

# Funktionen und Modelle der selektiven Aufmerksamkeit

*Hermann Müller, Joseph Krummenacher*

- 28.1 »Klassische« Ansätze zur selektiven Aufmerksamkeit – 308**
  - 28.1.1 Grundlegende Paradigmen und Befunde – 308
  - 28.1.2 Filtertheorie der Aufmerksamkeit (Broadbent) – 309
  - 28.1.3 Attenuationstheorie der Aufmerksamkeit (Treisman) – 309
  - 28.1.4 Theorie der »späten« Selektion (Deutsch und Deutsch) – 310
  - 28.1.5 »Frühe« versus »späte« Selektion – 310
  
- 28.2 Selektive visuelle Aufmerksamkeit – 310**
  - 28.2.1 Ortsbasierte Aufmerksamkeit – 310
  - 28.2.2 Objektbezogene visuelle Aufmerksamkeit – 313
  
- 28.3 Visuelle Suche – 314**
  - 28.3.1 Parallele und serielle Suche – 314
  - 28.3.2 Merkmalsintegrationstheorie der visuellen Aufmerksamkeit (»feature integration theory of visual attention«) – 315
  
- 28.4 Zeitliche Faktoren der Selektion: Visuelle Markierung – 316**
  - 28.4.1 Passive vs. aktive Priorisierung – 316
  
- 28.5 Limitationen der selektiven visuellen Aufmerksamkeit – 317**
  - 28.5.1 Unaufmerksamkeitsblindheit – 317
  - 28.5.2 Veränderungsblindheit – 318
  - 28.5.3 Aufmerksamkeitsblinzeln – 318
  
- 28.6 Hypothese der integrierten Konkurrenz (»integrated competition hypothesis«) – 319**
  
- 28.7 Theorie der visuellen Aufmerksamkeit (»theory of visual attention«) – 319**
  
- 28.8 Handlungsbezogene Selektion – 320**



William James (1890) stellte fest: »Everyone knows what attention is. It is the taking possession of the mind, in clear and vivid form, of one out of several possible objects or trains of thought. Focalisation, concentration of consciousness are of its essence. It implies withdrawal from some things in order to deal effectively with others« (S. 403f.). In diesem Definitionsversuch wird eine wesentliche Funktion von Aufmerksamkeit angesprochen: die der Auswahl oder »Selektion« bestimmter Inhalte oder Informationen (die notwendig mit einer Deselektion von anderen Informationen einhergeht) mit dem Ziel, bestimmte Informationen (möglichst ohne Interferenz von anderen Informationen) dem Bewusstsein bzw. der Steuerung von Denken und Handeln zugänglich zu machen (selektive Aufmerksamkeit). Im Folgenden wird diese perzeptive Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit und ihre Thematisierung im Rahmen der »modernen« Informationsverarbeitungs- bzw. Kognitionspsychologie eingehender betrachtet.

Die Selektionsfunktion der Aufmerksamkeit wird deutlich, wenn man sich vergegenwärtigt, dass zu einem gegebenen Zeitpunkt eine große Menge auditiver, visueller und taktiler Reize auf unsere verschiedenen Sinnesorgane einwirken und sensorische Rezeptionsprozesse in Gang setzen, dass wir uns aber nur eines kleinen Ausschnitts aus dieser Informationsmenge bewusst werden bzw. nur ein kleiner Ausschnitt aus dieser Menge unsere fortlaufende Interaktion mit der Umwelt determiniert. Das heißt, aus der Gesamtmenge der eingehenden Information (sowie der im Gedächtnis gespeicherten Information) muss ständig die relevante Teilmenge ausgewählt werden, um effizientes und störungsfreies Handeln zu ermöglichen. Auf welche Weise die Aufmerksamkeit diese Funktion erfüllt, ist Gegenstand der Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit.

➤ **Eine der Hauptfunktionen der Aufmerksamkeit besteht in der Selektion von perzeptiver Information zur Verhaltenssteuerung.**

## 28.1 »Klassische« Ansätze zur selektiven Aufmerksamkeit

### 28.1.1 Grundlegende Paradigmen und Befunde

Methodisch begründet sich die moderne Forschung zur selektiven Aufmerksamkeit auf drei Paradigmen: Cherrys (1953) Paradigma des dichotischen Hörens (»dichotic listening«), Broadbents (1954) Split-Span-Paradigma und Welfords (1952) Paradigma zur Untersuchung der psychologischen Refraktärperiode (»psychological refractory pe-

riod«, PRP). 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 sog. Cocktailparty-Phänomen interessiert, d. h. der Frage, wie es gelingt, einem bestimmten Gespräch in einem Raum zu folgen, in dem eine Reihe anderer Gespräche stattfinden. Zur experimentellen Untersuchung dieser Frage entwickelte Cherry das Paradigma des dichotischen Hörens. Dabei werden dem linken und dem rechten Ohr des Probanden gleichzeitig je eine »Nachricht« zugespielt, wobei eine der Nachrichten zu »beschatten«, d. h. laut nachzusprechen ist (beachtete Nachricht). Im Anschluss an die Beschattungsdurchgänge waren die Probanden in Cherrys Experiment kaum in der Lage, die Bedeutung der nichtbeachteten Nachricht wiederzugeben oder zu berichten, ob sie von einer Sprache (englisch) in eine andere (deutsch) wechselte. Die Probanden merkten es jedoch, wenn die Stimme des Sprechers von der eines Mannes zu der einer Frau wechselte oder wenn ein »Beep«-Ton präsentiert wurde. Bei Darbietung zweier Nachrichten mit derselben Stimme an ein Ohr fanden die Probanden die Beschattung einer Nachricht (auf der Basis ihres Inhalts) äußerst schwierig. In Broadbents (1954) Split-Span-Paradigma wird dem Probanden z. B. eine Sequenz von simultanen Ziffernpaaren, die eine Ziffer an das linke und die andere an das rechte Ohr, dargeboten (z. B. 2-7, 6-9, 1-5). Die Probanden haben die Aufgabe, die Ziffern möglichst vollständig wiederzugeben. Dabei zeigte sich, dass die Wiedergabe bevorzugt nach Ohr (2-6-1, 7-9-5), und nicht 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, Ohr, Frequenz etc.) erfolgt.

➤ **Beim dichotischen Hören werden dem linken und dem rechten Ohr des Probanden gleichzeitig je eine Nachricht zugespielt, wobei eine der Nachrichten zu beachten (z. B. laut nachzusprechen) ist. In der Folge ist der Proband kaum in der Lage, Inhalte der nichtbeachteten Nachricht zu berichten.**

Eine weitere wichtige Quelle für Broadbent waren Welfords (1952) Untersuchungen zur psychologischen Refraktär-

periode (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 (RZ) auf den zweiten Reiz von der Zeitverzögerung zwischen dem Einsetzen des ersten und dem des zweiten Reizes abhängt (»stimulus onset asynchrony«, SOA): Bei kurzen SOA ist die RZ um so länger, je kürzer die Zeitverzögerung ist. Welford interpretierte die RZ-Verlängerung im Sinne einer psychologischen Refraktärperiode, die auf einen Engpass (»bottleneck«) 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.

### 28.1.2 Filtertheorie der Aufmerksamkeit (Broadbent)

Broadbent (1958) versuchte, diese Befunde in seiner Filtertheorie der Aufmerksamkeit zu integrieren. Dieser Theorie zufolge erlangen zwei gleichzeitig dargebotene Eingangsreize bzw. 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. Der andere Reiz wird abgeblockt, verbleibt aber vorübergehend im Speicher für einen eventuellen späteren Zugriff. 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 Information, die dieses System durchläuft, kann bewusst und Bestandteil des Langzeitgedächtnisses werden.

Die Filtertheorie macht also die folgenden »starken« Grundannahmen:

- Der Lokus der Nachrichtenselektion ist früh (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.
- Es gibt nur einen seriellen, kapazitätslimitierten zentralen Prozessor (Einkanalhypothese; vgl. Welford 1952).

Folglich erfordert die Teilung der Aufmerksamkeit zwischen zwei (oder mehr) Eingangskanälen ein rasches Um-

schalten des Filters zwischen den Kanälen (»multiplexing«).

- **Nach Broadbents Filtertheorie kann man nur eine Nachricht zu einer Zeit (semantisch) verarbeiten und diese Nachricht wird mittels eines auf einer frühen Verarbeitungsstufe befindlichen Filtermechanismus (auf der Basis physikalischer Merkmale) ausgewählt; andere Nachrichten werden effektiv abgeblockt.**

### 28.1.3 Attenuationstheorie der Aufmerksamkeit (Treisman)

In der Folge wurde eine Reihe von Befunden berichtet, die mit diesen starken Grundannahmen unvereinbar waren und zu einer Revision der Filtertheorie führten. Die Befunde betrafen die Frage, ob und wie viel Information vom nichtbeachteten Kanal verarbeitet wird. Zum einen zeigte sich, dass es zum Durchbruch nichtbeachteter Information durch den Filter kommen kann; z. B. entdeckt etwa ein Drittel der Probanden ihren eigenen Namen im nichtbeachteten Kanal. 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. Zudem kann die Entdeckung kritischer Informationen im »nichtbeachteten« Kanal durch Übung wesentlich gesteigert werden.

Treisman (1960) versuchte, diesen Befunden in ihrer Attenuationstheorie der Aufmerksamkeit Rechnung zu tragen, die eine abgeschwächte Weiterleitung und Verarbeitung nichtbeachteter Information zulässt (d. h. die Weiterleitung erfolgt nach dem Mehr-oder-weniger-Prinzip). Weiterhin ist der Lokus der Selektion flexibel, wenn auch relativ früh, auf der perceptiven Stufe, angesetzt. Nach Treisman durchläuft die Analyse der Eingangsinformation eine Hierarchie von Verarbeitungsstufen (physikalisches Reizmuster → Silben → Wörter → etc.), wobei das erreichte Analyseniveau von der verfügbaren Verarbeitungskapazität abhängt. In diesem Zusammenhang entwickelte Treisman ein Modell der Worterkennung, demzufolge das Verarbeitungssystem eine Reihe von lexikalischen Einheiten 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 »Saliienz« (Auffälligkeit) 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.

- **Nach Treismans Attenuationstheorie dagegen schwächt der Auswahlmechanismus die Weiterleitung nicht attendierter Informationen lediglich ab.**

### 28.1.4 Theorie der »späten« Selektion (Deutsch und Deutsch)

Einen radikal anderen Vorschlag machten Deutsch u. Deutsch (1963). Während sowohl Broadbent (1958) als auch Treisman (1964) annehmen, dass die Selektion (relativ) »früh« – am Eingangsende des Verarbeitungssystems – erfolgt, schlugen Deutsch und Deutsch vor, dass die Selektion »spät« – näher am Ausgabeende des Systems (d. h. der Reaktion) – erfolgt. Deutsch und Deutsch nehmen also eine volle Analyse aller Eingangsreize an: »A message will reach the same perceptual and discriminatory mechanisms whether attention is paid to it or not; and such information is then grouped or segregated by these mechanisms« (S. 83). Eine Weiterverarbeitung (wie z. B. Speicherung im Gedächtnis bzw. Determination der motorischen Reaktion) erfolgt dann nur für die Reize, die für die momentane Aufgabe am relevantesten sind. Dies setzt einen effizienten Prozess der Gewichtung aller Eingangsreize nach ihrer Relevanz voraus – bei einem seriell arbeitenden Prozessor wäre der erforderliche multiple Vergleichsprozess zu langwierig. Als Alternative zu einem seriellen Vergleich verwiesen Deutsch und Deutsch auf die Analogie der parallelen Bestimmung des größten Schülers in einer Klasse durch das Absenken einer gemeinsamen Messlatte über den Köpfen aller Schüler: Der Schüler, dessen Kopf die Latte berührt, ist der größte. (In diesem Zusammenhang ist anzumerken, dass später entwickelte konnektionistische Ansätze in der Lage sind, das multiple Vergleichsproblem effizient zu lösen.)

- **Nach der Theorie der späten Selektion von Deutsch u. Deutsch (1963) werden alle Nachrichten zunächst gleichermaßen (semantisch) verarbeitet und die Auswahl erfolgt erst auf einer späten Verarbeitungsstufe, basierend auf der Relevanz der konkurrierenden Nachrichten für die Verhaltenssteuerung.**

### 28.1.5 »Frühe« versus »späte« Selektion

In der Folge kam es zu einer theoretischen Kontroverse zwischen Treisman und Deutsch und Deutsch bezüglich des Ortes der Selektion, »früh« versus »spät«, die unentschieden ausging. Erst in neuerer Zeit gab es befriedigendere Versuche, dieses Problem zu lösen. Eine mögliche Lösung wurde von Johnston u. Heinz (1979) vorgeschlagen, die folgende Annahmen machten: Je mehr Verarbeitungsstadien vor der Selektion durchlaufen werden, umso größer ist der Bedarf an Verarbeitungskapazität; und die Selektion erfolgt so früh in der Verarbeitung, wie es die Aufgabenanforderungen erlauben, um den Kapazitätsbedarf zu minimieren. Ein alternativer Vorschlag wurde von Lavie (1995) gemacht. Lavie geht von der Annahme aus, dass »perceptual load plays a causal role in determining the efficiency of selective attention« (S. 463). Ob die Aufmerksamkeit früh oder spät wirkt, hängt von den Anforderungen der Aufgabe an die Zielreizselektion (»perceptual load«) ab. Sind die attentionalen Anforderungen gering, so werden irrelevante Distraktoren mitverarbeitet (weil Kapazität übrig ist) und können Antwortinterferenz verursachen. Beansprucht die Targetselektion dagegen die Aufmerksamkeit vollständig, so können keine Distraktoren verarbeitet werden. Experimentelle Belege fanden sich sowohl für den Vorschlag von Johnston und Heinz als auch für die Hypothese von Lavie.

Es gibt also gute Evidenz dafür, dass der Lokus der Aufmerksamkeitsselektion flexibel ist und von spezifischen Aufgabenfaktoren abhängig sein kann. Folglich kann es auf die Frage, ob die Selektion »früh« oder »spät« erfolgt, als solche keine singuläre Antwort geben.

- **Neueren Ansätzen zufolge ist der Lokus der Aufmerksamkeitsselektion (früh oder spät) flexibel und abhängig von spezifischen Aufgabenfaktoren.**

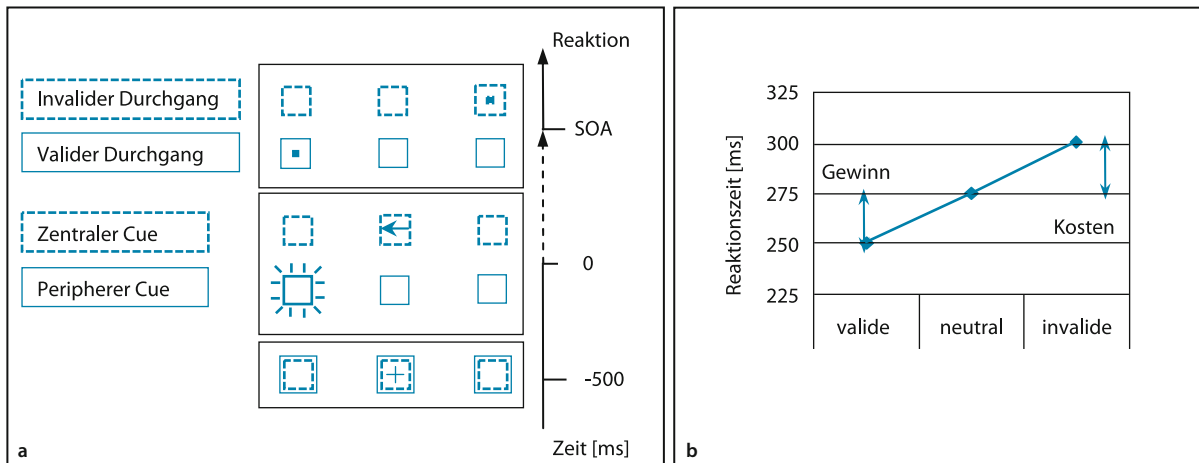
## 28.2 Selektive visuelle Aufmerksamkeit

In den 60er und 70er Jahren des 20. Jahrhunderts hat sich die Aufmerksamkeitsforschung zunehmend der Frage der Selektion in der visuellen Umwelt zugewandt. Diese Forschung hat im Wesentlichen zu zwei Ansätzen geführt, die die selektive visuelle Aufmerksamkeit entweder als **ortsbasiert** oder **objektbasiert** begreifen.

### 28.2.1 Ortsbasierte Aufmerksamkeit

#### Paradigmen und Modelle

Der Ansatz der ortsbasierten Aufmerksamkeit beruht im Wesentlichen auf zwei Paradigmen: dem Flankierreiz-Pa-



■ **Abb. 28.1a,b** Das Paradigma des Spatial Cueing. **a** Ablauf eines Versuchsdurchgangs in den Bedingungen mit peripherem (*durchgezogene Linien*) bzw. zentralem (*gestrichelte Linien*) Hinweisreiz (*»cue«*). *Unten*: Probanden richten den Blick auf den zentralen Fixationspunkt. *Mitte*: Ein peripherer (*Aufleuchten*) bzw. zentraler (*Pfeil*)

Hinweisreiz indiziert die wahrscheinliche Zielreizposition (*linkes bzw. rechtes Kästchen*). *Oben*: Der Zielreiz kann im angezeigten Kästchen (*valider Durchgang*) oder im nichtangezeigten Kästchen (*invaliden Durchgang*) erscheinen. **b** Resultierende Zielreizentdeckungsreaktionszeiten in Abhängigkeit von der Hinweisreizvalidität

radigma von Eriksen u. Eriksen (1974) sowie dem Spatial-Cueing-Paradigma von Posner (1980). Im Flankierreiz-Paradigma wird dem Probanden eine Reihe von Buchstaben, z. B. »BAB«, dargeboten und er hat eine bestimmte Reaktion auf den zentralen Zielbuchstaben (»A«) auszuführen. Falls die Flankierer-Buchstaben, »B«, mit einer damit inkompatiblen Reaktion assoziiert sind, kann es zu einer Interferenz mit der Reaktion auf »A« kommen (die sich als Verlängerung der RZ manifestiert). Im Cueing-Paradigma von Posner (■ Abb. 28.1) wird dem Probanden ein ortsbezogener Hinweisreiz (*»spatial cue«*) dargeboten, d. h. ein Hinweisreiz, der die Position eines nachfolgenden Zielreizes mit einer bestimmten Wahrscheinlichkeit (Validität) indiziert. Ein Beispiel ist ein zentraler Fixationspunkt mit zwei Kästchen links und rechts, wobei der Hinweisreiz z. B. das rechte Kästchen als wahrscheinlichen Ort des Zielreizes anzeigt. In der Standardbedingung hat der Proband die Aufgabe, auf das Einsetzen des Zielreizes so schnell wie möglich mit einem einfachen Tastendruck zu reagieren (*»einfache«* RZ-Aufgabe). Eine wichtige Variable ist die Cue-Validität. Zum Beispiel mag der Zielreiz mit einer Wahrscheinlichkeit von 80% am indizierten Ort erscheinen und mit einer Wahrscheinlichkeit von 20% am nichtindizierten Ort. Neben validen und invaliden Durchgängen gibt es neutrale Durchgänge, in denen der Cue (z. B. ein zentrales Kreuz) nur als zeitliches Warnsignal, nicht aber als ortsbezogener Hinweisreiz, fungiert (d. h. auf einen neutralen Cue hin erscheint der Zielreiz gleichwahrscheinlich im linken bzw. im rechten Kästchen).

Eine weitere wichtige Variable ist die Art des Cues, wobei sich zwei Arten unterscheiden lassen: , in der Regel ein symbolischer Stimulus am Fixationsort (z. B. ein nach rechts

weisender Pfeil), und periphere Cues, in der Regel eine kurzzeitige Luminanzänderung direkt am indizierten Ort (z. B. ein Aufleuchten des rechten Kästchens). In Posners Cueing-Experimenten zeigte sich, dass die einfache RZ auf den Zielreiz schneller erfolgen konnte, wenn dieser am angezeigten Ort erschien (*valider Cue*) im Vergleich zur RZ auf einen Zielreiz am nicht angezeigten Ort (*invaliden Cue*); im Detail ergaben sich ein RZ-Gewinn für valide Cues und Kosten für invalide Cues relativ zu neutralen Cues.

➤ **Durch ortsbezogene Hinweisreize (*»cues«*) kann die Aufmerksamkeit selektiv auf potenziell informationshaltige Stellen im visuellen Feld ausgerichtet werden.**

Die Untersuchungen von Posner et al. (z. B. Posner et al. 1980) führten zu der Vorstellung, dass die visuelle Aufmerksamkeit wie ein Lichtkegel (*»spotlight«*) funktioniert, der einen bestimmten Ort beleuchtet. Stimuli, die an einem attentional illuminierten Ort erscheinen, werden rascher und gründlicher verarbeitet als Stimuli an anderen Orten. Posner et al. (1988) schlugen vor, dass die Orientierung der Aufmerksamkeit durch drei separate Mechanismen gesteuert wird:

- einen »Move«-Mechanismus, der für die Verlagerung der Aufmerksamkeit von einem Ort an einen anderen verantwortlich ist,
- einen »Disengage«-Mechanismus, der die Aufmerksamkeit (vor der Verlagerung) von einem gegebenen Ort bzw. Objekt ablöst, und
- einen »Engage«-Mechanismus, der die Aufmerksamkeit (nach der Verlagerung) an den neuen Ort bzw. ein dort befindliches Objekt »anbindet«.



Die Untersuchungen mittels des Flankierer-Paradigmas (z. B. Eriksen u. Eriksen 1974) haben zu einer alternativen Vorstellung geführt, die die Aufmerksamkeit als eine variable »Gummilins« (»zoom lens«) konzipiert. Das heißt, die Aufmerksamkeit kann entweder auf einen kleinen Bereich (von minimal 1° Sehwinkel Durchmesser) fokussiert werden, mit hoher »Auflösung« innerhalb dieses Bereichs (fokussierte Einstellung), oder sie kann über einen weiten Bereich eingestellt werden, mit entsprechend verringerter Auflösung (unfokussierte Einstellung). Mittels der Gummilinsen-Analogie hat man versucht, den Befund zu erklären, dass sich die Interferenzwirkung inkompatibler Flankierer auf die Zielreizreaktion mit zunehmender Zeitverzögerung (SOA) zwischen der Darbietung des Hinweisreizes und der Buchstabenreihe reduziert. Die Vorstellung ist dabei, dass die Aufmerksamkeit auf den Cue hin in einem zeitverbrauchenden Prozess von einem unfokussierten Zustand in einen fokussierten Zustand übergeht.

Einigen neueren Vorstellungen zufolge ist die ortsbezogene visuelle Aufmerksamkeit im Sinne eines Gradientenmodells zu begreifen (z. B. Downing 1988), demzufolge die attentionale »Auflösungskraft« innerhalb der attendierten Region vom Maximum im Zentrum kontinuierlich zur Peripherie hin abfällt (wobei die Steilheit des Gradienten den Aufgabenanforderungen entsprechend variiert). Eine weitere theoretische Entwicklung integriert Filter- und Gradientenansätze ins Gradienten-Filter-Modell (z. B. Cheal et al. 1994).

- **Ortsbezogenen Theorien der Aufmerksamkeit zufolge funktioniert die Aufmerksamkeit als eine Art »Spotlight«, das eine bestimmte Stelle im Feld »beleuchtet« und damit der Informationsverarbeitung an diesem Ort Vorrang verschafft bzw. die Qualität der Verarbeitung verbessert.**

### Mechanismen der Aufmerksamkeitsorientierung

Wie auch immer die ortbezogene Aufmerksamkeit konzipiert wird, es besteht Übereinstimmung darüber, dass die Ausrichtung der Aufmerksamkeit auf einen Ort durch zwei komplementäre Mechanismen vermittelt werden kann (z. B. Müller u. Rabbitt 1989):

- **exogene** (reizgetriggerte, reflexive) Orientierung auf periphere Cues, die durch eine kurze Latenz (ca. 50 ms), eine transiente Aktivierung (50–200 ms) und eine relativ »automatische« Funktionsweise gekennzeichnet ist, und
- **endogene** (intentionale, willentliche) Orientierung auf zentrale Cues, die durch eine relativ lange Latenz (>200 ms), relativ lange aufrechterhaltbare Aktivierung (>500 ms) und eine »kontrollierte« Funktionsweise gekennzeichnet ist.

Besonders effektive exogene Triggerreize sind transiente Luminanzänderungen, wobei plötzliche Reiz-Onsets wirksamer sind als Reiz-Offsets. Eine Reihe von Studien hat sich mit der Frage beschäftigt, auf welche Weise die beiden Mechanismen der Aufmerksamkeitsorientierung funktionieren: »automatisch« oder »kontrolliert« (willentlich). Diese Untersuchungen zeigten, dass exogene Orientierung, im Gegensatz zu endogener Orientierung, unabhängig von einer Zweitaufgabe ablaufen und selbst durch örtlich nicht-informative Hinweisreize ausgelöst werden kann (Jonides 1980). Weiterhin kann endogene Orientierung auf valide Cues hin durch exogen die Aufmerksamkeit anziehende Triggerreize unterbrochen werden (Müller u. Rabbitt 1989). Dabei hängt die Unterbrechung von der Cue-Validität ab: Der Unterbrechungseffekt ist bei sehr hoher Validität reduziert (Yantis u. Jonides 1990). Dieses Befundmuster legt es nahe, dass die exogene Aufmerksamkeitsorientierung »top-down« modulierbar und somit nur »partiell« automatisch ist, während die endogene Orientierung kontrolliert abläuft.

- **Die Aufmerksamkeitsorientierung auf einen Cue hin kann entweder reizgesteuert (automatisch) oder willentlich gesteuert (kontrolliert) erfolgen.**

### Ortsbasierte Aufmerksamkeit und sakkadische Augenbewegungen

Obwohl die Aufmerksamkeitsausrichtung an einen bestimmten Ort verdeckt (»covert«), d. h. ohne offen beobachtbare (»overt«) Augenbewegung erfolgen kann, besteht ein enger Zusammenhang zwischen verdeckter Orientierung der Aufmerksamkeit und sakkadischen Augenbewegungen. So ist die Richtung der Aufmerksamkeit an die Richtung einer Augenbewegung gekoppelt, und einer Augenbewegung an die Position eines peripheren Cues geht eine Ablösung (»disengagement«) der Aufmerksamkeit vom Fixationsstimulus und eine Verlagerung auf den neuen Stimulus in der Peripherie voraus. Dabei kann in einem Zeitfenster von 50–100 ms vor einer Sakkade nur das Objekt am Sakkadenziel diskriminiert werden. Die Ablösung der Aufmerksamkeit wird dadurch beschleunigt, dass der Stimulus am Fixationsort vor dem Einsetzen des peripheren Sakkadenziels gelöscht wird. Dies führt u. U. zur Generierung von sog. Express-Sakkaden, d. h. Sakkaden mit sehr kurzer Latenz.

### »Inhibition of Return« (IOR): Hemmung der Reorientierung der Aufmerksamkeit an einen zuvor attendierten Ort

Ein weiterer, zuerst mittels des Posner'schen Cueing-Paradigmas demonstrierter Effekt besteht darin, dass sich die RZ auf einen Zielreiz an einer durch einen peripheren Cue indizierten Position verlangsamt (gegenüber der RZ auf

ein Target an einer nichtindizierten Position), wenn die Zeitverzögerung (SOA) zwischen Hinweis- und Zielreiz länger als etwa 300 ms ist (Posner u. Cohen 1984). Das heißt, der frühe »Erleichterungseffekt« für die indizierte Position (SOA < 300 ms) verkehrt sich in einen späten Inhibitionseffekt (SOA > 300 ms), der als Ausdruck der Hemmung der Reorientierung der Aufmerksamkeit an einen kurz zuvor attendierten Ort interpretiert wird. Die Vorstellung ist dabei die, dass das (unmittelbare) Ausbleiben des Zielreizes an der indizierten Position zu einer Verlagerung der Aufmerksamkeit von der indizierten auf eine andere Position (z. B. den Fixationsort) führt, sodass, wenn der Zielreiz schließlich an der indizierten Position erscheint, eine Reorientierung der Aufmerksamkeit auf diese Position erforderlich ist. Die erschwerte Reorientierung auf die indizierte (d. h. vorher attendierte) Position wird dann im Sinne einer inhibitorischen Markierung dieser Position für erneute Aufmerksamkeitsverlagerungen interpretiert. IOR kann somit als ein Bias in der (gedächtnisbasierten) Steuerung der ortsbezogenen Aufmerksamkeit verstanden werden, der darauf hinwirkt, dass neue Orte im visuellen Feld abgesucht werden. Weitere Untersuchungen zum IOR-Effekt haben gezeigt, dass die Inhibition Orte bzw. Objekte in der Umwelt betrifft, deren Koordinaten unabhängig von Kopf- und Augenbewegungen sind. IOR steht außerdem in engem Zusammenhang mit sakkadischen Augenbewegungen.

➤ **Die Steuerung der Aufmerksamkeitsorientierung involviert eine Tendenz, die Aufmerksamkeit nicht auf einen unmittelbar zuvor attendierten Ort zurückzuverlagern (»inhibition of return«).**

### 28.2.2 Objektbezogene visuelle Aufmerksamkeit

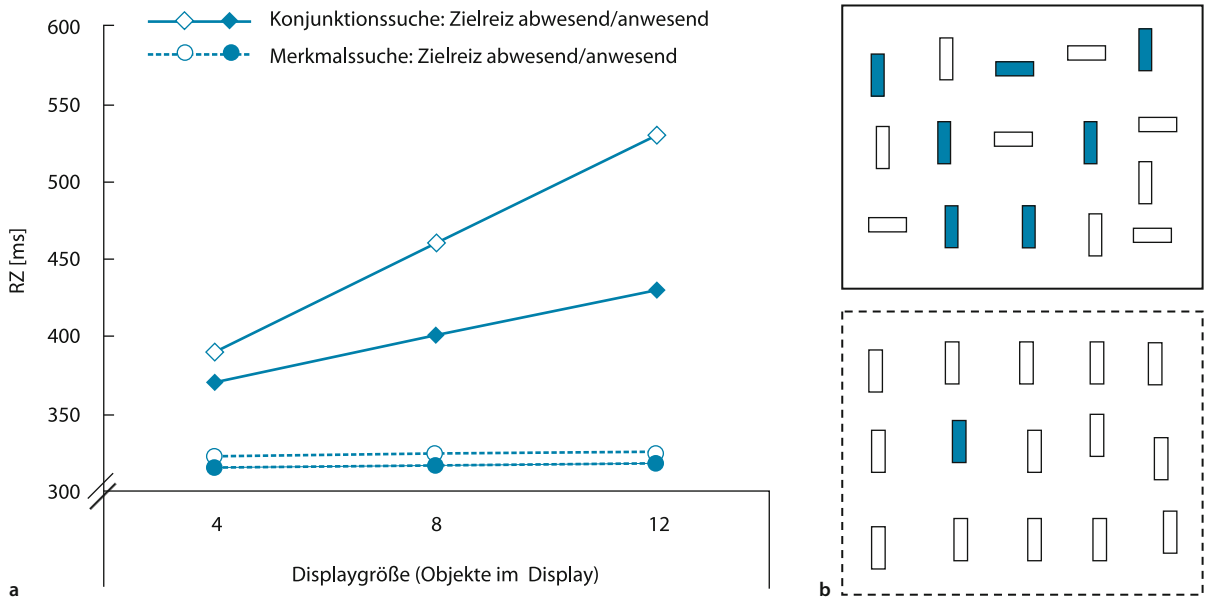
In alternativen Ansätzen der selektiven visuellen Aufmerksamkeit wird davon ausgegangen, dass die Aufmerksamkeit nicht auf einen abstrakten Ort im visuellen Feld gerichtet wird, sondern auf ein Objekt an einem bestimmten Ort. So werden in Posners Cueing-Paradigma die möglichen Zielreizorte z. B. durch Kästchen markiert, innerhalb derer ein Zielreiz erscheinen kann, sodass die Aufmerksamkeit auf das indizierte Kästchen ausgerichtet wird. Mit anderen Worten ist die visuelle Selektion nicht ortsbasiert, sondern vielmehr objektbasiert.

Eine einflussreiche Demonstration objektbasierter Selektion stammt von Duncan (1984). Er bot seinen Probanden kurzzeitig zwei überlappende Objekte dar: ein vertikal orientiertes Rechteck, das entweder groß oder klein (d. h. vertikal mehr oder weniger elongiert) war und entweder in der linken oder der rechten Seite eine kleine Lücke aufwies,

sowie eine (das Rechteck durchziehende) Linie, die entweder aus punkt- oder aus strichartigen Elementen bestand und entweder eine leichte Links- oder eine leichte Rechtsneigung (relativ zur Vertikalen) aufwies. Jedes der beiden Objekte war also durch zwei unabhängige Attribute gekennzeichnet: Rechteck – Größe und Lückenseite; Linie – Textur und Neigung. Die Probanden hatten die Aufgabe, entweder ein Attribut eines der Objekte zu beurteilen (z. B. Größe des Rechtecks) oder duale Urteile zu fällen, die sich entweder nur auf ein Objekt bezogen (z. B. Größe des Rechtecks und Lückenseite) oder die sich auf beide Objekte bezogen (z. B. Größe des Rechtecks und Textur der Linie). Duncan fand, dass duale Urteile, die sich auf ein Objekt bezogen, so genau ausfielen wie Einzelurteile für dieses Objekt. Dagegen war die Genauigkeit von dualen Urteilen, von denen sich eines auf das eine und das andere auf das andere Objekt bezog, reduziert, obwohl beide Objekte am selben Ort (überlappend) dargeboten wurden und kleiner als 1° Sehwinkel (der nach Eriksen u. Eriksen, 1974, engsten Einstellung des Aufmerksamkeits-Spotlights) waren. Duncan schloss daraus, dass die entscheidende attentionale Limitation nicht in der ortsbezogenen Aufmerksamkeit liegt, sondern vielmehr darin, dass man nur ein Objekt zu einem gegebenen Zeitpunkt attendieren kann. Diese objektbezogene Aufmerksamkeit macht dann die Attribute des entsprechenden Objekts der weiteren Verarbeitung zugänglich.

➤ **Objektbezogenen Theorien der Aufmerksamkeit zufolge wird die Aufmerksamkeit nicht auf Orte im Feld ausgerichtet, sondern auf Objekte an diesen Orten. Dies heißt, die Verarbeitung ist objektlimitiert in dem Sinne, dass (selbst bei sich überlappenden Objekten an einem Ort) nur ein Objekt zu einer gegebenen Zeit verarbeitet werden kann.**

Eine wichtige Frage dabei ist, welche Art von Objektrepräsentation der objektzentrierten visuellen Selektion zugrunde liegt: eine Repräsentation im Sinne von Marrs (1982) Vorstellung einer räumlich invarianten »3D-Modell-Repräsentation« oder eine »Primal-sketch-Repräsentation«, die aus einer Struktur von gruppierten lokalen Elementen besteht und somit ortsabhängig ist (»grouped spatial array«). Diese Frage wurde von Kramer et al. (1997) untersucht, die zeigen konnten, dass die initiale Objektselektion auf einer Repräsentation im Sinne einer Struktur von gruppierten Elementen basiert. Folglich ist die objektbasierte visuelle Selektion wesentlich ortsbezogen, d. h., sie findet in einem räumlichen Medium statt. Es lässt sich also ein Primat der ortsbezogenen Aufmerksamkeit konstatieren. Dabei ist freilich die Konzeption von »Ort« komplexer als in den klassischen Ansätzen zur ortsbasierten Aufmerksamkeit (s. oben die Lichtkegel- und Gummilinsenmodel-



**Abb. 28.2a,b** Das Paradigma der visuellen Suche. **a** Suchreaktionszeitfunktionen in Abhängigkeit von der Displaygröße für Zielreiz-anwesend- bzw. Zielreiz-abwesend-Durchgänge. Merkmalskonjunktionssuche; linear ansteigende Suchfunktionen, serielle Suche (oben, durchgezogene Linien); Einfache Merkmalsuche: flache Funktionen

tionen der Suchreaktionszeit, parallele Suche (unten, gestrichelte Linien). **b** Oben: Merkmalskonjunktionssuche nach einem schwarzen horizontalen Zielreiz unter schwarzen vertikalen und weißen horizontalen und vertikalen Distraktoren. Unten: Einfache Merkmalsuche nach einem schwarzen Zielreiz unter weißen Distraktoren

le; **Abb. 28.1**) antizipiert; vielmehr kann die Aufmerksamkeit auf komplexe Objektstrukturen gerichtet bzw. diesen flexibel angepasst werden.

## 28.3 Visuelle Suche

### 28.3.1 Parallele und serielle Suche

Ein wichtiges Untersuchungsverfahren in der Aufmerksamkeitsforschung, das sich als ein »Testfeld« für konkurrierende Theorien der selektiven Aufmerksamkeit erwiesen hat, ist das Paradigma der visuellen Suche (»visual search«, **Abb. 28.2**). Den Probanden wird ein Suchdisplay dargeboten, das neben einer variablen Anzahl von Distraktorstimuli einen Zielreiz enthalten kann. Die Gesamtzahl der Stimuli im Suchdisplay wird als Displaygröße (»display size«) bezeichnet. Der Zielreiz ist entweder anwesend oder abwesend; die Aufgabe der Probanden besteht darin, möglichst rasch eine positive (Zielreiz anwesend) bzw. negative (Zielreiz abwesend) Entscheidung zu treffen. Die dafür benötigten RZ können als Funktion der Displaygröße  $n$  dargestellt werden (Such-RZ-Funktion), wobei sich die resultierenden Suchfunktionen in der Regel durch folgende (lineare) Gleichung beschreiben lassen:  $RZ = a + b \cdot n$ ; dabei ist  $a$  die Basis-RZ, d. h. der  $y$ -Achsenabschnitt der Suchfunktion, und  $b$  die Suchrate, d. h. die Steigung der Funktion (gemessen in Zeiteinheiten pro Displayitem).

Aufgrund der in verschiedenen Suchexperimenten gefundenen Suchfunktionen hat man eine Unterscheidung zwischen zwei Modi der visuellen Suche vorgeschlagen: parallele und serielle Suche. Steigt die Suchfunktion nur wenig mit zunehmender Displaygröße an, so geht man davon aus, dass alle Items im Display simultan abgesucht werden, d. h. die Suche verläuft »parallel«. Dagegen nimmt man bei linear ansteigenden Suchfunktionen an, dass die einzelnen Displayitems sukzessive abgesucht werden, d. h. die Suche verläuft »seriell«. Produziert ein Suchexperiment ein 2:1-Steigungsverhältnis zwischen der negativen und der positiven Suchfunktion, so lässt sich aufgrund einer Reihe von Annahmen schließen, dass in negativen Durchgängen alle Displayitems erschöpfend abgesucht wurden (»exhaustive« Suche), während in positiven Durchgängen die Suche beendet wurde, sobald der Zielreiz entdeckt wurde (»selbstabbrechende« Suche). Damit ist freilich noch nicht erklärt, warum manche Suchen parallel und manche seriell erfolgen.

**Das Paradigma der visuellen Suche liefert Hinweise darauf, welche visuellen Verarbeitungsprozesse Aufmerksamkeit benötigen und seriell erledigt werden und welche Prozesse präattentiv auf einer parallelen Verarbeitungstufe ablaufen.**



### 28.3.2 Merkmalsintegrationstheorie der visuellen Aufmerksamkeit (»feature integration theory of visual attention«)

Evidenz für parallele bzw. für serielle Suche ergab sich in Suchexperimenten, in denen sich das Target entweder durch ein einfaches Merkmal (»feature«) in einer gegebenen Merkmalsdimension (»feature dimension«; parallele Suche) oder durch eine Kombination von Merkmalen (»feature conjunction«; serielle Suche) von den Distraktoren unterschied. Es wird angenommen, dass sich jeder Stimulus als eine Kombination aus basalen Merkmalen beschreiben lässt, wobei »ähnliche« Merkmale Dimensionen bilden; z. B. sind rot, grün, blau etc. Merkmale der Dimension Farbe; andere Dimensionen sind Bewegung, Orientierung, Größe etc. (Wolfe u. Horowitz 2004). Man geht davon aus, dass Merkmalsdimensionen modulare Systeme sind, die aus spezialisierten, z. B. einen bestimmten Farbwert codierenden, Merkmalsdetektoren bestehen. Eine weitere Annahme ist, dass ähnliche Merkmalsdetektoren topografisch, in »Merkmalskarten«, organisiert sind. Dabei entsprechen bestimmte Orte in den Karten den Stimulusorten im visuellen Feld, sodass die Möglichkeit besteht, korrespondierende Orte in den verschiedenen Karten einander zuzuordnen. Diese stark vereinfachten Vorstellungen leiten sich aus der Neurophysiologie der visuellen Wahrnehmung her (z. B. Zeki 1993). Daraus ergibt sich dann das sog. Problem der Bindung (»binding problem«): Wie werden die separat codierten Objektmerkmale zu einer wahrnehmungsmäßig kohärenten Objektrepräsentation verbunden?

Die einflussreiche Merkmalsintegrationstheorie (MIT) der visuellen Aufmerksamkeit von Treisman (Treisman u. Gelade 1980) stellt einen wichtigen Versuch dar, diese Frage zu beantworten. Die Hauptevidenz für diese Theorie stammt aus visuellen Suchexperimenten, in denen sich der Zielreiz von den Distraktoren entweder durch ein einfaches Merkmal unterschied (»simple feature search«), z. B. Suche nach einem schwarzen Zielreiz unter weißen Distraktoren, oder durch eine Kombination von Merkmalen (»feature conjunction search«), z. B. Suche nach einem schwarzen horizontalen Zielreiz unter schwarzen vertikalen und weißen horizontalen und vertikalen Distraktoren. Bei der Merkmalssuche war die Such-RZ-Funktion flach (der Zielreiz scheint aus dem Display herauszuspringen – das »Popout«-Phänomen), woraus Treisman schloss, dass die Zielreizentdeckung auf parallelen, präattentiven Suchprozessen beruht. Dagegen stieg die Suchfunktion bei der Merkmalskonjunktionssuche mit zunehmender Displaygröße linear an (mit einem Steigungsverhältnis von 2:1 zwischen den negativen und den positiven Funktionen), was als Indiz für serielle, attentionale Suche gewertet wur-

de. Das heißt, dass bei der Konjunktionssuche die einzelnen Displayitems sukzessive mit fokaler Aufmerksamkeit abgetastet werden müssen, wodurch die separat codierten Merkmale des inspizierten Items in ein kohärentes Objekt integriert werden und in der Folge mit einer Zielreizbeschreibung (im Objektgedächtnis) abgeglichen werden können. Dabei wird die Zuweisung von fokaler Aufmerksamkeit an ein Objekt als ortsbezogen konzipiert: Die Aufmerksamkeit wird auf einen Ort in der Hauptkarte der Orte (»master map of locations«) gerichtet, wodurch der Output der verschiedenen Merkmalsdetektoren an dem entsprechenden Ort verfügbar wird. Der MIT zufolge besteht der »bottleneck« also in einem seriell arbeitenden, d. h. Aufmerksamkeit erfordernden, Bindungsstadium: Bindung kann nur für ein Objekt zu einer gegebenen Zeit erfolgen (s. auch Huang u. Pashler 2007). Als einen weiteren Beleg für diese Theorie werden sog. »illusionäre Konjunktionen« (Treisman u. Schmidt 1982) angeführt, d. h. der Befund, dass die Merkmale nichtattendierter Objekte (bei kurzzeitiger Displaydarbietung) falsche Bindungen eingehen können; ein Beispiel wäre die Bindung der Form von Objekt A mit der Farbe von Objekt B (die Halluzination nichtvorhandener Merkmale ist dagegen selten). Mit anderen Worten: Nur die Zuweisung fokaler Aufmerksamkeit garantiert korrekte Merkmalsintegration.

➤ **Der Merkmalsintegrationstheorie von Treisman zufolge können zwar die einzelnen Attribute von Objekten im visuellen Feld parallel registriert werden, ihre Bindung in kohärente Objektrepräsentationen erfolgt aber durch die serielle Allokation von Aufmerksamkeit.**

Nach der ursprünglichen Formulierung der MIT wurde eine Reihe von Befunden aus visuellen Suchexperimenten berichtet, die sich nicht durch eine simple Dichotomie von parallel-präattentiver und seriell-attentionaler Suche erklären ließen. Insbesondere zeigte sich, dass die Steigungen der Suchfunktionen von absolut »flach« bis sehr »steil« variieren konnten, wobei die Ähnlichkeit des Zielreizes zu den Distraktoren (sowie die Ähnlichkeit der Distraktoren untereinander) eine besondere Rolle spielt. Eine Reihe von Alternativen wurde vorgeschlagen, um diese Befunde zu erklären, insbesondere die Ähnlichkeitstheorie (»similarity theory«; Duncan u. Humphreys 1989) sowie die auf der MIT aufbauenden Modelle der gesteuerten Suche (»guided search«, GS; z. B. Wolfe 1994) und der Dimensionengewichtung (»dimension weighting«; Müller et al. 1995, 2003).

Wie in der MIT wird auch im GS-Modell davon ausgegangen, dass auf der ersten Verarbeitungsstufe in einer parallelen Weise die einzelnen Merkmale aller sich in einem visuellen Feld befindenden Objekte extrahiert werden. Im Rahmen der MIT signalisieren diese merkmalsbasierten Repräsentationen das Vorhandensein eines

bestimmten Merkmals an einem bestimmten Ort. Im GS-Modell hingegen bilden die merkmalsbasierten Aktivierungen innerhalb einer visuellen Dimension, wie Farbe, Bewegung, Orientierung, Größe etc., die Grundlage für die Berechnung sog. Salienssignale, die dimensionsspezifisch das Vorhandensein sich auffällig von den Nachbarobjekten unterscheidender Merkmale an bestimmten Orten des visuellen Feldes signalisieren. Je unterschiedlicher dabei ein Item im Vergleich zu den anderen Items (z. B. in der Farbe) ist, desto größer ist seine (Farb-)Salienz. Die dimensionsspezifischen Aktivierungen werden anschließend auf der zweiten Stufe der Verarbeitung ortsspezifisch über die verschiedenen Dimensionen integriert und steuern über diese Stufe die Zuweisung fokaler Aufmerksamkeit an die insgesamt auffälligsten Objekte. Diese erhalten dadurch Zugang zu höheren kognitiven Prozessen, wie Objekterkennung und Objekt-Reaktions-Zuordnung.

Auch im GS-Modell wird angenommen, dass die Prozesse der ersten Stufe parallel und automatisch ablaufen, d. h. dass sie unabhängig von limitierten Ressourcen und nicht durch kognitive, im speziellen attentionale Einstellungsprozesse modulierbar sind. Einige dieser Annahmen bezüglich der frühen Verarbeitungsstufen werden in aktuellen Arbeiten modifiziert und fanden Eingang in einen alternativen Ansatz der visuellen Suche, dem sog. Ansatz der Dimensionsgewichtung (»dimension weighting account«; Müller et al. 1995, 2003). So wird die Suchleistung (d. h. die RZ) durch die dimensionsbasierte Definition des Zielreizes moduliert. Ein signifikanter Anstieg der RZ wurde beobachtet, wenn sich die den Zielreiz definierende Dimension in zwei aufeinander folgenden Versuchsdurchgängen veränderte (z. B. von Farbe nach Orientierung). Dieser Befund wurde durch eine Ressourcenlimitierung der Prozesse auf der ersten Verarbeitungsstufe erklärt. Eine limitierte Ressource, attentionales »Gewicht«, wird von den dimensionsbasierten Mechanismen benötigt, um Salienssignale zu berechnen. Das dabei generierte Muster der Ressourcenverteilung bleibt über Versuchsdurchgänge hinweg in Form eines dimensional »Gedächtnisses« erhalten. Dies manifestiert sich bei einem Wechsel der Dimension in verlängerten RZ, da in diesem Fall die Ressource zwischen dimensionsbasierten Verarbeitungsmechanismen verschoben werden muss. Weiter wurde u. a. gezeigt, dass die Effekte dimensionsbasierter Gewichtung nicht vollständig stimulusgetrieben sind, sondern dass sie vielmehr auch »top-down« moduliert werden können. Bei Darbietung eines symbolischen (sprachlichen) Cues vor jedem Suchdisplay führten valide Hinweisreize zu dimensionsbasierten RZ-Vorteilen, unabhängig davon, ob der Cue dimensions- (z. B. »Farbe«) oder merkmalspezifischer Natur (z. B. »rot«) war. Darüber hinaus reduzierten valide Cues die Kosten, wenn sich die zielreizdefinierende Dimension vom vorherigen zum aktuellen Durchgang

änderte. Allerdings kann die »Top-down«-Modulation die stimulusgetriebenen (»bottom-up«) Wechseleffekte nicht vollständig überschreiben (Müller et al. 2003).

Neben Fragen der spezifischen Rolle von Top-down- und Bottom-up-Prozessen, Mechanismen der ähnlichkeitsbasierten visuellen Gruppierung bei der Steuerung des Suchprozesses, sowie dem Problem, ob die Aufmerksamkeit die Objektbindung beeinflusst oder nur die Selektion präattentiv gebundener Objekte, rücken zunehmend auch Fragen zum Zusammenhang von Aufmerksamkeit und Bewusstsein sowie der Bedeutung rekurrenter Verarbeitung im Kontext der Selektion in das Zentrum des Forschungsinteresses (z. B. Hochstein u. Ahissar 2002; Lamme 2003).

➤ **Aktuelle Forschungsfragen sind, welche Rolle Top-down- und Bottom-up-Prozesse sowie Prozesse der ähnlichkeitsbasierten Gruppierung bei der Steuerung der Aufmerksamkeit spielen und ob die Aufmerksamkeit die Objektbindung beeinflusst oder nur die Selektion präattentiv gebundener Objekte, sowie der Zusammenhang von Aufmerksamkeit, Bewusstsein und rekurrenter Verarbeitung.**

## 28.4 Zeitliche Faktoren der Selektion: Visuelle Markierung

Neben Prozessen der räumlichen Selektion existieren auch solche der Selektion in der Zeit. In bestimmten Situationen, etwa wenn ein Zielreiz an verschiedenen Orten einer visuellen Szene erscheinen kann oder wenn die Merkmale eines zu identifizierenden Objekts nicht von vornherein bekannt sind, könnte die Zielreizentdeckung durch die Ausrichtung fokaler Aufmerksamkeit auf einen bestimmten (Nicht-Zielreiz-)Ort beeinträchtigt werden.

Zeitliche Selektion arbeitet durch einen Mechanismus der »visuellen Markierung« (»visual marking«) alter, d. h. zu einem bestimmten Zeitpunkt schon vorhandener, relativ zu neu erscheinenden Objekten (bzw. Objektorten) in einem visuellen Feld. Dabei wird ein aktiver Verarbeitungsbias gegen die alten Objekte eingesetzt, der die Wahrscheinlichkeit, dass die Selektion durch alte Objekte beeinflusst wird, herabsetzt und damit die Wahrscheinlichkeit der Determination der Selektion durch neue Objekte erhöht.

### 28.4.1 Passive vs. aktive Priorisierung

Zwei passive Mechanismen sind hauptsächlich für die Priorisierung neuer Objekte verantwortlich: »inhibition of

return« (IOR, ► oben) und die Aufmerksamkeitskaperung (»attentional capture«). Mit Aufmerksamkeitskaperung wird das Phänomen bezeichnet, dass ein neues Objekt, das innerhalb einer Anordnung alter Objekte präsentiert wird, die Aufmerksamkeit auf sich zieht, selbst wenn die alten Objekte gleichzeitig mit dem Beginn der Darbietung des neuen Objekts eine ihrer Eigenschaften verändern. Allerdings sind diese passiven automatischen Mechanismen bestimmten Limitationen unterworfen: IOR erstreckt sich auf nur 4 bis 5 der zuletzt fokal beachteten Objekte, und maximal 4 Objekte können simultan für die prioritäre Zuweisung von Aufmerksamkeit vorgemerkt werden.

Hinweise auf eine aktive Priorisierung wurden von Watson u. Humphreys (1997) berichtet. Diese Autoren verwendeten eine Konjunktionssuchaufgabe, in der ein Set von Distraktoren (alte Items) für 1.000 ms vor einem zweiten Distraktorset dargeboten wurde. In Zielreiz-anwesend-Durchgängen wurden die Zielreize immer zusammen mit dem Set neuer Distraktoren dargeboten. In dieser Vorschaubedingung (»preview condition«) war die Sucheffizienz so hoch wie in einer Vergleichsbedingung, in der nur das zweite Item-Set präsentiert worden war; dagegen war die Effizienz signifikant höher als in einer Baseline-Bedingung, in der in einer klassischen Konjunktionssuche alle Items (d. h. die beiden Sets) gleichzeitig dargeboten wurden. Diese Verbesserung der Sucheistung wird als Vorschauvorteil (»preview benefit«) bezeichnet und ist ein Hauptcharakteristikum der visuellen Markierung. Weitere Charakteristika sind, dass der Vorschau-Vorteil nicht einfach auf einer Differenz basaler Merkmale zwischen alten und neuen Items basiert; dass er sowohl bei stationären als auch bei sich bewegenden Stimuli auftritt; und dass er bei bis zu 30 alten und 15 neuen Stimuli auftritt und daher nicht den Kapazitätslimitationen von IOR und Aufmerksamkeitskaperung unterworfen ist.

Der Vorschauvorteil wird reduziert, wenn Beobachter während der Vorschauperiode eine (auditive oder visuelle) Zusatzaufgabe auszuführen haben (Humphreys et al. 2002). Können die alten Stimuli jedoch vor der Darbietung der Zusatzaufgabe encodiert werden, wirkt sich nur eine visuelle Zusatzaufgabe negativ aus. Um eine optimale Verarbeitung der neuen Stimuli zu erreichen, müssen also aktive Prozesse einsetzen, während die alten Stimuli (allein) präsentiert werden. Zusätzlich legen die unterschiedlichen Effekte auditiver und visueller Zusatzaufgaben separate Prozesse der Encodierung und der Aufrechterhaltung einer Repräsentation (der alten Stimuli) nahe.

Visuelle Markierung beinhaltet einen Prozess, der die alten Items eines Suchdisplays, die möglicherweise als »Gruppe« repräsentiert werden, als Gesamtheit von der Verarbeitung ausschließt, wenn neue Items im Display auftauchen. Diese Vorstellung wird gestützt durch Untersuchungen, in denen Probanden in einer Vorschauaufgabe

in einer Reihe von Versuchsdurchgängen die Anwesenheit eines weißen Lichtpunktes (d. h. eines »Probestimulus«) entdecken mussten, der zusammen mit den neuen Items dargeboten wurde. Wurde der Probestimulus am Ort eines der alten Objekte präsentiert, so war die Entdeckungslatenz im Vergleich zur Darbietung am Ort eines der neuen Objekte signifikant verlangsamt (Watson u. Humphreys 2000).

► **Prozesse der Selektion in der Zeit umfassen sowohl passive als auch aktive Effekte. Beim passiven Mechanismus der Aufmerksamkeitskaperung zieht ein neu dargebotenes Objekt die Aufmerksamkeit auf sich, selbst wenn sich ein Merkmal alter Objekte gleichzeitig mit dem Beginn der Darbietung des neuen Objekts verändert. Aktive Priorisierung findet sich in der Vorschaubedingung bei Konjunktionssuchen, bei denen alte Items visuell markiert und von der Verarbeitung ausgeschlossen werden, wenn neue Items in einem Suchdisplay auftauchen.**

## 28.5 Limitationen der selektiven visuellen Aufmerksamkeit

Die Bedeutung von Aufmerksamkeitsprozessen zeigt sich in einer Reihe von Limitationen der visuellen Verarbeitung, die dann beobachtet werden, wenn Mechanismen der räumlichen oder zeitlichen selektiven Aufmerksamkeit überlastet sind. Diese Limitationen werden als Unaufmerksamkeitsblindheit (»inattentional blindness«), Veränderungsblindheit (»change blindness«) und Aufmerksamkeitsblinzeln (»attentional blink«) bezeichnet.

### 28.5.1 Unaufmerksamkeitsblindheit

Müssen Beobachter eine schwierige Diskriminationsaufgabe, für die räumliche Aufmerksamkeit erforderlich ist (z. B. Bericht darüber, welcher von zwei gering unterschiedlichen Armen eines Kreuzes der längere ist), unter hohem Zeitdruck lösen, so sind sie nicht in der Lage, alle Merkmale eines unerwartet dargebotenen zusätzlichen Objekts (in einem Wiedererkennenstest) korrekt zu berichten (Unaufmerksamkeitsbedingung). Untersucht wurden dabei Merkmale wie die Form oder die Farbe sowie der Darbietungsort und die Anzahl zusätzlich dargebotener Objekte. Wird das zusätzliche Objekt jedoch erwartet (Bedingung geteilter Aufmerksamkeit) bzw. liegt die primäre Aufgabe in der Verarbeitung des unerwarteten Objekts (volle Aufmerksamkeit), so steigt die Wiedererkennensleistung an bzw. können die Merkmale korrekt berichtet wer-

den. Es wird davon ausgegangen, dass die selektive räumliche Aufmerksamkeit (fast) ausschließlich auf das Objekt ausgerichtet wird, welches Gegenstand der Diskriminationsaufgabe ist. Nicht erwartete Objekte können dann nur durch Prozesse verarbeitet werden, die keine Aufmerksamkeit erfordern. Aus dem genannten Grund wird auch von einer Unaufmerksamkeitsblindheit gesprochen (Mack u. Rock 1998). Interessant ist, dass verschiedene Objektmerkmale mit unterschiedlich hoher Wahrscheinlichkeit berichtet werden. Präsentationsort und Farbe eines unerwarteten Objekts werden sowohl in der inattentionalen als auch in der Bedingung mit geteilter Aufmerksamkeit mit relativ hoher Wahrscheinlichkeit korrekt berichtet; Anzahl und Form zusätzlicher Objekte dagegen werden in der geteilten Aufmerksamkeitsbedingung nur mit einer wesentlich geringeren Wahrscheinlichkeit erkannt.

### 28.5.2 Veränderungsblindheit

Selbst eigentlich auffällige Veränderungen eines Objekts oder Objektmerkmals werden oft übersehen, wenn der Fokus der Aufmerksamkeit (während der Veränderung) nicht auf den sich verändernden Teil des visuellen Feldes ausgerichtet ist (Veränderungsblindheit, »change blindness«). Dies ist insbesondere dann gegeben, wenn für die Entscheidung über eine mögliche Veränderung Blicksprünge zwischen zwei Bildern erforderlich sind, die an unterschiedlichen Orten gleichzeitig dargebotenen werden (Rensink et al. 1995). Veränderungen werden jedoch auch in zwei Bildern übersehen, die nacheinander an derselben Position dargeboten werden, wenn entweder zwischen den zwei Bildern kurzzeitig ein leeres (weißes) Bild präsentiert wird oder wenn zusätzlich zur Veränderung plötzlich ein ablenkender Stimulus (ein sog. »mud splash«) dargeboten wird (Rensink et al. 1997).

### 28.5.3 Aufmerksamkeitsblinzeln

Mit Aufmerksamkeitsblinzeln (»attentional blink«) wird ein transientes Defizit der zeitlichen selektiven visuellen Aufmerksamkeit im Sinne einer eingeschränkten Fähigkeit zur Verarbeitung sequenziell dargebotener Stimuli bezeichnet. Zwei zu identifizierende visuelle Zielreize werden in einen Strom von zu ignorierenden Reizen eingebettet (z. B. 2 Buchstaben als Zielreize unter 10 Distraktorziffern), wobei die Stimuli immer an derselben Position und mit einer Frequenz von rund 10 Objekten pro Sekunde präsentiert werden. Werden dabei die beiden Zielreize nacheinander innerhalb von weniger als 300–500 ms dargeboten, so sind Beobachter oft nicht in der Lage, den zweiten der beiden Zielreize korrekt zu identifizieren, obwohl

der erste Zielreiz fast immer identifiziert wird. Liegt die Präsentation der beiden Zielreize dagegen um mehr als 500 ms auseinander, so kann der zweite Zielreiz nahezu perfekt identifiziert werden. Eine notwendige Voraussetzung für das Auftreten des Aufmerksamkeitsblinzels ist neben dem Zeitabstand der Präsentation des zweiten relativ zum ersten Zielreiz (<500 ms), dass die beiden Zielreize in einen Strom von Nicht-Zielreizen eingebettet sind. Das Aufmerksamkeitsblinzeln kann weder durch frühe sensorische Prozesse noch durch Limitationen des Arbeitsgedächtnisses erklärt werden (Raymond et al. 1992). Es wird vielmehr davon ausgegangen, dass der beeinträchtigten Verarbeitung des zweiten Zielreizes eine Limitation der selektiven Aufmerksamkeit zugrunde liegt: Nach der Entdeckung des ersten Zielreizes ist eine attentionale Verarbeitung erforderlich, um den Zielreiz genau zu identifizieren. Während das kapazitätslimitierte attentionale System den ersten Zielreiz verarbeitet, kann Aufmerksamkeit nicht einem zweiten Zielreiz zugewiesen werden, der folglich übersehen wird. Interessanterweise tritt dieses Aufmerksamkeitsblinzeln dann nicht auf, wenn der zweite Zielreiz unmittelbar, also ohne Unterbrechung durch einen Nicht-Zielreiz, auf den ersten Zielreiz folgt; der zweite Zielreiz kann dann mit dem ersten attentional mitverarbeitet werden (»lag-1 sparing«, d. h. Effekt der Verschonung von Items mit Abstand eins).

Die Interpretation dieser Phänomene basiert darauf, dass Veränderungen in der visuellen Umwelt nur wahrgenommen werden können, wenn dem Ausschnitt, in dem eine Veränderung passiert, selektive Aufmerksamkeit zugewiesen wird (Rensink et al. 1997). Aufmerksamkeitszuweisung kann sich dabei auf Prozesse der Wahrnehmung oder des Gedächtnisses beziehen. Wahrnehmungsbezogene Erklärungen postulieren, dass es sich bei unserem introspektiven Eindruck einer vollständig und detailliert wahrgenommenen Umwelt tatsächlich um eine Illusion handelt. Vielmehr werden nur die Bestandteile der visuellen Umwelt bewusst repräsentiert, also im eigentlichen Sinne »wahrgenommen«, denen reizgetriggert oder aufgrund einer Handlungsintention fokale Aufmerksamkeit zugewiesen wird. Teile außerhalb des Aufmerksamkeitsfokus werden nicht bewusst repräsentiert, d. h., sie sind nicht verfügbar für weitergehende Verarbeitungsprozesse, die eine explizite (berichtbare) Repräsentation erfordern. Solche Umweltbestandteile sind diesem Ansatz zufolge nur scheinbar in der Wahrnehmung vorhanden, weil immer dann Aufmerksamkeit auf ein bestimmtes Objekt gerichtet ist, wenn es auf sein explizites Vorhandensein und seine detaillierten Eigenschaften hin untersucht werden soll (O'Regan 1992; O'Regan et al. 2000). Ein alternativer Erklärungsansatz (Wolfe 1999) geht von einer »Amnesie« bezüglich der Objekte und Veränderungen aus, denen keine Aufmerksamkeit zugewiesen wird (»inattentional



amnesia«). Alle betroffenen Objekte werden zwar, wenn auch nur sehr kurzzeitig, im Verarbeitungssystem repräsentiert. Wird ein Stimulus aus dem visuellen Feld entfernt, so geht dessen Repräsentation unmittelbar verloren. Zugang zu bewusster Verarbeitung, z. B. für expliziten Bericht, findet aber nur die Information, die infolge der Zuweisung fokaler Aufmerksamkeit in eine länger verfügbare Gedächtnisrepräsentation überführt wird. Die beschriebenen Verarbeitungslimitationen sind folglich darauf zurückzuführen, dass bestimmte Objekte bzw. Veränderungen nicht berichtet werden können, weil expliziter Bericht die Ausbildung einer durch attentionale Prozesse konsolidierten Gedächtnisrepräsentation voraussetzt.

➤ **Limitationen der selektiven visuellen Aufmerksamkeit manifestieren sich in der Unaufmerksamkeitsblindheit, bei der die Identifikation eines zusätzlich dargebotenen Objekts nicht gelingt, wenn eine schwierige Diskriminationsaufgabe gelöst wird, in der Veränderungsblindheit, bei der ausgeprägte Veränderungen eines Objekts oder Objektmerkmals oft übersehen werden, wenn sie nicht im Aufmerksamkeitsfokus stehen, sowie im Aufmerksamkeitsblinzeln, einer Einschränkung der Fähigkeit zur Verarbeitung sequenziell dargebotener Stimuli. Erklärungen dieser Phänomene gehen davon aus, dass dem Ausschnitt des visuellen Feldes, in dem eine Veränderung erfolgt, selektive Aufmerksamkeit zugewiesen werden muss, damit die Veränderung überhaupt wahrgenommen bzw. in eine Gedächtnisrepräsentation überführt werden kann.**

## 28.6 Hypothese der integrierten Konkurrenz (»integrated competition hypothesis«)

Die bisherige Darstellung und Diskussion bezog sich auf behaviorale Methoden, Befunde und Theorien der selektiven Aufmerksamkeit. Im Zuge der Integration kognitiver und neurowissenschaftlicher Forschung stellt sich die Frage, ob und unter welchen Annahmen die Befunde der beiden Zugänge integriert werden können.

In der Hypothese der integrierten Konkurrenz (»integrated-competition hypothesis«) schlagen Duncan und Desimone (Desimone u. Duncan 1995, Duncan 1996) eine Rahmentheorie zur neurokognitiven Integration von behavioralen und neuronalen Mechanismen der visuellen Selektion vor. Im Zentrum des Ansatzes steht die Idee einer objektbasierten attentionalen Konkurrenz, die auf drei Grundannahmen aufbaut:

1. Die Verarbeitung erfolgt in vielen, vielleicht sogar den meisten, der verteilten visuellen Gehirnsysteme in kompetitiver Weise. Eine erhöhte neuronale Reaktion auf ein Objekt geht mit einer reduzierten Reaktion auf andere Objekte einher (vermutlich weil die Reaktionen auf unterschiedliche Objekte wechselseitiger Inhibition unterliegen). Diese Konkurrenz ist das neuronale Äquivalent attentionaler Konkurrenz auf der behavioralen Ebene.
2. Verhaltensrelevanten Objekten wird durch Präaktivierung bzw. Bahnung (»priming«) relevanter neuronaler Populationen ein kompetitiver Vorteil verschafft. Erfordert die Aufgabe z. B. die Beachtung roter Items, so werden auf »rot« ansprechende Neuronen in farbselektiven Teilen des Netzwerks gebahnt. Diese Bahnung implementiert das Biasing attentionaler Konkurrenz im behavioralen Kontext.
3. Die Konkurrenz verläuft in integrierter Weise zwischen dem einen und dem anderen Gehirnsystem. Wird ein Objekt in einem Teil des visuellen Netzwerkes dominant, so tendiert es dazu, die Kontrolle über das restliche Netzwerk zu übernehmen. Insgesamt tendiert das Netzwerk dazu, sich in einen Zustand einzufinden, in dem dasselbe Objekt überall dominant ist, wodurch seine unterschiedlichen Eigenschaften gleichzeitig der Verhaltenssteuerung verfügbar gemacht werden.

Die »Hypothese der integrierten Konkurrenz« ist direkt durch die Vorstellung einer sich zeitlich erstreckenden, objektbasierten Konkurrenz und dem Erfordernis eines flexiblen, kontextsensitiven Selektionsbias motiviert.

Objektbasierte Konkurrenz wird durch eine Modulation der Verarbeitungsrate und aufgabenabhängige Gewichtungszuordnung erreicht. Grundsätzlich besteht dem Ansatz der integrierten Konkurrenz zufolge der Zusammenhang zwischen der behavioralen und der neuronalen Ebene nicht in einem lokalisierten Gehirnsystem, das für visuelle Aufmerksamkeit verantwortlich ist. Vielmehr wird Aufmerksamkeit als ein Zustand des Netzwerkes als Ganzes konzipiert: Ein Objekt wird attendiert, wenn verteilte Gehirnsysteme auf die Verarbeitung seiner multiplen Eigenschaften und Verhaltensimplikationen konvergieren.

## 28.7 Theorie der visuellen Aufmerksamkeit (»theory of visual attention«)

Ein Ansatz, in dem die allgemeinen Annahmen der Hypothese der integrierten Konkurrenz angewandt werden, ist Bundesens (1990) Theorie der visuellen Aufmerksamkeit (»theory of visual attention«, TVA). Die Basisannahme der TVA ist, dass multiple Objekte im visuellen Feld (bzw. einem Suchdisplay) in einen Wettlauf (»race«) um Identi-



fikation eintreten. Identifikation und damit Selektion (Identifikation entspricht Selektion und umgekehrt) eines Objektes involviert eine visuelle Kategorisierung der Art »Objekt x besitzt Merkmal i« bzw. »Objekt x gehört zu Kategorie i«. Die visuelle Kategorisierung ist gleichbedeutend mit einer Encodierung in das kapazitätslimitierte visuelle Kurzzeitgedächtnis (»visual short term memory«, vSTM) – vorausgesetzt im vSTM ist noch Speicherplatz für die Kategorisierung vorhanden. Ist dies der Fall, steht die Kategorisierung bzw. das Objekt zum Bericht bzw. zur Kontrolle expliziten Verhaltens zur Verfügung.

Die TVA beinhaltet vier Prinzipien, die das Ergebnis des Wettbewerbsprozesses bestimmen:

### 1. Exponentielle Verarbeitungsdynamik:

Befindet sich nur ein Objekt im Feld, so wächst die Wahrscheinlichkeit der Identifikation dieses Objekts exponentiell mit der Darbietungszeit (Basisrate der Verarbeitung).

### 2. Konkurrenz durch Modulation der Verarbeitungsrate:

Befinden sich mehrere Objekte im Feld, so führt die Konkurrenz zu einer reduzierten Verarbeitungsrate für die einzelnen Objekte. Der »Ratenparameter« der Exponentialfunktion indiziert, wie rasch die Identifikation erfolgt.

### 3. Bias durch attentionale Gewichtung:

Jedem Objekt  $i$  wird ein Aufmerksamkeitsgewicht  $w_i$  zugeordnet. Für jedes Objekt  $i$  wird die Basisrate der Verarbeitung mit dem Verhältnis seines eigenen Gewichts ( $w_i$ ) zu der Summe der Gewichte für alle Objekte im Feld ( $\sum w$ ) multipliziert. Objekte mit hohem Gewicht werden beschleunigt verarbeitet und das Gewicht eines Objekts moduliert die Verarbeitung aller Merkmale dieses Objekts. Das heißt, die TVA implementiert objektbasierte Konkurrenz.

### 4. Gewichtungszuordnung entsprechend der Passung mit einer (reaktionsrelevanten) Zielreiz-Kategorie:

Die Aufmerksamkeitsgewichte werden in einer ersten Verarbeitungsphase »berechnet«, in der jedes Objekt mit einer Menge »pertinenter«, d. h. aufgabenkritischer Zielreizkategorien, abgeglichen wird. Der Pertinenzwert einer Kategorie ist also ein Maß für die aktuelle, durch die Aufgabe bestimmte »Priorität« (d. h. Bedeutsamkeit) der Beachtung von Elementen dieser Kategorie.

Die TVA gestattet also Flexibilität der Selektionsregeln, indem die Pertinenzwerte aufgabenabhängig festgelegt werden können; ebenso wird die Selektion von Kategorien durch einen Bias beeinflusst.

## 28.8 Handlungsbezogene Selektion

Neben der in diesem Kapitel behandelten Funktion der perceptiven Selektion besteht eine weitere Hauptfunktion der Aufmerksamkeit darin, das Verarbeitungssystem mit allen seinen Komponenten (von der Wahrnehmung bis zur motorischen Reaktion) so zu konfigurieren und fortlaufend zu rekonfigurieren, dass die in der jeweils zu erledigenden Aufgabe spezifizierten Handlungsziele möglichst effizient erreicht werden (**exekutive Aufmerksamkeit**). Aufbauend auf der Untersuchung von Mehrfach Tätigkeiten (»dual task performance«) und der Steuerung von Verarbeitungsprozessen, hat sich die Rolle der Aufmerksamkeit bei der exekutiven Handlungskontrolle zu einer zentralen Frage der aktuellen Aufmerksamkeitsforschung entwickelt, die mittels neu entwickelter Paradigmen zur Untersuchung des Aufgabenwechsels (»task switching«) angegangen wird. Die Exekutivfunktionen der Aufmerksamkeit sowie das Zusammenbrechen dieser Funktionen werden in ► Kap. 52 und ► Kap. 53 behandelt.

### Zusammenfassung

Eine der Hauptfunktionen der Aufmerksamkeit besteht in der Selektion von perceptiver Information zur Verhaltenssteuerung. Zur Untersuchung der auditiven Aufmerksamkeit wurde insbesondere das Paradigma des dichotischen Hörens eingesetzt, zur Erforschung der visuellen Aufmerksamkeit das Cueing-Paradigma sowie das Paradigma der visuellen Suche.

Die Befunde zur auditiven Aufmerksamkeit führten zu Ansätzen, denen zufolge man nur eine Nachricht zu einer Zeit verarbeiten kann, wobei diese Information mittels eines auf einer frühen Stufe arbeitenden Filtermechanismus (auf der Basis physikalischer Merkmale) ausgewählt wird; andere Nachrichten werden mehr oder weniger effektiv abgeblockt. Einer alternativen Erklärung



zufolge werden alle Nachrichten gleichermaßen verarbeitet, und die Auswahl erfolgt erst spät, basierend auf der Relevanz der Nachrichten für die Verhaltenssteuerung. Nach neueren Befunden ist der Lokus der Selektion flexibel und abhängig von spezifischen Aufgabefaktoren.

Die Befunde zur visuellen Aufmerksamkeit führten zu alternativen Ansätzen, die die Selektion als orts- bzw. objektbezogen konzipieren. Nach ortsbezogenen Theorien fungiert die Aufmerksamkeit als eine Art »Spotlight«, das nur eine Stelle im Feld »beleuchtet« und damit die Informationsverarbeitung an diesem Ort fördern kann. Dagegen wird nach objektbezogenen Ansätzen die Aufmerksamkeit auf Objekte (nicht auf Orte) ausgerichtet,

und nur ein Objekt kann zu einer gegebenen Zeit verarbeitet werden. Der Merkmalsintegrationstheorie zufolge können zwar die einzelnen Attribute von Objekten im visuellen Feld präattentiv registriert werden, ihre Bindung in kohärente Objektrepräsentationen erfordert aber die Allokation von Aufmerksamkeit.

Modelle der visuellen Suche, die unterschiedlich steil ansteigende Suchfunktionen bzw. attentionale Modulationen früher Verarbeitungsprozesse erklären, sind das Modell der gesteuerten Suche bzw. das Dimensionsgewichtungmodell.

Neben Prozessen der räumlichen Selektion existieren auch solche der Selektion in der Zeit. Zeitliche Selektion arbeitet durch einen Mechanismus der visuellen Markierung alter, relativ zu neu in einem Display erscheinenden Objekten.

Durch selektive Aufmerksamkeit verursachte Limitationen sind die Unaufmerksamkeitsblindheit, die Verän-

derungsblindheit und das Aufmerksamkeitsblinzeln. Diese Phänomene werden so erklärt, dass eine Veränderung im Aufmerksamkeitsfokus stehen muss, damit sie überhaupt wahrgenommen bzw. in eine Gedächtnisrepräsentation überführt werden kann.

Eine Rahmentheorie zur Integration behavioraler und neurowissenschaftlicher Ansätze ist die Hypothese der integrierten Kompetition, in der Aufmerksamkeit als ein Zustand des Netzwerks der an der Selektion beteiligten Mechanismen konzipiert ist. Eine Implementierung der Hypothese der integrierten Kompetition ist die Theorie der visuellen Aufmerksamkeit, die davon ausgeht, dass Selektion mit Identifikation gleichgesetzt werden kann, und dass ein Wettlauf um Selektion durch die Prinzipien exponentieller Verarbeitungsdynamik, Modulation der Verarbeitungsrate, attentionale Gewichtung und Gewichtungszuordnung entsprechend der Passung mit der Zielreizkategorie erfolgt.

### Kontrollfragen

Die Antworten auf die folgenden Fragen finden Sie im Lerncenter zu diesem Kapitel unter ► [www.lehrbuchpsychologie.de](http://www.lehrbuchpsychologie.de) (Projekt Kognitive Neuropsychologie).

1. Von welchen Verarbeitungsstufen gehen Theorien der visuellen Selektion wie die Merkmalsintegration, gesteuerte Suche und Dimensionsgewichtung aus?
2. Welche beiden Hauptmechanismen der Informationsselektion wurden mithilfe der Methode der visuellen Suche identifiziert?
3. Welches sind die zentralen Annahmen der Hypothese der integrierten Kompetition?
4. Welche Limitationen der selektiven visuellen Aufmerksamkeit wurden beschrieben und wie werden sie erklärt?