

Wahrnehmung

Christian Becker-Carus, Mike Wendt

- 3.1 Generelle Eigenschaften der Sinne – 75**
- 3.2 Phänomenales Erleben messbar machen – 77**
 - 3.2.1 Absolute Schwelle und relative Grenzwerten – 77
 - 3.2.2 Psychophysische Funktionen – 80
 - 3.2.3 Signalentdeckungstheorie – 81
 - 3.2.4 Bezugssysteme für subjektive Urteile – 83
- 3.3 Visuelle Wahrnehmung – 84**
 - 3.3.1 Auge und Netzhaut – 84
 - 3.3.2 Neuronale Weiterverarbeitung der visuellen Reizinformation – 89
 - 3.3.3 Neuronale Verarbeitung höherer Zentren – 90
 - 3.3.4 Farbwahrnehmung – 97
 - 3.3.5 Räumliche Tiefe und Objektgröße – 105
 - 3.3.6 Wahrnehmungskonstanzen – 111
 - 3.3.7 Geometrisch-optische Täuschungen – 118
 - 3.3.8 Organisationsprinzipien und Objekterkennen – 123
 - 3.3.9 Bewegungswahrnehmung – 137
 - 3.3.10 Wahrnehmungslernen – 144
- 3.4 Schlussbetrachtung – 151**
- Literatur – 154**

Dem Menschen, der unbefangen um sich schaut, kommen seine eigenen Augen wie eine Art Fenster vor. Öffnet er die Vorhänge, die Linder, so „ist“ da draußen die sichtbare Welt der Dinge [...] Nichts könnte den Verdacht erwecken, daß irgendeine der daran erkennbaren Eigenschaften ihren Ursprung im Betrachter habe oder auch nur von seiner Natur mitbestimmt sei [...]. (Metzger 1975)

- ❓ 1. Wie lässt sich die Wahrnehmungsempfindung, die ein Reiz hervorruft, z. B. die empfundene Lautheit eines Tons, messbar machen?
2. Inwiefern unterscheiden sich die Nervensignale, die durch den Einfall von Licht auf die Netzhaut ausgelöst werden, von denen, die als Folge eines Druckreizes auf der Haut entstehen?
3. Warum sind nachts alle Katzen grau, und warum lässt sich ein lichtschwacher Stern mitunter besser erkennen, wenn man den Blick nicht direkt auf ihn, sondern leicht daneben richtet?
4. Wodurch wird der Helligkeitseindruck einer betrachteten Fläche bestimmt?
5. Wie kann sich durch die Betrachtung zweidimensionaler Reizvorlagen der Eindruck räumlicher Tiefe ergeben?
6. Wie lassen sich Objekte verstecken, ohne sie zu verdecken?
7. Warum scheinen sich im Film die Räder eines Fahrzeugs mitunter entgegen der Fahrtrichtung zu drehen?
8. Wie müsste ich die Schwingbewegung eines sich in der Bildebene bewegenden Pendels wahrnehmen, wenn einem meiner Augen die Bewegung mit einer leichten Verzögerung dargeboten wird?

Unser Verhalten, wie jede Interaktion mit der Umwelt, ist auf Wahrnehmung angewiesen. Wie aber ist es möglich, dass „die Welt da draußen“ in unseren Kopf kommt? Philosophen und Wissenschaftler haben lange darüber nachgedacht und sich gefragt: Sehen wir die Welt, die wir wahrnehmen, wirklich selbst, oder machen wir uns vielmehr nur ein Bild von der Welt? Auch wenn Wahrnehmung auf den ersten Blick ganz einfach zu funktionieren scheint – wir öffnen die Augen und sehen die Welt –, verbirgt sich dahinter in Wirklichkeit ein höchst komplizierter Prozess, denn Wahrnehmung „geschieht“ nicht einfach. Auch wenn zwei oder mehr Menschen ein gleiches Phänomen, ja einen gleichen Gegenstand betrachten, nehmen sie zumeist nicht „Dasselbe“ wahr. Der Wahrnehmungsprozess ist äußerst komplex, und das, was wir schließlich wahrgenommen zu haben glauben, bestimmt in weitem Maße auch unsere Reaktion, unser Verhalten in einer bestimmten Situation, ohne dass wir uns bewusst Gedanken machen über das schließlich vom Bewusstsein erfasste Wahrnehmungsbild, das das Resultat einer Vielzahl von Informationsverarbeitungs-, -transformations-, -selektions- oder auch Interpretationsschritten ist, die in Bruchteilen von Sekunden automatisch und weitgehend unbewusst ablaufen. Das Gesamtkonzept der Wahrnehmungsprozesse, mit denen sich die Wahrnehmungspsychologie befasst und die wir in diesem Kapitel im Einzelnen schrittweise betrachten wollen, verdeutlicht das Schema in ■ Abb. 3.1, in dem das Wahrnehmungssystem Mensch in seinen wesentlichsten Komponenten umrissen ist.

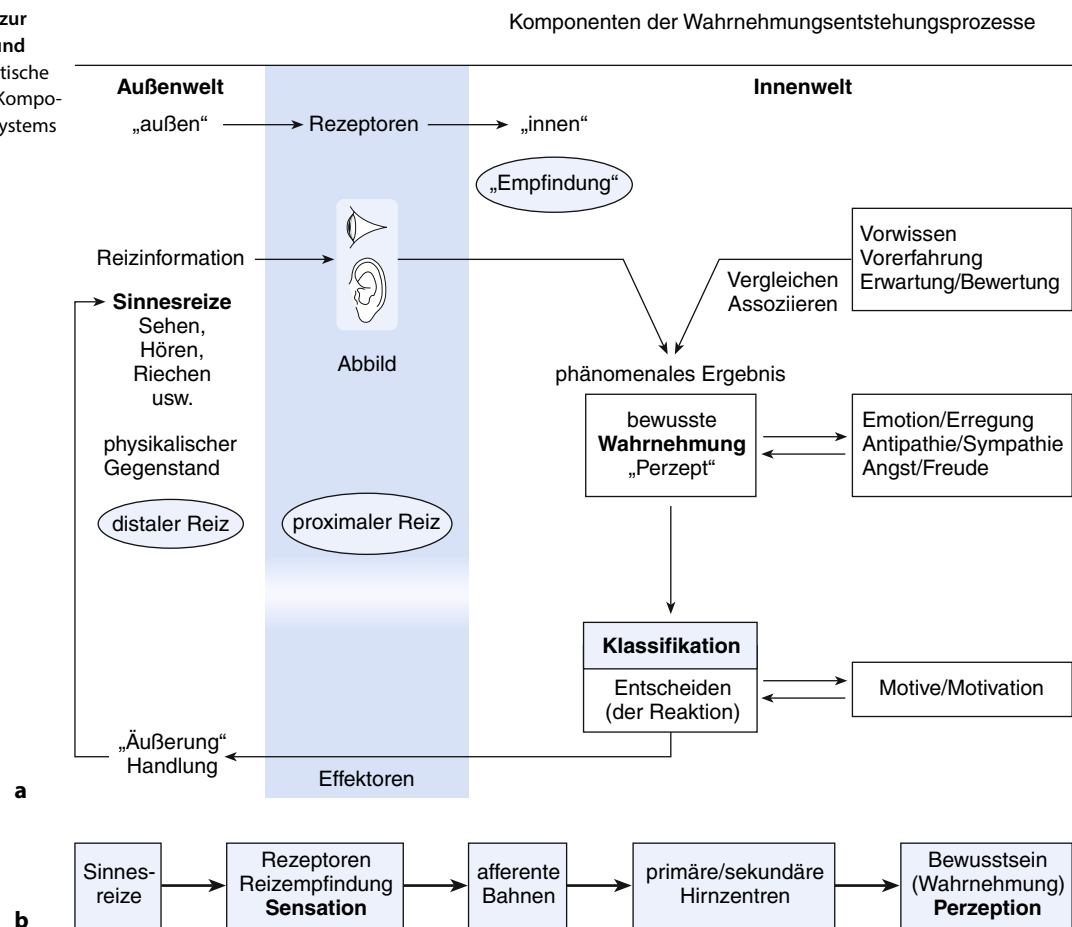
Stellen wir uns vor, wir kommen an einen See, an dessen Ufer ein angebundener Ruderkahn liegt und im Sonnenlicht auf den leichten Wellen tänzelt. Wir können sehen, wie der Kahn sich bewegt und dabei ständig sein Bild und seine Form verändert. Mal können wir weiter in sein Inneres, auf die Sitzbretter und den Bootsboden, sehen, mal, wenn eine Welle ihn anhebt, weiter von außen die Bemalung seiner Planken erkennen. Obgleich wir ein ständig wechselndes Bild haben, nehmen wir das Objekt, den Kahn, als unverändert festes und formgleiches Gebilde wahr. Gleichzeitig *hören* wir den leichten Wellenschlag, das Plätschern oder das Aufschlagen des Kahnes nach einem Wellenberg auf dem Wasser, vielleicht auch das Knarren des Ruders bei jedem Wellenschlag. Und wir *riechen* und *schmecken* und *fühlen* die leichte Seebrise, die uns ins Gesicht weht, mit dem Geruch des Wassers oder des geteerten Kahnes.

All dies sind zunächst Sinneseindrücke der physischen Außenwelt, die auf unsere Sinnesorgane einwirken und von denen wir nur so viel „wahrnehmen“, wie von unseren eigenen Sinnesorganen perzipiert werden kann. Diesen ersten Schritt der Wahrnehmung bezeichnen wir als **Informationsaufnahme** durch die jeweils spezifischen **Rezeptoren** (von lateinisch *recipere* für aufnehmen) unserer Sinnesorgane. Dies ist der Übergang von der wahrgenommenen Außenwelt zu der von uns erlebten Innenwelt. Wir haben ein Gesamterleben des „Kahns am Ufer“. Doch bis zu diesem ersten bewussten Erleben sind bereits etliche physiologisch-neuronale Verarbeitungsprozesse abgelaufen, wie wir gleich weiter betrachten werden. Ferner wird dieses erste Erleben von noch weiteren Faktoren beeinflusst, die uns zumeist nicht bewusst sind. Wie wir den Kahn wahrnehmen beziehungsweise erleben, hängt einerseits auch von unserem **Vorwissen** ab. Wir „sehen“ gewissermaßen, dass der Kahn aus Holz ist (oder aus einem Kunststoff), wir „sehen“, dass er fest genug ist, um uns zu tragen. So gehen außer den zunächst genannten physiologischen auch **kognitive Verarbeitungsprozesse** „automatisch“ in die Wahrnehmung mit ein: Erinnerungen, Vorstellungen, Erwartungen und Vorwissen über diesen Gegenstand beeinflussen unsere Wahrnehmung dieses speziellen Kahnes und wie wir ihn wahrnehmen.

Darüber hinaus beeinflussen auch emotionale Verarbeitungsprozesse „automatisch“ unsere Wahrnehmung. So kann zum Beispiel das ruhige, farbenfreudige Bild des Kahnes Ruhe und Freude in uns auslösen oder Lust, den Kahn zu besteigen. Oder wir sehen (erleben), dass es nicht bedrohlich ist, uns dem Kahn zu nähern, es sei denn, ein kläffender Hund bewacht den Kahn, und sein als Angriff erlebtes Verhalten lässt es uns kalt den Rücken herunterlaufen. So treten in unserem wahrnehmenden Erleben zugleich weiter reichende **emotionale Empfindungen** auf, die insbesondere dann reichhaltig sind, wenn wir andere Lebewesen oder andere Menschen wahrnehmen. Wir erleben unmittelbar Antipathie, Sympathie, Ekel, Angst oder Freude, die unser weiteres Verhalten und Urteilen mitbestimmen. Das Resultat all dieser teils nicht bewusst ablaufenden Bewertungs- und Wahrnehmungsprozesse ist dann unsere Reaktion beziehungsweise unser verbales oder motorisches Handeln, das nun auf die Außenwelt zurückwirkt, diese verändert und damit wieder die eingehenden Sinnesreize beeinflusst.

In diesem Kapitel werden wir der Reizinformation vom Rezeptor bis hin zu den kortikalen Verarbeitungszentren folgen

■ **Abb. 3.1** Vom Sinnesreiz zur bewussten Wahrnehmung und Verhaltensreaktion. Schematische Darstellung der wichtigsten Komponenten des Wahrnehmungssystems Mensch



und uns dabei Schritt für Schritt mit den einzelnen Systemen und ihren Funktionen befassen (Forschungsansätze in [Zusatztext online](#)).

Der erste Schritt auf diesem Weg ist die Aufnahme der physikalischen Reize durch spezifische Rezeptoren, die die Reize „erkennen“ und sie in neuronale Signale umwandeln (encodieren). Dieser erste Schritt der Wahrnehmung wird nach Wundt (1874) gesondert als **Sensation** (Wahrnehmungsempfindung) bezeichnet und von der aus ihrer weiteren Verarbeitung resultierenden, uns bewussten Wahrnehmung, der **Perzeption**, unterschieden. Beide Prozesse gehen in unserer Alltagserfahrung zumeist weitgehend ineinander über.

Vielfach wird der Wahrnehmungsprozess im eigentlichen Sinne auch in drei besondere Stufen aufgeteilt:

1. Die **sensorische Empfindung** als erste Stufe der Reizaufnahme, bei der zu unterscheiden ist zwischen dem physikalischen Reizobjekt in der Außenwelt, das als **distaler Reiz** (vom Beobachter entfernt) bezeichnet wird, und seinem Abbild auf den Sinnesrezeptoren, das als **proximaler Reiz** (nahe am Beobachter) bezeichnet wird, z. B. dem optischen Abbild auf der Retina oder dem akustischen im Innenohr, wo das physikalische Signal als proximaler Reiz neuronale Aktivität auslöst.
2. Die **Wahrnehmung** (im engeren Sinne, Perzeption) umfasst die Bildung einer inneren erlebten stabilen Repräsentation des Wahrgenommenen. Sie resultiert bereits aus der Zusammenführung der einfachen sensorischen Empfindung mit

übergeordneten Hirnprozessen (zum Beispiel Erkennen als Gegenstand, als Zahl) und wird als **Perzept** (auch Wahrnehmungshypothese) bezeichnet.

3. Die **Klassifikation** verweist auf die unmittelbare (kaum zu trennende) Weiterverarbeitung und Einordnung in verstehbare Zusammenhänge, was bisweilen auch zum **Perzept** hinzugerechnet wird.

3.1 Generelle Eigenschaften der Sinne

Die Vielfalt der möglichen Wahrnehmungen wird bei jedem lebenden Organismus durch die jeweiligen Möglichkeiten der vorhandenen Wahrnehmungsorgane beziehungsweise deren Rezeptoren eingeschränkt. Diejenigen Umweltreize, die unsere Sinnesorgane zu beeinflussen vermögen, werden als Sinnesreize oder auch als Stimuli bezeichnet. Sie erzeugen an der Zellmembran der jeweiligen Rezeptoren Potenzialänderungen, die über die Erregung afferenter sensorischer Nervenfasern als Information zum Gehirn gelangen. Hier induzieren sie subjektive Sinneseindrücke oder Empfindungen, die der jeweiligen Sinnesmodalität entsprechen. Als Sinnesmodalitäten bezeichnet man die verschiedenen Wahrnehmungsfelder wie Sehen, Hören, Riechen oder Schmecken.

Ihre Unterschiede resultieren aus den verschiedenen Reizformen, auf die unsere Rezeptoren ansprechen. Sie werden als

Tab. 3.1 Empfindung: Die Reize und Rezeptoren der menschlichen Sinne

Sinne	Reiz	Sinnesorgan	Rezeptor	Empfindung	Mögliche Bedeutung
Sehen	Lichtwellen (10^{-5} – 10^{-4} cm)	Auge	Stäbchen und Zapfen der Retina	Farben, Helligkeiten	Gegenstände, Personen
Hören	Schallwellen (20–20.000 Hz)	Ohr	Haarzellen des Corti-Organ	Geräusche, Töne	Stimmen, Töne
Empfindungen der Haut	Äußerer Kontakt (Druck, Infrarotwellen 10^{-4} – 10^{-3})	Haut	Nervenendungen in der Haut	Berührung, Schmerz, Wärme, Kälte	Stoff, Metall, Stich, Feuer, Eis
Geruch	Geruchstragende Substanzen (in Gasen)	Nase	Haarzellen des olfaktorischen Epithels	Düfte (moschusartig, blumig, verbrannt, pfefferminzartig)	Blumen, Nahrung, Menschen
Geschmack	Lösliche Substanzen (in Flüssigkeiten)	Zunge	Geschmacksnerven der Zunge	Geschmacksempfindungen (süß, sauer, salzig, bitter)	Speisen
Körperbewegung	Mechanische Energie	Muskeln, Gelenke, Sehnen	Muskelspindel-Sensoren, Golgi-Sehnenorgane	Orientierung im Raum, Bewegung, Druck, Schmerz	Eigenbewegung, Muskelanspannung
Gleichgewicht	Mechanische Kraft und Schwerkraft	Innenohr	Haarzellen in den Bogengängen und im Vestibulum	Bewegung im Raum, „Zug“ der Schwerkraft	Stürzen, Drehung
Empfindungen der Organe	Mechanische Energie	Teile des Verdauungsapparates	freie Nervenendungen	Druck, Schmerz	Verletzungen, Erkrankungen

adäquate Reize bezeichnet. So reagieren die Rezeptoren in den verschiedenen Sinnesorganen vornehmlich jeweils auf eine bestimmte Reizart, zum Beispiel das Auge auf elektromagnetische Schwingungen, die als visuelle Eindrücke (Licht) wahrgenommen werden; die Nase auf chemische Moleküle, die als Gerüche wahrgenommen werden; das Ohr auf Luftdruckschwankungen, die als Schall, Geräusche oder Musik wahrgenommen werden. Diese spezifische Reizart, auf die ein Rezeptor beziehungsweise ein Sinnesorgan spezifisch und optimal anspricht, bezeichnete Johannes Müller (1850–1934) als die „spezifische Sinnesenergie“. Bezogen auf die Reizqualität spricht man heute genauer von *adäquaten Reizen*. Nach dem von Müller formulierten „Gesetz der spezifischen Sinnesenergien“ vermittelt jedes Sinnesorgan ausschließlich Empfindungen seiner eigenen Sinnesmodalität, unabhängig davon, ob es durch einen adäquaten Reiz (das Auge durch Licht) erregt wird oder durch inadäquate Reize (beispielsweise Druckreizung).

Adäquater Reiz

Die Reizform, auf die ein Sinnesorgan optimal (bei minimaler Reizenergie) reagiert, wird **adäquater Reiz** genannt. Aber auch nicht adäquate Reize können Erregungen des Sinnesorgans auslösen.

Sinnesorgane reagieren also auch auf andere, nicht adäquate Reize. So können zum Beispiel alle Sinnesorgane durch elektrischen Strom oder chemische Reize erregt werden. Interessanterweise erfolgt die erlebte Wahrnehmung, das heißt die Interpretation der Rezeptorreizung, fast immer gemäß einer adäquaten Reizung. So sehen wir bei starkem Druck oder einem Schlag auf

das Auge „Sterne“, also Lichterscheinungen. Die erlebte Sinnesmodalität wird also nicht durch den Reiz bestimmt, sondern durch das gereizte Sinnesorgan.

Es lassen sich vier Haupttypen von Sinnesrezeptoren unterscheiden, die auf eine bestimmte adäquate Reizenergie hin eine bestimmte Empfindung auslösen:

1. **Fotorezeptoren** werden von elektromagnetischen Wellen erregt und führen zu Lichtwahrnehmungen.
2. **Mechanorezeptoren** reagieren auf mechanische, Bewegung auslösende Reize (Druck, Schall) und führen je nach Sinnesbahn zu Schall- beziehungsweise Berührungs- oder Druckwahrnehmungen.
3. **Chemorezeptoren** werden von chemischen Molekülen erregt und vermitteln Geruchs- oder Geschmacksempfindungen.
4. **Thermorezeptoren** reagieren auf Temperaturänderungen und führen zu Warm-kalt-Empfindungen.

Eine Übersicht über die Reize, Rezeptoren und zugehörige Sinnesempfindungen gibt Tab. 3.1.

Zu den generellen Eigenschaften der Sinne aller Modalitäten zählt die **Sensitivität** oder Empfindlichkeit, mit der sie auf die ihnen adäquaten Reize der Umwelt reagieren und mit der sie Veränderungen in Intensität beziehungsweise Stärke der Reize in unser Wahrnehmen umzuwandeln vermögen. Hierbei werden unterschieden:

- die **absolute Wahrnehmungsschwelle**, ab der ein Reiz überhaupt wahrgenommen wird;
- die **relative** oder **Unterschiedsschwelle**, die besagt, wie weit sich Reize derselben Modalität unterscheiden müssen, damit wir sie als unterschiedlich wahrnehmen.

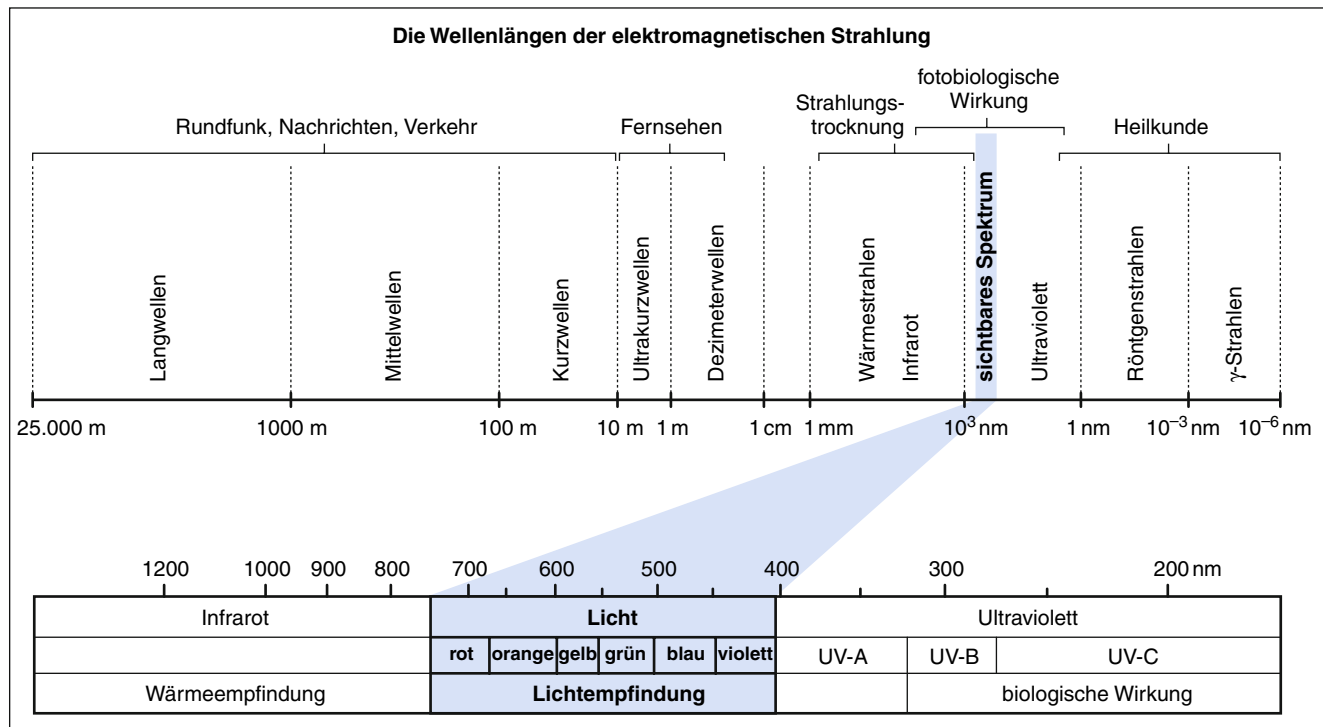


Abb. 3.2 Das Spektrum des Sichtbaren. Die für uns Menschen sichtbaren Lichtwellen umfassen nur einen sehr kleinen Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums, das uns darüber hinaus verborgen bleibt. Innerhalb des sichtbaren Bandes erzeugen die unterschiedlichen Wellenlängen unterschiedliche Farbempfindungen

Wie sich schon bald bei den Untersuchungen der Sinnesempfindlichkeit herausstellte, sind unsere Sinnesorgane auch *innerhalb* einer jeden Modalität nur für einen relativ kleinen, fest umgrenzten Bereich aufnahmebereit. Aus dem Kontinuum aller möglichen Schallwellen beispielsweise wird nur ein kleiner Frequenzbereich, und zwar der zwischen etwa 20 Hz (Hertz) (untere Hörschwelle) und 20.000 Hz (obere Hörschwelle, bei jungen Erwachsenen; 1 Hz entspricht einer Frequenz von einer Schwingung pro Sekunde) von unseren Ohren als Schall (Töne) wahrgenommen. Die Frequenz einer Schallwelle erleben wir als Tonhöhe, zum Beispiel 440 Hz als Kammerton a. Bei Frequenzen unter 20 Hz können Schallwellen (Bässe) zwar nicht mehr gehört, dagegen aber als Vibration empfunden werden.

Für das Kontinuum der elektromagnetischen Wellen (Licht) gibt **Abb. 3.2** eine Vorstellung davon, wie klein der Bereich des sichtbaren Spektrums ist, den wir mit unseren Augen wahrnehmen können und der unserer als vollständig erlebten vielfältigen visuellen Farbwahrnehmungswelt letztlich zugrunde liegt. Andererseits ist es nur wegen dieser Begrenztheit unserer Wahrnehmungsrezeptoren möglich, dass wir Funk, Fernsehen, Mobiltelefon und alle drahtlose Informationsübertragung über von uns nicht wahrnehmbare elektromagnetische Wellen verwenden können, ohne unter einer Flut unerträglicher Wahrnehmungen zu leiden.

Zu den generellen Eigenschaften der Sinne gehört auch die **sensorische Adaptation**. Sie bezeichnet die sich vermindernde Reaktionsbereitschaft des sensorischen Systems bei länger dauerndem Reizinput, was wir in **Exkurs 3.1** behandeln werden.

3.2 Phänomenales Erleben messbar machen

Die grundlegenden Untersuchungen zu der Frage, wie sich die Grenzen der Sensitivität bestimmen lassen und wie die physikalischen Reize in Sinnesempfindungen umgewandelt werden, verdanken wir der frühen **Psychophysik**. Sie ist das älteste Teilgebiet der wissenschaftlichen Psychologie und geht auf den deutschen Physiker, Psychologen und Philosophen Gustav Theodor Fechner (1801–1887) zurück.

Fechners Überlegungen zufolge lässt sich aus der Bestimmung von **Wahrnehmungsschwellen** eine allgemeine Beziehung zwischen der wahrgenommenen Stärke eines Reizes und seiner objektiv messbaren physikalischen Intensität herstellen. Die von ihm entwickelten Messmethoden werden im Prinzip auch heute noch angewandt (Genauerer in [Zusatztext online](#)).

3.2.1 Absolute Schwelle und relative Grenzwerten

Fragen wir zunächst mit Fechner, wie stark ein Sinnesreiz sein muss, um überhaupt wahrgenommen werden zu können. Diesen angenommenen Grenzwert bezeichnet man mit Fechner als die **absolute Wahrnehmungsschwelle** oder auch **Absolutschwelle**. Sie entspricht der kleinsten Reizintensität, die nötig ist, damit ein Beobachter zuverlässig einen Reiz wahrnimmt. Sie lässt sich mit drei verschiedenen Methoden bestimmen: der Grenzmethode, der Konstanzmethode und der Herstellungsmethode. Diese Verfahren werden in entsprechender Weise auch zur Bestimmung der

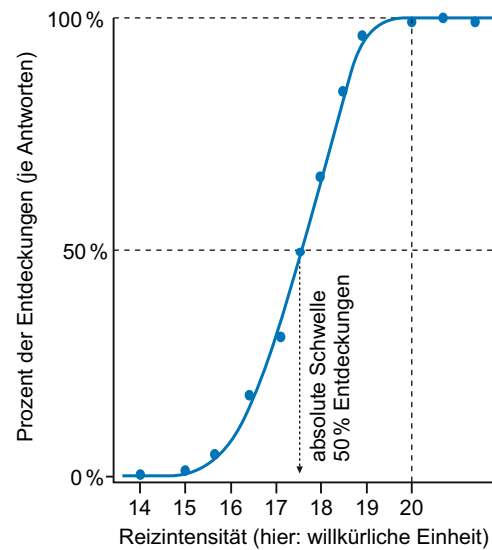
Trials Durchgänge	1	2	3	4	5	6	7	8	n
....	ab	auf							
...	↓								
23	+								
22	+								
21	+		↓		↓		↓		
20	+		+		+		+		
19	+	+	+		+		+		
18	+	+	+		+		+		
17	+	+	+		+		+		
16	+	+	+		+		+		
15	-	-	-		-		-		
14	-	-	-		-		-		
13	-	-	-		-		-		
...									
...									
...									
...									
	16,5	18,5	15,5	17,5	17,5	18,5	16,5	17,5	

■ **Abb. 3.3 Das Vorgehen bei der Grenzmethode.** Dargestellt sind die fiktiven Ergebnisse eines Experiments zur Bestimmung der absoluten Wahrnehmungsschwelle nach der Grenzmethode. Die acht Beurteilungsdurchgänge erfolgen im Wechsel nach dem absteigenden und aufsteigenden Verfahren. Jede Ja-Antwort ist durch ein + markiert, die Nein-Antwort mit -. Der erhaltene Übergangswert ist bei den einzelnen Durchgängen nicht identisch. Als Wahrnehmungsschwelle wird der Mittelwert aller Messungen definiert. Er liegt in unserem Beispiel bei 17,25. Die Darstellung verdeutlicht zugleich, dass aufsteigendes oder absteigendes Verfahren für sich genommen zu unterschiedlichen Ergebnissen führen würde. Der Schwellenwert nach dem absteigenden Verfahren liegt bei 16,5, nach dem aufsteigenden bei 18,0

im nächsten Absatz dargestellten Unterschiedsschwellen herangezogen.

Bei der **Grenzmethode** bietet der Versuchsleiter dem Beobachter verschieden starke Reize dar und bittet ihn bei jedem Durchgang anzugeben, ob er den Reiz entdeckt habe (ja) oder nicht (nein). Dabei werden die Reize entweder in aufsteigender oder in absteigender Reihenfolge dargeboten (auf- beziehungsweise absteigendes Verfahren). Wie die Ergebnisse zeigen, ist offenbar in beiden Verfahren ein Verharrungseffekt (Perseverationstendenz) zu beobachten: Beim absteigenden Verfahren wird auch dort noch mit Ja geantwortet, wo beim aufsteigenden Verfahren noch mit Nein geantwortet wird (■ Abb. 3.3), und es ist zweckmäßig, beide Verfahren miteinander zu koppeln. Andererseits verdeutlichen die dargestellten Schwellenbestimmungsergebnisse den generellen Befund, dass der Übergangspunkt von Ja zu Nein (beziehungsweise von Nein zu Ja) bei den wiederholten Durchgängen auch des gleichen Verfahrens nicht bei ein und demselben Grenzwert liegt, sondern gewissen Schwankungen unterworfen ist. Dies zeigt sich auch bei den anderen dargestellten Methoden und deutet darauf hin, dass die Schwelle nicht eigentlich eine scharf abgegrenzte Stufe, sondern ein mehr oder weniger weiter Übergangsbereich ist (■ Abb. 3.4).

Die **Konstanzmethode** unterscheidet sich von der Grenzmethode dadurch, dass der Versuchsleiter die einzelnen Reize nicht der Reihenfolge nach (auf- oder absteigend), sondern in zufälliger Reihenfolge darbietet. Zur Durchführung der Schwellenbestimmung wird zunächst ein Satz von Reizintensitäten



■ **Abb. 3.4 Darstellung des Schwellenübergangs.** Die dargestellten Werte (Punkte) sind das Resultat eines fiktiven Experiments, in welchem die Schwelle für das Entdecken eines Lichtpunktes nach der Konstanzmethode ermittelt wurde. Die Reizintensität, die in der Hälfte der Darbietungen noch wahrgenommen wird, wird als Wahrnehmungsschwelle bezeichnet

(etwa fünf) ausgewählt, die um den vermuteten Schwellenwert variieren (zum Beispiel ein Satz in ihrer Intensität variierender ganz schwacher Lichter oder ganz leiser Töne), wobei der stärkste eindeutig über, der schwächste eindeutig unter der Schwelle liegt. Dann werden die Reize nacheinander in zufälliger Reihenfolge und jeder Reiz mehrmals dargeboten. Die Untersuchungsperson hat jedes Mal wieder mit Ja oder Nein zu antworten, je nachdem, ob sie etwas wahrnimmt oder nicht. Das Ergebnis einer solchen Untersuchung veranschaulicht ■ Abb. 3.4. Aufgetragen sind auf der Ordinate die Prozentsätze der Ja-Antworten („Ich sehe den Reiz“) für die verschiedenen vorgegebenen physikalischen Reizintensitäten (zum Beispiel Lichtintensität). Die Verteilung der Ja-Antworten stellt sich somit als Funktion der Reizintensität dar. Diese Kurve wird als psychometrische Funktion bezeichnet. Sie lässt erkennen, dass Reize mit der Intensität 15 nie entdeckt werden, Reize mit der Intensität 20 immer und Reize, deren Intensität dazwischenliegt, manchmal (bei zunehmender Intensität mit zunehmender Häufigkeit) entdeckt werden. Auch bei diesem Verfahren zeigt sich also keine scharf abgegrenzte Stufe.

Absolutschwelle

Die Absolutschwelle wird definiert als die Reizintensität, bei der die Hälfte der Versuche (50 %) zum Entdecken des Reizes führt.

Unterschiedsschwelle

Die Unterschiedsschwelle wird definiert als die Reizintensität, bei der die Hälfte der Versuche (50 %) zum Entdecken eines Reizunterschieds führt.

Somit liegt in unserem Beispiel die absolute Schwelle bei einer Intensität von 18 Einheiten. Bemerkenswert ist, dass die absolute

■ **Tab. 3.2** Beispiele für die hohe Sensibilität unseres Wahrnehmungsvermögens

Sinn	Absolute Schwelle
Sehen	Eine Kerzenflamme in ca. 48 km Entfernung in einer klaren dunklen Nacht
Hören	Das Ticken einer Armbanduhr in einer Entfernung von etwa sechs Metern bei ruhiger Umgebung
Schmecken	Ein Teelöffel Zucker in 7,5 l Wasser
Riechen	Ein Tropfen Parfüm erfüllt das Volumen von sechs Räumen
Fühlen	Der Flügel einer Fliege, die in einer Distanz von 1 cm auf die Wange fällt

Schwelle beträchtlichen Schwankungen unterliegt, sowohl zwischen verschiedenen Individuen als auch bei einem Individuum über die Zeit in Abhängigkeit von seiner Befindlichkeit, seinem Aktivitätsniveau oder der Motivation.

Bei der **Herstellungsmethode** wird nur ein Reiz vorgegeben, der aber kontinuierlich und langsam in seiner Intensität verändert werden kann. Der Versuchsleiter oder die untersuchte Person selbst variiert im Wechsel auf- beziehungsweise absteigend die Intensität, bis sie den Reiz gerade noch beziehungsweise gerade nicht mehr wahrnehmen kann. Dieser Punkt des subjektiven Erscheinens oder Verschwindens des Reizes (zum Beispiel eines Lichtpunktes oder eines Tones) markiert dann den gesuchten Schwellenwert. Auch bei dieser Methode dient es der Genauigkeit, diese Durchführung mehrmals zu wiederholen und den Mittelwert dieser Messungen als Schwelle zu verwenden. Ein Vorteil dieses Verfahrens ist, dass der Proband, indem er die Reizintensität selbst verändert, eine aktive Rolle einnimmt und damit die Wahrscheinlichkeit einer hohen Aufmerksamkeit maximiert wird (Dazu [Zusatztext online](#)).

Beispiele für die hohe Sensibilität unseres Wahrnehmungsvermögens gibt die ■ **Tab. 3.2**.

Bereits einige Jahre vor Fechner hatte sich Ernst Heinrich Weber (1795–1878) mit einer anderen Frage der Empfindlichkeit unserer Sinne befasst. Er hatte sich gefragt, wie groß der Unterschied zwischen zwei Reizen sein muss, damit wir sie nicht als gleich, sondern als unterschiedlich wahrnehmen können. Die kleinste Differenz, die nötig ist, um zwei Reize verlässlich voneinander zu unterscheiden, wird als **Unterschiedsschwelle** oder auch als „eben merklicher Unterschied“ (*just noticeable difference*, **jnd**) bezeichnet. So müssen beispielsweise zwei Töne einen bestimmten Intensitätsunterschied aufweisen, damit wir sie als unterschiedlich laut empfinden, oder sie müssen sich um einen bestimmten Betrag unterscheiden, damit wir den einen als tiefer oder höher als den anderen wahrnehmen können.

Das allgemeine Untersuchungsverfahren lässt sich am klassischen Experiment von Weber verdeutlichen. Weber ließ seine Probanden zunächst jeweils ein kleines „Standardgewicht“ und danach ein geringfügig schwereres „Vergleichsgewicht“ heben. Sie sollten dann beurteilen, welches Gewicht schwerer wog. Wie zu erwarten, fiel es den Probanden leichter, den Unterschied zu entdecken, wenn dieser groß war. Zunehmend kleinere Unter-

■ **Tab. 3.3** Weber-Konstanten für einige Sinnesmodalitäten

	Weber-Konstante
Lautstärke	0,15
Tonhöhe (Frequenz)	0,003
Helligkeit	0,017
Gewicht	0,02
Hautdruck	0,14
Duftkonzentration	0,07
Geschmackskonzentration (Salzlösung)	0,20

schiede wurden entsprechend weniger gut oder gar nicht mehr entdeckt. Im Prinzip lassen sich zur Bestimmung der Unterschiedsschwelle also die gleichen Messmethoden anwenden wie bei der Bestimmung der absoluten Schwelle, nur mit dem Unterschied, dass hier jeweils ein Standardreiz anwesend ist, mit dem der jeweils vorgegebene Vergleichsreiz verglichen werden muss.

Bei seinen Untersuchungen ging Weber jedoch weiter. Er entdeckte, dass der eben merkliche Reizunterschied nicht einheitlich groß ist, sondern vielmehr von der Größe des Standardreizes abhängig ist. Nehmen wir zum Beispiel ein Standardgewicht von $S = 100$ g. Dann muss das Vergleichsgewicht mindestens $S' = 102$ g schwer sein, damit wir es als unterschiedlich schwer (also schwerer) empfinden. Nehmen wir aber ein Standardgewicht von 200 g und vergleichen dies wieder mit einem mit nur 2 g schwereren Vergleichsgewicht $S' = 202$ g, so bleibt es für uns unmöglich, beide nach ihrem Gewichtsempfinden zu unterscheiden. Dies gelingt uns erst dann, wenn das Vergleichsgewicht $S' = 204$ g schwer ist. Bei einem Gewicht von 400 g muss der Gewichtsunterschied sogar 8 g betragen, damit wir ihn wahrnehmen können. Die Größe des jnd wächst also mit der Größe des Standardreizes, oder umgekehrt, unsere Unterschiedsempfindlichkeit nimmt mit zunehmender Reizstärke ab. Wie aber bereits Weber feststellte, bleibt die Schwelle (der jnd) aber relativ zu dem Standardgewicht konstant:

$$\frac{2}{100} = \frac{4}{200} = \frac{8}{400} = \dots = 0,02 (= \text{konstant}).$$

Diesen Zusammenhang beinhaltet das erst später von Fechner formulierte **Weber'sche Gesetz**.

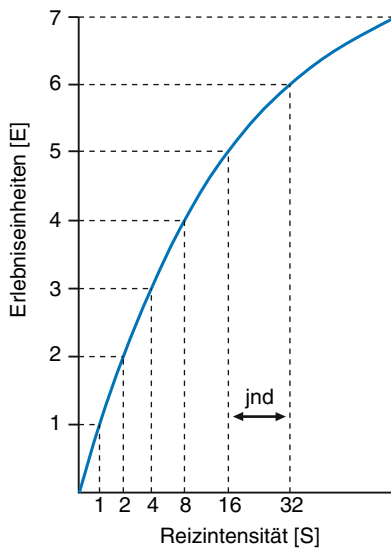
Weber'sches Gesetz

Es besagt, dass der eben merkliche Unterschied zweier Reize (ΔS) zur absoluten Größe des Standardreizes (S) in konstantem Verhältnis steht: $\frac{\Delta S}{S} = k$ (= Weber-Quotient, Weber-Konstante)

In unserem Beispiel weist diese Konstante den Wert $k = 0,02$ auf.

In ■ **Tab. 3.3** sind die Weber-Konstanten für einige Sinnesmodalitäten zusammengestellt. Sie lassen die recht unterschiedliche Empfindlichkeit unseres Wahrnehmungsvermögens erkennen.

Wie weitere Untersuchungen der letzten Jahrzehnte erkennen lassen, gilt das Weber'sche Gesetz für die meisten Sinne, sofern



■ **Abb. 3.5** Darstellung der Relation zwischen Empfindungsstärke und Reizintensität nach Fechners psychophysischer Beziehung. Der kleinstmöglichen Zunahme der Empfindungsstärke, definiert durch die Unterschiedsschwelle (jnd), entsprechen bei höheren Ausgangsreizen größere Reizzuwächse als bei kleinen Ausgangsreizen

die Reizstärke nicht zu nahe an der absoluten Reizschwelle liegt, bei Gewichten zum Beispiel, sofern das Standardgewicht über 50 g liegt.

3.2.2 Psychophysische Funktionen

Fechner konstruierte nun eine Skala der Empfindungsstärke, für deren Nullpunkt er die Absolutschwelle und für deren Maßeinheit er die **Unterschiedsschwelle** heranzog. Einem Reiz, dessen Intensität sich eben merklich von der Absolutschwelle der zugehörigen Reizdimension unterscheidet, wird hierbei ein Empfindungswert von 1, dem nächsten eben merklich intensiveren Reiz, ein Empfindungswert von 2 zugeordnet usw. (vgl. ■ Abb. 3.5). Da dem Weber'schen Gesetz zufolge die Unterschiedsschwelle proportional zur Intensität des Ausgangsreizes ansteigt, ergibt sich die Empfindungsstärke als logarithmische Funktion der physikalischen Reizintensität (vgl. auch Wohlschläger und Prinz 2006):

$$E = a \times \log(S) + b$$

(wobei a und b reizdimensionsspezifische Konstanten darstellen).

Das heißt, einem linearen Zuwachs der Empfindungsstärke (E) entspricht ein logarithmischer Zuwachs der Reizstärke (S), (■ Abb. 3.5).

Diese Beziehung wird heute als **Fechner'sches Gesetz** bezeichnet.

Hieraus ergibt sich, dass für eine Erhöhung der empfundenen Stärke eines Reizes um einen bestimmten Betrag – beispielsweise eine Verdoppelung – mitunter eine Vervielfachung der physikalischen Reizintensität nötig ist (Beispiel in [Zusatztext online](#)).

Fechner'sches Gesetz

(Psychophysisches Grundgesetz)

Es besagt, dass die erlebte Empfindungsstärke (E) eines Reizes proportional zum Logarithmus der physikalischen Intensität (S) des Reizes wächst.

Oder: Fechners psychophysische Beziehung besagt, dass einem linearen Zuwachs der Empfindungsstärke (E) ein logarithmischer Zuwachs der Reizstärke (S) entspricht.

Fechners Ansatz ist nicht ohne Kritik geblieben. Insbesondere die Gültigkeit der Annahme des Zusammengehens eben merklicher Unterscheidbarkeit zwischen zwei Reizen mit einem konstanten Unterschied an Empfindungsstärke konnten in der Folgezeit so nicht bestätigt werden. Fechners Formel bringt vielmehr nur eine Approximation (Annäherung) an die tatsächlichen Verhältnisse, wie sie erst 1957 von S. S. Stevens genauer untersucht und im sogenannten **Stevens'sches Potenzgesetz** formuliert wurden, das auf der von ihm entwickelten Methode der direkten relativen Größenschätzung der jeweiligen Intensität aufbaut. Stevens betrachtete nicht Erlebniseinheiten in Relation zu Reizeinheiten, sondern Erlebnisverhältnisse in Relation zu Reizverhältnissen. Er bot seinen Versuchspersonen jeweils zunächst einen Standardreiz, zum Beispiel einen Lichtpunkt mittlerer Intensität, dem er einen bestimmten Wert zuordnete, zum Beispiel 10. Dann bot er parallel weitere Lichtpunkte mit unterschiedlichen Lichtintensitäten dar, denen die Untersuchungsperson entsprechend der wahrgenommenen Helligkeit ebenfalls eine Zahl zuordnen sollte. Erscheint das Licht zum Beispiel nur halb so hell, erhält es die Zahl 5, entsprechend die Zahl 20 bei wahrgenommener doppelter Helligkeit. Trägt man die so erhaltenen Werte in einer Grafik auf, so resultiert in diesem Fall eine ähnliche Kurve, wie sie bereits Fechner erhielt. Anders sieht es jedoch aus, wie Stevens feststellte, wenn man das gleiche Verfahren auf weitere, bis dahin nicht untersuchte Sinnesmodalitäten anwendet. ■ Abb. 3.6 zeigt die Ergebnisse für solche Intensitäts- beziehungsweise Größenschätzungen für (3) Helligkeit, (2) die Länge einer Linie und (1) die Schmerzempfindung auf einen am Finger verabreichten elektrischen Stromimpuls. In diesen Fällen versagt die Fechner'sche Formel.

Derlei Ergebnisse gaben Anlass zu dem Schluss, dass die Beziehungen zwischen Reiz und Empfindungsstärke meist besser durch Potenzfunktionen beschrieben werden können, bei denen die Empfindungsstärke (E) als proportional zur n -ten Potenz der Reizstärke (S) dargestellt wird (abzüglich der Schwellenreizstärke):

$$E = k \times S^n$$

(wobei k und n reizdimensionsspezifische Konstanten darstellen).

Stevens'sche Potenzfunktion

Sie besagt, dass die Erlebnisstärke (E) zu einer (jeweils bestimmten) Potenz der Reizintensität (S) proportional ist.

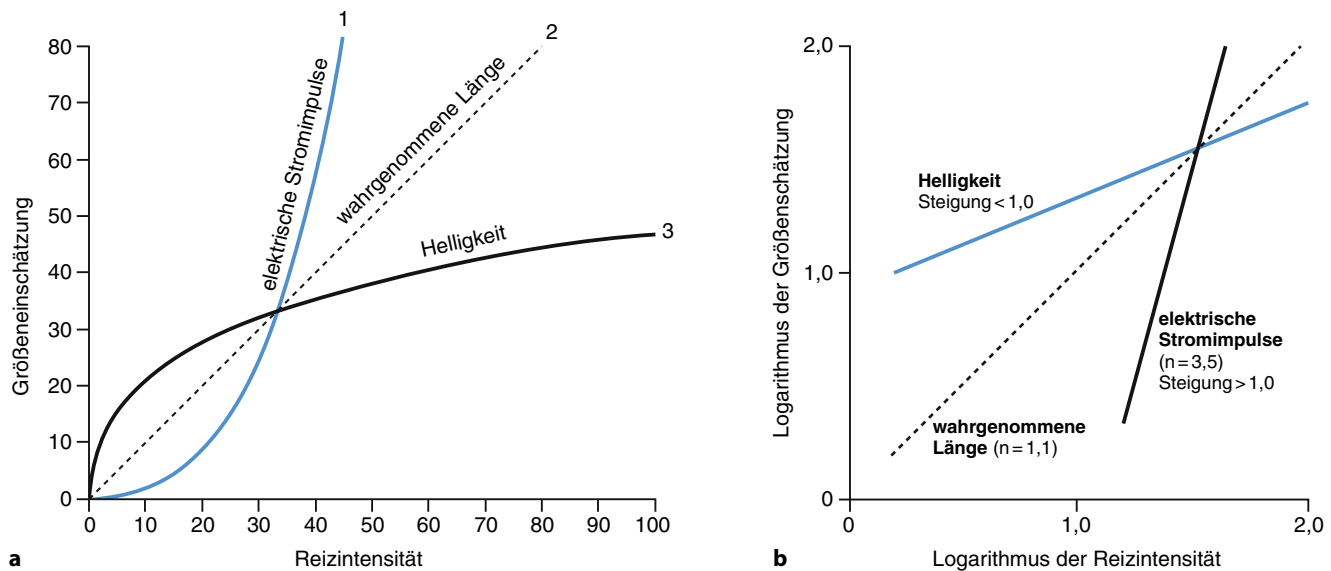


Abb. 3.6 a Darstellung der Beziehung zwischen Empfindungsgröße und Reizstärke verschiedener Reize, und zwar (1) Stärke elektrischer Stromimpulse, (2) Länge von Linien, (3) Helligkeit (bzw. Leuchtintensität) eines Leuchtfeldes. b Darstellung derselben Beziehungen wie a, jedoch auf logarithmischen Koordinaten. Trägt man statt der direkten Messwerte jeweils den Logarithmus derselben auf, also den Logarithmus der Empfindungsgröße gegen den Logarithmus der jeweiligen Reizstärken, erhält man statt der Kurven unterschiedlich geneigte Geraden, deren Neigung (= Steigung) durch den Exponenten in der Stevens'schen Formel erfasst wird

Ähnlich wie den Weber-Quotienten $\Delta S/S = k$ als Erlebniseinheit ΔE kann man den Exponenten (n) in der Stevens-Potenzfunktion als Maß für die jeweilige Sinnesempfindlichkeit interpretieren. Stevens und Galanter (1957) sowie Stevens (1975) haben solche Exponenten für eine große Zahl von Reizkontinua ermittelt. Exponenten zwischen 0 und 1 bedeuten abnehmende Steigung der Empfindlichkeitskurven und damit abnehmende Empfindlichkeit bei zunehmender Reizstärke (zum Beispiel Lautstärke, Helligkeit), wie es auch nach Fechners logarithmischer psychophysischer Funktion der Fall ist. Ein Exponent >1 dagegen bedeutet zunehmende Steigung, das heißt, je stärker der Reiz, desto empfindlicher wird das Sinnesorgan. Der größte Exponent mit 3,5 wurde für Schmerz durch elektrische Stromimpulse gemessen.

Kritisch hinterfragt

Es gibt eine kritische Diskussion um die Frage, ob die „wahre“ psychophysische Funktion logarithmisch sei (wie Fechner sagt) oder einer Potenzfunktion entspricht (wie Stevens glaubte), die auf dem Bestreben beruhe, eine universelle psychophysische Funktion zu finden, die für alle Sinnesmodalitäten gleichermaßen gilt. Aber warum sollte eigentlich ein einziger Funktionstyp für die Vielfalt der verschiedenen Sinnesorgane generell gelten? So schränkte Stevens die Gültigkeit der Potenzfunktion als psychophysische Funktion bereits auf quantitative Reizkontinua ein, bei denen man „größer als“-Relationen aufstellen kann, wie zum Beispiel bei der Lautstärke oder der Helligkeit. Nicht gültig sollen sie dagegen sein für qualitative Reizkontinua, bei denen die entsprechende Relation nur lauten könnte: „anders als“ (zum Beispiel Tonhöhe, Farbton). Ausführlicher in [Zusatztext online](#).

Kritisch hinterfragt

In der klassischen Psychophysik soll ein Zusammenhang zwischen äußeren Reizereignissen und dem Wahrnehmungsinhalt oder der inneren Empfindung hergestellt werden. Während die äußeren Reizgegebenheiten mittels technischer Messverfahren bestimmt werden können, wird die zugehörige Empfindung aus dem Verhalten der Versuchsperson – zum Beispiel aus ihrem verbalen Urteil – „erschlossen“. Ermöglicht ein solches Vorgehen wirklich einen Einblick in die subjektive Wahrnehmungswelt? Welche Arten von Verzerrungen können Sie sich vorstellen? Welche halten Sie für plausibel?

3.2.3 Signalentdeckungstheorie

Die Vorstellung einer absoluten Wahrnehmungsschwelle, wie sie in der klassischen Psychophysik (im Weber-Fechner'schen sowie Stevens'schen Sinne) vorliegt, wurde inzwischen als nicht tragfähig angesehen, denn es zeigte sich, dass die Entdeckbarkeit eines Reizes oder Reizunterschiedes nicht allein von dem Reiz abhängig ist.

Anders als die klassische Psychophysik geht die **Signalentdeckungstheorie** (*signal detection theory*) nun davon aus, dass die Reaktionswahrscheinlichkeit des Organismus von Zufallsverteilungen der Feuerbereitschaft von Nervenzellen abhängt. Sie berücksichtigt auch weiter den Einfluss motivationaler Komponenten, wie Wunsch, Erwartung und Gewohnheit: Wenn wir uns ein bestimmtes Ereignis wünschen, spiegelt sich das in unserer Reaktionsbereitschaft wider. Unsere Erwartungen über die Auftretenswahrscheinlichkeit des Reizes verändern ebenfalls unsere

		Reaktion Beobachter	
		ja	nein
Reiz	vorhanden	Treffer (hit)	falsch positiv (miss)
	nicht vorhanden	falsch negativ (false alarm)	korrekte Ablehnung (correct rejection)

Abb. 3.7 Reiz-Reaktions-Matrix zur Theorie der Signalentdeckung. Die Matrix gruppiert die möglichen Antwortergebnisse hinsichtlich ihres Zutreffens, wenn eine Versuchsperson Beobachtergefragt wird, ob sie einen vorhandenen (oder nicht vorhandenen) Reiz wahrnimmt (ja) oder nicht wahrnimmt (nein)

Reaktionsbereitschaft. Antwortgewohnheiten neigen zur Perpetuierung (vgl. Grenzmethode).

Bei der Bestimmung der absoluten Schwelle nach den Methoden der klassischen Psychophysik könnte es also sein, dass eine Untersuchungsperson besonders „entdeckungsfreudig“ ist und im Zweifel eher Ja sagt, während eine andere Person eher zurückhaltend ist und sich leichter für Nein entscheidet. Unter den Bedingungen der relativen Unsicherheit im Schwellenbereich würde das bedeuten, dass bei einem Versuch manche Personen die Entdeckung eines Reizes öfter berichten, als sie diesen wahrgenommen haben können (Ja-Sager), während die Nein-Sager dazu tendieren, bei Unsicherheit eher weniger Signalentdeckungen anzugeben. Ziel der Signalentdeckungstheorie ist es, in solchen Situationen die eigentliche Sinnesempfindlichkeit von der Antworttendenz (*response bias*) des Entscheidungsprozesses zu trennen (Genauer in [Zusatztext online](#)).

➤ **Die Signalentdeckungstheorie berücksichtigt neben der durch einen Reiz ausgelösten Empfindungsstärke auch den zugehörigen Entscheidungsprozess. Sie ersetzt das Konzept einer klaren absoluten Wahrnehmungsschwelle durch das Konzept eines Zwei-Stufen-Prozesses:**

1. Eine anfängliche sensorische Aktivität, die aus der Sensitivität des sensorischen Systems resultiert,
2. Ein davon unabhängiger kognitiver Entscheidungsprozess, der die neuronale Aktivität gemäß eines individuell festgelegten Antwortkriteriums (entsprechend der Antworttendenz) bewertet.

Die auf diesem Konzept basierende Messmethode der Signalentdeckungstheorie erlaubt es, sowohl die sensorischen Prozesse als auch die Entscheidungsprozesse auf einmal zu erfassen. Das prinzipielle Vorgehen verdeutlicht die Matrix möglicher Ereignisse in **Abb. 3.7**.

Vorgegeben wird den Probanden in der Hälfte der Durchgänge ein grenznaher schwacher Reiz, in der anderen Hälfte der Durchgänge wird gar kein Reiz geboten. Wieder lautet für den Probanden die Aufgabe, mit Ja zu antworten, wenn er meint, einen Reiz entdeckt zu haben, und mit Nein, wenn er meint, dass kein Reiz geboten wurde. Nach der Matrix lassen sich nun die erhaltenen Antworten in Bezug auf die tatsächlichen Reizvorgaben als Treffer, Fehler (falsch positiv), falsche Alarmer (falsch negativ)

		induziertes Antwortverhalten	
		ja	nein
Reiz	vorhanden	großer Gewinn kleiner Verlust	großer Verlust kleiner Verlust
	nicht vorhanden	kleiner Verlust großer Verlust	kleiner Gewinn großer Gewinn

Abb. 3.8 Payoff-Matrix des Antwortverhaltens. Der antizipierte Payoff oder die Auszahlung (Gewinn oder Verlust) einer Antwortentscheidung wirkt sich auf das Antwortverhalten aus. So motiviert der angenommene, in jeder Zelle angegebene, grau unterlegte Payoff eine Ja-Antwort, der nicht unterlegte eine Nein-Antwort

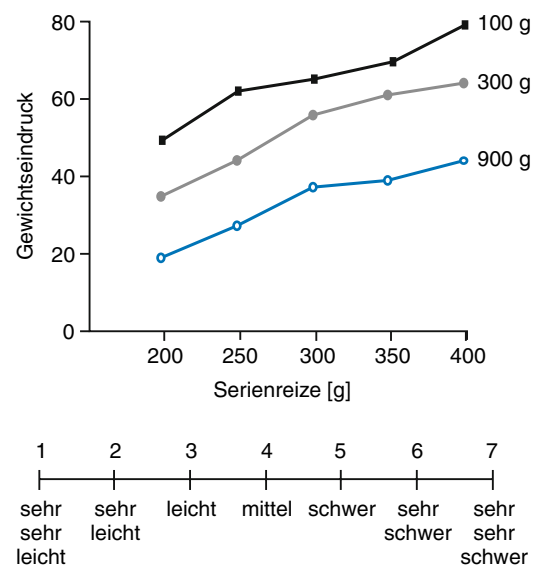


Abb. 3.9 Adaptationseffekte verschiedener Ankerreize. Die Kurven zeigen, dass gleiche Serienreize, je nach den vorher erlebten Vor- oder Ankerreizen (100 g, 300 g, 900 g), deutlich unterschiedlich, das heißt als leichter oder schwerer, wahrgenommen werden. (Nach Helson 1947)

oder korrekte Ablehnungen einordnen, je nachdem, ob tatsächlich ein Reiz vorhanden war oder nicht und ob andererseits der Proband zutreffend reagiert hat oder nicht.

Die mathematisch statistischen Überlegungen geben nun eine Möglichkeit an, die falschen Alarmer von den sensorischen Reaktionen zu trennen. Zur Erfassung der Antworttendenz wird die Antwortneigung durch Manipulation der Antwortfolgen (zum Beispiel Belohnung) manipuliert. Bei hohen Kosten für „falsche Alarmer“ und niedrigen Belohnungen für entdeckte Reize wird der Proband bei Ungewissheit eher dazu neigen, einen nicht sicher erkannten Reiz nicht zu melden. Bei hohen Belohnungen für entdeckte Reize und niedrigen Kosten für falsche Alarmer wird er dagegen eher geneigt sein, zweifelhafte Reize zu melden. Die Signalentdeckungstheorie geht nun davon aus, dass der Proband, um konsistente Entscheidungen treffen zu können, sich selbst entsprechend ein Kriterium auf dem inneren Kontinuum der neuronalen Aktivität setzt, oberhalb dessen er einen Reiz meldet, unterhalb dessen jedoch nicht, und dass die Festsetzung

Allgemeine Psychologie

Eine Einführung

Becker-Carus, C.; Wendt, M.

2017, XXV, 603 S. 407 Abb. in Farbe., Hardcover

ISBN: 978-3-662-53005-4