

Gertraud Teuchert-Noodt

Risiken einer neuroplastischen Anpassung der Wahrnehmung von Raum und Zeit im Kontext der Medienwirksamkeit

**aus: Weinzirl / Lutzker / Heusser: Bedeutung und
Gefährdung der Sinne im digitalen Zeitalter,
Königshausen und Neumann, Würzburg 2017**

Ein Film für alle, die Kinder und Jugendliche pädagogisch begleiten!

Kinder • lernen Intelligenz

**DVD jetzt
bestellen!**



Aufwach(s)en im Umgang mit digitalen Medien

Was Eltern und Erzieher wissen sollten:
Wie der Gebrauch digitaler Medien die Gehirnentwicklung beeinflusst

Regie:
Anja Schickinger
Drehbuch:
Gertraud Teuchert-Noodt
Produktion:
Anja Schickinger

diagnose:funk

Information der Umwelt- und Verbraucherschutzorganisation diagnose:funk | www.diagnose-funk.org

DVD: Preis: 12,90 Euro, Vertrieb über den diagnose:funk Versand,
Pallneskestr. 30, D-65929 Frankfurt

www.akop.diagnose-funk.org/Buch-DVD-Sonstiges
versand@diagnose-funk.de | Bestellnummer: 954, März 2021

**Kopie des Artikels mit
frdl. Genehmigung des
Verlages und der
Autorin für
diagnose:funk als
Hintergrundmaterial für
die DVD "Aufwach(s)en
im Umgang mit
digitalen Medien", 2021**

diagnose:funk

Risiken einer neuroplastischen Anpassung der Wahrnehmung von Raum und von Zeit im Kontext der Medienwirksamkeit

Gertraud Teuchert-Noodt

Reichtum und Schnelligkeit ist,
was die Welt bewundert und wonach jeder strebt.
Eisenbahnen, Schnellposten, Dampfschiffe
und alle möglichen Fazilitäten der Kommunikation sind es,
worauf die gebildete Welt ausgeht,
sich zu überbieten, zu überbilden
und dadurch in der Mittelmäßigkeit zu verharren.

Johann Wolfgang von Goethe,
Brief an Carl Friedrich Zelter, 6. Juni 1825

1. Einleitung

Längst tobt die digitale Revolution. Doch unsere politischen Repräsentanten kämpfen nicht für Freiheit und Autonomie, sondern feiern noch die bedenklichsten Gadgets der Datenhändler. Es ist höchste Zeit, sich dem Versuch einer Programmierung der Gesellschaft und des Denkens zu widersetzen.

Mit diesen Worten leitete vor 2 Jahren der inzwischen verstorbene Frank Schirmmacher in der FAZ (März 2014) eine Serie von Beiträgen ein, die sich mit den Chancen und Risiken der fortschreitenden Digitalisierung in Beruf und Alltag befassen. Es ist auch höchste Zeit, dass sich die Hirnforschung in dieser Sache mit der ganz grundsätzlichen Frage zu Wort meldet, warum Kinder durch digitale Medien im Lernen behindert werden und Erwachsene unversehens ein Burnout-Syndrom entwickeln. Auf den kürzesten Nenner gebracht lautet die Antwort, weil uns erstmalig in der Menschheitsgeschichte das notwendige Gut und Erbe der kognitiven Wahrnehmung von *Raum* und von *Zeit* ernsthaft streitig gemacht wird.

Es ist die größte Herausforderung aller Zeiten: Homo sapiens soll seine ureigenste biologische Herkunft verlassen?! Er wurde schließlich mittels einer über Jahrtausende alten Bewährung in das Beziehungsgefüge von *Raum* und *Zeit* hineingeboren und hat hierrüber grandiose Hochkulturen erschaffen. „Raum-Zeit“ wurde zu seiner ökologischen Nische, wie es in anthropologischen Büchern zur Menschwerdung

heißt. Sie ist das Werkzeug, mit dem die Nervennetze in unserem Gehirn physiologische Vorgänge bearbeiten und unser Denken, Planen und Handeln bestimmen. Nun soll der Neue Mensch – zwecks Arbeitsverdichtung – unter dem Mediendiktat entgrenzte Horizonte beschreiten können? Und je früher Kinder dahin mitgenommen werden, desto besser? „Medienkompetenz in der Früherziehung“ lautet die jüngste Weisung aus der Politik. Wie wird unser Gehirn die digitale Revolution bestehen?

Es ist naheliegend, zunächst auf evolutive Geschehnisse der Gehirnentwicklung zu blicken und sich die (epi-)genetische Ausstattung des Jetztmenschen vor Augen zu führen, die ihn so einzigartige Kulturen hat schaffen lassen. Fragen wir einleitend, wie sich im Verlauf der jüngeren menschlichen Evolution die spezifischen neuronalen Merkmale herausgebildet haben, denen der Jetztmensch den Beinamen verdankt, klug, weise und vernunftbegabt zu sein (Abschnitt 2). Fragen wir später (Abschnitt 3), auf Grund welcher Merkmale sich das Gehirn des Homo sapiens und seine Verhaltensmerkmale im Verlauf der kulturellen Evolution weiterentwickelt haben.

2. Aspekte der Evolution spezifisch menschlicher Gehirnmerkmale

Einer sehr kurzen Jetztzeit des Menschen ging eine sehr, sehr lange Vorgeschichte der biologischen Menschwerdung voraus (Beginn etwa vor 7 Millionen Jahren). Auch das spezifisch menschliche Bewusstsein war – wie wir heute aus der vergleichenden Verhaltensforschung wissen – natürlich nicht vom Himmel gefallen. Ein gewisser Quantensprung vollzog sich in Bezug auf die geistige Entwicklung beim Übergang des Homo präsapiens zum Jetztmenschen vor 200.000 bis etwa 120.000 Jahren, als sich neben dem intuitiven Denken auch kausale Ansätze des Denkens einstellten. Zunehmende Sprach- und Handfertigkeiten haben dafür den Ausschlag gegeben. Denn erstmals war der Kehlkopf – das Organ für die Sprache – abgesenkt, und erstmals war die Hand – das Organ für die Werkzeugherstellung – zum Präzisionsgriff ausgereift. Auf diese kulturträchtigen Aspekte kommen wir später zurück. Blicken wir hier einen kleinen Schritt zur Seite, nämlich auf den Homo neanderthalensis, der in dieser Phase noch seine Blütezeit erlebte.

Die geistigen Fähigkeiten des Neandertalers waren nicht die unsrigen, auch wenn seine vergleichbar hohe Hirnvolumenkapazität immer wieder Anlass zu diesbezüglichen Spekulationen gibt. Er hatte

einen groben und schweren Gesichtsschädel mit fliehendem Kinn und nicht ganz abgesehenem Kehlkopf. Damit korrelierten noch relativ undifferenzierte Rindenfelder für die motorische Sprachfähigkeit, was aus den noch wenig ausgeprägten Imprägnationen der Blutgefäße im parietalen Innenraum der Schädelkalotte abgeleitet wird. Zusätzlich lässt sich auf Grund des wenig ausgeprägten Stirnhirns und eines stattdessen brotleibartig ausgezogenen Hinterhauptes auf andersartige geistige Fähigkeiten schließen. Demzufolge geben die im Vergleich zum Jetztmenschen ausgedehnteren occipitalen Rindenfelder Hinweis auf eine stark ausgeprägte assoziative Verarbeitung von auditiven und visuellen Sinneswahrnehmungen, und dies korrelierte mit geminderten Assoziationsleistungen des Stirnhirns, des Präfrontalkortex.

Das Frontalhirn dient generell bei höheren Wirbeltieren der raum-zeitlichen Verrechnung im Rahmen der Gedächtnisbildung sowie der Antizipation und Organisation von artspezifischem Bewusstsein. Kein anderes Lebewesen neben dem Menschen besitzt dieses überaus voluminöse präfrontale Organ in Verbindung mit entsprechender mentaler Leistungssteigerung. Während der Neandertaler also aus der unmittelbaren Sinneswahrnehmung seinen strategischen Nutzen zog, rückten für den Jetztmenschen abstraktere Konzepte der Strategiebildung und ein ausgeprägteres Denken in historischen Kategorien in den Vordergrund seiner Wesensmerkmale. Warum diese Wende in der Intelligenz dem Junior gegenüber seinem älteren Verwandten von Anfang bessere Überlebenschancen verschaffte, kann man sich an einem kleinen historischen Tatbestand klarmachen. Trotz überlegener Körperkraft hat es der Neandertaler mit geringeren präfrontalen Fähigkeiten über nahezu 200.000 Jahre seines Erdendaseins nicht geschafft, die Neue Welt zu erobern, was dem Jetztmenschen bereits bald nach seinem Erscheinen in Europa und Asien gelang. Wo bleiben diese hart erkämpften Fähigkeiten bloß, wenn wir uns im angebrochenen digitalen Zeitalter statt auf dieses wunderbare Organ zunehmend auf mediale Ersatztechnologien verlassen?

An der Zeitenwende zum Jetztmenschen setzt das Modell zur Evolution des spezifischen Bewusstseins von *Homo sapiens* (Abbildung 2) an, das der Kieler Evolutions- und Meeresbiologe Wolfram Noodt einmal in den 70er Jahren des letzten Jahrhunderts für Vorträge entwickelt hat. Am Anfang stand das intuitive Denken im Vordergrund. Transzendente Fragen richteten sich im Rahmen eines allgemeinen „Urheberdenkens“ an die vielen Gottheiten, die man für nicht erklärbare Naturphänomene einsetzte. Erst innerhalb von Jahrtausenden erschlossen sich auf der Basis von frühkulturellem Erkenntnisge-

winn neue geistige Horizonte. Ein entscheidender Wendepunkt war in der Neuzeit erreicht, als naturwissenschaftliche Erkenntnisse unserem Bewusstsein ein „Ursachendenken“ erschlossen und andererseits intuitiv-mystisches Denken durch Hochreligionen ersetzt wurde. Hier liegt die Vermutung nahe, dass diese Fort-Schritte mit adaptiven Veränderungen von Hirnfunktionen zu tun hatten und also einer kulturellen Evolution vor epigenetischem Hintergrund entsprechen. Dann wäre es doch auch wahrscheinlich, dass sich dieser Mechanismus über den heutigen Tag hinaus fortsetzt und wir das digitale Zeitalter entsprechend annehmen können. Überlegungen dazu werden unter Rückgriff auf das Modell am Ende des Beitrags angestellt. Hier wird die vorläufige Schlussfolgerung gezogen:

Im Ablauf von wenigen Jahrtausenden unserer Zeit wiederholt sich der Prozess einer Beschleunigung der menschlichen Evolution als kulturhistorisches Phänomen: einer sehr kurzen vom industriellen Zeitalter eingeleiteten Jetztzeit ging eine sehr, sehr lange und gedehnte kulturelle Vorzeit voraus. Seit dem medialen Zeitalter scheint sich die Beschleunigung der Zeit um ein weiteres Mal zu steigern und an Geschwindigkeit bereits innerhalb einer einzigen Generation dramatisch zuzunehmen. Oder, postulieren wir doch lieber mit Goethe im umgekehrten Sinn, wie es auch im Giebel eines bergischen Landhauses zu lesen ist:

Die Menschen sagen immer, die Zeiten werden schlimmer.
Die Zeiten aber sind wie immer, die Menschen werden schlimmer.

Vermutlich trifft beides zu. Sowohl die Menschen als auch die Zeiten beschleunigen sich, denn letztere sind ja auch ein Produkt des Menschen. Um dies in all seinen Konsequenzen nachzuvollziehen, muss man die neuronale Komplexität der Kopplung von Struktur, Funktion und Umwelt verstehen. Dies soll der folgende Beitrag leisten.

3. Neurobiologie des Menschen

Die eigentlichen Details zur Verankerung von *Raum* und von *Zeit* im menschlichen Gehirn sind erst in den jüngsten Jahrzehnten erkannt worden. Zur Aufklärung haben speziell zwei aktuelle Disziplinen der zellulären und systemischen Hirnforschung beigetragen. Das sind die neurochemische und strukturelle *Plastizitätsforschung* und die elektro-physiologische Erforschung der *Hirnrhythmen*. Beide Disziplinen befassen sich mit adaptiven Eigenschaften und Funktionen von Neu-

ronen und Nervennetzen in höheren Hirnregionen und darüber hinaus mit kognitiver Wahrnehmung, Gedächtnisbildung und folglich auch mit psycho-kognitiven Störungen, welche die Grenzen der gesunden kognitiven Wahrnehmung markieren.

3.1 Neuroplastizität und Hirnrhythmen, zwei endogene Akteure der Raum- und der Zeitverarbeitung

(a) **Neuroplastizität** ist eine elementare Eigenschaft von Nervennetzen und bezeichnet die Fähigkeit einer flexiblen Anpassung an sich verändernde Bedingungen. Das könnte sofort den Gedanken wachrufen, dass ein „lockerer“ Umgang mit digitalen Medien – wie es sich doch auch für andere neuzeitliche Errungenschaften wie die Eisenbahn und das Flugzeug erwiesen hat – für den modernen Menschen selbstverständlich werden sollte und vielleicht sogar schon geworden ist. Jedenfalls ist dies die gängige Auffassung in öffentlichen Diskussionen zu diesem Thema. Deswegen kommt man an dieser Stelle nicht umhin, theoretische Hintergründe darzulegen, die parallel zur experimentellen Plastizitätsforschung des vergangenen Jahrhunderts von Entwicklungspsychologen und Neurobiologen formuliert wurden und die uns unumstößliche Rahmenbedingungen aufzeigen, innerhalb derer sich plastische Nervensysteme entwickeln und beständige Struktur-Funktionskopplungen vollziehen.

Vor mehr als einem halben Jahrhundert gab D. Hebb (1949) den entscheidenden Anstoß für zwei zunächst ganz unabhängige Forschungszweige. Das war zum einen die Hirnforschung und zum anderen die künstliche Intelligenzforschung. Hebb postulierte, dass eine wiederholte Aktivierung von Nervenzellen in einem frühkindlich labilen Nervennetz („cell assembly“) zu erhöhter Effizienz und Stabilisierung des Kontaktspektrums führt und dies über eine plastische Synapse („Lernsynapse“) gesteuert wird. Aber von welcher Statur diese Synapse sei, das blieb zu seiner Zeit offen. *Aktivität* und *Plastizität*, das war seine Info, und sie gab den Neurobiologen über ein halbes Jahrhundert hin Anstoß zu molekularen und physiologischen Laborforschungen. In den folgenden Jahrzehnten wurde daraufhin das Hebb'sche Postulat in vielerlei Hinsicht bestätigt: Beschrieben wurde das Funktionsmodul im Kortex als ein solches „cell assembly“, und entdeckt wurde die „Lernsynapse“ im Rahmen des sogenannten „NMDA-Rezeptor-Systems“ und der damit verbundenen Bildung von Langzeitpotentialen (LTP). Damit war der Anstoß gegeben, intensive

Studien von diversen anderen Rezeptortypen zu betreiben und die medizinische Pharmaforschung zu bedienen.

Hebbs *Aktivität* und *Plastizität* waren die Schlüsselworte für weitere theoretische Überlegungen. J. Piaget (1983) richtete den Blick auf die *entwicklungsbedingte Dynamik* von Hirnfunktionen. In seinem „phylogenetischen Rekapitulationsmodell“ geht Piaget davon aus, dass in jeder Stufe der Kindesentwicklung phylogenetisch alte Strukturen partiell aufgegriffen werden und aus ihnen mit fortschreitender Reifung und in „kritischen Phasen“ neue Strukturen hervorgehen. Als verbindlich für kindliche Stufen der Reife benennt der Entwicklungspsychologe eine „sensomotorische, präoperationale, konkrete“ und dann eine „formale Operationsphase“, die in die kognitive Reife des Erwachsenen einmündet. Rätselhaft blieb für Piaget, welche Induktoren außer den Genen den dynamischen Ablauf steuern sollten, weshalb sein Modell ab den 80er Jahren zunehmend auf Kritik stieß.

Vor diesem Hintergrund hat der Göttinger Neurobiologe J.R. Wolff (1983) eine Theorie der *neuroplastischen Kompensation* durch Reorganisation aufgestellt, die sich als fabelhafte Ergänzung der Postulate von Hebb und Piaget erweisen sollte. Wolff hat die entwicklungsbedingte Dynamik von Ab- und Umbau der Synapsen in Nervennetzen (=Synaptogenese) als denjenigen Mechanismus postuliert, durch den sich Umwelt in die Nervennetze einprogrammiert. Sein Modell der „neuronalen Selbstorganisation“ greift im Grunde genommen auf die aus der Natur bekannten Gleich- und Ungleichgewichte ökologischer Biotope im Verlauf von Sukzessionen zurück (siehe „autopoietische Systeme“ nach Maturana und Varela 1987), die uns heutzutage mehr denn je beschäftigen: Die Selbstorganisation komplexer Systeme bezieht die Dynamik aus dem permanenten Bestreben, sich aus ungleichgewichtigen in gleichgewichtige Zustände zu versetzen. Neurophysiologen entlarvten diesen Dialog im Gehirn als ein Geschehen zwischen Erregung und Hemmung, was durch Rezeptoren und Neurotransmitter mit aktivierenden bzw. hemmenden Eigenschaften vermittelt wird.

Zeitgleich wurden in der experimentellen Forschung Rezeptoren und Neurotransmitter selber als die Initiatoren der Dynamik erkannt, da viele von ihnen eine morphogene – das heißt wachstumsinduzierende – Wirkung entfalten. Wie Regen und Sonne das Wachstum von Pflanzen in der Natur fördern, so bereiten neuronale Morphogene den Boden für eine frühe Verschaltung im Biotop des kindlichen Gehirns als Grundlage für ein folgendes Geschehen und so fort. Dies dauert so lange an, wie Nervenzellen, rezeptive Felder und Transmitter reifen.

Im Hippocampus geschieht das lebenslang, wie wir seit kurzem wissen (s.u.). *Kompensation* veranlasst über endogene und exogene Aktivitäten immer wieder die Anpassung von Nervennetzen und Subsystemen an die Umwelt und leistet eine Kopplung von Struktur und Funktion. Die reifungsbedingte partielle Wiederauflösung bereits vorhandener Kontakte lässt neue Ungleichgewichte entstehen. Jene von Piaget bereits erkannten „kritischen Phasen“ erweisen sich als physiologische Zustände für den Einlass von Umwelt in ein anpassungsbereites destabilisiertes Synapsenspektrum.

Der Dreiklang aus *Aktivität*, *Entwicklungsdynamik* und *neuroplastischer Kompensation* verleiht jedem werdenden Menschen eine Individualität, die sich nicht in Algorithmen gießen lässt. Denn die fortschreitende Reifung von Nervenzellen ist der Motor, der das Individuum täglich und automatisch der erfahrungsbedingten Neuanpassung an seine Welt aussetzt. Den Nervennetzen ist es egal, ob sie einer realen oder virtuellen Umwelt exponiert werden. Hier fragt man sich erneut, wo denn dann das Problem mit den Medien liegt. Tatsächlich besteht kein Problem für den Erwachsenen, in virtuelle Welten abzutauschen, vorausgesetzt, ihm ist in der Kindheit eine mentale Konstellation zuteilgeworden, die sich stabilisieren konnte. Anders sieht das bei den vielen „Problemfällen“ in unserer Gesellschaft aus und generell bei Kindern und Jugendlichen.

Das Gehirn des Kindes ist dem Dreiklang der Reifungsgeschehnisse in einem so hohen Maß ausgesetzt, dass es sich naturgemäß gegen jegliche Einflüsse nicht zur Wehr setzen kann. Für Kinder gilt das schlichte Motto, dass Reifen und Lernen die zwei Seiten einer gleichen Medaille sind. Höhere Etagen des Gehirns können die Raum- und Zeitwahrnehmung noch nicht leisten. Informationen aus einer irrealen und unnatürlich schnellen Cybertechnik integrieren eine virtuelle Welt mit der Folge, dass dem kindlichen Gehirn die soziale Integration in die Gesellschaft nicht gelingen kann. ErzieherInnen und PädagogInnen sollten sich vor Augen halten, was Kant in seiner „Kritik der reinen Vernunft“ betreffs der „Widerlegung des Idealismus“ anmerkt: *„die Bestimmung meines Daseins in der Zeit ist nur durch die Existenz wirklicher Dinge, die ich außer mir wahrnehme, möglich“*. Diese Bestimmung muss jedem Kind in jeder Generation immer wieder neu eingepflanzt werden.

(b) **Hirnrhythmen** und ihre Zuordnung zu spezifischen Teilfunktionen von Neuronen und Netzwerken werden seit den jüngsten zwei Jahrzehnten – speziell auch im Zusammenhang mit der Plastizitätsfor-

schung – intensiv untersucht. Nicht nur exogene Sinnesreize, sondern auch endogene Oszillatoren sind die Spender von Aktivität für die Hebbische Synapsenplastizität. Rhythmische Aktivitäten hinterlegen nicht nur die Verarbeitung von Sinnesreizen, sondern auch die Kontrolle und Assoziation von Wahrnehmungen, die Entscheidungsfindung und Umsetzung in Handlungsfolgen. Das macht die uns unten beschäftigende Frage brisant, wie endogene Rhythmen durch digitale Beschleuniger beeinflusst werden.

Wenn es auch grundsätzlich fraglich ist, ob es auf unserem Planeten so etwas wie die Zeit objektiv wirklich gibt, spielt sie doch in unserem Gehirn eine entscheidend wichtige Rolle. Sie ist die Weise, wie wir das Geschehen in der Welt für unseren Verstand ordnen. Im Millisekunden- und Sekundenbereich werden Sinnesreize gebündelt sowie Wahrnehmungseinheiten und Gedanken gebildet. Zusätzlich hinterlegt wird die getaktete Verrechnung von Geschehnissen durch Oszillatoren, die dem allgemeinen Verständnis zufolge spezifischen Funktionen zugeordnet werden können (siehe Tabelle). Allerdings mag eine derart vereinfachte Funktionszuordnung nur einer generellen Veranschaulichung dienen und Anhaltspunkte für weitere Forschungen geben.

Frequenzband	Zustand	Mögliche Effekte
Delta 0.5 - 4 Hz	Tiefschlaf, Trance	Erhöhte Erinnerungs- / Lernfähigkeit, Konzentration
Theta 4 - 6.5 Hz	Hypnose, Wachträumen, tiefe Entspannung, limbisches Lernen, Kreativität	Gutes Aufnahme- / Erinnerungsvermögen
Alpha 8 - 13 Hz	Entspannung, unterbewusstes Lernen, nach außen gerichtete Aufmerksamkeit	Gute Intelligenzleistung
Beta 15 - 21 Hz	Hellwache Aufmerksamkeit, sprunghafte Gedankenführung, Hektik	Konzentrationsstörungen
Gamma 30 - 70 Hz	Hoher kortikaler Informationsfluss und Bahnung für Gedächtnisspuren	Neuronale Reorganisation

Tabelle: Zustände spezifischer Frequenzbänder und möglicher neuronaler Effekte.

Oszillatoren im Frequenzbereich von 0.1 - 3 Hz (Delta) bis < 30 Hz (Gamma) sind unmittelbar an die Tätigkeiten von neurochemischen Aspekten und Verhaltensaspekten gekoppelt und mitsamt deren spezifischen Antwortmustern auch selber veränderbar. Sie sind der chemischen Erregungsübertragung an Geschwindigkeit weit überlegen. Interferierende Frequenzbänder gehen Phasensynchronisation ein, überschreiten regionale Grenzen und veranlassen die Kooperation ganzer Subsysteme. Das vermittelt uns das trügerische Gefühl von Gleichzeitigkeiten im Prozess von Denken, Fühlen und Handeln.

Bereits hier kann jedem klar werden, dass digitale Medien diese Prozesse natürlich beeinflussen. Aber, konkrete Auswirkungen auf die allgemeine raum-zeitliche Verrechnung, auf körperliche Gesundheit, Lernfähigkeit, Konzentration und bewusste Wahrnehmung sind nur zu verstehen, wenn wir uns die systemischen Zusammenhänge vor Augen führen, die unser Verhalten steuern.

3.2 Strukturelle Repräsentation von Raum und von Zeit im Hirnstamm, limbischen System und Großhirn

Die neuronale Schere der (a) unflexiblen raum-zeitlichen Verarbeitung im Hirnstamm, des (b) hoch flexiblen limbischen Rechners und der (c) moderat flexiblen und gleichzeitig sehr störanfälligen neuroplastischen Anpassungsfähigkeit an die bewusste Raum- und Zeitwahrnehmung im Großhirn könnte nicht weiter auseinanderklaffen. Vor diesem Hintergrund also „*tobt die digitale Revolution*“. Folglich stellt sich für jede der drei Repräsentationsebenen die Frage neu, ob und wieviel Digitalität jeweils verträglich ist.

Repräsentation von Raum und Zeit im Hirnstamm

Für die Raum- und Zeitverarbeitung im *Hirnstamm* hat sich die biologische Evolution von Wirbeltieren und dem Menschen nicht viel einfallen lassen müssen: Die Organisation der vier Dimensionen ist im Hirnstamm (einschließlich Thalamus und Kleinhirn) ganz unmittelbar den physikalischen Gesetzen unseres Erdplaneten unterstellt. Der Hirnstamm vermag der Immersion in eine virtuelle Realität kaum standzuhalten, denn der „vegetative Seismograph“ reagiert prompt; man denke an die letzte Seekrankheit auf tobendem Meer.

Die vestibuläre Verrechnung der drei *Raum*-Koordinaten beginnt über drei zueinander senkrecht stehende Bogengänge im Innenohr, die mit rezeptiven Feldern ausgestattet sind. Hier beginnt der Gleichge-

wichtsnerv, dessen Ziel das Kleinhirn ist. Dort treffen die Sinneseingänge erneut auf eine den drei Koordinaten exakt zugeordnete Verschaltung von Purkinjezellen (15 Millionen) und etwa 100-mal mehr Körnerzellen. Die stringent divergent-konvergenten Schaltungen dienen der Aufschlüsselung und Speicherung von Gleichgewichtsinformationen. Diese potentiell hohe Datenbank der Kleinhirnrinde ist zwar genetisch programmiert, aber wie optimal das Speicherpotential ausreift, das untersteht im Kindesalter dem Dreiklang aus Hebbischer *Aktivität*, Piagetscher *Entwicklungsdynamik* und Wolffscher *neuroplastischer Kompensation*.

Das heißt: Bewegungsaktivitäten des Kleinkindes – wie Krabbeln, Purzeln, Klettern, Laufen – stimulieren und koordinieren über die reifenden Schaltkreise des Kleinhirns diese und gleichzeitig auch höhere assoziative Nervennetze, die bereits während dieser frühen Reifung Schaltungen des Kortex für feinmotorische Aufgaben vorbereiten. Durch den Mechanismus der *neuroplastischen Kompensation* werden beide Ebenen des Gehirns langsam in komplexe und komplexere Verschaltungen und Funktionen überführt. Das schafft Grundlagen für das menschliche Denken, Planen und Handeln. Wir wissen es ja: durch das frühkindliche Greifen wird das spätere Begreifen vorgebahnt. Hoffentlich kommen Sandkasten, Bauklötzchen, Malkasten und Schreibtafel trotz iPads und Co nicht aus der Mode!

Selbst der Erwachsene bedient sich aus dem Fundus motorischer Erfahrungen seiner Kindheit. Intensität und Vielfalt der Bewegungen und Raumerfahrungen in Kinderjahren haben sich dann zu kognitiven Fähigkeiten ausgewachsen, die für kreatives Planen und Handeln benötigt werden. Wie sich Bewegungsvielfalt im Kindesalter auf die kognitive Begabung des Jugendlichen auswirkt, und das heißt, wie sich eine Begabung für die Mathematik durch kindliche Raumerfahrungen enaktivieren lässt (Grunder et al. 2007), das bedarf im Detail noch einer neuronalen Erforschung der beteiligten Netzwerke; auf Kortexebene ist zur räumlichen Repräsentation noch nicht viel bekannt. Jedenfalls bleibt zeitlebens das Bedürfnis bestehen, geistige Anstöße aus körperlichen Tätigkeiten zu beziehen. Ein Spaziergang in der Natur kann dann schon genügen, um auf gute Gedanken zu kommen.

Auch die *Zeit* ist den kosmischen Gesetzen unterstellt und hat ihre biologische Verankerung im Hirnstamm. Die zeitliche Verrechnung über die zirkadiane Uhr wird aus einem kleinen Aggregat von hypothalamischen Nervenzellen geleistet; der Rhythmusgeber tickt ab der frühen Embryogenese (7. SSW). Die nachbarschaftliche Vernetzung dieses autonomen Oszillators mit Sehbahn, Hypo- und Epiphyse

koordiniert in Verbindung mit lebensnotwendigen Funktionen den Tag-Nacht-Rhythmus. Verbrauchte Transmitter werden durch Nachtschlaf und Tagträume wieder aufgefrischt. Erst eine krasse Phasenverschiebung der Tag-Nachtlängen durch Schichtarbeit oder einen Transatlantikflug kann nicht so einfach kompensiert werden; ein Jetlag kann die Folge sein. Wenn einmal induzierte Hirnrhythmusstörungen persistieren, dann kann das kognitive Funktionen aus der Bahn werfen und schwere psychische Probleme verursachen.

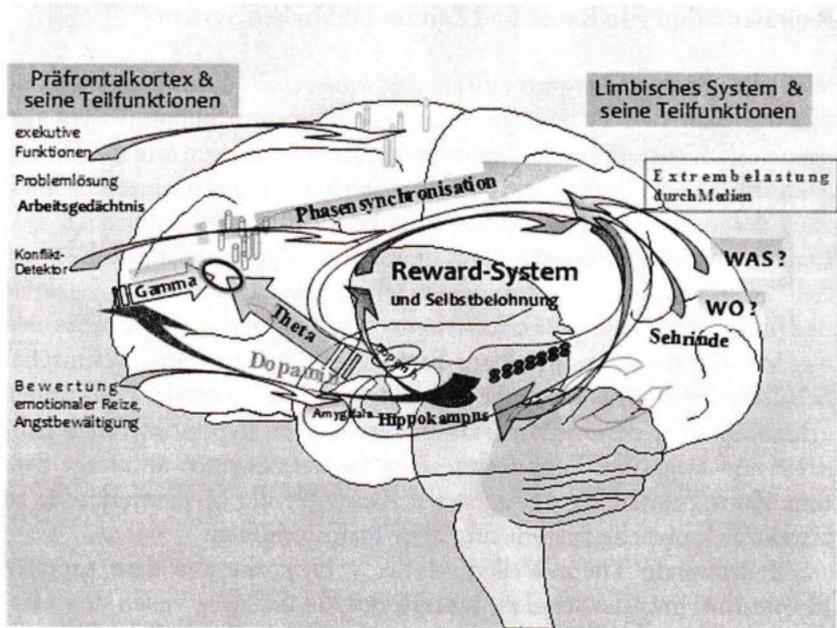


Abbildung 1: Schematische Darstellung von Schaltkreisen zur Raum- und Zeitrepräsentation im Stirnhirn und limbischen System des Menschen: Hippokampus (gelb); Reward-System (=“Belohnungsschaltkreis“), ein Bypass mit hohem Suchtpotential. Der Raumverrechnung dienen die Bahn zur Objekterkennung (WAS?) und diejenige zur Zuordnung von Objekten im Raum (WO?) mit Ursprung in der Sehrinde. Im Stirnhirn interferieren limbische Theta- und lokale Gamma-Wellen und bilden eine kortikale Phasensynchronisation als Grundlage für Konzentration und Gedächtnisbildung aus. Extrembelastungen durch Medien überfordern die raum-zeitlichen Rahmenbedingungen der ablaufenden Stoffwechselprozesse und verhindern hirnrhythmische Normalität.

Zwar sind die basalen hirneigenen Taktgeber für den Organismus und ebenso für unser Verhalten bestimmend, aber sie werden in ein be-

wusstes Wahrnehmen von Raum und Zeit eingebunden, das uns – in Grenzen – doch auch in eine gewollte Unabhängigkeit dieser basalen physiologischen Prozesse entlässt. Das Problem ist nicht, dass die Welt, die uns durch Medien vorgespielt wird, falsch sein könnte, sondern das Problem ist, dass das wahrnehmende Ich im ununterbrochenen Fluss von Wahrnehmungen auf höheren Ebenen des Gehirns seine Substanz verliert. Zum Verständnis nehmen wir nunmehr die dafür verantwortlichen Hirnregionen unter die Lupe (Abbildung 1).

Repräsentation von Raum und Zeit im limbischen System

Was die Raum-Zeitverarbeitung im *limbischen System* betrifft, so möchte man den Programmierern vom Planeten Silicon Valley fast unterstellen, sich die neuesten digitalen Entwicklungen wie die Datenbrille für 3D-Welten als ein phantastisch-teufliches limbisches Spielzeug ausgedacht zu haben. Durch die Entführung des limbischen Systems in virtuelle Realitäten kann dieses – wohlgermerkt im Unbewussten arbeitende – System gleichzeitig die emotionale, viszerale und/oder kognitive Funktionsebene zutiefst verletzen. Emotionen werden durch die unmittelbare Einbindung amygdaloid-thalamischer Schaltkreise in das limbische System verletzt, viszerale Funktionen erkranken über den im Hirnstamm verankerten hypophysären Schaltkreis und kognitive Funktionen über das aufsteigende aminerge System. Zum Verständnis zerlegen wir dieses für die Medienindustrie so attraktive limbische System einmal in Teilfunktionen.

Pulsierende Theta-Wellen (4 bis 7 Hz), die aus dem septalen Hirnstamm gespeist werden, hinterlegen die unzählig vielen den Hippokampus ständig flutenden sensorischen Reize. Zusätzliche Reizverstärkung erfolgt an der Eintrittspforte, an der Hebbische Lernsynapsen Langzeitpotentiale (LTP) – also eine Art Echoeffekt – für den Input veranlassen. Wie auf einem Fließband sortiert, selektiert und verstärkt oder verwirft der hippokampale Schaltapparat die Reizflut; „Habituation“ und „Sensitivierung“ sind die Fachbegriffe (Duus 2001). Verschiedene Sinnesqualitäten werden nach Pöppel (1992) zu „Gleichzeitigkeiten“ von 30 bis 40 ms zusammengetaktet. So wird das Sehen und Hören von Fernsehnachrichten trotz unterschiedlicher Leitgeschwindigkeit beider Sinnesqualitäten zu „Informationsfenstern“ zusammengefasst. Zu schnelle Taktungen können nicht aufbereitet werden und tun dennoch ihre Wirkung: unmerklich schaukeln sich rhythmisierte Sequenzen über die hippokampale Eigendynamik auf und überschleu-

nigen den Echo-Effekt der Lernsynapsen. Die lokalen plastischen Nervennetze werden attackiert. Das sieht konkret so aus:

Für die Bildung des Kurzzeitgedächtnisses sind Eigenschaften wie Wachheit, Neugierde und Ausdauer gefragt. Das ist ein für die Medienindustrie sehr attraktiver Ansatzhebel. Hinterlegt werden diese Systemeigenschaften von der einmalig hohen Strukturplastizität des Hippokampus. Erinnern wir uns an die Wolffsche Reorganisation durch *Kompensation*. Hier, in lokalen Schaltkreisen des hippokampalen Dentatus, ist dieses Prinzip zeitlebens tätig. Der natürliche Mechanismus, zu dessen Entschlüsselung wir in den 90er Jahren selber beigetragen haben, ist ganz einfach zu verstehen: ständig nachreifende Neuronen (=Neurogenese) induzieren über ihre morphogene Wirkung eine anhaltende Umorganisation der lokalen Verschaltungen (=Synaptogenese); eine nachgeburtlich sehr hohe Neuro- und Synaptogenese geht während der Adoleszenz in eine moderate Dynamik über; soziale Deprivation korreliert mit pathologisch überhöhter Zellvermehrung und gleichzeitig suppressiver synaptischer Plastizität; verhaltenspathologisch reagieren Labortiere mit Überaktivität, Angstsyndrom und abgesenkter Lernfähigkeit (Dawirs et al. 2000; Keller et al. 2000; Teuchert-Noodt 2000; Butz et al. 2008). Wenngleich dies Laborbefunde sind, senden sie doch ein Warnsignal an die Eltern, die ihre Kinder mit digitalen Medien füttern. Spätfolgen einer kindlich induzierten Destabilisierung dieser Strukturplastizität liegen auf der Hand; hier setzt nach unserem Erkenntnisstand die klinische Frage nach den Ursachen neurodegenerativer Erkrankungen an (Schaefers und Teuchert-Noodt 2013).

Letztlich vermag sich auch der Erwachsene nicht dagegen zu wehren, wenn Medien im Berufsalltag als Brandbeschleuniger wirken, die neuronale Dynamik aus dem Ruder läuft und die vom Hippokampus ausgehenden Aktivitäten unter Dauerbeschuss geraten. Auch Weiteres spricht dafür, dass dies der Einstieg in ein Burnout-Syndrom ist, denn am ständigen Versuch, Stress durch die hippokampale Gegensteuerung abfangen zu wollen, führt kein Weg vorbei (Teuchert-Noodt und Schlotmann 2012). Weitere Teilleistungen des limbischen Systems entlarven vollends die lauenden Gefahren, die von einem überstrapazierten Hippokampus ausgehen.

Ein zugeschalteter Bypass ist so genial wie auch von unsäglicher Gefahr beseelt. Es ist das "Reward-System", das grundsätzlich für den Hippokampus eine große Lernhilfe ist (siehe Abbildung 1). Kurzfristige Ereignisse werden festgehalten, verstärkt und bei mehrfacher Wiederholung zunehmend „gern“ angenommen. Für das hippokampa-

le Lernen ist dieser Bypass folglich sehr effektiv, und man versteht, wenn im allgemeinen Sprachjargon daraus ein „Belohnungssystem“ geworden ist, was dieser Schaltkreis ja eigentlich nicht ist. Denn, falls nicht aus dem Kortex gegengesteuert wird – und das können Kinder und Jugendliche auf Grund unreifer Bahnen aus dem Kortex meistens einfach nicht –, führt die innere von Opiaten und Dopamin gesteuerte Reizverstärkung des Schaltkreises in die *Sucht*. Längst wissen wir, dass Drogen und Psychopharmaka eben diesen sich selbstverstärkenden Mechanismus bevorzugt ansprechen und den User in qualvolle Abhängigkeit führen. Die vielfältigen digitalen Angebote ergänzen das Sucht erzeugende Potential dieses Schaltkreises und fangen neuerdings zunehmend viele Kinder und Jugendliche ein.

An dieser Stelle wird das Ganze noch teuflischer. Vorweg gesagt bin ich der Auffassung, dass der Nobelpreis vor 2 Jahren an den Neurobiologen O’Keefe vergeben wurde, um auf ein gesellschaftlich hochgefährliches Problem aufmerksam zu machen, oder direkter gesagt, um die den Medien verfallene Menschheit aufzurütteln. Dabei geht es um Folgendes:

Der Hippokampus leistet für die kognitive Verrechnung von *Raum*-Erfahrungen einen wesentlichen Beitrag. Sogenannte „WAS-Erfahrungen“, die der Objekterkennung dienen und zusätzliche „WO-Erfahrungen“ zwecks Zuordnung des Objektes zu den Koordinaten im Raum werden dem Hippokampus unmittelbar aus der Sehrinde vermittelt; beide Bahnen konvergieren auf den O’Keefeschen Platzneuronen. Die Zusammentaktung von Gleichzeitigkeiten veranlasst den hippokampalen Theta, auch bei beschleunigter Zufuhr von Reizen immer Schritt halten zu wollen, und sie treiben das Belohnungssystem an. Wenn zu rasch vorbeiziehende Bilder die inneren rhythmischen Aktivitäten überstrapazieren, beeinträchtigt das nicht nur die Raumverrechnung (O’Keefe und Recce 1993; Ito et al. 2015), sondern der Theta-Rhythmus überschreitet dann unversehens seine Kapazitäten. Die Überforderung der neuronalen und synaptischen Plastizität im Dentatus ist kaum aufzuhalten. Wir konnten immunhistochemisch am Tiermodell nachweisen, dass chronischer Stress in der kindlichen Reifung eine dysfunktionale Anbahnung von Dopamin in das limbische und präfrontale System (Busche et al. 2004) veranlasst. Eine Vulnerabilität für spätere psychische Probleme wird hier gesetzt.

Der *Präfrontalkortex* von *Homo sapiens* ist ein wunderbares und gleichzeitig auch äußerst fragiles Konstrukt. Er arbeitet als oberste Drehscheibe für alle das Gehirn passierenden Außen- und Innenreize, und er veranlasst im gegebenen Fall ein „Bewußthaben“ dieser Dinge, wie es der Kieler Philosoph Hermann Schmitz (2009) treffend formuliert. Wiederum ist es sinnvoll, Einzelaspekte zu beleuchten, um dieses in der funktionellen Hierarchie ganz oben angesiedelte und höchst komplexe System auch – und gerade für uns persönlich – im Umgang mit Medien etwas besser zu verstehen. Denn wenn ein Zustand totaler Erschöpfung das Stirnhirn wirklich in den Griff genommen hat, lässt sich das nur schwer reparieren.

Dem Stirnhirn obliegt ganzheitlich eine bewusste *Kontrolle* über den menschlichen Verstand mit all seinen Facetten. Ein cinguläres Rindenfeld dient der Detektion von Konflikten. Es kontrolliert das Belohnungssystem. Ein orbitales Feld dient der Kontrolle der über die Amygdala gesteuerten Emotionen. An der oberen Mantelkante gelegene Frontalfelder stehen der Problemlösung und Exekutive zur Verfügung. Denk- und Konzentrationsblockaden, Angstsyndrome, Zwangsverhalten, ein Versagen bei der alltäglichen Bewältigung von Konflikten sind deswegen eigenständige psycho-kognitive Symptome, die in der Regel unabhängig auftreten. Aus pausenlosem Umgang mit Handy, PC und Co gewinnen derartige Anomalitäten an Boden.

Das Stirnhirn verfügt über ein Arbeitsgedächtnis zur Gedächtnisspeicherung. Eben auf dieses haben es die kommerzsüchtigen Informatiker von Silicon Valley bevorzugt abgesehen. Um – wie es heißt – Arbeiterleichterungen für den Berufsalltag zu schaffen, verdichten sie diesen zunehmend und beschleunigen die Zeit innerhalb und außerhalb der Gehirne. Das Arbeitsgedächtnis ist bei einem Lernvorgang speziell mit der raum-zeitlichen Verrechnung der Wahrnehmung beauftragt. Was wir heute dazu wissen, lässt sich kurz zusammenfassen: beim natürlichen Lernvorgang werden aus mehreren limbisch angebahnten „Gleichzeitigkeiten“ sogenannte „Wahrnehmungseinheiten“ gebildet, die für eine Dauer von etwa 3 bis 4 Sekunden (Pöppel und Schill 1992) festgehalten und zu „Gegenwarten“ zusammengefasst werden. Unzählig viele zwischen Stirnhirn-, Schläfen- und Scheitellappen hin- und rückläufige Bahnen und ein von Beta-Wellen getragener Informationsaustausch zwischen beiden Hemisphären dienen dem Abgleich aktueller Informationen mit gespeicherten Inhalten. So entsteht die zeitliche Einordnung von vorher, nachher und jetzt. Das ist

ein notwendiger Abgleich zur bewussten Wahrnehmung, den bereits Platon in seiner Zeit-Theorie erkannt hat. Hier zeigt sich einmal mehr, wie wichtig in der Pädagogik doch anwendungsbezogene und von Erlebnissen getragene Lernmethoden sind (Grunder et al. 2007) und warum e-learning nicht die erwünschten Erfolge zeitigen kann. Es ist unumstößlich: erst eine *erlebte* Bewusstwerdung von Ereignissen bahnt neue Gedächtnisspuren an.

In diesem Zusammenhang spielt das Stirnhirn auch eine führende Rolle bei der Konsolidierung angebahnter Gedächtnisspuren im Schlaf. Mit dem Prozess des Einschlafens bauen sich langsame Delta-Wellen aus dem Hirnstamm auf. Sie breiten sich vom Stirnhirn über den gesamten Kortex aus und desynchronisieren die tagaktiven Rhythmen. Heftige Entladungen („Bursts“) durchbrechen in Abständen diesen Zustand und tragen dazu bei, dass tags vorgebahnte Gedächtnisspuren endgültig konsolidiert werden. Wie wichtig ist doch eine gesunde Schlafkultur und ein totaler Verzicht auf elektronische Medien gerade auch im Kinderschlafzimmer.

Dargelegte Funktionen des Stirnhirns sind den Medienproduzenten offensichtlich überhaupt nicht bekannt. Jedenfalls mag man ihnen keine Absicht unterstellen, wenn sie mit Feuereifer immer weitere technische Prothesen auf den Medienmarkt bringen, die buchstäblich als *Cyberattacke* auf die Gehirne der Menschen wirken. Gerade das jüngst entwickelte mediale Instrumentarium schlägt perfekt zu:

Normalerweise greift das Stirnhirn auf die ubiquitär im Großhirn abgelegten Inhalte zu, wenn es auf neue Gedanken kommen will. Durch die digitale Auslagerung von vielen Gedächtnisinhalten in Clouds werden assoziative Nervenetze langsam aber stetig ausgehungert. Lebenswichtige „Wahrnehmungseinheiten“ werden einfach nicht mehr gebildet, und vorhandenes Gedächtnis wird nicht mehr zur Genüge trainiert. Der mediale Multitasker verliert automatisch die Fähigkeit zur Konzentration. Sein Arbeitsgedächtnis wird über die unbewusst zur Wirkung kommende limbische Überforderung unter Dauerstress gesetzt. Konzentrationsschwäche, mentale Erschöpfung, Leistungsabfall und mehr beherrschen zunehmend unsere Arbeitswelt. Das dokumentiert eine jüngst durchgeführte klinische MRT-Studie an Probanden (Serfaty 2016). Wir schauen zu, wie das Phänomen einer nur noch tangentialen mentalen Verarbeitung von Informationen die reizüberfluteten Gehirne überzieht und sich zu *kognitiver Impotenz* unserer Gesellschaft auswächst.

Besonders heftig wirken sich Cyberattacken auf die Nervenetze und Hirnrhythmen des reifenden Stirnhirns von Kindern aus. Dies

stützt sich auf viele in den letzten Jahrzehnten an Tiermodellen gewonnene Erkenntnisse der Stress- und Traumaforschung, woran auch wir in Bielefeld beteiligt waren. Zunächst haben wir in unserem Labor die normale Reifung derjenigen Transmitter studiert, die im Stirnhirn für die Organisation von Sozialverhalten und Gedächtnisbildung verantwortlich sind, das sind Glutamat, GABA und Dopamin (Dawirs, Teuchert und Czaniera 1993; Witte, Brummelte und Teuchert-Noodt 2007; Brummelte, Witte und Teuchert-Noodt 2007). Dann zeigte sich, dass soziale Deprivation während der Aufzucht zu suppressiver Reifung von Dopamin führte und dies eine dysfunktionale Innervation der glutamatergen Pyramiden einschließlich einer weitreichenden Diskonnektion ihrer Fasersysteme zur Folge hatte (Winterfeld, Teuchert-Noodt und Dawirs 1998; Bagorda, Teuchert-Noodt und Lehmann 2006). Wie elektrophysiologische Forschungen und die klinische biologische Psychiatrie bestätigten, hindert dies zusätzlich die lokalen GABA-Neurone (Brummelte, Neddens und Teuchert-Noodt 2007) daran, normal zu reifen. Mangels normaler Initiation von Gamma-Wellen wird folglich auch eine phasensynchronisierte Aktivierung kortikaler Rindfelder blockiert. Die Kommunikation zwischen Stirnhirn und diversen Subsystemen wird irreversibel aus der Balance geworfen und – je nach Schweregrad der Schädigung – bahnt sich im Kindesalter die Vulnerabilität für den Ausbruch einer psychotischen Symptomatik im Jugend- und Erwachsenenalter an (Gonzales-Burgos und Lewis 2008; Dawirs und Teuchert-Noodt 2001).

Ein knappes Fazit dieser für den Leser sicher oft sehr komplexen Schilderungen (verzeihen Sie, aber das Gehirn ist nun einmal das komplexeste organische System auf unserem Planeten) lautet folgendermaßen: Die neuronalen Rahmenbedingungen für kognitive Funktionen sind uns in die Wiege gelegt. Sie können in ihrem raumzeitlichen Ablauf nicht beliebig gerafft oder gar abgeschafft werden. Sie sind die Grundlage für den Denkapparat und die Gedächtnisbildung. Erst das in der Adoleszenz ausreifende Stirnhirn kann digitalen Medien gegenüber standhalten und mit ihnen wirklich etwas anfangen. „Die Lüge der digitalen Bildung“ (Lembke und Leipner 2015) sollte man zwecks Fortbestand unserer Gesellschaft zur Kenntnis nehmen. Es ist wie mit dem Autofahren, das ebenfalls hohe Anforderungen an eine ausgereifte kortikale Verarbeitung von Raum und Zeit stellt. Ein digitaler Führerschein ab 18 wäre konsequent.

3.3 Zur kulturellen Evolution des Menschen

Wir leben in einer Zeit des Umbruchs und fragen erneut, ob wir selber und/oder die Zeiten es sind, die sich heutzutage so dramatisch beschleunigen und wohin uns das führen mag. Antworten haben wir in der Analyse des Gehirns gesucht und – vor dem Hintergrund der Struktur-Funktionskopplung autopoietischer Systeme – gefunden. Antworten liegen gleichwohl in der Vergangenheit des Menschen, und auf die blicken wir hier erneut zurück, um die Gegenwart besser zu verstehen. Wir wissen, das Leben ist ein Staffellauf, bei dem jede Generation ihren Erfahrungsschatz an die nächste Generation weiterreicht. Das passiert weitestgehend während der Kindheit und Jugend, in der das wissbegierige Gehirn – wie mehrfach gesagt – dem Dreiklang aus *Aktivität*, *Dynamik* und *neuroplastischer Kompensation* ausgesetzt ist.

Wir waren von Frühzeitmenschen ausgegangen, derer Hände Werk über Jahrtausende hin der Erfolgsschlagel für das Entstehen von Hochkulturen war. Menschen, die langsam begannen, ein „Ursachendenken“ in den Vordergrund und ein „Urheberdenken“ in den Hintergrund zu stellen, schufen zu guter Letzt das technische Zeitalter. Nicht jedem wird es gleich einleuchten, wenn an dieser Stelle die *Hemisphärendominanz* als Induktor und treibender Motor für diesen Weg der Geschichte herausgestellt wird. Das soll hier nachvollziehbar dargelegt werden: aus *phylogenetischer Sicht*, im *funktionellen Bezug* und im *Ausblick* auf das digitale Zeitalter.

Phylogenetische Sicht

Für das allgemeine Phänomen der strukturellen und funktionellen Lateralisierung von Organismen gibt es eine tiefe Verwurzelung im Tierreich. Wenn alle Nervenetze im Gehirn eines Lebewesens und alle Organe des Körpers mit allen „reden“, dann muss sich eine irgendwie geartete hierarchische Ordnung einstellen, um für ein bilaterales Lebewesen koordiniertes Verhalten zu ermöglichen. An der Schwelle zur Menschwerdung passiert nun erstmalig eine Parzellierung von Nervenetzen auf höchster kognitiver Ebene. Sie geschieht im Sinne einer Aufteilung von Schaltungen für linkshemisphärisch deskriptive und rechtshemisphärisch reflektive Funktionen. Dieses Novum hat zur irreversiblen Abnabelung des *Homo sapiens* von seinen Vorfahren beigetragen, denn es hat ihn strategisch in eine zuvor nicht dagewesene Überlegenheit seiner Kulturfähigkeit versetzt. Neben den genetischen trat ein epigenetischer und damit funktionell

induzierter Selektionsdruck, für den menschliche Sprach- und Handfertigkeiten ausschlaggebend wurden. Die gestiegene Plastizität des Assoziationskortex bot entsprechende Voraussetzungen an, die funktionelle Parzellierung zuzulassen und kulturelle Entwicklungen anzuspornen.

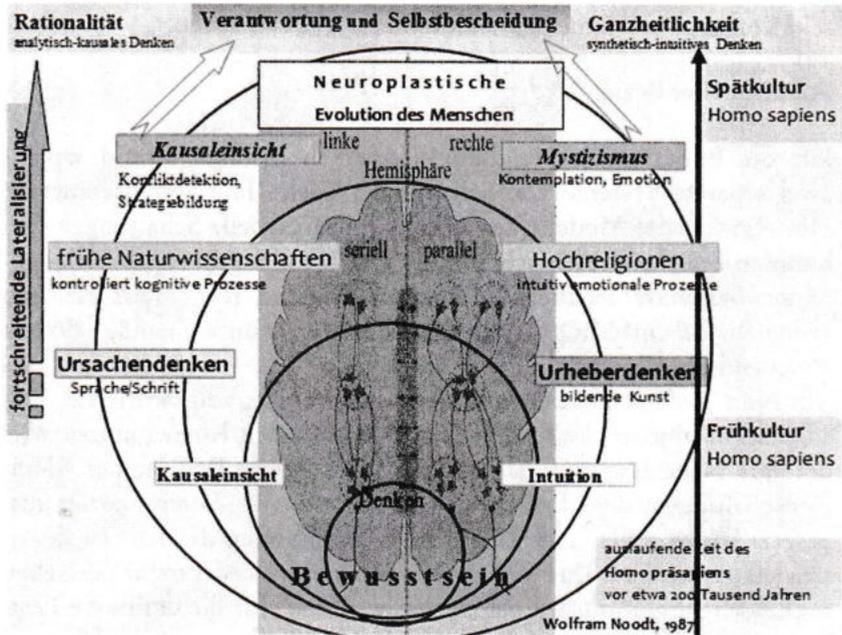


Abbildung 2: Historischer Rückblick auf die Kulturevolution des Menschen bis zum digitalen Zeitalter. Die Hirnhälften (gelb) demonstrieren linkshemisphärisch das serielle und rechtshemisphärisch das vernetzte Schaltprinzip. Im Laufe von Jahrtausenden haben Sprache/Schrift die linkshemisphärische Dominanz angebahnt und kausal-analytisches Denken in Führung gebracht; ganzheitlich-intuitive Fähigkeiten zu kontemplativem Denken und Hochreligionen wurden zunehmend verdrängt. Seit dem technischen Zeitalter verstärkt sich die linkshemisphärische Führung im Denken, Planen und Handeln moderner Gesellschaften und veranlasst eine Linkskopflastigkeit. Nur gemeinsam können beide Hirnhälften das Stirnhirn adäquat bedienen, über das – und speziell über das – jedes Individuum Verantwortung und Selbstbescheidung leistet.

Warum sich die Hemisphären des Großhirns einmal entschieden haben, analytische Funktionen links- und ganzheitliche rechtshemisphärisch zu etablieren und warum Lateralität überwiegend zur Rechtshändigkeit geführt hat, das soll hier nichts zur Sache tun. Jedenfalls ist im

fossilen Fundmaterial die Rechtshändigkeit erstmalig für den Neandertaler belegt, der die Zähne als Werkzeug zum Abschaben von Wurzeln und Abreißen von Fleisch benutzt hat. Die schräg positionierten Schleifspuren an der Oberfläche von fossilen Schneidezähnen legen Zeugnis dafür ab. Was die Überlegenheit des Neandertalers gegenüber seinen Vorfahren betrifft, sollte sich diese also auch schon durch bereits vorhandene Hemisphärendominanz erklären lassen.

Funktioneller Bezug

Für die Bildung von Handlungskonzepten benutzt Homo sapiens zwei separate Systeme von Schaltungen (siehe Horizontalschnitt im Hintergrund des Modells der Abbildung 2): Serielle Schaltungen verknüpfen linkshemisphärisch sinnes- und handlungsbezogene Rindenerfelder, vernetzte Parallelschaltungen verbinden rechtshemisphärisch viele nah und entfernt gelegene Areale netzartig untereinander. Soweit die genetische Option.

Nun bedenke man, dass sich diese hochgradig kritische Präadaptation in jedem reifenden Gehirn eines jeden Kindes immer wieder aufs Neue adaptiv funktionalisiert. So wie die Reifung der Kleinhirnschaltungen dem Prinzip der *neuroplastischen Kompensation* ausgesetzt ist, so reifen auch lateralisierte Funktionen des Kortex aktivitätsgesteuert heran. Das wird im Kindesalter entweder mehr oder eben auch weniger gefördert. Eine „kritische Phase“ für die definitive Festlegung lateralisierter Funktionen erstreckt sich über mehrere Jahre der Kindheit. Das in früheren Zeiten einmal empirisch festgelegte Startalter für das Schreibenlernen ins Schulheft und das Rechnenlernen im Kopf (6. bis 9. Lebensjahr) gilt auch heute unumstößlich. Durch Beschulung hat die Reifung der Hemisphärendominanz für zunehmende Sachbezogenheit des modernen Menschen gesorgt. Und erstmals wächst auch der weibliche Teil der Gesellschaft zur intellektuellen Konkurrenz der Männerwelt heran.

Bei all den erzielten Fortschritten ist aber nicht zu übersehen, dass wir das Prinzip der adaptiven Lateralisierung durch einseitige pädagogische Praktiken übersteuert haben und dafür jetzt einen hohen Preis zahlen. In der allgemeinen Pädagogik wurden die rechtshemisphärischen Anlagen sträflich vernachlässigt. Da musische Qualitäten und ganzheitliche Denkanforderungen in der gängigen Schulpraxis in den Hintergrund gedrängt wurden, hat sich durch die einseitige systematische Beschulung der Kinder zunehmend eine gesellschaftliche „Linkskopflastigkeit“ durchgesetzt.

Kindern eine ausgewogene beidhemisphärische Qualifizierung zu ermöglichen, das ist dringend erforderlich. Ein Lernprogramm vielgestaltig, handlungs- und erfahrungsbezogen zu gestalten und mit scheinbar nebensächlichen Dingen auszuschnücken, das verspricht bessere Lernerfolge, mehr Kreativität und stärkt die Persönlichkeitsentwicklung in einer heranwachsenden Generation. Aber, wem sage ich das, der sich diese Abhandlung lesend ja längst der Pädagogik von Rudolf Steiner verschworen hat? Erstaunlich bleibt diesbezüglich für mich, dass die Hirnforschung mehr als ein Jahrhundert verspätet zu fast gleichen Resultaten kommt. Es wäre jetzt endlich an der Zeit, aus dieser naturwissenschaftlich bestätigten und vertieften Erkenntnis Verbindlichkeit für eine generelle neue Didaktik erwachsen zu lassen. Andernfalls wird die Medienrevolution ungestoppt ihren Lauf nehmen.

Im digitalen Zeitalter kann eine neuere adaptive Veränderung der Hemisphärendominanz im Kindesalter nicht ausbleiben. Vordergründig gesagt, sollte die jetzt angestrebte schulische Anwendung von Tablets der einseitigen Funktionalisierung serieller Verschaltungen doch gegensteuern. Aber diese Meinung greift nicht, denn sobald Schulkinder statt des Schreibenlernens über Tablets wischen, mit den Daumen sprechen und von klein an Buchstaben tippen, bleiben die linkshemisphärischen Schreibbrindfelder und damit das analytische Denken krass auf der Strecke. Wenn also im allgemeinen Grundschulsystem bislang die linkshemisphärische Dominanz - bei meistens unzureichenden ganzheitlichen Angeboten - überfordert wird, sollte die digital gesteuerte Schulung der linken Hirnhälfte durch wischen und tippen nunmehr zu einer dramatischen Unterforderung linkshemisphärischer Anlagen führen. Ein Rückfall in die Illiteralität der Gesellschaft kann doch mit der neuerdings geplanten Anschaffung von Computern für Grundschulen nicht wirklich gewollt sein!

Nicht nur die zurzeit abnehmenden Schulleistungen, sondern auch ein geringeres Potential an allgemeiner Konzentration, Ausdauer und der Fähigkeit, Konflikte zu bewältigen, möchten das Problem der Medienwirksamkeit auf das kindliche Gehirn längst ankündigen. Aus oben dargelegten Sachverhalten lässt sich ableiten, dass sich damit auch allgemeines naturwissenschaftlich-kausales Denken und mathematische Fähigkeiten weiter abschwächen werden. Abgesehen von der allgemeinen raum-zeitlichen Beschleunigung und deren Folgen für das

limbo-präfrontale System wachsen sich Defizite der Lateralisation beider Hemisphären einmal mehr zu kognitiven Leistungsabfällen aus.

Die Frage, ob die „digitale Revolution“ bestanden werden kann, hat sich nunmehr auch vor dem Hintergrund der Erkenntnisse zur hohen Bedeutung der funktionellen Reifung des Gehirns von Homo sapiens in Abhängigkeit von seiner Umwelt beantwortet. Wer die hier dargelegten wissenschaftlichen Zusammenhänge nur überflogen und nicht wirklich verinnerlicht hat, mag zu guter Letzt wenigstens diese Botschaft mitnehmen: Homo sapiens kann die „Raum-Zeit-Nische“ nicht verlassen, weil die neuronalen Prozesse im Gehirn selber naturgemäß einen streng geregelten und koordinierten Zeitbedarf haben und sich unter klar definierten physiologischen Rahmenbedingungen räumlicher und zeitlicher Parameter abspielen. Wir wissen jetzt, dass die kognitive Wahrnehmung von Raum und von Zeit das Werkzeug sind, dessen das Gehirn zur Reifung bedarf.

Als ich kürzlich einen diesbezüglichen Kurzbeitrag in die Frankfurter Rundschau gesetzt habe, bekam ich von einem Leser des Artikels eine treffliche Antwort, die mir zeigte, wie klar auch Nicht-Hirnexperten das Problem längst durchblickt haben. Ich will deswegen mit einem Auszug dieses Antwortschreibens schließen:

Es scheint eine sehr stabile Abwehr gegenüber solchen Erkenntnissen zu geben, vielleicht deshalb, weil das herkömmliche Verhaltensmuster, das seit dem Sesshaftwerden der Menschen und dem Erlernen von Ackerbau und Viehzucht zur kulturellen Grundausstattung geworden war, nämlich zu säen und dann abzuwarten und dann zu ernten und dann im Vertrauen darauf, dass die Natur so funktioniert, wieder abzuwarten bis zur neuen Aussaat, inzwischen der immer deutlicher werdenden Sucht nach schnellen und kurzfristigen Ergebnissen der maschinellen oder sogar virtuellen Produktion weicht. Die Reaktion auf das Ausbleiben der schnellen Nachweise führt dann geradezu zu einer kulturellen Verwahrlosung [...]. Byung-Chul Han hat in seinem Essay ‚Die Errettung des Schönen‘ an der glatten Oberfläche der iPads und iPhones sehr plastisch beschrieben, was der Wegfall der taktilen Wahrnehmung und das scheinbare Glätten aller Brüche auch in der ästhetischen Wahrnehmung zur Folge hat.

Es ist wie ein Wunder und vermutlich kein Zufall, dass der wissenschaftliche Durchblick zu alledem gerade in eine Zeit fällt, in der wir uns die uralte Erfahrung und Weisheit „auf des Messers Schneide zu gehen und nur so die Welt zu bestehen“ dringender denn je vergegenwärtigen müssen. Nutzen wir diese rationale Einsicht in die unbe-

grenzten Fähigkeiten des menschlichen Präfrontalkortex mit seiner kreativen Begabung zu Selbstkritik, Willensstärke und Übernahme von Verantwortung, scheinbar Unmachbares vielleicht doch machbar zu machen.

Literatur

Bagorda F, Teuchert-Noodt G, Lehmann K. 2006. Isolation rearing or methamphetamine traumatization induce a "dysconnection" of prefrontal efferents in gerbils: implications for schizophrenia. *J. Neural Transm.* 113(3): 365-379.

Brummelte S, Neddens J, Teuchert-Noodt G. 2007. Alterations in GABAergic network of the prefrontal cortex in an animal model of psychosis. *J. Neural Transm.* 114(5): 539-47.

Brummelte S, Witte AV, Teuchert-Noodt G. 2007. Postnatal development of GABA and Calbindin cells and fibers in the prefrontal cortex and basolateral amygdala of gerbils. *Int. J. Dev. Neurosci.* 25(3): 191-200.

Busche A et al. 2004. Developmentally induced imbalance of dopaminergic fibre densities in limbic brain regions of gerbils. *Journal of Neural Transmission.* 111(4): 451-463.

Butz M et al. 2008. Inverse relationship between adult hippocampal cell proliferation and synaptic rewiring. *Hippocampus* 18(9): 879-98.

Dawirs RR, Teuchert G, Czaniera R. 1993. Maturation of the dopamine innervation during postnatal development of the prefrontal cortex in gerbils (*Meriones unguiculatus*). A quantitative immunocytochemical study. *J. Hirnforsch*(34): 281-291.

Dawirs RR et al. 2000. Granule cell proliferation and axon terminal degradation in the dentate gyrus of gerbils (*Meriones unguiculatus*) during maturation, adulthood and aging. *Journal of Neural Transmission*(107): 639-647.

Dawirs RR, Teuchert-Noodt G. 2001. A novel pharmacological concept in an animal model of psychosis. *Acta Psych. Scand.* 104 (Supp 408): 10-17.

Duus P. 2001. *Neurologisch-topische Diagnostik. Anatomie. Physiologie. Klinik.* Thieme, Stuttgart, New York, S. 466 ff.

Gonzales-Burgos G, Lewis DA. 2008. GABA neurons and the mechanisms of network oscillations: Implications for understanding neural synchrony and cortical dysfunction in schizophrenia. *Schizo. Bull.* (34): 944-961.

Grunder HU et al. 2007. *Unterricht – verstehen, planen, gestalten, auswerten.* Baltmannsweiler. Schneider Verlag, Hohengehren, S. 352 ff.

Hebb D. 1949. *The Organization of Behavior: A neuropsychological approach.* Wiley, New York.

- Ito HT et al. 2015. A prefrontal-thalamo-hippocampal circuit for goal-directed spatial navigation. *Nature*: 50-55.
- Keller A et al. 2000. Effects of enriched and of restricted rearing on both neurogenesis and synaptogenesis in the hippocampal dentate gyrus of adult gerbils. *Neurology, Psychiatry & Brain Research*(8): 101-108.
- Lembke G, Leipner I. 2015. *Die Lüge der digitalen Bildung. Warum unsere Kinder das Lernen verlernen*. Redline, München, S. 256 ff.
- Maturana HR, Varela FJ. 1987. *Der Baum der Erkenntnis – Die biologischen Wurzeln menschlichen Erkennens*. Fischer, Frankfurt a.M., S. 280 ff.
- O'Keefe J, Recce ML. 1993. Phase relationship between hippocampal place units and the EEG theta rhythm. *Hippocampus*(3): 317-330.
- Piaget J, Inhelder B. 1983. *Die Psychologie des Kindes*. Fischer, Frankfurt a.M.
- Pöppel E, Schill K. 1992. *Zeitliche Koordinationsprobleme mentaler Prozesse. Künstliche Intelligenz. KI*, Vol. 2, S. 7-12.
- Schaefers AU, Teuchert-Noodt G. 2013. Developmental neuroplasticity and the origin of neurodegenerative diseases. *The World J. of Biol. Psychiatry*, Early Online: 1-13.
- Schirmacher, Frank. 2014. Überwachung: Das Armband der Neelie Kroes. *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 3. März 2014.
- Schmitz H. 2009. *Kurze Einführung in die Neue Phänomenologie*. Karl Alber, Filderstadt.
- Serfaty, L. 2016. Immer vernetzt: Wenn das Gehirn überfordert ist. Dokumentarfilm auf Arte am 03.09.2016 vorgestellt.
- Teuchert-Noodt G. 2000. Neuronal degeneration and reorganization: a mutual principle in pathological and in healthy interactions of limbic and prefrontal circuits. *Rev. Journal of Neural Transmission. Suppl*: 315-333.
- Teuchert-Noodt G, Schlotmann A. 2012. *Lust an der Überforderung und dann Burnout – Wie das Gehirn entscheidet, ob Überforderung Lust oder Unlust erzeugt*. Superverlag, S. 52 ff.
- Winterfeld KT, Teuchert-Noodt G, Dawirs RR. 1998. Social environment alters both ontogeny of dopamine innervation of the medial prefrontal cortex and maturation of working memory in gerbils. *J. Neurosci. Res.* 52: 201-209.
- Witte AV, Brummelte S, Teuchert-Noodt G. 2007. Developmental pattern changes of prefrontal efferents in the juvenile gerbil (*Meriones unguiculatus*). *J. Neural Transm.* 114(11): 1377-1393.
- Wolff J, Wagner G. 1983. Selforganization in synaptogenesis: Interaction between the formation of excitatory and inhibitory synapses. In: Başar E et al. (Hrsg.) *Synergetics of the brain*. Springer, S. 50-59.