

Lernen aus neurobiologischer Perspektive

„Manche Menschen, darunter Hirnforscher, sind der Meinung, unser Gehirn sei das komplizierteste System im Universum. Das soll natürlich unserem Selbstwertgefühl schmeicheln. Wer aber kennt schon das Universum?“ (Roth 2015).

Dr. Edwin Ullmann

Akademischer Direktor

edwin.ullmann@uni-wuerzburg.de

Was wissen wir eigentlich?

Die Fachwissenschaft weiß über die Vorgänge im Gehirn inzwischen eine ganze Menge, wenngleich noch lange kein vollständiges Bild vorliegt.

Es gilt immer noch das Bonmot von Jostein Gaarder:

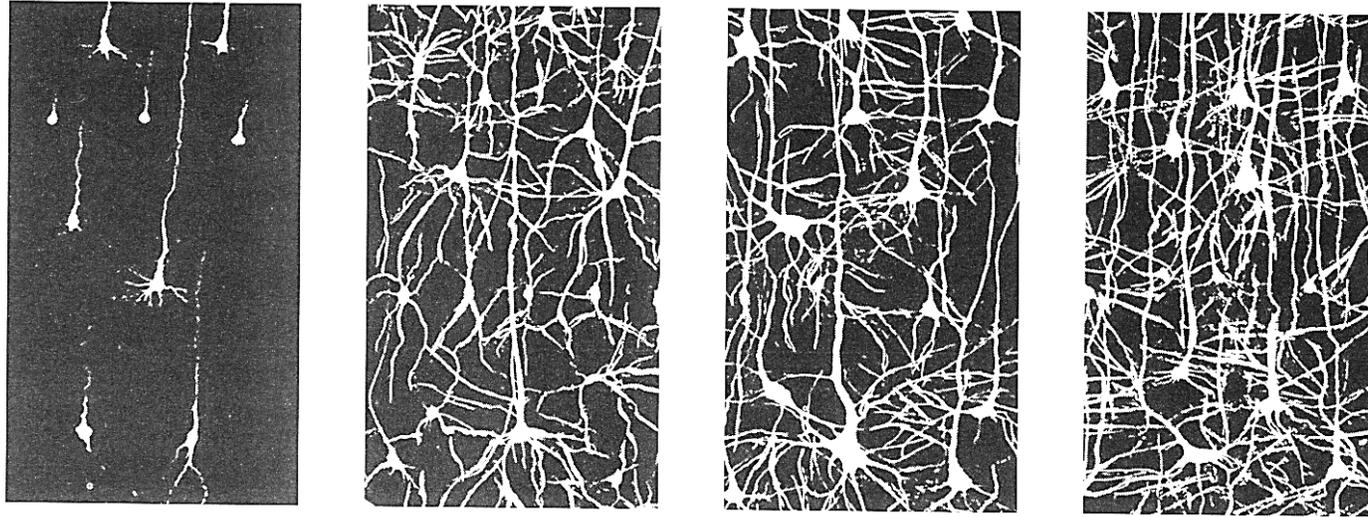
„Wenn das Gehirn so einfach wäre, dass wir es verstehen könnten, wären wir zu dumm, um es zu begreifen.“

Was bedeutet Lernen aus neurobiologischer Perspektive?

Aus neurobiologischer Perspektive bedeutet Lernen einen ständigen Aufbau von Neuronenpopulationen im Cortex. Jedes Neugeborene kommt mit ca. 100 Milliarden Neuronen auf die Welt. Diese sind jedoch nur sehr lose miteinander verknüpft. Im ersten Lebensjahr vergrößert das Baby seine Gehirnmasse von ca. 250 g auf 750 g. Dies geschieht nur dadurch, dass das Baby "lernt". Es entstehen feste Verbindungen zwischen den Neuronen, sodass es zu Neuronenpopulationen kommt.

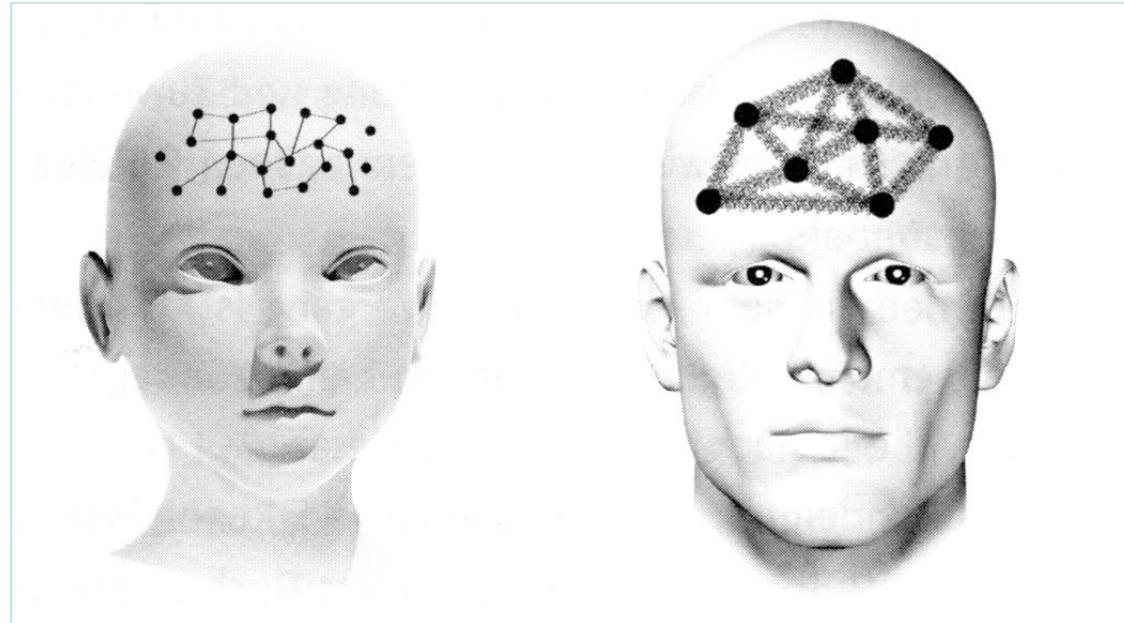
Gegenstand der Betrachtung sind die Stoffwechselprozesse im Gehirn sowie die Wirkungsweise der Botenstoffe (Neurotransmitter). Hierdurch werden bekannte Vorgehensweisen (Handlungsorientierung, positives Feedback, Wechsel der Sozialformen, Prinzip der Wiederholung ...) bestätigt und neue Erkenntnisse gewonnen.

Lernen heißt: Neuronale Netze verändern sich



Vernetzungen beim Menschen nach der Geburt, nach 3 Monaten, nach 15 Monaten und nach 3 Jahren (Schnitt durch die Großhirnrinde, nach Jesse LeRoy Conel).
(aus: Vester 2001, 38)

Neuronen im Cortex: Baby und Erwachsener

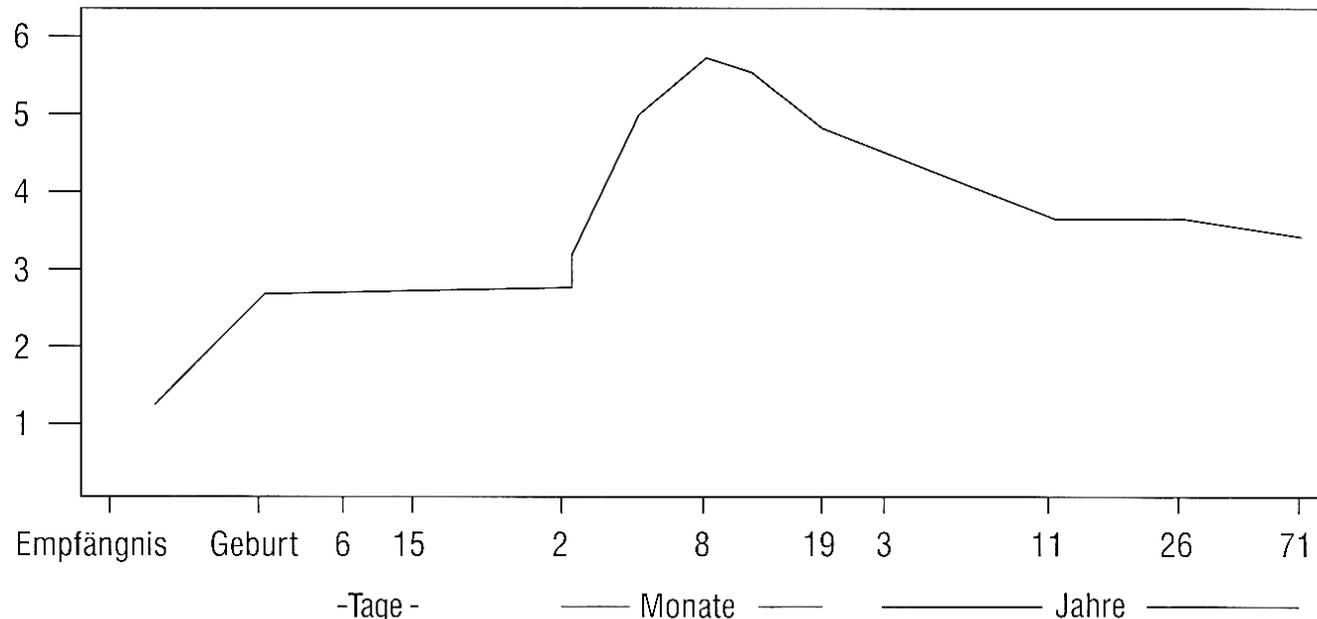


(Grein 2013, 8)

Lernen heißt: Neuronale Netze verändern sich

Die Offenheit des Menschen für die vielen Lernmöglichkeiten spiegelt sich in der Anzahl der Synapsen wider, die sich in den ersten Lebensmonaten sprunghaft vermehren und bereits im Alter von 1 bis zu 3 Jahren den Höchststand in unserem Leben erreicht haben. Danach nimmt ihre Anzahl wieder ab, ein Zeichen dafür, dass wir nicht mehr für alle Reize offen sind, sondern bestimmte bereits erlernte Bahnen bevorzugen. (Rüdel 2010, 26)

Synapsenzahl (in 100 Milliarden = 10^{11} pro cm^3)



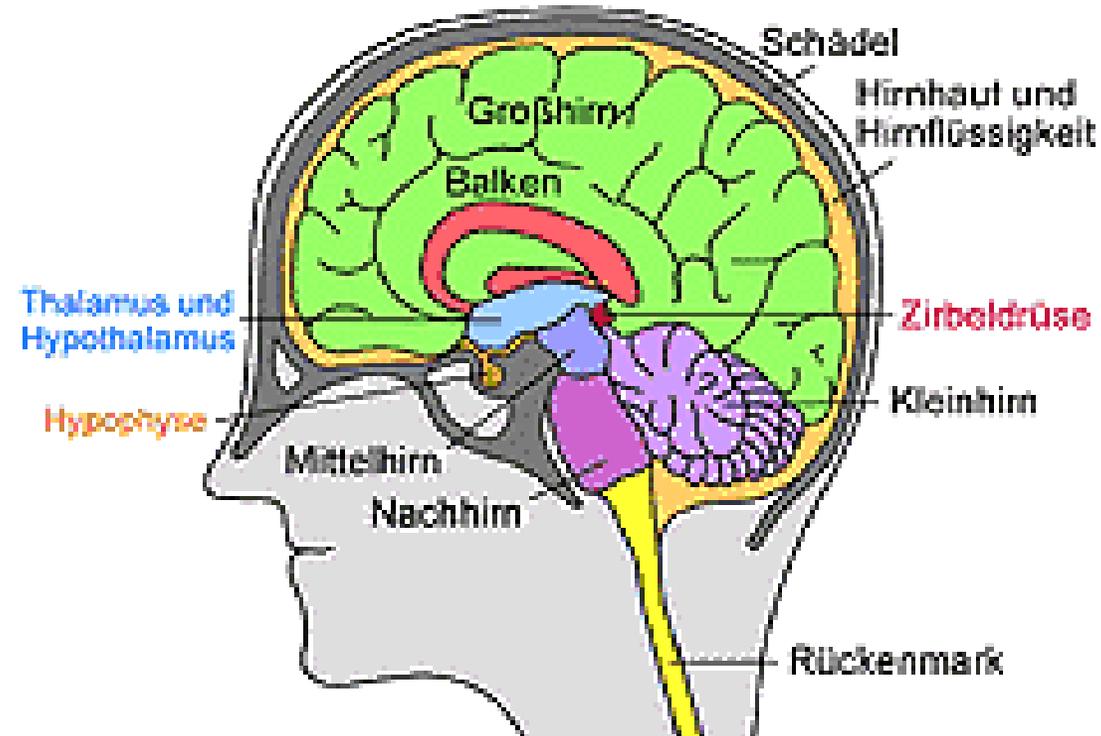
(Rüdel 2010, 27)

Was bedeuten synaptische Verbindungen?

Lernen erweist sich, wie die gegenwärtige Neurobiologie belegt, als komplexer Prozess, der im menschlichen Gehirn vielschichtig stattfindet. Beim Lernen werden Neuronenverbände **plastisch** miteinander vernetzt, so dass sich komplexe Netzwerke und Systeme bilden. Lernerfolg kann mit der Generierung oder Modulation synaptischer Verbindungen in Verbindung gebracht werden. Je mehr synaptische Verknüpfungen entstehen und durch Wiederholung des Lernstoffs sich festigen, desto besser kann das Erlernete in bereits vorhandenes Vorwissen integriert werden.

Der Aufbau des Gehirns

Querschnitt durch das Gehirn



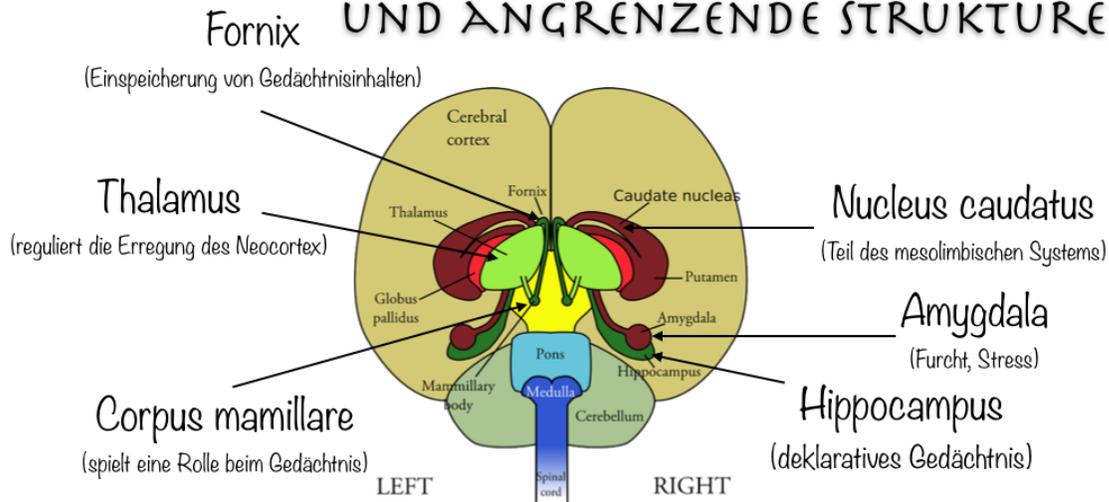
<http://www.digitalefolien.de/biologie/mensch/sinne/tngehir2.gif>
abgerufen am: 18.07.2016

Das Limbische System

Das Limbische System (Limbus) befindet sich im Zentrum des Gehirns. Es besteht u. a. aus Hippocampus, Amygdala und Gyrus Cinguli. Jedes neue neuronale Signal (Reiz) passiert als Erstes den Limbus. Dann erst wird der Reiz in den Cortex weitergeleitet.

Der Limbus bewertet die ankommenden Reize nach den Kriterien bekannt vs. unbekannt, wichtig vs. unwichtig und angenehm vs. unangenehm. Der Informationsinhalt wird stets mit bereits vorhandenem Wissen verglichen und andererseits im Hippocampus emotional bewertet. Wird der Reiz als unwichtig empfunden, wird er gar nicht erst weitergeleitet. Er hat damit keine Chance als fester Wissensbestand (Neuronenpopulation) im Cortex zu landen.

LIMBISCHES SYSTEM UND ANGRENZENDE STRUKTUREN



<http://www.bildungsadler.de/wp-content/uploads/2014/10/Sprache-und-Gehirn.001.png>;
abgerufen am: 18.07.2016

Zu den **Aufgaben des Limbischen Systems** gehört etwa, äußerliche Wahrnehmungen emotional zu beurteilen. Es ist eine phylogenetisch ältere Struktur, die sich grob gesagt zwischen dem Großhirn und dem Mittelhirn befindet. Zu den Strukturen des Limbischen Systems werden gezählt:

- 1. Limbischer Teil der Großhirnrinde (*präfrontaler, orbitofrontaler, singulärer Cortex*):** zuständig für bewusste Emotionen und Motive, bewusste kognitive Leistungen, Handlungs- und Impulskontrolle
- 2. Hippocampus-Formation:** Organisator des deklarativen Gedächtnisses (episodisches Gedächtnis, semantisches Gedächtnis, Vertrautheitsgedächtnis)
- 3. Amygdala:** Emotionale Konditionierung, ins Besondere negative Gefühle (Furcht, Stress)
- 4. Mesolimbisches System:** Belohnungssystem für in Aussicht gestellte und realisierte Belohnungen
- 5. Neuromodulatorische Systeme,** welche die Neurotransmitter Noradrenalin, Dopamin, Serotonin und Acetylcholin über das Gehirn verteilen

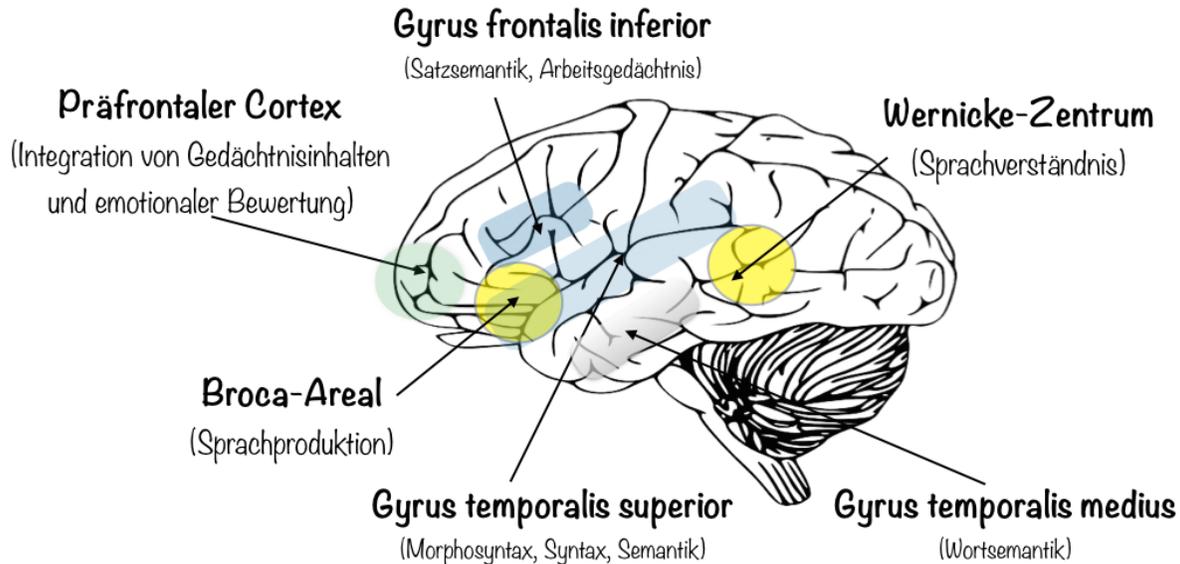
Wie kann man das Limbische System aktivieren?

Da neue Informationen zuerst mit vorhandenen Wissensbeständen verglichen werden, ist es sinnvoll, den Einstieg in den Unterricht oder in ein neues Thema so zu gestalten, dass vorhandene Wissensbestände wieder aktiviert werden. Dies kann sehr gut über Mindmaps geschehen. Diese können zuerst in Einzelarbeit erarbeitet und dann in der Kleingruppe diskutiert werden. Hilfreich ist auch eine konkrete Thematisierung des Nutzens der Wissensbestände. Dies kann in einem Aufzeigen der wissenschaftlichen, kulturellen, gesellschaftlichen oder persönlichen Relevanz des Themas erfolgen.
(Grein 2013, 11).

Lernen als Konstruktionsprozess

In der **Neurobiologie des Lernens** spielt die Theorie der mentalen Repräsentation eine wichtige Rolle, weil sie bewusst machen kann, dass sich Lernen auf unterschiedlichen kognitiven Systemebenen auswirkt und umso effektiver ist, je mehr Ebenen im Lernprozess aktiviert werden. Dahinter kommt die Vorstellung, dass **Lernen ein Konstruktionsprozess im Gehirn** sei, zum Tragen. Sie ist der Tatsache geschuldet, dass jedes Gehirn individuell einzigartig vernetzt ist, obgleich natürlich größere Strukturen in den Gehirnen aller Menschen an ungefähr denselben Orten anzutreffen sind. Das sind Erkenntnisse, die die Neurobiologie des Lernens in den letzten Jahren erlangen konnte.

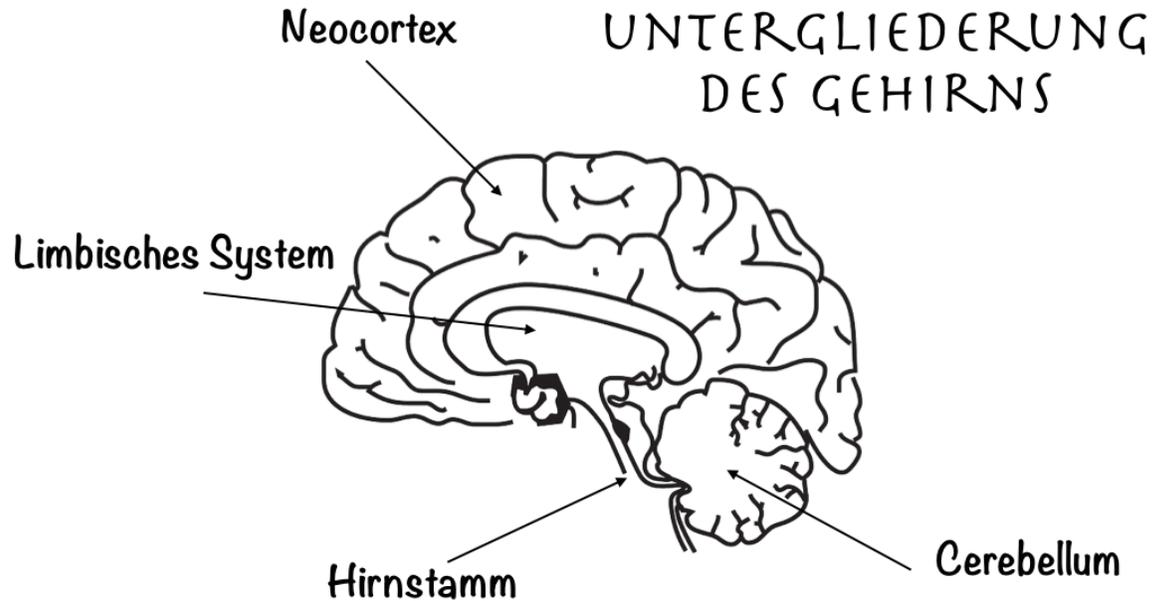
Sprache als Konstrukt des Gehirns



In der Neurobiologie des Lernens kann Sprache als Ausdruck eines individuellen Konstruktionsprozesses aufgefasst werden. Die Sprachfähigkeit des Menschen hat sich zwar evolutionär bzw. phylogenetisch so entwickelt, dass sie genetisch angelegt ist. Aber die besondere, ja individuelle Verknüpfung der für Sprache zuständigen Strukturen mit vielen weiteren Bereichen des Gehirns während der Ontogenese ist so einzigartig wie die Persönlichkeit eines Menschen. Das wiederum beruht auf der höchst plastischen Art und Weise, wie die circa 100 Milliarden bis 1 Billionen Neurone eines menschlichen Gehirns sich untereinander vielfach verknüpfen können.

Die beiden wichtigsten, wenngleich nicht einzigen, Sprachzentren im menschlichen Gehirn sind das Wernicke-Zentrum (Sprachverständnis) und das Broca-Areal (Sprachproduktion).

Die Bedeutung des Vorwissens



Vor dem Hintergrund, dass das menschliche Gehirn Bedeutung erst konstruiert, kommen zwei Konstituenten der Bedeutung besonderes Gewicht zu.

Dies sind das **Vorwissen** und der **Bedeutungskontext**.

Das Vorwissen ist dabei nie gänzlich neutral, sondern etwa vom Kontext, in welchem es erworben wurde, eingefärbt.

Gerhard Roth ist einer der Neurobiologen, welcher dem Limbischen System schon in den 1990er Jahren große Bedeutung in gehirninernen Konstruktionsprozessen zugesprochen hat.

Lohnt sich das Lernen?

Zur Beantwortung dieser Frage **gleich das Limbische System aktuelle Wahrnehmungen mit gespeichertem Vorwissen und erlebten Bedeutungskontexten ab.**

Ganz allgemein, bildet sich die Antwort in der **Dimension Lust/Unlust** aus.

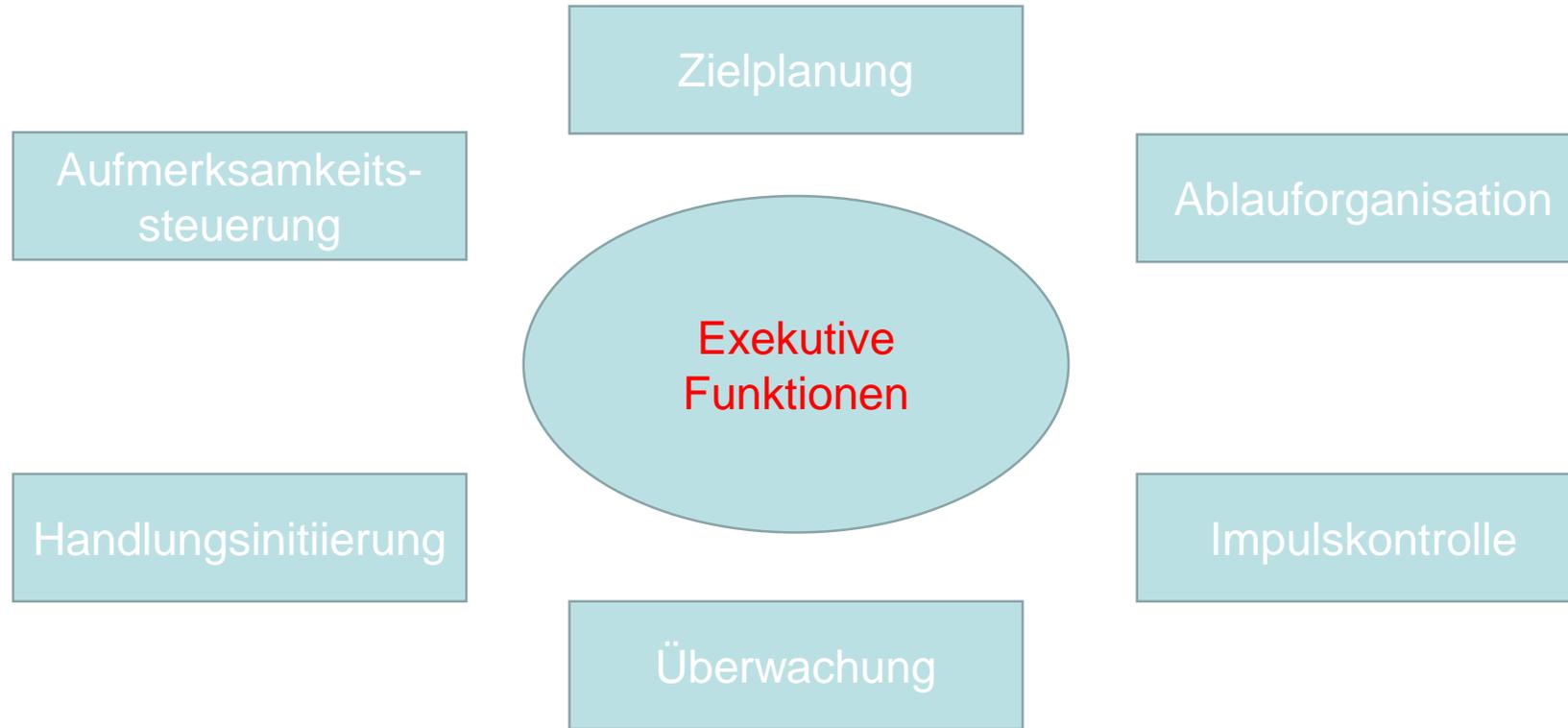
Das emotionale Erfahrungsgedächtnis gleicht ständig ab, ob eine Handlung mit Lustempfindungen verbunden ist. Trifft dies zu, dann fühlen wir uns motiviert, diese Handlung auszuführen.

Hinzuzufügen ist, dass es bewusst möglich ist, dem emotionalen Erfahrungsgedächtnis Details hinzuzufügen. Das wiederum geschieht über das deklarative Gedächtnis, für das der Hippocampus zuständig ist.

Sobald das **Lernen emotional positiv konnotiert** ist, haben Netzwerkmodulationen stattgefunden. Anders gesagt: das Gehirn hat sich neu verknüpft. **Dabei ist die Qualität der Modulation bedingt durch die Geschwindigkeit und das Ausmaß des Abrufs und der Kombination von Gedächtnisinhalten** (Roth 2006, 52f).

Wer zu lernen gelernt hat, dem gelingen derartige Verknüpfungen in hochgradig effektiver Art und Weise – und das wiederum sind die **Lorbeeren des Lernerfolges**, nämlich quasi ein Architekt seiner Bildung geworden zu sein.

Exekutive Funktionen



Diese Funktionen ermöglichen es dem Menschen, sich planmäßig und/oder flexibel seiner Umwelt anzupassen. Die Vermittlung findet hauptsächlich im Stirnhirn statt. Sie zeigten sich bei Kindern als gut trainierbar (Metakognitionen). Auswirkungen konnten bei der Lösung mathematisch-logischer Probleme nachgewiesen werden (vgl. Grewe 2010, 22f.).

Eine Untersuchung von Hall (2005) zeigte mittels bildgebender Verfahren bei Kindern mit Lese-Rechtschreibschwäche eine verminderte Aktivität in Hirnregionen, die typischerweise mit phonologischer Verarbeitung in Verbindung gebracht werden.

Damit ergeben sich weitere deutliche Hinweise darauf, dass dieser Störung eher Defizite der phonologischen als der visuellen Wahrnehmung zugrunde liegen. Dies dient der frühen Erkennung und vor allem der Förderung (vgl. Grewe 2010, 23).

Lernfaktor 1: Die Rolle der Amygdala

Die Amygdala ist am ersten Eindruck beteiligt, indem sie etwa unbewusst den Geruch des Gegenübers interpretiert. Auch weitere Bereiche des Gehirns verarbeiten die neu eingehenden Informationen und führen zu einem **Grundgefühl der Sympathie oder Antipathie**. Wie jeder Mensch es von eigenen Erfahrungen her kennt, stimmt die Chemie entweder oder man befindet sich einfach nicht auf derselben Wellenlänge. Das ist besonders wichtig auch im Kontext des Unterrichts.

Bereits ein bis drei Sekunden nach Gesprächsbeginn hat sich unser Gehirn einen unbewussten Eindruck von unserem Gesprächspartner gemacht. Dabei spielen besonders Gesichtsausdruck (rechter temporal-parietaler Cortex), Prosodie und Körperhaltung eine wichtige Rolle (vgl. Roth 2006, 53).

Lernfaktor 2: Die individuelle Begabung

Der zweite Lernfaktor bildet sich aus den individuellen Begabungen des Lernenden. Sowohl das Gedächtnis als auch die Lernfähigkeit sind dabei hochgradig modular. Mit anderen Worten: man kann das Gehirn trainieren, indem man mit einer jeweils zu einem selbst passenden Methode lernt.

Grundsätzlich sollte man versuchen, das Repertoire der Lernmethoden im Verlauf des Lebens zu erweitern. Es kommt darauf an, den Lernstoff möglichst vielgestaltig mental zu repräsentieren. Das bedeutet neurobiologisch, unterschiedliche Areale durch ein gemeinsames Thema zu verknüpfen bzw. miteinander zu assoziieren. Das kann beispielsweise

- sprachlich (symbolische Ebene)
- anschaulich (ikonische Ebene)
- handelnd-motorisch (enaktive Ebene)
- durch Frage und Antwort

geschehen. Je mehr Ebenen und Möglichkeiten genutzt werden, desto nachhaltiger wird das zu Lernende behalten.

Es sind, zusammenfassend, sowohl genetische als auch frühkindliche Erfahrungen an der individuellen Begabungsausprägung beteiligt.

Da aber das Lernen und das Gedächtnis hochgradig modular sind und daher trainiert werden können, sind genetische Disposition und frühkindliche Prägungen nicht die einzigen am Lernerfolg beteiligten Komponenten.

Lernfaktor 3: Allgemeine Motivation des Lerner

Eine ziemlich interessante Funktion übernimmt bei der Motivation der **cinguläre Cortex (auch: dritte Funktionsebene des limbischen Systems)**. Seine Aufgabe ist es, per Monitoring zu kontrollieren, ob eine Belohnung, etwa Lob, berechtigt war. Das weist darauf hin, dass auch in unserem Gehirn eine Struktur aktiv ist, die dafür zuständig ist, uns selbst realistisch einzuschätzen. Im Freudschen Sinn hat diese Ebene teils Funktionen des Ich als "Realitätsprinzip", aber gleichzeitig auch Funktionen des Über-Ich als soziales Gewissen (Roth 2015, 158 ff.).

Überschwängliches Lob für eine 4 in der Klausur werden wir als schal erleben, wohingegen es uns bei einer Verbesserung um zwei Noten angemessen erscheinen würde.

Leichter Stress (Ausschüttung von Noradrenalin), der als positiv erlebt wird (so genannter Eustress), ist dem Lernen zuträglich. Er garantiert eine wache Aufmerksamkeit und erleichtert das Fokussieren auf die wichtigsten Inhalte des Lernstoffs.

Lernfaktor 4: Grad der Aktivierung des Gehirns

Die Grade der Aktivierung einzelner Systeme bestimmen den Gesamtgrad. Es sind dies das:

1. **Noradrenerge System (Noradrenalin):** allgemeine Aufmerksamkeit
2. **Dopaminerge System (Dopamin):** Neugierde, Belohnungserwartung, Belohnung
3. **Cholinerge System (Acetylcholin):** gezielte Aufmerksamkeit, Konzentration, Gedächtnis

Sie aktivieren allesamt höher liegende Strukturen des Neocortex und auch den Hippocampus, wodurch es zur **Gedächtniskonsolidierung des Lernstoffes** kommt. Dabei lässt sich eine Korrelation zwischen der Stärke der emotionalen Motivation und der tatsächlichen Gedächtnisleistung nachweisen.

Lernfaktor 5: Kontext des Lernens

Die drei wichtigsten Lernkontexte sind:

- Lehrperson: Wer vermittelt den Inhalt?
- Zeitkontext: Wann wird der Inhalt vermittelt (Lebensalter, Biorhythmus)?
- Ortskontext: Wo wird der Inhalt vermittelt (Bewertung der Lernumgebung)?

Kontextabhängiges Lernen hängt sehr eng mit dem limbischen System und der emotionalen Einfärbung der Lerninhalte zusammen.

Zusammengefasste Ergebnisse der neurobiologischen Hirnforschung

1. Jedes Gehirn ist ein Unikat, daher unterschiedliche Wahrnehmung gleicher Unterrichtsstunde mit gleicher Lehrkraft.
2. Enorme Leistungsfähigkeit des kindlichen Gehirns kaum zu überfordern, aber Gefahr der Demotivation (langweiliges Pauken, ständige Misserfolge, destruktive und inkonsequente Kritik, Strafen, Demütigung).
3. Wissen kann nicht übertragen, sondern nur im Gehirn des Lernenden erzeugt werden.
4. Wissensaneignung beruht auf Rahmenbedingungen und wird durch Faktoren gesteuert, die unbewusst ablaufen und (schwer) beeinflussbar sind.

Zwölf Prinzipien für Lernprozesse (nach Margret Arnold)

1. Schüler müssen Möglichkeit haben, konkrete Erfahrungen zu machen.
2. Lernprozesse eingebunden in soziale Situationen sind effektiver.
3. Lernprozesse effektiver, wenn Interessen/Ideen der Lernenden berücksichtigt sind.
4. Lernen effektiver, wenn das vorhandene Vorwissen mobilisiert wird.
5. Lernen effektiver, wenn positive Emotionen in das Lernen eingebunden werden.
6. Schüler prägen sich Details besser ein, wenn Sie den Zusammenhang mit einem Ganzen verstehen.
7. Mit der entsprechenden Lernumgebung wird das Lernen intensiver.
8. Lernen wird verbessert, wenn Zeit zum Reflektieren bleibt.
9. Es wird besser gelernt, wenn Schüler Informationen und Erfahrungen miteinander verbinden können.
10. Lernprozesse effektiver, wenn auf individuelle Unterschiede der Lernenden eingegangen wird.
11. Schüler lernen besser mit einer unterstützenden, motivierenden, herausfordernden Umgebung.
12. Lernen effektiver wenn Talente und individuelle Kompetenzen berücksichtigt werden.

Die Neurobiologie des Lernens hat Folgendes belegen können: Das Gehirn ist ein hoch komplexes System, in dem es diverse Untersysteme gibt, die beim Lernen miteinander durch synaptische Verknüpfungen interagieren. Lernen bedeutet für das Gehirn, neue Verknüpfungen zu bilden und Wiederholung bedeutet, sie zu festigen und effektiver zu nutzen.

Bei allem, was mit Handeln zu tun hat, spielt das Bewertungssystem des Gehirns eine entscheidende Rolle. Die Strukturen des limbischen Systems färben Wahrnehmungen oder auch Lernaktivitäten emotional ein, woraus entweder ein allgemeines Gefühl der Lust oder Unlust entsteht. Ein geschickter Lerner wird daher versuchen, das Lernen positiv zu konnotieren, sodass Lernen einfach Spaß macht. Das dauert zwar einige Zeit, zahlt sich aber letztlich durch die Herausbildung einer allgemeinen Lernfähigkeit aus.

Wer das Lernen gelernt hat, bringt eine wichtige Fähigkeit für das Erlernen von Berufen oder dem Studium auch komplexer Fächer mit. Nicht ohne Grund hat die Europäische Union dem lebenslangen Lernen eine besonders hohe Bedeutung ausgesprochen. Lebenslanges Lernen ist für die Bewältigung der Herausforderungen in einer globalisierten Welt unerlässlich. Sie anzunehmen und Probleme flexibel lösen zu können: dazu soll Lernen in der Schule zumindest propädeutisch befähigen.

Arnold, M. (2002): Aspekte einer modernen Neurodidaktik. Emotionen und Kognitionen im Lernprozess. Ernst Vögel Verlag

Edelmann, W./Wittmann, S. (2012): Lernpsychologie. Beltz

Gasser, P. (2010): Gehirngerecht lernen. Hep-Verlag

Grein, M. (2013): Qualifiziert unterrichten: Neurodidaktik. Hueber Verlag

Grewe, P. (2010): Hirnforschung und Unterricht. In: Schulmanagement 5, 21-23

Könneker, C. (Hg.) (2006): Wer erklärt den Menschen? Fischer-Verlag

Roth, G. (2015): Aus Sicht des Gehirns. Suhrkamp

Roth, G./Strüber, N. (2014): Wie das Gehirn die Seele macht. Klett-Cotta

Rüdell, E. (2010): Das BASIS-Buch des Lernens. Kallmeyer