

Gerald Hüther

Selbstorganisierte Strukturierung und nutzungsbedingte Modifikation neuronaler Verschaltungsmuster – Implikationen für die Psychotherapie

Zusammenfassung: *Psychosoziale Konflikte sind die wichtigsten Auslöser emotionaler Reaktionen. Die damit einhergehende neuroendokrine Stressreaktion führt im Fall kontrollierbarer Probleme („Herausforderungen“) zur Stabilisierung und Bahnung der individuell zur Bewältigung eingesetzten Strategien und der dabei aktivierten neuronalen Verschaltungen. Individuell als unkontrollierbar empfundene Probleme („Bedrohungen“) bewirken wesentlich tiefgreifendere und länger anhaltende emotionale Aktivierungsprozesse, die zur Destabilisierung der bereits entstandenen, zur Problemlösung jedoch ungeeigneten assoziativen Verschaltungen führen. Die Bedeutung derartiger, stress-mediierter Stabilisierungs- bzw. Destabilisierungsprozesse für die adaptive, erfahrungs-abhängige Anpassung verhaltenssteuernder neuronaler Netzwerke wird in diesem Beitrag herausgearbeitet und die möglichen Entgleisungen dieses Anpassungsprozesses werden beschrieben.*

Schlüsselwörter: *Anpassung, Emotionen, Neuroplastizität, Selbstorganisation, Stress*

Abstract: **Self-organized structuring and use-related modification of neuronal wiring patterns — Implications for psychotherapy.** *Psychosocial conflict is the major cause of emotional arousal and the activation of the neuroendocrine stress response. The higher associative brain structures are not only the sites in which psychosocial demands are recognized and from which a less or more systemic, i.e. controllable or uncontrollable stress response is initiated. They are also the sites which are structurally modified in the course of this response. Controllable stress leads to the stabilization and facilitation if those neuronal pathways and synaptic connections which are activated in the coping process, uncontrollable stress favours the destabilization of established associative networks as a prerequisite for their subsequent reorganization. The stress response acts therefore as a trigger for the adaptive, experience-dependent adjustment of neuronal connectivity to the actual, i.e. individually perceived, demands of the external, psychosocial world.*

Keywords: *adaptation, dependent plasticity, emotion, experience, self-organization, stress*

Die prinzipielle Anpassungsfähigkeit lebender Systeme

Die Offenheit aller lebenden Systeme macht ihre innere Ordnung störanfällig für Änderungen ihrer Außenwelt. Solche Veränderungen führen jedoch normalerweise nicht zu chaotischen Störungen ihrer bisher entwickelten inneren Struktur und Organisation. Jedes lebende System verfügt über eine Reihe von Mechanismen, die dazu beitragen, Veränderungen der Außenwelt abzapfen, abzuschwächen oder auszuweichen und die in Abhängigkeit von der Häufigkeit ihrer Nutzung immer besser ausgebaut und fortentwickelt werden. Anschauliche Beispiele derartiger adaptiver Modifikationen phänotypischer Merkmale finden sich auf der Ebene körperlicher Merkmale (Änderungen der Schwanzlänge bei Mäusen bei veränderter

Außentemperatur, verstärkte Keratinisierung der Haut bei erhöhter Beanspruchung etc.) wie auch auf der Ebene psychischer Reaktionen (Verdrängung, Abschirmung, selektive Aufmerksamkeit etc.). Zu derartigen adaptiven Modifikationen kommt es immer dann, wenn die Störung der Außenwelt und damit das Ausmaß der im System erzeugten Unordnung nicht zur Destabilisierung des Systems führt und geeignete Reaktionen zur Beseitigung der Störung angelegt sind und aktiviert werden können, wenn es sich also für das betreffende System um eine kontrollierbare Belastung handelt. Die zwangsläufige Konsequenz wiederholter, kontrollierbarer Belastungen ist die Bahnung, der Ausbau, die schrittweise Verbesserung der Effizienz der zur Beseitigung der Störung (des Stressors) benutzten Mechanismen. Sie führt im Falle wiederholter gleichartiger kontrollierbarer Belastungen zur Herausbildung ganz bestimmter

Spezialisierungen und endet damit, dass die betreffende Störung schließlich durch eine zur Routine gewordene Reaktion abgefangen und unwirksam gemacht werden kann.

Der Ausbau von Mechanismen, die besonders geeignet sind, eine ganz bestimmte Art von Störungen der inneren Ordnung eines lebenden Systems aus der Außenwelt zu unterdrücken, hat zur Folge, daß das betreffende System gegenüber andersartigen, bisher selten aufgetretenen Störungen anfällig wird, anfälliger als ein System, das im Verlaufe seiner bisherigen Entwicklung einer Vielzahl verschiedenartiger kontrollierbarer Belastungen ausgesetzt war. Die zunehmende Spezialisierung eines Systems auf die Beseitigung ganz bestimmter Störungen schränkt zwangsläufig seine Fähigkeit ein, adäquat auf andere, bisher seltener aufgetretene Veränderungen seiner Außenwelt zu reagieren. Wenn sie eintreten, kommt es zu einer wesentlich tiefgreifenderen Störung der inneren Ordnung des Systems, die nun nur noch durch die Aktivierung unspezifischer „Notfall“-Reaktionen für eine gewisse Zeit aufrechterhalten werden kann. Kann keine geeignete Abwehrstrategie aktiviert werden, bleibt die Störung also unkontrollierbar, so kommt es zu einer zunehmenden Destabilisierung des Systems und der bisher von diesem System entwickelten Spezialisierungen. Diese Destabilisierung kann die notwendige Voraussetzung für eine Neuorganisation seiner inneren Ordnung schaffen, sie kann aber auch zum Untergang und Zerfall des Systems führen.

Offenbar handelt es sich hierbei um ein generelles Entwicklungsprinzip, das beschreibt, auf welche Weise die immer wieder auftretenden (und zumeist von einem lebenden System selbst erzeugten) Veränderungen der äußeren Bedingungen zu entsprechenden Veränderungen der inneren Struktur und Organisation lebender Systeme führen. Es gilt als Prinzip für jedes lebende System gleichgültig, ob es sich hierbei um eine Zelle, einen Organismus, eine Population oder eine Gesellschaft handelt. Jedes System produziert bei einer Störung seiner inneren Ordnung ein charakteristisches Muster von Signalen, das gewissermaßen eine physikalische, chemische oder sprachliche Kodierung von Art und Ausmaß der Störung darstellt. Diese zuerst von bestimmten Teilbereichen des Systems generierten, allgemeinverständlichen Signale breiten sich innerhalb des Systems aus und lösen in anderen Subsystemen ihrerseits charakteristische Veränderungen der inneren Ordnung aus. Art und Ausmaß dieser, nunmehr Signal-kodierten Veränderungen sind jedoch eindeutiger definiert und lösen spezifische Antworten aus, die im Falle kontrollierbarer Störungen zur Festigung, im Falle unkontrollierbarer Störungen zur Destabilisierung der in einzelnen Bereichen des Gesamtsystems bisher etablierten inneren Struktur und Organisation führen.

Auf der Ebene einzelner Zellen kommt es immer dann zu nachhaltigen adaptiven Veränderungen der bisherigen inneren Organisation, bestimmter zellulärer Funktionen und der diese Funktionen stützenden Strukturen, wenn die Zelle durch einen äußeren Reiz gewissermaßen im Innersten, also im Zellkern getroffen und bei der

dort stattfindenden Abschreibung von Gensequenzen gestört wird. „Induction of early immediate genes“ nennen die Molekularbiologen diesen Vorgang, der dazu führt, dass bei einer Belastung zunächst bestimmte „Notfallgene“ vermehrt kopiert und zum Aufbau von „Notfallproteinen“ (z. B. „heat shock protein“) benutzt werden. Diese Genprodukte wirken ihrerseits wieder als Regulatoren der Genexpression, und bewirken eine vermehrte Bildung bestimmter Struktur- und Enzymproteine, die zur Abwehr der eingetretenen Bedrohung geeignet sind, aber meist mit grundlegenden Veränderungen der bisherigen Struktur und Funktion der betreffenden Zelle einhergehen. Die Zelle hat sich dann an die aufgetretene (und weiter fortbestehende) Störung strukturell und funktionell angepasst.

Auf der Ebene des Gehirns sind es die sogenannten emotionalen Zentren, die hinreichend erschüttert, also aktiviert werden müssen, damit es zu adaptiven Veränderungen der das bisherige Denken, Fühlen und Handeln eines Menschen bestimmende neuronalen und synaptischen Verschaltungsmuster in den autogenetisch jüngeren, z. B. kortikalen Hirnbereichen kommen kann.

Paradigmenwechsel in der Hirnforschung

Erst seit wenigen Jahren haben die Hirnforscher¹ damit begonnen, die Verschaltungen zwischen den für die Entstehung emotionaler Erregungen zuständigen neuronalen Netzwerken in den ontogenetisch und phylogenetisch älteren limbischen Hirnregionen und den für kognitive Verarbeitungsprozesse zuständigen neocortikalen Netzwerken genauer zu untersuchen. Dabei sind sie auf intensive reziproke Verschaltungen zwischen den limbischen Gebieten (cingulärer Cortex, Hypothalamus, Hippocampus und Amygdala) und einer Vielzahl anderer Hirnstrukturen (im Hirnstamm, im Striatum, im paralimbischen und neocortikalen Regionen) gestoßen (Carmichael & Price, 1995; Pandya & Yeterian, 1996). In Tierversuchen konnte gezeigt werden, dass diese komplexen Verschaltungen entscheidend an der Regulation motivationaler, affektiver und emotionaler Reaktion beteiligt sind (Rolls, 1990; Dias et al., 1996). Sie bilden offenbar auch beim Menschen das neurobiologische Substrat, das für die Integration äußerer und innerer Zustandsbilder verantwortlich ist und die gleichzeitige sensorische, kognitive und autonome Verarbeitung und Verankerung emotionaler Erfahrungen ermöglicht (Tucker et al., 1995; Damasio, 1996).

Auf der Grundlage dieser Erkenntnisse wird die Informationsverarbeitung im ZNS heute als ein gleichzeitig seriell und parallel ablaufender Prozess der Aktivierung bzw. Hemmung multifokaler, eng miteinander verschalteter neuronaler Netzwerke verstanden. Jedes dieser Netzwerke besitzt strukturell festgelegte Verschaltungsmuster mit anderen Netzwerken, die im Verlauf der

¹ Mit der Verwendung der Worte wie z. B. „Hirnforscher“, „Biologen“, etc. sind Personen beiderlei Geschlechts gemeint.

Individualentwicklung herausgebildet und zeitlebens durch die Art ihrer Nutzung umgeformt und überformt werden („experience-dependent plasticity“). Die Aktivität und die Effizienz der in verschiedenen Bereichen des ZNS operierenden, lokalen Netzwerke wird durch „überregionale“ Systeme mit weitreichenden und z.T. überlappenden Projektionen beeinflusst und aufeinander abgestimmt („harmonisiert“, vgl. Übersicht in Mesulam, 1990; Spooont, 1992). Diese Systeme unterscheiden sich – aufgrund der unterschiedlichen Reichweite ihrer Projektionen – durch das Ausmaß der von ihnen erzeugten „globalisierenden“ Wirkungen sowie – aufgrund der unterschiedlichen Wirkungen der von ihnen benutzten Signalstoffe (Azetylcholin, Catecholamine, Histidin, Peptide, Serotonin) – auch hinsichtlich der von ihnen jeweils ausgelösten Effekte. Manche dieser überregionalen, harmonisierenden Transmittersysteme sind tagsüber ständig aktiv und kaum durch äußere Faktoren beeinflussbar (z. B. serotonerges System, vgl. Übersichten in Jacobs & Fornal, 1991; Jacobs & Azmitia, 1992). Andere werden erst mit der Wahrnehmung neuartiger Reize aktiviert (noradrenerges System, vgl. Übersichten in Moore & Bloom, 1979; Cole & Robbins, 1992).

Neben ihrer Funktion als Modulatoren der in weit auseinander liegenden lokalen Netzwerken generierten neuronalen Aktivität haben diese großen, globalen Transmittersysteme eine weitere trophische, stabilisierende Funktion: Die in den distalen Projektionsgebieten ausgeschütteten Transmitter stimulieren die Produktion und Freisetzung von Wachstumsfaktoren durch benachbarte Astrocyten und nachgeschaltete Nervenzellen und tragen in jeweils charakteristischer Weise zur Stabilisierung bzw. Bahnung der in den und zwischen den lokalen Netzwerken angelegten synaptischen Verschaltungen bei. Die Ausreifung und Ausformung dieser globalisierenden Transmittersysteme ist in besonderem Maße während der frühkindlichen Entwicklung, aber wohl auch noch im erwachsenen Hirn durch verschiedene Faktoren beeinflussbar (psychosoziale Belastungen, Psychopharmaka, vgl. Hüther, 1998; Wegerer et al., 1999).

Diese Vorstellungen über die Bedeutung von Gefühlen und individuellen Bewertungen auf zentralnervöse Verarbeitungsprozesse sowie über die Rolle globalisierender Transmittersysteme für die integrative Regulation der in regionalen Netzwerken generierten neuronalen Aktivitäten markieren ein neues Denken, das sich innerhalb der neurobiologisch orientierten Psychiatrie auszubreiten beginnt. Wer die neurobiologische Forschung der letzten Jahre aufmerksam und kritisch verfolgt hat, wird festgestellt haben, dass sich in diesem Bereich eine Wandlung vollzieht, etwas, das von Karl Jaspers „Achsenzeit“ und von Thomas Kuhn „Paradigmenwechsel“ genannt worden ist. Alte, bisher für richtig gehaltene, bisweilen sogar als Dogma vertretene und von anderen Disziplinen übernommene und dort zu Theoriebildung benutzte Ansichten, beginnen allmählich aufzuweichen:

- Jahrzehntlang war man davon ausgegangen, dass die während der Hirnentwicklung ausgebildeten, neuronalen Verschaltungen

und synaptischen Verbindungen unveränderlich seien. Heute weiß man, dass das Gehirn zeitlebens zur adaptiven Modifikation und Reorganisation seiner einmal angelegten Verschaltungen befähigt ist.

- Fast ebenso lange wurden die Gliazellen, insbesondere die Astrozyten als eine passive Kitt- und Hüllsubstanz für die Neurone betrachtet. Inzwischen hat sich herausgestellt, dass diese Astrozyten nicht nur weitaus zahlreicher sind als die Neurone, sondern dass sie in entscheidender Weise an der Regulation des Wirkungsraumes und des Wirkungsradius von Nervenzellen beteiligt sind, dass sie miteinander und mit den benachbarten Nervenzellen in engster Weise kommunizieren, dass plastische Umbauprozesse im ZNS wesentlich durch astrozytäre Wachstumsfaktoren und astrozytäre Veränderungen des „Mikroenvironments“ benachbarter Nervenzellen gesteuert werden.

- Noch bis vor wenigen Jahren war man der Ansicht, dass Nervenzellen für die synaptische Erregungsübertragung nur einen einzigen, ganz bestimmten Transmitter benutzen. Heute weiß man, dass in den präsynaptischen Vesikeln ein ganzer Cocktail unterschiedlichster Signalstoffe bereitgehalten und bei elektrischer Stimulation ausgeschüttet wird.

- Lange Zeit glaubte man, dass die von den Axonterminalen einer Nervenzelle bei elektrischer Stimulation freigesetzten Substanzen lediglich der synaptischen Signalübertragung dienen. Inzwischen ist auch diese Vorstellung längst überholt. Die einst ausschließlich als Neurotransmitter angesehenen und deshalb so bezeichneten Substanzen dienen eben nicht nur der chemischen Signalübertragung, sondern wirken in einem viel umfassenderen Sinn als Neuromodulatoren, als trophische Signalstoffe, als Gewebshormone, als Stabilisatoren und Organisatoren neuronaler Netzwerke sowie als Regulatoren der Genexpression sowie des Ionen- und Energiehaushaltes von Nerven-, Glia- und Endothelzellen im ZNS.

- Jahrzehntlang ging man davon aus, dass Nervenzellen für die Erregungsweiterleitung nur die typischen in den Lehrbüchern abgebildeten Synapsen verwenden. Heute wissen wir, dass bestimmte Nervenzellen, unter anderem auch die serotonergen Neurone der Raphe-Kerne, eine Unmenge freier Nervenendigungen, sog. Parasyapsen besitzen, die ihren Botenstoff einfach so, wie ein Hormon in den extrazellulären Raum ausschütten, wo dieser mit unterschiedlichsten Rezeptoren benachbarter Nerven- und vor allem auch Gliazellen interagiert.

- Vor Jahren konnte sich noch kein Hirnforscher vorstellen, dass psychosoziale Einflüsse in der Lage wären, die Struktur des Gehirns in irgendeiner Weise zu verändern. Heute sind die meisten von ihnen davon überzeugt, dass die im Lauf des Lebens gemachten Erfahrungen strukturell im Gehirn verankert werden.

- War man bisher stillschweigend davon ausgegangen, dass der Mensch sein großes Gehirn zum Denken besitzt, so haben Forschungsergebnisse der letzten Jahre nicht nur deutlich gemacht, dass das Gehirn auch einen Körper hat, ihn braucht und von ihm abhängt, sondern dass der Bau und die Funktion des menschlichen

Gehirns in besonderer Weise für Aufgaben optimiert sind, die wir unter dem Begriff „soziale Interaktionsfähigkeit“ zusammenfassen. Unser Gehirn ist demnach weniger ein Denk- als vielmehr ein Sozialorgan.

- Fast ein ganzes Jahrhundert lang wurde heftig darüber gestritten, ob das Denken, Fühlen und Handeln des Menschen stärker von angeborenen Verhaltensprogrammen oder von den im Lauf des Lebens gemachten Erfahrungen bestimmt wird, ob psychosozialen und psychodynamischen Aspekten eine entscheidendere Bedeutung für die Herausbildung bestimmter Persönlichkeitsmerkmale wie auch für die Entstehung psychischer Störungen zukommt als den sogenannten biologischen Aspekten, ob für die Manifestation psychischer Auffälligkeiten eher genetische oder aber vor allem epigenetische Faktoren verantwortlich zu machen sind. Heute setzt sich auf Seiten der Verfechter der psychischen und psychosozialen Determiniertheit menschlichen Verhaltens allmählich die Einsicht durch, dass das Fühlen, Denken und Handeln des Menschen eine materielle, d. h. neurobiologische Grundlage hat. Andererseits müssen die Anhänger der biologischen Determiniertheit psychischer Erscheinungen inzwischen eingestehen, dass sowohl für die Stabilisierung der genetischen Anlagen innerhalb der Population wie auch für die Herausbildung bestimmter neuronaler bzw. synaptischer Verschaltungsmuster die intrapsychische Verarbeitung psychosozialer Erfahrungen zumindest beim Menschen von erheblicher Bedeutung ist.

Viele dieser neuen, in ihren Auswirkungen auf andere, anwendungsbezogene Bereiche der Neurowissenschaften kaum abschätzbaren Erkenntnisse der neuro- und psychobiologischen Grundlagenforschung des ausklingenden 20. Jahrhunderts sind mit der Flut wissenschaftlicher Publikationen an Psychiatern, Neuropharmakologen, Psychologen und Psychotherapeuten bis heute weitgehend unbemerkt vorübergerauscht. „Experience-dependent plasticity“, „long-term potentiation“, „trophic factors“, „parasympaptic“ oder „volume transmission“, oder gar so etwas wie „the social construction of the human brain“ sind im Sprachgebrauch der potentiellen Nutzer dieser Erkenntnisse noch immer Fremdworte geblieben.

Besonders deutlich lässt sich dieser, in der neurologisch-psychiatrischen Grundlagenforschung seit einigen Jahren stattfindende Paradigmenwechsel am Beispiel der Auswirkungen psychischer Belastungen auf das Gehirn illustrieren.

Nutzungsabhängige Plastizität und die neurobiologische Verankerung psychosozialer Erfahrungen.

Bahnbrechend für das Verständnis nutzungsabhängiger Umbauprozesse im ZNS waren die Untersuchungen der Arbeitsgruppe von Merzenich zur Reorganisation somatosensorischer kortikaler Areale nach, z. B., Extremitätenamputationen (Merzenich et al., 1983). Mit

dem erweiterten Einsatz funktioneller bildgebender Verfahren ist in den letzten Jahren deutlich geworden, dass die mit spezifischen Nutzungsmustern einhergehende häufige Aktivierung bestimmter neuronaler Verschaltungen und regionaler Netzwerke zu entsprechenden neuroplastischen Anpassungen führen, die sich als veränderte Aktivierungsmuster in spezifischen Hirnarealen nachweisen lassen. Diese Veränderungen sind um so deutlicher ausgeprägt, je früher ein bestimmtes Nutzungsmuster während der Kindheit etabliert worden ist und über je längere Zeiträume es regelmäßig aktiviert wurde (Hüther, 1998). Die dafür verantwortlichen Bahnungsprozesse beruhen auf einer Verbesserung der Effizienz der synaptischen Signalübertragungen in besonders früh und besonders häufig aktivierten synaptischen Verschaltungen innerhalb bestimmter neuronaler Netzwerke. Diese nutzungsabhängige synaptische Plastizität findet – je nach Häufigkeit und Intensität der Aktivierung – auf drei Ebenen und in drei Phasen statt: Zunächst kommt es lediglich zu biochemischen Veränderungen der synaptischen Effizienz durch Änderungen spezifischer Rezeptoreigenschaften oder der Expression einzelner Rezeptoren, Enzyme und anderer, an der Bereitstellung, der Ausschüttung oder der Wiederaufnahme bestimmter Neurotransmitter beteiligter oder in die postsynaptische Signaltransduktion involvierter Proteine. In einem zweiten Schritt erfolgt eine strukturelle Anpassung auf der Ebene einzelner Synapsen, die dann durch entsprechende adaptive Modifikationen komplexer neuronaler Verschaltungsmuster weiter stabilisiert werden.

Einmal entstandene und stabilisierte Verschaltungsmuster und die daraus resultierenden, mit funktionellen bildgebenden Verfahren nachweisbaren, charakteristischen regionalen Aktivierungsmuster bleiben so lange erhalten, wie sich an den bisherigen Nutzungsbedingungen nichts Grundlegendes ändert. Das gilt auch oder ganz besonders für all jene hochkomplexen Verschaltungsmuster, die das Denken, Fühlen und Handeln eines Menschen bestimmen. „Ohne Not verändert sich nichts, am wenigsten die menschliche Persönlichkeit. Sie ist ungeheuer konservativ, um nicht zu sagen inert. Nur scharfe Not vermag sie aufzujagen. So gehorcht auch die Entwicklung der Persönlichkeit keinem Wunsch, keinem Befehl und keiner Einsicht, sondern nur der Not; sie bedarf des motivierenden Zwanges innerer und äußerer Schicksale“ (Jung, 1932).

Der wohl mit Abstand wichtigste Trigger für die adaptive Modifikation und Reorganisation einmal entstandener neuronaler und synaptischer, das Denken, Fühlen und Handeln eines Menschen bestimmender Verschaltungsmuster ist die mit der Aktivierung emotionaler Zentren einhergehende neuroendokrine Stressreaktion (Hüther, 1996). Immer dann, wenn eine Person mit einer Aufgabe konfrontiert wird, die sich nicht „routinemäßig“ durch Abruf bereits bewährter und etablierter Verschaltungs- und Reaktionsmuster lösen lässt, kommt es zur Aktivierung subkortikaler, limbischer Hirnregionen (Amygdala), die auf katecholaminerge Kerngebiete im Mittelhirn und im Hirnstamm (Locus coeruleus) sowie auf peptiderge Kerngebiete im Hypothalamus (Nucleus paraventricularis) übergreift

(Dolan, 2000; LeDoux, 2000). Die im Verlauf dieser sich ausbreitenden unspezifischen Aktivierung vermehrt ausgeschütteten Signalstoffe (z. B. Noradrenalin, Dopamin, Corticotropin-Releasing-Hormon, Vasopressin, Beta-Endorphin, Kortisol) haben z. T. sehr nachhaltige und tiefgreifende Effekte auf die an der synaptischen Signalübertragung beteiligten Komponenten. Wenn die Störung des emotionalen Gleichgewichtes und die damit einhergehende Aktivierung stress-sensitiver Systeme durch eine geeignete Antwort (Bewältigungsstrategie) abgestellt werden kann, so kommt es unter dem Einfluss der im Zuge dieser Reaktion vermehrt ausgeschütteten Hormone, Transmitter und Modulatoren zur Bahnung der zur Wiederherstellung des emotionalen Gleichgewichtes erfolgreich eingesetzten neuronalen und synaptischen Verschaltungen (Hüther et al., 1999, 2000). Diese, mit der Aktivierung emotionaler Zentren einhergehenden Bahnungsprozesse sind weitaus tiefgreifender und nachhaltiger als die normalerweise stattfindenden nutzungsabhängigen Bahnungen. Sie werden rascher und effektiver strukturell verankert und sind später nur schwer durch neue Erfahrungen wieder auflösbar („emotionales Gedächtnis“). Die mit Abstand häufigste Ursache für Erschütterungen des emotionalen Gleichgewichtes beim Menschen sind psychosozialer Natur. Aus diesem Grund wird der Erfahrungsschatz eines Menschen im Wesentlichen durch die im Zusammenleben mit anderen Menschen gemachten (positiven wie negativen) Erfahrungen bestimmt.

Fehlerhafte Anpassungsprozesse

Die Aneignung neuer Bewertungs- und Bewältigungsstrategien und grundlegende Veränderungen im Denken, Fühlen und Handeln werden durch die vorangehende Destabilisierung und Auslöschung unbrauchbar gewordener Muster erst ermöglicht. Es ist in diesem Zusammenhang bezeichnend, dass vor allem Umbruchphasen wie die Pubertät, die zu psychosozialen Neuorientierungen zwingen, besonders häufig mit langanhaltenden, unkontrollierbaren psychischen Belastungen einhergehen. Damit tragen beide Arten von Stressreaktionen, also die kontrollierbaren Herausforderungen wie auch die unkontrollierbaren Belastungen, in jeweils spezifischer Art und Weise, zur Strukturierung des Gehirns, d. h. zur Selbstorganisation neuronaler Verschaltungsmuster im Rahmen der jeweils vorgefundenen äußeren, psychosozialen Bedingungen bei: Herausforderungen stimulieren die Spezialisierung und verbessern die Effizienz bereits bestehender Verschaltungen. Sie sind damit wesentlich an der Weiterentwicklung und Ausprägung bestimmter Persönlichkeitsmerkmale beteiligt. Schwere, unkontrollierbare Belastungen ermöglichen durch die Destabilisierung einmal entwickelter, aber unbrauchbar gewordener Verschaltungen die Neuorientierung und Reorganisation von bisherigen Verhaltensmustern.

Die von unkontrollierbaren Belastungen getriggerten langanhaltenden neuroendokrinen Reaktionen können offenbar über die von

ihnen ausgelöste Destabilisierung neuronaler Verschaltungsmuster in limbischen und kortikalen Hirnregionen zu u. U. sehr grundsätzlichen Veränderungen des Denkens, Fühlens und Handelns einer Person führen. Das Ersetzen eines alten, unter dem Einfluss bisheriger Anforderungen stabilisierten assoziativen Verschaltungsmusters durch ein neues kann dazu führen, dass bisher unkontrollierbare psychosoziale Konflikte kontrollierbar werden. Ein derartiger Reorganisationsprozess ist jedoch immer mit dem Risiko der Entgleisung und des unkompensierbaren Verlustes bestimmter Fähigkeiten im Bereich des Denkens, Fühlens oder Handelns behaftet (Hüther et al., 1996).

Nicht immer kann diese Chance genutzt werden, und nicht zwangsläufig erweisen sich die dabei entstandenen Anpassungen langfristig als biologisch sinnvoll. Bisweilen sind die Belastungen ganz einfach viel zu stark und führen zu einer so tiefgreifenden Destabilisierung der inneren Organisation, dass kaum noch Möglichkeiten für eine nachfolgende Reorganisation verbleiben. Auf der Ebene von Ökosystemen sind solche (meist durch menschliches Eingreifen verursachten) Destabilisierungsprozesse besonders augenfällig. Ärzte beobachten sie vor allem bei solchen Menschen, die im Laufe ihres Lebens nur sehr selten das Gefühl erlebt haben, eine Herausforderung so zu meistern, dass sie mit dem Resultat zufrieden sind, sei es, weil die Ansprüche, die sie an sich selbst stellen, oder die Erwartungen, die andere an sie richten, viel zu groß, oder weil die Belastungen, die sie durchzustehen haben, einfach unbewältigbar sind. Sie sind nicht in der Lage, das für ihre Stabilität erforderliche Ausmaß an innerer Ordnung im Bereich ihres Denkens, Fühlens und Handelns zu entwickeln. Sie bleiben in dieser Hinsicht labil und wenig strukturiert und anfällig für Belastungen, die von anderen Menschen routiniert verarbeitet und daher kaum noch wahrgenommen werden. Die Gefahr der Entgleisung dieses stressmedierten Destabilisierungsprozesses durch die im Zuge unkontrollierbarer Belastungen ablaufenden neuroendokrinen Aktivierungsprozesse ist bei solchen Menschen besonders groß. Häufig kommt es zu Entgleisungen auf der Ebene somatischer Regelmechanismen. Bei denjenigen, die weniger somatisch reagieren, ist eine Entgleisung auf psychischer Ebene wahrscheinlicher und die Art ihrer Manifestation vielgestaltig. Sie reicht von Schlafstörungen über Depressionen, Angsterkrankungen und Essstörungen bis hin zu Suchterkrankungen.

Das andere, genau entgegengesetzte Extrem fehlerhafter Anpassungsprozesse lässt sich besonders bei solchen Personen beobachten, denen es bisher besonders gut gelungen ist, Störungen ihrer inneren Ordnung, die als Angst und Bedrohung erlebt werden, mit Hilfe ganz bestimmter Strategien immer wieder „erfolgreich“ zu bewältigen. Um den Einklang zwischen sich und der ihn umgebenden Welt herzustellen, kann ein Mensch versuchen, nicht mehr so viel an störenden Einflüssen aus dieser Welt wahrzunehmen. Dazu muss er sich stärker verschließen, sich abwenden und unsensibler gegenüber allem werden, was auf ihn einstürzt und was er

zu bewältigen außerstande ist. Er wird so in sich gekehrt, der Welt zunehmend fremd und gerät in Gefahr, das zu verlieren, was er für sein Überleben ebenfalls braucht: Stimulation aus einer sich immer wieder verändernden Außenwelt, damit die Regelmechanismen zur Aufrechterhaltung seiner inneren Ordnung nicht verkümmern. Er kann auch versuchen, diese ihn störenden und ihn in ihrer Veränderlichkeit immer wieder bedrohenden Einflüsse aus seiner ihn umgebenden Welt unter Kontrolle zu bringen. Dazu muss er diese seine Welt – und das sind immer die anderen Menschen, die ihn durch ihre Aktivitäten, ihre Wünsche, Forderungen und Wirkungen bedrohen – zu beherrschen suchen. Er muss Macht ausüben, die Anderen zwingen oder sie mit subtileren Mitteln dazu zu bringen, sich so zu verhalten wie es ihm gefällt. Er wird so hart und rücksichtslos, unsensibel und gerät ebenfalls in Gefahr, in der von ihm nach seinen Maßstäben geschaffenen Welt das zu verlieren, was er für sein Überleben braucht: Stimulation aus einer sich immer auf Neue verändernden Außenwelt, damit die Regelmechanismen zur Aufrechterhaltung seiner inneren Ordnung nicht verkümmern.

Leider führen Stress-medierte zentralnervöse Anpassungsprozesse allzu oft zur Stabilisierung und Bahnung, und damit zur zunehmenden Verfestigung von Vorstellungen und Überzeugungen, die falsch sind. Wenn bestimmte Herausforderungen sehr häufig auftreten, werden die zu ihrer Bewältigung entwickelten und deshalb immer wieder eingeschlagenen Strategien für allgemeingültiger gehalten, als sie das in Wirklichkeit sind. Im Ergebnis dieser Bahnungsprozesse kann es zu einer Vielzahl "erfolgsgebannter psychischer Erblindungsphänomene" kommen, die sich schließlich sogar als psychische Abhängigkeiten von eben diesen, immer wieder eingeschlagenen Strategien des Denkens, Fühlens und Handelns manifestieren. Es ist bemerkenswert, dass wir im deutschen (im Gegensatz zum englischen) Sprachgebrauch für all diese, bis zur Abhängigkeit gebahnten Bewältigungsstrategien den Ausdruck „Sucht“ verwenden (Machtsucht, Karrieresucht, Prunksucht, Gelungssucht, Vergnügungssucht etc.).

Bei all diesen Bahnungsprozessen handelt es sich um spezifische Anpassungsleistungen, die dem eingangs beschriebenen, allgemeinen Entwicklungsprinzip lebender Systeme folgen. Immer sind es spezifische Störungen der bisherigen Beziehungen und Beziehungsmuster einzelner Teilbereiche und Komponenten eines lebenden Systems, die eine adaptive Gegenregulation des Systems auslösen. Auch hierbei werden zunächst nur neue, zur Restabilisierung des Gesamtsystems geeignete Beziehungen und Beziehungsmuster einzelner Teilsysteme (neuronale und synaptische Verschaltungsmuster) aktiviert. Diese Beziehungen werden nachfolgend – in Abhängigkeit von der Häufigkeit ihrer Nutzung – gebahnt, gefestigt und schließlich auch strukturell verankert. Deshalb ergeht es auch einer ganzen Gesellschaft nicht viel anders als einem einzelnen Menschen, dem es im Lauf seines Lebens immer wieder gelungen ist, die unterschiedlichsten Probleme mit ein und derselben Verhaltensstrategie zu meistern: Auch sie verliert zunehmend

an Flexibilität und Kreativität, auch sie wird immer unsensibler für all das, was sie bei der Verfolgung ihrer bisherigen Erfolgsstrategie stört. Auch sie zerbricht schließlich an ihrer eigenen Starrheit, wenn sie sich als unfähig erweist, eingefahrene Bahnen zu verlassen und nach neuen, geeigneteren Lösungen zu suchen, um neuartige Anforderungen zu bewältigen. Der Einzelne muss die neuronalen Verschaltungen in seinem Gehirn reorganisieren, die sein Denken, Fühlen und Handeln bestimmen. Die Gesellschaft muss die inneren Strukturen reorganisieren, die das Denken, Fühlen und Handeln ihrer Mitglieder bestimmen.

Diese inneren Strukturen sind eigentlich nicht allzu schwer zu durchschauen:

Zuunterst und tief verankert liegen die während der Kindheit vorgefundenen und übernommenen Werte und Überzeugungen mit all den mehr oder weniger deutlichen Spuren im Denken und Fühlen, die Elternhaus und Schule zurückgelassen haben, mit den von Altersgenossen von Erwachsenen und den Medien übernommenen Vorstellungen davon, worauf es im Leben ankommt. Auf dieses Fundament werden alle weiteren Erfahrungen gepackt, die ein heranwachsender Mensch in der Auseinandersetzung mit der ihm übergebenen Welt machen kann, während der Ausbildung und im Berufsleben. Eingebaut wird all das, was brauchbar ist und sich bewährt, also das, was ihm hilft, Sicherheit und innere Stabilität zu finden.

Die geeignetste Strategie, der effektivste Weg zum Erreichen dieser inneren Stabilität und Sicherheit, so lautet die gegenwärtig wohl wichtigste und deshalb am lautesten propagierte Lebenserfahrung der meisten Menschen in unserem Land, ist die Schaffung psychischer und materieller Unabhängigkeit, also die Aneignung von Macht und Reichtum, oder – wenn das nicht geht – von entsprechenden Statussymbolen. Das, so scheint es, ist inzwischen der wichtigste Kitt geworden, der die wesentlichen Strukturen unserer Gesellschaft noch einigermaßen zusammenhält.

Nur wenigen gelingt es heutzutage noch, einen anderen, zweiten Weg für sich zu erschließen, der ebenfalls geeignet ist, mit der individuellen Angst umzugehen und ein Gefühl von Sicherheit zu schaffen: Die Aneignung von Wissen und Kompetenz. Diese Strategie verliert jedoch zwangsläufig an Wert in einer Gesellschaft, die das Wissen jedes Einzelnen in einer Informationsflut erstickt und individuelle Fähigkeiten und Fertigkeiten durch computergesteuerte Maschinen ersetzt, die immer mehr Menschen mit ihren Erfahrungen und ihren Kompetenzen arbeitslos herumsitzen lässt.

Schließlich gibt es noch einen dritten Weg, den ein Mensch einschlagen kann, um in seinem Leben Geborgenheit und Sicherheit zu finden. Bezeichnenderweise ist dieser Weg aufgrund der in unserer Gesellschaft vorherrschenden Strukturen fast schon in Vergessenheit geraten. Bewusst wird er nur noch von wenigen Menschen, und was noch fataler ist, nur noch von sehr wenigen Menschen in einflussreichen Positionen beschritten. Es ist der Weg der sozialen Bindung, der Verankerung des Einzelnen in der Gemeinschaft. Er kann

nur von denjenigen gefunden werden, die im Lauf ihres Lebens die Erfahrung gemacht haben, dass sie selbst nur ein Teil eines größeren Ganzen sind, und dass sie als solches nur Sicherheit finden können, indem sie dazu beitragen, den Zusammenhalt innerhalb dieser Gemeinschaft zu festigen. Nur wenn diese soziale Verankerung eines Menschen breit genug ist und wenn die betreffende Person über ein umfangreiches Wissen und vielseitige Kompetenz verfügt, kann sich das herausbilden, was eine Gesellschaft tatsächlich zusammenhält: Die Fähigkeit zur Wahrnehmung von sozialer Verantwortung.

Literatur:

- Carmichael, S. T. & Price, J. L. (1995). Limbic connections of the orbital and medial prefrontal cortex in macaque monkeys. *Journal of Comparative Neurology*, 363, 615–641.
- Cole, B. J. & Robbins, T. W. (1992). Forebrain norepinephrine: Role in controlled information processing in the rat. *Neuropsychopharmacology*, 7, 129–141.
- Damasio, A. R. (1996). The somatic marker hypothesis and the possible functions of the prefrontal cortex. *Philosophical Transactions of the Royal Society London, Series B: Biological Sciences*, 351, 1413–1420.
- Dias, R., Robbins, T. W. & Roberts, A. C. (1996). Dissociation in prefrontal cortex of affective and attentional shifts. *Nature*, 380, 69–72.
- Dolan, R. J. (2000). Emotional processing in the human brain revealed through functional neuroimaging. In M. S. Gazzaniga (Hrsg.), *The New Cognitive Neurosciences* (pp. 1115–1131). Cambridge: MIT Press.
- Hüther, G. (1996). The Central Adaptation Syndrome: Psychosocial stress as a trigger for adaptive modifications of brain structure and brain function. *Progress in Neurobiology*, 48, 569–612.
- Hüther, G., Döring, S., Rüger, U., Rüther, E. & Schüssler, G. (1996). Psychische Belastungen und neuronale Plastizität. Ein erweitertes Modell des Stress-Reaktions-Prozesses als Grundlage für das Verständnis zentralnervöser Anpassungsprozesse. *Zeitschrift für Psychosomatische Medizin und Psychoanalyse*, 42 (2), 107–127.
- Hüther, G. (1997). *Biologie der Angst: Wie aus Streß Gefühle werden*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Hüther, G. (1998). Stress and the adaptive self-organization of neuronal connectivity during early childhood. *International Journal of Developmental Neuroscience*, 16, 297–306.
- Hüther, G. (1999). *Die Evolution der Liebe*. Göttingen: Vandenhoeck & Ruprecht.
- Hüther, G., Adler, L. & Rüther, E. (1999). Die neurobiologische Verankerung psychosozialer Erfahrungen. *Zeitschrift für Psychosomatische Medizin*, 45, 2–17.
- Hüther, G., Döring, S., Rüger, U., Rüther, E. & Schüssler, G. (2000). The stress-reaction process and the adaptive modification and reorganization of neuronal networks. *Psychiatry Research*, 87, 83–95.
- Jacobs, B. L. & Azmitia, E. (1992). Structure and function of the brain serotonin system. *Physiological Reviews*, 72, 165–229.
- Jacobs, B. L. & Fornal, C. A. (1991). Activity of brain serotonergic neurons in the behaving animal. *Pharmacological Reviews*, 43, 563–578.
- Jung, C. G. (1932). *Vom Werden der Persönlichkeit*. Vortrag.
- LeDoux, J. E. (2000). Emotion circuits in the brain. *Annual Reviews of Neuroscience*, 23, 155–184.
- Mesulam, M. M. (1990). Large-scale neurocognitive networks and distributed processing for attention, language and memory. *Annals of Neurology*, 28, 597–613.
- Merzenich, M. M., Kaas, J. H., Wall, J., Nelson, R. J., Sur, M. & Felleman, D. (1983). Topographic reorganization of somatosensory cortical areas 3b and 1 in adult monkeys following restricted deafferentiation. *Neuroscience*, 8, 33–55.
- Moore, R. Y. & Bloom, F. E. (1979). Central catecholaminergic neuron system: Anatomy and physiology of the norepinephrine and epinephrine systems. *Annual Reviews of Neuroscience*, 2, 113–168.
- Pandya, D. N. & Yeterian, E. H. (1996). Comparison of prefrontal architecture and connections. *Philos Trans R Soc Lond B Biol Sci*, 351, 1423–1432.
- Rolls, E. T. (1990). A theory of emotion, and its application to understanding the neural basis of emotion. *Cognition & Emotion*, 4, 161–190.
- Spoont, M. R. (1992). Modulatory role of serotonin in neural information processing: implications for human psychopathology. *Psychological Bulletin*, 112, 330–350.
- Tucker, D. M., Luu, P. & Pribram, K. H. (1995). Social and emotional self-regulation. *Annals of the New York Academy of Science*, 769, 213–239.
- Wegerer, V., Moll, G. H., Bagli, M., Rothenberger, A., Rüther, E. & Hüther, G. (1999). Persistently increased density of serotonin transporters in the frontal cortex of rats treated with fluoxetine during early juvenile life. *Journal of Child and Adolescence Psychopharmacology*, 9, 13–24.

Autor

Dr. rer. nat. Dr. med. habil Gerald Hüther
 Professor für Neurobiologie, Leiter der neurobiologischen Forschungsabteilung an der Psychiatrischen Universitätsklinik in Göttingen. Forschungsschwerpunkte: Ursachen psychischer Störungen, Wirkungsmechanismen von Psychopharmaka, Auswirkungen von Angst und Stress. Zahlreiche wissenschaftliche Publikationen, Sachbuchautor (Biologie der Angst, Evolution der Liebe, Bedienungsanleitung für ein menschliches Gehirn).

Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Gerald Hüther
 Klinik und Poliklinik für Psychiatrie und Psychotherapie
 der Universität Göttingen
 Von-Siebold-Straße 5
 D-37075 Göttingen
 E-Mail: ghuethe@gwdg.de