

Wahrnehmung und Interpretation

| 5

Inhalt

- 5.1 Psychophysik
- 5.2 Biologische Grundlagen visueller Wahrnehmung
- 5.3 Raumwahrnehmung
- 5.4 Objektwahrnehmung
- 5.5 Gesichtswahrnehmung
- 5.6 Bewegungswahrnehmung
- 5.7 Farbwahrnehmung
- 5.8 Akustische Wahrnehmung
- 5.9 Andere Sinne

Die Wahrnehmung über die **Sinnesorgane** ist das Bindeglied zur uns umgebenden Realität (Tab. 5.1). Von ihrer Funktion hängt es ab, ob und in welcher Weise sich Lebewesen in ihrer Umwelt behaupten und weiterentwickeln. Die Spezialisierungen im Wahrnehmungssystem eines Lebewesens verraten somit die evolutionäre Bedeutung bestimmter Informationsbereiche in dessen Umwelt. Bezogen auf die pro Zeiteinheit aufgenommene **Informationsmenge** trägt beim Menschen zum Beispiel die visuelle Wahrnehmung – mit vermutlich mehr als 80 % des gesamten Inputs – am meisten zur Erstellung eines „inneren Modells“ der Realität bei. Sie soll daher in diesem Kapitel genauer als die anderen Wahrnehmungsleistungen dargestellt werden.

Tab 5.1 | Wesentliche Eigenschaften der Sinnessysteme des Menschen

| Sinne | Reize | Sinnesorgan | Rezeptoren | Empfindungen |
|---|--|-----------------------------|---|--|
| Sehen (Visuelles System) | Lichtwellen | Auge | Stäbchen, Zapfen in der Retina | Farben, Formen, Gestalten, Räumlichkeit |
| Hören (Akustisches System) | Schallwellen | Ohr | Haarzellen in der Basilarmembran | Töne, Klänge, Geräusche |
| Geruchssinn (Olfaktorisches System) | Riechstoffe | Nase | Riechzellen im Riechepithel der Nase | Düfte (blumig, faulig, stechend, moschusartig, ätherisch, kampferartig, minzig, ...) |
| Geschmackssinn (Gustatorisches System) | Geschmacksstoffe | Zunge | Geschmacksknospen der Zunge | Geschmacksempfindungen (süß, sauer, bitter, salzig, ...) |
| Hautsinne (Somatosensorisches System) | Berührung | Haut | Nervenenden in der Haut | Berührung, Schmerz, Wärme, Kälte |
| Gleichgewichtssinn (Vestibuläres System) | Krafteinwirkungen (Schwerkraft, Fliehkräfte) | Innenohr | Haarzellen in den Bogengängen des Ohres | Bewegung im Raum, Empfindung der Schwerkraft |
| Bewegungssinn (Kinästhetisches System) | Muskelbewegungen | Muskeln, Sehnen und Gelenke | Nervenfasern im Bewegungsapparat | Bewegung und Orientierung von Körperteilen im Raum |

(Modifiziert aus Zimbardo & Gerrig, 1999)

5.1 | Psychophysik

In diesem ältesten Forschungsgebiet der Psychologie, verbunden mit den Namen Ernst Heinrich Weber (1795–1878) und Gustav Theodor Fechner (1801–1887), steht die Wahrnehmung von Reizen im Vordergrund. Speziell geht es dabei um die Relation zwischen einem Reiz und der durch ihn ausgelösten Empfindung. Von besonderem Interesse waren seit jeher die Wahrnehmungsschwellen in den verschiedenen Sinnesgebieten, und zwar sowohl die **Intensi-**

tätsschwellen („untere“ und „obere absolute Wahrnehmungsschwellen“) als auch die **Unterschiedsschwellen**, die aufzeigen, bei welcher Reizdifferenz zwei Reize (z.B. verschiedener Lautstärke) auch verschiedene Empfindungen bzw. einen „eben merklichen Unterschied“ auslösen. Bereits vor etwa 200 Jahren wurde erkannt, dass jede Art der Reizung spezifischer Sinnesorgane zu sinnesspezifischen Empfindungen führt (z.B. auch ein Schlag auf das Auge führt zu einer Lichtempfindung).

Eine frühe Erkenntnis war auch, dass die Unterschiedsschwelle von der Intensität der verglichenen Reize abhängt. Im **Weber'schen Gesetz** wurde postuliert, dass bei intensiveren Reizen („Stimuli“) auch die Unterschiede immer größer werden müssen, damit sie als solche wahrgenommen werden können (Tab. 5.2).

Für die untersuchten Reizarten, wie etwa Tonhöhe, Helligkeit oder Lautstärke, wurde zunächst die Relation zwischen Reizstärke (S) und Empfindungsstärke (E) – auch **psychophysische Funktion** ge-

Merksatz

In der Psychophysik werden die Beziehungen zwischen Reizen und den von ihnen ausgelösten Empfindungen untersucht und funktional beschrieben.

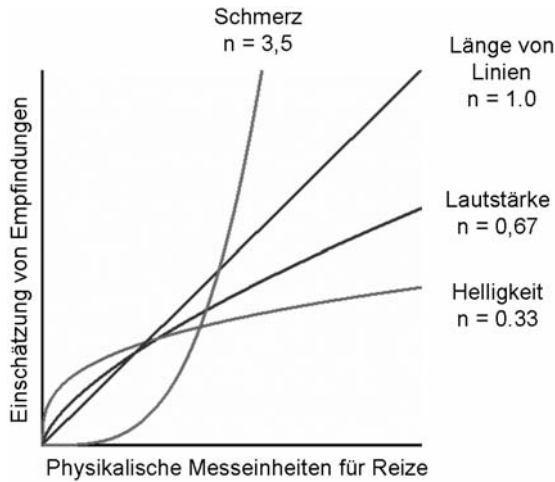
Die „Weber'sche Konstante“ (k) drückt aus, um welchen Wert (DS) ein „Ankerreiz“ (S) vergrößert oder verkleinert werden muss, damit ein Vergleichsreiz“ ($S \pm DS$) als unterschiedlich wahrgenommen wird („Weber'sches Gesetz“: $DS/S = k$). Im Vergleich zu einem Ton von 1000 Hertz muss also ein Ton 1003 Hertz haben, um als höher empfunden zu werden.

Tab 5.2

| Art des Reizes | Zunahme in Prozenten ($= k \cdot 100$) |
|-------------------------------|--|
| Tonhöhe (Schallfrequenz) | 0,3 % |
| Lautstärke (Schallenergie) | 9,0 % |
| Helligkeit | 1,6 % |
| Länge von Linien | 2,5 % |
| Gewichte (gehoben) | 2,0 % |
| Gewichte (Druck auf die Haut) | 15,0 % |
| Geschmack von Salzlösungen | 25,0 % |

(Aus Herkner 1986, nach verschiedenen Quellen)

Abb 5.1



Die Intensität einer Empfindung nimmt nur bei wenigen Reizen (z.B. Längenschätzung) linear mit der Intensität der Sinnesreize zu. Nach Stevens (1957) können die Empfindungsstärken als Potenzfunktionen der Sinnesstärken berechnet werden: $E = S^n$. So etwa kann das Ausmaß des empfundenen Schmerzes anhand der Stromstärke eines Elektroschocks (am Finger) nach der Funktion $E = S^{3,5}$ berechnet werden. Je nach Empfindungsart sind andere Potenzwerte (n) heranzuziehen. Die Potenzfunktion für Helligkeitseinstufungen zeigt, dass die Differenzierungsfähigkeit in unteren Bereichen der Lichtintensität wesentlich größer ist als in oberen Bereichen. Beim Schmerz ist es umgekehrt.

nannt – als logarithmische Funktion dargestellt: $E = \log S$. Etwa 100 Jahre später überprüfte Stevens (1957) in breit angelegten Experimenten auf verschiedenen Sinnesgebieten den funktionellen Zusammenhang zwischen Reiz und Empfindung anhand der „Größenverhältnisschätzmethode“, bei der die Empfindung für einen Ankerreiz die Zahl 100 zugewiesen bekommt und die Versuchspersonen gebeten werden, die Empfindungen von Vergleichsreizen mittels einer Vergleichszahl zum Ausdruck zu bringen (z.B. „halb so groß“: 50; „dreimal so laut“: 300). Stevens konnte nachweisen, dass die psychophysische Funktion für jede Modalität (z.B. visuelle, akustische, taktile) sehr treffend als Potenzfunktion beschrieben werden kann (Abb. 5.1, Tab. 5.3).

Nach der psychophysischen Funktion von Stevens (1957, 1961) lässt sich die Empfindungsstärke (E) für Reize verschiedener Modalität und Intensität (S) mittels einer Potenzfunktion beschreiben: $E = a \cdot (S - S_0)^n$ (a = Multiplikative Konstante für die Maßeinheit des Sinnesreizes, S = Größe, Frequenz oder Intensität des Sinnesreizes, S_0 = untere Schwelle des Sinnesreizes, n = sinnesspezifischer Exponent).

Tab 5.3

| Art der Empfindung | Exponent n |
|----------------------------|--------------|
| Lautstärke (Schallenergie) | 0,67 |
| Helligkeit | 0,33 |
| Länge von Linien | 1,00–1,10 |
| Gewicht | 1,45 |
| Schmerz (elektr. Schläge) | 3,50 |
| Geschmack (süß) | 1,30 |
| Fläche (von Quadraten) | 0,90–1,15 |
| Wärme (am Arm) | 1,40 |
| Kälte (am Arm) | 1,00 |
| Zeitdauer (Geräusch) | 1,10 |

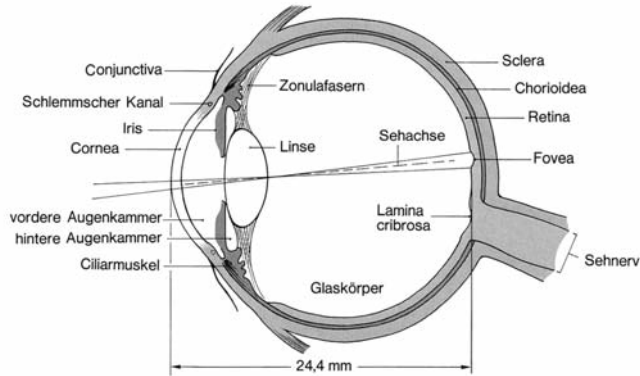
Biologische Grundlagen visueller Wahrnehmung

5.2

Licht als physikalischer Reiz für optische Wahrnehmungen dringt durch die schützende Hornhaut in das **Auge** (Abb. 5.2). Die Lichtmenge wird von der Pupille reguliert und von der Linse so gebündelt, dass auf dem Augenhintergrund, der **Netzhaut** (Retina), ein scharfes (umgekehrtes) Bild des visuellen Reizes entsteht. In der Netzhaut finden sich etwa 120 Millionen **Stäbchen** und etwa 6 Millionen **Zapfen**, wobei Erstere auf Hell-Dunkel-Wahrnehmungen und Letztere auf die Farbwahrnehmung spezialisiert sind. Die visuelle Information beider Augen wird über die (teilweise kreuzenden) Sehnerven in den *Thalamus* (Nuclei corporis geniculati lateralis) geleitet und mündet danach über die sogenannte „Sehstrahlung“ in den **primären Sehcortex** (Calcarina), in dem linkshemisphärisch das rechte Gesichtsfeld und rechtshemisphärisch das linke Gesichtsfeld abgebildet wird. Von den Sehnerven zweigen Nervenbahnen

Abb 5.2

Nachdem das Licht die Hornhaut passiert hat, wird es in der Linse gebrochen und fällt auf die Netzhaut, die in der Fovea centralis den Ort des schärfsten Sehens, beim Austritt des Sehnervs dagegen einen „blinden Fleck“ (Lamina cribrosa) aufweist.



ab, welche in jene Kerngebiete des *Hirnstammes* führen (prätektale Region, Vierhügelplatte, pontine Retikulärformation), die gemeinsam mit dem prämotorischen Frontalcortex die Augenbewegungen regulieren (Birbaumer & Schmidt, 1991).

Die visuelle Information läuft über verschiedene Untersysteme und Pfade, die im Wesentlichen parallel arbeiten und aus der Gesamtinformation die Merkmale Form, Farbe, **Bewegung** und Tiefe extrahieren (Abb. 5.3; Müsseler, 2002; Eysenck & Keane, 2003; Myers, 2005). Wie diese separat gewonnenen Informationsanteile wieder zu einem einheitlichen Bild über die Außenwelt integriert werden, stellt heute noch ein ungelöstes Rätsel dar („Binding“-Problem). Untersuchungen an Affengehirnen (z.B. Makaken; Abb. 5.4) und Studien über neurologische Erkrankungen oder Verletzungen beim Menschen legen nahe, dass die visuelle Information von der Sehrinde über zwei verschiedene Pfade zur Weiterverarbeitung

Abb 5.3

Visuelle Information wird im Kortex parallel nach den Aspekten Farbe, Bewegung, Form und Tiefe verarbeitet.

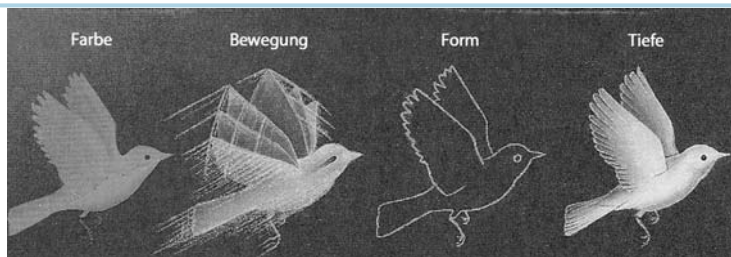
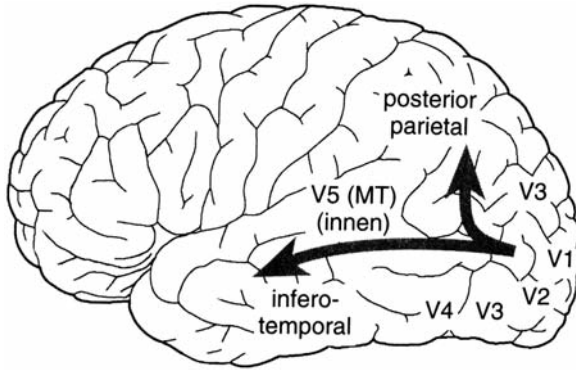


Abb 5.4



Simultan ablaufende kortikale Verarbeitung visueller Reize mit einem parietalen Pfad zur Lokalisation des Reizgeschehens und einem temporalen Pfad zu dessen Interpretation. V1, V2, V3 und V4 sind primäre, sekundäre und tertiäre visuelle Projektionsfelder im Cortex, V5 (MT: mediotemporales Areal) ist ein Areal zur Richtungs- und Geschwindigkeitsbestimmung.

weitergeleitet wird: Der **parietale Pfad**, der in Richtung sensomotorischer Hirnareale führt, liefert die Daten für Leistungen der Reizlokalisierung („Wo“-Pfad), während der **temporale Pfad**, der hin zu den akustischen Zentren und zum perzeptiven Sprachzentrum führt, die Grundlage für die Reizerkennung schafft („Was“-Pfad).

In der Wahrnehmungsforschung werden direkte und indirekte Wahrnehmungstheorien unterschieden, je nachdem, ob stärker eine „Bottom-up-Verarbeitung“ oder eine „Top-down-Verarbeitung“ der aufgenommenen Information konzipiert wird. Beim ersten Verarbeitungsmodell wird die Wahrnehmung vorwiegend als „aufsteigender“, datengesteuerter Prozess verstanden, während beim zweiten Modell die Informationsaufnahme als wesentlich durch „absteigende“, kognitive Prozesse reguliert gesehen wird. Eysenck und Keane (2003) erklären diese konträren theoretischen Positionen teils durch die Präferenz für spezielle experimentelle Designs (z.B. ob lange oder kurze Reizdarbietungen verwendet werden) und teils durch die verschiedene Auffassung über den Haupt-

Merksatz

Die visuelle Information aus beiden Augen wird über die Sehnerven an den Thalamus weitergeleitet, erreicht über die Sehstrahlung die primären, sekundären und tertiären Rindenfelder des Kortex und erzeugt in weiterer Folge Form-, Farb-, Bewegungs- und Tiefeninterpretationen.

zweck des Wahrnehmungsprozesses („perception for action“ – „perception for recognition“). In den meisten neueren Einführungswerken (s. etwa Myers, 2008) wird davon ausgegangen, dass in Alltagssituationen beide Prozesse eine Rolle spielen (wohl mit zeitweise unterschiedlicher Beteiligung), nämlich sowohl die datengesteuerte Strukturanalyse der aufgenommenen sensorischen Information als auch deren kognitive Überformung und Kontrolle im Zuge einer emotional oder motivational bedingten Akzentuierung oder Ausfilterung von Informationsanteilen.

Abb 5.5 |

Texturgradienten als monokulare Tiefenhinweise in flächigen Strukturen.

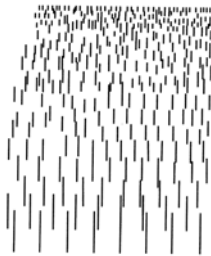


Abb 5.6 |

Bereits 1934 zeichnete der schwedische Künstler Oscar Reutersvärd diese im Raum unmögliche Anordnung von Kuben („impossible figures“).



Abb 5.7 |

Die Struktur ist bezüglich der horizontalen Mittelachse exakt symmetrisch, dennoch erscheinen Kreise, deren obere Hälfte hell ist, nach vorne ausgebaucht, und solche, die im Bereich hell sind, als Kehlen. Wenn man die Seite auf den Kopf dreht, kehren sich diese Wahrnehmungen um.

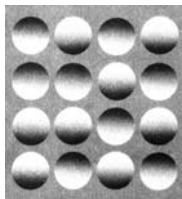
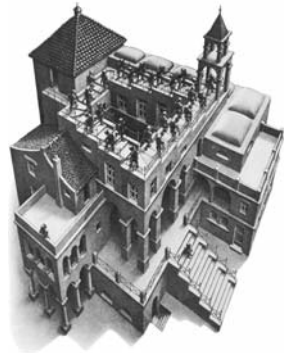


Abb 5.8 |

Ein unmöglicher Treppenverlauf, der durch zweidimensionale Konturenverbindungen zustande kommt, die im dreidimensionalen Raum nicht existieren könnten (Eschers Lithografie „Treppauf und treppab“).



Raumwahrnehmung

| 5.3

Eine lebenswichtige Wahrnehmungsfunktion ist die Transformation zweidimensionaler Netzhautbilder in eine dreidimensionale Interpretation der Wahrnehmungswelt. Aus der Wahrnehmungsforschung wissen wir, dass für die räumliche Interpretation von visuellen Eindrücken sowohl spezielle Hinweisreize in den flächigen Bildern als auch Rückmeldungen aus dem Wahrnehmungsvorgang herangezogen werden. *Monokular* sind dabei jene Indikatoren, die auch einäugig wirksam werden, während die *binokularen* Tiefenhinweise nur über beide Augen zustande kommen.

Monokulare Tiefenhinweise: Ein seit Langem erforschter monokularer Hinweisreiz auf räumliche Tiefe sind die sogenannten **Texturgradienten** (Abb. 5.5), die zum Beispiel aus sich nach oben verengenden Punktemustern bestehen und dadurch den Eindruck zunehmender Entfernung erwecken. Weitere Indikatoren für die zunehmende Distanz von Wahrnehmungsobjekten sind deren Reduktion in **Kontrast** (Farben werden blasser) und **Schärfe** (Konturen verschwimmen zunehmend), ebenso die **Überdeckung** von Gegenständen im Hintergrund durch solche im Vordergrund (Abb. 5.6), die Ausrichtung des **Schattens** von Gegenständen (Abb. 5.7) sowie die wahrgenommene **Größe** von Gegenständen, deren tatsächliche Größe bekannt ist (Abb. 5.8).

Außerdem nützen wir für die Rauminterpretation auch die **Bewegungsparalaxe**, das ist die – geometrisch begründete – stärkere Verschiebung der Objekte im Vordergrund verglichen mit jenen im Hintergrund, wenn wir uns quer zu ihnen bewegen (z.B. beim Blick aus einem Zugfenster). Ähnlich wirken die konzentrischen **optischen Flussmuster** („optic flow patterns“, Abb. 5.9), die bei der Annäherung an einen zentralen Punkt im Raum oder bei der Entfernung von diesem zustande kommen. Schließlich ist noch die **Akkommodation** zu nennen, die Scharfstellung des Netzhautbildes durch Kontraktion der Augenlinse, die bis zu einer Distanz von ca. drei Metern als Entfernung Indikator wirksam wird.

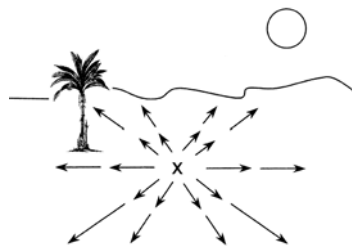
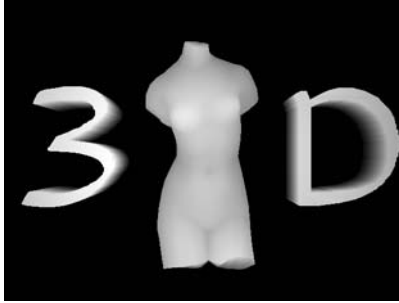


Abb 5.9

Wenn man sich auf einen Punkt im Raum zubewegt, verändern sich alle anderen Punkte in zentrifugaler Richtung (optisches Flussmuster).

Abb 5.10



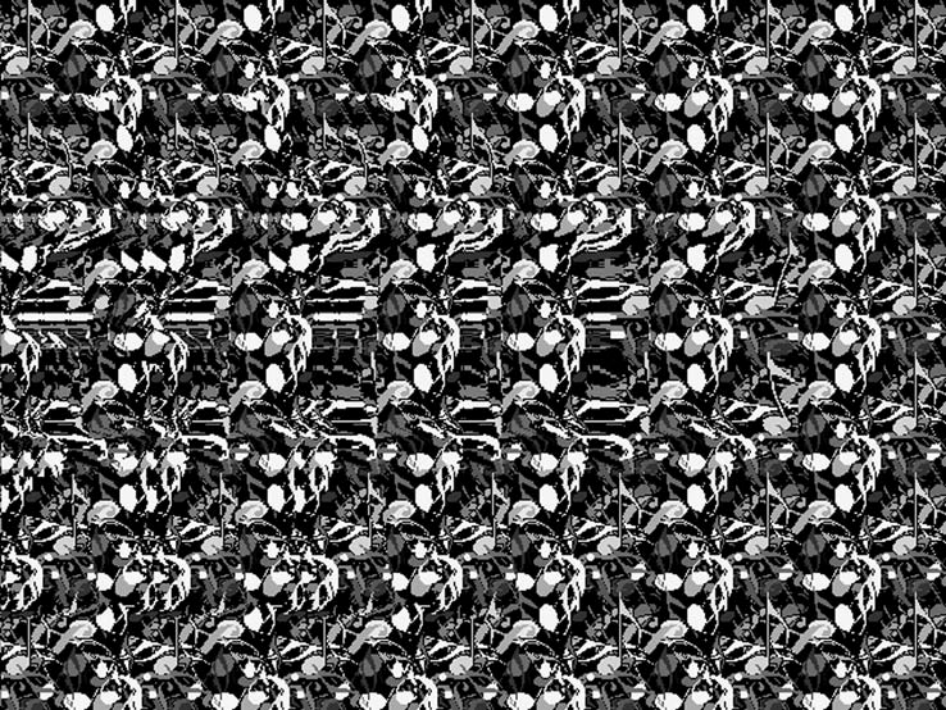
Beispiel eines Musters in einem sogenannten „magischen Bild“ (Abb. 5.11), in dem mittels Computerprogramm Punkte oder Konturen einer Füllgrafik (z.B. Kacheln) so verändert wurden, dass jedes Auge im flächigen Muster genau solche Bildinformationen herauslesen kann, die auch beim zwiäugigen Betrachten eines Körpers entstehen würden.

Binokulare Tiefenhinweise: Ein physiologischer Mechanismus, der sich nur für die Einschätzung naher Distanzen (etwa bis zu zwei Metern) eignet, ist das Ausmaß der **Konvergenz** der Augenachsen in Richtung eines fixierten Objekts. Je stärker die Augenachsen von der parallelen Ferneinstellung in eine konvergierte Naheinstellung überwechseln müssen, als desto näher wird das Objekt empfunden. Ein zweiter Hinweis auf die räumliche Tiefe eines Objekts stammt von den unterschiedlichen Perspektiven beider Augen bzw. von den in beiden Augen unterschiedlichen Netzhautbildern für nahe Gegenstände, was auch als **retinale Disparität** oder als „binokulare Querdisparation“ bezeichnet wird. Die etwas unterschiedlichen linksäugigen und rechtsäugigen Abbildungen naher Gegenstände werden vom Gehirn für die Berechnung einer Räumlichkeitsinterpretation genützt, was am Beispiel sogenannter „magischer Bilder“ eindrucksvoll demonstriert werden kann (Abb. 5.10 und 5.11). Diese und andere **optische Täuschungen** lassen sich durch den Versuch des Wahrnehmungssystems erklären, flächige Darstellungen unter Heranziehung von Tiefenhinweisen räumlich zu interpretieren.

5.4 | Objektwahrnehmung

Die Wahrnehmung von Figuren, Gestalten oder Objekten erfordert eine Strukturierung bzw. **Segmentierung** der gesamten visuellen Information im Sinne einer Abgrenzung und Identifikation von Elementen. Einander überlappende Flächen und zusammenhängende Konturverläufe müssen so in Untereinheiten aufgeteilt werden,

Abb 5.11

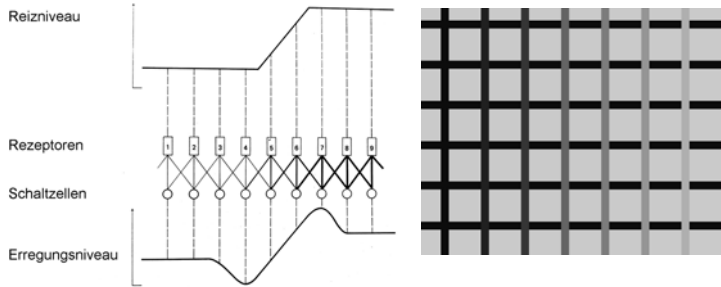


Ein sogenanntes „magisches Bild“ („Autostereogramm“) lässt sich als dreidimensionale Struktur erkennen, wenn man es ganz knapp an die Augen heranführt, sodass es nicht mehr scharf gesehen werden kann, und es dann wieder (langsam) von den Augen entfernt. Eine andere Technik besteht darin, einen vorgestellten Punkt hinter dem Bild zu fixieren, um das Gehirn zu einer räumlichen Interpretation zu zwingen.

dass daraus auf Objekteinheiten geschlossen werden kann. Dabei handelt es sich um einen Prozess, der uns in seiner Komplexität kaum bewusst wird, der aber immer noch von Kleinkindern besser bewältigt wird als von den derzeit leistungsfähigsten Computern! Die Bedeutung der Segmentierung für eine schnelle, störungsfreie Wahrnehmbarkeit zum Beispiel schriftlicher Sequenzen (durch Großschreibung, Wortabstände, Interpunktion), lässt sich am nachfolgenden Satz mit irreführender Strukturierung erahnen: „diES, erS AtZ Is tsCHwI – eRIgz uLES en“.

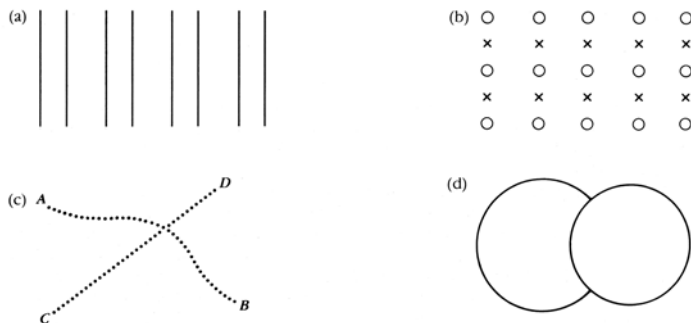
Von vielen Wahrnehmungstheoretikern wie zum Beispiel von David Marr (1982) oder von Irving Biederman (1987) werden verschiedene aufeinanderfolgende Phasen der kognitiven Konstruktion bzw. Rekonstruktion von Objekten postuliert (siehe z.B. Eysenck & Keane, 2003):

Abb 5.12



Laterale Inhibition: Intensitätsunterschiede zwischen Reizpunkten oder Konturgrenzen werden durch Hemmung des Inputs der benachbarten Zellen verstärkt (links). Der daraus resultierende Effekt kann anhand der „Spillmann-Täuschung“ (rechts) illustriert werden: Die Kreuzungspunkte erscheinen heller aufgrund mehr benachbarter schwarzer Felder (überprüfbar durch deren Abdeckung mittels zweier Papierblätter).

Abb 5.13



Das Gestaltgesetz der Nähe lässt die Striche als Säulen erscheinen (a), jenes der Ähnlichkeit die Kreuze und Kreise als waagrechte Balken (b), das Gestaltgesetz der Kontinuität verbindet die Punkte von A nach B und die Punkte von C nach D (c) und das Gesetz der „guten Gestalt“ hebt Kreise, Dreiecke und andere regelmäßige Verläufe als Einheiten heraus (d).

1. Die Kodierung von Ecken im visuellen Bild stellt eine wichtige Segmentierungsleistung dar. Ihr geht die Erfassung von Konturen, Richtungen und Balken voraus, die im Zusammenwirken zwischen „rezeptiven Feldern“ im Auge (Hubel, 1972), dem Mechanismus der „lateralen Inhibition“ (Abb. 5.12) und den „kortikalen Detektoren“ im primären Sehzentrum des Kortex erschlossen werden.
2. Es folgt die Gruppierung der genannten Konturelemente nach bestimmten Merkmalen (Nähe, Ähnlichkeit, Kontinuität, Flächen, Farben, Bewegung etc.) zu **Gestalten** oder komplexeren Mustern. Hinweise auf jene Eigenschaften von Stimuli, die zur Zusammenfassung von Wahrnehmungselementen zu Wahrnehmungseinheiten führen, liefern die **Gestaltgesetze**, die erstmals vor etwa hundert Jahren von den Vertretern der Gestaltpsychologie formuliert wurden („Kohärenzfaktoren“): Als zusammengehörig werden zunächst einander nahe liegende Ele-

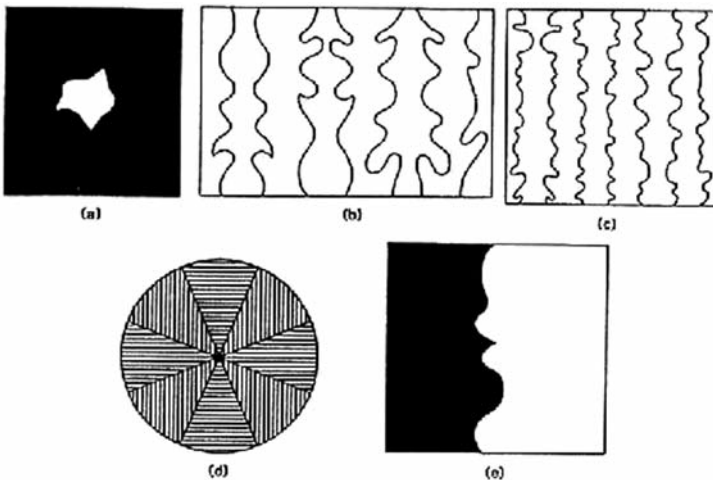


Abb 5.14

Umschlossenheit hebt eine Gestalt aus einem „Hintergrund“ heraus (a), ebenso Symmetrie (b) und Ausbauchungen, d.h. Konvexität (c); quer gestreifte Muster werden oft als vorgerückt wahrgenommen (d), ebenso helle Flächen (e).

mente empfunden (Abb. 5.14a), ebenso Elemente, die eine **Ähnlichkeit** aufweisen (Abb. 5.14b). Gestaltbildend wirken aber auch Einzelelemente, die ein sogenanntes **gemeinsames Schicksal** haben (z.B. in die gleiche Richtung laufen oder sich in die gleiche Richtung bewegen; Abb. 5.14c), sowie solche, die miteinander verbunden sind und/oder zusammen eine **gute Gestalt** bilden (Abb. 5.14d). „Visuelle Szenen werden mithilfe der Galtsgesetze der Wahrnehmungsorganisation in Objekte gegliedert“ (Anderson, 1996, 45).

3. Danach kommt es zu einem Vergleich der extrahierten Muster mit strukturellen und dynamischen Speicherinhalten, nämlich mit den gespeicherten Vorstellungen von Formen (s. etwa Abb. 5.15), und ihren Veränderungsmöglichkeiten, wie etwa ihrer Farb- und Helligkeitsverteilung, ihrer Schattierung, ihrer Bewegungsweise etc.
4. Schließlich werden die visuellen Wahrnehmungsmuster mit den akustischen, sensorischen, geruchlichen und geschmacklichen Speicherinhalten sowie mit semantischen Wissensinhalten in Verbindung gesetzt (Kategorisierungen, Merkmalsdimensionen, Begriffen, Schemata etc.). Sie können nun als Objekte in ihrer vollen Bedeutung interpretiert werden (z.B. „Das ist ein Wiener Schnitzel“).

Eine Ergänzung zu obiger Stufe 2, der Entdeckung und Erkennung von Objekten im Wahrnehmungsfeld, liefern sogenannte **Figur-Grund-Relationen**, worunter Charakteristika von Linien, Konturen und Flächen verstanden werden, die eine räumliche Schichtung nach Vordergrund und Hintergrund erlauben: Umschlossenheit von Flächen, Symmetrie von Elementen, Ausbauchungen gegen-

Abb 5.15

Beim ersten Anblick bewirkt die Umschlossenheit der schwarzen Flächen, dass man die weißen Buchstaben dazwischen („THE“) nicht erkennen kann.



überliegender Konturen, Querschraffuren oder Helligkeitsunterschiede tragen dazu bei, dass solche Strukturen perceptiv als potenzielle „Objekte“ aus einem „Hintergrund“ herausgelöst werden (Abb. 5.14). Ein bekanntes Beispiel für das gestaltartige Hervorspringen umschlossener Flächen und das damit verbundene Übersehen bekannter Muster zeigt die Abbildung 5.15.

Ein zur dritten Phase der Objektwahrnehmung konzipiertes Erklärungsmodell, speziell für die Wahrnehmung und Speicherung von Körpern, stammt von Marr und Nishihara (1978, „computational model“, Abb. 5.16) und wurde von Biederman (1987, „recognition-by-components model“) ausgebaut. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Wiedererkennung von Objekten durch eine Kombination von einfachen geometrischen Komponenten zustande kommt, die Biederman (1987) als „Geons“ („geometric ions“) bezeichnet. Er nimmt an, dass es 36 solcher Elemente eines Alphabets für Objektwahrnehmungen gibt, die ähnlich den 44 Grundelementen der Sprache, den „Phonemen“, als elementare Bausteine von beliebigen Gegenstandswahrnehmungen fungieren. Hinsichtlich der *Segmentierung* eines Objektschemas wird den Verknüpfungsstellen dieser geometrischen Elemente und den konkaven Bereichen im Konturverlauf besondere Bedeutung zugeschrieben (z.B. Ecken, Einschnitte, Einbuchtungen, Einschnürungen).

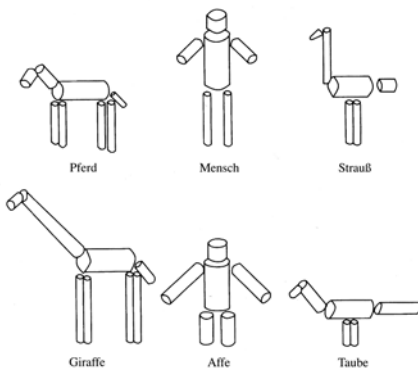


Abb 5.16

Kombinationen elementarer geometrischer Formen (Marr & Nishihara, 1978) können im Wahrnehmungsprozess dazu eingesetzt werden, komplexe Körper mit minimalem Kodierungsaufwand zu symbolisieren.

Merksatz

Die (visuelle) Wahrnehmung von Objekten setzt eine Strukturierung (Segmentierung) der Sinnesinformation voraus, wobei diese vorerst („bottom-up“) in eine Menge von informativen Wahrnehmungselementen zerlegt (z.B. Kanten, Ecken, Konturverläufen) und anschließend („top-down“) – unter Nutzung des Gedächtnisses – zu komplexen Einheiten (Figuren, Gestalten, Objekten) zusammengefasst wird.

Der Anblick von Gegenständen ändert sich jedoch mit der Tageszeit, Beleuchtung, Perspektive und Entfernung. Damit sie dennoch konstant als die gleichen identifiziert werden können, müssen ihre möglichen situativen Veränderungen in Helligkeit, Farbigkeit, Größe und Betrachtungswinkel bekannt sein. So kann das aktuelle Wahrnehmungsbild korrigiert werden. Durch diese Leistungen der **Wahrnehmungskonstanz** werden entfernte Erwachsene nicht als Kinder gesehen, Bäume werden in der Dämmerung immer noch als grün erlebt, und bekannte Formen (z.B.

Kreise, Rechtecke, Säulen) können trotz perspektivischer Verzerrung erkannt werden.

Für die **Größeneinschätzung** von Gegenständen, deren absolute Ausdehnung nicht bekannt ist, wird die Größe des Netzhautbildes mit der geschätzten Entfernung (Tiefenwahrnehmung) in Beziehung gesetzt. Ein gutes Beispiel dafür ist die jedem aus eigener Erfahrung bekannte, bereits früh erforschte Mondtäuschung (Kaufman & Rock, 1972). Sie besteht darin, dass der Mond am Horizont um etwa 50 % größer erscheint als im Zenith. Dies ist damit zu erklären, dass er am Horizont aufgrund der dazwischen liegenden Landschaftselemente als weiter weg eingestuft wird als am Zenit. Je nachdem also, ob ein Objekt als eher nah oder als eher fern erscheint, wird es vergleichsweise als kleiner oder als größer eingeschätzt.

5.5 | Gesichtswahrnehmung

Das Erkennen von Gesichtern ist eine wichtige soziale Wahrnehmungsleistung des Menschen. Gesichter sind insofern eine besondere Art von Wahrnehmungsschemata, als sie singular identifiziert werden müssen, während bei vielen Alltagsobjekten eine Klassenzuordnung genügt. Unterschiedliche Sitzgelegenheiten werden als „Stuhl“ und unterschiedliche Bauwerke als „Haus“ klassifiziert, aber das Erkennen eines Gesichts verlangt die Einprägung sowohl von konkreten Merkmalen (z.B. Länge der Nase) als auch von deren

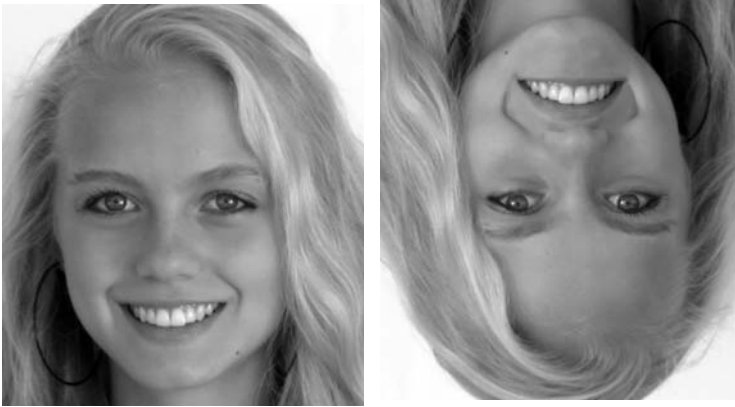


Abb 5.17

Bei sogenannten „Thatcher-Gesichtern“ (Margaret Thatcher war britische Regierungschefin 1979–1990) werden Gesichtsaufnahmen auf dem Kopf stehend dargeboten, während der Mund und zumeist auch die Augen in normaler Position (d.h. um 180° gedreht) in das Gesicht projiziert sind. Wie man sich überzeugen kann, erscheint das vom Original (links) angefertigte Thatcher-Gesicht (rechts) trotz falscher Orientierung des Mundes beinahe normal, solange das Blatt nicht umgedreht wird.

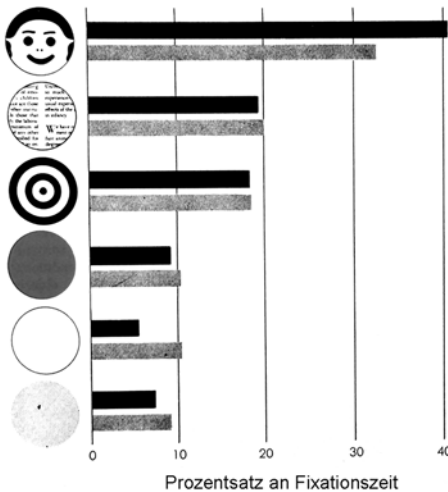


Abb 5.18

Wenn Kindern im Alter von zwei bis drei Monaten (schwarze Balken) und solchen von über drei Monaten (graue Balken) verschiedene Vorlagen gezeigt werden, dann fixieren sie schematische Gesichter wesentlich länger als andere Strukturen.

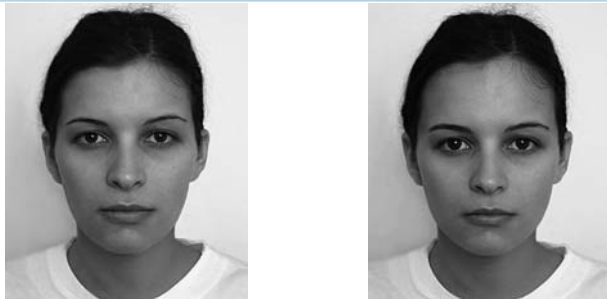
Relationen (z.B. Augenabstand). Wie wichtig die Konfiguration von Merkmalen für das Wiedererkennen von Gesichtern ist, konnten Leder und Bruce (2000) nachweisen, indem sie verschiedene Gesichter einprägen ließen und sie anschließend aufrecht und auf dem Kopf stehend abprüften („Gesichtsinversionseffekt“; s. auch Abb. 5.17). Nicht alle Gesichtseigenschaften konnten in umgekehrter Position schlecht erkannt werden, sondern vor allem die Relationen zwischen den Merkmalen (s. auch Carlson & Leder, 2006).

Abb 5.19



Mittels spezieller Computerprogramme („Morphing-Software“) können die Proportionen und Distanzen von Gesichtsmerkmalen aus Einzelphotografien statistisch verrechnet und in Form künstlicher Durchschnittsgesichter ausgegeben werden. Die beiden Gesichter wurden aus 64 Frauen- bzw. 32 Männergesichtern (im Alter zwischen 17 und 29 Jahren) hergestellt und werden allgemein als attraktiver beurteilt als die meisten der ursprünglichen Einzelgesichter.

Abb 5.20



Die meisten Frauengesichter, deren Proportionen mittels Computerprogramm einem Kindchenschema angenähert werden, nehmen an Attraktivität zu. Dies gilt sogar für Frauengesichter, die vorher schon als schön beurteilt werden. Die linke Abbildung zeigt das Original, das rechte Bild das gleiche Gesicht mit 50%iger Verzerrung in Richtung des Kindchenschemas.

Aus der Gehirnforschung ist bekannt, dass bei Verletzung oder Schädigung bestimmter Kortexareale bekannte Gesichter nicht mehr identifiziert werden können („Prosopagnosie“). Entwicklungspsychologische Experimente (z.B. Fantz, 1972) zeigen außerdem, dass Kleinkinder und besonders Neugeborene Gesichtern besondere Aufmerksamkeit zuwenden (Abb. 5.18). Dies können Hinweise darauf sein, dass die menschliche Gesichtserkennung in einer rudimentären Form angeboren ist, das heißt, dass die für Gesichtswahrnehmung zuständigen kortikalen Rindfelder auf konfigurale Gesichtsmerkmale spezialisiert sind und auf das Schema eines Gesichts automatisch reagieren.

Interessanterweise werden solche Gesichter als besonders schön empfunden, die aus vielen Fotografien mittels Computer als sogenannte **Durchschnittsgesichter** erzeugt wurden (Rhodes, 2006), wobei die Ausmaße der einzelnen Gesichtsmerkmale (Augen, Nase, Mund, Stirn) und deren Abstände gemittelt sind (Abb. 5.19). Eine besonders umfangreiche deutsche Untersuchung zur **Attraktivität** von Gesichtern (Braun et al., 2001; s. auch Carbon, 2010) hat darüber hinaus noch weitere Einflussfaktoren aufgezeigt, die für beide Geschlechter gelten: 1. Bräune und Reinheitsgrad der Haut, 2. ein eher schmales Gesicht, 3. geringer Fettansatz, 4. volle Lippen, 5. dunkle Augenbrauen und dunkle Wimpern (unabhängig von der Haarfarbe), 6. eher hohe Wangenknochen, 7. nur bei Frauengesichtern: eine Annäherung an das *Kindchenschema* (s. 6.1: größere gewölbte Stirn, größere runde Augen, kleinere kürzere Nase, runde Wangen, kleines Kinn; s. Abb. 5.20).

Hinsichtlich der Auswirkungen der Attraktivität eines Gesichtes auf die Beurteilung der Persönlichkeit zeigte sich in der zuvor genannten Untersuchung ein massiver Vorurteileffekt (*Halo-Effekt*): Attraktiveren Gesichtern wurde mit 60 bis 80 % Wahrscheinlichkeit auch eine positivere Eigenschaftsstruktur zugeschrieben (erfolgreicher, sympathischer, intelligenter, zufriedener, aufregender, kreativer ...).

Merksatz

Die Wahrnehmung von Gesichtern ist von großer sozialer Bedeutung und dürfte durch spezialisierte Kortexfelder unterstützt werden.

5.6 | Bewegungswahrnehmung

Drift: Das Auge gleitet stetig minimal vom Fixationspunkt ab.

Nystagmus: „Augenzittern“, unkontrollierbare, rhythmische Bewegung

Sakkaden: schnelle, willkürliche Blickbewegungen

Während wir ein Wahrnehmungsbild scheinbar ruhig betrachten, reizen die optischen Muster kaum länger als Bruchteile von Sekunden dieselben Netzhautbereiche; verschiedenartige unwillkürliche und willkürliche Augenbewegungen („Drift“, „Nystagmus“ und „Sakkaden“) erzeugen vielmehr laufend Veränderungen in der Bildprojektion. Sobald durch experimentelle Kunstgriffe ein stabiles Netzhautbild erzeugt wird – wie zum Beispiel durch Lähmung der Augenmuskeln oder durch Aufbringen eines Kleinstdiaprojektors auf die Haftschale eines Auges –, löst sich das optische Bild noch innerhalb von Sekunden auf und wird vom sogenannten „subjektiven Augengrau“ abgelöst (Prichard, 1972).

Damit also von unserer Umwelt trotz ständiger **Kopf- und Augenbewegungen** ein stabiler visueller Wahrnehmungseindruck entsteht, muss das Gehirn die bewegungsbedingten Veränderungen im Bild kompensieren. Es verrechnet hierfür einerseits nervöse Signale aus dem Gleichgewichtsorgan (welches bei Extremreizungen optische Störungen auslöst, wie etwa Drehschwindel nach Walzer tanzen) und nützt andererseits die neuronalen Begleitinformationen von willkürlich oder unwillkürlich ausgelösten Augen- und Körperbewegungen (so etwa erzeugt eine vorgetäuschte Augenbewegung, durch seitlichen Druck mit dem Finger auf den Augapfel, eine ruckartige Verschiebung des visuellen Bildes). Diese bewegungsorientierten Kompensationsleistungen sowie die Fähigkeit, bewegte oder statische Objekte kontinuierlich mit den Augen zu fixieren, gewährleisten hauptsächlich der **optokinetische** und der **vestibulookuläre Reflex** (Pritzel et al., 2003).

Da die Wahrnehmung von Bewegungen für höher entwickelte Organismen eine lebensrelevante Bedeutung besitzt, haben sich dafür im Laufe der evolutionären Entwicklung einige relativ starre – und deshalb auch täuschungsanfällige – Wahrnehmungsmechanismen herausgebildet. Eine solche **Bewegungstäuschung**, die bereits von den Gestaltpsychologen vor etwa hundert Jahren untersucht wurde, besteht darin, dass zwei in Nachbarschaft kurz hintereinander aufleuchtende Lichtpunkte als ein bewegter Punkt wahrgenommen werden („Phi-Phänomen“). Diese Täuschung entsteht auch dann, wenn nicht Lichtpunkte, sondern Bildelemente ihre Position schrittweise von einer Darstellung zu anderen verändern, was bekanntlich die Voraussetzung für die Entwicklung der Film-

Personen, die mit schwarzem Trikot bekleidet sind, an Rumpf und Extremitäten 12 schwach leuchtende Lämpchen angebracht haben und sich in einem völlig abgedunkelten Raum herumbewegen, können von Betrachtern innerhalb von Sekunden als Mensch in Bewegung identifiziert werden.

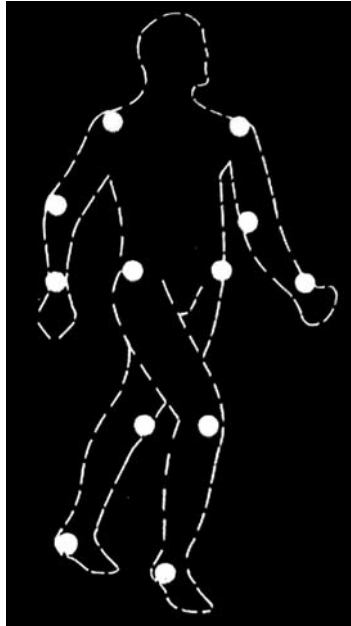


Abb 5.21

technik war: Bewegte Szenen, die mit 24 Bildern pro Sekunde fotografiert wurden, lösen bei gleichermaßen schnell aufeinanderfolgender Darbietung einen natürlichen Bewegungseindruck aus.

Ein aufschlussreiches Experiment von Johansson (1986) zeigt auf, dass im Gehirn nicht nur statische Muster für Objekte gespeichert sind, sondern auch **dynamische Eigenschaften** (mögliche Veränderungsmuster). Er befestigte schwach leuchtende Lämpchen an den „zwölf wichtigsten Gelenken“ von Personen, die in schwarze Trikots gekleidet waren, und ließ sie durch einen völlig abgedunkelten Raum gehen oder miteinander tanzen (Abb. 5.21). Wenn die gefilmten Lichtspuren Versuchspersonen gezeigt wurden, konnten diese innerhalb von Sekunden erkennen, dass es sich hier um Menschen in Bewegung handelt. Solche Gesetzmäßigkeiten, nach denen sich Menschen oder Tiere aufgrund ihrer Anatomie bewegen („biological movements“), sind offenbar in Form von Transformationsmustern im Wahrnehmungssystem gespeichert (eventuell als

vektorielle Grafiken) und ermöglichen somit eine bewegungsba-
sierte Identifikation bestimmter Objektklassen (nicht nur im Dun-
keln). Johansson verweist auf die Ähnlichkeit solcher Leistungen
mit der Funktion der bereits erwähnten *optischen Flussmuster* (s. 5.3),
die bei Annäherung oder Entfernung von Punkten im Raum ent-
stehen.

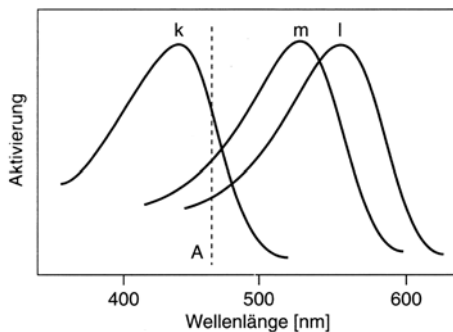
Merksatz

**Die dynamischen Eigenschaften von Objek-
ten und von Situationen sind als Transfor-
mationsmuster im Wahrnehmungssystem
gespeichert und können zur Identifikation
von Objekten und zur Einschätzung von
Abläufen genutzt werden.**

Beim Erlernen von Fertigkeiten (Schrei-
ben, Klavierspielen, Tennis, Jonglieren,
Hochspringen etc.) müssen Verhaltens-
komponenten zum richtigen Zeitpunkt
ausgelöst und visuell koordiniert werden,
wofür vor allem die korrekte Einschät-
zung der Distanz (s. 5.3) von Objekten
wichtig ist. Für die **Einschätzung der Ge-
schwindigkeit** sich nähernder Objekte
(„time to contact“) – insbesondere in Situ-
ationen, bei denen kaum andere Tiefen-

hinweise zur Verfügung stehen und in denen schnell auf Reize rea-
giert werden muss (z.B. beim Bremsen im Verkehr, Fangen von
Gegenständen, Landen von Flugzeugen) – scheinen jedoch nur die
Größenveränderungen der sich nähernden Reize im Netzhautbild
genutzt zu werden (Lee, 1976).

Abb 5.22



Darstellung der wellenlängenbezogenen Empfindlichkeit der drei Farbrezeptoren des Auges (k = Kurzwellenrezeptor für Blau, m = Mittelwellenrezeptor für Grün und l = Langwellenrezeptor für Rot). Bei Lichtapplikation der Wellenlänge A (ca. 465 nm) sprechen zum Beispiel alle drei Rezeptortypen in unterschiedlichem Ausmaß an (nm = Nanometer = 10^9 m). Wahrnehmungsergebnis: grünliches Blau.

Farbwahrnehmung

| 5.7

Die Lichtsensitivität des Menschen erlaubt die Wahrnehmung von Farbunterschieden in der Umwelt, was im Laufe der phylogenetischen Entwicklung vermutlich Selektionsvorteile mit sich brachte (z.B. bei der Einschätzung des Reifegrades von Früchten). Dementsprechend sind im Auge neben den Fotorezeptoren für Helligkeiten, den *Stäbchen*, auch solche für Farbe vorhanden, die *Zapfen*, die sich in der Fovea centralis (Stelle des schärfsten Sehens) konzentrieren.

Seit mehr als zweihundert Jahren ist bekannt, dass sich das gesamte Farbenspektrum durch Mischung von drei Grundfarben erzeugen lässt. Bereits in der **Dreifarbentheorie** von Thomas Young (1737–1829) und Hermann von Helmholtz (1821–1894) wurden drei Arten von Zapfen in der Retina (Netzhaut) vermutet, aufgrund deren unterschiedlich starker Reizung alle möglichen Farbvariationen wahrnehmbar sind. Tatsächlich entdeckte man später drei Zapfenarten („trichromatisches Farbsehen“), die bevorzugt auf kurze (419 nm), mittlere (531 nm) oder lange Wellenlängen (558 nm) reagieren, sodass aus den jeweils zugeordneten Empfindungen „Blau“, „Grün“ und „Rot“ alle anderen Farbempfindungen kombiniert werden können. Wie genetische Studien zeigen, dürfte die Zapfendifferenzierung bei den Primaten vor 9 bis 35 Millionen Jahren stattgefunden haben (s. Abramov & Gordon, 1994; Gegenfurtner, 2003; Bruce et al., 2003). Unter den Säugetieren weisen nur die Primaten drei Zapfenarten auf, während zum Beispiel Hunde und Rinder lediglich über zwei Zapfenarten und somit über keine Grün-Rot-Differenzierung verfügen. Viele Vögel haben allerdings mehr als drei Zapfenarten.

Wird rotes, grünes und blaues Licht mit jeweils unterschiedlicher Intensität übereinander geblendet, lassen sich daraus alle Farbnuancen erzeugen, was man als **additive Farbmischung** bezeichnet. Ebenfalls das gesamte Farbspektrum kann durch **subtraktive Farbmischung** erzeugt werden, indem man aus weißem Licht mittels Farbfilter Farbkomponenten in jeweils unterschiedlichem Ausmaß herausfiltert.

Mit der Dreifarben Theorie allein sind allerdings nicht alle Phänomene erklärbar, etwa nicht die **Farbenblindheit** (korrekter: die **Farbenfehlsichtigkeit**), die mangelnde Unterscheidungsfähigkeit zwischen Rot und Grün oder Gelb und Blau (betrifft ca. 1 bis 8 % der

Merksatz

Die Farbwahrnehmung des Menschen basiert auf drei Rezeptortypen, deren spezifische Erregungen die Farbeindrücke Blau, Grün und Rot auslösen und deren Informationsanteile in nachgeschalteten Gehirnregionen so verrechnet werden, dass sich daraus Zweifarbenfehlsichtigkeit und gegenfarbige Nachbilder erklären lassen.

männlichen Bevölkerung, ca. 0,01 % der Frauen), und ebenso nicht die **farbigen Nachbilder**, die sich in den gleichen Farbkombinationen äußern: Nach Betrachten einer roten Fläche oder Figur für die Dauer etwa einer Minute erscheint auf weißem Untergrund ein grünes Nachbild. Bis vor einem Jahrzehnt behauptete sich daher bei der Erklärung von Farbeindrücken neben der Dreifarbentheorie auch die **Gegenfarbentheorie** von Ewald Hering (1834–1918), bei der drei andere Arten von

Fotorezeptoren angenommen wurden, nämlich Rot-Grün-Rezeptoren, Blau-Gelb-Rezeptoren und Hell-dunkel-Rezeptoren.

Die moderne **Zweiprozessentheorie** („Dual Process Theory“; s. Passer & Smith, 2004) verbindet die beiden klassischen Ansätze und nimmt an, dass gemäß der Dreifarbentheorie im Auge drei Zapfenarten mit unterschiedlichen Wellenlängenempfindlichkeiten existieren, dass deren nervöse Erregungen jedoch im *Thalamus* (und eventuell auch im Kortex) additiv oder subtraktiv verrechnet werden. Daraus ergeben sich sekundär Gegenfarbeneffekte und Zweifarbenfehlsichtigkeiten (Abramov & Gordon, 1994).

5.8 | Akustische Wahrnehmung

Wie die visuelle Wahrnehmung zählt auch die akustische Wahrnehmung zu den „Fernsinnen“, das heißt, sie vermittelt Informationen über körperferne Umweltbereiche. Sie dient somit einer frühzeitigen Orientierung und bahnt sehr effektiv (oft reflexartig) die Aufmerksamkeit durch „Richtungshören“.

Das organische System, von welchem die akustischen Empfindungen ausgehen (Abb. 5.23), besteht aus dem Außenohr (Ohrmuschel, Gehörgang), dem Mittelohr mit den Gehörknöchelchen, dem Innenohr (Cochlea), den nervösen Bahnen zur Weiterleitung der akustischen Informationen (Hörbahn mit etwa sieben Schaltkernen) und dem entsprechenden Projektionsgebiet im Neocortex („Hörrinde“ bzw. „Heschel'sche Windung“).

Physiologisch betrachtet werden beim Hören Schallreize (Luftschwingungen) in Empfindungen, nämlich in Töne, Geräusche

oder Klänge, umgewandelt. Einzelne sinusförmige Luftschwingungen, die sich nach Intensität (Reizstärke) und Frequenz (gemessen in Hertz, Hz) unterscheiden, werden als **Töne** wahrgenommen. Eine Kombination ungeordneter Luftschwingungen erzeugt die Empfindung eines **Geräusches**. Von einem **Klang** spricht man bei einem Schallreiz, der aus einem „Grundton“ (tiefster Ton) und aus höherfrequenten „Obertönen“ (Teiltönen mit ganzzahligen Frequenzverhältnissen) besteht. Die meisten Musikinstrumente (Ausnahmen sind Schlaginstrumente) lassen sich durch ihre charakteristischen Klänge, gemeinsam mit ihren „Einschwingcharakteristiken“, eindeutig identifizieren (s. Herkner, 1986).

Man unterscheidet Schallempfindungen im Wesentlichen nach ihrer **Lautstärke**, **Tonhöhe** und **Klangfarbe**. Die empfundene Lautheit hängt primär von der Schallintensität ab (gemessen in Dezibel, dB), die Tonhöhe von der Schallfrequenz und die Klangfarbe von jenem Frequenzspektrum an Tönen, aus denen sich die Klänge zusammensetzen. Einige alltägliche Schallquellen mit ihren durchschnittlichen Dezibelwerten sind in Tabelle 5.4 dargestellt.

Jedes Geräusch und jeder Klang kann mittels **Spektralanalyse** („Fourieranalyse“) – das ist die Zerlegung von Schwingungen in Sinuskomponenten – auf Frequenz und Intensität seiner Schwingungs-

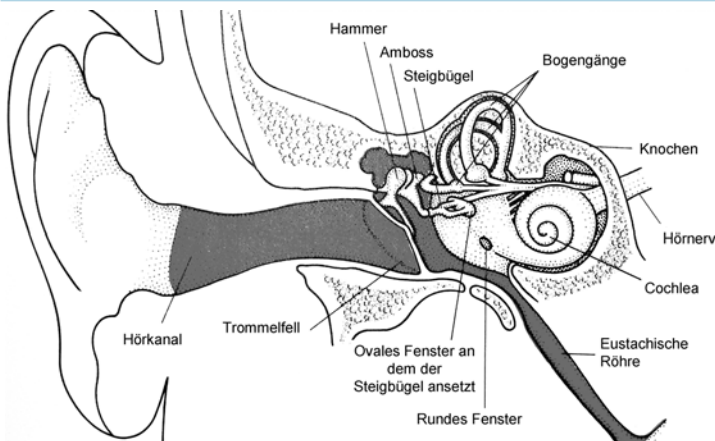


Abb 5.23

Anatomische Darstellung des menschlichen Gehörorgans mit Ohrmuschel, äußerem Gehörgang, Trommelfell, Eustachischer Röhre (Tubus), Gehörknöchelchen, Cochlea, dem abzweigenden Hörnerve sowie dem Gleichgewichtssystem (Bogengänge).

Tab 5.4

| Dezibel (dB) | Schallquelle |
|--------------|--|
| 180 | Start einer Rakete (in 25 m Entfernung) |
| 140 | Düsenflugzeug (25 m), Schmerzschwelle |
| 130 | Großes Orchester in voller Lautstärke |
| 120 | Lauter Donner, Rockband |
| 110 | Presslufthammer, Propellerflugzeug (7 m) |
| 100 | U-Bahn (7 m), brüllender Redner |
| 90 | In der U-Bahn, Rasenmäher (10 m) |
| 80 | Straßenecke mit viel Verkehr (7,5 m) |
| 70 | Innengeräusch eines Autos |
| 60 | Normale Unterhaltung, „Zimmerlautstärke“ (1 m) |
| 50 | Unterhaltung im Restaurant, Bürolärm |
| 40 | Ruhiges Büro, Schulklasse, Kirche |
| 30 | Spitalzimmer, Schlafzimmer bei Nacht |
| 20 | Leises Flüstern (1,5 m) |
| 0 | Absolute Hörschwelle (Ton mit 1000 Hz) |

Der Schalldruck (p) wird in Paskal (Pa) gemessen, das ist der Druck einer Kraft von einem Newton (N) auf eine Fläche von einem m^2 . Bei 1000 Hz wird ein Druck von $2 \cdot 10^{-5}$ Pa benötigt (p_0), damit eine Hörempfindung entsteht (Hörschwelle). Als Lautstärkemaß wird der Schalldruckpegel in Dezibel ($dB = 1/10$ Bel) verwendet: $20 \log(p/p_0)$. Eine Zunahme von 6 dB entspricht einer Verdoppelung, eine von 20 dB einer Verzehnfachung des Schalldruckes. Ab etwa 85 dB Dauerbelastung durch Schalleinwirkung ist mit Hörbeeinträchtigungen wie Lärmschwerhörigkeit und „Tinnitus“ (subjektive Ohrgeräusche) zu rechnen. Der Schalldruck vermindert sich mit dem Abstand r im Verhältnis von $1/r$. (Goldstein, 2002; Zimbardo & Gerrig, 2004; Mayers, 2005; Passer & Smith, 2005)

komponenten untersucht werden („Spektrogramm“, „Sonagramm“). Enthält ein Schallreiz alle Frequenzkomponenten in gleichem Ausmaß, spricht man von „weißem Rauschen“, bei unterschiedlicher Verteilung von Frequenzkomponenten von „farbigem Rauschen“.

In den meisten technischen Musikwiedergabegeräten und Verstärkeranlagen sind Filter eingebaut („Equaliser“), die eine selektive Verstärkung oder Abschwächung bestimmter Frequenzbereiche während der Musikwiedergabe bewirken. Der vom Menschen wahrnehmbare Frequenzbereich reicht etwa von 20 bis 20.000 Hz.

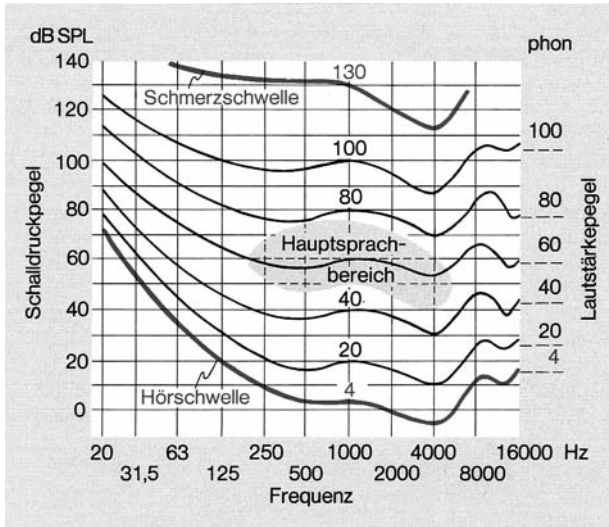
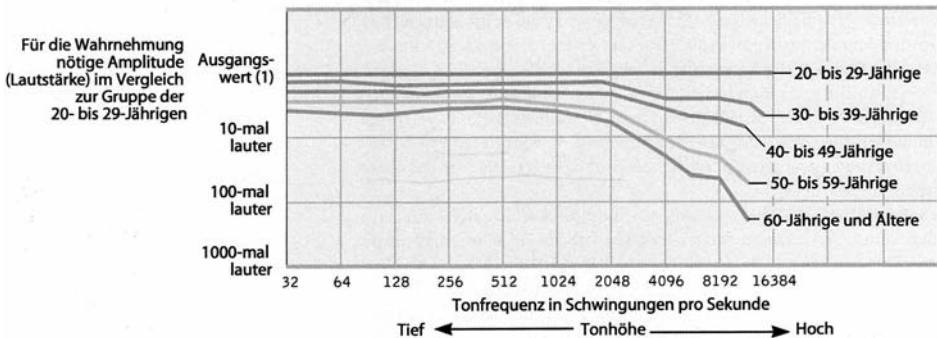


Abb 5.24

Hör- und Schmerzschwellen für verschiedene Tonfrequenzen und Verläufe subjektiv gleicher Lautstärkeinstufungen (Phon-Werte) für das gesamte hörbare Frequenzspektrum. Ein Ton mit 4000 Hz und 10 dB Intensität hat 20 Phon, ebenso viel hat ein Ton von 20 Hz und knapp 80 dB (SPL = Schalldruckpegel).

Abb 5.25



Hörniveau bei verschiedenen Altersgruppen bezogen auf verschiedene Frequenzen des Hörspektrums (Audiogramm). Ab etwa 1000 Hz nimmt die Hörleistung mit dem Alter ab, sodass bei Personen ab 60 Jahren Töne mit mehr als 3000 Hz um das 100-Fache stärker sein müssen, um wahrgenommen zu werden.

Die Empfindlichkeit des menschlichen Ohrs ist für Frequenzen zwischen 1000 und 5000 Hz besonders hoch, sodass bei Schallmessungen oft nur dieser Frequenzbereich berücksichtigt (A-Filter) und der gemessene Schallpegel in dB(A) bzw. dB_A angegeben wird.

Da sich die Hörschwellen und die Lautheitseinschätzungen für verschiedene Frequenzen unterscheiden (tiefe Töne haben höhere Schwellen), verwendet man auch das frequenzrelativierte Lautstärkemaß **Phon**, bei dem die Lautstärkenstufen für die verschiedenen Frequenzbereiche an die Dezibelskala bei 1000 Hz angepasst werden (Abb. 5.24).

Als **Lärm** bezeichnet man einen Schall von zumeist höherer Intensität, der subjektiv unangenehm bzw. unerwünscht ist. Bekanntlich hängt diese Wahrnehmung von verschiedenen psychischen Faktoren ab: Schall wird zum Beispiel als umso störender empfunden, je überraschender er einsetzt, d.h. je weniger er vorhersagbar ist, je weniger positiv-emotionaler Bezug zu ihm vorhanden ist (z.B. Diskomusik im Vergleich zu Verkehrslärm), je geringer die Kontrolle darüber ist (z.B. nicht verhinderbarer Industrielärm) und je mehr er die Aufmerksamkeit auf sich zieht (z.B. lautes Streiten in der Nachbarwohnung). Für Wohngebiete werden in vielen Städten

Grenzwerte für Schallintensitäten von durchschnittlich 55–60 dB_A für den Tag und 45–50 dB_A für die Nacht empfohlen (Wiener Umweltanwaltschaft, 2005). Leider sind aber auch bei erwünschtem Schall (z.B. Diskomusik) Probleme, nämlich Gehörschäden, zu erwarten, wenn er über längere Zeit hinweg mehr als 85 dB beträgt. Bei Rockkonzerten werden bis zu 130 dB erreicht (in 50 m Entfernung von den Boxen), in Diskotheken zwischen 90 und 110 dB. Man nimmt an, dass nicht weniger als etwa 10 % der Jugendlichen bei der Benützung eines Walkman oder MP3-Players eine Lautstärke von ca. 100 dB einstellen.

Zur Prüfung der Hörleistung wird eine **Audiometrie** („Schwellen-Audiometrie“) durchgeführt, bei der Töne verschiedener Lautstärke und Frequenz in zufälliger Abfolge dargeboten werden und von der Testperson identifiziert werden müssen. Das **Audiogramm** gibt den Verlauf der akustischen Schwellen für die einzelnen Frequenzen grafisch wieder (Abb. 5.25). Je nachdem, ob der Schall über Kopfhörer oder über einen Schwingkörper hinter dem Ohr verabreicht wird, kann auch der Ort einer Störung eingegrenzt werden (Außenohr – Mittelohr – Innenohr). Mittels Ableitung von Gehirnströmen

Merksatz

Akustische Wahrnehmungen werden nach Lautstärke, Tonhöhe und Klangfarbe klassifiziert. Das Ausmaß von empfundenem Lärm als unerwünschte Schallbeeinträchtigung hängt nicht nur von der Schallintensität ab – wobei ab 85 dB Dauerbelastung mit Gehörschäden zu rechnen ist –, sondern auch von psychischen Faktoren.

von der Kopfhaut („Evoked Response Audiometrie“, ERA) kann sogar bei Säuglingen und Kleinkindern eine sogenannte „objektive Audiometrie“ durchgeführt werden, bei der allein auf Basis der elektroenzephalografischen Reaktion des Hörzentrums auf Töne das Hörvermögen beurteilt werden kann (s. etwa Guttman, 1982).

Andere Sinne

| 5.9

Die Sinneszellen können danach eingeteilt werden, welche Art von Informationen sie liefern: **Exterozeptoren** sind Sinneszellen, die Informationen über die Außenwelt liefern (über Auge, Ohr, Nase); **Propriozeptoren** registrieren Hinweise über die Lage und Bewegung des Körpers sowie über die Spannung oder Dehnung der Muskeln (Stellungssinn, Bewegungssinn). Biochemische Prozesse im Körper, wie etwa Temperatur, Blutdruck, Sauerstoffsättigung des Blutes, und andere körperinterne Veränderungen werden über sogenannte **Entero-** oder **Interozeptoren** rückgemeldet (Birbaumer & Schmidt, 1991).

Der **Geruchssinn** („olfaktorisches System“) dürfte phylogenetisch das älteste Sinnessystem sein und ist bei vielen Tierarten (Hunde, Robben, Haie, Lachse etc.) extrem leistungsfähig. Das „olfaktorische Sinnessystem“ (Prizel et al., 2003) unterstützt unser Gedächtnis bei der Identifikation vital bedeutsamer Situationen (z.B. hinsichtlich Essen, Erotik), lässt uns die Reaktionslage von Mitmenschen erkennen (z.B. Angst) und löst zumeist unbewusst Stimmungen aus (z.B. durch „Pheromone“ als sexuelle Lockstoffe). Die etwa 10–20 Millionen Geruchsrezeptoren im ca. 5–10 cm² großen Riechepithel der Nasenhöhle des Menschen (bei großen Hunden: bis zu 200 Millionen in 150 cm²) enthalten etwa 350 Rezeptortypen für Gerüche (s. Doty, 2001) und leiten ihre Informationen über den Riechkolben (ohne Zwischenschaltung im Thalamus) direkt an das *Limische System* weiter (Amygdalae), das bezeichnenderweise auch für die Gefühlsregulation verantwortlich ist. Jeder Mensch hat seinen Eigengeruch, dem insbesondere für die Partnerwahl eine wichtige Bedeutung zugeschrieben wird und der wohl

Merksatz

Geruchs- und Geschmackssinn des Menschen haben wesentlichen Einfluss auf seine Handlungsregulation sowie auf die Gefühlsfärbung von Lebenssituationen und unterstützen sich gegenseitig in der Wahrnehmungsleistung.

auch zu dem Ausspruch geführt hat, „jemanden nicht riechen zu können“. In Blindstudien (z.B. McCoy & Pinito, 2002) zeigte sich, dass Männer und Frauen, die sich mit Sexualduftstoffen besprühen (im Vergleich mit anderen Duftstoffen), offenbar eine größere Anziehungskraft auf das andere Geschlecht ausüben, da sie daraufhin von mehr Verabredungen und erotischen Kontakten berichten. Bekanntlich ist das geschmackliche Differenzierungsvermögen des Menschen stark herabgesetzt, wenn etwa durch Schnupfen die Riechfähigkeit beeinträchtigt ist. Im Allgemeinen ist die Geruchsdifferenzierung bei Frauen besser ausgeprägt als bei Männern und nimmt mit dem Alter ab (Doty et al., 1984). Einige Studien zeigen, dass der Ausfall der Geruchswahrnehmung („Anosmie“) bei manchen Erkrankungen ein Begleitsymptom ist (z.B. HIV, Alzheimer, Alkoholismus, Drogenmissbrauch, Schizophrenie; Doty, 2001).

Der **Geschmack** („gustatorisches System“) wird über die „Geschmackspapillen“ der Zunge wahrgenommen, in denen die Geschmacksknospen und in diesen wiederum die „Geschmackssinneszellen“ eingelagert sind. Außer den seit Langem bekannten Geschmacksqualitäten süß, sauer, salzig und bitter gibt es vermutlich noch „umami“, nämlich den Glutamatgeschmack (Pritzel et al., 2003). Von den Geschmackssinneszellen leiten drei *Hirnnerven* (Nervus facialis, Nervus glossopharyngeus, Nervus vagus) die Erregungen in den *Thalamus* und in geruchsverarbeitende Areale des Gehirns weiter (Pons, Limbisches System, Geschmackszentrum im Kortex). Ähnlich wie die Geruchs- dürften auch die Geschmackswahrnehmungen eine überlebenswichtige Bedeutung für den Frühmenschen gehabt haben. Dies zeigt sich sowohl im engen Zusammenwirken des olfaktorischen mit dem gustatorischen System als auch in ihren gemeinsamen Projektionsgebieten im *Limbischen System* (z.B. Amygdala, Hypothalamus) sowie in den durch Geschmack auslösbaren emotionalen Reaktionen (z.B. bei der sehr schnell einsetzenden aversiven Geschmackskonditionierung; s. 6.7). Geschmackswahrnehmungen sind selbst wiederum dem Einfluss kognitiver, emotionaler und motivationaler Prozesse unterworfen, was auch in Spruchweisheiten wie „Das Auge isst mit“ oder „Hunger ist der beste Koch“ zum Ausdruck kommt.

Die **Körperwahrnehmung**, ermöglicht durch das sogenannte „somatosensorische System“ (Pritzel et al., 2003), unterscheidet je nach Quelle der Wahrnehmungen zwei verschiedene Herkunftsbe- reiche, die somatische („Oberflächensensibilität“ für die Haut, „Tie-

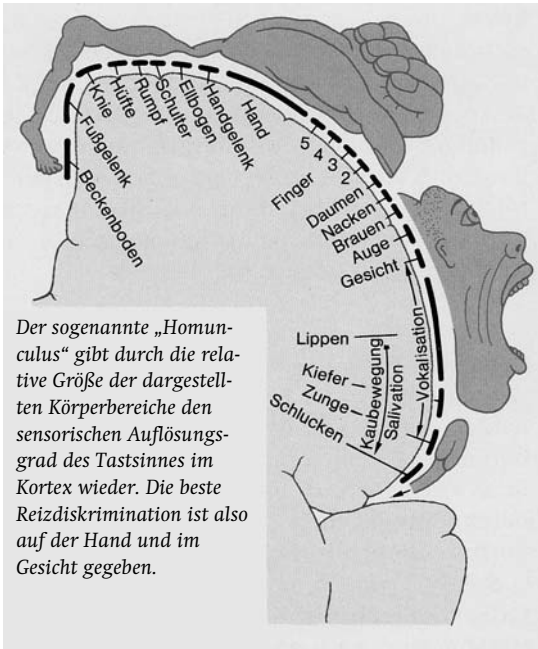


Abb 5.26

fensibilität“ für Muskeln, Gelenke und Knochen) und die viszerale Sensibilität (Eingeweide). Die an der Körperwahrnehmung beteiligten Rezeptoren, nämlich **Mechanorezeptoren** (Berührung, Druck), **Chemorezeptoren** (Glukose, pH-Wert), **Thermorezeptoren** (Hitze, Kälte), **Propriozeptoren** (Gelenkstellung, Kraft, Richtung) und **Nocizeptoren** (Schmerz), leiten ihre Information wieder über thalamische Zwischenschaltung in die Projektionszentren des Kortex (postzentrale Gehirnwindungen) weiter. Die somatosensorischen Kortexareale sind entsprechend der Rezeptordichte auf der Haut und der daraus folgenden Dichte der im Zentralnervensystem einlangenden nervösen Informationen für verschiedene Körperbereiche unter-

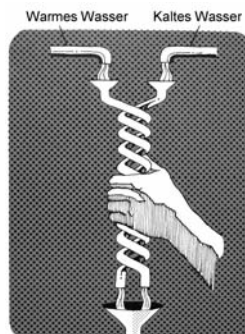


Abb 5.27

Eine paradoxe Temperaturempfindung im Experiment: Wenn kaltes ($0-5\text{ }^{\circ}\text{C}$) und warmes Wasser gleichzeitig durch gewundene Metallrohre fließt, dann löst dies beim Umgreifen der Leitungen eine brennend heiße Empfindung aus.

schiedlich groß angelegt („Homunkulus“, Abb. 5.26). Die Kälterezeptoren der Haut reagieren zwischen etwa 5 und 31 °C, die Wärmerezeptoren zwischen 36 und 45 °C, dazwischen liegt ein neutraler Bereich (weder warm noch kalt). Über 45 °C werden Temperatureize im Wesentlichen über die Schmerzrezeptoren signalisiert (Abb. 5.27).

Rezeptoren für **Schmerz** (*Nocizeptoren*) kommen außer im Gehirn und in der Lunge fast überall im Körper vor und liefern Informationen über eventuell gesundheitsbedrohliche Prozesse im Inneren und über möglicherweise schädigende Einwirkungen von außen. Im Gegensatz zu anderen Sinnen tritt bei Wiederholung oder Andauern von Schmerzreizen keine Adaptation ein (gewöhnungsbedingte Verringerung der Empfindungsintensität), sondern eher das

Gegenteil: Bei häufiger Reizung von Schmerzrezeptoren (oder Entzündung des umliegenden Gewebes) muss mit deren *Sensibilisierung* gerechnet werden, sodass schließlich auch Reize als schmerzhaft empfunden werden, die früher keine Schmerzen hervorriefen. Die Schmerzrezeptoren sowie die schmerzleitenden Nerven können bei Entzündung auch selbst zu intensiven Schmerzerlebnissen führen („Neuralgien“). Schmerzempfindungen

können sich sogar verselbständigen, sodass auch nach der Amputation von Gliedmaßen immer noch Schmerzen in ihnen lokalisiert werden („Phantomschmerzen“). Das Schmerzerleben ist besonders durch kognitive und emotionale Prozesse beeinflusst, zum Beispiel durch die Einstellung gegenüber der Schmerzquelle oder gegenüber dem Schmerzerleben an sich („Schmerzempfindlichkeit“). Auf plötzlich eintretenden Schmerz wird immer reflexiv abwehrend reagiert, während chronischer Schmerz automatisch Entlastungs- und Schonreaktionen hervorruft. Die Behandlung von Schmerzzuständen kann durch Medikamente („Analgetika“, z.B. Opiate), durch physikalische Interventionen (z.B. Kältepackungen, Gymnastik), aber auch durch psychologische Maßnahmen erfolgen (z.B. Entspannungsverfahren, Bewältigungsstrategien, Hypnose).

Gewissermaßen als körpereigene Schmerzbekämpfung darf die Ausschüttung von körpereigenen Opiaten, sogenannten **Endorphinen**, angesehen werden, die bei Verletzungen oder großen körper-

Merksatz

Körperwahrnehmung und Schmerzwahrnehmung erlauben eine Lokalisation und Einschätzung von Körperzuständen, Körperveränderungen und Körperbeeinträchtigungen.

lichen Belastungen (z.B. Marathonlaufen, Extrembergsteigen) eine Stimmungsaufhellung und größere Schmerztoleranz bewirken. Detaillierte physiologische Analysen des somatosensorischen Systems haben ergeben, dass nicht nur Informationen von der Peripherie zum Gehirn fließen, sondern auch umgekehrt. Dies bedeutet etwa für die Schmerz Wahrnehmung, dass sie durch Tastwahrnehmungen im selben Körperbereich oder durch Ablenkung der Aufmerksamkeit (z.B. in Hypnose) teilweise bis vollständig unterbunden werden kann („Filter-Kontrolltheorie“ bzw. „Gate-Control-Theorie“; Melzack & Wall, 1965).

Das Sinnesorgan für die Erhaltung des **Gleichgewichts** („vestibuläres System“) befindet sich in enger Nachbarschaft zum akustischen System, nämlich im Innenohr (s. Abb. 5.23). Die Haarzellen in den drei Bogengängen reagieren auf Beschleunigungen und Drehungen des Kopfes und vermitteln diese Informationen über den Nervus vestibularis, der sich mit dem Nervus cochlearis (Hörnerv) zum Nervus statoakustikus verbindet, an den *Hirnstamm*, von dem aus eine Weiterleitung in mehrere andere Gehirnbereiche erfolgt (Kleinhirn, Thalamus, Tectus opticus).

Im Hirnstamm werden aber auch Informationen aus der **Kinästhetik** verarbeitet, zum Beispiel über den Spannungsgrad der Muskeln oder über den Zustand der Gelenke. Nur durch diese komplexen neuronalen Verrechnungen sowohl von sensorischen als auch von motorischen Informationen ist eine optimale Bewegungssteuerung durch Abstimmung des Bewegungsapparates mit den fast ununterbrochen stattfindenden Lage- und Orientierungsveränderungen des Körpers möglich. Eine Irritation des Gleichgewichtssinnes (z.B. nach Achterbahnfahrten) kann zu massiven Befindlichkeitsstörungen führen (z.B. Übelkeit, Schwindel) und dauert bei anhaltenden Koordinationsproblemen (z.B. bei Seefahrt) mehrere Tage an. Als Beifahrer bei kurvenreichen Autofahrten sollte man aus dem Fenster blicken, um dem Gehirn zumindest über die optische Wahrnehmung Anhaltspunkte für die Lageorientierung zu liefern.

Merksatz

Der Gleichgewichtssinn liefert – in Kooperation mit dem visuellen und dem kinästhetischen System – wichtige Hinweise für die Koordination von Körperbewegungen und kann bei Überforderung zu erheblichen Befindlichkeitsstörungen führen.

Zusammenfassung

Die Sinnesleistungen des Menschen, die ab dem 60. Lebensjahr progressiv abnehmen, liefern existenziell wichtige Informationen über die externen und internen Lebensbedingungen. Die Sinnespsychologie gehört zu den ältesten Forschungsgebieten der Psychologie. Als Hauptquellen von Sinnesempfindungen gelten das Sehen, Hören, Riechen, Schmecken und Tasten, während in der physiologischen Forschung noch genauer nach der Art der involvierten Rezeptoren und der zugehörigen sensorischen Subsysteme unterschieden wird, zu denen auch das vestibuläre, kinästhetische und nocizeptive System gehören. Die Psychophysik erforscht die funktionale Beziehung zwischen Reiz und Empfindung und hat für viele Sinnesmodalitäten und einfache Reizarten wie zum Beispiel Helligkeit und Lautstärke Potenzfunktionen mit unterschiedlichen Exponenten nachgewiesen. Die Wahrnehmung erscheint oberflächlich betrachtet als „bottom up“-Prozess, ist aber in allen Sinnesbereichen durch „top down“-Prozesse, nämlich durch Aufmerksamkeit, Kognitionen oder Emotionen, beeinflusst, was sich in einer Ökonomisierung der Informationsaufnahme, aber auch in Wahrnehmungseinschränkungen, -täuschungen oder -verzerrungen manifestiert.

Fragen

1. Was versteht man unter Psychophysik?
2. Welchen Zusammenhang beschreibt die psychophysische Funktion?
3. Auf welchen physiologischen Prozessen basiert die visuelle Wahrnehmung?
4. Was sind monokulare und was binokulare Tiefenhinweise?
5. Wie lassen sich optische Täuschungen erklären?
6. Welche Reizeigenschaften tragen dazu bei, dass Gestalten und Figuren wahrgenommen werden?
7. Geben Sie eine Erklärung für die „Mondtäuschung“!
8. Wie kann man den Inversionseffekt für die Erforschung der Gesichtserkennung verwenden?
9. Nennen Sie die Besonderheiten der Gesichtswahrnehmung!

10. Welche Bedeutung hat die Koordination von Augen- und Kopfbewegungen für die visuelle Wahrnehmung?
11. Erklären Sie die Wahrnehmung von Bewegungen und Geschwindigkeiten!
12. Welche Theorien zur Farbwahrnehmung gibt es?
13. Worin unterscheiden sich Töne, Klänge und Geräusche?
14. Was versteht man unter Dezibel und was unter Phon?
15. Wie definiert man Lärm, und welche Faktoren steigern die Lärmbelästigung?
16. Welche Sensoren tragen zur Körperwahrnehmung bei?
17. Wie wird Schmerz wahrgenommen?

Literatur

- Bruce, V., Green, P. R. & Georgeson, M. A. (2003). *Visual Perception*. Hove
- Carlson, N. R., Heth, C. D., Miller, H., Donahoe, J. W., Buskist, W. & Martin, G. N. (2007). *Psychology. The Science of Behaviour*. Boston
- Eysenck, M. W. & Keane, M. (2003). *Cognitive Psychology. A Student's Handbook*. New York
- Gegenfurtner, K. R. (2003). *Gehirn und Wahrnehmung*. Frankfurt/M.
- Goldstein, E. B. (2007). *Wahrnehmungspsychologie*. Heidelberg
- Martin, G. N., Carlson, N. R. & Buskist, W. (2007). *Psychology*. Harlow (England)
- Müsseler, J. & Prinz, W. (Ed.). (2002). *Allgemeine Psychologie*. Heidelberg
- Myers, D. G. (2005). *Psychologie*. Heidelberg
- Pritzel, M., Brand, M., & Markowitsch, H. J. (2003). *Gehirn und Verhalten. Ein Grundkurs der physiologischen Psychologie*. Heidelberg
- Solso, R. L. (2005). *Kognitive Psychologie*. Heidelberg

Lernen und Anpassung

6

Inhalt

- 6.1 Umwelt und Verhalten**

- 6.2 Aktivierung und Lernen**

- 6.3 Speicherstrukturen des Gehirns**

- 6.4 Neuronale Netzwerkmodelle**

- 6.5 Habituation**

- 6.6 Prägungsartiges Lernen**

- 6.7 Klassische Konditionierung – Signallernen**

- 6.8 Instrumentelles Konditionieren – Erfolgslernen**

- 6.9 Fertigkeiten – Motorisches Lernen**

- 6.10 Kognitives Lernen – Kategorien, Begriffe und Schemata**

- 6.11 Imitationslernen – Beobachtungslernen – Modelllernen**

Lernen ist eine erfahrungsbedingte, dauerhafte, aber modifizierbare Anpassung von Wahrnehmungen, Vorstellungen, Denkprozessen, Gefühlen, Motivationen oder Verhaltensweisen an Lebensbedingungen. Diese Anpassung ist also nicht auf Ermüdung, Reifung oder andere nicht erfahrungsbedingte Prozesse zurückzuführen. Lernen ist zudem stets mit einer Funktionsveränderung neuronaler Strukturen verbunden.

Empirische Hinweise über lernbedingte Strukturveränderungen im Zentralnervensystem (ZNS) können anhand von Hirnverletzungen („Hirnläsionen“), Hirnreizungen („Hirnstimulationen“) und mittels Aktivitätsmessungen am Gehirn gewonnen werden (z.B.