

# Die moderne Hirnforschung und die Probleme ihrer Anwendung

1. Einleitung
2. Erkenntnisleistungen der Hirnforschung. Übersicht
3. Gefangen im Netz der Neuronen?

# Einleitung

Unter philosophischem Blickwinkel wirft die moderne Hirnforschung, eingebettet in die Diskussion des Leib-Seele-Problems, vor allem zwei Fragen mit eminent praktischer Relevanz auf:

- In welchem Maße sind wir in unserem Fühlen, Denken und Handeln von dem neuronalem Geschehen in unserem Gehirn abhängig?
- In welchem Maße vermag unsere Aktivität, unsere Erfahrung umgekehrt das neuronale Geschehen zu beeinflussen?

# Einleitung

In der Untersuchung dieser Fragestellungen bildeten sich in der Hirnforschung zwei Tendenzen heraus:

- eine naturalistische Tendenz, in der die starke (kausale) Abhängigkeit von Bewusstsein und Handeln von den neurophysiologischen Prozessen betont wird, und
- eine eher kulturalistische Tendenz, in der die Abhängigkeit der Persönlichkeitsentwicklung von dem neuronalen Geschehen nicht bezweifelt, zugleich aber die starke Veränderbarkeit neuronaler Strukturen durch die Erfahrung herausgearbeitet wird.

# Einleitung

Die auf das Menschenbild zielenden Fragestellungen der modernen Neurowissenschaften sind nicht neu.

Es geht um das Verhältnis

- von natürlichen Anlagen, endogenen natürlichen Vorgängen in der Persönlichkeitsentwicklung und der sozialen Umwelt,
- von Freiheit und Zwang, Selbst- und Fremdbestimmtheit,
- von Mächten, denen die Individuen unterworfen sind, und Eigenverantwortung,
- von Prägung und Lernfähigkeit.

# Einleitung

Die große Leistung der modernen Hirnforschung besteht darin, mit Hilfe verfeinerter und neuer bildgebender Verfahren in der Untersuchung neuronaler Aktivitäten eine Fülle von empirischen Befunden erzielt zu haben, die eine differenziertere Beantwortung der aufgezählten Fragen ermöglicht.

# Einleitung

Durch ihre Erkenntnisse beeinflusst die Hirnforschung neben der Philosophie zudem eine Vielzahl von Wissenschaften, wie die Medizin, die Psychologie, die Wirtschaftswissenschaften, die Rechtswissenschaften, die Pädagogik. Selbst die Geschichtswissenschaften gewinnen einen neuen Blick auf ihre Quellen.

# Einleitung

Die praktische Anwendung dieser Erkenntnisse reicht

- von gesellschaftspolitischen Reformdiskussionen, insbesondere im Bereich des Rechts und der Erziehung,
- der therapeutischen Nutzung über
- die Förderung der Persönlichkeitsentwicklung bis zum
- „Hirndesign“.

# Grundlegende Erkenntnisleitungen der modernen Hirnforschung

1. Erkenntnisse zur Herausbildung eines gewissen Maßes von Handlungs-, sozialer und moralischer Kompetenz auf der Grundlage spezieller neuronaler Mechanismen schon im vorsprachlichen Alter (Spiegelneuronen)  
Bei Piaget und Kohlberg wurde dies noch in einem starken Maße an die Entwicklung der Sprachfähigkeit gekoppelt.

Der berühmte Neurowissenschaftler Ramachandran verglich die Entdeckung der Spiegelneuronen mit jener der DNA. Für ihn sind sie neurophysiologische Grundlage der menschlichen Kultur. Sie sind neuronale Grundlage für Nachahmungs- und Modelllernen.



# Grundlegende Erkenntnisleitungen der modernen Hirnforschung

## 2. Erkenntnisse zur Eigendynamik emotionaler Prozesse und zur Macht der Gefühle

„Ich fühle, also bin ich“ (Antonio Damasio)

# Grundlegende Erkenntnisleitungen der modernen Hirnforschung

## 3. Erkenntnisse zur Plastizität des Gehirns

Gerhard Roth: „Die revolutionäre Einsicht für die Neurowissenschaften liegt darin, dass die Kommunikation und Interaktion das Gehirn formen, oft in Minuten-schnelle. Das Ich entsteht aus dieser Interaktion, genauso wie Gene durch Umwelteinflüsse aktiviert werden.“

# Spiegelneuronen

Die Spiegelungsmechanismen sind vorsprachliche neurophysiologische Mechanismen in der Interaktion.

Es geht hierbei um die

- Fähigkeit der Imitation und Simulation von beobachteten Aktivitäten,
- das Verständnis von Intentionen anderer,
- um den Erwerb von Handlungs-, moralischer, kommunikativer und sozialer Kompetenz.

# Spiegelneuronen

- Die Fähigkeit mögliche Aktivitäten zu simulieren, ermöglicht Antizipation, das Durchspielen von Alternativen und das Verstehen der Intentionen anderer.
- Es handelt sich hierbei jedoch immer erst einmal um vorsprachlich implizites Verstehen.
- Dieses Verstehen hat eine instrumentelle und eine emotionale Dimension. Hierüber prägen sich Handlungsfähigkeit und Empathie aus.

# Spiegelneuronen

Die Fähigkeiten zur Imitation von Aktivitäten und zur Empathie treten im Normalfall in wechselseitiger Verknüpfung auf, unterliegen aber offensichtlich entkoppelten Wirkungsmechanismen.

(Stichpunkt:  
Autismus/Inselbegabungen/Unfähigkeit zu Empathie)

# Spiegelneuronen

Über die Imitation von Aktivitäten und die Herstellung emotionaler Resonanz werden schon im vorsprachlichen Alter gemeinsame Handlungs-, Bedeutungs- und Beziehungsräume aufgebaut.

Dies hat weit reichende Konsequenzen für die Erziehung.

# Gefangen im Netz der Neuronen?

Im Mittelpunkt der philosophischen Debatte neurowissenschaftlicher Erkenntnisse in den letzten Jahren stand das Problem der Willensfreiheit.

Dabei ist es wieder modern geworden, die menschliche Willensfreiheit zur Illusion zu erklären.

# Gefangen im Netz der Neuronen?

Die Protagonisten sind aber weder Philosophen noch Literaten, sondern Neurowissenschaftler selbst (Prinz, Singer, Roth etc.), die überzeugt sind, sich im Unterschied zu jenen nicht mehr der Spekulation bedienen zu müssen, sondern auf eine reiche Ernte experimenteller Befunde verweisen zu können.



# Gefangen im Netz der Neuronen?

Die neurowissenschaftlichen Befunde haben deshalb auch eine so hohe Brisanz, weil die Autonomie des Individuums und in diesem Zusammenhang die Überzeugung, dass der Einzelne freie, durch die Vernunft getragene Entscheidungen über sein Handeln treffen kann, in der europäischen Kultur einen kaum zu überschätzenden Stellenwert besitzt.

# Gefangen im Netz der Neuronen?

Im Zentrum dieser Befunde standen die so genannten Libet-Versuche.

Er beabsichtigte mit seinen Experimenten die Existenz der Willensfreiheit nachzuweisen.

# Libet-Versuche

Benjamin Libet untersuchte die zeitliche Abfolge

- von willentlicher Entscheidung,
- dem neurophysiologischem Bereitschaftspotential in der Auslösung einer Muskelaktivität und
- der ausgelösten Bewegung.

# Libet-Versuche

Die Versuchspersonen wurden darauf trainiert, in einer gegebenen Zeit von 2,56 Sekunden den spontanen Entschluss zu fassen, einen Finger der rechten Hand bzw. die ganze rechte Hand zu beugen.

# Libet-Versuche

Haggard und Eimer modifizierten die Versuche in einer Art, die eine Differenzierung zwischen symmetrischem und lateralisiertem Bereitschaftspotential ermöglichte.

Sie ließen den Probanden in ihren Versuchen die freie Wahl zwischen linker oder rechter Hand bzw. eines links oder rechts zu drückenden Knopfes.

# Libet-Versuche

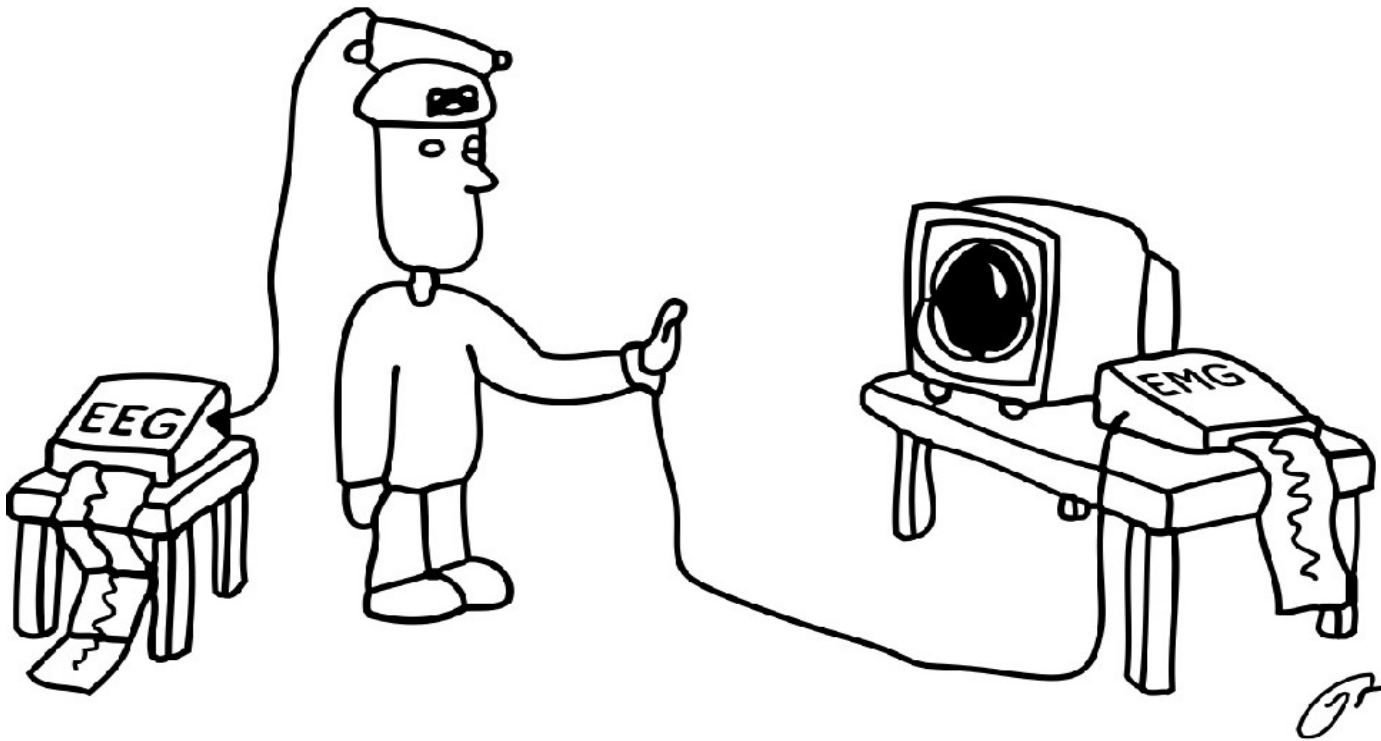
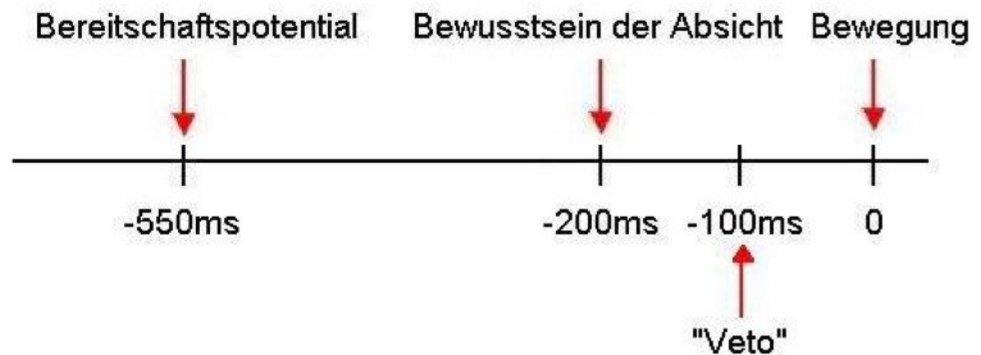
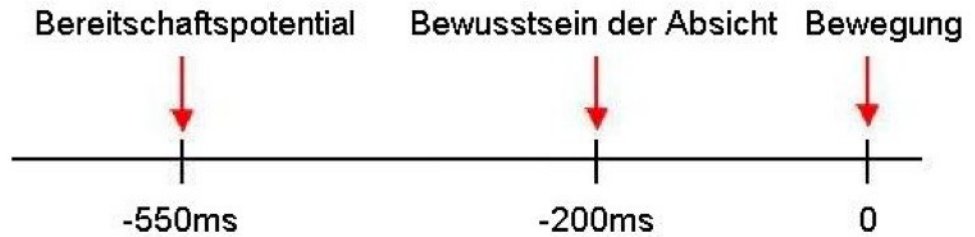
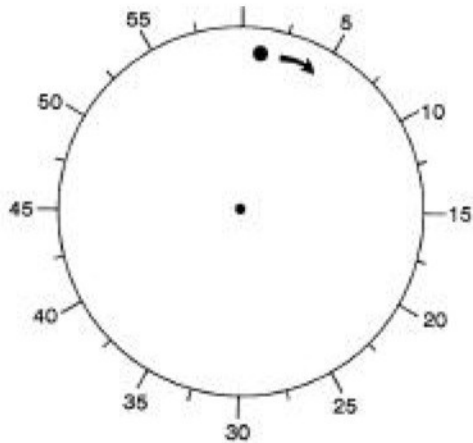


Bild: Jalyon, [www.jalyon.co.uk](http://www.jalyon.co.uk)

# Libet-Versuche



# Libet-Versuche

Es zeigte sich, dass „das Bereitschaftspotential im Durchschnitt 550-350 Millisekunden ... dem Willensentschluss *vorausging*, niemals mit ihm zeitlich zusammenfiel oder ihm etwa folgte.“ (Roth, S. 438)

Der „*Willensakt tritt in der Tat auf, nachdem das Gehirn bereits entschieden hat, welche Bewegung es ausführen wird.*“ (Roth, S. 442)

Der freie Wille ist also offensichtlich eine Illusion.



# Die Libet-Versuche und ihre rechtspolitischen Konsequenzen

Unser Recht unterstellt bei Verurteilungen, dass der Täter verantwortlich ist für seine Tat, in dem Sinne, dass er sich frei entscheiden konnte, ob er diese Tat ausführt oder nicht.

Schränkt die gegebene Interpretation der Libet-Versuche die Möglichkeit ein, Verantwortung zuzuweisen?

# Gefangen im Netz der Neuronen?

Die Versuchsteilnehmer hatten, trotzdem das Gehirn auf rein physiologischer Grundlage *unbewusst* entschieden hatte, „das klare Gefühl ..., eine freie Entscheidung getroffen zu haben“ (Roth, S. 442).

Die Fragen sind:

Nimmt das Bewusstsein lediglich zur Kenntnis, was im Unbewussten immer schon entschieden wurde?

Welche Macht hat das Unbewusste?

Welche Funktion hat das Bewusstsein?

# Philosophisches oder Die „dunklen Mächte“ des Unbewussten

In welchem Sinne kann von dem Unbewussten die Rede sein?

Ist das Unbewusste lediglich ein neurophysiologischer Wirkungszusammenhang oder ist es mentales Ereignis?

Haben unbewusste Vorgänge Macht über uns?

# Die „dunklen Mächte“ des Unbewussten

In der Neuropsychologie wird das Unbewusste mit neuronalen Vorgängen unterhalb der Wahrnehmungsschwelle identifiziert.

Das, was gemeinhin als das Unbewusste bezeichnet wird, reduziert sich auf neuronale Wirkungszusammenhänge in der Informationsverarbeitung, denen noch keine mentalen Eigenschaften zukommen.

# Die „dunklen Mächte“ des Unbewussten

Das Unbewusste ist kein Bezirk, in dem verdrängte Triebe oder Erlebnisse, geheime Wünsche, Motive, Symbole etc. wirken.

Es handelt sich um neuronale Verschaltungen, die Gefühle der Getriebenheit bzw. von belastenden Erinnerungsfragmenten, Wünsche, Motive, symbolhafte Vorstellungen *auslösen*.

Diese selbst aber sind uns durchaus bewusst. D.h. neuronale Vorgänge erhalten immer erst im Bewusstsein mentale Qualität, die erlebt und berichtet werden kann.

# Die „dunklen Mächte“ des Unbewussten

Unbewusste neuronale Prozesse werden unterschieden in

- Prozesse, die prinzipiell nicht wahrgenommen werden, autonom ablaufen, und
- Prozesse, die bestimmte Wahrnehmungen auslösen.

Letztere werden auch als „unterschwellige Wahrnehmungen“ bezeichnet, die in der Tat verhaltenswirksam sind.

Der Begriff aber ist irreführend. Es sind neuronale Vorgänge, die die Wahrnehmung beeinflussen.

# „Unterschwellige Wahrnehmungen“

Es gibt Versuche, in denen die Zeugenaussagen in Gegenüberstellungen unterschwellig beeinflusst wurden.

Ermittlungsbeamte können Gegenüberstellungen durch die Veränderung in der körperlichen Haltung oder in der Mimik beeinflussen, ohne dass die Zeugen die Manipulation wahrnehmen.

# „Unterschwellige Wahrnehmungen“

Ein Reiz kann frühestens nach 300 Millisekunden bewusst werden, bei komplexen oder sehr bedeutungshaften Reizen sogar erst nach einer Sekunde oder noch später.

Ein Reiz, der weniger als 50 Millisekunden dargeboten wird, kann nicht mehr wahrgenommen werden.



# „Unterschwellige Wahrnehmungen“

Ein Reiz, der z.B. 150 Millisekunden andauert, kann mit entsprechender Verzögerung (300 ms) bewusst werden.

Ein solcher Reiz kann jedoch durch einen nachfolgenden Reiz überlagert (maskiert) werden, sodass er verdrängt, d.h. nicht bewusst wird.

# „Unterschwellige Wahrnehmungen“

Viele „Experimente arbeiten mit Wortergänzungsaufgaben, bei denen bestimmte Wörter maskiert dargeboten werden.

Anschließend wird die Versuchsperson aufgefordert, einen Wortstamm oder fehlende Buchstaben in Wörtern mit Lücken zu ergänzen.

# „Unterschwellige Wahrnehmungen“

Zum Beispiel kann man der Versuchsperson durch einen maskierenden Reiz das Wort

>>Schub<<

zeigen und sie anschließend auffordern, den Wortstamm

>>Schu...<<

mit dem ersten Wort zu ergänzen, das ihnen in den Sinn kommt.

Dies könnten z.B. die Wörter Schuhe, Schule, Schuld sein.

Die Versuchspersonen bevorzugen aber das Wort >>Schub<<, obwohl >>Schule<< oder >>Schuhe<< näher gelegen hätten.

# „Unterschwellige Wahrnehmungen“

Die Verhaltenwirksamkeit unterschwelliger, maskierter Wahrnehmungen wird noch deutlicher in Reizsituationen, die Emotionen hervorrufen.

So können z.B. unterschwellig Schlangen oder Spinnen dargeboten und mit emotional neutralen Objekten (Pilzen, Blumen) maskiert werden.

Bei Personen, die eine starke Angst vor Spinnen oder Schlangen haben, führt dies auch zu entsprechenden Furchtreaktionen des vegetativen Nervensystems (erhöhter Hautwiderstand, Herzschlag etc.)

# „Unterschwellige Wahrnehmungen“

Subliminale Wahrnehmungen haben einen deutlichen Einfluss auf unser Verhalten, insbesondere wenn es sich um emotionales oder handlungsrelevantes >>Priming<< handelt.

Priming – Bahnung der Wahrnehmung bzw. des Verhaltens mit Hilfe von unbewussten Hinweisreizen

# „Unterschwellige Wahrnehmungen“

„Diese Effekte treten nur bei einfachen Reizmerkmalen auf und betreffen Handlungen, die mehr oder weniger automatisiert sind bzw. schnell ablaufen müssen und deshalb keinen besonderen Aufwand an Bewusstsein und Aufmerksamkeit verlangen.“ (Roth, S. 225)

# Die „dunklen Mächte“ des Unbewussten

In der Regel wird das Unbewusste mit dem, was Macht über uns gewinnt, gleichgesetzt.

Das Bewusstsein gilt zumeist als jene Instanz, die uns Freiheit, Souveränität im Umgang mit dem Unbewussten, dessen Kontrolle, ermöglicht.

# Die „dunklen Mächte“ des Unbewussten

Erst in unserem Bewusstsein kann das, was sich neuronal in uns ereignet, zur Macht über uns werden.

Es geschieht durch die Art, wie wir wahrnehmen, was sich in uns bzw. mit uns ereignet.



# Die „dunklen Mächte“ des Unbewussten

Das wahrnehmende Erleben entzieht sich, obgleich basale Form des Bewusstseins, unserer Kontrolle.

*Erst in einem spontan sich herstellenden Bewusstsein werden natürliche Kausalitäten in erlebte Machtverhältnisse transformiert.*

Entspannen Sie sich und starren ca. 30 - 45 Sekunden auf die 4 kleinen Punkte im Bild.

Sehen Sie langsam auf eine Wand in Ihrer Nähe (bzw. auf eine glatte, einfarbige Fläche).

Zunächst sehen Sie, wie sich langsam ein heller Fleck bildet (lange genug hinschauen!)

Ein paar mal blinzeln und Sie sehen wie eine Figur in dem Fleck entsteht.

Was oder vielmehr WEN sehen Sie?





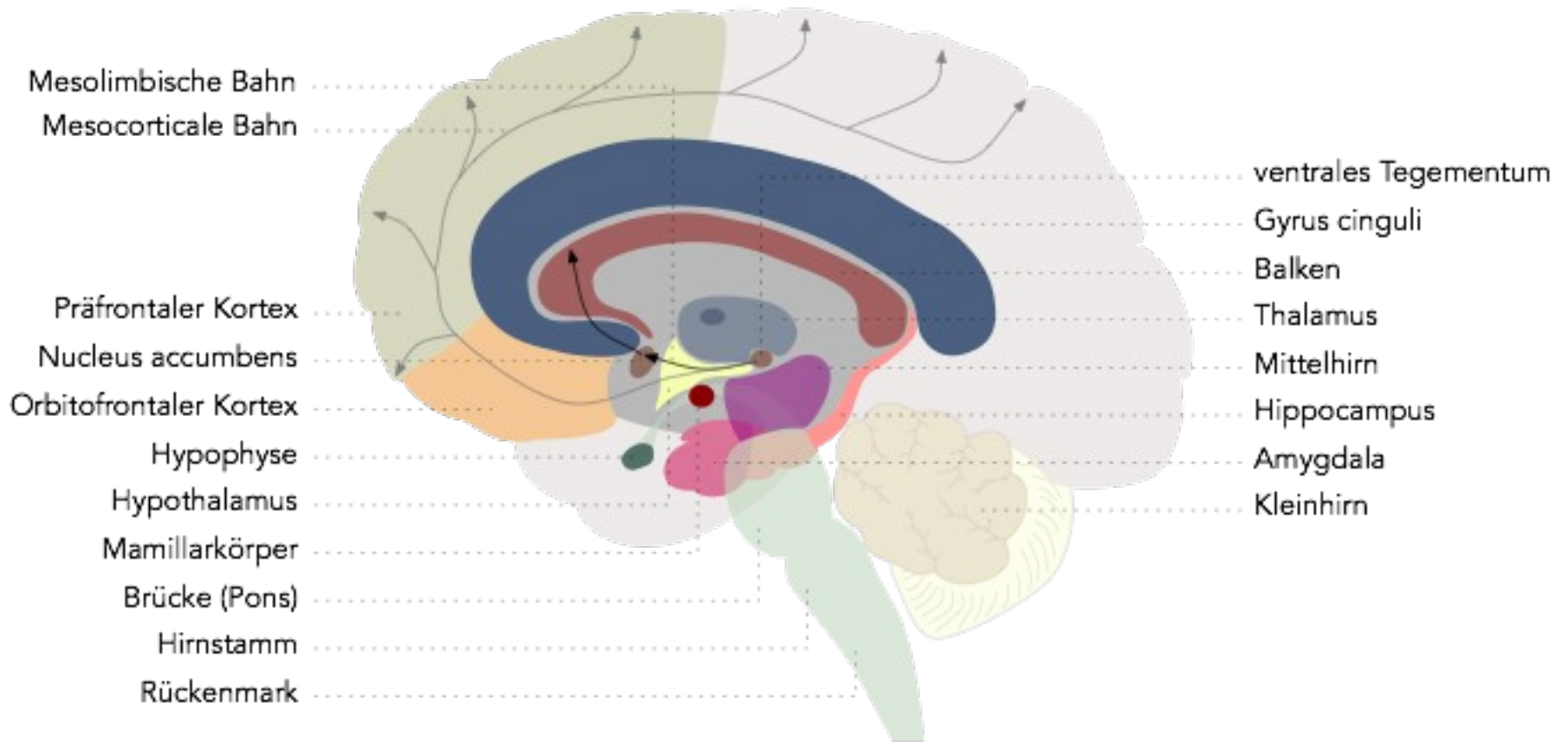
# Die Macht der Gefühle - Das Limbische System -

System von Schaltkreisen im Gehirn

korreliert mit emotional-affektiven Zuständen

- in Verbindung mit Vorstellungen, Gedächtnis-leistungen, Bewertung, Auswahl und Steuerung von Handlungen (Projektionen in den assoziativen Cortex)
- in Verknüpfung mit dem autonomen Nervensystem zur Regulation automatisierter Reaktionen

# Limbisches System – Zentrum der Emotionen



# Bestandteile des Limbischen Systems

- Transmittersysteme
- Hypothalamus (Verknüpfung emotionaler Komponenten mit vegetativen Funktionen, Stichwort: Angstschweiß)
- Amygdala (emotionale Einfärbung von Informationen, Angstzentrum)
- Hippocampus (Integration von Sinnesdaten, Gedächtnisfunktionen)
- Corpus mamillaria (Gedächtnis, Affektverhalten, Sexualfunktion)

# Bestandteile des Limbischen Systems

- Gyrus cinguli (dient im Wechselspiel mit dem präfrontalen Cortex der Fehlererkennung und Fehlerkorrektur, weiterhin der Schmerzwahrnehmung und dem Antriebsverhalten)
- Zentrales Höhlengrau (Zentrum für angeborene affektive Zustände und Verhaltensweisen)
- Mesolimbisches System (Belohnungs- und Suchtzentrum)
- Orbitofrontaler Cortex (emotionale und motivationale Aspekte der Verhaltensplanung und -korrektur)

# Transmittersysteme

- Nerven, die denselben Botenstoff benutzen, bilden Systeme, die durch verschiedene Hirnbereiche laufen
- sind miteinander verschaltet

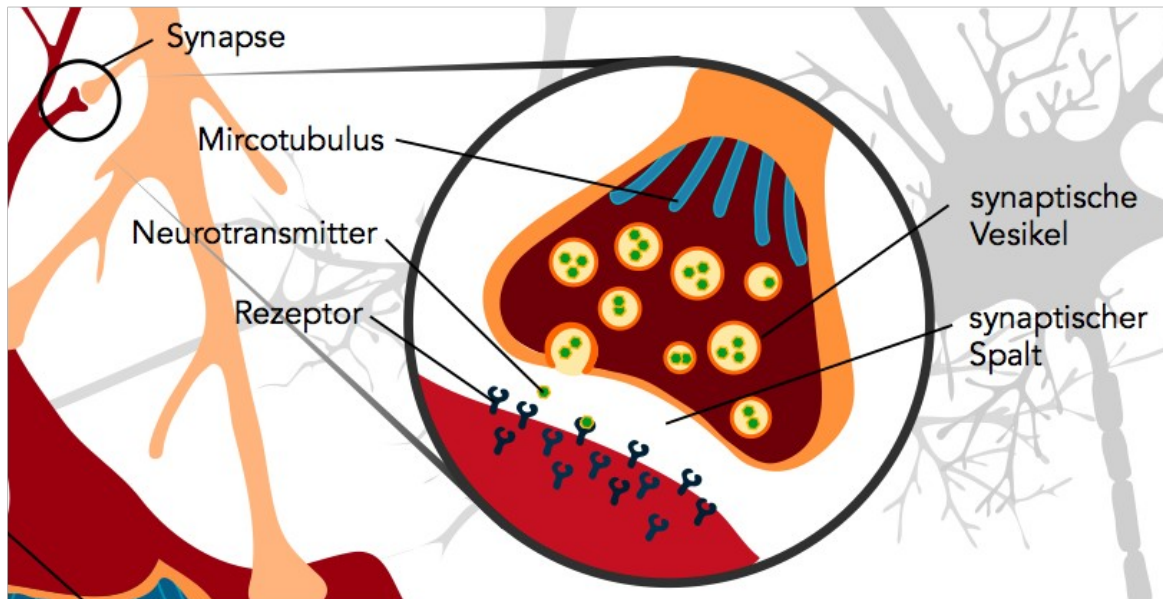
Vier Transmittersysteme:

- das noradrenerge System
- das serotonerge System
- das dopaminerge System und das
- cholinerge System



# Neurotransmitter

- Überträgerstoffe: dienen der Erregungsübertragung bei chemischen Synapsen
- werden aus Vesikeln an der präsynaptischen Membran von Nervenzellen freigesetzt und diffundieren durch den synaptischen Spalt
- binden spezifisch an Rezeptoren in der postsynaptischen Membran



# Die wichtigsten Neurotransmitter

Name	Wirkungsort und -art	Wirkungsdauer
Glutamat	direkte Signalübertragung an	Millisekunden
GABA (Gamma-Amino-Buttersäure)		d e r
Glycin		S
Acetylcholin		y
Noradrenalin		n
Serotonin		a
Dopamin		p s e ,
		w i c h

# Neurotransmitter: Wirkungen

Name	Wirkung auf die postsynaptische Membran	Wirkung auf den Körper
Acetylcholin	erregend	Steuerung motorischer Zentren, Einfluss auf Schlafrhythmus, Schmerzsensibilisierung, gezielte Aufmerksamkeit, Gedächtnis/Lernförderung
Noradrenalin	erregend/hemmend	allgemeine Aufmerksamkeit, Erregung, Stress
Serotonin	erregend/hemmend	emotionale Stabilität/Labilität, Dämpfung, Beruhigung, Wohlgefühl
Dopamin	hemmend	Antrieb, Neugier, Belohnungserwartung/Glücksgefühl

# Neuropeptide und ihre Wirkungen

Im Gehirn sind weiterhin aktiv:

- Neuropeptide (z.B. Opioid) und Neurohormone
- wirken längerfristig im Bereich von Minuten Stunden und Tagen

## Wirkungen einiger Neuropeptide

- **Opioid:** opiatähnliche Wirkung (verringern Schmerzwahrnehmung, wirken euphorisierend)
- **Oxytocin:** fördert weibliches Fürsorgeverhalten, soziale Bindung, und Kommunikation

- **Arginin-Vasopressin:** befördert bei Männern das sexuelle

Appetenzverhalten (suchendes Verhalten zur Triebbefriedigung) und die Aggressivität

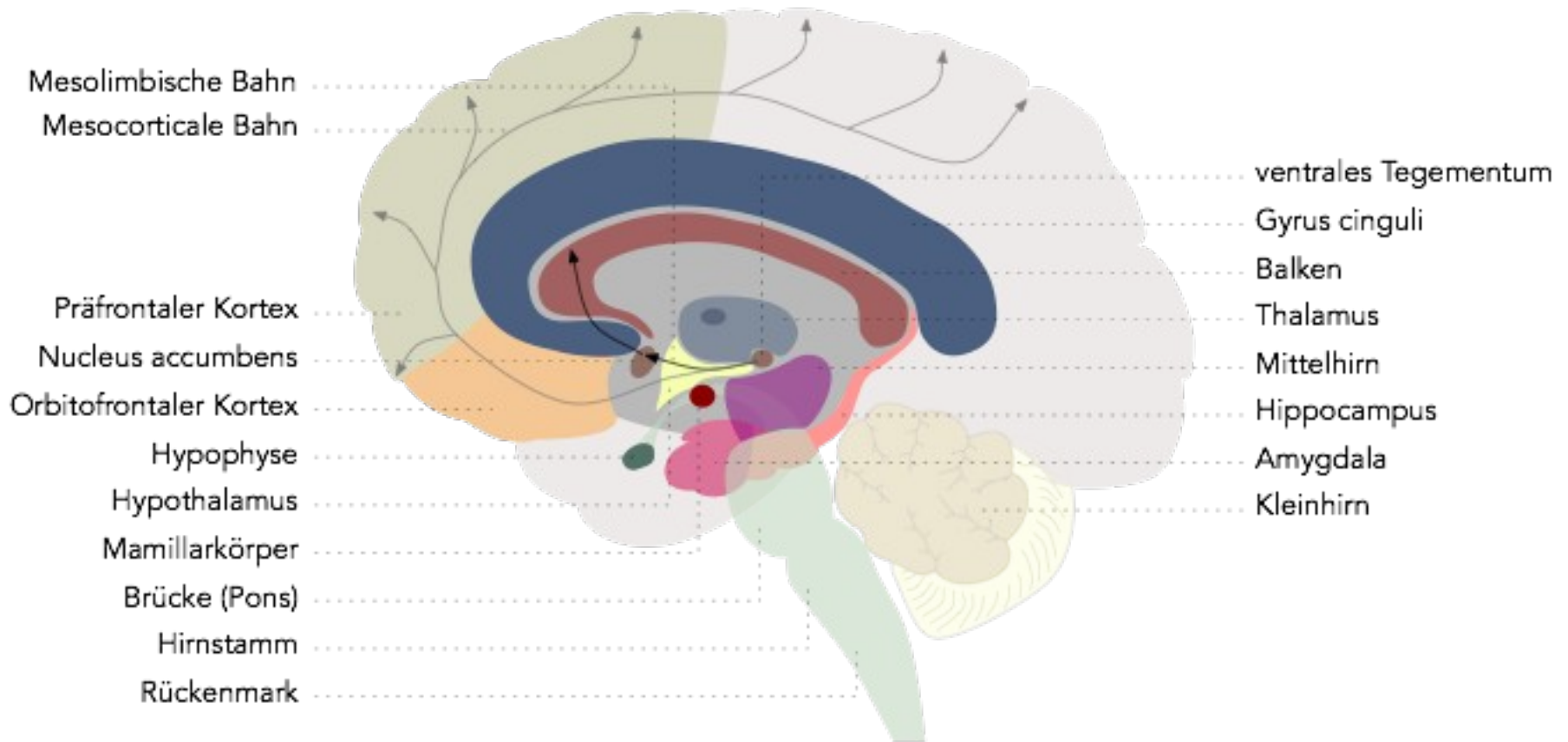
# Neuromodulatoren, -peptide und -hormone

Zusammenfassend kann mit Gerhard Roth gesagt werden, dass insbesondere die Neuromodulatoren, Neuropeptide und Hormone in ihrer systemischen Organisation „die neurochemische Grundlage unseres Gefühlslebens bilden und damit unserer emotionalen Verhaltenssteuerung.“

# Dopaminerges System

- als motorisches System beginnt es in der substantia nigra und projiziert in Richtung Striatum
- als Teil des limbischen Systems beginnt es in der area tegmentalis ventralis und projiziert in den nucleus accumbens und weiter in den präfrontalen Cortex
- wirkt motivierend und hängt eng mit dem Belohnungssystem zusammen

# Mesolimbisches System



# Das mesolimbische System

- Das mesolimbische System ist als **Belohnungssystem** von zentraler Bedeutung.
- Es ist ein dopaminerges System.
- Gemeinsam mit Amygdala, Hypothalamus spielt es eine zentrale Rolle bei der Entstehung und Steuerung von Emotionen.

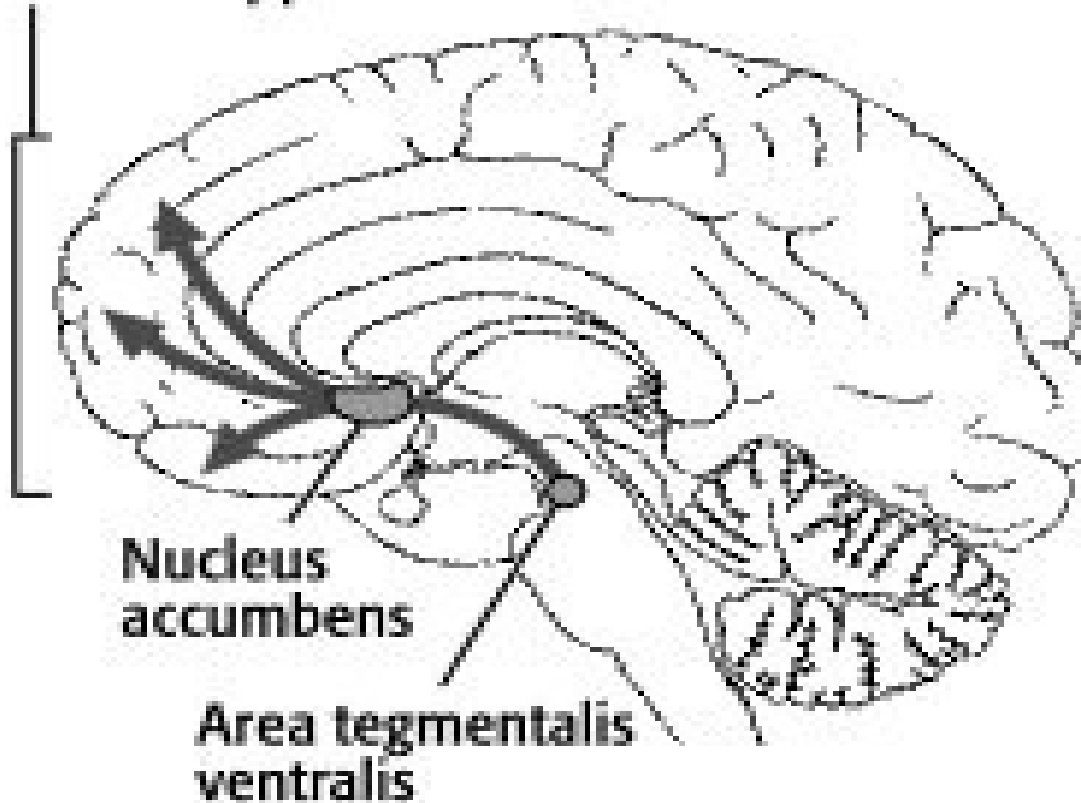


# Das mesolimbische System

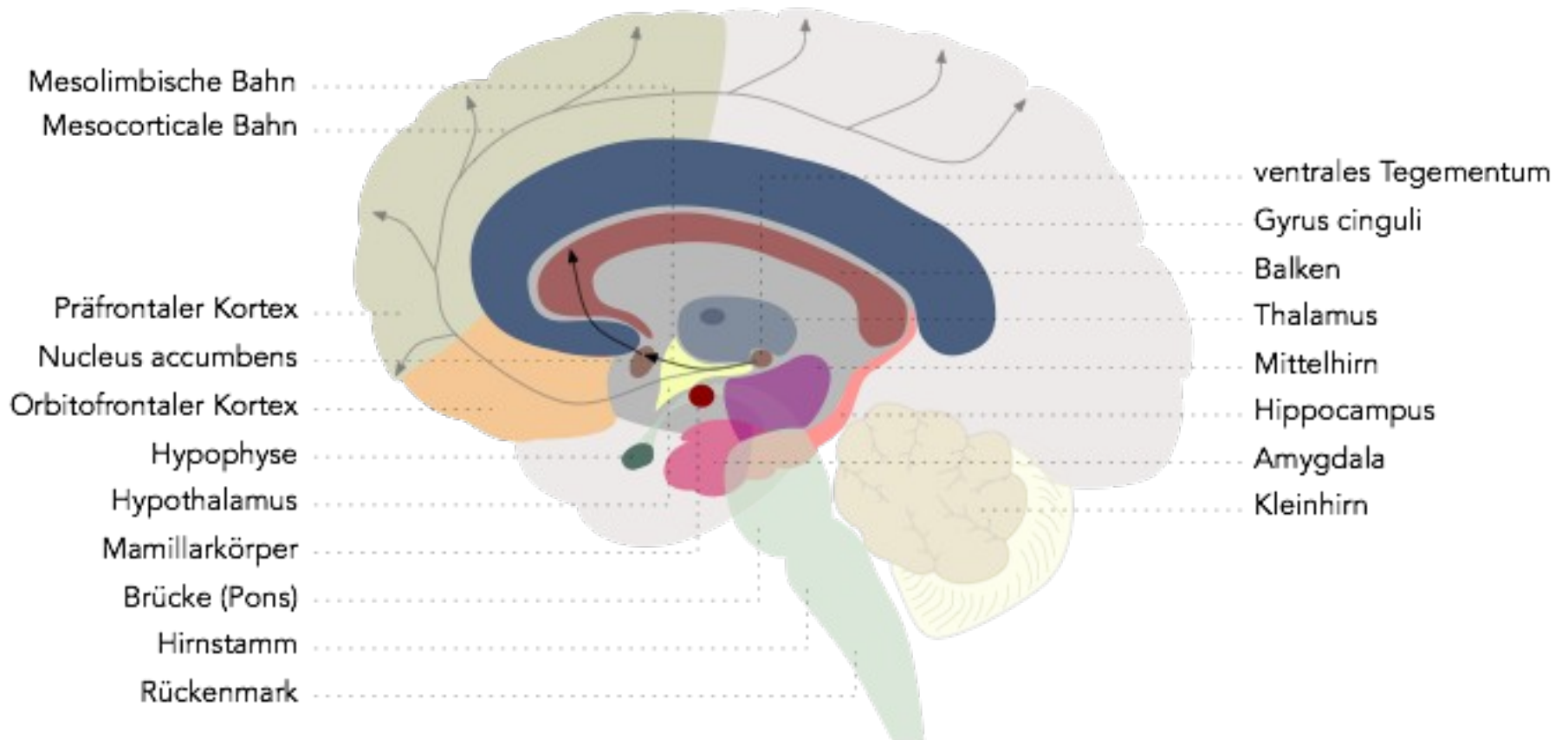
Da die Stimulierung des mesolimbischen Systems als angenehm empfunden und gerne wiederholt wird, gilt es auch als **Suchtzentrum**. Alkohol, Heroin oder Cocain können die natürliche Reizung dieses Systems ersetzen. Suchtverhalten erscheint als gesteigerter Bedarf danach, das mesolimbische System zu reizen.

# Mesolimbisches System

Präfrontalregion des  
Frontallappens



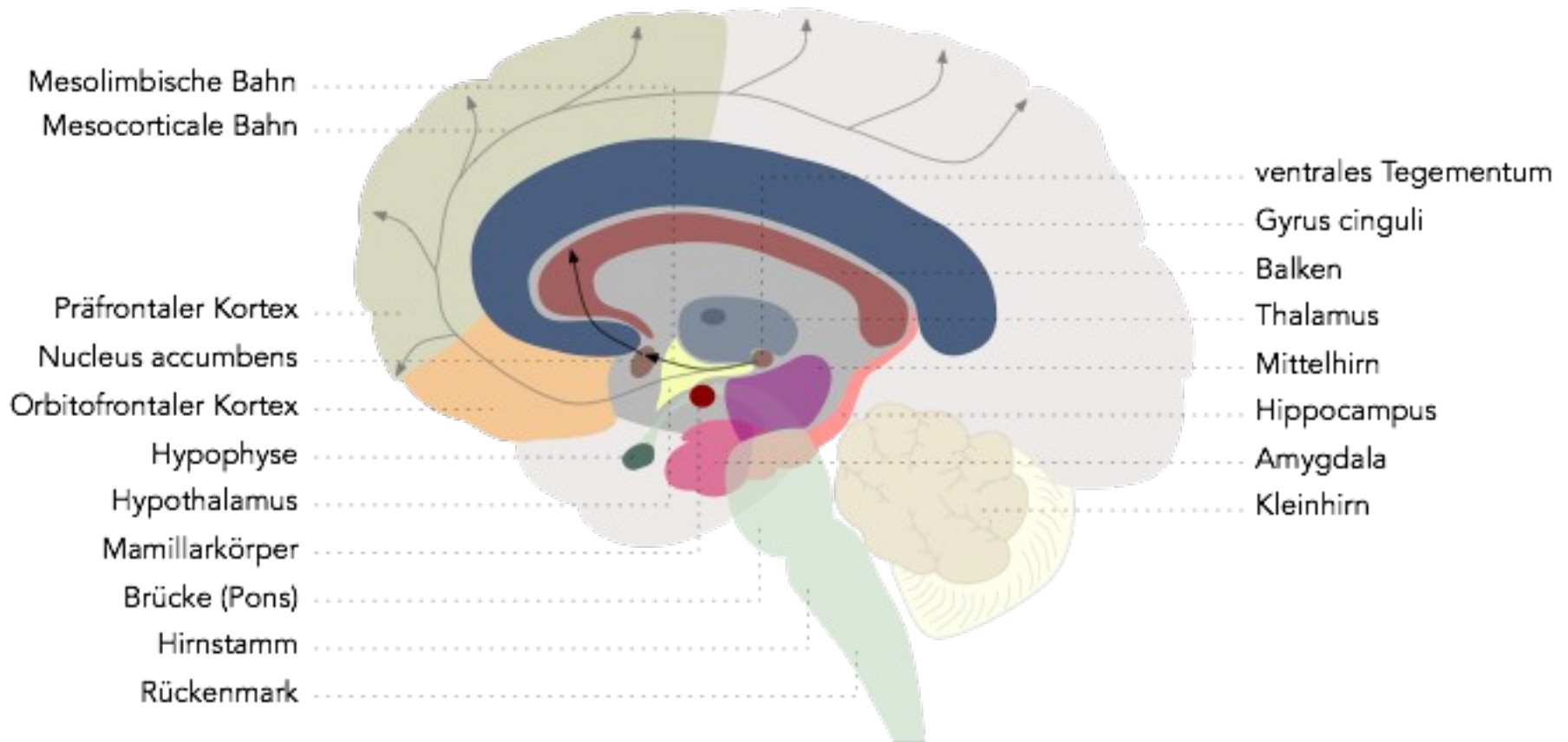
# Amygdala



# Amygdala

- Die Amygdala ist eine zentrale Verarbeitungsstation für externe Impulse und deren vegetative Auswirkungen. Sie ist für die **emotionale Einfärbung von Informationen** zuständig.
- Sie ist verantwortlich insbesondere für die Analyse des Gefährdungspotentials der auf das Individuum einwirkenden Außenreize.
- Deshalb auch gilt sie als das **Angstzentrum**.

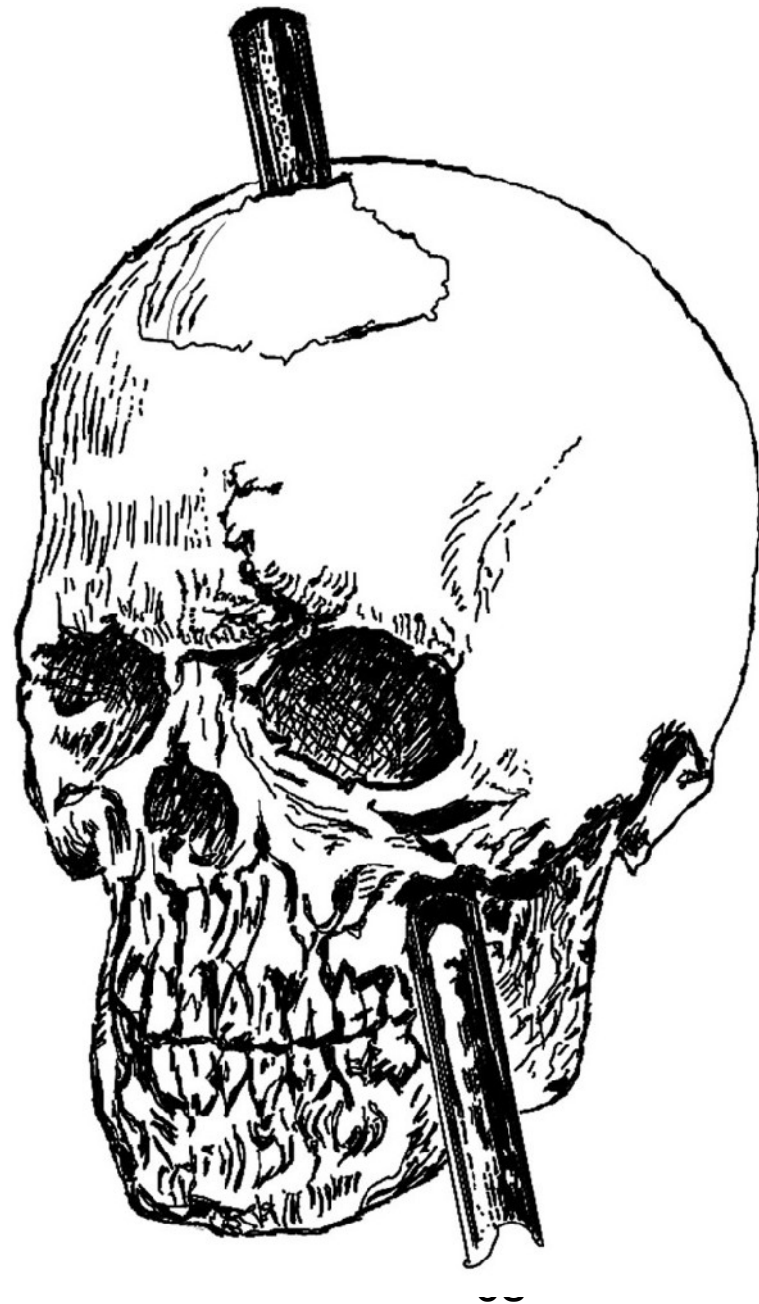
# Orbitofrontaler Kortex



# Orbitofrontaler Cortex

- befasst sich mit den emotionalen und motivationalen Aspekten der Verhaltensplanung
- besondere Berücksichtigung der positiven oder negativen Folgen
- zentrale Funktion in der Formung sozialer und moralischer Kompetenz

# Phineas Gage



# Der Fall Stevanin

Stevanin ist ein Serienmörder, der mehrere Frauen vergewaltigte, umbrachte und zerstückelte. Sein Fall hat um die Jahrhundertwende in Italien sehr viel Aufsehen erregt.

Stevanin wurde 2001 zu 27 Jahren Haft verurteilt.

Das Gutachten der Verteidigung, in dem auf einen Motorradunfall, den er mit 16 Jahren hatte, ein Schädeltrauma erlitt und mehrere Wochen im Koma lag, wurde vom Gericht nicht gewürdigt.



# Der Fall Stevanin

Ein Neurologe, der ein MRT von Stevanins Gehirn durchgeführt hatte, präsentierte auf einem Kongress 2005 eine entsprechende Abbildung, ohne den Namen zu entfernen.

Auf dieser Abbildung erscheint in einer Schwarz-Weiß-Darstellung der gesamte präfrontale Kortex schwarz.

Hierbei handelte es sich um keinen Tumor, sondern um ein großes Gebiet, in dem das Hirngewebe abgebaut wurde.



**Abbildung II: Nachzeichnung der kernspintomografischen Abbildung, die die Lage der Hirnschädigung im Gehirn des italienischen Serienmörders Stevanin zeigt.**

# Die Macht der Gefühle

Die Macht der Gefühle liegt aus meiner Sicht neuropsychologisch gesehen darin, dass das limbische System

1. weitgehend entkoppelt vom assoziativen Cortex wirkt,

a) in der Projektion zum autonomen Nervensystem und

b) in der eigendynamischen Aktivierung von Grundgefühlen.

# Die Macht der Gefühle

2. In der Projektion zum präfrontalen Cortex steuert das limbische System die Entstehung von Gefühlen und ist insofern primär, während präfrontaler Cortex und cingulärer Cortex den Umgang mit den Gefühlen steuern.

# Die Macht der Gefühle

Dies bedeutet: Rationale Einsicht steuert unser Gefühlsleben post hoc

a) durch Selektion (Verdrängung, Kontrolle etc.) und

b) durch Aktivierung der Motivation, Willensbildung und Verhaltenssteuerung zum bzw. im Training des Gefühlslebens.

# Die Plastizität des Gehirns

## - molekulargenetischer Grundprozess -

- Gene sind DNS-Sequenzen, die in ihrer Reihenfolge einen „Text“ ergeben.
- Gene kontrollieren den Körper, indem sie den Bau von Proteinen kontrollieren. Proteine sind die Hauptakteure des Stoffwechsels.
- Wichtig ist: Gene sind die „Baupläne“, nicht die „Baumeister“! Anders ausgedrückt: Es ist der „Text“, der „gelesen“ werden muss.

# Die Plastizität des Gehirns

## - molekulargenetischer Grundprozess -

- Der Bauplan wird vererbt. Wirksam wird er erst durch die Genexpression.
- Die Genexpression ist die vollständige Ausprägung der genetischen Information (Gen) zu phänotypischen Merkmalen des Organismus'.
- Die meisten Gene werden wirksam durch ihre funktionale Einbindung in das zelluläre Umfeld. Dies erfolgt durch die Aktivierung bzw. Hemmung der Genexpression.

# Die Plastizität des Gehirns

- molekulargenetischer Grundprozess -

- Bewirkt wird das „Ablezen“ der Gene durch die so genannten Transkriptionsfaktoren.
- Diese Transkriptionsfaktoren sind Faktoren aus dem zellulären Umfeld der Gene.
- Zudem werden sie aus dem organismischen Umfeld der Zellen bzw. aus dem natürlichen, technischen und sozialen Umfeld des Organismus heraus beeinflusst.



# Die Plastizität des Gehirns

## - molekulargenetischer Grundprozess -

- Von allen Geweben besitzt das Nerven-system die größte Zahl an Transkriptions-faktoren.
- Die funktionsabhängige Änderung der Genexpression in den Zellen des Nerven-systems ist Grundlage der Plastizität im Nervensystem.

# Die Plastizität des Gehirns

- molekulargenetischer Grundprozess -

- Die zelluläre Aktivität wird durch die genetisch regulierte Proteinsynthese (Strukturbildung von unten) und durch die funktionale Selektion der Genaktivierung determiniert (im Rahmen der systemischen Umwelt).
- Anders ausgedrückt: Unsere Erfahrung bewirkt über die Aktivierung bzw. Hemmung der Genexpression die ständige Veränderung neuronaler Strukturen.

# Die Plastizität des Gehirns

Über diesen molekulargenetischen Prozess werden

- die Neurogenese,
- das Wachstum der Neuronen und
- die synaptische Aktivität

gesteuert.

# Die Plastizität des Gehirns - Konsequenzen -

Roth: „Die kulturelle Prägung ist enorm. Egal, welche Gen-Ausstattung ein menschlicher Säugling mitbringt – wenn er in Afrika, Europa oder Japan aufwächst, wird er eben zum Afrikaner, Europäer oder Japaner. Und wer erst einmal in einer Kultur aufgewachsen und, sagen wir, 20 Jahre alt ist, wird nie mehr ein volles Verständnis für andere Kulturen erwerben – weil das Gehirn durch diesen Flaschenhals der Kulturalisierung gegangen ist.“

# Die Plastizität des Gehirns - Konsequenzen -

Roth: „Das Gehirn ist ein soziales Organ. Was wir als Neurobiologen direkt studieren können, ist der Apparat selbst, aber nicht das, was er an Bedeutungen verarbeitet. Das sagen uns die Geistes- und Sozialwissenschaften.“

# Die Plastizität des Gehirns - Konsequenzen -

Welzer: „Die fundamentale Erkenntnis der sozialen Strukturierbarkeit des menschlichen Gehirns halte ich für die produktivste Erkenntnis für die Sozialwissenschaften. Denn wenn man das ernst nimmt, kann man nicht mehr vom einzelnen Gehirn aus denken, sondern nur noch von Gehirnen, die interagieren.“

# Die Plastizität des Gehirns - Konsequenzen -

Die Erkenntnisse zur Plastizität des Gehirns sind von großer Bedeutung sowohl für die Behandlungen von Krankheiten als auch für die Aufrechterhaltung der Leistungsfähigkeit.

Sie führen uns die Macht der eigenen Aktivität vor Augen.

# Praktische Anwendungen der Neurowissenschaften

Die praktische Anwendung neurowissenschaftlicher Erkenntnisse betrifft im Wesentlichen 4 Bereiche:

- psychologische Anwendungen (Psychotherapie, Manipulationen etc.)
- pharmakologische Anwendungen
- Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration neuronalen Gewebes
- Neurotechnik



# Anwendungen der Neurowissenschaften

In einer Delphi-Studie von 1998 wurden 2000 Experten befragt. Im Ergebnis wurde bezogen auf Erkenntnisse, die entweder direkt die Anwendung der Hirnforschung betreffen oder für diese mittelbar von Bedeutung sind, folgendes Szenario skizziert:

„2007 Biometrische Sensoren mit vorgegebenen Mustern für Netzhaut- und Fingerprints werden zur individuellen Identifikation eingesetzt.“

# Anwendungen der Neurowissenschaften

- 2009 Auf Gen-Analysen basierende Methoden zur Vorhersage des individuellen Erkrankungsrisikos bei genetisch mitbedingten Krankheiten sind weit verbreitet.
- 2012 Medikamente können ihre Wirkorte (z.B. Tumorzellen) erkennen und zielgenau dorthin gelangen ...
- 2012 Elektrische Schaltkreise besitzen selbstgestaltende und selbstreparierende Fähigkeiten ähnlich wie Nervennetze.

# Anwendungen der Neurowissenschaften

- 2013 Blinde erhalten durch künstliche Netzhaut bzw. implantierte Mikrochips ein begrenztes Sehvermögen.
- 2014 Eine Therapie von Prion-Krankheiten ist möglich ...
- 2014 Die neurochemischen Mechanismen des Alkoholismus und seine genetischen Komponenten werden aufgeklärt.

# Anwendungen der Neurowissenschaften

- 2014 Gebärdensprache kann automatisch übersetzt werden, so dass Gehörgeschädigte und Nichtbetroffene über weite Entfernungen kommunizieren können.
- 2014 Komplexe Kleinststrukturen (Quanten-Bauelemente, Nanotechnik, molekulare Elektronik) werden allgemein eingesetzt.
- 2015 Eine wirksame Therapie der Alzheimer-Krankheit wird entwickelt.

# Anwendungen der Neurowissenschaften

- 2017 Intelligente Roboter verfügen über Gesichts- und Hörsinn sowie andere sensorische Funktionen; sie können die Situation in der Außenwelt selbst beurteilen und autonom Entscheidungen treffen.
- 2018 Die Vorgänge beim körperlichen Altern sind verstanden.
- 2021 Die Mechanismen der kreativen Leistung des Menschen (Kreativität) werden soweit aufgeklärt, dass ihre Nutzung in der Informatik möglich wird.

# Anwendungen der Neurowissenschaften

- 2021 Ein Biocomputer auf der Basis eines neuen Algorithmus wird in der Praxis eingesetzt, der die Informationsverarbeitungssysteme von Organismen einbezieht.
- 2022 Die neurobiologischen Grundlagen von Gehirnfunktionen, z.B. Lernen, Gedächtnis, Emotionen, Sprache, Schlaf und Träume, werden aufgeklärt.
- 2025 Lebende Organismen können in einen künstlichen Winterschlaf versetzt und auf diese Weise lange konserviert werden.“ (Lexikon der Neurowissenschaft, Artikel „Zukunft der Neurowissenschaft“ von Rüdiger Vaas)

# Pharmakologische Anwendungen

„Die tiefgreifendste und massenwirksamste Neuro-Revolution der nächsten Jahre findet biochemisch statt: Hirn-Doping, Lifestyle-Medikamente, Glückspillen, Gedächtnis-, Konzentrations- und Intelligenzverstärker sind die Objekte großer Versprechungen.“

# Pharmakologische Anwendungen

„... wenn bestimmte Präparate gegen Beeinträchtigungen und Ausfälle wirken, könnten sie doch auch die Leistungsfähigkeit intakter Gehirne steigern, so die – keineswegs zwingende! – „Logik“ mancher Psychopharmakologen oder der, teils illegalen, Nutznießer. Möglicherweise erleben die pharmazeutischen Denkhelfer und Hirnverstärker bald denselben Boom wie Viagra & Co.“ (Vaas, S. 17)



# Pharmakologische Anwendungen

In den USA wurden  
2002 20 Milliarden Dollar für Lifestyle-  
Medikamente ausgegeben,  
2007 geschätzte 29 Milliarden.

# Pharmakologische Anwendungen

1887 wurde erstmals Amphetamin (AMPH) synthetisiert, das als Medikament gegen Narkolepsie, plötzlich auftretenden Schlafstörungen, eingesetzt wurde.

Es wurde in den nachfolgenden Jahrzehnten in verschiedenen Abwandlungen u.a. gegen Asthma, Heuschnupfen, Impotenz und auch ADS eingesetzt.

# Pharmakologische Anwendungen

Im Gehirn bewirkt Amphetamin die Ausschüttung und Wiederaufnahmehemmung von Noradrenalin und Dopamin, dadurch ergibt sich eine enorm hohe Konzentration dieser Neurotransmitter und wird eine Ausschüttung von Adrenalin aus der Nebenniere bewirkt.

# Pharmakologische Anwendungen

„Der Körper wird in einen Zustand versetzt, der im Englischen als „Fight-Fright-Flight“ (engl. für „Kämpfen, Fürchten, Flüchten“) bezeichnet wird und in lebensbedrohlichen Lagen sinnvoll ist. Dabei werden jegliche körperliche Bedürfnisse, die nicht unmittelbar überlebensnotwendig sind, wie Hunger, Durst, Müdigkeit, Schmerzen etc. ausgeschaltet.“

# Pharmakologische Anwendungen

„Kraft, Schnelligkeit sowie die Libido werden jedoch erheblich gesteigert (vorrangig durch Adrenalin/Noradrenalin), um den Menschen möglichst effizient reagieren zu lassen. Außerdem wird das Selbstbewusstsein bis hin zur Euphorie gesteigert (vorrangig durch Dopamin) und die Aggressionsschwelle wird stark gesenkt, um eine körperliche Verteidigung gegen die Gefahr zu ermöglichen.“

# Pharmakologische Anwendungen

„Ebenfalls wird das Bewusstsein stark auf ein bestimmtes Ereignis, ursprünglich die Gefahr, fokussiert, was man auch als „Tunnelblick“ bezeichnet. Kreislauf und Körper bereiten sich auf die zu erwartende hohe Belastung vor, indem sie den Blutdruck steigern und die Bronchien zur vermehrten Aufnahme von Sauerstoff weiten.“ (Wikipedia)

# Pharmakologische Anwendungen

Aufgrund seiner stimulierenden und euphorisierenden Wirkung ist Amphetamin eine häufig missbrauchte Droge.

Sie wird von Studenten, Managern etc. konsumiert, um die Konzentration zu erhöhen, aber auch auf Partys. Heute wird sie meist unter den Namen *Speed*, *Pep* oder *Baruk* angeboten.

Als lukrativer Markt hat sich auch seit langem schon das Militär entwickelt.

# Pharmakologische Anwendungen

Im Zweiten Weltkrieg wurde es in Deutschland, den Vereinigten Staaten, Großbritannien und Japan in bedeutendem Umfang in der Armee eingesetzt, um die Soldaten wach, motiviert und aggressiv zu halten – und seither eigentlich in allen Kriegen.



# Pharmakologische Anwendungen

Ein neues gegen Narkolepsie entwickeltes Arzneimittel ist Modafinil, das sich in der Molekülstruktur von den Amphetaminen unterscheidet.

Das britische Verteidigungsministerium gab 2004 zu, über 24.000 Tabletten Modafinil gekauft zu haben. Modafinil hält nicht nur wach, sondern gilt auch als „cognitive enhancer“ (kognitiver Verstärker), soll also die kognitive Kapazität des Gehirns verstärken. (Jörg auf dem Hövel, Pillen für den besseren Menschen)

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Die Neurochirurgie dient der Entfernung von krankhaftem Gewebe, früher auch zur Unterbrechung von Vernetzungen (z.B. bei Epilepsie).

„1906 starben fünf von sechs Patienten bei Operationen am offenen Gehirn. 1917 waren es noch 20%, 1941 11%.

1961 erfolgte der erste mikrochirurgische Eingriff, bei dem Mediziner mit dünnen Sonden ins Gehirn vordrangen, ohne vorher die halbe Schädeldecke abnehmen zu müssen.“

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

„Künftig werden Hightech-Apparate dem Chirurgen noch bessere Hilfe leisten: Roboter, die nach Anweisung bestimmte Operationen viel präziser durchführen können als eine noch so ruhige Hand;

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Kernspintomographen, die im Gegensatz zu den bislang üblichen Röhren offen sind und dreidimensionale Echtzeit-Bilder liefern, die eine genaue Kontrolle eines jeden Eingriffs ermöglichen.

Dies wird nicht nur die bisherigen Operationen sicherer, leichter und zuverlässiger machen, sondern auch z.B. die Entfernung von Tumoren an Stellen ermöglichen, die bislang unzugänglich waren.“

(Vaas)

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Wenn gestörte neuronale Funktionen wieder hergestellt werden müssen, sind andere Methoden erforderlich.

Hierbei muss neuronales Gewebe regeneriert werden.

Hierzu dient u.a. die Transplantation von embryonalen Stammzellen – eine ethisch freilich umstrittene Methode.

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Dopamin steuert als Neurotransmitter nicht nur bestimmte emotionale Zustände (Wohlbefinden), sondern auch motorische Prozesse. Wird in dieser Projektion in die motorischen Areale neuronales Gewebe, das Dopamin produziert, zerstört (Substantia nigra) , ist dies ein Auslöser für Parkinson.

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Untersucht wird nun die Möglichkeit, embryonale Stammzellen in die Substantia nigra zu injizieren, in der Hoffnung, dass diese anwachsen, sich funktional spezifizieren und Dopamin produzieren.

Erfolge wurden in bisher 250 Transplantationen erzielt.

In Tierversuchen wird die Wirksamkeit dieser Methode untersucht, um Gedächtnisstörungen zu beheben.

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

„Eine weitere Möglichkeit zur Regeneration von Schädigungen bietet die Aktivierung der Teilung körpereigener Nervenzellen. Wenn es möglich wäre, die Teilungsfähigkeit von Neuronen zu stimulieren, bestünde Hoffnung für Hirngeschädigte, die verlorenen neuronalen Ressourcen wieder aufzustocken.“



# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Hierzu müssen jedoch körpereigene Stammzellen bzw. neurale Vorläuferzellen gefunden werden.

„Die Neurogenese erfolgt an den Hirnventrikeln, von wo aus die Zellen in ihre Zielregionen wandern. Inzwischen wurden auch neurale Vorläuferzellen aus dem Großhirn von einige Stunden zuvor verstorbenen Erwachsenen und aus operativ entfernten Nervengewebe entnommen und erfolgreich in Zellkulturmedien am Leben gehalten und zur Teilung gebracht.“ (Vaas)

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

„Künftig wird es wohl möglich sein, spezifische Neurone aus körpereigenen multipotenten Stammzellen oder aus neuralen Vorläuferzellen nahezu unbegrenzt zu züchten und therapeutisch einzusetzen.

In vitro lassen sich bereits neuronale Stammzellen vermehren, die Parkinson-Patienten implantiert werden können, wo sie Dopamin produzieren.“ (Vaas)

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

„Was bei einfachen Stoffwechsel-Beeinträchtigungen wie der Parkinson-Krankheit noch relativ leicht geht, scheint bei großräumigen Schädigungen, z.B. nach einem Schlaganfall oder bei Alzheimer-Kranken, beinahe utopisch.“

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Wenn überhaupt, dann könnten diese Patienten nur mit immensem Training von den aktivierten oder implantierten Stammzellen profitieren: ursprüngliche Entwicklungs- und Lernprozesse müssten im Prinzip wiederholt werden, um die neuen Zellen in den richtigen Kontext einzubinden.“ (Vaas)

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Das zentrale Problem all dieser Methoden besteht darin, dass die Ersetzung bzw. die Stimulierung der Neubildung neuronalen Gewebes allein nicht genügt.

Die Neuronen müssen immer auch lernen die erforderlichen Funktionen zu realisieren.

# Neurochirurgie, Transplantation und Regeneration

Das Gehirn muss lernen, das neue Gewebe funktional zu nutzen. Dies setzt wiederum spezifische personale Aktivität und Erfahrung voraus.

# Neurotechnik und Neuroprothesen

„Blind und gelähmt, das muss künftig kein lebenslanges Schicksal mehr sein: Computer können schon heute Gedanken in Taten umsetzen, Chips auf der Netzhaut senden Bildsignale ins Gehirn, und mit Neuroprothesen lassen sich bewegungslose Gliedmaßen wieder nützen [...]

# Neurotechnik und Neuroprothesen

Elektrodensysteme zur Stimulation z.B. des Zwerchfellnervs bei Schädigungen des Atemzentrums im unteren Hirnstamm-bereich sowie des Vagus bei Magenschleimhautentzündungen infolge einer verminderten Magensaftsekretion haben sich ... bewährt.



# Neurotechnik und Neuroprothesen

Was mit automatischen Prozessen in peripheren Nerven begann, hat inzwischen das Zentralnervensystem und bewusste Prozesse erreicht. Taube hören, Blinde sehen, Lahme gehen - diese biblischen Verheißungen werden womöglich bald ihre neurotechnische Erfüllung erfahren.“ (Vaas)

# Neurotechnik und Neuroprothesen

Neben den einfachen Stimulatoren spielen Neuroprothesen, insbesondere „intelligente“ rückgekoppelte, eine große Rolle.

Die tatsächlichen Bewegungen werden mit den gewünschten verglichen und entsprechend reguliert.

Dies sollte es bald ermöglichen, Hand- und Fußprothesen direkt vom Gehirn aus zu steuern.

# Neurotechnik und Neuroprothesen

Die große Herausforderung stellt das Locked-in-Syndrom dar, einer vollständigen Lähmung.

Die Betroffenen können sich weder bewegen noch sprechen, verfügen aber über ein funktionierendes Bewusstsein. Möglich sind lediglich Augenbewegungen.

Die Herausforderung besteht hier darin, durch das Bewusstsein, gezielt neuronale Prozesse auszulösen, die ihrerseits technische Prozesse in Gang setzen.

# Neurotechnik und Neuroprothesen

Die dargestellten Möglichkeiten zielen auf die Schnittstellen Technik/Gehirn/Motorik, Technik/Gehirn/Sensorik, Geist/Gehirn/Technik.

Noch futuristischer erscheinen die Versuche, künstliches Leben zu schaffen, z.B. Biochips zu implantieren und mit dem Gehirn verwachsen zu lassen.

# Neurotechnik und Neuroprothesen

„Noch utopischer mutet eine Hybridisierung von Mensch und Neurochips an. Doch erste Versuche mit unter die Haut implantierten Chips, die sensorische und motorische Nervenimpulse registrieren und zu Computern funken können, sind bereits angelaufen.

# Neurotechnik und Neuroprothesen

Damit soll es möglich werden, dass Computer den Aufenthaltsort des Chip-Trägers oder dessen Zugangsberechtigung zu bestimmten Orten registrieren, aber auch Informationen über seine Physiologie und Psychologie. Der Computer kann die Nervenimpulse via Radiowellen auch zu Chips senden, die in einem anderen Menschen implantiert sind und dort eine physiologische Reaktion auslösen ...“ (Vaas)

# Anwendungen der Neurowissenschaften

Welche Variante der neurotechnischen Intervention in neuronale Prozesse auch angewandt wird, hier gilt der gleiche Grundsatz wie im Falle der pharmazeutischen und chirurgischen Mittel: Sie haben immer nur katalytische Bedeutung. Sie ermöglichen bestimmte Leistungen. Reale Leistungsfähigkeit entfalten sie erst auf der Grundlage von Lernprozessen in der personalen Lebenswelt.

# Anwendungen der Neurowissenschaften

Die Ersetzung bzw. die Stimulierung der Neubildung neuronalen Gewebes allein genügt also nicht. Die Neuronen müssen immer auch lernen, die erforderlichen Funktionen zu realisieren oder anders ausgedrückt, das Gehirn muss lernen, das neue Gewebe funktional zu nutzen. Dies setzt wiederum spezifische personale Aktivität und Erfahrung voraus.



# Anwendungen der Neurowissenschaften

Der Komplexitätssprung zwischen lebensweltlicher Erfahrung von Individuen bis zur Aktivierung und Hemmung von Neuronen ist aber gewaltig.

Da die Aktivierung und Hemmung neuronalen bzw. synaptischen Geschehens immer auch vermittelt über die Aktivierung und Hemmung der Genexpression realisiert wird, spannt sich eine Komplexitätsdifferenz von molekular-genetischen Prozessen bis zur personalen Lebenssituation auf.

# Anwendungen der Neurowissenschaften

Mit der Entschlüsselung des genetischen Codes ist eine systematische Grundlage für die Forschungen auf der einen Seite gegeben. Für die Steuerung der genetischen Prozesse aus der jeweiligen Lebenssituation heraus gibt es bisher eine ganze Reihe von Belegen aber keinen wirklich systematischen Zugriff.

# Literatur

- Joachim Bauer, Das Gedächtnis des Körpers. Wie unsere Beziehungen und Lebensstile unsere Gene steuern, Frankfurt am Main 2002
- Antonio R. Damasio, Der Spinoza-Effekt, München 2003
- Eric Kandel, Auf der Suche nach dem Gedächtnis, München 2007
- Erich Kasten, Einführung in die Neuropsychologie, München 2007
- Kristian Köchy/ Dirk Stederoth (Hg), Willensfreiheit als interdisziplinäres Problem, Freiburg 2006
- Benjamin Libet, Mind Time, Frankfurt am Main 2005
- Markowitsch, H./ Siefer, W., Tatort Gehirn, Frankfurt am Main 2003
- Gerhard Roth, Fühlen, Denken Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert, Frankfurt am Main 2001
- Michael Pauen, Illusion Freiheit? Möglich und unmögliche Konsequenzen der Hirnforschung, Frankfurt am Main 2004
- Vaas, R., Schöne neue Neuro-Welt, Stuttgart 2008