

#### 4. Kapitel

## Methodologische Grundlagen und Probleme der Psychophysik

***Rainer Mausfeld***

Dieses Kapitel beschäftigt sich mit einigen methodologischen und metatheoretischen Fragen der Psychophysik; dabei ergänzen psychologiehistorische und ideengeschichtliche Aspekte gelegentlich die Darstellung. Es hat weitgehend einen einführenden Charakter; doch wird sich die Berechtigung der behandelten metatheoretischen Probleme eher demjenigen erschließen, der mit Grundkonzepten der Psychophysik, wie sie beispielsweise bei Tack (1984) dargestellt sind, und mit wahrnehmungspsychologischen Fragestellungen vertraut ist.

In der Psychophysik, mit der die experimentelle Psychologie ihren historischen Anfang nahm, erweisen sich metatheoretische Betrachtungen psychologischer Fragen als besonders lohnend und ertragreich. In ihr verbinden sich nämlich eine Vielzahl methodologischer und philosophischer Grundfragen der Psychologie in einer Weise miteinander, die es gestattet, sich ihnen in einer präziseren Weise zu nähern, als es in anderen Bereichen der Psychologie möglich ist.

Für eine Behandlung derartiger Fragen wird eine Differenzierung von zwei Auffassungen der Psychophysik nützlich sein. Es lassen sich bei einer geschichtlichen Betrachtung der Theorieentwicklung in der Psychophysik zwei unterschiedliche Positionen abstrahieren, deren Spannungsverhältnis die gesamte Geschichte der Psychophysik von Fechner bis heute durchzieht. Richtet die eine Perspektive das Augenmerk auf die Frage der Meßbarkeit des Psychischen, so sucht die andere Perspektive Mechanismen der Wahrnehmung unter dem funktionalen Aspekt der Kopplung des Organismus an seine Umwelt zu verstehen. Als Vertreter der erstgenannten Tradition der Psychophysik, die stark durch das Vorbild der Physik geprägt ist, seien Fechner, Stevens, Luce und Falmagne genannt; herausragende Vertreter der zweiten Tradition, in der die Psychophysik, sei es aus eher neurophysiologischer oder aus funktionalistischer Perspektive, der Biologie näher steht als der Physik, sind Hering, Bühler, Brunswik, Gibson und Marr. Die Behandlung allgemeiner methodologischer Fragen, wie beispielsweise derjenigen, was in der Psychophy-

sik unter einer ‚Theorie‘ oder einem ‚Modell‘ zu verstehen sei und was als ‚Daten‘ anzusehen sei, wie auch die Diskussion grundlegender spezifischer Fragen, etwa der Definition des ‚Reizes‘, hängt davon ab, von welcher der beiden Positionen aus man sie betrachtet; einige Probleme gar werden nur innerhalb einer einzelnen Perspektive sichtbar, nicht hingegen in der jeweils anderen. Der Versuch einer Gegenüberstellung dieser theoretischen Perspektiven und Traditionen, der zwar Idealisierungen und den Verzicht auf einige wichtige Nuancierungen notwendig macht, läßt hoffen, daß die jeweiligen methodologische Probleme besonders deutlich hervortreten.

Welcher Art nun sind die methodologischen Fragen, die sich mit diesen beiden Traditionen verbinden? Einige Beispiele vorweg mögen verdeutlichen, daß hinter substanzwissenschaftlichen Problemen der Psychophysik tatsächlich weitreichende metatheoretische Probleme verborgen sind.

Grundprobleme der erstgenannten Tradition sind etwa: Kann es im Bereich der Psychophysik eine Messung subjektiver Größen in gleich strengem Sinne geben, wie es in der Physik eine Messung physikalischer Größen gibt? Was ist das ‚Meßobjekt‘ einer psychophysikalischen Skala: der physikalische Reiz, die neurale Erregung oder die Empfindung? Vermögen derartige Skalen die Kluft zwischen ‚Außenwelt und ‚Innenwelt‘ zu überbrücken und somit zu einer Klärung des Leib-Seele-Problems beizutragen? Zu welchen Aspekten der physikalischen Welt soll man eine solche Skala in Beziehung setzen: Zu den eindimensionalen physikalischen Größen, die sich beim Aufbau der Physik als fruchtbar erwiesen haben, oder zu komplexeren physikalischen Eigenschaften, die grundlegend für die funktionalen Leistungen des Wahrnehmungssystems sind? Was also ist ein Reiz? Führen psychophysikalische Skalen zu einem theoretischen Gefüge ähnlich der dimensional Struktur der Physik?

In der funktionalistischen und ‚mechanistischen‘ Tradition der Psychophysik werden methodologische Fragen zunächst durch das gegenwärtig vorherrschende Paradigma perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung angeregt: In welchem Sinne ist es sinnvoll, das Wahrnehmungssystem als informationsverarbeitendes System anzusehen? Wie läßt sich dabei der Begriff ‚Information‘ bestimmen? Lassen sich die mit einer funktionalistischen Perspektive einhergehenden teleologischen Betrachtungsweisen epistemologisch rechtfertigen? Kann man von Hypothesen oder Interpretationen des Wahrnehmungssystems reden? (Was wurde es dann heißen, ein Wahrnehmungsurteil anzuzweifeln?) Können die Empfindungsqualitäten, die sog. Qualia, theoretische Bestandteile psychophysikalischer Modelle sein? Worauf sonst zielt hier der Erklärungs-begriff? Die spezifischen konzeptuellen Probleme des informationstheoretischen Paradigmas sind damit freilich verlassen, und man stößt wieder auf Varianten des Leib-Seele-Problems: Läßt sich ein neuroreduktionistisches Programm rechtfertigen? Lassen sich die Funktionsweisen des

Wahrnehmungssystems unabhängig von seiner biologischen Realisierung verstehen?

Bereits diese Aufzählung macht die Grenzen des Unterfangens, methodologische Probleme der Psychophysik zu behandeln, deutlich; denn eine Abgrenzung zu weiterreichenden Fragen, wie sie in der Philosophie der (Wahrnehmungs)Psychologie, in der Wissenschaftstheorie und Epistemologie ebenso intensiv wie tiefgehend diskutiert werden, muß stets zu einer Verkürzung der Perspektive führen (stellvertretend für die umfangreiche philosophische Literatur hierzu seien Rorty, 1979, Putnam, 1988, Carrier & Mittelstraß, 1989, und Dennett, 1991, genannt). Einige Einschränkungen, denen die hier gegebene Darstellung unterliegt, sollen daher vorweg genannt werden: Ihr Ziel liegt darin, die Aufmerksamkeit auf konzeptuelle und methodologische Fragen der Psychophysik zu lenken, ohne daß sie dabei freilich beanspruchen könnte, diese umfassend zu erörtern oder gar zu beantworten. Zudem sollen methodologische Probleme der Psychophysik nur insoweit behandelt werden, als sie unmittelbar mit dem Forschungsparadigma der Psychophysik verknüpft sind. Unter diesem Aspekt erweist sich die erstgenannte Tradition als vergleichsweise einheitlich. Anders die zweite Tradition: Sie ist in ihren theoretischen Perspektiven und Methoden hoch ausdifferenziert und befindet sich in einer dynamischen Entwicklung. Ihre metatheoretischen Probleme reichen weit über die Psychophysik hinaus und sind Gegenstand multidisziplinärer Bemühungen im Kontext der sog. cognitive sciences; diese Tradition kann folglich nur in einigen Grundzügen behandelt werden.

## **1. Der Beginn der Psychophysik**

### 1.1 Die Entstehung der psychophysikalischen Zugangsweise

Die erste psychophysikalische Gesetzmäßigkeit wurde von den Pythagoräern formuliert (vgl. v. Fritz, 1971, S. 47ff.). Sie entdeckten, daß die Länge einer Saite in einem bestimmten Verhältnis zur Tonhöhe steht und eine Verkürzung der Saite auf die Hälfte die Tonhöhe um eine Oktave hebt, unabhängig von der Länge der Saite und ihrer Spannung. Warum es nach dieser Entdeckung mehr als zweitausend Jahre brauchte, bis man sich in systematischer Weise der Untersuchung von Gesetzmäßigkeiten der Wahrnehmung zuwandte, ist angesichts der Entwicklung, welche die Physik im selben Zeitraum genommen hat, eine interessante, doch bislang unbeantwortete Frage der Wissenschaftsgeschichte.

Wissenschaftshistorisch betrachtet nehmen Psychophysik und Physik bei denselben Phänomenen ihren Anfang. Die **Phänomene** und die **perzeptuellen Qualitäten** bildeten bei der Entstehung der Wissenschaften den Ausgangs-

punkt und das Rohmaterial des Theoretisierens. Die Mechanik entstand aus Beobachtungen im Zusammenhang mit der Muskelkraft, die Optik aus Phänomenen des Gesichtsinns, die Akustik aus solchen des Gehörsinns und die Wärmelehre aus Phänomenen der Temperaturempfindung. Ein Verständnis der Welt wurde seit den Vorsokratikern indessen nicht auf der Ebene der Phänomene erwartet, sondern nur auf jener Ebene der dem unmittelbaren Schauen verborgenen einheitlichen Kräfte und Entitäten, welche die tiefere Ordnung hinter den Erscheinungen bestimmen. In der Wahrnehmungswelt sollte sich eine Ordnung im Bereich der Außenwelt zuerst widerspiegeln. Ziel physikalischer Theoriebildung war aber der Aufbau eines Bildes der hinter den Erscheinungen stehenden ‚wahren‘ Welt. Für diesen Aufbau mußte der das ‚Chaos der Erscheinungen‘ ordnende Geist seinen Ausgangspunkt zwar bei den Sinnen nehmen, doch suchte er deren ‚Unzuverlässigkeiten‘ und Eigenheiten zu eliminieren und Regelmäßigkeiten einem physikalischen, d.h. unpersönlichen Objekt zu attribuieren. Die - in den Worten von Max Planck - fortschreitende Ausmerzung des Anthropomorphen aus dem entstehenden Bild einer ‚hinter den Sinnesqualitäten‘ liegenden ‚wahren‘ Welt, die Entstehung eines physikalischen Weltbildes also, verstellte den Blick für die Regelmäßigkeiten, die der menschlichen Wahrnehmung selbst zugrunde liegen. Erst sehr viel später, mit Beginn des neunzehnten Jahrhunderts, entdeckte man, daß dem, was sich aus physikalischer Perspektive als Wahrnehmungsfehler erwies, selbst Gesetzmäßigkeiten unterliegen. Die Korrespondenz zwischen physikalischen Reizen und den durch sie ausgelösten psychischen Reaktionen wurde zu einem eigenständigen, zu einem psychologischen Untersuchungsgegenstand.

Phänomenologisch haben Physik und Psychophysik also denselben wissenschaftshistorischen Ausgangspunkt, epistemologisch unterliegen ihnen - pointiert ausgedrückt - antithetische Betrachtungsweisen, aus denen heraus sie sich als eigentlich theoretische Disziplinen konstituierten. Beginnt die Physik mit der Untersuchung von Invarianzen unter Abstraktion der Wahrnehmung, so beginnt - ausgehend von der Physik - die Psychophysik mit der Untersuchung von Invarianzen der Wahrnehmung unter Abstraktion von den jeweils spezifischen Objekten. Aufgabe der Psychophysik wird es, strukturelle Invarianzen der Wahrnehmung über Variationen physikalischer Größen hinweg aufzufinden und so die Struktur der Wahrnehmung selbst zu erhellen.

## 1.2 Fechners Psychophysik

G.Th. Fechner, auf den zugleich der Forschungsgegenstand dieser Disziplin wie auch ihre Bezeichnung zurückgehen, verstand die Psychophysik als die „exakte Lehre von den functionellen oder Abhängigkeitsbeziehungen zwi-

schen Körper und Seele“ und suchte durch sie den Nachweis zu führen, daß „das Geistige überhaupt quantitativen Verhältnissen unterliegt“ (Fechner, 1860, I, S. 8, S. 55). Zwischen den Erscheinungen unseres Bewußtseins und den ihnen entsprechenden physischen Vorgängen müsse sich eine mathematische Gesetzmäßigkeit feststellen lassen, konstatierte Fechner, durch Spinozas monistische Weltansicht geprägt, 1851 in seinem philosophischen Hauptwerk **Zend-Avesta**. Dort skizzierte er unter der Überschrift **Kurze Darlegung eines neuen Prinzips mathematischer Psychologie** eine solche Gesetzmäßigkeit: Die „im Bewußtsein zu schätzende Intensität geistiger Tätigkeit“ sei nicht von der **absoluten** Änderung des äußeren Reizes abhängig, sondern ihre Änderung sei der **verhältnismäßigen** Änderung des physikalischen Reizes proportional. Mit der Unterschiedsschwelle als „Einheit“ der Empfindung erhält Fechner das (formale) Resultat, daß sich die Empfindung als Logarithmus des physikalischen Reizes darstellen läßt (oder vorsichtiger: daß sie sich durch eine solche Definition bestimmen läßt). Die **Elemente der Psychophysik** von 1860 dienten der eigenständigen Behandlung und Begründung dieses „Prinzips“. Fechner hoffte, dadurch seiner im **Zend-Avesta** entworfenen Weltanschauung eine wissenschaftliche Grundlage geben zu können. Zugleich suchte er aber alle seine Untersuchungen von jeglichen metaphysischen Gesichtspunkten frei zu halten und sie „nur auf den erfahrungsmäßigen Beziehungen zwischen Leib und Seele“ zu gründen (Fechner, 1860, I, S.6). Ein neues Forschungsprogramm, die Psychophysik, war geschaffen, und es wurde zur Keimzelle der experimentellen Psychologie.

„Der Psychologie und Physik schon durch den Namen verbunden, hat die Psychophysik einerseits auf der Psychologie zu fassen und verspricht andererseits, derselben mathematische Unterlagen zu gewähren“ (a.a.O., S. 11). Mit der Psychophysik sollte die Psychologie aus dem wissenschaftlich unfruchtbaren Dickicht philosophischer Fragestellungen, die sich vornehmlich um das Leib-Seele-Problem ranken, herausgeführt und einer rein erfahrungsmäßigen Behandlung zugänglich gemacht werden. Die Psychophysik teilt sich nach Fechner in zwei Bereiche: in das Gebiet der „äußeren Psychophysik“, welche die Beziehungen zwischen den psychischen Phänomenen und den äußeren, physikalischen Reizen behandelt, und das Gebiet der „inneren Psychophysik“, welche die Beziehungen zwischen den psychischen Phänomenen und den inneren physikalischen Vorgängen (d.h. der durch die Reize ausgelösten „psychophysischen Tätigkeit“) untersucht. Die psychophysische Tätigkeit, in modernen Worten: die neurale Codierung, ist die Verbindungskette zwischen Reiz und Empfindung. Die Untersuchung der Abhängigkeit der Empfindung von der psychophysischen Tätigkeit sieht Fechner als die eigentliche Aufgabe der Psychophysik. Doch nur die äußere Psychophysik sei der Erfahrung zugänglich, die Beziehungen der inneren Psychophysik seien aus ersterer zu folgern (Fechner, 1860, II, S. 377ff.). In Fechners Unterscheidung

von innerer und äußerer Psychophysik wird bereits eines der zentralen metatheoretischen Probleme der Psychophysik deutlich: die logische Kluft zwischen neuraler Erregung und Empfindung. Die Ideengeschichte der Psychophysik führt mit mannigfaltigen Beispielen vor Augen, daß scheinbar einfache und in der Alltagssprache vertraute Begriffe, hier der Begriff ‚Empfindung‘, als wissenschaftliche Begriffe ontologische Implikationen haben, durch die man immer wieder in die Aporien des Leib-Seele-Problems, einem Erbe der abendländischen Philosophie, geführt wird. Fechner freilich sah die Psychophysik als einen Weg zur Klärung gerade dieser philosophischen Frage an.

Im Zentrum der Fechnerschen Psychophysik stand der Versuch, „ein Mass der Empfindung“ zu entwickeln. Dazu bedarf es einer Maßeinheit, durch die sich - da wir „Gleichheit im Empfindungsgebiete“ zu beurteilen in der Lage sind - die Stärke einer Empfindung als eine „Summierung eines Soundsovielmal des Gleichen“ (Fechner, 1860, I, S. 56) messen läßt. Dieses Maß braucht nicht selbst im Gebiet des Psychischen zu liegen, denn „es wird niemals möglich sein, eine Empfindung unmittelbar so über eine andere zu legen, dass ein Mass der einen durch die andere erwüchse; aber es kann durch Zuziehung von etwas anderem, woran die Empfindungen so gut geknüpft sind, als die Ausdehnung der Elle an die Materie der Elle, möglich sein, ein Mass der Empfindung zu gewinnen“ (a.a.O., S. 57). Dieses Andere, auf dem sich ein Maß der Empfindung gründen ließe, fand Fechner in der von ihm **Webersches Gesetz** genannten Beziehung. Damit stelle die äußere Psychophysik die Grundlage einer Empfindungsmessung bereit. Es war diese Idee einer Empfindungsmessung, die die weitere Entwicklung der Psychophysik stark beeinflusste und die sich in gewisser Weise verselbständigte. Ein weiteres entscheidendes Konzept war das der Schwelle, das sich schon in Leibniz' und Herbarts Behandlung von Bewußtseinsvorgängen findet. Ihm kam in Fechners metaphysischen Betrachtungen eine besondere Rolle zu, und er wurde grundlegender Baustein seiner Psychophysik. Nach dem Schwellengesetz (s. Fechner, 1860, I, S. 238ff.) schwindet eine Empfindung oder ein Unterschied zwischen Empfindungen nicht erst bei einem Reiz der physikalischen ‚Intensität‘ Null, sondern bereits bei einer bestimmten Reizgröße, der Schwelle. Aus dem Schwellengesetz und aus dem Weberschen Gesetz leitet Fechner sein „Massgesetz der Empfindung“ und seine „Unterschiedsmassformel“ ab, denen zufolge die Größe der Empfindung zu dem Logarithmus der Größe des auf seinen Schwellenwert bezogenen Reizes in Beziehung steht (Fechner, 1860, II, S. 13). Diese Ableitung vollzog sich unter der Voraussetzung der Gültigkeit des Weberschen Gesetz sowie unter der Annahme, daß den ebenmerklichen Reizunterschieden gleiche Empfindungsunterschiede entsprechen, wodurch gleichsam eine Einheit zur Messung der Empfindung ausgezeichnet wird.

Keine dieser Voraussetzungen blieb unwidersprochen. Die grundsätzliche Möglichkeit einer Empfindungsmessung wurde ebenso in Abrede gestellt

(z. B. durch von Kries, 1882) wie die Berechtigung einzelner Teile der Fechnerschen Argumentation. Helmholtz, Mach, Brentano und Hering, um nur die bekanntesten Namen zu nennen, brachten zahlreiche Einwände gegen Fechners Auffassungen vor, denen Fechner in einer Verteidigungsschrift (Fechner, 1877; s. a. 1888) zu begegnen suchte. Die zeitgenössischen Einwände betrafen oftmals konzeptuelle Fragen, die damals wie heute auf die grundsätzlichen Probleme hindeuten, die mit dem Versuch einer ‚Empfindungsmessung‘ verbunden sind. Wie berechtigt mancher Einwand auch gewesen sein mag, die Voraussetzungen einer experimentellen Psychologie, wie sie schließlich durch Wundt institutionalisiert wurde, waren geschaffen. Was die Psychophysik zu dieser beitrug, waren nicht so sehr ihre Fragestellungen, sondern vor allem ihre Methodik.

Der Fechnersche Entwurf einer Psychophysik betraf nicht nur die Frage nach dem quantitativen Verhältnis von physikalischem Reiz und Empfindung, sondern war seiner Intention nach sehr viel umfassender. Die Psychophysik sollte Phänomene der Aufmerksamkeit, Gefühle und Triebe ebenso behandeln wie Träume, Erinnerungs- und Vorstellungsbilder, mit denen sich Fechner (1860, II, S.445ff.) beschäftigte. Fechner sah in der Psychophysik mehr als lediglich eine quantitativ fundierte oder erweiterte Wahrnehmungspsychologie. Ihm ging es um die Möglichkeit einer wissenschaftlichen Psychologie insgesamt. Als experimenteller Wahrnehmungspsychologe hatte er schon, seine methodischen Erfahrungen aus der Experimentalphysik nutzend, im Bereich der Untersuchung von Nachbildern und farbigen Schatten gearbeitet (Fechner, 1838, 1840). In der Psychophysik nun ging es aber um mehr: Ein für allemal sollte die prinzipielle Möglichkeit einer quantitativen Behandlung des Psychischen nachgewiesen und die Psychologie in gleicher Weise einem experimentellen Vorgehen und einer mathematischen Begriffsbildung zugänglich gemacht werden wie zuvor die Physik. Doch Fechner selbst trug dazu bei, daß dieser Entwurf sich zunehmend auf Fragen der Methodik reduzierte und das eigentlich Psychologische in den Hintergrund trat. Der größte Teil seiner Arbeiten zur Psychophysik befaßte sich mit methodischen Fragen; in ihrer akribischen, detaillierten und subtilen Behandlung lag Fechners Stärke, so daß die Psychophysik bald mit ihren Methoden identifiziert wurde (s. Boring, 1942, S. 36) und diese zum eigentlichen Gegenstand der Psychophysik wurden (etwa Müller, 1903). Wie man auch den psychologischen Ertrag der Fechnerschen Psychophysik bewerten mag: Fechners Beschäftigung mit Fragen der Meßbarkeit des Psychischen und mit damit verbundenen Problemen der Behandlung von ‚Meßfehlern‘ initiierte ein Forschungsprogramm, dessen methodische Ergebnisse weit über die Psychophysik hinaus von großem Einfluß waren. Aus so verschiedenen Bereichen wie der Abstrakten Meßtheorie, der Latent-Trait-Testtheorie, der Entscheidungstheorie und der Lerntheorie sind die Konzepte, die auf formale Impulse dieser Tradition zurückgehen, kaum mehr weg-

zudenken. Dieses Forschungsprogramm präzierte die Konzepte der absoluten und der Unterschiedsschwelle und machte sie einer statistischen Behandlung zugänglich; es erfaßte allgemeine Regularitäten des Diskriminationsverhaltens und stellte zahlreiche gut studierte probabilistische Modelle für den Umgang mit Urteilsfluktuationen bereit.

Zu weiteren wissenschaftshistorischen Aspekten des Fechnerschen Forschungsprogrammes sei auf Boring (1950) sowie auf den Sammelband von Brozek & Gundlach (1988) verwiesen. Scheerer (e. g. 1992) behandelt in einer Reihe von Arbeiten die vernachlässigte Ideengeschichte der inneren Psychophysik und macht deutlich, wie sehr deren Voraussetzungen denen einer biophysikalisch orientierten Psychologie ähneln.

## ***2. Vom Status psychophysikalischer Skalen***

Für Fechner bildete noch das Leib-Seele-Problem, das Verhältnis von Innenwelt und Außenwelt, das Ausgangsproblem. Seine Psychophysik jedoch hatte er bewußt hiervon frei zu halten gesucht und die (für ihn als empirisch entscheidbar angesehene) Frage nach der Meßbarkeit des Psychischen gestellt. Mit der Präzisierung sowohl des Meß- wie auch des Größenbegriffs - eine Präzisierung, die immer zugleich auch eine Neubestimmung des jeweiligen Begriffes bedeutet - ist die Kluft zwischen dem so gefaßten Problem und dem philosophischen Kernproblem Fechners zunehmend größer geworden. In der Tat haben die Untersuchungen zur Meßbarkeit die ursprüngliche philosophische Frage Fechners nach der Leib-Seele-Beziehung nicht beantwortet, ja nicht einmal tangiert, und sie können dies auch nicht. Aus einer philosophischen Perspektive mag die Wendung, welche die Fechnersche Frage nach den quantitativen Abhängigkeitsbeziehungen zwischen physischer und psychischer Welt genommen hat, einem Verlust gleichkommen, für die Theorieentwicklung in der Psychologie bedeutet sie jedoch eine wichtige Klärung.

In einem ursprünglichen Sinne suchte Fechner gleichsam introspektiv Empfindungen zu messen und sah die äußere Psychophysik dabei lediglich als einen notwendigen Umweg an. Das Subjekt selbst war der Beobachter, das Objekt der Beobachtung waren die Empfindungen. Die extreme Gegenposition zu dieser Auffassung psychophysikalischer Skalenkonstruktion markierte Stevens: Der Versuchsleiter war der Beobachter, das Objekt der Beobachtung waren Reiz-Response-Beziehungen. Aus dieser Sicht spiegeln psychophysikalische Skalen nicht eine interne, subjektive Entität der untersuchten Person wider, sondern lediglich Regularitäten in der durch bestimmte Instruktionen vermittelten Reaktionen auf physikalische Reize. Modernen Auffassungen zur Skalenkonstruktion hingegen scheint am ehesten die Vorstellung zugrunde zu liegen, daß physikalische Reize Objekte sind, die von einer Person gleichsam

durch die Brille der neuralen Transduktion und anderer sensorischer Mechanismen beurteilt werden. Was bei der psychophysikalischen Skalenkonstruktion das Objekt und was der Beobachter ist, hängt also von der theoretischen und metatheoretischen Perspektive ab, so daß auch bei gleichen formalen Techniken der Skalenkonstruktion die erstellte Skala eine jeweils andere Interpretation erfährt.

So unterschiedlich die genannten Perspektiven auch sind, so ist ihnen doch durch die Bedeutung, die sie der Skalenkonstruktion beimessen, eine Auffassung gemeinsam: nämlich die Psychophysik gleichsam als perzeptuelle Physik anzusehen.

## 2.1 Die Psychophysik als perzeptuelle Physik

Fechners Psychophysik war zwangsläufig durch die physikalische Wissenschaft seiner Zeit geprägt; hinzu kam der Elementarismus, der die Philosophie des Geistigen seit Locke, Berkeley und Hume beherrschte und es naheliegend erscheinen ließ, als Fundament der Psychophysik isolierte eindimensionale Größen der Physik heranzuziehen. So bildeten in der Geschichte der Psychophysik bis in jüngere Zeit die eindimensionalen Größen, die sich zur Beschreibung der Welt im Rahmen einer physikalischen Theoriebildung als fruchtbar erwiesen haben, den Leitfaden zur Konstruktion psychophysikalischer Skalen. Im Mittelpunkt der Psychophysik standen folglich jene perzeptuellen Attribute, die sich als unmittelbares Korrelat physikalischer Größen ansehen lassen; zumeist waren dies intensitäts/energie-korrelierte Attribute wie Lautstärke, Helligkeit, Wärme oder Druckempfindung. Für Fechner bedeutete dies keine wesentliche Beschränkung, denn ihm ging es darum, auf der Grundlage einer einzigen empirischen Gesetzmäßigkeit und gewisser, für ihn plausibler Annahmen den theoretischen Nachweis einer **prinzipiellen Meßbarkeit** des Psychischen zu führen.

Dem Forschungsprogramm der Fechnerschen Psychophysik, wie es später im behavioristischen Gewande von Stevens fortgeführt wurde, liegt vereinfacht folgende Vorstellung zugrunde: Zu den physikalischen Reizen gehören Empfindungsattribute, die in struktureller Hinsicht den physikalischen Dimensionen vergleichbar sind. Diese Empfindungsattribute gilt es unter geeigneten Bedingungen in numerischen Skalen zu erfassen, die sich dann wieder untereinander zu einer Struktur ähnlich der dimensional Struktur der Physik verbinden (vgl. Luce & Krumbhansl, 1988, S.4f.). Daher ist es Ziel dieses Forschungsprogrammes, a) Techniken der Skalenkonstruktion bereitzustellen, b) die Beziehungen dieser Skalen untereinander zu untersuchen und c) ihre Beziehungen zu den entsprechenden physikalischen Skalen zu erfassen.

Die Auffassung, die Psychophysik gleichsam als perzeptuelle Physik zu denken und sich bei der Skalenkonstruktion durch die Größen der Physik leiten zu lassen, ist eng damit verbunden, das Wahrnehmungssystem selbst als eine Art Meßinstrument für physikalische Größen anzusehen und funktionale Aspekte einer adaptiven Kopplung des Organismus an seine Umwelt zu vernachlässigen. Hierauf werden wir in den Abschnitten 3 und 5 zu sprechen kommen. Wenden wir uns zunächst kurz der Frage nach dem Status psychophysikalischer Skalen zu.

## 2.2 Was ‚messen‘ eindimensionale psychophysikalische Skalen?

Das geschilderte Vorhaben bringt eine Vielzahl grundsätzlicher begrifflicher und methodologischer Probleme mit sich: War das Fechnersche Gesetz in ähnlicher Weise von Nutzen wie beispielsweise das Gesetz, das Druck und Volumen miteinander verbindet? Hat man etwa ‚Empfindung‘ gemessen, wenn man physikalische Reize mißt und sie logarithmiert oder potenziert? Oder schaut man bei diesem Versuch stets durch die Brille zumeist verborgener (und oft schwer zu rechtfertigender) theoretischer Annahmen - vergleichbar jenen, die man beispielsweise auch bei der ‚Messung‘ der Konzentrationsleistung durch die physikalische Reaktionszeit machen muß?

Betrachten wir den Status, den eine Aussage der Art „Die Empfindung  $E$  ergibt sich als Logarithmus/Potenzfunktion des physikalischen Reizes  $R$ “ hat. Wird damit ein Gesetz formuliert oder nur eine empirische Regularität, d.h. eine empirische Gesetzmäßigkeit beschrieben? Von einem Gesetz wurden wir nur dann sprechen, wenn die beiden beteiligten Größen  $E$  und  $R$  unabhängig meßbar wären und wenn zudem die durch solche unabhängigen Messungen bestimmte Beziehung gewisse Invarianzeigenschaften hätte. Lassen sich die beiden Größen zwar unabhängig bestimmen, ist jedoch ihre postulierte Beziehung an die Wahl einer bestimmten Skala gebunden, so wurden wir von einer empirischen Regularität sprechen. Beide Fälle kommen indes nicht in Betracht, da wir  $E$  nicht unabhängig messen können (zumindestens gibt es keinen Konsens über ein geeignetes Kriterium hierfür). Eine genauere Betrachtung zeigt, daß wir es bei der obigen Aussage mit einer verkappten **Definition** von  $E$  zu tun haben; dieser Definitionscharakter verbirgt sich hinter der empirischen Relation, der zufolge beispielsweise gleiche Dominanzwahrscheinlichkeiten gleiche Empfindungsdifferenzen bzw. gleiche Zahlenverhältnisse bei der Größenschätzung gleichen Empfindungsverhältnissen entsprechen sollen. Dieses sind willkürliche Setzungen, durch die das Konzept der Empfindung überhaupt erst eingeführt wird. Auf diesem Argument gründete bereits v. Kries (1882) seinen Versuch aufzuzeigen, daß eine eigenständige, fundamentale Messung von Empfindungen prinzipiell nicht möglich sei, sondern

daß hier lediglich eine physikalische Messung zusammen mit einer willkürlichen Konvention vorliege. „Wir können **festsetzen**, dass die eben merklichen Empfindungszuwüchse zu einer ganzen Intensitätsreihe als gleich betrachtet werden sollen. Thun wir dies, so können wir nun eine Anzahl beobachtbarer Thatsachen so ausdrücken, dass wir den Empfindungen ein Wachstum mit dem Logarithmus des Reizes zuschreiben. Aber dieses Gesetz bedeutet, wie man nun sieht, **ohne** jene Festsetzung gar nichts, **mit ihr zusammen** aber nichts weiter als die beobachteten Thatsachen. Wir können auch ebensogut festsetzen, dass Empfindungszuwüchse als gleich gelten sollen, welche gleichen Reizzuwüchsen entsprechen. Dann können wir dieselben Thatsachen so ausdrücken, dass, je stärker die Empfindung wird, um so grösser die eben merklichen Zuwüchse werden. Eines ist so richtig wie das Andere. Es kann sich nur um die Frage handeln, was zweckmäßiger ist“ (a.a.O., S. 276). Seine ausführlichen methodologischen Analysen zum Status psychophysikalischer Skalen schließt von Kries so: „Von einer Messung der Empfindungen kann ebenfalls nur nach einer willkürlichen Festsetzung dessen, was als gleich betrachtet werden soll, die Rede sein. Der Streit, ob die Empfindung mit dem Logarithmus des Reizes wachsen oder dem Reize proportional ist, ist daher keine sachliche Differenz, sondern ein auf Missverständniss beruhender Streit um Worte.“ (a.a.O., S. 294) Zu ähnlichen Schlußfolgerungen kamen später u.a. Falmagne (1985, S.321f.) und Laming (1991).

Der behavioristische Zugang zur Skalenkonstruktion in der Psychophysik scheint auf den ersten Blick von diesem Einwand nicht berührt zu sein, da er gar nicht erst vorgibt, ‚Empfindungen‘ messen zu wollen. Versteht man hier konsequent den Versuchsleiter (statt die Versuchsperson selbst) als Beobachter und die Reiz-Response-Beziehung (statt der Empfindung) als den Beobachtungsgegenstand, so verschwindet in der Tat jede Frage nach dem Status der so erhaltenen Skalen. Mit ihr verschwindet jedoch auch die theoretische Motivation, sich der Untersuchung derartiger Skalen zuzuwenden: Erst die Intuition, daß ‚interne Zustände‘, zu denen die Person selbst Zugang hat und die mit dem physikalischen Reiz zusammenhängen, für die entdeckten Regularitäten verantwortlich sind, könnte aus theoretischer Perspektive das Studium psychophysikalischer Skalen als lohnend erscheinen lassen.

Der Einwand, daß eine eigenständige, fundamentale Messung der Empfindung nicht möglich sei, trifft also gleichermaßen Fechners ‚subjektivistische‘ wie in eher indirekter Weise die behavioristische Interpretation psychophysikalischer Skalen. Daß sich über eine ‚Empfindungsmessung‘ erst auf der Grundlage einer Konvention sprechen läßt, muß jedoch weder notwendig eine eventuelle theoretische Bedeutung noch einen möglichen praktischen Nutzen solcher Skalen ausschließen.

### **3. Die Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung**

Die zuvor beschriebene Tradition der Psychophysik beschäftigt sich typischerweise mit solchen Reizen, die sich durch eine eindimensionale Größe der Physik beschreiben lassen. Dieser Sachverhalt kann geradezu als ein Unterscheidungskriterium dieser Tradition der Psychophysik und der Wahrnehmungspsychologie angesehen werden: Je einfacher und präziser man den der Wahrnehmung zugrunde liegenden Reiz beschreiben kann, um so eher wird man geneigt sein, diesen Untersuchungsbereich der (traditionellen) Psychophysik zuzurechnen; je komplexer eine physikalische Beschreibung des Reizes wird und je schwerer die Wahrnehmungsphänomene mit der physikalischen Reizbeschreibung in Beziehung gesetzt werden können, um so eher wird man von ‚Wahrnehmungspsychologie‘ sprechen. Die (zumeist implizite) Auffassung von der Rolle und Funktionsweise des Wahrnehmungssystems, die jener Tradition der Psychophysik unterliegt, kann als **Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung** bezeichnet werden. Pointiert läßt sie sich so charakterisieren: Das von der ‚Außenwelt‘ auf die Sinnesrezeptoren treffende Energiemuster wird vom Wahrnehmungssystem Punkt für Punkt ‚ausgewertet‘ und führt punktweise zu ‚Empfindungen‘, aus denen sich dann auf ‚höherer Ebene‘ ‚Wahrnehmungen‘ konstituieren. In der Betonung der Punkt-für-Punkt-Auswertung ist diese Konzeption **lokal** orientiert (**global** bedingte Phänomene werden den sog. Kontexteffekten zugerechnet); durch ihre Annahme, daß gleichsam Empfindungsatome die Grundlage der Wahrnehmung bilden, ist sie **atomistisch**. Wir wollen sie daher auch als **lokal-atomistische Konzeption der Wahrnehmung** bezeichnen. Ideengeschichtlich geht diese Konzeption zurück auf die empiristische Tradition von Locke, Berkeley und Hume, in der 1765 Thomas Reid in seinen **Essays on the Intellectual Powers of Man** die einflußreiche Unterscheidung zwischen „sensations“, als dem Rohmaterial der Erfahrung, und „perceptions“, als etwas auf externe Objekte Bezogenes, explizit eingeführt hatte. Diese Unterscheidung, die Bezüge zu der später im logischen Empirismus diskutierten Sinnesdaten-Theorie aufweist, prägte nachhaltig das wahrnehmungspsychologische Denken. Wenn dieser Auffassung zufolge die Empfindung das Primäre ist, das dann durch Aufmerksamkeit, Gedächtnis und andere kognitive Prozesse zur Wahrnehmung umgebildet werde, so könne auch die Psychophysik nur durch ein Verständnis des Einfachen, d.h. der Empfindungen, zu einem Verständnis des darauf aufbauenden Komplexen, d.h. der Wahrnehmungen, gelangen. Diese elementaristische Auffassung von Empfindungen als Grundbausteinen der Wahrnehmung führt in natürlicher Weise zu einer Fokussierung auf den proximalen Reiz, zu seiner Charakterisierung in Termini elementarer physikalischer Größen und zur Konzentration auf entsprechende Primärrezeptoren. Der **lokal-atomistischen Konzeption der Wahrnehmung** zufolge stehen an der Basis des Wahrnehmungssystems gleich-

sam sensorische Meßinstrumente, die das Wahrnehmungssystem über den physikalischen Input ‚unterrichten‘.

Es scheint nur natürlich zu sein, daß aus einer solchen Perspektive die klassische Psychophysik vorrangig von bekannten Größen der Physik ausging, wie Schallenergie, Lichtintensität und Wellenlänge des Lichtes, und deren Beziehung zu den korrespondierenden Empfindungen, wie Lautstärke, Helligkeit und Farbe, untersuchte. Untersuchungsbereiche wie die Bewegungswahrnehmung waren hingegen weniger durch elementaristische Haltungen dieser Art gefährdet, da hier eine lokal-atomistische Konzeption des Reizes auf der Grundlage einer einfachen physikalischen Größe nicht möglich war. Die noch zu behandelnde funktionalistische Psychophysik indessen ist gerade dadurch gekennzeichnet, daß sie den komplexen physikalischen Input erst zu identifizieren sucht, der für eine bestimmte Wahrnehmungsleistung den ‚Reiz‘ konstituiert. (Über den Begriff des **perzeptuellen Codes** lassen sich beide Perspektiven in Beziehung setzen: Der klassische Zugang der skalenorientierten Tradition ist durchaus auch als ein Bemühen zu verstehen, die Form elementarer interner Codes zu bestimmen. Faßt man das wichtige Konzept perzeptueller Codes hinreichend abstrakt, so werden hinter der Verschiedenheit beider Traditionen wiederum aufschlußreiche Gemeinsamkeiten sichtbar.)

Für die Untersuchung der primären Codierung und für die sog. subjektive Sinnesphysiologie, die mit oftmals gleichen Methoden wie die Psychophysik auf eine neurophysiologische Theoriebildung zielt, erwies sich der metaphorische Vergleich der Wahrnehmung mit einem physikalischen Meßinstrument als überaus fruchtbar und brachte u. a. die Young-Helmholtz-Theorie des Farbsehens und die Theorie auditiver Primärcodierung hervor. Sucht man aber Einsichten in die psychologische Struktur des Wahrnehmungssystems zu gewinnen, so erweist sich die Meßinstrumentkonzeption als irreführend; zahlreiche klassische Phänomene legen hiervon Zeugnis ab, wie beispielsweise die virtuelle Polyphonie in der Musikwahrnehmung oder das Phänomen der Farbkonstanz: Würde der mit einer bestimmten Stelle einer visuellen Szene verbundene Farbeindruck nur von der Wellenlängenzusammensetzung des Lichtes abhängen, das von dieser Stelle zum Auge kommt, so müßte sich der Farbeindruck mit der Farbigkeit der Beleuchtung ändern. Tatsächlich bleibt er aber weitgehend konstant (ein Farbdia, mit einem Tageslichtfilm unter Kunstlicht aufgenommen, führt das Ausmaß der physikalischen Änderung vor Augen). Hier zeigt sich, daß die Meßinstrumentkonzeption geradezu den Weg zu einem Verständnis komplexerer psychologischer Wahrnehmungsfunktionen verstellt.

So bildete für eine Hauptströmung der Psychophysik die Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung den Hintergrund, vor dem erst die Konstruktion von Skalen zur zentralen Aufgabe werden konnte. Zugleich jedoch ist die

gesamte Geschichte der Wahrnehmungspsychologie auch die Geschichte einer fortwährenden Auseinandersetzung mit dieser Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung (deren moderne komplexere Variante die algorithmischen Bemühungen im Rahmen einer sog. „inversen Optik“ sind). Fechner selbst (in seinen frühen Arbeiten zu den farbigen Schatten), Mach, Hering, Katz und Gelb haben ebenso auf ihre Unangemessenheit hingewiesen wie die Gestaltpsychologen. Ihre mangelnde theoretische Fruchtbarkeit wurde besonders deutlich mit dem Aufkommen einer funktionalistischen und evolutionstheoretischen Betrachtungsweise in der Psychophysik, welche die Wahrnehmung im Dienste einer komplexen Anbindung des Organismus an seine Umwelt sieht.

#### **4. Die Entwicklung von Theorien und Modellen der perzeptuell-kognitiven Informationsverarbeitung**

Die skalenorientierte Tradition der Psychophysik ging mit ihrer Fechnerschen Grundlegung aus dem philosophischem Unterfangen hervor, mit der Psychophysik zur Lösung des Leib-Seele-Problems beizutragen. Jedoch fand Fechners monistische Philosophie in der sich rein empirisch und antimetaphysisch verstehenden Psychologie keinen Platz - was Fechner selbst am Ende seines Schaffens als tragisch erlebte. Die Psychophysik ignorierte die Intentionen ihres Begründers und verselbständigte sich als Disziplin der experimentellen Psychologie. In den Worten von Stevens (1951, S. 30): „Fechner, like his fellow mystic Pythagoras, advanced a science by trying to prove a theology.“

Doch das Leib-Seele-Problem zog, pointiert formuliert, hundert Jahre nach dem Erscheinen von Fechners **Elementen der Psychophysik** und nach Dekaden einer behavioristischen Abstinenz wieder die Aufmerksamkeit der Psychologie auf sich. Intuitionen ganz unterschiedlicher Forschungsbereiche wie der Informationstheorie, der Kybernetik, der Computerwissenschaften, der Linguistik und der beginnenden kognitiven Psychologie bündelten sich in einer Haltung zum Leib-Seele-Problem, die unter dem Stichwort **Funktionalismus** in unterschiedlichsten Varianten die **sog. cognitive sciences** beherrscht. Putnams (1960/1975) Arbeit **Minds and Machines** markiert in der expliziten Ausgestaltung dieses Standpunktes den Beginn einer mehr als zwei Jahrzehnte vorherrschenden Denkweise, deren Prämissen innerhalb psychologischer Theoriebildung erst durch den jüngeren Konnektionismus eine grundlegende Herausforderung erfuhren.

In einer gängigen Spielart des Funktionalismus werden mentale Zustände als funktionale Zustände aufgefaßt, die wiederum als logische Zustände einer Turing-Maschine definiert werden. (Die Turing-Maschine ist eine idealisierte ab-

strakte Rechenmaschine, die den Begriff der Berechenbarkeit für Funktionen auf Mengen von diskreten Zeichenreihen präzisiert, d.h. Input wie Output sind jeweils als diskret vorausgesetzt. (Siehe Penrose, 1989, für eine nicht-technische Einführung.) Psychologische Eigenschaften, wie Motive, Bedürfnisse, Vorstellungen oder Erinnerungen, können demnach als funktionale Zustände niemals mit physikalischen oder physiologischen Zuständen identifiziert werden. Die These des Turing-Maschinen-Funktionalismus, daß mentale Zustände den logischen Zuständen einer Turing-Maschine entsprechen oder gar mit ihnen zu identifizieren seien, legt die Vorstellung nahe, daß sich Psychisches und Physisches zueinander verhalten wie Software und Hardware. Mechanismen (im Sinne einer Turing-Maschine) perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung lassen sich folglich als eine - zumeist komplexe - Verarbeitung einer spezifischen Input-Information zu einer Output-Information auffassen. Die durch ein solches Input-Operationen-Output-System bestimmten Symbolfolgen oder Codes werden oft Repräsentationen genannt. Zudem wird angenommen, daß sich jeder komplexe Verarbeitungsprozeß in eine zeitliche Abfolge einfacherer Verarbeitungsprozesse zerlegen läßt. **Representation** und **Computation** bilden damit zentrale Begriffe dieses Paradigmas perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung. So klar und fest die formalen Grundlagen, auf denen dieses Paradigma gründet, auch zu sein scheinen: Die Versuche einer Übertragung entsprechender Konzepte in die Psychologie sind begleitet von zahlreichen begrifflichen Kontroversen. Zum einen erweist sich die Unterscheidung dessen, was als Software und was als Hardware anzusehen ist, so unmißverständlich sie auf den ersten Blick scheinen mag, als fließend und nur relativ zu den jeweiligen Forschungsintentionen formulierbar (s. Kalke, 1969). Auch widersetzt sich bislang der häufig als semantisch charakterisierte Informationsbegriff, der sich auf Information **über etwas** bezieht und nicht lediglich ein quantitatives Maß der Unsicherheitsreduktion ist, einer präzisen Fassung. (Als Beispiele für die umfangreiche Literatur hierzu seien genannt Putnam, 1988, Penrose, 1989, sowie die Sammelbände Graubard, 1988, und Mohyeldin Said et al., 1990.)

Das Paradigma interner Informationsverarbeitung entfaltete sich innerhalb der Psychologie zunächst im Bereich jener Phänomene, die man als prototypisch für intelligentes Verhalten ansah, wie Denken, Problemlösen, Planen, Entscheiden, Konzeptbildung, Sprache und Gedächtnis. Hier legen unsere Intuitionen über Denkprozesse nahe, daß die beteiligten mentalen Prozesse sich in der Art einer kognitiven Informationsverarbeitung auffassen oder zumindest modellieren lassen. Die Leistungen hingegen, die unser Wahrnehmungssystem (ebenso wie das sensumotorische System) erbringt, sind einer solchen Introspektion nicht zugänglich und erscheinen uns einfacher und müheloser vorstatten zu gehen als kognitive Leistungen. Daß jedoch diese Intuition für die Komplexität der resultierenden Theoriebildung ein irreführender Hinweis

ist, zeigt sich beispielsweise darin, daß sich die subjektiv als schwierig empfundene Leistung intelligenten Schachspielens so viel leichter modellieren läßt als die als mühelos erlebte Leistung, Schatteninformation von Informationen über die Objektremission zu trennen. (Allgemein wird man natürlich die Schwierigkeit der Ausübung einer perzeptuell-kognitiven Tätigkeit nicht als Maßstab der Schwierigkeit ihrer theoretischen Modellierung verwenden wollen.) Diese Einschätzung könnte dazu beigetragen haben, daß in der kognitiven Psychologie eine Überbetonung des Kognitiven zu Lasten des Perzeptuellen in einem perzeptuell-kognitiven Gesamtzusammenhang zu erkennen ist. Indem die kognitive Psychologie die klassische Trennung von Wahrnehmungs- und Denkprozessen nicht nur beibehielt, sondern noch vertiefte, erschwerte sie lange Zeit die Einsicht, in wie komplexer Weise Wahrnehmungs- und Denkprozesse miteinander verwoben sein müssen (vgl. Shepard, 1984; Pylyshyn, 1984; Smolensky, 1988). Besonders dadurch, daß im Bereich der **Künstlichen Intelligenz** (KI) mit den Forschungen zur Erstellung künstlicher Wahrnehmungssysteme (**artificial perception**) deutlich wurde, daß den Leistungen des Wahrnehmungssystems hochgradig komplexe ‚intelligente‘ Prozesse zugrunde liegen müssen, wurde die Psychophysik, wenn auch in neuer Gestalt, zu einem zentralen Bereich der Kognitionswissenschaft.

Im Paradigma der perzeptuell-kognitiven Informationsverarbeitung wird die Wahrnehmung als ein Prozeß gesehen, der durch eine Abfolge von Verarbeitungsstufen gekennzeichnet ist, durch welche der proximale Reiz sukzessive in eine abstrakte und mit dem distalen Reiz verbundene interne Repräsentation transformiert wird. Dabei ist vor der Frage, wie etwas erreicht wird, die Frage zu stellen, was eigentlich erreicht werden soll. Die Aufgaben und Ziele, die mit einer bestimmten Wahrnehmungsleistung verbunden sind, müssen also zunächst bestimmt werden, bevor untersucht werden kann, auf welche Weise das Wahrnehmungssystem aus dem verfügbaren Input die jeweilige Leistung erbringen kann. Globale und funktionale Aspekte der Wahrnehmung rücken folglich in den Vordergrund. Am einflußreichsten wurde diese Auffassung in der Marrschen Variante (Marr, 1982): Aus der Sicht des Funktionalismus durchaus naheliegend, trennte Marr in idealisierter Weise drei Analyseebenen: **computational theory**, **algorithmic representation** und **hardware implementation**. Die Aufgaben der Psychophysik beziehen sich Marr zufolge vorrangig auf die Ebene der **computational theory**. In dieser sucht man für eine spezifische Leistung des Wahrnehmungssystems in präziser Weise Ziele und Strategien des Systems zu formulieren. In dem oben genannten Beispiel der Farbkonstanz besteht die Leistung des Wahrnehmungssystems darin, aus dem auf das Auge treffenden Licht den Effekt der Beleuchtung gleichsam wieder herauszurechnen und so den Farbeindruck stärker an die Remissionscharakteristik eines Objektes, d.h. gleichsam an seine ‚wirkliche‘ Farbe, zu binden. Aufgabe der Psychophysik ist neben einer Beschreibung des sensorischen Input

und einer Charakterisierung der erbrachten Leistung, relevante Beobachtungen bereitzustellen, aus denen sich interessante Randbedingungen für die Erstellung einer formalen **computational theory** ergeben. Die internen Größen derartiger Theorien sind zumeist, anders als in der skalenorientierten Tradition der Psychophysik, nicht direkt perzeptuell oder kognitiv faßbar; sie beziehen sich etwa auf Gradienten, Ortsfrequenzfilter, Autokorrelationsmuster oder Zerlegungen von Farb-Codes in solche für Lichteigenschaften und solche für Objektremissionen.

Auch wenn sich die Grenzziehung zwischen den drei Ebenen bereits konzeptuell als sehr viel weniger scharf erweist, als Marr dies postulierte (vgl. Kalke, 1969), und sie bei der Untersuchung des Wahrnehmungssystems umso mehr verschwimmen müssen, je komplexer und umfassender die betrachteten Wahrnehmungsleistungen werden, so hat diese Unterscheidung doch die konzeptuelle Klärung damit verbundener Probleme angeregt. Wichtiger noch ist jedoch aus Sicht der Psychophysik, daß die Erstellung von **computational theories** zu isolierten Wahrnehmungsleistungen etwa im Bereich der Bewegungswahrnehmung, der Farbkonstanz, der Texturwahrnehmung und des Stereosehens zu wichtigen neuen Einsichten in Wahrnehmungsprozesse und zugleich zur Entwicklung neuer Arten von Experimenten führte.

Mit der ‚computistischen‘ Wende erreicht die Psychophysik ein anderes Stadium der Theorieentwicklung: Sie differenziert sich entsprechend den verschiedenen Bereichen aus, und die scheinbare Einheitlichkeit der frühen psychophysikalischen Theoriebildung weicht einer Vielzahl spezieller, hoch ausdifferenzierter Theorien in eng umschriebenen Phänomenbereichen. Anders als die skalenorientierte Tradition der Psychophysik, deren Bedeutung für die komplexere Wahrnehmungspsychologie als eher marginal erachtet wurde, wird die neue, ‚computistische‘ Psychophysik zu einem wesentlichen Bestandteil der Kognitionswissenschaft. Zugleich behauptet sie nicht nur ihre Unabhängigkeit gegenüber der Neurophysiologie, sondern erhält in der Marrschen Unterscheidung dieser gegenüber eine epistemologische Priorität bei der Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung. Daß der Psychophysik aus der Perspektive des Funktionalismus eine prinzipielle Bedeutung innerhalb der Kognitionswissenschaft zukommt, erklärt jedoch noch nicht, warum sie sich im Paradigma perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung als so erfolgreich erweist. Dieses Paradigma erst bot einen theoretischen und methodologischen Rahmen, in dem sich alte Intuitionen einer komplexen und funktionalistischen Psychophysik, wie sie sich neben der skalenorientierten Tradition entwickelt hatten, fruchtbar machen ließen. (Der Begriff **Funktionalismus** ist mit vielfach verschiedenen und sich gelegentlich kreuzenden Bedeutungen belegt. So ist auch die funktionalistische Perspektive in der Psychophysik zunächst unabhängig von dem oben genannten Funktionalismus und bezieht sich darauf, das Wahrnehmungssystem von seinen adaptiven Aufgaben und

Funktionen im Wechselspiel Organismus-Umwelt her zu verstehen; nur in diesem Sinne sei das Attribut ‚funktionalistisch‘ im folgenden verwendet.) In der Sprache der Informationsverarbeitung zeigten sich die in der funktionalistischen Tradition bereitgestellten und vorher schwer zu präzisierenden Intuitionen plötzlich als machtvolle Heuristiken bei der Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung.

Es bleiben dennoch einige Vorbehalte zu nennen: Im neuen Paradigma der Psychophysik wurde es beinahe selbstverständlich, sich das perzeptuell-kognitive System als ein informationsverarbeitendes zu denken und es in einer entsprechenden theoretischen Sprache zu behandeln. Doch anders als bei der Theoriebildung über Denkprozesse scheint sich in der Psychophysik der Schritt von einer Beschreibung und Simulation dieser Prozesse als Prozesse der Informationsverarbeitung zu der Auffassung, daß diese Prozesse tatsächlich Prozesse der Informationsverarbeitung **sind**, nur schwer rechtfertigen zu lassen. Das Wahrnehmungssystem findet nämlich keineswegs ‚Informationen‘ vor, sondern macht gleichsam aus einem Input erst Information. Dabei setzt der inhaltliche bzw. semantische Informationsbegriff für ‚Sender‘ und ‚Empfänger‘ eine Art gemeinsamen Gegenstandsbereich, d.h. etwas Vorstrukturiertes, voraus, über das informiert wird; das Wahrnehmungssystem konstruiert aber diesen Gegenstandsbereich (etwa Kanten, Flächen, Objekte) erst aus dem Input (und muß dazu gleichsam bestimmte ‚Vorannahmen‘ über diesen Gegenstandsbereich machen). Die Übertragung theoretischer Vorstellungen aus dem Denkbereich in den Wahrnehmungsbereich wird noch problematischer, wenn man Denkprozesse mit dem Begriff der Turing-Maschine in Zusammenhang bringt: Anders als im Bereich des sprachgebundenen Denkens, wo der Idee einer derartigen diskreten Symbolverarbeitung eine gewisse Plausibilität zuzukommen scheint, ist die Angemessenheit eines solchen Bildes in der Wahrnehmungspsychologie fragwürdig. Denn man wird kaum den Input in das Wahrnehmungssystem als diskrete Zeichenreihen betrachten wollen; auch spricht auf verschiedenen Ebenen des Wahrnehmungssystems einiges für die Annahme analoger Prozesse. Schließlich steht die Annahme stetiger Codes in der Psychophysik in einem gewissen, wenn auch nicht notwendigerweise unüberbrückbaren Spannungsverhältnis zu einer Turing-Maschinen-Konzeption der Wahrnehmung. Jedoch ist eine solche Konzeption nicht notwendiger Teil von **computational approaches** in der Psychophysik: Verfolgt man einen stetigen Ansatz, so ist für die Berechenbarkeit nur wichtig, daß es einen physikalischen Prozeß gibt, der etwas in gleichsam analogischer Weise realisiert.

Grundsätzlicher ist jedoch der Einwand, daß sich biologische Systeme, sei es die Leber, das Immunsystem oder das Wahrnehmungssystem, die sich im Verlaufe der Evolution physico-chemisch gerade so herausgebildet haben, daß sie spezifische Aufgaben erfüllen, nicht in einem tieferen Sinne als symbolische Repräsentationen in einem informationsverarbeitenden System charakterisie-

ren lassen, auch wenn sie auf theoretischer Ebene als solches Input-Output-System rekonstruierbar sind (vgl. Searle, 1984; Ramachandran, 1990, S. 23f.)

## **5. Von der Meßinstrumentkonzeption zu einer funktionalistischen Perspektive**

### 5.1 Das Problem der Reizbestimmung

In der Psychophysik wie auch in anderen Wissenschaften erweisen sich die am einfachsten erscheinenden Fragen oftmals als die hintergründigsten und schwierigsten. So ist es auch mit der Frage nach dem Reiz. Hängt die Definition des Reizes von der Bestimmung dessen ab, was als ‚Reizempfänger‘ angesehen wird? Verhält es sich nicht so, daß wir ohne Kenntnis der Funktionsweisen und Aufgaben des Organismus nicht wissen, was ein Reiz ist, und ohne Charakterisierung dessen, was einen Reiz konstituiert, Funktionen oder Aufgaben des Organismus nicht bestimmen können? Ist die Definition des Reizes somit verschieden, je nachdem, ob man am Gesamtorganismus, am Rezeptor, an einem bestimmten ‚Mechanismus‘ des Wahrnehmungssystems etc. interessiert ist? Ist ein Reiz in Termini der physikalischen Objektwelt zu charakterisieren oder in Termini der auf den Rezeptor treffenden Energie? Hängt die Definition des Reizes mit Aufgaben und Zielen des Wahrnehmungssystems zusammen oder mit Transduktionseigenschaften der Sinnesorgane? Ist das zweidimensionale retinale Bild der Reiz oder das dreidimensionale Objekt? Sind in der Tonpsychologie die Einzeltöne, die Melodie, der Akkord oder die zeitlichen Intervalle zwischen den Tönen der Reiz? Sind physikalische Eigenschaften, die vom Organismus nicht unterschieden werden können, verschiedene Reize oder nur ein Reiz, sind also metamere Lichter verschiedene oder identische Reize? Fragen dieser Art lassen sich ohne Mühe in verschiedenen Bereichen der Psychologie stellen (und Gibson, 1960, zeigt an einer Auswahl von Definitionen auf, wie groß die begriffliche Unklarheit hierüber tatsächlich ist). So erstaunt es nicht, wenn Stevens (1951, S. 31) konstatiert: „In a sense there is only one problem of psychophysics, namely, the definition of the stimulus.“

Die skalenorientierte Tradition der Psychophysik trivialisierte gewissermaßen durch die Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung das Problem der Bestimmung des Reizes, indem sie einfache Größen der physikalischen Theorie, wie Schallenergie und Lichtintensität zugleich auch als Reize betrachtete, die einer psychophysikalischen Theoriebildung zugrunde zu legen seien. Warum aber sollten sich die Größen, die bei der Entwicklung einer **physikalischen** Theoriebildung als nützlich erwiesen, auch bei der Konstruktion von Theorien über das Wahrnehmungssystem als entscheidend erweisen? Sicherlich verspra-

chen sie, in der Sinnesphysiologie eine lohnende Ausgangsbasis für Transduktionsprozesse, d.h. Prozesse primärrezeptoraler Codierung zu sein. Die Psychophysik jedoch muß erst die physikalische Beschreibung der Situation, die dem Wahrnehmungssystem bestimmte Leistungen ermöglicht, schrittweise mit dem Verständnis dieser Leistung gewinnen. (Erst als mit der formalen Analyse des Problems der Farbkonstanz deutlich war, daß nicht einfach Punkt-für-Punkt die Wellenlängenzusammensetzung des zum Auge kommenden Lichtes den Reiz bilden konnte, bezog man komplexere physikalische Eigenschaften der Szene in die Definition des Reizes mit ein.) Nicht elementare Größen der Physik intern abzubilden wird hier als Aufgabe der Sinne gesehen, sondern eine angemessene Orientierung des Gesamtorganismus in seiner physikalischen Umgebung zu gewährleisten. Hier wird das elementaristische Mißverständnis der klassischen Psychophysik mit der Einsicht überwunden, daß physikalisch beschreibbar nicht heißt, elementaristisch, d.h. im Sinne der Meßinstrumentkonzeption beschreibbar zu sein.

## 5.2 Psychophysik aus physikalistischer vs. funktionalistischer Perspektive

Neben dem skalenorientierten Forschungsprogramm hatte sich in der Psychophysik ein weiteres entwickelt, in dem man **spezifische** Funktionsweisen und Leistungen des Wahrnehmungssystems zu verstehen und in geeigneten Theorien und Modellen zu erfassen suchte. Auch diese Tradition nahm ihren Ausgangspunkt bei Fechner, nämlich in seinen Arbeiten zur binokularen Integration von Helligkeiten, zu farbigen Schatten und Nachbildern sowie zu Gemeinsamkeiten des bildhaften Vorstellens mit dem Wahrnehmen. Doch band sich diese in gewisser Weise **mechanistische** Tradition, die sehr eng an den spezifischen Besonderheiten des jeweiligen Wahrnehmungsbereiches orientiert blieb, zunehmend an die Sinnesphysiologie an; zugleich grenzte die Psychologie aus einem neuroreduktionistischen Mißverständnis heraus große Teile der damit verbundenen Forschungsfragen aus der Psychologie aus. So entstand bereits in der Anfangszeit der Psychophysik zwischen einer physikalistisch und einer psychologisch orientierten Perspektive eine sich stetig vergrößernde Kluft. Durch ihre enge Anbindung an Physik und Physiologie konnte die physikalistische Tradition ihre Befunde in das naturwissenschaftliche Weltbild einbinden, der psychologischen Tradition einer komplexen Psychophysik fehlte indes eine geeignete ‚Sprache‘, die sie für eine Theoriebildung hätte heranziehen können und durch die sie ihre Einsichten hätte fruchtbar machen können. Erst das Paradigma perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung bot eine solche ‚Sprache‘ an. In der nun möglichen Neuformulierung klassischer Fragen läßt sich das, was gegenüber den scheinbar härteren

Daten der Neurophysiologie zumeist als bloße qualitative Phänomenologie geringgeschätzt wurde, als oftmals entscheidender Baustein der jeweils spezifischen Theorie perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung betrachten.

Mit dem zunehmenden Einfluß evolutionstheoretischer Betrachtungsweisen im vergangenen Jahrhundert gewann auch die funktionalistische Perspektive in der Psychophysik an Bedeutung. Deutlich trat sie bei Ernst Mach und Ewald Hering hervor und fand durch Karl Bühler, Fritz Heider und Egon Brunswik Eingang in die Wahrnehmungspsychologie. In der Gibbonschen Variante erfuhr sie schließlich ihre umfassendste Ausgestaltung, bevor sie in das Paradigma perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung integriert wurde.

### 5.3 Internalisierte Regularitäten in der Wahrnehmung

Beim Versuch der Bestimmung des Reizes stand ein Problem im Vordergrund, das bereits in der Gestaltpsychologie im Zentrum stand und zudem in analoger Weise in der Erkenntnistheorie (vgl. Quine, 1969) eine große Rolle spielt: das Mißverhältnis zwischen dem mageren Input und der erbrachten Leistung. Betrachten wir als Beispiel folgende experimentelle Situation: Versieht man in einem vollständig abgedunkelten Raum ein Rad (dessen Konturen nicht sichtbar sind) in seinem Zentrum mit einem kleinen Lichtpunkt und läßt es an der Stirnseite des Raumes entlang rollen, so sieht der sich auf der gegenüberliegenden Raumseite befindende Beobachter einen sich auf einer Geraden bewegenden Lichtpunkt. Bringt man nun an der Peripherie des Rades einen weiteren Lichtpunkt an, so sieht der Beobachter nicht etwa neben dem eine Gerade beschreibenden Lichtpunkt einen weiteren, sich auf einer Epizykloiden bewegenden Lichtpunkt, sondern er sieht ein sich drehendes Rad. Der Organismus sieht hier also ‚mehr‘, als ihm physikalisch an visueller Stimulierung angeboten wird, nämlich statt der Überlagerung zweier sich bewegender Lichtpunkte ein sich drehendes Rad. Er sieht gleichsam etwas in die physikalische Situation hinein.

Wenn wir von ‚mehr sehen‘, ‚etwas hineinsehen‘ sprechen, so sind dies freilich nur aus der Sicht des Experimentators bequeme Sprechweise, da ihnen ein naives Bild unterliegt, das wir explizit machen müssen. Was bedeutet es denn, **nicht** ‚mehr‘ zu sehen? Der Vergleichsmaßstab dieses ‚Mehr-Sehens‘ ist ein fiktives veridikales und unmittelbares Sehen der physikalischen Situation. Nur wenn man sich dieses naiven Bildes bedient, ist es verwunderlich, daß der Organismus in einer bestimmten Situation ‚mehr‘ sieht. Die Verwunderung stellt sich erst ein, wenn das Sehen anders als erwartet ist. So ist das naive Bild hilfreich, weil es in dieser Situation das Selbstverständliche des Sehens in Frage stellt; es zeigt - und ohne die Physik vorauszusetzen, gäbe es keine Möglichkeit, sich überhaupt Gedanken hierüber zu machen -, daß das ver-

meintlich Einfache gar nicht einfach ist und daß wir auch im ‚Normalfall‘ nicht verstehen, wie wir wahrnehmen. Bleibt man indes auf die Täuschung fixiert, und somit dem naiven Bild verhaftet, so verstellt man sich den Blick für die Frage, was eigentlich Wahrnehmen im ‚Nicht-Täuschungsfall‘ bedeutet. Die Verwunderung über die ‚Täuschungen‘ der Wahrnehmung verbirgt, daß die Wahrnehmung im ‚Normalfall‘ in keiner Weise weniger verwunderlich und erklärungsbedürftig ist als im ‚Täuschungsfall‘. Man erinnere sich nur an die Tatsache, daß wir feinere räumliche Unterschiede aufzulösen vermögen, als es dem Durchmesser eines einzelnen Rezeptors entspricht (*sog. hyperacuity*): Würde man hier von einer Täuschung sprechen wollen?

Von einem funktionalistischen Standpunkt könnten wir formal von einer Underdeterminiertheit der Wahrnehmung durch die physikalische Reizsituation sprechen. Zu diesem theoretischen Aspekt lassen sich auf empirischer Seite Phänomene aus den verschiedenen Bereichen der Wahrnehmungspsychologie in Beziehung setzen, die auf oftmals drastische Weise eine solche Unterbestimmtheit vor Augen führen. Korrespondierend dazu zeigen die formalen Analysen im Bereich *artificial perception*, daß ein künstliches Sehsystem nicht allein durch einen aprioristisch-universellen *bottom up approach* erstellt werden kann, auch wenn dieser in überraschender Weise weiter führt als man erwartet hatte (Marr, 1982). Die mit der physikalischen Reizsituation konsistente Klasse möglicher Interpretationen muß durch implementierte Restriktionen reduziert werden, damit überhaupt eine angemessene ‚Interpretation‘ des Input erfolgen kann. Ein künstliches Sehsystem, das die Welt ‚sehen‘ soll, muß bereits - dies belegen die formalen Analysen sehr deutlich - von spezifischen physikalischen Regularitäten, die im Zusammenhang mit den jeweiligen Wahrnehmungsleistungen auftreten, Gebrauch machen.

Doch in welcher Weise kann der Organismus über eine solche verfügen? Was ermöglicht dem Organismus, sich auf der Basis eines scheinbar so mageren sensorischen Inputs so schnell, so sicher und angemessen in seiner Umwelt zurechtzufinden? Jeder Versuch, das Wesen der Wahrnehmung zu erfassen, somit Wahrnehmungspsychologie und Psychophysik zu betreiben, führt zurück auf diese grundlegende Frage. Die Intuition, daß da mehr sein muß, als sich ‚dem Auge enthüllt‘, finden wir folglich allenthalben in der Wahrnehmungspsychologie; sie ist, mal mehr, mal weniger explizit, in unterschiedlichster Weise ausgestaltet. Hierzu gehören Helmholtz’ „unbewußte Schlüsse“, die so „blitzschnell“, „genau“ und „sicher“ sind, daß sie mit den „schwerfälligen“ gedanklichen Schlußfolgerungen „nicht im Entferntesten verglichen werden können“; ihnen unterliegen, so Helmholtz, „angeborene, und durch die Organisation des Menschen selbst wesentlich bedingte Verknüpfungen von Vorstellungen“ (Helmholtz, 1855, 1894). In besonderer Weise hat Mach sich mit diesem Problem befaßt; es durchzieht viele seiner psychologischen Arbeiten. Mach hat sehr klar die entwicklungsgeschichtlichen Beziehungen zwi-

schen der Struktur der ‚Außenwelt‘ und der Struktur des Wahrnehmungssystems erfaßt: „Man könnte sagen die Netzhaut **schematisirt** und **karriert**. Die teleologische Bedeutung dieses Processes ist für sich klar. Er ist ein Analogon der Abstraction und der Begriffsbildung.“ (Mach, 1868, S. 19; siehe auch Mach, 1911/1985, S. 178). Auf das gleiche Problem bezogen finden wir bei Hering die Annahme von durch die Evolution in zweckmäßiger Weise angelegten „Wechselwirkungen im somatischen Sehfeld“. Hering verglich die Reaktionen des Organismus mit der Resonanz eines Klaviers, das „nicht bloß abhängt von den Schwingungen der Saiten, welche der Schlag direkt trifft, sondern auch von der Resonanz des ganzen Instrumentes“ (Hering, 1920, S.210). Entsprechend führe auch ein äußerer Reiz zu einer „Resonanz unseres ganzen Sensoriums“. Der Organismus hat sich im Kontakt mit seiner physikalischen Umwelt so entwickelt, daß sich ihm deren Gesetzmäßigkeiten eingeschrieben haben; daher reichen vergleichsweise minimale ‚Informationen‘, die ein ‚Mitschwingen‘ seiner ‚Kenntnisse‘ über die physikalische Welt hervorbringen, für eine angemessene Wahrnehmung.

Die Frage, was der Organismus der sensorischen Reizung bei der Wahrnehmung hinzufügt, ruckte bei den Gestaltpsychologen in den Mittelpunkt. Sie nahmen an, daß der Organismus durch angeborene neurale Strukturen global und in gestalthafter Weise auf einen Reiz reagiert. Der Aspekt der Koppelung des Organismus an seine Umwelt trat dabei jedoch zugunsten einer internen relationalen Analyse des Reizes in den Hintergrund. Die Gestaltpsychologie gleicht der klassischen Psychophysik darin, daß sie sich nur mit dem Organismus beschäftigte, nicht aber mit seiner Beziehung zur natürlichen Umwelt; so wurden zwar interne Organisationsweisen entdeckt, diese jedoch überwiegend auf der - wenn auch gegenüber der klassischen Psychophysik komplexer gewordenen - Reizebene beschrieben. (Diese Beschränkung hat sicherlich dazu beigetragen, daß die Gestaltpsychologie später zunehmend in Verruf geriet, doch trug hierzu auch eine oftmals nur noch deskriptive, atheoretische Orientierung und eine bisweilen dunkle Gestaltmetaphorik bei.)

Gegen die gestaltpsychologische Position wurde der ‚funktionalistische‘ Aspekt der Reize, ihre Bedeutung für den Organismus, insbesondere durch Bühler, Heider, Brunswik und Gibson hervorgehoben. Heider (1926) suchte in seiner wichtigen Arbeit **Ding und Medium** aufzuzeigen, in welcher Weise Wahrnehmungs- und Denkprozesse durch die Struktur der physikalischen Welt bestimmt sind. Er spricht von der „Umweltgemäßheit des Wahrnehmungssystems“, die „nur durch eine Berücksichtigung der weiteren Umwelt verständlich wird“ (Heider, 1930, S. 371ff.). „Dingkonstanz“ und die Beziehung von „Wahrnehmung und Gegenstandswelt“ bilden dann die Kernkonzepte für Brunswiks „probabilistischen Funktionalismus“. Jeder proximale Reiz - ein retinales Bild beispielsweise - ist demnach nur mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit ein korrekter Indikator für einen bestimmten Aspekt der

„Außenwelt“. Der Organismus nutze daher die in einem komplexen Reiz vorhandenen Beziehungen und gewichte diese nach ihrer „ökologischen Validität“, d.h. nach ihrer Wahrscheinlichkeit, mit der sie für einen Aspekt der Außenwelt stehen. (Dies veranschaulicht Brunswik, 1934, S.97, durch sein „Linsenmodell“.) Das Wahrscheinlichkeitslernen, als dessen Resultat erst der Organismus von uneindeutigen Reizkonstellationen zu „ökologisch validen“ Wahrnehmungen gelangen kann, sei zu einem großen Teil im Verlaufe der Evolution erfolgt und dem Wahrnehmungssystem fest eingeschrieben. Dennoch wiesen Wahrnehmung und Denken eine große Ähnlichkeit auf. Brunswik nennt die Wahrnehmung „ratiomorph“, er sieht Wahrnehmung und Denken als „analoge Funktionen“, als „mit grundsätzlich gleichen Mitteln“ arbeitend an. „Wahrnehmung und Denken dienen beide der gleichen Aufgabe des Organismus: der Erkenntnis der Umwelt.“ (Brunswik, 1934, S.224; vgl. Shepard, 1982) Wo das Denken auf die individuelle oder sprachlich vermittelte Erfahrung angewiesen ist, hat die Wahrnehmung durch die Evolution des Organismus in seiner Umwelt „gelernt“; wo das Denken flexibel, doch langsam ist, ist die Wahrnehmung stereotyp, aber schnell. Hier erinnern wir uns wieder an Helmholtz' Beschreibungen, und tatsächlich könnte man Brunswiks Theorie als eine Ausformulierung der Helmholtzschen Theorie „unbewußter Schlüsse“ lesen.

Eine weitere Antwort auf die eingangs gestellte Frage gibt Gibson. Ihm zufolge liegen alle zur Orientierung des Organismus in seinem Umfeld benötigten Invarianzen im proximalen Reiz; sie sind keine Zutat des Organismus. Setzt man die beiden vagen, intuitiven Konzepte der ‚Invarianzen‘ und der ‚Gestalten‘ miteinander in Beziehung, so läßt sich Gibsons Auffassung als komplementär zur gestaltpsychologischen ansehen. Diese lokalisierte die Invarianzen vollständig im Organismus. Untersucht man, worin eigentlich der Unterschied zwischen den Sprechweisen „Die Invarianzen liegen im proximalen Reiz“ und „Der Organismus analysiert sie aus diesem heraus“ besteht, so wird deutlich, daß hier zwei Bilder aufeinanderstoßen, die in der Sache auf möglicherweise nicht so Verschiedenes hindeuten, wie sie suggerieren mögen. Im übrigen zeigen sich die Unterschiede in der theoretischen Perspektive auch hier wieder deutlich in der Auswahl des Reizmaterials. Die Gestaltpsychologen haben, das metaphorische Bild eines ‚Hinzufügens‘ betonend, das Reizmaterial so ausgewählt, daß der Effekt des ‚Hinzufügens‘ maximal wird, während er bei Gibsons Reizmaterial kaum auffällt. Auch bei Gibson bestimmt nicht das retinale Bild, sondern die „optische Situation“ (**Optical array**) die Wahrnehmung. In ihr seien Invarianzen enthalten, die nahezu perfekt mit dem distalen Objekt verbunden sind. Diese Invarianzen wurden durch einen aktiven Organismus erkundet und zur Orientierung benutzt; der Organismus zeige eine Resonanz auf die für ihn wichtigen Invarianzen. Wie der Organismus diese Invarianzen bestimmt und auswählt, bleibt in dieser Theorie eigen-

artig vage (Gibson betrachte, so Denett, 1984, das visuelle System als „wonder tissue“), ebenso die Konzepte des „information pick up“ und der „affordances“ (vgl. Ullman, 1980; Koenderink, 1980; Fodor & Pylyshyn 1981). In den letzten Jahren hat sich jedoch eine Reformulierung Gibsonscher Positionen im Paradigma perzeptueller Informationsverarbeitung als fruchtbar erwiesen (s. Marr, 1982; Shepard, 1984).

Die Intuition, daß die Wahrnehmung durch die physikalische Reizsituation gewissermaßen unterdeterminiert ist, durchzieht also die Geschichte der Psychophysik, und alle Versuche einer Antwort beruhen in der einen oder anderen Weise auf der Vorstellung, daß die fehlenden Bindeglieder durch interne Restriktionen des Organismus bereitgestellt werden (vgl. Sloman, 1983; Shepard, 1987). Aus dieser Perspektive läßt sich pointiert die Wahrnehmung als ein inputkontrolliertes Halluzinieren auffassen: Der sensorische Input gleicht einem „Stichwortgeber“, der für ein wesentlich durch interne Strukturen bestimmtes komplexes Geschehen eine stabile Anbindung an die biologisch relevante physikalische Umwelt garantiert. In diesem Zusammenspiel von Inputstruktur und interner Struktur für spezifische Wahrnehmungsleistungen die jeweiligen Anteile auszumachen ist Aufgabe der Psychophysik. Ihr Ziel, interne Restriktionen experimentell zu entdecken und ihre Struktur zu erhehlen, läßt sich am Beispiel der Arbeiten von Reuman & Hoffman (1986), Ramachandran (1990) und Anstis (1991) verdeutlichen.

In der KI-orientierten Wahrnehmungsforschung finden sich in diesem Zusammenhang entsprechende Intuitionen: Versucht man nämlich, die Leistungen der visuellen Wahrnehmung im Rahmen künstlicher Sehsysteme zu simulieren, so lassen sich der jeweilige physikalische Input und die spezifische erbrachte Leistung zumeist nur dann durch eine mathematische Theorie, eine **sog. computational theory**, in Beziehung setzen, wenn die Kluft zwischen Input und Output, die sich als Uneindeutigkeit der Lösung zeigt, durch empirisch angemessene Zusatzannahmen hinreichend reduziert werden kann. Sieht man in dieser Weise die Wahrnehmung metaphorisch als eine Art idealisiertes Rechenproblem, so stellt sich die Frage nach den Zusatzannahmen, durch die sich erst aus dem sensorischen Input gleichsam rückwärts (**inverse optics**) die einer Szenenrepräsentation zugrunde liegenden Codes bestimmen lassen (vgl. Poggio, 1990). Eine solche Auffassung der visuellen Wahrnehmung als „inverse Optik“ stellt eine komplexe, funktionalistisch gefärbte Variante der Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung dar und wird kaum eine fruchtbare Heuristik für die wahrnehmungspsychologische Theorienbildung darstellen können. Beispielsweise bietet sie, wie jede Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung, keinen Raum für eine natürliche Behandlung einer zentralen theoretischen (nicht jedoch phänomenalen) Eigenschaft der Wahrnehmung, die sich mit ‚Vagheit‘ oder ‚Unbestimmtheit‘ nur unzureichend umschreiben läßt. Es ist wenig plausibel, als Basis des Wahrnehmungseindrucks ein kom-

plexes Gewebe von **präzisen** Codes und **eindeutigen** Szenendesignatoren anzunehmen, auf denen dann ‚auf höherer Ebene‘ kognitive Aufmerksamkeits- und Entscheidungsprozesse operieren. Schon für frühe Stufen der internen Codierung finden sich Hinweise, daß sich, metaphorisch gesprochen, das Wahrnehmungssystem ‚fast überall‘, d.h. mit Ausnahme eines kleinen Szenenausschnitts, in seinen Interpretationen soweit eben möglich nicht festlegt (selbst im Fokus der Aufmerksamkeit kann sich eine solche Vagheit erhalten, wie etwa eine Betrachtung von Objektfarben unter chromatischer Beleuchtung zeigt). Dadurch kann es seine Interpretation schnell, flexibel und angemessen an neue Evidenzen anpassen, wie sie durch Szenenänderungen bereitgestellt oder durch aktives Suchen gewonnen werden. Ein solcher Schwebeszustand muß jedoch in dem Sinne optimiert werden, daß eine Art Voreinstellung in Richtung der momentan jeweils ‚wahrscheinlichsten‘ Interpretation erfolgt; die Bandbreite möglicher Interpretationen wird dabei, so ist anzunehmen, durch weitere Restriktionen eingeschränkt, wie sie sich etwa aus der Forderung einer globalen Konsistenz der Szeneninterpretation sowie aus verschiedenen Arten von Stetigkeitsannahmen ergeben. Daß sich Konzepte dieser Art der theoretischen Aufmerksamkeit so lange entziehen konnten, scheint auf phänomenaler Ebene mit der Geschlossenheit und Stabilität des Wahrnehmungseindrucks, auf theoretischer Ebene mit der Schwierigkeit einer angemessenen Präzisierung derartiger Intuitionen zusammenzuhängen (zur Vagheit siehe jedoch James, 1890, S. 254).

Ungeachtet solcher Vorbehalte ergibt sich zwischen formalen Analysen KI-orientierter Wahrnehmungspsychologie und der Psychophysik ein interessantes Wechselspiel: Die Psychophysik kann zum einen die psychologische Angemessenheit einer solchermaßen erstellten Theorie untersuchen und wird oftmals durch diese Analysen zu neuen Arten von Experimenten angeregt. Auf der anderen Seite bilden die experimentellen Befunde der Psychophysik die Grundlage, auf der sich erst Ideen über die Art jener spezifischen Bedingungen gewinnen lassen, die dem Wahrnehmungssystem seine besonderen Leistungen ermöglichen.

## 5.4 Was ist ein Reiz?

In der genannten Beschreibung stellen sich also die Ziele einer funktionalistisch orientierten Psychophysik als ganz verschieden von denen einer skalenorientierten Psychophysik dar: Anders als diese gründet jene ihre Theoriebildung über eine Wahrnehmungsleistung zunächst auf einer Aufgabenanalyse der betrachteten Wahrnehmungsfunktion. Wie der physikalische Reiz zu charakterisieren ist, auf Grund dessen eine bestimmte Wahrnehmungsleistung erfolgt, ist nicht von vornherein vollständig festgelegt, sondern wird erst durch

experimentelle und theoretische Untersuchung des Zusammenwirkens von verfügbarem Input und internalisierten Restriktionen sukzessive bestimmt. Steht die Reizdefinition in der skalenorientierten Psychophysik am Anfang der Untersuchung, so bildet sie in der funktionalistischen Psychophysik geradezu den Abschluß der Theoriebildung.

Die Definition des Reizes ist somit theorieabhängig. Auch bei gleichem Reizmaterial kann sie je nach theoretischer Perspektive ganz verschieden ausfallen; so lassen sich etwa die bekannten Balkenmuster (spatial frequency gratings) einerseits im Rahmen eines merkmalsorientierten Modelles durch eine Kombination von Ecken, Linien und Kanten beschreiben oder aber im Rahmen eines Filter-Modelles durch die Ortsfrequenzkomponenten ihrer Fourier-Zerlegung. Im allgemeinen können wir sagen, daß die Neurophysiologie primär an einer Beschreibung des Reizes in den üblichen physikalischen Dimensionen interessiert ist - worin ihr die klassische Psychophysik gleicht -, während die funktionalistische Psychophysik eine solche Beschreibung von den ‚intentionalen‘, aufgabenbezogenen Aspekten her versucht. (Der Begriff des Reizes, der in seiner Verwandtschaft mit dem der Reizung noch seine sinnesphysiologische Herkunft erkennen läßt, wandelt sich in der funktionalistischen Perspektive zu dem des Input.) Eine aufgabenbezogene Reizbeschreibung kann natürlich wieder in eine in weiterem Sinne physikalische, d.h. nicht mit symbolischen, rein kognitiven Prozessen zusammenhängende Charakterisierung münden, sofern die mit bestimmten Zielen und Aufgaben des Wahrnehmungssystems verbundenen Objekte und Prozesse der Umwelt entsprechend der Abstraktionsleistung des Wahrnehmungssystems durch ihre Invarianten beschreibbar sind.

Aus dieser Perspektive erfahren auch die Kontroversen um ökologische vs. reduzierte Reize eine neue Bewertung. Das Attribut ‚ökologisch‘ läßt sich nämlich nicht nach der Plausibilität des Augenscheines den Reizen zuschreiben, sondern allein relativ zu einer Theorie über die betrachtete Leistung. Reize, die jene physikalischen Invarianten enthalten, die für die spezifische Leistung eines Wahrnehmungsmechanismus vorhanden sein müssen, können dem vor-theoretischen Augenschein nach überaus reduziert erscheinen, bezogen auf die Anforderungen des Mechanismus jedoch gleichsam ökologisch sein. Dies wird besonders deutlich, wenn man ethologische und neuroethologische Aspekte mit einbezieht, da sich aus dieser Perspektive ein dem Konzept des Schlüsselreizes analoges Konzept formulieren läßt (Mausfeld, 1993). Dieses bezieht sich aber nicht mehr, wie das des Schlüsselreizes, auf ein vom Gesamtorganismus erbrachtes Verhalten, sondern auf das Verhalten eines (idealisierten) Mechanismus. Nicht, wie bei Gibson, möglichst reichhaltige ökologische Reize konstituieren dann das Reizmaterial, sondern reduzierte Reize, die jedoch gerade so reichhaltig sind, daß sie die physikalischen Invarianten enthalten, die den betrachteten Mechanismus, etwa der Farbkonstanz (vgl. Mausfeld & Niederée, 1993), zu der ihm eigenen Leistung anregen.

Die Extraktion der für die Anpassung an die Umwelt geeigneten physikalischen Invarianten kann man aus evolutionstheoretischer Perspektive als das eigentliche Ziel des Wahrnehmungssystems sehen. So natürlich eine solche Auffassung auch erscheinen mag, so sind doch die hinter dem Begriff der Invarianten verborgenen Intuitionen nur schwer präzisierbar. Zwar läßt sich dieser Begriff rein mathematisch bestimmen als das, was unter einer bestimmten Gruppe von Transformationen invariant bleibt, womit die Invariante gleichsam ein abstraktes Objekt konstituiert; doch verlagert dies in der Psychophysik das Problem lediglich auf die Frage, was geeignete Transformationen sind. Wir wollen dennoch versuchen, den Invariantenbegriff zu erhellen, indem wir die Äquivalenzklassenbildung perzeptueller Codes betrachten. Haben wir nämlich geleitet durch eine Aufgabenanalyse eines perzeptuellen Mechanismus eine Idee über seine mögliche Funktionsweise und dieser postulierten Funktionsweise entsprechend eine vorläufige Präzisierung des Reizes gewonnen, so haben wir zugleich festgelegt, was äquivalente Reize sind. Die formale Bestimmung des Reizes führt uns zu dem wichtigen Konzept der Äquivalenzklassenbildung durch das Wahrnehmungssystem: Unterschiedliche physikalische Reize können nämlich bezogen auf den erbrachten Output eines Mechanismus denselben perzeptuellen Effekt haben. Bekanntestes Beispiel hierfür ist die Metamerie in der Farbwahrnehmung, wo physikalisch unterschiedliche Energieverteilungen über das Spektrum zu perzeptuell ununterscheidbaren, d.h. metameren Farben führen können. In anderen Fällen, etwa der Bewegungswahrnehmung, kann dies nicht mehr in so elementarer Weise explizit gemacht werden, da hier die Beschreibung des physikalischen Reizes ungleich schwieriger ist. Doch bezieht sich auch in diesen wie in anderen Bereichen eine wichtige Klasse von Experimenten auf die Frage, über welche interessanten physikalischen Transformationen des Inputs der Output konstant bleibt (als Beispiel siehe Ratliff & Sivovich, 1978). Dieser Gedanke läßt sich in natürlicher Weise durch den von Krantz (Suppes, Luce, Krantz, Tversky, 1989, S.257) entwickelten Begriff des perzeptuellen Codes präzisieren. Vereinfacht gesagt ist ein solcher Code eine reellwertige Funktion auf den physikalischen Reizen mit der Eigenschaft, daß zwei Funktionswerte dann gleich sind, wenn die untersuchten perzeptuellen Attribute gleich sind. Da sich eine Äquivalenzklassenbildung auf jeder Ebene des Wahrnehmungssystem findet, ist es insbesondere auf höherer Ebene zweckmäßig, die Äquivalenzklassenbildung statt auf physikalischer Ebene auf der Ebene der internen Codes zu beschreiben. Beispielsweise läßt sich das sog. Urgelb, d.h. ein Gelb, das weder rötlich noch grünlich erscheint, physikalisch als Äquivalenzklasse von Energieverteilungen beschreiben oder auf der Ebene von Codes durch den Nullpunkt des sich durch eine Linearkombination von Grassmann-Codes ergebenden Rot-Grün-Codes.

Setzt man auf diese Weise das aus einer funktionalistischen Betrachtungsweise wichtige Konzept der Invariantenbildung mit dem Konzept eines abstrakten

perzeptuellen Codes in Verbindung, so läßt sich das Ziel psychophysikalischer Theoriebildung als die Bestimmung und Untersuchung der für bestimmte Wahrnehmungsleistungen verantwortlichen perzeptuellen Codes und ihrer Beziehungen charakterisieren. Eine solche Betrachtungsweise fügt sich in die neurophysiologische Auffassung (e.g. Barlow, 1985, 1992), der zufolge der Cortex gleichsam durch ein allgemeines ‚Datenformat‘ charakterisiert ist, durch das erst eine intermodale sensumotorische Integration, Aufmerksamkeitssteuerung, Wissensrepräsentation, etc. gewährleistet wird. Statt der zumeist eindimensionalen Codes der klassischen Psychophysik werden bei der Analyse derartiger Leistungen des perzeptuell-kognitiven Systems ‚höherstufige‘ Codes mit einer hinreichend reichhaltigen internen Struktur im Vordergrund der Theoriebildung stehen (vgl. v.d. Malsburg, 1986).

## 5.5 Die Psychophysik in ihrem Verhältnis zur Neurophysiologie und subjektiven Sinnesphysiologie

Psychophysik und Sinnesphysiologie haben historisch, mit Fechner, Helmholtz, Mach, Hering u. a., einen gemeinsamen Ausgangspunkt. Während sich jedoch die Sinnesphysiologie als biologische Disziplin mit den sich ausdifferenzierenden Methoden der Anatomie und Neurophysiologie weitgehend kumulativ entwickelte - freilich unter zunehmender Ausgrenzung von Problemen komplexerer Wahrnehmung, wie sie noch von Helmholtz und Hering untersucht worden waren -, unterlagen Psychophysik und Wahrnehmungspsychologie vielfältigen Paradigmenwechseln mit sich jeweils ändernden Auffassungen darüber, was eigentlich den Gegenstandsbereich und die Grundfragen einer Psychologie der Wahrnehmung ausmache. Die eigenständige Berechtigung einer Wahrnehmungspsychologie gegenüber einer sich rasch entwickelnden Sinnesphysiologie wurde vielfach auf der Grundlage eines kranken Neuroreduktionismus bezweifelt; in der Folge zog sich die Psychologie lange Zeit weitgehend aus der Wahrnehmungspsychologie zurück.

Die grundsätzliche logische Lücke, die zwischen dem Verhalten eines Neurons und einer - dazu in Beziehung gesetzten - Leistung des Organismus klafft, gestaltet die Beziehung von Neurophysiologie und Psychophysik sowie allgemeiner das Problem des Neuroreduktionismus äußerst subtil. Was nämlich lehren Eigenschaften des neuralen Substrates über die Funktion und in welcher Weise läßt sich umgekehrt aus Eigenschaften der Funktion auf solche des neuralen Substrates schließen? Welche perzeptuelle Bedeutung soll man einzelnen Zellen beimessen, die unter bestimmten Bedingungen eine Spezifität für Helligkeit, Farbe, Disparität, räumliche oder zeitliche Frequenzen etc. zeigen? Der Wunsch, neurophysiologischen Befunden auf jeder Ebene des Wahrnehmungssystems eine perzeptuelle Bedeutung zu geben, scheint auch damit

zusammenzuhängen, daß man hofft, dadurch umgekehrt für entsprechende psychophysikalische Befunde eine ‚Erklärung‘ verfügbar zu haben. Darin zeigt sich eine Variante des in Abschnitt 6.2 behandelten mechanistischen Erklärungsbegriffes: Ein Wahrnehmungsphänomen gilt erst dann als verstanden, wenn man glaubt, die für dieses Phänomen verantwortlichen neuronalen Mechanismen gefunden zu haben. Diese oder ähnliche Haltungen finden sich in Varianten des Neuroreduktionismus; als Beispiel sei Churchland (1986) angeführt. Fragen eines Neuroreduktionismus bilden ein wichtiges metatheoretisches Problemfeld der Psychophysik, das sie mit der Psychologie teilt, in der diese Fragen oftmals versteckter auftreten. Vor ihrer Erörterung stellen sich Fragen wie: Ist ein metaphysischer Neuroreduktionismus gemeint, im Sinne einer letztendlichen Reduktion der Psychophysik auf die Neurophysiologie? Oder die These der Reduzierbarkeit auf eine Neurophysiologie, wie sie sich beim gegenwärtigen Stand ihrer Theoriebildung zeigt? (Die Geschichte der Gestaltpsychologie zeigt die Gefahren, die eine zu frühzeitige Orientierung psychophysikalischer Forschung an der zeitgenössischen Neurophysiologie birgt.) Wird für die Neurophysiologie wiederum eine Reduzierbarkeit auf die Physik behauptet, und wurde sich daraus auch ein physikalistischer Reduktionismus für die Psychophysik ergeben? In welchem Sinne will man jeweils Reduzierbarkeit verstehen?

Neuroreduktionistischen Perspektiven steht entgegen, daß aus prinzipiellen Gründen wenig Hoffnung besteht, die durch die Neurophysiologie bereitgestellten Kenntnisse über die lokale Codierung könnten zu einem tiefergehenden Verständnis der globalen Leistungen und der funktionalen Aspekte des Wahrnehmungssystems führen (e.g. Putnam, 1973). Anti-reduktionistischen Perspektiven zufolge können neurophysiologische Daten keine ‚Fundierung‘ psychophysikalischer Theorien leisten, sondern sie können diese ergänzen und somit zu umfassenderen Modellen biologischer Informationsverarbeitung führen, wobei aber die psychophysikalische Theorie als solche unabhängig von einer spezifischen hardware-Realisierung ist. Als Beispiel für eine solche Haltung sei Fodor (1974) angeführt: „There are no firm data for any but the grossest correspondence between types of psychological states and types of neurophysiological states, and it is entirely possible that the nervous system of higher organisms characteristically achieves a given psychological end by a variety of neurophysiological means. If so then the attempt to pair neurophysiological structures with psychological functions is foredoomed. Physiological psychologist of the stature of Karl Lashley have held precisely this view“ (Fodor, 1974, S.105). Nach einer solchen Auffassung können die entscheidenden ‚Strategien‘ und die ‚Logik‘ des Wahrnehmungssystems nur auf physico-phänomenologischer Ebene, d.h. auf der Ebene der Psychophysik studiert werden.

Unabhängig von den mit neuroreduktionistischen Programmen verbundenen metatheoretischen Kontroversen, die wesentlich mit unterschiedlichen Auf-

fassungen über den Erklärungsbegriff verbunden sind, geht wissenschaftsgeschichtlich betrachtet die Psychophysik der Neurophysiologie voraus: Die Neurophysiologie der Wahrnehmung bedarf der Psychophysik als eines Leitfadens ihrer Forschungsorientierung, worauf gerade Neurophysiologen vielfach hingewiesen haben (e. g. Barlow, 1983, S. 11). Psychophysikalische Einsichten und Befunde zu globalen Wahrnehmungsleistungen haben der Neurophysiologie seit jeher in entscheidender Weise als Forschungsheuristiken gedient.

## **6. Theorien in der Psychophysik**

### 6.1 Metaphern, Heuristiken und Metaprinzipien der Theoriebildung

Glaukt man, beim Prozeß wissenschaftlicher Theoriebildung streng zwischen ideengeschichtlichen Ursprüngen und psychologischer Entstehung einerseits und logischer Rekonstruktion andererseits eine klare Trennung ziehen zu können, so wird man Metaphern, ebenso wie Heuristiken, in den exakten Wissenschaften lediglich dem Entstehungszusammenhang wissenschaftlicher Theorien zuordnen, keineswegs jedoch ihrem Begründungszusammenhang. In einer reifen Wissenschaft dienen Metaphern dann lediglich dem Zwecke didaktischer Veranschaulichung. Daß jedoch eine solche Trennung sehr viel weniger klar ist, als man sie sich in dem Bemühen um eine Rechtfertigung und Fundierung wissenschaftlicher Tätigkeit erhoffte, hat die jüngere Wissenschaftstheorie vielfach deutlich gemacht. Interessiert man sich nämlich weniger für die Entwicklung von aprioristischen Vorschriften und Normen wissenschaftlicher Tätigkeit, sondern lenkt den Blick auf die komplexen dynamischen Prozesse, aus denen heraus erfolgreiche wissenschaftliche Theorien entstanden sind, so erscheint die Untersuchung der Rolle von Metaphern in diesem Prozeß mehr zu sein als ein psychologischer Nebenaspekt.

Ohne Metaphern scheint Sprache geradezu undenkbar zu sein (nur innerhalb eines metaphorisch als formale ‚Sprache‘ charakterisierten Kalküls werden Metaphern zwangsläufig eliminiert). Das vorwissenschaftliche, mythische Denken wird wesentlich durch Gleichnisse und Bilder bestimmt, und in dem Maße, wie mit dem wissenschaftlichen Denken Sprache als Mittel der Erkenntnis betrachtet wird, bildet sie das Vehikel, durch das Unterschiedliches verglichen und nach Ähnlichkeit gebündelt wird. Die sprachliche Form des Vergleichens erlaubt erst die wissenschaftliche Begriffsbildung. Sie führt beispielsweise zu Gattungs- und Artbegriffen und läßt so das Spezifische unter dem Schema des Typischen sehen. Im Fortgang der Wissenschaften mußte sich die Sprache auf Bereiche ausdehnen, die sich dem Denken neu erschlossen und für die ein

angemessenen Vokabular nicht bereitstand. (In der Physik ist in Begriffen wie Kraft, Widerstand, Welle oder Naturgesetz die metaphorische Ausdehnung der Sprache deutlich zu erkennen.) In der Übertragung der Sprache auf neue Bereiche stiftet sie dort neuartige Beziehungen und vermag so, den Bereich dessen, worüber sie redet, wiederum zu erweitern. Dieser Prozeß läßt sie selbst jedoch nicht unverändert: Sie paßt sich gewissermaßen den erschlossenen Bereichen an. Die Übertragung eines als klar empfundenen Begriffs oder Konzeptes auf etwas Unklares, Unfertiges ist die Quelle wissenschaftlicher Theorieentwicklung. In den Möglichkeiten einer solchen Übertragung, d.h. in ihren Metaphern liegt somit die Reichhaltigkeit und das schöpferische Potential einer wissenschaftlichen Sprache. Gleichzeitig stellt die Existenz ebendieser Metaphern aber auch eine Schwäche und Gefährdung der theoretischen Sprechweise dar. Metaphern vermögen Leitbild und Irbild zugleich zu sein, worüber im vorhinein zumeist schwerlich zu urteilen ist.

Metaphern treten also in den Wissenschaften in ganz unterschiedlichem Gewande auf (s. Mac Cormac, 1976, sowie den Sammelband von Ortony, 1979), und ihre Bedeutung für eine Theorie kann von einer psychologisch-heuristischen Beiläufigkeit bis zu einer theoriekonstitutiven Kernidee reichen. Der letzte Fall ist von besonderem Interesse, da er einer Auffassung, die bis auf Aristoteles zurückgeht, widerspricht, daß nämlich eine Metapher eine Benennung ist, die eigentlich etwas anderes bedeutet und durch wörtlichen Gebrauch des eigentlich Gemeinten auflösbar ist. Wie aber steht es mit metaphorischen Sprechweisen wie der Überzeugung Platons, das Buch der Natur sei in mathematischen Lettern geschrieben, oder Vorstellungen, wie sie einer Geometrisierung und Mechanisierung des Weltbildes unterliegen? Wie steht es mit der Vorstellung, der menschliche Geist sei eine Turing-Maschine, ein informationsverarbeitendes System oder dergleichen? Was wurde es in solchen Fällen bedeuten, metaphorische Sprechweisen in wörtlich Gemeintes zu übersetzen? Offensichtlich stoßen wir hier auf Metaphern, die so fest mit einer Theorieperspektive verwoben sind, daß sie diese geradezu konstituieren und nicht durch eine nicht-metaphorische Sprechweise substituiert werden können. Auf solche Metaphern werden wir im folgenden das Augenmerk richten, ohne dabei zwischen der metaphorischen und der analogen Art des Vergleichens eine scharfe Grenze zu ziehen.

Die älteste Metapher der Psychophysik entstammt der Alltagssprache: das Konzept der Schwelle. Durch die Leibnizsche Trennung von *perceptio* und *apperceptio* vorbereitet wurde der Schwellenbegriff von Herbart in die Psychologie eingeführt: verstanden als Schwelle, die Bewußtes und Unterbewußtes trennt. Bei Fechner wandelte sich dieser Begriff; die Schwelle, bestimmt als der „Punct, wo die Mercklichkeit eines Reizes oder eines Reizunterschiedes beginnt und schwindet“ (Fechner, 1860, I, S.238), wurde einer empirischen Bestimmung zugänglich gemacht. Über diese Metapher hinaus ist die Psycho-

physik selbst historisch geradezu aus einer Metapher hervorgegangen, steht doch Fechners Übertragung des Bernoullischen Nutzenbegriffs auf Empfindungsskalen, die zudem in Analogie zu physikalischen Skalen gedacht sind, an ihrem Anfang.

Ebenfalls sehr alt ist eine Metapher, die ihrerseits ihren Ursprung in der Psychologie hat. Sie drückt sich in dem Versuch aus, die Wahrnehmung in Konzepten und Attributen des Denkens zu beschreiben. Mit seinem Konzept „unbewußter Schlüsse“ hat Helmholtz als erster in expliziter Weise denkpsychologische Begriffsweisen auf die Wahrnehmung übertragen. Von ihr als einem ratiomorphen Vorgang, einem Hypothesentesten oder einem Inferenzprozeß zu reden, ist seitdem innerhalb mancher Theorievorstellungen selbstverständlich geworden und wird durch das Paradigma der Informationsverarbeitung in besonderer Weise nahegelegt. Wir sind auf diese Metapher in Abschnitt 5.3 ausführlich zu sprechen gekommen.

Eine weitere sehr alte Metapher hängt mit Vorstellungen einer Mechanisierung des Geistes zusammen. Eine ideengeschichtliche Entwicklung, die mit Leibniz, La Mettrie und Hobbes ihren Ausgang nahm und im gegenwärtigen Paradigma der Denk- und Wahrnehmungspsychologie, sei es kognitivistisch oder konnektionistisch, kulminiert, bildet den Hintergrund für eine der einflußreichsten Metaphern in der Geschichte der Psychologie: die Metapher des Geistes als eines Computers oder eines informationsverarbeitenden Systems. Mit dem Begriff des Mechanismus ist vor allem die Vorstellung von etwas Regelmäßigem verbunden, das konkrete Mechanismen ebenso einschließt wie einen Kalkül. Für Leibniz bedurfte jedes Denken notwendigerweise der Zeichen und war somit als symbolischer Prozeß in einem normativen Sinne durch einen Kalkül charakterisierbar (vgl. Webb, 1980; Krämer, 1991). Die materialistische Lesart eines gesetzmäßigen Wirkens des Geistes verkörperte die Auffassung von La Mettrie, der im Verlaufe seiner Untersuchungen zur Frage, ob der Mensch eine Maschine sei, über die Natur der Denkvorgänge bemerkte: „Ich halte das Denken für so wenig unvereinbar mit der organisierten Materie, daß es mir geradezu eine ihrer Eigenschaften zu sein scheint“ (La Mettrie, 1748/1988, S.87). So liegt der Gedanke nicht fern, den abstrakten Kalkül des Denkens material zu realisieren zu suchen: Seit dem 17. Jahrhundert wird das menschliche Denken von dem Wunsch beherrscht, sich selbst in Form von Denkmaschinen technisch zu reproduzieren (zur Ideengeschichte siehe Vartanian, 1953, insbes. S. 203ff.).

Sieht man in dieser Weise den Geist als eine Funktion der organisierten Materie an, so liegt es nahe, sich seine Funktionsweise in Analogie zu bereits Bekanntem vorzustellen. Wie das Herz einer Pumpe gleicht und die Niere einem Filter, so gleiche der menschliche Geist: einem Uhrwerk, einem durch Triebe bestimmten hydrodynamischen System, einem Relaisystem, einem

Nachrichtenübermittlungssystem, einem kybernetischen Regelsystem, je nach Verfügbarkeit technischer Analogien. Das in der Natur Vorgefundene erscheint uns verständlicher, wenn wir es mit etwas von uns Erstelltem vergleichen. Doch während in der Tat der Vergleich des Herzens mit einer Pumpe den wesentlichen Mechanismus beschreibt, scheint das perzeptuell-kognitive System so einzigartig zu sein, daß uns passendere technische Bilder fehlen.

Heute wird vielfach angenommen, daß mit der Verfügbarkeit des Konzepts der Turing-Maschine und dem Aufkommen des Funktionalismus ein neues Bild für die Funktionsweise des Geistes bereit steht. In einem folgenschweren Abstraktionsschritt wurde nun die ‚Mechanik des Geistes‘ nicht mehr material, sondern funktional bestimmt: Das perzeptuell-kognitive System wurde als informationsverarbeitendes System aufgefaßt, und man spricht von Inputs, die sich in einer zeitlichen Abfolge von Verarbeitungsschritten durch Operationen der Symbolmanipulation zu jeweiligen Outputs transformieren. Der Entwurf dieses neuen Bildes über die Arbeitsweise des menschlichen Geistes geht zwar der eigentlichen Konstruktion von digitalen Computern voraus (Craik, 1943), Doch mußte allein die Existenz des Computers eine vollständig andersartige Theorie geistiger Prozesse nahelegen. Man begann nun, in mentalistischer Weise über interne Verarbeitungsprozesse von Computern zu reden und ihnen interne Zustände zuzuschreiben: die Alltagssprache wirkt hier metaphorisch auf einen technischen Bereich zurück. Dies könnte zu der Annahme verführen, daß sich durch diese Verknüpfung auch den entsprechenden Sprechweisen in Theorien über Wahrnehmungs- und Denkprozesse ein gesichertes Fundament geben ließe. Begriffe wie ‚Denken‘ und ‚Sehen‘ erhalten aber ihre Bedeutung erst durch Bezüge zu anderen psychologischen Ausdrücken und Prädikaten, welche sich nicht zuletzt auch auf Denk- und Wahrnehmungserfahrungen beziehen. Keinesfalls wurde man bei einem Fotoapparat von ‚Sehen‘ sprechen wollen, und auch bei einem Roboterauge, das den Sensorinput in ‚intelligenter‘ Weise weiterverarbeitet, kann man nicht anders als in metaphorischen Sinne von ‚Sehen‘ reden.

Die einer solchen Perspektive der Informationsverarbeitung zugrunde liegende Metapher ist als theoriekonstitutive Metapher (Boyd, 1979) so fest mit dem theoretischen Gegenstand, auf den sie zielt, verwoben, daß sie nicht durch eine nicht-metaphorische Sprechweise ersetzt werden kann. Um ihre Bedeutung und ihren Status ranken sich einige der bedeutendsten metatheoretischen Kontroversen der Kognitionswissenschaft (siehe etwa Lucas, 1961; Searle, 1984; Putnam, 1988; Penrose, 1989). Während einige den metaphorischen Charakter der genannten Sprechweisen gänzlich bestreiten und sie als eine testbare empirische Hypothese zur Natur geistiger Prozesse (etwa Pylyshyn, 1984, S. 55, 1989) verstehen, sehen andere in ihnen lediglich eine Art Beschreibungsinstrument, das neue Heuristiken bereitstellt und so die Forschung sti-

muliert (vgl. Daugman, 1990); auch können bestimmte Metaphern eine Metamorphose von Instrumenten zu Theorien erfahren (vgl. Gigerenzer, 1988).

Es ist kaum verwunderlich, daß die Metapher perzeptueller Informationsverarbeitung, in all ihren unterschiedlichen Varianten, die gegenwärtig bedeutendste und umfassendste Metapher der Theoriebildung in der Psychophysik ist, denn: „In der Wahrnehmungsforschung spiegelt sich die zeitgenössische Technik“ (Kohler, 1957). Wie kein Leitbild zuvor hat sie neue Forschungsstrategien eröffnet, sich ausdifferenziert und expliziert und selbst auf den Bereich, dem sie entstammt, zurückgewirkt. Sie hat, der Aufgabe einer Metapher entsprechend, unsere theoretische Sprache zur Erfassung neuer Phänomenbereiche erweitert und vielleicht, aus der Sicht eines wissenschaftlichen Realismus, zu einer „accomodation of language to the causal structure of the world“ (Boyd, 1979, S. 358) beigetragen.

Einen ebenso mächtigen Einfluß entfaltet eine der Evolutionsbiologie entlehnte Perspektive: die adaptationistische bzw. evolutionistische Metapher. Dieser Metapher zufolge lassen sich bestimmte Eigenschaften von Wahrnehmungsmechanismen dadurch erklären, daß im Verlaufe der Evolution eine optimale Anpassung an spezifische Anforderungen der Umwelt erfolgt ist (vgl. Gould & Lewontin, 1984, S.256; Dennett, 1983). Daß hier die theoretischen Einheiten weder Gene noch Gesamtorganismen sind, sondern Teilfunktionen des Wahrnehmungssystems, deutet darauf hin, daß es sich hier tatsächlich um eine eher metaphorische Anwendung biologischer Sprechweisen handelt - die zudem auch in der Evolutionsbiologie explikationsbedürftig sind. Als zentrale Metaphern der Psychophysik haben sich die Metapher perzeptueller Informationsverarbeitung und die evolutionistische Metapher überlagert und vermischt. In ihrem Gefolge kehrten teleologische Sprechweisen in die wissenschaftliche Sprache zurück: Von Zielen und Funktionen des Wahrnehmungssystem zu reden läßt sich oftmals rechtfertigen als elliptische Redewendungen über nicht-teleologische Erklärungen oder in bestimmten Fällen auch als ein Sprechen über Eigenschaften sog. selbstorganisierender Systeme. Teleologische Sprechweisen sind oftmals eine bequeme Façon de parler einer **externen** Zuschreibung einer Als-ob-Teleologie: Sie sind ein theoretisches Mittel, gleichsam ‚von außen‘ das Verhalten eines als Submechanismus isolierten Teiles des Wahrnehmungssystems zu beschreiben, ohne daß durch diese Sprechweisen impliziert wird, daß ein Wahrnehmungsmechanismus ein eigenes Ziel im Sinne eines gleichsam ‚von innen‘ gesetzten Zieles hat. Siehe hierzu die Sammelbände Sober (1984) und Rescher (1986).

Neben diesen beiden Metaphern, die nicht allein als theoriekonstitutiv, sondern mehr noch als paradigmakonstitutiv ansehen kann und die eher allgemeine Metaphern darstellen, bedient sich die Psychophysik einer Fülle spezifischer Metaphern bei der Theoriebildung. Computerwissenschaft und

Nachrichtentechnik werden dabei ebenso als Metaphernquellen verwendet wie Physik, Neurophysiologie und Mathematik. Betrachten wir im folgenden einige Beispiele aus den Bereichen, aus denen die Psychophysik Metaphern ihrer Theoriebildung vorrangig gewonnen hat.

Waren es zunächst experimentelle Methoden und metatheoretische Prinzipien, welche die klassische Psychophysik aus der Physik gewann, so traten später theoretische Vorstellungen und Perspektiven der Physik hinzu und dienten der Psychophysik auch in vielfacher Hinsicht als Leitfaden ihrer Theoriebildung. Eine aus der Physik stammende Metapher haben wir bereits in Abschnitt 3 behandelt: die Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung. In den Teilen der Psychophysik, die weniger an der Erstellung von Skalen als an der Theoriebildung über einzelne Wahrnehmungsfunktionen interessiert sind, prägt jedoch eine andere Metapher das Denken: das Konzept des perzeptuellen Mechanismus. Dies ist sicherlich die einfachste und undifferenzierteste Metapher aus der Physik; sie ist kaum noch als solche erkennbar und gleicht eher schon einer idiomatischen Redewendung. Dieses Konzept, das zu den am häufigsten verwendeten in der Psychophysik gehört, beinhaltet die Vorstellung, daß sich aus dem perzeptuell-kognitiven System ein Teil, der für eine klar umschriebene Funktion verantwortlich ist, experimentell und theoretisch isolieren läßt.

Eine weitere allgemeine Metapher aus der Physik, die bislang keine spezifische Ausarbeitung erfahren hat und doch seit langem als anregendes Leitbild die Forschungsintuition prägt, ist die Resonanz-Metapher, die in Abschnitt 5.3 dargestellt wurde. Sie taucht m.W. zum ersten Mal bei Hering auf, danach wieder unabhängig bei Heider (1926) und in vielen Arbeiten von Gibson, in dessen Theorievorstellungen sie eine wichtige Rolle spielt. In jüngerer Zeit findet sie sich bei Shepard (1984) sowie im Kontext der Modellierung nicht-linearer neuraler Netze bei Grossberg (e.g. Cohen & Grossberg, 1984). Wie sich Resonanz im Sinne einer direkten Erfassung komplexer Variablen durch Analogie zu einem speziellen Meßinstrument veranschaulichen läßt, zeigt Runeson (1977; vgl. Pomerantz & Kubovy, 1981, S.451ff.). Neurophysiologisch lassen sich die mit dieser Metapher verbundenen Phänomene mit Beobachtungen einer Synchronisation von Oszillationen cortikaler Neuronenverbände in Beziehung setzen (Singer, 1990), die insbesondere Grundlage einer präattentiven Segmentierung bzw. Figur-Grund-Gliederung visueller Szenen sein könnten.

Zu den Metaphern aus der Physik ist die neuroelektrische Feldtheorie zu zählen, wie sie insbesondere von Wolfgang Köhler entwickelt worden war, und als moderne Variante die Hologramm-Theorie von Pribram, Nuwer & Baron (1974). Diese Theorie nimmt an, daß bestimmte Eigenschaften perzeptuell-kognitiver Leistungen auf neuroelektrischen Interferenzmustern beruhen, die

sich formal in gleicher Weise behandeln lassen wie die optischen Interferenzmuster des Hologramms. Weitere Beispiele spezifischer Theorien, die in substantieller Weise physikalische Vorstellungen in metaphorisch-analogischer Weise verwenden, sind die Theorien zum Stereosehen von Julesz & Chang (1976) und Sperling (1970, 1981). Die erstgenannte Theorie nimmt an, daß beim stereoskopischen Sehen die Erfassung von Disparitäten in einer Weise erfolgt, die sich durch ein System von magnetischen Dipolen modellieren läßt. Sperling zieht Konzepte aus der Potentialtheorie heran, um beispielsweise das binokulare Vergenzverhalten durch Gleichgewichtsdynamiken in Kraftfeldern zu modellieren.

Derartige Übertragungen physikalischer Konzepte in die Psychophysik dienen nicht vorrangig einer reinen Beschreibung oder Simulation der jeweils untersuchten Phänomene, sondern sollen vor allem neue Einsichten in den betrachteten Bereich eröffnen und zur Erklärung der Phänomene beitragen. Indem man die Tragweite des physikalischen Bildes in der Psychophysik erkundet, hofft man auf neue Fragestellungen und Heuristiken zu stoßen. Bereits an diesen Beispielen wird deutlich, daß es ein ganzes Spektrum unterschiedlicher Verwendungsweisen von Metaphern gibt, in Abhängigkeit davon, wie weit man die substantielle Interpretation einer Metapher treiben will. Metapher können mehr oder weniger substantiell sein, je nachdem bis zu welcher Detailauflösung die Bestandteile der Metapher einer substantiellen Interpretation unterzogen werden. Bleibt die Interpretation einer Metapher auf einer Art Oberflächenebene, ohne daß ihre Komponenten substantiell interpretiert werden, so haben solche Metapher einen eher instrumentellen Charakter: Man verwendet sie, um Vorhersagen zu machen oder etwas zu simulieren; ein substantieller Gebrauch von Metaphern ist hingegen stärker mit dem Konzept der Erklärung verbunden. Oft wird aus einem konkreten physikalischen Modell eine mathematische Struktur abstrahiert und in einem neuen Bereich interpretiert. Mit einer solchen Loslösung von der Herkunftsstruktur verliert die jeweilige Struktur den Charakter einer Metapher: Man hat es dann mit einer Mathematisierung zu tun, die lediglich heuristisch noch an eine metaphorische Herkunft geknüpft ist. Schließlich lassen sich auch substantiell leere Metaphern finden: Sind nämlich die aus Physik oder Mathematik übernommenen Konzepte in ihrer Anwendung so wenig restringiert, daß sie sich als reine Sprechweisen auf eine Vielzahl disparater Phänomenbereiche anwenden lassen (wie etwa eine vordergründige Anwendungen der Katastrophentheorie), so besteht die Gefahr, daß die Metapher theori degenerierend wirkt.

Dem Spektrum unterschiedlicher Verwendungsweisen von Metaphern entsprechen auch die unterschiedlichen Grade, in denen sich die empirische Angemessenheit von Metaphern experimentell prüfen läßt. Hiermit sind komplexe Probleme verbunden, doch kann man stärker substantiell interpretierte Metaphern als in Grenzen testbar ansehen, während eher instrumentell ver-

wendete Metaphern in der Regel dem Bereich, in den sie übertragen werden, nur schwache Restriktionen auferlegen und daher nicht eigentlich testbar sind; gleichwohl können sie sich natürlich als mehr oder weniger fruchtbar erweisen.

Zu den Metaphern aus der Physik, die eher zu allgemeinen mathematischen Konzepten statt zu spezifischen substantiellen Theorien der Psychophysik Anlaß gaben, läßt sich die Verwendung von Konzepten aus statistischer Mechanik und Festkörperphysik zählen, beispielsweise im Fall der sog. Spinglas-Systeme. Das energetische Verhalten solcher wechselwirkender Vielteilchensysteme wird durch mathematische Modelle beschrieben, die sich auch für die unter spezifischen Fehler- und Wechselwirkungsbedingungen stattfindenden Minimierungs- und Gleichgewichtsprobleme neuraler, perzeptueller oder kognitiver ‚Vielteilchensysteme‘ nutzbar machen lassen. Daher findet sich die Übertragung derartiger Konzepte zumeist in den mit einer konnektionistischen Modellbildung befaßten Bereichen der Psychophysik (s. Kemke, 1988; Ritter, Martinez & Schulten, 1990).

Spricht man in der Psychologie von metaphorischer Anwendung der Mathematik, so ist damit eine eher negative Bewertung einer mathematischen Konzeptbildung verbunden, Metaphorische Verwendungen mathematischer Konzepte haben weniger den Charakter spezifischer und grundsätzlich empirisch testbarer Modelle, sondern gleichen eher der Einführung einer allgemeinen mathematischen Sprechweise. A priori ist dabei zumeist schwer zu beurteilen, inwieweit sich die jeweilige Sprechweise als fruchtbar erweisen könnte. Zu den metaphorischen Anwendungen der Mathematik in der Psychologie könnte man Herbarts mathematische Psychologie ebenso rechnen wie Lewins topologische Feldtheorie oder Cassirers (1944) Behandlung perzeptueller Invarianz- und Konstanzphänomene aus einer durch das Kleinsche Programm inspirierten gruppentheoretischen Betrachtungsweise.

Als Übertragungen mathematischer Konzepte, die eher der Bereitstellung einer Sprache psychophysikalischer Theoriebildung dienen, kann man die folgenden Beispiele ansehen: Garners (1962) Anwendung der Informationstheorie als ein mathematisches Rüstzeug zur Organisation und Diskussion experimenteller Befunde und Probleme der Wahrnehmungspsychologie; die Verwendung differentialgeometrischer Konzepte in der Bewegungswahrnehmung; Hoffmans (1978) Beschreibung von Invarianzphänomene der Wahrnehmung durch bestimmte topologische Transformationsgruppen, die in der Mathematik als Lie-Gruppen bekannt sind; die Verwendung von stochastischen Differentialgleichungen zur Modellierung dynamischer Systeme; das zur Formulierung und Klärung konzeptueller Probleme der Wahrnehmungspsychologie entwickelte formale System von Bennett, Hoffman & Prakash (1989). Instrumentellen Charakter haben ferner mathematische Konzepte, die

vorrangig auf eine perzeptuell angemessene Analyse des physikalischen Reizes zielen, wie beispielsweise gewisse algebraisch-geometrische Konzepte für die Untersuchung der Formzerlegung bei Hoffman und Richards (1984) oder die Differentialgeometrie in Koenderinks (1990) Analyse geometrischer Körper (auch wenn man hofft, auf diese Weise auf gleichsam passende perzeptuelle Mechanismen zu stoßen, die sich in der gleichen formalen Sprache behandeln lassen).

Oftmals ist bei Anwendungen mathematischer Konzepte schwer zu entscheiden, ob es sich um eine dem Gegenstand angemessene mathematische Modellbildung oder lediglich um allgemeine, nicht an spezifische Restriktionen des Gegenstandsbereichs gebundene Techniken handelt; dies ist selbst dann der Fall, wenn sich diese Konzepte auf einen eng umgrenzten Gegenstandsbereich beziehen. Beispielsweise ist die Rolle der Fourieranalyse in der Untersuchung der visuellen Wahrnehmung durchaus schillernd: Sie kann einerseits eine reine (und mathematisch sehr allgemeine) Analysetechnik zur Reizbeschreibung sein, andererseits aber auch eine mechanistische Filter-Metapher, wenn sie nämlich mit der Vorstellung spezifischer neuraler Kanäle verbunden ist, die wie Ortsfrequenzfilter wirken (DeValois & DeValois, 1988; Graham, 1989). Entsprechendes gilt für mathematische Konzepte der Signalverarbeitung aus der Nachrichtentechnik und Bildverarbeitung, Bereiche, die für die Psychophysik eine reichhaltige Quelle von Konzepten bereitstellen.

Beispiele, in denen die Verwendung mathematischer Konzepte eher als eine Modellbildung über spezifische, durch den Phänomenbereich bestimmte Eigenschaften und Prozesse gedacht ist, sind die Anwendung des Vektorraumkonzeptes auf die Farbwahrnehmung in der Grassmann-Struktur (Krantz, 1975a), die Modellierung bestimmter perzeptueller Prozesse durch Autokorrelationsfunktionen, wie sie von Reichardt (1957) eingeführt wurde und beispielsweise durch van Santen und Sperling (1984) zur Modellierung der menschlichen Bewegungswahrnehmung weiterentwickelt wurde, oder die neural inspirierten Übertragungen statistischer Konzepte von Barlow (1985, 1992).

Die obigen Beispiele machen deutlich, daß eine Behandlung mathematischer Konzeptbildungen in der Psychophysik unter dem Aspekt der Metaphernbildung wenig aufschlußreich ist; sie wird vielmehr unter allgemeinen Gesichtspunkten einer adäquaten Mathematisierung zu erfolgen haben,

Noch schwieriger als im Falle mathematischer Konzepte gestaltet sich die Bewertung der Rolle neurophysiologischer Konzepte in der Psychophysik. Psychophysik und Neurophysiologie stellen zunächst zwei logisch getrennte Analyseebenen dar, deren Beziehungen überaus subtil sind. Werden also ohne explizite und detaillierte Rechtfertigung neurophysiologische Konzepte, mögen sie in der Neurophysiologie eine präzise Bedeutung haben oder auch dort

wiederum eine Metapher sein, in die Psychophysik übertragen, so läßt sich auch eine solche Übertragung als eine metaphorische bezeichnen. Nun liegen aber vielen Modellen in der Psychophysik neurophysiologische Vorstellungen zumeist unausgesprochen zugrunde. Zum Teil hängt dies damit zusammen, daß Psychophysik auch von ausschließlich an neurophysiologischer Modellbildung Interessierten als Hilfswissenschaft betrieben wird. Hauptsächlich ist es jedoch durch eine natürliche Tendenz bedingt, die psychophysikalische Modellbildung, die ihrem Status nach hinsichtlich interner Mechanismen weitgehend neutral ist, durch Vorstellungen über solche Mechanismen zu ergänzen, eine Tendenz, die in einer neuroreduktionistischen Perspektive ihren deutlichsten Ausdruck findet. Daher vermischen sich oft in Darstellungen psychophysikalischer Modelle psychophysikalische und neurophysiologische Sprechweisen. Spricht man beispielsweise von der Modularität des Wahrnehmungssystems oder unabhängigen Pfaden für Bewegungs- und Farbinformation, weil sich neben neurophysiologischen Hinweisen auch in psychophysikalischen Experimenten Bedingungen finden lassen, durch die beide Aspekte gleichsam separiert werden können (s. Hubel & Livingstone, 1987), so wird man solchen Sprechweisen innerhalb psychophysikalischer Theoriebildung metaphorischen Charakter zuschreiben können; sie haben eine heuristische Funktion für das experimentellen Auffinden entsprechender Befunde. Gleiches gilt für Sprechweisen, die auf Detektoren, Kanäle oder Mechanismen Bezug nehmen. Doch können diese Konzepte mit zunehmender Einbindung eine neue Präzisierung in der Psychophysik erfahren und so, wie dies auch allgemein für Metaphern in der Sprache gilt, zu idiomatischen Redeweisen eines Wissenschaftsbereiches werden.

Damit sind wichtige Bildfelder umrissen, aus denen die Psychophysik Anregungen für die Theoriebildung gewinnt. Ob eine Metapher sich in ihrem strukturellen Kern als empirisch adäquat, als fruchtbare Heuristik oder als theoriodegenerierend erweist, kann oft erst im Fortgang der Theoriebildung entschieden werden. Von einer präzisen Metapher zu einer dunklen Metaphorik ist es oft nur ein kleiner Schritt: Beispielsweise kann die Untersuchung von Wechselwirkungen in nicht-linearen dynamischen Systemen sowohl zu spezifischen und substantiell interpretierten Modellen führen (s. Grossberg, 1988) wie auch zu einer leeren Chaos-Metaphorik. Auch die Rolle von Metaphern wird in den Beispielen erkennbar: In erster Linie haben sie eine katabrestische Funktion, d.h. sie weisen auf eine Mangelercheinung des Sprachsystems hin, die sie durch eine Übertragung aus einem anderen Bereich zu beheben suchen. Wegen der Einzigartigkeit des perzeptuell-kognitiven Systems mangelt es der Sprache, in der man sich über dieses System ein theoretisches Bild zu machen sucht, an geeigneten Begriffen zu seiner Beschreibung. Durch Rückgriff auf vertraute Begriffe aus Bereichen, zu denen man Ähnlichkeitsbezüge vermutet, sucht man den Mangel des theoretischen Vo-

kabulars zu mildern. Doch überbrücken Metaphern nicht nur eine Notlage des theoretischen Vokabulars, sondern regen zugleich an, die Tragweite des übernommenen Bildes auszuloten. Zudem werden durch den Gebrauch einer Metapher bestimmte Aspekte des Bereiches, auf den sie zielt, hervorgehoben und so die Aufmerksamkeit auf diese gelenkt. Metaphern sind damit eine wesentliche Quelle von Heuristiken und steuern den Forschungsprozeß.

Die für die Theoriebildung interessantesten Metaphern sind jene, die in ihrer Entwicklung offen sind und gerade durch ihre Ausgestaltung den Forschungsprozeß anregen. Dies kann freilich auch für konkrete Modelle gelten - womit hier nicht als Theorieelemente verwendete mathematische Modelle oder Modelle im Sinne der Modelltheorie gemeint sind -, und in der Tat haben beide Konzepte vielerlei Berührungspunkte. Die theoriekonstitutiven Metaphern unterscheiden sich jedoch von konkreten Modellen darin, daß letztere etwas theoretisch Komplexes anschaulich begreifbar machen sollen. Sie dienen somit zunächst didaktischen Zwecken; auch läßt sich ihre Tragweite zumeist präzise angeben. Daher finden sich, etwa in der Physik, ohne weiteres zum gleichen theoretischen Konzept miteinander logisch unverträgliche Modelle. Je nach Problemzusammenhang läßt sich dadurch eine komplexe theoretische Struktur nicht nur vorstellungsmäßig, sondern auch hinsichtlich ihrer mathematischen Behandlung handhabbarer machen (vgl. Readhead, 1980).

Andere Heuristiken und Regulativa des Forschungsprozesses werden aus Metaprinzipien (vgl. Tack, in diesem Band, Kap. 1, 2.2.2; Gadenne, in diesem Band, Kap. 9) gewonnen, die als metatheoretische und somit nicht empirisch prüfbare Richtlinien zumeist implizit die Theorieentwicklung bestimmen. Das pythagoräische Erkenntnisideal, die Einheit der verschiedenen Wissenschaften in der Einheit des Mathematischen zu suchen, gehört ebenso hierzu wie Aspekte der Theorieästhetik: Einfachheit, Ökonomie, Optimalität, Harmonie (am bekanntesten ist deren Rolle in Keplers astronomischen Untersuchungen), Symmetrie und Invarianz sind bekannte Beispiele. Solche Metaprinzipien, etwa der Einfachheit, sind selbst hochgradig theoretische Konzepte, für die es keine einfachen theorieunabhängigen Kriterien gibt; so hängt insbesondere das Prinzip der Einfachheit stark mit Vorstellungen über theoretische Plausibilität zusammen.

Die psychophysikalische Theoriebildung unterscheidet sich aber hinsichtlich der Rolle dieser Metaprinzipien in keiner Weise von der Theoriebildung anderer naturwissenschaftlicher Disziplinen, so daß diese Aspekte einer allgemeinen Wissenschaftslehre hier nicht weiter verfolgt werden. Als Beispiel expliziter Symmetrie- und Invarianzbetrachtungen in der Psychophysik sei auf die in Mausfeld (in diesem Band, Kap. 13.5.) behandelten Untersuchungen zur **sog. *Meaningfulness*** verwiesen.

## 6.2 Theorietypen der Psychophysik

Metaphern können, wie die angeführten Beispiele deutlich machen sollten, in verschiedenem Grade die Theoriebildung prägen: Sie können theoriekonstitutiv sein, Theoriebausteine bereitstellen oder lediglich einen mathematischen Formalismus nahelegen. Über Metaphern bei der Theoriebildung zu reden beinhaltet daher auch, über Theorietypen zu reden. Unterschiedliche Theorietypen der Psychophysik lassen sich jedoch auch aus einer anderen Perspektive ausmachen; einige von ihnen wollen wir im folgenden betrachten. Zudem werden wir kurz darauf zu sprechen kommen, welche Ziele sich mit einer psychophysikalischen Theoriebildung verbinden lassen.

Der Theoriebegriff kann sehr unterschiedlich gefaßt sein (s. Gadenne, in diesem Band, Kap. 7); wir wollen ihn hier im Sinne der naturwissenschaftlichen Umgangssprache verwenden und eine inflationäre Verwendung im Sinne isolierter ad-hoc-Ideen vermeiden. Eine Theorie in diesem Sinne ist beispielsweise die Young-Helmholtz-Theorie der Farbwahrnehmung in der Grassmannsehen Formulierung; die Informationstheorie hingegen ist keine Theorie in diesem Sinne, da sie einen allgemeinen mathematischen Formalismus darstellt, der nicht an eine spezifische substantielle Interpretation gebunden ist. Als Theorien bezeichnet man häufig aber auch jene formalen Theorietypen und Theorieschemata, deren substantielle Interpretation von Fall zu Fall variieren kann und die eher einen universell-methodologischen Charakter haben. Auf dieses wollen wir zunächst einen Blick werfen, auch wenn die Unterscheidung von spezifischen substantiellen und methodologischen Theorietypen nur eine sehr grobe Orientierung erlaubt, da die Grenze zwischen beiden unscharf ist und von Intentionen des Forschers abhängt.

Vorrangig methodologischen Charakter haben die meisten Theoriebildungen der klassischen Psychophysik. Diese wird nicht zu Unrecht schon früh in ihrer Entwicklungsgeschichte mit ihren Methoden identifiziert. Ihre Theoriebildung hatte weniger den Charakter spezifischer substantieller Theorien über einzelne Wahrnehmungsleistungen, sondern suchte eher allgemeine Aspekte, wie beispielsweise das Diskriminations-, Signalentdeckungs- und Entscheidungsverhalten, zu modellieren.

In ähnlicher Weise hat die Theoriebildung in der mit der Messung von Reaktionszeiten befaßten Tradition einen wesentlich methodologischen Charakter (s. Pachella, 1974, S. 42). Reaktionszeitindizes lassen sich ebenso wie die bei der Skalenkonstruktion erhaltenen Indizes nur unter weitreichenden und oftmals schwer zu rechtfertigenden Annahmen zu wesentlichen Konzepten einer substantiellen psychologischen Theoriebildung in Beziehung setzen. Insbesondere tritt bei der Interpretation von globalen Indizes wie Reaktionszeiten und evozierten Potentialen in verschärfter Weise das genannte Invertie-

rungsproblem auf, da mit einer empirisch erhaltenen Struktur dieser Indizes unendlich viele Strukturmuster interner Komponenten verträglich sind (s. Utal, 1967, 1990).

Anders als die universellen Theorieschemata der klassischen Psychophysik sind die Theorien der mit spezifischen Leistungen des Wahrnehmungssystems befaßten Psychophysik zugeschnitten auf die jeweiligen Charakteristiken eines Phänomenbereichs. Bestimmte Theorietypen, die sich freilich wiederum in verschiedenem Grade durchdringen können, lassen sich hinter der Unterschiedlichkeit solcher Theorien schematisch ausmachen. Diese Stile der Theoriebildung in der Psychophysik sind keineswegs psychophysikspezifisch, sondern charakteristisch für unterschiedliche Zugangsweisen des naturwissenschaftlichen Denkens allgemein. Auch in der Psychophysik fallen nämlich zunächst jene Theoriestile ins Auge, die als **esprit géométrique** und **esprit mécanique** durch Duhem (1908/1978, S. 67ff.) bekannt wurden.

Prominentes Beispiel für den auf geometrischen Intuitionen beruhenden Theorietyp ist Newtons Theorie der Metamerie von Farben, wie sie sich in seinem geometrischen Modell des Farbkreises niederschlägt. Diese Theorie - die historisch erste quantitative psychophysikalische Theorie - wurde von Newton, der an psychophysikalischen Fragen nur am Rande interessiert war, noch weitgehend spekulativ entworfen; bereits Grassmann (1853) jedoch hat ihren psychophysikalischen Kern formal klar herausgearbeitet und gezielten empirischen Überprüfungen zugänglich gemacht. Zuvor hatte man sich schon in der Philosophie Sinnesqualitäten und Qualia abstrakt-geometrisch in Räumen lokalisiert vorgestellt. In Grassmanns Ausgestaltung findet dies erstmals eine formale Präzisierung, und zwar in einem Bereich, dem der Farben, der nicht ohne weiteres eine geometrische Betrachtungsweise nahelegt. Das sich an eine solche Annahme anschließende Konzept eines mit einem perzeptuellen Code assoziierten Farbraumes suchte man in der Folge durch Distanzkonzepte geometrisch anzureichern. Beruhen diese Konzepte auf theoretischen Intuitionen über lokale Schwellenrelationen, so erhält man beispielsweise die sog. Linielement-Theorien, wie sie durch Helmholtz, Schrödinger und Stiles entwickelt worden sind (s. Wyszecki & Stiles, 1982). Beruhen sie auf Intuitionen über globale Ähnlichkeitsrelationen ergeben sich Modelle wie die durch Konzepte der nichtmetrischen multidimensionalen Skalierung inspirierten (Shepard, 1978).

In anderen Bereichen der Psychophysik, wie der Bewegungs-, Form- oder Raumwahrnehmung, ist eine geometrische Modellbildung weniger erstaunlich, da hier bereits eine perzeptuell angemessene physikalische Reizbeschreibung in natürlicher Weise geometrische Konzepte beinhaltet.

Algebraisch orientierte Theorietypen in der Psychophysik wollen wir nicht als eigenen Typ den geometrisch orientierten gegenüberstellen, da beide Zu-

gangswesen, die in der Mathematik zwei Spannungspole des Denkens kennzeichnen, sich je nach Vorlieben des Forschers vermischen und kaum zu trennen sind.

Abstrakt-geometrisch orientierte Modelle der Wahrnehmung zeichnen zunächst keinen spezifischen Mechanismus aus und sind oft nur schwer mit Vorstellungen von konkreten Mechanismen in Beziehung zu setzen. So tritt in ihnen die Zeitvariable, die den eigentliche Prozeßcharakter von Wahrnehmungsprozessen ausmacht, in der Regel nicht explizit auf. In der Grassmann-Struktur beispielsweise gibt es die Zeitvariable nicht, obwohl der zugrunde liegende Mechanismus als Prozeß gedacht ist. Einer rein psychophysikalischen Betrachtungsweise ist es zunächst fremd, in expliziten Prozeßstufen zu denken; erst wenn man zusätzlich neurophysiologische Intuitionen heranzieht oder wenn andere Restriktionen eine Abfolge von Verarbeitungsschritten festlegen, kann man zu der Vorstellung eines stufenweise zergliederten Prozesses kommen. Anders in mechanistisch orientierten Theorien: Bei diesem Theorietyp, der neben konkret-mechanistischen auch abstrakt-mechanistische Theorien umfaßt, ergibt sich der zeitliche Prozeßcharakter in natürlicher Weise. Die Attraktivität mechanistisch orientierter Theorietypen ist aber vor allem darin begründet, daß einem mechanistischen Bild ein sehr viel höherer ‚Erklärungswert‘ zugeschrieben wird als einem geometrischen Bild. Berühmt ist Kelvins Ausspruch, daß wir ein physikalisches Phänomen erst verstehen, wenn wir ein entsprechendes mechanisches Modell konstruieren können (vgl. Duhem, 1908/1978, S. 89). Genau dieser Erklärungsbegriff beherrscht - erweitert auf abstrakt-mechanistische Vorstellungsweisen - die Psychophysik. Daher gehören zu diesem Theorietyp die meisten theoretischen Ansätze der gegenwärtigen Psychophysik perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung; dies wird bereits in Sprechweisen ‚modulare Organisation des visuellen Systems‘, ‚Mechanismen der Bewegungswahrnehmung‘, ‚Ortsfrequenzkanal‘ u.ä. deutlich. Der mechanistische Theorietyp wird durch das Paradigma interner Informationsverarbeitung in besonderer Weise nahegelegt. Dabei hat das Attribut ‚mechanistisch‘ eine Bedeutungsänderung erfahren und wird nicht mehr im Sinne der Mechanik verstanden, sondern in dem Sinne, daß sich die Theorie im Prinzip durch einen entsprechenden Apparat (etwa mechanisch, elektronisch oder als Programm) realisieren läßt.

Werden **dynamische** Aspekte und temporale Charakteristika, wie Augenbewegungen, zeitliche Adaptationsprozesse u.ä., in expliziter Weise zu zentralen Bestandteilen der Theorie, so ergeben sich mechanistisch-dynamische Theorien als spezieller Theorietyp. Als Beispiel seien Cohen & Grossberg (1984) genannt, die eine Vielzahl von Phänomenen der monokularen und binokularen Helligkeitswahrnehmung durch zwei dynamisch interagierende Konturauswertungsprozesse zu simulieren suchen.

Ob man eher einem geometrischen oder eher einem mechanistischen Theorietyp zuneigt, kann zudem durch metatheoretische Vorstellungen über den Gegenstandsbereich der Psychophysik und die Natur ihrer Gesetze bestimmt sein. Betrachtet man die Psychophysik als eine Art Erweiterung der Physik durch psychologische Relationen, so wird man auch ihre Gesetze in ähnlicher Weise ansehen wie physikalische Gesetze. In der Physik treten Gesetze erst durch geeignete Idealisierungen, etwa die des idealen Gases oder die der gleichförmig beschleunigten Bewegung, deutlich hervor; die Theorie bezieht sich nur auf diese Idealisierungen und hängt entscheidend von der Formulierung von Randbedingungen ab, unter denen sie mit Phänomenen in Beziehung gesetzt wird. Nimmt man eine solche Haltung gegenüber der Psychophysik ein, wird man ihre Gesetze auf der Ebene entsprechender Idealisierungen suchen. Zwar wird man nicht die universelle Gültigkeit psychophysikalischer Gesetze behaupten, doch beispielsweise bereit sein, in zur Physik analoger Weise Invarianzbetrachtungen anzustellen, die wiederum mit Invarianzbetrachtungen der physikalischen Struktur gekoppelt sein können (vgl. Mausfeld, in diesem Band, Kap. 13.5.). Derartige Invarianzbetrachtungen lassen sich zu abstrakt-geometrischen Konzepten in Beziehung setzen. Sieht man den Gegenstandsbereich der Psychophysik als in wesentlichen Teilen dem der Biologie ähnlich - womit psychophysikalische Gesetzmäßigkeiten biologischen gleichen - wird man solchen Invarianzbetrachtungen nur einen sehr begrenzten Nutzen zusprechen. Denn in diesem Fall werden die Gesetzmäßigkeiten der Psychophysik durch spezifische Eigenschaften der zufälligen Realisation biologischer Mechanismen bestimmt sein (vgl. Marrs Typ II-Theorien, Marr, 1977, S. 38). Eine solche Auffassung liegt etwa der „utilitaristischen Theorie“ der Wahrnehmung von Ramachandran (1990) zugrunde, und sie legt einen mechanistischen Theorietyp nahe. Sie wird gestützt durch evolutionstheoretische Auffassungen, wie sie sich in der Metapher ausdrücken, daß die Evolution einem Kesselflicker gleich zu Werke gehe und für die jeweiligen Zwecke mit den jeweils verfügbaren Mittel ad hoc passende Lösungen, Strategien und Tricks entwerfe (Jacob, 1977). Von einer solchen Flickwerk-Strategie wird man kaum erhoffen können, daß sie zu einer theoretisch geschlossenen und mathematisch ästhetischen computational **theory** der Wahrnehmung Anlaß gibt, wenn sie sich auch in gewissen Segmenten durch eine solche beschreiben läßt. Aus dieser Perspektive kann man in der Psychophysik keine Gesetze in einem der Physik vergleichbaren Sinne erwarten, sondern lediglich bestimmte lokale Gesetzmäßigkeiten. Anders als physikalische Gesetze stellen psychophysikalische Gesetze dieser Auffassung zufolge eher generalisierte bzw. idealisierte Fakten dar (vgl. Smart, 1964, S. 52). Auch wenn man, wie in der KI, auf ideale Modelle statt auf die Modellierung realer Mechanismen zielt, stellen diese Modelle spezifische Ingenieurslösungen für einen aus der Psychophysik abstrahierten Aspekt dar und rechtfertigen nicht die Annahme universeller Wahrnehmungsgesetze.

Werfen wir abschließend - freilich ohne eine Antwort geben zu können - einen kurzen Blick auf Fragen, die sich mit der Bewertung und den möglichen Zielen einer psychophysikalischen Theorie verbinden. Hierzu gehören Fragen wie: Was unterscheidet eine gute von einer schlechten psychophysikalischen Theorie? Etwa der Grad ihrer Anbindung an die Neurophysiologie? Oder der Umfang ihres (deskriptiven) Geltungsbereichs (z. B. eine quantitative Beschreibung des Zusammenspiels von Form-, Farb- und Bewegungsinformationen)? Ihre Vorhersagegenauigkeit im Einzelfall? Oder die Möglichkeit, sie als KI-System zu realisieren? Muß eine gute psychophysikalische Theorie die tatsächliche Detailfunktion des Systems erkennen lassen, oder soll sie idealisiert die für eine globale Leistung wesentlichen Charakteristika der Wahrnehmung beschreiben? Gibt es nicht-reduktionistische Erklärungen in der Psychophysik? Können neurophysiologische Beobachtungen psychophysikalische Phänomene erklären?

Die Antwort auf derartige Fragen wird durch die Vorstellungen bestimmt sein, die man sich vom Gegenstandsbereich der Psychophysik und von den Zielen ihrer Theoriebildung macht. Trägt man der logischen Kluft zwischen Psychophysik und Neurophysiologie Rechnung und sucht die Theoriebildung zunächst frei von Spekulationen über neurophysiologische ‚Korrespondenzen‘ zu halten, so wird man als vorrangiges Ziel psychophysikalischer Theoriebildung ansehen, ein kohärentes theoretisches System zu schaffen, in dem möglichst viel vom ‚tatsächlichen‘ Sinneseindruck erfaßt wird. Dabei ist die Theoriebildung keineswegs auf Konstrukte über interne Verarbeitungsschritte beschränkt, sondern es ist durchaus möglich, auch Aspekte von Empfindungseindrücken, d.h. von Qualia, mit einzubeziehen, indem diese als ‚Konstrukt von außen‘ in die Theorie eingeführt werden. Ein solchermaßen theoretisches Konzept von Qualia wird zwar vielfältige Plausibilitätsbezüge zum alltags-sprachlichen haben, doch logisch ist es davon unabhängig, wie Qualia gleichsam von innen betrachtet erscheinen mögen. Eine ähnliche Auffassung fand ihren frühen Ausdruck in Machs (1863, S.202) Dictum: „Was die Seele sei, das kann für eine mathematische Psychologie so gleichgültig sein, als für die Physik das Wesen der Materie.“

Was auch immer man als fiktives Endziel psychophysikalischer Theoriebildung ansehen mag, das Ziel gegenwärtiger Theoriekonstruktion ist die phänomenadäquate Erfassung bestimmter Teilfunktionen des Wahrnehmungssystems. Dabei stehen in der gegenwärtigen Diskussion fast ausschließlich funktionale Leistungsaspekte im Vordergrund der Theoriebildung, kaum jedoch Erlebnisaspekte.

## **7. Experiment, Beobachtung und Daten in der Psychophysik**

In wissenschaftstheoretischen Lehrmeinungen wird oftmals das Experiment als eine ‚Magd‘ der Theorie angesehen, wodurch es eine unverdiente Geringschätzung erfährt. Während man sich in der allgemeinen Wissenschaftslehre der Komplexität der Theoriedynamik zunehmend bewußt geworden ist, scheint die Komplexität der Rolle von Experimenten, von Beobachtungen, Daten und Phänomenen immer noch unterschätzt zu werden (Franklin, 1986). Dies und die häufig bemerkbare Tendenz, Wissenschaftsgeschichte im nachhinein zugunsten eines theoriegeleiteten Experimentierens umzuschreiben, müssen natürlich ein verzerrtes Bild vom Verhältnis von Experiment und Theorie mit sich bringen. Verkürzt formuliert ist der entscheidende Punkt dies: Das Experiment führt im wissenschaftlichen Erkenntnisprozeß gegenüber der Theorie durchaus ein Eigenleben und kann auf vielerlei Weise zur Theoriebildung beitragen. Wie in anderen Disziplinen ist auch in der Psychophysik das Experiment zumeist nicht theoriegeleitet, sondern - häufig im Sinne von Theoriefragmenten - theoriebezogen; in der Regel geht ihm keineswegs eine eigentliche Theorie wegweisend voraus (vgl. Herrmann, 1990, S. 10). Vielmehr zeigt sich auch hier die ganze Vielfalt möglicher Funktionen des Experimentes, wie sie für die Physik durch Hacking (1983) dargelegt wurde. Dieser Vielfalt Rechnung zu tragen bedeutet nicht, einem naiven Induktivismus oder blinden Empirismus zu erliegen.

Betrachten wir einige Beispiele psychophysikalischer Experimententypen, die von aufschlußreichen Zufallsbeobachtungen, über qualitative Experimente zur Herstellung und Untersuchung neuer Phänomene bis hin zu eigentlich theoriegeleiteten Experimenten - sei es zur qualitativen oder quantitativen Widerlegung bestimmter Vorhersagen, sei es zum Schätzen numerischer Parameter oder zum Testen qualitativ-algebraischer Bedingungen - reichen.

Experimente von wesentlich qualitativer Natur spielen in der Psychophysik eine besondere Rolle. Sie reichen von einfachen, aber folgenreichen Demonstrationen (wie den Landschen Mondriaan-Experimenten oder den Juleszschen **random** dot-Stereogrammen) bis hin zu apparativ äußerst aufwendigen Versuchen. Hier sind etwa die auf dem Auge zu befestigenden Miniaturspiegelsysteme erwähnenswert, durch die sich ein Bild netzhautstabilisieren läßt. Ganze Theorieklassen können durch derartige Experimente verworfen werden, wohingegen keine eigentliche Theorie diese Experimente zu leiten braucht. Eine Vielfalt solcher primär qualitativ orientierter Experimente wurde von Livingstone & Hubel (1987) durchgeführt, um zu erkunden, inwieweit sich getrennte interne Kanäle für verschiedene Wahrnehmungsdimensionen annehmen lassen. Eine wichtige apparative Technik der Reizerzeugung stellt dabei die nach der individuellen Luminanzfunktion durch den Computer er-

stellte Äquilibriumzebene dar. In dieser kann eine Szenensegmentierung zwar durch Tiefen-, Farb- oder Bewegungsinformation erfolgen, jedoch gibt es keine Information über relative Luminanzen, da alle Teile die gleiche Helligkeit (i. S. der Luminanz) aufweisen. Geleitet werden derartige Experimente durch die Idee, daß das visuelle System modular in ‚Kanälen‘ aufgebaut ist und sich einer dieser Kanäle, der Luminanzkanal, auf diese Weise sozusagen ausschalten läßt; dadurch läßt sich feststellen, welche perzeptuelle Information über diesen Kanal geleitet wird.

Dieses Beispiel zeigt, daß durch Experimente erst gezielt neue Phänomene erzeugt werden. Die in Äquilibriumzebenen auftretenden Phänomene existierten nämlich solange nicht, bis mit computergesteuerten Monitoren der Apparat zu ihrer Erzeugung bereitstand (s. jedoch Liebmann, 1927). Gleiches gilt für die Phänomene, die bei netzhautstabilisierten Bildern auftreten. In der Physik heißen besonders lehrreiche und bemerkenswerte Phänomene Effekte, und es ist dort ein wissenschaftlicher Gemeinplatz, daß eine der Hauptaufgaben des Experimentes das Auffinden und Erzeugen von Effekten ist (s. Hacking, 1983; vgl. Herrmann, 1990). Auch in der Psychophysik gehören viele der bedeutendsten Experimente zu dieser Klasse phänomenerzeugender Experimente.

Ist ein neues Phänomen gefunden oder erzeugt, so ist es Funktion des Experimentes, durch die Untersuchung von Randbedingungen eine **stabile** Erzeugung der erhaltenen Phänomene zu garantieren. Hierzu gehört auch, die in der Regel komplexe experimentelle Apparatur zu erkunden; denn viele der sich aus Experimenten ergebenden Beobachtungen sind nicht ‚direkt‘, sondern zumeist über komplexe Instrumente, Apparaturen und Tabellenwerke gewonnen; in diese selbst ist wiederum in vielfältiger Weise Theorie verkörpert (s. Kuhn, 1961). In manchen Fällen braucht es sehr lange, bis eine geeignete experimentelle Apparatur entwickelt und getestet ist, während für die eigentlichen Beobachtungen eine vergleichsweise nur kurze Zeitspanne genügt. Die Wissenschaftsgeschichte ist reich an Beispielen, die zeigen, daß häufig erst die Bereitstellung eines geeigneten Instrumentariums einen experimentellen Weg eröffnete, der dann seinerseits die Theoriebildung nach sich zog. Auch der Beginn der experimentellen Psychologie war wesentlich durch die Erfindung und Konstruktion neuer Apparate bestimmt; in Wundts **Physiologischer Psychologie** finden sich viele dieser Apparate in Radierungen dargestellt und sorgfältig beschrieben. Die Entwicklung geeigneter apparativer Instrumente des Experimentierens ist eine überaus bedeutende und eigenständige Kunstfertigkeit. Die - außerhalb der Physik zumeist gravierend unterschätzte - Bedeutung dieser Kunstfertigkeit läßt sich auch in der Psychophysik in vielfacher Weise belegen, von Wundts brillantem Werkzeugmacher E. Zimmermann bis hin zu jüngeren Entwicklungen, wie den genannten Apparaten zur Erzeugung netzhautstabilisierter Bilder.

Auch die Fähigkeit zur Beobachtung ist eine Kunstfertigkeit, der innerhalb des experimentellen Zugangs eine eigenständige Rolle zukommt. Diese Rolle ist aber nur schwer einer theoretischen Analyse zugänglich; einige Aspekte hängen mit dem vielfach diskutierten Problem des Unterschiedes von Sehen **Daß** und **Sehen Als** (s. Hanson, 1969, S. 111ff.) zusammen. Nicht nur die theoretische Brille, durch die man wahrnimmt, formt die Beobachtung, sondern auch Erfahrung und Übung. Jedem Weinkenner ist der erstaunliche Grad an Expertentum, den man in der Wahrnehmung erreichen kann, bekannt. Für das Auffinden bemerkenswerter Phänomene in der Psychophysik ist ein solches Expertentum in der ‚Kunst‘ der Wahrnehmung, d.h. ein hoher Differenzierungsgrad verbunden mit der Fähigkeit, ‚Wesentliches‘ aus einem Wahrnehmungseindruck zu abstrahieren, von entscheidender Bedeutung. Ein einschlägiges Beispiel sind die experimentellen Studien von Katz (1911) zu Erscheinungsweisen der Farben.

Mit dem Konzept der Beobachtung verbindet sich ein tief liegendes methodologisches Problem, das für die Untersuchung der menschlichen Wahrnehmung als geradezu charakteristisch angesehen werden muß: die Unterscheidung einer internen und einer externen Beobachtungskategorie. Indem man nicht nur Reaktionsweisen der Versuchsperson protokolliert, sondern ihre Berichte - implizit oder durch eigene Beobachtungen - mit der eigenen Wahrnehmung vergleicht und beides wiederum mit den Größen der Theorie verbindet, werden unter gewissen stillschweigenden Annahmen die von ‚innen‘ und die von ‚außen‘ gemachten Beobachtungen innerhalb einer psychophysikalischen Theorie in Beziehung gesetzt. Auf diese ‚internen Beobachtungen‘ - man bezeichnet die Versuchsperson häufig auch als Beobachter - kann man dann nicht verzichten, wenn man die theoretischen Größen an eigene Wahrnehmungserfahrungen anbinden möchte. Zwar hat der Experimentator zu diesen Empfindungen oder Qualia der Versuchsperson keinen Zugang, aber er kann sie durch eigene ‚interne Beobachtungen‘ zu dieser Wahrnehmungssituation gleichsam auf Plausibilität prüfen. Diese Andeutungen mögen hier genügen, da das Problem, wie sich innerhalb einer Theorie ein Sprechen über Qualia - und ohne ein solches kommt eine Theorieentwicklung in der Psychophysik menschlicher Wahrnehmung nicht aus - rechtfertigen läßt, weit über die Psychophysik hinausführt (s. etwa Rorty, 1979).

Durch die sich im Paradigma perzeptuell-kognitiver Informationsverarbeitung eröffnenden Möglichkeiten einer Theoriebildung in der Psychophysik steht eine zunehmende Anzahl von Experimenten in einem dialogischen oder, strenger, in einem theoriekritischen Verhältnis zu einzelnen Theorien oder Theoriebausteinen. Mit dem **computational approach** entsteht ein neues Gerüst zur Formulierung von Theorien, das zudem eine theoriegeleitete Konstruktion kritischer und oft neuartiger Experimente ermöglicht. Die formale Ausarbeitung eines Theorieansatzes erlaubt nämlich, interessante Vorhersagen über

perzeptuelle Phänomene abzuleiten, auf die man ohne eine solche formale Ausarbeitung nicht hätte stoßen können (bei Ramachandran, 1990, finden sich entsprechende Beispiele). Dieser Klasse von Experimenten, die gezielt diejenigen Eigenschaften des Wahrnehmungssystems untersuchen, die sich beim Aufbau einer Theorie als besonders wichtig erweisen, sind auch Experimente zuzurechnen, die nicht über eine **computational theory**, sondern durch mathematische Analysen anderer Art testbare kritische Bedingungen isolieren. Ein lehrreiches Beispiel ist die meßtheoretische Analyse einer Version der opponierten Farbtheorie durch Krantz (1975b), die zu kritischen Bedingungen geführt hat, deren empirische Gültigkeit Voraussetzung für eine lineare Beschreibbarkeit der Opponenten Codierung ist.

Quantitative Experimente, die mit bestimmten mehr oder weniger explizierten Theoriebausteinen zusammenhängen, bilden die weitaus größte Klasse von Experimenten der Psychophysik. Das Quantitative in derartigen Experimenten hängt freilich zumeist nur lose mit der zugrunde liegenden Theorie zusammen. In der Regel ist es nur der notwendige Weg, etwas Qualitatives herauszufinden: nämlich den Gültigkeitsbereich und die Stabilität theoretisch interessanter Phänomene. Das Quantitative drückt sich in den im Experiment erhaltenen Daten aus, das Qualitative in den durch eine Theorie zu erklärenden Phänomenen. Die Aufgabe der Theorie wird man nicht darin sehen wollen, die jeweils spezifischen Daten zu erklären, denn diese werden durch die jeweilige apparative Konstellation und ihre Eigenschaften geprägt; sie sind an den experimentellen Kontext gebunden, außerhalb dessen sie keine Bedeutung haben. Vielmehr zielt die Theorie auf eine Erklärung der erhaltenen Phänomene, die in den Daten ihren Ausdruck finden. Theoretisch interessante Phänomene sind über verschiedene experimentelle Untersuchungsweisen stabil, während sich die Daten jeweils ändern. Nicht die Replikation von Daten ist Ziel des Experimentes, sondern die Replikation von Phänomenen (s. hierzu Woodward, 1989). Da das Experiment dem experimentellen Einkreisen aufschlußreicher Phänomene dient, ist seine bloße Wiederholung kaum von Interesse, sondern man sucht mit seiner Hilfe Randbedingungen für das Auftreten von Phänomenen zu studieren und einzuzugrenzen, um so stabilere Bedingungen für die Erzeugung der Phänomene zu finden.

Phänomene bringen nun nicht einfach Daten hervor. Vielmehr ist die Erzeugung und Behandlung brauchbarer Daten wiederum eine eigenständige Fertigkeit des Experimentators; diese bezieht sich ebenso auf Aspekte apparativer Fehlerkontrolle und Kalibrierung wie auf die Aufbereitung der Daten für mathematische Analyseverfahren. Die Verwendung überaus komplexer Apparate zur Reizerzeugung und Reizdarbietung unterscheidet die Psychophysik von den meisten anderen Gebieten der Psychologie: Die Apparate treten zwischen Theorie und Daten und vergrößern die Distanz zwischen beiden. Angesichts der Komplexität von kaum explizit zu machenden Randbedingungen und

Fehlerquellen in einem technisch aufwendigen Experiment kann der Wert von Daten aufgrund der publizierten Beschreibungen allein nicht beurteilt werden. (In diesem Zusammenhang sei auch an die gängige Praxis der Elimination ‚unbrauchbarer‘ Daten erinnert.) Eine solche Bewertung wurde nicht zuletzt eigene Erfahrung im jeweiligen Bereich voraussetzen. Bereits hieran wird erkennbar, daß Daten Teil eines komplexen wissenschaftlichen Argumentationsmusters sind und im wissenschaftlichen Diskurs durchaus auch Teil einer Persuasions-Rhetorik sein können: Da sich bei technisch aufwendigen Experimenten die Güte der Daten nicht ohne weiteres bewerten läßt, ist man auf die Bewertung der wissenschaftlichen Reputation des Untersuchenden angewiesen. Der wissenschaftssoziologische Erhebungskontext (vgl. Herrmann, in diesem Band, Kapitel 6) ist für die Bewertung von Daten ebenso wichtig wie der theoretische Erhebungskontext.

So dient die Mehrzahl quantitativer Experimente nicht dem Selbstzweck einer quantitativen Bestimmung irgendwelcher Theoriegrößen oder Modellparameter, auch wenn solche Bestimmungen bei Entscheidungen zwischen konkurrierenden Theoriebausteinen in der Forschungspraxis eine wichtige Rolle spielen können. Quantitative Analysen stellen hier vielmehr ein Mittel dar, durch das man hofft, die jeweils im Forschungsinteresse stehenden Eigenschaften des Wahrnehmungssystems in noch feinerer Auflösung zu erfassen und somit entscheidende neue **qualitative** Einsichten zu gewinnen; sie sind daher ein oft notwendiger Weg zu einem tieferen Verständnis der globalen funktionalen Struktur des Wahrnehmungssystems.

Die numerische Bestimmung bestimmter Größen ist eher selten das eigentliche Ziel quantitativer Experimente. Derartige genuin quantitative Experimente können beispielsweise der Bestimmung zeitlicher Konstanten für verschiedene Adaptationsprozesse dienen, der Schätzung spektraler Sensitivitätsfunktionen für das Farbsehen, der Bestimmung des feinsten räumlichen Auflösungsvermögens oder der beim skotopischen Sehen für einen Wahrnehmungseindruck minimalen Anzahl absorbierter Lichtquanten.

Abschließend bleibt ein Forschungsmittel zu nennen, das kaum je explizit angeführt wird (s. jedoch Kubovy, 1981, S. 78ff.), dem aber für die Theorieentwicklung auch der Psychophysik entscheidende Bedeutung zukommen kann: das Gedankenexperiment. Als rein vorstellungsmäßige Durchführung eines als interessant erachteten qualitativen Experimentes kann das Gedankenexperiment natürlich weder neue Daten noch gänzlich neue Phänomene produzieren. Doch kann es Anomalien, Widersprüche zwischen theoretischen Vorstellungen und Phänomenen oder auch Inkonsistenzen der theoretischen Konzepte selbst aufzeigen (vgl. Kuhn, 1964/1981). Als Gedankenexperimente zum menschlichen visuellen System lassen sich viele der innerhalb des Forschungsbereiches der **Künstlichen Intelligenz** durchgeführten Untersuchungen

zum **computational vision** auffassen, da derartige formale Untersuchungen erkunden, auf welchen Wegen bestimmte Wahrnehmungsziele erreicht werden könnten.

## **8. Implizite Annahmen der experimentellen Psychophysik**

Der Prozeß der Theoriebildung ist in einem steten Fluß begriffen, wenn auch die nachträgliche Rekonstruktion diese Dynamik der Theorieentwicklung einmal eher stockend, einmal eher stürmisch oder gar diskontinuierlich erscheinen läßt. Konfrontiert ein Wissenschaftler an einem bestimmten Punkte dieser Entwicklung Theorieelemente mit Ausschnitten aus einer - wiederum theoretisch gedachten - Empirie, so wird er es kaum als wünschenswert ansehen, alle dabei eingehenden Annahmen, die ihn bei der Konstruktion, Durchführung und Bewertung von Experimenten leiten, explizit zu machen. Ein solches Vorgehen, das schon aus logischen Gründen nicht möglich ist, würde die Theorieevolution nahezu zum Stillstand bringen. Liegen schon die theoretischen Vorstellungen nicht in vollständig explizierter Form vor, so gilt dies mehr noch für die vielfältigen Bindeglieder, durch welche allein Theorieelemente mit spezifischen Experimenten in Beziehung gesetzt werden können. Sie werden erst in dem Maße zum Gegenstand eigenständiger Behandlung, in dem Zweifel an ihrer Brauchbarkeit aufkommen. Theoretische Konzepte, wie sie etwa einem Verweis auf ‚Normalbedingungen‘ zugrunde liegen, appellieren an gewisse Intuitionen und stillschweigende Konventionen, die Teil eines Forschungsprogrammes sind. Auf allen Ebenen des wissenschaftlichen Erkenntnisprozesses bilden stillschweigende Annahmen ganz unterschiedlicher Art ein notwendiges und wesentliches Element dieses Prozesses. Sie betreffen die oben genannten metatheoretischen Aspekte ebenso wie das theoretische Paradigma selbst (z. B. Wahrnehmung als Informationsverarbeitung anzusehen), die Anbindung von Phänomenen an die Theorie, das Experiment und die experimentelle Technik, die verwendeten Apparate, die Daten und ihre Analyse oder die Frage, was als zulässige Abweichung der Daten von den theoretischen Vorhersagen noch zu akzeptieren ist.

Betrachten wir einige Beispiele aus der Psychophysik. Kennzeichnend für diese sind neben bestimmten Arten von Idealisierungen insbesondere die Brückenannahmen, durch die psychophysikalische Befunde mit neurophysiologischen in Beziehung gesetzt werden sollen. Auf die Fülle der auf mehr theoriespezifischer Ebene benötigten stillschweigenden Annahmen können wir ohne Darstellung des jeweiligen theoretischen Kontextes nicht eingehen; sie sind zumeist in komplexer Weise mit einem Forschungsparadigma verwoben. Als Beispiel möge folgendes genügen: Graham (1989) identifiziert in einem Bereich der visuellen Psychophysik 92 solcher Annahmen, die man im Verlauf

der theoretischen Modellierung machen muß, will man etwa Teilmechanismen durch bestimmte Arten von Schwellenexperimenten isolieren.

Zunächst zu Idealisierungen: Als eine nomothetische Disziplin der Psychologie ist die Psychophysik an allgemeinen Gesetzmäßigkeiten und Prinzipien der Wahrnehmung interessiert. Diese lassen sich nur dann aus experimentellen Befunden abstrahieren, wenn bestimmte Idealisierungen zugrunde gelegt werden. Die wichtigste dieser Idealisierungen hängt mit der Fiktion einer ‚Normversuchsperson‘ zusammen, einer Versuchsperson also, für die es auf der Grundlage des verfügbaren Wissens über den untersuchten Gegenstandsbe- reich keine Hinweise dafür gibt, daß sie in ‚entscheidender Weise‘ im unter- suchten Bereich Abweichungen von der überwiegenden Mehrzahl aller an- deren Personen zeigt. Annahmen einer prinzipiellen Strukturgleichheit der Wahrnehmungsprozesse bei ‚normalen‘ Personen erlauben, Experimente mit nur sehr wenigen Versuchspersonen (oftmals nur dem Autor einer Studie) durchzuführen. Zugleich liefern sie eine Rechtfertigung dafür, daß sich die Theoriebildung auf idealisierte **qualitative** Regularitäten stützt, die möglicher- weise für keine einzige Person eine **quantitative** Gültigkeit haben.

Andere Idealisierungen in der Psychophysik hängen mit dem Problem zu- sammen, ‚Anfangsbedingungen‘ präzise festzulegen - in der Physik die wich- tigste Idealisierung zur Formulierung von Modellen - bzw. allgemeiner mit der Schwierigkeit, ceteris paribus-Bedingungen zu formulieren; stets sind nämlich Gedächtnis, Aufmerksamkeitsprozesse, motorische Prozesse, sprach- liche Kategorisierungsprozesse etc. mitbeteiligt (dies sind selbst wiederum theoretische Idealisierungen, denn bei jedem Versuch ist der Mensch als Gan- zes tätig). Die Vorstellung, Wahrnehmungsprozesse ließen sich aus den Tätig- keiten des menschlichen Geistes isolieren und experimentell wie theoretisch getrennt untersuchen, muß selbst dann, wenn sie rein forschungsmethodischen Charakter hat, als eine sehr grobe Idealisierung angesehen werden. Zwar mag sie in dem Maße, wie sich als ähnlich gedachte Prozesse in künstlichen Wahr- nehmungssystemen realisieren lassen, an Plausibilität gewinnen. Je komplexer aber der betrachtete Wahrnehmungszusammenhang ist, umso mehr muß in der Psychophysik die Idee des Isolierens, die so typisch für die Physik ist, als unangemessene Idealisierung erscheinen. Solchermaßen idealisierte Vorstel- lungen einer Isolierbarkeit, in denen noch einmal das oben behandelte Prob- lem einer angemessenen Bestimmung des Reizes anklingt, bringen jedoch für die Theoriebildung eine Vereinfachung mit sich, ohne die die Psychophysik nicht auskommt.

Brückenannahmen stellen eine für die Psychophysik charakteristische Klasse impliziter Annahmen dar. Durch sie wird versucht, psychophysikalische Re- gularitäten und Gesetzmäßigkeiten zu internen Prozessen in Beziehung set- zen. Das Problem, wie sich aus Funktionseigenschaften etwas über Struktur-

eigenschaften erschließen läßt, gleicht abstrakt dem zuvor genannten Invertierungsproblem. Dies betrifft besonders die Interpretation globaler Indizes, wie Reaktionszeiten (s. etwa Pylyshyn, 1984, S. 120ff., Uttal, 1990). Durch (zumeist implizite) Brückenannahmen sollen nun rein psychophysikalische Gesetzmäßigkeiten mit neurophysiologischen Beobachtungen (die selbst wiederum durch Idealisierungen und implizite Annahmen zu gewinnen sind) in Beziehung gesetzt werden (s. Abschnitt 5.5), um so die Klasse der mit bestimmten beobachteten Funktionseigenschaften verträglichen Strukturen einzuschränken. Die Reizspezifität einzelner Neurone, die Organisation rezeptiver Felder, postulierte Mechanismen lateraler Inhibition, Funktionsausfälle bei bestimmten Läsionen u. a. werden zu solchen perzeptuellen Phänomenen in Beziehung gesetzt, von denen man annimmt, daß sie ‚wesentlich‘ durch die jeweiligen neurophysiologischen Eigenschaften ‚bedingt‘ seien. Grobe Brückenannahmen können durchaus eine gewisse Plausibilität haben; auch gibt es einzelne, die gegenwärtig als gut gestützt anzusehen sind. Ein Beispiel hierfür ist die Annahme, daß zwei foveal dargebotene farbige Lichtreize genau dann als gleich erscheinen, wenn die drei Erregungswerte der Farbrezeptoren in beiden Fällen gleich sind. In der Mehrzahl sind solche Brückenannahmen indes mehr oder weniger spekulativ und drücken die Haltung aus, daß Wahrnehmungsphänomene erst mit der Bestimmung eines neuralen Korrelates eine ‚Erklärung‘ finden könnten.

Andere implizite Annahmen beziehen sich auf die Bewertung der Daten: Die Psychophysik unterscheidet sich von anderen Disziplinen der Psychologie nicht zuletzt darin, daß die Kontrolle von Zufallsfehlern größtenteils durch die für die Reizerzeugung und Reizdarbietung verwendete Apparatur erfolgt. Zeigen sich in einem Experiment die erwarteten Effekte, so werden sie in den Daten den Einfluß von Zufallsfehlern in der Regel um Größenordnungen übertreffen. Die Verlagerung der Fehlerkontrolle in die Apparatur bringt mit sich, daß in vielen psychophysikalischen Experimenten eine statistische Fehlerkontrolle unnötig ist. Bei geeigneter graphischer Darstellung der Daten kann man oft mit dem Auge abschätzen, ob sie den theoretischen Vorhersagen entsprechen. Dabei gehen stillschweigende Konventionen darüber ein, welche Abweichungen man - in einem bestimmten Forschungsbereich und nach den gegenwärtigen Kenntnissen über die untersuchten Prozesse - zu tolerieren bereit ist (s. hierzu Kuhn, 1961).

Eine weitere Klasse impliziter Annahmen bezieht sich darauf, wie sich Berichte und Protokolle der Versuchsperson zu den interessierenden Größen der Theorie in Beziehung setzen lassen, ein Problem, das wir bereits im Zusammenhang mit dem Konzept der Beobachtung angesprochen hatten. In psychophysikalischen Experimenten betrachtet man die Urteile einer Versuchsperson - unter stillschweigenden Annahmen über ihre Zuverlässigkeit - so, als könnten es eigene Wahrnehmungsurteile sein. Man setzt also die Reaktio-

nen und Berichte der Versuchsperson zu eigenen Wahrnehmungserfahrungen in Beziehung und sieht die theoretischen Größen als Quasi-Observablen an. Dabei wird man von der Idee geleitet, daß die theoretischen Größen etwas mit eigenen Beobachtungen und eigener Wahrnehmung zu tun haben und nicht nur an externe Beobachtungen des Responseverhaltens von Versuchspersonen geknüpft sind. Erst die Anbindung des ‚internen Beobachters‘ an die Größen der Theorie stiftet die Verbindung der Theorie mit den eigenen Erfahrungen und den Intuitionen über Wahrnehmungsprozesse. Würde man darauf verzichten, verlöre die Theorie eine solche Verankerung und es bliebe nur ein ‚Konstrukt von außen‘ (ein in mancher Hinsicht analoges Problem kognitivistischer Modellbildung diskutiert Herrmann, 1982).

Selbst dort, wo man lediglich einen äußeren Beobachter hat, wie bei Wahrnehmungsuntersuchungen mit Tieren und Säuglingen, bindet man diese äußeren Beobachtungen implizit an Intuitionen an, die erst die Bezeichnung ‚Wahrnehmung‘ rechtfertigen. Wenn man etwa über ‚Wahrnehmung‘ bei Tieren spricht und beispielsweise darüber spekuliert, wie ein Tier, das vier Rezeptortypen für die Farbwahrnehmung hat, wohl Farben wahrnimmt (s. Thompson, Palacios & Varela, 1992; vgl. auch Griffin, 1991), unterstellt man stillschweigend ein gewisse Analogie zur menschlichen Wahrnehmung.

Berichte der Versuchsperson im Sinne ‚interner Beobachtungen‘ gehen also - zumeist indirekt auf der Basis stillschweigender Annahmen - in die Theorieentwicklung mit ein und werden nicht als theoretisch uninteressantes Epiphänomen ihrer Reaktionsweisen angesehen. (Dies bedeutet indes nicht, die introspektiven Beobachtungen als Berichte über die theoretisch zu erfassenden internen Zustände und Wahrnehmungsmechanismen anzusehen.) Die Verständigung von Experimentator und Versuchsperson über reizkorrelierte ‚interne Zustände‘ und die Verknüpfung dieser ‚internen Beobachtungen‘ mit den betrachteten theoretischen Größen setzt implizit weitreichende Annahmen über die Natur mentaler Prozesse voraus. Abermals werden hier die Konturen des Leib-Seele-Problems sichtbar, das jenseits methodologischer Reflektionen zur Psychophysik eigenständiger Gegenstand philosophischer Bemühungen ist. Mögen sich auch wesentliche seiner Aspekte bereits durch logisch-philosophische Analysen als Scheinprobleme erweisen, muß dennoch jeder Versuch, dieses Rätsel ohne engen Kontakt zu den Kognitionswissenschaften, ihren empirischen Befunden und ihrer Theoriebildung zu lösen, steril bleiben.

## **Literatur**

Anstis, S. (1991). Hidden assumptions in seeing shape from shading and apparent motion. In A. Gorea (Ed.), **Representations of vision. Trends and tacit assumptions in vision research.** (S. 279-293). Cambridge: Cambridge University Press.

- Barlow, H. B. (1983). Understanding natural Vision. In O. J. Braddick & A. C. Sleight (Eds.), **Physical and biological information processing of images** (S. 2-14). Berlin: Springer.
- Barlow, H.B. (1985). Perception: What quantitative laws govern the acquisition of knowledge from the senses? In C. W. Coen (Ed.), **Functions of the brain** (S. 11-43). Oxford: Clarendon.
- Barlow, H. B. (1992). The biological role of neocortex. In A. Aertsen & V. Braitenberg (Eds.), **Information processing in the cortex** (S. 53-80). Berlin: Springer.
- Bennett, B.M., Hoffman, D.D. & Prakash, C. (1989). **Observer mechanics. A formal theory of perception**. San Diego: Academic Press.
- Boring, E. G. (1942). **Sensation and perception in the history of experimental psychology**. New York: Appleton-Century.
- Boring, E.G. (1950). **A history of experimental psychology**. (2nd. Ed.). Englewood Cliffs: Prentice Hall.
- Boyd, R. (1979). Metaphor and theory change: What is „metaphor“ a metaphor for? In A. Ortony, (Ed.), **Metaphor and thought** (S. 356-408). Cambridge: Cambridge University Press.
- Brozek, J. & Gundlach, H. (Eds.) (1988). G. I: **Fechner and psychology**. Passau: Passavia Universitätsverlag.
- Brunswik, E. (1934). **Wahrnehmung und Gegenstandswelt. Grundlegung einer Psychologie vom Gegenstand** her. Leipzig: Deuticke.
- Carrier, M. & Mittelstraß, J. (1989). Geist, Gehirn, Verhalten. Das Leib-Seele-Problem und die Philosophie der Psychologie. Berlin: de Gruyter.
- Cassirer, E. (1944). The concept of group and the theory of perception. **Philosophy and Phenomenological Research**, 5, 1-35.
- Churchland, P. S. (1986). **Neurophilosophy**. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Cohen, M.A. & Grossberg, S. (1984). Neural dynamics of brightness perception: Features, boundaries, diffusion, and resonance. **Perception and Psychophysics**, 36, 428-456.
- Craik, K. J. W. (1943). **The nature of explanation**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Daugman, J. G. (1990). Brain metaphor and brain theory. In E. L. Schwartz (Ed.), **Computational neuroscience** (S. 9-18). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Dennett, D. C. (1978). **Brainstorms**. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Dennett, D.C. (1983). Intentional Systems in cognitive ethology: The „Panglossian paradigm“ defended. **Behavioral and Brain Sciences**, 6, 343-390.
- Dennett, D.C. (1984). Cognitive wheels: The frame problem of AI. In C. Hookway (Ed.), **Minds, Maschine, and Evolution: Philosophical Studies** (S. 129-151). Cambridge: Cambridge University Press.
- Dennett, D. C. (1991). **Consciousness explained**. London: Penguin.
- DeValois, R. L. & DeValois, K.K. (1988). **Spatial Vision**. Oxford: Oxford University Press.

- Duhem, **P. (1908/1978). Ziel und Struktur derphysikalischen Theorien.** Hamburg: Meiner.
- Falmagne, J.C. (1985). **Elements of psychophysical theory.** Oxford: Clarendon.
- Fechner, G. T. (1838). Ueber die subjektiven Complementarfarben. **Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, 44, 221-245.**
- Fechner, G. T. (1840). über die subjective Nachbilder und Nebenbilder. **Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, 50, 193-221; 427-470.**
- Fechner, G. Th. (1851). **ZendAvesta, oder über die Dinge des Himmels und des Jenseits.** Leipzig.
- Fechner, G.Th. (1860). **Elemente der Psychophysik. Bd. I. & II.** Leipzig: Breitkopf & Härtel.
- Fechner, G.Th. (1877). **Zn Sachen der Psychophysik.** Leipzig.
- Fechner, G.Th. (1888). Über die psychischen Maßprinzipien und das Webersche Gesetz. **Philosophische Studien, 4, 161-230.**
- Fodor, J. A. (1974). Special sciences. **Synthese, 28, 75-115.**
- Fodor, J. A., & Pylyshyn, Z. W. (1981). How direct is visual perception? Some reflections on Gibson's 'ecological approach'. **Cognition, 9, 139-196.**
- Franklin (1986). **The neglect of experiment.** Cambridge: Cambridge University Press.
- v. Fritz, K. (1971). **Grundprobleme der Geschichte der antiken Wissenschaft.** Berlin: de Gruyter.
- Garner, W. R. (1962). **Uncertainty and structure as psychological concepts.** New York: Wiley.
- Gigerenzer, G. (1988). Woher kommen Theorien über kognitive Prozesse? **Psychologische Rundschau, 39, 91-100.**
- Gibson, J. J. (1960). The concept of the Stimulus in psychology. **American Psychologist, 15, 694-703.**
- Gould, S. J. & Lewontin, R. C. (1984). The spandrels of San Marco and the Panglossian paradigm: A critique of the adaptationist Programme. In E. Sober (Ed.), **Conceptual issues in evolutionary biology** (S.252-270). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Graham, N. (1989). **Visual pattern analysers.** New York: Oxford University Press.
- Grassmann, H. (1853). Zur Theorie der Farbmischung. **Poggendorffs Annalen der Physik und Chemie, 89, 69-84.**
- Graubard, S. R. (Ed.) (1988). **The artificial intelligence debate. False starts, real foundations.** Cambridge, Mass.: MIT Press
- Griffin, D.R. (1991). Progress toward a cognitive ethology. In C. A. Risteau (Ed.), **Cognitive ethology. The mind of other animals** (S. 3-17). Hillsdale: Erlbaum.
- Grossberg, S. (1988). Nonlinear neural networks: Principles, mechanisms, and architectures. **Neural Networks, 1, 17-61.**
- Hacking, I. (1983). **Representing and intervening. Introductory topics in the philosophy of the natural sciences.** Cambridge: Cambridge University Press.
- Hanson, N.R. (1969). **Perception and discovery.** San Francisco: Freeman.

- Heider, F. (1926). Ding und Medium. **Symposium**, 1, 109-157.
- Heider, F. (1930). Die Leistung des Wahrnehmungssystems. **Zeitschrift für Psychologie**, **114**, 371-394.
- Helmholtz, H. v. (1855). Ueber das Sehen des Menschen. In H. v. Helmholtz, **Vorträge und Reden**. Bd. 1. (S. 85-117). Braunschweig: Vieweg.
- Helmholtz, H. v. (1894). Über den Ursprung der richtigen Deutung unserer Sinnes-eindrücke. **Zeitschrift für Psychologie und Physiologie der Sinnesorgane**, 7, 81-96.
- Hering, E. (1920). Grundzüge **der Lehre vom Lichtsinn**. Berlin: Springer.
- Herrmann, Th. (1982). Über begriffliche Schwächen kognitivistischer Kognitionstheorien: Begriffsinflation und Akteur-System-Kontamination. **Sprache & Kognition**, **1**, 3-14.
- Herrmann, Th. (1990). Die Experimentiermethodik in der Defensive? **Sprache & Kognition**, 9, 1-11.
- Hoffman, D.D. & Richards, W. A. (1984). Parts of recognition. **Cognition**, **18**, 65-96.
- Hoffman, W.C. (1978). The Lie transformation group approach to visual neurophysiology. In E. L.J. Leeuwenberg & H. F. Buffart (Eds.), **Formal theories of visual perception** (S. 27-66). Chichester: Wiley.
- Jacob, F. (1977). Evolution as tinkering. **Science**, 196, 1161-1166.
- James, W. (1890). **Principles of psychology**. Vol. 1. New York: Holt.
- Julesz, B. & Chang, J. J. (1976). Interaction between pools of binocular disparity detectors tuned to different disparities. **Biological Cybernetics**, **22**, 107-119.
- Kalke, W. (1969). What is wrong with Fodor and Putnam's functionalism? **Nûs**, 3, 83-93.
- Katz, D. (1911). **Die Erscheinungsweisen der Farben und ihre Beeinflussung durch die individuelle Erfahrung**. Leipzig: Barth.
- Kemke, C. (1988). Der Neuere Konnektionismus. Ein Überblick. **Informatik-Spektrum**, **11**, 143-162.
- Koenderink, J. J. (1980). Why argue about direct perception. **Behavioral and Brain Sciences**, 3, 390-391.
- Koenderink, J. J. (1990). **Solid shape**. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Kohler, I. (1957). Psychophysik heute? **Studium Generale**, **10**, 340-347.
- Krämer, S. (1991). Denken als Rechenprozedur: Zur Genese eines kognitionswissenschaftlichen Paradigmas. **Kognitionswissenschaft**, **2**, 1-10.
- Krantz, D.H. (1972). Measurement structures and psychological laws. **Science**, 175, 1427-1435.
- Krantz, D.H. (1975a). Color measurement and **color** theory: I. Representation theorem for Grassmann structures. **Journal of Mathematical Psychology**, **12**, 283-303.
- Krantz, D. H. (1975b). Color measurement and color theory. II: Opponent-colors theory. **Journal of Mathematical Psychology**, 12, 283-303.
- von Kries, J. (1882). über die Messung intensiver Größen und über das sogenannte psychophysische Gesetz. **Vierteljahresschrift für wissenschaftliche Philosophie**, 6, 257-294.

- Kubovy, M. (1981). Concurrent pitch segregation and the theory of indispensable attributes. In M. Kubovy & J. R. Pomerantz (Eds.), **Perceptual organization** (S. 55-98). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Kuhn, T. S. (1961). The function of measurement in modern science. In H. Wolf (Ed.), **Quantification. A history of the meaning of measurement in the natural and social sciences** (S. 31-63). Indianapolis: Bobbs-Merrill.
- Kuhn, T.S. (1964/1981). A function for thought experiments. In I. Hacking (Ed.), **Scientific revolutions** (S. 6-27). Oxford: Oxford University Press.
- de La Mettrie, J. O. (1748/1988). **Der Mensch als Maschine**. Nürnberg: LSR-Verlag.
- Laming, D. R.J. (1991). Reconciling Fechner and Stevens? **Behavioral and Brain Sciences**, 14, 188-191.
- Liebmann, S. (1927). über das Verhalten farbiger Formen bei Helligkeitsgleichheit von Figur und Grund. **Psychologische Forschung**, 9, 300-353.
- Livingstone, M. S. & Hubel, D. H. (1987). Psychophysical evidence for separate channels for the perception of form, color, movement and depth. **The Journal of Neuroscience**, 7, 3416-3468.
- Lucas, J.R. (1961). Minds, machines, and Gödel. **Philosophy**, 36, 120-124.
- Luce, R.D. & Krumhansl, C.L. Measurement, scaling, and psychophysics. In R.C. Atkinson, R. J. Herrnstein, G. Lindzey & R. D. Luce (Eds.), **Stevens' handbook of experimental psychology** (S. 1-74). New York: Wiley.
- Mach, E. (1863). Vorträge über Psychophysik. **Oesterreichische Zeitschrift für praktische Heilkunde**, IX, 146-148, 167-170, 202-204, 225-228, 242-245, 260-261, 277-280, 294-298, 316-318, 335-338, 352-354, 362-366.
- Mach, E. (1868). Über die physiologische Wirkung räumlich vertheilter Lichtreize. **Sitzungsberichte der Wiener Akademie der Wissenschaft. Mathematisch-naturwissenschaftliche Classe**, Bd. 57, II. Abt., 11-19.
- Mach, E. (1911/1985). **Die Analyse der Empfindungen**. Darmstadt: Wissenschaftliche Buchgesellschaft.
- Mac Cormack, E. R. (1976). **Metaphor and myth in science and religion**. Durham: Duke University Press.
- Malsburg, C. v. d. (1986). Am I thinking assemblies? In G. Palm & A. Aertsen (Eds.) **Brain theory** (S. 161-176). Berlin: Springer.
- Marr, D. (1977). Artificial intelligence: A personal view. **Artificial Intelligence**, 9, 37-48.
- Marr, D. (1982). **Vision. A Computational investigation into the human representation and processing of visual information**. San Francisco: Freeman.
- Mausfeld, R. (1993). Die Untersuchung von Segmentierungsleistungen in der Farbwahrnehmung durch minimale Reize. Unveröffentlichtes Manuskript.
- Mausfeld, R., & Niederée, R. (1993). An inquiry into relational concepts of colour based on incremental principles of colour coding for minimal relational stimuli. **Perception**.
- Mohyeldin Said, K. A., Newton-Smith, W. H., Viale, R. & Wilkes, K.V. (Eds.) (1990). **Modelling the mind**. Oxford: Clarendon Press.

- Müller, G. E. (1903). Die Gesichtspunkte und die Tatsachen der psychophysischen Methodik. In L. Asher & K. Spiro (Hrsg.), **Ergebnisse der Physiologie, Biophysik und Psychophysik** (S. 267-516). Wiesbaden: Bergmann.
- Ortony, A. (Ed.) (1979). **Metaphor and thought**. Cambridge: Cambridge University Press.
- Pachella, R. G. (1974). The Interpretation of reaction time in information-processing research. In B.H. Kantowitz (Ed.), **Human information processing: Tutorials in performance and cognition** (S.41-82). New York: Wiley.
- Penrose, R. (1989). **The emperor's new mind**. Oxford University Press: New York.
- Poggio, T. (1990). Vision: The 'other' face of AI. In K.A. Mohyeldin Said, W. H. Newton-Smith, R. Viale & K. V. Wilkes, (Eds.) **Modelling the mind** (S. 139-154). Oxford: Clarendon Press.
- Pomerantz, J.R. & Kubovy, M. (1981). Perceptual organization: An overview. In M. Kubovy & J.R. Pomerantz (Eds.), **Perceptual organization** (S. 423-456). Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum.
- Pribram, K., Nuwer, M. & Baron, R. (1974). The holographic hypothesis of memory structure in brain function and perception. In D. H. Krantz, R. C. Atkinson, R. D. Luce, & P. Suppes (Eds.), **Contemporary developments in mathematical psychology. Vol. II. Measurement, psychophysics, and neural information processing** (S. 416-457). San Francisco: Freeman.
- Putnam, H. (1960/1975). Minds and machines. In H. Putnam (1975), **Mind, language and reality. Philosophical papers. Vol. 2.** (S. 362-385). Cambridge: Cambridge University Press.
- Putnam, H. (1973). Reductionism and the nature of psychology. **Cognition**, 2, 131-146.
- Putnam, H. (1988). **Representation and reality**. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Pylyshyn, Z. W. (1984). **Computation and cognition. Towards a foundation for cognitive science**. University Press.
- Quine, W.V. (1969). **Ontological relativity and other essays**. New York: Columbia University Press.
- Ramachandran, V.S. (1990). Visual perception in people and machines. In A. Blake & T. Troscianko (Eds.), **AI and the eye** (S.21-77). Chichester: Wiley.
- Ratliff, F., & Sirovich, L. (1978). Equivalence classes of visual stimuli. **Vision Research**, 18, 845-851.
- Readhead, M. (1980). Models in physics. **British Journal of Philosophy of Science**, 31, 145-163.
- Reichardt, W. (1957). Autokorrelationsauswertung als Funktionsprinzip des Zentralnervensystems. **Zeitschrift für Naturforschung**, 12b, 448-457.
- Reuman, S. R. & Hoffman, D.D. (1986). Regularities of nature: The interpretation of visual motion. In A. P. Pentland (Ed.), **From pixels to predicates: Recent advances in computational and robotic vision** (S. 201-226). Norwood: Ablex.
- Rescher, N. (Ed.) (1986). **Current issues in teleology**. Lanham: University Presses of America.
- Ritter, H., Martinez, T. & Schulten, K. (1990). **Neurale Netze. Eine Einführung in die Neuroinformatik selbstorganisierender Netzwerke**. Bonn: Addison-Wesley.

- Rorty, R. (1979). ***Philosophy and the mirror of nature***. Princeton: Princeton University Press.
- Runeson, S. (1977). On the possibility of „smart“ perceptual mechanisms. ***Scandinavian Journal of Psychology***, 18, 172-179.
- van Santen, J. P. H. & Sperling, G. (1984). A temporal covariance model of motion perception. ***Journal of the Optical Society of America***, A1, 451-473.
- Searle, J. (1984). ***Minds, brains and science***. Cambridge, Mass.: Harvard University Press.
- Scheerer, E. (1992). Fechner's inner psychophysics: Its historical fate and present status. In H. G. Geissler, S. W. Link & J. T. Townsend (Eds.), ***Cognition, information processing, and psychophysics: Basic issues*** (S. 3-21). Hillsdale: Erlbaum.
- Shepard, R.N. (1978). The circplex and related topological manifolds in the study of perception. In S. Shye (Ed.), ***Theory construction and data analysis in the behavioral sciences*** (S.29-80). San Francisco: Jossey-Bass.
- Shepard, R.N. (1982). Perceptual and analogical bases of cognition. In J. Mehler, E. C.T. Walker & M. Garrett (Eds.), ***Perspectives on mental representations*** (S. 49-67). Hillsdale: Lawrence Erlbaum.
- Shepard, R. N. (1984). Ecological constraints in internal representation: Resonant kinematics of perceiving, imagining, thinking, and dreaming. ***Psychological Review***, 91, 417-447.
- Shepard, R.N. (1987). Evolution of a mesh between principles of the mind and regularities of the world. In J. Dupré (Ed.), ***The latest on the best. Essays on evolution and optimality*** (S.251-275). Cambridge, Mass.: Bradford.
- Singer, W. (1990). Search for coherence: A basic principle of cortical self-organization. ***Concepts of Neuroscience***, 1, 1-26.
- Sloman, A. (1983). Image interpretation: The way ahead? In O. J. Braddick & A. C. Sleigh (Eds.), ***Physical and biological processing of images*** (S.380-401). Berlin: Springer.
- Smart, J. J. C. (1964). ***Philosophy and scientific realism***. London: Routledge.
- Smolensky, P. (1988). On the proper treatment of connectionism. ***Behavioral and Brain Sciences***, 11, 1-23.
- Sober, E. (Ed.) (1984). ***Conceptual issues in evolutionary biology***. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Sperling, G. (1970). Binocular Vision: A physical and neural theory. ***American Journal of Psychology***, 83, 461-534.
- Sperling, G. (1981). Mathematical models of binocular Vision. In S. Grossberg (Ed.), ***Mathematical psychology and psychophysiology*** (S. 281-300). Providence: American Mathematical Society.
- Stevens, S.S. (1951). Mathematics, measurement, and psychophysics. In S.S. Stevens (Ed.), ***Handbook of experimental psychology*** (S. 1-49). New York: Wiley.
- Suppes, P., Krantz, D.H., Luce, R. D. & Tversky, A. (1989). ***Foundations of measurement. Vol. II. Geometrical, threshold, and probabilistic representations***. New York: Academic Press.

- Tack, W.H. (1983). Psychophysische Methoden. In H. Feger & J. Bredenkamp (Hrsg.), **Enzyklopädie der Psychologie. Messen und Testen** (S. 346-426). Göttingen: Hogrefe.
- Thompson, E., Palacios, A. & Varela, F. J. (1992). Ways of coloring. **Behavioral and Brain Sciences**, *15*, 1-74.
- Ullman, S. (1980). Against direct perception. **Behavioral and Brain Sciences**, *3*, 373-415.
- Uttal, W.R. (1967). Evoked brain potentials: Signs or codes? **Perspectives in Biology and Medicine**, *10*, 627-639.
- Uttal, W. R. (1990). On some two-way barriers between models and mechanisms. **Perception & Psychophysics**, *48*, 188-203.
- van Fraassen, B. C. (1989). **Laws and symmetry**. Oxford: Clarendon.
- Vartanian, A. (1953). **Diderot and Descartes. A study of scientific naturalism in the enlightenment**. Princeton: Princeton University Press.
- Webb, J. C. (1980). **Mechanism, mentalism, and metamathematics**. Dordrecht: Reidel.
- Woodward, J. (1989). Data and phenomena. **Synthese**, *79*, 393-472.
- Wyszecki, G. & Stiles, W. S. (1982). **Color science. Concepts and methods, quantitative data and formulae**. (2nd. Ed.). New York: Wiley.