

erscheint in: Schütz, Selg & Lautenbacher (Hrsg.) (2005). *Einführung in die Psychologie*. Stuttgart: Kohlhammer.

## **Wahrnehmungspsychologie**

*Rainer Mausfeld*

### **1 Einleitung**

Aus unserer Alltagsperspektive haben wir mit der Wahrnehmung in der Regel keine Probleme, warum also sollten wir uns mit Wahrnehmungspsychologie beschäftigen? Ist nicht die Wahrnehmung bereits, möglicherweise mit Ausnahme einiger Details sowie ihrer neurophysiologischen Grundlagen, im wesentlichen gut verstanden? Psychologisch ist die Wahrnehmung, so scheint es, kaum sonderlich interessant, sieht man von einigen recht unterhaltsamen Demonstrationen optischer Täuschungen ab. - Wären Vorstellungen dieser Art, die unseren Alltagsintuitionen von Wahrnehmung entsprechen, zutreffend, gäbe es in der Tat über sinnesphysiologische Aspekte hinaus kaum einen Grund, sich mit der Wahrnehmung zu beschäftigen. Doch unsere Alltagsintuitionen sind in den Naturwissenschaften – und unter diesem Aspekt wollen wir die Wahrnehmung betrachten – in der Regel kein guter Leitfaden. Und dies gilt, wie wir sehen werden, ganz besonders im Falle der Wahrnehmung. Denn wir sind so gebaut, dass unser Gehirn die Funktionsweise der Wahrnehmung fast vollständig vor uns, d.h. vor unserer bewußten Erfahrung, abschottet und uns nur das Endprodukt des Wahrnehmungssystems in einigen Aspekten bewußt werden läßt. Unsere Alltagsintuitionen zur Wahrnehmung und damit unser Eindruck, dass wir die Natur der Wahrnehmung im wesentlichen zu durchschauen glauben, sind selbst ein Resultat der Organisationsweise unseres Gehirns. Wir wollen zunächst versuchen, diese Alltagsvorstellungen explizit zu machen, damit wir weniger Gefahr laufen, von ihnen bei dem Bemühen um ein theoretisches Verständnis der Natur der Wahrnehmung in die Irre geführt zu werden.

Da unsere Wahrnehmung so reibungslos und mühelos funktioniert, richten wir nur selten unsere gedankliche Aufmerksamkeit auf sie. Wenn wir über sie nachdenken, sind wir überzeugt, dass uns ihre Funktionsweise weitgehend transparent ist, d.h. dass die Wahrnehmung im großen und ganzen so funktioniert, wie wir uns das vorstellen. Dies beinhaltet vor allem, dass die Wahrnehmung uns über die Beschaffenheit der Außenwelt unterrichtet und dass die Welt im wesentlichen so ist, wie wir sie wahrnehmen. Insbesondere sind wir überzeugt, dass die Kategorien unserer Wahrnehmung auch Kategorien der Außenwelt sind und dass wir - bis auf einige ‚Sinnestäuschungen‘ - die Welt so sehen, wie sie wirklich ist. Wobei wir natürlich bereit sind, einige ‚Spitzfindigkeiten‘ zu berücksichtigen, zu denen uns die Physik zwingt, die ja ihrerseits beansprucht, die Welt so zu beschreiben, wie sie wirklich ist: Natürlich nehmen wir beim Schmecken nicht die chemi-

sche Struktur von Molekülen wahr, sondern Geschmacksqualitäten, wie süß, sauer, salzig oder bitter, natürlich sehen wir nicht Wellenlängen des Lichtes, sondern Farben. Wir sind also in einigen Fällen bereit zuzugestehen, dass wir die Welt nicht so wahrnehmen, wie die Physik sie beschreibt, sondern daß wir hier und da ein paar subjektive Aspekte hinzufügen: Doch mindert dies kaum unsere grundsätzliche Überzeugung, dass die Wahrnehmung - abgesehen von solchen ‚subjektiven Sinnesqualitäten‘ und einigen Sinnestäuschungen – wirklichkeitsgetreu ist. Tatsächlich muß die Wahrnehmung schon aus evolutionsbiologischen Gründen zumindest in dem Sinne wirklichkeitsgetreu sein, dass sie eine angemessene Kopplung des Organismus an funktional relevante Aspekte der physikalischen Umwelt gewährleistet. Hierzu gehört auch, daß sie weder gedanklich oder willentlich modifizierbar ist noch in ihren Grundprozessen von anderen Arten interner Prozesse, beispielsweise von affektiven Zuständen, abhängt. Daher überrascht es nicht, dass die Wahrnehmung innerhalb der funktionalen Architektur unseres Gehirns gegen solche Einflüsse weitgehend abgeschottet ist. Wir können im Prozeß des Wahrnehmens nicht zugleich die Funktionsweise der Wahrnehmung beobachten; lediglich einige Aspekte des Endproduktes der Wahrnehmung sind uns phänomenal präsent. Die Prozesse, die der Wahrnehmung (wie auch allen anderen Leistungen des Gehirns) zugrunde liegen, gelangen nicht selbst zum Bewußtsein und sind daher nicht direkt und unmittelbar zugänglich. Die Funktion des Wahrnehmungssystems liegt darin, dass es an seinen Schnittstellen mit anderen kognitiven Systemen (sowie mit der Motorik) die für deren Funktion erforderlichen Produkte bereitstellt. Das phänomenale Perzept, also der in unserem Erleben präsente Wahrnehmungseindruck, ist nur eines dieser vom Wahrnehmungssystem bereitgestellten Produkte. Die damit verbundene sinnliche Erfahrung vermittelt uns den Eindruck eines direkten Kontaktes zu der uns umgebenden Welt, über deren tatsächliche Beschaffenheit sie uns zu unterrichten scheint (von anderen Aspekten der Wahrnehmung, wie Körper- oder Schmerzempfindung wollen wir hier absehen). Es ist gerade die große Leistung unseres Gehirns, dass das Wahrnehmungssystem so arbeitet, dass wir den Eindruck haben, direkt die Welt zu beobachten, und dass es die inneren Prozesse, die dem zugrunde liegen, wieder herauskürzt. Diese Abkapselung des Wahrnehmungssystems gegen introspektive Prozesse stellt keinen Konstruktionsmangel dar, sondern ist eine für die Funktion des Wahrnehmungssystems geradezu notwendige Leistung des Gehirns. Die alltagspsychologische Vorstellung, die Funktionsweise der Wahrnehmung sei eigentlich banal und uns im großen und ganzen transparent, ist also Konsequenz dieser Leistung des Gehirns und somit Teil unseres biologischen Designs. Daher ist es nicht überraschend, dass sich diese Alltagsvorstellungen über die Natur der Wahrnehmung auch im naturwissenschaftlichen Kontext unserer Bemühungen, die Natur der Wahrnehmung theoretisch zu verstehen, so hartnäckig halten und damit eine erfolgreiche Theoriebildung erschweren.

Was unterscheidet nun eine naturwissenschaftliche Zugangsweise zur Wahrnehmung von einer alltagspsychologischen? Eine naturwissenschaftliche Zugangsweise sucht allgemeine übergreifende Prinzipien hinter der Vielheit sinnlicher Erscheinungen zu identifizie-

ren, auf deren Grundlage sie die Komplexität der Erscheinungen ordnend auf Weniges reduzieren kann; durch hochgradige Abstraktion und Idealisierung sucht sie einen Kern an Gesetzmäßigkeiten zu identifizieren, auf dessen Grundlage sich die Vielheit der Erscheinungen erklären läßt. Der Erklärungs begriff der Naturwissenschaften weicht also grundlegend von dem des Alltags ab; es ist durchaus möglich, ja sogar wahrscheinlich, dass das, was aus naturwissenschaftlicher Perspektive, ob in Physik, Biologie oder im Falle der Untersuchung der Wahrnehmung, als eine Erklärung für eine Phänomenklasse betrachtet wird, die Art von Verstehensbedürfnissen, die mit dem Erklärungs begriff unseres Alltags verbunden sind, in keiner Weise befriedigt; und umgekehrt werden Erklärungen, die wir aus Alltagssicht als befriedigend erleben, in den Naturwissenschaften in der Regel als unzureichend oder unangemessen angesehen. Die Naturwissenschaften beruhen also auf einer besonderen Konzeption des Verstehens, nämlich Verstehen im Sinne einer Zurückführbarkeit einzelner Phänomene auf allgemeine abstrakte Prinzipien im Rahmen gleichermaßen abstrakter Theorien. Es ist selbst wiederum eine besondere Leistung des menschlichen Gehirns, dass wir zu ganz unterschiedlichen Arten des Verstehens befähigt sind, nämlich eines eng an die sinnlichen Erfahrungen des Alltags angebundenes Verstehens und eines sich von diesen sinnlichen Erfahrungen lösenden, gleichsam über sie hinausgehenden abstrakten theoretischen Verstehens, wie es die Naturwissenschaften verkörpern. Beide Arten des Verstehens stehen zwar in einem Spannungsverhältnis, aber nicht in Konkurrenz; vielmehr ergänzen sie einander. Es wäre ein Mißverständnis, wenn man die eine Art des Verstehens gegen die andere ausspielen wollte. Wenn wir also Wahrnehmungspsychologie aus naturwissenschaftlicher Perspektive betreiben und uns dabei - in fast paradoxer Weise - von der unmittelbaren Evidenz des sinnlich Erlebten lösen, um so einige abstrakte Funktionsprinzipien des Wahrnehmungssystems theoretisch zu verstehen, so brauchen wir nicht zu fürchten, dass uns durch eine solche Zugangsweise die im sinnlichen Erleben präsen te Komplexität und Reichhaltigkeit der Wahrnehmung verloren geht. Vielmehr ergänzen wir unser alltagspsychologisches Verstehen der Wahrnehmung durch eine andere Art des Verstehens, mit der wir hoffen, dass viele Phänomene, die sich der alltagspsychologischen Erklärung entziehen, auf der Ebene der naturwissenschaftlichen Theoriebildung eine Erklärung finden. Wir nehmen also - hier wie auch in anderen Naturwissenschaften - in Kauf, dass zwischen unseren Alltagsvorstellungen und den Theorievorstellungen der Naturwissenschaft eine sich zunehmend vergröß ernde Kluft entwickelt, sofern wir dadurch einen Gewinn in der Erklärungskraft unserer Theorien erzielen. Eine ernsthafte Theoriebildung im Sinne der Naturwissenschaften hat zur Voraussetzung, dass sich durch sie eine Reihe ganz verschiedener Phänomene oder gar Phänomenbereiche in fruchtbarer Weise miteinander in Beziehung setzen läßt. Je mehr ihr dies gelingt, um so weniger scheut sie sich, radikal von Alltagsintuitionen abzuweichen. Daran müssen wir uns gerade in der Psychologie immer wieder erinnern, weil wir hier mehr als in anderen Bereichen der Naturwissenschaften dazu neigen, die Plausibilität theoretischer Vorstellungen nach alltagspsychologischen Intuitionen zu bewerten statt nach ihrer explanatorischen Tiefe und Breite.

Wenn wir uns nun bei einer naturwissenschaftlichen Zugangsweise auf eine Art der Theoriebildung einlassen, bei der wir uns weit vom sinnlichen Erleben und von vertrauten Alltagsintuitionen lösen, so sind wir dabei um so stärker auf verlässliche Kriterien angewiesen, die uns helfen, das, was wir durch diese Loslösung von der Alltagsperspektive gewinnen, nämlich explanatorische Breite und Tiefe, zu bewerten. Das ist, wie die Geschichte der Naturwissenschaften zeigt, ein höchst schwieriges Problem. Für unsere Zwecke genügt es festzuhalten, dass das Vertrauen in die Angemessenheit einer theoretischer Vorstellung in dem Maße wächst, indem es ihr gelingt, Phänomene aus ganz unterschiedlichen Bereichen miteinander in Beziehung zu setzen und zu neuen und überraschenden Befunden zu führen, die wiederum fruchtbar für die weitere Theoriebildung sind. Wenn sich also aus Bereichen, die aus der Alltagsperspektive wenig miteinander verbindet, eine Konvergenz auf dieselben Theorievorstellungen ergibt, so ist dies ein guter Indikator für die explanatorische Fruchtbarkeit einer solchen Theorievorstellung. Und genau dies ist in den letzten Jahrzehnten in der Wahrnehmungspsychologie der Fall. Hier konvergieren zunehmend ganz unterschiedliche Disziplinen, nämlich Wahrnehmungspsychologie, Ethologie und vergleichende Wahrnehmungsforschung sowie Säuglingsforschung, auf die Konturen eines gemeinsamen theoretischen Bildes von der Natur der Wahrnehmung. Diese Konvergenz erhöht unsere Konfidenz in die Angemessenheit des errungenen theoretischen Bildes, mag es auch weit von unseren Alltagsintuitionen zur Wahrnehmung abweichen. Mit einigen Aspekten dieses theoretischen Bildes wollen wir uns im folgenden vertraut machen. Bevor wir uns dieser Theorievorstellung in systematischerer Weise nähern, soll sie zunächst prägnant, aber sehr verkürzt charakterisiert werden.

Wie also läßt sich dieses theoretische Bild kurz charakterisieren? Unserer alltagspsychologischen Vorstellung entsprechend liefert uns die Wahrnehmung ein durch die Sinnesorgane vermitteltes Bild der Außenwelt; unsere naive Wahrnehmungstheorie ist im wesentlichen eine Abbildtheorie. Was wir wahrnehmen wird durch die Sinne geliefert, das Wahrnehmungssystem gleicht einer *tabula rasa*, einer unbeschriebenen Tafel, die sich durch das sinnlich Erfahrene Stück für Stück füllt. Assoziationen und Gedächtnisprozesse stellen dabei das mentale Bindemittel bereit, das die Sinneseindrücke zu dem Ganzen der erlebten Welt verbinden. Von dieser alltagspsychologischen Vorstellung weicht nun das sich aus der Konvergenz der genannten Disziplinen ergebende theoretische Bild radikal ab. Ihm zufolge verfügt das Wahrnehmungssystem als Teil seiner biologischen Ausstattung über ein reiches und hochstrukturiertes Reservoir an Grundkonzepten. Diese Grundkonzepte stellen gleichsam die Sprache des Wahrnehmungssystems dar; es legt die Kategorien fest, in denen die von den Sinnen gelieferten Informationen zergliedert werden. Es definiert also die Kategorien unserer Welt. Was wir als Kategorien der Außenwelt erleben, sind die uns biologisch vorgegebenen Kategorien des Wahrnehmungssystems. Die Leistung unseres Gehirnes ist, dass wir diese Kategorien der uns biologisch gegebenen konzeptuellen Grundausstattung nicht bemerken, sondern sie gleichsam von Innen nach Außen verlegen und so die Illusion ihrer Objektivität erhalten. Das Wahrnehmungssy-

stem kann nicht anders als *in terminis* dieser Grundkonzepte seine Welt zu konstruieren. Unsere wahrgenommene Welt ist eine Konstruktion und zwar eine Konstruktion auf der Basis der uns biologisch vorgegebenen konzeptuellen Grundausstattung unseres Wahrnehmungssystems. Soweit sehr verkürzt die theoretische Vorstellung, die sich aus den Untersuchungen der genannten sehr unterschiedlichen Bereiche herauskristallisiert hat. Sie weicht von unseren Alltagsintuitionen zur Wahrnehmung radikal ab, so dass wir uns sorgfältig die Pfeiler empirischer Befunde ansehen müssen, auf denen sie ruht. Eine allgemeinverständliche Einführung in einige Aspekte dieses neuen theoretischen Bildes von der Wahrnehmung gibt Hoffman (2000).

Im folgenden werde ich versuchen, diese theoretische Vorstellung von der Natur der Wahrnehmung durch die Darstellung einiger Aspekte der Evolutionsgeschichte des Wahrnehmungssystems zu motivieren, um dabei zugleich zwei zentrale theoretische Konzepte einzuführen, nämlich das der *Modularität* und das der *abstrakten Datentypen* bzw. *symbolischen Basisrepräsentationen*. Am Anschluß daran sollen anhand einiger ausgewählter Befunde die bislang gewonnenen theoretischen Vorstellungen über die biologisch vorgegebene Konzeptstruktur des Wahrnehmungssystems illustriert werden. Damit uns dabei nicht immer wieder weitverbreitete und zumeist aus alltagspsychologischen Vorstellungen resultierende Mißverständnisse zur Natur der Wahrnehmung in die Quere kommen, will ich zunächst die wichtigsten dieser Mißverständnisse explizit ansprechen und kurz erläutern, warum es sich dabei um Mißverständnisse handelt.

## 2 Typische und weitverbreitete Mißverständnisse zur Natur der Wahrnehmung

**Mißverständnis 1:** „*Die Wahrnehmung dient dem Erkennen der physikalischen Realität.*“

Dieses Mißverständnis, das auch in verfeinerten Varianten auftritt, und der zumeist mit ihm verbundene naive Realismus ist kaum überraschend, denn die Leistung des Gehirns liegt ja gerade darin, uns den Eindruck zu geben, wir stünden in der Wahrnehmung in direktem Kontakt mit der Welt. Eine komparative Perspektive eines Vergleichs von Wahrnehmungssystemen unterschiedlicher Spezies läßt jedoch leicht die Unangemessenheit einer solchen Auffassung erkennen. Unterschiedliche biologische Arten können die auf den Organismus treffenden physikalischen Energien in ganz unterschiedlicher Weise in Sinnesmodalitäten zerlegen. Der überwiegende Teil des auf den Organismus treffenden raum-zeitlichen Energiemusters wird nicht für biologische Zwecke verwendet; nur einige Aspekte werden für eine biologische Anpassung des Organismus an seine Umwelt herausgefiltert. Beispielsweise können wir weder die Polarisierungsebene von Licht wahrnehmen noch die Richtung magnetischer Felder. Dies macht bereits deutlich, dass die Wahrnehmung nicht dem Erkennen der 'physikalischen Realität' dient. Vielmehr ist unser Konzept von 'physikalischer Realität' bereits *in terminis* der uns biologisch verfü-

baren Wahrnehmungskategorien formuliert. Die Dinge, die unsere Wahrnehmungswelt bevölkern, sind nicht die abstrakten Entitäten, welche die theoretische Physik zugrunde legt (wie Atome, Quarks, Superstrings, Gravitationsfelder, etc.). Was wir als Realität ansehen ist also ein Produkt unseres Wahrnehmungssystems. Die vom Wahrnehmungssystem bzw. Gehirn generierte ‚Realität‘ ist eine andere als die durch die Theoriebildung der Physik charakterisierte ‚Realität‘. Beide stellen unterschiedliche Kategorisierungen, Ausschnitte oder Aspekte der, metaphysisch gesprochen, ‚wirklichen Welt‘ dar. Wie sich beide zueinander verhalten ist seit den Anfängen des Denkens eine der großen Fragen der Naturforschung. Dass sie nicht ganz auseinanderfallen, dürfte angesichts unserer Evolutionsgeschichte wohl offenkundig sein. Doch die Tatsache, dass es in biologisch relevanten Aspekten hinreichend viele Verbindungen zwischen beiden geben muß, darf uns in der Wahrnehmungspsychologie nicht dazu verleiten, wahrnehmungsbasierte Kategorisierungen mit physikalischen zu verwechseln (für Beispiele solcher Verwechslungen siehe Mausfeld, 2002).

Eine spezielle Variante dieses Mißverständnisses I ist die Auffassung, dass sich die Wahrnehmung in Analogie zu einem physikalischen Meßinstrument verstehen lasse, das uns über die Werte physikalischer Größen unterrichtet oder zumindest im Normalfall unterrichten soll. Diese Auffassung, die sich auch als *Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung* (Mausfeld, 2002) bezeichnen läßt, ist - wenn auch mit gewissen Modifikationen - Kern unserer alltagspsychologischen Vorstellungen zur Wahrnehmung und dominiert bis heute weite Teil der Wahrnehmungspsychologie. Bereits die Gestaltpsychologen haben nachgewiesen, dass diese Vorstellung in grober Weise unangemessen und irreführend ist.

Mit der Meßinstrumentkonzeption der Wahrnehmung, der zufolge es Aufgabe des Wahrnehmungssystems sei, eine *physikalisch korrekte* Beschreibung des physikalischen Inputs zu erlauben, hängt wiederum ein weiteres weitverbreitetes Mißverständnis zusammen, nämlich die Auffassung, dass sog. Wahrnehmungstäuschungen von besonderem Interesse für die Wahrnehmungspsychologie seien. Das Konzept der ‚Wahrnehmungstäuschung‘ stellt eines der größten Hemmnisse für eine naturwissenschaftliche Theorieentwicklung zur Natur der Wahrnehmung darstellt. In der Antike hatte man bereits erkannt, daß die Sinne und die urteilenden Instanzen zu unterschiedlichen Komponenten des menschlichen Geistes gehören.

Diese für ein theoretisches Verständnis des Geistes notwendige Unterscheidung konfliktiert jedoch mit unserer Alltagspsychologie, die nicht zwischen der Leistung des Wahrnehmungssystems und den höheren kognitiven Subsystemen, die von ihm Gebrauch machen. Denn unsere Alltagspsychologie macht überhaupt keine Unterscheidung in funktionale Komponenten. Daher neigen wir im Alltag dazu, eine Diskrepanz zwischen unserem Wahrnehmungseindruck einerseits und Erwartungen über physikalische Aspekte der Außenwelt andererseits dem Wahrnehmungssystem zuzuschreiben und als Täuschung des

Wahrnehmungssysteme anzusehen. Daß eine solche Auffassung und die damit verbundene Klassifikation von Wahrnehmungsphänomenen in ‚normale‘ und ‚illusionäre‘ für ein naturwissenschaftliches Verständnis der Prinzipien des Wahrnehmungssystems hinderlich ist, hatte Helmholtz noch einmal klar ausgesprochen: „*Das Sinnesorgan täuscht uns dabei nicht, es wirkt in keiner Weise regelwidrig, im Gegenteil, es wirkt nach seinen festen, unabänderlichen Gesetzen und es kann gar nicht anders wirken. Aber wir täuschen uns im Verständnis der Sinnesempfindung.*“ (Helmholtz, 1855/1896, p. 100)

**Mißverständnisse 2:** „*Die Kategorien und Leistungen unseres Wahrnehmungssystems beruhen überwiegend auf Erfahrung und Lernen.*“

Auch dieses Mißverständnis resultiert aus alltagspsychologischen Vorstellungen zur Wahrnehmung und zu mentalen Prozessen allgemein. In unserer natürlichen Alltagspsychologie, d.h. unseren Vorstellungen über die Funktionsweise unseres Geistes, neigen wir zu der Auffassung, dass wir all das, was uns im Erleben präsent ist, durch Erfahrung gewonnen, also erlernt haben. Ohne Erfahrung gleicht, dieser Vorstellung zufolge, der Geist einer *tabula rasa* und erst die durch die Sinne vermittelte Erfahrung versieht den Geist mit all den Konzepten, die uns im Erleben zur Verfügung stehen. Darum wird diese Auffassung auch als ‚*empiristische Theorie des Geistes*‘ bezeichnet. Unsere natürliche Alltagspsychologie zeichnet sich also dadurch aus, dass wir alles, was in unserem Erleben konstant ist, gleichsam ignorieren und alles, was variabel ist, überakzentuieren. Dass wir zu einer solchen Auffassung neigen, ist biologisch sicherlich eine sehr zweckmäßige Leistung unseres Gehirns. Übertragen wir jedoch eine solche Auffassung auf eine naturwissenschaftliche Untersuchung der Prinzipien des Wahrnehmungssystems (und anderer kognitiver Systeme), so ist sie grob unangemessen. In der Wahrnehmungspsychologie stehen nämlich nicht, wie dies im Alltag der Fall ist, die individuellen Lerngeschichten und Variationen im Vordergrund, welche die Vielfalt kultureller Erscheinungsformen und Alltagsphänomene hervorbringen. Vielmehr sucht die Wahrnehmungspsychologie die *universellen* Prinzipien zu verstehen, auf denen die Leistungen des Wahrnehmungssystems basieren, d.h. die Prinzipien, die Teil unserer biologischen Grundausstattung und somit allen Vertretern unserer Spezies gemeinsam sind. Wie auch im Falle anderer biologischer Systeme, seien es Wahrnehmungssysteme anderer Spezies, das Immunsystem oder Organe, sind die Grundstrukturen der Wahrnehmung biologisch fest vorgegeben und werden nicht erlernt. Wie diese Grundstrukturen und die jeweilige sinnliche Erfahrung zusammenspielen ist eine schwierige Frage der Wahrnehmungspsychologie, die nur in einem konkreten Bereich empirisch beantwortet werden kann. Wie auch immer diese Frage im konkreten Fall zu beantworten ist, wird die Antwort in eine grundsätzlich andere Richtung gehen als unsere Alltagsvorstellung vom Lernen (siehe etwa Gallistel, 2000). Auch in dieser Frage kann uns wiederum eine komparative Perspektive helfen, alltagspsychologische und anthropozentrische Fehlkonzeptionen zur Wahrnehmung (und zu kognitiven Fähigkeiten allgemein) zu vermeiden.

**Mißverständnis 3:** „Die Untersuchung der Wahrnehmung ist hauptsächlich Aufgabe der Sinnesphysiologie.“

Dieses Mißverständnis wurde begünstigt durch die enge geschichtliche Verflechtung von Sinnesphysiologie und Wahrnehmungspsychologie, die dazu geführt hat, dass die Wahrnehmungspsychologie lange Zeit praktisch mit der Sinnesphysiologie identifiziert wurde. Nahegelegt wurde eine solche Identifikation durch die Zuschreibung bestimmter Klassen von Empfindungen zu Sinnesorganen, wie sie schon in der Antike mit der Lehre von den fünf Sinnen (Sehen, Hören, Fühlen, Riechen und Schmecken) formuliert worden war und wie sie auch der Alltagspsychologie zugrunde liegt. Durch eine solche Zuordnung werden die Sinnesmodalitäten selbst als natürliche und weitgehend isoliert betrachtbare Analyseeinheiten angesehen. Für die Sinnesphysiologie hat sich eine solche enge Anbindung an die lokale physikalische Natur des Reizes als sehr fruchtbar erwiesen; in der Wahrnehmungspsychologie jedoch hat eine solchermaßen elementaristische Auffassung tieferen theoretische Einsichten in die Natur des Wahrnehmungssystems blockiert. Denn die Leistungen des Wahrnehmungssystems gehen weit über die Leistungen der Sinnesorgane hinaus und lassen sich nicht auf diese reduzieren. Damit das Wahrnehmungssystem seine komplexen Leistungen erbringen kann, muß es zu einer *transmodalen* Repräsentation der biologisch-physikalischen Umwelt in der Lage sein, d.h. seine Leistung besteht gerade darin, dass es sich von spezifischen Input-Kanälen freimacht. Dies ist bereits vom ersten Moment des Lebens so, wie Befunde der Säuglingsforschung zeigen (z.B. Meltzoff & Borton, 1979; Streri, Spelke & Rameix, 1993).

Das Mißverständnis 3 beruht also auf einer gravierenden Unterschätzung der Komplexität des Wahrnehmungssystems. Darüber hinaus drückt sich in ihm ein allgemeines methodisches Mißverständnis zur Rolle unterschiedlicher Analyseebenen in der naturwissenschaftlichen Theoriebildung aus. Die naturwissenschaftliche Zugangsweise unterscheidet bei der Untersuchung von Phänomenen der Natur unterschiedliche Analyseebenen, die weitgehend eigenständig und in jeweils eigenen theoretischen Sprachen ihre Theoriebildung betreiben. Bereits die grobe Einteilung in die Disziplinen der Physik, Chemie, Biologie und Psychologie illustriert dies. Ebenso gibt es bei der Analyse komplexer *natürlicher* Systeme – seien sie physikalisch (z.B. Planetensystem, Wetter) oder biologisch (z.B. Biochemie der Zelle, Stoffwechselphysiologie, ontogenetische oder phylogenetische Entwicklung) – eigenständige Analyseebenen. Gleiches gilt auch für die Untersuchung des Wahrnehmungssystems (bzw. allgemein des Gehirns), bei der sich folgende Analyseebenen unterscheiden lassen (vgl. Tinbergen, 1963):

- physikalische Basis (z.B.: Durch welche physikalischen Prinzipien werden bestimmte Eigenschaften hervorgebracht?)
- Struktur (z.B.: Wie ist ein System aufgebaut?)
- Funktion (z.B.: Nach welchen Prinzipien funktioniert dies System?)

- ontogenetische Entwicklung
- phylogenetische Entwicklung

Sinnes- und Neurophysiologie auf der einen Seite und Wahrnehmungspsychologie auf der anderen Seite beschäftigen sich also auf ganz unterschiedlichen Analyseebenen mit demselben biologischen System. Sie beziehen sich also auf ganz verschiedene Aspekte und verfolgen unterschiedliche Fragen. Die Wahrnehmungspsychologie läßt sich dabei ebenso wenig auf die Neurophysiologie reduzieren, wie sich die Biologie auf die Chemie oder die Zellbiologie auf die Biochemie reduzieren lassen.

Auch die Frage der evolutionären Genese unseres Wahrnehmungssystems bezieht sich auf eine separate Analyseebene. Wie auch im Falle anderer biologischer Systeme, etwa Immunsystem oder Herz-Kreislaufsystem, können wir die Funktionsweise des Wahrnehmungssystems unabhängig von seiner phylogenetischen Genese untersuchen. Natürlich stehen die verschiedenen Analyseebenen in einem komplexen Wechselspiel, und es kann lehrreich und in bestimmten Fällen sogar erforderlich sein, Aspekte anderer Analyseebenen mit zu berücksichtigen. Im folgenden Abschnitt wollen wir einen Blick auf die Evolutionsgeschichte des Wahrnehmungssystems werfen und einige Stufen seiner evolutionären Entwicklung grob nachzeichnen. Dies soll uns ein Verständnis seiner Architektur und seiner Funktionsprinzipien erleichtern und uns vor anthropozentrischen Vorstellungen und einem abiologischen Vorgehen schützen, wie es durch alltagspsychologische Vorstellungen nahegelegt wird.

### **3 Grundzüge der Evolution des Wahrnehmungssystems**

So sicher wir uns über wesentliche Prinzipien sind, die der Evolution zugrunde liegen, so wenig wissen wir über die spezifischen Determinanten und Schritte der Evolution des Wahrnehmungssystems. Nun ist diese Situation für uns nicht weiter beunruhigend, da die Analyseebene, die sich mit der Untersuchung der Funktionsweise eines vorliegenden biologischen Systems beschäftigt, unabhängig ist von der Analyseebene, die sich mit der phylogenetischen Entstehung dieses Systems beschäftigt. Selbst wenn, wofür nichts spricht, die Evolutionstheorie falsch wäre, würde sich nichts an unseren Theorien über die Funktionsweise eines vorliegenden Systems ändern - die aerodynamische Erklärung, wie Vögel fliegen, die Funktionsweise des Herzens oder der Nieren, die Funktionsweise des Wahrnehmungssystems, etc., hängen nicht von ihrer Selektionsgeschichte ab.

Auch wenn wir noch wenig über die genauen Bedingungen und Stufen der evolutionären Ausdifferenzierung sensorischer Systeme bzw. von Wahrnehmungssystemen wissen, so können wir einen groben Blick auf einige Komplexitätsstufen von Wahrnehmungssystemen werfen, um an diesen Stufen jeweils einige der internen Architektur- und Funktionsprobleme deutlich zu machen, die ein System bei seiner evolutionären Ausdifferenzie-

nung bewältigen muß. Dabei werden einige Prinzipien erkennbar, die kennzeichnend für kognitive Systeme im allgemeinen sind. Diese Prinzipien bündeln sich in zwei zentralen Konzepten, nämlich dem Konzept der ‚*Modularität*‘ und dem Konzept der ‚*symbolische Basisrepräsentation*‘ bzw. des *abstrakten Datentyps*, beides Kernkonzepte der Kognitionsforschung.

Wir wollen also versuchen, in einigen für uns interessanten Stufen den evolutionären Pfad nachzuzeichnen, beginnend mit dem einfachsten Fall eines Systems, das nur aus einem einzelnen Sensortyp besteht, der direkt mit einem motorischen Effektor verbunden ist, bis hin zur Architektur eines Wahrnehmungssystems, das die für unser Wahrnehmungssystem charakteristischen Leistungen zu erbringen vermag. Dieser evolutionäre Pfad ist dadurch gekennzeichnet, dass sich immer mehr interne Elemente zwischen Sensorik und Motorik schieben und sich dadurch mit der evolutionären Weiterentwicklung die Beziehung von Sensorik und Motorik immer stärker entkoppelt und immer komplexer wird.

Allgemein ist die Evolutionsgeschichte gekennzeichnet durch eine Tendenz zur Ausdifferenzierung und Modularisierung von biologischen Funktionen. Diese Tendenz wurde physikalisch bereits durch eine zunehmende Körpergröße erzwungen: Bei Bakterien kann sowohl die Nährstoffversorgung wie auch die Informationsübertragung in der Zelle durch Mechanismen der *Diffusion* erfolgen. Größere Organismen sind hingegen auf spezialisierte Zellen angewiesen, die Aufgaben der Sauerstoffversorgung, des Sauerstoff- und Nährstofftransportes, der Verdauung und der internen Signalverarbeitung übernehmen: auf diese Weise entstanden die Organe sowie das Nervensystem und das Gehirn.

Wie lassen sich nun modulare Architekturen charakterisieren? Ein System ist modular, wenn es aus Subsystemen besteht, die durch hochgradig spezifische und biologisch vorgegebene Eigenschaften gekennzeichnet sind und die sich in weitgehender Isolation von anderen Subsystemen untersuchen lassen. Module verwenden gleichsam spezifische Subroutinen und verbergen Teile, die proprietär und nicht von Belang für die Funktionsweise anderer Systeme sind, vor diesen anderen Strukturen. In der Evolutionsbiologie, der Entwicklungsbiologie und der Kognitionsforschung finden sich verschiedene Konzeptionen von ‚*Modularität*‘, die aus unterschiedlichen Intuitionen hervorgegangen sind. In der Biologie unterscheidet man Entwicklungsmodule, Funktionsmodule (wie die Organe) und Evolutionsmodule (Einheiten, die gegenüber genetischen Variationen anderer Einheiten relativ unabhängig sind). In der Kognitionsforschung unterscheidet man repräsentationale Module bzw. bereichsspezifische Konzeptstrukturen und algorithmische Module bzw. bereichsspezifische Prozeduren. Für uns ist hier, wie wir weiter unten sehen werden, besonders das Konzept eines *repräsentationalen Moduls* von Bedeutung. Wir wollen im folgenden, in sehr vergrößernder Weise, einige Stufen betrachten, die bei der modularen Ausdifferenzierung in der Evolution von sensorischen Systemen zu der bemerkenswertesten Eigenschaft unseres Wahrnehmungssystems (und der Wahrnehmungssysteme ande-

rer komplexer Organismen) geführt hat: der Entstehung *abstrakter Datentypen* bzw. *symbolischer Basisrepräsentationen*. Und diese lassen sich als extremste und abstrakteste Form der Modularität ansehen.

### **1. Stufe sensorischer Modularisierung: direkte Sensorik-Motorik-Kopplung**

Beginnen wir also mit der idealisierten Vorstellung einer direkten Sensorik-Motorik-Kopplung. Typische Lebewesen, die über solche sensorischen Systeme verfügen, sind Paramecium, Euglena oder Escherichia Coli, die Coli-Bakterien (siehe Dusenbery, 1998). In diesen ersten Phasen evolutionärer Entwicklung, die vor etwa 3 Milliarden Jahren begonnen haben, entstanden sensorische Systeme, die die Funktionen haben, die Bewegung eines ortsbeweglichen Organismus durch seine Umgebung zu lenken (etwa durch Lichtgradienten, chemische oder magnetische Gradienten). Eine Wahrnehmung der biologischen Umwelt im Sinne einer sensorischen Erfassung *distaler* Objekte ist auf dieser Stufe noch nicht möglich. Betrachtet man die sensorischen Systeme von Organismen dieser Art genauer, so kann man feststellen, dass sie tatsächlich bereits hochkomplex sind und weit über die idealisierte Vorstellung einer direkten Sensorik-Motorik-Kopplung hinausgehen. Beispielsweise die Colibakterien: Bei ihnen handelt es sich um einzellige Lebewesen, die in der Lage sind, sich auf der Suche nach Nahrung entlang chemischer Gradienten fortzubewegen, d.h. sie verfügen über ein sensumotorisches System. Sie gehören zu den Prokaryoten, d.h. einzelligen Organismen, die keinen Zellkern und keine Organellen enthalten, sondern lediglich aus einer durch eine Zellmembran zusammengehaltenen ‚Proteinsuppe‘, dem Cytoplasma, bestehen, einer wässrigen Salzlösung, in der Proteine und Ribosomen zu finden sind. Nur 6 Proteintypen bilden bei ihnen den Signalpfad zwischen Sensor und Motorik (in Form von Flagellen). Obwohl hier die Sensorik überwiegend im direkten Dienst der Motorik steht, weist ein solches System bereits Eigenschaften auf, die auch kennzeichnend für höhere kognitive Systeme sind, wie die Integration unterschiedlicher Signale (*cue integration*), Gedächtnis oder verschiedene Arten von Entscheidungsmechanismen. Selbst der vermeintlich einfachste Fall eines sensorischen Systems erweist sich also bereits in seinen Leistungen und Funktionen als hochkomplex.

Die in der Evolutionsgeschichte sehr viel später auftretenden mehrzelligen Eukaryoten, zu denen wir gehören (aber auch alle anderen Tiere, Pflanzen und Pilze), weisen im Gegensatz zu den Prokaryoten eine reichhaltige Binnendifferenzierung auf. Diese findet sich zum einen innerhalb der Zellen in Form von Strukturen, die von einer Membran umgeben sind und so Kompartimente bilden, die unterschiedlichen spezialisierten Funktionen dienen (wie z.B. die Mitochondrien der Umwandlung von Nahrungsstoffen in verwertbare Energie). Zum anderen findet sie sich auf der Ebene von Zellpopulationen, die sich zu Organen, Nervenzellen, Sinnesrezeptoren etc. ausdifferenzieren. Hier wird noch einmal die evolutionäre Bedeutung von Modularität erkennbar. Das Prinzip einer zunehmenden Modularisierung läßt sich geradezu als Grundlage der *Evolvabilität* von Wahrnehmungs-

systemen ansehen, d.h. als Grundlage der Möglichkeit der evolutionären Ausdifferenzierung und der Entwicklung neuer Funktionen von Wahrnehmungssystemen (Gerhart & Kirschner 1997). Da bei modular aufgebauten Systemen evolutionäre Änderungen in internen Funktionen mit Änderungen nur eines oder weniger Module einhergehen und die Funktionsweisen anderer Systeme nicht beeinträchtigt werden, erweisen sich modulare Systeme als evolutionär ‚gutmütig‘, hochgradig plastisch und besonders robust.

Bereits auf den ersten Stufen der Entwicklung sensorischer Systeme finden wir auch die Entwicklung spezifischer sensorischer Module für die Signalverarbeitung innerhalb einer Zelle, in Form von kompakten Gruppen von Molekülen, sog. *Signalmodulen* oder *Signalosomen*, die als eine Art computationaler Einheit operieren. Eine wichtige computationale Einheit wird dabei durch eine Klasse von Proteinen bereitgestellt, die als *G-Proteine* bezeichnet werden, weil sie Guanosin-Triphosphate (GTP) binden (s. z.B. Smith, 2000). G-Proteine stellen einen *universellen Triggermechanismus* dar, durch den beliebige extrazelluläre Signale (chemisch, elektromagnetisch, mechanisch) mit einer beliebigen internen Verarbeitungsstruktur und mit beliebigen intrazellulären Effektorprozessen in Verbindung gesetzt werden können (derartige Triggermechanismen sind eine notwendige Voraussetzung für Entstehung symbolischer Basisrepräsentationen). Unterschiedliche Zelltypen, die dasselbe Signal erhalten, können also ganz unterschiedliche Outputs produzieren (da sie unterschiedliche Arten von Proteinen enthalten). Hier wird also bereits auf Zellebene das für Wahrnehmungssysteme kennzeichnende Prinzip erkennbar, daß bei der Umsetzung von physikalischer Energie in einen neuronalen Code, d.h. bei der neuronalen Transduktion, die physikalische Ursache gewissermaßen verlorengeht, d.h. ein solcher Code läßt seine physikalische Ursache nicht mehr erkennen (z.B. können Lichtempfindungen sowohl durch optische wie mechanische oder elektrische Reizung des Auges entstehen).. Dieses Prinzip wurde von Johannes Müller (1801-1858) als „*Gesetz der spezifischen Sinnesenergien*“ formuliert, dem zufolge nur das „Endorgan“, nicht jedoch der physikalische sensorische Reiz selbst, die empfundene Qualität bestimmt; der interne Code selbst ist als gleichsam sensorisches Alphabet neutral, wodurch er erst ermöglicht, ganz unterschiedliche Informationskanäle zu integrieren.

## **2. Stufe sensorischer Modularisierung: Gestaltfilter im Dienste der Detektion und Identifikation distaler Objekte**

Mit der Ausdifferenzierung des sich zwischen Sensoren und Effektoren schiebenden neuronalen Substrates entwickelte sich eine neurale Architektur bei der jeweils bestimmte Areale sensorischer Rezeptoren einen Input für ein bestimmtes nachgeschaltetes Neuron liefern. Ein solcher Bereich heißt *rezeptives Feld* eines Neurons. In der Organisationsstruktur rezeptiver Felder spiegelt sich die Art der Verschaltung wider, durch die das Neuron mit der sensorischen Peripherie in Beziehung steht. Durch geeignete neuronale Verschaltungen können rezeptive Felder nachgeschalteter Neurone sehr spezifische Organi-

sationsformen aufweisen. Neurone mit einer geeigneten Struktur rezeptiver Felder können wiederum als Elemente von neuronalen Verschaltungen aufgefaßt werden, bei denen höherstufige Neurone die Eigenschaft spezifischer *Gestaltfilter* haben, d.h. auf spezifische Invarianten in der Inputstruktur reagieren. Beispielsweise kann das Antwortverhalten eines Neurons, wie beim Frosch, dadurch gekennzeichnet sein, dass es nur auf einen kleinen Lichtreiz, der einen negativen Kontrast zur Umgebung aufweist und sich in einer bestimmten Richtung bewegt, reagiert (womit es als Gestaltfilter für ein typisches Beutetier fungiert). Durch eine größer werdende Spezifität können Neurone sensitiv für komplexe Merkmale der Umwelt werden, wodurch Triggermechanismen für die Mustererkennung entstehen.

Die Verfügbarkeit von Gestaltfiltern ist nun eine Voraussetzung für die Leistung, distale Objekte auf der Basis der auf die Sensoren treffenden physikalischen Energie zu erkennen. Dies ist eine sehr komplexe Leistung, da die Erfassung eines spezifischen distalen Objektes auf der Basis der sensorischen Reizung hochgradig unterdeterminiert ist. D.h. unterschiedliche distale Objekte werden hinsichtlich der für einen Gestaltfilter relevanten proximalen Merkmale auf denselben internen Code abgebildet. Wahrnehmungssysteme bilden also - dies ist eine für sie charakteristische Eigenschaft - auf der Menge der sensorischen Inputs Äquivalenzklassen und ordnen sie einem internen Code zu. Ein einfaches Beispiel ist die neurale Transduktion bei der Farbwahrnehmung, bei der durch die Photorezeptoren auf der Menge physikalischer Energieverteilungen des sichtbaren Spektrums Äquivalenzklassen (sog. Metamerieklassen) gebildet werden, die dann zu einem Farbeindruck korrespondieren. Aber auch alle anderen Leistungen des Wahrnehmungssystems basieren darauf, dass zunächst spezifische Äquivalenzklassen auf sensorischen Inputs gebildet werden, die dann Grundlage für die Triggermechanismen für die dem System verfügbaren Konzepte sind.

Die Wahrnehmung distaler Objekte auf der Basis der auf die Sinnesrezeptoren auftreffenden physikalischen Energie setzt natürlich voraus, dass das sensorische System eine Möglichkeit hat, die räumliche Ausdehnung von Objekten zu erfassen. Im Falle des visuellen Systems geht dies mit der Entwicklung von Augen einher, d.h. Anordnungen von Rezeptoren, die einen Vergleich von Lichtmengen aus unterschiedlichen Richtungen erlauben und somit durch Erhalt relativer räumlicher 2D-Relationen eine räumliche Auflösung ermöglichen. Doch haben auch andere sensorische Systeme Möglichkeiten der räumlichen Auflösung und Wahrnehmung distaler Objekte entwickelt: z.B. Fledermäuse auditiv über aktive Echo-Ortung und sog. elektrische Fische aktiv über die Auswertung ausgesandter elektrischer Felder.

### **3. Stufe der sensorischen Modularisierung: Verfügbarkeit abstrakter Datentypen**

Die Vergrößerung des neuronalen Substrates, das sich zwischen Sensorik und Motorik schiebt, dient zum einen dazu, immer mehr sensorische Kanäle so zu integrieren, dass

zunehmend komplexer werdende Aspekte der Außenwelt erfaßt werden können. Zum anderen ermöglichen sie, die motorisch verfügbaren Aktionen in komplexerer Weise einzusetzen, indem der sensorische Input nicht direkt wirksam wird, sondern in vielfältigen internen Systemen (etwa für Raumorientierung und Navigation, Nahrungssuche, Partnersuche, komplexes Sozialverhalten, Werkzeuggebrauch, Wahrnehmung emotionaler Zustände anderer, etc.). eine Fülle ganz unterschiedlicher sensorischer Informationen und interner Zustände integriert werden, bevor es zu einer motorischen Reaktion kommt. Doch entsteht zugleich mit der Vergrößerung und Ausdifferenzierung der sich zwischen die sensorischen Systeme und das motorische System schiebenden komplexen Systeme von Interneuronen (wie das Gehirn) das Problem, wie sich die unterschiedlichen Datenformate der einzelnen sensorischen Systeme und modularen Komponenten in ein gemeinsames Datenformat abbilden lassen; es entstehen also vielfältige Schnittstellenprobleme. Insbesondere muß das gemeinsame Datenformat für die unterschiedlichen sensorischen Systeme so beschaffen sein, dass es für die an sensorischer Information interessierten höheren kognitiven Systeme (beim Menschen bis hin zur Sprache) nutzbar ist. Wir werden sehen, dass die Lösung dieser Schnittstellenprobleme durch die Verfügbarkeit *abstrakter Datentypen* ermöglicht wird. Bevor wir uns mit unterschiedlichen Arten abstrakter Datentypen beschäftigen, die für unser Wahrnehmungssystem kennzeichnend sind, wollen wir uns wiederum an einem vergleichsweise einfachen System ansehen, was mit dem Konzept der *abstrakter Datentypen* bzw. *symbolischer Basisrepräsentationen* gemeint ist.

Eine über die Erkennung distaler Objekte hinausgehende Leistung, die sich auf höheren Organisationsstufen sensorischer Systeme findet, bezieht sich darauf, dass Organismen auf der Basis der proximalen Reize gleichsam eine ‚*innere Karte*‘ ihrer Umgebung für Zwecke der Orientierung und Navigation erstellen können. Damit sind sie nicht nur in der Lage, sich in ihrer Umgebung zu orientieren, sondern sie können auch noch *vor* einer tatsächlichen Eigenbewegung gleichsam vorhersehen, welche Positionen relativ zu distalen Objekten während oder nach einer Bewegung eintreten können. Systeme, die über solche ‚*innere Karten*‘ verfügen, haben also intern nicht nur eine Repräsentation distaler Objekte verfügbar, sondern auch eine Repräsentation räumlicher Relationen, einschließlich (noch) nicht wahrgenommener Objekte. Mit diesen Fähigkeiten, *distale* Objekte wahrzunehmen (und nicht nur proximale Reizungen) und eine *interne räumliche Umgebungsrepräsentation* zu haben, wird eine – für ortsbewegliche Organismen - zentrale biologische Funktion des Wahrnehmungssystems deutlich: Durch ein komplexeres Wahrnehmungssystem kann ein Organismus zukünftige Zustände gleichsam vorhersehen – eine Voraussetzung für Leistungen wie z.B. das Vermeiden von Zusammenstößen, das Fangen eines distalen Beuteobjekts oder das Wiederfinden entfernter Nahrungsquellen.

Was ist nun damit gemeint, wenn wir von der Verfügbarkeit *abstrakter Datentypen* sprechen? Betrachten wir zunächst wiederum einen vergleichsweise einfachen Fall, nämlich die Navigationsleistung bei der Wüstenameise *Cataglyphis*. Auf der Suche nach Nahrung

schlägt sie von ihrem Nest aus einen Zufallspfad ein. Hat sie Nahrung gefunden, kehrt sie auf direktem Weg zu ihrem Nest zurück. Wie findet sie diesen Weg? In der Wüstenlandschaft gibt es kaum Orientierungshilfen. Die Ameise verfügt jedoch über Sensoren, die den Sonnenstand und die Polarisationsrichtung des Himmels registrieren können. Offensichtlich bestimmt die Ameise – ohne Verwendung von Landmarken – die Richtung von ihrem Nest zu ihrer momentanen Position aus dem Sonnenstand bzw. der Himmelspolarisation und ist in der Lage, die Distanz zwischen beiden zu berechnen. Experimentelle Studien konnten zeigen, dass diese Leistung auf einer *Pfadintegration* („*dead reckoning*“) als Navigationsmechanismus beruht: Während des Laufens werden die zurückgelegten Distanzen (durch Registrierung der aufgewandten Muskelkraft oder des optischen Fließfeldes) und vorgenommenen Winkelorientierungen aufintegriert. Dieses Pfadintegral wird auf dem Rückweg in direkter Weise wieder ‚abgearbeitet‘ (Wehner, 2003). Um diese Leistung zu erbringen, muß das Gehirn der Ameise intern also folgende Variablen symbolisch zur Verfügung haben: i) ein Symbol für die gegenwärtige Ortsposition, ii) eine vektorielle Variable, den Geschwindigkeitsvektor bzw. die Ortsveränderung. Sie kann aufeinanderfolgende Änderungen ihrer Position aufaddieren, d.h. eine Vektoraddition durchführen. Bereits ein so kleines Gehirn verfügt also über interne Symbolstrukturen, d.h. *abstrakte Datentypen*, auf denen es computationale Operationen ausführt, wie z.B. Integration über Vektoren, die Richtungsgeschwindigkeiten repräsentieren (Gallistel, 1998).

Der große evolutionäre Schritt zu einer auf Prozessen der Symbolverarbeitung beruhenden internen Informationsverarbeitung – und damit auch die theoretische Bedeutung des Konzepts der *abstrakten Datentypen* – läßt sich nur verstehen, wenn wir uns klar machen, dass es sich dabei nicht nur um eine ‚als ob‘-Beschreibung oder um eine rein instrumentelle Erklärung auf der Basis solcher Konzepte handelt (so wie wir etwa die Fähigkeit der Vögel zu fliegen auf der Basis aerodynamischer Prinzipien erklären können, ohne dabei die Annahme zu machen, dass diese Fähigkeit auf einer Symbolverarbeitung und der internen Verfügbarkeit abstrakter Datentypen beruht). Vielmehr werden – hier wie in anderen Bereichen der Naturwissenschaft – die durch explanatorische Theorien von hinreichender Breite und Tiefe geforderten theoretischen Größen – im vorliegenden Fall also *abstrakte Datentypen* – als tatsächliche Systemkomponenten angesehen (s. Pylyshyn, 1991). Dies bedeutet, dass ein symbolverarbeitendes physikalisches System – sei es ein natürliches biologisches oder ein technisches – bestimmte Größen oder Symbolstrukturen *explizit* verfügbar haben muß und diese von unterschiedlichen computationalen Prozessen genutzt werden können.

Unglücklicherweise wird der Begriff der ‚Repräsentation‘ stark durch alltagspsychologische Intuitionen geprägt und ist mit vielfältigen philosophischen Kontroversen belastet. Viele entsprechende Mißverständnisse und alltagspsychologische Konnotationen lassen sich vermeiden, wenn wir Repräsentationen rein technisch als Elemente bzw. Primitiva der internen Informationsverarbeitung auffassen, durch die u.a. das Datenformat der in-

ternen Informationsverarbeitung spezifiziert wird. In diesem Sinne sind Repräsentationen nicht, wie etwa im Alltagsgebrauch des Begriffs, Repräsentationen *von* etwas, sondern sie definieren implizit die Konzepte, die bei der internen Informationsverarbeitung zugrunde gelegt werden, sie legen gleichsam die ‚interne Semantik‘ des Systems fest. Um dieses wahrnehmungspsychologische Konzept der ‚Repräsentation‘ frei von den Problemen alltagspsychologischer Vorstellungen zu ‚Repräsentationen‘ zu halten, kann es nützlich sein, sich das Konzept der Repräsentation in Analogie zum Konzept der abstrakten Datentypen in der objektorientierten Programmierung zu denken. Dieser Vergleich macht auch deutlich, dass es sich bei der evolutionären Entwicklung *abstrakter Datentypen* um die extremste und abstrakteste Form der Modularität handelt, da in einer solchen Symbolstruktur Datentypen und spezifische Relationen, Transformationen aneinandergelagert und abgekapselt werden.

Nun stellt sich die Frage, bei welchen Wahrnehmungssystemen wir annehmen, dass ihre Leistungen auf der Verfügbarkeit *abstrakter Datentypen* beruhen. Bei der Erklärung der sensorischen Leistungen von Coli-Bakterien benötigen wir noch kein Konzept abstrakter Datentypen, da sich in diesen Fällen die Leistungen des Wahrnehmungssystems allein auf der Ebene physikalischer und biochemischer Prozesse erklären lassen – also durch nicht-symbolische Prozesse. Bei den Wahrnehmungsleistungen der Nematode, des Frosches oder der Fliege ist vermutlich die Annahme der Verfügbarkeit abstrakter Datentypen explanatorisch überflüssig, d.h. sie vergrößert nicht den Erklärungswert der Theorie. Bei komplexeren Organismen jedoch wird eine solche Annahme dagegen unverzichtbar, da sich erst durch sie bestimmte Eigenschaften und Leistungen erklären lassen.

Die ersten in der Evolution von Wahrnehmungssystemen intern verfügbaren abstrakten Datentypen beziehen sich auf einfache strukturelle Aspekte der physikalischen Außenwelt, z.B. bei Ortsrepräsentationen auf geometrische Relationen. Es gibt jedoch eine Vielzahl anderer Klassen von Repräsentationen, die für biologische Funktionen des Organismus eine wichtige Rolle spielen, ohne dass sie ein strukturelles Abbild *physikalischer* Dinge sind, z.B. Repräsentationen für ‚Feind‘, ‚eßbares Ding‘, ‚Meinesgleichen‘, ‚Werkzeug‘, etc. Sie bilden ein Gewebe interner Konzepte, die die ‚interne Semantik‘ des Systems festlegen, d.h. die Menge an Konzepten, die für die internen Prozesse von Bedeutung sind, also das Vokabular, den Wortschatz des Systems, in dem die unterschiedlichen Teilsysteme miteinander kommunizieren. In der Evolutionsgeschichte des Gehirns haben sich also mit der sich vergrößernden Zahl von Subsystemen - und damit auch von Schnittstellenproblemen – abstrakte Ebenen ausgebildet, durch die jeweils ganze Klassen von Subsystemen ihre Information in ein gemeinsames Datenformat abbilden können (die komplexeste dieser abstrakten Ebenen ist die *Sprache*). Gäbe es nicht eine solche Ebene mentaler Repräsentation, auf der höhere kognitive Systeme, insbesondere die Sprache, mit sensorischen Systemen kompatibel werden, so könnten wir z.B. über das, was wir sehen, nicht reden. Auch die sensorischen Systeme und das motorische System benötigen eine gemeinsame Konzeptstruktur, auf dessen Basis erst eine wechselseitige Übersetzung

visueller und motorischer Konzepte und somit ein Handlungsverstehen möglich ist. Illustrative Beispiele hierfür sind die Imitationsleistungen bei Säuglingen (Meltzoff & Moore, 1989) und Neugeborenen (Kugiumutzakis, 1998; Bard & Russell, 1999) sowie auf neuraler Ebene die Identifizierung von sog. Spiegelneuronen (*mirror neurons*, s. Rizzolatti, Logassi & Gallese 2000). Diese Spiegelneurone feuern, wenn beispielsweise eine zielgerichtete Greifaktion ausgeführt wird oder wenn sie visuell beobachtet, imaginiert, erschlossen oder gehört wird. Sie codieren also die ‚Bedeutung‘ bzw. die interne Semantik von Handlungsmustern und stehen im Dienste eines multimodal aktivierbaren abstrakten Datentyps.

Die Verfügbarkeit abstrakter Datentypen hat eine Reihe adaptiver und funktionaler Vorteile:

- Die Auswahl einer geeigneten motorischen Reaktion ist zwar reizvermittelt, aber nicht mehr reizgebunden. Zudem kann sie zeitlich vom Auftreten des Reizes unabhängig sein (z.B. beim Planungsverhalten).
- Ganz unterschiedliche Inputkanäle können dieselbe Repräsentation aktivieren, so dass dasselbe interne Konzept durch ganz unterschiedliche Inputs realisiert werden kann.
- In verschiedenen sensorischen Teilsystemen *inferentiell isolierte* Verarbeitungspfade können inferentiell integriert werden und damit ganz unterschiedlichen höheren Systemen zur Verfügung stehen.
- Die Wahrnehmung kann sich auf Aspekte der Außenwelt beziehen, die durch die Sinnesrezeptoren nicht direkt erfaßt werden können (z.B. *Beute* bzw. *eßbares Objekt*, *mentale Zustände anderer*, *Kausalität* bei Ereignissen etc.)

Organismen, deren Wahrnehmungssystem über abstrakter Datentypen verfügen, sind also aufgrund einer solchen biologisch vorgegeben Konzeptstruktur ihres Wahrnehmungssystems beispielsweise in der Lage, aus der dem Auge zur Verfügung stehenden Bildinformation Eigenschaften ‚herauszulesen‘, die sich auf visuell verborgene Eigenschaften von Objekten beziehen oder auf innere ‚Wesenseigenschaften‘ von Objekten, und sie können auf dieser Grundlage zukünftige Zustände von Objekten gleichsam vorhersehen, eine bemerkenswerte Leistung, die weit über das hinausgeht, was das sensorische System an Informationen bereitstellt.

Mit der Entstehung von abstrakten Datentypen in der Evolutionsgeschichte von Wahrnehmungssystemen wird also die direkte kausale Bindung höherer Prozesse an den gerade aufgenommenen sensorischen Reiz gelockert. Denn der Reiz löst nicht mehr *direkt* relevante motorische Funktionseinheiten aus, sondern aktiviert interne Symbolstrukturen,

die einer Vielzahl von ganz unterschiedlichen Subsystemen zur Verfügung stehen können. Die Beziehung zwischen sensorischem Input und der Wahrnehmungsleistung bzw. dem Perzept weicht also grundlegend von der alltagspsychologischen Vorstellung ab, dass das Wahrnehmungssystem die ihm zur Verfügung stehenden Informationen aus dem Reiz gewinnt, dass sich also beispielsweise der visuelle Input als ein ‚Bild‘ auffassen läßt, aus dem das Wahrnehmungssystem die distale Szene rekonstruiert. Vielmehr stellen die sensorischen Inputs bzw. die durch die sensorischen Systeme bereitgestellten Codes eine Art Stichwortgeber dar, durch die spezifische vorgegebene abstrakte Datentypen aktiviert werden (diese theoretische Vorstellung findet ein Korrelat in jüngeren neurophysiologischen Befunden, denen zufolge beim visuellen System der überwiegende Teil der Fasern im Dienste *corticofugaler* Informationsübertragung steht). Gegenüber dem alternativen Designprinzip, nach dem ein Organismus so beschaffen wäre, dass er alle relevante Information über die Umwelt aus dem sensorischen Reiz gewinnen müßte, hat dieser ‚phylogenetische Umweg‘ den funktionalen Vorteil einer besonderen *Stabilität* der Ankopplung an die Umwelt sowie einer größeren *Schnelligkeit*.

Wir (und auch viele andere Arten von komplexeren Organismen) können viele Attribute wahrnehmen, die *nicht* sichtbar (bzw. sensorisch erfaßbar) sind, sondern gleichsam verborgene Wesenseigenschaften von Objekten sind. Beispielsweise können wir rein visuell Materialeigenschaften physikalischer Objekte oder emotionale Zustände anderer wahrnehmen; das visuell-sensorische System kann also nur *Zeichen* bereitstellen, die dann abstrakte Datentypen aktivieren bzw. antriggern, durch die entsprechende interne Konzepte und Attribute definiert werden. Die Beziehung zwischen dem vergleichsweise mageren Zeichenalphabet des sensorischen Systems und der hochkomplexen Struktur interner Datentypen ist die Kernfrage der Wahrnehmungspsychologie.

#### **4 Die konzeptuelle Basisstruktur des Wahrnehmungssystems**

Es ist natürlich eine empirische Frage und somit Aufgabe der Wahrnehmungspsychologie die Art und Struktur der dem Wahrnehmungssystem verfügbaren abstrakten Datentypen, d.h. seiner biologisch vorgegebenen Grundkonzepte, herauszufinden. Dabei können wir uns auf unterschiedliche Klassen von Beobachtungen und Befunden stützen. (i) Wichtige, doch mit großer Vorsicht zu verwendende Heuristiken werden durch *phänomenologische Beobachtungen* bereitgestellt. Phänomenologische Beobachtungen können uns helfen, durch bewußte Exploration des Perzeptes, d.h. des Outputs des Wahrnehmungssystems, Aufschlüsse über die Grundkonzepte zu gewinnen, auf deren Grundlage es sensorische Information segmentiert und kategorisiert. (ii) In der Wahrnehmungspsychologie selbst kommt Experimenten mit hochgradig reduzierten Reizen eine besondere Bedeutung zu, da sie uns durch die Kluft zwischen Input und Perzept ermöglichen, den ‚internen Beitrag‘ des Wahrnehmungssystems zu identifizieren. (iii) Eine besonders wichtige Rolle kommt Untersuchungen und Befunden aus der vergleichenden Wahrnehmungsforschung

(Ethologie) zu, da sie uns nicht nur vor anthropozentrischen Theorievorstellungen schützen, sondern auch ermöglichen, zentrale Prinzipien in vergleichsweise einfacheren Systemen zu identifizieren. (iv) Untersuchungen der Wahrnehmungsleistungen von Säuglingen können uns helfen, die biologisch vorgegebenen Grundkonzepte zu identifizieren, da sich das Wahrnehmungssystem des Neugeborenen idealisiert als der Anfangszustand des Systems vor jeder Erfahrungsmodifikation auffassen läßt. (v) Weitere Aufschlüsse über vorgegebene modulare Basisstrukturen lassen sich aus - oft schwierig zu interpretierenden - neurophysiologischen Befunden zur Dissoziation von Wahrnehmungsaspekten als Folge von Läsionen gewinnen. In der klinischen Neurophysiologie wurden kategoriespezifische Defizite und Agnosien u.a. für Gesichter, Körperteile, Tiere, Artefakte, Orte, Früchte und Gemüse dokumentiert (z.B. Caramazza & Shelton 1998); diese Befunde stützen die Annahme einer entsprechenden repräsentationalen Modularität (s.a. Hauser, 2003).

Aus der Konvergenz von Befunden und Theorievorstellungen der genannten Bereiche hat sich in den vergangenen Jahrzehnten zum einen in wichtigen Konturen das zuvor skizzierte theoretische Bild von der Wahrnehmung herauskristallisiert (das natürlich vielfach historisch vorbereitet wurde, u.a. durch Alhazen, durch Helmholtz' Zeichentheorie, die Gestaltpsychologen, Michotte, Bühler oder Brunswik sowie durch Arbeiten in anderen Bereichen der Kognitionsforschung). Darüber hinaus konnten wichtige Typen von Basisrepräsentationen identifiziert werden, die entsprechenden empirischen Befunden zufolge zur biologisch vorgegebenen Grundausstattung unseres Wahrnehmungssystems gehören. Hierzu gehören insbesondere abstrakte Datentypen für unbelebte physikalische Objekte, Datentypen für belebte Objekte (mit dem wichtigen Subtyp ‚Meinesgleichen‘) sowie Datentypen für Artefakte (dies sind ‚perzeptuelle Objekte‘, wie ‚Stuhl‘, ‚Hammer‘, ‚Behälter‘, ‚Haus‘, die bestimmten Intentionen dienen und denen vom Wahrnehmungssystem, anders als natürlichen Objekten, *keine* essentialistischen Attribute, also kein ‚inneres Wesen‘, das unter bestimmten Transformationen äußerer Eigenschaften invariant bleibt, zugeschrieben wird (Keil, 1995; Hauser, 1997). Alle drei Repräsentationstypen sind dabei im Medium der internen Repräsentation räumlicher und zeitlicher Relationen organisiert, wobei wir im ersten Fall von *Raumrepräsentationen* sprechen, im zweiten Fall von der *Repräsentation von Ereignissen*. Im folgenden werden wir - in abstrakter und sehr verkürzender Darstellung und ohne im Detail auf die empirische Befundlage einzugehen (für eine ausführlichere Darstellung siehe Mausfeld, 2006) - einen kurzen Blick auf Basisrepräsentationen für unbelebte physikalische Objekte und für belebte Objekte werfen.

#### **4.1 Basisrepräsentationen für unbelebte physikalische ‚Objekte‘**

Die klassische Wahrnehmungspsychologie hat sich vorrangig mit bestimmten Attributen aus diesem Bereich beschäftigt, insbesondere mit elementaren physikalischen Aspekten wie Form, Größe Farbe, Tiefe, Bewegung, Lautstärke, etc., die sich in natürlicher Weise mit Aspekten einer neuralen Primärcodierung in Beziehung setzen lassen. Sie hat jedoch

die Frage nach den Basiskonzepten bzw. internen abstrakten Datentypen, die der perzeptuellen Informationsverarbeitung zugrunde liegen, dadurch trivialisiert, dass sie ausschließlich einfache sensorische Konzepte, im visuellen Bereich physico-geometrische Konzepte wie ‚Helligkeitsgradient‘, ‚Kante‘, ‚konvexer Bereich‘ etc., als Primitiva zugelassen hat und ihrer Theoriebildung die empirisch hochgradig unangemessene Annahme zugrunde gelegt hat, dass sich alle anderen Konzepte des Wahrnehmungssystems durch Prozesse induktiver Inferenz aus sensorischen Primitiva gewinnen lassen. Die Unangemessenheit dieser Annahme wurde dadurch verdeckt, dass der als relevant erachtete Phänomenbereich weitgehend auf dekontextualisierte Aspekte von Elementarattributen eingeschränkt wurde. In dem Maße, in dem man diese Einschränkung überwand, wurde deutlich, dass wir zur Erklärung zentraler Befunde und Beobachtungen der Wahrnehmungspsychologie die Annahme einer Verfügbarkeit sehr viel reichhaltigerer Strukturen von Basisrepräsentationen bzw. Primitiva benötigen. Auch die komplexen wechselseitigen Abhängigkeiten von Elementarattributen wie Helligkeit, Farbe, Bewegung, Größe etc. voneinander und von anderen Aspekten des sensorischen Inputs machen deutlich, dass die Beziehungen zwischen diesen Attributen durch die Struktur der jeweiligen Datentypen festgelegt werden. Die Bedeutung derartiger Befunde wurde schon früh erkannt, doch wurden sie in einer vorrangig an sensorischen Elementarattributen ausgerichteten Wahrnehmungspsychologie in den Hintergrund gedrängt. Zur Illustration seien nur zwei typische Beispiele genannt (zahlreiche andere finden sich bei Metzger, 1953): i) die als Aubert-Förstersches Phänomen bekannte Beobachtung, dass die Diskriminationsfähigkeit für Objekte, die unter dem gleichen visuellen Winkel gesehen werden, besser ist, wenn das Objekt als ein kleines nahes Objekt gesehen wird als wenn es als ein großes entferntes Objekt gesehen wird. ii) Hornbostels (1922) Beobachtung, dass das in einem Spiegel beobachtete Bild eines rotierenden Drahtwürfels den Charakter der Starrheit verliert und sich in dynamischer Weise topologisch verformt; die Änderung in dem Parameter für die Bewegungsrichtung beschränkt also in der internen Datenstruktur des Objektes die möglichen Formparameter in einer solchen Weise, dass sie nur mit einer nicht-rigiden Formtransformation verträglich sind (vgl. Kersten, Bühlhoff, Schwartz & Kurtz, 1992). Die Ausrichtung der klassischen Wahrnehmungspsychologie an Elementarattributen folgt also alltagspsychologischen Zergliederungen der Wahrnehmung und zerlegt den Wahrnehmungsprozeß nicht entsprechend seiner inneren Struktur. Beispielsweise ist ‚Helligkeit‘ keineswegs ein autonomes Attribut, sondern hängt – in einer durch die Struktur des beteiligten Datentyps festgelegten Weise – von Parametern für andere Attribute, wie Form, Tiefe, Bewegung etc. ab (z.B. Adelson, 2000). Umgekehrt können in den beteiligten Datentypen die Werte für ‚Helligkeit‘ die Werte anderer Attribute kodeterminieren. Ein Verständnis der spezifischen Art derartiger Abhängigkeiten kann sich erst aus einem Verständnis der genauen Struktur des jeweiligen abstrakten Datentyps ergeben, in der diese Attribute als Parameter auftreten. Auch die Tatsache, dass die Klasse der ‚Dinge‘, die unsere Wahrnehmungswelt bevölkern, - also unsere ‚perzeptuelle Ontologie‘ - auch solche ‚perzeptuellen Objekte‘ beinhaltet wie beispielsweise *Löcher* oder *Lücken* bzw. im auditiven Bereich *Stille*, die nicht lediglich als das Fehlen von etwas angesehen werden

können, sondern die *perzeptuell eigenständig* sind, läßt sich nur aus der Kenntnis der spezifischen Struktur der Basisrepräsentationen unseres Wahrnehmungssystems verstehen.

Einsichten in die Natur der Basisrepräsentationen werden auch durch die Säuglingsforschung bereitgestellt, die durch geschickte Experimentalmethoden die Struktur dieser Datentypen dadurch zu erfassen sucht, dass sie die durch spezifische Datentypen induzierten Erwartungen (wir hatten oben schon gesehen, dass die Verfügbarkeit abstrakter Datentypen zukünftige Zustände von Objektkonstellationen gleichsam vorhersehen können) identifiziert. Die Basisrepräsentation für eine wichtige Klasse physikalischer Objekte läßt sich dabei beschreiben als solide, kohärente und begrenzte 3D-Regionen, die sich stetig und als Ganzes bewegen (Spelke, Gutheil & van der Walle, 1995).

Die Befunde der Säuglingsforschung zur Objektwahrnehmung (z.B. Baillargeon, 1993; Spelke, 2000) machen deutlich, dass sich die Reaktionsweisen von Säuglingen nicht einfach auf der Basis der verfügbaren sensorischen Informationen und ihrer internen Organisation durch induktive Prozesse verstehen lassen, sondern auf hochgradig komplex organisierten Kategorisierungen des Inputs *in terminis* der Basisrepräsentationen mit ihrer komplexen Struktur von vorgegebenen Relationen, Transformationen, etc. beruhen. Diese komplexen Basisrepräsentationen können *nicht* selbst gelernt sein, sondern konstituieren umgekehrt gerade die notwendige Basis für Lernmechanismen, d.h. sie sind Teil der biologisch vorgegebenen Ausstattung des Wahrnehmungssystems. Ohne die durch die Struktur dieser Datentypen generierten Kategorisierungen und Transformationsregeln gäbe es weder eine Basis für Lernmechanismen noch für kognitive Inferenzmechanismen.

Die Beziehung zwischen dem sensorischen Input und den durch den Input aktivierten internen Basisrepräsentationen ist - entsprechend der Uneindeutigkeit der Abbildung distaler Objekte auf die Sensoroberfläche - hochgradig uneindeutig, wie oben schon erwähnt wurde. Folglich muß das Wahrnehmungssystem Prinzipien heranziehen, auf deren Grundlage es diese Vieldeutigkeit reduziert. Mögliche Regularitäten, auf denen diese Prinzipien basieren könnten, sind betrachterunabhängige physikalische Regularitäten (z.B. Objekte sind starr, spektrale Energieverteilung des Sonnenlichtes ist ‚glatt‘, Licht kommt von oben) sowie Regularitäten in der Beziehung von Betrachter und Außenwelt. Interessanterweise beziehen sich, entsprechenden Befunden zufolge, die ‚Interpretationsprinzipien‘, durch die das Wahrnehmungssystem bestimmt, welche sensorischen Codes welche internen Datentypen aktivieren, stärker auf Projektionsregularitäten als auf betrachterunabhängige Regularitäten der physikalischen Welt (vgl. Pylyshyn, 2004). Von besonderer Bedeutung sind hierbei generische Prinzipien, die akzidentelle Interpretationen, d.h. Interpretationen, die nicht stabil über kleine Änderungen in der Betrachterspektive sind, ausschließen (siehe Hoffman, 2000). Die Beziehung zwischen sensorischen Codes und den durch sie aktivierten Datentypen weist noch eine weitere Eigenschaft auf, die als ein wichtiges Designprinzip in der Organisation komplexer Wahrnehmungssysteme-

me anzusehen ist: Dieselben sensorischen Codes können gleichzeitig eine Vielzahl unterschiedlicher Basisrepräsentationen aktivieren (ein solches Designprinzip hängt auch damit zusammen, dass in der evolutionären Entwicklung von Wahrnehmungssystemen die Anzahl möglicher Inputkanäle begrenzt ist, während der evolutionäre Spielraum für die Entwicklung interneuraler Strukturen sehr viel größer ist). Ein illustratives Beispiel für die gleichzeitige Aktivierung unterschiedlicher Basisrepräsentationen ist der sog. duale Charakter zweidimensionaler Bilder dreidimensionaler Szenen, beispielsweise eines Gemäldes des Innenraumes einer gotischen Kathedrale, durch welches das Perzept eines plastischen dreidimensionalen Eindrucks der abgebildeten Szene hervorgerufen wird, während es zugleich als zweidimensionale an der Wand hängende Leinwand gesehen werden kann. Beispiele für vielfältige andere Arten einer gleichzeitigen Aktivierung unterschiedlicher Basisrepräsentationen finden sich in allen Bereichen der Wahrnehmungspsychologie. Mit diesem Designprinzip wiederum hängen komplexe Probleme der internen Handhabung von Ambiguität und Vagheit zusammen (für eine ausführlichere Diskussion dieser Fragen siehe Mausfeld, 2003).

#### **4.2 Basisrepräsentationen für belebte physikalische ‚Objekte‘**

Die Wahrnehmung dient nicht nur der adaptiven Ankopplung eines Organismus an relevante *physikalische* Aspekte seiner Umwelt, sondern auch der Erfassung relevanter biologischer Aspekte (wie der Wahrnehmung von ‚Nahrung‘, ‚Beuteobjekt‘ oder ‚Feind‘) sowie bei sozial organisierten Lebewesen der Erfassung und Regulierung sozialer Beziehungen. Nun sind die hierfür relevanten Attribute – wie bei Mäusen etwa der ‚soziale Status‘ – nicht direkt durch die Sinnesrezeptoren erfassbar. In der Evolutionsgeschichte finden sich verschiedene Designprinzipien zur Lösung dieses Problems. Wir wollen nur die beiden extremsten Varianten betrachten. Die vergleichsweise einfachste Form der Erfassung sozialer Beziehungen beruht auf einer rigiden und sehr robusten Realisierung entsprechender Funktionen durch chemische Sinne und Pheromone (wie bei Ameisen). Die abstrakteste und komplexeste Form beruht auf der Verfügbarkeit entsprechender abstrakter Datentypen, durch die das Wahrnehmungssystem in der Lage ist, Eigenschaften wahrzunehmen, für die es keine sensorische Transduktion gibt. Diese Form ist extrem plastisch und modifizierbar (wovon wir in der Kulturentwicklung Gebrauch machen), jedoch sehr störanfällig (im Extremfall, wie beim Autismus, kann die Leistung eines entsprechenden Systems von den Leistungen anderer Systeme dissoziiert werden; s. z.B. Leslie & Roth, 1993). Durch die Verfügbarkeit entsprechender abstrakter Datentypen ist unser Wahrnehmungssystem beispielsweise in der Lage, durch die verfügbaren visuellen und auditiven Codes ‚hindurchzulesen‘ und sensorisch nicht erfassbare ‚innere Weseneigenschaften‘ von perzeptuellen Objekten zu erfassen, wie mentale Zustände (Intentionen, emotionale Zustände, etc.) anderer.

Die Identifizierung der Struktur vorgegebener Basisrepräsentationen für belebte Objekte und ihren wichtigsten Spezialfall ‚*Meinesgleichen*‘ ist methodisch noch sehr viel schwie-

riger als im Fall unbelebter physikalischer Objekte, da sich durch eine besonders hohe Erfahrungsplastizität Anteile der kulturellen oder individuellen Lerngeschichte besonders schwer von universellen Elementen trennen lassen. Daher stellen auch hier Untersuchungen an Säuglingen und an verschiedenen Primaten wichtige Befundquellen dar.

Befunde, die uns Aufschlüsse über die Struktur der beteiligten Basisrepräsentationen geben, finden wir im Bereich der Wahrnehmung biologischer Bewegung, der Wahrnehmung von Gesichtern, der Wahrnehmung und Imitation von emotionalem Ausdruck, der Wahrnehmung der Blick- und Aufmerksamkeitsrichtung, der Wahrnehmung der Inter-subjektivität und Intentionalität.

Wichtige visuelle Indikatoren für Unterscheidung 'belebtes Objekt' vs. 'unbelebtes Objekt' sind offensichtlich unterschiedliche Bewegungsmuster von Mitgliedern dieser beiden Klassen: Bewegungen von biologischen Objekten sind selbstverursacht und können deshalb alle möglichen Formen annehmen, während Bewegungen unbelebter physikalischer Objekte physikalischen Gesetzen (Energieerhaltung, Newtonschen Bewegungsgesetzen) gehorchen müssen. Die klassischen Demonstrationen von Michotte (s. Palmer, 1999, p. 513ff.) und die Heider-Simmel-Demonstration zur sozialen Kausalität, bei der Bewegungsmuster einfacher geometrischer Figuren komplexer intentionaler Konzepte wahrgenommen werden, machen dies unmittelbar augenfällig. Wir verfügen gleichsam über einen angeborenen Mechanismus der Kausalanalyse: Die Bewegungsursache von belebten Objekten liegt innerhalb des Objektes selbst, während sie bei unbelebten Objekten außerhalb liegen muß (Premack, 1990). Hochgradig reduzierte Reize aus sich bewegenden Punkten, die 'in geeigneter Weise' nicht-rigide gekoppelt sind (wie die Johanssonschen Lichtpunktkonfigurationen), können bereits interne Datentypen für 'biologisches Objekt' bzw. 'Meinesgleichen' aktivieren. Zudem hat die Art der aktivierten Basisrepräsentation bei ansonsten gleichem sensorischen Input Konsequenzen für die Interpretation von Elementarattributen, beispielsweise von zulässigen Bewegungspfaden (Shiffrar & Freyd, 1993).

Dieses hochgradig bereichsspezifische Subsystem – oft irreführend als *'theory of mind'* bezeichnet – mit einer spezifischen biologisch vorgegebenen Konzeptstruktur ist bereits beim Neugeborenen nachweisbar. Es gehört zusammen mit dem Sprachmodul (s. Pinker, 1994) zu den komplexesten Subsystemen mentaler Architektur. Seine Ausreifung, die bereits pränatal beginnt (DeCasper & Fifer, 1980), benötigt, ähnlich wie im Fall der Sprache, viele Jahre und ist auf spezifische Inputs angewiesen. Zu den Phasen seiner Ausreifung gibt es eine Vielzahl experimenteller Befunde, die uns über die Struktur der zugrunde liegenden Basisrepräsentationen Aufschluß geben können.

Die Basis für eine solche Ausreifung liegt in der Verfügbarkeit unterschiedlicher abstrakter Datentypen für unbelebte und belebte Objekte. Die Säuglingsforschung hat eine Fülle von Befunden gewonnen, die belegen, dass Basisrepräsentationen für 'belebte Objekte'

vs. ‚unbelebte Objekte‘ (*animate vs. inanimate*) Teil der biologischen Grundausstattung des Wahrnehmungssystems des Säuglings sind. Säuglinge reagieren von der Geburt an unterschiedlich auf Personen und unbelebte Objekte (Bonatti, Frot, Zangl & Mehler, 2002). Sobald sie ihre Aufmerksamkeit fokussieren können, trennen sie kategorial Objekte, die mit ihnen reziprok interagieren können, von solchen, die dies nicht können. Für eine ‚mechanische Verursachung‘ zwischen ‚physikalischen Objekten‘ haben Säuglinge implizite Erwartungen über die Gerichtetheit von kausalen Ereignissen (z.B. Leslie, 1994, 1995); eine identische raum-zeitliches Inputstruktur kann als ‚Kausalität‘ wahrgenommen werden, wenn die beteiligten Objekte als unbelebt klassifiziert werden, jedoch als ‚Intentionalität‘, wenn die beteiligten Objekte als ‚Meinesgleichen‘ klassifiziert werden (Spelke, Phillips & Woodward, 1995).

Weitere wichtige Elemente auf dem Weg der Ausreifung dieses Subsystems des Wahrnehmungssystems sind – neben der bereits oben erwähnten Imitation - die Entstehung einer Aufmerksamkeitskopplung (*‚joint attention‘*) auf der Basis der wahrgenommenen Blickrichtung (z.B. Butterworth, 1996; Reddy, 2001; Philipps, Wellman & Spelke, 2002; Eilan et al., 2005) und die Wahrnehmung von intentionalen Aspekten beobachteter Ereignisse (Meltzoff, 1995). Dass diese Funktionen an die biologische Verfügbarkeit entsprechender abstrakter Datentypen gebunden ist, zeigen auch Befunde aus der vergleichenden Primatenforschung (Hare, Call, Agnetta & Tomasello, 2000; Premack & Premack, 2003). Entsprechendes gilt auch für die Leistung einer Selbst-Wahrnehmung im Spiegel auf der Basis korrelierter Bewegungsmuster; da sich diese Leistung - auch nach intensiven Lernversuchen - bei keiner anderen Spezies außer Menschen und einigen Großen Menschenaffen, wie Schimpansen, nachweisen läßt (Povinelli, 2000), deutet dies darauf hin, dass mit diesen Ausnahmen keine andere Spezies über die für diese Leistung notwendigen Basisrepräsentationen verfügt.

Die auf dem Datentyp *‚Meinesgleichen‘* (mit entsprechenden Attributen, Relationen, Transformationen, etc.) basierenden Strukturen des Wahrnehmungssystems benötigen zu ihrer adäquaten Ausreifung hochgradig spezifische Inputs (z.B. Trevarthen, 1998), beim Säugling insbesondere eine intermodale Affektabstimmung durch Mimik, Blicksynchronisation, Tonlage und Tonkonturen, Gestik und Rhythmik (Stern, 1999). Sie stehen u.a. im Dienste affektiver und integrativ-regulatorischer Systeme; dauerhafte Abweichungen von der benötigten Art von Inputs (z.B. temporale Fehlsynchronisationen in der frühen Mutter-Kind-Interaktion) können mit spezifischen psychischen Störungen im ausgereiften System einhergehen.

Zusammenfassend können wir auf der Basis der empirischen Befundlage feststellen, dass unser Wahrnehmungssystem über einen biologisch vorgegebenen Datentyp *‚Meinesgleichen‘* – als wichtige Spezialklasse des Typs ‚lebendes Objekt‘ – verfügt, dessen Struktur gleichsam das Basiswissen über die Struktur interpersonaler Beziehungen und somit über die ‚soziale Welt‘ widerspiegelt.

## Zusammenfassung

Der Kognitions- und Sprachforscher Steven Pinker (1994, p. 421) hat zu Recht kritisiert, dass die curricularen Einheiten des Psychologiestudiums in der Allgemeinen Psychologie noch den aristotelischen Alltagsklassifikationen des Psychischen entsprechen und nicht natürlichen Funktionseinheiten des Geistes/Gehirns („...with the exception of Perception and, of course, Language, not a single curriculum unit in psychology corresponds to a cohesive chunk of the mind“). Während diese Kritik auch für die klassische Wahrnehmungspsychologie, die gleichsam von Außen nach Innen dachte, weitgehend zutreffend war, überwindet die gegenwärtige Wahrnehmungspsychologie in ihren engen Verbindungen mit vergleichender Wahrnehmungsforschung und Säuglingsforschung diese Fehlkonzeption, indem sie der reichhaltigen biologisch vorgegebenen internen Konzeptstruktur Rechnung trägt und somit von Innen nach Außen denkt. Dadurch gelangt sie – auf der Basis einer breiten Basis empirischer Befunde – zu Einsichten in die Natur der Wahrnehmung, die radikal von unseren Alltagsvorstellungen abweichen: Die Sinne dienen, diesen theoretischen Einsichten zufolge, nicht zur ‚Abbildung‘ der Welt, sondern als Stichwortgeber für die Selektion einer bereits im Gehirn vorhandenen und durch die Evolutionsgeschichte festgelegten ‚Außenwelt-Geschichte‘. Wir nehmen also nicht Kategorien der Welt wahr, sondern wir können gar nicht anders, als die Außenwelt durch die Brille der uns verfügbaren Grundkonzepte wahrzunehmen. Diese Kategorien stellen eine universelle Form der Welterfahrung dar. In diesem Sinne ist unsere wahrgenommene Welt eine - biologisch zweckmäßige - Konstruktion unseres Geistes.

## Literaturangaben

Adelson, E.H. (2000). Lightness perception and lightness. In M. Gazzaniga (ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (2<sup>nd</sup> ed.) (pp. 339-351). Cambridge, MA: MIT Press.

Baillargeon, R. (1993). The object concept revisited: New directions in the investigation of infant's physical knowledge. In C.E. Granrud (ed.), *Visual Perception and Cognition in Infancy* (pp. 265-315). Hillsdale: New Jersey.

Bard, K.A. & Russell, C.L. (1999). Evolutionary foundations of imitation. In J. Nadel & G. Butterworth (eds.) *Imitation in Infancy*. Cambridge: Cambridge University Press.

Bonatti, L., Frot, E., Zangl, R., & Mehler, J. (2002). The human first hypothesis: Identification of conspecifics and individuation of objects in the young infant. *Cognitive Psychology*, 44, 388-426.

Butterworth, G. (1996). Factors in visual attention eliciting manual pointing in human infancy. In H.L. Roitblat & J. Meyer (eds.), *Comparative Approaches to Cognitive Science* (pp. 329-338). Cambridge, Mass.: MIT Press.

Caramazza, A. & J. R. Shelton (1998). Domain-specific knowledge systems in the brain: The animate inanimate distinction *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10, 1-34.

DeCasper, A.J. & Fifer, W.P. (1980). Of human bonding: Newborns prefer their mothers' voices. *Science*, 208, 1174-1176.

Dusenbery, D.B. (1998). *Verborgene Welten. Verhalten und Ökologie von Mikroorganismen*. Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.

Eilan, N., Hoerl, Ch., Roessler, J. & McCormack, T. (2005). (eds.). *Joint attention: Communication and other minds*. Oxford: Oxford University Press.

Gallistel, C.R. (1998). Symbolic processes in the brain: the case of insect navigation. In D. Scarborough & S. Sternberg (eds.), *Methods, models and conceptual issues. An invitation to cognitive science, Vol. 4*. (pp. 1-51) Cambridge, Mass.: MIT Press.

Gallistel, C.R. (2000). The replacement of general-purpose learning models with adaptively specialized learning modules. In M.S. Gazzaniga (ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (2<sup>nd</sup> ed.) (pp. 1179-1191). Cambridge, Mass.: MIT Press.

Gerhart, J. & Kirschner, M. (1997). *Cells, Embryos and Evolution: Toward a Cellular and Developmental Understanding of Phenotypic Variation and Evolutionary Adaptability*. Oxford: Blackwell.

Hare, B., Call, J., Agnetta, B. & Tomasello, M. (2000). Chimpanzees know what conspecifics do and do not see. *Animal Behavior*, 59, 771-785

Hauser, M. D. (1997). Artfactual kinds and functional design features: What a primate understands without language. *Cognition*, 64, 285-308.

Hauser, M.D. (2003). Knowing about knowing: dissociations between perception and actions systems over evolution and in development. *Annual New York Academy of Sciences*, 1, 1-25.

Hoffman, D. (2000). *Visuelle Intelligenz. Wie die Welt im Kopf entsteht*. Stuttgart: Klett-Cotta.

Hornbostel, E.M. von (1922). Über optische Inversion. *Psychologische Forschung*, 1, 130-156.

Keil, F.C. (1995). The growth of causal understandings of natural kinds: Modes of construal and the emergence of biological thought. In D. Sperber, D. Premack & A.J. Premack (eds.), *Causal Cognition* (pp. 234-262). New York: Oxford University Press.

Kersten, D., Bühlhoff, H.H., Schwartz, B.L. & Kurtz, K.J. (1992). Interaction between transparency and structure from motion. *Neural Computation*, 4, 573-589.

Kugiumutzakis, G. (1998). Neonatal imitation in the intersubjective companion space. In S. Bråten (ed.), *Intersubjective Communication and Emotion in Early Ontogeny*. Cambridge: Cambridge University Press.

- Leslie, A. (1994). ToMM, ToBY, and agency: Core knowledge and domain specificity. In L. A. Hirschfeld & S.A. Gelman (eds.), *Mapping The Mind: Domain Specificity In Cognition And Culture* (pp. 119-148). Cambridge: Cambridge University Press, 1994,
- Leslie, A.M. (1995). A theory of agency. In D. Sperber, D. Premack & A.J. Premack (eds.) *Causal Cognition* (pp. 121-149). Oxford: Oxford University Press.
- Leslie, A.M., & Roth, D. (1993). What autism teaches us about metarepresentation. In S. Baron-Cohen, H. Tager-Flusberg, & D. Cohen (eds.), *Understanding Other Minds: Perspectives from Autism* (pp. 83-111). Oxford: Oxford University Press.
- Mausfeld, R. (2002). The physicalistic trap in perception. In D. Heyer & R. Mausfeld (eds.), *Perception and the Physical World* (pp. 75-112). Chichester: Wiley.
- Mausfeld, R. (2003). Competing representations and the mental capacity for conjoint perspectives. In H. Hecht, B. Schwartz, & M. Atherton (Eds.), *Inside Pictures: An Interdisciplinary Approach to Picture Perception* (pp. 17-60). Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Mausfeld, R. (2006). *Wahrnehmungspsychologie. Eine kognitionswissenschaftliche Einführung*. Stuttgart: Kohlhammer
- Meltzoff, A.N. & Borton, R.W. (1979). Intermodal matching by human neonates. *Nature*, 282, 403-404.
- Meltzoff, A.N. (1995). Understanding the intentions of others: Re-enactment of intended acts by 18-month-old children. *Developmental Psychology*, 31, 838-850.
- Meltzoff, A. N., & Moore, M. K. (1989). Imitation in newborn infants: Exploring the range of gestures imitated and the underlying mechanisms. *Developmental Psychology*, 25, 954-962.
- Metzger, W. (1953). *Die Gesetze des Sehens*. Frankfurt : Waldemar Kramer.
- Palmer, S. E. (1999). *Vision Science. Photons to Phenomenology*. Cambridge, Mass.: MIT Press.
- Philipps, A.T., Wellman, H.M., & Spelke, E.S. (2002). Infant's ability to connect gaze and emotional expression to intentional action. *Cognition*, 85, 53-78.
- Pinker, S. (1994). *The Language Instinct*. London: Penguin.
- Povinelli, D.J. (2000). *Folk Physics for Apes. The Chimpanzee's Theory of How The World Works*. Oxford: Oxford University Press.
- Premack, D. (1990). The infant's theory of self-propelled objects, *Cognition*, 36, 1-16.
- Premack, D, & Premack, A. (2003). *Original Intelligence. Unlocking the Mystery of Who We Are*. New York: McGraw-Hill.

Pylyshyn, Z. W. (1991). Rules and representation: Chomsky and representational realism. In A. Kashir (ed.), *The Chomskian Turn*. Oxford: Basil Blackwell.

Pylyshyn, Z. W. (2003). *Seeing and Visualizing: It's Not What You Think*. Cambridge, Mass.: MIT Press.

Reddy, V. (2001). Mind knowledge in infancy: understanding attention and intention in the first year. In G.J. Bremner & A. Fogel (eds.), *Blackwell Handbook of Infancy Research* (pp. 241-264). Oxford: Blackwell.

Rizzolatti, G., Logassi, L., & Gallese, V. (2000). Cortical mechanisms subserving object grasping and action recognition: A new view on the cortical motor functions. In M. S. Gazzaniga (ed.), *The New Cognitive Neurosciences* (2<sup>nd</sup> ed.) (pp. 539-552). Cambridge, MA: MIT Press.

Shiffrar, M., & Freyd, J. J. (1993). Timing and apparent motion path choice with human body photographs. *Psychological Science*, 4, 379-384.

Smith, C.U.M. (2000). *Biology of Sensory Systems*. Chichester: Wiley.

Spelke, E. (2000). Core knowledge. *American Psychologist*, 55, 1233-1243.

Spelke, E.S., Phillips, A. & Woodward, A.L. (1995). Infant's knowledge of object motion and human action. In D. Sperber, D. Premack & A.J. Premack (eds.) *Causal Cognition* (pp. 44-78). Oxford: Oxford University Press.

Spelke, E.S., Gutheil, G., & van der Walle, G. (1995). The development of object perception. In S.M. Kosslyn & D. Osherson (eds.), *Visual Cognition. An Invitation to Cognitive Science. Vol. 2* (pp. 297-330). Cambridge, Mass.: MIT Press.

Stern, D. N. (1999). Vitality contours: The temporal contour of feelings as a basic unit for constructing the infant's social experience. In Rochat, P. (ed.), *Early Social Cognition: Understanding Others in the First Months of Life* (pp. 67-90). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Streri, A., Spelke, E.S. & Rameix, E. (1993). Modality-specific and amodal aspects of object perception in infancy: The case of active touch. *Cognition*, 47, 251-279.

Tinbergen, N. (1963). On aims and methods of ethology. *Zeitschrift für Tierpsychologie*, 20, 410-433

Trevarthen, C. (1998). The concept and foundations of infant intersubjectivity. In S. Bråten (1998) (ed.), *Intersubjective Communication and Emotion in Early Ontogeny* (pp 15-46). Cambridge: Cambridge University Press.

Wehner, R. (2003). Desert ant navigation: how miniature brains solve complex tasks. *Journal of Comparative Physiology, A* 189, 579-588.