

Hermann J. Müller
Joseph Krummenacher
Torsten Schubert

Aufmerksamkeit und Handlungs- steuerung

Grundlagen für die Anwendung

 Springer

Aufmerksamkeit und Handlungssteuerung

Hermann J. Müller
Joseph Krummenacher
Torsten Schubert

Aufmerksamkeit und Handlungssteuerung

Grundlagen für die Anwendung

Autoren

Hermann J. Müller

Ludwig-Maximilians-Universität München
Allgemeine und Experimentelle Psychologie
München, Deutschland

Torsten Schubert

Humboldt-Universität Berlin
Institut für Psychologie
Berlin, Deutschland

Joseph Krummenacher

Ludwig-Maximilians-Universität München
Allgemeine und Experimentelle Psychologie
München, Deutschland

ISBN 978-3-642-41824-2 ISBN 978-3-642-41825-9 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-642-41825-9

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie;
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de/abruflbar>.

Springer

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2015

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils geltenden Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutzgesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürfen.

Planung und Lektorat: Marion Krämer, Anja Groth
Redaktion: Maren Klingelhöfer

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier.

Springer DE ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com

Vorwort

Die Fähigkeit, aus der Fülle sensorischer Reize die Teilmenge auszuwählen, die zielgerichtetes Verhalten und Denken ermöglicht, ist ein zentraler Bestandteil der menschlichen Informationsverarbeitung. Die Untersuchung der Komponenten und Interaktionen zwischen Komponenten dieser Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit bildet ein wichtiges Teilgebiet der Erforschung des menschlichen Verhaltens, und die in Grundlagenstudien gefundenen Ergebnisse haben direkte Bedeutung nicht nur für alle Teilgebiete der Psychologie, sondern auch für alle Disziplinen, die sich mit spezifischen Aspekten menschlichen Handelns befassen, wie etwa die Ergonomie, die Sportwissenschaften, die Pädagogik oder die Medizin. Aufgrund der großen Bedeutung der selektiven Aufmerksamkeit hat sich seit Anfang der 70er-Jahre des letzten Jahrhunderts eine Reihe von wissenschaftlichen Ansätzen zur Erforschung der Prozesse und Mechanismen entwickelt, die der Selektionsfunktion zugrunde liegen. Diese sich methodisch und theoretisch gegenseitig ergänzenden Forschungsanstrengungen haben zu interessanten Erkenntnissen geführt, deren aktueller Stand im vorliegenden Buch zusammenfassend dargestellt ist und in Zusammenhang mit Alltagsszenarien gebracht wird. Die Beschreibung von Forschungsfragen und Untersuchungsergebnissen in chronologischer Abfolge hat zum Ziel, die schrittweise Entwicklung des Wissens zur selektiven Aufmerksamkeit nachzuzeichnen, wodurch sich auch das Verständnis der Leserin und des Lesers graduell erweitert. Das Buch beinhaltet eine Reihe von Beispielen aus dem täglichen Leben, die zur Veranschaulichung der Bedeutung einzelner Fragestellungen und Forschungsinteressen dienen, und die Inhalte werden am Ende jedes Kapitels in wenigen Abschnitten zusammengefasst.

Selektive Aufmerksamkeit kann prinzipiell zwei übergreifende Funktionen haben: Sie kann dazu dienen, bestimmte Informationen für die Wahrnehmung und das Verstehen sensorischer Reize zu selektieren, oder aber dazu, entsprechende Informationen für die Kontrolle und Steuerung von Handlungen zur Verfügung zu stellen. Der erste Teil des Buches (► [Kap. 1–12](#)) beschreibt die Grundlagen sowie die wahrnehmungsbezogene Selektion, der zweite Teil (► [Kap. 13–15](#)) ist der Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit mit Hinsicht auf die Handlungskontrolle gewidmet. In ► [Kap. 1](#) wird die Bedeutung der selektiven Aufmerksamkeit anhand alltäglicher Situationen herausgearbeitet und der Forschungsansatz der Informationsverarbeitung bzw. der kognitiven Psychologie dargestellt, der mentale Prozesse und Mechanismen zur Erklärung von Verhalten und Denken heranzieht. Gleichzeitig wird auch der neurokognitive Ansatz eingeführt, der die Verhaltensanalyse um die Analyse von Gehirnvorgängen ergänzt und so zu einem erweiterten Verständnis der selektiven Aufmerksamkeit beiträgt. In ► [Kap. 2](#) werden Forschungsansätze beschrieben, die aus der Anfangszeit der Erforschung der selektiven Aufmerksamkeit stammen, die aber nach wie vor das aktuelle theoretische Denken mitbestimmen. In ► [Kap. 3](#) wird eine Kategorisierung von Selektionsmechanismen eingeführt, in der zwischen orts-, objekt- und merkmalsbezogener Selektion unterschieden wird, das heißt, es wird alle sich an einem Ort befindliche Information selektiert, es werden ganze Objekte selektiert oder die Selektion beruht auf bestimmten Stimulusmerkmalen. Die Unterscheidung in die drei Kategorien bildet die Grundlage für die Diskussion in den folgenden Kapiteln. Während sich die drei ersten Kapitel mit der Selektion auditiver und visueller Information befassen, wird in ► [Kap. 4](#) die Selektion über sensorische Modalitäten hinweg dargestellt. In ► [Kap. 5](#) wird die Methode der visuellen Suche dargestellt, eine der wichtigsten Methoden, die zur Erforschung der selektiven Aufmerksamkeit eingesetzt wird. Visuelle

Suchen, etwa nach bestimmten Objekten in Anwesenheit nicht relevanter oder ablenkender Objekte werden, beispielsweise im Straßenverkehr, auch im Alltag fast ohne Unterlass durchgeführt. Die Selektion von Information kann sehr stark durch sensorische Reize determiniert werden, ein sehr lauter Knall oder sehr heller Blitz zieht die Aufmerksamkeit auf sich. Aufmerksamkeit kann einem Teil einer Szene jedoch auch willentlich zugewiesen werden. Die entsprechenden Prozesse werden in ► [Kap. 6](#) beschrieben. ► [Kapitel 7](#) beschreibt eine weitere Kategorie, die der Selektion zugrunde liegen kann, nämlich die Informationsauswahl in Abhängigkeit von der Zeit. In ► [Kap. 8](#) wird eine Reihe von Beschränkungen beschrieben, die mit der Selektion assoziiert sind, insbesondere eine Blindheit für Informationen in Bereichen einer visuellen Szene, denen keine Aufmerksamkeit zugewiesen wird, sowie Blindheit für Veränderungen und das sogenannte Aufmerksamkeitsblinzeln. Die ► [Kap. 9–12](#) stellen den aktuellen Stand des Wissens zu den neurokognitiven Grundlagen der selektiven Aufmerksamkeit dar. ► [Kapitel 9](#) beschreibt als Grundlage für die weiteren Kapitel die funktionale Architektur der Gehirnareale, die das neuronale Substrat der in den vorangegangenen Kapiteln beschriebenen Aufmerksamkeitsprozesse bilden. ► [Kapitel 10](#) stellt Studien zur orts-, objekt- und merkmalsbasierten Selektion dar, die wiederum gegliedert sind in Untersuchungen, in denen die Aktivierung einzelner Zellen abgeleitet wird, sowie Studien mit bildgebenden Verfahren und schließlich neurokognitive Studien, in denen Patienten mit spezifischen Beeinträchtigungen untersucht werden. In ► [Kap. 11](#) werden aus kortikalen und subkortikalen Komponenten bestehende Gehirnnetzwerke beschrieben, die die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit vermitteln. ► [Kapitel 12](#) fasst den Teil der wahrnehmungsbezogenen Selektion anhand der Hypothese der integrierten Kompetition zusammen, die eine Rahmentheorie sowohl für den kognitiven als auch den neurokognitiven Ansatz darstellt. Die ► [Kap. 13–15](#) sind der Darstellung der handlungssteuernden Funktion der Aufmerksamkeit gewidmet. In ► [Kap. 13](#) wird das Konzept struktureller Engpässe im Informationsverarbeitungssystem erläutert, und es werden Vorhersagen bezüglich verschiedener Arten limitierter Verarbeitungsressourcen abgeleitet und empirisch überprüft. In ► [Kap. 14](#) wird das Konzept der Automatizität von Handlung entwickelt, und es werden Fragen zur Rolle selektiver Aufmerksamkeit für die Verhaltenssteuerung diskutiert. Dabei wird das Konzept einer exekutiven Kontrollinstanz eingeführt und begründet. In ► [Kap. 15](#) schließlich werden Studien zu den neurokognitiven Grundlagen der Mechanismen der exekutiven Kontrolle diskutiert. Der Text wird ergänzt durch Textboxen, die der Erklärung von methodischen Vorgehensweisen, sowie von Begriffen oder Methoden dienen, die für das Verständnis der jeweiligen Kapitel erforderlich sind.

Bei der Entstehung des vorliegenden Buches war die Unterstützung insbesondere von Frau Marion Krämer und Frau Anja Groth vom Springer-Verlag sowie von Frau Natalia Ducka und Frau Kristin Golombek sehr hilfreich, und wir möchten uns dafür recht herzlich bedanken.

München, Juni 2014

Hermann Müller, Joseph Krummenacher und Torsten Schubert

Autoren

Hermann J. Müller ist Professor für Allgemeine und Experimentelle Psychologie an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Die Schwerpunkte seiner Lehre bilden Visuelle Wahrnehmung, Aufmerksamkeit und Kognitive Kontrolle. In seiner aktuellen Forschung beschäftigt er sich insbesondere mit der Steuerung visueller Suchprozesse.

Joseph Krummenacher ist Hochschuldozent an der Ludwig-Maximilians-Universität München. Die Schwerpunkte seiner Lehre sind empirische Methoden, kognitive Mechanismen der Wahrnehmung und Selektion sowie neuropsychologische Ansätze. Seine aktuelle Forschung befasst sich mit der multisensorischen Integration bei der selektiven Verarbeitung.

Torsten Schubert ist Hochschuldozent an der Humboldt-Universität zu Berlin. Seine aktuelle Forschung befasst sich mit der exekutiven Kontrolle sowie Arbeitsgedächtnis- und Aufmerksamkeitsprozessen.

Inhaltsverzeichnis

1	Grundlagen	1
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
1.1	Kognitive Psychologie.....	3
1.2	Neurokognitive Psychologie	4
1.3	Die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit	4
2	Perzeptive selektive Aufmerksamkeit	9
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
2.1	Klassische Ansätze zur selektiven Aufmerksamkeit	10
2.2	Die Filtertheorie der Aufmerksamkeit	11
2.3	Die Attenuationstheorie der Aufmerksamkeit	12
2.4	Theorie der „späten“ Selektion	13
2.5	Frühe vs. späte Selektion	14
3	Visuelle selektive Aufmerksamkeit	19
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
3.1	Ortsbezogene selektive Aufmerksamkeit.....	20
3.1.1	Das Paradigma räumlicher Hinweisreize	20
3.1.2	Die Lichtkegelanalogie der Aufmerksamkeit	20
3.1.3	Mechanismen der Aufmerksamkeitsorientierung.....	25
3.1.4	Ortsbasierte Aufmerksamkeit und sakkadische Augenbewegungen.....	25
3.1.5	Hemmung der Rückorientierung der Aufmerksamkeit	28
3.1.6	Aufmerksamkeitssteuerung durch soziale Hinweisreize	29
3.1.7	Sensitivitäts- vs. Kriteriumseffekte der ortsbezogenen Aufmerksamkeit.....	31
3.2	Objektbezogene selektive Aufmerksamkeit	32
3.3	Dimensionsbezogene Aufmerksamkeit.....	34
4	Modalitätsübergreifende Aufmerksamkeitsorientierung	39
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
5	Visuelle Suche	45
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
5.1	Parallele und serielle Suche	46
5.2	Das Paradigma der visuellen Suche.....	46
5.3	Theorien der visuellen Suche.....	48
5.3.1	Merkmals-Integrations-Theorie der visuellen Aufmerksamkeit	48
5.3.2	Theorie der gesteuerten Suche.....	50
5.3.3	Ähnlichkeitstheorie der visuellen Suche	52
6	Die Rolle von Top-down-Prozessen in Pop-out-Suchen	57
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
6.1	Distraktorinterferenz in Compoundsuchen	58
6.2	Ansatz der automatischen Aufmerksamkeitskaperung	59
6.3	Bedingte Aufmerksamkeitskaperung.....	60

6.4 Singletonentdeckung vs. Merkmalssuche61

6.5 Der Dimensionsgewichtungsansatz61

7 Temporale Mechanismen der selektiven Aufmerksamkeit.....65
Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert

8 Limitationen der selektiven visuellen Aufmerksamkeit.....69
Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert

8.1 Unaufmerksamkeitsblindheit70

8.2 Veränderungsblindheit.....71

8.3 Aufmerksamkeitsblinzeln71

8.4 Theorien temporaler Aufmerksamkeit.....72

8.4.1 Konsolidierungsansatz.....72

8.4.2 Interferenztheorie.....74

8.4.3 Boost-and-Bounce-Theorie74

9 Neurokognitive Mechanismen der selektiven visuellen Aufmerksamkeit.....81
Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert

9.1 Die funktionale Architektur des visuellen Systems.....82

9.2 Die computationale „Theorie der visuellen Aufmerksamkeit“83

10 Neurokognitive Studien der selektiven Aufmerksamkeit.....87
Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert

10.1 Ortsbezogene Aufmerksamkeit88

10.1.1 Einzelzelleableitungsstudien88

10.1.2 Studien zu ereignisrelatierten Potentialen90

10.1.3 Bildgebende Verfahren91

10.1.4 Neurokognitive Untersuchung von Probanden mit Gehirnläsionen.....93

10.2 Objektbezogene Aufmerksamkeit.....94

10.2.1 Einzelzelleableitungsstudien94

10.2.2 Bildgebende Verfahren95

10.2.3 Neurokognitive Läsionsstudien96

10.3 Merkmals- und dimensionsbezogene Aufmerksamkeit.....97

10.3.1 Einzelzelleableitungsstudien97

10.3.2 Untersuchung ereignisrelatierter Potentiale97

10.3.3 Bildgebende Verfahren98

11 Aufmerksamkeitsnetzwerke im Gehirn.....103
Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert

11.1 Subkortikale Aufmerksamkeitsmechanismen104

11.1.1 Thalamus und Formatio reticularis104

11.1.2 Colliculi superiores106

11.1.3 Frontocolliculärer Schaltkreis107

11.1.4 Pulvinarkerngebiet des Thalamus108

11.2 Kortikale Aufmerksamkeitsmechanismen109

11.2.1 Visueller Kortex109

11.2.2 Parietaler Kortex110

11.2.3	Sulcus intraparietalis	111
11.2.4	Temporoparietale Übergangsregion.....	111
11.2.5	Frontoparietales Orientierungsnetzwerk.....	112
11.3	Neuronale Mechanismen crossmodaler Aufmerksamkeitsverlagerungen.....	116
12	Integrative Erklärungsansätze behavioraler und neuronaler Befunde	123
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
12.1	Die Hypothese der integrierten Kompetition	124
12.2	Die neuronale Theorie der visuellen Aufmerksamkeit	124
12.3	Mechanismus „rekurrenter“ neuronaler Aktivierung der Selektion	127
12.4	Neuronbasierte Modelle der Selektion	128
13	Handlungssteuernde Aufmerksamkeit (Aufmerksamkeit und Handlung)	131
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
13.1	Aufmerksamkeit und multiple Handlungen	132
13.1.1	Der strukturelle Engpass und die Verteilung der Aufmerksamkeit	133
13.1.2	Graduelle Kapazitätsbegrenzungen	140
13.1.3	Ein- und Mehrkapazitätsmodelle	144
14	Aufmerksamkeit, Automatizität und exekutive Kontrolle	151
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
14.1	Automatizität und Aufmerksamkeit	152
14.2	Aufmerksamkeit und exekutive Kontrolle	156
14.2.1	Handlungssteuerung und exekutive Kontrolle	157
14.2.2	Eine exekutive Instanz versus mehrere exekutive Teilfunktionen	161
15	Neurokognitive Mechanismen der exekutiven Kontrolle	171
	<i>Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert</i>	
15.1	Exekutive Funktionen und der laterale präfrontale Kortex.....	172
15.1.1	Flexibler Wechsel von Handlungsalternativen und Reaktionen	174
15.1.2	Unterdrückung von nicht-adäquaten Reaktionen	177
15.1.3	Planung und Antizipation von Verhalten und Verhaltenszielen	179
15.1.4	Koordination multipler Aufgaben und Handlungsziele	180
15.1.5	Aufrechterhaltung von Information im Arbeitsgedächtnis	182
15.2	Aufgabenrepräsentation im lateralen präfrontalen Kortex und exekutive Kontrolle ...	186
15.2.1	Funktion und Inhalt bei der exekutiven Kontrolle – adaptive Aufgabenrepräsentationen....	187
15.2.2	Modulation von Aufgabenrepräsentationen im präfrontalen Arbeitsgedächtnis.....	189
15.3	Anteriorer cingulärer Kortex und exekutive Kontrolle	190
	Serviceteil	195
	Literaturverzeichnis	196
	Stichwortverzeichnis	208

Grundlagen

Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert

- 1.1 Kognitive Psychologie – 3
- 1.2 Neurokognitive Psychologie – 4
- 1.3 Die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit – 4

Sie sind unterwegs, um jemanden vom Bahnhof abzuholen, den Sie heute zum ersten Mal treffen. Auf der Straße nehmen Sie mehr oder weniger das gesamte Verkehrsgeschehen wahr, das sich um Ihr Fahrzeug herum abspielt. Ihre Augen sind dabei im normalen Verkehr vorwiegend auf das Verkehrsgeschehen vor Ihnen gerichtet. Während Sie planen, ein anderes Fahrzeug zu überholen, achten Sie beim Wechsel der Fahrspur auf den Abstand zum Fahrzeug, das sich auf der Überholspur bewegt, indem Sie einen Blick in den Rückspiegel werfen. Kurz vor dem Spurwechsel drehen Sie Ihren Kopf, um mit einem kurzen Blick über die Schulter sicherzustellen, dass Sie kein im toten Winkel neben Ihnen herfahrendes Auto übersehen. Um den Überholvorgang abzuschließen, blicken Sie wieder in den Rückspiegel, um zu prüfen, ob der Abstand zum überholten Fahrzeug für den Spurwechsel groß genug ist. Ein Schild am Straßenrand signalisiert Ihnen die Abzweigung zum Bahnhof, ein anderes zeigt eine niedrigere Höchstgeschwindigkeit an. Sie richten Ihren Blick kurzzeitig auf den Tachometer, stellen fest, dass Sie zu schnell fahren, und bremsen ab; dabei wird Ihr Blick unwillkürlich auf das Fahrzeug hinter Ihnen gezogen, das im Rückspiegel bedrohlich größer wird. In der Nähe des Bahnhofs drehen Sie die Musik leiser, um die Richtungsansagen Ihres Navigationssystems besser verstehen zu können, ab und zu richten Sie Ihren Blick auf das Display, um eine visuelle Bestätigung zu bekommen, dass Sie auf dem richtigen Weg sind.

Am Bahnhof angekommen, suchen Sie einen Hinweis, der Sie zum Bahnsteig bringt, wobei Ihr Blick immer wieder von grellbunten Werbeplakaten angezogen wird. Dem Pfeilsymbol zum Bahnsteig folgend, ändern Sie kontinuierlich leicht Ihre Gehrichtung und -geschwindigkeit, um anderen Menschen auszuweichen, die Ihren Weg in verschiedenen Richtungen kreuzen. Die Passagiere haben den Zug schon verlassen und strömen als dichtgedrängte, buntgekleidete Menschenmenge den Bahnsteig entlang auf Sie zu. Schon haben Sie Ihren Bekannten entdeckt, als eines der wenigen dunkelhäutigen Gesichter in der Menge ist er Ihnen gleich ins Auge gesprungen.

Unsere Sinnessysteme verarbeiten kontinuierlich einen Strom an Informationen, die zusammen mit aktivierten Gedächtnisinhalten, die effiziente Steuerung von Denkvorgängen und die zielgerichtete Interaktion mit der Umwelt und die Kommunikation mit anderen Menschen ermöglichen. Nur ein kleiner Teil der von den verschiedenen Sinnesorganen verarbeiteten bzw. der im Gedächtnis gespeicherten Informationen ist für einen aktuellen Denkprozess oder eine geplante Handlung von Bedeutung; ein weitaus größerer Teil der Sinnes- und Gedächtnisinformation ist für das Denken und Handeln entweder nicht relevant oder gar störend. Die kognitiven Mechanismen, die aktiviert werden, um die für das Steuern von Denkakten und das Erreichen von Handlungszielen relevanten Informationen zu selektieren und irrelevante oder distrahierende Informationen zu deselektieren, werden unter dem Begriff der selektiven Aufmerksamkeit subsumiert.

Das Ziel dieses Buchs besteht darin, die kognitiven Prozesse der selektiven Aufmerksamkeit mithilfe einer Reihe speziell zu diesem Zweck entwickelter empirischer Methoden zu identifizieren, die Gehirnregionen und -netzwerke zu lokalisieren, die die kognitiven Prozesse vermitteln, und deren Interaktionen zu verstehen, und schließlich das Potential sowohl des aktuellen Wissens als auch der Untersuchungsansätze für Fragestellungen in der Anwendung – von der optimalen Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle bis hin zur Analyse von sozialen Interaktionen – aufzuzeigen.

Die einleitenden Szenen aus dem Alltag beschreiben sehr gut einige der verschiedenen Möglichkeiten, die vom Aufmerksamkeitssystem eingesetzt werden, um Information zu selektieren bzw. zu deselektieren. Zum Beispiel kann das Blickfeld auf einen bestimmten Ausschnitt fokussiert werden, um diesen zu priorisieren, die Blickrichtung kann zwischen Informationsquellen verschoben werden; der Blick kann aber auch von auffälligen sensorischen Reizen angezogen werden. Hier spricht man von einer offenen, d. h. beobachtbaren, Aufmerksam-

keitsverschiebung. Der Fokus der Verarbeitung kann von einer Sinnesmodalität auf eine andere hin verschoben werden, z. B. von der visuellen zur auditiven, wobei visuelle Stimuli selbst bei einer Fokussierung auf auditive Reize nach wie vor das Verhalten (mit)bestimmen können. Hier spricht man von einer verdeckten, d. h. nicht direkt beobachtbaren Aufmerksamkeitsverschiebung.

Bei der Analyse der Selektion sensorischen Inputs spricht man von Bottom-up-Verarbeitung, d. h. die Richtung, die die Information nimmt, verläuft von den Sinnesorganen in der Peripherie hin zu höheren (semantischen) kognitiven Prozessen im zentralen Nervensystem. Wird semantische Information z. B. in der Form von Vorwissen genutzt, wird von Top-down-Verarbeitung gesprochen. Wissen kann eingesetzt werden, um die Verarbeitung bestimmter Stimuli bzw. Stimulusmerkmale zu priorisieren.

Das Wissen um die Mechanismen und Prozesse der selektiven Aufmerksamkeit bzw. deren Beschreibung erklärt allerdings nicht deren Funktionsweise. Um das Funktionieren zu verstehen, werden in empirischen Untersuchungen gezielte und gut kontrollierte Manipulationen eingesetzt, die es ermöglichen, die Auswirkungen verschiedener experimenteller Bedingungen auf das beobachtbare Verhalten zu untersuchen. Veränderungen im Verhalten bzw. in der Leistung von Probanden erlauben im Rahmen von theoretischen Modellen Rückschlüsse auf die kognitiven Mechanismen, die das Verhalten bzw. die Leistung erklären können. Kognitive Modelle bzw. Theorien erlauben dann die Identifikation von Gehirnarealen, die die kognitiven Prozesse vermitteln.

So, wie wir die Möglichkeit haben, die Intensität mancher Stimuli zu verändern (Lautstärke des Radios, Helligkeit eines Bildschirms etc.), so hat das menschliche Informationsverarbeitungssystem Mechanismen entwickelt, Information zu priorisieren bzw. abzuschwächen. Herauszuarbeiten, wie diese Mechanismen funktionieren, ist das Ziel der Aufmerksamkeitsforschung. Bevor spezifische Untersuchungen zur Funktion der Mechanismen der selektiven Aufmerksamkeit diskutiert werden, soll kurz das Paradigma, d. h. der theoretische Rahmen und die Methoden der kognitiven Psychologie diskutiert werden.

1.1 Kognitive Psychologie

In der psychologischen Forschung ist es möglich, dass zu einer bestimmten Zeit mehrere theoretische Ansätze gleichzeitig nebeneinander existieren. Der behaviorale Ansatz befasst sich zentral mit der Frage, welche Reizmuster welche Reaktionen hervorrufen und trägt wesentlich zum Verstehen des (operanten) Lernens bei. Den zwischen Reiz und Reaktion vermittelnden Strukturen werden dabei keine spezielle Bedeutung zugeschrieben. Die kognitive Psychologie dagegen ist am Verstehen genau der Prozesse interessiert, die der Reizverarbeitung und der Verhaltenssteuerung zugrunde liegen bzw. zwischen sensorischem Reiz und Verhalten vermitteln. In der Definition von Ulric Neisser (1967) „verweist der Begriff ‚Kognition‘ auf diejenigen Prozesse, durch die sensorischer Input transformiert, reduziert, elaboriert, gespeichert, aufgerufen und genutzt wird“¹ (Neisser 1967, S. 4).

Wesentliche Charakteristika des Ansatzes der kognitiven Psychologie liegen darin, dass der Mensch als ein Information verarbeitendes Wesen betrachtet wird und dass daher Kognitionen als Mechanismen der Informationsverarbeitung angesehen werden. Es wird von einem Informationsfluss von den Sinnesorganen zu den Gehirnregionen ausgegangen, die Denken vermitteln

1 „The term ‚cognition‘ refers to all processes by which the sensory input is transformed, reduced, elaborated, stored, recovered, and used.“

und Verhalten kontrollieren, wobei Verhalten der beobachtbare Ausdruck der Informationsverarbeitung ist. Die Ziele der Forschung liegen darin, zu untersuchen, welche kognitiven Prozesse (notwendigerweise) existieren, sowie die exakte Funktionsweise und Interaktion dieser Prozesse zu verstehen. Schwerpunkte der Forschung sind die Sinnesverarbeitung (Transformation von Energie aus der Umwelt in der Form etwa von elektromagnetischen Wellen oder Schalldrücken in Nervenimpulse), die Generierung von Repräsentationen von Teilen der Umweltinformation (Reduktion) unter Einbezug des aktuellen Kontexts bzw. aktueller Verhaltensziele (Elaboration), das Ablegen von Repräsentationen im Gedächtnis (Speicherung), die Wiederherstellung bzw. der Aufruf früherer sensorischer Informationen bzw. Denkinhalte aus dem Gedächtnis (Aufruf) und die Manipulation von Repräsentationen im Arbeitsgedächtnis (Nutzung).

In der Kognitionsforschung wird zum Gewinnen wissenschaftlich fundierter Erkenntnisse hauptsächlich die experimentelle Methode eingesetzt, wobei in einer kontrollierten Versuchsumgebung interessierende Variablen gezielt manipuliert und die Auswirkungen der Manipulationen auf Leistungsmaße untersucht werden (s. ► Kasten „Methoden der kognitiven Psychologie – Psychophysik“). Kognitive Prozesse werden zudem mithilfe stochastischer Modelle (z. B. mithilfe von Diffusionsprozessen) oder neuronaler Netzwerke simuliert.

1.2 Neurokognitive Psychologie

Während neurologische Läsionsstudien seit langem bedeutende Beiträge zum Verständnis kognitiver Prozesse leisten, besteht seit etwa der Mitte der 90er-Jahre des vergangenen Jahrhunderts die Möglichkeit, mithilfe bildgebender Verfahren wie der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT) oder der Elektroenzephalographie (EEG) das gesunde, unbeeinträchtigte Gehirn zeitnah während der Ausführung experimenteller Aufgaben zu beobachten und durch die Auswertung verschiedener mit der Gehirnaktivität relatierter Maße (wie Blutsauerstoffgehalt oder gehirnelektrische Aktivität) auf die zugrundeliegenden kognitiven Operationen zu schließen. Der Einsatz dieser und ähnlicher Methoden (s. ► Kasten „Methoden der kognitiven Psychologie – Psychophysik“) hat sowohl zur Stärkung des kognitiven Ansatzes als auch zu einer Erweiterung des Wissens über die Funktionsweise kognitiver Prozesse wesentlich beigetragen.

1.3 Die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit

Der Entwurf des kognitiven Ansatzes (s. ► Kasten „Methoden der kognitiven Psychologie – Psychophysik“) erfordert das Vorhandensein einer Selektionsfunktion, d. h. das Vorhandensein von Prozessen der Aufmerksamkeit.

Beträchtliche Auswirkungen sowohl auf den methodischen Untersuchungsansatz als auch auf die Interpretation von Ergebnissen hat die Frage nach der spezifischen Funktionsweise der selektiven Aufmerksamkeit im kognitiven System. Zwei mögliche Funktionsweisen haben sich aufgrund theoretischer Überlegungen herausgebildet, die *perzeptive Selektion* und die *handlungssteuernde Selektion*. Der Ansatz der *perzeptiven Selektion* (*selection for perception*) geht davon aus, dass mithilfe von Aufmerksamkeitsprozessen die Information selektiert wird, die notwendig ist, um eine bestimmte Situation oder einen bestimmten Sachverhalt zu verstehen. Ein Beispiel ist das sogenannte Cocktail-Party-Phänomen. Auf einer Party mit vielen in kleinen Gruppen miteinander sprechenden Leuten, Musik und anderen Geräuschen gelingt es, den Äußerungen einer bestimmten Person zu folgen, d. h. diese zu selektieren, während die

Methoden der kognitiven Psychologie – Psychophysik

Absolutschwelle. Eine grundlegende Frage für das Verstehen des menschlichen Verhaltens liegt darin, zu wissen, welche Intensität eines sensorischen Stimulus (z. B. welche Menge Photonen oder welcher mechanische Druck oder Schalldruck) überhaupt eine Sinneswahrnehmung hervorruft. Der Zusammenhang zwischen minimalem Stimulus und Wahrnehmung wird als die absolute Schwelle bezeichnet und kann mithilfe verschiedener Methoden untersucht werden. Die Verfahren sind die Grenz-, Herstellungs- und Konstanzmethoden. In einem Experiment, das die *Grenzmethode* verwendet, werden Stimuli mit objektiv messbaren Intensitäten dargeboten, die eindeutig wahrnehmbar (überschwellig) bzw. nicht wahrnehmbar (unterschwellig) sind; die Stimulusintensität wird schrittweise so lange verringert bzw. vergrößert, bis der Proband indiziert, den Stimulus nicht mehr wahrzunehmen bzw. ihn wahrzunehmen. In der *Herstellungsmethode* dekrementiert bzw. inkrementiert der Proband die Stimulusintensität selbst, bis der Stimulus nicht mehr wahrnehmbar bzw. gerade eben wahrnehmbar ist. In der *Konstanzmethode* werden die Stimuli verschiedener Intensität in zufälliger Reihenfolge dargeboten und der Proband indiziert mit einer von zwei möglichen Antworten (z. B. durch das Drücken einer von zwei Tasten),

ob ein Stimulus vorhanden war oder nicht.

Unterschiedsschwelle. Ein ähnlicher Zugang befasst sich mit der Frage, wie groß der Unterschied zwischen zwei sensorischen Stimuli sein muss, damit sie einen jeweils gleich großen Unterschied in der Empfindung hervorrufen. Der Zusammenhang zwischen Intensitätsunterschied und Empfindungsunterschied wird als *Unterschiedsschwelle* bezeichnet und mit an die Aufgabe angepassten Grenz-, Herstellungs- und Konstanzverfahren untersucht. Da die dargestellten Verfahren die Gesetzmäßigkeiten physikalischer Eigenschaften (sensorischer Stimulus) und psychischer Erfahrungen untersuchen, wird von Psychophysik gesprochen. Ein zentrales Ergebnis psychophysischer Untersuchungen zeigt, dass Stimulus und Empfindung einem kurvilinearen Zusammenhang folgen. Eine Zunahme der Stimulusintensität führt also nicht zu einer gleich großen (d. h. linearen) Zunahme der Empfindungsstärke, vielmehr folgt der Zusammenhang einer sigmoiden Funktion, die sich als Wahrscheinlichkeitsfunktion wie folgt erklären lässt: Eine sehr geringe Stimulusintensität (z. B. die Unterhaltung zweier Personen in großer Entfernung) zieht eine Empfindung und die damit verbundene „vorhanden“-Antwort nur mit einer sehr geringen

Wahrscheinlichkeit nahe 0 nach sich; eine sehr hohe Stimulusintensität (z. B. der Freudenschrei einer Person in unmittelbarer Nähe) zieht eine Empfindung mit einer großen Wahrscheinlichkeit nahe 1 nach sich. Bei einer schrittweisen Erhöhung der Stimulusintensität steigt die Wahrscheinlichkeit einer „vorhanden“-Antwort leicht an, ebenso nimmt sie leicht ab, wenn eine sehr hohe Intensität leicht reduziert wird. Zwischen geringen und hohen Intensitäten gibt es einen Intensitätsbereich, innerhalb dessen die Wahrscheinlichkeit einer Empfindung ungefähr 0,5 ist; d. h. in manchen Fällen führt die Stimulation zu einer Empfindung, in manchen Fällen jedoch nicht. Die Stimulusintensität, die mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 % zu einer Empfindung führt, wird als *Empfindungs- oder Absolutschwelle* bezeichnet. In Untersuchungen zur *Unterschiedsschwelle* können die beiden zu vergleichenden Stimuli gleichzeitig, an zwei benachbarten Stellen im visuellen Feld, oder aber in zeitlicher Sequenz, an der derselben Stelle im visuellen Feld, präsentiert werden. Der Unterschied in einem Stimulusmerkmal, der zur Empfindung unterschiedlicher Stimuli führt, wird als der *eben merkliche Unterschied* (*just noticeable difference*) bezeichnet. Die Ergebnisse entsprechender Untersuchungen ergeben die *Unterschiedsschwelle*.

Äußerungen anderer Personen zwar von den Sinnessystemen registriert, inhaltlich aber nicht verarbeitet werden, d. h. deselektiert werden.

Die *handlungsvermittelnde Funktion* (*selection for action*; Allport 1987; Neumann 1987; Van der Heijden 1992) besteht darin, alle Komponenten des kognitiven Systems, von der Wahrnehmung bis zur motorischen Reaktion, so einzustellen, dass die in der jeweils zu erledigenden Aufgabe spezifizierten Handlungsziele möglichst effizient (koordiniert) erreicht werden. Das durch die Aufmerksamkeit zu lösende Problem liegt also darin, „wie zu ermöglichen ist, dass

Verhalten durch die richtige Information zur richtigen Zeit bezüglich des richtigen Objekts und in der richtigen Reihenfolge kontrolliert wird“² (Styles 1997, S. 118).

Die Grundidee der handlungssteuernden Selektion wird im Ansatz von Neumann (1987) veranschaulicht. Nach Neumann ist eine *Handlung (action)* eine nichtreflexive Sequenz von Bewegungen, die durch dieselbe interne Kontrollstruktur gesteuert werden. Handlungen werden durch *Fertigkeiten (skills)* gesteuert, die als hierarchisch strukturierte Schemata im (prozeduralen) Langzeitgedächtnis gespeichert sind. Die handlungssteuernde Selektion (*selection for action*) involviert dabei mehrere Selektionsprobleme, insbesondere das der Effektorrekrutierung und das der Spezifikation der Handlungsparameter. Für das Problem der Effektorrekrutierung illustriert Neumann zwei mögliche Lösungen, wobei er auf die Metapher eines vielbefahrenen Eisenbahnnetzes zurückgreift, mit einer zentralen Steuerungsinanz oder aber multiplen dezentral-automatischen Kontrollsystemen, die eine Kapazitätsbeschränkung in der Ausführung von Handlungen bedingen: Eine Lösung für die Vermeidung von Zusammenstößen besteht in der Einrichtung einer zentralen Steuerungsstation, die die Züge auf den Gleiswegen kontrolliert; eine andere Lösung besteht in einem System, in dem das Gleisnetz in Abschnitte unterteilt ist und ein Zug, sobald er in einen Abschnitt einfährt, automatisch Signale setzt, die andere Züge von der gleichzeitigen Benutzung des Abschnitts abhalten. Dies führt zu einem Kapazitätslimit, „weil eine laufende Handlung alle anderen möglichen Handlungen hemmt“³ (Neumann 1987, S. 378).

Der Ansatz der handlungssteuernden Selektion weist also darauf hin, dass selektive Aufmerksamkeit nur im umfassenderen *Kontext von Handlungen* verstanden werden kann, wobei die funktionelle Architektur des gesamten Verarbeitungssystems mit zu betrachten ist. Diese Architektur bedingt, dass die menschliche Performanz, d. h. die Art und Weise, wie eine Aufgabe ausgeführt werden kann, limitiert ist: Sie gestattet nur die Ausführung einer begrenzten Anzahl von Handlungen zu einer Zeit (im Extremfall von nur einer Handlung). Die Untersuchung der funktionellen Architektur des Verarbeitungssystems impliziert also die Frage, worin die Beschränkung(en) in der Ausführung von Handlungen begründet ist (sind). Daneben stellt sich die Frage, wie sie für die Lösung praktischer Probleme so weit wie möglich umgangen werden kann (können). Diese Fragen werden in der Forschung im Zusammenhang mit *Aufmerksamkeit und Handlung* thematisiert.

■ Anwendung

Die eingangs geschilderten Situationen sind nur wenige aus einer unerschöpflichen Menge von Beispielen, die aufzeigen, dass Mechanismen der selektiven Aufmerksamkeit die zielgerichtete Interaktion von Menschen mit der Umwelt bzw. mit anderen Menschen erst ermöglichen. Je kürzer der Zeitraum ist, innerhalb dessen – wie etwa beim Lenken eines Fahrzeugs – Entscheidungen getroffen werden müssen, desto wichtiger ist es, dass die dafür benötigte sensorische Information effizient, d. h. möglichst schnell und fehlerfrei, selektiert wird. Selbst eine geringfügige Beeinträchtigung des Ablaufs des Selektionsprozesses – etwa durch ein unerwartetes Ereignis oder eine unerwartete Verhaltensweise – kann weitreichende Konsequenzen nach sich ziehen. Zusammen mit detailliertem Wissen über die Funktionsweise der Mechanismen der selektiven Aufmerksamkeit ergeben sich Anforderungen an die Gestaltung (z. B. visuelle Domäne: Verwendung von Farben, Formen, Größen, Helligkeiten von Objekten; auditiv: Lautstärke, Tonhöhe von Signalen und Sprachäußerungen; taktil: Frequenz, Intensität von vibrotak-

2 „... how to allow behavior to be controlled by the right information at the right time to the right object in the right order.“

3 „... because one ongoing action inhibits all other possible actions.“

tilen Reizen) und die Präsentation (Sequenz: seriell, parallel; Art und Zeitpunkt des Einsetzens und Absetzens sensorischer Signale; Möglichkeiten der Integration über Sinnesmodalitäten und Repräsentationsformen hinweg) von Informationen. Neben dem genannten Einsatz in der Ergonomie, d. h. der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle bzw. einer angestrebten Gehirn-Maschine-Schnittstelle, spielt die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit auch im Sport (z. B. möglichst schnelles Erkennen relevanter Spielsituationen bzw. -konstellationen und deren Konsequenzen im weiteren Verlauf des Wettkampfs in Mannschaftssportarten), in sozialen Situationen (Erkennen von Konstellationen von Gesichtsmuskeln [Augen, Mund] als Expression affektiver oder emotionaler Zustände bei einem Interaktionspartner, die oft nur Bruchteile von Sekunden andauernd, jedoch für den Verlauf einer Interaktion von entscheidender Bedeutung sein können) sowie bei vielen weiteren angewandten Fragestellungen eine zentrale Rolle.

Im weiteren Verlauf werden in den einzelnen Kapiteln Konsequenzen der diskutierten grundlagenwissenschaftlichen Ansätze und Ergebnisse für Probleme aus verschiedenen Anwendungsbereichen erörtert.

■ Speed Read

- Die alltägliche Erfahrung zeigt, dass nur ein Teil der vorhandenen Umweltinformationen verarbeitet wird, und dass nur ein Teil der Gedächtnisinhalte zu einer gegebenen Zeit aktiv ist.
- Die Kognitionsforschung ist bestrebt, die Mechanismen und Prozesse zu verstehen, die Umweltinformationen in Gehirnrepräsentationen transformieren, die eine Integration mit Gedächtnisinhalten und damit die willentliche Steuerung von Verhalten ermöglichen.
- Die Existenz eines Mechanismus zur Selektion von Information (d. h. von selektiver Aufmerksamkeit), die für ein aktuelles Handlungsziel relevant ist, bzw. die Deselektion von irrelevanter bzw. störender Information ist eine Voraussetzung für das Funktionieren des kognitiven Systems.
- Die Untersuchung der Mechanismen selektiver Aufmerksamkeit kann aus zwei Perspektiven heraus motiviert sein: aufgrund der handlungssteuernden Selektion und der perzeptuellen Selektion. Handlungssteuernde Selektion stellt das kognitive System auf die Ausführung einer geplanten Handlung ein. Perzeptive Selektion ermöglicht die Fokussierung auf bestimmte sensorische Inhalte, um Wahrnehmung zu ermöglichen.
- Perzeptive Selektion → Wahrnehmung → zur Kontrolle von Denkprozessen
- Handlungssteuernde Selektion → Einstellung kognitiver Parameter → zur Steuerung von Handlung

Perzeptive selektive Aufmerksamkeit

Hermann J. Müller, Joseph Krummenacher, Torsten Schubert

- 2.1 Klassische Ansätze zur selektiven Aufmerksamkeit – 10
- 2.2 Die Filtertheorie der Aufmerksamkeit – 11
- 2.3 Die Attenuationstheorie der Aufmerksamkeit – 12
- 2.4 Theorie der „späten“ Selektion – 13
- 2.5 Frühe vs. späte Selektion – 14

Im Folgenden wollen wir uns Situationen zuwenden, in denen der Einstellung von Handlungsparametern eine geringe Bedeutung zukommt, (z. B. weil keine zielgerichteten Handlungen geplant sind), in denen es primär darum geht, relevante sensorische Stimuli zu selektieren und störende Reize zu deselektieren, um eine Wahrnehmung zu ermöglichen.

Die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass zu einem gegebenen Zeitpunkt eine große Menge von visuellen, auditiven, taktilen etc. Reizen auf unsere verschiedenen Sinnesorgane einwirken und sensorische Rezeptionsprozesse in Gang setzen. Allerdings werden wir uns nur eines kleinen Ausschnitts aus dieser Informationsmenge bewusst, bzw. nur ein kleiner Ausschnitt aus dieser Menge determiniert unsere fortlaufende Interaktion mit der Umwelt. Dies heißt, aus der Gesamtmenge der sensorischen Information (sowie der im Gedächtnis gespeicherten Information) muss ständig die relevante Teilmenge ausgewählt werden, um kohärente Wahrnehmungen und effizientes und möglichst wenig durch störende Reize beeinträchtigtes Handeln zu ermöglichen. Auf welche Weise die Aufmerksamkeit diese Funktion erfüllt, ist Gegenstand der Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit. Im Folgenden werden zunächst klassische Paradigmen, Befunde und theoretische Ansätze der experimentellen kognitions-psychologischen Forschung zur selektiven auditiven Aufmerksamkeit dargestellt – nicht zuletzt, weil diese Forschung eine Reihe von theoretischen Kontroversen aufwarf, die die aktuellen Debatten nach wie vor bestimmen. Darüber hinaus bilden die im Rahmen der dargestellten Studien entwickelten experimentellen Zugänge einen Methodenkanon, der (z. T. in abgeänderter bzw. weiterentwickelter Form) in der empirischen Forschung oder auch der neuropsychologischen Diagnostik nach wie vor eingesetzt wird. Anschließend folgt eine Darstellung neuerer Forschungsarbeiten zur selektiven visuellen Aufmerksamkeit, die auch Schlüsselstudien zu den neurokognitiven Mechanismen einbezieht, die der visuellen Selektion zugrunde liegen.

2.1 Klassische Ansätze zur selektiven Aufmerksamkeit

Methodisch begründet sich die moderne Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit auf drei Paradigmen, von denen zwei Aufmerksamkeit in der (sprachlich-)auditiven Modalität untersuchten: Cherrys (1953) Paradigma des *dichotischen Hörens* (*dichotic listening*), Broadbents (1954) *Split-span-Paradigma* und Welfords (1952) Paradigma zur Untersuchung der *psychologischen Refraktärperiode* (*psychological refractory period*, PRP; s. a. ► [Abschn. 13.1.1](#)). Die experimentellen Untersuchungen mittels dieser Paradigmen führten zur ersten Informationsverarbeitungstheorie der Aufmerksamkeit, der *Filtertheorie* von Broadbent (1958), die den Ausgangspunkt für alle späteren Theorievorschläge und theoretischen Kontroversen bildet.

Cherry (1953) war an dem sogenannten Cocktailpartyphänomen interessiert, d. h. an der Frage, wie man es fertigbringt, einem bestimmten Gespräch in einem Raum zu folgen, in dem es einen Hintergrund anderer Gespräche gibt. Zur experimentellen Untersuchung dieser Frage entwickelte Cherry das Paradigma des dichotischen Hörens. In diesem Paradigma werden dem linken und dem rechten Ohr der Probanden gleichzeitig je eine „Nachricht“ zugespielt, wobei eine der Nachrichten zu *beschatten*, d. h. laut nachzusprechen (zu beachten), ist, daher wird die Methode auch als *shadowing* bezeichnet. Im Anschluss an Beschattungsdurchgänge waren die Probanden kaum in der Lage, die Bedeutung der nichtbeachteten Nachricht wiederzugeben oder zu berichten, ob von einer Sprache (Englisch) in eine andere (Deutsch mit englischem Akzent, gesprochen vom selben Sprecher) gewechselt wurde. Die Probanden bemerkten jedoch, wenn die Stimme des Sprechers von der eines Mannes zu der einer Frau wechselte oder wenn ein *Beep*-Ton präsentiert wurde. Bei Darbietung von zwei Nachrichten mit derselben

Stimme in einem Ohr fanden die Probanden die Beschattung einer Nachricht (auf der Basis ihres Inhaltes) äußerst schwierig, und sie waren nicht in der Lage, die beiden Nachrichten auseinanderzuhalten.

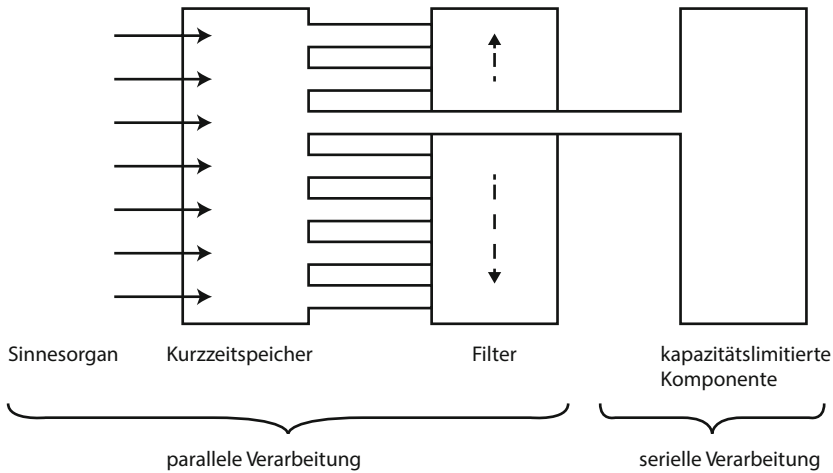
In Broadbents (1954) *Split-span-Paradigma* wird dem Probanden beispielsweise eine Sequenz von simultanen Ziffernpaaren dargeboten, die eine Ziffer dem linken und die andere dem rechten Ohr (z. B. 2–7, 6–9, 1–5). Der Proband hat die Aufgabe, die Ziffern möglichst vollständig wiederzugeben. Bei der Analyse zeigte sich, dass die Wiedergabe bevorzugt nach Ohr (2–6–1, 7–9–5), nicht jedoch nach Darbietungspaaren (2–7, 6–9, 1–5), erfolgte. Broadbent (1958) schloss aus diesen Befunden, dass aufgabenirrelevante Nachrichten vor ihrer vollen Verarbeitung abgeblockt werden; dass physikalische Merkmale der Eingangsinformation effektive *Hinweisreize* (*cues*) sind, um die unterschiedlichen Nachrichten auseinanderzuhalten; dass nur physikalische Merkmale der nichtbeachteten Nachricht entdeckt werden können; und dass folglich die Nachrichtenselektion auf der Basis physikalischer Reizmerkmale (z. B. Reizort, [d. h. Ohr], Frequenz etc.) erfolgt.

Eine weitere wichtige Quelle von Befunden für Broadbent waren Welfords (1952) Untersuchungen zur psychologischen Refraktärperiode (PRP). Einem Probanden wurden zwei Reize in schneller Aufeinanderfolge dargeboten, und der Proband musste so rasch wie möglich auf jeden der Reize reagieren. Dabei zeigte sich, dass die Reaktionszeit auf den zweiten Reiz von der Zeitverzögerung zwischen dem Einsetzen des ersten und dem Einsetzen des zweiten Reizes abhängt (Stimulus Onset Asynchrony, SOA): Bei kurzen SOA ist die Reaktionszeit umso länger, je kürzer die Zeitverzögerung ist. Welford interpretierte die Reaktionszeitverlängerung im Sinne einer psychologischen Refraktärperiode, die auf einen *Engpass* oder *Flaschenhals* (*bottle-neck*) im Verarbeitungssystem zurückgeht: Die Verarbeitung des ersten Reizes muss abgeschlossen sein, bevor die des zweiten Reizes beginnen kann (serielle Verarbeitung). Da die zwei Reize sensorisch (d. h. peripher) unmittelbar registriert werden, betrachtete man die PRP als Evidenz für eine zentrale Beschränkung in der menschlichen Informationsverarbeitungskapazität.

2.2 Die Filtertheorie der Aufmerksamkeit

Broadbent (1958) versuchte, die drei grundlegenden Befunde in seiner Filtertheorie der Aufmerksamkeit zu integrieren (■ Abb. 2.1). Nach dieser Theorie erlangen mehrere gleichzeitig dargebotene Eingangsreize – in der Situation des dichotischen Hörens die beiden dem linken bzw. rechten Ohr dargebotenen Nachrichten – parallel, d. h. simultan, Zugang zu einem sensorischen Speicher. Nur einer der Reize darf auf der Basis seiner physikalischen Merkmale (z. B. Ohr) einen selektiven Filter passieren. Die anderen Reize werden abgeblockt, verbleiben aber für einen eventuellen späteren Zugriff vorübergehend im Speicher. Der Filter ist notwendig, um ein kapazitätslimitiertes, strikt *serielles Verarbeitungssystem* (*limited-capacity channel*) jenseits des Filters vor Überlastung zu schützen. Dieses System verarbeitet die Eingangsinformation gründlich, d. h. semantisch. Nur die Information, die dieses System durchläuft, kommt ins Bewusstsein und kann Bestandteil des Langzeitgedächtnisses werden.

Die Filtertheorie macht also die folgenden „starken“ Grundannahmen: Der Ort der Nachrichtenselektion ist *früh* (*early selection*), d. h., die Selektion erfolgt auf der Basis physikalischer Reizmerkmale; die Weiterleitung von Nachrichten erfolgt nach dem Alles-oder-nichts-Prinzip; die Art des Hinweisreizes, der der Nachrichtenselektion dient (d. h. physikalische Merkmale), reflektiert die Verarbeitungsstufe, die nichtbeachtete Nachrichten erreichen; und es gibt nur einen seriellen, kapazitätslimitierten zentralen Prozessor (Einkanalhypothese; vgl. Welford 1952).



■ **Abb. 2.1** Schematische Darstellung der Verarbeitungsarchitektur des Filtermodells von Broadbent (1958). Sinnesorgane transformieren Energie aus der Umwelt in elektrische Nervensignale, die für einen eventuellen späteren Zugriff in einem Kurzzeitspeicher abgelegt werden. Ein selektiver Filter lässt eine Nachricht passieren, während die anderen abgeblockt werden. Die Selektion erfolgt zu einem frühen Zeitpunkt aufgrund physikalischer Merkmale des Stimulus, und der Filter kann flexibel auf bestimmte Merkmale eingestellt werden. Die selektierte Nachricht erreicht eine kapazitätslimitierte Komponente, in der eine semantische Verarbeitung erfolgt

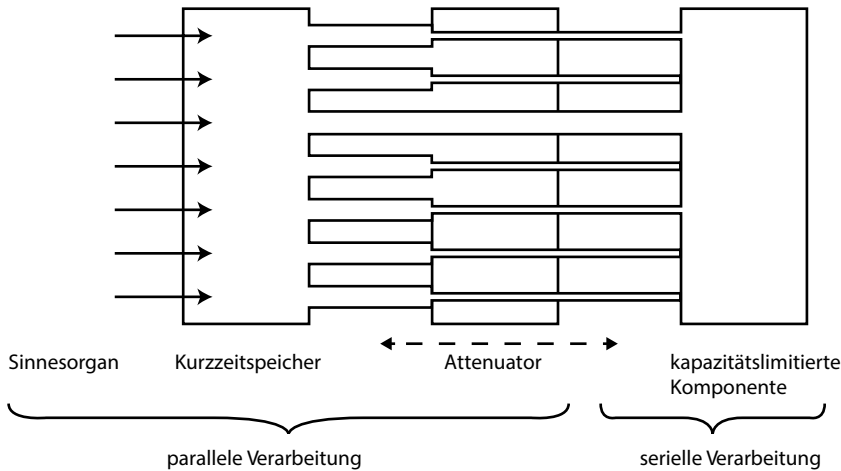
Folglich erfordert eine Teilung der Aufmerksamkeit zwischen zwei (oder mehr) Eingangskanälen rasches Umschalten des Filters zwischen den Kanälen (*multiplexing*).

2.3 Die Attenuationstheorie der Aufmerksamkeit

Im Anschluss an die Publikation von Broadbents (1958) Filtertheorie wurden jedoch eine Reihe von Befunden berichtet, die mit den starken Grundannahmen des Ansatzes unvereinbar waren und zu einer Revision der Theorie führten. Diese Befunde betrafen die Frage, ob und wie viel Information von einem nichtbeachteten, d.h. vom Filter blockierten, Kanal verarbeitet wird. Zum einen zeigte sich, dass es zum Durchbruch nichtbeachteter Information durch den Filter kommen kann; so z. B. entdeckt etwa ein Drittel der Probanden ihren eigenen Namen, wenn er in einem Experiment zum dichotischen Hören in der Nachricht des nichtbeachteten Kanals erwähnt wird (z. B. Moray 1959). Zum anderen konnte gezeigt werden, dass Information im nichtbeachteten Kanal semantisch bis zu einer bestimmten Stufe verarbeitet wird und die Interpretation von Information im beachteten Kanal beeinflussen kann (z. B. Von Wright et al. 1975). Zudem kann die Entdeckung kritischer Informationen im „nichtbeachteten“ Kanal durch Übung wesentlich gesteigert werden (z. B. Underwood 1974).

Treisman (1964) versuchte, diesen Befunden in ihrer *Attenuationstheorie* der Aufmerksamkeit Rechnung zu tragen (vgl. ■ [Abb. 2.2](#)). Im Gegensatz zur Alles-oder-nichts-Funktion des Filters in Broadbents (1958) Vorschlag, lässt diese Theorie eine abgeschwächte Weiterleitung und Verarbeitung nichtbeachteter Information zu. Die Weiterleitung erfolgt also nach dem Mehr-oder-weniger-Prinzip. Weiterhin ist der Ort der Selektion flexibel, wenn auch relativ früh, auf einer perzeptiven Stufe, angesetzt. Nach Treisman durchläuft die Eingangsinformation in ihrer Analyse eine Hierarchie von Verarbeitungsstufen, wobei das erreichte Analyseniveau von der verfügbaren Verarbeitungskapazität abhängt. Wird beispielsweise die Verarbeitung einer Nachricht betrachtet, so kann von einer Sequenz von Schritten wie der folgenden ausgegangen

2.4 • Theorie der „späten“ Selektion



■ **Abb. 2.2** Darstellung der Verarbeitungsarchitektur des Attenuationsmodells von Treisman (1964). Von den Sinnesorganen verarbeitete Umweltinformation wird in einem Kurzzeitgedächtnis für einen späteren Abruf gespeichert. Ein Attenuator schwächt nicht beachtete Informationen ab, während die beachtete Information die kapazitätslimitierte Komponente mit der Ausgangsstärke erreicht. Der Attenuator kann auf bestimmte Stimulusmerkmale eingestellt werden, zudem ist sein Ort – abhängig von der Belastung innerhalb des Verarbeitungssystems – zwischen dem sensorischen Kurzzeitspeicher und der kapazitätslimitierten Komponente verschiebbar. Mit den zusätzlichen Annahmen, dass bestimmte Einheiten im lexikalischen Speicher (wie etwa der eigene Name) eine erhöhte Grundaktivierung haben, und dass die Aktivierung einer Einheit das Überschreiten einer bestimmten Schwelle erfordert, kann das Attenuationsmodell erklären, wie nicht beachtete Information bewusst werden kann

werden: physikalisches Reizmuster → Silben → Wörter → usw. In diesem Zusammenhang entwickelte Treisman (1960) ein Modell der Worterkennung, dem zufolge das Verarbeitungssystem eine Reihe von lexikalischen Einheiten (*units*) enthält, von denen jede einem Wort entspricht. Jede Einheit integriert sowohl perzeptive als auch semantische Evidenz (d.h. Aktivierung von perzeptiven und semantischen Verarbeitungseinheiten, mit denen sie verknüpft ist). Einheiten feuern, wenn ihre Aktivierung eine Schwelle übersteigt, wodurch die Wortbedeutung bewusst werden kann. Die Einheiten haben unterschiedliche Aktivierungsschwellen, abhängig von der „Salienz“ und Auftretenshäufigkeit der entsprechenden Wörter. Wenn der Attenuator eine Reduktion des perzeptiven Inputs vom nichtbeachteten Kanal bewirkt, so kann eine Einheit nur dann feuern, wenn ihre Aktivierungsschwelle hinreichend niedrig ist. Dies trifft z.B. auf die Einheit für den eigenen Namen zu, wodurch erklärbar wird, warum der eigene Name im nichtbeachteten Kanal zum „Durchbruch“ kommt.

2.4 Theorie der „späten“ Selektion

Ein radikal anderer Vorschlag wurde von Deutsch und Deutsch (1963) in einer theoretischen Arbeit gemacht. Während sowohl Broadbent (1958) als auch Treisman (1964) annehmen, dass die Selektion (relativ) *früh* (*early selection*) – am Eingangsende des Verarbeitungssystems – erfolgt, schlugen Deutsch und Deutsch vor, dass die Selektion *spät* – näher am Ausgange (der Reaktion) des Systems – erfolgt (*late selection*; ■ [Abb. 2.3](#)). Mit anderen Worten nahmen Deutsch und Deutsch an, dass alle Eingangsreize vollständig analysiert werden: „... eine Nachricht erreicht dieselben perzeptuellen und diskriminativen Mechanismen, ob ihr Beachtung geschenkt wird oder nicht; und die Informationen werden dann von diesen Prozessen gruppiert