

# Rehabilitation und Teilhabe am Beispiel der Rehabilitation Hirnverletzter (Neurorehabilitation):

Soziales Gehirn, Neuro(Psycho)Traumatologie, Funktionelle Hirnsysteme, Plastizität, Erholung, Neulernen ...:  
Rehapedagogische Konsequenzen

Prof. Dr. Andreas Zieger

Veranstaltung am 12.06.2012

## Übersicht

---

1. Soziales Gehirn und Funktionelle Hirnsysteme/Organe
2. (Neuro)Psychotraumatologie
3. (Neuro)Plastizität, Erholung, Neulernen
4. (Neuro)Rehapedagogische Konsequenzen?

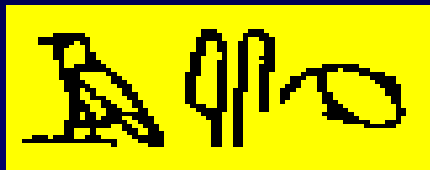
## I. Die Rede vom Gehirn als soziales Organ („soziales Gehirn“)

Bedeutung für ein **integriertes Menschenbild**, Erkenntnistheorie **und** Praxis in angewandten Humanwissenschaften

Das soziale Gehirn einer **Person** ist stets auf **Leiblichkeit** und **Beziehungserfahrung** rückgebunden (Umwelt, andere Menschen)

Lernen/Fördern/Behandeln/Rehabilitieren in **zwischenmenschlichen Beziehungen!**

Erstes Zeugnis und Symbol für das menschliche Gehirn („Brain“):



Papyrus ca. 5000 v.u.Z.

Erwachendes Denken und Bewusstsein des Menschen

- über sich selbst
- und sein Gehirn.



## Didactica magna Comenius (1628)

„Denn wie das Wachs ... sich formen und umformen läßt, so nimmt das Gehirn die Bilder aller Dinge auf und faßt so **den Inhalt der ganzen Welt** in sich ...

Die sinnlichen Eindrücke wirken wie ein Siegel und lassen Bilder zurück.“

Zitat aus einer Bearbeitung von 1909

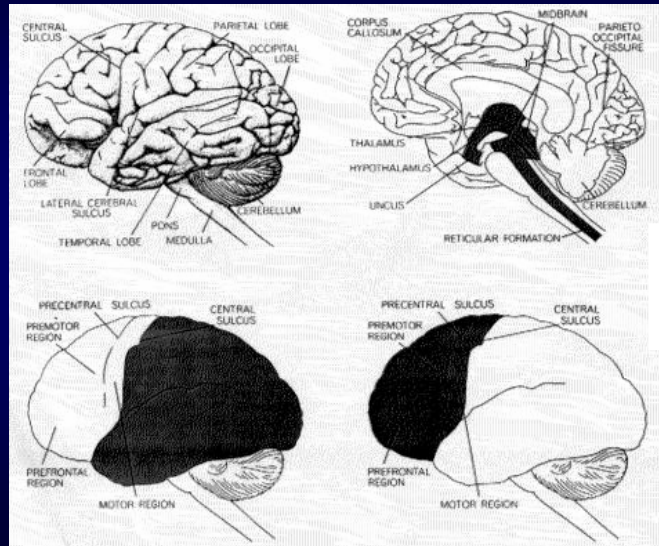


## Lurija: „The Working Brain“ (russ. 1969, engl. 1973, dtsch. 1993)

- Erfahrungen mit Hirnverletzten aus I. und II. Weltkrieg
- Evolution von Hirnfunktionen in konkreten kulturhistorischen Zusammenhängen
- Herausbildung verschiedener funktioneller Systeme („Hirnorgane“) ist sozial vermittelt
- Reorganisation, Kompensation, Restitution
- Zurückweisung des biologischen Determinismus **und** des therapeutischen Nihilismus.

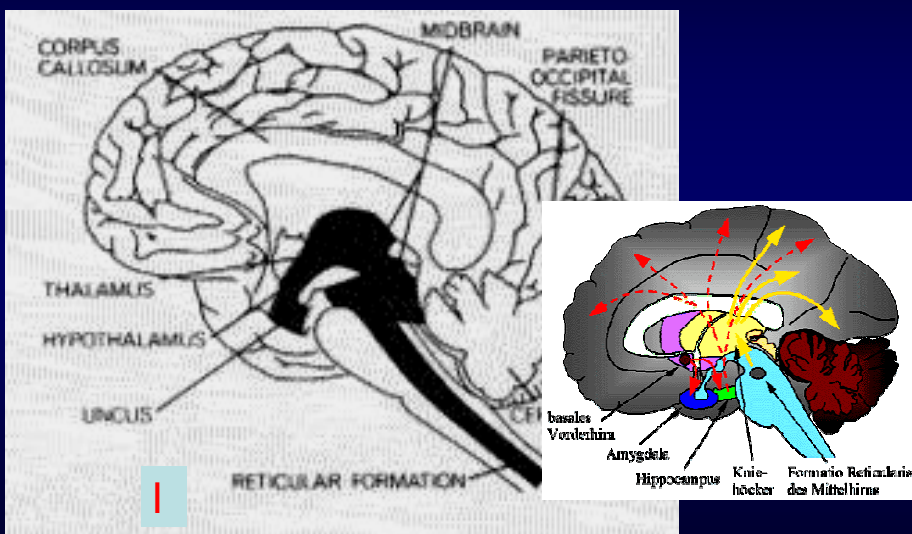


## Vier regulative Haupteinheiten

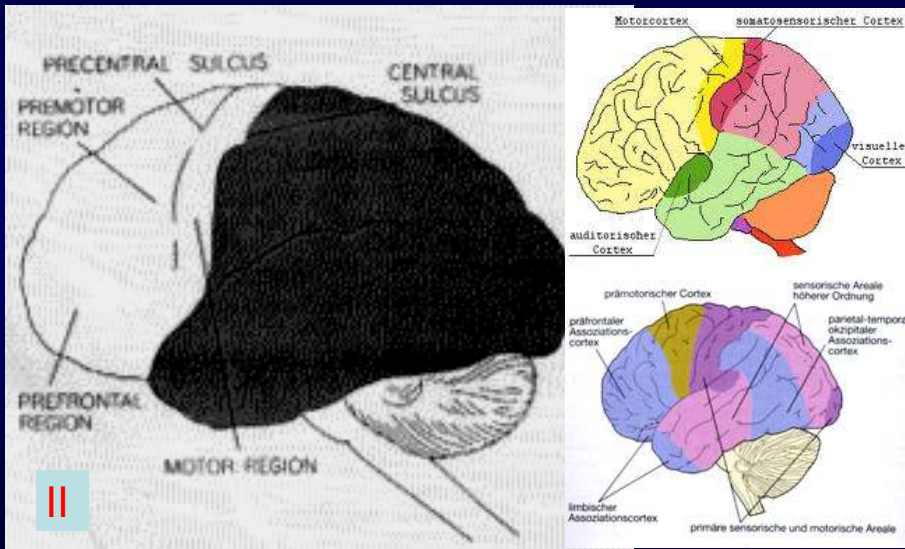


Lurja  
1970

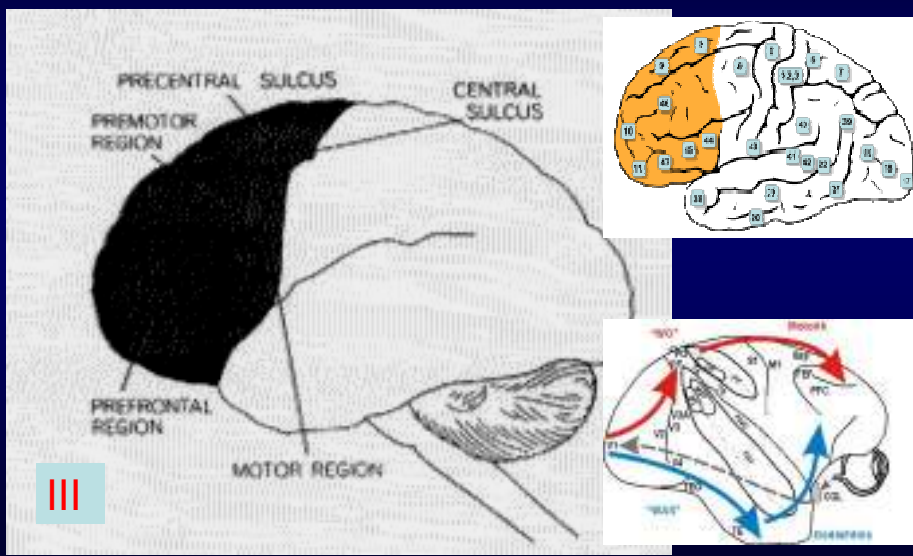
### I. Regulationseinheit: Homöostase, Wachheit und Tonus Lurja 1970



## II. Regulationseinheit: Informationsaufnahme, Selektion und Speicherung Lurija 1970

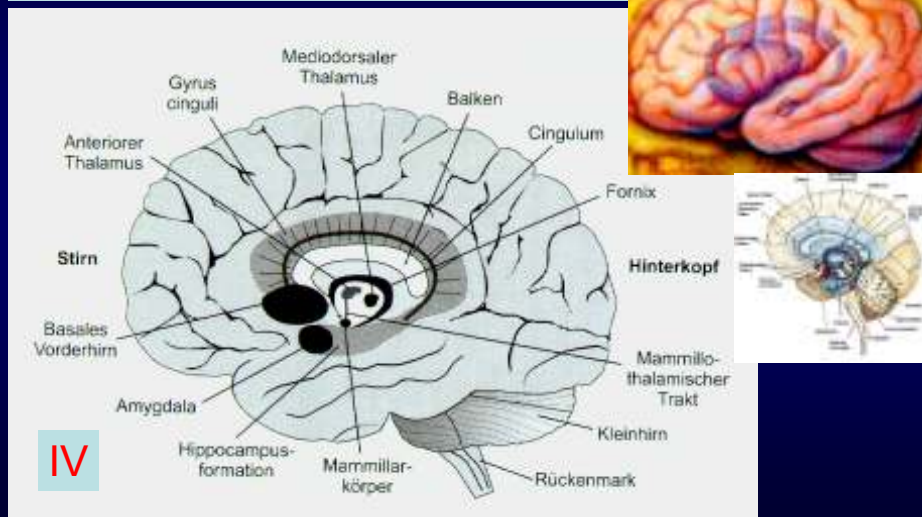


## III. Regulationseinheit: Handlungsplanung und -durchführung Lurija 1970



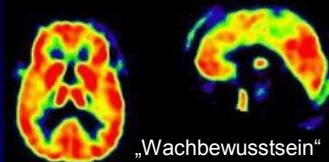
## IV. Regulationseinheit: Emotion und Motivation

Jantzen 1990



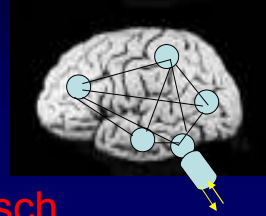
## Grundannahmen

- **Psyche/Bewusstsein/Verhalten ist nicht das Gehirn, sondern eine Funktion des Gehirns einer Person**
- Eine „Funktion“ ist nicht das Produkt des Gehirns (wie das Sekret einer Drüse), sondern das Resultat der Kooperation weit voneinander entfernt liegender spezialisierter Hirnareale („Knotenpunkte“, „Module“ Fordor/1987), die als Netzwerk zur Lösung einer Aufgabe miteinander verbunden sind (Lurija 1970, „Funktionelles Hirnorgan“, Leontév 1973 oder auch „Funktionelles Hirnsystem“ (Anochin 1978).



## „Funktionelle Hirnorgane“ Lurija 1970

sind hinsichtlich



- ihres Ursprungs **sozial**
- ihrer Lokalisation **dynamisch**
- ihrer Struktur durch Erziehung, Lernen und Beziehung (Tätigkeiten) **vermittelt**
- Vormals inter-psychische **Beziehungen** werden zu intra-psychischen **Funktionen**
- und sind netzwerkartig **organisiert**

Lehrbuch Jantzen (1990)

Allgemeine Behindertenpädagogik Bd 2.  
Neurowissenschaftliche Grundlagen:

- „Durch das Soziale wird das Psychische/Bewusstsein aus den Körper-Hirnprozessen hervorgebracht.“

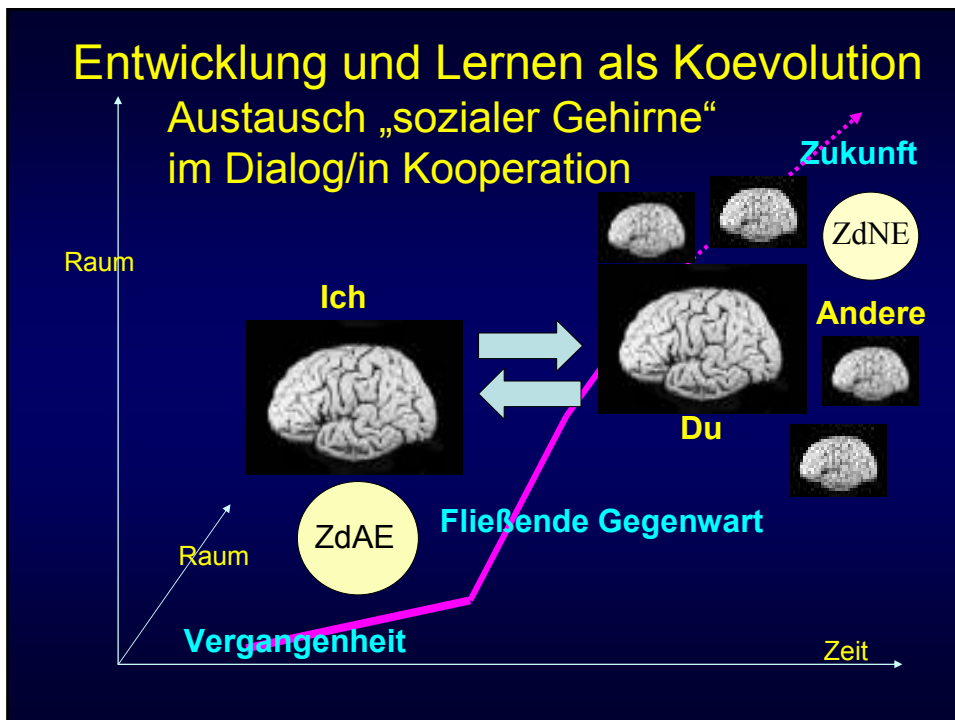
Bewusstsein als kulturhistorisch  
vermittelte integrale leib-seelisch-geistige  
Fähigkeit auf biologischer (genetischer)  
Grundlage.



# Gehirn als soziales Organ



# Entwicklung und Lernen als Koevolution Austausch „sozialer Gehirne“ im Dialog/in Kooperation





Eisenberg (1995): The social construction of the human brain.

Am J Psychiatry 1995; 152: 1563-1575

Review der Literatur der letzten 2 Dekaden:

„Die Natur und Erziehung von Hirnstruktur und geistigen Funktionen sind durch soziale Erfahrungen vermittelt.“

Nature ↔ Nurture

Review der Literatur der letzten zwei Dekaden:

„Theory of the Organism-Environment-System“. Part I – IV Järvillehto 1998-2000

„Foundations in Social Neuroscience“  
Cacioppo et al (eds.) 2002

„Neurobiologie zwischenmenschlicher Beziehung“ Cozolino 2002

„How the body shapes the mind“ Gallagher 2005

„Das Gehirn als Beziehungsorgan“ Fuchs 2008

**Järvillehto (2000): Theory of organism-environment-system:**

- „A system is a whole consisting of elements, the interaction of which makes possible its existence or action.. „ (as results of interaction)
- Entscheidend ist die Rückmeldung der Resultate der Wirkung seiner selbst aus dem Körperinneren und/oder der Umwelt (von anderen Menschen)

**Cozolino (2002): The Neuroscience of Psychotherapy, Building and Rebuilding the Human Brain.**

- „Vom ersten Moment unseres Lebens an existieren wir in einem Komplex sozialer Beziehungen...
- Frühe Bindungserfahrungen entwickeln sich schrittweise zu Langzeitmustern von Beziehungen und unserer Fähigkeit Emotionen zu erfahren, zu tolerieren und zu regulieren.“ (p.172)

- „Netzwerke des sozialen Gehirns, die Beziehung und Interaktion dienen, sind auch primäre Komponenten des neuralen Substrats von Emotion und formen den Kern der Persönlichkeit...
- Das Verständnis von den Kernprozessen, wie das soziale Gehirn organisiert wird, ist von größtem Interesse in dem Versuch, neurale Systeme zu beeinflussen.“  
(pp. 172/173)

## Frühe Bindungs- und Beziehungserfahrungen ...

prägen das intrinsische Emotions- und Motivationssystem (Hirnstamm und subkortikale Bewertungs-, Gedächtnis-, Antriebs- und Ausdrucksstrukturen) (Damasio 2002, Panksepp 1998):

- Lebensfreundlich - Lebensfeindlich
- Willkommen - Abgelehnt
- Anerkannt – Vernachlässigt
- Geliebt - Ungeliebt

sind ins autonome KörperKernselbst (Gedächtnis) eingeschrieben. (Zieger 2002)

## Mehrfache Bedeutung

1. Die dem Gehirn zugeschriebene Bedeutung hängt ab von kulturellen, wissenschaftlichen, politischen Interessen
2. **Soziale Einflüsse prägen Hirnstrukturen und Hirnfunktionen von Anfang an**
3. Erfahrungen Hirnverletzter und Behinderter können genutzt werden
4. Lernen mit Betroffenen als Quelle von Erkenntnis bleibt häufig ungenutzt
5. „Verbesserung“ des Gehirns?

## Pädagogische Bedeutung funkt. HS

Christel Manske, Mathematikprofessorin,  
Nichtlineare Didaktik (2007):

*Die höheren psychischen Funktionen, wie Wahrnehmen, Sprechen, Denken, sind weder angeboren, noch entwickeln sie sich reifemäßig, sondern sie bilden sich in der Einheit von Handlung/Tätigsein und Sprache heraus.*

**Lernen bedeutet, funktionelle Hirnsysteme auszubilden**, die

1. als einheitliches Organ arbeiten
2. lösungsresistent sind
3. zur Transformation und Generalisation fähig sind
4. automatisiert ablaufen, aber zu jeder Zeit rekonstruiert werden können.

[http://www.lvev.de/html/body\\_funktionelle\\_hirnsysteme.html](http://www.lvev.de/html/body_funktionelle_hirnsysteme.html)

## 1. Einheitliche Organbildung (fkt. Hirnorgan)

- Der Mensch ist in der Lage, einen Apfel in der Vorstellung zu riechen, zu sehen, zu fühlen und zu schmecken, weil wir einheitliche funktionelle Hirnsysteme ausgebildet haben, die als spezialisierte Nervenzellzusammenschlüsse agieren. Viele unterschiedliche Erfahrungen in der Einheit mit dem Wort Apfel waren dafür die Voraussetzung.

## 2. Lösungsresistenz

- Es ist nicht vorstellbar, das Wort Apfel zu vergessen. Anders verhält es sich mit mechanisch auswendig gelerntem Wissen, z.B. mathematischen Formeln, die schnell vergessen werden. Hat aber jemand Sinn und Bedeutung der Differentialrechnung ebenso verstanden wie eine Additionsaufgabe, steht sie ihm lebenslang zur Verfügung.

## 3. Transformation und Generalisierung

- Wenn ein Mensch einen Begriff vom Apfel gewonnen hat, kann er ihn auch dann klassifizieren, wenn ihm die Sorte völlig fremd ist; wenn er eine Additionsaufgabe prinzipiell begriffen hat, kann er jede weitere lösen.

## 4. Automatisiert und jeder Zeit abrufbar

- Die funktionellen Hirnsysteme arbeiten auf der Erscheinungsebene automatisierter Handlungen. In der Regel müssen wir bei der Aufgabe  $7 \times 8 = 56$  nicht überlegen. Wenn uns aber die Lösung nicht automatisch einfällt, sind wir in der Lage, die Handlung, die zu dem Ergebnis geführt hat, zu rekonstruieren.

## II. Neuropsychotraumatologie

- Lehre von den neurobiologischen und psychosozialen Wirkungen und Folgen eines Traumas, eines traumatisierenden Erlebnisses oder von traumatischem Stress als „extreme, kritische und belastete“ Form von Objekt- und/oder zwischenmenschlicher Begegnung (z.B. frühe Gewalterfahrung)
- Individuelle Vulnerabilität - Resilienz

## NeuroPsychoTrauma?

- Ein unvorhergesehenes, bedrohliches Ereignis (Krieg, Katastrophe, Überfall, Vergewaltigung, Unfall, plötzliche Erkrankung, Ankündigung einer bösartigen Erkrankung etc.), für das der Betroffene/der Organismus keine Vorerfahrung/Bewältigungsmechanismen hat (Flatten et al 2004).
- Traumatischer Stressor (**Hirnverletzung**)
- Begleitumstände, Individuelle Ressourcen

## Wirkung

- Unterbrechung der Handlungskette
- **Trennung vom sozialen Bezugssystem**
- Isolation, Dissoziation
- Akute Schutzreaktion (Erstarren, Verstummen, Zusammenklappen, Schock, weniger auch Abwehr, Angriff)
- Gefühl der Hilflosigkeit und Ohnmacht, des Ausgeliefertseins
- (Schmerzen)

## Verlaufsphasen der (neuro)psychischen Traumatisierung:

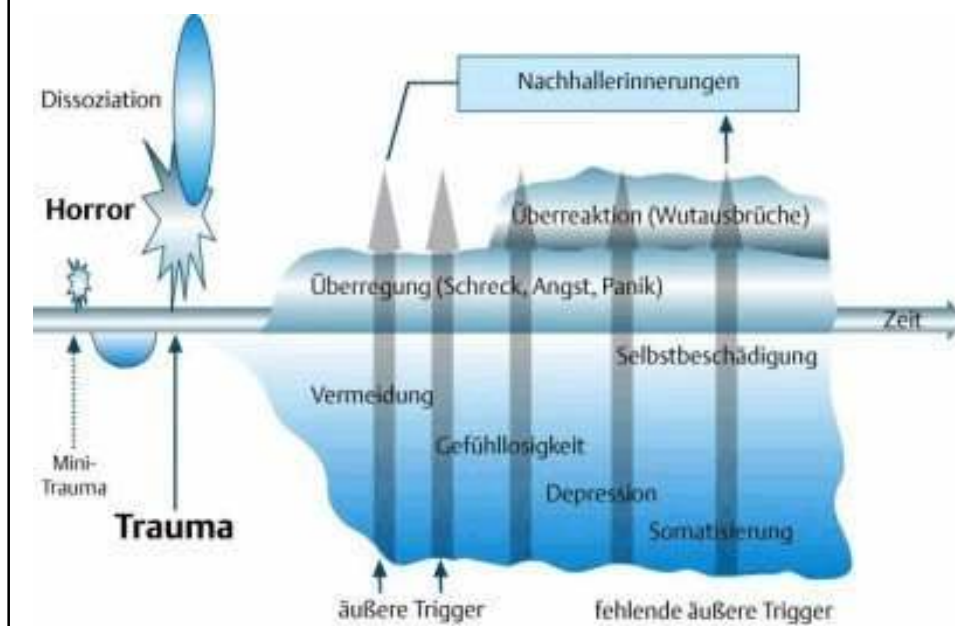
1. Prätraumatische Vorläuferbedingungen (z.B. Lebensgeschichte)
2. Traumatische Situation
3. Traumatische Reaktion (Bewältigungsversuche, Auswirkungen)
4. Traumatischer Prozess (wenn der Übergang in die postexpositorische Erholung dauerhaft scheitert), Zeitnahe Einwirkungsphase (14 Tage bis 4 Wo. postevent)
5. Phase der Verfestigung



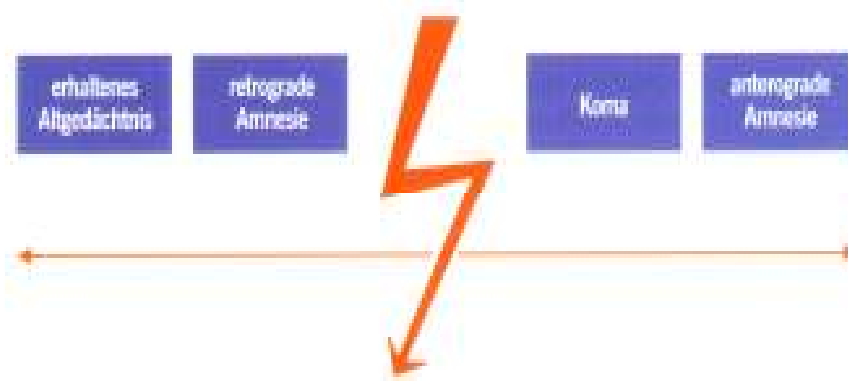
## Folgen von traumatischem Stress

- **Akute Traumareaktion** (vegetative Instabilität und Ohnmacht, Besinnungslosigkeit, Koma)
- Dissoziationsstörung, funktionelle Amnesie („amnestisches Blockadesyndrom“), PTA
- **Posttraumatische Belastungsstörung (PTBS)**  
Wiedererinnerungen: Intrusionen, flashbacks;  
Vermeidungsverhalten
- Angststörungen, Panikattacken
- Somatoforme Störung, Somatisierung
- Depression, Anpassungsstörung

## Phänomenologie des Stresstraumas (Post 1992)



## Traumatische Amnesie



## Gedächtnissystem (LZG)

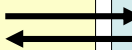
(Squire 1992)

### Explizit

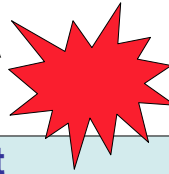
- Deklarativ
  - Bewusstsein
  - Semantisches Gedächtnis, Weltwissen
  - Episodisch-biographisches Gedächtnis
  - Sprache, narrativ
- Hippocampus, Assctx, PFC

### Implizit

- Nichtdeklarativ
  - Unbewusst
  - Körpergedächtnis
  - Prozedurales und affektives Gedächtnis
  - Konditionierung, priming
  - Nonverbal, intuitiv
- Mandelkern, Bsggl, KH



# StressTrauma



## Traumatisiertes Gedächtnis

### Explizit

- Betäubung
- Wiedererinnerungen an das Trauma
- Intrusionen
- Flashbacks
- Alpträume
- kein narrativer Anschluss an die traumatischen Gefühle

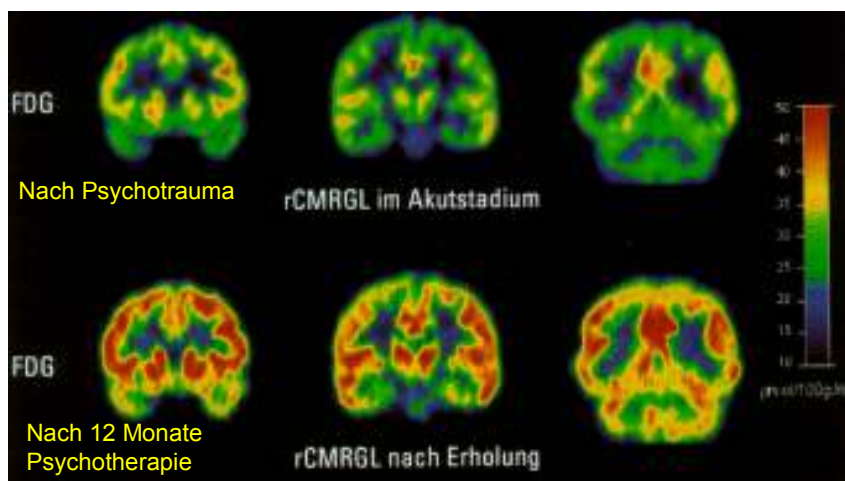
Hippocampus, Assctx, PFC

### Implizit

- Lebensbedrohlicher Affekt, Befühl der Bedrohung
- Unauslöschliche Verbindungen, quasi eingebrannt
- Dissoziation, Verstummen, Abstumpfung, emotionale Amnesie („Blockade“)

Mandelkern, Bsggl, KH

## Traumatische Amnesie



Fujiwara & Markowitsch 2003

## Integriertes neuropsychotraumatologisches Verständnis

### „Schädel-Hirntrauma“

Silverberg & Iverson  
NeuroRehabilitation 29  
(2011) 4:317-330

Art	Folgen	Symptome
Direkte physikalische Einwirkung „Impact“	Zerreißung und Destruktion von Gewebe Schwellung	Koma, Amnesie usw.
Indirekte physikalische Einwirkung „Explosionstrauma“	Zelluläre Kettenreaktion Beeinträchtigung der Kontakte, Ingetrin ↑↑↑ Weinberg, G&G 2012,3:46-51	Kopfschmerzen Müdigkeit Unkonzentriertheit Nervosität „Postconcussions“-Syndrom Silverberg & Iverson 2011
Psychotrauma Affektüberflutung Psychologic distress „shell schock“	Abrupte funktionelle Blockade PFC → Amyg Stressregulationsstörung Hippocampus-Volumen ↓	Hypervigilanz, Unruhe, flash- backs, Intrusionen Vermeidungsverhalten Ängstlichkeit

## Memory of TBI as a risk for PTSD?

(Gil et al 2005)

### Prospektive Studie, N = 120

- Assessment von Wiedererinnerung, Vermeidung and Hyperarousal
- unmittelbar nach Trauma, follow-up 1 w, 3 and 6 m

### Ergebnisse

- 14% hatten PTSD-Symptome nach 6 Monaten
- Patienten mit Erinnerung an das Trauma entwickelten sign. häufiger PTSD
- Erinnerungen innerhalb von 24 h nach dem Trauma sind ein Prädiktor für eine spätere PTSD
- Vermeidungsverhalten und Hyperarousal sind in beiden Gruppen (mit/ohne Erinnerung) gleich verteilt.

## TBI-Studie Greenspan et al 2006

Symptoms of posttraumatic stress (PTS) 6 and 12 months after TBI

### Method

- N=195, mild (19%), moderate (21%) and severe (60%) TBI; interview by telephone; Impact of Event scale (IES): intrusion and avoidance

### Outcome

- Symptoms consistent with severe PTS increased from 11% to 16% at 6 and 12 months post-injury ( $p < 0.003$ )
- Severity and memory of the event were not associated with PTS-like symptoms
- Amnesia to injury event was not protective against developing symptoms
- African-Americans and women appear to be at greatest risk

## Psychotrauma und „Geistige Behinderung“?

[http://www.a-zieger.de/Dateien/Lehrveranstaltungen-Downloads/Referat PTBS bei geistiger Behinderung\\_13062006.pdf](http://www.a-zieger.de/Dateien/Lehrveranstaltungen-Downloads/Referat_PTBS_bei_geistiger_Behinderung_13062006.pdf)

- Traumen wie frühe Gewalterfahrung, Unfall, Krankheit (Ohnmacht), Missbrauch
- Sexualisierte Gewalt in der Familie
- Begleiterscheinung und/oder Ursache einer geistigen oder Lernbehinderung?
- Inwieweit ist (Neuro)Psychotraumatologie in den Curricula verankert?
- Welche Behandlungs-/Fördermaßnahmen?

### III. Plastizität, Erholung, Neulernen

Plastizität = Lebewesen/Menschen können sich veränderten Lebensbedingungen anpassen und Störungen/Schädigungen ausgleichen:

#### 1. Innere Bedingungen

- angeborener, genetischer, perinataler Hirnschaden, traumatisches Erleben
- erworbener Hirnschaden (perinatal)

#### 2. Äußere Bedingungen

- mangelnde Entwicklungsförderung, Armut, Bildungsmangel, Missbrauchserfahrung ...

### Lebenslange Plastizität - Lebenslanges Lernen! Lebenslange Erholung?

- Abbau und Aufbau von Hirnstrukturen durch genetische und **epigenetische** Einflüsse (Waddington 1975)
- **Aktivitäts- und Erfahrungsabhängige Modifikation von Hirnstrukturen** (Singer 1990)
- **Neurogenese** - Widerlegung des neurologischen Dogmas von der Unfähigkeit des Gehirns, neue Zellen zu bilden und sich von einem Defekt zu erholen (1998)

## Neurowissenschaftliche Erkenntnisse:

- Das Gehirn ist nicht fest verdrahtet.
- Die Ausdehnung der Hirnareale von Körperregionen wird durch häufige Benutzung größer.
- Lernprozesse aktivieren Stammzellen im Gehirn und verbessern die Nervenverbindungen.
- Nervenzellen können sich nicht einfach durch Teilung vermehren.
- Aus Nerven-Stützzellen können jedoch neue Nervenzellen entstehen.

- Erfahrungen aktivieren die eigenen Gene individuell.
- Der „Geist“ kann den Körper verändern, z.B. durch Training oder Meditation.
- Auch alte Menschen (nach SHT, Schlaganfall etc.) können neue Nervenzellen im Gehirn durch Stammzellaktivierung bilden.
- Das Verhalten der Eltern verändert die Chemie der Gene ihrer Kinder und Enkel.
- Das Verhalten der Eltern verändert das Gehirn ihrer Kinder.
- Mißbrauchserfahrung verändert die Struktur und Funktion des Gehirns, das implizite (emotionale) Gedächtnis, das Verhalten der ganzen Person!



## Neuronale Plastizität

- Eigenschaft von Synapsen, Nervenzellen oder auch ganzen Hirnarealen, sich in Abhängigkeit von der Aktivität in ihren Eigenschaften zu verändern.
- Abhängig vom betrachteten System spricht man von synaptischer, kortikaler oder Neuro(Hirn)plastizität.
- Lernen durch Nachahmung, Vorstellen und Erfahrung (Vorbild; Spiegelneuronen)

## Mechanismen von Neuroplastizität

- Neubildung von Nervenzellen (Neurogenese)
- Aussprossen von Nervenfasern (Axonsprossung)
- Neubildung und Verknüpfung von Synapsen
- Neuverknüpfung und Umbildung von „Hirnkarten“ und funktionellen Hirnsystemen (zB. Spiegelneurone)

## Neurogenese

- Bei Säugetieren im Hippocampus und im Mandelkern, auch beim Menschen nachgewiesen, auch bei alten Menschen
- Durch molekulare Disinhibition und motorisches Training kann nach einem Querschnittstrauma das Rückenmark funktionell regenerieren
- Nach einem Schlaganfall wachsen von periventrikulären Zone neue Stammzellen

### a. Synaptische Plastizität

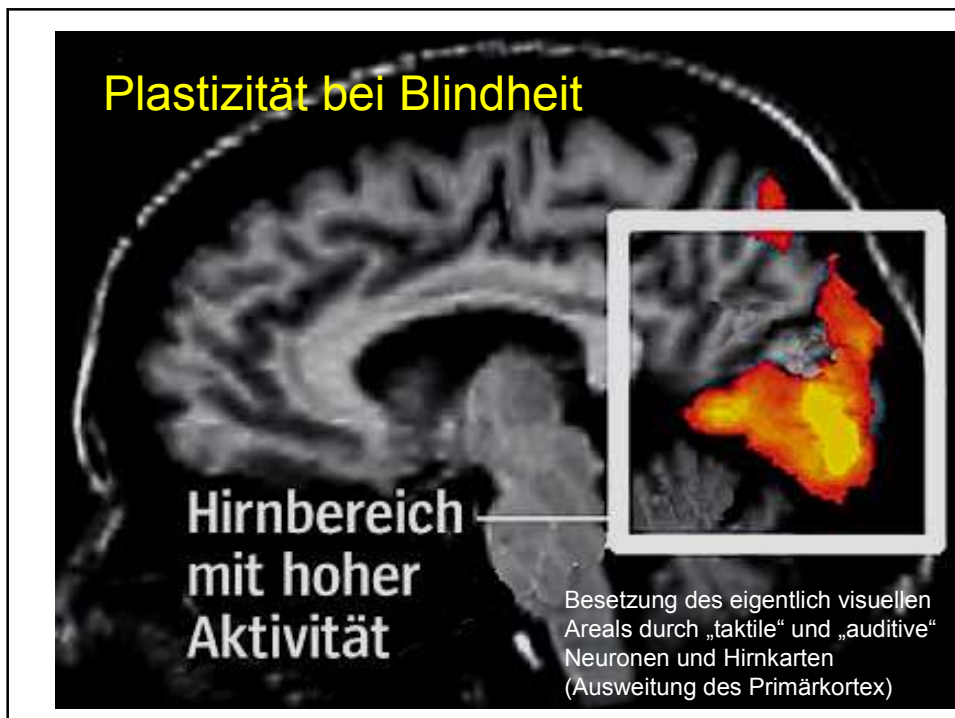
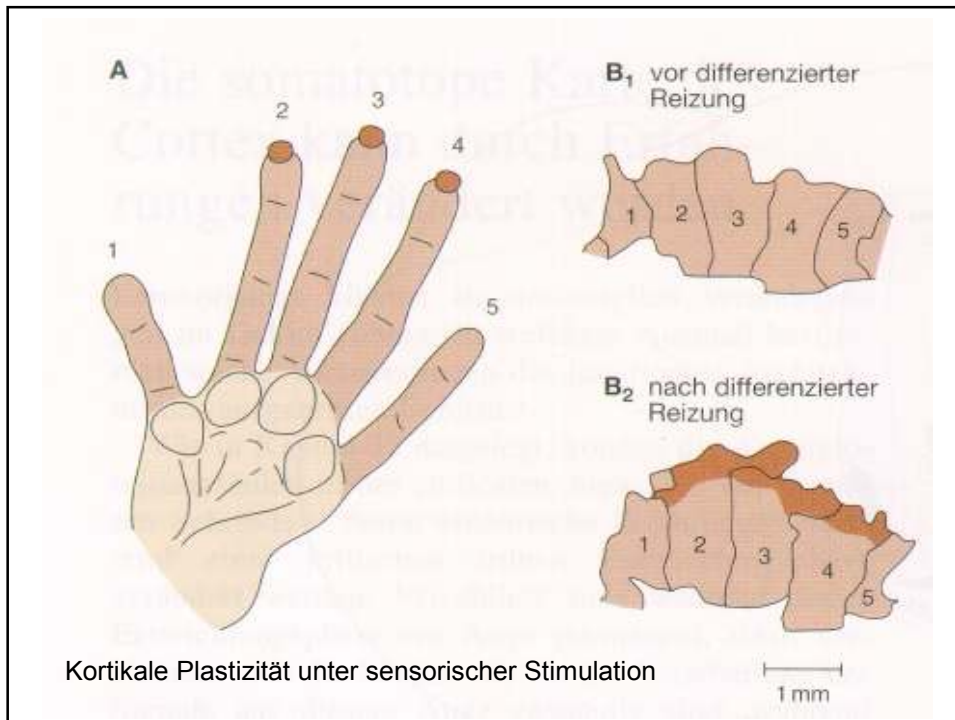
- Je nach Dauer der synaptischen Veränderungen nach einer bestimmten Form der synaptischen Aktivierung unterscheidet man zwischen Kurzzeit- und Langzeitplastizität (*short-term plasticity* und *long-term plasticity*).
- Neurobiologischer/neurophysiologischer Mechanismus für Lernen und Gedächtnis
- Hebbsche Lernregel (1949)

## b. Kortikale- oder Hirnplastizität

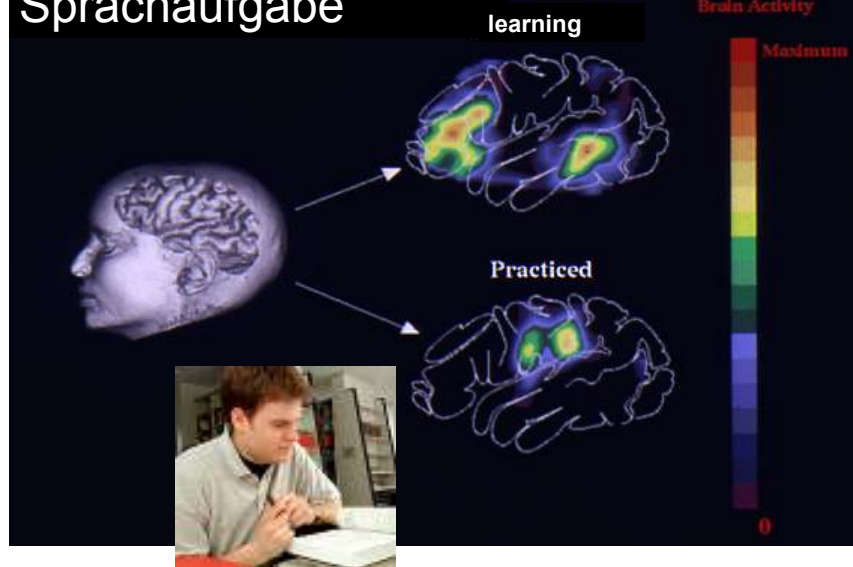
- aktivitätsabhängige Änderung der Größe, Konnektivität oder Aktivierungsmuster von kortikalen Netzwerken
- Prinzipien der kortikalen Plastizität sind keineswegs auf die Großhirnrinde (Kortex) beschränkt: Plastizität des gesamten Gehirns
- Eine häufige und überraschende Konsequenz der Plastizität ist, dass eine gegebene Funktion im Hirn von einer Stelle zu einer anderen „wandern“ kann.

## Plastizität nach Hirnschädigung

- Funktionelle Erholung – Restitution, Reorganisation: Einbeziehung kortikaler (Nachbar-)Areale oder anderer Elemente des funktionellen Systems, Einbeziehung „stummer“ Areale, Rückgriff auf onto- und phylogenetisch ältere Strukturen und Funktionsebenen
- Kompensation – Ausgleich der Funktion durch Üben/Erlernen von Ersatzstrategien
- **Gezielte Stimulation des Funktionellen Systems:**



## Erlernen einer neuen Sprachaufgabe



## Erholung/Recovery



### Emotionale Stimulation (Musik)

- Wiederherstellung einer Funktion (Restitution)
- Neubildung funktioneller Hirnsystemen, Übernahme der Funktion durch Beteiligung benachbarte oder weit entfernte „stummer“ Hirnareale (Reorganisation)
- Substitution (Ersatz)
- Kompensation (Ausgleich)

## Wirkmechanismen von Frühreha

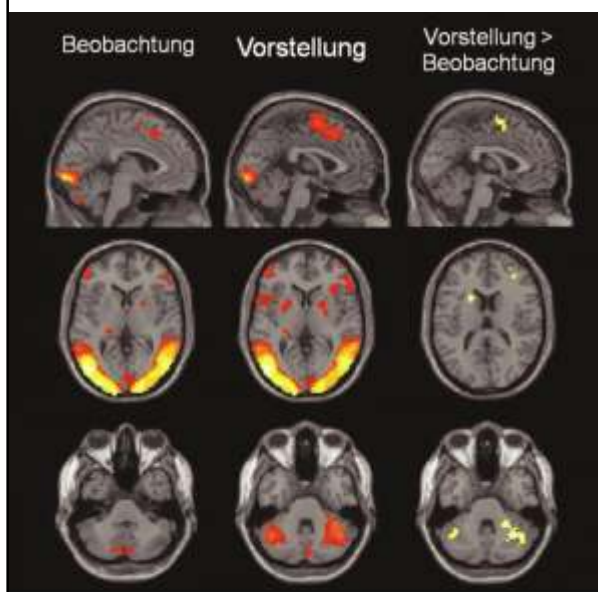
- Anregung von Neurogenese im verletzten Gehirn (als soziales Organ)
- Aktivitätsabhängige Strukturbildung und **Neuroplastizität**, **Spiegelneurone**
- Erfahrungsabhängige und **Umbildung funktioneller Hirnsysteme**
- **Neulernen**, Üben, Ersatzstrategien
- Ausschöpfen *individueller* Entwicklungs- und Rehabilitationspotenziale
- Entwicklung einer Teilhabeperspektive

## IV. (Neuro-)Rehapedagogische Konsequenzen?

- Pädagogische und sonderpädagogische Erfahrungen können durch neurowissenschaftliche Erkenntnisse fundiert und evaluiert werden.
- Menschen mit angeborener oder erworbener Behinderung verfügen **lebenslang** über individuelle Entwicklungs-, Lern- und Rehabilitationspotenziale

- Frühkindliche Traumata (Hemmungen) erschweren die Aneignung von Lernen, mitmenschlicher Erfahrung und Kultur (Ausbildung pathologischer Hirnsysteme mit entsprechender Symptombildung).
- Berücksichtigung neuropsychotraumatologischer und traumapädagogischer Erkenntnisse und Erfahrungen in der Neurorehabpädagogik sinnvoll und notwendig.
- Vertrauen und Sicherheit (pos. Emotionen) in pädagogisch-therapeutischen Beziehungen und Interventionen

## Anschauliches Unterrichten/Üben/Training



### Beobachtung einer Bewegung vs. Bewegungsvorstellung

Aktivierung während der Bewegungsvorstellung im Vergleich zur Bewegungsbeobachtung bei Gesunden.

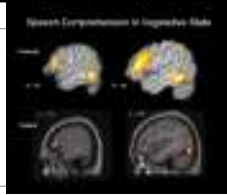
Es zeigen sich bei der Bewegungsvorstellung signifikant zusätzliche Aktivierungen im Kleinhirn, den Basalganglien und der SMA.

Dies favorisiert theoretisch den Einsatz eines Bewegungsvorstellungstrainings gegenüber der Beobachtung.

DuZmars C et al. Journal für Neurologie, Neurochirurgie und Psychiatrie 2012; 13 (1): 5-10 ©



Spiegel-online Wissenschaft vom 08.09.2006:  
Gehirn reagiert auf Worte im Wachkoma



### „Wachkoma-Patienten fördern und ernst nehmen

- Für den Neurochirurgen Andreas Zieger bestätigen solche Forschungsergebnisse, dass selbst ein schwer geschädigtes Gehirn wieder aktivierbar sein kann, wenn man den Patienten ernst nimmt und entsprechend fördert. Zieger leitet die Abteilung Frührehabilitation für schwerst Schädel-Hirn-Geschädigte am Evangelischen Krankenhaus Oldenburg.
- Die Meinung, dass Menschen im Wachkoma "keine seelenlosen Hüllen sind, in denen nichts Geistiges mehr abläuft", vertritt er seit vielen Jahren. Untersuchungen mit modernster Technik wie die der englischen Forschergruppe bestätigen ihn: **„Jetzt ist es möglich, dynamische funktionelle Hirnsysteme darzustellen. Alte Theorien sind damit beweisbar“.**