

SAMMLUNG GÖSCHEN BAND 834/834a

ALLGEMEINE PSYCHOLOGIE

von

PROF. DR. THEODOR ERISMANN †
em. o. Prof. für Philosophie und Psychologie an der Universität Innsbruck

IV

EXPERIMENTELLE PSYCHOLOGIE UND IHRE GRUNDLAGEN / ZWEITER TEIL

Zweite, neubearbeitete Auflage

Mit 27 Abbildungen



WALTER DE GRUYTER & CO.

**vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung · J. Guttentag,
Verlagsbuchhandlung · Georg Reimer · Karl J. Trübner · Veit & Comp.**

BERLIN 1962

Die Gesamtdarstellung umfaßt folgende Bände:

- I. Grundprobleme (Slg. Göschen Band 831)
- II. Grundarten des physischen Geschehens (Slg. Göschen Band 832/832 a)
- III. Experimentelle Psychologie und ihre Grundlagen / 1. Teil (Slg. Göschen Band 833)
- IV. Experimentelle Psychologie und ihre Grundlagen / 2. Teil (Slg. Göschen Band 834/834 a)

©

Copyright 1963 by Walter de Gruyter & Co., voramls G. J. Göschen'sche Verlagsbuchhandlung / J. Guttentag Verlagsbuchhandlung / Georg Reimer / Karl J. Trübner / Veit & Comp., Berlin W 30. — Alle Rechte, einschl. der Rechte der Herstellung von Photokopien und Mikrofilmen, vom Verlag vorbehalten. — Archiv-Nr. 7140638. — Satz und Druck: S Saladruck, Berlin N 65. Printed in Germany.

INHALT

des 2. Teiles der „Experimentellen Psychologie“ (IV. Band)

	Seite
6. Das zentrale Nervensystem	4
7. Spezifische Dispositionen der Sinnesorgane	13
8. Psychophysische Maßmethoden	15
9. Experimentelle Wahrnehmungs-Psychologie der Einzel- sinne	38
Einleitung	38
Das Sehen	41
A. Der Bau des Auges	41
B. Die Farben und das farblose Licht	53
C. Monokulares und binokulares Sehen und das rechts-links vertauschte Sehen	58
D. Das Scheinbewegungs-Sehen (Stroboskopie)	81
10. Die übrigen Sinne:	89
Das Ohr und das Hören	89
Geschmack und Geruch	100
Hautsinne	107
Bewegungs-, Druck-, Tastsinn	112
Innere Körpersinne	119
11. Kontrast und Adaptation	121
12. Gedächtnis-Methoden	144
13. Der Assoziations-Versuch in Krieg und Frieden	179
Literaturverzeichnis	195
Verzeichnis der Abbildungen	196
Register	197

Inhalt des 1. Teiles der „Experimentellen Psychologie“ (III. Band)

1. Das Wesen des Experimentes und der ‚reine Fall‘; Methoden der Experimentellen Psychologie	4
2. Zählen, Messen, Wägen in der Psychologie	36
3. Die ‚Einstellung‘ der Versuchsperson beim Experiment	45
4. Das Werden der Wahrnehmungen und ihr Wahrheitswert	55
5. Assoziative Dauerversuche: Situationseffekt und Situ- ations-Nacheffekt	100

6. Das zentrale Nervensystem

Der Bau des zentralen Nervensystems

„Zwei Dinge erfüllen das Gemüt mit immer neuer und zunehmender Bewunderung und Ehrfurcht, je öfter und anhaltender sich das Nachdenken damit beschäftigt: der bestirnte Himmel über mir und das moralische Gesetz in mir.“ Dieser mit Recht so viel bewunderte Ausspruch von Kant läßt noch eine Ergänzung zu: „... und das zentrale Nervensystem des Menschen, welches seinem Geiste materiell so wunderbar entspricht“.

Milliarden Menschen gibt es auf dieser Erde und jeder besitzt ein ihm zugehörendes zentrales Nervensystem; — so mag es uns als der „Hans in allen Gassen“ erscheinen, — und doch ist es das Wunderbarste, was es in der materiellen Welt gibt. — Der Bau des zentralen Nervensystems kann hier nur angedeutet werden, sein genaueres Studium gehört in die Physiologie. Aber zwischen Physiologie und Psychologie als Wissenschaften besteht dieselbe enge Verbundenheit wie zwischen Seele und Körper. Daher wird man es nicht vermeiden können, daß dort, wo sich aus der Physiologie Analogien zum psychischen Geschehen herholen lassen, dies auch geschieht. Das ist aber durchaus nicht überall der Fall: so leuchtet uns zwar die Tatsache des *„körperlichen Zusammenhaltes“* des Nervensystemes sehr wohl ein, da wir den *„psychischen Zusammenhalt“* der Vielheit unserer Erlebnisse in der Einheit der Persönlichkeit kennen. Unendlich vieles in der Struktur des Gehirnes (so die Teilung des Großhirnes in die beiden Hemisphären — trotz Einheit des Bewußtseins! — beachte dabei den einheitlichen Bau der Zirbeldrüse! und vieles andere) entzieht sich aber noch unserem tieferen Verständnis (s. hierzu auch S. 11.¹⁾)

Die Hauptmasse des Gehirnes besteht aus Neuronen:

¹⁾ Beachte den *Insektenstaat* „als das räumlich in sich getrennte Individuum“.

Zellen mit Zellkörper (Ganglion) und Zellfortsätzen (Neuriten und Dendriten). Die Anzahl der zum zentralen Nervensystem gehörenden Zellen ist unvorstellbar groß (etwa 12 Milliarden Ganglienzellen). Und es scheint, als ob der Grad der Gehirnleistung von dieser ihrer ungeheuren Zahl mitabhängig ist. Das ist einigermaßen verständlich, wenn man bedenkt, daß alles, was wir im Laufe unseres ganzen Lebens erleben, denken, fühlen, wollen, das größte und das kleinste unserer Erlebnisse nach der Theorie des *psychophysischen Parallelismus* auch im Gehirn seinen entsprechenden Abdruck besitzt. Und nicht allein dasjenige, was wir erleben, sondern auch alles, was wir wissen, was unser Gedächtnis enthält, ohne daß es jederzeit in unserem Bewußtsein besteht. Mit anderen Worten, es liegt in unserem Gehirn die materielle Entsprechung für die *ganze große Kugel unseres Erlebens*, von der wir im III. Band auf S. 50 sprachen, und von der nur ein verschwindend kleiner Teil sich jeweils in unserem Bewußtsein findet. — Die Gehirngröße des Menschen nimmt unter allen Lebewesen den ersten Platz ein, wenn man nicht vom absoluten Gewicht des Gehirnes ausgeht (das Gehirn des Elefanten oder des Wales, welches eine viel größere Zahl der Zellen ihrer Riesenkörper zu dirigieren hat, ist absolut genommen schwerer), sondern dazu auch noch sein *relatives Verhältnis zum gesamten Körpergewicht und die Feinheit seines Baues* berücksichtigt. Es gibt zwar auch Vögel und kleine Affen, deren relatives Gehirngewicht das menschliche übertrifft; sie reihen sich dann aber im absoluten Gehirngewicht hinter den Menschen.

Das Wesentlichste am menschlichen Gehirn sind zunächst die *Zellkörper*, die *Ganglien*. Von ihnen geht der Anreiz, welcher dann von den Zellfortsätzen weitergeleitet wird. Die Geschwindigkeit der Leitung hängt von der Dicke des Fortsatzes ab und bewegt sich im selben Fortsatz (Überleitung auf eine andere Zelle ist immer mit Zeitverlust verbunden) zwischen 10 cm und 200 cm in der Sekunde (das vegetative System besitzt im allgemeinen die langsamste Leitung), — also viel langsamer als der elektrische

Strom im Metalldraht. Zwar sind bei dieser Leitung sicher auch (meßbare!) elektrische Ströme vorhanden; doch ist es anzunehmen, daß die eigentliche Leitung auf *elektrochemischen* Vorgängen beruht. — Die eigentlichen Energiestöße entstehen in den Zellkörpern — bei efferenten (zentrifugalen) Bahnen, und bei afferenter (zentripetaler) Leitung (z. B. von den Sinnesorganen aus) endigen sie im Zellkörper.

Die Zellkörper oder Ganglien sind in der *Großhirnrinde* gelagert, diese ist gefaltet, mit Rinnen und Wülsten durchfurcht, wodurch ihre Oberfläche relativ groß sein (etwa $\frac{1}{4} \text{ m}^2$) und dennoch in der relativ kleinen Kapsel des Schädels untergebracht werden kann. Sie folgt hierin dem Prinzip der Raumgewinnung, wobei die Durchfurchung in der rechten und linken Gehirnhälfte nicht vollkommen gleich zu sein braucht und auch bei verschiedenen Menschen verschiedene Gestaltung aufweist, während die Grundgestalt bei allen Menschen übereinstimmt. Vor allem darin, daß das Großhirn in zwei Hälften (Hemisphären) durch eine tiefe Mittelfurche geteilt ist, und daß auch die für die einzelnen Sinneszentren bestimmten Partien übereinstimmend im Gehirn lokalisiert sind. Diese sicher festgestellte Zuordnung bestimmter Hirnpartien zu bestimmten Sinnen (so ist das Sehzentrum im Hinterhauptlappen — der *fissura calcarina* — lokalisiert, das Hörzentrum in der Schläfenpartie usw.) sowie die wahrscheinliche Zuordnung höherer geistiger Leistungen zu der *Stirnpartie* ist ein wichtiger Gewinn für die Erkenntnis gegenseitiger Beziehungen psychischen und physiologischen Aufbaues. Er wird z. B. noch durch folgende Tatsachen ergänzt: Wird der Occipitallappen der Großhirnrinde zerstört, so ist der Patient ‚rindenblind‘ (trotz unversehrtem Augenapparat); bei in der Nachbarschaft verletzten Zellen kann der Patient unter Umständen noch sehen, aber das Gesehene nicht wiedererkennen, er ist ‚seelenblind‘. Erst die Zuführung andersartiger (z. B. akustischer) Wahrnehmungseindrücke ermöglicht das Wiedererkennen des Gesehenen. Solches Nicht-mehrerinnerne können kann sich sogar auf *bestimmte Arten*

gesehener Gegenstände beziehen: So scheint sich die Erkrankung bestimmter Hirnteile mit dem Nichterkennenkönnen der Buchstaben, anderer mit dem Nichtselbstschreibenkönnen, wieder anderer mit dem Nichtverstehenkönnen bestimmter Worte verbinden zu können. In diesen Rindenpartien scheinen also die Erinnerungen, die Verbindungen zwischen Sinneseindruck und Wort festgelegt zu sein und

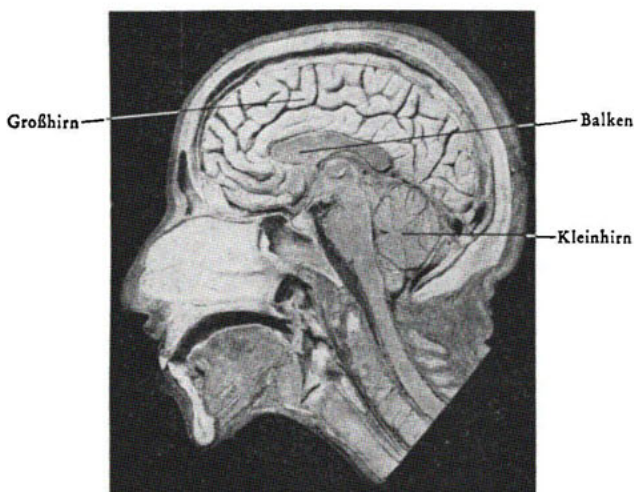


Bild 8 Sagittalschnitt durch den menschlichen Schädel und das Gehirn

durch Verletzung oder Erkrankung gestört werden zu können. — Trotz dieser Andeutungen über bestimmte Lokalisationen scheint es doch so zu sein, daß bei den meisten höheren psychischen Leistungen nicht nur besondere Hirnpartien, sondern das Gesamthirn beteiligt ist, und daß die Funktion mancher Gehirnpartien durch die anderer bis zu einem gewissen Grade vikariierend ersetzt werden kann.

Die *Oberfläche der Hirnrinde* ist beim Menschen größer als bei sämtlichen anderen Lebewesen, wenn man ihr Verhältnis zur Gesamtoberfläche des Körpers ins Auge faßt. Auch ist sie beim Menschen dicker. Woraus man folgerte, daß schon die Zahl der in der Großhirnrinde enthaltenen Ganglienzellen mit der geistigen Überlegenheit des Menschen in Zusammenhang steht. Dem entspricht, daß allgemein diejenigen Sinne, welche für das untersuchte Lebe-



Bild 9 Großhirnoberfläche mit beiden Hemisphären

wesen besonders wichtig sind und die feinste Differenzierung aufweisen, auch besonders ausgedehnte dazugehörige Gehirnpartien besitzen. So hat der *bulbus olfactorius* (die Gehirnpartie für den Geruchssinn) beim Hund eine Oberfläche von ungefähr 450 mm^2 , beim Menschen nur etwa 75 mm^2 . Dafür übertreffen jene Gehirnpartien, denen man höhere geistige Funktionen beimißt (so z. B. die *regio frontalis* — Stirnhirn) diejenigen der übrigen Lebewesen ganz bedeutend: Die Stirnpartie des Kaninchens macht ungefähr 2% seiner gesamten Großhirnrinde aus, beim Menschen dagegen sind es etwa 30%.

Zu der großen Zahl kommt aber als ein nicht weniger wesentlicher Faktor die *Qualität der Ganglienzellen*. Man

hat bis jetzt über hundert verschieden aufgebaute Ganglienzellen im menschlichen Großhirn gefunden (so die Molekular-, die Körner-, die Pyramiden-, die Spindenzellen usw. — sicher sind es noch lange nicht alle), die, jeweils in bestimmten Schichten zueinander angeordnet, die psychischen Leistungen des Menschen tragen.

Wie nun aber ist ein einheitliches Funktionieren des zentralen Nervensystems möglich, wenn es aus Abermillionen von Einzelzellen besteht? — Schneidet man das Gehirn in der Mitte frontal durch, so hebt sich deutlich die bis dahin

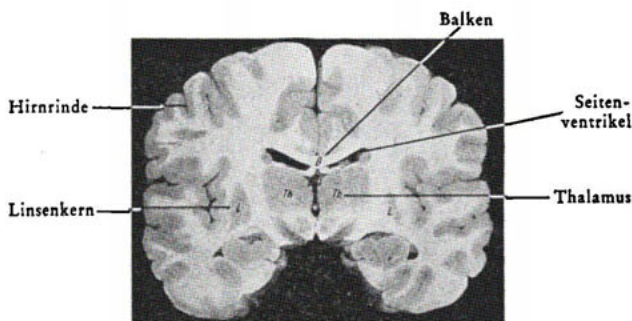


Bild 10 Frontalschnitt durch das menschliche Gehirn

besprochene Cortex (Hirnrinde) als graue Schicht von den darunter befindlichen weißlichen Teilen ab. Die letzteren bestehen aus den oben schon erwähnten *Zellfortsätzen*, welche eine Länge von wenigen Millimetern, und darunter, bis annähernd einem Meter erreichen können. — Und eben diese Fortsätze sind es, welche das in Zellen unterteilte Gehirn wieder zu einer Einheit verbinden. Sie verzweigen sich an ihrem Ende wie feinste Wurzelgebilde, die das Nachbarganglion bald wie mit einem Netz umgeben (Synapse), bald sich mit einem entsprechenden Wurzelgebilde der anderen Zelle filzartig ineinander verflechten. Manchmal sind auf diese Weise mehrere Zellen mit einer oder

unter sich als ganzer Zellenkomplex vielfach verbunden. Dadurch ist die engste Verbindung zwischen den Zellkörpern der Großhirnrinde und ihren beiden Hälften, aber auch zwischen dem Großhirn und dem übrigen Körper über die langen (bis zu 1 m) Neuriten der Rückenmarkssäule (siehe zentripetale und zentrifugale Leitungen) hergestellt. — Diese muß aber außerdem auch noch sinngemäß geleitet sein, und unerwünschte Kurzschlüsse dürfen im Leitungssystem nicht vorkommen. Daher sind alle Fortsätze in ihrem Verlauf voneinander isoliert. Die Gesamtlänge im Nervensystem *eines* Menschen beträgt ungefähr eine halbe Million Kilometer (!) und ist damit z. B. größer als die Entfernung von der Erde zum Mond. Abgesehen vom Unterschied zwischen der *zentripetalen* Leitung, welche beim Sinnesorgan beginnt und im Großhirn endet, und der *zentrifugalen* Leitung, die im Zellkörper anfängt und im Muskel endet, kann die Leitung des Nervensystems mit dem Telefonnetz einer Riesenstadt, jedoch auf die Größe des menschlichen Schädels samt Rückenmarkssäule zurückgeführt und — an Länge und Zahl *noch vergrößert* — verglichen werden!

Das zentrale Nervensystem ist mit feinsten Blutgefäßen durchsetzt, denn es bedarf reichlicher Ernährung mit Phosphor, Zucker, Eiweiß, allgemein stickstoffreichen Substanzen. Es verbraucht beim Menschen ungefähr $\frac{1}{4}$ des gesamten durch das Blut dem Körper zugetragenen Sauerstoffes. Die Ganglienzellen verbrauchen dabei an zehnmal mehr Sauerstoff als ihre so reich ausgebreiteten Fortsätze.

Urhirn und Neubirn

Primum vivere deinde philosophari, — dieser alte Spruch drückt haargenau das Verhältnis zwischen Urhirn und Neubirn aus, das sich in jahrmillionenlangem Prozeß aus ihm entwickelt hat. Denn es gibt großhirnlose Lebewesen, und selbst die damit ausgestatteten höheren Tiere könnten „grundsätzlich“ ohne Großhirn weiterleben, essen, ihr Gleichgewicht behalten, sogar (wahrscheinlich) Schmerzen erleben. Ohne Urhirn dagegen, welches unter dem Groß-

hirn liegt und Atmung, Blutkreislauf, Gleichgewicht usw. und wahrscheinlich manche Grundtriebe reguliert, ist das Leben auch höherer Lebewesen (Wirbeltiere) nicht möglich. Das Großhirn trägt die höheren geistigen Prozesse — und *Denken* ohne *Großhirn* wäre ebenso unmöglich wie *Leben* ohne *Urhirn*.

Das Urhirn setzt sich zusammen aus jenen subkortikalen Ganglien, welche unter dem Hemisphärenmantel des Großhirns liegen und (dank den Ganglienfortsätzen) in reger Verbindung mit den Zellen des Großhirnes stehen. Wenn die Beziehungen zwischen den einzelnen Hirnpartien schon bei der Großhirnrinde äußerst komplex waren, so sind sie es hier womöglich noch mehr. Einige wichtigste Teile des Hirnstammes, wie das Urhirn auch genannt wird, mögen hier nur aufgezählt sein, — so die beiden Thalami, die beiden Linsenkerne, die Hypophyse und die Zirbeldrüse, welche schon *Descartes* als eigentlichen Sitz des Lebens ansah, weil sie nicht paarig, wie die übrigen Hirnpartien auftritt, sondern ebenso einmalig und einheitlich wie es das Bewußtsein selbst ist. Neuronensysteme, die in sich besonders eng verbunden, voneinander abhebbar und mit bestimmten Leistungen betraut sind, stellen die Verbindung her. Dazu gehört auch das Kleinhirn im hinteren Teil des Kopfes, das für das Gleichgewicht, für die Orientierung im Raum und für den Spannungszustand sämtlicher Muskeln verantwortlich ist. Der menschliche Körper besitzt 320 Muskeln, — aber man irrt sich, wenn man meint, daß jeder Muskel mit bloß einer Nervenfasern verbunden ist. Das gäbe ein unvorstellbar grobes Reagieren unserer Muskulatur. Die feine Differenzierung in der Reaktion desselben Muskels ist abhängig von seiner Innervation durch Tausende von Nervenfasern; wobei von einer Nervenfasern nicht mehr als 30—50 Muskelfasern dirigiert werden. Die sog. Nerven sind Stränge von manchmal vielen Tausenden von Einzelfasern.

Wenn im Urhirn die ursprünglichen Bewegungen des Körpers wie Atmen, Peristaltik usw. ausgelöst werden, so kommen die bewußten Willenshandlungen, der Kampf der

Motive und der Entschluß, nicht ohne das Großhirn zustande. Sie stehen damit im Gegensatz zum sog. *Reflex*: Dieser ist eine Bewegungsantwort des Organismus auf die Reizung seiner Sensorien, ohne daß der Reiz als Sinnesempfindung auch ins Bewußtsein zu treten braucht und eine bewußte Stellungnahme der Persönlichkeit veranlaßt. Der *Reflexbogen* besteht aus der Reizung eines Sinnesorganes, der Leitung der Reizenergie in entsprechende nervöse Zentren entweder bloß der Rückenmarksäule oder des Hirnstammes und seiner entsprechenden Überleitung in motorische Zentren, worauf von hier aus die dazugehörigen Muskeln gereizt werden. Wenn die sensorische Reizung auch noch weiter dringt und das Bewußtsein erreicht, so ist es dennoch nicht dieses und dessen bewußte ‚willentliche‘ Weitergabe an die motorischen Zentren, welche die Bewegung hervorrufen, sondern jener oben beschriebene Reflexmechanismus ist es für sich selbst. Daher sind die echten Urreflexe durch den Willen der Persönlichkeit überhaupt nicht beeinflussbar. Dazu gehören z. B. der Patellarreflex, Pupillarreflex usw. — Dagegen gibt es auch scheinbar reflektorische Reaktionen, welche ‚instinktiv‘ eintreten, aber in Wirklichkeit doch höheren Ursprunges sind, und dementsprechend durch Übung dem Willen auch unterworfen werden können. Wenn ein bei einer dreidimensionalen Kinovorführung von der Bühne aus geworfener Ball auf mich zufliegt und im nächsten Augenblick (scheinbar) unweigerlich mein Gesicht treffen wird, schließe ich ‚unwillkürlich‘ die Augen. Und es gelingt nicht sofort, diese instinktiv sich einstellende Bewegung zu unterdrücken. Aber die Unterdrückung läßt sich üben und unter Wirkung des bewußten Willens mit der Zeit durchsetzen. — Eine gewisse Verwandtschaft sowohl mit den instinktiven als mit Reflexbewegungen besitzen die *automatischen* Bewegungen, z. B. das Gehen in Militärkolonne, aber auch das Atmen, welches zwar durch Fehlen des Sauerstoffes im Körper ohne Willensbeteiligung ausgelöst wird. *Dennoch ist das Atmen weitgehend von unserem Willen in seiner Tiefe und Schnelligkeit beeinflussbar.*

7. Spezifische Disposition der Sinnesorgane

Das Gebiet der Sinnesempfindungen ist außerordentlich reich und mannigfaltig; die folgenden Abschnitte sind der Betrachtung einzelner Klassen der Sinnesempfindungen gewidmet, hier sollen einleitend die ihnen gemeinsamen psychophysischen Gesetzmäßigkeiten kurz erwähnt werden. Das wichtige *Webersche Gesetz*, dessen Gültigkeit sich so ziemlich über das Bereich sämtlicher Empfindungsarten erstreckt, behandeln wir im nächsten Kapitel zusammen mit den psychophysischen Maßmethoden, durch deren Anwendung das Webersche Gesetz auch getragen und gefestigt wird. Von ähnlicher Allgemeinheit sind nun auch die beiden Prinzipien: *das Prinzip der spezifischen Disposition der Sinnesorgane* und *das Gesetz der spezifischen Sinnesenergie*.

Prinzip der spezifischen Disposition der Sinnesorgane. Die aus der Außenwelt auf uns einwirkenden physikalischen und chemischen Reize treffen nicht unmittelbar auf die die Erregung zum zentralen Nervensystem weiterleitenden Nerven, sondern auf *Sinnesorgane*, die zur Aufnahme und Umsetzung der physikalischen in physiologische Energie besonders ausgestattet sind. Nun ist aber das einzelne Sinnesorgan keineswegs für den Empfang und die Umsetzung *aller* Arten äußerer Reize gleich gut geeignet: Schon die besondere Ausgestaltung für die zweckmäßige Aufnahme seiner gewohnten, „spezifischen“, Reize muß es für die Aufnahme anderer Reize weniger geeignet, eventuell sogar völlig unfähig machen (*spezifische Disposition der Sinnes-Organen*).

Man unterscheidet mechanische (inklusive akustische), thermische, optische, elektrische und chemische Reize. Einige derselben — wie z. B. der elektrische Reiz — besitzen die Fähigkeit, auf mehrere Sinnesorgane zu wirken. Andere dagegen — wie z. B. der schwache bis mittelstarke akustische oder optische Reiz — erregen nur ganz bestimmte Sinnesorgane, während alle übrigen davon unberührt bleiben. Analoges gilt auch für die Sinnesorgane:

Einzelne besitzen die Fähigkeit, von mehreren Reizarten erregt zu werden, — so ist z. B. das Auge für die meisten Reize (nicht thermische und Geruchsreize usw.) empfänglich; während z. B. die Geschmacks- und Geruchsorgane im Grund nur durch die ihnen adäquaten chemischen Reize erregt werden.

Und gelingt es auch, ein Sinnesorgan durch einen ihm *fremden* Reiz zu erregen, so besitzen die dabei entstehenden Empfindungen nicht jene Differenziertheit, Reichhaltigkeit und Bestimmtheit, wie sie den durch seinen gewohnten Reiz bewirkten Empfindungen eigen ist. Danach unterscheidet man „adäquate“ und „inadäquate“ Reize: *Adäquat* ist für das Auge der Lichtreiz, für das Ohr die Luftschwingung usw.; *inadäquat* dagegen sind für jedes Sinnesorgan sämtliche Reize, die es zwar reizen können, für deren Empfang das Sinnesorgan aber nicht eigentlich vorbestimmt ist (Druck und Elektrizität für das Auge usw.).

Gesetz der spezifischen Sinnesenergien. Gelingt es uns nun, ein Sinnesorgan *inadäquat* zu reizen, welche Art von Empfindung wird dadurch hervorgerufen?: diejenige, die der *gewohnten Wirkungsweise des betreffenden Reizes* oder aber der *gewohnten Wirkungsweise des gereizten Sinnesorganes* entspricht? D. h.: Wird z. B. ein mechanischer Druckreiz auf den Augapfel dem zentralen Nervensystem als Druck- oder als Lichtreiz übermittelt? Das Gesetz der spezifischen Sinnesenergien gibt darauf die Antwort: *Ein bestimmter Sinnesnerv wird durch jeden ihn überhaupt erregenden Reiz nur in der ihm (dem Nerven) eigentümlichen Art erregt.* Die Reizung des Sehnerven durch optische, mechanische, elektrische Reize ergibt stets eine Gesichtsempfindung, des Gehörsnerven eine Gehörsempfindung usw. Der wesentliche Kern des Gesetzes ist auch durch neuere kritische Versuche nicht erschüttert worden. Seine differenzierende Wirkung läßt sich sogar noch innerhalb desselben Sinnesgebietes nachweisen. So nahm *Helmholtz* wahrscheinlich mit Recht an, daß jede Faser des Gehörsnerven zentral nur eine bestimmte Tonhöhe anzuregen

vermag, so daß, wenn sie durch einen tieferen Ton gereizt wird (wie dies bei pathologischem Schwachwerden der den Tonreiz unmittelbar auffassenden saitenähnlichen Organe der Schnecke vorkommen kann), das zentrale Nervensystem darauf dennoch mit der gewohnten hohen Tonempfindung antwortet.

Die beiden eben behandelten Prinzipien lassen sich zusammenfassend so ausdrücken: Der zwischen dem äußeren Sinnesreiz und der Empfindung oder ihren physiologischen Korrelaten gelegene Aufnahme- und Zuleitungsapparat (Sinnesorgan und Nervenleitung) trifft insofern *eine Auswahl* unter den ihn treffenden Reizen, als er jeweils nur auf bestimmte Reize überhaupt reagiert; insofern *gleichet er dieselben seiner eigenen Beschaffenheit an*, als die dabei erzeugte Empfindung nicht durch die Beschaffenheit des Reizes, sondern des leitenden Nerven (Helmholtz: des *zentralen* Nervensystemes) bestimmt wird.

8. Psychophysische Maßmethoden und das Weber-Fechnersche Gesetz

Grenzen der Leistungsfähigkeit unserer Sinnesorgane

Sofern unsere Sinnesorgane als physikalische Apparate betrachtet werden, die durch äußere physikalische oder chemische Reize in Tätigkeit versetzt werden, gehören sie ins Gebiet der Physiologie. Sofern jedoch durch ihre Tätigkeit psychische Vorgänge ausgelöst werden, gehören sie ins Gebiet der Psychologie. Ihre Untersuchung macht infolgedessen einen Teil des Grenzgebietes zwischen Psychologie und Physiologie aus, das als *Psychophysik* bezeichnet wird.

In dreifacher Hinsicht läßt die uns durch unsere Sinnesorgane vermittelte Wahrnehmung der Außenwelt scheinbar manches zu wünschen übrig:

1. Die Anzahl unserer Sinnesorgane ist sehr beschränkt: wir vermögen Licht-, Schall-, Temperaturreize usw. unmittelbar zu erfassen, dagegen gibt es eine ganze Reihe von physikalischen Kräften, für deren Erfassung uns keine Sinnesorgane zur Verfügung stehen: Gravitationskraft,

Magnetismus usw. Diese Kräfte vermögen wir nur *indirekt* durch die Wirkung der von ihnen auf andere Sinnesorgane (z. B. Schweresinn und Auge) hervorgebrachten Veränderungen zu erkennen, nicht dagegen durch ihre *unmittelbare Wirkung auf ein für ihre Wahrnehmung besonders ausgebildetes Sinnesorgan*.

2. Auch diejenigen Kräfte, die unmittelbar auf unsere Sinnesorgane einwirken und entsprechende Empfindungen in uns erzeugen, vermögen wir nicht in dem ganzen Bereiche ihres physikalischen Bestehens unmittelbar aufzufassen. Es sind uns sowohl nach der qualitativen als nach der intensiven Beschaffenheit der Reize strenge Grenzen gesetzt. a) *Qualitativ*: Der Gesamtbereich der für unser Auge unmittelbar erfassbaren Farben erstreckt sich zwischen Lichtschwingungen, die eine Länge von 0,0004 bis 0,0007 mm aufweisen, — an dem einen Ende stehen die violetten, an dem anderen die roten Empfindungen; noch *kürzere* Lichtwellen bilden die sog. ultraviolettten, noch *längere* die infraroten Lichtstrahlen, für die sich unser Auge nicht mehr empfindlich erweist. Ähnliches gilt auch für die Luft-Schallwellen: Luftschwingungen, die langsamer als 12—16 oder schneller als 25 000—40 000 mal pro Sekunde erfolgen, erzeugen in unserem Ohr keine Schalleindrücke mehr. Es ist einleuchtend, daß die Licht- und Schallschwingungen in der Außenwelt sowohl viel länger als viel kürzer, schneller und langsamer sein können, und daß folglich unser Auge und unser Ohr nur einen relativ kleinen Bereich der wirklich vorhandenen Farben und Töne (genauer gesagt: der Licht- und Schallreize) erfassen können. b) *Intensiv*: Sobald der Schall oder der Lichtreiz *zu schwach* wird, erzeugt er ebenfalls keine durch unmittelbare Selbstbeobachtung nachweisbare Empfindung mehr; sobald er *zu stark* wird, zerstört er durch seine Wucht das Sinnesorgan und setzt auf diese Weise eine Grenze für die Auffassung der stärksten Intensitäten. Die schwächste für ein normales Ohr eben wahrnehmbare Schallintensität beträgt nach *Wien* $2,5 \cdot 10^{-12}$ Erg (bei $n = 1600—3200$

Schwingungen); die stärkste auffaßbare Intensität läßt sich aus einleuchtenden Gründen in Versuchen nicht so genau feststellen.

Man nennt den Übergang von den noch nicht oder nicht mehr wahrnehmbaren Reizen zu den eben noch auffaßbaren: die *Empfindungsschwelle* (abgekürzt zu ES). Wir besitzen also eine (oder mehrere) *qualitative* und eine *intensive* Schwelle, und sowohl im qualitativen als intensiven Bereich eine *obere* und eine *untere* Schwelle. Zwischen diesen Schwellen liegt das gesamte Gebiet der wahrnehmbaren Reize eingeschlossen!

3. Man wäre nun versucht, zu glauben, daß unsere Sinnesorgane wenigstens innerhalb dieser Grenzen mit absoluter Genauigkeit arbeiten, so daß z. B. alle *Unterschiede zwischen zwei ähnlichen, aber doch verschiedenen* Reizen von uns sofort gemerkt werden könnten. Aber auch diese Vermutung trifft keineswegs zu. Vielmehr lassen sich mit physikalischen Methoden sehr leicht tatsächlich vorhandene Unterschiede zwischen zwei oder mehreren Reizen dort nachweisen, wo wir „von bloßem Auge“ (und entsprechend mit den übrigen unbewaffneten Sinnesorganen) keine Unterschiede mehr aufzufassen imstande sind. Diese Tatsache führt uns auf den Begriff der *Unterschiedsschwelle* (US): unter der US versteht man denjenigen Unterschied zweier Empfindungsreize, die einen eben noch merklichen Empfindungsunterschied auslösen, während alle kleineren Unterschiede nicht mehr merkbar sind. — Den beiden Begriffen der Empfindungsschwelle (ES) und Unterschiedsschwelle (US) entsprechen die ihnen reziproken Begriffe der *Empfindlichkeit* (abgekürzt zu E) und *Unterschiedsempfindlichkeit* (UE): je größer die Empfindlichkeit und Unterschiedsempfindlichkeit, desto tiefer liegt die Empfindungs- und Unterschiedsschwelle.

Sowohl dem Begriff der Empfindlichkeit als der Unterschiedsempfindlichkeit kommt große theoretische und praktische Bedeutung zu. *Praktisch* werden sie besonders auf dem Gebiete der angewandten Psychologie bei der Frage

der Berufswahl und der Berufseignung wichtig (s. Sammlung Göschen, Bd. 774, S. 14 ff.): da die Feinheit der Empfindlichkeit und im besonderen der Unterschiedsempfindlichkeit bei verschiedenen Menschen recht verschieden ist, und bestimmte Berufe eine besonders fein ausgeprägte E und UE einzelner Sinnesorgane verlangen (Textilindustrie: UE für Farben; Lokomotivführerberuf: E und UE für rot-grün; Kraftfahrerberuf: E und UE für Geschwindigkeiten und Bewegungen usw.), so wird eine Vorprüfung dieser Fähigkeiten bei den Lehrlingen manchen als für den betreffenden Beruf von vornherein ungeeignet erscheinen lassen und spätere Enttäuschungen ersparen können. Eine praktische Anwendung der Prüfung auf die E und UE nimmt auch der Arzt vor, wenn er aus der Abnahme ihrer Feinheit auf die (auf anderem Wege etwa nicht nachweisbare) Erkrankung des Sinnesorganes oder des Sinnesnerven schließt. Dabei muß jedoch große Umsicht walten: So nimmt z. B. die ES für höchste Töne mit dem Alter relativ sehr rasch zu, so daß auch schon das normale Gehörsorgan eines Dreißigjährigen nicht mehr die höchsten vom Zwanzigjährigen gehörten Töne erfassen kann; mit 50—70 Jahren wird diese Vergröberung der E sehr auffallend: so hören die älteren Leute z. B. das Zirpen der Grillen, das dem jungen Ohr so laut erschallt, nicht mehr. — Noch größer ist die *theoretische Bedeutung* der E und namentlich der UE, auf deren Erforschung sich unter anderem auch eines der wichtigsten Gesetze der Psychophysik, das sog. *Webersche Gesetz*, aufbaut. Bevor wir jedoch zu seiner Darstellung übergehen, fragen wir uns, wie eine sichere experimentelle Feststellung der ES und US durchgeführt werden kann.

*Bestimmung der Empfindlichkeit:
das wissentliche und unwissentliche Verfahren*

Wenden wir uns zunächst der ES oder ihrem reziproken Wert, der E, zu. Es soll also festgestellt werden, welcher Reiz an der Grenze der Wahrnehmbarkeit liegt. Auf den

ersten Blick eine sehr einfache Aufgabe: Man braucht einen deutlich wahrnehmbaren Reiz ja bloß in aufeinanderfolgenden Abstufungen nach einer Richtung hin zu verändern (z. B. die Höhe des Schalles zu steigern), um schließlich in die Region der nicht mehr hörbaren Reize zu gelangen, — am Übergang von der einen zur anderen Region liegt die ES. Wir wollen hier ganz absehen von all den Schwierigkeiten, die am Anfang dieses Bandes als mit dem Wesen des psychologischen Experimentes verbunden entwickelt worden sind, — also der Variabilität der psychophysischen Bedingungen der nämlichen V_p , den zwischen den verschiedenen V_p n vorhandenen Differenzen usw. —, und uns nur fragen, ob denn mit der vorgeschlagenen Art der Feststellung auch in der Tat eine für die untersuchte V_p allgemein charakteristische ES ermittelt worden ist. Die Ermittlung geschah unter ganz besonderen Bedingungen: Wir gingen von den deutlich wahrnehmbaren zu den nicht mehr wahrnehmbaren Reizen über. Unsere V_p hat also einerseits den Reiz, über den sie Aussagen zu machen hat, zunächst unter günstigeren Bedingungen der Auffaßbarkeit kennengelernt, sie hat sich an ihn gewöhnt, er ist ihr im Laufe der Versuchsreihe vertraut geworden, — Faktoren, die das spätere Wiedererfassen des Reizes unter ungünstigen Bedingungen (d. h. nahe der Schwelle) wesentlich erleichtern: Wir können daher erwarten, daß wir bei dieser Aufeinanderfolge der zu erfassenden Reize eine besonders feine Empfindlichkeit bei unserer V_p vorfinden werden. Andererseits wirkt diesem günstigen Faktor der ungünstige Suggestionsfaktor entgegen: die V_p weiß im voraus, daß der Reiz der Region des Unerfaßbaren mit jedem Versuch immer näher rückt, sie wird daher von einer bestimmten Stufe an den folgenden Reiz als „vermutlich nicht mehr auffaßbar“ erwarten, was auf die Erfassung erfahrungsgemäß einen schädlichen Einfluß ausübt, — durch diesen Faktor wird daher die Empfindlichkeit bei besonders suggestiblen V_p n leicht vergrößert werden können (besonders bei der Feststellung der UE ist dieser Einfluß deutlich wirksam). Durch diese beiden Faktoren ist nun unsere

Feststellung kompliziert und verunreinigt worden, — wie können wir den Versuch modifizieren, um entweder einen „reinen Fall“ zu erhalten oder aus dem Durchschnitt der Fälle die Fehler eliminieren zu können? Letzteres erreichen wir nun dadurch, daß wir unserer Vp noch eine Reizreihe darbieten, diesmal aber nicht aus der merklichen in die unmerkliche Region, sondern umgekehrt aus der unmerklichen in die merkliche Region fortschreitend! Bei diesem Vorgehen kehren sich sämtliche oben besprochenen Faktoren in ihr Gegenteil um: bei suggestiblen Vpn wird die E dadurch verfeinert werden können; bei guten, gegen die Suggestion resistenten Vpn dagegen erhalten wir bei diesem Verfahren eine gröbere Schwelle, da sie dabei nicht mehr den Vorteil der vorangehenden genauen Anpassung an den noch gut hörbaren Reiz genossen haben. Nach dem eben besprochenen „wissentlichen“ Verfahren (gemeint ist das Wissen der Vp um die Richtung der Reizänderung) gehören also zur endgültigen Schwellenbestimmung mindestens zwei unter verschiedenen Bedingungen festgestellte Schwellenwerte, *deren Mittelwert erst die fehlerfreie Schwelle ergibt*. Daß sich jedoch der Experimentator mit den zwei Versuchsreihen nicht begnügen darf, sie vielmehr verzehn- und vielleicht noch mehr vervielfachen muß, ergibt sich aus den Ausführungen des Kapitels 1 des Bandes III über das Experiment in der Psychologie. — Je feiner übrigens unsere Bestimmung werden soll, in desto kleineren Schritten werden wir vorgehen müssen, um aus dem merklichen in den unmerklichen Bereich zu gelangen: Man stelle sich z. B. vor, daß der Aufschlag einer in fünf Meter Distanz vom Ohr der Vp aus einer Höhe von 22 cm fallenden Kugel noch deutlich gehört, daß dagegen der Schall sicher nicht mehr gehört wird, wenn die Kugel aus einer Höhe von 2 cm fällt. Den dazwischenliegenden Höhenunterschied von 20 cm können wir nun in vier Stufen zu je 5 cm oder in zehn Stufen zu je 2 cm einteilen: Es ist ersichtlich, daß wir im letzteren Fall die Schwelle viel genauer bestimmen, dafür aber auch viel mehr Versuche ausführen müssen.

Statt nun das „wissentliche Verfahren“ unter verschiede-

nen Bedingungen wiederholt anzuwenden und dadurch die Fehler zu kompensieren, können wir darauf ausgehen, im „*unwissentlichen Verfahren*“ nach Möglichkeit einen von diesen Fehlerquellen reinen Fall zu schaffen. Wir sagen also der Vp gar nicht im voraus, in welcher Aufeinanderfolge ihr die Reize geboten werden, hüten uns aber zugleich davor, eine bestimmte eindeutige Richtung in der Reizänderung beizubehalten: Nach einigen Versuchen könnte sonst die Vp unser Vorgehen entdeckt haben, und wir würden uns wieder in einem (durch die Unsicherheit des Zeitpunktes, an dem die Vp ihre Entdeckung macht, noch verschlechterten) *wissentlichen* Verfahren befinden. Wir bieten ihr also die zwischen bestimmten Grenzen liegenden Werte (im oberen Beispiel wären es also die Werte 2 bis 22 cm) ganz unregelmäßig dar, indem wir nur darauf sehen, daß in einer Versuchsreihe jeder Wert (2, 4, 6 usw.) nicht mehr und nicht weniger als *einmal* vorkommt. Am besten ist hierbei folgendes Verfahren: Man schreibt sich alle Einzelwerte auf Zettel auf, die man in eine Urne hineinlegt; darauf entnimmt man der Urne einen Zettel nach dem anderen, bietet den darauf stehenden Wert und legt den Zettel beiseite. Durch dieses Verfahren ist zugleich alle *ungewollte* Regelmäßigkeit von seiten des Experimentators ausgeschlossen, wie sie sich in unwillkürlichen Systembildungen, z. B. 2, 8, 14, 20, 4, 10, 16, 22 o. dgl., die bei häufiger Wiederholung ebenfalls von der Vp bemerkt werden können, findet. Unter diesen Bedingungen kann also die Suggestibilität der Vp nicht mehr in Frage kommen, wir haben einen reineren Fall vor uns. Doch hat auch diese Methode, namentlich bei ihrer Anwendung auf die Bestimmung der UE ihre Nachteile, da die an die Vp herantretende Aufgabe unter diesen „unwissentlichen“ Bedingungen schwieriger und komplizierter, und die Einstellung der Vp für den Experimentator viel unübersichtlicher wird als bei dem *wissentlichen* Verfahren.

Wir haben bis dahin als selbstverständlich vorausgesetzt, daß die Anzahl der Versuchsreihen zwar ziemlich groß gemacht werden muß, da eine einzelne Reihe zu sehr von dem

augenblicklichen Zustand der Vp abhängt, daß aber, wenigstens *innerhalb derselben Reihe*, sich die erhaltenen Resultate nicht gegenseitig widersprechen werden. Das will sagen: Erhalten wir einmal beim Reizwert 12 eine positive Antwort von unserer Vp, so werden auch alle Antworten bei 14, 16, 18 usw. positiv lauten; und umgekehrt — merkt die Vp den Wert 12 nicht, so merkt sie die Werte 10, 8, 6 um so weniger. Dem ist aber durchaus nicht so. Gewiß gilt diese Auffassung für *deutlich merkbare* oder *sicher unmerkliche* Reize, aber auf diese kommt es uns ja weniger als auf die um die Mercklichkeitsschwelle herum gelegenen Werte an, und gerade hier kommt es gar nicht selten vor, daß, vor allem wegen Aufmerksamkeitsschwankungen der Vpn manche Werte ganz besonders fein, andere wieder relativ schlecht gemerkt werden, so daß z. B. der Wert 10 und vielleicht sogar der Wert 8 gemerkt, der darauffolgende Wert 12 aber nicht gemerkt wird! Um bei der Berechnung der Resultate eine feste Regel zu befolgen, nimmt man im allgemeinen *in jeder Versuchsreihe* denjenigen Wert als Schwellenwert an, von dem aus *sämtliche* größeren Werte gemerkt worden sind. In unserem Beispiel wäre dies also der Wert 14. Aus allen in einzelnen Versuchsreihen so erhaltenen Schwellenwerten bildet man dann den Durchschnittswert, der uns den *definitiven Schwellenwert* dieser Vp abgibt.

*Bestimmung der Unterschiedsempfindlichkeit,
des konstanten Fehlers und der mittleren Variation*

Soweit die Bestimmung der ES; noch etwas komplizierter gestaltet sich diejenige der UE. Hier haben wir es nicht mehr bloß mit *einem* Reiz, sondern stets mit einem *Reizpaar* zu tun; die beiden Reize müssen verglichen und darauf das Urteil „größer“, „kleiner“ oder „gleich“, das sich stets auf den Vergleichsreiz bezieht, abgegeben werden. Unter *Vergleichsreiz* (abgekürzt zu V) verstehen wir denjenigen Reiz, dessen Intensität oder Qualität wir bei aufeinanderfolgenden Versuchen variieren, während der *Nor-*

malreiz (N) während einer Versuchsreihe immer gleichbleibt. Wollen wir z. B. die UE für Schallintensitäten untersuchen, so wählen wir zunächst eine bestimmte Fallhöhe unserer Kugel, z. B. 100 cm, bei deren Durchstreichung die Kugel mit einem bestimmten Schall auf die Unterlage auffällt, — dieser Schall gibt uns den Normalreiz (N). Ein Versuch besteht immer in der Darbietung des N und eines V, der stärker, schwächer oder gleich dem N sein kann. Die Variation des V kann, genau wie die Variation des Reizes bei der Bestimmung der E, nach dem wissentlichen oder unwissentlichen Verfahren erfolgen. Auch die Berechnung der Resultate geschieht in gleicher Weise wie bei der Bestimmung der E: Wir sehen eine Versuchsreihe als abgeschlossen an, wenn wir, beginnend mit untermerklichen Unterschieden, bis zu ganz deutlich und sicher aufgefaßten Unterschieden aufsteigen oder in umgekehrter Reihenfolge zu den sicher untermerklichen Unterschieden absteigen; als US einer Versuchsreihe gilt der Wert, von dem aus sämtliche größere Unterschiede richtig beurteilt worden sind. Die Anzahl der Versuchsreihen muß natürlich auch hier wie bei der Bestimmung der ES recht groß sein, damit sich im Durchschnittswert alle zufälligen Einflüsse aufheben.

Die bis dahin behandelte Methode zur Feststellung der E und UE trägt allgemein den Namen der „*Abstufungsmethode*“, oder der „*Methode der kleinsten Änderungen*“, weil in ihr eine abgestufte Änderung des V durch den Versuchsleiter vorgenommen wird. Kommt es uns nun nicht darauf an, die UE als solche zu bestimmen, sondern nur z. B. die Feinheit der Schätzung verschiedener Vpn miteinander zu vergleichen, so kann die sog. „*Methode der richtigen und falschen Fälle*“ angewandt werden, die uns viel schneller zum Ziele führt. Nach ihr wählen wir irgendeinen Reizunterschied, der noch unterhalb der US, jedoch schon ungefähr in ihrer Nähe liegt. Er wird infolgedessen bald richtig, bald falsch beurteilt. Wird er nun von der einen Vp zu 70% richtig, zu 30% falsch, von der anderen hingegen nur zu 40% richtig und zu 60% falsch beurteilt,