

Vorwort zur 4. Auflage

In den letzten zwei Jahrzehnten ging es in der Psychologie turbulent zu. Die 1. Auflage des Buches entstand zu einem Zeitpunkt, an dem die Allgemeine Psychologie und die kognitiven Neurowissenschaften zu verschmelzen begannen. Erkenntnisse aus den kognitiven Neurowissenschaften wurden in die Allgemeine Psychologie integriert, umgekehrt trug die Allgemeine Psychologie zur Entfaltung der kognitiven Neurowissenschaften bei. Die 2. Auflage des Buches erschien zu einem Zeitpunkt, an dem grundlegende Veränderungen in der Universitätslandschaft anstanden: die Einführung von Bachelor- und Masterstudiengängen im Zuge des Bologna-Prozesses. Auch zum Zeitpunkt des Erscheinens der 3. Auflage standen mit Einführung eines Masters in Psychotherapie – zumindest in Deutschland – grundlegende Veränderungen in den psychologischen Studiengängen an. Diese Umstrukturierungen sind derweil abgeschlossen. Es bleibt abzuwarten, ob das Fach Psychologie nun in ruhigere Gewässer segeln wird.

Wie Felsen in der Brandung bleiben die zentralen Inhalte der Allgemeinen Psychologie von all den Turbulenzen weitgehend unberührt. Ihre Inhalte beziehen sich auf Funktionsbereiche, die in vielen Anwendungsgebieten von großer Bedeutung sind. So entsprechen die Kapitel der 4. Auflage in ihren Schwerpunkten der vorherigen Auflage, da sie an wissenschaftlicher und praktischer Aktualität nichts verloren haben. Lediglich ein Kapitel wurde mit dem Ziel der inhaltlichen Fokussierung zweigeteilt. Jedes Kapitel wurde überarbeitet und aktualisiert, um die neuesten wissenschaftlichen Erkenntnisse abzubilden.

Es braucht nur wenige Vorkenntnisse, um durch das Buch zu navigieren. Das Lehrbuch richtet sich – wie die vorherigen Auflagen – an die psychologisch vorgebildete Leserschaft. Sprache und Inhalt sind dennoch möglichst allgemeinverständlich gehalten. Das Buch dient zur wissenschaftlichen und beruflichen Weiterbildung, als Nachschlagewerk und zur Vertiefung von Prüfungsinhalten im ersten und im zweiten Studienabschnitt.

Wir wünschen uns, dass Lesende die Vielseitigkeit der Allgemeinen Psychologie, die Faszination ihrer (Teil-)Bereiche und auch ihre bunten Facetten in der Zusammenschau kennen und schätzen lernen. Wir erhoffen uns, dass die dargestellten Erkenntnisse der wissenschaftlichen Psychologie zugutekommen und zu ihrer Weiterentwicklung beitragen.

Wir danken allen Personen, die dazu beigetragen haben, dass dieses Buch nun in seiner 4. Auflage erscheint. Insbesondere danken wir allen Autor:innen, die erneut viel Zeit investiert haben, um wissenschaftlich fundierte Erkenntnisse in ihren Zusammenhängen zu präsentieren. Ganz großer Dank gebührt auch allen Personen, die im und über den Springer-Verlag an der Neuauflage dieses Buches beteiligt waren. In erster Linie waren dies (in alphabetischer Reihenfolge) Judith Danziger, Marion Krämer und Stefanie Teichert.

MR & JM

Hall in Tirol und Aachen, im Dezember 2023

Vorwort zur 3. Auflage

Die 1. Auflage des Buches entstand zu einem Zeitpunkt, zu dem Allgemeine Psychologie und kognitive Neurowissenschaften zu verschmelzen begannen. Erkenntnisse aus den kognitiven Neurowissenschaften wurden in die Allgemeine Psychologie integriert, und umgekehrt trug die Allgemeine Psychologie an der Entwicklung der kognitiven Neurowissenschaften durch funktionale Modellbildungen bei. Die 2. Auflage des Buches wurde zu einem Zeitpunkt veröffentlicht, zu dem grundlegende Veränderungen in der Universitätslandschaft anstanden: die Einführung von Bachelor- und Masterstudiengängen im Zuge des Bologna-Prozesses. Ein Umbruch des universitären Psychologiestudiums steht, zumindest in Deutschland, auch zum Zeitpunkt des Erscheinens der 3. Auflage an: In naher Zukunft ist eine Approbationsausbildung Psychotherapie an den Universitäten geplant, d. h., die Psychotherapieausbildung wird entweder in das Psychologiestudium integriert oder es wird neben einem Master in Psychologie auch einen Master in Psychotherapie geben. Schon jetzt gibt es weitere spezialisierte Masterstudiengänge, über deren Notwendigkeit man aber trefflich streiten kann.

Auch wenn noch nicht alle Entscheidungen getroffen sind, so zeichnet es sich ab, dass die Allgemeine Psychologie davon weitgehend unberührt bleibt. Die zentralen Inhalte der Allgemeinen Psychologie (und der anderen Grundlagenfächer) beziehen sich auf Funktionsbereiche, die bei vielen psychischen Störungen dysfunktional sind. Für die Psychotherapie und die Approbationsausbildung Psychotherapie bedeutet dies, dass Wissen über die Funktionsweise psychischer Prozesse bei gesunden Personen unabdingbar ist. Darüber hinaus basieren viele psychotherapeutische Verfahren auf der Anwendung des Grundlagenwissens.

Die Kapitel der 3. Auflage wurden grundlegend überarbeitet und aktualisiert. Zwar blieben die inhaltlichen Schwerpunkte des Buches unverändert, allerdings wurden einige Bereiche umstrukturiert. Einzelne Kapitel entfielen, andere Kapitel wurden geteilt oder neu hinzugefügt. Dies geschah zum einen mit der Intention, eine noch ausgewogenere Darstellung verschiedener Bereiche in diesem Buch zu präsentieren. Zum anderen wollten wir damit auch aktuellen Entwicklungen in der Forschungslandschaft Rechnung tragen.

Das Lehrbuch richtet sich – wie die vorherigen Auflagen – an eine psychologisch vorgebildete Leserschaft. Es werden keine elementaren Einführungsinhalte vermittelt, obwohl Sprache und Inhalt möglichst allgemeinverständlich gehalten sind. Es dient zur wissenschaftlichen und beruflichen Weiterbildung, als Nachschlagewerk und zur Vertiefung von Prüfungsinhalten vor allem im zweiten, aber auch im ersten Studienabschnitt. Wir wünschen uns, dass die Leserinnen und Leser der Faszination der Allgemeinen Psychologie erliegen, und hoffen, dass dies letztendlich der wissenschaftlichen Weiterentwicklung der Allgemeinen Psychologie zugutekommt.

Wir danken allen Personen, die an der 3. Auflage des Buches mitgewirkt haben und ohne die dieses Projekt nicht durchführbar gewesen wäre. Insbesondere danken wir allen Autorinnen und Autoren, die unentgeltlich viel Zeit investiert haben, um wissenschaftlich fundierte und anschauliche Darstellungen verschiedener Inhaltsbereiche zu diesem Buch beizutragen. Ganz großer Dank gebührt auch allen Personen, die im Springer-Verlag und bei le-tex publishing services an der Neuauflage dieses Buches beteiligt waren (in alphabetischer Reihenfolge): Stefanie Adam, Sigrid Cuneus, Marion Krämer, Sorina Moosdorf und Regine Zimmerschmied.

JM & MR

Aachen und Hall in Tirol, im März 2016

Vorwort zur 2. Auflage

Im Vorwort der Erstaufgabe wird der mittlerweile weitgehend vollzogene inhaltliche Umbruch der Allgemeinen Psychologie hin zu den kognitiven Neurowissenschaften thematisiert. Die Zweitaufgabe wird dagegen zu einem Zeitpunkt präsentiert, zu dem sich zwei grundlegende strukturelle Veränderungen der Universitätslandschaft vollziehen. Erstens ist der von uns allen so geschätzte Diplom-Studiengang Psychologie im Rahmen des europäischen Bologna-Prozesses an vielen Universitäten bereits durch einen Bachelor-Master-Studiengang ersetzt worden. Dank der Initiative der Deutschen Gesellschaft für Psychologie mit der Forderung nach einem konsekutiven Studiengang bleiben davon die Studieninhalte – also auch die Inhalte der Allgemeinen Psychologie – weitgehend unbeeinträchtigt. Man wird aber vermuten müssen, dass in Zukunft die Profile der psychologischen Teildisziplinen aufgrund der divergierenden Modulbezeichnungen deutlich an Schärfe verlieren werden. Die zweite Änderung an den Universitäten zeichnet sich mit der Einrichtung der Exzellenzinitiativen ab. Dieser Prozess ist im vollen Gange, aber ich bin zuversichtlich, dass sich die Allgemeine Psychologie mit ihren interdisziplinären Verankerungen innerhalb der kognitiven Neurowissenschaften darin zu behaupten vermag.

In der 2. Auflage des vorliegenden Lehrbuches blieben die inhaltlichen Schwerpunkte der Erstaufgabe unverändert, da sie an wissenschaftlicher und praktischer Aktualität nichts verloren haben. Die Schwerpunkte haben sich in den Modulen der neuen Studiengänge nur neu sortiert, und dies ist ja auch gut so. Alle Kapitel wurden wissenschaftlich aktualisiert und mit neueren Literaturangaben versehen. Einzelne Kapitel wurden darüber hinaus grundlegend überarbeitet, sodass wir Ihnen eine verbesserte und aktualisierte Neuauflage des Lehrbuches präsentieren können. Nach wie vor richtet sich das Lehrbuch an die bereits psychologisch vorgebildete Leserschaft. Es sollen also keine elementaren Einführungsinhalte vermittelt werden, stattdessen ist es zur vertiefenden Prüfungsvorbereitung für die Allgemeine Psychologie im zweiten Studienabschnitt, zur wissenschaftlichen und beruflichen Weiterbildung oder einfach als Nachschlagewerk gedacht.

Mein vorrangiger Dank gilt all den Personen, die an dieser Überarbeitung des Buches mitgewirkt haben und ohne die ein solches Projekt einfach nicht durchführbar wäre. Neben den Autoren und Autorinnen ist hier insbesondere das Verlagslektorat von Frau *Katharina Neuser-von Oettingen* zu nennen. Die vielen Koordinierungstätigkeiten, notwendigen Vereinheitlichungen und Layoutfestlegungen wurden von der Lektorin Frau *Stefanie Adam* konstruktiv entwickelt und betreut. Außerdem hat dankenswerterweise Frau *Regine Zimmerschied* die Beiträge zusätzlich korrekturgelesen. Frau *Hannah Baumert* hat bei den Vereinheitlichungen der Abbildungen hilfreich mitgewirkt. Ihnen allen möchte ich hiermit danken.

JM

Aachen, im April 2007

Vorwort zur 1. Auflage

Die Allgemeine Psychologie befindet sich – so scheint es zumindest – in einem Umbruch: Die in den letzten Jahren zu beobachtende zunehmende Orientierung allgemeinpsychologischer Fragestellungen an neurophysiologischer Forschung stellt die Allgemeine Psychologie mehr und mehr in das Licht der sogenannten Kognitiven Neurowissenschaften – also all jener Wissenschaften, die kognitive Prozesse hauptsächlich und bisweilen ausschließlich in Verbindung mit deren neuronalen Implementationen untersuchen. Oft findet man dort sogar die Vorstellung, dass funktionale kognitive Modellvorstellungen ohne einen entsprechenden neuronalen Bezug keinen Erklärungswert mehr besitzen.

Die Beiträge in diesem Lehrbuch zeigen, dass die Allgemeine Psychologie zweifellos vom anhaltenden Boom der Neurowissenschaften profitiert. Sie zeigen aber auch, dass die Allgemeine Psychologie nicht nur die Erkenntnisse der neurowissenschaftlichen Arbeiten zunehmend rezipiert und integriert, sondern dass sie die kognitiven Neurowissenschaften auch in einem nicht unerheblichen Maße formiert. Ein funktionales Erklärungsmodell kann ohne neurophysiologischen Bezug bestehen, umgekehrt bleiben neurophysiologische Erkenntnisse in Form bloßer kortikaler Verortungen psychischer Sachverhalte allein ohne Erklärungswert. In diesem Sinne ergänzt und erweitert die Allgemeine Psychologie die kognitiven Neurowissenschaften und wird keineswegs durch sie abgelöst.

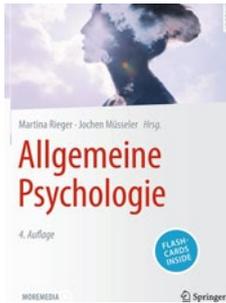
Mit diesem Lehrbuch möchten wir einen Überblick über moderne Forschungsansätze und -ergebnisse der Allgemeinen Psychologie vermitteln. Es richtet sich an die bereits vorgebildete Leserschaft von Studierenden und Fachkolleg:innen, die es zur vertiefenden Prüfungsvorbereitung, zur wissenschaftlichen und beruflichen Weiterbildung oder einfach als Nachschlagewerk verwenden können. Das Lehrbuch stellt daher keine elementare Einführung dar, obwohl es in Sprache und Inhalt bis hin zu den Illustrationen möglichst allgemeinverständlich gestaltet worden ist. Unser Ziel war es, ein Lehrbuch zu den Schwerpunktdisziplinen der Allgemeinen Psychologie vorzulegen, in dem die nationalen sowie die internationalen, die derzeitigen und die – soweit sie sich momentan abzeichnen – zukünftigen Forschungsperspektiven adäquat berücksichtigt werden. Aus diesem Grunde, aber auch um dem wissenschaftlichen Generationswechsel an unseren Universitäten Rechnung zu tragen, haben wir uns erfolgreich bemüht, für die einzelnen Kapitel ausschließlich jüngere Fachkolleg:innen als Autor:innen zu gewinnen. Sie alle haben sich der Aufgabe angenommen, einen kompakten Überblicksartikel zu verfassen und ihn mit aktuellen Literaturverweisen und fachterminologischen Definitionen auszustatten.

Unser Dank gilt daher zunächst den Autor:innen. Sie haben das Buchkonzept mitgestaltet, bevor sie die Kapitel inhaltlich in Form eines ersten Entwurfs ausgefüllt haben. Nicht zuletzt mussten sie sich dann der Tortur der ungeliebten Revisionsarbeit stellen, durch die nicht nur unsere Anregungen, sondern auch die kritischen und konstruktiven Kommentare vonseiten vieler Studierenden und ungenannter Fachkolleg:innen in die Kapitel eingeflossen sind. Unser Dank gilt in diesem Zusammenhang auch Frau Friederike Bröhan, Frau Veronika Gärtner und Frau Lydia Moric, die die Manuskripte sorgfältig korrekturgelesen haben.

Bei all diesen Arbeiten, vom ersten Konzeptentwurf bis hin zur Fertigstellung des Buches, haben wir die wertvolle Unterstützung des Spektrum Akademischer Verlags erhalten. Hier gilt unser herzlicher Dank insbesondere dem Lektorat von Frau Katharina Neuser-von Öttingen und der Lektoratsassistentin durch Frau Ulrike Finck. Nicht zuletzt möchten wir unserer Kollegin Frau Sabine Maasen danken. Sie hat in der ersten Hälfte der Herausgeberschaft die Koordination der verschiedenen Tätigkeiten übernommen und stand uns auch danach mit Rat und Tat zur Seite.

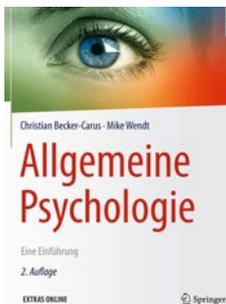
Der Erfolg der Bemühungen aller liegt, so glauben wir, nicht unwesentlich in der Offenheit für neue Perspektiven und der Freude am wissenschaftlichen Fortschritt. Unsere Hoffnung ist, dass dies in den Beiträgen spürbar wird und dass sich dies auf die Leser:innen dieses Buches überträgt.

Lernmaterialien zum Lehrbuch *Allgemeine Psychologie* im Internet – www.lehrbuch-psychologie.springer.com

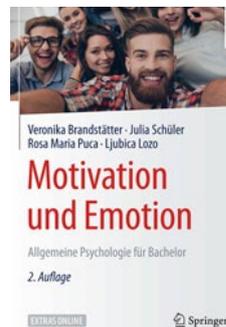


- Das Lerncenter: Zum Lernen, Üben, Vertiefen und Selbsttesten
- Glossar mit zahlreichen Fachbegriffen
- Karteikarten: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Kapitelzusammenfassungen: Das steckt drin im Lehrbuch
- Materialien für Dozentinnen und Dozenten zum Download

Weitere Websites unter ► www.lehrbuch-psychologie.springer.com



- Karteikarten: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Glossar: Wichtige Fachbegriffe verinnerlichen
- Verständnisfragen und Antworten
- Weiterführende und vertiefende Zusatztexte
- Foliensätze für Dozentinnen und Dozenten zum Download



- Schnelles Nachschlagen: Glossar mit über 100 Fachbegriffen
- Zusammenfassungen der 16 Buchkapitel: Das steckt drin im Lehrbuch
- Verständnisfragen und Antworten
- Karteikarten: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Hörbeiträge zur Motivations- und Emotionspsychologie: vollständige Kapitel im MP3-Format zum kostenlosen Download



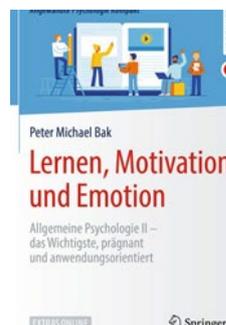
- Karteikarten: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Glossar mit zahlreichen Fachbegriffen
- Verständnisfragen und Antworten
- Zusammenfassungen aller Buchkapitel
- Foliensätze sowie Tabellen und Abbildungen für Dozentinnen und Dozenten zum Download



- Zusammenfassungen der Kapitel
- Glossar: Im Web nachschlagen
- Karteikarten: Überprüfen Sie Ihr Wissen
- Fragen & Antworten zur Prüfungsvorbereitung
- Dozierendenmaterialien: Abbildungen und Tabellen



- Karteikarten: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Glossar mit zahlreichen Fachbegriffen
- Verständnisfragen und Antworten
- Zusammenfassungen aller Buchkapitel
- Foliensätze sowie Tabellen und Abbildungen für Dozentinnen und Dozenten zum Download



- Karteikarten: Prüfen Sie Ihr Wissen
- Glossar mit zahlreichen Fachbegriffen
- Verständnisfragen und Antworten
- Zusammenfassungen aller Buchkapitel
- Foliensätze sowie Tabellen und Abbildungen für Dozentinnen und Dozenten zum Download

Einfach lesen, hören, lernen im Web – ganz ohne Registrierung!
Fragen? redaktion@lehrbuch-psychologie.de



Visuelle Informationsverarbeitung

Jochen Müsseler

Inhaltsverzeichnis

- 2.1 Einleitung: Fragen der visuellen Wahrnehmungsforschung – 17**
- 2.2 Das Auge und die visuellen Verarbeitungspfade – 18**
 - 2.2.1 Die Retina – 18
 - 2.2.2 Die Bahn des Sehnervs zwischen Auge und Kortex – 19
 - 2.2.3 Der primäre visuelle Kortex – 20
 - 2.2.4 Weitere kortikale Verarbeitungspfade – 22
- 2.3 Visuelle Informationsaufnahme und -verarbeitung – 23**
 - 2.3.1 Visuelle Sehschärfe und Sensitivität – 24
 - 2.3.2 Farbwahrnehmung – 26
 - 2.3.3 Raum- und Tiefenwahrnehmung – 28
 - 2.3.4 Bewegungswahrnehmung – 31
 - 2.3.5 Objektwahrnehmung – 35
- 2.4 Theorien der Wahrnehmung – 40**
 - 2.4.1 Die klassische Psychophysik – 40
 - 2.4.2 Die Gestaltpsychologie – 44
 - 2.4.3 Der wahrnehmungsökologische Ansatz – 45
 - 2.4.4 Der komputationale Ansatz – 46
- 2.5 Anwendungsbeispiele – 48**
- 2.6 Ausblick – 50**
- 2.7 Weiterführende Informationen – 50**
 - Literatur – 53**

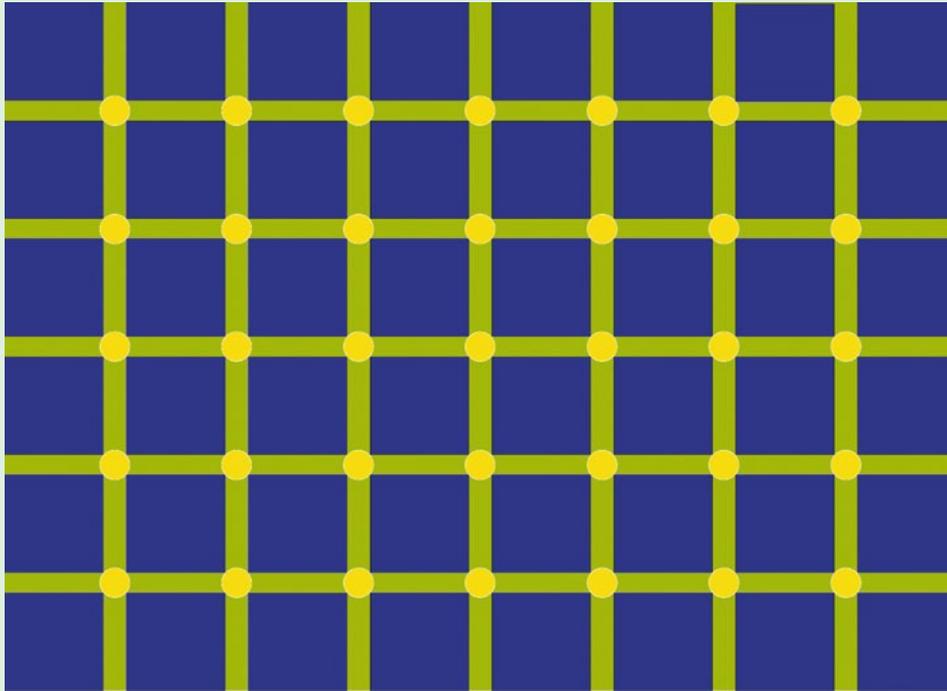
Im Blickfang

2

Eine Wahrnehmungstäuschung

Fixiert man kurze Zeit die Bildmitte des flimmernden Gitters (■ Abb. 2.1), werden in den hellgelben Schnittpunkten des Gitters dunkle Punkte sichtbar, die aber fortdauernd verschwinden bzw. ihre Position zu verlagern scheinen. In

unserem subjektiven Empfinden variieren die Anzahl und Position der flimmernden Punkte ständig. Eine weitere überraschende Beobachtung zu dieser Täuschung: Das Flimmern der Punkte nimmt ab, wenn man den Kopf um 45° neigt!



■ **Abb. 2.1** Das flimmernde Gitter (*scintillating grid*). (Nach Schrauf et al. 1997)

Derartige Sinnestäuschungen wecken unser Interesse, weil sie uns eindrucksvoll verdeutlichen, dass unsere Wahrnehmungswelt keineswegs eine 1:1-Abbildung der Realität ist. Diese Erkenntnis ist in gleichem Maße faszinierend wie beunruhigend, schließt sie doch ein, dass der Wahrnehmungsinhalt auch sonst von der Realität abweichen könnte, ohne dass wir uns darüber im Klaren wären. Schlimmer noch, man muss aus der Selbstbeobachtung, dass die Anzahl der schwarzen Punkte im flimmernden Gitter mit jedem neuen Versuch variiert, schließen, dass der Zusammenhang zwischen Realität und subjektiver Wahrnehmungswelt nicht durch eine einfache – und ins-

besondere nicht konstante – Transformationsregel determiniert ist. Wahrnehmen ist also nicht ein passives Aufnehmen von Informationen nach festgelegten Regeln, vielmehr können kurzfristige Zustände des Systems unsere momentanen Wahrnehmungsinhalte bestimmen.

In der Wahrnehmungsforschung sind solche Sinnestäuschungen nur Mittel zum Zweck, und sie werden auch nur bedingt zum Gegenstand der Forschung. Das vorrangige Ziel ist die Analyse *aller* Verarbeitungsprozesse, die darüber aufklären, wie aus der reichhaltigen Information unserer Umwelt die Wahrnehmung entsteht, die schließlich unser Empfinden und Handeln leitet.

Visuelle Wahrnehmungsprozesse kennzeichnen einen wichtigen, wenn nicht den wichtigsten Sinn des Menschen: den Sehsinn bzw. Gesichtssinn. Aus wissenschaftlicher Sicht interessiert uns, wie die Informationen unserer physikalischen Umwelt (distaler Reiz) von den Sinnesrezeptoren des Auges (proximaler Reiz) aufgenommen und kognitiv verarbeitet werden, um so den Wahrnehmungseindruck her-

vorzurufen, der unser Erleben und Verhalten maßgeblich beeinflusst. In dem vorliegenden Kapitel werden die Prozesse der elementaren Encodierung bis hin zur Objektidentifizierung beschrieben und abschließend kurz die wichtigsten Wahrnehmungstheorien skizziert.

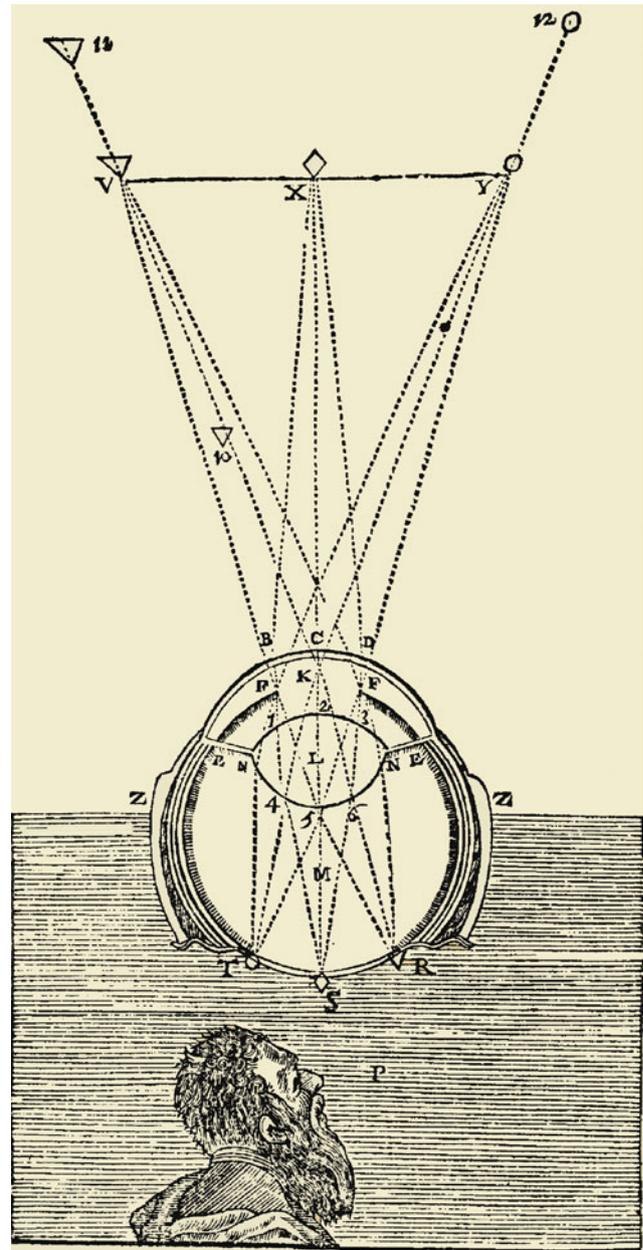
2.1 Einleitung: Fragen der visuellen Wahrnehmungsforschung

Die Wissenschaft von der Wahrnehmung versucht zu ergünden, wie die Information unserer distalen Umwelt aufgenommen und verarbeitet wird, wie aus ihr die Wahrnehmung entsteht, die unser Erleben und Verhalten maßgeblich begründet. Oft findet sich sogar die Vorstellung, dass alle menschlichen Erkenntnisse und Einsichten auf sensorischen Erfahrungen beruhen, also durch Wahrnehmungsprozesse erst zustande kommen. Es verwundert daher nicht, dass der Untersuchungsgegenstand „Wahrnehmung“ in der modernen Psychologie von jeher eine Sonderstellung einnahm und das Wahrnehmen als die Grundfunktion aller psychischen Funktionen angesehen wurde und zum Teil auch noch so betrachtet wird.

Diese Sonderstellung der Wahrnehmung, insbesondere auch der visuellen Wahrnehmungsmodalität, wird durch den trügerischen Eindruck verstärkt, dass sich Wahrnehmung ohne unser Zutun – also weitgehend passiv – vollzieht. Oft wird visuelles Wahrnehmen mechanistisch aufgefasst und mit den Vorgängen in einer Kamera verglichen, die ja auch ein Abbild der Umwelt zu erzeugen vermag. Es hat eine lange Tradition, das Auge als Kamera zu verstehen. René Descartes war wohl Anfang des 17. Jahrhunderts einer der ersten Wissenschaftler, der am herausoperierten Rinderauge das Abbild unserer Umwelt auf der Netzhaut systematisch untersuchte (■ Abb. 2.2). Tatsächlich ist die Kameraanalogie bis zu einem gewissen Punkt durchaus zutreffend: Die veränderliche Brennweite der Linse, die Blende bzw. die Pupille und der belichtungsempfindliche Film bzw. die Netzhaut unterscheiden sich zwar in ihrem Aufbau, erfüllen aber ähnliche Funktionen. In beiden Fällen entsteht ein seiten- und höhenverkehrtes Abbild. Die hauptsächliche Wahrnehmungsleistung findet aber erst im Gehirn statt, in den sich anschließenden Analyse- und Verarbeitungsprozessen. Das, was wir als Wahrnehmen bezeichnen, ist in ■ Abb. 2.2 daher insbesondere durch den Menschenkopf repräsentiert, der die Abbilder auf der Netzhaut beobachtet. Er repräsentiert den vom Gehirn zu leistenden Wahrnehmungsprozess – erst er weiß, die auf dem Kopf stehende Netzhautinformation „richtig“ zu interpretieren (► Abschn. 2.3.3).

Nicht die Projektion der Umwelt auf die Netzhaut, sondern die sich daran anschließenden Prozesse kennzeichnen den eigentlichen Wahrnehmungsvorgang. Das Auge versorgt uns mit den sensorischen Rohmaterialien; Wahrnehmen heißt vor allem aber auch, diese Rohmaterialien zu *verarbeiten*. Dabei sind zunächst einmal die Aufnahme und die Beschaffenheit der Rohdaten wichtig:

- Wie sehen die elementaren visuellen Encodierungsprozesse aus, was sind die Basismerkmale des Wahrnehmungsvorgangs?
- Wie werden die Orientierungen einfacher Linien, Winkel und Farben encodiert?



■ Abb. 2.2 Historische Skizze zu Descartes' Beobachtungen der Abbildung unserer Umwelt auf der Netzhaut eines Rinderauges

Dies sind Beispiele für Fragen, die in den folgenden Abschnitten eingehender erläutert werden und die die „frühe“ visuelle Verarbeitung (*early vision*) kennzeichnen. In dieser Phase der frühen visuellen Verarbeitung ist der Anteil an reizgetriebenen Mechanismen relativ hoch. Unter **Bottom-up-Verarbeitung** versteht man die durch einen Reiz ausgelöst und dann weitgehend automatisch ablaufenden Prozesse, die von den mehr kognitiven Funktionen (z. B. Gedächtnis, Lernen) wenig beeinflussbar sind. Mit zunehmender Verarbeitungstiefe kann man allerdings davon ausgehen, dass deren Anteil am Wahrnehmungsprozess (**Top-down-Verarbeitung**) steigt.

Obwohl es auch theoretische Ansätze gibt, die eine erste – vom kognitiven Einfluss vollkommen unabhängige – visuelle Verarbeitungsstufe annehmen (z. B. Pylyshyn 1999), so ist die vorherrschende Meinung doch eher die, dass der Einfluss des Kognitiven – wenn auch in unterschiedlichem Ausmaß – auf nahezu allen Verarbeitungsstufen nachweisbar ist. Zumindest erscheint eine strikte Trennung zwischen frühen kognitiv unbeeinflussten und späteren kognitiv beeinflussten visuellen Wahrnehmungsmechanismen nicht angezeigt (z. B. Müsseler 1999a).

Ohne die kognitive Komponente wären in jedem Fall die folgenden, eher interpretativen Leistungen des Wahrnehmungsprozesses nicht zu erbringen:

- Wie werden Objekte voneinander abgegrenzt?
- Wie werden Objekte identifiziert und kategorisiert?

Dies sind Probleme der Objekterkennung und der Organisation in der Wahrnehmung. Eine Beantwortung dieser Fragen verdeutlicht, dass Wahrnehmen ohne den Bezug zu den bestehenden Wissensbeständen des Wahrnehmenden nicht auskommen kann. Wahrnehmen ist also auch immer eine Interpretation der Rohmaterialien. Daneben gibt es Fragen, die – je nachdem, welchen Abschnitt man fokussiert – sowohl eine „frühe“ als auch eine „späte“ Komponente aufweisen:

- Wie werden räumliche Distanzen und Tiefe wahrgenommen?
- Wie vollzieht sich die Wahrnehmung von Bewegung?

Im Folgenden wird deutlich werden, dass Wahrnehmung nicht ein passives Aufnehmen von Information ist, sondern sich aktiv vollzieht. Zwar senden wir keinen „Wahrnehmungsstrahl“ wie die Fledermaus aus, die mittels Echoortung ihre Umwelt räumlich „abtastet“. Dennoch erscheint die Analogie des Wahrnehmungsstrahles, von der im Übrigen der griechische Philosoph Platon überzeugt war, eher geeignet, den Wahrnehmungsprozess zu charakterisieren als die Vorstellung einer rein rezeptiv angelegten Informationsaufnahme und -verarbeitung.

Im vorliegenden Kapitel kann nicht der gesamte Werdegang und Wissensstand der Wahrnehmungsforschung wiedergegeben werden – hier sei auf die speziell für diesen Zweck geschriebenen Wahrnehmungslehr- und -handbücher verwiesen (z. B. Goldstein und Cacciamani 2023; Palmer 1999). Wir beschränken uns hier auf die Grundprobleme der Wahrnehmung und auf die zu diesem Zweck entwickelten grundlegenden Wahrnehmungstheorien. Auch kann dieses Kapitel nur äußerst unzureichend über die Vielzahl und Vielfältigkeit der bekannten Wahrnehmungsvorgänge informieren (einen Eindruck darüber liefern entsprechende Sammelbände, z. B. Ditzinger 2013; Rodgers 1999; Seckel 2014). Dies ist insbesondere deshalb kritisch, weil in der Wahrnehmungsforschung – eher noch als in anderen Teildisziplinen der Allgemeinen Psychologie – das rein phänomenorientierte Vorgehen weitverbreitet ist. Obwohl dieses Vorgehen aus wissenschaftstheo-

retischen Überlegungen keineswegs dem theoriegeleiteten Vorgehen vorzuziehen ist, existieren dennoch eine Vielzahl lokaler Erklärungsansätze, die sich lediglich auf die Erklärung einer Illusion oder einer Gruppe von Illusionen beschränken. Wir behandeln hier lediglich eine aktuelle Auswahl derartiger Phänomene und Erklärungsansätze; weitere, besonders aktuelle Phänomene, z. B. das Phänomen der Maskierung (Metakontrast), des Aufmerksamkeitsblinzeln (*attentional blink*), der Wiederholungsblindheit (*repetition blindness*) oder der Veränderungsblindheit (*change blindness*), finden sich in ► Kap. 5 und 6.

2.2 Das Auge und die visuellen Verarbeitungspfade

Wahrnehmungspsychologische Fragestellungen werden heutzutage eng mit Fragestellungen der Sinnes- und Neuropsychologie verknüpft. Wir wissen heute, dass nahezu die Hälfte des Neokortex durch visuelle Reizung stimulierbar ist und dass diese Areale zumindest mittelbar am Wahrnehmungsprozess beteiligt sind. Dieser Abschnitt gibt deshalb zunächst einen groben Überblick über die Neuropsychologie des Sehens, den daraus abzuleitenden grundlegenden sensorischen Verarbeitungsprinzipien der Retina und den nachfolgenden (kortikalen) Verarbeitungspfaden. Kenntnisse der neuropsychologischen Grundlagen werden dabei vorausgesetzt (z. B. Bear et al. 2018).

2.2.1 Die Retina

Wie in ► Abschn. 2.1 angedeutet, gleicht das Auge in seinen Funktionsmerkmalen einer Kamera. Einfache Störungen (z. B. Weit- und Kurzsichtigkeit) können mit einfachen physikalischen Gesetzmäßigkeiten der Lichtbrechung erklärt und korrigiert werden (■ Abb. 2.3A). Diese Vergleichbarkeit hat natürlich aufgrund der unterschiedlichen Hardwarerealisierungen der optischen Apparate ihre Grenzen, sie hört aber spätestens bei der Projektionsfläche auf: Die Retina (■ Abb. 2.3B) ist keineswegs eine dem analogen Film oder dem digitalen Bildsensor ähnliche homogene, lichtempfindliche Schicht. Die im gesunden Auge (■ Abb. 2.3A) angesiedelten ca. 126 Mio. Fotorezeptoren sind unterschiedlich licht- und farbempfindlich. Weil die 120 Mio. Stäbchen (*rods*) eine deutlich höhere Lichtempfindlichkeit aufweisen als die 6 Mio. Zapfen (*cones*), nehmen wir beispielsweise in der Dunkelheit nur die *achromatischen* Farben Weiß, Grau oder Schwarz wahr („Nachts sind alle Katzen grau!“, skotopisches Sehen), während am helllichten Tag das *chromatische* Farbsehen der Zapfen mit den Farben Blau, Rot, Grün und Gelb vorherrscht (photopisches Sehen; zum Farbsehen s. auch ► Abschn. 2.3.2). Außerdem ist die Verteilung der Stäbchen und Zapfen im Gesichtsfeld sehr unterschiedlich. Die Zapfendichte ist in

Zur Vertiefung 2.1

Bildgebende Verfahren zur Untersuchung von Hirnprozessen

Insbesondere in den letzten Jahrzehnten sind **bildgebende Verfahren** entwickelt worden, die es ermöglichen, am wachen Menschen neurale Prozesse nahezu nichtinvasiv zu erfassen. So können Teilaspekte der Wahrnehmung und anderer kognitiver Funktionen mit den kortikalen Regionen in Verbindung gebracht werden, die bei der Darbietung von Reizen oder beim Lösen bestimmter Aufgaben aktiv sind (detaillierte Beschreibung der Verfahren z. B. in Jäncke 2005).

Die *Positronenemissionstomografie* (PET) basiert auf der Messung von radioaktiven Markersubstanzen, die zuvor in den Blutkreislauf injiziert wurden und Positronen emittieren. Die radioaktiv markierten Stoffwechselfsubstanzen werden verstärkt in metabolisch aktiven Zellen verbraucht, also den Zellen, die an dem jeweiligen kognitiven Prozess beteiligt sind. Ein Detektor, der in einer Vorrichtung drehbar um den Kopf geführt wird, zählt die Photonen, die bei der Annihilation von Positronen mit Elektronen im Körper emittiert werden, sodass der Computer die Orte stärkster und schwächster Strahlung bestimmen kann. Die zeitliche Auflösung beim PET liegt allerdings nur im Bereich von 10 s, die räumliche Auflösung erlaubt dagegen die Lokalisation mit Millimeterpräzision.

Bei der *funktionellen Kernspintomografie* (bzw. funktionellen Magnetresonanztomografie, fMRT; *functional magnetic resonance imaging*, fMRI) werden nicht die Veränderungen radioaktiver Strahlungen, sondern magnetischer Felder erfasst. Dazu werden Wasserstoffatome durch ein starkes statisches Magnetfeld parallel zu den Feldlinien des Magnetfeldes ausgerichtet. Daneben wird ein kleines, radiofrequentes Feld induziert. Wenn die Neurone aktiv werden, ändert sich der Sauerstoffverbrauch im Bluthämoglobin, was sich wiederum auf die Eigenschaften des magnetischen Feldes auswirkt. Diese Veränderungen können mithilfe der fMRT-Technik gemessen werden. Aufgrund der Trägheit des Wechsels im Blutfluss ist allerdings die zeitliche Auflösungsfähigkeit auf ungefähr 1 s beschränkt. Allerdings lässt sich dieser Wert aufgrund von autoregressiven Modellierungen (und gleichzeitiger Gültigkeit der entsprechenden Modellierungsannahmen) erheblich verbessern (z. B. Goebel et al. 2003). Die hohe räumliche Auflösung im Millimeterbereich wird meist durch eine zusätzliche Magnetresonanztomografie (MRT; *magnet resonance imaging*, MRI) sichergestellt, wodurch individuelle anatomische Lageinformationen berücksichtigt werden.

Methoden, die auf jeden Fall eine hinreichend gute zeitliche Auflösung gewährleisten, um die in kognitiven Prozessen ablaufenden physiologischen Aktivitäten im Millisekundenbereich zu erfassen, sind das *ereigniskorrelierte Potenzial* (EKP; *event-related potential*, ERP) und die *Magnetenzephalografie* (MEG). Das EKP erfasst alle elektrokortikalen Potenziale, die vor, während und nach einem

sensorischen, motorischen oder psychischen Reiz- oder Reaktionsereignis im Elektroenzephalogramm (EEG) auf der Kopfoberfläche messbar sind. Das EKP stellt die summierte Aktivität dieser elektrischen Prozesse dar. Die wesentliche Annahme bei der EKP-Messung liegt darin, dass es geordnete Aktivierungsmuster gibt, die mit psychischen Vorgängen eng zusammenhängen. Die Muster werden nach ihrer Ausrichtung, negativ oder positiv, und ihrem zeitlichen Auftreten klassifiziert. Zum Beispiel wird eine Positivierung des Potenzials im Bereich von 95–140 ms nach der Reizdarbietung als P1 bezeichnet, die mit frühen reizbezogenen Verarbeitungsprozessen in Verbindung gebracht wird.

Allerdings verfügt das EKP neben der guten zeitlichen über eine schlechte räumliche Auflösung. Dieses Manko hat die MEG nicht, wenngleich die hohe räumliche Auflösungsfähigkeit der MEG mit zunehmender Tiefe etwas abnimmt. Auch die MEG nutzt die Tatsache aus, dass elektrische Ströme im Gehirn magnetische Felder erzeugen. Diese Felder kann man mithilfe sogenannter SQUIDs (*superconducting quantum interference devices*) messen. Allerdings sind die durch die magnetischen Felder verursachten Ausschläge extrem klein, und der Messort muss entsprechend aufwendig und kostenintensiv abgeschirmt werden.

Zusammenfassend weisen PET und fMRT eine hohe räumliche Auflösung auf, was allerdings zulasten der zeitlichen Auflösung geht. In zeitlicher Hinsicht (allerdings nicht in räumlicher) ist die Ableitung des EKP informativer. Wenn man in seinen Fragestellungen sowohl auf eine hohe räumliche als auch auf eine hohe zeitliche Auflösung angewiesen ist, ist zurzeit die MEG das Maß der Dinge.

Neben den bisher genannten reaktiven Verfahren zur Messung von Gehirnaktivitäten, die nach der Präsentation sensorischer Reizinformation oder bei der Bearbeitung kognitiver Aufgaben auftreten, kommt in den letzten Jahrzehnten vermehrt auch ein Verfahren zum Einsatz, das transkranial – also durch den Schädel hindurch – von außen auf die neuronalen Aktionspotenziale einwirkt. Mithilfe von elektrisch erzeugten Magnetfeldern gelingt es, gezielt und fast schmerzlos durch die Haut und den Knochen hindurch die Nervenzellen einzelner Hirngebiete zu stimulieren. Dieses Verfahren wird als *transkranielle Magnetstimulation* (TMS) bezeichnet. Dabei wird unterschieden zwischen der Stimulation durch einzelne Magnetfeldpulse und der Stimulation durch Impulssalven (von bis zu 100 Hz), der sogenannten *repetitiven transkraniellen Magnetstimulation* (rTMS). Durch Magnetstimulation über dem motorischen Kortex kann man beispielsweise Muskelzuckungen auslösen. Über dem visuellen Kortex kann eine derartige Stimulation zu Phosphenen (Lichterscheinungen), aber auch zu Skotomen (Wahrnehmungsausfällen innerhalb des Gesichtsfeldes) führen. Eine rTMS von Hirnregionen, die für Sprache zuständig sind, kann für einige Minuten eine Verschlechterung der sprachlichen Ausdrucksfähigkeit bewirken.

Diese äußerst grobe Beschreibung der Zellen in V1 wird bei Weitem nicht der anzunehmenden Verarbeitungskomplexität gerecht, die dieses Areal leistet. Jedoch lässt sich festhalten: Je weiter man sich von der Retina entfernt, desto spezialisierter reagieren die einzelnen Neurone auf spezifische Reizeigenschaften. Seit Hubel und Wiesel (z. B. 1959, 1968) bahnbrechenden Einzelzellableitungen an Katzen und Affen in diesem Areal geht man deshalb davon aus, dass die Zellen von V1 als erste Merkmalsdetektoren fungieren.

2.2.4 Weitere kortikale Verarbeitungspfade

Die weitere Verarbeitung im extrastriaten visuellen Kortex verläuft durch die Areale V2 bis V5, wobei letzteres auch als mediotemporales Areal (MT) bezeichnet wird. Die Areale sind feiner differenzierbar (z. B. in V3a und V5a; z. B. Felleman und Van Essen 1991), wichtig ist aber der Befund, dass der Verarbeitungsfluss nicht – wie man früher annahm – strikt seriell verläuft. Spätestens ab V3 bzw. V4 teilt sich der parvo- und magnozellular visuellen Informationsfluss in einen temporalen (ventralen) und einen parietalen (dorsalen) Verarbeitungspfad (■ Abb. 2.5).

Diese unterschiedlichen Verarbeitungspfade wurden vor allem von Ungerleider und Mishkin (Mishkin et al. 1983; Ungerleider und Mishkin 1982) beschrieben, wobei sie dem *temporalen Pfad* (dem Was-Pfad) die Funktion der Objekterkennung und dem *parietalen Pfad* (dem Wo-Pfad) die Funktion der Objektlokalisierung zuschrieben. Mittlerweile stellt sich der Zusammenhang zwischen Wahrnehmungsfunktionen und den beteiligten visuellen Arealen deutlich differenzierter dar (einen Eindruck vermittelt ■ Abb. 2.5). Außerdem ist die Was-Wo-Unterscheidung auch zugunsten einer Was-Wie-Unterscheidung diskutiert worden. Während Ungerleider und Mishkin ihre Konzeption von der Frage her entwickelten, *welche* Information in den beiden Pfaden verarbeitet wird, ist die Leitfrage von Milner und Goodale (1995), *wozu* die Information in den beiden Strängen dient. Ähnlich wie bei Ungerleider und Mishkin (1982) findet im Was-Pfad die neuronale Codierung von Objektmerkmalen statt. Die Neurone im inferotemporalen Kortex reagieren besonders auf komplexe visuelle Reize wie Hände oder Gesichter, aber auch Farbe (insbesondere in V4; Zeki et al. 1991) wird vorrangig im ventralen Pfad verarbeitet. Nach Milner und Goodale (1995) ist dieser Pfad daher vor allem für die bewusste Objekterkennung zuständig. Inwieweit bewusste Wahrnehmungsvorgänge dem ventralen Verarbeitungspfad zuzuschreiben sind, wird in ► Kap. 6 eingehender erörtert (dort findet sich auch eine Darstellung von ver-

schiedenen Wahrnehmungsbeeinträchtigungen nach pathologisch bedingten Läsionen der hier besprochenen Areale; z. B. Blindsight, visuelle Agnosien, visuo-spatialer Neglect).

Gegenüber dem Was-Pfad wird der dorsale Pfad für die (nicht notwendigerweise bewusste) visuelle Steuerung von Handlungen verantwortlich gemacht. Im Gegensatz zum ventralen System stellt der dorsale Pfad sozusagen online diejenigen visuellen Informationen zur Verfügung, die für die visuelle Kontrolle von Handlungen benötigt werden. Das betrifft sowohl die räumliche Position von Objekten als auch Informationen über die Richtung und Geschwindigkeit von bewegten Objekten (insbesondere im MT bzw. in V5; Zeki et al. 1991). Es wird also angenommen, dass die Analyse der Objektmerkmale, die für die Identifikation und das Wiedererkennen von Objekten notwendig ist, unabhängig von der Analyse derjenigen Objektmerkmale stattfindet, die es einer Person erlauben, ein Objekt zu greifen. Dieser Ansatz ist allerdings nicht unumstritten. So gibt es beispielsweise Befunde, die schon frühe Interaktionen zwischen dem dorsalen und dem ventralen Pfad belegen (z. B. Merigan und Maunsell 1993; Van Essen und DeYoe 1995). Folgt man Rossetti und Pisella (2002), repräsentieren die beiden Verarbeitungspfade ein sensorisches und ein kognitiv-sensorisches System, die je nach Stimulus- (Reiz-) und Response-Typ (Antworttyp) und deren zeitlicher Verkopplung zum Einsatz kommen. Festzuhalten bleibt, dass die vermuteten unterschiedlichen Funktionen der beiden Verarbeitungspfade und damit der Zusammenhang zwischen Wahrnehmung und Handlung in den letzten Jahrzehnten zu einem enormen Anstieg auch psychophysischer Experimente (einschl. neuerer neurophysiologischer Methoden; Zur Vertiefung 2.1) geführt haben. Die Diskussion darüber erscheint keineswegs abgeschlossen.

Fassen wir zusammen: Mit zunehmender (kortikaler) Verarbeitung findet man in den entsprechenden Hirnregionen eine zunehmende funktionale Neuronspezialisierung. Diese geht umgekehrt proportional einher mit der Größe der zugehörigen rezeptiven Felder. Die Ganglienzellen der Retina antworten auf eine unspezifische Lichtreizung innerhalb einer eng umgrenzten Netzhautregion, während die Zellen in V1 bei größer werdenden rezeptiven Feldern z. B. nur auf Lichtstreifen einer bestimmten Orientierung antworten. Im inferotemporalen Kortex präferieren die Zellen sogar höchst komplexe Reizeigenschaften (z. B. Gesichter), die relativ unabhängig vom Ort der retinalen Stimulation sind (z. B. Tanaka 1996). Eine Folge dieser zunehmenden Spezialisierung ist eine verteilte Codierung von Reizeigenschaften in verschiedenen Hirnregionen. Wir werden darauf zurückkommen (► Abschn. 2.3.5) und ein damit verbundenes Problem, das Bindungsproblem (*binding problem*), erörtern.

2.3 Visuelle Informationsaufnahme und -verarbeitung

In diesem Abschnitt geht es darum, die Wahrnehmungsleistungen zu erörtern, zu interpretieren und diese im Zusammenhang mit neurophysiologischen Befunden zu

diskutieren. Dabei stehen die psychophysischen Leistungen des Wahrnehmungsapparats im Vordergrund, also die Leistungen, die durch Einsatz entsprechend objektivierbarer Methoden validiert worden sind (Zur Vertiefung 2.2 und Zur Vertiefung 2.4).

Zur Vertiefung 2.2

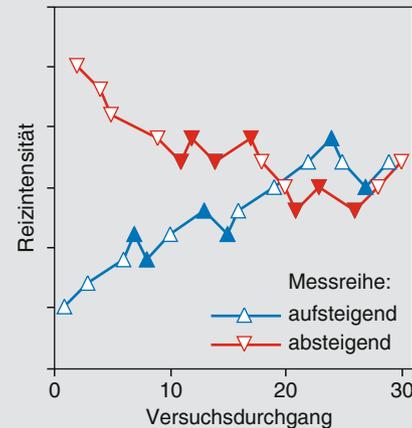
Psychophysische Methoden

Durch Gustav Theodor Fechner (1860) wurden in der klassischen Psychophysik Messmethoden etabliert, die zur Erfassung psychologischer Phänomene dienen. Die für die Wahrnehmungspsychologie wichtigsten Verfahren sind bis heute die *Grenzmethode*, die *Konstanzmethode* und die *Herstellungsmethode*. Daneben existieren weitere Verfahren, die aber meist auf einer Variante oder einer Kombination dieser Methoden beruhen. Die grundlegenden Messmethoden werden im Folgenden anhand einer absoluten **Wahrnehmungsschwelle** (z. B. „Ab welcher Lichtintensität ist ein Reiz überhaupt wahrnehmbar?“) und der zugehörigen **Unterschiedsschwelle** (die Schwelle des eben merklichen Unterschieds, z. B. „Ab welchem Intensitätsunterschied werden zwei Lichtreize als unterschiedlich empfunden?“) exemplarisch erläutert.

Grenzmethode

Zur Messung der absoluten Wahrnehmungsschwelle steigert die Versuchsleitung bei dieser Messmethode die Intensität eines zunächst deutlich unterschwelligeren Reizes in festgelegten Schritten, bis die Beobachtenden angeben, diesen Reiz wahrzunehmen (aufsteigendes Verfahren). Daraufhin wird die Messreihe abgebrochen, und die Versuchsleitung startet eine weitere Messreihe, in der sie die Lichtintensität eines deutlich überschwelligeren Reizes reduziert, bis die Beobachtenden diesen Reiz nicht mehr wahrnehmen (absteigendes Verfahren). Die Schwelle ergibt sich aus dem Mittelwert mehrerer ab- und aufsteigender Messreihen. Zur Messung der Unterschiedsschwelle wird analog in ab- und aufsteigenden Messreihen danach gefragt, ob sich ein Reiz von einem Vergleichsreiz unterscheidet oder nicht.

In der *Staircase-Variante* dieses Verfahrens werden ab- und aufsteigende Darbietungen zufällig gemischt, die Versuchsleitung behält aber die Kontrolle über beide Messreihen. Der wesentliche Unterschied zur ursprünglichen Grenzmethode besteht darin, dass – sobald die Beobachtenden den Reiz in der aufsteigenden Messreihe wahrgenommen haben – die Reizintensität zunächst wieder verringert wird und man sich so der Schwelle iterativ nähert. Analog verfährt man in der absteigenden Messreihe (adaptives Staircase-Verfahren; ■ Abb. 2.6). Die Schwelle ergibt sich dann als Mittelwert aus den beobachteten Umkehrpunkten. Eine besonders effektive Variante der Staircase-Methode ist bei Pentland (1980) und Lieberman und Pentland (1982) als Best-PEST-Verfahren beschrieben.



■ **Abb. 2.6** Adaptives Staircase-Verfahren mit einer auf- und einer absteigenden Messreihe. Die ausgefüllten Dreiecke markieren die für die Schwellenbestimmung wichtigen Umkehrpunkte

Konstanzmethode

Im Gegensatz zur Grenzmethode, in der die Messreihe abgebrochen wird, sobald die Beobachtenden signalisieren, einen Reiz erkannt zu haben (oder nicht), werden bei der Konstanzmethode in zufälliger Reihenfolge immer alle von der Versuchsleitung ausgewählten Reizausprägungen dargeboten. Zur Auswertung wird dann den Urteilstwahrscheinlichkeiten der beobachtenden Werte eine Funktion angepasst (z. B. unter Zuhilfenahme einer *Logit- oder Probit-Analyse*; Finney 1971; Lieberman 1983), die es erlaubt, die absolute Schwelle als entsprechenden Wert (z. B. der Lichtintensität) auf der x-Achse zu bestimmen. Den Konventionen entsprechend ist dieser Wert durch die 50%-Urteilstwahrscheinlichkeit festgelegt, also bei dem Wert der x-Achse, an dem die Beobachtenden mit gleicher Wahrscheinlichkeit angeben, den Reiz erkannt zu haben oder nicht (gestrichelte rote Linie in ■ Abb. 2.7).

Handelt es sich um überschwellige Reizintensitäten, so kann auf diese Weise auch der „Punkt subjektiver Gleichheit“ zweier sensorischer Empfindungen ermittelt werden (*point of subjective equality*, PSE-Wert). Sollen Beobachtende beispielsweise einen Reiz danach beurteilen, ob er in seiner Lichtintensität mit einem Vergleichsreiz, der aber vor einem andersfarbigen Hintergrund präsentiert wird, übereinstimmt oder nicht, so gibt die 50%ige Urteilstwahrscheinlichkeit den PSE-Wert an. Einer weiteren Konvention folgend werden in diesem Fall die untere und obere Unterschiedsschwelle bei 25%iger bzw. 75%iger

Zur Vertiefung 2.2 (Fortsetzung)

2

Urteilswahrscheinlichkeit angesiedelt (bisweilen auch bei 20 %iger bzw. 80 %iger Urteilswahrscheinlichkeit; gestrichelte grüne Linien in [Abb. 2.7](#)). – Die Konstanzmethode ist naturgemäß aufwendiger als die Grenzmethode, wird aber im Allgemeinen als sehr genau angesehen.

Herstellungsmethode

Zur Bestimmung der absoluten Schwelle stellen Beobachtende bei dieser Methode selbst (z. B. mittels eines Leuchtdichtereglers) die Reizintensität ein, an der sie einen Reiz gerade noch wahrnehmen bzw. ihn nicht mehr wahrnehmen (absolute Schwelle). Analog dazu stellen sie bei der Unterschiedsschwelle den gerade merklichen Unterschied zu einem Vergleichsreiz ein. Der Schwellenwert ergibt sich aus dem Mittelwert mehrerer Einstellungen. – Die Herstellungsmethode ist die einfachste der genannten psychophysischen Methoden. Sie benötigt nur eine geringe Anzahl von Versuchsdurchgängen, gilt allerdings wegen ihrer Anfälligkeit im Hinblick auf mögliche Antworttendenzen als weniger genau.

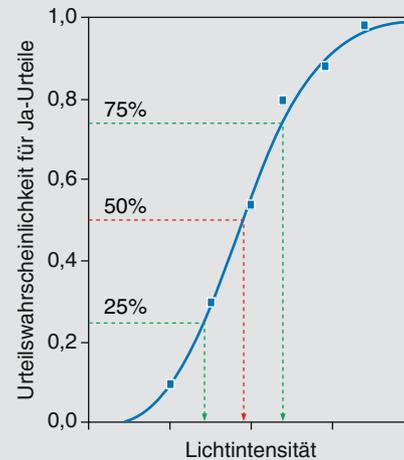


Abb. 2.7 Beobachtende beurteilen wiederholt die Wahrnehmbarkeit eines Reizes mit einem Ja-nein-Urteil (hier beispielsweise bei Darbietung verschiedener Lichtintensitäten). Abgetragen sind hier die Urteilswahrscheinlichkeiten der Ja-Urteile (*schwarze Quadrate*), denen eine Funktion angepasst wird (hier z. B. eine kumulative Normalverteilung, Probit-Funktion; *durchgezogene Linie*). Der Abszissenwert bei 50 %iger Urteilswahrscheinlichkeit determiniert die absolute Wahrnehmungsschwelle oder – beim Vergleich überschwelliger Reizintensitäten – den Punkt subjektiver Gleichheit (PSE-Wert; *gestrichelte rote Linie*). Die 25 %ige und die 75 %ige Urteilswahrscheinlichkeit werden bisweilen als untere bzw. obere Unterschiedsschwelle (*gestrichelte grüne Linien*) definiert

2.3.1 Visuelle Sehschärfe und Sensitivität

Die räumliche Auflösungsfähigkeit des visuellen Systems gilt als recht hoch. Sie steigt von 5 min arc bei 10° retinaler Exzentrizität bis über 1 min arc in der Fovea (z. B. Badcock und Westheimer 1985; Westheimer 1981). Die Abhängigkeit der Sehschärfe vom retinalen Ort der Reizung kann man sich leicht selbst klarmachen, indem man einen Buchstaben in einer Zeilenmitte dieses Buches fixiert und bei fixiertem Blick die Buchstaben am rechten und linken Rand zu identifizieren versucht. Dies wird misslingen. [Abb. 2.8A](#) veranschaulicht schematisch, dass die Buchstaben in der retinalen Peripherie größer sein müssten, um sie fehlerfrei identifizieren zu können. Merkwürdigerweise wird uns diese zunehmende periphere Unschärfe nur selten bewusst. Stattdessen nehmen wir vor unserem geistigen Auge ein überall gleich scharfes „Foto“ wahr – eine Täuschung, die man auch als *Sehschärfe-Illusion* bezeichnet ([Abb. 2.8B](#)).

Die Überlegenheit des fovealen Sehens lässt sich schon auf der Retina mit der unterschiedlichen Verteilung von Stäbchen und Zapfen und deren neuronalen Verschaltungen in Verbindung bringen. Da in der Peripherie immer mehrere Rezeptoren auf eine Ganglienzelle

konvergieren (die rezeptiven Felder dieser Ganglienzellen sind entsprechend groß), hingegen die Rezeptoren in fovealen Arealen weit dichter und weniger verschaltet sind (mit entsprechend kleineren rezeptiven Feldern), resultiert schon daraus eine höhere foveale Sehschärfe.

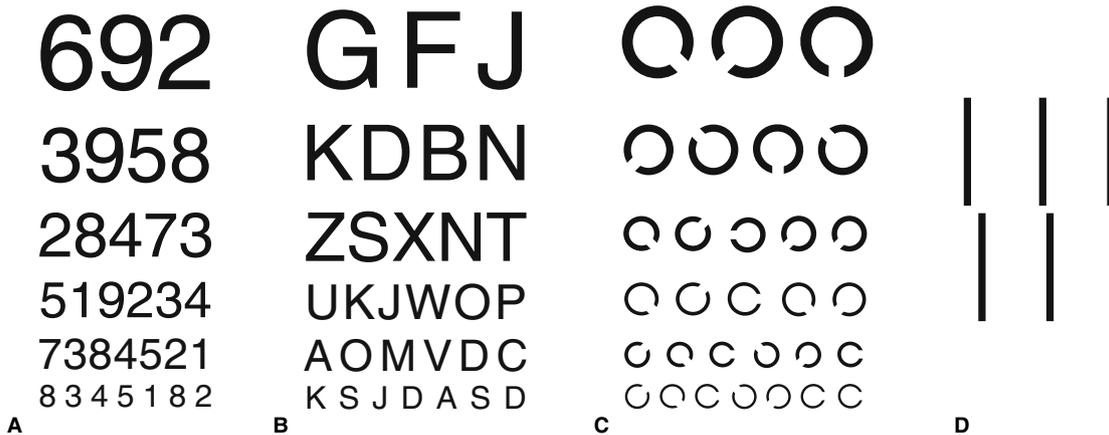
Der foveale Vorteil wird besonders deutlich bei Verwendung von Standardmethoden. Zum Beispiel ist bei der *Landolt'schen Sehprobe* die Öffnungsrichtung einer rotierten, dem Buchstaben C ähnlichen Figur unter ansonsten optimalen Bedingungen anzugeben (Größe und Öffnung des Zeichens sind in der Europäischen Norm EN ISO 8596 festgeschrieben); auch bei der *Vernier-Sehprobe* haben Beobachtende unter optimalen Bedingungen die Versetzung zweier übereinander angeordneter Striche zu erkennen – optimal heißt hier jeweils, dass die Reize lang andauernd, gleichzeitig, stationär und mit hohem Kontrast präsentiert werden ([Abb. 2.9](#)).

Bereits Skavenski (1990) hat darauf hingewiesen, dass die mit Standardmethoden ermittelte Sehschärfe keineswegs allen Aufgaben zugutekommen muss. So kann in Textursegmentierungsaufgaben ([Abb. 2.21](#)) unter bestimmten Bedingungen ein Zielreiz in der Fovea schlechter erkannt werden als in der Peripherie (Meinecke und Kehler 1994; Kehler 1997). Die Sensitivität des visuellen Systems hängt noch von weiteren Faktoren ab, z. B. von



■ **Abb. 2.8** Die Sehschärfe-Illusion. **A** Schematisch wird veranschaulicht, dass die Buchstaben in der retinalen Peripherie größer dargestellt werden müssten, um bei Fixation in der Bildmitte gleich gut identifizierbar zu sein. **B** Unten ist die zunehmende retinale Unschärfe einer Szene bildhaft dargestellt. Unser alltägliches Sehen vermittelt

uns dagegen den Eindruck, immer über ein „bis in alle Ecken“ scharfes Abbild zu verfügen (*oben*). (Der Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung durch den Karlsverein-Dombauverein Aachen. Das Foto wurde der Webseite ► <https://www.karlsverein.de/die-perfekte-geometrie-des-aachener-doms/> entnommen.)



■ **Abb. 2.9** Testtafeln zur Ermittlung der Sehschärfe. (**A** und **B**) Die alphanumerischen Zeichen haben den Nachteil, dass die Zeichen individuell mehr oder weniger vertraut sind und deswegen unterschiedlich

gut berichtet werden (Stichwort Analphabetismus). Dies ist bei den Landolt-Ringen (**C**) und bei dem Vernier-Sehschärfetest (Noniussehschärfe; **D**) nicht der Fall

der Reizdauer und der Leuchtdichte. Dabei bleibt dem *Bloch'schen Gesetz* folgend die Sehschärfe konstant, wenn mit zunehmender Reizdauer die Leuchtdichte reduziert wird. Das reziproke Verhältnis zwischen Reizdauer und Leuchtdichte gilt bei der Landolt'schen Sehschärfeprobe bis etwa 150 ms Reizdauer (Kahneman et al. 1967). Darüber lässt sich eine Abnahme der Leuchtdichte nicht mehr mit einer Zunahme der Reizdauer kompensieren. Das Bloch'sche Gesetz ist offensichtlich darauf zurück-

zuführen, dass die Reizenergie an den Rezeptoren bis zu einem bestimmten Intervall zeitlich aufsummiert wird. Die räumliche Auflösungsfähigkeit des visuellen Apparats wird auch durch eine Sukzessivität in der Darbietung negativ beeinflusst. Haben Versuchspersonen beispielsweise die Aufgabe, einen peripher dargebotenen Zielreiz danach zu beurteilen, ob er sich links oder rechts von der Mitte eines Vergleichsreizes befindet, so nehmen sie die relative Position des Zielreizes selbst dann relativ