne unserer allgemeinen Diskussion wird also die Antizipation invarianter Merkmale von Folgesituationen an invariante Merkmale von Ausgangssituationen gebunden. Sie ist dann auf alle Reize übertragbar, die diese Merkmale tragen.

Mozer diskutiert noch ein anderes Problem, das wir ebenfalls schon angesprochen haben: Das Erkennen von Relationen zwischen nicht benachbarten Einheiten einer Sequenz. Musikstücke sind ja in der Regel nicht lineare Folgen von Tönen. Es lassen sich in einer Melodie zumeist Themen erkennen, die in wechselnden Folgen angeordnet oder miteinander verwoben sind. Jedes Thema hat seine eigene lokale Struktur und die Anordnung der Themen bestimmt die globale Struktur der Melodie im Ganzen. In ähnlicher Weise lassen sich, wie bereits diskutiert, innerhalb eines Satzes Phrasen unterscheiden, deren Anordnung durch eine Grammatik bestimmt wird. Es entsteht hier wie dort die Frage, wie neben den lokalen Strukturen unmittelbarer Aufeinanderfolge auch globale Eigenschaften einer Sequenz, also Beziehungen zwischen auseinanderliegenden Themen oder Phrasen, erkannt werden. Wir hatten schon Weinert

(1990) zitiert, die darauf verweist, daß Phrasenstrukturen in Sätzen nur dann erkannt werden, wenn die Aufmerksamkeit der Pbn auf die Phrasen gerichtet wird.

Um die Erkennbarkeit globaler Strukturen in Melodien zu simulieren, hat Mozer keinen Aufmerksamkeitsmechanismus sondern einen anderen "Trick" bemüht. Er läßt einen Teil der vermittelnden Einheiten mit einer gewissen Trägheit reagieren. D.h., sie reagieren nicht auf jeden, sondern immer erst nach mehreren Reizen mit Aktivitätsänderungen und integrieren auf diese Weise die Wirkungen jeweils kurzer Reizfolgen. Man könnte auch sagen, sie komprimieren die Melodie wie ein Zeitraffer oder ein zu schnell laufendes Tonband. Auf Kosten von Details, werden so die globalen Struktureigenschaften einer Melodie hervorgehoben. Mozer kann zeigen, daß solche "Zeitraffer" die Vorhersageleistung von CONCERT gerade an den Stellen einer Tonfolge verbessern, an denen ein neues Thema beginnt. Vermittelnde Einheiten mit unterschiedlichem Zeitverhalten erweisen sich damit als *eine* der Möglichkeiten, neben lokalen auch globale Struktureigenschaften in einem antizipativen Lernprozeß zu erfassen.

### **Die Strukturierung von herstellbaren Reizfolgen in rekurrenten Netzwerken**

Obwohl CONCERT komponieren kann, strukturiert es doch keine herstellbaren Sequenzen im eigentlichen Sinne. Die Struktur wird aus der Antizipation *vorgegebener* Melodien abstrahiert. Und wenn dann dieser Struktur entsprechend ein jeweils nächster Ton fortlaufend antizipativ "hergestellt" wird, dann ist es nur eine fiktive Herstellung, ein Handeln als ob. CONCERT steuert nicht tatsächliches Verhalten. Man könnte sagen, es "phantasiert" in den zuvor erlebten Strukturen, wie ja überhaupt das Komponieren ein Akt schöpferischer Phantasie ist. Um zu einer antizipativen Strukturierung selbst herstellbarer Sequenzen zu kommen, muß ein Netzwerk nicht nur antizipieren, sondern sich auch verhalten können.

Als eine erste "konnektionistische" Annäherung an die Antizipation hergestellter Reizsequenzen ist von Rumelhart, Smolensky, McClelland und Hinton (1986) vorgeschlagen worden, zwei Netzwerke miteinander zu verbinden. Die Abbildung 12.1. zeigt die vorgeschlagene Konstellation. Ein erstes sogenanntes Interpretationsnetzwerk kodiert mit seinen Eingangseinheiten Reize aus der Umwelt und mit seinen Ausgangseinheiten Reaktionen, die auf die Umwelt zurückwirken. Es bildet S-R Verbindungen aus. Das zweite Netzwerk kodiert mit seinen Eingangseinheiten die Reaktionen des ersten und mit seinen Ausgangseinheiten die daraufhin eintretenden Reizwirkungen. Es modelliert quasi die Konsequenzen (Reafferenzen) der Reaktionen des Interpretationsnetzes, indem es R-K Verbindungen aufbaut. Beide Netzwerke gemeinsam bilden S-R-K Einheiten, in denen repräsentiert wird, bei welchen Reizbedingungen welches Verhalten auszuführen ist und welche Konsequenzen daraufhin erwartet werden können.

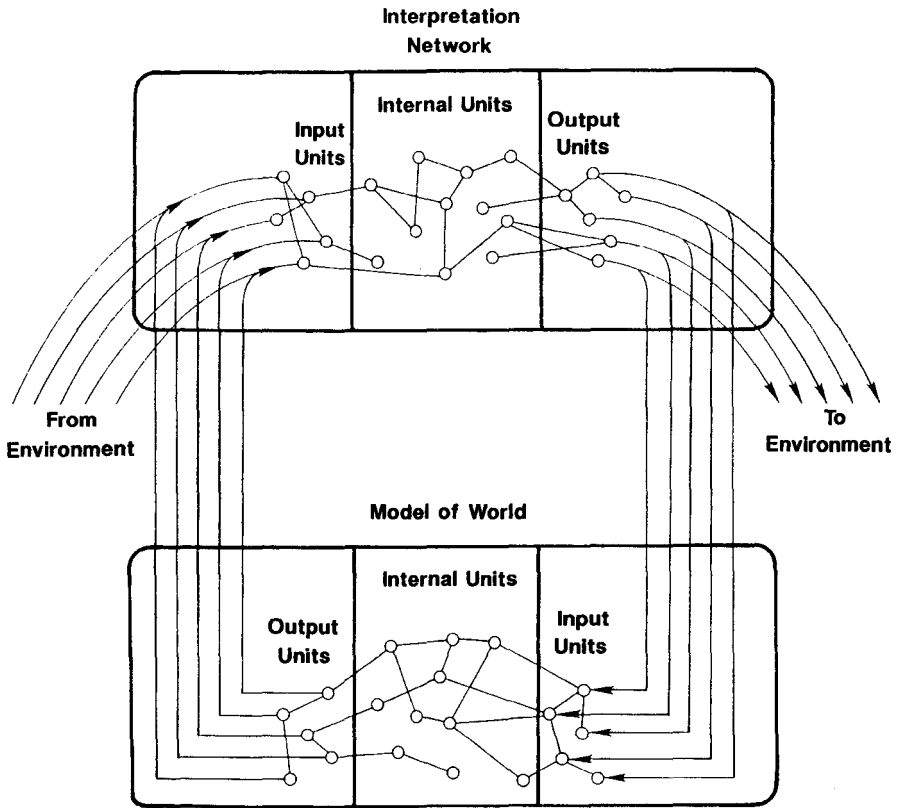


Abbildung 12.1.: Die Verbindung zweier Netzwerke zur Antizipation der durch "eigenes" Handeln herstellbaren Reizbedingungen, nach Rumelhart, Smolensky, McClelland und Hinton (1986).

Die Autoren diskutieren diese Konstellation als Struktur, die eine "mentale" Simulation von Verhaltenswirkungen erlaubt. Denkt man sich die Wirkungen der Umwelt vollständig durch die Ausgangsaktivitäten des Modellnetzwerkes ersetzt, wird das Interpretationsnetz über die Konsequenzen seiner Aktionen nicht von der Umwelt sondern vom Modellnetz informiert. Es kann dann auf diese nur vorhergesagten Konsequenzen erneut reagieren, um wieder über die zu erwartenden Konsequenzen informiert zu werden usw. Wenn das Modell dabei weitgehend richtige Prädiktionen liefert: "... we (das Interpretationsnetzwerk) could learn from our model the various consequences of our actions - just as if we were carrying them out in the real world" (Rumelhart, et al., 1986, S.42, Einfügung vom Autor).

Das Zitat macht deutlich, daß die Autoren noch nicht daran gedacht haben, nicht nur die Netzwerke, sondern auch die in ihnen stattfindenden Lernprozesse aufeinander zu beziehen. Denn, wenn das Interpretationsnetz die Konsequenzen seiner Verhaltensakte



anhand der Antizipationen des Modells *lernen* kann, dann ist offensichtlich, daß das Modell seine Vorhersagefähigkeit selbständig erwerben muß. Wie aber die Lernprozesse beider Netzwerke aufeinander bezogen sind, wird nicht spezifiziert. Es fehlen etwa Angaben darüber, zu welchen Änderungen sowohl Übereinstimmungen als auch Differenzen zwischen erwarteten und eintretenden Konsequenzen führen. Es wird nichts darüber ausgesagt, wie die Erwartung auf die Verarbeitung der eintretenden Konsequenzen wirkt. Und es bleibt schließlich ungeklärt, ob Erwartungen über Konsequenzen schon vor der Verhaltensausführung modelliert werden können und welchen Einfluß sie gegebenenfalls auf das Verhalten nehmen. Es handelt sich, wie die Autoren selber schreiben, um eine zunächst nur vage Spekulation zu der Frage, wie durch Netzwerke sequentielles Verhalten und seine mentale Steuerung simuliert werden kann. Die uns interessierenden Phänomene etwa der lernabhängigen Strukturierung sequentiellen Verhaltens lassen sich aus dieser Struktur noch nicht ableiten.

Schmidhuber (1990) sowie Schmidhuber und Huber (1990) haben die Idee der Verknüpfung zweier Netzwerke um interessante Vorschläge erweitert (vgl. Abbildung 12.2.). Auch sie unterscheiden zwischen einem Kontroll- und einem Modellnetzwerk. Das Kontrollnetzwerk 'K' nimmt an seinen Eingangseinheiten Reize aus der Umgebung auf und produziert mit seinen Ausgangseinheiten Verhalten, das in die Umgebung zurückwirkt. Das Modellnetzwerk 'M' lernt es, die Konsequenzen dieses Verhaltens vorherzusagen. Beide werden als rekurrente Netzwerke modelliert. 'K' besitzt neben Eingangs-, Ausgangs- und vermittelnden Einheiten auch noch Einheiten, die eine Bewertung seines jeweils gegenwärtigen Zustandes vornehmen (reinforcement units - R). Mittels der Bewertungseinheiten kann dem Netz bspw. vorgegeben werden, bestimmte Reizwirkungen herzustellen. Aktuelle Reizwirkungen werden dann nach ihrer Ähnlichkeit zum implementierten Ziel bewertet. 'K' wird also nicht bei jedem einzelnen Verhaltensakt von außen belehrt. Es wird ihm lediglich ein Verhaltensziel vorgegeben, und es sammelt selbständig Erfahrungen, unter welchen Bedingungen welches Verhalten zu einer Annäherung an das Ziel führt.

Diese Erfahrungen werden im Modellnetz repräsentiert. Es verfügt über Eingangseinheiten sowie über zwei Arten von Ausgangseinheiten. Als Eingangsinformationen dienen die in jedem Verhaltensschritt gegebenen Eingangsreize von 'K', deren Bewertung und das von ihm realisierte Verhalten. 'M' wird belehrt, aus diesen Eingangsdaten die Effekte der Verhaltensausführung ( $PRED_{IN}$ ) und deren Bewertung ( $PRED_{R}$ ) zu prädiktieren. Es lernt also, Verhaltenskonsequenzen des Kontrollnetzes in Abhängigkeit von den gegebenen Ausgangsbedingungen zu antizipieren.

Die Autoren zeigen, daß so miteinander verbundene Netze es bspw. lernen können, in einer unbekanntem Umgebung "Augenbewegungen" (Kamerabewegungen) von beliebigen Ausgangspunkten aus so zu steuern, daß sie zur Fixation eines gesuchten

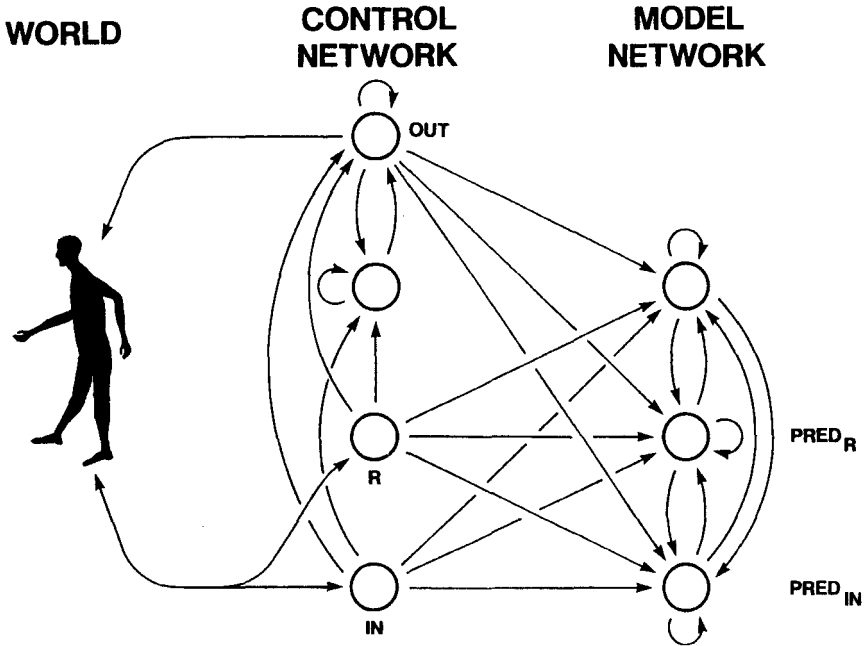


Abbildung 12.2.: Die Verbindung zweier Netzwerke zur Antizipation der durch "eigenes" Handeln herstellbaren Reizbedingungen in Abhängigkeit von gegebenen Ausgangsbedingungen nach Schmidhuber und Huber (1990).

Zielobjektes führen. Voraussetzung ist allein, daß die relativen Lokationen der zu sehenden Objekte konstant bleiben (Schmidhuber und Huber, 1990). Indem 'M' die unter diesen Bedingungen invarianten Konsequenzen von "Blickbewegungen" in Abhängigkeit von ihren Ausgangspunkten registriert, repräsentiert es Wissen über die Transformierbarkeit von Reizwirkungen und in diesem Sinne eine verhaltensbezogene Topologie der wahrnehmbaren Welt. Diese Information kann von 'K' genutzt werden, um "seinen Blick" so zu lenken, daß das gesuchte Ziel auch wahrgenommen wird. Wir haben es hier praktisch mit einer Simulation der früher diskutierten Zusammenhänge zur Steuerung von gezielten Augenbewegungen bei der Suche nach Objekten und bei ihrer Identifikation zu tun (vgl. Kapitel 4, 6 und 8).

Die für uns wichtigsten Eigenschaften der hier vorgeschlagenen Architektur bestehen darin, daß erstens das Verhalten durch ein (hier vorgegebenes) Ziel gesteuert wird, daß zweitens die Belehrung des Kontrollnetzes durch die Differenzen der eintretenden zu den angestrebten Reizbedingungen vorgenommen wird, daß drittens systematische

Beziehungen zwischen Verhaltensakten und ihren Effekten *in Abhängigkeit* von den Ausgangsbedingungen abstrahiert und repräsentiert werden, und daß schließlich viertens dieses Wissen genutzt werden kann, um Verhaltenskonsequenzen zu prädikieren. Im Vergleich zu unseren Überlegungen sehe ich einen wesentlichen Unterschied in der hier vorgenommenen Trennung von Prädiktionsfunktion und Verhaltenssteuerung. Sie werden in jeweils eigenen Netzwerken realisiert. Dies hat bspw. zur Folge, daß das zielgerichtete Verhalten durch die jeweils vorliegenden Reizwirkungen und nicht, wie wir annehmen, durch Antizipationen seiner Konsequenzen gesteuert wird.

### **Erfahrungsunabhängige Erwartungen in Netzwerken oder die Simulation des Einflusses der Aufmerksamkeit auf das Lernen**

Konnektionistische Netzwerke sind im Grunde Gebilde zur Ausbildung assoziativer Strukturen. Zu Beginn eines Lernprozesses sind die Verbindungen zwischen allen Einheiten gleichgewichtet. Das Netz ist homogen. Durch die Verwertung der im Lernprozeß gemachten Erfahrungen werden dann einzelne Verbindungen verstärkt, andere geschwächt. Aus dem homogenen Netz wird eine komplexe Struktur. Ich kann hier an die Simulationen von Gluck und Bower (1988a,b) erinnern, die wir im 7ten Kapitel besprochen haben (vgl. Abbildung 7.4.). Ein einfaches Netz lernte es dort, eine von zwei Krankheiten anhand vorliegender Symptome zu diagnostizieren. Vier Knoten repräsentierten verschiedene Symptome und zwei Knoten repräsentierten die Krankheitsklassen. Zu Beginn des Lernprozesses waren alle Symptomknoten mit allen Krankheitsknoten gleichstark verbunden. Nach dem Lernen waren die Symptome jeweils mit denjenigen Krankheiten relativ stärker verbunden, zu deren Diagnose sie im Lernprozeß besonders beigetragen hatten. Das Lernen führt also dazu, daß zur Diagnose der beiden Krankheiten die Symptome mit unterschiedlichem Gewicht "beachtet" werden.

Wir haben bereits diskutiert, daß sich Pbn gelegentlich bestimmten Merkmalen einer Situation besonders zuwenden, nicht weil sie wissen, sondern weil sie glauben, sie könnten verhaltensrelevant sein. Effekte solcher Vorstrukturierungen der Erfahrungsbildung sind am Beispiel des Paradigmas von Gluck und Bower erst kürzlich wieder überzeugend demonstriert worden (Waldmann & Holyoak, 1989, eingereicht a,b). Die Autoren boten ihren Pbn ebenfalls Merkmalsbeschreibungen von fiktiven Personen dar, die in zwei Klassen gegliedert waren. Verwendete Merkmale waren bspw. 'blasse Haut', 'normale Schweißbildung' und 'steife Körperhaltung'. Eine Gruppe von Pbn erhielt, wie bei Gluck und Bower, die Aufgabe, den beiden Klassen zugrunde liegende Krankheiten zu differenzieren. Andere Pbn sollten dagegen zwei verschiedene emotionale Reaktionen, die Personen aus den beiden Klassen aufgrund ihrer Erscheinung bei anderen auslösen, unterscheiden lernen. Obwohl unter beiden Instruktionen die genau gleichen Klassifikationen vorgegeben sind (die Lernbeispiele sind

identisch), werden die Merkmale hinsichtlich ihrer Relevanz für die Klassenzuordnung unterschiedlich gewichtet. Das, was die Pbn aus den Beispielen lernen, wird also davon beeinflusst, ob sie versuchen, zwei verschiedene Krankheitsursachen oder zwei verschiedene Effekte der jeweiligen Personenmerkmale herauszufinden. Je nachdem, wonach gesucht wird, so kann man vermuten, wird Unterschiedliches in den Merkmalskonfigurationen beachtet und deshalb auch Unterschiedliches gelernt. Die Frage ist, wie solche Vorstrukturierungen der Erfahrungsbildung in konnektionistischen Netzwerken zum Ausdruck gebracht werden können?

Cohen, Dunbar und McClelland (1990) haben ein Netzwerk vorgestellt, das die Reaktionen von Pbn in einem Stroop-Test simulieren soll. Wir haben schon geschildert, daß beim Stroop-Test in unterschiedlicher Farbe geschriebene Farbworte dargeboten werden, und die Pbn entweder das Farbwort vorzulesen oder die Farbe des Wortes zu benennen haben. Beide Instruktionen lenken die Aufmerksamkeit auf einen jeweils anderen Aspekt, die Leseinstruktion auf die Buchstabenhaftigkeit des Wortes und die Benennungsinstruktion auf seine Farbe. Uns interessiert hier allein, wie im Netzwerk diese instruierte Aufmerksamkeitslenkung umgesetzt wird. Die Autoren installieren neben den Eingangseinheiten für die Worte und Farben zwei zusätzliche Einheiten für die beiden Instruktionen (vgl. Abbildung 12.3.). Diese "Instruktionsknoten" sind in das Netz so eingebunden, daß sie die Aktivierung der ihnen zugeordneten Merkmale fördern und die der anderen hemmen. Der Instruktionsknoten für die Benennung fördert bspw. die Aktivierung der Farbknoten und hemmt die der Wortknoten. Vorstrukturierungen sind hier also durch die Art der Einbindung der Instruktionsknoten in die Netzstruktur realisiert.

Phaf, van der Heijden und Hudson (1990) haben zwei andere Vorschläge gemacht. Auch von ihnen wurde ein Netzwerk entwickelt, daß einfache Reaktionsaufgaben bei selektiver Beachtung von Reizmerkmalen zu bewältigen hatte. Es wurden u.a. auch Reaktionen auf Stroop-Reize simuliert. Eines der am besten gesicherten Resultate der Stroop-Aufgabe ist die Beobachtung, daß das Lesen des Wortes durch seine Farbe weit weniger beeinflusst wird, als das Benennen der Farbe durch das (Farb)Wort. Die Autoren bringen diesen Zusammenhang in der Struktur des Netzes dadurch zum Ausdruck, daß sie die Eingangseinheiten, die die Worte repräsentieren mit den Ausgangseinheiten, die das Aussprechen von Farbnamen steuern, direkt verbinden. Sie simulieren, so könnte man auch sagen eine direkte Umsetzung der graphemischen Wortreize in ihre phonemische Aussprache. Die Farbknoten sind dagegen nur indirekt mit dem Aussprechen von Farbnamen verbunden. Das Netz besitzt also schon vor aller Erfahrung eine bestimmte Struktur. Seine Ausgangseinheiten sind mit einigen seiner Eingangseinheiten privilegiert verbunden. Dies entspricht unserer allgemeinen Vermutung, daß für einige Verhaltensakte die neuronale Verbindung mit verhaltens-

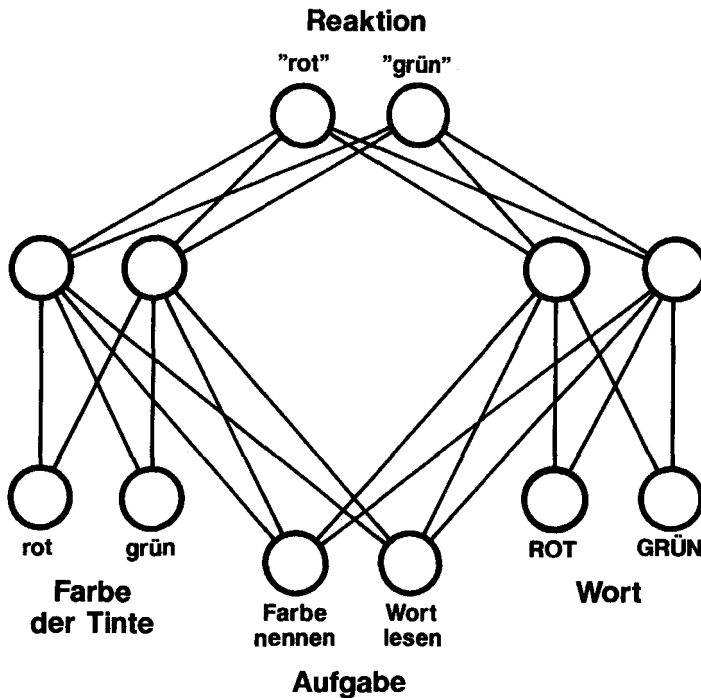


Abbildung 12.3.: Ein Netzwerk mit "Instruktionsknoten" zur Simulation des Einflusses von Intentionen auf die selektive Wirksamkeit spezifischer Reize. Als Beispiel ist das Benennen der Farbe dem Lesen des Wortes in einem Stroop Test gegenübergestellt (nach Cohen, Dunbar & McClelland, 1990).

steuernden Reizrepräsentationen bereits genetisch fixiert sein könnte (vgl. auch das Konzept der "privileged loops" bei McLeod & Posner, 1984 oder das der "prior expectancies" bei Bolles, 1972).

Um darüber hinaus den Effekt von Instruktionen auf die Ausrichtung der Aufmerksamkeit zu erfassen, diskutieren Phaf, et al. (1990) einen Mechanismus, der dem von Cohen, et al. (1990) verwendeten Verfahren sehr ähnlich ist. Instruktionen können, so wird angenommen, die Grundaktivität einzelner Einheiten dauerhaft erhöhen. Dies hat zur Folge, daß die Wirkungen der diesen Einheiten entsprechenden Reize verstärkt werden, noch bevor Erfahrungen mit ihnen gemacht worden sind. Im Vergleich zum Ansatz von Cohen, et al. werden allerdings keine gesonderten Einheiten zur "Wahrnehmung" der Instruktion vorgesehen. Die Umsetzung von Instruktionen in die ihnen entsprechenden Voraktivierungen bleibt hier einem Mechanismus außerhalb des Netzes vorbehalten, der allerdings nicht näher gekennzeichnet wird.

Bei den in diesem Abschnitt besprochenen Netzwerken handelt es sich weder um rekurrente Netze noch um solche mit "verteilter" Repräsentation. Jeder einzelnen Einheit war vielmehr eine feste Bedeutung zugeordnet. Die Eingangseinheiten repräsentierten etwa Symptome, Farben, Worte oder andere Reizeigenschaften, die Ausgangseinheiten Krankheitsklassen, Farbnamen oder andere Reaktionen und dort, wo es vermittelnde Einheiten gab, da waren ihnen Reizkombinationen zugeordnet. Solche Netzwerke sind ohnehin schon vorstrukturiert und es ist demzufolge auch nicht schwer, in ihnen einzelne Reizklassen bevorzugt zur Wirkung kommen zu lassen. Es sollte also nicht der Eindruck entstehen, als ob mit den hier diskutierten Vorgehensweisen das Problem der Vorstrukturierung auch für Netzwerke mit verteilter Repräsentation schon gelöst wäre. Dies ist nicht der Fall. Die geschilderten Beispiele machen aber deutlich, daß es innerhalb der konnektionistischen Ansätze durchaus Möglichkeiten gibt, vorassoziative Erwartungsbildungen zu implementieren.

### **Die Simulation von Interaktionen zwischen Verhalten und Antizipationen**

Antizipative Verhaltenssteuerung beinhaltet nach unseren Überlegungen nicht nur die Vorhersage von Konsequenzen, sondern auch die von Ausgangsbedingungen. Unsere Fähigkeit die Ausgangsbedingungen eines intendierten Verhaltensaktes vorherzusagen, tritt am deutlichsten in Erscheinung, wenn die gegebene Situation seine Realisierung nicht zuläßt. Dies ist etwa der Fall, wenn wir einen Nagel in die Wand schlagen wollen und es steht kein Hammer zur Verfügung. Wir suchen dann nach einem Objekt, das uns das intendierte Ziel dennoch erreichen läßt. Wir suchen nach etwas "Hammerähnlichem" mit einem schweren massiven Teil und einer Art Griff. Kurzum, unsere Suche wird durch die vage Vorstellung eines Objektes mit Eigenschaften gelenkt, die erfahrungsgemäß eine erfolgreiche Ausführung des intendierten Aktes erlauben. Karl Duncker (1935) hat solche, von Verhaltensintentionen ausgelösten Suchvorstellungen "funktional-topische Antizipationen" genannt, und wir haben ihre Einflüsse im 6ten Kapitel auf die visuelle Suche und im 9ten Kapitel auf Verhaltensvorbereitungen diskutiert.

Die Antizipation verhaltensauslösender Reizbedingungen ist m.W. bislang nicht simuliert worden. Der beschriebene Modellansatz von Schmidhuber und Huber (1990) ließe sich allerdings leicht um diese Komponente erweitern. Es muß lediglich ein zweites Modellnetzwerk  $M_2$  konzipiert werden, das belehrt wird, aus dem Verhaltensakt von 'K' und dessen Konsequenzen die Ausgangsbedingungen zu prädikieren, die jeweils vorgelegen haben.

Nach unseren Überlegungen wird ein Verhaltensakt durch seine Effekte und seine Ausgangsbedingungen bestimmt. Mit deren gemeinsamer Antizipation wird jeweils der

Verhaltensakt intendiert oder in Bereitschaft gesetzt, der erfahrungsgemäß die Ausgangs- in die Zielsituation transformiert (vgl. Abbildung 3.2.). Wir haben im 9ten Kapitel eine Reihe von Befunden kennengelernt, die diese Überlegungen unterstützen. Sie verwiesen übereinstimmend darauf, daß die Vorbereitung eines Verhaltensaktes weniger in der Spezifizierung motorischer Parameter besteht, sondern vielmehr in Antizipationen sowohl verhaltensauslösender Reizbedingungen als auch zu erwartender Effekte. Auch diese Zusammenhänge sind m.W. bislang in noch keiner Simulation erfaßt worden.

Im Ansatz von Schmidhuber und Huber (1990) würde die Ableitung eines Verhaltensaktes aus antizipierten Ausgangsbedingungen und Konsequenzen ein drittes Modellnetzwerk  $M_3$  erfordern. Diesem Netzwerk wären als Eingangsinformation die in jedem Schritt von  $M_1$  prädiktierten Konsequenzen und die von  $M_2$  prädiktierten Ausgangsbedingungen darzubieten, und es wäre zu belehren, jeweils das Verhalten zu prädiktieren, das erfahrungsgemäß die Ausgangsbedingungen in die Konsequenzen transformiert.

Um die hier betrachteten Interaktionen zwischen Antizipation und Verhalten abzubilden, sind also neben der Verhaltenssteuerung durch ein Kontrollnetzwerk drei Modellnetzwerke anzunehmen, die die unterschiedlichen Antizipationsleistungen jeweils unabhängig voneinander erwerben. Der Nachteil einer solchen Lösung besteht m.E. in der Trennung der Prädiktionsleistungen von der Verhaltenssteuerung. Um Einfluß auf das Verhalten nehmen zu können, müßten die Modellnetze auf das Kontrollnetz zurückwirken können, was bei drei Modellen einer übergeordneten Koordination bedarf. Es ist vermutlich günstiger, die Struktur der Verhaltenssteuerung bereits im Kontrollnetz so zu gestalten, daß alle drei Leistungen antizipativer Verhaltenssteuerung realisiert werden können: Erstens die Antizipation von Verhaltenskonsequenzen bei gegebenen Ausgangsbedingungen, zweitens die Antizipation von Ausgangsbedingungen für die Realisierung eines intendierten Verhaltensaktes und schließlich drittens die Ausbildung einer Verhaltensintention durch die Antizipation erwünschter Konsequenzen und notwendiger Ausgangsbedingungen.

### **Die Simulation von Prozessen der Verhaltensplanung**

Das durch antizipative Verhaltenssteuerung erworbene Wissen erlaubt es, die Effekte von Verhaltensfolgen "in Gedanken" zu verbinden. Im dritten Kapitel habe ich diesen Vorgang als das "Handeln als ob" beschrieben (vgl. auch Ueckert, 1988). Von einem vorliegenden Zustand ausgehend, antizipiert man die Konsequenzen, die auf einen bestimmten Verhaltensakt hin eintreten würden. Man geht dann von diesem antizipierten

Zustand aus und stellt sich die Effekte eines neuen Verhaltensaktes vor usw. Auf diese Weise läßt sich Verhalten über mehrere Schritte hinweg vorausschauend planen.

Mannes und Kintsch (1991) haben solche Planungsprozesse simuliert und es ist interessant zu sehen, von welchen Annahmen sie dabei ausgehen. Sie betrachten die Planung von einfachen Handlungen an einem Computer, wie etwa das Versenden von Post, das Ausdrucken eines Files, das Ändern von Textstellen usw. Das Simulationsprogramm NETWORK entwickelt auf eine Aufforderung, wie bspw. "Ändere die Adresse im Brief X", völlig selbständig einen Handlungsplan, der etwa die folgenden Schritte enthält: Suche den File für Brief X - Lade Brief X in den Arbeitsspeicher - Suche Adresse - Markiere Adresse - Lösche Adresse - Trage neue Adresse ein - Speichere Brief X. Wie diese Leistung erreicht wird, soll in den Grundannahmen skizziert werden.

NETWORK verfügt über ein Langzeitgedächtnis, dessen wichtigster Inhalt sogenannte Planungselemente sind. Sie bestehen jeweils aus einem Namen, der eine einfache Handlung bezeichnet, aus einer Liste von Bedingungen, die vorliegen müssen, damit die Handlung ausgeführt werden kann, und einer Liste von Konsequenzen, die eintreten, wenn sie ausgeführt wird. Wenn NETWORK aufgefordert wird, für eine bestimmte Handlung einen Plan zu erstellen, aktiviert es zunächst das der Aufforderung direkt entsprechende Planungselement. Die bei ihm aufgelisteten Konsequenzen werden als das zu erreichende Ziel hervorgehoben. Darüber hinaus werden alle Planungselemente aktiviert, die entweder mit der Aufforderung oder mit den vorliegenden Bedingungen in Beziehung stehen. Man könnte sagen, NETWORK aktiviert alles Handlungswissen, das mit der gegebenen Situation irgendwie verbunden ist. In einem folgenden Schritt wird dieses aktualisierte Wissen strukturiert. Das angestrebte Ziel wird mit all den Planungselementen verbunden, bei denen es in der Liste der Konsequenzen enthalten ist. Damit werden die Handlungen markiert, die das Ziel zu erreichen erlauben (want-to-elements). Weiterhin werden alle Planungselemente gesucht, deren Ausgangsbedingungen mit den vorliegenden Zuständen übereinstimmen. Damit werden die Handlungen hervorgehoben, die unmittelbar ausführbar sind (can-do-elements). Und es werden schließlich Planungselemente miteinander verbunden, wenn die Ausgangsbedingungen der einen mit den Konsequenzen der anderen jeweils übereinstimmen. Damit werden kurze Folgen unmittelbar nacheinander ausführbarer Handlungen gebildet. Das im Resultat entstehende Netzwerk (task-network) integriert also das Handlungsziel, die zu seiner Erreichung notwendigen Handlungen (want-to-elements) und aktuelle Handlungsmöglichkeiten (can-do-elements) in einer einheitlichen Struktur.

Wenn im "task-network" ein "want-to-element" mit einem "can-do-element" identisch oder wenigstens verbunden ist, erübrigt sich jede Planung. Die vorliegende Situation kann dann unmittelbar in das Ziel überführt werden. Im anderen Fall wird das am stärksten aktivierte "can-do-element" ausgewählt und NETWORK "berechnet" die



Situationsänderungen, die bei seiner Ausführung eintreten würden. Seine aufgelisteten Effekte werden also behandelt, *als ob* sie eingetreten wären. Damit verändern sich die vorliegenden Bedingungen, so daß ein neues "task-network" erstellt werden muß. Die wichtigsten Änderungen bestehen in der Regel darin, daß einige der Planungselemente nun nicht mehr ausführbar sind, andere dagegen möglich werden. Es werden also einige "can-do-elements" aus dem "task-network" eliminiert und andere hinzugefügt. Ergibt sich auch jetzt noch keine Verbindung zum angestrebten Ziel, werden erneut die Konsequenzen des nun am stärksten aktivierten "can-do-elements" behandelt, als wären sie realisiert, und die Prozedur wird wiederholt, bis das Ziel erreicht ist. Jeder Schritt wird registriert und der Handlungsplan ist mit der Folge der Planungselemente bestimmt, deren simulierte Realisierung die Ausgangssituation in den Zielzustand überführte.

Die Vergleichbarkeit der hier zugrunde gelegten Annahmen mit unseren Überlegungen ist offensichtlich: Die Planung geht, wie bei uns die Verhaltenssteuerung, vom antizipierten Ziel und von der vorliegenden Situation aus. Beide gemeinsam aktivieren "Planungselemente", so wie sie bei uns Verhaltensakte initiieren. Die Grundlage bietet in beiden Fällen repräsentiertes Wissen, unter welchen Bedingungen welche Handlungen zu welchen Konsequenzen führen. Kann NETWORK das Ziel nicht unmittelbar realisieren, werden die Konsequenzen der jeweils am stärksten aktivierten Handlung fortlaufend solange antizipiert, bis es erreicht ist. Dies entspricht unserer Überlegung, daß gedankliches Handeln in Antizipationen jeweils aufeinanderfolgender Verhaltenskonsequenzen besteht. NETWORK demonstriert damit eine interessante Möglichkeit, "Handeln als ob" und damit Handlungsplanung im Sinne einer antizipativen Verhaltenssteuerung zu simulieren.

## Resümee

Ich habe konnektionistische Annäherungen an die Simulation einer antizipativen Verhaltenssteuerung gezeigt und auch auf Ansätze verwiesen, die Lösungen für wenigstens einige der diskutierten Probleme andeuten. Es muß allerdings bedacht werden, daß die geschilderten Ansätze nur zum geringen Teil aufeinander beziehbar sind. Die meisten Netzwerke sind nach verschiedenen Prinzipien konstruiert und auch die Lernmechanismen unterscheiden sich teilweise beträchtlich. Es ist also weder geklärt, ob sich die besprochenen Teillösungen in einer einheitlichen Struktur integrieren lassen, noch wie dies geschehen soll. Ich wollte mit der Darstellung der hier ausgewählten Ansätze lediglich meinen Optimismus begründen, daß es - *im Prinzip* - möglich zu sein scheint, die in diesem Buch diskutierte funktionelle Struktur des

Erwerbs antizipativer Verhaltenssteuerung in konnektionistischen Netzwerken zu simulieren.

Das Vorhaben, den erfahrungsabhängigen Aufbau antizipativer Verhaltenssteuerung in Netzwerken zu simulieren, kann m.E. nur dann erfolgreich sein, wenn die Freiheiten der Netzwerkkonstruktion durch genaue Beobachtungen lernabhängiger Veränderungen menschlicher Verhaltenssteuerung eingeschränkt werden. Simulationen und Experimente an Pbn müssen also in engem Bezug zueinander geplant und durchgeführt werden. Für psychologisch motivierte Experimente enthält dieses Buches viele konkrete Anregungen. Für die Simulationen gilt es, vorliegende Ansätze zu einer Lernstruktur zu verbinden, die einer antizipativen Verhaltenssteuerung entspricht und zu prüfen, inwieweit mit ihr die beobachteten Phänomene menschlichen Lernens erzeugt werden können. Eine solche Forschung wird die von mir vertretenen Spekulationen an vielen Stellen präzisieren und einige vielleicht sogar verwerfen. In jedem Fall aber wird sie zu neuen Einsichten in die Mechanismen menschlicher Verhaltenssteuerung und der an sie gebundenen Erkenntnisleistungen führen. Möglicherweise gelingt es sogar, einige der Gesetzmäßigkeiten zu erfassen, nach denen sich geistige Leistungen aus den Strukturen der Verhaltenssteuerung ableiten lassen. Ich bin jedenfalls auf die Ergebnisse dieser Forschungen gespannt, und ich hoffe, ähnliche Erwartungen auch bei meinen Lesern geweckt zu haben.

## Literaturverzeichnis

- Ach, N. (1910). *Über den Willensakt und das Temperament* Leipzig: Quelle & Meyer.
- Ach, N. (1913). Wille. *Handwörterbuch der Naturwissenschaften (Bd.10)*. Jena: Fischer, 659-666.
- Ach, N. (1921). *Über die Begriffsbildung*. Bamberg: Buchners Verlag.
- Ach, N. (1935). *Analyse des Willens*. Berlin, Wien: Urban & Schwarzenberg.
- Adams, J.A. (1971). A closed-loop theory of motor learning. *Journal of Motor Behavior*, 3, 111-149.
- Aebli, H. (1980). *Denken: Das Ordnen des Tuns - Kognitive Aspekte der Handlungstheorie (Vol. I)*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (1981). *Denken: Das Ordnen des Tuns - Denkprozesse (Vol. II)*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Aebli, H. (1988). Begriffliches Denken. In H. Mandl & H. Spada (Eds.), *Wissenspsychologie* (pp. 227-246). München, Weinheim: Psychologie Verlags Union.
- Allan, L.G. & Jenkins, H.M. (1980). The judgement of contingency and the nature of the response alternatives. *Canadian Journal of Psychology*, 34, 1-11.
- Allen, R.B. (1988). Connectionist state machines. *Report ARA 88-300*. Morristown, NJ: Bellcore.
- Alloy, L.B. & Abramson, L.Y. (1979). Judgment of contingency in depressed and nondepressed students: Sadder but wiser? *Journal of Experimental Psychology: General*, 108, 441-485.
- Alloy, L.B. & Abramson, L.Y. (1988). Depressive realism: Four theoretical perspectives. In L.B. Alloy (Ed.), *Cognitive processes in depression* (pp. 223-265). New York: Guilford.
- Allport, A. (1987). Selection for action: Some behavioral and neurophysiological considerations of attention and action. In H. Heuer & A.F. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 395-420). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Allport, D.A., Antonis, B. & Reynolds, P. (1972). On the division of attention: A disproof of the single channel hypothesis. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 24, 225-235.
- Anderson, J.R. (1976). *Language, memory, and thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J.R. (1983). *Architecture of cognition*. Cambridge: Harvard University Press.
- Anderson, J.R. (1990). *The adaptive character of thought*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Anderson, J.R. & Bower, G.H. (1973). *Human associative memory*. New York: Wiley.
- Anglin, J.M. (1977). *Word, object, and conceptual development*. New York: Norton.
- Anochin, P.K. (1961). A new conception of the physiological architecture of conditioned reflex. In A. Fessard, R.W. Gerard & J. Konorski (Eds.), *Brain mechanisms and learning*. Oxford: University Press.
- Anochin, P.K. (1967). *Das funktionelle System als Grundlage der physiologischen Architektur des Verhaltens*. Jena: Fischer.
- Antes, J.R., Penland, J.G. & Metzger, R.L. (1981). Processing global information in briefly presented pictures. *Psychological Research*, 43, 277-292.
- Armstrong, S.L., Gleitman, L.R. & Gleitman, H. (1983). What some concepts might not be. *Cognition*, 13, 263-308.
- Ashcraft, M.A. (1978). Property dominance and typicality effects in property statement verification. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 17, 155-164.
- Ashcraft, M.A. (1978). Property norms for typical and atypical items from 17 categories: A description and discussion. *Memory and Cognition*, 6, 227-232.
- Baker, A.G. & Mackintosh, N.J. (1977). Excitatory and inhibitory conditioning following uncorrelated presentation of CS and UCS. *Animal Learning and Behavior*, 5, 315-319.
- Barclay, J.R., Bransford, J.D., Franks, J.J., McCarrell, N.S. & Nitsch, K. (1974). Comprehension and semantic flexibility. *Journal of Verbal Learning and Learning Behavior*, 13, 471-481.
- Barsalou, L.W. (1982). Context-independent and context-dependent information in concepts. *Memory and Cognition*, 10, 82-93.

- Barsalou, L.W. (1987). The instability of graded structure: Implications for the nature of concepts. In U. Neisser (Ed.), *Concepts and conceptual development. Ecological and intellectual factors in categorization*. Cambridge, MA: University Press.
- Barsalou, L.W. (1989). Intraconcept similarity and its implication for interconcept similarity. In S. Vosniadou & A. Ortony (Eds.), *Similarity and analogical reasoning* (pp. 76-121). Cambridge, MA: University Press.
- Bauer, J. & Held, R. (1975). Comparison of visually guided reaching in normal and deprived infant monkeys. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *1*, 298-308.
- Berlyne, D.E. (1950). Novelty and curiosity as determinants of exploratory behavior. *British Journal of Psychology*, *41*, 68-80.
- Berlyne, D.E. (1958). The present status of research on exploratory and related behavior. *Journal of Individual Psychology*, *14*, 121-126.
- Berry, D.C. & Broadbent, D.E. (1984). On the relationship between task performance and associated verbalizable knowledge. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *36A*, 209-231.
- Berry, D.C. & Broadbent, D.E. (1988). Interactive tasks and the implicit-explicit distinction. *British Journal of Psychology*, *79*, 251-272.
- Bethell-Fox, C.E. & Shepard, R.N. (1988). Mental rotation: Effects of stimulus complexity and familiarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *14*, 12-23.
- Biederman, I. (1972). Perceiving real-world scenes. *Science*, *177*, 77-80.
- Biederman, I. (1987). Recognition-by-components: A theory of human image understanding. *Psychological Review*, *94*, 115-145.
- Biederman, I., Glass, A.L. & Stacy, E.W. (1973). Scanning for objects in real world scenes. *Journal of Experimental Psychology*, *97*, 22-27.
- Biederman, I. & Ju, G. (1988). Surface versus edge-based determinants of visual recognition. *Cognitive Psychology*, *20*, 38-64.
- Bierwisch, M. (1974). Strukturelle Aspekte der Bildung natürlicher Begriffe. In F. Klix (Ed.), *Organismische Informationsverarbeitung*. Berlin: Akademie Verlag.
- Bischof, N. (1966). Erkenntnistheoretische Grundlagenprobleme der Wahrnehmungspsychologie. In W. Metzger und H. Erke (Ed.), *Handbuch der Psychologie: Der Aufbau des Erkennens* (Vol. I, 1. Halbband, pp. 21-78). Göttingen: Hogrefe.
- Bjork, E.J. & Murray, J.T. (1977). On the nature of input channels in visual processing. *Psychological Review*, *84*, 472-484.
- Boer, L.C. & Keuss, P.J.G. (1982). Global precedence as a postperceptual effect: An analysis of speed-accuracy tradeoff functions. *Perception & Psychophysics*, *31*, 358-366.
- Bolles, R.C. (1972). Reinforcement, expectancy, and learning. *Psychological Review*, *79*, 394-409.
- Boring, E.G. (1942). *Sensation and perception in the history of experimental psychology*. New York: Appleton.
- Bosshardt, H.G. (1975). The influence of visual and auditory images on visual and auditory word identification. *Psychological Research*, *38*, 1-22.
- Bourne, L.E. (1982). Typicality effects in logically defined categories. *Memory & Cognition*, *10*, 3-9.
- Bourne, L.E., Ekstrand, B.R. & Dominowski, R.L. (1971). *The psychology of thinking*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Bourne, L.E. & Restle, F. (1959). Mathematical theory of concept identification. *Psychological Review*, *66*, 278-296.
- Bousfield, W.A. (1953). The occurrence of clustering in the recall of randomly arranged associates. *Journal of General Psychology*, *49*, 229-240.
- Bousfield, W.A. & Sedgewick, C.H.W. (1944). The analysis of sequences of restricted associative responses. *Journal of General Psychology*, *30*, 149-165.
- Bower, G.H. & Glass, A.L. (1976). Structural units and the reintegrative power of picture fragments. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, *2*, 456-466.
- Bower, G.H. & Trabasso, T. (1964). Concept identification. In R.C. Atkinson (Ed.), *Studies in mathematical psychology*. Stanford: Stanford University Press.
- Boyce, S.J., Pollatsek, A. & Rayner, K. (1989). Effect of background information on object identification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 556-566.

- Bradshaw, J.L. (1974). Peripherally presented and unreported words may bias the perceived meaning of a centrally fixated homograph. *Journal of Experimental Psychology*, 103, 1200-1202.
- Bransford, J.D. & Franks, J.J. (1971). The abstraction of linguistic ideas. *Cognitive Psychology*, 2, 331-350.
- Briand, K.A. & Klein, R.M. (1987). Is Posner's "beam" the same as Treisman's "glue"? On the relation between visual orienting and feature integration theory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 228-241.
- Bridgeman, B. (im Druck). Efferent factors in visual perception. In W. Prinz & B. Bridgeman (Eds.), *Handbook of perception and action. I Perception*. Göttingen, Toronto: Hogrefe.
- Brindley, G.S. & Merton, P.A. (1960). The absence of position sense in the human eye. *Journal of Physiology*, 153, 127-130.
- Broadbent, D.E. (1958). *Perception and communication*. Oxford: Pergamon Press.
- Broadbent, D.E. (1982). Task combination and the selective intake of information. *Acta Psychologica*, 50, 253-290.
- Brooks, L.R. (1978). Nonanalytic concept formation and memory for instances. In E. Rosch & B.B. Lloyd (Eds.), *Cognition and categorization* (pp. 169-211). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Brooks, L.R. (1987). Decentralized control of categorization: The role of prior processing episodes. In U. Neisser (Ed.), *Concepts in conceptual development: Ecological and intellectual factors in categorization* (pp. 141-174). Cambridge, MA: Cambridge University Press.
- Brooks, L.R. & Vokey, J.R. (1991). Abstract analogies and abstracted grammars: Comments on Reber (1989) and Mathews et al. (1989). *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 316-323.
- Brown, R. (1958). How shall a thing be called? *Psychological Review*, 65, 14-21.
- Bruce, V. & Green, P.R. (1990). *Visual perception - physiology, psychology, and ecology*. Hove: Erlbaum.
- Bruner, J.S., Goodnow, J.J. & Austin, G.A. (1956). *A study of thinking*. New York: Wiley.
- Brunswik, E. (1956). *Perception and the representative design of psychological experiments*. Berkeley: University of California Press.
- Bühler, K. (1930). *Die geistige Entwicklung des Kindes (6te Auflage)*. Jena: Fischer.
- Buffart, H. & Leeuwenberg, E. (1983). Structural information theory. In H.G. Geissler, H. Buffart, E. Leeuwenberg & V. Sarris (Eds.), *Modern issues in perception* (pp. 48-74). Amsterdam: North-Holland.
- Buffart, H., Leeuwenberg, E. & Restle, F. (1981). Coding theory of visual pattern completion. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 241-274.
- Bushnell, M.C., Goldberg, M.E. & Robinson, D.L. (1981). Behavioral enhancement of visual responses in monkey cerebral cortex: I. Modulation in posterior parietal cortex related to selective visual attention. *Journal of Neurophysiology*, 46, 755-772.
- Buytendijk, F.J.J. & Christian, P. (1963). Kybernetik und Gestaltkreis als Erklärungsprinzipien des Verhaltens. *Der Nervenarzt*, 3, 97-104.
- Carey, S. (1985). *Conceptual change in childhood*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Carpenter, P.A. & Just, M.A. (1978). Eye fixations during mental rotation. In J. Senders, R. Monty & D. Fisher (Eds.), *Eye movements and psychological processes (Vol 2)*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Cauraugh, J.H. & Horrell, J.F. (1989). Advanced preparation of discrete finger responses: Nonmotoric evidence. *Acta Psychologica*, 72, 117-138.
- Cave, K.R. & Kosslyn, S.M. (1989). Varieties of size-specific visual selection. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 148-164.
- Cave, K.R. & Wolfe, J.M. (1990). Modeling the role of parallel processing in visual search. *Cognitive Psychology*, 22, 225-271.
- Chaffin, R. & Herrmann, D.J. (1984). The similarity and diversity of semantic relations. *Memory and Cognition*, 12, 134-141.
- Chaffin, R. & Herrmann, D.J. (1986). Relation element theory: A new account of the representation and processing of semantic relations. In D. Gorfein & R. Hoffmann (Eds.), *Learning and Memory: The Ebbinghaus Centennial Conference*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Chase, W.G. & Ericsson, K.A. (1981). Skilled memory. In J.R. Anderson (Ed.), *Cognitive skills and their acquisition* (pp. 141-189). Hillsdale, NJ: Erlbaum.

- Chase, W.G. & Ericsson, K.A. (1982). Skill and working memory. In G.H. Bower (Ed.), *Advances in learning and motivation* (Vol. 16). New York: Academic Press.
- Cherry, E.C. (1953). Some experiments on the recognition of speech with one and with two ears. *Journal of the Acoustic Society of America*, 25, 975-979.
- Chi, M., Glaser, R. & Rees, E. (1982). Expertise in problem solving. In R.J. Sternberg (Ed.), *Advances in the psychology of human intelligence* (Vol. 1, pp. 7-25). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Clark, E.V. (1983). Meanings and concepts. In J.H. Flavell & E.M. Markmann (Eds.), *Carmichaels Manual of child psychology, cognitive development* (Vol. 3). New York: Wiley.
- Cleeremans, A. & McClelland, J.L. (1991). Learning the structure of event sequences. *Journal of Experimental Psychology: General*, 120, 235-253.
- Cohen, A. & Ivry, R. (1989). Illusory conjunctions inside and outside the focus of attention. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 650-663.
- Cohen, A., Ivry, R. & Keele, S.W. (1990). Attention and structure in sequence learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 17-30.
- Cohen, J.D., Dunbar, K. & McClelland, J.L. (1990). On the control of automatic processes: A parallel distributed processing account of the stroop effect. *Psychological Review*, 97, 332-361.
- Cohen, L.B. & Strauss, M.S. (1979). Concept acquisition in the human infant. *Child Development*, 50, 419-424.
- Collins, A.M. & Loftus, E.F. (1975). A spreading activation theory of semantic processing. *Psychological Review*, 82, 407-428.
- Collins, A.M. & Quillian, M.R. (1972). Experiments on semantic memory and language comprehension. In L.W. Gregg (Ed.), *Cognition in learning and memory*. New York: Academic Press.
- Coltheart, M. (1980). Iconic memory and visible persistence. *Perception and Psychophysics*, 27, 183-228.
- Cooper, L.A. & Podgorny, P. (1976). Mental transformations and visual comparison processes: Effects of complexity and similarity. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 503-514.
- Cooper, L.A. & Shepard, R.N. (1973). Chronometric studies of the rotation of mental images. In W.G. Chase (Ed.), *Visual information processing*. Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Cooper, L.A. & Shepard, R.N. (1975). Mental transformation in the identification of left and right hands. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 1, 48-56.
- Corballis, M.C. (1988). Recognition of disoriented shapes. *Psychological Review*, 95, 115-123.
- Corballis, M.C. & Nagourney, B.A. (1978). Latency to categorize disoriented characters as letters or digits. *Canadian Journal of Psychology*, 32, 186-188.
- Corballis, M.C., Zbrodoff, J., Shetzer, L.I. & Butler, P.B. (1978). Decisions about identity and orientation of rotated letters and digits. *Memory & Cognition*, 6, 98-107.
- Cordier, F. & Dubois, D. (1981). Typicalite et representation cognitive. *Cahiers de psychologie cognitive*, 1, 299-333.
- Coren, S. (1986). An efferent component in visual perception of direction and extent. *Psychological Review*, 93, 391-410.
- Corteen, R.S. & Dunn, D. (1974). Shock associated words in a nonattended message. A test for momentary awareness. *Journal of Experimental Psychology*, 102, 1143-1144.
- Corteen, R.S. & Wood, B. (1972). Autonomic responses to shock associated words in an unattended channel. *Journal of Experimental Psychology*, 94, 308-313.
- Corter, J.E. & Gluck, M. (1992). Explaining basic categories: Feature predictability and information. *Psychological Bulletin*, 111, 01-13.
- Csikszentmihalyi, M. (1985). *Das Flow-Erlebnis - Jenseits von Angst und Langeweile: im Tun aufgehen*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Csikszentmihalyi, M. & Csikszentmihalyi, I.S. (1988). *Optimal experience - Psychological studies of flow in consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press (deutsch, 1991).
- Damos, D.L. & Wickens, C.D. (1980). The identification and transfer of timesharing skills. *Acta Psychologica*, 46, 15-39.

- Dawson, M.E. & Schell, A.M. (1982). Electrodermal responses to attended and nonattended significant stimuli during dichotic listening. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 315-324.
- de Jong, R., Wierda, M., Mulder, G. & Mulder, L.J.M. (1988). Use of partial stimulus information in response processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 682-692.
- Denis, M. (1982). On figurative components of mental representations. In F. Klix, J. Hoffmann & E. van der Meer (Eds.), *Cognitive research in psychology*. Amsterdam: North-Holland.
- Deubel, H. (1987). Adaptivity of gain and directions in oblique saccades. In J.K. O'Regan & A. Levy-Schoen (Eds.), *Eye movements: From physiology to cognition*. Amsterdam: North-Holland.
- Deubel, H. (1991). Plasticity of metrical and dynamical aspects of saccadic eye movements. In J. Requin & G.E. Stelmach (Eds.), *NATO ASI on tutorials in motor neuroscience*. New York: Kluwer.
- Deubel, H., Findlay, J., Jacobs, A.M. & Brogan, D. (1990). Saccadic eye movements to targets defined by structure differences. In G. Lüer, U. Lass & J. Shallo-Hoffmann (Eds.), *Eye movement research: Physiological and psychological aspects* (pp. 107-145). Göttingen: Hogrefe.
- Deubel, H., Wolf, W. & Hauske, G. (1982). Corrective saccades: Effect of shifting the saccade goal. *Vision Research*, 22, 353-364.
- Deutsch, J.A. & Deutsch, D. (1963). Attention: Some theoretical considerations. *Psychological Review*, 70, 80-90.
- Dewey, J. (1896). The reflex arc concept in psychology. *Psychological Review*, 3, 357-370.
- Dickinson, A., Shanks, D.R., Evenden, J. (1984). Judgement of act-outcome contingency: The role of selective attribution. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 36A, 29-50.
- Dörner, D. (1981). Über die Schwierigkeiten menschlichen Umgangs mit Komplexität. *Psychologische Rundschau*, 32, 163-179.
- Dörner, D. (1989). *Die Logik des Misslingens*. Hamburg: Rowohlt.
- Dörner, D., Lutz, W. & Meurer, K. (1967). Informationsverarbeitung beim Konzepterwerb. *Zeitschrift für Psychologie*, 174, 194-230.
- Dörner, D., Schaub, H., Stäudel, T. & Strohschneider, S. (1988). Ein System zur Handlungsregulation oder - Die Interaktion von Emotion, Kognition und Motivation. *Sprache & Kognition*, 7, 217-232.
- Dorn-Mahler, H., Grabowski-Gellert, J., Funk-Müldner, K. & Winterhoff-Spurk, P. (1989). Intonation beim Auffordern. *Bericht Nr. 8*. Heidelberg, Mannheim: Arbeiten aus dem SFB "Sprechen und Sprachverstehen im sozialen Kontext".
- Downing, C.J. (1988). Expectancy and visual-spatial attention: Effects on perceptual quality. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 188-202.
- Downing, C.J. & Pinker, S. (1985). The spatial structure of visual attention. In M.I. Posner & O.S. Marin (Eds.), *Mechanisms of attention: Attention and performance* (Vol. 11, pp. 171-187). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Dubois, D. (1980). Sentence comprehension: structural and processing hypotheses. In F. Klix & J. Hoffmann (Eds.), *Cognition and memory* (pp. 82-87). Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Dubois, D. & Denis, M. (1988). Knowledge organization and instantiation of general terms in sentence comprehension. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 14, 604-611.
- Düker, H. (1983). *Über unerschwelliges Wollen*. Göttingen: Hogrefe.
- Dulany, D.E., Carlson, R.A. & Dewey, G.I. (1984). A case of syntactical learning and judgement: How conscious and how abstract? *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 541-555.
- Dulany, D.E., Carlson, R.A. & Dewey, G.I. (1985). On consciousness in syntactic learning and judgement: A reply to Reber, Allen, and Regan. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 25-32.
- Duncan, J. (1983). Perceptual selection based on alphanumeric class: Evidence from partial reports. *Perception and Psychophysics*, 33, 533-547.
- Duncan, J. (1985). Visual search and visual attention. In M.I. Posner & O.S. Marin (Eds.), *Attention and performance* (Vol. 11). Hillsdale NJ: Erlbaum.
- Duncan, J. & Humphreys. (1989). Visual search and stimulus similarity. *Psychological Review*, 96, 433-458.
- Duncker, K. (1935). *Zur Psychologie des produktiven Denkens*. Heidelberg: Springer.

- Easton, T.A. (1978). Coordinative structures - the basis of a motor program. In D.M. Landers & R.W. Christina (Eds.), *Psychology of motor behavior and sport* (Vol. 3, pp. 63-81). Champaign: Human Kinetics.
- Eckes, T. (1991). *Psychologie der Begriffe*. Göttingen: Hogrefe.
- Egeth, H.E. (1977). Attention and preattention. In G.H. Bower (Ed.), *The psychology of learning and motivation* (Vol. 7). New York: Academic Press.
- Egeth, H.E., Virzi, R.A. & Garbart, H. (1984). Searching for conjunctively defined targets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 32-39.
- Egeth, H.E., Jonides, J. & Wall, S. (1972). Parallel processing of multielement displays. *Cognitive Psychology*, 3, 674-698.
- Eley, M.G. (1982). Identifying rotated letter-like symbols. *Memory & Cognition*, 10, 25-32.
- Elman, J.L. (1990). Finding structure in time. *Cognitive Science*, 14, 179-211.
- Elman, J.L. & Zipser, D. (1987). Learning the hidden structure of speech. *Technical Report 8701*. San Diego: Institute for Cognitive Science, UCSD.
- Ennenbach, W. (1989). *Bild und Mitbewegung*. Köln: bps.
- Eriksen, B. & Eriksen, C.W. (1974). Effects of noise letters upon the identification of a target letter in a nonsearch task. *Perception & Psychophysics*, 12, 201-204.
- Eriksen, C.W. & Murphy, T.D. (1987). Movement of attentional focus across the visual field: A critical look at the evidence. *Perception and Psychophysics*, 42, 299-305.
- Eriksen, C.W. & Schultz, D.W. (1979). Information processing in visual search: A continuous flow model and experimental results. *Perception & Psychophysics*, 25, 249-263.
- Eriksen, C.W. & St.James, J.D. (1986). Visual attention within and around the field of focal attention: A zoom lens model. *Perception & Psychophysics*, 40, 225-240.
- Estes, W.K. (1950). Toward a statistical theory of learning. *Psychological Review*, 57, 94-107.
- Estes, W.K. (1955). Statistical theory of distributional phenomena in learning. *Psychological Review*, 62, 369-377.
- Estes, W.K., Campbell, J., Hatsopoulos, N. & Hurwitz, J. (1989). A comparison of parallel network and memory storage-retrieval models for category learning. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 556-571.
- Eyferth, K. (1964). Lernen als Anpassung des Organismus durch bedingte Reaktionen. In R. Bergius (Ed.), *Handbuch der Psychologie Band 1.2.: Lernen und Denken* (pp. 76-117). Göttingen: Hogrefe.
- Eysenck, M.W. & Keane, M.T. (1990). *Cognitive psychology - a student's handbook*. Hove: Erlbaum.
- Fagan, J.F. & Singer, L.T. (1979). The role of simple feature differences in infant's recognition of faces. *Infant Behavior and Development*, 2, 39-48.
- Festinger, L., Burnham, C.A., Ono, H. & Bamber, D. (1967). Efference and the conscious experience of perception. *Journal of Experimental Psychology: Monograph*, 74, 1-36.
- Fieberg, E. & Krist, H. (1989). Entwicklung des intuitiven Wissens über Flugbahnen im Handeln und Urteilen. *Vortrag*. München: 9te Tagung Entwicklungspsychologie.
- Fisk, A.D. & Schneider, W. (1983). Category and word search: Generalizing search principles to complex processing. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 177-195.
- Fracker, M.L. & Wickens, C.D. (1989). Resources, confusions, and compatibility in dual-axis tracking: displays, controls, and dynamics. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 80-96.
- Frankolini, C.M. & Egeth, H. (1980). On the nonautomaticity of "automatic" activation: Evidence of selective seeing. *Perception & Psychophysics*, 27, 331-342.
- Franks, J.J. & Bransford, J.D. (1971). Abstraction of visual patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 90, 65-74.
- Frege, G. (1952). On sense and reference. In P. Geach & M. Black (Eds.), *Translations from the philosophical writings of Gottlieb Frege*. Oxford: Blackwell.
- Frege, G. (1969). Über Sinn und Bedeutung. In G.Patzig (Ed.), *G.Frege: Funktion, Begriff, Bedeutung - Fünf logische Studien* (pp. 23-52). Göttingen: Vandenhoeck. (original 1892).



- Gallistel, C.R., Brown, A.L., Carey, S., Gelman, R. & Keil, F.C. (1991). Lessons from animal learning for the study of cognitive development. In S. Carey & R. Gelman (Eds.), *The epigenesis of mind: Essays on biology and cognition* (pp. 3-36). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Garcia, J. & Koelling, R.A. (1966). Relation of cue to consequence in avoidance learning. *Psychonomic Science*, 4, 123-124.
- Garcia, J., McGowan, B.K., Ervin, F. & Koelling, R. (1968). Cues: Their relative effectiveness as reinforcers. *Science*, 160, 794-795.
- Gatti, S.W. & Egeth, H.E. (1978). Failure of spatial selectivity in vision. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 11, 181-184.
- Gawryszewski, L.G., Riggio, L., Rizzolatti, G. & Umiltà, C. (1987). Movements of attention in the three spatial dimensions and the meaning of "neutral" cues. *Neuropsychologia*, 25, 19-29.
- Gibson, J.J. (1961). Ecological optics. *Vision Research*, 1, 253-262.
- Gibson, J.J. (1966). *The senses considered as perceptual systems*. Boston: Houghton.
- Gibson, J.J. (1968). What gives rise to the perception of motion. *Psychological Review*, 75, 335-346.
- Gibson, J.J. (1979). *The ecological approach to visual perception*. Boston: Houghton.
- Gibson, J.J. & Gibson, E.J. (1955). Perceptual learning: Differentiation or enrichment. *Psychological Review*, 62, 32-41.
- Glaser, W.R. & Glaser, M.O. (1989). Context effects in Stroop-like word and picture processing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 13-42.
- Glass, A.L. & Holyoak, K.J. (1975). Alternative conceptions of semantic theory. *Cognition*, 3, 313-339.
- Gleitman, H. & Jonides, J. (1978). The effect of set on categorization in visual search. *Perception and Psychophysics*, 20, 281-288.
- Gluck, M.A. (1991). Stimulus sampling and distributed representations in adaptive network theories of learning. In A. Healy, S. Kosslyn & R. Shiffrin (Eds.), *Festschrift for W.K. Estes*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gluck, M.A. & Bower, G.H. (1988a). Evaluating an adaptive network model of human learning. *Journal of Memory and Language*, 27, 166-195.
- Gluck, M.A. & Bower, G.H. (1988b). From conditioning to category learning: An adaptive network model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 227-247.
- Gluck, M.A., Corter, J.E. & Bower, G.H. (1992). Basic levels in learning category hierarchies: an adaptive network model. *Manuscript*. New York: Rutgers University.
- Goede, K. & Klix, F. (1969). Learning dependent formation of strategies in the classification of objects. *Proceedings, XIV International Congress of Psychology*. London: BSP.
- Gollwitzer, P.M. (1991). *Abwägen und Planen: Bewußtseinslagen in verschiedenen Handlungsphasen*. Göttingen: Hogrefe.
- Gollwitzer, P.M. (1992). Volition: Das Realisieren von Zielen. In L. Montada (Ed.), *Bericht über den 38. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Trier 1992* (Band 1, pp. 540-546). Göttingen: Hogrefe.
- Gollwitzer, P.M. & Kinney, R.F. (1989). Effects of deliberative and implemental mind-sets on illusion of control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 56, 531-542.
- Goodman, D. & Kelso, J.A. (1980). Are movements prepared in part? Not under compatible (naturalized) conditions. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 475-495.
- Goschke, T. (1992). Zur Rolle der Aufmerksamkeit beim impliziten Lernen von Ereignissequenzen. *Vortrag*. Osnabrück: 34. Tagung experimentell arbeitender Psychologen.
- Goschke, T. & Koppelberg, D. (1990). Connectionist representation, semantic compositionality, and the instability of concept structure. *Psychological Research*, 52, 253-270.
- Gottschaldt, K. (1926). Über den Einfluß der Erfahrung auf die Wahrnehmung von Figuren I. *Psychologische Forschung*, 8, 261-317.
- Gottschaldt, K. (1929). Über den Einfluß der Erfahrung auf die Wahrnehmung von Figuren II. *Psychologische Forschung*, 12, 1-87.
- Greeno, J.G. & Simon, H.A. (1974). Processes for sequence production. *Psychological Review*, 81, 187-198.
- Gregory, R.L. (1974). Choosing a paradigm for perception. In E.C. Caterette & M.P. Friedman (Eds.), *Handbook of perception. Volume 1: Historical and philosophical roots of perception*. New York: Academic Press.

- Groos, K. (1899). *Die Spiele des Menschen*. Jena: Fischer.
- Gruber, H. (1991). Qualitative Aspekte von Expertise im Schach. *Dissertation*. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Grüsser, O.J. (1986). Interaction of afferent and efferent signals in visual perception. A history of ideas and experimental paradigms. *Acta Psychologica*, 63, 3-21.
- Grüsser, O.J. & Grüsser-Cornehls, U. (1968). Neurophysiologische Grundlagen visueller angeborener Auslösemeechanismen beim Frosch. *Zeitschrift für vergleichende Physiologie*, 51, 1-24.
- Grunkel, M. (1962). Über relative Koordination bei willkürlichen menschlichen Gliederbewegungen. *Pflügers Archiv für die gesamte Physiologie*, 275, 472-477.
- Guthrie, E.R. (1940). Association and the law of effect. *Psychological Review*, 47, 127-148.
- Hajos, A. & Fey, D.A. (1982). Lernprozesse des okulomotorischen Systems. *Psychologische Beiträge*, 24, 135-158.
- Hampson, P.J. & Morris, P.E. (1978). Unfilled expectations: a criticism of Neisser's theory of imagery. *Cognition*, 6, 79-85.
- Hampton, J.A. (1982). A demonstration of intransitivity in natural categories. *Cognition*, 12, 151-164.
- Hanson, S.J. & Burr, D.J. (1989). What connectionist models learn: Learning and representation in connectionist networks. *Working Paper*. Morristown, NJ: Bellcore.
- Harlow, H.F. (1953). Mice, monkeys, men, and motives. *Psychological Review*, 60, 23-32.
- Hasbroucq, T. & Guiard, Y. (1991). Stimulus-response compatibility and the Simon effect: towards a conceptual clarification. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 17, 246-266.
- Hassenstein, B. (1970). *Biologische Kybernetik*. Heidelberg: Quelle & Meyer.
- Hatfield, G. & Epstein, W. (1985). The status of the minimum principle in the theoretical analysis of visual perception. *Psychological Bulletin*, 97, 155-186.
- Hayes-Roth, B. & Hayes-Roth, F. (1977). Concept learning and the recognition and classification of exemplars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 16, 321-338.
- Heckhausen, H. & Beckmann, J. (1990). Intentional action and action slips. *Psychological Review*, 97, 36-48.
- Heckhausen, H., Gollwitzer, P.M. & Weinert, F.E. (1987). *Jenseits des Rubikon: Der Wille in den Humanwissenschaften*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer.
- Hein, A. & Held, R. (1962). A neural model for labile sensorimotor coordination. In E.E. Bernard & M.R. Kare (Eds.), *Biological prototypes and synthetic systems* (Vol. 1, pp. 71-74). New York: Plenum.
- Helmholtz, H. (1866). *Handbuch der physiologischen Optik*. Leipzig: Voss.
- Hendrick, L. (1943). The discussion of the 'instinct to master'. *Psychoanalytic Quarterly*, 12, 561-565.
- Henning, H. (1925). Die Untersuchung der Aufmerksamkeit. In E. Abderhalden (Ed.), *Handbuch der biologischen Arbeitsmethoden. Abt. IV, Teil 3*. Wien: Urban & Schwarzenberg.
- Henry, F.M. & Rogers, D.F. (1960). Increased response latency for complicated movements and a "memory drum" theory of neuromotor reaction. *Research Quarterly*, 31, 448-458.
- Herrmann, D.J. & Chaffin, R. (1986). Comprehension of semantic relations as a function of the definition of relations. In F. Klix & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities: Mechanisms and performances* (Part A, pp. 311-320). Amsterdam: North Holland.
- Herrmann, T. & Hoppe-Graff, S. (1988). Textproduktion. In H. Mandl & H. Spada (Eds.), *Wissenspsychologie* (pp. 283-298). München: Psychologie Verlags Union.
- Hess, W.R. (1948). *Die funktionelle Organisation des vegetativen Nervensystems*. Basel.
- Heuer, H. (1983). *Bewegungslernen*. Stuttgart: Kohlhammer.
- Heuer, H. (1984). Bewegungen mit der rechten und linken Hand: Interferenzen bei der Programmierung. *Psychologische Beiträge*, 26, 561-581.
- Heuer, H. (1984). Motor learning as a process of structural constriction and displacement. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes*. Heidelberg: Springer.
- Heuer, H. (1985). Wie wirkt mentale Übung? *Psychologische Rundschau*, 36, 191-200.
- Heuer, H. (1986). Intermanual interactions during programming of aimed movements: Converging evidence on common and specific parameters of control. *Psychological Research*, 48, 37-46.
- Heuer, H. (1987). Visual discrimination and response programming. *Psychological Research*, 49, 91-98.

- Heuer, H. (1988). Advance specification and programming interactions: A reply to Rosenbaum Barnes, and Slotta. *Psychological Research*, 50, 63-68.
- Heuer, H. & Sanders, A.F. (1987). *Perspectives on perception and action*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hintzman, D.J. (1986). "Schema abstraction" in a multiple-trace memory model. *Psychological Review*, 93, 411-428.
- Hirst, W., Spelke, E.S., Reaves, C.C., Caharack, G. & Neisser, U. (1980). Dividing attention without alternation or automaticity. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 98-117.
- Hochberg, J. (1978). *Perception*. Englewood, NJ: Prentice-Hall.
- Hochberg, J. (1981). Levels of perceptual organization. In M. Kubovy & J.R. Pomerantz (Eds.), *Perceptual organization*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hochberg, J. & McAlister, E.A. (1953). A quantitative approach to figural "goodness". *Journal of Experimental Psychology*, 46, 361-364.
- Hoffman, D.D. & Richards, W.A. (1984). Parts of recognition. *Cognition*, 18, 65-96.
- Hoffman, J.E. (1980). Interaction between global and local levels of a form. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6, 222-234.
- Hoffman, J.E. (1986). Spatial attention in vision. Evidence for early selection. *Psychological Research*, 48, 221-229.
- Hoffman, J.E., Nelson, B. & Houck, M.R. (1983). The role of attentional resources in automatic detection. *Cognitive Psychology*, 51, 379-410.
- Hoffmann, J. (1973). Techniken menschlicher Informationsverarbeitung bei der Bewältigung spezieller Begriffbildungsanforderungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 180/181, 409-443.
- Hoffmann, J. (1975). Zum Transfer unterschiedlicher Organisationsstrukturen bei der freien Reproduktion von Wortlisten. *Zeitschrift für Psychologie*, 183, 129-140.
- Hoffmann, J. (1979). Klassifizierung und Übertragbarkeit semantischer Relationen im menschlichen Gedächtnis. In M. Bierwisch (Ed.), *Psychologische Effekte sprachlicher Strukturkomponenten*. Berlin: Akademie Verlag.
- Hoffmann, J. (1980). Semantische Relationen und Gedächtnisstrukturen. In A. Kossakowski (Ed.), *Psychologie im Sozialismus*. Berlin: Volk und Wissen.
- Hoffmann, J. (1982). Representation of concepts and the classification of objects. In F. Klix, J. Hoffmann & E. van der Meer (Eds.), *Cognitive research in psychology*. Amsterdam: North-Holland.
- Hoffmann, J. (1983). *Das aktive Gedächtnis*. Berlin und Heidelberg: Verlag der Wissenschaften und Springer.
- Hoffmann, J. (1986). A simulation approach to conceptual identification processes. In I. Kurcz, G.W. Shugar & J.H. Danks (Eds.), *Knowledge and Language* (pp. 49-68). Amsterdam: North-Holland.
- Hoffmann, J. (1986). *Die Welt der Begriffe*. Berlin und München: Verlag der Wissenschaften und Psychologie Verlags Union.
- Hoffmann, J. (1987). Semantic control of selective attention. *Psychological Research*, 49, 123-129.
- Hoffmann, J. (1988). Wird Wissen in Begriffen repräsentiert? *Sprache & Kognition*, 7, 193-204.
- Hoffmann, J. (1990a). Über die Integration von Wissen in die Verhaltenssteuerung. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, 49, 250-265.
- Hoffmann, J. (1990b). Über das Erlernen von Antizipationen. *Paper 12/1990*. München: Max-Planck--Institut für Psychologische Forschung.
- Hoffmann, J. (1990c). Verhaltensvorbereitende Reizerwartungen. *Paper 02/1990*. München: Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung.
- Hoffmann, J. (im Druck a). Die visuelle Identifikation von Objekten. In W. Prinz & B. Bridgeman (Eds.), *Handbook of Perception and Action, Vol I: Perception*. Göttingen: Hogrefe.
- Hoffmann, J. (im Druck b). Gedächtnis- und Verhaltensorganisation. In D. Dörner & E. van der Meer (Eds.), *Gedächtnis*. Heidelberg: Springer.
- Hoffmann, J. (im Druck c). Unbewusstes Lernen - eine besondere Lernform? *Psychologische Rundschau*.
- Hoffmann, J. & Grosser, U. (1985). Automatismen bei der begrifflichen Klassifikation. *Sprache & Kognition*, 4, 28-48.
- Hoffmann, J. & Grosser, U. (1986). Die lernabhängige Automatisierung begrifflicher Identifikation. *Sprache & Kognition*, 5, 27-41.

- Hoffmann, J., Grosser, U. & Klein, R. (1987). The influence of knowledge on visual search. In E. van der Meer & J. Hoffmann (Eds.), *Knowledge aided information processing* (pp. 81-100). Amsterdam: North-Holland.
- Hoffmann, J. & Kämpf, U. (1985). Mechanismen der Objektbenennung - Parallele Verarbeitungskaskaden. *Sprache & Kognition*, 4, 217-230.
- Hoffmann, J. & Klein, R. (1988). Kontexteffekte bei der Benennung und Entdeckung von Objekten. *Sprache & Kognition*, 7, 25-39.
- Hoffmann, J. & Rushkova, N. (1977). Lernprozesse und Strukturbildung im menschlichen Gedächtnis. In J. Lompscher (Ed.), *Zur Psychologie der Lerntätigkeit* (pp. 154-166). Berlin: Volk und Wissen.
- Hoffmann, J. & Schmuck, P. (1987). *On the differentiation of priming effects in concept structures*. Arbeitsbericht Bereich Psychologie der Akademie der Wissenschaften, Berlin.
- Hoffmann, J., Ulbrich, P. & Selig, R. (1976). Hypothesenkorrekturstrategien in kognitiven Prozessen. *Zeitschrift für Psychologie*, 184, 240-255.
- Hoffmann, J. & Ziebler, C. (1983). Objektidentifikation in künstlichen Begriffshierarchien. *Zeitschrift für Psychologie*, 191, 135-167.
- Hoffmann, J. & Ziebler, M. (1982). Begriffe und ihre Merkmale. *Zeitschrift für Psychologie*, 190, 46-77.
- Hoffmann, J. & Ziebler, M. (1986). The integration of visual and functional classifications in concept formation. *Psychological Research*, 48, 69-78.
- Hoffmann, J., Ziebler, M. & Grosser, U. (1984). Psychologische Gesetzmäßigkeiten der begrifflichen Klassifikation von Objekten. In F. Klix (Ed.), *Gedächtnis, Wissen, Wissensnutzung*. Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Hoffmann, J., Ziebler, M., Grosser, U., & Kämpf, U. (1985). Struktur- und Prozeßkomponenten in begrifflichen Identifikationsleistungen. *Zeitschrift für Psychologie*, 193, 51-70.
- Holland, J.H., Holyoak, K.J., Koh, K., Nisbett, R.E. & Thagard, P.R. (1986). *Induction: Processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, MA: Bradford.
- Holyoak, K.J., Koh, K. & Nisbett, R.E. (1989). A theory of conditioning: Inductive learning within rule-based default hierarchies. *Psychological Review*, 96, 315-340.
- Hommel, B. (1990). Quellen der Interferenz beim Simon-Effekt: Eine Untersuchung zur Verwendung räumlicher Information bei der Auswahl und Planung einer einfachen Handlung. *Dissertation*, Universität Bielefeld.
- Hommel, B. (1992). Auswirkungen von Übung auf den Simon Effekt. *Paper 20/1992*. München: Max-Planck-Institut für Psychologische Forschung.
- Hull, C.L. (1920). Quantitative aspects of the evolution of concepts. An experimental study. *Psychological Monographs*, XXVIII, 1-86.
- Hull, C.L. (1943). *Principles of behavior*. New York: Appleton.
- Humphreys, G.W. (1985). Attention, automaticity, and autonomy in visual word processing. In D. Besner, T.G. Waller & G.E. McKinnon (Eds.), *Reading research: Advances in theory and practice* (Vol. 5, pp. 253-310). New York: Academic Press.
- Humphreys, G.W., Quinlan, P.T. & Riddoch, M.J. (1989). Grouping processes in visual search: Effects with single- and combined-feature targets. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 258-279.
- Humphreys, G.W., Riddoch, M.J. & Quinlan, P.T. (1985). Interactive processes in perceptual organization: Evidence from visual agnosia. In M.I. Posner & O.S.M. Marin (Eds.), *Attention and performance* (Vol. XI, pp. 301-318). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Hunt, E.B., Marin, J. & Stone, P.J. (1966). *Experiments in induction*. New York: Wiley.
- Inhoff, A.W., Rosenbaum, D.A., Gordon, A.M. & Campbell, J.A. (1984). Stimulus-response compatibility and motor programming of manual response sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 724-733.
- James, W. (1981). *The principles of psychology* (Vol. II). Cambridge, MA: Harvard University Press (orig. 1890).
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models. Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Johnson-Laird, P.N. & Byrne, R.M.J. (1991). *Deduction*. Hove: Erlbaum.

- Johnson-Laird, P.N., Herrmann, D.J. & Chaffin, R. (1984). Only connections: A critique of semantic networks. *Psychological Bulletin*, *96*, 292-315.
- Johnson-Laird, P.N. & Steedman, M. (1978). The psychology of syllogisms. *Cognitive Psychology*, *10*, 64-99.
- Johnson, S.C. (1967). Hierarchical clustering schemes. *Psychometrika*, *32*, 241-254.
- Johnston, W.A. & Dark, V.J. (1986). Selective attention. *Annual Review of Psychology*, *37*, 43-75.
- Johnston, W.A. & Heinz, S.P. (1978). Flexibility and capacity demands of attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, *107*, 420-435.
- Johnston, W.A. & Heinz, S.P. (1979). Depth and nontarget processing in an attention task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *5*, 168-175.
- Jolicoeur, P. (1985). The time to name disoriented natural objects. *Memory & Cognition*, *13*, 289-303.
- Jolicoeur, P., Gluck, M.A. & Kosslyn, S. (1984). Pictures and names: Making the connection. *Cognitive Psychology*, *16*, 243-275.
- Jolicoeur, P. & Landau, M.J. (1984). Effects of orientation on the identification of simple visual patterns. *Canadian Journal of Psychology*, *38*, 80-93.
- Jolicoeur, P. & Milliken, B. (1989). Identification of disoriented objects: Effects of context prior presentation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, *15*, 200-210.
- Jones, G.V. (1983). Identifying basic categories. *Psychological Bulletin*, *94*, 423-428.
- Jones, M.R. (1981). A tutorial on some issues and methods in serial pattern research. *Perception & Psychophysics*, *30*, 492-504.
- Jones, M.R., Boltz, M. & Kidd, G. (1982). Controlled attending as a function of melodic and temporal context. *Perception & Psychophysics*, *32*, 211-218.
- Jordan, M.I. (1986). Serial order: A parallel distributed processing approach. *Report 8604*. La Jolla: Institute for Cognitive Science.
- Julesz, B. (1981). Textons, the elements of texture perception, and their interaction. *Nature*, *290*, 91-97.
- Just, M.A. & Carpenter, P.A. (1976). Eye fixations and cognitive processes. *Cognitive Psychology*, *8*, 441-480.
- Kahneman, D. (1973). *Attention and effort*. Englewood: Prentice-Hall.
- Kahneman, D. & Chajczyk, D. (1983). Tests of automaticity of reading: Dilution of Stroop effects by color irrelevant stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*, 497-509.
- Kahneman, D. Treisman, A. & Burkell, J. (1983). The cost of visual filtering. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*, 510-522.
- Kahneman, D. & Treisman, A. (1984). Changing views of attention and automaticity. In R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 29-62). New York: Academic Press.
- Kamin, L.J. (1968). Attention like processes in classical conditioning. In M.R. Jones (Ed.), *Miami symposium on the prediction of behavior: Aversive stimuli* (pp. 183-206). Coral Gables, FL: University of Miami Press.
- Katz, A.N. (1978). Differences in the saliency of sensory features elicited by words. *Canadian Journal of Psychology*, *32*, 212-223.
- Katz, A.N. (1981). Knowing about the sensory property of objects. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *33*, 39-49.
- Keele, S.W. (1968). Movement control in skilled motor performance. *Psychological Bulletin*, *70*, 387-403.
- Keil, F.C. (1981). Constraints on knowledge and cognitive development. *Psychological Review*, *88*, 197-227.
- Kemke, C. (1988). Der neuere Konnektionismus: Ein Überblick. *Informatik Spektrum*, *11*, 143-162.
- Kinchla, R.A., Solis-Macias, V. & Hoffman, J. (1983). Attending to different levels of structure in a visual image. *Perception & Psychophysics*, *33*, 1-10.
- Kinchla, R.A. & Wolfe, J. (1979). The order of visual processing: "Top down", "bottom up", or "middle out". *Perception & Psychophysics*, *25*, 225-231.
- Kingstone, A. & Klein, R. (1991). Combining shape and position expectancies: Hierarchical processing and selective inhibition. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*, 512-519.

- Kintsch, W. (1971). Models for free recall and recognition. In D.A. Norman (Ed.), *Models of human memory*. New York: Academic Press.
- Kintsch, W. (1972). Notes on the structure of semantic memory. In E. Tulving & W. Donaldson (Eds.), *Organization of memory*. New York: Academic Press.
- Klahr, D., Chase, W.G. & Lovelace, E.A. (1983). Structure and process in alphabetic retrieval. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 9, 462-477.
- Klapp, S.T. (1974). Syllable-dependent pronunciation latencies in number naming: A replication. *Journal of Experimental Psychology*, 102, 1138-1140.
- Klapp, S.T. (1978). Reaction time analysis of programmed control. In R. Hutton (Ed.), *Exercise and sport sciences reviews*. Santa Barbara, CA: Journal Publishing Affiliates.
- Klein, R., Kingstone, A. & Pontefract, A. (1992). Orienting of visual attention. In K. Rayner (Ed.), *Eye movements and visual cognition: Scene perception and reading*. (preprint)
- Klimesch, W. (1981). Die Encodierung von Begriffen auf der Basis von Merkmalsstrukturen. *Zeitschrift für Experimentelle und Angewandte Psychologie*, 28, 609-636.
- Klimesch, W. (1988). *Struktur und Aktivierung des Gedächtnisses*. Bern: Huber.
- Klix, F. (1962). *Elementaranalysen zur Psychophysik der Raumwahrnehmung*. Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. (1971). *Information und Verhalten*. Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. (1980). Die allgemeine Psychologie und die Erforschung kognitiver Prozesse. *Zeitschrift für Psychologie*, 188, 117-139.
- Klix, F. (1980). *Erwachendes Denken. Eine Entwicklungsgeschichte der menschlichen Intelligenz*. Berlin: Verlag der Wissenschaften.
- Klix, F. (1984). Über Erkennungsprozesse im menschlichen Gedächtnis. *Zeitschrift für Psychologie*, 192, 18-46.
- Klix, F. (1986). On recognition processes in human memory. In F. Klix & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities: Mechanisms and performances* (Part A, pp. 321-338). Amsterdam: North Holland.
- Klix, F. (1988). Gedächtnis. In R. Asanger & G. Wenninger (Eds.), *Handwörterbuch Psychologie. Vierte, völlig neubearbeitete und erweiterte Auflage* (pp. 213-218). München: Psychologie Verlags Union.
- Klix, F., van der Meer, E., Preuß, M. & Wolf, M. (1987). Über Prozeß- und Strukturkomponenten der Wissensrepräsentation beim Menschen. *Zeitschrift für Psychologie*, 195, 39-61.
- Kluwe, R.H., Wolke, D. & Bunge, B. (1982). Zur kategorialen Organisation semantischer Informationen bei 10jährigen Kindern und bei Erwachsenen. *Sprache & Kognition*, 1, 15-26.
- Köhler, W. (1924). *Die physischen Gestalten in Ruhe und im stationären Zustand*. Erlangen: Verlag der Philosophischen Akademie.
- Köhler, W. (1929). *Gestalt psychology*. New York: Liveright.
- Koffka, K. (1935). *Principles of Gestalt Psychology*. New York: Harcourt.
- Kohl, K. (1956). *Zum Problem der Sensumotorik*. Frankfurt am Main: Kramer.
- Kohler, I. (1951). Über Aufbau und Wandlung der Wahrnehmungswelt. *Abhandlungen der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Philosophisch-historische Klasse*. Wien: .
- Kohler, I. (1956). Die Methode des Brillenversuches in der Wahrnehmungspsychologie mit Bemerkungen zur Lehre von der Adaptation. *Zeitschrift für experimentelle und angewandte Psychologie*, 3, 381-417.
- Kolers, P.A. & Perkins, D.N. (1969). Orientation of letters and errors in their recognition. *Perception & Psychophysics*, 5, 265-269.
- Kolers, P.A. & Perkins, D.N. (1969). Orientation of letters and their speed of recognition. *Perception & Psychophysics*, 5, 275-280.
- Koriat, A. & Norman, J. (1985). Mental rotation and visual familiarity. *Perception & Psychophysics*, 37, 429-439.
- Kormüller, A.E. (1931). Eine experimentelle Anästhesie der äusseren Augenmuskeln am Menschen und ihre Auswirkungen. *Journal für Psychologie und Neurologie*, 41, 354-366.
- Kormüller, A.E. (1947). *Die Elemente der nervösen Tätigkeit*. Stuttgart.
- Kosslyn, S.M., Flynn, R.A., Amsterdam, J.B. & Wang, G. (1990). Components of high-level vision: A cognitive neuroscience analysis and accounts of neurological syndromes. *Cognition*, 34, 203-277.

- Kotowski, K. & Simon, H.A. (1973). Empirical test of a theory of human acquisition of concepts for sequential patterns. *Cognitive Psychology*, 4, 399-424.
- Kremer, E.F. (1971). Truly random and traditional control procedures in CER conditioning in the rat. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 74, 441-448.
- Krist, H. (1989). Experimente zur Entwicklung der intuitiven Physik des Wurfs. Bestandsaufnahme und vorläufiges Resümee. *Arbeitsbericht*. Frankfurt am Main: Johann-Wolfgang-Goethe-Universität.
- Kuhl, J. & Beckmann, J. (Eds.). (1985). *Action control, from cognition to behavior*. Heidelberg: Springer.
- La Berge, D. (1975). Automatic information processing in perceptual and associative learning. In P.M. Rabbitt & S. Dornic (Eds.), *Attention and performance* (Vol. V). New York: Academic Press.
- La Berge, D. (1983). Spatial extent of attention to letters in words. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 371-379.
- La Berge, D. & Brown, V. (1989). Theory of attentional operations in shape identification. *Psychological Review*, 96, 101-124.
- La Heij. (1988). Components of Stroop-like interference in picture naming. *Memory & Cognition*, 16, 400-410.
- Lambert, A.J. (1985). Selectivity and stages of processing - An enduring controversy in attentional theory: A review. *Current Psychological Research and Reviews, Fall 1985*, 239-256.
- Lambert, A.J. (1987). Expecting different categories at different locations and spatial selective attention. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 39A, 61-76.
- Lambert, A.J. & Hockey, R. (1986). Selective attention and performance with a multidimensional visual display. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 484-495.
- Landauer, T.K. & Meyer, D.E. (1972). Category size and semantic memory retrieval. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 11, 539-549.
- Langer, E.J. (1975). The illusion of control. *Journal of Personality and Social Psychology*, 32, 311-328.
- Leeuwenberg, E. (1969). Quantitative specification of information in sequential patterns. *Psychological Review*, 76, 216-220.
- Leeuwenberg, E. (1971). A perceptual coding language for visual and auditory patterns. *American Journal of Psychology*, 84, 307-349.
- Leeuwenberg, E. & Boselie, F. (1988). Against the likelihood principle in visual form perception. *Psychological Review*, 95, 485-491.
- Leeuwenberg, E. & Buffart, H. (1983). An outline of coding theory, summary of some related experiments. In H.G. Geissler, H. Buffart, E. Leeuwenberg & V. Sarris (Eds.), *Modern issues in perception* (pp. 25-47). Amsterdam: North-Holland.
- Lewicki, P. (1986). *Nonconscious social information processing*. New York: Academic Press.
- Lewicki, P. (1986). Processing information about covariations that cannot be articulated. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 12, 135-146.
- Lewicki, P., Czyzewska, M. & Hoffman, H. (1987). Unconscious acquisition of complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 523-530.
- Lewicki, P. & Hill, T. (1989). On the status of nonconscious processes in human cognition: Comment on Reber. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 239-241.
- Lewicki, P., Hill, T. & Bizot, E. . (1988). Acquisition of procedural knowledge about a pattern of stimuli that cannot be articulated. *Cognitive Psychology*, 20, 24-37.
- Lewicki, P., Hill, T. & Sasaki, I. (1989). Self-perpetuating development of encoding biases. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 323-337.
- Lewin, K. (1926). *Vorsatz, Wille und Bedürfnis mit Vorbemerkungen über die psychischen Kräfte und Energien und die Strukturen der Seele*. Berlin: Springer.
- Lewin, K. (1928). Wille, Vorsatz und Bedürfnis. *Psychologische Forschung*, 7, 330-385.
- Lewin, K. (1931). Environmental forces in child behavior and development. In C. Murchinson (Ed.), *Handbook of child psychology* (pp. 94-127). Worcester, MA: Clark University Press.
- Linschoten, J. (1956). *Strukturanalyse der binokularen Tiefenwahrnehmung*. Groningen: Wolters.
- Logan, G.D. (1988). Toward an instance theory of automatization. *Psychological Review*, 95, 492-527.
- Lorenz, K. (1973). *Die Rückseite des Spiegels - Versuch einer Naturgeschichte menschlichen Erkennens*. München, Zürich: Piper.

- Lotze, H. (1852). *Medizinische Psychologie oder Physiologie der Seele*. Leipzig: Weidmann'sche Buchhandlung.
- Lowe, D.G. (1987). Three-dimensional object recognition from single two-dimensional images. *Artificial Intelligence*, 31, 355-395.
- Lüer, G., Ruhlender, P., Klettke, W. & Lass, U. (1989). The construction of procedural knowledge independent of declarative factual knowledge: An experimental study. In R. Groner & G. d'Ydewalle (Eds.), *Eye Movement and Psychological Processes. Proceedings of the XXIV International Congress of Psychology*. Amsterdam: North-Holland.
- Mack, A. & Bachant, J. (1969). Perceived movement of the afterimage during eye movements. *Perception & Psychophysics*, 6, 379-384.
- Mack, A., Fendrich, R. & Pleune, J. (1978). Adaptation to an altered relation between retinal image displacements and saccadic eye movements. *Vision Research*, 18, 1321-1327.
- Maki, R.H. (1986). Naming and locating the tops of rotated pictures. *Canadian Journal of Psychology*, 40, 368-387.
- Mandler, G. (1968). Association and Organization: Facts, fancies, and theories. In T.R. Dixon & D.L. Horton (Eds.), *Verbal behavior and general behavior theory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mandler, G. (1985). *Cognitive Psychology. An essay in cognitive science*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Mannes, S.M. & Kintsch, W. (1991). Routine computing task: Planning as understanding. *Cognitive Science*, 15, 305-342.
- Manzey, D. (1988). *Determinanten der Aufgabeninterferenz bei Doppeltätigkeiten und ressourcen-theoretische Modellvorstellungen in der kognitiven Psychologie*. Hamburg: DFVLR.
- Marr, D. (1982). *Vision. A computational investigation into the human representation and processing of visual information*. San Francisco: Freeman.
- Marr, D. & Nishihara, H.K. (1978). Representation and recognition of the spatial organization of three-dimensional shapes. *Proceedings of the Royal Society of London (series B)*, 200, 269-294.
- Martin, M. (1979). Local and global processing: The role of sparsity. *Memory & Cognition*, 7, 476-484.
- Mathews, R.C. (1990). Abstractness of implicit grammar knowledge: Comments on Perruchet and Pacteau's analysis of synthetic grammar learning. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 412-416.
- Mathews, R.C., Buss, R.R., Stanley, W.B., Blanchard-Fields, F. Cho, J.R. & Druhan, B. (1989). Role of implicit and explicit processes in learning from examples: A synergistic effect. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1083-1100.
- Matin, L. (1972). Eye movements and perceived visual direction. In D. Jameson & L. Hurvich (Eds.), *Handbook of sensory physiology* (Vol. 7/4). Heidelberg: Springer.
- McClelland, J.L. (1979). On the time relations of mental processes: An examination of systems of processes in cascade. *Psychological Review*, 86, 287-330.
- McClelland, J.L. & Kawamoto, A.H. (1986). Mechanisms of sentence processing: Assigning roles to constituents. In J.L. McClelland & D.E. Rumelhart (Eds.), *Parallel distributed processing, explorations in the microstructure of cognition* (Vol. 2, pp. 272-326). Cambridge, MA: MIT Press.
- McClelland, J.L. & Rumelhart, D.E. (1981). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 1. An account of basic findings. *Psychological Review*, 88, 375-407.
- McClelland, J.L. & Rumelhart, D.E. (1985). Distributed memory and the representation of general and specific information. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114, 159-188.
- McClelland, J.L. & Rumelhart, D.E. (1986). *Parallel distributed processing* (Vol. 2). Cambridge, MA: MIT Press.
- McCloskey, M. (1983). Intuitive physics. *Scientific American*, 248, 114-122.
- McCloskey, M. & Glucksberg, S. (1979). Decision processes in verifying category membership statements: Implications for models of semantic memory. *Cognitive Psychology*, 11, 1-37.
- McLeod, P., Driver, J. & Crisp, J. (1988). Visual search for a conjunction of movement and form is parallel. *Nature*, 332, 154-155.
- McLeod, P. & Posner, M.I. (1984). Privileged loops from percept to act. In H. Bouma & D. Bouwhuis (Eds.), *Attention and Performance* (Vol. 4, pp. 55-66). Hillsdale, NJ: Erlbaum.



- Medin, D.L. (1983). Structural principles of categorization. In B. Shepp & T. Tighe (Eds.), *Interaction: Perception, Development, and Cognition*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Medin, D.L. & Shaffer, M.M. (1978). Context theory of classification learning. *Psychological Review*, 85, 207-238.
- Medin, D.L., Wattenmaker, W.D. & Hampson, S.E. (1987). Family resemblance, conceptual cohesiveness, and category construction. *Cognitive Psychology*, 19, 242-279.
- Merton, D.A. (1972). How we control the contraction of our muscles? *Scientific American*, 226, 30-37.
- Mervis, C.B. & Crisafi, M.A. (1982). Order of acquisition of subordinate-, basic-, and superordinate-level categories. *Child Development*, 53, 258-266.
- Mervis, C.B. & Pani, J.R. (1980). Acquisition of basic object categories. *Cognitive Psychology*, 12, 496-522.
- Mervis, C.B. & Rosch, E. (1981). Categorization of natural objects. *Annual Review of Psychology*, 32, 89-115.
- Metzger, W. (1962). *Schöpferische Freiheit*. Frankfurt am Main: Kramer.
- Metzger, W. (1975). *Die Gesetze des Sehens*. Frankfurt am Main: Kramer.
- Metzler, J. & Shepard, R.N. (1974). Transformational studies of the internal representation of three-dimensional objects. In R.L. Solso (Ed.), *Theories in cognitive psychology: The Loyola Symposium*. San Francisco: Freeman.
- Meyer, D.E., Irwin, D.E., Osman, A.M. & Kounios, J. (1988). The dynamics of cognition and action: Mental processes inferred from speed-accuracy decomposition. *Psychological Review*, 95, 183-237.
- Meyers, L.S. & Rhoades, R.W. (1978). Visual search of common scenes. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 30, 297-310.
- Miller, G.A. (1958). Free recall of redundant strings of letters. *Journal of Experimental Psychology*, 56, 485-491.
- Miller, J. (1981). Global precedence in attention and decision. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 1161-1174.
- Miller, J. (1982). Discrete vs. continuous stage models of human information processing: In search of partial output. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 273-296.
- Miller, J. (1983). Can response preparation begin before stimulus recognition finishes? *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 161-182.
- Miller, J. (1985). A hand advantage in preparation of simple keypress responses: Reply to Reeve and Proctor (1984). *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 221-233.
- Miller, J. (1988). Components of the location probability effect in visual search tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 453-471.
- Miller, J.M. & Festinger, L. (1977). Impact of oculomotor retraining on the visual perception of curvature. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 187-200.
- Miller, J.M., Anstis, T. & Templeton, W.B. (1981). Saccadic plasticity: Parametric adaptive control by retinal feedback. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 356-366.
- Minsky, M. & Papert, S. (1969). *Perceptrons: An introduction to computational geometry*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Mittelstaedt, H. (1961). *Regelungsvorgänge in lebenden Wesen*. München: Oldenbourg.
- Mohr, W. (1984). *Visuelle Wahrnehmung und Zeichenfunktion*. Regensburg: Roderer.
- Moray, N. (1959). Attention and dichotic listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 11, 56-60.
- Mozer, M.C. (1991). Connectionist music composition based on melodic, stylistic, and psychophysical constraints. Report. Boulder, CO: Institute of Cognitive Science, University of Colorado.
- Münsterberg, H. (1889). *Beiträge zur Experimentalpsychologie. Heft 1*. Freiburg in Breisgau: Mohr.
- Münsterberg, H. (1914). *Psychology, General and Applied*. New York: Appleton.
- Murphy, G.L. & Brownell, H.H. (1985). Category differentiation in object recognition: Typicality constraints on the basic category advantage. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 11, 70-84.
- Murphy, G.L. & Smith, E.E. (1982). Basic level superiority in picture categorization. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 21, 1-20.

- Nakayama, K. & Silverman, G.H. (1986). Serial and parallel processing of visual feature conjunction. *Nature*, 320, 264-265.
- Navon, D. (1977). Forest before trees: The precedence of global features in visual perception. *Cognitive Psychology*, 9, 353-383.
- Navon, D. (1981a). Do attention and decision follow perception? Comment on Miller. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 1175-1182.
- Navon, D. (1981b). The forest revisited: More on global precedence. *Psychological Research*, 43, 1-32.
- Navon, D. (1989a). Attentional selection: early, late, or neither? *European Journal of Cognitive Psychology*, 1, 47-68.
- Navon, D. (1989b). The importance of being visible: On the role of attention in a mind viewed as an anarchic intelligence system. I basic tenets. *European Journal of Cognitive Psychology*, 1, 191-213.
- Navon, D. (1990a). Does attention serve to integrate features? *Psychological Review*, 97, 453-459.
- Navon, D. (1990b). Treisman's search model does not require feature integration: Rejoinder to Treisman (1990). *Psychological Review*, 97, 464-465.
- Navon, D. & Gopher, D. (1977). On the economy of the human processing system. *Psychological Review*, 86, 214-255.
- Neely, J.H. (1977). Semantic priming and retrieval from lexical memory: The role of inhibitionless spreading activation and limited-capacity attention. *Journal of Experimental Psychology: General*, 106, 226-254.
- Neisser, U. (1967). *Cognitive psychology*. New York: Appleton.
- Neisser, U. (1976). *Cognition and Reality*. San Francisco: Freeman.
- Neisser, U. (1978). Anticipations, images, and introspection. *Cognition*, 6, 169-174.
- Nelson, K. (1974). Concept, word, and sentence: Interrelations in acquisition and development. *Psychological Review*, 81, 267-285.
- Nelson, K. (1983). The derivation of concepts and categories from event representations. In E.K. Scholnick (Ed.), *New trends in conceptual representation: Challenges to Piaget's theory?* (pp. 129-149). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Neumann, O. (1984). Automatic processing: A review of recent findings and a plea for an old theory. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes* (pp. 255-294). Heidelberg: Springer.
- Neumann, O. (1985). Die Hypothese begrenzter Kapazität und die Funktionen der Aufmerksamkeit. In O. Neumann (Ed.), *Perspektiven der Kognitionspsychologie*. Heidelberg: Springer.
- Neumann, O. (1987a). Beyond capacity: A functional view of attention. In H. Heuer & A.F. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Neumann, O. (1987b). Zur Funktion der selektiven Aufmerksamkeit für die Handlungssteuerung. *Sprache & Kognition*, 6, 107-125.
- Neumann, O. (1989a). Kognitive Vermittlung und direkte Parameterspezifikation. Zum Problem mentaler Repräsentation in der Wahrnehmung. *Sprache & Kognition*, 8, 32-49.
- Neumann, O. (1989b). On the origin and status of the concept of automatic processing. *Zeitschrift für Psychologie*, 197, 411-428.
- Neumann, O. (1990). Visual attention and action. In O. Neumann & W. Prinz (Eds.), *Relationships between perception and action* (pp. 227-268). Heidelberg: Springer.
- Neumann, O. (1992). Theorien der Aufmerksamkeit: von Metaphern zu Mechanismen. *Psychologische Rundschau*, 43, 69-82.
- Neumann, O. & Prinz, W. (1990a). Prologue: Historical approaches to perception and action. In O. Neumann & W. Prinz (Eds.), *Relationships between perception and action* (pp. 5-19). Heidelberg: Springer.
- Neumann, O. & Prinz, W. (1990b). *Relationships between perception and action: Current approaches*. Heidelberg: Springer.
- Newell, A., Shaw, J.C. & Simon, H.A. (1958). Elements of a theory of human problem solving. *Psychological Review*, 65, 151-166.
- Newell, A. & Simon, H.A. (1961). GPS, a program that simulates human thought. In H. Billing (Ed.), *Lernende Automaten* (pp. 109-124). München: Oldenbourg.
- Nissen, M.J. & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, 19, 1-32.

- Norman, D.A. & Bobrow, D.G. (1975). On data-limited and resource-limited processes. *Cognitive Psychology*, 7, 44-64.
- Norman, D.A. & Bobrow, D.G. (1976). On the analysis of performance operating characteristics. *Psychological Review*, 83, 508-510.
- Oden, G.G. (1977). Fuzziness in semantic memory: Choosing exemplars of subjective categories. *Memory and Cognition*, 5, 198-204.
- Osgood, C.E. (1953). *Method and theory in experimental psychology*. New York: Oxford University Press.
- Osherson, D.N. & Smith, E.E. (1981). On the adequacy of prototype theory of concepts. *Cognition*, 9, 35-58.
- Osherson, D.N. & Smith, E.E. (1982). Gradedness and conceptual combination. *Cognition*, 12, 299-318.
- Ostry, D., Moray, N. & Marks, G. (1976). Attention, practice, and semantic targets. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 2, 326-366.
- Oswald, M. & Gadenne, V. (1984). Wissen, Können und künstliche Intelligenz. *Sprache & Kognition*, 3, 173-184.
- Palmer, S. (1975). The effects of contextual scenes on the identification of objects. *Memory & Cognition*, 3, 519-526.
- Palmer, S. (1977). Hierarchical structure in perceptual representation. *Cognitive Psychology*, 9, 441-474.
- Palmer, S., Rosch, E. & Chase, P. (1981). Canonical perspective and the perception of objects. In J. Long & A. Baddeley (Eds.), *Attention & Performance* (Vol. IX, pp. 135-151). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Parsons, L.M. (1987). Imagined spatial transformations of one's hands and feet. *Cognitive Psychology*, 19, 178-241.
- Pashler, H. (1987). Target-distractor discriminability in visual search. *Perception and Psychophysics*, 41, 285-292.
- Pavlov, I.P. (1927). *Conditioned reflexes*. London: Oxford.
- Pavlov, I.P. (1953). *Gesammelte Werke, Band 3*. Berlin: Akademie-Verlag.
- Perrig, J.W. (1990). Implizites Wissen: Eine Herausforderung für die Kognitionspsychologie. *Schweizerische Zeitschrift für Psychologie*, 49, 234-249.
- Perruchet, P. & Pacteau, C. (1990). Synthetic grammar learning: Implicit rule abstraction or explicit fragmentary knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 264-275.
- Pew, R.W. (1974). Human perceptual motor performance. In B.H. Kantowitz (Ed.), *Human information processing: Tutorials in performance and cognition* (pp. 1-39). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Phaf, R.H., van der Heijden, A.H.C. & Hudson, P.T.W. (1990). SLAM: A connectionist model for attention in visual selection tasks. *Cognitive Psychology*, 22, 273-341.
- Piaget, J. (1972). *Die Entwicklung des Erkennens. Band I: Das mathematische Denken*. Stuttgart: Klett-Cotta (original, 1950).
- Piaget, J. (1975). *Das Erwachen der Intelligenz beim Kinde*. Stuttgart: Klett-Cotta (original, 1959).
- Piaget, J. (1980). Das Verhalten - Triebkraft der Evolution. Salzburg: Müller.
- Pomerantz, J.R. (1983). Global and local precedence: Selective attention in form and motion perception. *Journal of Experimental Psychology: General*, 112, 516-540.
- Pomerantz, J.R., Sager, L.G. & Stoeber, R.J. (1977). Perception of wholes and of their component parts: Some configurational superiority effects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 422-435.
- Posner, M.I. (1980). Orienting of attention. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 32, 3-25.
- Posner, M.I. & Cohen, Y. (1980). Attention and the control of movements. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 243-258). Amsterdam: North Holland.
- Posner, M.I., Goldsmith, R. & Welton, K.E., Jr. (1967). Perceived distance and the classification of distorted patterns. *Journal of Experimental Psychology*, 73, 28-38.
- Posner, M.I., Inhoff, A.W., Friedrich, F.J. & Cohen, A. (1987). Isolating attentional systems: A cognitive-anatomical analysis. *Psychobiology*, 15, 107-121.
- Posner, M.I. & Keele, S.W. (1968). On the genesis of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology*, 77, 353-363.

- Posner, M.I. & Keele, S.W. (1970). Retention of abstract ideas. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 304-308.
- Posner, M.I., Nissen, M.J. & Ogden, W.C. (1978). Attended and unattended processing modes: The role of set for spatial location. In H.L. Pick & I.J. Saltzman (Eds.), *Modes of perceiving and processing information*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Posner, M.I., Petersen, S.E., Fox, P.T. & Raichle, M.E. (1988). Localization of cognitive operations in the human brain. *Science*, 240, 1627-1631.
- Posner, M.I. & Snyder, C.R.R. (1975). Facilitation and inhibition in the processing of signals. In P.M.A. Rabbitt & S. Dornic (Eds.), *Attention and performance* (Vol. 5, pp. 669-682). New York: Academic Press.
- Posner, M.I., Snyder, C.R.R. & Davidson, B.J. (1980). Attention and the detection of signals. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 160-174.
- Poulton, E.C. (1974). *Tracking skill and manual control*. New York: Academic Press.
- Povel, D.J. & Collard, R. (1982). Structural factors in patterned finger tapping. *Acta Psychologica*, 52, 107-124.
- Preuß, M. & Cavegn, D. (1990). Semantische Relationen und Wissensstrukturen: Experimente zur Erkennung der Unter-Oberbegriffs- und Teil-Ganzes-Relation. *Zeitschrift für Psychologie*, 198, 309-333.
- Prinz, W. (1983). *Wahrnehmung und Tätigkeitssteuerung*. Heidelberg: Springer.
- Prinz, W. (1984). Modes of linkage between perception and action. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes* (pp. 185-194). Heidelberg: Springer.
- Prinz, W. (1986). Continuous selection. *Psychological Research*, 48, 231-238.
- Prinz, W. (1987). Ideomotor action. In H. Heuer & A.F. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 47-76). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Prinz, W. (1990a). A common coding approach to perception and action. In O. Neumann & W. Prinz (Eds.), *Relationships between perception and action* (pp. 167-201). Heidelberg: Springer.
- Prinz, W. (1990b). On dynamic pertinence models. In H.G. Geißler (Ed.), *Psychophysical explorations of mental structures* (pp. 411-421). Göttingen: Hogrefe.
- Prinz, W. (1992). Why don't we perceive our brain states? *European Journal of Cognitive Psychology*, 4, 1-20.
- Prinz, W., Aschersleben, G., Hommel, B. & Vogt, S. (im Druck). Handlungen als Ereignisse. In D. Dörner & E. van der Meer (Eds.), *Gedächtnis*. Berlin: Springer.
- Prinz, W. & Nattkemper, D. (1987). Integrating nontarget information in continuous search. *Report No.145 of the research group on perception and action*. Bielefeld: Center for Interdisciplinary Research, University of Bielefeld.
- Prinz, W. & Sanders, A.F. (1984). *Cognition and motor processes*. Heidelberg: Springer.
- Prinzmetal, W., Presti, D.E. & Posner, M.I. (1986). Does attention affect visual feature integration. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 361-369.
- Proctor, W.R. & Reeve, T.G. (1985). Compatibility effects in the assignment of symbolic stimuli to discrete finger responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 623-639.
- Proctor, W.R. & Reeve, T.G. (1986). Salient feature coding operations in spatial precuing tasks. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 12, 277-285.
- Proctor, W.R. & Reeve, T.G. (1988). The acquisition of task-specific productions and modifications of declarative representations in spatial-precuing tasks. *Journal of Experimental Psychology: General*, 117, 182-196.
- Purkinje, J. (1825). Über die Scheinbewegungen, welche im subjectiven Umfang des Gesichtssinnes vorkommen. *Bulletin der naturwissenschaftlichen Sektion der Schlesischen Gesellschaft*, IV, 9-10.
- Raibert, M.H. (1978). Motor control and learning by the statespace model. *Technical Report*. Cambridge: Artificial Intelligence Laboratory.
- Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological Review*, 85, 59-108.
- Ratcliff, R. (1988). Continuous versus discrete information processing: Modeling accumulation of partial information. *Psychological Review*, 95, 238-255.

- Reber, A.S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 6, 855-863.
- Reber, A.S. (1969). Transfer of syntactic structure in synthetic languages. *Journal of Experimental Psychology*, 81, 115-119.
- Reber, A.S. (1976). Implicit learning of synthetic languages: The role of instructional set. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning and Memory*, 2, 88-94.
- Reber, A.S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of Experimental Psychology: General*, 118, 219-235.
- Reber, A.S. (1990). On the primacy of the implicit: Comment on Perruchet and Pacteau. *Journal of Experimental Psychology: General*, 119, 340-342.
- Reber, A.S. & Allen, R. (1978). Analogic and abstraction strategies in synthetic grammar learning: A functionalist interpretation. *Cognition*, 6, 189-221.
- Reed, S.K. (1978). Schemes and theories of pattern recognition. In E.C. Carterette & M.P. Friedman (Eds.), *Handbook of perception. Volume IX: Perceptual processing*. New York: Academic Press.
- Reeve, T.G. & Proctor, R.W. (1984). On the advance preparation of discrete finger responses. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 10, 541-553.
- Reeve, T.G. & Proctor, R.W. (1985). Nonmotoric translation processes in the preparation of discrete finger responses: A rebuttal of Miller's (1985) analysis. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 11, 234-240.
- Reinert, G. (1985). Schemata als Grundlage der Steuerung von Blickbewegungen bei der Bildverarbeitung. In O. Neumann (Ed.), *Perspektiven der Kognitionspsychologie* (pp. 113-146). Heidelberg: Springer.
- Remington, R. (1980). Attention and saccadic eye movements. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 6, 726-744.
- Remington, R. & Pierce, L. (1984). Moving attention and evidence for time-invariant shifts of visual selective attention. *Perception and Psychophysics*, 35, 393-399.
- Rescorla, R.A. (1972). "Configural" conditioning in discrete-trial bar pressing. *Journal of Comparative and Physiological Psychology*, 79, 307-317.
- Rescorla, R.A. (1988). Pavlovian conditioning, it's not what you think it is. *American Psychologist*, 43, 151-160.
- Rescorla, R.A. & Wagner, A.R. (1972). A theory of Pavlovian conditioning: Variations in the effectiveness of reinforcement and non-reinforcement. In A.H. Black & W.F. Prokasy (Eds.), *Classical conditioning II: Current research and theory*. New York: Appleton.
- Restle, F. (1962). The selection of strategies in cue learning. *Psychological Review*, 69, 320-343.
- Restle, F. (1970). Theory of serial pattern learning: Structural trees. *Psychological Review*, 77, 481-495.
- Restle, F. (1976). Structural ambiguity in serial pattern learning. *Cognitive Psychology*, 8, 357-381.
- Restle, F. & Brown, E. (1970). Organization of serial pattern learning. In G.H. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 4, pp. 249-332). New York: Academic Press.
- Riedl, R. (1987). *Begriff und Welt. Biologische Grundlagen des Erkennens und Begreifens*. Hamburg: Parey.
- Rips, L.J., Shoben, E.J. & Smith, E.E. (1973). Semantic distance and the verification of semantic relations. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, 12, 1-20.
- Rizzolatti, G., Riggio, L., Dascola, I., & Umiltà, C. (1987). Reorienting attention across the horizontal and vertical meridians: Evidence in favor of a premotor theory of attention. *Neuropsychologia*, 25, 31-40.
- Robertson, L.C., Palmer, S.E. & Gomez, L.M. (1987). Reference frames in mental rotation. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13, 368-379.
- Robinson, D.L., Goldberg, M.E. & Stanton, G.B. (1978). Parietal association cortex in the primate: Sensory mechanisms and behavioral modulations. *Journal of Neurophysiology*, 41, 910-932.
- Rock, I. (1973). *Orientation and form*. New York: Academic Press.
- Rock, I. & DiVita, J. (1987). A case of viewer-centered object perception. *Cognitive Psychology*, 19, 280-293.
- Rock, I., DiVita, J. & Barbeito, R. (1981). The effect on form perception of change of orientation in the third dimension. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 7, 719-732.

- Rock, I., Wheeler, D. & Tudor, L. (1989). Can we imagine how objects look from other viewpoints? *Cognitive Psychology*, 21, 185-210.
- Rosch, E. (1975). Cognitive representations of semantic categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, 104, 192-233.
- Rosch, E. (1977). Human categorization. In N. Warren (Ed.), *Studies in cross-cultural psychology* (Vol. 1, pp. 3-49). London: Academic Press.
- Rosch, E. & Mervis, C.B. (1975). Family resemblances: Studies in the internal structure of categories. *Cognitive Psychology*, 7, 573-605.
- Rosch, E., Mervis, C.B., Gray, W.D., Johnson, D.M. & Boyes-Braem, P. (1976). Basic objects in natural categories. *Cognitive Psychology*, 8, 382-439.
- Rosenbaum, D.A. (1980). Human movement initiation: Specification of arm, direction, and extend. *Journal of Experimental Psychology: General*, 109, 444-474.
- Rosenbaum, D.A. (1983). The movement precuing technique: Assumptions, applications, and extensions. In R.A. Magill (Ed.), *Memory and control of action*. Amsterdam: North-Holland.
- Rosenbaum, D.A. (1985). Motor programming: A review and scheduling theory. In H. Heuer, U. Kleinbeck & K.H. Schmidt (Eds.), *Motor behavior, programming, control, and acquisition* (pp. 1-33). Heidelberg: Springer.
- Rosenbaum, D.A. (1987). Successive approximations to a model of human motor programming. In G.H. Bower (Ed.), *Psychology of learning and motivation* (Vol. 21, pp. 153-182). Orlando, FL: Academic Press.
- Rosenbaum, D.A., Barnes, H.J. & Slotta, J.D. (1988). In defense of the advance specification hypothesis for motor control. *Psychological Research*, 50, 58-62.
- Rosenbaum, D.A., Gordon, A.M., Stillings, N.A. & Feinstein, M.H. (1987). Stimulus-response compatibility in the programming of speech. *Memory & Cognition*, 15, 372-393.
- Rosenbaum, D.A., Hindorff, V. & Munro, E.M. (1987). Scheduling and programming of rapid finger sequences: Test and elaboration of the hierarchical editor model. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 13, 193-203.
- Rosenbaum, D.A., Inhoff, A.W. & Gordon, A.M. (1984). Choosing between movement sequences: A hierarchical editor model. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 372-393.
- Rosenbaum, D.A., Kenny, S.B. & Derr, M.A. (1983). Hierarchical control of rapid movement sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 9, 86-102.
- Rosenbaum, D.A., Saltzman, E. & Kingman, A. (1984). Choosing between movement sequences. In S. Kornblum & J. Requin (Eds.), *Preparatory states and processes*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Roth, E.M. & Shoben, E.J. (1983). The effect of context on the structure of categories. *Cognitive Psychology*, 15, 346-378.
- Rumelhart, D.E., Hinton, G.E. & Williams, R.J. (1986). Learning internal representations by error propagation. In D.E. Rumelhart, J.L. McClelland & the PDP Research Group (Eds.), *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition* (Vol. 1, pp. 318-362). Cambridge, MA: MIT Press.
- Rumelhart, D.E. & McClelland, J.L. (1982). An interactive activation model of context effects in letter perception: Part 2. The contextual enhancement effect and some tests and extensions of the model. *Psychological Review*, 89, 60-94.
- Rumelhart, D.E. & McClelland, J.L. (1986). *Parallel distributed processing: Explorations in the microstructure of cognition* (Vol. 1). Cambridge, MA: MIT Press.
- Rumelhart, D.E. & Norman, D.A. (1982). Simulating a skilled typist: A study of skilled cognitive-motor performance. *Cognitive Science*, 6, 1-36.
- Rumelhart, D.E., Smolensky, P., McClelland, J.L. & Hinton, G.E. (1986). Schemata and sequential thought processes in PDP models. In J.L. McClelland & D.E. Rumelhart (Eds.), *Parallel distributed processing: 2. Psychological and biological models*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Ryle, G. (1969). *Der Begriff des Geistes*. Stuttgart: Reclam (original 1948).
- Salthouse, T.A. (1984). Effects of age and skill in typing. *Journal of Experimental Psychology: General*, 113, 345-371.

- Schiano, D.J., Cooper, L.A., Glaser, R. & Zhang, H.C. (1989). Highs are to lows as experts are to novices: Individual differences in the representation and solution of standardized figural analogies. *Human Performance*, 2, 225-248.
- Schmidhuber, J.H. (1990). Making the world differentiable: On using self-supervised fully recurrent neural networks for dynamic reinforcement learning and planning in non-stationary environments. *Report FKI-126-90*. München: Institut für Informatik der TU.
- Schmidhuber, J.H. & Huber, R. (1990). Learning to generate focus trajectories for attentive vision. *Technical Report FKI-128-90*. München: Institut für Informatik der TU.
- Schmidt, H.D. (1970). *Allgemeine Entwicklungspsychologie*. Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Schmidt, R.A. (1975). A schema theory of discrete motor skill learning. *Psychological Review*, 82, 225-260.
- Schmidt, R.A. (1982). *Motor control and learning. A behavioral emphasis*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schmidt, R.A. (1988). *Motor control and learning. A behavioral emphasis (2nd edition)*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Schneider, K., Zernicke, R.F., Schmidt, R.A. & Hart, T.J. (1989). Changes in limb dynamics during the practice of rapid arm movements. *Journal of Biomechanics*, 22, 805-817.
- Schneider, W., Dumais, S.T. & Shiffrin, R.W. (1984). Automatic and control processing and attention. In R. Parasuraman & D.R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 1-28). New York: Academic Press.
- Schneider, W. & Shiffrin, R.W. (1977). Controlled and automatic human information processing I: Decision, search, and attention. *Psychological Review*, 84, 1-66.
- Segal, S.J. & Fusella, V. (1970). Influence of imaged pictures and sounds on detection of auditory and visual signals. *Journal of Experimental Psychology*, 83, 458-464.
- Segui, J. & Fraise, P. (1968). Le temps de reaction verbale. iii. Responses specifique et responses categorielle a des stimulus objekts. *Annee Psychologique*, 68, 69-82.
- Sejnowski, T.J. & Rosenberg, C.R. (1987). Parallel networks that learn to pronounce English text. *Complex Systems*, 1, 145-168.
- Seligman, M.E.P. (1970). On the generality of the laws of learning. *Psychological Review*, 77, 406-418.
- Semmlow, J.L., Gauthier, G.M. & Vercher, J.L. (1989). Mechanisms of short-term saccadic adaptation. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 249-258.
- Sergent, J. & Corballis, M.C. (1989). Categorization of disoriented faces in the cerebral hemispheres of normal and commissurotomy subjects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 701-710.
- Servan-Schreiber, E. & Anderson, J.R. (1990). Learning artificial grammars with competitive chunking. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 16, 592-608.
- Shaffer, L.H. (1975). Multiple attention in continuous verbal tasks. In P.M.A. Rabbitt & S. Dornic (Eds.), *Attention and performance* (Vol. V). London: Academic Press.
- Shaffer, L.H. (1980). Analysing piano performance. In G.E. Stelmach & E. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior*. Amsterdam: North-Holland.
- Shaffer, L.H. (1982). Rhythm and timing in skill. *Psychological Review*, 89, 109-122.
- Shanks, D.R. (1985). Continuous monitoring of human contingency judgment across trials. *Memory & Cognition*, 13, 158-167.
- Shannon, C.E. & Weaver, W. (1949). *The mathematical theory of communication*. Urbana, IL.: The University of Illinois Press.
- Shapiro, D.C. & Schmidt, R.A. (1982). The schema theory: Recent evidence and developmental implications. In J.A.S. Kelso & J.E. Clark (Eds.), *The development of movement control and co-ordination* (pp. 113-150). New York: Wiley.
- Shapiro, D.C., Zernicke, R.F., Gregor, R.J. & Diestel, J.D. (1981). Evidence for generalized motor programs using gait pattern analysis. *Journal of Motor Behavior*, 13, 33-47.
- Shaw, M.L. & Shaw, P. (1977). Optimal allocation of cognitive resources to spatial locations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 3, 211-211.
- Shepard, R.N. (1982). Geometrical approximations to the structure of musical pitch. *Psychological Review*, 89, 305-333.

- Shepard, R.N. & Cooper, L.A. (1982). *Mental images and their transformation*. Cambridge, MA: Bradford.
- Shepard, R.N. & Metzler, J. (1971). Mental rotation of three dimensional objects. *Science*, 171, 701-705.
- Shepard, S. & Metzler, D. (1988). Mental rotation: Effects of dimensionality of objects and type of task. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 3-11.
- Sheridan, M.R. (1984). Response programming, response production, and fractionated reaction time. *Psychological Research*, 46, 33-47.
- Simon, H.A. & Kotovski, K. (1963). Human acquisition of concepts for sequential patterns. *Psychological Review*, 70, 534-546.
- Simon, H.A. & Newell, A. (1964). Information processing in computers and man. *American Scientist*, 52, 281-300.
- Simon, J.R., Craft, J.L. & Webster, J.B. (1973). Reactions toward the stimulus source: Analysis of correct responses and errors over a five-day period. *Journal of Experimental Psychology*, 86, 97-102.
- Simon, J.R., Hinrichs, J.V. & Craft, J.L. (1970). Auditory S-R compatibility: Reaction time as a function of ear-hand correspondence and ear-response-location correspondence. *Journal of Experimental Psychology*, 86, 97-102.
- Simon, J.R. & Rudel, A.P. (1967). Auditory S-R compatibility: The effect of an irrelevant cue on information processing. *Journal of Applied Psychology*, 51, 300-304.
- Skinner, B.F. (1938). *The behavior of organisms: An experimental analysis*. Englewood, NJ: Prentice-Hall.
- Skinner, B.F. (1953). *Science and human behavior*. New York: Macmillan.
- Smith, A.W. & Zipser, D. (1989). Encoding sequential structure: Experience with the real-time recurrent learning algorithm. *Report*. La Jolla: Institute for Cognitive Science.
- Smith, E.E. & Medin, D.L. (1981). *Categories and concepts*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Smith, E.E., Osherson, D.N., Rips, L.J. & Keane, M. (1988). Combining prototypes: a selective modification model. *Cognitive Science*, 12, 485-527.
- Smith, E.E., Shoben, E.J. & Rips, L.J. (1974). Structure and process in semantic memory: A featural model for semantic decisions. *Psychological Review*, 81, 214-241.
- Sokolov, E.N. (1963). *Perception and the conditioned reflex*. New York: Pergamon.
- Spelke, E.S., Hirst, W.C. & Neisser, U. (1976). Skills of divided attention. *Cognition*, 4, 215-230.
- Stadler, M.A. (1989). On learning complex procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1061-1069.
- Stasio, T., Herrmann, D.J. & Chaffin, R. (1985). Relation similarity as a function of agreement between relation elements. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 23, 5-8.
- Steller, B. (1992). Der Einfluß von Vorsätzen und Willenskraft auf die Wahrnehmung der vorgenommenen Gelegenheit. *Dissertation*. München: Ludwig-Maximilians-Universität.
- Sternberg, S. (1969). Memory scanning: Mental processes revealed by reaction-time experiments. *American Scientist*, 57, 421-457.
- Sternberg, S., Monsell, S., Knoll, R.L. & Wright, C.E. (1978). The latency and duration of rapid movement sequences: Comparisons of speech and typewriting. In G.E. Stelmach (Ed.), *Information processing in motor control and learning* (pp. 117-152). New York: Academic Press.
- Stroop, J.R. (1935). Studies of interference in serial verbal reactions. *Journal of Experimental Psychology*, 18, 643-662.
- Strube, G. (1990). Neokonnektionismus: Eine neue Basis für die Theorie und Modellierung menschlicher Kognition? *Psychologische Rundschau*, 41, 129-143.
- Takano, Y. (1989). Perception of rotated forms: A theory of information types. *Cognitive Psychology*, 21, 1-59.
- Tanaka, J.W. & Taylor, M. (1991). Object categories and expertise: Is the basic level in the eye of the beholder. *Cognitive Psychology*, 23, 457-482.
- Tarr, M.J. & Pinker, S. (1989). Mental rotation and orientation-dependence in shape recognition. *Cognitive Psychology*, 21, 233-282.
- Taylor, J.G. (1962). *The behavioral basis of perception*. New Haven: Yale University Press.



- Thorndike, E.L. (1905). *The elements of psychology*. New York: Seiler.
- Thorndike, E.L. (1931). *Human learning*. New York: Century.
- Tinbergen, N. (1952). *Instinktlehre*. Berlin, Hamburg: Parey.
- Tolman, E.C. (1932). *Purposive behavior in animals and men*. New York: Appleton.
- Tolman, E.C. (1949). There is more than one kind of learning. *Psychological Review*, *56*, 144-155.
- Tolman, E.C. & Honzik, E. (1930). "Insight" in rats. *University of California Publications in Psychology*, *4*, 215-232.
- Trabasso, T. & Bower, G.H. (1966). Presolution dimensional shifts in concept identification: A test of the sampling with replacement axiom in all-or-none models. *Journal of Mathematical Psychology*, *3*, 163-173.
- Treisman, A. (1960). Contextual cues in selective listening. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, *12*, 242-248.
- Treisman, A. (1964). Verbal cues, language, and meaning in selective attention. *American Journal of Psychology*, *77*, 206-219.
- Treisman, A. (1982). Perceptual grouping and attention in visual search for objects. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *8*, 194-214.
- Treisman, A. (1986). Features and objects in visual processing. *Scientific American*, *255*, 114B-125.
- Treisman, A. (1990). Variations on the theme of feature integration: Reply to Navon (1990). *Psychological Review*, *97*, 460-463.
- Treisman, A. (1991). Search, similarity, and integration of features between and within dimensions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *17*, 652-676.
- Treisman, A. & Gelade, G. (1980). A feature integration theory of attention. *Cognitive Psychology*, *12*, 97-136.
- Treisman, A. & Gormican, S. (1988). Feature analysis in early vision: Evidence from search asymmetries. *Psychological Review*, *95*, 15-48.
- Treisman, A. & Sato, S. (1990). Conjunction search revisited. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *16*, 459-478.
- Treisman, A. & Schmidt, H. (1982). Illusory conjunctions in the perception of objects. *Cognitive Psychology*, *14*, 107-141.
- Tsal, Y. (1983). Movements of attention across the visual field. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *9*, 523-530.
- Tsal, Y. (1989). Do illusory conjunctions support the feature integration theory? A critical review of theory and findings. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 394-400.
- Tsal, Y. (1989). Further comments on feature integration: A reply to Briand and Klein. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *15*, 407-410.
- Tulving, E. (1962). Subjective organization in free recall of "unrelated" words. *Psychological Review*, *69*, 344-354.
- Tulving, E. (1966). Subjective organization and effects of repetition in multitrial free-recall learning. *Journal of Verbal Learning and Verbal Behavior*, *5*, 193-197.
- Tulving, E. (1968). Theoretical issues in free recall. In T.R. Dixon & D.L. Horton (Eds.), *Verbal behavior and general behavior theory*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Turing, A.M. (1950). Computing machinery and intelligence. *Mind*, *59*, 149-182.
- Turvey, M.T. (1977). Preliminaries to a theory of action with reference to vision. In R. Shaw & J. Bransford (Eds.), *Perceiving, acting, and knowing. Toward an ecological psychology* (pp. 211-265). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Turvey, M.T. & Carello, C. (1986). The ecological approach to perceiving-acting: A pictorial essay. *Acta Psychologica*, *63*, 133-155.
- Turvey, M.T., Solomon, H.Y. & Burton, G. (1989). An ecological analysis of knowing by wielding. *Journal of the experimental analysis of behavior*, *52*, 387-407.
- Tversky, A. (1977). Features of similarity. *Psychological Review*, *84*, 327-352.
- Tversky, B. & Hemenway, K. (1983). Categories of environmental scenes. *Cognitive Psychology*, *15*, 121-149.
- Tversky, B. & Hemenway, K. (1984). Objects, parts, and categories. *Journal of Experimental Psychology: General*, *113*, 169-193.

- Ueckert, H. (1988). Denken als Probehandeln. Zur Untersuchung komplexen Problemlösens an Simulationsmodellen. In W. Schönplflug (Ed.), *Bericht über den 26. Kongreß der Deutschen Gesellschaft für Psychologie in Berlin 1988* (Vol. 2). Göttingen: Hogrefe.
- Ullman, S. (1984). Visual routines. *Cognition*, 18, 97-159.
- Umilta, C., Riggio, L., Dascola, I. & Rizzolatti, G. (1991). Differential effects of central and peripheral cues on the reorienting of spatial attention. *European Journal of Cognitive Psychology*, 3, 247-267.
- Underwood, B.J., Ham, M. & Ekstrand, B. (1962). Cue selection in paired-associate learning. *Journal of Experimental Psychology*, 64, 405-409.
- Underwood, B.J., Shaughnessy, J.J. & Zimmermann, J. (1974). The locus of the retention differences associated with degree of hierarchical conceptual structure. *Journal of Experimental Psychology*, 102, 850-862.
- Underwood, G.L. (1976). Semantic interference from unattended printed words. *British Journal of Psychology*, 67, 327-338.
- Underwood, G.L. (1981). Lexical recognition of embedded unattended words: Some implications for reading processes. *Acta Psychologica*, 47, 267-283.
- Vallacher, R.R. & Wegner, D.M. (1985). *A theory of action identification*. Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- van der Heijden, A.H.C. (1987). Central selection in vision. In H. Heuer & A.F. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 421-446). Heidelberg: Springer.
- van der Heijden, A.H.C. (1992). *Selective attention in vision*. London: Routledge.
- van der Meer, E. (1986). What is invariant in event-related knowledge representation? In F. Klix & H. Hagendorf (Eds.), *Human memory and cognitive capabilities: Mechanisms and performances* (Part A, pp. 339-352). Amsterdam: North Holland.
- van Dijk, T.A. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York: Academic Press.
- Viviani, P. (1986). Do units of motor action really exist? In H. Heuer & C. Fromm (Eds.), *Generation and modulation of action patterns* (pp. 201-216). Heidelberg: Springer.
- Viviani, P. & Terzuola, C. (1980). Space-time invariance in learned motor skills. In G.E. Stelmach & J. Requin (Eds.), *Tutorials in motor behavior* (pp. 525-533). Amsterdam: North-Holland.
- von Hofsten, C. (1986). The emergence of manual skills. In M.G. Wade & H.T.A. Whiting (Eds.), *Motor development in children: Aspects of coordination and control* (pp. 167-185). Dordrecht: Nijhoff.
- von Hofsten, C. (1987). Catching. In H. Heuer & A.F. Sanders (Eds.), *Perspectives on perception and action* (pp. 33-46). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- von Hofsten, C. (1989). Transition mechanisms in sensori-motor development. In A. de Ribaupierre (Ed.), *Transition mechanisms in child development: A longitudinal perspective* (pp. 233-258). Cambridge: Cambridge University Press.
- von Hofsten, C. & Rönnqvist, L. (1988). Preparation for grasping an object: A developmental study. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 14, 610-621.
- von Holst, E. (1939). Die relative Koordination als Phänomen und als Methode zentralnervöser Funktionsanalyse. *Ergebnisse der Physiologie*, 42, 228-306.
- von Holst, E. & Mittelstaedt, H. (1950). Das Refferenzprinzip. *Naturwissenschaften*, 37, 464-476.
- von Neumann, J. (1958). *Die Rechenmaschine und das Gehirn*. München: Oldenbourg.
- von Uexküll, J. (1921). *Umwelt und Innenwelt der Tiere*. Berlin.
- von Weizsäcker, V. (1950). *Der Gestaltkreis - Theorie der Einheit von Wahrnehmen und Bewegen*. Stuttgart: Thieme.
- von Wright, J.M. (1968). Selection in immediate visual memory. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 20, 62-68.
- Vygotsky, L.S. (1962). *Thought and language*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Waldmann, M.R. & Holyoak, K.J. (eingereicht). Predictive and diagnostic learning within causal models: Asymmetries in cue competition. *Journal of Experimental Psychology: General*.
- Waldmann, M.R. & Holyoak, K.J. (eingereicht). Sensitivity to within-category correlations in learning: the role of abstract causal knowledge. *Journal of Experimental Psychology*.

- Walker, W.H. & Kintsch, W. (1985). Automatic and strategic aspects of knowledge retrieval. *Cognitive Science*, 9, 261-283.
- Wallace, R.A. (1971). S-R compatibility and the idea of a response code. *Journal of Experimental Psychology*, 88, 354-360.
- Wallace, R.A. (1972). Spatial S-R compatibility effects involving kinesthetic cues. *Journal of Experimental Psychology*, 93, 163-168.
- Wandmacher, J. & Arend, U. (1985). Superiority of global features in classification and matching. *Psychological Research*, 47, 143-157.
- Ward, L.M. (1982). Determinants of attention to local and global features of visual forms. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 8, 562-581.
- Weinert, F.E. & Waldmann, M.R. (1988). Wissensentwicklung und Wissenserwerb. In H. Mandl & H. Spada (Eds.), *Wissenspsychologie* (pp. 161-201). München: Psychologie Verlags Union.
- Weinert, S. (1990). Zum Erwerb sprachanaloger Regeln: Lernmechanismen und Einflußfaktoren. *Dissertation*. Bielefeld: Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft.
- Wender, K.F. (1988). Semantische Netze als Bestandteil gedächtnispsychologischer Theorien. In H. Mandl & H. Spada (Eds.), *Wissenspsychologie* (pp. 55-73). München: Psychologie-Verlags-Union.
- Wertheimer, M. (1923). Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt II. *Psychologische Forschung*, 4, 301-350.
- Wertheimer, M. (1925). *Drei Abhandlungen zur Gestaltpsychologie*. Erlangen: Palm & Enke.
- White, M.J. (1980). Naming and categorization of tilted alphanumeric characters do not require mental rotation. *Bulletin of the Psychonomic Society*, 15, 153-156.
- White, R.W. (1959). Motivation reconsidered: The concept of competence. *Psychological Review*, 66, 297-333.
- Wickens, C.D. (1980). The structure of attentional resources. In R.S. Nickerson (Ed.), *Attention and performance* (Vol. VIII, pp. 239-257). Hillsdale, NJ.: Erlbaum.
- Wickens, C.D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & R. Davies (Eds.), *Varieties of attention* (pp. 63-102). New York: Academic Press.
- Wiener, N. (1948). *Cybernetics or control and communication in the animal and the machine*. New York: Wiley.
- Willingham, D.B., Nissen, M.J. & Bullemer, P. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 15, 1047-1060.
- Winston, M.E., Chaffin, R. & Herrmann, D. (1987). A taxonomy of part-whole relations. *Cognitive Science*, 11, 417-444.
- Witkin, A.P. & Tenenbaum, M. (1983). On the role of structure in vision. In A. Rosenfeld, B. Hope & J. Beck (Eds.), *Human and machine vision* (pp. 481-543). New York: Academic Press.
- Wittgenstein, L. (1971). *Philosophische Untersuchungen*. Frankfurt am Main: Suhrkamp. (original 1953)
- Wolf, W., Deubel, H. & Hauske, G. (1883). Properties of parametric adjustment in the saccadic system. In G. Stelman & P. Vroon (Eds.), *Theoretical and applied aspects of eye movement research* (pp. 79-86). Amsterdam: North Holland.
- Wolfe, J.M., Cave, K.R. & Franzel, S.L. (1989). Guided search: An alternative to the feature integration model for visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 15, 419-433.
- Wolfe, J.M., Yu, K.P., Steward, M.I., Shorter, A.D., Friedman-Hill, S.R. & Cave, K.R. (1990). Limitations on the parallel guidance of visual search: color x color and orientation x orientation conjunctions. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 879-892.
- Wolff, P. (1984). Saccadic eye movements and visual stability: Preliminary considerations towards a cognitive approach. In W. Prinz & A.F. Sanders (Eds.), *Cognition and motor processes*. Heidelberg: Springer.
- Wolff, P. (1985). Wahrnehmungslernen durch Blickbewegungen. In O. Neumann (Ed.), *Perspektiven der Kognitionspsychologie*. Heidelberg: Springer.
- Wolff, P. (1986). Saccadic exploration and perceptual motor learning. *Acta Psychologica*, 63, 263-280.
- Woodworth, R.S. (1958). *Dynamics of behavior*. New York: Holt.
- Wortmann, P.M. (1975). Long-term retention of information as a function of its organization. *Journal of Experimental Psychology: Learning and Memory*, 1, 576-583.

- Wundt, W. (1893). *Grundzüge der Physiologischen Psychologie, Band II (4te Auflage)*. Leipzig: Engelmann.
- Wundt, W. (1907). *Grundriss der Psychologie (8te Auflage)*. Leipzig: Engelmann.
- Wysotski, F. (1974). Simulation von Strategien des Begriffserwerbs und die Bedeutung der kybernetischen Modellierung psychischer Prozesse. In H.G. Geißler & F. Klix (Eds.), *Psychologische Analysen geistiger Prozesse* (pp. 61-65). Berlin: Deutscher Verlag der Wissenschaften.
- Yarbus, A.L. (1967). *Eye movements and vision (B.Haigh, Trans.)*. New York: Plenum Press.
- Zadeh, L.A. (1965). Fuzzy sets. *Information and Control*, 8, 338-353.
- Zadeh, L.A. (1982). A note on prototype theory and fuzzy sets. *Cognition*, 12, 291-297.
- Zernicke, R.F., Schneider, K. & Buford, J.A. (1991). Intersegmental dynamics during gait: Implications for control. In A.E. Patla (Ed.), *Adaptability of human gait* (pp. 187-202). Amsterdam: North Holland.
- Ziefbler, M. (1990). Task dependent selection of object features. *Studia Psychologica*, 32, 41-52.
- Ziefbler, M., Hänel, K. & Hoffmann, J. (1988). Die Programmierung struktureller Eigenschaften von Bewegungsfolgen. *Zeitschrift für Psychologie*, 196, 371-388.
- Ziefbler, M., Hänel, K. & Sachse, D. (1990). The programming of structural properties of movement sequences. *Psychological Research*, 52, 347-358.
- Ziefbler, M. & Hoffmann, J. (1985). Continuous information processing in conceptual identification. *Psychological Research*, 47, 109-118.
- Ziefbler, M. & Hoffmann, J. (1987). Die Verarbeitung visueller Reize und die Steuerung motorischen Verhaltens: Zwei sich wechselseitig beeinflussende Prozesse. *Psychologische Beiträge*, 29, 524-557.
- Zimmer, H.D. (1983). *Sprache und Bildwahrnehmung*. Frankfurt am Main: Haag und Herchen.
- Zimmer, H.D. (1984). Blume oder Rose? Unterschiede in der visuellen Informationsverarbeitung bei Experten und Laien. *Archiv für Psychologie*, 136, 343-361.
- Zimmer, H.D. (1988). Formkonzepte und Bildmarken: Zwei verschiedene Repräsentationen für visuell-sensorische Merkmale? *Sprache & Kognition*, 7, 40-50.
- Zimmer, H. & Biegelmann, U.E. (1990a). Die Herausbildung und Beurteilung von Basisbegriffen in einer artifiziellen Farbhierarchie. *Arbeiten der Fachrichtung Psychologie Nr. 151*. Saarbrücken: Universität des Saarlandes.
- Zimmer, H.D. & Biegelmann, U.E. (1990b). Klassifikation globaler und lokaler Basisbegriffe bei Variation des Merkmal-Onset. *Arbeiten der Fachrichtung Psychologie Nr. 152*. Saarbrücken: Universität des Saarlandes.

## Sachwortverzeichnis

- A**
- Abbildung
    - parafoveale 95, 111, 118
  - Abstraktion 30, 48, 119, 121, 127, 128, 139, 145-147, 153, 190 199, 208, 209, 261
  - Adaptation
    - mehrgleisige 68, 69, 100
  - Äquivalenzklasse 147-153, 161, 182, 275
  - Afferenz 32, 38, 63, 64, 66, 70-72
  - Affordances 33, 34, 47
  - Akkomodation 36, 37
  - Anagramme 143, 144, 148
  - Analogien
    - relationale 233
  - Antizipation
    - Bedürfnis nach 43, 44
    - funktional-topische 200, 284
  - angeborene auslösende Mechanismen (AAM) 41
  - Apperception 24, 75, 76
  - Assimilation 36, 37
  - Aufforderungscharakter 33
  - Aufmerksamkeit
    - premotor hypothesis of selektive 22, 80, 116, 260
    - unwillkürliche 102
    - verdeckte 96, 97, 101, 102
    - visuelle 95, 96, 102, 104, 105, 107, 11
    - willkürliche 102
  - Aufmerksamkeitsfenster 180, 181
  - Auge-Hand-Koordination 264
  - Augenbewegung
    - aktive 61
    - passive 61, 62
  - Automatismus 81, 83, 92
  - automatische Prozesse 81, 82, 83
- B**
- back propagation 274
  - Basisbegriff 139-142, 145, 148-150, 153, 154, 173, 176-179
  - Basisniveau
  - Bedeutung
    - extensionale 137
    - intensionale 138
  - Befriedigungslust 42
  - Bewegungsausführung
    - rhythmische 217
  - Bewegungskommando 31, 60, 61, 62, 66
- Begriff**
- abstrakt 134
  - disjunktiv 122
  - konjunktiv 122
- Begriffsbildung**
- Algorithmen der 123
  - implizite 144
  - Strategien der 123
- Begriffshierarchie 177**
- Begriffsstruktur 123**
- hypothetische 123
- Benennung**
- Begriffsbildung durch 152
- Bezugssystem 118, 178**
- Bezugsvorstellung 200**
- Biomechanik 217**
- Biokinetik 217**
- Blickbewegungen 64, 70, 72-74, 99-104, 117-119, 181, 264, 265**
- Blickfeld 61, 65, 68, 118**
- Blickintention**
- endogene 103
  - exogene 103
- Blockierungsphänomen 253**
- Bool'sche Verknüpfung 123**
- Bool'sche Klassifikationen 124, 125**
- Burlosis 130**
- C**
- category validity 139
  - cathexes 252
  - chunk 239, 243
  - Clusteranalyse
    - hierarchische 224
  - collocation measure 139
  - competitive chunking 239, 241
  - constant mapping 83
- Cue**
- periphere 103
  - zentrale 103
- cue utility 140, 141**
- cue validity 139, 140**
- D**
- datenabhängige Prozesse 81
  - Delta-Regel 131
  - demand value 33

Denken

- Handeln als-ob 285
- sprachgebundenes 268
- sylogistisches 272

Denkgewohnheiten 268, 272

determinierende Tendenz 30

dichotisches Hören 76-78

Disengaging 97

Distraktoren 77, 78, 82, 83, 90, 92, 93,  
104-107, 110, 113-115

Doppelaufgaben 90

E

Efferenz 32, 33, 38, 63-67, 69

Efferenzkopie 31, 32, 62-66, 70, 71

Engaging 97

equivalence beliefs 252

Erinnerungsvorstellung 26, 50

Erkenntnis

- begriffliche 119

Erzeugungsstruktur 237

Evolution 20, 40, 44, 51, 56, 71, 89, 258,  
266

Exafferenz 31, 32, 62, 64, 65, 70

Exemplarmodelle 129, 208

Exemplarrepräsentation

Expertise 143

Explorationsbedürfnis 43, 44

Explorationsverhalten 35, 265, 267

F

Familienähnlichkeit 123-128, 133, 140

feature map 105-107, 110, 112, 116

feeling of efficacy 44

field expectancy 43

Figureneffekt 272

Filtermodelle 87

Fitt'sche Gesetz 100

Fixation 95, 97, 99, 102, 112, 117, 118,  
178, 179, 279

Fixationspunkt 95, 98, 99, 102, 103, 111

Flow-Erlebnis 42

Fovea

foveale Reize 101, 118

- parafoveale Reize 78

Fovealisierung

- antizipative 99, 101

functional defining attributes 115

functional layout 34

funktionale Äquivalenz 146-149, 152, 153,  
161, 178, 274

Funktionslust 42, 44

fuzzy sets 124

G

Geon 169, 171, 172

Geschehenstyp 137

Gestalt

- Gesetze der 165

- psychophysische 164

Gestaltfaktoren 165

Gestaltkreis 32

Gestaltpsychologie 29, 164

global precedence 174

global superiority 173

globale Buchstaben 174, 175

Globalitätseffekt 175

Gottschaldt-Figuren 200

Grammatik

- finite state 228, 229, 232, 233, 240,  
241

- Phrasenstruktur 276

H

habituelle Umwelt 19

Handeln

- als ob 51, 277

- gedankliches 269

- gegenständliches 53, 268

heuristische Techniken 123

Hick'sche Gesetz 187

hidden units 132, 133, 239, 240, 273, 274

high-order-invariants 34

I

identifying responses 90

Imagery

- anticipatory images 35, 50

inflow model 60

Information

- continuous flow of 193

Informationskanal 80

Informationsquelle 15, 16, 19, 21, 182

Informationstheorie

- strukturelle 166, 168, 171

Informationsübertragung

- kaskadenförmig 196

- kontinuierlich 193

inhibition

- of feature maps 110

Innervationsgefühl 26

Instinkt

- instinct to master 43

Integration

- von Merkmalen 104, 106, 107, 111

Intelligenztest 235

Interpolation 190, 210, 212

intuitive Physik 211

## Invariante

- globale 116
- high order 33
- verhaltenssteuernde 112, 114-117, 160, 199, 265, 271

## K

- kanonische Perspektive 155, 156, 161
- kanonische Repräsentation 155, 162

## Klassifikation

- lineare 131
- nicht-lineare 132, 141

## knowledge of result 190

## Kodierung

- Homogenitätskodierung 113

## Kollektivismus 262

## Kommunikation 16, 21, 53, 267, 269

## Kompatibilität

- Effekte der 205, 206, 219

## Kompetenz 42, 44, 85, 262

## Konjunktion

- konjunktive Suche 110

## Konnektionismus 131, 281

## Kontaktlinsen

- prismatische Kontaktlinsen 64, 65

## Kontext

- inkongruent 134
- kongruent 134
- visuell 134

## Kontextabhängigkeit 133, 135

## Kontiguität

- raum-zeitliche 251, 253

## Kontrollillusion 252

## Kontureigenschaften 170

## Konvergenz 71, 117

## Konzentration 80, 81, 88

## Koordination 84, 92, 94

- sensomotorische 36, 67, 264

## Korrektursakkade 73

## Kovariation 67, 99, 101, 118, 179, 197, 257

## L

## Labyrinth 253

## Langzeitgedächtnis 286

## law of effect 251

## law of readiness 251

## Lernen 48, 55

- assoziatives 255
- implizites 211, 228
- korrelatives 66, 67, 69
- latentes 43
- phylogenetisches 258
- sequentielles 228
- Wahrnehmungslernen 34, 73, 90, 156

## Likelihood-Prinzip 168

## Lokation

- egozentrische 71, 72, 99, 102, 117, 173, 183
- relative 99, 118, 178, 179, 183, 280
- lokale Buchstaben 174, 175

## M

## Manipulationstrieb 43

## master map 105, 110

## Meridian-Effekt 101

## mediational responses 132, 274

## mentale Rotation 155, 156, 161, 162

## Merkmale

- begriffsspezifische 131, 146, 173
- explizite 139
- fakultative 125
- free floating 106
- funktionale 114
- globale 109, 141-143, 149, 173, 174, 176-178, 181
- illusionäre 106
- implizite 139
- irrelevante 110, 121, 122, 124, 125
- Komplex- 132, 133
- kontextabhängige 125
- kontextunabhängige 125
- nicht-zufällige 168, 170, 171, 180
- nonaccidental 168, 170, 171, 180
- objektspezifische 158
- obligatorische 125
- orientierungsfreie 160, 161
- orientierungsgebundene 159-161
- relevante 121-124

## Merkmalsassoziation 125

## Merkmalsbildung 126

## Merkmalsmodelle 126, 135

## Merkmals-Integrations-Theorie (MIT) 94, 104, 105

## Merkmalskonfiguration 107, 121, 282

## Merkmalsraum 125

## mehrdimensional 127

## Merkwelt 19

## Midosis 130

## Minimalcode 107

## Modell 17, 19, 123, 124, 279, 285

## mentales 51, 272

## Modellnetzwerk 278, 279, 284, 284

## Monolog

## innerer 268

## Motivation 50

## motivation of effectance 44

N

- Nachbarschaftskontingenzen 231
- Nachbild 61
  - aktives 61
  - passives 62
- Netzwerk 130-136, 140, 274, 288-281, 288
  - konfigural 140, 141
  - konnektionistisch 129, 281, 282, 287
  - rekurrent 272, 273, 275, 277, 279, 239-241, 247
  - semantisch 136

O

- Objektidentifikation 153, 154, 178, 181
- Objektmodell
  - dreidimensionales 154, 155
- Okulomotorik 66
- Orientierungs(un)abhängigkeit 156-160
- Orientierungseffekte 157
- Orientierungsreaktion 89, 111
- Orientierungsreflex 88, 103
- Ortung 72, 102, 117, 118
  - antizipative 117
- outflow model 60, 62
- overshoot 67, 68

P

- Parameterspezifikation 187
  - direkte 92
  - motorische 183
- Partonomen 144
- Phantasie 277
- Planung 286
  - von Handlungen 286
- pop out effect 83, 104, 105, 109
- prägnante Form 167
- preattentional 76
- primal sketch 155
- Primitivcode 166, 167
- Prismenbrille 68
- privileged loops 283
- Programme
  - generalisierte 223
  - hierarchische 218
  - motorische 191, 218, 219, 222, 223, 227
- Prosodie 259
- Prototyp 126-128, 132
- Prozesse
  - automatische 81-83
  - datenabhängige 81
  - kontrollierte 82
  - ressourcenabhängige 81

Q

- Querdisparation 109, 161
- Quintenzirkel 275

R

- Reafferenz 31, 32 47, 62-71, 73, 277
- Reafferenzprinzip 39-33, 62-67
- Reafferenztheorie 63, 64
- Reaktionsparameter 199
- Reaktionsvorbereitung 37, 184-188, 192-194, 196, 198, 203
- Recall 190-192, 208-210
- Recognition
  - by components 167-169, 171
- Reflex 25, 28, 33, 36
  - bedingte 251, 253
  - unbedingte 88
- Reflexbogen 27
- Reflexreize 88
- Reflextheorie 27, 28
- Regeln 271, 273, 274
  - Erwerb von
- reinforcement 252
- reinforcement unit 279
- Reiz
  - exterozeptiv 191, 258
  - interozeptiv 258, 260
- Reizverarbeitung 17, 19, 20, 40, 76, 78, 80 86-88, 93-96, 183, 271
  - selektive 75, 76, 93
- Reizauswahltheorie 131
- Reiz-Reaktionszuordnung 185-198, 233
  - inkompatible 204
  - kompatible 204
- Relationen 43, 105, 125, 126, 132, 135, 136, 276
  - begriffliche 135, 137
  - innerbegriffliche 137, 138, 150
  - partonomische 144
  - richtungssensible 159
  - taxonomische 149-151
  - zwischenbegriffliche 137
- Repräsentation 17, 35, 36, 51-54, 86, 96, 119, 284
  - mentale 95, 105, 144
- Repräsentationsstrukturen 269
- Reproduktion
  - freie 224, 225
  - serielle 226
  - verbale 223, 224, 227, 228
- Rescorla-Wagner-Modell 253, 254
- response preparation 184
- response set 93
- Ressource(n) 79-85, 87, 88, 91, 93, 106
  - multiple 84, 85
  - zentrale 84, 85



Ressourcenannahme 82, 84  
 Ressourcentheorie 81  
 Rhythmen 209, 216, 217  
 rubbery effect 65

## S

Schema 131, 142  
   Recall- 190  
   Recognition- 190  
 Schematheorie 189-182, 200, 201, 208-213  
 Schlüsselreize 21, 41  
 Script 144  
 segregation 109  
 Selbstbelehrung 48  
 Selbstorganisation 29, 164, 171  
 Selektion  
   frühe 77-80, 82, 85, 93, 96, 106  
   späte 78-80, 82, 85, 93  
 Selektionskriterien 79, 89, 90, 106  
   semantische 79, 89, 90  
   sensorische 79, 89, 90  
 Selektivität 34, 75, 76, 85-88, 92-94, 99,  
 111  
   objektspezifische 116  
   ortsspezifische 96, 99  
 shadowing 76  
 Simon-Effekt 204  
 Simulation 123, 140, 235, 240, 247, 272,  
 275, 278, 280-288,  
 Situationsmodell 54  
 Skinner-Box 251, 252  
 Spielen 55, 216, 219  
 Spotlight Theorie 94, 98, 101, 104, 105,  
 117  
 Sprache 29, 53  
   Grammatik der 231  
 sprachliches Verhalten 53, 54, 271  
 Strategien 123, 143  
 Stroop Phänomen 92, 282, 283  
 Struktur  
   generalisierte 247, 271, 275  
   generative 241  
   globale 276, 277  
   grammatische 229, 230  
   lokale 276, 277  
   rhythmische 275  
   statistische 231, 241  
   zeitliche 239, 273  
 Strukturbildung  
   motorische 245  
   sensorische 234, 245  
   sequentielle 224, 233, 235, 239, 242,  
   246, 247, 259, 268  
   visuelle 171  
   von unten nach oben 237

Suche 83, 104-119  
   gezielte 179, 241, 271  
   visuelle 104, 108, 111, 113, 116, 284  
 Syllogismus 272

## T

Target 77, 78, 82, 83, 90, 93, 104, 105,  
 110, 111, 113-116  
   antizipiertes 89  
   konjunktives 110  
 Tätigkeitsgefühl 24, 25  
 Taxonomien 137, 144, 150  
 template 114  
 Tonleiter  
   chromatische 275, 276  
 Tracking 29  
 Training 65, 79, 83, 90, 91, 108, 109  
   mentales 191  
 Transfer  
   Grammatik- 232  
   struktureller 222  
 Transversalität 168, 170, 172, 181  
 tree traversal process 218  
 Typikalität 123-128, 132

## U

Übergangswahrscheinlichkeiten 123, 232,  
 241  
 Übertragungskanal 77  
 Umwelt 15-19, 29, 33, 35, 43-88, 119,  
 129, 137, 272, 277, 278  
   gegenständliche Umwelt  
   symbolische Umwelt 53  
 undershoot 67, 68, 73  
 unscharfe Mengen 124

## V

Verarbeitungskapazität 76, 80,  
 begrenzte 76, 93, 96, 105  
 Verhalten  
   exploratives 119, 265, 267  
   intentionales 35, 39, 45, 47, 265, 272,  
   285  
   objektbezogenes 117, 119, 171  
 Verhaltensbereitschaft 47, 114, 183  
   gewohnheitsmäßige 260  
   vorsätzliche 199  
 Verhaltensgewohnheit 260, 262  
 Verhaltenskontrolle 22, 23, 41, 47-51, 55,  
 87, 91, 114, 192  
 Verhaltenskoordination 264  
 Verhaltensplanung 215, 219, 227, 262,  
 285  
 Verhaltensschema 36, 37, 189, 190, 208,  
 212

Verhaltensvorbereitung 91, 183, 284  
  motorische 192  
  sensorische 192  
visuelle Suche 104, 108, 114, 116, 284  
voluntionale Objektion 200  
Vorhaltespanne 219  
Vorinformation  
  Methode der 183-185, 189, 213  
  Effekte der 186-189, 192, 202  
Vorprogrammierung 219-221  
Vorsatz 30, 103, 200

## W

Wahlreaktion 143  
  sequentielle 228, 233, 240  
Wahrnehmung  
  direkte 34  
  selektive 76, 85, 87, 94, 265  
  ökologische 33  
Wahrnehmungslernen 34, 73, 90, 156  
Wahrnehmungsurteil 74  
Weg-Zeit-Kurven 217  
Wissen  
  deklaratives Wissen 52, 53, 227  
  prozedurales Wissen 52, 54  
  sprachgebundenes Wissen 54, 176  
Wissensrepräsentation 52, 54  
Wortlisten  
  situational strukturierte 224  
  kategorial strukturierte 224

## X

Xor-Verbindung 254, 255

## Z

Zahlenfolgen 238  
Zeitrafte 277  
Ziel 18, 30, 40, 43, 46, 48, 49, 54, 55,  
  65, 73, 74, 100, 149  
  implementiertes 279  
  selbstgewähltes 262  
  Verhaltensziel 33, 50, 55, 190, 210,  
  262, 279  
  vorgegebenes 262, 279, 280, 281  
Zweipunktpeilung 71, 99

## Namensverzeichnis

- Abramson, L.Y. 252  
Ach, N. 29, 30, 47, 120, 121, 200  
Adams, J.A. 189  
Aebli, H. 51  
Allan, L.G. 252  
Allen, R.B. 230, 239, 240  
Alloy, L.B. 252  
Allport, D.A. 37, 79, 81, 86, 93, 99  
Amsterdam, J.B. 101, 178, 179  
Anderson, J.R. 51, 135, 140, 239, 260  
Anglin, J.M. 139  
Anochin, P.K. 254  
Anstis, T. 65  
Antes, J.R. 133  
Antonis, B. 79  
Arend, U. 173, 175  
Armstrong, S.L. 124  
Aschersleben, G. 204, 207  
Ashcraft, M.A. 124, 125  
Austin, G.A. 123
- Bach, J.S. 275  
Bachant, J. 61  
Baker, A.G. 254  
Bamber, D. 65  
Barbeito, R. 156  
Barclay, J.R. 134  
Barnes, H.J. 189  
Barsalou, L.W. 125, 134  
Bauer, J. 264  
Beckmann, J. 30, 92  
Berlyne, D.E. 43  
Berry, D.C. 211, 260  
Bethell-Fox, C.E. 156  
Biederman, I. 104, 133, 162, 163, 167-170  
Biegelmann, U.E. 141, 170, 177  
Bischof, N. 17, 60  
Bizot, E. 229  
Bjork, E.J. 78  
Blanchard-Fields, F. 231  
Bobrow, D.G. 80, 81  
Boer, L.C. 175  
Bolles, R.C. 252, 253, 264, 283  
Boltz, M. 260  
Boring, E.G. 164  
Bosshardt, H.G. 82  
Bourne, L.E. 131  
Bousfield, W.A. 224
- Bower, G.H. 123, 130, 135, 140, 141, 165, 281  
Boyce, S.J. 133  
Boyes-Braem, P. 139  
Bradshaw, J.L. 78  
Bransford, J.D. 126, 134  
Briand, K.A. 105, 106  
Bridgeman, B. 61  
Brindley, G.S. 61  
Broadbent, D.E. 77, 211, 260  
Brogan, D. 73  
Brooks, L.R. 128, 232, 233  
Brown, V. 97, 100  
Brown, R. 139  
Brown, A.L. 254  
Brown, E.R. 236-238  
Brownell, H.H. 139  
Bruce, V. 59  
Bruner, J.S. 123  
Brunswick, E. 167  
Buffart, H. 166, 167  
Buford, J.A. 217  
Bühler, K. 42, 54  
Bullemer, P. 230, 234, 235  
Bunge, B. 125  
Burr, D.J. 131  
Burton, G. 162  
Bushnell, M.C. 101  
Buss, R.R. 231  
Butler, P.B. 157  
Buytendijk, F.J.J. 32  
Byrne, R.M.J. 272
- Caharack, G. 83  
Campbell, J.A. 130, 219  
Carello, C. 37, 162  
Carey, S. 254, 258  
Carlson, R.A. 231  
Carpenter, P.A. 156  
Caurough, J.H. 189  
Cave, K.R. 96, 109-111  
Cavegn, R. 150  
Chaffin, R. 136, 137  
Chajczyk, D. 78  
Chase, P. 155, 224  
Chase, W.G. 227  
Cherry, E.C. 77  
Chi, M. 142  
Cho, J.R. 231

- Christian, P. 32  
 Clark, E.V. 142  
 Cleeremans, A. 229, 232, 240, 241  
 Cohen, A. 97, 106, 229, 230, 234  
 Cohen, J.D. 282, 283  
 Cohen, L.B. 142  
 Cohen, Y. 101  
 Collard, R. 217  
 Collins, A.M. 135  
 Coltheart, M. 77  
 Cooper, L.A. 142, 155-158  
 Corballis, M.C. 157-159  
 Cordier, F. 124  
 Coren, S. 73  
 Corteen, R.S. 78  
 Corter, J.E. 139-141  
 Craft, J.L. 204, 205  
 Crisafi, M.A. 139  
 Crisp, J. 109  
 Csikszentmihalyi, I.S. 42  
 Csikszentmihalyi, M. 42  
 Czyzewska, M. 229  
  
 Damos, D.L. 91  
 Dark, V.J. 78, 85  
 Dascola, I. 101  
 Davidson, B.J. 95, 96  
 Dawson, M.E. 78  
 de Jong, R. 194  
 Denis, M. 134  
 Derr, M.A. 215-218  
 Deubel, H. 65-68, 72, 73, 264  
 Deutsch, D. 78  
 Deutsch, J.A. 78  
 Dewey, G.I. 231  
 Dewey, J. 27, 28, 47  
 Dickinson, A. 252  
 Diestel, J.D. 217  
 DiVita, J. 156  
 Dominowski, R.L. 131  
 Dorn-Mahler, H. 267  
 Dörner, D. 37, 123, 211  
 Downing, C.J. 96  
 Driver, J. 109  
 Druhan, B. 231  
 Dubois, D. 124, 134  
 Düker, H. 91  
 Dulany, D.E. 231  
 Dumais, S.T. 81, 83  
 Dunbar, K. 282, 283  
 Duncan, J. 79, 112-114, 260  
 Duncker, K. 200, 284  
 Dunn, D. 78  
  
 Easton, T.A. 217  
 Eckes, T. 121, 128  
  
 Egeth, H.E. 78, 79, 105  
 Ekstrand, B.R. 114, 131  
 Elman, J.L. 131, 239, 240, 273, 275  
 Ennenbach, W. 32  
 Epstein, W. 166  
 Ericsson, K.A. 227  
 Eriksen, B. 92  
 Eriksen, C.W. 92, 96, 97, 193  
 Ervin, F. 254  
 Estes, W.K. 130, 131  
 Evenden, J. 252  
 Eyferth, K. 253  
 Eysenck, M.W. 15  
  
 Fagan, J.F. 142  
 Feinstein, M.H. 219  
 Fendrich, R. 65  
 Festinger, L. 65, 73  
 Fey, D.A. 65, 68  
 Fieberg, E. 211  
 Findley, J. 73  
 Fisk, A.D. 79  
 Flynn, R.A. 101, 178, 179  
 Fox, P.T. 97  
 Fracker, M.L. 91  
 Fraisse, P. 139  
 Frankolini, C.M. 79  
 Franks, J.J. 126, 134  
 Franzel, S.L. 109  
 Frege, G. 121  
 Friedman-Hill, S.R. 111  
 Friedrich, F.J. 97  
 Funk-Müldner, K. 267  
 Fusella, V. 87  
  
 Gadenne, V. 51  
 Gallistel, C.R. 258  
 Garbart, H. 105  
 Garcia, J. 254  
 Gatti, S.W. 78  
 Gauthier, G.M. 67  
 Gawryszewski, L.G. 97  
 Gelade, G. 104, 106  
 Gelman, R. 254  
 Gibson, J.J. 33, 61, 89  
 Gibson, E.J. 89  
 Glaser, R. 142  
 Glaser, W.R. 92  
 Glaser, M.O. 92  
 Glass, A.L. 133, 135, 165  
 Gleitman, L.R. 124  
 Gleitman, H. 79, 124  
 Gluck, M.A. 130, 131, 135 139-141, 281  
 Glucksberg, S. 125  
 Goede, K. 123  
 Goldberg, M.E. 101

- Goldsmith, R. 126, 127  
 Gollwitzer, P.M. 30, 200, 252  
 Gomez, L.M. 156  
 Goodman, D. 187  
 Goodnow, J.J. 123  
 Gopher, D. 84  
 Gordon, A.M. 219, 220  
 Gormican, S. 104-106  
 Goschke, T. 134, 266  
 Gottschaldt, K. 200  
 Grabowski-Gellert, J. 267  
 Gray, W.D. 139  
 Green, P.R. 59  
 Greeno, J.G. 236, 239  
 Gregor, R.J. 217  
 Gregory, R.L. 167  
 Groos, K. 54  
 Grosser, U. 106-108, 111, 112, 115, 139, 140, 170, 175-177  
 Gruber, H. 142  
 Grunkel, M. 217  
 Grüsser, O.J. 19, 60, 61  
 Grüsser-Cornehls, U. 19  
 Guiard, Y. 205  
 Guthrie, E.R. 251
- Hajos, A. 65, 68  
 Ham, M. 114  
 Hampson, S.E. 127, 139  
 Hampson, P.J. 35  
 Hänel, K. 220-222  
 Hanson, S.J. 131  
 Harlow, H.F. 43  
 Hart, T.J. 217  
 Hasbroucq, T. 205  
 Hassenstein, B. 29  
 Hatfield, G. 166  
 Hatsopoulos, N. 130  
 Hauske, G. 65, 67  
 Hayes-Roth, B. 125  
 Hayes-Roth, F. 125  
 Heckhausen, H. 92  
 Hein, A. 66, 68  
 Heinz, S.P. 78  
 Held, R. 66, 68, 264  
 Helmholtz, H. 60, 95, 167  
 Hemenway, K. 125, 140  
 Hendrick, L. 43  
 Henning, H. 86, 93  
 Henry, F.M. 219  
 Herrmann, D.J. 136, 137  
 Herrmann, T. 267  
 Hess, W.R. 264  
 Heuer, H. 37, 67, 90, 189, 192, 211  
 Hill, T. 211, 229  
 Hindorff, V. 219, 220
- Hinrichs, J.V. 204  
 Hinton, G.E. 274, 277, 278  
 Hintzman, D.J. 128  
 Hirst, W.C. 83  
 Hochberg, J. 166, 167  
 Hockey, R. 97, 100,  
 Hoffman, J. 175  
 Hoffman, H. 229  
 Hoffman, D.D. 168  
 Hoffman, J.E. 83, 101, 175  
 Hoffmann, J. 52, 79, 106-108, 111, 112, 115, 121-128, 133-150, 160, 170, 174-180, 187-189, 193-203, 211, 213, 220, 221, 224-228, 230, 232, 255, 256, 260  
 Holland, J.H. 255, 257  
 Holyoak, K.J. 135, 254, 255, 257 281  
 Hommel, B. 204, 205, 207  
 Honzik, E. 253  
 Hoppe-Graff, S. 267  
 Horrell, J.F. 189  
 Houck, M.R. 83  
 Huber, R. 279, 280, 284, 285  
 Hudson, P.T.W. 282  
 Hull, C.L. 41, 120, 121, 145 252  
 Humphreys, G.W. 82, 112, 113  
 Hunt, E.B. 123  
 Hurwitz, J. 130
- Inhoff, A.W. 97, 219, 220  
 Irwin, D.E. 193  
 Ivry, R. 106, 229, 230, 234
- Jacobs, A.M. 73
- James, W. 25, 26, 46, 50, 60, 260  
 Johnson, D.M. 139  
 Johnson, S.C. 224  
 Johnson-Laird, P.N. 53, 136, 138, 272  
 Johnston, W.A. 78, 85  
 Jolicoeur, P. 139, 148, 157, 160  
 Jones, G.V. 139  
 Jones, M.R. 239, 260  
 Jonides, J. 79, 105  
 Jordan, M.I. 239  
 Ju, G. 170  
 Julesz, B. 104  
 Just, M.A. 156
- Kahneman, D. 78, 80, 85  
 Kamin, L.J. 253  
 Kämpf, U. 139, 148, 170  
 Katz, A.N. 125  
 Kawamoto, A.H. 135  
 Keane, M.T. 15, 134

- Keele, S.W. 126, 127, 218, 229, 230,  
 234  
 Keil, F.C. 254, 258  
 Kelso, J.A. 187  
 Kemke, C. 129  
 Kenny, S.B. 215-218  
 Kidd, G. 260  
 Kinchla, R.A. 175  
 Kingman, A. 220  
 Kingstone, A. 98, 100, 103  
 Kinney, R.F. 252  
 Kintsch, W. 53, 224, 286  
 Klahr, D. 224  
 Klapp, S.T. 219  
 Klein, R. 98, 100, 103, 107, 133, 134,  
 177  
 Klein, R.M. 105, 106  
 Klettke, W. 142, 211  
 Klimesch, W. 121, 125, 126  
 Klix, F. 17, 41, 55, 88, 121, 123, 125,  
 137, 163, 167  
 Kluwe, R.H. 125  
 Knoll, R.L. 219  
 Koelling, R.A. 254  
 Koffka, K. 29, 33, 164  
 Koh, K. 254, 257  
 Kohl, K. 219  
 Kohler, I. 57, 68, 72  
 Köhler, W. 164  
 Kolers, P.A. 157  
 Koppelberg, D. 134  
 Koriat, A. 157  
 Kornmüller, A.E. 61  
 Kosslyn, S.M. 96, 101, 139, 178, 179  
 Kotovski, K. 235, 236  
 Kounios, J. 193  
 Kremer, E.F. 254  
 Krist, H. 211  
 Kuhl, J. 30  
  
 La Berge, D. 81, 96, 97, 100  
 La Heij 92  
 Lambert, A.J. 79, 97-100  
 Landau, M.J. 157  
 Landauer, T.K. 128  
 Langer, E.J. 252  
 Lass, U. 142, 211  
 Leeuwenberg, E. 166, 167  
 Lewicki, P. 211, 229-232  
 Lewin, K. 29, 33, 199, 200  
 Linschoten, J. 161  
 Loftus, E.F. 135  
 Logan, G.D. 128  
 Lorenz, K. 19, 20, 71  
 Lotze, H. 23, 38, 46, 50  
 Lovelace, E.A. 224  
  
 Lowe, D.G. 168  
 Lüer, G. 142, 146, 211  
 Lutz, W. 123  
  
 Mack, A. 61, 65  
 Mackintosh, N.J. 254  
 Maki, R.H. 157  
 Mandler, G. 15, 224  
 Mannes, S.M. 286  
 Manzey, D. 82, 84, 91  
 Marin, J. 123  
 Marks, G. 77, 79  
 Marr, D. 154, 247  
 Martin, M. 175  
 Mathews, R.C. 231, 232  
 Matin, L. 60  
 McAllister, E.A. 166  
 McCarrell, N.S. 134  
 McClelland, J.L. 129-135, 194, 229, 232,  
 240, 241, 277, 278, 282, 283  
 McCloskey, M. 125, 211  
 McGowan, B.K. 254  
 McLeod, P. 109, 283  
 Medin, D.L. 121, 127-129, 134, 139  
 Merton, D.A. 217  
 Merton, P.A. 61  
 Mervis, C.B. 127, 139  
 Metzger, R.L. 133  
 Metzger, W. 29, 164  
 Metzler, J. 155, 156  
 Meurer, K. 123  
 Meyer, D.E. 128, 193  
 Meyers, L.S. 134  
 Miller, G.A. 230, 231  
 Miller, J. 98, 100, 175, 188, 189, 193,  
 194, 201  
 Miller, J.M. 65, 67, 73  
 Milliken, B. 157, 160  
 Minsky, M. 131  
 Mittelstaedt, H. 29, 30-32, 62  
 Mohr, W. 92  
 Monsell, S. 219  
 Moray, N. 77, 79  
 Morris, P.E. 35  
 Mozer, M.C. 275  
 Mulder, L.J.M. 194  
 Mulder, G. 194  
 Munro, E.M. 219, 220  
 Münsterberg, H. 26, 27, 50, 153  
 Murphy, T.D. 97  
 Murphy, G.L. 139, 177  
 Murray, J.T. 78  
  
 Nagourney, B.A. 157, 159  
 Nakayama, K. 109  
 Nattkemper, D. 113

- Navon, D. 79, 84, 106, 110, 173, 175  
 Neely, J.H. 81  
 Neisser, U. 18, 34, 35, 50, 78, 83  
 Nelson, B. 83  
 Nelson, K. 143, 144  
 Neumann, O. 23, 29, 37, 76, 78, 82-86,  
 91, 93, 99, 101, 118  
 Newell, A. 16  
 Nisbett, R.E. 254, 255  
 Nishihara, H.K. 154  
 Nissen, M.J. 95, 229, 230, 234, 235  
 Nitsch, K. 134  
 Norman, D.A. 80, 81  
 Norman, J. 157, 217
- Oden, G.G. 124, 127  
 Ogden, W.C. 95  
 Ono, H. 65  
 Osgood, C.E. 131, 274  
 Osherson, D.N. 127, 134  
 Osman, A.M. 193  
 Ostry, D. 77, 79  
 Oswald, M. 51
- Pacteau, C. 230, 231  
 Palmer, S. 133, 155, 156, 164, 165  
 Pani, J.R. 139  
 Papert, S. 131  
 Parsons, L.M. 158  
 Pashler, H. 113  
 Pavlov, I.P. 88, 251  
 Penland, J.G. 133  
 Perkins, D.N. 157  
 Perrig, J.W. 228  
 Perruchet, P. 230, 231  
 Petersen, S.E. 97  
 Pew, R.W. 218  
 Phaf, R.H. 282  
 Piaget, J. 36, 51, 54, 55  
 Pierce, L. 97,  
 Pinker, S. 96, 157-160  
 Pleune, J. 65  
 Podgorny, P. 156  
 Pollatsek, A. 133  
 Pomerantz, J.R. 173, 175  
 Pontefract, A. 103  
 Posner, M.I. 79, 81, 95-98, 101, 106,  
 126, 127, 283  
 Poulton, E.C. 29  
 Povel, D.J. 217  
 Presti, D.E. 106  
 Preuß, M. 137, 150  
 Prinz, W. 23, 29, 35, 39, 63, 71, 86, 93,  
 113, 115, 204, 207  
 Prinzmetal, W. 106  
 Proctor, W.R. 188, 189, 194, 201
- Purkinje, J. 61
- Quillian, M.R. 135  
 Quinlan, P.T. 112
- Raibert, M.H. 217  
 Raichle, M.E. 97  
 Ratcliff, R. 128, 193  
 Rayner, K. 133  
 Reaves, C.C. 83  
 Reber, A.S. 230-232  
 Reed, S.K. 155  
 Rees, E. 142  
 Reeve, T.G. 188, 189, 194, 201  
 Reinert, G. 134  
 Remington, R. 97, 101  
 Rescorla, R.A. 253, 254  
 Restle, F. 123, 131, 166, 167, 236, 237,  
 238  
 Reynolds, P. 79  
 Rhoades, R.W. 134  
 Richards, W.A. 168  
 Riddoch, M.J. 112  
 Riedl, R. 55, 163  
 Riggio, L. 97, 101  
 Rips, L.J. 125, 134  
 Rizzolatti, G. 97, 101  
 Robertson, L.C. 156  
 Robinson, D.L. 101  
 Rock, I. 155-158  
 Rogers, D.F. 218  
 Rönqvist, L. 37  
 Rosch, E. 124, 127, 139, 140, 143, 155  
 Rosenbaum, D.A. 37, 184, 186, 187, 189,  
 192, 215, 216, 218-220  
 Rosenberg, C.R. 131  
 Roth, E.M. 134  
 Rudel, A.P. 204  
 Ruhlender, P. 142, 211  
 Rumelhart, D.E. 129, 132-135, 217, 274,  
 277, 278  
 Rushkova, N. 225, 226  
 Ryle, G. 51
- Sachse, D. 222  
 Sager, L.G. 173  
 Salthouse, T.A. 217, 219  
 Saltzman, E. 220  
 Sanders, A.F. 37  
 Sasaki, I. 211  
 Sato, S. 109, 110  
 Schaub, H. 37  
 Schell, A.M. 78  
 Schiano, D.J. 142  
 Schmidhuber, J.H. 279, 280, 284, 285  
 Schmidt, H. 104, 106

- Schmidt, H.D. 19  
 Schmidt, R.A. 37, 189, 191, 209, 212,  
 217  
 Schmuck, P. 136  
 Schneider, K. 217  
 Schneider, W. 79, 81, 83, 115  
 Schultz, D.W. 92, 193  
 Sedgewick, C.H.W. 224  
 Segal, S.J. 82  
 Segui, J. 139  
 Sejnowski, T.J. 131  
 Selig, R. 123  
 Seligman, M.E.P. 254  
 Semmlow, J.L. 67  
 Sergeant, J. 158  
 Servan-Schreiber, E. 239, 260  
 Shaffer, L.H. 81, 91, 217, 218  
 Shaffer, M.M. 128, 134  
 Shanks, D.R. 252  
 Shannon, C.E. 15, 19  
 Shapiro, D.C. 191, 209, 217  
 Shaughnessy, J.J. 226  
 Shaw, P. 98, 101  
 Shaw, M.L. 98, 101  
 Shaw, J.C. 16  
 Shepard, R.N. 155-158, 275  
 Sheridan, M.R. 219  
 Shetzer, L.T. 157  
 Shiffrin, R.W. 81, 83, 112, 115  
 Shoben, E.J. 125, 134  
 Shorter, A.D. 111  
 Silverman, G.H. 109  
 Simon, J.R. 204, 205  
 Simon, H.A. 16, 235, 236, 239  
 Singer, L.T. 142  
 Skinner, B.F. 54, 252  
 Slotta, J.D. 189  
 Smith, A.W. 239, 240  
 Smith, E.E. 121, 125-129, 134, 177  
 Smolensky, P. 277, 278  
 Snyder, C.R.R. 81, 95, 96  
 Sokolov, E.N. 88  
 Solis-Macias, V. 175  
 Solomon, H.Y. 162  
 Spelke, E.S. 83  
 St. James, J.D. 96  
 Stacy, E.W. 133  
 Stadler, M.A. 234  
 Stanley, W.B. 231  
 Stanton, G.B. 101  
 Stasio, T. 137  
 Stäudel, T. 37  
 Steedman, M. 272  
 Steller, B. 200  
 Sternberg, S. 193, 219  
 Steward, M.I. 111  
 Stillings, N.A. 219  
 Stoever, R.J. 173  
 Stone, P.J. 123  
 Strauss, M.S. 142  
 Strohschneider, S. 37  
 Stroop, J.R. 91  
 Strube, G. 129  
 Takano, Y. 159, 160  
 Tanaka, J.W. 148  
 Tarr, M.J. 157, 158, 160  
 Taylor, J.G. 65, 148  
 Templeton, W.B. 65  
 Tenenbaum, M. 104, 168  
 Terzuola, C. 217  
 Thagard, P.R. 255  
 Thorndike, E.L. 41, 252  
 Tinbergen, N. 19, 21, 40  
 Tolman, E.C. 33, 43, 252, 253  
 Trabasso, T. 123  
 Treisman, A. 78, 80, 85, 104, 105, 106,  
 109, 110  
 Tsal, Y. 97, 106  
 Tudor, L. 156  
 Tulving, E. 224  
 Turvey, M.T. 37, 162  
 Tversky, A. 125  
 Tversky, B. 140  
 Ueckert, H. 285  
 Ulbrich, P. 123  
 Ullman, S. 97  
 Umilta, C. 97, 101, 103  
 Underwood, G.L. 78  
 Underwood, B.J. 114, 226  
 Vallacher, R.R. 263  
 van der Heijden, A.H.C. 77, 86, 93, 116,  
 282  
 van der Meer, E. 137  
 van Dijk, T.A. 53  
 Vercher, J.L. 67  
 Virzi, R.A. 105  
 Viviani, P. 217  
 Vogt, S. 204, 207  
 Vokey, J.R. 232, 233  
 von Holst, E. 30-32, 46, 62, 64, 217  
 von Hofsten, C. 39, 264  
 von Neumann, J. 15  
 von Uexküll, J. 19  
 von Weizsäcker, V. 32  
 von Wright, J.M. 77  
 Vygotski, L.S. 268  
 Wagner, A.R. 253  
 Waldmann, M.R. 258, 281



- Walker, W.H. 224  
 Wall, S. 105  
 Wallace, R.A. 204  
 Wandmacher, J. 173, 175  
 Wang, G. 101, 178, 179  
 Ward, L.M. 175  
 Wattenmaker, W.D. 127, 139  
 Weaver, W. 15, 19  
 Webster, J.B. 205  
 Wegner, D.M. 263  
 Weinert, F.E. 30, 258  
 Weinert, S. 259, 276, 277  
 Welton, K.R. 126, 127  
 Wender, K.F. 136  
 Wertheimer, M. 164  
 Wheeler, D. 156  
 White, M.J. 157  
 White, R.W. 43, 49  
 Wickens, C.D. 84, 91  
 Wiener, N. 15  
 Wierda, M. 194  
 Williams, R.J. 274  
 Willingham, D.B. 230, 234, 235  
 Winston, M.E. 137  
 Winterhoff-Spurk, P. 267  
 Witkin, A.P. 104, 168  
 Wittgenstein, L. 124  
 Wolf, M. 137  
 Wolf, W. 65, 67  
 Wolfe, J. 175  
 Wolfe, J.M. 109, 110, 111  
 Wolff, P. 61, 65, 70-73, 180  
 Wolke, D. 125  
 Wood, B. 78  
 Woodworth, R.S. 49  
 Wortmann, P.M. 224  
 Wright, C.E. 219  
 Wundt, W. 24, 25, 46, 75  
 Wysotzki, F. 123
- Yarbus, A.L. 103  
 Yu, K.P. 111
- Zadeh, L.A. 124  
 Zbrodoff, J. 157  
 Zernicke, R.F. 217  
 Zhang, H.C. 142  
 Ziefler, C. 176  
 Ziefler, M. 124, 125, 139-143, 170, 174-  
 176, 187-189, 193-199, 220-222  
 Zimmer, H.D. 138, 139, 141, 148, 149,  
 170, 177  
 Zimmermann, J. 226  
 Zipser, D. 131, 239, 240