

# Gedächtnis

**Probleme und Perspektiven  
der interdisziplinären  
Gedächtnisforschung  
Herausgegeben von  
Siegfried J. Schmidt**

**suhrkamp taschenbuch  
wissenschaft**

suhrkamp taschenbuch  
wissenschaft 900

»Kultur als Gedächtnis«, »soziales Gedächtnis«, »das Gedächtnis als unser wichtigstes Wahrnehmungsorgan« sind einige der wichtigsten Schlagworte der interdisziplinär und international geführten Debatte in der Gedächtnisforschung. Zu den zentralen Aspekten dieser Forschung gehören Themen wie »Gedächtnis und Bewußtsein«, »Gedächtnis und Identität«, »Gedächtnis und Kultur«. Was aber wissen wir – in einem erfahrungswissenschaftlich strengeren Sinne – bis heute über Architektur und Funktion des Gedächtnisses? Stellt man diese Frage Neurobiologen und Psychologen, so ist die Antwort eher ernüchternd; befragt man Philosophen und Kulturhistoriker, fällt die Antwort weitgehend spekulativ aus.

Aus der Sicht der in diesem Band enthaltenen interdisziplinären Beiträge haben informationstechnische Gedächtnismodelle sowie Gedächtnismodelle auf der Grundlage von Engramm- oder Repräsentationsvorstellungen an Plausibilität eingebüßt. Vielmehr werden Modelle favorisiert, die Gedächtnistätigkeit nicht mehr als Aufbewahrungs-, sondern als *Konstruktionsarbeit* konzeptualisieren.

# Gedächtnis

Probleme und Perspektiven  
der interdisziplinären  
Gedächtnisforschung

Herausgegeben von  
Siegfried J. Schmidt

Suhrkamp

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek  
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation  
in der Deutschen Nationalbibliografie;  
detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über  
<http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

4. Auflage 2016

Erste Auflage 1981

suhrkamp taschenbuch wissenschaft 900

© Suhrkamp Verlag Frankfurt am Main 1981

Suhrkamp Taschenbuch Verlag

Alle Rechte vorbehalten, insbesondere das der Übersetzung,  
des öffentlichen Vortrags sowie der Übertragung  
durch Rundfunk und Fernsehen, auch einzelner Teile.

Kein Teil des Werkes darf in irgendeiner Form  
(durch Fotografie, Mikrofilm oder andere Verfahren)  
ohne schriftliche Genehmigung des Verlages reproduziert  
oder unter Verwendung elektronischer Systeme  
verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

Satz: Mühlberger, Augsburg

Printed in Germany

Umschlag nach Entwürfen von  
Willy Fleckhaus und Rolf Staudt

ISBN 978-3-518-28500-8

# Inhalt

Siegfried J. Schmidt Gedächtnisforschungen: Positionen, Probleme, Perspektiven . . . . .	9
Heinz von Foerster Was ist Gedächtnis, daß es Rückschau <i>und</i> Vorschau ermöglicht?. . . . .	56
Wolf Singer Die Entwicklung kognitiver Strukturen – ein selbstreferentieller Lernprozeß . . . . .	96
Gerhard Roth Neuronale Grundlagen des Lernens und des Gedächtnisses	127
Francisco J. Varela Allgemeine Prinzipien des Lernens im Rahmen der Theorie biologischer Netzwerke . . . . .	159
Ernst Florey Gehirn und Zeit . . . . .	170
Hermann Haken Konzepte und Modellvorstellungen der Synergetik zum Gedächtnis . . . . .	190
Ashgar Iran-Nejad/Abdollah Homaifar Assoziative und nicht-assoziative Theorien des verteilten Lernens und Erinnerns. . . . .	206
Michael Stadler/Peter Kruse Visuelles Gedächtnis für Formen und das Problem der Bedeutungszuweisung in kognitiven Systemen . . . . .	250
Gebhard Rusch Erinnerungen aus der Gegenwart . . . . .	267
Peter M. Hejl Wie Gesellschaften Erfahrungen machen oder: Was Gesellschaftstheorie zum Verständnis des Gedächtnisproblems beitragen kann . . . . .	293

Dirk Baecker	
Überlegungen zur Form des Gedächtnisses . . . . .	337
Anhang	
Gerhard Roth	
Die Konstitution von Bedeutung im Gehirn . . . . .	360

»You have to begin to lose your memory, if only in bits and pieces, to realize that memory is what makes our lives. Life without memory is no life at all. [...] Our memory is our coherence, our reason, our feeling, even our action. Without it, we are nothing...«

Luis Buñuel



# Siegfried J. Schmidt

## Gedächtnisforschungen: Positionen, Probleme, Perspektiven

### 1. Vorbemerkung

Bei den folgenden Überlegungen geht es darum, ein grob gezeichnetes Panorama von Positionen, Problemen und Perspektiven (eines bestimmten Ausschnitts) heutiger Gedächtnisforschung zu entwerfen, in dem die in diesem Band versammelten Beiträge aufeinander bezogen werden können. Als ein Panorama verzichtet dieser Beitrag auf die Details, die in den einzelnen Studien behandelt werden, und konzentriert sich auf Aspekte, die auch in einem breiteren interdisziplinären Diskussionszusammenhang von Interesse sein dürften.

Dabei wird deutlich, daß trotz rund hundertjähriger experimenteller Forschung zum Gedächtnis eine *Theorie* des Gedächtnisses noch aussteht, und zwar in den Neurowissenschaften ebenso wie in der Psychologie oder der Philosophie – eine Situation, die man (je nach wissenschaftlichem »Temperament«) als entmutigend oder aber als stimulierend einschätzen kann. U. Neisser hatte noch 1978 der Gedächtnispsychologie gehörig die Leviten gelesen und für hundert Jahre Forschungsarbeit die Quittung präsentiert: »If X is an interesting or socially significant aspect of memory, the psychologists have hardly ever studied X« (1978, S. 4). Hat sich die Situation nach gut einem Jahrzehnt wesentlich verändert?

### 2. Gedächtnis: Anmerkungen zum Forschungsstand

Gedächtnisforschung hat Konjunktur. Eine neue Zeitschrift *Memory and History* (hg. von Saul Friedländer) ist gegründet worden; Sammelbände werden vorgelegt, die sowohl die philosophisch-kulturgegeschichtlichen als auch die biologisch-physiologischen Erträge der neueren Gedächtnisforschung vorstellen (Lachmann 1990; Klix/Hagendorf, Hg., 1986; Solomon et al., Hg., 1989). »Kultur als Gedächtnis«, »soziales Gedächtnis«, »das Ge-

dächtnis als unser wichtigstes Wahrnehmungsorgan« und ähnlich lauten wichtige Schlagworte in der interdisziplinär und international geführten Debatte.

Für den Bereich der Kulturwissenschaften kann man dabei mit A. Assmann wohl zu Recht die Frage stellen, ob wir es hier mit einem typischen Fin-de-siècle-Phänomen zu tun haben: »Wendet der Respekt vor der sich nähernden Jahrtausendschwelle den Blick rückwärts? Hat die berühmte Wende, genauer: das Ende von Geschichtsphilosophie und Fortschrittsutopien, dazu geführt, daß anstelle der Zukunft die Vergangenheit zu einem dringenden Anliegen wurde?« (1988, S. 1).

Für den Bereich der Kognitionswissenschaften im weiteren Sinne wird man gegenwärtig wohl eher von einer intensivierten Forschungsphase aufgrund neuer theoretischer Impulse sowie verfeinerter Experimentalmöglichkeiten (z. B. von Scanning-Methoden) sprechen müssen; denn die Gedächtnisproblematik durchzieht die physiologische wie die psychologische Forschung seit einem Jahrhundert wie ein roter Faden. Und diese experimentell orientierte Forschung hat deutlich gemacht, daß (empirische) Gedächtnisforschung ein hohes systemorientiertes Komplexitätsniveau erreichen muß, will sie plausible Gedächtnistheorien entwerfen. Wer über Gedächtnis spricht, ist gezwungen, auch über Wahrnehmen und Lernen, über Wissen und Wiedererkennen, über Zeit und Erinnern zu sprechen – von Aufmerksamkeit, Emotion und Vergessen ganz zu schweigen. Dabei ist überdies noch vorausgesetzt, daß man über die (meist impliziten) Modelle von Architektur und Funktion des Gehirns Auskunft geben muß, womit man sich automatisch die notorische Frage nach dem Verhältnis von Gehirn und Bewußtsein oder Leib und Seele einhandelt – je nach Standort. Auch wenn man gelegentlich den Eindruck gewinnt, Gedächtnisforschung funktioniere nach dem Prinzip der russischen Puppen, kann man sich eine Kapitulation vor den Forschungsproblemen nicht leisten. Zu wichtig ist das, was wir ›Gedächtnis‹ nennen, für das Individuum wie für soziale Gruppen, Gesellschaften und die internationale Völkergemeinschaft, um es bei Alltagsmeinungen oder Spekulationen zu belassen. Schon Nietzsche bestimmte den Menschen als das Tier, das sich erinnern kann; Lotman deutete Kultur als das nicht vererbare Gedächtnis eines Kollektivs, und Florey faßt den heutigen Forschungsstand lapidar so zusammen: »Im übrigen ist längst

bekannt, daß bewußtes wie unbewußtes Erkennen an eine Gedächtnisleistung gebunden ist: Erkennen tritt erst ein, wenn die ›Sinneseindrücke‹ mit Gedächtnisinhalten gekoppelt werden. Dem Bewußtwerden gehen komplizierte Gehirnprozesse voraus« (in diesem Band, S. 170 f.; eine philosophische Explikation dieser Einsichten findet sich in Dirk Baeckers Beitrag in diesem Band).

Gedächtnis und Bewußtsein; Gedächtnis und Identität; Gedächtnis und Kultur: das sind nur einige zentrale Aspekte der Relevanz des Gedächtnisthemas. Was aber wissen wir – in einem erfahrungswissenschaftlich strengeren Sinne – bis heute über Architektur und Funktion des Gedächtnisses?

Stellt man diese Frage Neurobiologen und Psychologen, so ist die Antwort eher ernüchternd (vgl. etwa die Beiträge dieses Bandes); befragt man Philosophen und Kulturhistoriker, fällt die Antwort weitgehend spekulativ aus (vgl. etwa die Übersicht bei Assmann/Assmann 1990).

Einig ist man sich im kognitionswissenschaftlichen Lager heute weitgehend darüber, daß informationstechnische Gedächtnismodelle von »storage and retrieval« sowie Gedächtnismodelle auf der Grundlage von Engramm- oder Repräsentationsvorstellungen so viele Probleme aufwerfen, daß ihre Plausibilität in Frage steht (vgl. unter anderem von Foerster 1985; Malcolm 1977; Iran-Nejad 1987; Rusch 1987; Brewer/Pani 1983; Roth 1975; Hejl, in diesem Band). Demgegenüber werden heute Modelle favorisiert, die Gedächtnistätigkeit nicht mehr als Aufbewahrungs-, sondern als *Konstruktionsarbeit* konzeptualisieren (vgl. unter anderem: von Foerster 1985; Maturana 1982; Luhmann 1990; Rusch 1987; Hejl 1988 f. sowie die meisten Beiträger dieses Bandes) und damit an Vorstellungen von G. E. Müller über die kreative Rolle des Gedächtnisses (1911-1917) sowie F. C. Bartletts Hypothesen (1932) über den dynamischen Charakter auch der Prozesse des Konservierens (*retention*) und Aktualisierens (*recall*) anknüpfen.<sup>1</sup>

Modelle der Konstruktivität von Gedächtnisleistungen basieren

1 Vgl. G. J. Whitrow: »The main conclusion of Bartlett's accrued psychological analysis of memory was that the memory ›trace‹ elicited by normal recall, i.e. by conscious remembering without hypnotic or other abnormal aid, is not a ›static engramm‹ but is influenced dynamically by the changing framework of associations determined by the evolution of our interests and by our powers of reason and imagination.

auf der Annahme, daß diese nicht ohne entsprechende neuronale Grundlage ablaufen können; d. h. eine konstruktivistisch orientierte Gedächtniskonzeption erfordert explizite Annahmen über Bau und Funktionsweise des (menschlichen) Gehirns. Auch wenn wir bis heute nur sehr wenig wissen über die Zusammenhänge zwischen Gehirn und Bewußtsein (oder vielleicht gerade deshalb), sind die in Gedächtnistheorien vorausgesetzten Gehirnmodelle aus erkenntnistheoretischen Gründen außerordentlich wichtig (vgl. Schmidt, Hg., 1987).

### 3. Das Gehirn

In einer Reihe von grundlegenden Aufsätzen hat Gerhard Roth ein konstruktivistisches Modell des Gehirns als eines neuronalen dynamischen Netzwerksystems entworfen (1985a, 1985b, 1986a, 1986b, 1990). Einige Grundzüge dieses Modells fasse ich im folgenden in aller Kürze zusammen, wobei ich Roth mit seinen präzisen Formulierungen möglichst selbst zu Wort kommen lasse, statt ihn zu paraphrasieren.

»Das menschliche Gehirn besteht aus etwa einer Billion ( $10^{12}$ ) Nervenzellen, die untereinander mindestens eine Trillion ( $10^{15}$ ) Verknüpfungspunkte, Synapsen, haben. Jede dieser Synapsen hat sehr viele, vielleicht 100 Freiheitsgrade. Das bedeutet, daß die Kapazität des Gehirns als eines Netzwerks praktisch unbegrenzt ist. Das Gehirn besteht aber nicht einfach aus einem riesigen Netzwerk von einer Billion Nervenzellen, sondern diese Nervenzellen sind in den unterschiedlichen Teilen des Gehirns in sehr unterschiedlicher Weise in Areale, Schichten, Kerne, Unterkerne, Kolumnen usw. geordnet. Dazu kommt, daß es ca. hundert verschiedene morphologische Typen von Nervenzellen besitzt, die zudem alle eine spezifische Kombination von Stoffen zur Erregungsübertragung und Aktivitätsmodulation, nämlich Transmitter und Neuropeptide, besitzen und mit anderen Nervenzellen in spezifischer Weise verknüpft sind. Das Gehirn ist überwältigend komplex, aber zugleich überwältigend geordnet« (1990, S. 167 f.).

In other words, recall is a constructive process which never literally repeats a past experience or activity« (1980, S. 90).

Besondere Probleme bereitet die Antwort auf die Frage, wie die *Ordnung* dieses ungeheuer komplexen Systems entsteht. Roth setzt bei seinem Antwortversuch an drei Typen von Struktur- und Funktionsdeterminationen im Gehirn (wie im Organismus) an: (1) strikt genetische Determination, (2) epigenetische Determination und (3) Determination durch die Umwelt. Zwar verbinden sich diese Determinationstypen meist in unauflöslicher und charakteristischer Weise; aber Roth weist darauf hin, daß epigenetische Determination Prozesse steuert, die weder genetisch kontrolliert noch umweltabhängig sind: »Diese scheinen die bei weitem wichtigsten Determinationsprozesse während der Gehirnentwicklung zu sein, und an ihnen sieht man, wie unsinnig heute die alte Anlage-Umwelt-Dichotomie erscheint. Epigenetische Determination ist der eigentliche Typ von Selbstorganisation im sich entwickelnden Gehirn« (ebd., S. 169).

Selbstorganisiert<sup>2</sup> sind nach Roth solche Prozesse und Merkmale des Gehirns, die nicht direkt von den Genen determiniert werden. Selbstorganisation steht dabei nicht im Gegensatz zu Umwelteinflüssen; diese werden vielmehr vom Gehirn zur Selbstorganisation benutzt. Beispiele solcher Selbstorganisationsprozesse sind etwa die topische Abbildung der visuellen Umwelt in verschiedenen Teilen des visuellen Systems (retino-tectale Verknüpfung), die okulare Dominanz oder die Ausbildung des visuellen Tiefenwahrnehmungssystems.

Anhand dieser Beispiele verdeutlicht Roth, daß – entsprechend dem Prinzip der Hebb-Synapse – »sensorische Erregung allein keine plastischen Netzwerkveränderungen hervorruft, sondern dies nur tut, wenn Modulatorsysteme bezüglich Wachheit, Aufmerksamkeit, Neuigkeit und Wichtigkeit die Veränderungen induzieren« (ebd., S. 177).

Die Ontogenese des Gehirns (zumindest der Wirbeltiere einschließlich des Menschen) folgt keinem vorab – etwa im Genom –

2 »Selbstorganisierende Prozesse sind solche physikalisch-chemischen Prozesse, die innerhalb eines mehr oder weniger breiten Bereichs von Anfangs- und Randbedingungen einen geordneten Zustand oder eine geordnete Zustandsfolge (Grenzzyklus) einnehmen. Das Erreichen des Ordnungszustands wird dabei nicht oder nicht wesentlich von außen aufgezwungen, sondern resultiert aus den spezifischen Eigenschaften der an dem Prozeß beteiligten Komponenten. Der Ordnungszustand wird »spontan« erreicht.« (Roth 1990, S. 169).

festgelegten präzisen Bauplan (Gene schränken in aller Regel nur Freiheitsgrade der Entwicklung ein.) Vielmehr ist davon auszugehen, daß sich die Ordnung des Gehirns entwickelt über eine »Kaskade von Selbstorganisations- und Selbstdifferenzierungsschritten nach meist sehr einfachen Regeln wie der Wahrung nachbarschaftlicher Beziehungen, der Kopplung kurzreichweitiger Kooperation und langreichweitiger Inhibition, der Kompetition um Signalstoffe, der aktivitätsabhängigen Stabilisierung von Nervenkontakten und schließlich der Präzisierung von Nervenetzen über sensomotorische Rückkopplung. Das entscheidende ist dabei, daß die Bewertungsmaßstäbe für Stabilisierung und Veränderung im Gehirn aus dem Gehirn selbst kommen, etwa bei der Frage, welche kognitiven Netze mit welchen anderen gekoppelt werden müssen, um eine bestimmte Wahrnehmungsleistung zu vollbringen. Es gibt im Gehirn keine höchste Entscheidungs- und Kontrollebene außer der der Selbsterfahrung. Die Frage, in welcher Weise die Aktivität der Nervenetze gesteuert und gekoppelt werden soll, wird vom Gehirn anhand der Resultate *früherer Aktivitäten* entschieden. Das heißt, das Gehirn organisiert sich auf der Basis seiner eigenen Geschichte. Dies ist das, was man »Selbstreferentialität« des Gehirns nennt. Selbstorganisationsprozesse sind daher eine notwendige Voraussetzung für die Selbstreferentialität« (ebd., S. 178). Operationale Abgeschlossenheit und Selbstreferentialität des Gehirns haben also ihre Ursache darin, daß das Gehirn seine eigenen Eingänge auf der Grundlage selbst gemachter Erfahrungen kontrolliert. Unser Gedächtnis ist deshalb, wie Roth pointiert formuliert, unser wichtigstes Sinnesorgan (ebd., S. 178; vgl. auch 1985, S. 12, sowie von Foerster, in diesem Band).<sup>3</sup>

Wahrnehmungsinhalte müssen durch spezielle Detektoren auf ihren Neuigkeitsgrad und auf ihre Wichtigkeit hin überprüft werden, ehe das Gedächtnissystem in Kraft tritt. Neuigkeit und Wichtigkeit können aber immer nur im Bezug auf *frühere* Erfahrungen beurteilt werden, d. h. nach Kriterien, die aus dem Gedächtnissystem kommen: »Hiermit geraten wir in einen scheinbaren Zirkel, der das grundlegende Organisationsprinzip des Ge-

3 Zu den erkenntnistheoretischen Implikaten der These von der operationalen Geschlossenheit vgl. Roth 1990 sowie den Anhang zu diesem Band.

hirns als eines kognitiven Systems, das der *Selbstreferentialität*, charakterisiert. Dieses Prinzip besagt, daß das Gehirn die Kriterien, nach denen es seine eigene Aktivität bewertet, selbst entwickeln muß, und zwar aufgrund früherer interner Bewertungen der Eigenaktivität. Lernen ist für das Gehirn (und damit den Gesamtorganismus) stets Lernen am Erfolg oder Mißerfolg eigenen Handelns, wobei die Kriterien für die Feststellung von Erfolg selbst wieder dem Lernen am Erfolg unterliegen. Diese Selbstreferentialität unterscheidet das Gehirn des Menschen und der Tiere bisher grundsätzlich von allen bisherigen »lernenden« Computern, denen die Regeln, nach denen sie zu lernen haben, vorgegeben werden, und dies beschränkt ihre Lernfähigkeit außerordentlich. Freilich ist es technisch nicht unmöglich, selbstreferentielle Computer zu bauen. Diese werden aber, wenn sie begonnen haben, die Kriterien der Beurteilung eigenen Handelns selbst zu entwickeln, ein ähnliches Maß an Autonomie und Unvorhersagbarkeit entwickeln wie Menschen und Tiere« (in diesem Band S. 148).

Wie unter anderen Florey (in diesem Band, S. 170) betont, sind Wahrnehmen, Lernen und Gedächtnis, wenn sie als Gehirnleistungen betrachtet werden, nicht notwendig von Bewußtsein begleitet. Wie viele Ergebnisse der psychologischen Forschung zeigen, können selbst die komplexesten Hirnfunktionen ohne begleitendes Bewußtsein ablaufen. Bewußtseinstätigkeiten dagegen sind ohne Gehirntätigkeiten nicht möglich.

#### 4. Konnektivität – Distributivität – Funktion

In seinem Beitrag in diesem Band betont Roth, daß ein wesentliches Merkmal des neuronalen Wahrnehmungssystems seine Distributivität ist. Was wir etwa im Sehen als sinnvollen Sinneseindruck wahrnehmen, wird im Gehirn in zahllosen Einzelaspekten verarbeitet (z. B. hinsichtlich des Orts, der Bewegungsrichtung, der Farbe, des Kontrasts). Dies geschieht in verschiedenen corticalen und subcorticalen Zentren gleichzeitig aufgrund einer Kombination paralleler, kon- und divergenter Verschaltungen in Zentren, die – räumlich oft weit auseinanderliegend – über das ganze Gehirn verstreut sind. Eine momentane Verknüpfung auch weit auseinanderliegender Verarbeitungszentren, also ein distinktes raumzeitliches Muster, wird im Cortex durch ein System

weitreichender tangentialer Fasern der Pyramidenzellen hergestellt. »Wenn nun bestimmte kohärente Erregungsmuster aufgrund von Kombinationen bestimmter Merkmale zur selben Zeit und am selben Ort immer wieder auftreten, so verstärken sich im genannten Sinne bestimmte Verknüpfungen, die dann mit bestimmten Korrelationen visueller Objekte korrespondieren. Das visuelle System lernt auf diese Weise die Strukturierung der visuellen Welt in Objekte und kohärente Prozesse. Es antwortet dann mit erhöhter Bereitschaft auf Strukturen und Ereignisfolgen, die sich in früheren Erlebnissen als *geordnet* und *kohärent* erwiesen haben. Dies zeigt, daß Wahrnehmung und Gedächtnis untrennbar miteinander verbunden sind. Wir nehmen stets durch die ›Brille‹ unseres Gedächtnisses wahr; denn das, was wir wahrnehmen, ist durch frühere Wahrnehmungen entscheidend mitbestimmt« (in diesem Band, S. 147).

Distributivität und Konnektivität spielen auch in anderen Theorieansätzen eine bedeutsame – wenn auch sehr unterschiedliche – Rolle: so in von Foersters Theorie integrierter Funktionskreise der Kognition (in diesem Band); im (Neo-)Konnektionismus; in der Theorie des »parallel distributed processing« (PDP) sowie in der Theorie biofunktional verteilten Lernens und Erinnerns (cf. den Beitrag von Iran-Nejad und Homaifar in diesem Band).

Hejl (1988 f.) zum Beispiel operiert im Hinblick auf den (phylogenetisch und ontogenetisch entstandenen) Funktionstyp unseres gesamten neuronalen Apparats mit dem Konzept der Konnektivität. Er unterscheidet in seiner Modellierung der Gehirntätigkeit zwei Funktionskreise (im Sinne von dynamischen Systemen intern gerichteter Reizübertragung): Funktionskreise erster Ordnung produzieren Wahrnehmungen, Funktionskreise zweiter Ordnung bestimmen die Wirkung bzw. Bedeutung dieser Wahrnehmungen durch Eigentätigkeit der Kognition. Funktionskreise zweiter Ordnung verknüpfen (d. h. vergleichen, integrieren und überprüfen) Funktionskreise erster Ordnung. »Das Verhalten eines Funktionszusammenhanges erster Ordnung ist vollständig durch seine Konnektivität und die Eigenschaften seiner Komponenten determiniert. Ein derartiges Subsystem würde jedes reizauslösende Ereignis in der Umwelt mit seinem Eigenverhalten beantworten. Obwohl es also *in diesem Sinne* autonom ist, wird es doch heteronom aktiviert. Funktionszusammenhänge erster Ordnung sind ausschließlich über die Umwelt geschlossen, besit-

zen also im systemtheoretischen Sinne keine operationale Schließung. Zur Eigenschaft von Subsystemen gehört jedoch, daß die in ihnen erzeugten basalen Wahrnehmungen und Bedeutungen vom System ausgelöst und verändert werden können. Dies bewirken Funktionszusammenhänge zweiter Ordnung. Sie bilden die Organisation, durch die das System sein Verhalten erzeugt« (Hejl, ebd., S. 60). Mit Hilfe dieses basalen Mechanismus autonomisiert sich das kognitive System von seiner Umwelt, »... indem es den Reiz von der Wirkung, die Wahrnehmung von der Bedeutung abkoppelt und seinem eigenen Geschehen unterstellt« (ebd., S. 61).

Das Verhalten von Nervenzellen (als Komponenten funktionaler Subsysteme) ist also generell durch Konnektivität beschreibbar. Diese Konnektivität ist einerseits durch die genomischen Festlegungen bestimmt, zwischen welchen *Zellkategorien* überhaupt Verbindungen bestehen können; andererseits beeinflussen die Aktivitäten im neuronalen System dessen Konnektivität (mit). Genom und Erfahrung determinieren also zusammen die Konnektivität der Bestandteile des neuronalen Systems. Erfahrungen modifizieren die Konnektivität aufgrund von Aktivitäten, die sowohl auf Inputs aus der System-Umwelt als auch auf systeminterne Prozesse zurückgehen können.

Die zu Netzwerken zusammengeschlossenen Neuronen befinden sich in ständiger Aktivität,<sup>4</sup> die zwar sensori-motorisch modifiziert, aber nicht etwa in Gang gesetzt wird. Komplexere Nervensysteme vernetzen cortikale, sensorische und motorische Prozesse und können auf diese Weise *dauerhaft angelegte Wege für Erregungsverläufe und Erregungsausbreitungen* in den Nervennetzen »bahnen«.<sup>5</sup> Solche durch *Lernprozesse* gebahn-

4 »Jede Nervenzelle empfängt von vielen Nachbarzellen Informationen, integriert diese zu einem einzigen Muster von Aktionspotentialen und gibt dieses Muster gleichzeitig an viele andere Nervenzellen ab« (Roth 1975, S. 12).

5 »Als Bahnungsvorgang bezeichnet man ein für viele Synapsen typisches Ansteigen der Größe aufeinanderfolgender postsynaptischer Antworten [...] innerhalb einer Serie von ankommenden präsynaptischen Nervenimpulsen. Das Wort Bahnung impliziert, daß die Übertragung der Erregung (Impuls) vom prä- auf das postsynaptische Element erleichtert, der Übertragungsweg gleichsam gebahnt wird.« (Florey, in diesem Band, S. 173, Anm. 12).

ten Wege bestehen als dauerhafte Eigenschaften eines kognitiven Systems weiter; sie stabilisieren nachfolgende cortikale Prozesse.<sup>6</sup>

Gegenüber diesem neurologisch orientierten (Neo-)Konnektionismus operiert das von Rumelhart und seinen Mitarbeitern entwickelte Modell des »parallel distributive processing« (PDP; vgl. unter anderem McClelland, Rumelhart und Hinton 1986) mit Netzwerken, die weder auf der neuronalen noch auf der mentalen Ebene von Begriffen und Vorstellungen, sondern auf einer sogenannten subsymbolischen Ebene angesiedelt werden. Auf dieser Ebene soll symbolisches Wissen in Form subsymbolischer Repräsentationen gespeichert sein, und zwar in den Verknüpfungen zwischen spezifischen lokalisierten Einheiten. Kognitive Operationen bestehen dann in der Aktivierung diskreter Knoten und Verknüpfungen in einem assoziativen Netzwerk, wobei diese Aktivierung zu autonomen mentalen Produkten führt.

In der Auseinandersetzung mit dem PDP-Modell haben Iran-Nejad und seine Mitarbeiter ein alternatives Modell entwickelt, das Modell des »biofunctional distributed learning and remembering« (BDLR; vgl. unter anderem Iran-Nejad 1989). Nach Iran-Nejad und anderen ist der PDP-Konnektionismus im Kern noch immer assoziationistisch, ja zum Teil sogar behavioristisch, und führt keineswegs über den Kognitivismus der siebziger Jahre hinaus. Der entscheidende Einwand der Autoren besteht aber meines Erachtens darin, daß sich die PDP-Vertreter nach ihrer Auffassung ausschließlich mit der Mikrostruktur der Kognition beschäftigen, ohne dabei die funktionalen Eigenschaften des *Gehirns* zu berücksichtigen. Damit wird das Problem der Analyseebenen aufgeworfen: Auf welcher Ebene kann man von einer

6 Hejl verwendet den Begriff der Konnektivität auch im Zusammenhang mit sozialen Systemen (in diesem Band, S. 320). Dabei unterscheidet er Konnektivitäten erster und zweiter Ordnung. Konnektivitäten erster Ordnung verbinden Komponenten miteinander und bilden mehr oder weniger komplexe Ketten der Weiterleitung von Ereignissen (Aktivitäten) wie der Berichte über Ereignisse. Konnektivitäten zweiter Ordnung sind Wirkungszusammenhänge, durch die verschiedene Konnektivitäten so verknüpft werden, daß externe Ereignisse auf die Ziele und Bedürfnisse eines Systems abgestellt und damit die organisatorische Grundlage der Autonomisierung des Systems gegenüber seiner Umwelt geschaffen wird.

»Verteilung« von Lernen und Gedächtnis sprechen, auf einer physiologischen oder auf einer psychologischen? Mit Broadbent (1985) vertreten die Autoren die Auffassung, daß Daten zur Stützung des Arguments des verteilten Gedächtnisses und Lernens von der physiologischen Ebene kommen müssen, nicht wie bei PDP von der psychologischen. Neuronen und Synapsen sind im dreidimensionalen Raum lokalisiert, während die Einheiten und Verknüpfungen der PDP gar keine örtliche Lokalisierung kennen.

Die PDP-Vorstellung, man könne Psychologie ohne die Berücksichtigung physiologischer Gegebenheiten betreiben (= Annahme der Autonomie mentaler Produkte), weisen die Autoren als »ebenenbezogen« zurück und stellen ihr eine auf Lashley zurückgehende »ebenenverbindende« Konzeption gegenüber, bei der kognitive Phänomene (wie Erinnern und Lernen) mit Hilfe relevanter funktionaler Eigenschaften des Gehirns erklärt werden sollen. Andernfalls befürchten die Autoren einen Reduktionismus, der komplexe Phänomene durch einfachere Entitäten der gleichen Ebene zu erklären versucht, damit aber nie das gestalttheoretische Problem einholen könne, daß das Ganze mehr ist als die Summe seiner Teile.

In dieser Argumentation treffen sich die Autoren meines Erachtens mit Roth (Anhang zu diesem Band). Nach seiner Ansicht ist eine parallele neurobiologische und mentalistische Argumentation aus folgenden Gründen unvermeidlich: Einerseits läßt sich nach heutigem Wissen der experimentellen und klinischen Neurobiologie zeigen, daß der Zusammenhang zwischen neuronalen und mentalen Prozessen unauflöslich ist. Jedem mentalen Prozeß läßt sich ein neuronaler zuordnen (wenn auch nicht umgekehrt, da – wie schon erwähnt – viele neuronale Prozesse nicht bewußt werden). Andererseits lassen sich Prozesse der Erregungsverarbeitung im Gehirn ohne Gebrauch mentaler/psychologischer Begriffe (wie »Bedeutung«, »Bewertung«, »Repräsentation«) nicht hinreichend bestimmen. Der Grund liegt nach Roth darin, daß Begriffe wie »Bedeutungszuweisung« und »(Selbst-)Bewertung« für eine neurobiologische Gehirntheorie deshalb nötig sind, weil das Gehirn in sich bedeutungsneutrale neuronale Erregungen zu visuellen oder auditorischen Wahrnehmungen verarbeiten muß. Entsprechend der hochgradigen Distributivität des Gehirns hat aber nichts für sich eine Bedeutung, sondern immer nur im Ge-