

Andreas K. Engel und Peter König

Das neurobiologische Wahrnehmungsparadigma

Eine kritische Bestandsaufnahme

1. Einleitung

In den Kognitionswissenschaften ereignet sich gegenwärtig ein Paradigmenwechsel, der eine tiefgreifende Veränderung wesentlicher Grundannahmen hinsichtlich der funktionellen Architektur kognitiver Systeme mit sich bringt.¹ Über Jahrzehnte waren die Kognitionswissenschaften dominiert von der Annahme, daß kognitive Prozesse als algorithmische Rechenoperationen verstanden werden könnten, die formalisierbaren Regeln folgen und mit propositional organisiertem Wissen über die Welt arbeiten. In jüngster Zeit ist jedoch eine Abkehr von diesem Dogma zu verzeichnen. Zunehmend setzt sich die Ansicht durch, daß kognitive Funktionen wie Wahrnehmung, Gedächtnis, Denken oder Sprache auf komplexen Interaktionen in neuronalen Netzen mit einer hochgradig distribuierten und parallelen Architektur beruhen, die – im Gegensatz zu herkömmlichen informationsverarbeitenden Systemen – durch Lernvorgänge und aktivitätsabhängige Plastizität geprägt ist. Charakteristisch für solche Netze ist ferner, daß die Informationsverarbeitung nicht auf expliziten Regeln, sondern auf Selbstorganisationsprozessen in neuronalen Aktivitätsmustern beruht. Diese Veränderung im Grundverständnis der Architektur kognitiver Systeme ist durch zwei Einsichten motiviert. Zum einen sind die Modelle mit ›klassischer‹ symbol- und regelbasierter Architektur in vielen Fällen nicht in der Lage, kognitive Prozesse befriedigend zu erklären oder zu simulieren. Zum anderen mangelt es diesen klassischen Modellen ganz offensichtlich an biologischer Plausibilität, und ihr Beitrag zum Verständnis natürlicher kognitiver Systeme ist

¹ Eine Übersicht findet sich zum Beispiel bei Varela, *Kognitionswissenschaft – Kognitionstechnik*; Varela u. a., *The Embodied Mind*; sowie Bechtel/Abrahamsen, *Connectionism and the Mind*.

auch aus diesem Grund sehr beschränkt. Im vorliegenden Beitrag soll dieser Paradigmenwechsel mit Blick auf die Untersuchung von Wahrnehmungsvorgängen in der Kognitionswissenschaft – also am Beispiel einer einzigen Klasse von kognitiven Prozessen – rekonstruiert und kritisch beurteilt werden. Diese Rekonstruktion wird vor allem aus der Sicht der neurobiologischen Wahrnehmungsforschung erfolgen und sich ausschließlich auf den Fall der visuellen Wahrnehmung konzentrieren.² Neben der Erörterung konzeptueller Veränderungen, die sich im Rahmen dieses Paradigmenwechsels ergeben, sollen auch Gemeinsamkeiten des klassischen und des neueren Paradigmas hervorgehoben werden. Diese durchgehenden Grundannahmen sollen dann einer kritischen Prüfung unterzogen und daraufhin befragt werden, ob hier bereits ein für eine überzeugende Wahrnehmungstheorie tragfähiges Fundament gelegt ist.

2. Das klassische Paradigma: Gehirne als serielle Rechenmaschinen

Die Entstehung der Kognitionswissenschaft in den vierziger und fünfziger Jahren war einerseits motiviert durch die offensichtliche Insuffizienz behavioristischer Erklärungsansätze, andererseits aber auch durch die inzwischen entstandene Kybernetik und die Informationstheorie, die eine neue Klasse von Modellen und eine neue Metaphorik für die Behandlung kognitiver Prozesse bereitstellten.³ Programmatisch brachte die junge Kognitionswissenschaft eine Reihe wesentlicher Annahmen in die Diskussion ein, die bis heute eine grundlegende Rolle spielen. Die entscheidende konzeptuelle Wende bestand darin, daß nun – in Abkehr von der behavioristischen Methodologie – zur Erklärung des Verhaltens von Organismen auf interne Zustände (mentale bzw. neuronale *Repräsentationen*) Bezug genommen wurde.

² Es sei angemerkt, daß sich die wesentlichen der hier am Beispiel des Sehsystems erörterten Konzepte auch auf andere Sinnesmodalitäten übertragen lassen. Unser Augenmerk liegt im folgenden auf *generalisierbaren* Bestandteilen des neurobiologischen Wahrnehmungsparadigmas.

³ Zur Entstehungsgeschichte der Kognitionswissenschaft vgl. Gardner, *Dem Denken auf der Spur*.

Darüber hinaus gewann mit der Erfindung der *Computermeta-
pher* der Informationsverarbeitungsansatz große Bedeutung: Kognition wurde fortan als Rechenprozeß verstanden, das Gehirn wurde als eine serielle Rechenmaschine aufgefaßt, die symbolische Repräsentationen nach expliziten Algorithmen verarbeitet, und Neurone galten als binäre Elemente von Schaltkreisen, die logische Operationen ausführen.⁴ Dieses Paradigma, das zunächst vor allem in der künstlichen Intelligenz (KI) und in der Kognitionspsychologie eine Rolle spielte, gewann für die Neurobiologie erhebliche Bedeutung und beeinflusst bis in die Gegenwart unser Verständnis neuronaler Prozesse.

In den fünfziger Jahren waren in der Hirnforschung Techniken entwickelt worden, die es erstmals erlaubten, mit Mikroelektroden die Aktivität einzelner Nervenzellen zu registrieren. Dies führte zu der (berechtigten) Erwartung, daß es nun endlich gelingen sollte, komplexe kognitive Leistungen mit dem Verhalten der Bestandteile des Nervensystems in Beziehung zu bringen. Bahnbrechende Erfolge mit der neuen Mikroelektroden-technik erzielten unter anderem David Hubel und Torsten Wiesel, die in tierexperimentellen Studien die Aktivität von Neuronen des Sehsystems untersuchten.⁵ Die Ergebnisse ihrer Arbeiten, die bis heute die gängige Auffassung von der Struktur und Funktionsweise sensorischer Systeme prägen, waren in verschiedener Hinsicht konzeptuell folgenreich. Zum einen trugen sie wesentlich zur Entwicklung des Konzepts des *rezeptiven Feldes* bei, indem sie zeigten, daß Neurone des Sehsystems in aller Regel nur in einem umschriebenen Bereich des Gesichtsfelds auf Reize reagieren. Darüber hinaus entdeckten Hubel und Wiesel, daß solche rezeptiven Felder eine spezifische innere Struktur aufweisen und daß die betreffenden Neurone ganz bestimmte Antwort-eigen-

4 Diese Ideen wurden unter anderem von McCulloch und Pitts (vgl. »A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity«) sowie von Newell und Simon in ihren Arbeiten zur »physical symbol system hypothesis« (vgl. »Computer science as empirical enquiry«) entwickelt. Zur Übersicht über diese frühe Phase der Kognitionswissenschaft vgl. Varela u. a., *The Embodied Mind*, S. 39-48, sowie Gardner, *Dem Denken auf der Spur*, S. 15-57.

5 Eine detaillierte Übersicht über die Ergebnisse dieser Arbeiten findet sich in Hubel, *Eye, Brain, and Vision*, S. 42 f. und S. 67-88; vgl. auch Kandel u. a., *Neurowissenschaften*, S. 431-457.

schaften zeigen. Wie in Abbildung 1 schematisch dargestellt, wird die Aktivität visueller Neurone nur durch ganz bestimmte Arten von Objektmerkmalen (wie etwa die Orientierung von Objektkonturen oder die Farbe von Objektteilen) beeinflusst, wobei es sich so verhält, daß das jeweilige Neuron lediglich auf eine bestimmte Ausprägung eines Merkmals (zum Beispiel eine horizontale Konturorientierung) reagiert. Aus diesen Experimenten wurde der konzeptuell äußerst bedeutsame Schluß gezogen, daß Neurone in sensorischen Systemen als *Merkmalsdetektoren* aufzufassen seien und daß Objekte und Ereignisse der Außenwelt durch neuronale Aktivität *repräsentiert* werden könnten. Schließlich entwickelten Hubel und Wiesel die Idee, daß Information über Objektmerkmale in hierarchischer Weise verarbeitet werde und daß die progressive Integration der Verrechnungsergebnisse dazu führen könnte, daß Neurone auf höheren Verarbeitungsstufen zunehmend komplexere Antwort-eigenschaften aufweisen.

In einer epochemachenden Arbeit baute der Engländer Horace Barlow diese physiologischen Hypothesen zu einer umfassenden Theorie der Objekterkennung aus.⁶ Er schlug vor, daß durch die konvergente Verschaltung der merkmals sensitiven Zellen im Sehsystem schließlich – auf der höchsten Stufe der Verarbeitungshierarchie – Neurone mit hochspezifischen Antwort-eigenschaften entstehen könnten (Abbildung 2). Nach dieser Hypothese sollten nicht nur elementare Merkmale wie Farbe, Orientierung oder Objektbewegung durch die Aktivität *einzelner Neurone* kodiert werden, sondern auch komplexe Objekte, wie etwa die Buche im Vorgarten, der neue Sportwagen des Nachbarn oder die eigene Großmutter. Solche »Großmutterzellen«, wie sie im Jargon der Hirnforscher genannt werden, wären nach Barlow die repräsentationalen Symbole, die das visuelle System verwendet, um Informationen über Objekte zu verarbeiten und zu speichern. Diese von Barlow erstmals explizit gemachte »Einzelzelldoktrin« weist eine Reihe konzeptuell bedeutender Implikationen auf⁷: Erstens nimmt dieses Modell an, daß der Informationsfluß in sensorischen Systemen strikt *seriell* geordnet ist und grundsätzlich immer »vorwärtsgerichtet« (feed-forward) bis zur

6 Barlow, »Single units and sensation«.

7 Von Barlow wurden diese Implikationen als regelrechte »Dogmen« programmatisch zusammengefaßt, vgl. ebd., S. 380-388.

höchsten Ebene der Systemhierarchie verläuft. Zweitens wäre nach dieser Hypothese die Verarbeitung strikt *lokal* und es wären, zumindest auf den höheren Verarbeitungsstufen, immer nur sehr wenige Neurone in einem gegebenen Zeitraum aktiv. Drittens hat nach dieser Theorie die Verarbeitung einen stark atomistischen Charakter. Aus dem oben Gesagten ergibt sich, daß nach Barlow einzelne Neurone das Substrat mentaler Repräsentation darstellen, die – als ›semantische Atome‹ der neuronalen Aktivität – in ihrer funktionellen Bedeutung prinzipiell *unabhängig* vom Verhalten der anderen Elemente des Systems sind. Hieraus folgt, viertens, daß für Barlow kognitive Prozesse generell gut mit dem Verhalten von Einzelzellen korrelierbar sind. Nach der von ihm vertretenen Auffassung ist die Aktivierung der entsprechenden ›Großmutterzellen‹ zugleich notwendig *und hinreichend* für das Auftreten phänomenaler Zustände und damit für die Entstehung subjektiver Wahrnehmungserlebnisse. Damit ergibt sich als methodische Prämisse, daß die Physiologie einzelner Neurone *die* relevante Beschreibungsebene für die kognitionswissenschaftliche Wahrnehmungstheorie darstellt. Mit der Formulierung dieser ›Einzelzelldoktrin‹ machte Barlow einige der Grundannahmen explizit, die in den sechziger und siebziger Jahren für die neurobiologische Sicht auf sensorische Prozesse charakteristisch waren. Diese Grundannahmen harmonisierten gut mit der in den Kognitionswissenschaften allgemein favorisierten ›Computermetapher‹, deren Übertragung in die Neurobiologie durch die Annahme eines seriellen Signalflusses in hochspezialisierten Verarbeitungskanälen sowie die Idee neuronaler ›Symbole‹ und neuronal implementierter ›Algorithmen‹ gerechtfertigt erschien.

Diese ideologische Konvergenz läßt sich an etlichen theoretischen Ansätzen nachweisen, die ihre Wurzeln im klassischen kognitionswissenschaftlichen Paradigma haben. Als ein weiteres instruktives Beispiel sei hier die Objekterkennungstheorie von David Marr genannt.⁸ Marr entwickelte ein Modell, das den Informationsverarbeitungsansatz der KI unter Berücksichtigung neurobiologischer Überlegungen auf das Problem der visuellen Mustererkennung anzuwenden versuchte. Sein Ansatz formalisiert die Idee einer sequentiell-hierarischen *Merkmalsextraktion*, die mit der zweidimensionalen ›Pixelverteilung‹ im Netzhautbild

8 Marr, *Vision*.

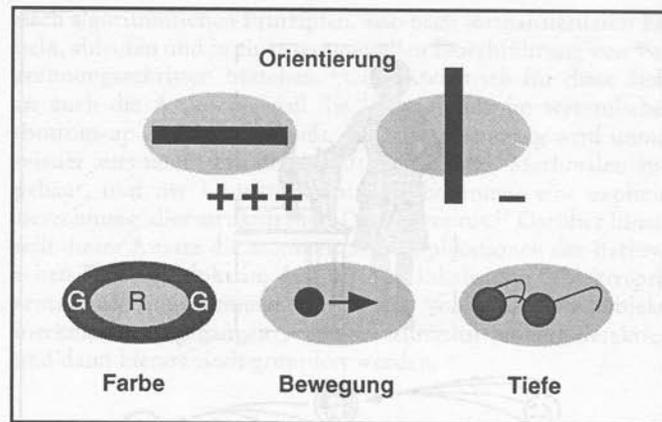


Abbildung 1: Antworteigenschaften kortikaler Neurone. Der grau dargestellte Bereich soll jeweils das receptive Feld des Neurons darstellen, das heißt den Bereich im Sehraum, in dem die Aktivität der Zelle durch Lichtreize beeinflusst wird. Viele Zellen im Sehsystem reagieren besonders gut, wenn sie mit Konturen einer bestimmten Orientierung gereizt werden (oben). Im hier gezeigten Beispiel wird das Neuron bei einem horizontalen Lichtreiz (schwarzer Balken) stark aktiviert, bei einem vertikalen Lichtreiz dagegen tritt eine Hemmung auf. Andere Neurone reagieren zum Beispiel auf die Farbe eines Objekts (unten links; R, rotempfindlicher Bereich; G, grünempfindlicher Bereich), seine Bewegungsrichtung (unten Mitte) oder seinen relativen räumlichen Abstand (unten rechts). (Modifiziert aus Engel/König, »Paradigm shifts in the neurobiology of perception«.)

beginnt und durch sukzessive Filterung zur Detektion von zunehmend abstrakteren Merkmalen führt. Dieser Prozeß führt nach Marr dann zur Rekonstruktion von Objekteigenschaften und zur Berechnung einer Strukturbeschreibung, die zur Erkennung der auf die Netzhaut abgebildeten Objekte dienen kann. Der von Marr verfolgte theoretische Ansatz verkörpert viele der wesentlichen Züge des klassischen kognitionswissenschaftlichen Wahrnehmungsparadigmas.⁹ So findet sich hier in programmatisch zugespitzter Weise die Idee, daß Wahrnehmungsprozesse

9 Ähnliches gilt für Irving Biedermans Theorie der ›Objekterkennung durch Komponentenanalyse‹; vgl. Biederman, »Recognition-by-components: a theory of human image understanding«.

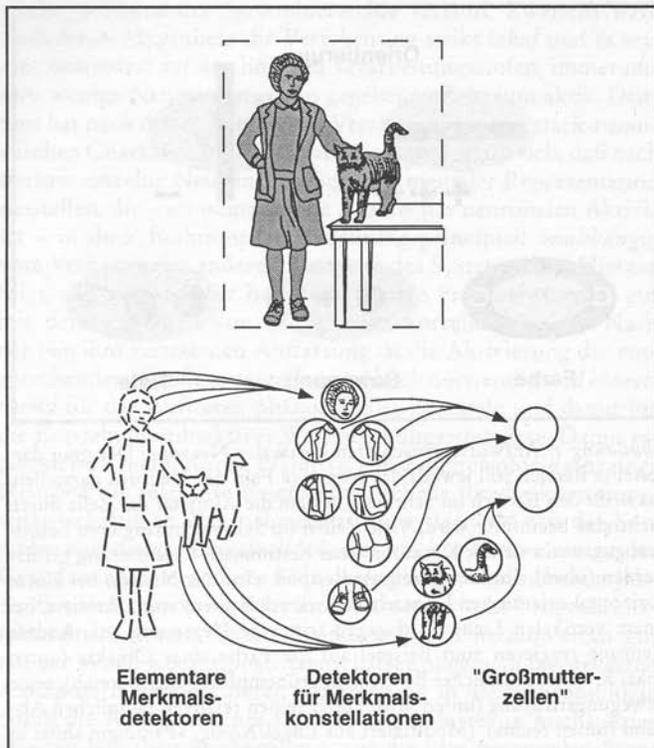


Abbildung 2: Objektrepräsentation durch Einzelzellen. Das Modell nimmt an, daß auf frühen Stufen der visuellen Verarbeitung elementare Objektmerkmale, wie zum Beispiel die Orientierung von Kontursegmenten (vgl. Abbildung 1) detektiert werden (unten links). Konvergente Verschaltung der Neurone führt nach diesem Modell dann dazu, daß auf höheren Verarbeitungsstufen Zellen mit immer komplexeren Antwort-eigenschaften zu finden sind (unten, Mitte). An der Spitze der Hierarchie würden dann Neurone stehen, die als Detektoren für komplexe Objekte dienen (unten rechts). Im Falle der hier dargestellten visuellen Szene (oben) würde eine dieser sogenannten »Großmutterzellen« die Anwesenheit der Frau, ein anderes Neuron die Präsenz der Katze signalisieren. (Modifiziert aus Engel, »Prinzipien der Wahrnehmung: das visuelle System«.)

nach algorithmischen Prinzipien, also nach formalisierbaren Regeln, ablaufen und in einer sequentiellen Durchführung von Verrechnungsschritten bestehen.¹⁰ Charakteristisch für diese Sicht ist auch die Annahme, daß die Verarbeitung im wesentlichen »bottom-up« erfolgt, das heißt, jede Wahrnehmung wird immer wieder aufs neue »von unten« aus elementaren Merkmalen aufgebaut, und der Objekterkennung geht immer eine explizite Berechnung aller strukturellen Details voraus.¹¹ Darüber hinaus teilt dieser Ansatz die atomistischen Implikationen der Barlowschen Einzelzeldoktrin, da auch hier lokalisierte Objektrepräsentationen angenommen werden und von »atomaren« Objektmerkmalen ausgegangen wird, die zunächst isoliert detektiert und dann hierarchisch gruppiert werden.

3. Das konnektionistische Paradigma: Selbstorganisation in neuronalen Netzen

Obwohl das klassische Paradigma, das sich anhand der Arbeiten von Hubel, Wiesel, Barlow und Marr rekonstruieren läßt, lange Zeit eine beachtliche Persistenz zeigte, ist diese Sicht auf neuronale Verarbeitungsprozesse inzwischen weitgehend verdrängt und durch eine Reihe anderer Grundannahmen ersetzt worden.¹² Es mehren sich die Hinweise darauf, daß die Informa-

- ¹⁰ Vgl. hierzu den programmatisch gehaltenen Einleitungsteil des Marrschen Buches (*Vision*, S. 3-38), in dem die Bedeutung der algorithmischen (»computationalen«) Beschreibungsebene hervorgehoben wird.
- ¹¹ Dies bedeutet, daß der Einfluß von spezifischem Vorwissen und Erfahrung auf Wahrnehmungsinhalte in der Verarbeitung zunächst nicht berücksichtigt wird. Wahrnehmungseindrücke werden nur aus dem aktuell Gegebenen errechnet und erst im nachhinein mit Gedächtnisinhalten verglichen. Wie Ullman zusammenfaßt: »Current computational approaches typically assume a very large and often dominant role to the bottom-up component of the visual process. »Bottom-up« means here an automatic process that is determined by the input, and is not governed by specific goals of the computation, and does not bring into bear specialized knowledge regarding specific objects.« Ullman, »Tacit assumptions in the computational study of vision«, S. 311.
- ¹² Vgl. Varela u. a., *The Embodied Mind*, S. 85-103, sowie Bechtel/Abrahamsen, *Connectionism and the Mind*.

tionsverarbeitung im Sehsystem ganz anders abläuft, als im klassischen Paradigma angenommen wurde, und daß es sich hierbei insbesondere nicht um die Abarbeitung von Sequenzen aus diskreten Verrechnungsschritten handelt. Darüber hinaus fanden sich keine experimentellen Belege für die erwähnten ›Großmutterzellen‹, und es stellte sich heraus, daß repräsentationale Zustände im Gehirn ganz anders aussehen, als es von der ›Einzelzeldoktrin‹ postuliert wurde. Schließlich wurde auch zunehmend deutlich, daß die ›Computermetapher‹¹³ weder eine gültige noch eine nützliche Heuristik darstellt, da Gehirne keine zentrale Recheneinheit aufweisen, keine ›Rechenregeln‹ oder Algorithmen verkörpern, und da – im Gegensatz zu Maschinen mit von-Neumann-Architektur – hier genau diejenigen Systemteile, die ›rechnen‹, auch das Substrat für Speicher- und Gedächtnisprozesse darstellen. Diese Einsichten führten zur Entwicklung eines neuen Wahrnehmungsparadigmas, das als *konnektionistisch* bezeichnet wird, da hier die dynamischen Netzwerkeigenschaften sensorischer Systeme in den Vordergrund gestellt werden.¹⁴ Aufgund dieser Verschiebung des Blickwinkels ergeben sich eine ganze Reihe konzeptueller Veränderungen. Die für das konnektionistische Paradigma charakteristischen konzeptuellen Bestandteile lassen sich wie folgt zusammenfassen¹⁵:

Parallele und verteilte Verarbeitung. In den achtziger Jahren wurde deutlich, daß das von Hubel, Wiesel und Barlow entwickelte seriell-hierarchische Verarbeitungskonzept nicht haltbar war. Neuere physiologische Arbeiten hatten deutlich gemacht, daß es zahlreiche visuelle Areale gibt, die auf die Analyse jeweils verschiedener Objektmerkmale (wie etwa Form, Farbe, Bewegung oder räumlicher Abstand eines Objekts) spezialisiert sind.¹⁶ Wie in Abbildung 3 schematisch gezeigt, bilden diese

13 Jedenfalls die des klassischen Paradigmas – in *veränderter Form* persistiert die ›Computermetapher‹ natürlich auch im konnektionistischen Paradigma.

14 Vgl. Rumelhart u. a., *Parallel Distributed Processing*, Bd. 1; McClelland u. a., *Parallel Distributed Processing*, Bd. 2.

15 Es sei hier nochmals betont, daß die im folgenden genannten Konzepte auch auf andere neuronale Systeme anwendbar sind.

16 Inzwischen sind, etwa im Gehirn von Rhesusaffen, mehr als 30 verschiedene Areale beschrieben worden, in denen visuelle Information arbeitsteilig analysiert wird. Darüber hinaus ist bekannt, daß bereits

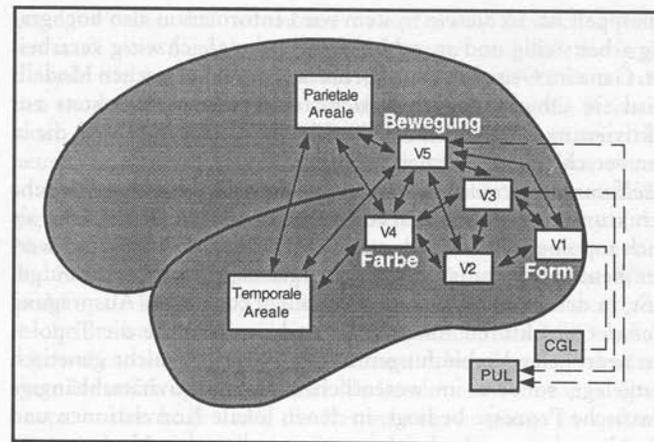


Abbildung 3: Parallelverarbeitung im Sehsystem. In diese schematische Seitenansicht eines Gehirns sind die wichtigsten visuellen Hirnrindenareale und ein Teil der zwischen ihnen bestehenden Verbindungen eingetragen. Jedes der Kästchen vertritt – abgesehen von der primären (V1) und sekundären (V2) Sehrinde – einen Komplex aus mehreren visuellen Arealen. Stark vereinfachend sind hier die drei Objektmerkmale ›Form‹, ›Farbe‹ und ›Bewegung‹ Arealen zugeordnet, in denen sie wahrscheinlich bevorzugt verarbeitet werden. Man beachte den reziproken Charakter der Verbindungen und die Existenz mehrerer paralleler Eingänge von subkortikalen Strukturen. Abkürzungen: CGL, Corpus geniculatum laterale; PUL, Pulvinar; V1...V5, erster bis fünfter visueller Arealkomplex. (Modifiziert aus Engel/König, »Paradigm shifts in the neurobiology of perception«.)

Areale keine lineare Hierarchie von Verarbeitungsstufen, sondern sind untereinander zu einem komplexen *Netzwerk* verknüpft, in dem es mehrere parallele Ein- und Ausgänge gibt und jedes Areal mit seinen Nachbarn über reziproke Verbindungen

in der Retina und den anderen subkortikalen Stationen der Sehbahn Neurone mit sehr unterschiedlichen Antwortereigenschaften zu finden sind. Diese Beobachtungen haben dazu geführt, daß man heute von verschiedenen ›parallelen Verarbeitungspfaden‹ spricht. Zur Übersicht vgl. Felleman/Van Essen, »Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex«; Spillmann/Werner, *Visual Perception*, S. 103–128, 194–199; Kandel u. a., *Neurowissenschaften*, S. 393–411; Engel, »Prinzipien der Wahrnehmung: das visuelle System«.

gekoppelt ist. In diesem System wird Information also hochgradig arbeitsteilig und an zahlreichen Orten gleichzeitig verarbeitet. Ganz im Gegensatz zur Vorhersage des Barlowschen Modells wird ein Objekt, das im Gesichtsfeld erscheint, hier stets zur Aktivierung einer enormen Anzahl von Neuronen führen, die in den verschiedenen Arealen lokalisiert sind.

Selbstorganisation und Plastizität. Sowohl die ontogenetische Strukturierung dieses ausgedehnten kortikalen Netzwerks als auch topologische Veränderungen im ausgereiften Zustand werden heute als Resultat von Selbstorganisationsprozessen aufgefaßt, in deren Verlauf lokale Wechselwirkungen zu Ausprägung globaler Strukturen führen.¹⁷ So ist beispielsweise die Topologie neuronaler Verbindungen in der Hirnrinde nicht genetisch festgelegt, sondern im wesentlichen durch aktivitätsabhängige plastische Prozesse bedingt, in denen lokale Korrelationen und Nachbarschaftswechselwirkungen zwischen den Neuronen eine große Rolle spielen.¹⁸ Darüber hinaus werden die neuronalen Verbindungsmuster durch das Verhalten und die sensorische Erfahrung des Tieres beeinflusst. Selbst beim adulten Tier zeigt das Netzwerk der Hirnrinde noch ein sehr hohes Maß an erfahrungsabhängiger Plastizität, die für Gedächtnis und Lernvorgänge verantwortlich ist.

Kontextabhängigkeit neuronaler Antworten. Im Widerspruch zu einer der zentralen Annahmen der Barlowschen Einzelzell-doktrin ist inzwischen auch deutlich geworden, daß der Aktivität einzelner Neurone – isoliert betrachtet – kaum funktionelle Bedeutung zukommt. In mindestens zweierlei Hinsicht sind neuronale Antworten in sensorischen Arealen stark kontextabhängig. Zum einen wurde gezeigt, daß die mittlere Feuerrate eines sensorischen Neurons nicht nur von der Reizung im Bereich des rezeptiven Feldes abhängt. Vielmehr wird die Antwort des Einzelneurons auch von globalen Aspekten der Reizkonfiguration beeinflusst und hängt zum Beispiel davon ab, welche Stimuli in benachbarten Regionen des Gesichtsfeldes auftreten (Abbildung 4).¹⁹ Darüber hinaus ist in zahlreichen Arbeiten inzwischen

gezeigt worden, daß neuronale Antworten in sensorischen Arealen stark vom Verhaltenskontext abhängen und daß hier zum Beispiel die Aufmerksamkeit des Tieres auf den Reiz einen starken modulatorischen Effekt auf die zu beobachtende Reizantwort der Neurone hat.²⁰ Schließlich scheint es so zu sein, daß neuronale Antworten nicht nur hinsichtlich ihrer Entstehung, sondern auch bezüglich ihrer *kausalen Relevanz* kontextabhängig sind. Es gibt inzwischen experimentelle Hinweise darauf, daß Neurone nur dann zu Wahrnehmung und Verhaltenssteuerung des betreffenden Organismus beitragen (und auf diese Weise funktionale Bedeutung erhalten), wenn sie Teil von *Assemblies*, das heißt von kohärent aktiven Zellverbänden, sind.²¹ Dies liegt sehr wahrscheinlich daran, daß nur hinreichend große und untereinander stark synchronisierte Verbände von Neuronen überhaupt in der Lage sind, die Verrechnungsvorgänge in anderen Hirnarealen zu beeinflussen.²²

Assemblies als grundlegende funktionelle Einheiten. Aus diesen Überlegungen ergibt sich, daß nicht einzelne Neurone – wie im klassischen Paradigma postuliert –, sondern kohärent aktive Zellverbände als die grundlegenden Einheiten der Informationsverarbeitung im Kortex betrachtet werden müssen und mithin auch eine grundlegende deskriptive Kategorie für die Neurobiologie darstellen. Im Gegensatz zu den »Großmutterzellen«, für die bis heute der empirische Nachweis aussteht, konnte die dynamische Einbindung von Neuronen in *Assemblies* experimentell

(vgl. »Neuronal responses to statistic texture patterns in area V1 of the alert macaque monkey«) beschrieben worden.

20 Zur Übersicht bezüglich dieser modulatorischen Effekte vgl. zum Beispiel Spillmann/Werner, *Visual Perception*, S. 220-225, 308-313.

21 Als »Assembly« wird eine Population von dynamisch wechselwirkenden Neuronen bezeichnet, die *als Ganzes* eine Objektrepräsentation instantiiert. Der Begriff geht auf den kanadischen Psychologen Donald Hebb, *The Organization of Behavior*, zurück. Wie oben ausgeführt, können einzelne Neurone jeweils nur elementare Objektmerkmale detektieren, und diese Merkmalsanalyse findet darüber hinaus auch – wegen der räumlich begrenzten rezeptiven Felder der Neurone – meist nur lokal statt. Daher wird ein ganzes Ensemble von Neuronen benötigt, um komplexe Objekte neuronal darzustellen.

22 Vgl. hierzu Singer/Gray, »Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis«; Engel, *Prinzipien der Wahrnehmung: das visuelle System*; Engel, *Zeitliche Kodierung in neuronalen Netzen*.

17 Zur Übersicht vgl. Malsburg/Singer, »Principles of cortical network organization«.

18 Vgl. Singer, »Development and plasticity of cortical processing architectures«; sowie Kandel u. a., *Neurowissenschaften*, S. 477-493.

19 Dieser Kontexteinfluß ist beispielsweise von Knierim und Van Essen

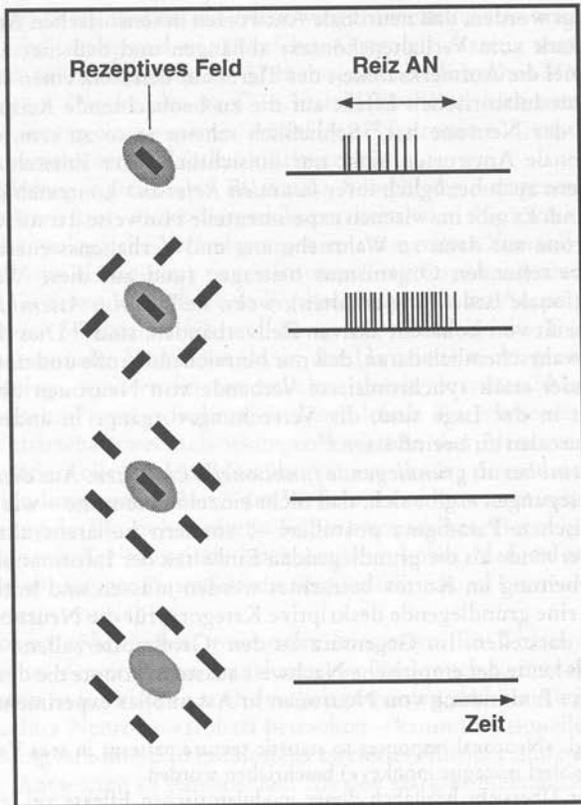


Abbildung 4: Kontextsensitivität neuronaler Antworten im primären visuellen Kortex. Die Antwort, die ein Neuron bei Präsentation eines Reizes im eigentlichen rezeptiven Feld (grauer Bereich) zeigt, wird stark davon beeinflusst, ob andere Reizelemente in der Umgebung vorhanden sind und wie diese orientiert sind. Das Neuron erhöht seine Entladungsrates, wenn ein optimal orientierter Reiz im rezeptiven Feld gezeigt wird (oben). Die Antwortstärke (das heißt die Zahl der Aktionspotentiale pro Zeiteinheit) nimmt deutlich zu, wenn zusätzlich Reize in die Umgebung des rezeptiven Feldes projiziert werden, deren Orientierung orthogonal zur Vorzugsorientierung ist (zweite Spur). Haben diese Umfelderreize die gleiche Orientierung wie der Reiz, der sich im rezeptiven Feld befindet, kommt es dagegen zu einer Hemmung des Neurons (dritte Spur). Diese

modulatorischen Kontexteffekte treten auf, obwohl eine Kontrollmessung zeigt, daß die Umfelderreize allein die Aktivität des Neurons nicht beeinflussen (unten). (Modifiziert aus Engel/König, »Paradigm shifts in the neurobiology of perception«.)

nachgewiesen werden. So konnte beispielsweise durch gleichzeitige Ableitung mit mehreren Mikroelektroden direkt gezeigt werden, daß räumlich verteilte Neurone im visuellen Kortex durch Synchronisation ihrer Aktivität zu Assemblies zusammengefaßt werden können (Abbildung 5).²³ Durch eine solche Synchronisation, die dann auftritt, wenn die Neurone auf Merkmale desselben Objektes reagieren, können Assemblies sogar über die Grenzen einzelner Areale hinweg und sogar unter Einbeziehung von Zellen aus verschiedenen Hirnhälften gebildet werden. Diese dynamische »Bindung« von verteilten Neuronen zu Assemblies, die über lokale Interaktionen vermittelt wird, stellt ein weiteres Beispiel für die Selbstorganisation komplexer Strukturen in neuronalen Netzen dar.

Dynamik der neuronalen Verarbeitung. Schließlich rückt im konnektionistischen Paradigma auch die Dynamik kognitiver Systeme stärker ins Blickfeld, und es wird betont, daß deren Funktionsprinzipien prinzipiell nur dann verständlich werden können, wenn man ihre zeitliche Entwicklung betrachtet. Unter technischen Gesichtspunkten impliziert dies die Einführung von Konzepten aus der Theorie dynamischer Systeme – wie etwa das des Phasenraums oder das des Attraktors – in die neurobiologische Beschreibung.²⁴ Beispiele dafür, wie die Berücksichtigung der Dynamik die neurobiologische Wahrnehmungstheorie verändert, liefern aktuelle Arbeiten zur Struktur rezeptiver Felder und zur Entstehung von Objektrepräsentationen im Sehsystem. So wurde gezeigt, daß sich die räumliche Struktur der rezeptiven Felder von visuellen Neuronen nach Beginn der Reizung über die Zeit stark verändert. Daher müssen solche Felder als

23 Eine Übersicht über die Befunde zur neuronalen Synchronisation findet sich in Engel u. a., »Temporal coding in the visual cortex: new vistas on integration in the nervous system«; Singer/Gray, »Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis«; Engel, *Zeitliche Kodierung in neuronalen Netzen*.

24 Eine kürzlich erschienene Aufsatzsammlung, die diesen Gesichtspunkt ausführlich behandelt, findet sich in Port/van Gelder, *Mind as Motion*.

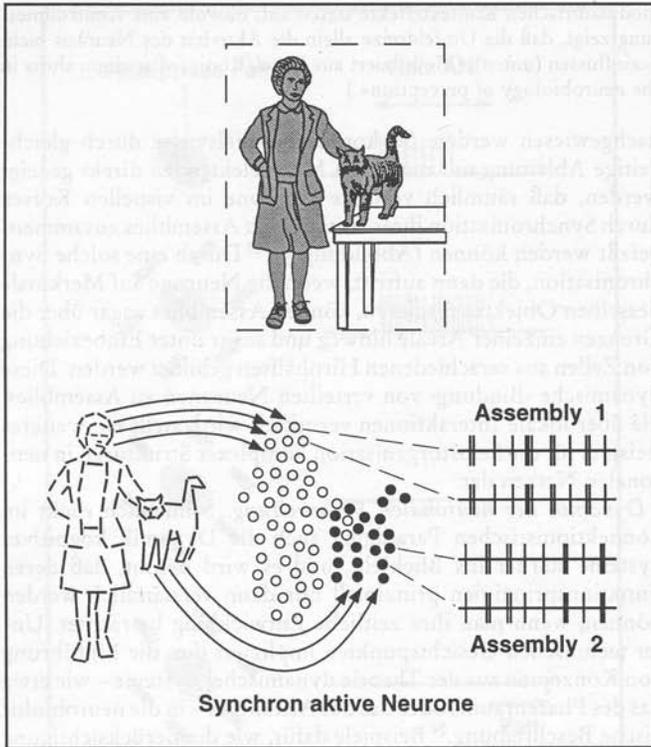


Abbildung 5: Objektrepräsentation durch Assemblies von synchron aktiven Neuronen. Dieses Modell nimmt an, daß Objektmerkmale durch zeitliche Korrelation zwischen den neuronalen Antworten gebunden werden. Im hier gezeigten Fall würden die Frau und ihre Katze durch jeweils ein solches Assembly neuronal dargestellt (durch offene und gefüllte Symbole angedeutet). Diese Assemblies bestehen aus Neuronen, die elementare Objektmerkmale (vgl. Abbildung 1) detektieren. Die Zusammengehörigkeit der Merkmale wird dabei durch die zeitliche Korrelation zwischen den Neuronen eines Assemblies kodiert (rechts). Diejenigen Neurone, die zum selben Zellverband gehören, erzeugen nach der Zeitkodierungshypothese ihre Impulse (senkrechte Striche) jeweils synchron. Zwischen den beiden Assemblies besteht jedoch keine feste zeitliche Beziehung. (Modifiziert aus Engel, »Prinzipien der Wahrnehmung: das visuelle System«.)

raumzeitliche Phänomene aufgefaßt werden, ohne daß hier die Möglichkeit besteht, räumliche und zeitliche Komponenten der Beschreibung abstraktiv zu trennen.²⁵ Ähnliches gilt für die Struktur neuronaler Repräsentationen, die – wie oben dargestellt – sehr wahrscheinlich durch die transiente Synchronisation von merkmalsensitiven Neuronen etabliert werden. Da dieser Mechanismus die Möglichkeit eröffnet, auch bei konstantem anatomischen Substrat ganz verschiedene repräsentationale Zustände zu konfigurieren²⁶, ist auch hier die Dynamik des Systems das Entscheidende. Diese dynamischen Aspekte neuronaler Aktivität wurden im klassischen Paradigma weitgehend vernachlässigt, das von einer zeitlichen Invarianz neuronaler Antworteigenschaften ausging und annahm, daß die »computationalen« Eigenschaften des Netzwerks durch seine anatomische Struktur im wesentlichen festgelegt seien.

Insgesamt läßt sich sagen, daß die hier genannten Konzepte das klassische Verständnis der neuronalen Informationsverarbeitung in entscheidenden Punkten in Frage stellen. Die Verfechter des konnektionistischen Paradigmas charakterisieren sensorische Informationsverarbeitung nicht als algorithmische Operation, sondern als einen Selbstorganisationsprozeß, in dessen Verlauf sich durch Aktivitätsausbreitung in einem neuronalen Netz verteilte raumzeitliche Muster etablieren, die eine dynamische Repräsentation des »Verrechnungsergebnisses« darstellen. Die Struktur dieser Muster wird durch die Topologie des Netzwerks und durch dessen »Geschichte« bestimmt, in deren Verlauf durch Lernvorgänge adaptive strukturelle Veränderungen herbeigeführt wurden. Interessanterweise greift diese neuere Sichtweise an vielen Stellen – ohne daß sich ihre Vertreter dessen immer bewußt wären – auf zentrale Einsichten der Gestaltpsychologie

25 Vgl. zum Beispiel DeAngelis u. a., »Receptive-field dynamics in the central visual pathways«.

26 In Simulationsstudien konnte gezeigt werden, daß durch Synchronisation – also eine Bindung im Zeitbereich – Assemblies rekonfiguriert werden können, ohne daß die Übertragungseffizienz synaptischer Verbindungen im Netzwerk verändert werden muß, vgl. Engel u. a., »Temporal coding in the visual cortex: new vistas on integration in the nervous system«; Singer/Gray, »Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis«; Engel, *Zeitliche Kodierung in neuronalen Netzen*.

zurück. Obwohl man keineswegs behaupten kann, daß verschiedene Hirnregionen »äquipotent« seien, beruhen doch fast alle kognitiven Prozesse auf der Aktivierung außerordentlich großer Hirnbereiche, so daß sie nur zum kleinen Teil in dafür spezialisierte Areale verortet werden können. Darüber hinaus weisen die »computational« relevanten Hirnzustände in der Tat eine *gestalt-hafte* Organisation auf, da – wie oben dargestellt – die funktionelle Bedeutung der einzelnen Neurone vollständig vom Kontext abhängt, der durch die anderen Mitglieder des jeweiligen Assemblies gesetzt ist.²⁷

4. Kritische Anmerkungen zum neurobiologischen Wahrnehmungsparadigma

Obwohl die beiden beschriebenen Paradigmen sich zum Teil erheblich in ihrer Sicht der Informationsverarbeitung im Nervensystem unterscheiden, teilen sie doch gewisse grundlegende Annahmen. Zum einen steht – trotz des Wechsels vom klassischen zum konnektionistischen Paradigma – unverändert ein *repräsentationalistischer Wahrnehmungsbegriff* im Vordergrund. In bei-

²⁷ Die Konvergenz mit gestaltpsychologischen Ideen ist in der Tat weitreichend und kann hier aus Platzgründen nicht weiter vertieft werden. Ganz offensichtlich finden sich fast alle der hier genannten Konzepte in den Arbeiten Wolfgang Köhlers wieder, wenn auch zum Teil nur in rudimentärer oder impliziter Form. Neben den im Text diskutierten Grundannahmen gibt es eine Reihe weiterer konnektionistischer Maximen, die bereits in der Gestaltpsychologie angelegt sind. Hierzu gehören beispielsweise: die Betonung der Bedeutung präattentiver Informationsverarbeitung (die Gestaltpsychologen gingen davon aus, daß die perzeptive Integration »unwillkürlich« durch spontane Selbstorganisation erfolgt und daher zunächst keine Aufmerksamkeit und keine Interpretation auf der Basis von Vorwissen erfordert); die Idee, daß integrative Prozesse bereits auf frühen Verarbeitungsstufen stattfinden, und nicht erst an der Spitze einer Verarbeitungshierarchie; ferner zum Beispiel auch die – heute gegen den Funktionalismus gerichtete – Forderung, daß die physiologische und die psychologische Beschreibungsebene nicht prinzipiell voneinander abgetrennt werden dürften. Zur Rekonstruktion dieser Konvergenz vgl. Spillmann/Ehrenstein, »From neuron to gestalt: mechanisms of visual perception«.

den Paradigmen wird angenommen, daß Wahrnehmung darin besteht, *innere Abbilder* von Objekten zu erzeugen und auf diese Weise die – als beobachterunabhängig betrachteten – Strukturen der Außenwelt in einem inneren »Modell« zu replizieren und zu speichern. Darüber hinaus ist nicht nur dem klassischen, sondern auch noch dem konnektionistischen Paradigma eine *atomistisch* gefärbte Grundhaltung zu eigen, die sich einerseits in bestimmten ontologischen Annahmen äußert, andererseits aber auch zu einem methodologischen Atomismus führt. Und schließlich teilen die Vertreter des alten und des neuen Paradigmas mehrheitlich eine strikt *reduktionistische* Grundauffassung, die davon ausgeht, daß die Erklärung von Wahrnehmungsvorgängen letzten Endes ausschließlich auf der neuronalen Ebene zu erfolgen habe und daß die Neurobiologie somit über einen *privilegierten Zugang* zu kognitiven Prozessen verfüge. Aufgabe der folgenden Abschnitte soll es sein, diese Grundannahmen kritisch zu beleuchten, und es soll gefragt werden, ob diese Annahmen tatsächlich als Grundlage für eine Theorie perzeptiver Prozesse dienen können. Wir stützen uns hierbei unter anderem auf die phänomenologisch-hermeneutische Tradition²⁸, da wir (ohne einer nostalgisch gefärbten Rückkehr zu klassischen philosophischen Positionen das Wort reden zu wollen) der Meinung sind, daß sich hier heuristisch wertvolle Intuitionen herauslösen und für die Kognitionswissenschaft nutzbar machen lassen.

Wahrnehmung als Repräsentation. Die Vertreter des klassischen und des konnektionistischen Denkansatzes verstehen sich im Regelfall als ontologische Realisten, das heißt, sie gehen davon aus, daß die Welt beobachterunabhängig vorgegeben und in ihren Strukturen unabhängig von jeder kognitiven Aktivität definiert ist. Das von ihnen vertretene Wahrnehmungsparadigma impli-

²⁸ Wir beziehen uns hier auf Positionen, wie sie etwa in den Arbeiten Merleau-Pontys und in den frühen Arbeiten Heideggers entwickelt wurden; vgl. zum Beispiel Heidegger, *Sein und Zeit*; ders., *Die Grundprobleme der Phänomenologie*; Merleau-Ponty, *Phänomenologie der Wahrnehmung*; ders., *Die Struktur des Verhaltens*. Eine kritische Diskussion der hier genannten Grundannahmen findet sich auch bei Kurthen, *Neurosemantik*, sowie ders., *Hermeneutische Kognitionswissenschaft*, der ebenfalls etablierte kognitionswissenschaftliche Denksätze mit Positionen aus der hermeneutischen Tradition konfrontiert.

ziert zum einen eine *Trennung* von kognitivem System und Welt. Das Subjekt wird zum distanziierten Betrachter, der im Wahrnehmungsprozeß von der ihm vorgängigen Welt zurücktritt, anstatt aktiv an ihr zu partizipieren.²⁹ Zum anderen ist nach dieser Auffassung der Organismus in der Wahrnehmung im wesentlichen *passiv* – er reagiert im Wahrnehmungsprozeß lediglich, nimmt die Welt lediglich zur Kenntnis, und das Verhalten des Organismus wird in dieser Sicht zur bloßen Adaptation an eine ›fertige Umwelt‹, zur bloßen Anpassung an vorgegebene Problemstellungen. Aufgabe der Wahrnehmung ist es dann, diese vorgegebenen Strukturen der Welt zu *rekonstruieren*. Es wird angenommen, daß durch die Berechnung von Objektrepräsentationen eine ›Kopie‹, ein inneres ›Modell‹³⁰ der Welt entsteht, das dann als Datenbasis für die Verhaltenserzeugung zur Verfügung steht.

Zu fragen wäre, ob dieses Konzept einer repräsentationalistischen Abbildtheorie nicht möglicherweise ein verzerrtes Bild von Wahrnehmungsprozessen liefert.³¹ Aus phänomenologischer Sicht ergibt sich an dieser Stelle der kritische Einwand, daß ein repräsentationalistischer Ansatz der geschilderten Art möglicherweise nicht zur Erklärung von Wahrnehmungsprozessen hinreicht, da er die aktiven und konstruktiven³² Aspekte solcher Prozesse vernachlässigt. Wie etwa von Merleau-Ponty be-

29 Wie Kurthen, *Hermeneutische Kognitionswissenschaft*, S. 16-21, ausführt, wird hier der Wahrnehmungsprozeß nach dem Modell des wissenschaftlichen Erkenntnisgewinns rekonstruiert.

30 Typisch ist in diesem Zusammenhang das Motto »Brains are world-modelers«, das sich zum Beispiel bei Churchland/Sejnowski, *The Computational Brain*, S. 143, findet.

31 Ein Abriss der breiten und philosophiegeschichtlich weit zurückreichenden kritischen Diskussion um repräsentationalistische Wahrnehmungstheorien kann hier nicht gegeben werden, da dies den Rahmen unseres Beitrags sprengen würde. Ausführlichere Darstellungen, die explizit Bezug auf die Neurobiologie nehmen, finden sich zum Beispiel in Peschl, *Repräsentation und Konstruktion*, sowie in Ziemke/Breidbach, *Repräsentationismus – Was sonst?*

32 Mit der Verwendung des Terminus der ›Konstruktion‹ beziehen wir uns selbstverständlich *nicht* auf willentliche Akte eines kognitiven Subjekts. Was hier hervorgehoben werden soll, ist die Tatsache, daß Wahrnehmungsinhalte (und damit die Struktur der phänomenalen Welt) in außerordentlich hohem Maße von dynamischen *Selbstorganisationsprozessen* abhängen, die dem betreffenden kognitiven Sy-

stem inhärent sind, und – allgemein gesagt – von den *prä-rationalen* sensomotorischen Dispositionen des kognitiven Agenten. Worauf wir abzielen, ließe sich mit dem Schlagwort ›Konstruktion ohne Konstrukteur‹ bezeichnen.

33 Merleau-Ponty, *Die Struktur des Verhaltens*, S. 13 f.

34 Dieser Aspekt wird neuerdings in der Kognitionswissenschaft – und hier insbesondere in dem Bereich der KI, der Bildverarbeitung und Bildverstehen modelliert – stark betont, und zwar unter dem Stichwort ›active vision‹, vgl. zum Beispiel Görz, *Einführung in die künstliche Intelligenz*, S. 559-565 sowie S. 643-647. Mit Bezug auf die Arbeiten Merleau-Pontys ist der aktiv-konstruktive Aspekt von Wahrnehmungsprozessen u. a. von Varela und Mitarbeitern stark betont worden; vgl. Varela, *Kognitionswissenschaft – Kognitionstechnik*; Varela u. a., *The Embodied Mind*.

35 Wir beziehen uns hier auf den Prozeß der Segmentierung, das heißt die vom Beobachter (größtenteils unwillkürlich und präattentiv) vorgenommene Untergliederung des Wahrnehmungsfeldes in für ihn bedeutungsvolle Einheiten; vgl. Merleau-Ponty, *Die Struktur des Verhaltens*, zum Beispiel S. 11-16, 138-143, 176-183.

dies in instruktiver Weise. Wie in Abbildung 6 dargestellt, legt das Wahrnehmungssystem des Beobachters beispielsweise fest, was überhaupt als eine Kontur und wann eine Bewegung gesehen wird – ersteres wird durch das Phänomen der sogenannten ›Scheinkonturen‹, letzteres durch das der ›Scheinbewegung‹ verdeutlicht. Offensichtlich sind die phänomenalen Qualitäten wahrgenommener Gegenstände ganz allgemein beobachterabhängig. Ein vieldiskutiertes Beispiel liefert etwa das Sehen von Farben; auch hier gilt, daß die phänomenale Struktur des Wahrnehmungsraums durch die funktionale Architektur des Sehsystems des Beobachters determiniert wird.³⁶ Darüber hinaus wird auch durch einen Beobachter³⁷ erst festgelegt, was im Wahrnehmungskontext überhaupt als ein *Objekt* gilt. Die Objekte unserer Umwelt, auf die wir uns als kognitive Subjekte beziehen, sind nicht physikalisch-objektiv als Einheiten definiert, sondern werden erst durch einen Gebrauchskontext, das heißt durch ihre Funktion in bestimmten Handlungszusammenhängen, überhaupt individuierbar.³⁸ Als Fazit ergibt sich aus diesen Überlegungen, daß Wahrnehmung tatsächlich konstruktive oder *konstitutive* Aspekte hat, die im kognitionswissenschaftlichen Wahrnehmungsparadigma ganz überwiegend vernachlässigt werden. Daher liefert unserer Ansicht nach das Repräsentationskonzept, das einen der Kernbestandteile des Paradigmas darstellt, keine hinreichende Grundlage für eine überzeugende Wahrnehmungstheorie.³⁹

*Atomistische Ontologie.*⁴⁰ Das klassische Paradigma impliziert

36 Vgl. Varela u. a., *The Embodied Mind*, S. 157-171.

37 Genauer gesagt: durch eine Gemeinschaft von Beobachtern. Wir gehen davon aus, daß die konstruktiven Leistungen kognitiver Systeme in fast allen Fällen *intersubjektiv* vermittelt sind.

38 Dieser Aspekt – die Gegenstandskonstitution im Bewandtniszusammenhang – hat bekanntlich Heidegger in seinen phänomenologischen Analysen herausgearbeitet; vgl. zum Beispiel Heidegger, *Sein und Zeit*, S. 66-88; sowie ders., *Die Grundprobleme der Phänomenologie*, S. 231-242.

39 Die Betonung der konstitutiven Aspekte von Kognition soll nicht besagen, daß es grundsätzlich keine Repräsentation geben kann. Wenn jedoch Repräsentation mit *passiver Welt-Abbildung* gleichgesetzt wird, dann kann unseres Erachtens Repräsentation nicht als Grundmodell kognitiver Prozesse gelten.

40 Wir verwenden den Terminus ›Ontologie‹ im Sinne von Dreyfus,

eine ›Dingontologie‹⁴¹, die die Umwelt des kognitiven Systems als eine kontingente Ansammlung von Gegenständen auffaßt. Die in der Welt vorfindlichen Gegenstände werden dabei als prinzipiell isolierbare, beobachterunabhängige und kontextinvariante Einheiten betrachtet.⁴² Es wird angenommen, daß Wahrnehmung sich primär auf solche invarianten Objekte richtet, und der Wahrnehmungsprozeß wird weitgehend auf Objekterkennung und Objektrepräsentation reduziert. Damit erliegt dieses Paradigma – mit den Worten Merleau-Pontys – dem ›Vorurteil einer fertigen Welt‹, von der angenommen wird, daß sie an sich eindeutig gegliedert ist. Da die Welt prädefinierte Strukturen aufweist, haben visuelle Szenen vorgegebene Grenzen oder ›Sollbruchstellen‹, und es gibt somit nur *eine* korrekte Art, sie zu segmentieren (das heißt perzeptiv in kohärente Teilbereiche zu untergliedern). Das Auffinden der ›richtigen‹ Lösung des Segmentierungsproblems und die ›richtige‹ Rekonstruktion von Objekteigenschaften werden daher in diesem Paradigma zum Kriterium für erfolgreiche Kognition.⁴³ Diese Dingontologie ist im Prinzip auch dem Konnektionismus zu eigen.⁴⁴ Obwohl, wie oben diskutiert, die Berücksichtigung der Kontextabhängigkeit von Wahrnehmungsinhalten in konnektionistischen Modellen an Relevanz gewinnt, besteht hier trotzdem ein reduziertes Verständnis von ›Kontext‹. Der Begriff des Kontexts bezieht sich

What Computers Still Can't Do, und beziehen uns damit auf grundlegende Annahmen, die über die relevanten Entitäten im Gegenstandsbereich der betreffenden wissenschaftlichen Theorie gemacht werden.

41 Ein Ausdruck von Heidegger, *Sein und Zeit*, S. 100, den er im Zusammenhang mit der Kritik des Descartesschen Weltbegriffs gebraucht.

42 Dieser Gesichtspunkt wird auch von Dreyfus, *What Computers Still Can't Do*, S. 206-224, mit Blick auf den klassischen Kognitivismus hervorgehoben.

43 Beispiele für Wahrnehmungstheorien mit diesen impliziten Annahmen sind Marrs ›Informationsverarbeitungstheorie des Sehens‹ (vgl. Abschnitt 2 oben) sowie Biedermans Theorie der ›Objekterkennung durch Komponentenanalyse‹, vgl. Marr, *Vision*; und Biederman, ›Recognition-by-components: a theory of human image understanding‹.

44 Daher ist die Kritik, die Dreyfus (vgl. *What Computers Still Can't Do*) am klassischen Paradigma übt, auch durchaus auf den Konnektionismus übertragbar.

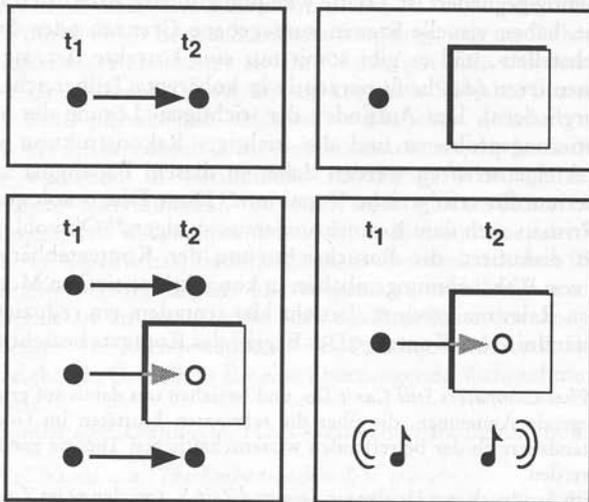
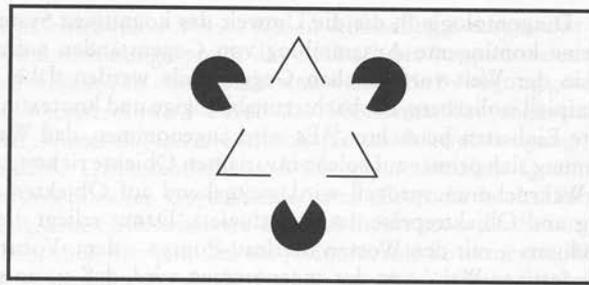


Abbildung 6: Konstruktive Natur der visuellen Wahrnehmung. (Oben) Ein gutes Beispiel für den konstruktiven Charakter des Sehvorgangs sind ›Scheinkonturen‹, die hier das sogenannte Kanizsa-Dreieck bilden. In dieser Darstellung nimmt man ein weißes Dreieck wahr, dessen Ecken mit dunklen Kreisscheiben hinterlegt sind. Die Konturen des Dreiecks werden lebhaft wahrgenommen, obwohl keine durchgehenden Kontrastgrenzen sichtbar sind. Man beachte, daß das Dreieck heller als die Umgebung erscheint, obwohl das Papier überall gleich weiß ist. (Mitte) Ein weiteres instruktives Beispiel bietet die sogenannte ›Scheinbewegung‹. Werden an zwei verschiedenen Stellen im Gesichtsfeld kurz nacheinander zwei gleiche Reize gezeigt, so sieht man ein Objekt, daß sich zwischen den beiden Orten bewegt (links). Wird dann die eine dieser

Stellen durch ein größeres Objekt (einen ›Okkluder‹) verdeckt, verschwindet die Scheinbewegung, und es wird nur noch ein auf der Stelle flickernder Reiz gesehen (rechts). (Unten) Der Eindruck der Bewegung kann jedoch wiederhergestellt werden, wenn in der Nachbarschaft der Reizanordnung weitere Scheinbewegungsreize präsentiert werden (links). In diesem Fall hat man den Eindruck, daß das mittlere Objekt sich hinter den Okkluder bewegt. Der gleiche Eindruck kann durch Wechselwirkung mit anderen Sinnesmodalitäten hervorgerufen werden und tritt zum Beispiel auf, wenn durch abwechselnde Reizung der beiden Ohren der begleitende Eindruck einer akustischen Scheinbewegung erzeugt wird (rechts). (Oberer Bildteil aus Rock, *Wahrnehmung*; unterer Bildteil modifiziert aus Churchland u. a., »A critique of pure vision«.)

hier in der Regel auf die statistische Koinzidenz verschiedener Merkmale sowie auf die kontingente räumliche oder zeitliche Nähe anderer Objekte. Die ›Kontextsensitivität‹ konnektionistischer Modelle besteht daher lediglich darin, daß sie die Statistik solcher Merkmalskoinzidenzen abbilden.⁴⁵ Der Begriff des Kontexts bezeichnet im Konnektionismus also bloße ›Korrelations-einheiten‹, aber noch keine ›Bedeutungseinheiten‹.⁴⁶

Dieser atomistischen Grundhaltung kann entgegengehalten werden, daß sich kognitive Prozesse nie auf isolierte Objekte richten, sondern auf *Bedeutungszusammenhänge*, die irreduzible Sinnheiten darstellen und daher nicht in neutrale Objekte oder Fakten zerlegt werden können. Dieses Argument wird von Dreyfus gegen die atomistische Ontologie der Kognitionswissenschaft ins Feld geführt: »A normal person experiences the objects of the world as already interrelated and full of meaning. There is no justification for the assumption that we first experience isolated facts, [...] and then give them significance.«⁴⁷ Und weiter: »[...] the situation is organized from the start in terms of human needs and propensities which give the facts meaning,

45 Die Statistik der Eingabemuster wird dann in Trainingsphasen nach vorgegebenen Lern- und Korrelationsregeln in der Architektur des Netzes festgeschrieben. Details hierzu finden sich in Rumelhart u. a., *Parallel Distributed Processing*, Bd. 1.

46 Da ›Kontext‹ nicht mit Bezug auf Handlungszwecke definiert wird, die durch den Organismus gesetzt werden. Die Ausdrücke stammen von Merleau-Ponty, *Die Struktur des Verhaltens*, S. 178.

47 Dreyfus, *What Computers Still Can't Do*, S. 269 f. Hervorhebung im Zitat vom Autor.

make the facts what they are, so there is never a question of storing and sorting through an enormous list of *meaningless, isolated* data.«⁴⁸ Mit Bezug auf Heidegger und Merleau-Ponty läßt sich – im Anschluß an Dreyfus – argumentieren, daß sich das wahrnehmende Subjekt immer in situativen Bedeutungskontexten befindet, die bereits durch vorheriges Handeln strukturiert sind und sich überhaupt nur mit Bezug auf die Interessen und Bedürfnisse des in ihnen agierenden kognitiven Systems definieren lassen.⁴⁹ Selbst für ein Kleinkind besteht die visuelle Welt nicht aus einer kontingenten Anhäufung bedeutungsfreier Merkmale und neutraler Objekte, da auch hier die ›Wahrnehmungsinteressen‹ des Individuums und – in besonders starkem Maße – der soziale Kontext die relevanten Unterscheidungen im Wahrnehmungsfeld determinieren. Diese Überlegungen lassen vermuten, daß die gegenwärtig dominierende atomistische Ontologie durch eine holistische Sicht auf den Gegenstandsbereich der Wahrnehmungstheorie ersetzt werden sollte. Mögliche Implikationen einer solchen holistischen Wende werden im letzten Abschnitt dieses Beitrages kurz diskutiert.

Methodologischer Atomismus. In der Methodologie der kognitiven Neurowissenschaft findet sich eine atomistische Grundhaltung sozusagen auf verschiedenen Skalen. Klassisch ist, wie bereits ausgeführt, die Idee, daß die Untersuchung der Antworten von *Einzelneuronen* die relevante Erklärungsebene für eine neurobiologische Wahrnehmungstheorie sei. Dies wird von Barlow an einschlägiger Stelle betont: »[...] it no longer seems completely unrealistic to attempt to understand perception at the atomic single-unit level.«⁵⁰ Wie oben diskutiert, ist diese Sichtweise zwar im konnektionistischen Paradigma obsolet, jedoch lebt die atomistische Intuition auch hier auf verschiedene Weise fort. So

48 Ebd., S. 262. Hervorhebung im Zitat vom Autor.

49 Es handelt sich bei diesen situativen Kontexten also um das, was Heidegger als ›Verweisungszusammenhang‹ oder ›Bewandtnisganzheit‹ bezeichnet hat – vgl. Heidegger, *Sein und Zeit*, S. 83–88; oder Heidegger, *Die Grundprobleme der Phänomenologie*, S. 231–242 – bzw. um ›Bedeutungseinheiten‹ im Sinne von Merleau-Ponty, *Die Struktur des Verhaltens*. Zu Details der Argumentation von Dreyfus, vgl. *What Computers Still Can't Do*, S. 273–282.

50 Barlow, »Single units and sensation: a neuron doctrine for perceptual psychology«, S. 382.

kommt der Atomismus im Konzept der Modularität zum Ausdruck, das in den achtziger Jahren von verschiedenen Arbeitsgruppen entwickelt wurde und zur Annahme funktioneller *Subsysteme* im visuellen System geführt hat, die in ihrer Funktion isoliert beschrieben werden können. »The assumption is that the visual system consists of a number of modules that can be studied more or less independently. [...] The integration of modules is assumed to be primarily ›late‹ in nature.«⁵¹ Darüber hinaus ist für das klassische wie für das konnektionistische Paradigma die Idee charakteristisch, daß das Sehsystem *insgesamt* isoliert betrachtet werden kann. Die Grundannahme, daß es eine isolierte Theorie des Sehens geben könne, findet sich bereits bei Marr, dessen Informationsverarbeitungsansatz die visuelle Objekterkennung unabhängig von anderen kognitiven Prozessen untersucht. Aber auch die meisten konnektionistischen Modelle der visuellen Verarbeitung gehen davon aus, daß Leistungen wie Szenensegmentierung und Objekterkennung grundsätzlich durch bloßen Bezug auf die visuellen Aspekte der Welt erbracht werden können. Darüber hinaus wird in der kognitiven Neurobiologie bislang allgemein angenommen, daß Objekte als rein sensorische Muster repräsentiert werden können und daß das Sehsystem eine rein visuelle Repräsentation der Welt in sich aufbaut. Dieses ›eidetische Weltmodell‹ wird dann – so die Hypothese – erst auf sehr späten Verarbeitungsstufen anderen Systemen als ›Datenbank‹ zugänglich gemacht. Diese Auffassung von visueller Wahrnehmung als einer rein eidetischen Weltbetrachtung entspricht dem Geist des bereits kritisierten Repräsentationalismus, da sie ebenfalls die Vorstellung vom Subjekt als einem distanziierten, der Welt gegenüberstehenden Beobachter impliziert.

Erst in jüngster Zeit melden sich verschiedene Autoren mit Bedenken gegen diese modularistische Sicht zu Wort und machen geltend, daß eine Wahrnehmungstheorie, die sich ausschließlich auf *sensorische* Verarbeitungsprozesse bezieht, notwendigerweise defizitär bleibt. In die theoretische Beschreibung muß beispielsweise einbezogen werden, daß Wahrnehmung immer Teil von Verhalten und somit als integriert sensomotorischer Prozeß aufzufassen ist. Daher kann das Sehen eines Objekts

51 Ullman, »Tacit assumptions in the computational study of vision«, S. 310.

nicht mit einer zweckfrei durchgeführten Merkmalsextraktion gleichgesetzt werden, sondern ist eher als *visuell geführtes Agieren* in einem situationalen Kontext zu beschreiben.⁵² Die sensorische Natur von Wahrnehmungsprozessen wird unter anderem auch durch Entwicklungsstudien verdeutlicht, die zeigen, daß das Erlernen adäquater Objektwahrnehmung die aktive Exploration von Situationen und den Erwerb sensomotorischer Erfahrung voraussetzt.⁵³ Darüber hinaus ist beispielsweise der Einfluß von Gedächtnisprozessen auf den Wahrnehmungsakt lange Zeit unterschätzt worden. So gehen etwa die erwähnten klassischen Objekterkennungstheorien von Marr und Biederman davon aus, daß der aktuelle Wahrnehmungseindruck erst auf einer sehr späten Verarbeitungsstufe mit Gedächtnisinhalten verglichen wird und daß Gedächtnisprozesse in diesem Sinne keinen unmittelbaren Einfluß auf die visuelle Informationsverarbeitung ausüben. Sehr wahrscheinlich ist es jedoch nicht so, daß *erst* ein Wahrnehmungseindruck ›bottom-up‹ aufgebaut und dieser *dann* mit Gedächtnisinhalten in Beziehung gebracht wird. Es scheint viel eher so zu sein, daß die im Wahrnehmungsprozeß einlaufende aktuelle Information ständig in konkrete Vorerwartungen über das im betreffenden Kontext zu Sehende eingepaßt wird, wobei diese ›Vorhersagen‹, die die Selektion visueller Informationen leiten, als Zustände des Kurzzeit- oder Arbeitsgedächtnisses implementiert sind. Man könnte sogar behaupten, daß das, was die Grundlage für den bewußten Wahrnehmungseindruck darstellt, *eigentlich Gedächtnisinhalte sind*, die durch Abfragen von Details aus dem Wahrnehmungsfeld ständig an der Umwelt ›geprüft‹ werden.⁵⁴ Diese Beispiele lassen die atomistisch-modulari-

52 Dieser Gesichtspunkt wird in neuerer Zeit zum Beispiel von Varela u. a., *The Embodied Mind*, betont, die ›cognition as embodied action‹ auffassen (S. 172 ff.). Eine ähnliche Stoßrichtung hat das Konzept der ›interactive vision‹ von Churchland u. a., *A critique of pure vision*.

53 Held, »Plasticity in sensory-motor systems«.

54 Ein Punkt, der von Gerhard Roth pointiert hervorgehoben wird; vgl. Roth, *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*, S. 240-242 sowie S. 245 bis 249. Die Bindung von Wahrnehmungseindrücken zu einer bewußten Episode bedarf stets der Aktivierung des Kurzzeitgedächtnisses, vgl. Crick/Koch, »Towards a neurobiological theory of consciousness«. Dies ist etwa beim Betrachten komplexer Objekte der Fall. Hier werden drei- bis viermal pro Sekunde ruckartige Augenbewegungen

stische Sicht überholungsbedürftig erscheinen und legen die Vermutung nahe, daß visuelle Wahrnehmung nicht als Leistung eines einzelnen neuronalen Teilsystems vollständig erklärt werden kann, sondern nur unter Bezug auf das Ganze des kognitiven Systems und seine Situiertheit in Handlungskontexten einer adäquaten theoretischen Beschreibung zugänglich wird.

Neuro-Chauvinismus. Zumindest unter Neurobiologen ist die Grundannahme verbreitet, daß die neurobiologische Forschung den wesentlichen Zugang zum Phänomen der Kognition liefere, und es fehlt nicht an einschlägigen Bekenntnissen in dieser Richtung. So schreibt etwa Barlow: »Thinking is brought about by neurons, and we should not use phrases like ›unit activity reflects, reveals, or monitors thought processes‹, because the activities of neurons, quite simply, *are* thought processes.«⁵⁵ Auf ähnliche Weise äußern sich Francis Crick und Christof Koch in einer Arbeit, die sich mit den neuronalen Grundlagen des Bewußtseins beschäftigt: »[...] we believe that the problem of consciousness can, in the long run, be solved *only* by explanations at the neural level.«⁵⁶ Hinter diesen Äußerungen steht die kühne Annahme, daß die Aufklärung der neuronalen Korrelate völlig hinreichend sein werde, um kognitive Prozesse und darüber hinaus die Qualität der mit diesen verbundenen phänomenalen Zustände zu erklären. Konsequenterweise mündet diese Art des Reduktionismus in eine eliminativistische Einstellung, da dann alle Spielarten unserer vorwissenschaftlichen Selbstmodellierung sowie alle phänomenologischen oder psychologischen Beschreibungen von Kognition keinen eigenständigen Beitrag zur Debatte mehr leisten können.⁵⁷

Es drängt sich an dieser Stelle die Frage auf, ob der ›Blick in

ausgeführt, so daß ständig wechselnde Objektteile auf die zentralen Bereiche der Netzhaut abgebildet werden. Durch die Bindung im Kurzzeitgedächtnis hat man jedoch trotzdem das Gefühl, den *gesamten* Gegenstand klar und deutlich vor sich zu sehen.

55 Barlow, »Single units and sensation: a neuron doctrine for perceptual psychology?«, S. 380. Hervorhebung im Zitat vom Autor.

56 Crick/Koch, »Towards a neurobiological theory of consciousness«, S. 263. Hervorhebung im Zitat von uns.

57 In ihrer vielleicht extremsten Form ist diese Ansicht von Churchland vorgetragen worden, zum Beispiel in: *A Neurocomputational Perspective*, S. 47-66.

Gehirne« tatsächlich zum Verständnis kognitiver Prozesse ausreicht. Aus einer Reihe von Gründen scheint es zweifelhaft, daß die Neurobiologie *allein* eine angemessene Wahrnehmungstheorie liefern könnte und daß sich in neurobiologischen Beschreibungen *alles* Relevante über Wahrnehmung sagen ließe. Da eine ausführliche Diskussion des Reduktionsproblems den Rahmen dieses Beitrags bei weitem überschreiten würde, seien nur einige Gesichtspunkte kurz angesprochen. Zum einen gibt es hier möglicherweise ein »Kontext-Problem«. Selbst bei vollständiger Kenntnis der Hirnzustände einer Person könnte man – nur aus der Kenntnis dieser Daten – nicht sagen, was diese denkt oder fühlt. Der Grund hierfür liegt darin, daß die Bedeutung dieser Zustände nur mit Bezug auf die Umgebung dieser Person und *relativ* zu der Situation, in der sie sich befindet, definiert ist.⁵⁸ Hirnzustände *per se* haben keinen Gehalt, da sie nur mit Bezug auf den situationalen Kontext individuierbar sind. Hieraus ergibt sich, daß Wahrnehmung nicht »individualistisch« erklärt werden kann, das heißt nicht ausschließlich durch Bezug auf innere Zustände eines kognitiven Systems, wie es die Neurobiologie in der Regel versucht.⁵⁹ Darüber hinaus kann eingewendet werden, daß kognitive Prozesse nicht ausschließlich durch Bezug auf die subpersonale Ebene adäquat beschrieben werden können. Die Tatsache, daß kognitive Akte von *Personen* vollzogen werden, wird in der kognitiven Neurobiologie gerne übersehen, die durchaus davon spricht, daß das Gehirn Objekte »erkenne« und das Sehsystem Szenen »interpretiere«. Dies ist ein unzulässiger Sprachgebrauch (in der philosophischen Debatte gelegentlich als »homunculus fallacy« bezeichnet⁶⁰), der durch Kategorienfehler Pseudolösungen vortäuscht. Schließlich steht einem konsequent

⁵⁸ Wir nehmen an, daß nicht nur der intentionale, sondern auch der phänomenale Gehalt mentaler Zustände einer solchen relationalen Analyse zugänglich ist. Eine Übersicht über die Diskussion dieses höchst kontroversen Gesichtspunkts findet sich in Levine, »Qualia: intrinsic, relational or what?«

⁵⁹ Dieser Gesichtspunkt ist von Burge ausgearbeitet worden, vgl. zum Beispiel in »Individualism and the mental«. Wichtig in diesem Zusammenhang ist darüber hinaus das Argument, daß Wahrnehmung immer auch ein sozial vermittelter Prozeß ist.

⁶⁰ Vgl. das Kapitel »The Homunculus Fallacy« in Kenny, *The Legacy of Wittgenstein*, S. 125–136.

reduktionistischen Ansatz das ungelöste Problem des subjektiven *Erlebens* (das »Qualia-Problem«) im Wege: Nur aus der Kenntnis der Hirnzustände, die einen Schmerz begleiten, kann man nicht entnehmen, wie Schmerz *sich anfühlt*.⁶¹ Es könnte also etwas irreduzibel Subjektives geben, was möglicherweise nicht in eine objektivistische Hirntheorie abgebildet werden kann. Diese und eine Reihe verwandter Argumente⁶² nähren den Verdacht, daß die im eliminativistischen Lager gehegten Hoffnungen möglicherweise nicht nur aus praktischen, sondern auch aus prinzipiellen Gründen fehlgeleitet sind.

5. Skizze einer Alternative

Die kritische Überprüfung der genannten Hintergrundannahmen wirft die Frage auf, welche Alternativen der kognitiven Neurobiologie aufgezeigt werden können und auf welche Weise eine sowohl konzeptuell wie empirisch befriedigendere Wahrnehmungstheorie etabliert werden kann. Wir meinen, daß sich durch »Vernutzung« der phänomenologisch-hermeneutischen Tradition eine Reihe von Gesichtspunkten in die Diskussion einbringen lassen, die interessante Implikationen für die kognitive Neurowissenschaft haben könnten. Hierzu gehören unter anderem die Herausstellung der *konstitutiven Aspekte* und des *Hand-*

⁶¹ Das berühmte »Qualia-Argument« wurde von Nagel, »What is it like to be a bat?«, entwickelt.

⁶² Es scheint zum Beispiel auch noch so etwas wie ein »Beobachter-Problem« zu geben, das dazu führt, daß es dem eliminativistisch eingestellten Kognitionswissenschaftler nicht gelingt, die *Intentionalität* loszuwerden. Aus der Sicht einer phänomenologisch inspirierten Wahrnehmungstheorie kann argumentiert werden, daß neurobiologische Theoriebildung als solche immer lebensweltliches Handeln und Alltags-Sprachspiele *voraussetzt* und daher auf der »Metaebene« das zu Erklärende (Wahrnehmung und Intentionalität) immer schon in Anspruch nehmen muß. Das Wahrnehmungsphänomen kann also möglicherweise nicht »von hinten« durch eine naturalistische Hirntheorie eingeholt werden (die Lebenswelt wäre methodisch »nicht-hintergebar«). Eine neurobiologische Wahrnehmungstheorie, die meint, daß ihr dies gelingen kann, »vergißt« – mit den Worten Merleau-Pontys – »ihren eigenen Ursprung«. Vgl. hierzu Keil, *Kritik des Naturalismus*.

lungsbezugs von Kognition, das phänomenologische Konzept der *Situation* (bzw. der Situiertheit des kognitiven Subjekts), die (Wieder-)Einführung *holistischer* Intuitionen in die Hirntheorie und ein phänomenologisch orientierter *Anti-Reduktionismus*.⁶³

Handlungsbezogener Wahrnehmungsbegriff. Wie oben ausgeführt, ergibt sich aus einer phänomenologischen Perspektive eine stärkere Betonung der konstitutiven oder ›konstruktiven‹ Aspekte von kognitiven Prozessen. Wahrnehmung ist nicht mit bloßer Kenntnisnahme einer vorgängigen Welt gleichzusetzen, sondern konstituiert vielmehr die Wahrnehmungswelt, indem sie ihre phänomenalen Strukturen determiniert. Die Aufgabe der Kognitionswissenschaft wäre es demnach nicht, kognitive Systeme als ›weltabbildend‹ zu beschreiben, sondern bestünde viel eher darin, die ›Welterzeugung‹ transparent zu machen, die im Wahrnehmungsprozeß stattfindet. Entscheidend ist aus unserer Sicht hierbei, daß Wahrnehmung immer als Teil von *Handlungen* aufzufassen ist: Wir ›erzeugen‹ unsere Welt, indem wir handelnd in sie eingreifen. Ein solcher handlungsbezogener oder ›praxiologischer‹⁶⁴ Wahrnehmungsbegriff betont, daß »das kognitive System in ein aktives Wechselverhältnis mit seiner Umwelt gestellt ist«. ⁶⁵ Wahrnehmung wird nicht primär als Bildanalyse oder Mustererkennung aufgefaßt, sondern als Festlegung relevanter Unterscheidungen in einem ›offenen‹, nicht präfigurierten Wahrnehmungsfeld. Kognition erscheint nicht als bloße ›Re-Präsentation‹ einer vorgängigen Welt, sondern als aktive Erschließung und Strukturierung situationaler Kontexte. Gehirne wären aus dieser Sicht dann keine informationsverarbeitenden

63 Die genannten Gesichtspunkte können hier in ihrer möglichen Bedeutung nur skizziert werden. Eine eingehendere Untersuchung bleibt einer späteren Publikation vorbehalten.

64 Den Ausdruck ›Praxiologie‹ übernehmen wir von Kurthen, *Neurosemantik*, und ders., *Hermeneutische Kognitionswissenschaft*, der davon ausgeht, daß die Erklärung kognitiver Prozesse eine »Erklärung unter dem Aspekt des tätigen Weltbezugs des kognitiven Systems« sein muß (Kurthen, *Hermeneutische Kognitionswissenschaft*, S. 117). Ein handlungsbezogener Kognitionsbegriff als Alternative zum Repräsentationskonzept findet sich auch bei Varela u. a., *The Embodied Mind*, S. 133-145, 147-150 sowie S. 172-178. Während Kurthen sich sehr stark auf Heidegger bezieht, greift Varela vor allem auf Merleau-Ponty zurück.

65 Kurthen, *Neurosemantik*, S. 333.

Maschinen, sondern ›Vehikel der Welterzeugung‹⁶⁶, und neuronale Aktivitätsmuster ließen sich nicht als ›innere Bilder‹ einer vorgegebenen Wirklichkeit auffassen. Die ›Bedeutung‹ von Hirnzuständen läge vielmehr darin, daß sie die Möglichkeiten eines Organismus bestimmen, perzeptive Konstrukte zu bilden und situative Kontexte durch Handeln zu strukturieren. Hiermit wird – gegen den etablierten Repräsentationalismus – auch die *Untrennbarkeit* von kognitivem System und Welt betont. Da aus praxiologischer Sicht Kognition nicht auf einer distanzierteren Weltbetrachtung oder einem theoretischen Erkennen basiert, sondern auf einem prä-rationalen, praktischen Engagement in situationalen Kontexten⁶⁷, erscheint das kognitive Handeln als ein unauflösbarer Wechselbezug, in dem das kognitive Subjekt immer schon qua Leiblichkeit in der Welt verankert, und die Welt dem kognitiven System immer schon erschlossen ist.⁶⁸

Situationsontologie. Wir schlagen vor, die Dingontologie des etablierten Paradigmas durch eine *holistische* Sicht auf den Gegenstandsbereich der Wahrnehmungstheorie zu ersetzen. Wie oben bereits diskutiert, kann gegen den vorherrschenden Atomismus argumentiert werden, daß Wahrnehmung sich nie auf isolierte Objekte richtet, sondern immer in *Bedeutungskontexten* bzw. Verweisungszusammenhängen stattfindet, die bereits durch vorheriges Handeln strukturiert sind. Unter Bezug auf die phänomenologische Tradition läßt sich dieser Sachverhalt mit dem Begriff der ›Situation‹ bzw. der ›Situiertheit‹ des kognitiven

66 Mit den Worten Varelas: »[...] das Gehirn ist ein Organ, das Welten festlegt, keine Welt spiegelt«. Varela, *Kognitionswissenschaft – Kognitionstechnik*, S. 109.

67 Es dürfte deutlich werden, daß wir bei unserem Bezug auf die phänomenologische Tradition nicht die *Husserlsche* Phänomenologie im Auge haben. Wir teilen gerade *nicht* den Husserlschen Ansatz, der – im Grunde ähnlich wie die Marrsche Theorie – von einer rein eidetischen Objekt- und Weltkonstitution ausgeht und den Handlungsbezug völlig unter den Tisch kehrt. Die praxiologischen Aspekte – also Handlungsbezug qua Leiblichkeit – werden erst in der französischen Phänomenologie herausgearbeitet.

68 Etwa dies impliziert der Begriff des ›Zur-Welt-Seins‹ bei Merleau-Ponty, *Phänomenologie der Wahrnehmung*, zum Beispiel S. 102-104, bzw. der des ›In-der-Welt-Seins‹ bei Heidegger, *Sein und Zeit*, zum Beispiel S. 52-62.

Systems terminologisch fassen.⁶⁹ Dieser Begriff soll hier zweierlei betonen. Zum einen zielt er auf die *ganzheitliche Struktur* des Weltausschnitts, in den das kognitive System eingebettet ist; die Objekte, auf die die Wahrnehmung sich bezieht, befinden sich immer in einem lokalen Dingzusammenhang und ›verweisen‹ – in einem bestimmten Gebrauchskontext – ›aufeinander‹. Damit wird zugleich aber auch betont, daß dieser Dingzusammenhang immer in seiner *Erschlossenheit für das kognitive System* begriffen werden muß. Das wahrnehmende Subjekt steht der Situation nicht gegenüber, sondern ist selbst ›situier‹, das heißt integraler Bestandteil der Situation, und aufgrund dieser Verschränkung läßt sich das, was eine Situation ausmacht, überhaupt nur mit Bezug auf Interessen und Bedürfnisse des in ihr agierenden kognitiven Systems definieren.⁷⁰ Dieser Vorschlag einer holistischen ›Situationsontologie‹, den wir der Dingontologie entgegensetzen, hat ganz offensichtlich eine Veränderung des Objektbegriffs zu Folge. Objekte lassen sich auf diesem konzeptuellen Hintergrund nicht als kontextinvariante Entitäten auffassen, da sie immer nur relativ zur Situation individuierbar sind. Neuronale ›Objektrepräsentationen‹ würden dann (wenn man diesen Begriff überhaupt noch gebrauchen möchte) keine abstrakten

69 Den Begriff der Situation – im Sinne eines durch Handeln strukturierten und im Handlungsvollzug erschlossenen Dingzusammenhangs – entlehnen wir Sartre und Merleau-Ponty; vgl. Sartre, *Das Sein und das Nichts*, S. 833–950; Merleau-Ponty, *Phänomenologie der Wahrnehmung*, S. 102–104, sowie Merleau-Ponty, *Die Struktur des Verhaltens*, S. 61–70. Sehr verwandt ist der Begriff der ›Bewandtnisganzheit‹ bei Heidegger, *Die Grundprobleme der Phänomenologie*, S. 231–242. Dreyfus führt das Konzept der Situation in seiner kritischen Analyse des klassischen Kognitivismus ein, vgl. *What Computers Still Can't Do*, S. 273–282. Er hebt in diesem Zusammenhang die anti-reduktionistischen Implikationen eines holistisch verstandenen Situationsbegriffs hervor. Wie Dreyfus betont, lassen sich Situationen nicht physikalistisch kategorisieren, da ihre Individuierung immer intentionale oder teleologische Elemente voraussetzt (um eine Situation zu beschreiben, muß zum Beispiel auf die Gerichtetheit von Akten Bezug genommen werden), die nicht eliminiert werden können; vgl. *What Computers Still Can't Do*, S. 213 f.

70 Es dürfte deutlich sein, daß die ›Situiertheit‹ des wahrnehmenden Subjekts mit dem oben hervorgehobenen Handlungsbezug von Kognition zusammenhängt.

Strukturbeschreibungen enthalten, sondern primär die Einbettung in bestimmte Gebrauchskontexte darstellen.⁷¹ Eine weitere Konsequenz des Kontextbezugs von Objekten besteht darin, daß es dann auch nicht nur *eine* ›richtige‹ Art geben kann, eine Szene zu untergliedern oder ein Objekt wahrzunehmen. Was als ›richtige‹ oder zweckmäßige Szenensegmentierung gelten kann, hängt vielmehr von den Erfordernissen der Situation ab, und Kriterium für erfolgreiche Wahrnehmung oder Kognition wäre dementsprechend auch nicht die ›korrekte‹ Repräsentation der Außenwelt, sondern eben das situationsadäquate Handeln des Organismus.

*Holistische*⁷² *Hirntheorie*. Im Lichte des herausgestellten Handlungs- und Situationsbezugs von Wahrnehmung ist die isolierte Behandlung der visuellen Verarbeitung abzulehnen. Wie wir oben bereits angewendet haben, heißt ›einen Gegenstand sehen‹ nicht, eine abstrakte Strukturbeschreibung durch Analyse seiner Merkmale anzufertigen; es bedeutet vielmehr, sich in einem Handlungskontext der visiblen Aspekte dieses Gegenstandes zu bestimmten Zwecken zu bedienen. Hieraus ergibt sich eine veränderte Sicht auf die Leistung von sensorischen Systemen und ihre Einbindung in die Gesamtarchitektur des kognitiven Systems. Die Hauptaufgabe der Sinnessysteme liegt nicht in der Erstellung kontextinvarianter Objektbeschreibungen, sondern in der *kontextbezogenen Selektion* relevanter Information. Wie bereits diskutiert, werden visuelle Wahrnehmungsprozesse nach unserer Auffassung nicht ausschließlich vom Sehsystem getragen, sondern erfordern immer das Zusammenwirken einer

71 In der Tat scheint sich unser Wissen über Objekte ganz generell nicht in erster Linie auf explizite Strukturbeschreibungen zu stützen, sondern eher auf ein implizites, situationsbezogenes Handlungswissen. Man denke an Heideggers berühmtes Beispiel für die Gegenstandskonstitution im Modus der ›Zuhandenheit‹: was ein Hammer ist, wissen wir, weil wir hämmern können, nicht aufgrund einer abstrakten Strukturbeschreibung dieses Geräts; vgl. Heidegger, *Sein und Zeit*, S. 69.

72 Wir verwenden den Ausdruck im Sinne Kurt Goldsteins (vgl. *Der Aufbau des Organismus*), der sich gegen eine strikt lokalisationistische Hirntheorie wandte und zu zeigen versuchte, daß die Funktion einzelner Systembestandteile immer nur mit Bezug auf das Systemganze zu verstehen ist. Der Goldsteinsche Ansatz konvergiert in diesem Punkt mit dem Holismus der Gestalttheorie.

ganzen Reihe neuronaler Systeme. Das Sehsystem löst, für sich genommen, keine der Aufgaben, die ihm üblicherweise zugeschrieben werden⁷³, und seine internen Zustände besitzen – *isoliert* betrachtet – keine Bedeutung und keinen ›repräsentationalen Gehalt.⁷⁴ Aus dieser Auffassung ergibt sich, daß die Leistung einzelner Sinnessysteme immer nur mit Bezug auf den Kontext des *Systemganzen* adäquat beschrieben werden können. Es versteht sich, daß diese Schlußfolgerung weitreichende methodische Implikationen hat.⁷⁵ Da für Wahrnehmungsprozesse die Interaktion verschiedener neuronaler Systeme wesentlich ist, kann der Beitrag der neuronalen Verarbeitung im visuellen System zum *Sehen* (als Leistung des kognitiven Systems insgesamt) nur verstanden werden, wenn die visuelle Reizverarbeitung in den Kontext anderer funktioneller Einflüsse gestellt wird. Wie bereits diskutiert, erfordert dies beispielsweise das Studium von Wahrnehmung im Kontext sensomotorischer Interaktionen. Darüber hinaus muß die Untersuchung neuronaler Antworten im Sehsystem nicht – wie bisher üblich – als Funktion isolierter Reize, sondern als *Funktion von Situationen* erfolgen. Dies bedeutet, daß im Einzelfall zum Beispiel der Einfluß von Aufmerksamkeit, Verhaltenskontext, Motivationen und Vorerwartungen auf die neuronale Verarbeitung Gegenstand des Experimentierens werden müssen.

*Neuro-Phänomenologie.*⁷⁶ Aus den oben skizzierten anti-re-

73 Entgegen einer in der Mustererkennungs-KI verbreiteten Annahme sind wir *nicht* der Ansicht, daß Szenensegmentierung ausschließlich auf der Basis der aktuell einlaufenden visuellen Information erfolgen kann, sondern vielmehr immer kontextuale ›Top-down‹-Einflüsse benötigt.

74 Es gibt sozusagen keine ›fertigen Repräsentationen‹ im Sehsystem, kein autonomes Weltmodell, an das *nachträglich* Assoziationen anderer Art geknüpft würden. Wenn man überhaupt von ›Objektrepräsentationen‹ sprechen will, so bestehen diese immer aus Aktivitätsmustern, die *systemübergreifend* sind, das heißt sensorische, motorische, limbische Areale, Sprachareale etc. einbeziehen.

75 Die im etablierten Forschungsparadigma dominierende Methodik kann hier nicht eingehender diskutiert werden. Eine kritische Untersuchung findet sich in Ziemke/Cardoso de Oliveira, »Neuronale Repräsentationen«.

76 Diesen Begriff verwendet auch Varela (vgl. »Neurophenomenologie«), allerdings in einer etwas anderen Bedeutung.

duktionistischen Argumenten ergibt sich die Vermutung, daß die neurobiologische Beschreibung allein nicht zur Erfassung kognitiver Prozesse ausreicht, sondern lediglich wichtige strukturelle und funktionelle Komponenten von Kognition liefert. Um zu einer angemessenen Wahrnehmungstheorie beizutragen, muß die neurobiologische Beschreibung – wie wir meinen – rückgebunden bleiben an eine überzeugende *Phänomenologie der Kognition*, das heißt eine Deskription von kognitiven Prozessen auf der Ebene der Handlungen des Gesamtsystems.⁷⁷ Wie oben diskutiert, muß eine kognitionswissenschaftliche Wahrnehmungstheorie nicht nur eine Beschreibung von Hirnvorgängen enthalten, sondern auch eine Theorie der Kontexte, in die das betreffende neuronale System eingebettet ist. Dies bedeutet unter anderem, daß hier die Leiblichkeit des kognitiven Subjekts stärkere Berücksichtigung finden muß, da kognitive Prozesse nur ›leiblich engagierten‹ Subjekten überhaupt zugeschrieben werden können. Zugleich muß dieser Ansatz eine Handlungstheorie enthalten, die die Einbettung des kognitiven Systems in Situationen beschreibt. Eine solche Theorie würde zudem die personale Ebene wieder in den Blick bringen, sie würde Sehen als Handlung einer *Person* thematisieren, und nicht als elektrisches Aktivitätsmuster in einem ihrer Organe. Für die Rückbindung an eine Phänomenologie der Kognition spricht im übrigen auch die (häufig offenbar übersehene) Tatsache, daß ohne eine Beschreibungsebene, auf der die Handlungen des Gesamtsystems thematisch werden, die kognitionswissenschaftliche Theorie schlicht ihre Explananda aus den Augen verlieren würde.

Als Fazit unserer Überlegungen ist festzuhalten, daß die im etablierten Paradigma enthaltenen Annahmen möglicherweise nicht zureichend sind, um zu einer überzeugenden und der Phänomenologie ihres Gegenstandsbereichs adäquaten Wahrnehmungstheorie beitragen zu können. Wesentliche Defizite des Paradigmas liegen – kurz zusammengefaßt – in einer Reduktion von Wahrnehmung auf passive Weltabbildung, einer Elimination

77 Es sei angemerkt, daß es hier nicht um eine Verteidigung der ›folk psychology‹ geht, sondern um eine *wissenschaftliche* Beschreibung lebensweltlicher Strukturen. Der eigenständige Beitrag einer Phänomenologie lebensweltlicher Erfahrung zur kognitionswissenschaftlichen Debatte wird zum Beispiel auch von Varela, »Neurophenomenologie«, betont.

des Handlungssubjekts, einer Isolierung der sensorischen Verarbeitung von anderen kognitiven Leistungen und einer atomistischen Grundkonzeption. Wie wir meinen, sollte sich die Kognitionswissenschaft einen ›reicheren‹ Wahrnehmungsbegriff und eine veränderte Sicht auf die Arbeitsweise von Wahrnehmungssystemen zu eigen machen. Es steht zu vermuten, daß eine Veränderung im Sinne der vorgetragenen Argumente den Erklärungswert kognitionswissenschaftlicher Theorien in bezug auf die strukturellen und funktionellen Voraussetzungen von Wahrnehmungsprozessen verbessern würde. Allerdings werden solche konzeptuellen Veränderungen, wie es scheint, erst im Rahmen eines weiteren Paradigmenwechsels vorstellbar.

Literatur

- Barlow, H. B., »Single units and sensation: a neuron doctrine for perceptual psychology?«, in: *Perception* 1 (1972), S. 371-394.
- Bechtel, W., und A. Abrahamsen, *Connectionism and the Mind*, Cambridge 1991.
- Biederman, I., »Recognition-by-components: a theory of human image understanding«, in: *Psychological Review* 94 (1987), S. 115-147.
- Burge, T., »Individualism and the mental«, in: P. A. French, T. E., Uehling und H. K. Wettstein (Hg.), *Midwest Studies in Philosophy*, Bd. IV, Minneapolis 1979, S. 73-121.
- Churchland, P. M., *A Neurocomputational Perspective*, Cambridge 1989.
- und T. J. Sejnowski, *The Computational Brain*, Cambridge 1992.
- , V. S. Ramachandran und T. J. Sejnowski, »A critique of pure vision«, in: C. Koch und J. L. Davis (Hg.), *Large-Scale Neuronal Theories of the Brain*, Cambridge 1994, S. 23-60.
- Crick, F., und C. Koch, »Towards a neurobiological theory of consciousness«, in: *Seminars in the Neurosciences* 2 (1990), S. 263-275.
- DeAngelis, G. C., L. Ohzawa und R. D. Freeman, »Receptive-field dynamics in the central visual pathways«, in: *Trends in Neurosciences* 18 (1995), S. 451-458.
- Dreyfus, H. L., *What Computers Still Can't Do*, Cambridge 1992.
- Engel, A. K., »Prinzipien der Wahrnehmung: das visuelle System«, in: G. Roth und W. Prinz (Hg.), *Kopf-Arbeit. Gehirnfunktionen und kognitive Leistungen*, Heidelberg 1996, S. 181-207.
- , *Zeitliche Kodierung in neuronalen Netzen. Evidenz für kohärente Aktivität im Sehsystem*, Münster 1996.

- und P. König, »Paradigm shifts in the neurobiology of perception«, in: U. Ratsch, M. Richter und I.-O. Stamatescu (Hg.), *Views of Intelligence and artificial intelligence*, Berlin 1998.
- , P. König, A. K. Kreiter, T. B. Schillen und W. Singer, »Temporal coding in the visual cortex: new vistas on integration in the nervous system«, in: *Trends in Neurosciences* 15 (1992), S. 218-226.
- Felleman, D. J., und D. C. Van Essen, »Distributed hierarchical processing in the primate cerebral cortex«, in: *Cerebral Cortex* 1 (1991), S. 1 bis 47.
- Gardner, H., *Dem Denken auf der Spur. Der Weg der Kognitionswissenschaft*, Stuttgart 1989.
- Görz, G. (Hg.), *Einführung in die künstliche Intelligenz*, Bonn 1995.
- Goldstein, K., *Der Aufbau des Organismus*, Den Haag 1934.
- Hebb, D. O., *The Organization of Behavior*, New York 1949.
- Heidegger, M., *Sein und Zeit*, Tübingen 1986.
- , *Die Grundprobleme der Phänomenologie*, Frankfurt am Main 1989.
- Held, R., »Plasticity in sensory-motor systems«, in: *Scientific American* 11/65 (1965), S. 84-94.
- Hubel, D. H., *Eye, Brain, and Vision*, New York 1988.
- Kandel, E. R., J. H. Schwartz und T. M. Jessell (Hg.), *Neurowissenschaften. Eine Einführung*, Heidelberg 1996.
- Keil, G., *Kritik des Naturalismus*, Berlin 1993.
- Kenny, A., *The Legacy of Wittgenstein*, Oxford 1984.
- Knierim, J. J., und D. C. Van Essen, »Neuronal responses to static texture patterns in area V1 of the alert macaque monkey«, in: *Journal of Neurophysiology* 67 (1992), S. 961-980.
- Kurthen, M., *Neurosemantik. Grundlagen einer praxiologischen kognitiven Neurowissenschaft*, Stuttgart 1992.
- , *Hermeneutische Kognitionswissenschaft*, Bonn 1994.
- Levine, J., »Qualia: intrinsic, relational or what?«, in: T. Metzinger (Hg.), *Conscious Experience*. Paderborn 1995, S. 277-292.
- Malsburg, C. von der, und W. Singer, »Principles of cortical network organization«, in: P. Rakic und W. Singer (Hg.), *Neurobiology of Neocortex*, New York 1988, S. 69-99.
- Marr, D., *Vision*, San Francisco 1982.
- McClelland, J. L., D. E. Rumelhart u. a., *Parallel Distributed Processing. Bd. 2: Psychological and Biological Models*, Cambridge 1986.
- McCulloch, W. S., und W. Pitts, »A logical calculus of the ideas immanent in nervous activity«, in: *Bulletin of Mathematical Biophysics* 5 (1943), S. 115-133.
- Merleau-Ponty, M., *Phänomenologie der Wahrnehmung*, Berlin 1966.
- , *Die Struktur des Verhaltens*, Berlin 1976.
- Nagel, T., »What is it like to be a bat?«, in: *The Philosophical Review* 83 (1974), S. 435-450.

- Newell, A., und H. A. Simon, »Computer science as empirical enquiry: symbols and search«, in: *Communications of the Association for Computing Machinery* 19 (1976), S. 113-126.
- Peschl, M. F., *Repräsentation und Konstruktion*, Braunschweig 1994.
- Port, R. F., und T. van Gelder (Hg.), *Mind as Motion. Explorations in the Dynamics of Cognition*, Cambridge 1995.
- Rock, I., *Wahrnehmung*, Heidelberg 1985.
- Roth, G., *Das Gehirn und seine Wirklichkeit*, Frankfurt am Main 1994.
- Rumelhart, D. E., J. L. McClelland u. a., *Parallel Distributed Processing*. Bd. 1: *Foundations*, Cambridge 1986.
- Sartre, J.-P., *Das Sein und das Nichts. Versuch einer phänomenologischen Ontologie*, Reinbek 1991.
- Singer, W., »Development and plasticity of cortical processing architectures«, in: *Science* 270 (1995), S. 758-764.
- und C. M. Gray, »Visual feature integration and the temporal correlation hypothesis«, in: *Annual Review of Neuroscience* 18 (1995), S. 555-586.
- Spillman, L., Ehrenstein, W. H., »From neuron to gestalt: mechanisms of visual perception«, in: R. Greger und U. Windhorst (Hg.), *Comprehensive Human Physiology*, Bd. 1, Berlin 1996, S. 861-893.
- und J. S. Werner (Hg.), *Visual Perception. The Neurophysiological Foundations*, San Diego 1990.
- Ullman, S., »Tacit assumptions in the computational study of vision«, in: A. Gorea (Hg.), *Representations of Vision*, Cambridge 1991, S. 305 bis 317.
- Varela, F. J., *Kognitionswissenschaft – Kognitionstechnik*, Frankfurt am Main 1990.
- , »Neurophenomenology«, in: *Journal of Consciousness Studies* 3 (1996), S. 330-349.
- , E. Thompson und E. Rosch, *The Embodied Mind. Cognitive Science and Human Experience*, Cambridge 1991.
- Ziemke, A., und O. Breidbach (Hg.), *Repräsentationismus – Was sonst?*, Braunschweig 1996.
- und S. Cardoso de Oliveira, »Neuronale Repräsentationen. Zum repräsentationistischen Forschungsprogramm in der Kognitionsforschung«, in: A. Ziemke und O. Breidbach (Hg.), *Repräsentationismus – Was sonst?*, Braunschweig 1996, S. 1-34.