

# Neuronaler Darwinismus – Zur inneren Struktur der neurowissenschaftlichen Theorie von Gerald Edelman<sup>1</sup>

WOLFGANG JANTZEN

„Das Entwirren der Komplexität hat kaum begonnen, und das jetzige Bemühen um Synthese wird zweifellos armselig erscheinen, wenn es vorüber ist“ (Edelman 1992, 214)

## Vorbemerkungen

Neuropsychologie hat eine lange Vorgeschichte, als wissenschaftliches Fach ist sie vergleichbar jung. Im engeren Sinne gilt sie als „Wissenschaftsbereich, der sich mit hirngeschädigten Patienten befasst und nach Zusammenhängen zwischen kognitiven und emotionalen Störungen und deren hirnanatomischer Grundlage sucht“, so eine moderne Definition (Daum u. Markowitsch 1998, 122).

Der Name selbst taucht in der westlichen Literatur als Buchuntertitel erstmals 1949, als Buchtitel 1960 auf (Bruce 1985).

Infolge des zweiten Weltkrieges sowie des kalten Krieges resultierte eine deutlich unterschiedliche Entwicklung innerhalb der Neuropsychologie im angloamerikanischen Bereich einerseits und im sowjetischen Bereich andererseits.

Während in der westlichen Entwicklung eine deutliche Annäherung zwischen Neuropsychologie und Allgemeiner Psychologie erst in den letzten Jahren wieder stattfindet und zu fruchtbarer gemeinsamer Theorieentwicklung führt (Daum u. Markowitsch 1998), verlief die Entwicklung im ehemals sowjetischen Bereich diametral entgegengesetzt. Begünstigt wurde dies zudem durch den Wegfall einer insbesondere auch durch die Gestaltpsychologie beeinflussten Entwicklung der Neuropsychologie im deutschsprachigen Bereich, deren bedeutendster Vertreter Kurt Goldstein bereits 1933 emigrieren musste, wie nach ihm viele andere auch. Die durch diese Ereignisse entstandene europäische Lücke in der theoretischen Diskussion hat bis heute ihre Nachwirkungen.

Die Entwicklung in Russland selbst ist einerseits im Kontext der Impulse durch Vygotskij und seine Schule (vor allem A.R. Lurija) zu verstehen, andererseits aus einem hohen Entwicklungsstand der russischen Diskussion um die Physiologie des Nervensystems. So steht diese Diskussion weit mehr im Spannungsfeld verschiedener Ansätze, als in der bloßen Hervorhebung Pavlows und seiner Schule gemeinhin wahrgenommen wird. Zum einen ist Pavlows Schule selbst kein homogener Block (vgl. die herausragende Bedeutung von Anochin als eines der bedeutendsten „Abweichler“). Zum anderen betonen auch von ihrer Herkunft eng dieser Schule verpflichtete Wissenschaftler Uchtomskijs Theorie der Dominante als systematischen Gegenpol und Ergänzung zu Pavlows Theorie der (unbedingten und bedingten) Reflexe (Simonov und Asratyan 1983, 5). Ferner erscheint die Theorie Sechenovs, die als erste das Rückkoppelungsprinzip in die Physiologie einführte (vgl. Yaroshevsky 1986), als gemeinsamer Hintergrund der russischen Diskussion immer wieder. Und schließlich entwickelt sich die in hohem Maße eigenständige Auffassung der Neurophysiologie der Bewegung durch N.A. Bernstein eindeutig außerhalb der Schule Pavlows. Es bekommt dieser De-

---

<sup>1</sup> Das vorliegende Manuskript ist vor einiger Zeit im Rahmen der Arbeit an einem Buch über „Neuropsychologie der geistigen Behinderung“ entstanden. Es wurde für die Publikation in den „Mitteilungen der Luria-Gesellschaft“ leicht überarbeitet. Erschienen in: Mitteilungen der Luria-Gesellschaft 10 (2003) 1, 21-41

batte in theoretischer Hinsicht sehr, dass diese verschiedenen Traditionen in der Rehabilitation hirnerkrankter Kriegsveteranen in engster Kooperation treten (vgl. z.B. Leont'ev und Zaporozhets 1960).

Die russische Neuropsychologie, als deren Gründer und spiritus rector Alexandr. R. Lurija gilt (vgl. Homskaja 2001) verfolgt von Anfang an eine von der westlichen Diskussion unterschiedene Sichtweise, da sie die physiologische ebenso wie der psychologische Ebene der Erforschung jeweils unter dem Systemaspekt angeht. Zudem bettet sie ihre Untersuchungen weit mehr in historische Analysen ein, als dies in der westlichen Physiologie und Psychologie der Fall ist.

Anochins und Bernsteins neurophysiologische Theorien haben starke evolutionsbiologische Bezüge. Und die psychologische Debatte ist zutiefst beeinflusst von Vygotskijs kulturhistorischer Psychologie, nimmt aber auch die evolutionsbiologischen Aspekte einer Naturgeschichte des Psychischen (z.B. Leont'ev 1973) auf.

Diese entwickelt sich im Westen, zunächst weitgehend unverbunden mit der Physiologie und Psychologie, etwa gleichzeitig (Leont'evs Manuskript ist im wesentlichen in der ersten Hälfte der 40er Jahre entstanden) über die Systematisierung der Ethologie durch Konrad Lorenz (vgl. dessen „Russisches Manuskript“, das zwischen 1944 und 1948 entstand; Lorenz 1992).

Dies führt zu entscheidenden Differenzierungen auf beiden Ebenen der Analyse.

Beginnen wir mit der Physiologie:

Hier unterscheidet Bernstein (1987) im Rahmen des Systemcharakters von Bewegungsprozessen vier Aspekte:

Koordination, Organisation, Lokalisation und Topik.

- Die *Topik* ist die Geographie des Gehirns, „die Lehre von der räumlichen Anordnung seiner funktionell wesentlichen Punkte“ (8)
- Die *Lokalisation* ist „der Strukturplan der anatomischen Wechselbeziehungen zwischen diesen funktionellen Punkten“, nicht jedoch die Organisation selbst, obgleich diese nicht in Widerspruch zur Lokalisation treten darf.
- Der Begriff *Organisation* zielt auf eine tätigkeitsbezogene Strukturbildung in Wahrnehmung und Bewegung, also auf eine bestimmte (funktionelle) Organisation der Vorgänge in den Einzelneuronen.
- Und die *Koordination* sichert den ganzheitlichen Charakter der Tätigkeit und ihre strukturelle Einheit.

Zentraler Aspekt der Organisation und Koordination ist die Rückkoppelung (Bernstein spricht von einer Ringstruktur der Tätigkeit, Anochin von einem funktionellen System). Der Organismus als Ganzes ebenso wie seine Teilsysteme (z.B. die Atmung) bis hin zur Tätigkeit der einzelnen Zelle organisieren sich als selbständige Einheiten in Wechselwirkung mit andern Einheiten nach diesem Rückkoppelungsprinzip, dessen Führungsgröße der nützliche Endeffekt für die jeweilige Einheit ist.<sup>2</sup>

Dem Prinzip der Topik steht in Bernsteins Auffassung das Prinzip einer „Biologie der Aktivität“ entgegen, d.h. einer darwinistisch gedachten Selbstorganisation des Organismus und seiner Teile. Dies hat über den Zusammenhang Organisation und Koordination, denn die Koordination bezieht sich auf die Tätigkeit in der realen Welt, wiederum Rückwirkungen auf das Verhältnis von Organi-

---

<sup>2</sup> Lange vor Edelmans „Neuronalem Darwinismus“, der gegenwärtig bedeutendsten Theorie der Selbstorganisation des Gehirns, bemerkt Bernstein bereits 1963: „Es gibt zahlreiche experimentelle Befunde [...], die dafür sprechen, dass der Organismus als Ganzes und höchstwahrscheinlich jede seiner Zellen aktiv um ihre Ausbildung, Entwicklung und Vermehrung kämpfen“ (1987, 225).

sation und Lokalisation. Im Ergebnis heißt dies, dass ein großer Überschuss lokalisatorischer Möglichkeiten für die jeweilige Organisation genutzt werden kann. Ausgangspunkt hierfür ist die Entstehung von „Modellen des Künftigen“ (a.a.O., 208) auf der Basis von „Affektmotivationen“ (a.a.O., 221). D.h. Wahrnehmungs- und Handlungsprozesse gehen einher mit der Bildung von Operatoren, die nichts anderes sind als „der Sinngehalt und die Wirklichkeit eines bestimmten Abschnitts des Umweltmodells“ (a.a.O., 212).

Damit existieren systemische Modellvorstellungen, innerhalb derer Struktur und Funktion nicht getrennt sind und die Dynamik von Veränderungen und Übergängen gedacht werden kann. Dies ist ein großer Vorteil für den Umgang mit dem klassischen Lokalisationsproblem.

*Klassische Lokalisationstheorien* gehen davon aus, dass bestimmte psychische Funktionen in bestimmten Teilen des Gehirns neuroanatomisch lokalisiert sind. Die Entdeckung von Broca, dass bei Schädigung eines bestimmten Areals im Frontalhirnbereich die Funktion der gesprochenen Sprache zusammenbrach, bzw. die von Wernicke, dass die Läsion eines bestimmten Gebiets im Schläfenlappen (Temporallappen) zu vergleichbaren Folgen für das Sprachverständnis führte, begünstigten diese Annahmen.

Andererseits trat eine sich entwickelnde *Antilokalisationstheorie* in Konkurrenz zu diesen Positionen. So legten Forschungen von Lashley nahe, dass Gedächtnisfunktionen bei Affen sich abgängig von der Größe des Verlust an Hirnsubstanz reduzierten. Goldstein entwickelte auf Grund seiner Forschungen an Hirnverletzten eine Theorie, die einerseits von der Lokalisation bestimmter Aspekte konkreten Denkens ausging, andererseits die abstrakte Denkeinstellung als eine Funktion des Neokortex insgesamt betrachtete.

Beiden Richtungen entgegengesetzt formulierte Lurija seine *Theorie der dynamischen Lokalisation* (insbesondere auch in Rückgriff auf den englischen Hirnanatomen H. Jackson, auf den sich auch Freud in seiner Arbeit über „Aphasie“ bezogen hatte). Dynamische Lokalisation bedeutet in dieser Auffassung, dass die sozial bedingte (extrazerebrale) Organisation der höheren psychischen Prozesse über kulturelles Lernen deren Realisierung im Gehirn selbst (intrazerebral) determiniert. D.h. in unterschiedlichen sozialen und historischen Situationen (und in unterschiedlichen Etappen der Individualentwicklung) kommt es zu einer unterschiedlichen Lokalisation.

So führt, um ein Beispiel zu geben, die Nutzung der chinesischen Schriftsprache zu anderen Verknüpfungen als die der englischen; die Nutzung hinterasiatischer Sprachen wie z.B. Japanisch oder Vietnamesisch führt wegen der Bedeutung der Prosodie (Klangmelodie und Tonhöhe) für die Zeichenfunktion zur eher linkshemisphärischen Realisierung sonst rechtshemisphärischer Prozesse.

Nicht nur bei so gravierenden Unterschieden, wie gerade benannt, sondern grundsätzlich bei allen höheren psychischen Prozessen ist von dynamischer Lokalisation auszugehen, so dass für zwei Individuen niemals eine restlos vergleichbare Hirnorganisation vorliegt.

Alle höheren psychischen Funktionen realisieren sich in neuropsychologischer Hinsicht in Form komplizierter, rückgekoppelter, reflektorischer Prozesse, d.h. funktioneller Systeme, die den Charakter funktioneller Organe<sup>3</sup> haben. Sie sind hinsichtlich ihres Ursprungs sozial, hinsichtlich ihrer Struktur mittelbar (insbesondere über Sprache vermittelt) und hinsichtlich ihrer Funktionsweise willkürlich (Lurija 1970, 49). Es sind die gesellschaftlichen Formen der Tätigkeit, die das Hirn zwingen auf neue Weise zu arbeiten und neue funktionelle Systeme hervorbringen (Lurija 1978).

Evidenzen für eine derartige Auffassung gewinnt Lurija insbesondere durch die Auswertung statistischer Häufigkeitsverteilungen bei Patienten mit lokalisierten Hirnschäden (vgl. Lurija 1970). Über

---

<sup>3</sup> Funktionelle Organe sind Hirnverbindungen in Form von in der Ontogenese entwickelten, hochstabilen funktionellen Systemen mit quasi Organcharakter, wie z.B. das durch soziales Lernen aufgebaute neurolinguistische System der englischen im Unterschied zur deutschen Sprache.

diese Methode kommt er zu spezifischen Annahmen über das Zusammenwirken von Hirnzentren (im Sinne von Bernsteins Begriff der Topik), die in vielerlei Hinsicht die Ergebnisse moderner bildgebender Verfahren vorwegnehmen.

Von besonderer Bedeutung für die russische Schule war aber, dass sie zugleich über eine bereits in den 40er Jahren hochentwickelte Theorie der „psychischen Systeme“ (vgl. Vygotskij 1985, Jantzen 2001) verfügte, also der inneren Zusammenhänge psychischer Funktionen wie Sinn und Bedeutung, Einstellung, Sprechen, Denken und Gedächtnis, Tätigkeit, Handlung und Operation (und zunehmend auch von Bedürfnis, Emotion, Motiv, Wille).

Entsprechend werden spezifische psychische Funktionen, die untereinander in einem Zusammenhang stehen, durch spezifische Hirnzentren, die ihrerseits ebenfalls - jedoch in einem ihrer Natur nach völlig anderen - Zusammenhang stehen, aufeinander bezogen. Einzelne Bereiche des Gehirns wie z.B. der Temporalbereich sind an verschiedenen Funktionen wie Sprechen, Denken, Aufmerksamkeit usw. beteiligt, jedoch in einer spezifischen, von ihrem Hirnrot abhängigen Weise. Andererseits wird jede dieser psychischen Funktionen als Ganze durch zahlreiche intersystemische Verbindungen (Lokalisation) der Topik des Gehirns organisiert.

Die Auffassungen dieser russischen Schule finden ab den 60er Jahren international außerordentlich große Anerkennung, zumal sie eine einheitliche theoretische Konzeption von neuropsychologischer Theorie, diagnostischer und therapeutischer Praxis sichern.<sup>4</sup>

Die neuen bildgebenden Verfahren haben unterdessen in Verbindung mit bedeutenden Weiterentwicklungen in den biologischen Wissenschaften zu einer derartigen Wissensexplosion geführt, dass in der neuropsychologischen Theorie nicht ohne weiteres mehr an den großen Arbeiten von Lurija und seiner Schule angeknüpft werden kann.<sup>5</sup> Dies wird nur gelingen, wenn man im Kontext der großen Neubearbeitungen der Neuropsychologie (für die ich im folgenden zunächst exemplarisch die Theorie von Edelman heranziehen werde), erneut Theorie und Methodologie der russischen Schule würdigt.<sup>6</sup> Ich beginne im folgenden mit Edelmanns Theorie des „Neuronalen Darwinismus“, zu der O. Sacks bemerkt:

„Ich glaube, dass diese Sicht der neuronalen und psychischen Emergenz des Bewusstseins und der Sprache unter dem Einfluss persönlicher und kultureller Erfahrungen dem Ansatz Lurijas nahe verwandt ist. Nun besitzt dieser Ansatz, dank der Arbeiten Edelmanns, auch eine biologische Grundlage. Das hätte—wie ich annehmen muss - Lurija zuhächst erfreut.“ (1994, 122)

### ***Edelmanns Theorie des Neuronalen Darwinismus***

Gerald Edelman, 1972 Nobelpreisträger für Immunbiologie, hat ab Ende der siebziger Jahre in einer Vielzahl von Arbeiten die Theorie des Neuronalen Darwinismus entwickelt. Von besonderer Bedeutung sind die Trilogie

„Neural Darwinism“ (1987, deutsch 1993), „Topobiology“ (1988) sowie „The Remembered Present“ (1989), das eher populärwissenschaftliche Buch „Bright Air, Brilliant Fire“ (1992, deutsch 1995) sowie (gemeinsam mit Tononi) „A Universe of Consciousness“ (2000).<sup>7</sup>

<sup>4</sup> Vgl. die ausführliche Bibliographie der Arbeiten von Lurija (Jantzen 1994) sowie zur Praxis der Rehabilitation auch die Arbeiten von Cvetkova [Tsvetkova] (1982, 1996).

<sup>5</sup> Nach wie vor ist dies möglich im Bereich der diagnostischen und klinischen Praxis: vgl. z.B. M.D. Lezak (1995) zur Diagnostik („the ‚bible‘ in its field“, so der Klappentext) sowie die neurologischen Fallgeschichten von O. Sacks (1987, 1995).

<sup>6</sup> Bei Bernstein ist dies vergleichbar längst geschehen. Er gilt als der Vorläufer der heutigen theoretischen Debatte über die Physiologie der Bewegung überhaupt (vgl. Whiting 1984, Turvey 1990, Latash u. Turvey 1996, Latash 1998).

<sup>7</sup> Der besseren Übersicht halber zitiere ich hier mit den Initialen der Titel in der oben genannten Reihenfolge: also TB, ND, RP, BA sowie UC.

Da Edelmans Theorie am Darwinismus und der modernen Evolutionstheorie anknüpft, ist es nützlich, zunächst dort einige Aspekte von besonderer Bedeutung aufzugreifen.

Menschen sind Produkt der Naturgeschichte, viele Gensequenzen teilen sie mit anderen Arten. Die zunehmende Entschlüsselung des Genoms in den letzten Jahren verweist auf eine Komplexität der Konstruktion höherer Organismen in der jeweiligen Ontogenese, die weit entfernt davon ist, verstanden zu werden. Jeder strenge genetische Determinismus ist unhaltbar geworden, „wenn niemand - selbst der monozygote Zwilling - dem anderen gänzlich gleicht“ (Honnefelder 2001, 10).<sup>8</sup>

„Je mehr aber die Komplexität der Wechselwirkungen des Genoms mit den anderen Faktoren im Gesamt der Zelle, des Zellverbands, des Organismus und seiner jeweiligen Umwelt in den Blick rückt, um so mehr bestätigt sich die Einsicht, dass der gleiche evolutive Mechanismus, dessen Mutationen wir unsere Entfaltungsmöglichkeiten und unsere Leistungspotentiale verdanken, auch die Ursache unserer Grenzen und unserer Defekte ist und dass deshalb von Natur aus zur Gesundheit die Krankheit gehört - ebenso wie zum Leben der Tod.“ so bemerkt der Philosoph Honnefelder (2001, 11) in einem Vorabdruck aus dem Buch „Was wissen wir, wenn wir das menschliche Genom kennen?“.

Auf eine derartige Komplexität verweisen auch die Evolutionsbiologen Smith und Szathmáry (2000) in ihrem Buch über die „Ursprünge des Lebens“<sup>9</sup>:

„Each kind of cell receives a complete set of genes, but becomes different, because it receives different internal stimuli, activating different genes.“ (ebd. 28)

Diese Tatsache führt aber zu einer neuen Form von Vererbung, „epigenetischer Vererbung“, die nicht von den Basenpaaren der DNA abhängt (ebd.).

Vererbung als Konstruktionsprozess eines jeweils neuen Individuums - (auf der Basis der zellulären, bei komplexen Mehrzellern in der Regel sexuellen Replikation und Weitergabe des Genoms) ist jeweils von spezifischen Umwelten abhängig. Diese sind sowohl für die Existenz und Entwicklung des Organismus als Ganzes als auch für die einzelnen Zellen des Gesamtorganismus notwendig vorausgesetzt.

Der Kontext spezifiziert (1) als Ökotope im Rahmen der Biosphäre die Lebensmöglichkeiten des einzelnen Organismus. Und der Kontext (2) als innerorganismische funktionelle Organisation spezifiziert die Möglichkeiten der einzelnen Zelle, obgleich er als Ganzes wiederum das Resultat der Wechselwirkungen der einzelnen Zellen untereinander und mit dem Ganzen ist (Dies gilt in gleicher Weise für die Gesamtheit der Organismen im Verhältnis zur Biosphäre). Dies bedeutet aber, dass ständig Prozesse der Selbstoptimierung sowohl auf der Ebene der Populationen als auch auf der Ebene der Individuen sowie den darunterliegenden Ebenen stattfinden. Neben der Organebene und der Zellebene kommen die genetische Ebene und die molekulare Ebene in jeweils unterschiedlicher Weise ins Spiel (vgl. Smith und Szathmáry 2000, insb. Kap. 2).

Dieser Gedanke öffnet den Zugang zu Edelmans forschungstheoretischem Programm. Hatte er doch den Nobelpreis dafür erhalten, dass er zeigte, wie sich das Abwehrsystem des Organismus auf immunbiologischer Ebene durch Klonbildung und Selektion darwinistisch organisiert.

Drei fundamentale Ebenen bzw. Prozesse sind es, die nach Edelman für den Prozess der Herausbildung des Gehirns konstitutiv sind (TB, 191 ff, ND):

<sup>8</sup> „Nicht Konstanz und Gleichheit, so könnte man das Resultat der Analyse in pointierter Weise festhalten, sind das Normale, sondern Abweichung und Ungleichheit, nicht die Einheit, sondern die Vielfalt, nicht die unilineale Kausalität, sondern die komplexe Wechselwirkung“ (Honnefelder 2001, 10)

<sup>9</sup> Dass sie sich hierbei noch - erkenntnistheoretisch unhaltbar; vgl. auch Honnefelder 2001, 10 - an Dawkins Theorie des egoistischen Gens (engl. 1976, deutsch 1994) orientieren, kann vernachlässigt werden. Eine solche Rede ist nicht nur wegen des unterstellten strikten Determinismus, sondern allein schon deshalb unsinnig, als sie einen selbstbezüglichen kognitiven Bereich des Gens voraussetzen würde, was erst auf dem Niveau der Zelle angenommen werden darf (vgl. Maturana und Varela 1987, Jantzen und Feuser 1994).

1. Die anatomische Entwicklung des Gehirns als epigenetischer Prozess beruht auf der *somatischen Selektion primärer Repertoires* durch topobiologische Prozesse.  
Dies sind die formgebenden Prozesse, die zur räumlichen Trennung von Zellen sowie zur anatomischen und morphologischen Trennung sowie Binnendifferenzierung komplexer Organe und Organsysteme führen. Insofern Edelman diese Ebene vor allem in seiner „Topobiologie“ [TB] im Gesamt der gegenwärtigen evolutionsbiologischen Debatte genauer bestimmt, ist seine Theorie hier anschlussfähig an verschiedene kritische Einwände gegenüber dem Mainstream des Darwinismus.<sup>10</sup>
2. Die funktionelle Entwicklung des Gehirns erfolgt als *Herausbildung sekundärer Repertoires* durch die Organisation und Koordination der ontogenetischen Prozesse von Wahrnehmung und Handlung [ND, RP]. Die physiologische Basis hierfür sind Regulationsprozesse im synaptischen Netzwerk und der synaptischen Übertragung.<sup>11</sup>
3. Die Entwicklung der höheren Gehirnprozesse (primitives Bewusstsein, höheres Bewusstsein) setzt *komplexe Re-entry-Prozesse* voraus, d.h. Prozesse vielfältiger reziproker Rückkoppelung zwischen Zellverbänden. Diese—lokalisiert im kortiko-thalamischen System—sind konstitutiv für den „dynamischen Kern“ der Bewusstseinsprozesse [RP, UC].  
Auf diesen drei Ebenen setzen jeweils Selektion und Optimierung an.

### - Die Organisation der primären Repertoires

Drei aufeinander bezogene Probleme der Biologie sind ungelöst: Die Entwicklung der Form des Organismus, die Evolution dieser Form sowie die morphologische und funktionelle Basis des Verhaltens. [TB, XIII]

Gene speichern keinerlei Informationen über die gegebene Position einer Zelle in Raum und Zeit. Zellen selbst hingegen können sich aktiv in Mustern bewegen. Sie zeigen hierbei statistische Variationen von Ordnung und Assoziation. Gleichzeitig findet eine konstante Rückanpassung jeder individuellen Zelle an eine Position, also eine spezifische zelluläre Adresse statt, wobei relativ zu dieser Position von der Zelle besondere Wiedererkennungsproteine hervorbebracht werden. Man muss also, um Prozesse der Formgebung des Organismus zu rekonstruieren, diese Wechselwirkungen oberhalb der unmittelbaren genetischen Determination verstehen. Dies erfordert gleichzeitig auch ihr Verhältnis zur genetischen Ebene theoretisch zu klären.

Leider verzichtet Edelman bei diesem Versuch darauf, die einzelne Zelle auch in einem Gesamtorganismus als eine mit eigenem kognitiven Bereich existierende Einheit anzunehmen (vgl. Bellairs 1982, Maturana 1982, Maturana und Varela 1987). Hierdurch bedingt nutzt er eine Reihe von theoretischen Möglichkeiten nicht und schöpft, obwohl er immer wieder die Eigenaktivität der Zelle betont, die in der gegenwärtigen Biologie gegebenen theoretischen Möglichkeiten nicht hinreichend aus.<sup>12</sup>

<sup>10</sup> Exemplarisch sei auf die Auffassung von Gutmann verwiesen, wonach stammes- und individualgeschichtliche Entwicklung vor allem als Wandel von organismischen Konstruktionen zu untersuchen ist (vgl. Gutmann 1989, Weingarten 1992) oder auf Pritchards (1986) Entwicklungsgenetik, innerhalb derer die Wechselwirkung unterschiedlicher Zellen des Embryos zu unterschiedlichen Zeiten Untersuchungsgegenstand ist (vgl. auch Jantzen 1990).

<sup>11</sup> Die Synapsen sind die Ansatzpunkte der informationellen Kooperation der Zellen. Die bioelektrischen Aktionspotentiale der Zellen bewirken die Freisetzung von Neurotransmittern im synaptischen Spalt (signalförmige Übertragung) bei gleichzeitig komplexen Wechselwirkungen der prä- und postsynaptischen Membranen mit den Neurotransmittern. Dies wiederum hat Rückwirkungen auf die Ausbreitung bioelektrischer Muster. Bernstein (1987, 210) spricht hier von wellenförmiger Übertragung. Vincent (1990) spricht in dieser Beziehung von basalen Prozessen der Fluktuation von Hormonen (Neurotransmitter sind Hormone) welche eine Matrix (fließendes Gehirn) für die bioelektrischen Fluktuationen (vernetztes Gehirn) bilden.

<sup>12</sup> Auch ohne auf die Theorie der Autopoiese zurückzugreifen, können vom Standpunkt des äußeren Beobachters folgende Eigenschaften von Nervenzellen unterschieden werden—deren „somatische Selektion“ Edelman [TB, ND] schwerpunktmäßig behandelt (vgl. zu den morphologischen Konstruktionen in der Genesis des Embryo allgemein Bard 1990, Slack 1991, Wolpert 1991): (1) Alle Nervenzellen sind spontanaktiv (Oszillatoren; vgl. Changeux 1984). (2)

Für die epigenetische Entwicklung der Morphologie sind primäre und sekundäre Prozesse verantwortlich, durch welche die nötige Vielfalt von Zellen und Geweben sowie ihrer funktionellen Verbindungen geschaffen wird, an welcher die somatische bzw. neuronale Selektion ansetzt.

*Primäre Prozesse* sind Prozesse auf dem Niveau der einzelnen Zellen: Zellteilung, Zellbewegung und Zelltod sichern die Basis der Formgebung.

*Sekundäre Prozesse* sind Prozesse der Regulation zwischen Zellen und Zellverbänden. Zum einen ist dies die Zelladhäsion, zum anderen sind es Differenzierung (durch reziproke Einwirkung der Zellen aufeinander) und Induktion (Auslösung von Entwicklung durch asymmetrische Einwirkungen auf eine Zelle oder einen Zellverbund bzw. ein Gewebe). Die Wirkung des Timing ist abhängig vom Antwortgewebe, die örtliche Wirkung vom induzierenden Gewebe. Bereits in der frühen Embryogenese finden Übergänge von losen Verbindungen (Mesenchym) in Gewebe (Epithelia) und von Geweben in lose Verbindungen statt. Dabei bewegen sich die Zellen entlang von Membranen oder von Substratmolekülen. Dieser Prozess von Bewegung und Teilung wird zunehmend von Differenzierung und Determination begleitet. D.h. Zellen verlieren zunehmend ihre Multipotentialität, sich in andere spezifische Zellformen umzuwandeln. Dabei werden die Entwicklungssequenzen von einem Netzwerk unterschiedlicher Gene kontrolliert, das seinerseits zunehmend unter topobiologischen Zwängen steht. Gene werden zur Synthese von Proteinen an einem spezifischen Ort und zu einer spezifischen Zeit von dem Netzwerk bereits existierender, topobiologischer Interaktionen so aufgerufen, dass dies zu der zu konstruierenden Morphologie (Bauplan) konkordant ist.<sup>13</sup>

*Somatische Selektion*, die Edelman als Grundprinzip topologischer Konstruktionen begreift, muss an einem Überschuss ansetzen. Dieser wird sowohl durch überschüssige Zellen selbst als auch durch Überschuss in den sich etablierenden Netzwerken geschaffen, indem diese sich nach dem Muster der Degeneriertheit bilden.

Dies bedeutet, dass einzelne Zellen oder ihre funktionellen Verbindungen zu Mustern einerseits untereinander vergleichbare Funktionen, andererseits jedoch unterschiedene Funktionen wahrnehmen. Dieser Bereich funktioneller Überlappung und Parallelität (was etwas völlig anderes als Redundanz ist!), sichert die Möglichkeit einer selektierenden Auslese. Dieses Prinzip ist auf allen Niveaus der Organisation des ZNS fundamental. Es erst ermöglicht die primitiven ebenso wie die höheren Bewusstseinsprozesse.

„Die Wahrnehmung der Existenz von Entwicklungszwängen setzt die kontrastierende Idee von Entwicklungspfaden nicht außer Kraft, die nichtsdestotrotz, in hohem Umfang degeneriert sein können—oft kann die gleiche Art von Struktur durch eine Vielzahl von unterschiedlichen epigenetischen Sequenzen hervorgebracht werden.“ (TB, 53), so in der „Topobiologie“ mit Verweis auf sehr unterschiedliche Prozesse der frühen Zellteilungsstadien bei verschiedenen Wirbeltieren.

Dies verlangt die grundlegende Annahme von Wechselwirkungen, deren aktiver Kern die einzelne Zelle ist:

„Die Einheit der Kontrolle muss die Zelle an einem bestimmten Platz sein, und die Kontrolle selbst muss bestimmt sein durch kollektive Oberflächeninteraktionen mit einer bestimmten Anzahl anderer Zellen oder Substrate in der Nachbarschaft.“ (TB, 82)

Nach Auffassung von Edelman erfolgt in den frühen Stadien der Gewebedifferenzierung die Schaffung von neuen Geweben durch die Wirkung von drei Familien *morphoregulatorischer Moleküle*: Zelladhäsionsmoleküle (CAMs), Substratadhäsionsmoleküle (SAMs) (vgl. auch ND; Teil II) und

---

Neuronen können ihre eigenen Schwellenwerte modifizieren. (3) Neuronen können in Dendritennetzen (über ihre Axonbäume) differenziert auf andere Neuronen einwirken. (4) Neuronen können über ihre Dendriten regional (kanalförmig) und überregional, insbesondere auf der Basis der Neurotransmitter-Fluktuationen (wellenförmig) wahrnehmen.

<sup>13</sup> Dies kann zu Konstruktionsfehlern führen, sofern Stoffwechselstörungen auf unterschiedliche Weise ins Spiel kommen—sei es durch Veränderung von Gensequenzen, durch Chromosomenanomalien oder aber durch die Entwirkung toxischer Substanzen der Umwelt.

Zellverbindungs-moleküle (CJMs<sup>14</sup>). Für die Expression dieser Moleküle sind spezifische Regulator- und Struktur-gene grundlegend, welche erst in den Prozessen der Expression der Struktur (Struktur-gene) und deren zeitlich räumlicher Selektion (Selektorgene) durch die hier auftretenden morphologischen Wechselwirkungen aufgerufen werden. Mittels dieser eleganten Hypothese<sup>15</sup> wird gezeigt, wie eine strikte, genetische Determination gebrochen wird. Das genetisch vererbte Muster der Topik wird durch die Schaffung von Überschuss und die Rückwirkung auf die Expression regulatorischer Moleküle reguliert.

Eine höhere, epigenetische Ebene entsteht, die auf die niedere Ebene zurückwirkt.

Folglich, dies ist die basale Einsicht für die Entwicklung der Topik des ZNS (primäre Repertoires), müssen Genetik und Epigenetik in Balance zusammenarbeiten. Sie müssen einen Mittelweg zwischen morphologischer Neuheit und möglichem Anpassungszwang halten: Diese Notwendigkeit führt zur phänotypischen Diversität und zur Abwesenheit eines bestimmten Phänotyps.

Im Rahmen der durch die primäre Selektion geschaffenen topischen und funktionellen Repertoires (anatomisch variierende Gruppen von Hirnregionen, die auf Input reagieren; ND, S 30) erfolgt die Bildung neuronaler Karten. Ihre Basis ist die Herausbildung und Veränderung synaptischer Strukturen. Diese sekundären Repertoires wirken auf die primäre Ebene zurück, wie Edelman an Forschungen von Merzenich aufzeigt. (ND, 188 ff.)<sup>16</sup>

Merzenich und Mitarbeiter untersuchten im sensomotorischen Kortex bei Nachtaffen und Totenkopffaffen die Veränderung der Areale 3b und 1, in welche die Hand projiziert, sowie nach einem Eingriff nochmals die gleichen Regionen in bestimmten Zeitabständen. Derartige Eingriffe waren z.B. die Durchtrennung von peripheren Nerven, die Amputation von Fingern aber auch funktionelle Veränderungen durch das Bandagieren oder Eingipsen von Fingern oder deren funktionelles Training. In allen Fällen ergaben sich deutliche Veränderungen kortikaler Kartierungen in den Gebieten, in welche die verschiedenen Bereiche der Finger und der Handinnenfläche projizierten. Darüber hinaus ergaben sich Unterschiede zwischen der kortikalen Repräsentation unmittelbar nach der Läsion und zu unterschiedlichen Zeitpunkten danach. So reagierten Gebiete nicht mehr, die unmittelbar nach der Operation noch Reaktionen gezeigt hatten und umgekehrt zeigten 144 Tage nach der Operation andere Gebiete Reaktionen, die unmittelbar nach der Operation nicht durch kutane Reizung stimuliert werden konnten. Zudem zeigte es sich, dass auch zwischen den Äffchen vor den jeweiligen Eingriffen deutliche Differenzen in der Verteilung der Karten bestanden. Dabei erweis sich ein Abstand von 600 µm als kritisch. D.h. in ihm liegen in Form von axonalen Überschneidungen „Degeneriertheitsstreifen“ (ND, 200) vor.

„Mit anderen Worten, es existiert nach der Entwicklungsphase ein degeneriertes anatomisches Substrat, an dem auf synaptischer Ebene die Selektion kompetitiv ansetzt und aus einer Mannigfaltigkeit möglicher Karten eine funktionelle Karte entstehen lässt“ (ND, 198).

## - Die sekundären Repertoires

Während primäre Repertoires auf der Ebene der Topologie angesiedelt sind und damit über die Topologie der Bahnen gleichzeitig eine lokalisatorische Grundalge haben, bezieht sich (in der Ter-

<sup>14</sup> Cell Adhesion Molecule (CAM); Substrate Adhesion Molecule (SAM); Cell Junctional Molecule (CJM)

<sup>15</sup> „Morphoregulatorhypothese“, vgl. die ausführliche Darstellung TB, 134 ff.

<sup>16</sup> Die Abgrenzung beider Ebenen bleibt ebenso wie die ihrer Wechselwirkung unscharf. Dies hängt u.a. mit einer mangelnden Behandlung des Problems psychischer Prozesse auf allen Ebenen der Konstruktion von lebenden Organismen zusammen. Die Entstehung sekundärer Repertoires (prä- und postsynaptische Regel, Transmitterlogik) wird erst ab der Geburt (ND, 31) angenommen. Dies entspricht nicht der aktuellen Debatte um die Neuropsychologie der vorgeburtlichen Entwicklung (vgl. Trevarthen und Aitken 1994, Aitken und Trevarthen 1997, die von elementaren Spuren des Psychischen in der Form der Herausbildung eines angeborenen Motiv-Systems um die 8. Embryonalwoche ausgehen). Spätestens mit dem Verschwinden erster motorischer Muster in der frühen Fetalzeit und ihrem Wiederkehren um die 22. Woche (Hofer 1981; vgl. auch Jantzen 1987, 180 ff.) muss zwingend von koordinierter Tätigkeit, und damit von Herausbildung sekundärer Repertoires sensu Edelman ausgegangen werden.

minologie Bernsteins) die Herausbildung sekundärer Repertoires auf das Verhältnis von Lokalisation (also der funktionellen Verbindung der topischen Orte) sowie Organisation und Koordination, welche von der Tätigkeit abhängig sind.

Damit eine veränderte Lokalisation im Rahmen sekundärer Repertoires erfolgen kann, sind einerseits Einwirkungen durch Wahrnehmung und Handlung nötig, andererseits müssen degenerierte Repertoires von interzellulären axonalen und dendritischen Verbindungen vorliegen, die alternativ in alternativen Situationen zum Tragen kommen.

*Degenerierte Repertoires* auf diesem Niveau basieren auf der Vielfalt und überlappenden Verbindungsstruktur in neuronalen Strukturen (ND, 65 ff.). Auf ihrer Basis erlangen spezifische synaptische Regeln ihre Wirkung.

Schon Bernstein (1987) hatte auf die topologische und nicht metrische Organisation der Handlung hingewiesen: Die eigene Unterschrift bleibt die eigene Unterschrift, obwohl sie in metrischer Hinsicht in unterschiedlichen Situationen erheblich variiert (Unterschrift auf einer Schiefertafel, auf einem Brief auf der Rückseite einer Briefmarke, im Sitzen, bei Erschöpfung, nach Alkoholgenuss usw.). In gleicher Weise gilt eine topologische Organisation für die Wahrnehmung, insofern aufgrund typischer Gestalten Kategorien gebildet werden (Buchenblätter unterscheiden sich von Kastanien- oder Eichenblättern). Hierzu sind auch andere Wirbeltiere in der Lage: So kategorisieren Tauben in vergleichbarer Weise Wahrnehmungsinhalte auch von Gegenständen, mit denen sie in der Natur nie konfrontiert werden (z.B. Fische in Unterwasserszenen; ND, 352 ff.).

Grundlage dieser Struktur sind *parallele Projektionen* im Rahmen der primären Repertoires (so lassen sich bei Affen im visuellen System mehr als 20 Projektionsgebiete unterscheiden; TB, 199). Damit derartige Kategorienbildungen stattfinden, müssen in vielen gleichzeitig erregten degenerierten Gebieten einerseits identische Muster (z.B. Blatt) und andererseits unterschiedene Muster (z.B. Umrisslinie des Blattes) entstehen. Denn nur bezogen auf ein vertrautes Muster kann Neuigkeit verarbeitet werden. Und nur indem das Nervensystem solche Repräsentationen der Welt zu schaffen vermag, die ihm die Konstanz seiner Orientierung in ihnen sichern, kann es sich in einer zugleich ständig verändernden Welt entwickeln und lernen.

Die hier ins Spiel kommenden Aspekte behandelt Edelman auf physiologischer und auf psychologischer Ebene. Zunächst zum *physiologischen* Aspekt.

Grundlegend für den Aufbau von Kategorisierungen, von Lernen und Gedächtnis sind Veränderungen in synaptischen Prozessen. Diese behandelt Edelman unter dem Aspekt zweier synaptischer Regeln sowie der Transmitterlogik.

Synapsen als Populationen bilden die Grundlage der sekundären Repertoires (ND, 259 ff.).

Die *postsynaptische Regel* besagt, dass koaktivierte Impulse verschiedener Synapsen eines Neurons den Zustand der Ionenkanäle an einer bestimmten Synapse dieses Neurons beeinflussen (ein Neuron kann bis zu 10.000 Synapsen haben).

D.h. die Bereitschaft einer Zelle, auf ein bestimmtes Signal zu reagieren, ist in kurzfristiger Hinsicht von ihrem Gesamtzustand abhängig. Und dieser ist wiederum abhängig von der aktuellen Lage der Zelle in einem Netzwerk von Zellen. Sie registriert diese Lage sowohl über spannungsabhängige Kanäle als auch über transmitterabhängige Kanäle (ND, 268). Dabei reichen elektrotonisch übertragene Schwankungen, um lokale Veränderungen hervorzurufen (ND, 269, vgl. Bernsteins „wellenförmige“ Erregung).

In der Terminologie von Maturana und Varela (1987) hieße dies: Die Bereitschaft der Zelle zur strukturellen Koppelung in einer bestimmten Situation ist vom Gesamt ihrer jeweiligen strukturellen Koppelungen, also von einem Feld abhängig. Auf dieses bezogen reagiert sie aufgrund ihres allgemeinen Einstellungsgrades (präsynaptische Regel) sowie auf der Basis ihrer bisherigen Erfahrungen (kognitiver Bereich) mit spezifischen Reizen in einer spezifischen Kooperation mit anderen

Zellen.<sup>17</sup> Die Zelle ist damit Teil eines erfahrungsbildenden Netzwerkes, das seinerseits in erfahrungsbildende Netzwerke durch wechselseitige Rückkoppelung (Re-entry) eingebettet ist.

Die *präsynaptische Regel* bezieht sich auf langfristige Änderungen, verbunden mit einer Veränderung der Genexpression. Sie bewirken eine andere Wirkungsgradeinstellung (Faszillation oder Depression) des Zellverhaltens. Ihre Folgen sind zeitlich stabil, aber im ganzen Netzwerk verteilt. Sie haben differentiellen Einfluss auf neue kurzfristige Änderungen und sie können die Variabilität der Änderung in anderen Neuronengruppen beeinflussen (ND, 277 ff.).<sup>18</sup>

Beide Regeln zusammen sichern das Zusammenwirken von Neuronengruppen. Langfristige Einwirkungen in einer Gruppe führen zu einer Hierarchie kurzfristiger Änderungen zwischen den Gruppen, die hauptsächlich Änderungen erfolgen jedoch in der Gruppe selbst. Beides zusammen erhöht die Wahrscheinlichkeit rückgekoppelter Beziehungen zwischen den Gruppen.

Neben der binären Logik erregender und hemmender Einflüsse im postsynaptischen Bereich („kanalförmige“ Übertragung) wirkt eine Transmitterlogik zwischen den Zellen und Synapsen (also eine Feldwirkung im Sinne Bernsteins „wellenförmiger“ Übertragung).

Dabei kann es einen „evolutionären Vorteil machen, eine wachsende Zahl von Modulatoren und Neuropeptidverbindungen zu besitzen, um in der Verhaltensphase zwischen zwei sekundären Repertoires wählen zu können“ (ND, 292).

Soweit die physiologische Seite der synaptischen Selektion auf der Basis primärer, degenerierter Repertoires. Wesentlich für das weitere Verständnis ist der Begriff der *neuronalen Karte*.

Neuronale Karten existieren modalitätsbezogen (Sehen, Hören Tasten, Riechen usw.) zu zahlreichen Aspekten der Wahrnehmung und werden auf der Basis von Wertstrukturen des Organismus zu neuen sekundären Repertoires verknüpft. Grundlage hierfür ist eine Fähigkeit des Gehirns Selbst und Nicht-Selbst, intero- und exterozeptive Indizes zu unterscheiden (RP, 93 f.).<sup>19</sup> Dabei orientiert sich dieser Prozess einerseits an der strikten Topologie der primären Repertoires andererseits erfolgt die Bildung und Verknüpfung von Karten höherer Art durch die Bildung sekundärer Repertoires. Diese Globalkartierung ist prinzipiell bezogen auf die Wahrnehmungs- und Handlungsprozesse des Subjekts in der „Echtzeit“ der Welt.

Von besonderer Bedeutung für die Kategorisierungsvorgänge im *psychischen Raum* auf der Basis der sekundären Repertoires und der durch die Unterscheidung von Selbst und Nichtselbst möglichen Globalkartierung sind die *Handlungen*. Sie bauen sich auf motorischen Ensembles auf, die in Form von *Gesten* die Grundlage eines Selektionsprozesses sind.

Basis dieser Selektion sind degenerierte, synergetische Muster (z.B. Kreisbewegungen mit völlig unterschiedlichen Innervationsschemata), die bezogen auf Kategorisierungen von Wahrnehmungsinhalten ausgelesen werden.

„Unter einer „Geste“ verstehe ich die degenerierte Menge all jener koordeinerter Bewegungen, die ein bestimmtes Muster, das bei einem Phänotyp adaptiv ist, zu produzieren vermag.“ (ND, 323 f.).

Ein Beispiel wäre die Durchführung einer Jonglage mit zwei oder drei Bällen (vgl. Turvey 1990). Ausgehend von einer Geste, die zunächst bei Sperrung aller unnötigen Freiheitsgrade (Bernstein)

<sup>17</sup> Ich habe diese Aspekte ausführlich im Rahmen einer allgemeinen Theorie funktioneller Systeme erörtert; vgl. Jantzen 1990, Kap. 7; Jantzen 1994, 114 ff.

<sup>18</sup> Besonders deutlich zeigt sich diese Wirkungsgradverstellung (als Folge von Stress) in sog. pathologischen funktionellen Systemen.

<sup>19</sup> In allen fünf Büchern wird dieser Aspekt, der nach einer eigenständigen Theorie der Entwicklung des Körperselbst verlangt (vgl. Damasio 1996) absolut stiefmütterlich behandelt. Das gleiche gilt für die Theorie der Werte, innerhalb derer Emotionen und Affekte nicht immer systematisch von bevorzugten Einstellungen unterschieden werden. (Zudem bemüht Edelmans neuestes Buch [UC] lediglich die Transmittersysteme als Basis emotionaler Regulation, nicht aber unterschiedliche kortikale und subkortikale Systeme, wie z.B. den Amygdala-Komplex). Beide Aspekte bleiben unterentwickelt gegenüber dem Versuch einer Theorie des Bewusstseins.

irgendwann einmal den ersten Versuch und dann weitere gelingen lässt, wird allmählich der Vorgang durch Lockerung der Freiheitsgrade (Selektion von koordinierten Bewegungen aus der degenerierten Menge aller möglichen Bewegungen, die das Muster produzieren) flüssig vollzogen und schließlich so dynamisiert und automatisiert, dass dabei gleichzeitig eine Unterhaltung geführt werden kann.

Derartige Selektionsprozesse in den motorischen Repertoires von Gesten sind eine wesentliche Quelle von Merkmalskorrelationen, die bezüglich der Fähigkeit, Objekte zu definieren, den sensorischen Systemen weit überlegen sind. Die *Kategorisierung durch Handlungen* ist damit zentraler Aspekt jeder Globalkartierung. Die Verbindung von Wahrnehmung und Handlung, der Unterscheidung Selbst und Nicht-Selbst in Globalkartierungen verlangt darüber hinaus Gedächtnisprozesse der Re kategorisierung, so ein weiteres Postulat der Theorie Edelmans (ND, Kap. 9; RP, BA, UC). Nur auf dieser Basis ist Lernen und Entwicklung möglich. *Rekategorisierung* bedeutet, dass das Gedächtnis nicht nach dem Muster eines Computerspeichers oder einer Bibliothek aufgebaut ist, sondern in der fließenden Gegenwart zu jedem Zeitpunkt des Lebens seine Kategorisierungen an der Grenzen von Vergangenheit und Gegenwart vornimmt. Diese Re kategorisierung erfolgt durch Prozesse wechselseitiger Rückkoppelung in den degenerierten Systemen sekundärer Repertoires.

Mit diesen Bedingungen<sup>20</sup> sind alle notwendigen Voraussetzungen für primitives Bewusstsein gegeben. Dieses primitive Bewusstsein ist allerdings noch unmittelbar in die Gegenwart des Handelns eingebunden, ein bewusster psychischer Raum von Vergangenheit und Zukunft eröffnet sich erst durch die Symbolfunktion der Sprache, die damit Voraussetzung für das höhere Bewusstsein ist. (RP, 173 ff., BA, 180 ff., UC, 193 ff.). Um den neurowissenschaftlichen Kern der Theorie zu verstehen, ist an dieser Stelle auf die dritte Prämisse einzugehen: die Existenz der Re-entry-Prozesse, also der Prozesse reziproker struktureller Koppelungen der Zellen und Zellverbände, die für die höheren psychischen Funktionen konstitutiv sind.

### **- Die Re-entry-Prozesse und der dynamische Kern**

Vor allem in seinem neusten Buch „A Universe of Consciousness“ behandelt Edelman die Prozesse der dynamischen, wechselseitigen Rückkoppelung des Gehirns als Grundlage aller Bewusstseinsprozesse. Insofern stellt seine Theorie eine Einheit von Struktur und Funktion her und verzichtet auf jegliche Annahme eines „Homunkulus“. Die psychischen Prozesse sind Resultat der Hirnentwicklung zugleich aber mehr als ein bloßes Epiphänomen. Ihre Lokalisation erfolgt über die Organisation und Koordination komplexer Prozesse der Tätigkeit im Rahmen der topologischen Möglichkeiten des Gehirns. In dieser Beziehung entspricht seine Grundposition gänzlich der oben zitierten von Alexander Lurija. Aber auch mit einer konstruktivistischen Grundposition ist sie verträglich (vgl. den Epilog in BA), insofern die Welt dem Subjekt in seinen Repräsentationen nicht unmittelbar geben ist, sondern durch seine in Echtzeit an die Welt gekoppelten Handlungen und die hierdurch erfolgende Verifizierung der Wahrnehmungskategorien.

Die höheren psychischen Prozesse unterliegen nach Auffassung von Edelman durchgängig einer dynamischen Lokalisation, deren zentraler Aspekt die Herausbildung eines dynamischen Kerns von psychischen Prozessen und Bewusstseinszuständen ist.

Doch auch hier zunächst zur Physiologie.

Nach Meinung von Edelman und Tononi [UC] sind drei große funktionelle Bereiche des Gehirns zu unterscheiden:

1. Das *thalamo-kortikale System*. In ihm realisieren sich die Re-entry-Prozesse.  
„The unique feature of higher brains, we would say it is reentry.“ (UC, 49)

<sup>20</sup> 1. Fähigkeit zur perzeptuellen Kategorisierung; 2. Gedächtnis als Re kategorisierung; 3. Lernen; 4. Unterscheidung von Selbst und Nicht-Selbst (RP 91 ff).

„So existieren beispielsweise drei Dutzende visueller Zonen im visuellen System des Affen (und wahrscheinlich mehr beim Menschen). Diese Gebiete sind durch 305 Verbindungswege (einige mit Millionen von axonalen Fasern) verbunden, von denen über 80 Prozent Fasern aufweisen, die in beide—Richtungen verlaufen. Mit anderen Worten, die unterschiedlichen funktionell getrennten Gebiete, sind, in den meisten Fällen, reziprok verbunden“ (UC, 44).

2. Dieses System verfügt über (ohne Re-entry-Verbindungen organisierte!) „*Hirnanhänge*“. Sie dienen:

- der Bereitstellung glatter Gesten (*Kleinhirn*);
  - der Verknüpfung von Wertesystemen und Weltsystemen (*Hippocampus* als Ort der Schaffung von biographischem Gedächtnis, das sich dann im Kortex in Form veränderter sekundärer Repertoires niederschlägt);
  - der Schaffung motorischer Pläne, der indirekten Koordination komplizierter Handlungen und vermutlich auch motivationalen Aspekten (*Basalganglien*).<sup>21</sup>
3. Ein fächerförmiges Netzwerk der *Neurotransmitterbahnen* dient der Etablierung eines Wertesystems. Die Bahnen dieses Netzwerks gehen von spezifischen Kernen des Hirnstamms und des Hypothalamus aus, die spezifische Substanzen ausschütten: Locus coeruleus: Noradrenalin; Raphé Kern: Serotonin; sowie verschiedene domaninerge, cholinerge und histaminerge Kerne.<sup>22</sup>

Diese Systeme realisieren durch Globalkartierungen auf verschiedenen funktionellen Ebenen (RP, Kap. 8 - 12) des thalamo-kortikalen Netzwerks ein System komplexer, ständig ineinander übergehender Bewusstseinszustände (ich schreibe, blicke zur Tür, höre etwas, stehe auf, verlasse den Raum usw.).

Dies wird versucht mit der Hypothese eines *dynamischen Kerns* zu erfassen (UC, 111 ff.).

Ein derartiges System, das seine eigenen Zustände ständig wechselt und zugleich funktionell von anderen Systemen abgegrenzt ist (Lurija spricht—hierzu vergleichbar—von einer „funktionellen Barriere“; vgl. Feuser 1994), ist bei einem alten, verwirrten Gehirn nicht mehr hinreichend ausgeprägt. So ist bei Demenz die Entropie bereits groß, d.h. zu viele Elemente funktionieren entkoppelt. Es liegt eine geringe Integration bei gleichzeitig hoher Differenzierung vor. Bei einem jungen Gehirn finden wir umgekehrt eine sehr hohe Integration aber nur eine geringe Differenzierung.

„Because of this dynamics, the same normal brain can be more complex or less complex, depending on its level of arousal.“ (UC, 134).

Abhängig vom gegebenen Niveau der Erregung funktioniert das Gehirn demnach optimal in einem mittleren Bereich von Neuheit und Vertrautheit, abhängig von der Möglichkeit, differenzierte Repräsentationen von Erfahrungen auszubilden. Folglich entsteht dieser Bereich als Funktion der Interaktionen des Systems mit sich selbst.

„Extrinsische Signale übermitteln Information nicht so sehr in sich selbst, sondern durch die Art, in der sie intrinsische Signale modulieren, die mit einem früher erfahrenen neuronalen System verglichen werden.“ (UC, 137).

Die Hypothese des dynamischen Kerns umfasst zwei Aussagen:

<sup>21</sup> Die genannten subkortikalen Systeme realisieren demnach vorrangig die Raumzeit des Gehirns in Aktion, deren höhere Ebenen von Lurija als widersprüchliche Einheit von paradigmatischer und syntagmatischer Organisation der Sprache (Lurija 1982) bzw. der Blöcke II (Wahrnehmung, Verarbeitung, Speicherung) und III (Programmierung, Steuerung und Kontrolle) als funktioneller Einheiten des Gehirns (Lurija 1992) behandelt.

<sup>22</sup> Ich habe bereits darauf verwiesen, dass Edelman hier den Amygdala-Bereich unberücksichtigt lässt, der in anderen Theorien über die Wertesysteme des Gehirns eine höchst bedeutsame Rolle spielt (vgl. Jantzen 1990, 103 ff.; Ledoux 1998).

- Neuronengruppen tragen dann zum Bewusstsein bei, wenn sie für eine bestimmte Zeit Teil eines virtuellen Clusters sind, das durch rückläufige Nervenverbindungen mit dem thalamo-kortikalen System eine hohe Integration binnen Millisekunden erreicht
- Um bewusste Erfahrungen aufrecht zu erhalten, ist es notwendig, dass dieses funktionelle Cluster hoch differenziert ist. Insofern es hohe Werte der Komplexität besitzt, bleibt ein Teil des Musters ständig erhalten. Um ein Beispiel zu geben: Beim Übergang zu einer neuen Situation bleibt das wahrgenommene biographische Selbst, das „Ich“ als „Du“ erhalten. Die Degeneriertheit der kortikalen Prozesse („Ich“ in verschiedenen Situationen), erhält die Einheit des Bewusstseins.

Dieselbe Neuronengruppe ist damit zeitweise Teil des dynamischen Kerns und teilweise nicht. Das Bewusstsein ist im Rahmen dieser Theorie nun auch neuropsychologisch als kontinuierlicher Prozess begreifbar, der sich kontinuierlich ändert.

Soweit zentrale Aussagen der Theorie von Edelman, als erster Schritt einer Aktualisierung der Perspektiven der kulturhistorischen Neuropsychologie innerhalb der modernen Diskussion (vgl. auch Achutina 2002, Jantzen 2002).

## **Literaturverzeichnis**

AKHUTINA, Tatjana: Foundations of Neuropsychology. In: Robbins, Dorothy (Ed.): Voices within Vygotskys Non-Classical Psychology: Past, Present, Future. New York (Nova Science) 2002, 27-44.

AITKEN, K.J.; TREVARTHEN, C.: Self/Other Organization in Human Psychological Development. *Development and Psychopathology*, 9 (1997) 653-677.

BARD, J.: Morphogenesis. The Cellular and Molecular Processes of Developmental Anatomy. Cambridge (UP) 1990.

BRUCE, D.: Note: On the origin of the term "neuropsychology". *Neuropsychologia*, 23 (1985) 6, 813-814.

Changeux, P.: *Der neuronale Mensch*. Reinbek (Rowohlt) 1984.

CVETKOVA, Ljubov' S (Tsvetkova): *Aphasietherapie bei örtlichen Hirnschädigungen*. Tübingen (Narr) 1982.

CVETKOVA, Ljubov' S.: *Neuropsychologie und Rehabilitation von Sprache und intellektueller Tätigkeit*. Münster (LIT) 1996.

DAMASIO, A.: *Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn*. München (List) 1996<sup>2</sup>.

DAUM, Irene; MARKOWITSCH, H.: Zur Bedeutung der Neuropsychologie für die Allgemeine Psychologie. *Psychologische Rundschau*, 49 (1998) 3, 122-131.

DAWKINS, R.: *Das egoistische Gen*. Reinbek (Rowohlt) 1994.

EDELMAN, G.M.: *Neural Darwinism. The Theory of Neuronal Group Selection*. New York (Basic Books) 1987. (dt.: Edelman, G.M.: *Unser Gehirn - Ein dynamisches System*. München (Piper) 1993.)

EDELMAN, G.M.: *Topobiology. An Introduction to Molecular Embryology*. New York (Basic Books) 1988.

EDELMAN, G.M.: *The Remembered Present. A Biological Theory of Consciousness*. New York (Basic Books) 1989.

EDELMAN, G.M.: *Bright Air, Brilliant Fire - On the Matter of the Mind*. New York (Basic Books) 1992. (dt. *Göttliche Luft – vernichtendes Feuer*. München (Piper) 1995)

EDELMAN, G.M.; TONONI, G.: *A Universe of Consciousness. How Matter Becomes Imagination*. New York (Basic Books) 2000.

- GUTMANN, W.: Die Evolution hydraulischer Konstruktionen. Organismische Wandlung statt altdarwinistischer Anpassung. Frankfurt/M. (Waldemar Kramer) 1989.
- HOFER, M.A.: The Roots of Human Behavior. An Introduction to the Psychobiology of Early Human Behavior. San Francisco (Freeman) 1981.
- HOMSKAYA, Evgenia D.: Alexander Romanovich Luria. A Scientific Biography. New York (Kluwer/Plenum) 2001.
- HONNEFELDER, L.: Was wissen wir, wenn wir das menschliche Genom kennen? Über die Herausforderungen der Humangenomforschung. *Information Philosophie*, 29 (2001) 4, 7-18.
- JANTZEN, W.: Allgemeine Behindertenpädagogik Bd. 1. Sozialwissenschaftliche und psychologische Grundlagen. Weinheim (Beltz) 1987.
- JANTZEN, W.: Allgemeine Behindertenpädagogik Bd. 2. Neurowissenschaftliche Grundlagen, Diagnostik, Pädagogik und Therapie. Weinheim (Beltz) 1990.
- JANTZEN, W.: Evolutionstheorien II: Biologische Evolutionstheorien. In: Sandkühler, H.J. (Hrsg.): Europäische Enzyklopädie zu Philosophie und Wissenschaften. 4 Bde. Hamburg (Meiner) 1990, Bd. I, 369-371.
- JANTZEN, W.: Am Anfang war der Sinn. Marburg (BdWi-Verlag) 1994.
- JANTZEN, W.: Vygotskij und das Problem der elementaren Einheit der psychischen Prozesse. In: Jantzen, W. (Hrsg.): Jeder Mensch kann lernen - Perspektiven einer kulturhistorischen (Behinderten-)Pädagogik. Neuwied, Berlin (Luchterhand) 2001, 221-243.
- JANTZEN, W.: Methodologische Grundfragen der kulturhistorischen Neuropsychologie. Vortrag bei der Tagung „Gehirn, Geschichte und Gesellschaft. Die Neuropsychologie Alexandr R. Lurijas (1902-1977)“, Universität Bremen, 6./7. Juli 2002. Erscheint im Berichtsband der Konferenz.
- JANTZEN, W.; FEUSER, G.: Die Entstehung des Sinns in der Weltgeschichte. In: Jantzen, W.: Am Anfang war der Sinn. Marburg (BdWi-Verlag) 1994, 79-113.
- LATASH, M.L. (Ed.): Bernstein's Traditions in Movement Studies. Champaign, IL (Human Kinetics) 1998.
- LATASH, M.L.; TURVEY, M.T. (Eds.): Dexterity and its Development. With "On Dexterity and Its Development" by Nikolai A. Bernstein. Mahwah, N.J. (LEA) 1996.
- LEDoux, J.: Das Netz der Gefühle. Wie Emotionen entstehen. Reinbek (Rowohlt) 1998.
- LEONT'EV, A.N.: Probleme der Entwicklung des Psychischen. Frankfurt/M. (Fischer/Athenäum) 1973.
- LEONT'EV, A.N.; ZAPOROZHETS, A.V.: Rehabilitation of Hand Function. New York (Plenum) 1960.
- LEZAK, Muriel: Neuropsychological Assessment. Third Edition. New York (Oxford UP) 1995.
- LORENZ, K.: Die Naturwissenschaft vom Menschen. Eine Einführung in die vergleichende Verhaltensforschung. Das "Russische Manuskript". München (Piper) 1992.
- LURJIA, A.R. [Luria]: Die höheren kortikalen Funktionen und ihre Störung bei örtlicher Hirnschädigung. Berlin (VdW) 1970.
- LURJIA, A.R.: Die Stellung der Psychologie unter den Sozial- und Biowissenschaften. *Sowjetwissenschaft - Gesellschaftswissenschaftliche Beiträge*, 31 (1978) 6, 640-647.
- LURJIA, A.R. [Luria]: Sprache und Bewußtsein. Köln (Pahl-Rugenstein) 1982.
- LURJIA, A.R.: Das Gehirn in Aktion. Reinbek (Rowohlt) 1992.
- MATURANA, H.: Biologie der Kognition. Braunschweig (Vieweg) 1982
- MATURANA, H.; VARELA, F.: Der Baum der Erkenntnis. Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens. München (Scherz) 1987.
- PRITCHARD, D.C.: Foundations of Developmental Genetics. London (Taylor & Francis) 1986.
- SACKS, O.: Der Mann, dessen Welt in Scherben ging. Reinbek (Rowohlt) 1987.
- SACKS, O.: Folgen von Lurijas Konzeption für eine veränderte Praxis in der Rehabilitation von Hirnschädigungen In: Jantzen, W. (Hrsg.): Die neuronalen Verstrickungen des Bewußtseins. Zur Aktualität von A. R. Lurijas Neuropsychologie. Münster (LIT) 1994, 108-124.
- SACKS, O.: Eine Anthropologin auf dem Mars. Reinbek (Rowohlt) 1995.

SIMONOV, P.V.; ASRATYAN, E.A. (Eds.): The learning brain. Moscow (MIR) 1983.

SLACK, J.M.W.: From Egg to Embryo. Regional Specification in Early Development. Cambridge (UP) 1991.

SMITH, J.M.; SZATHMÁRY, E.: The Origins of Life. From the Birth of Life to the Origins of Language. Oxford (UP) 2000.

TREVARTHEN, C.; AITKEN, K.J.: Brain Development, Infant Communication, and Empathy Disorders: Intrinsic Factors in Child Mental Health. *Development and Psychopathology*, 6 (1994) 597-633.

TURVEY, M.R.: Coordination. *American Psychologist*, 45 (1990) 8, 938-953.

VINCENT, J.D.: *Biologie des Begehrens. Wie Gefühle entstehen*. Reinbek (Rowohlt) 1990.

VYGOTSKIJ, L.S.: Die psychischen Systeme. In: Vygotskij, L.S.: *Ausgewählte Schriften Bd. 1*. Köln (Pahl-Rugenstein) 1985, 319-352.

WEINGARTEN, M.: *Organismuslehre und Evolutionstheorie*. Hamburg (Kovac) 1992.

WHITING, H.T.A. (Hrsg.): *Human Motor Action. Bernstein Reassessed*. Amsterdam (North-Holland) 1984.

WOLPERT, L.: *The Triumph of the Embryo*. Oxford (UP) 1991.

YAROSHEVSKY, M.G.: *Ivan Sechenov*. Moscow (MIR) 1986.