

Der Mensch ist sein Gehirn. Alles, was wir denken, fühlen, alle Erinnerungen, alle Pläne, die wir machen, der Wissenserwerb und das Lernen findet im Gehirn statt. Das relativ kleine und leichte Organ bestimmt unser ganzes Leben. Befunde aus den Neurowissenschaften können gut erklären, was bei Lernvorgängen stattfindet, wie wir lernen und wie Inhalte im Gedächtnis gespeichert werden. In dieser Lerneinheit beschäftigen wir uns mit neurobiologischen Grundlagen des Lernens. Sie erhalten einen groben Einblick in die Funktionsweise des Gehirns und wie Lernen und Wahrnehmen stattfinden. Es versteht sich von selbst, dass das Thema innerhalb dieses Kurses keineswegs auch nur annähernd erschöpfend behandelt werden kann.

Ziel dieser Lerneinheit ist, dass Sie

- in groben Zügen wissen, wie das Gehirn funktioniert
- ein Basiswissen über die komplexen Gehirnfunktionen erwerben
- verstehen, welche Funktionen des Gehirns für das Lernen relevant sind
- Wissen darüber erwerben, wie Sie Lernvorgänge optimieren können

Das Gehirn ist unsere größte Herausforderung. Je mehr wir darüber erfahren, desto mehr erkennen wir, wie viel es darüber zu erfahren gibt.⁵

Überlegen Sie zunächst: Welche Kenntnisse besitzen Sie über das Gehirn? Welche Zusammenhänge zwischen Gehirn und Lernen sind Ihnen bereits bekannt?

WAS MACHT DAS GEHIRN?

Lernen ist - ganz einfach ausgedrückt - zunächst einmal die Reaktion unseres Gehirns auf **Erfahrungen**, die wir machen. Erst wenn eine Erfahrung auch tatsächlich eine nachhaltige und langfristige Veränderung im Gehirn bewirkt hat, können wir von Lernen sprechen (vgl. LE1). Lernen bedeutet für das Gehirn

⁵ Powers, Richard (2006), *Das Echo der Erinnerung*. Frankfurt: Fischer Verlag.

die Veränderung der **neuronalen Netzwerke**. Weswegen wir gar nicht anders können als zu lernen. In jüngerer Zeit werden Erkenntnisse aus der **Hirnforschung** für das Lehren und Lernen nutzbar gemacht.

Wenn Ihnen etwas gleichgültig ist oder Sie etwas nur für einen Moment benötigen, werden Sie die Information nicht behalten. Das kann eine Telefonnummer sein, die man nur einmal benötigt, das kann die Frage nach einem Weg sein, das kann auch die Frage nach der Uhrzeit in einem bestimmten Moment sein. Bei solchen Informationen ist Ihr Gehirn emotional nicht sonderlich beschäftigt, die Information ist nicht **bedeutsam** genug, um sie langfristig zu speichern. Anders sieht es aus, wenn die Informationen für Sie bedeutsam sind.

Man weiß ziemlich genau, wie unser Gehirn aufgebaut ist:

- Gewicht: ca. 1300 g
- Energieverbrauch: 20% des Sauerstoffs, 25% der Glukose
- Rechenleistung: 10^{13} – 10^{16} analoge Rechenoperationen/s, bei **15-20 Watt** (chemischer) Leistung
- **Hohe Rechenleistung** des Gehirns vor allem durch zahlreiche parallelen Verbindungen (Konnektivität) und nicht durch eine hohe Geschwindigkeit (10-100m/s) bei einzelnen Rechenvorgängen
- **Nervenzellen (Neuronen)** und Verbindungen: ca. 86 Milliarden Nervenzellen, verbunden durch ca. 100 Billionen **Synapsen** (Kontaktstellen zwischen den Neuronen)

Das Gehirn fungiert wie eine Schaltzentrale: Alle **Wahrnehmungen** laufen hier zusammen, alle **Funktionen** des Körpers werden vom Gehirn überwacht und koordiniert. **Informationen** werden im Gehirn verarbeitet, mit vorhandenem Wissen verknüpft, bewertet, gespeichert und auch wieder gelöscht.

Das Gehirn besteht aus drei Teilen. Der älteste Teil ist das **Stammhirn** (Reptiliengehirn), das für das Überleben zuständig, ebenso für unsere immer noch vorhandenen Urreflexe. Das **limbische System** ist jünger, es ist für Emotionen zuständig, aber auch für die individuelle Biographie zuständig. Als jüngster Teil hat sich das **Großhirn** herausgebildet (**Neocortex**), das für das Erinnern zuständig ist. Der Neocortex ist verantwortlich für das, was wir als das „Ich“ bezeichnen.

Die Aufgabe des Gehirns ist es, mit der Umwelt zu kommunizieren, Informationen aufzunehmen und diese so zu verarbeiten, dass unser **Überleben**

gesichert wird. Die Informationen werden über alle **Sinnesorgane** dem Gehirn zugeführt, das Gehirn verarbeitet diese und bildet daraufhin Reaktionen aus. Unser Gehirn unterscheidet, filtert und verarbeitet Informationen nach Relevanz, Neuigkeit, Bedeutung und Sinn

NEUROBIOLOGIE

Die **Hirnforschung/Neurobiologie** setzt sich mit der Funktionsweise des Gehirns auseinander und erklärt, warum Menschen **lernfähig** sind. Sie forscht, wie das Gedächtnis funktioniert und warum es versagt. Des Weiteren beschäftigt sie sich auch damit, wie man das Gedächtnis trainieren kann. Erkenntnis ist, dass das Gehirn äußerst **plastisch** ist und man es durch **Denktätigkeit** verändern kann. Gedächtnis und Erinnerungsfähigkeit lassen sich ebenso trainieren oder schulen wie Wahrnehmungsfähigkeit bis hin zur Intelligenz. Aus neurobiologischer Sicht ist Lernen ein ständiger Aufbau von **Neuronenpopulationen** im **Cortex (Großhirnrinde)**, die neuronalen Netze verändern sich ständig (**vgl. LE 1**: Man kann nicht „nicht“ lernen).

GEHIRNHÄLFTEN

Unser Gehirn besteht aus zwei **Gehirnhälften**, dabei ist – so wurde lange Zeit angenommen - jede Hälfte für bestimmte Aufgaben zuständig (vgl. Abb.1). Beide Gehirnhälften sind durch eine **Brücke (corpus callosum)** miteinander verbunden, die Informationen der einen Gehirnhälfte werden mit denen der anderen auf diese Weise **verbunden**. Die Brücke ist für den Informationsaustausch beider Gehirnhälften zuständig.

Die linke Gehirnhälfte steuert **motorisch** die rechte Körperhälfte, und die linke die rechte. Während die linke Gehirnhälfte für das **analytische Denken** zuständig ist und Informationen in Teile zerlegt, ist die rechte Gehirnhälfte für die **Kreativität** zuständig. So weit, so gut! **Aber**: Mittlerweile ist die Hirnforschung sehr viel intensiver weiterentwickelt, als uns die mittlerweile unüberschaubare Anzahl von Büchern zum „Training der Gehirnhälften“ vermitteln möchte, etwa Ratgeber, wie einzelne Gehirnhälften zu trainieren sind usw. Die Annahme, dass **kreative** Menschen vor allem die rechte Hirnhälfte nutzen und **Analytiker** die linke, ist nicht richtig („der mathematische Nerd“, „der geniale Künstler“). Es existiert kein Beweis dafür, dass die jeweiligen Gehirnhälften kreativer bzw.

analytischer Menschen besondere Aktivitäten aufweisen. Stimmt die Aufteilung nicht mehr (vgl. Abb1.). Es ist richtig, dass beide Hirnhälften für **spezifische Aktivitäten** verantwortlich sind, so sind einige **Sprachzentren** etwa in der linken Hälfte lokalisiert. Allerdings ist die rechte Hirnhälfte für die Sprachmelodie zuständig, sodass beide Gehirnhälften gemeinsam aktiv sind. Das mathematische Denken ist in der linken Gehirnhälfte angesiedelt, jedoch werden Aufgaben besser gelöst, wenn beide Gehirnhälften miteinander kommunizieren. Insgesamt gilt, dass das **Zusammenspiel** beider Gehirnhälften maßgeblich für das Denken ist. Die **Emotion** sitzt im limbischen System, das sich mitten im Gehirn befindet, sie ist daher nicht unbedingt der rechten Hirnhälfte zuzuordnen. Wir wissen heute auch, dass unser Gehirn nicht aus lauter eingekapselten Schubladen besteht. So sind Sprachen nicht in getrennten Fächern abgelegt, sondern interagieren miteinander, unabhängig davon, wie viele Sprachen wir sprechen. Nur starke Verbindungen zwischen **allen Gehirnregionen** lassen Menschen analytisch und kreativ denken. Viele Künstler, Dichter und Wissenschaftler haben versucht, die Ressourcen beider Gehirnhälften zu nutzen (vgl. Archimedes, Entdeckung des hydrostatischen Gesetzes –Archimedes rechnete viel und kam nicht weiter, bis er in die Badewanne stieg und beobachtete, wie beim Einsteigen in die Wanne das Wasser verdrängt wurde...).



Abb. 1: Aufgaben der Gehirnhälften: So stellt(e) man sich das vor...

(Quelle: <http://zeichnen-rechtegehirnhaelfte.ch/die-methode.php>)

Besser lernen funktioniert eher so:

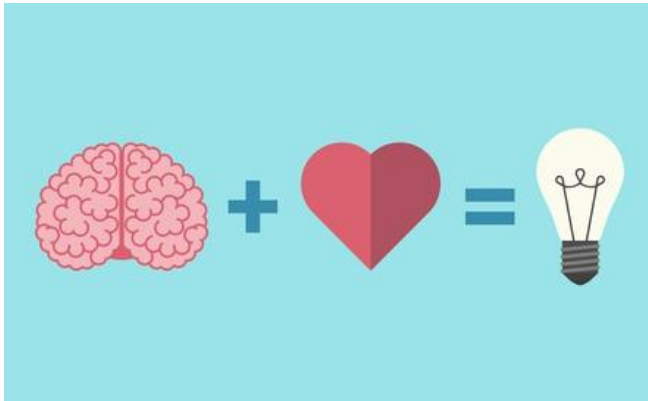


Abb. 2: Zusammenwirken der Gehirnhälften

(Quelle: <https://www.ime-seminare.de/blog/was-ist-dran-am-mythos-um-die-linke-und-rechte-gehirnhaelfte/>)

Wenn Sie **mechanisch** etwas auswendig lernen, so verwenden Sie die linke Gehirnhälfte. Meistens bleibt von dem Gelernten langfristig nicht viel im Kopf hängen. Wenn Sie jedoch zusätzlich Bilder erzeugen oder **Assoziationen** herstellen, aktivieren Sie die rechte Gehirnhälfte und können so Ihre Gedächtnisleistung verbessern (vgl. LE 4).

Aufgabe 1

- Können Sie Beispiele für Tätigkeiten benennen, die eine Aktivität beider Gehirnhälften erfordern?
- Überlegen Sie, welche Aktivitäten die Verknüpfung beider Gehirnhälften stärken können.

GEHIRNJOGGING

Das sogenannte „Gehirnjogging“ wird von einigen Wissenschaftlern **kritisch** betrachtet. Übungen, damit man sich Dinge besser merken kann, sind **relativ nutzlos** – außer bei Menschen mit Hirnverletzungen, hier können solche Übungen hilfreich sein, bestimmte Hirnfunktionen wieder in Gang zu bringen. Besser ist es, man lernt eine Sprache, eine neue Sportart, lernt ein Instrument oder man beschäftigt sich mit Literatur. Gehirnjogging fördert nicht das Denken, es macht für sich betrachtet auch nicht intelligenter. Man kann zwar punktuell und kurzfristig Leistung verbessern, jedoch werden untrainierte Aufgaben nicht besser, ein Transfer auf andere Bereiche findet nicht statt.

Was heißt dies nun in Bezug auf Lernstrategien? Es ist kaum effektiv, zahlreiche Lernstrategien möglichst häufig zu nutzen – es ist **entscheidend**, dass Sie Lernstrategien richtig nutzen und den Einsatz so regulieren, dass Sie mit der von Ihnen gewählten Strategie Ihr Ziel auch tatsächlich erreichen. Qualität geht vor Quantität!

NEURONEN (NERVENZELLEN)

Die Nervenzellen sind das **Bindeglied** zwischen diesen Reizen und den Neuronen, im Gehirn werden diese Signale umgesetzt. Es handelt sich dabei aber **nicht** um eine **1:1-Umsetzung**, da der Reiz von einer Vielzahl von Nervenzellen erkannt wird und dem Gehirn mitgeteilt wird. Wesentlich für die Verarbeitung der Reize ist der **Verarbeitungsort** im Gehirn. Objekte aus der Umwelt werden nicht von Neuronen erkannt. Es werden einfache Signale (etwa eine Farbe) als Bild empfunden. Einfache Signale werden von einer Vielzahl von Neuronen erkannt. Der eindeutige **Sinneseindruck** entsteht durch ein in-Bezug-setzen der Aktivität von verschiedenen Neuronenverbänden.

Wenn Sie diese Wörter/Sätze lesen, sind Milliarden **Neuronen (Nervenzellen)** Ihres Gehirns aktiv. Dabei sind die Nervenzellen unempfindlich gegenüber chemischen und physikalischen Reizen. Die **Gehirnzellen** sind durch Synapsen, das sind **Kontaktstellen** zwischen den Zellen, miteinander verbunden. Das heißt: Unser Gehirn und somit unser Denken **verändert** sich zu jeder Zeit, in jedem Moment. Daher können wir in kürzester Zeit auf veränderte Bedingungen reagieren.

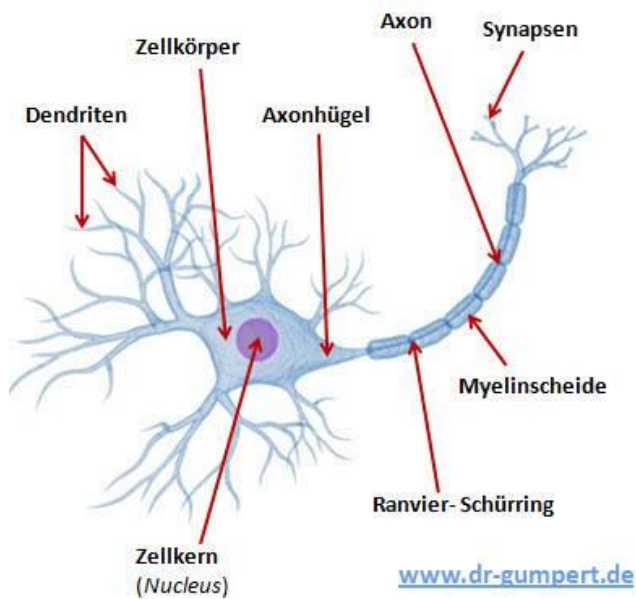


Abb. 1: Nervenzelle⁶

Nervenzellen bestehen aus einem **Zellkörper**, an dem sich zwei Arten von Fortsätzen befinden (**Dendriten** und **Axone**). Eine Nervenzelle besitzt zahlreiche Dendriten, aber nur ein Axon. Dies ist die typische Struktur einer Gehirnzelle. Dabei kommen den Elementen folgende Rollen zu:

- Zellkörper – Informationsverarbeitung
- Dendriten – Informationsaufnahme
- Axon – Informationsweiterleitung
- Synapse - Informationsübertragung

Die Nervenzelle erhält über die verzweigten Ausläufer (Dendriten) Informationen in Form eines **elektrischen Impulses**. Entlang des unverzweigten Fortsatzes (Axon) gibt es die Information an andere Nervenzellen weiter. Durch einen schmalen Spalt treten Nervenzellen in Kontakt. Chemische **Botenstoffe (Neurotransmitter)** sorgen für die Signalübermittlung. Botenstoffe wie **Dopamin** sind wichtig, damit das Gehirn arbeiten kann. Dopamine bewirken, dass mentale Tätigkeiten ablaufen können, wenn wir aktiv und konzentriert beim Aufnehmen von Informationen sind.

Nervenzellen gehen keine festen Verbindungen ein, sie öffnen verschiedene Verbindungswege zur Aktivierung anderer Neuronen. Die Verbindung der Neuronen ergibt sich aus Lernprozessen, d.h., bestimmte Verbindungen müssen

⁶ https://www.dr-gumpert.de/amp/html/nervensystem_aufbau.html

wiederholt aktiviert werden. Je stärker solche Verbindungen sind, desto nachhaltiger und stabiler sind sie ausgebildet und es genügt wenig Energie, sie erneut zu aktivieren. Wenn Reize beim Lernen häufig wiederholt werden, werden die bei der **Informationsverarbeitung** beteiligten Synapsen erneut aktiviert und die Kontakte zwischen den Neuronen verstärkt. Die **regelmäßige** Verwendung (Wiederholung) macht die Information für das Gehirn wichtig. Weniger gebrauchte Informationen werden verdrängt, sie werden langsamer und schwerer für Denkprozesse zugänglich. Dies wird in der Regel als „vergessen“ bezeichnet, wobei anzumerken ist, dass Inhalte nie ganz verschwinden, sie können nur sehr viel schwerer abgerufen werden.

Unser Gehirn lässt daher das sogenannte Bulimie-Lernen nur ungern zu. Es speichert sozusagen widerwillig die Informationen, die gewaltsam eingespeichert werden, vielleicht sogar mit einigem Widerwillen. Die Informationen werden nur für eine kurze Zeit zur Verfügung gestellt.

INFORMATIONSAUFNAHME

Gerne wird ein Vergleich zwischen **Computern** und dem Gehirn gezogen – dieser Vergleich ist nicht richtig. Denn das Gehirn besitzt keine Software, es ist nur Hardware, jedoch eine Hardware, die sich selbst fortwährend **verändert/umbaut**. Auch sind Informationen nicht unter **bestimmten Speicheradressen** abgelegt, sondern diese sind in verschiedenen Hirnarealen verteilt. Die Informationen müssen gesucht werden. Im Gegensatz zu Computern ist das Gehirn **nicht datenbasiert**, es rechnet nicht mit Nullen und Einsen, sondern arbeitet mit Konzepten. Das Prinzip „Strom fließt-Strom fließt nicht“ gilt nicht für das Gehirn (Nervenzelle feuert oder Nervenzelle feuert nicht). Nervenzellen feuern mit unterschiedlicher Intensität. Informationen werden auf vielfältige Weise **gleichzeitig** verarbeitet, das Gehirn optimiert sich ständig selbst. Computer wenden Regeln an und können blitzschnell (im Gegensatz zum Gehirn) komplexe Operationen durchführen. Sie können hervorragend (oder gar besser) Schach spielen als Menschen, aber sie wissen nicht, dass Schach ein Spiel ist oder was Schachfiguren sind. Informationen werden aus dem Gehirn nicht so abgerufen, wie sie eingegeben wurden. Insofern bedeutet „Erinnern“ kein Abrufen von Information. Erinnerungen werden immer neu geschaffen. Der **neuronale Speicherplatz** besitzt zudem eine fast **unbegrenzte** Speicherkapazität. Aus diesem Grund ist es nicht richtig wenn wir sagen: Mein Kopf ist zu voll, es geht kein Wissen mehr rein. Da

Erinnerungen immer wieder neu kreiert werden, werden diese auch nicht „gespeichert“.

Aufgabe 2

- a. In welchen Aspekten ist das menschliche Gehirn Computern überlegen?
- b. Worin bestehen die Schwierigkeiten, biologische Lern- und Gedächtnisprozesse technisch nachzubilden?

NEURONALE NETZWERKE UND WARUM WIEDERHOLUNGEN WICHTIG SIND

Einige Neurotransmitter erhöhen die **elektrische Erregung**, andere hemmen sie. Informationen aus der Umwelt oder aus dem Körper gelangen als **elektrische Impulse** aus den Sinneszellen über Nervenbahnen ins Gehirn, wo sie verarbeitet werden. Diese **Signale** werden vom Gehirn wieder ausgesendet, um Reize zu beantworten. Durch die Verarbeitung der aufgenommenen Informationen können Menschen situationsangepasst reagieren. Neuronen sind entscheidend für die Informationsverarbeitung. Sie kommunizieren feuerwerksartig untereinander, **elektrochemische Impulse (Reize)** und Signale befeuern den Austausch. Ein Neuron kann mit tausenden von anderen Neuronen verbunden sein. Dadurch entstehen **neuronale Netzwerke**. Diese Netzwerke spiegeln alle Lernerfahrungen, die wir im Laufe unseres Lebens machen. Im Gegensatz zu einem Computer ist das neuronale Netzwerk nicht nach einem detaillierten Plan gebildet, sondern zufällig organisiert. Wenn verbundene Zellen gemeinsam aktiv sind, verstärken sich Synapsen. Lernen ist aus neurowissenschaftlicher Sicht also die Verstärkung bestehender Verbindungen zwischen Nervenzellen. Je **häufiger** wir bestimmte Lernerfahrungen machen, desto **stabiler** werden synaptische Verbindungen, die diese Erfahrungen repräsentieren.

Mit anderen Worten: Je häufiger sich **synaptische Lernprozesse** wiederholen, desto leichter lässt sich das Netzwerk aktivieren: **what fires together, wires together**. Welche Konsequenz hat dies für das Lernen? Das synaptische Lernen geht langsam voran, es lebt von Wiederholungen. Das heißt, dass die Synapsen regelmäßig neu aktiviert werden und somit die Kontaktstellen zwischen den Neuronen verstärkt werden. Dies fördert vor allem **langfristiges Speichern** von Lerninhalten. Die Zeitdauer spielt dabei keine Rolle. Regelmäßig und häufig kürzer üben bewährt sich hier. Dies heißt in Umkehr nicht, immer wieder die gleichen Inhalte zu wiederholen, sondern zu versuchen, das Gehirn **vielfältig** anzuregen, etwa durch abgewandelte Aufgaben oder neue

Herangehensweisen. Je vielfältiger man abwechselt, desto besser bildet sich das Netzwerk aus.

Für das Lernen bedeutet dies, dass eine Verteilung von Lernaktivitäten zu verschiedenen Zeitpunkten und in kleineren Portionen die **Behaltensleistung** fördert. Wiederholungen sind umso effektiver, wenn sie in verschiedene **Kontexte** gestellt werden.

WAHRNEHMUNG

Wie wir bisher erfahren haben, laufen alle Wahrnehmungen über die Sinnesorgane im Gehirn zusammen, die eingehenden Informationen werden dort verarbeitet. Was nehmen wir nun aber wahr, und ist das, was wir wahrnehmen, auch das „Wahre“?

Wahrnehmen ist kein **passives** Konsumieren von Reizen, dabei sind diese Reize nicht eindeutig. Sie erfolgt **kontextorientiert**. Daher können wir Lerngegenstände, die mit unserem Vorwissen oder Vorlieben in Verbindung stehen, sehr viel leichter bearbeiten. Die Wirklichkeit wird im Gehirn konstruiert. Bei der Konstruktion der Wirklichkeit werden bestimmte Techniken genutzt, um die Reizflut, die auf das Gehirn einströmt, umzusetzen. Die Welt wird also nicht so wahrgenommen, wie sie ist, sondern wie sie für uns nützlich erscheint (Wasser im Schwimmbad erscheint zunächst kalt, danach gewöhnen wir uns daran, ein schlechter Geruch wird nach einiger Zeit nicht mehr so stark wahrgenommen = keine Veränderungen der Bedingungen, aber eine Veränderung der Sensorik). Wahrnehmung ist also ein **Prozess**, bei dem Informationen **organisiert** und **interpretiert** werden, somit erkennen wir die Bedeutung von Gegenständen. Wahrnehmung ist abhängig von Lernerfahrungen, vom Kontext und von aktuellen Handlungszielen.

Wir ordnen die wahrgenommenen Informationen ein und identifizieren sie. Dabei spielen Erwartungen, Vorwissen, Erfahrungen, Interessen und der Kontext eine Rolle. Prozesse, die einsetzen sind **Abgleich** und **Wiedererkennung**, **Filtereffekt**, **Bewertung** und **Bedeutungszusprechung**. Wir konstruieren aktiv ein (mentales) Bild der Wirklichkeit. Beispiel für den Einfluss von Vorwissen oder Kontextabhängigkeit:

THE CAT

Abb. 2: Schriftzeichen

Wir lesen dasselbe Zeichen einmal als H und einmal als A (wenn man Englisch kann). Wenn jemand die Sprache nicht kann und die Schriftzeichen nicht kennt, wird der Leser keine Interpretationsunterschiede erkennen können.

Schauen Sie sich nun den Necker-Würfel ⁷etwas länger an: was passiert?

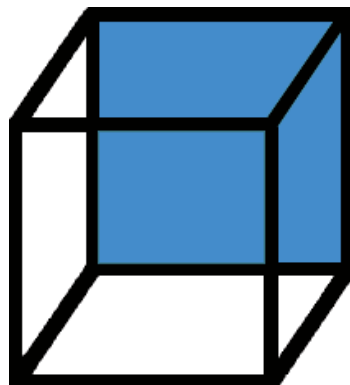


Abb. 3. : Neckerwürfel

Die Wahrnehmung des Würfels ändert sich. Einmal liegt für einige Zeit die blaue Fläche hinten, dann wieder rechts oben. Die visuelle Wahrnehmung präsentiert zwei **Sichtweisen** im Wechsel.

⁷ Der Necker-Würfel (Abb. 1) ist nach seinem Entdecker, dem Physiker Louis Albert Necker, benannt.

Was sehen Sie auf dem Bild von Escher?



(Quelle: <http://pi.math.cornell.edu/~mec/Winter2009/Mihai/section8.html>)

Weitere Beispiele Wahrnehmung (AB)

Das Gehirn kann mehr als einen **Standpunkt** einnehmen. Es ist nicht möglich, verschiedene Blickwinkel auf einmal zu erfassen.

M.C.Escher schreibt:

„...die Grenzlinie zwischen benachbarten Formen [hat] eine doppelte Funktion... .An ihren Seiten erhält gleichzeitig Erkennbares Gestalt. Aber das menschliche Auge und der Verstand können nicht mit ein und demselben Moment mit zwei Sachen beschäftigt sein, deshalb muß

schnell und kontinuierlich von der einen Seite zur anderen Seite gesprungen werden“.⁸

Wahrnehmung ist eine Abfolge physiologischer und kognitiver Prozesse. Sie spiegelt nicht einfach die physikalische Welt wider, sondern ist das Ergebnis einer **gefilterten Verarbeitung**. Wahrnehmung ist ein komplexer Prozess der Informationsgewinnung durch Verarbeitung von Reizen, die subjektiv erfolgt. Die physiologische Wahrnehmung erfolgt universell, die Weiterverarbeitung und die Bedeutungszuweisung variieren kulturell (mehr Beispiele auf Semapp unter LE 3: Wahrnehmung-Beispiele.pdf).

Aufgabe 3

Nach Betrachten eines Autounfalls auf Video konnten Beobachter, obwohl sie darauf hingewiesen wurden besonders aufmerksam zuzuschauen, das Geschehen nicht genau wiedergeben. Bekannt ist auch, dass Zeugen Personen vollkommen unterschiedlich beschreiben. Nach einigen Tagen werden auch abweichende Details berichtet. Was sind die Gründe hierfür – obwohl doch alle Beobachter das gleiche gesehen hatten?

Aufgabe 4

- a. Lesen Sie ohne zu zögern die Farben der Wörter vor.
- b. Lesen Sie die Wörter vor.

Was stellen Sie fest?

⁸ zitiert nach: Coxeter, H.S.M. (1971): Eschers Werk und die Mathematik. In: *Die Welten des M.C. Escher*. Hersching: Pawlak Verlagsgesellschaft.



Abb. 2: Stroop Test

(Quelle: <https://www.findyournose.com/test-kannst-du-mit-deinen-gehirnhalften-spielen>)

Sie haben sicher gemerkt, dass das Aussprechen der Farbe nicht so einfach ist, wie man annehmen könnte. Woran liegt das?

1. Zwei Verarbeitungsprozesse **interferieren**. Die Druckfarbe stimmt nicht mit dem Wort überein.
2. Das Benennen der Farbe ist ein **bewusst** ausgeführter Vorgang, er erfordert eine hohe Aufmerksamkeit.
3. Das Lesen des Wortes ist ein **automatisierter** Vorgang. Die Automatisierung kann nicht unterdrückt werden.

Aufgabe 5

- a. Warum ist der Effekt bei Leseanfängern nicht so stark ausgeprägt?
- b. Wie verarbeitet das Gehirn Informationen, wenn diese nicht zusammenpassen?

Die eine Gehirnhälfte versucht, die Farbe zu bestimmen, während die andere darauf besteht, das Wort zu sagen.

DAS LIMBISCHE SYSTEM

Für die Übertragung von Informationen ins Langzeitgedächtnis spielt das limbische System, zu dem auch der Hippocampus und Amygdala (Mandelkern) gehören, die entscheidende Rolle.

Das **limbische System** lenkt unser Verhalten, bewertet in gut/schlecht, bekannt/unbekannt, wichtig/unwichtig, angenehm/unangenehm und übt so einen Einfluss auf Lernvorgänge aus. Das limbische System bewertet und koordiniert Informationen und schätzt Konsequenzen ein (über stark befahrene Straßen zu laufen, ist gefährlich, hier muss man sehr aufpassen). Werden **Reize** als unwichtig, unangenehm, unbekannt oder schlecht bewertet, so werden sie nicht weitergeleitet und können nicht zu einem festen Wissensbestand umgewandelt werden. Es entscheidet, wenn uns langweilig wird, dies geschieht ziemlich schnell. Das limbische System wirkt wie ein Filter, der alle neu einströmenden Informationen mit bereits vorhandenen Erfahrungen vergleicht. Die gesamte **Lebenserfahrung** ist hier gespeichert, auch wenn Menschen sich darüber nicht bewusst sind. Daher reagieren wir mit Gefühlen auf bestimmte Situationen, Freude oder Angst, wohlige oder unangenehme Gefühle, die bestimmte Situationen hervorrufen. Jemand, der nach Jahren seine alte Schule wieder besucht, erinnert sich sofort an den „typischen Schulgeruch“, Erinnerungen und Assoziationen werden hervorgerufen. Je nach Häufigkeit und Heftigkeit von Erfahrungen werden Nervenzellen enger oder weitmaschiger verknüpft, alte Synapsen bilden sich zurück oder neue werden gebildet. Daher ist das Nervennetz der Erinnerung eine lebenslange Baustelle.

Der **Hippocampus** sorgt auch für die bewusste Wahrnehmung und Verarbeitung von neuen Informationen. Er stellt neue neuronale Verbindungen her und beginnt Zusammenhänge zu speichern. Der Hippocampus ist für das Lernen von großer Bedeutung und bildet den Drehpunkt von Erinnerungen sowie Speicherprozessen. Der Hippocampus selbst verfügt nur über eine geringe Speicherkapazität, er lernt aber schnell. Im Gegensatz hierzu hat die Großhirnrinde eine unbegrenzte Speicherkapazität, dafür lernt sie langsam. Das Lernen findet erst dann statt, wenn Informationen immer wieder einströmen, auch in neuen Zusammenhängen. Das limbische System funktioniert nach einem Schema: Was bereits geklappt hat, wird wiederholt. Leider ist dies beim Lernen nicht immer so, denn das schematische Reagieren verhindert das

Lernen von Neuem. Anders ausgedrückt: Man kämpft gegen **Gewohnheiten** an. Außerdem fällt es schwer, bereits erworbene Verhaltensweisen zu ändern. Vielleicht strömen zu viele negative Erfahrungen ein (ich habe schon einmal in der Prüfung versagt, bei mündlichen Prüfungen werde ich immer nervös usw.). Es passiert dann, dass das limbische System neue Informationen blockiert, diese stehen dann wiederum nicht zur Verfügung. Für das limbische System stellt jede neue Situation quasi eine Bedrohung dar. Das kann auch soweit gehen, dass man lieber ineffiziente Lerngewohnheiten beibehält (man hat ja recht bis heute damit gelebt). Es ist sehr schwer, bisherige Verhaltensweisen zu ändern – dies erfordert ein komplettes Umlernen, das sich als sehr mühselig gestaltet. Nehmen wir an, ein Skifahrer ist immer sehr gut alle Pisten heruntergefahren, hat aber eine grauselige Technik, bei jeder Abfahrt muss er sich anstrengen, damit er unfallfrei den Hang herunterwedeln kann. Lernt er nun eine neue Technik, so muss er ein Re-Training beginnen, da das limbische System sehr hartnäckig an alten (erfolgreichen) Gewohnheiten festhält. Umlernen kann sich daher als schwieriger gestalten als neu zu lernen. Das altbekannte „Format C“ ist beim menschlichen Gehirn nicht anwendbar.

VARIATIO DELECTAT

Wenn Inhalte mehrfach in der gleichen Form hintereinander wiederholt werden, schaltet der Hippocampus ab. Wenn Inhalte **variationsreich** wiederholt werden, wird der Hippocampus sozusagen überrumpelt und er ist wieder bereit, sich zu öffnen. Die Amygdala prüft alles, was wir mit unseren Sinnen aufnehmen. Wenn z.B. eine gefährliche Situation entsteht, reagiert die Amygdala sofort, sie ist mit einer Alarmanlage vergleichbar. Es gibt Situationen, da verspüren wir Angst und es kommt zu körperlichen Reaktionen (Herzklopfen, schwitzende Hände, der Atem geht schneller...). Dies geschieht auch, wenn unbewusste Erinnerungen wachgerufen werden, denn diese sind direkt in der Amygdala gespeichert. Für das Lernen bedeutet dies, dass die emotionale Atmosphäre einen starken Einfluss auf Lernprozesse ausübt. Negative Emotionen aktivieren die Amygdala und blockieren das Lernen. Etwas salopp ausgedrückt: Angst hat beim Lernen keinen Platz – dies lässt unser Gehirn nicht zu.

KONSTRUKTIONSPROZESSE

Lernen ist ein Konstruktionsprozess im Gehirn (vgl. LE1, Lerntheorien). Die Gehirne von Menschen weisen strukturell die gleiche Bauweise aus, die Gehirnteile finden sich an nahezu denselben Orten. Allerdings ist jedes einzelne Gehirn individuell einzigartig vernetzt, daraus, so die Erkenntnisse der Neurobiologie, wird gefolgert, dass jeder Mensch eine individuelle Lernbiographie hat und auf unterschiedlichen Wegen lernt.

Aufgabe

Studieren Sie die Inhalte der Webseite, schauen Sie sich auch die Kurzvideos an. Dies dient zur Wissensvertiefung.

<https://www.br.de/telekolleg/faecher/biologie/biologie-03-gehirn102.html>

PLASTIZITÄT - GEHIRNENTWICKLUNG

Das Gehirn entwickelt sich über die Jahre nach einem vorgegebenen biologischen Plan.

Aufgabe 6

Beschreiben Sie die Gehirnentwicklung eines Menschen bis zum 16. Lebensjahr (Abbildung 1).⁹

⁹ Worterklärungen:

Myelinisierung: stellt schnelle Informationsübertragung sicher und erleichtert Verknüpfungen von elektrischen Verbindungen im heranwachsenden Gehirn.

Synaptogenese: Synapsenbildung.

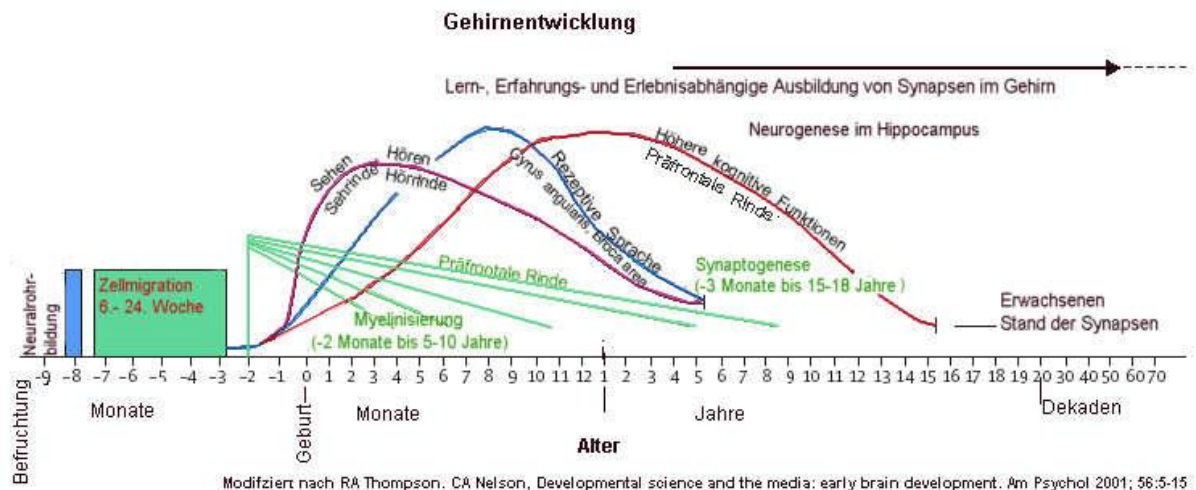


Abb.1: Gehirnentwicklung

(Quelle: http://www.neuro24.de/show_glossar.php?id=1991)

Bei der Geburt ist eine riesengroße Anzahl von Nervenzellen (Neuronen) vorhanden. Nach der Geburt werden kaum noch neue Nervenzellen gebildet. Dennoch verdoppelt sich das Gewicht des Gehirns in den ersten beiden Lebensjahren. Dies geschieht dadurch, dass das Baby lernt. Hierdurch entstehen die festen Neuronenverbindungen und es kommt zu einer Neuronenpopulation. Im Alter von drei Jahren hat die Anzahl der Synapsen ihren Höhepunkt erreicht. Die Anzahl nimmt dann wieder ab und Menschen sind dann weniger für Reize offen, da sie das bereits Erlernte bevorzugen. Während der ersten zehn Lebensjahre besitzt das Kind doppelt so viele Synapsen wie ein Erwachsener. Die emotionalen Lern- und Erfahrungsprozesse modellieren das Gehirn.

Die Plastizität des Gehirns ermöglicht es, die Funktionen des Gehirns mit Hilfe von Aktivität an neue Herausforderungen anzupassen. Dies hilft auch, verloren gegangene Funktionen zu ersetzen (so bilden Blinde etwa eine bessere auditive Wahrnehmungsfähigkeit aus, der Ausfall wird kompensiert, andere Hirnregionen übernehmen die Funktionen durch intensives Training und Nutzung). Wir können uns aufgrund der Formbarkeit des Gehirns an neue oder sich ändernde Umweltbedingungen anpassen. Die Plastizität des Gehirns ist Grundvoraussetzung zum Lernen, sie ist abhängig von Aktivität und Gebrauch.

Emotionale Faktoren sowie kognitive Fähigkeiten spielen eine wesentliche Rolle bei der Ausprägung der Plastizität. Misserfolge (etwa durch Überforderung) können demotivieren, Unterforderung kann langweilen. Eine optimale Anpassung an die Lernumgebung findet nicht statt, was dazu führen kann, dass

die Plastizität des Gehirns nicht ausreichend genutzt werden kann. Festzuhalten ist:

- Frühe Erfahrungen prägen das limbische System (emotionales System) des Gehirns.
- Defizite der emotionalen Umwelt führen zu fehlerhaften Entwicklungen der emotionalen Schaltkreise im Gehirn.
- Der Einfluss der Erfahrungen ist abhängig von spezifischen Entwicklungszeitfenstern (spezifisch für jedes Gehirnareal).
- Die durch Störungen/inadäquate Förderung während der Entwicklungsphasen entstandenen Defizite sind nach Ablauf dieser Phasen nur schwer korrigierbar (dies betrifft Gehirnentwicklung, aber auch Verhalten).

Exkurs

Untersuchungen durch bildgebende Verfahren zeigten auf, dass eine Lese-/Rechtschreibschwäche auf eine verminderte Aktivität in Hirnregionen stattfindet, die mit der phonologischen Verarbeitung des gesprochenen Worts in Verbindung gebracht werden. Daraus ergibt sich, dass Defizite in der phonologischen Wahrnehmung begründet sind und nicht in der visuellen.

Welche Konsequenzen hat dies für den Unterricht?

SPRACHENTWICKLUNG

Die kindliche Sprachentwicklung verläuft nach einer genau definierten zeitlichen Abfolge, dies geschieht parallel zur Gehirnentwicklung. Daher wird auch die Meinung vertreten, dass Denken und Sprachen stark miteinander verzahnt sind. Die Identifizierung und Diskriminierung von Lauten ist bereits bei der Geburt vorhanden, im Laufe der ersten beiden Lebensjahre verliert sich dies. Das Gehirn konzentriert sich nämlich auf das, was es als relevant einschätzt. Die Syntax wird mühsamer erworben, der Wortschatz wird lebenslang ständig erweitert, aus- oder umgebaut.

WIE SIEHT ES NUN BEI BILINGUALEN AUS?

Die Ausprägung des Zweitsprachenerwerbs hängt mit dem **Zeitpunkt** der Erwerbsphase zusammen. Bei früh erworbener Bilingualität sind die Sprachen in einem neuronalen Netzwerk repräsentiert, bei später erworbener **Bilingualität** werden verschiedene Hirnareale aktiviert. Die Fertigkeiten einer Zweitsprache können unterschiedlich ausgeprägt sein, wenn diese spät erworben werden.

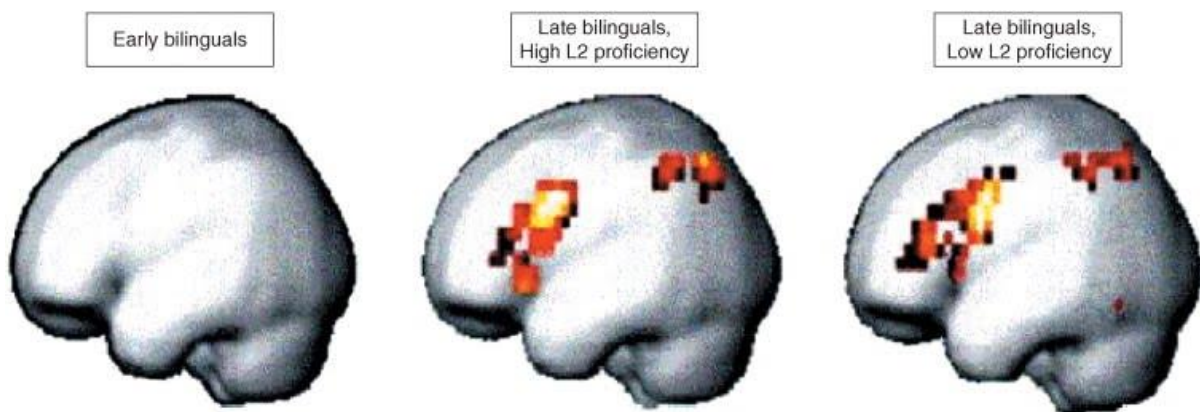


Abb.2: Entwicklung Bilinguale

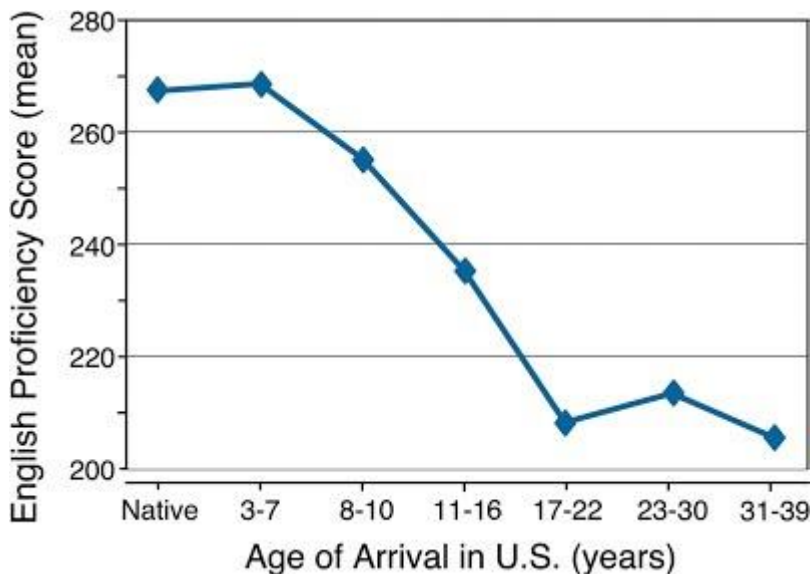


Abb. 3: Sprachentwicklung

(Quelle Abbildungen: <https://sites.google.com/site/criticalperiodhypothesis/second-language-acquisition/evidence>)

Lenneberg¹⁰ gilt als bekanntester Vertreter der kritischen (heute sagt man auch: sensiblen) Periode (*critical period hypothesis*). Die kritische Periode wird auf die Lateralisierung des Gehirns zurückgeführt. Kinder lernen Sprache ohne bewusste Anstrengung aufgrund natürlichen Inputs. Bei Erwachsenen wird der Spracherwerb von kognitiven Mechanismen determiniert. Die Existenz einer kritischen Periode zum Erwerb Erwerbsprache ist unbestritten, es existiert ebenso eine sensitive Periode im Erwerb weiterer Sprachen. Die neurobiologische (und kognitive Reifung) des Gehirns lässt ältere Sprachenlerner auf **Problemlösungsstrategien** und metalinguistisches Bewusstsein sowie **Lernvorerfahrungen** zurückgreifen. Die *critical period hypothesis* wird heute kontrovers diskutiert.

FREUDE AM LERNEN

Neugier und Lust am Lernen ist ein Teil einer angeborenen Strategie, die das Überleben sichert. Kinder haben ein grundlegendes Bedürfnis nach Wissen und wollen alles verstehen. Man muss Kinder nicht anregen oder motivieren zu spielen, sie verspüren einfach eine intrinsische Lust, Neues zu erkunden und sind ebenso fasziniert von Unbekanntem. Kinder lernen mühelos (z.B. Sprachen), sie lernen, den Körper zu koordinieren (z.B. Radfahren) oder den Umgang mit Gegenständen. Im Jugendalter und vor allem als Erwachsener verschwinden diese Eigenschaften: Das Lernen wird als mühselig empfunden, man hat keine Lust, etwas Neues auszuprobieren, unbekannte Situationen werden gemieden. Allerdings ist es eine Illusion zu glauben, alles könne spielerisch erlernt werden. Aus neurobiologischer Sicht ist dies nicht haltbar, denn **Anstrengung** stellt keinen Gegensatz zu Spiel dar. Ohne Anstrengung werden Neurotransmitter nicht aktiviert, auch können die neuronalen „Belohnungszentren“ nicht aktiviert werden. Aus diesem Grund findet kein nachhaltiges Lernen statt. Kurzfristige Lernerfolge können sich durchaus einstellen. Allerdings sind die Lerneffekte nach Überwindung der Schwierigkeiten beim Lernen als besonders hoch einzuschätzen.

Aufgabe 7

- a. Was könnten die Ursachen dafür sein, dass Jugendliche/Erwachsene die Lust und Neugier auf Entdecken und Lernen verlieren?
- b. Was kann man tun, damit man gerne/lieber lernt?
- c. Weshalb gestaltet sich Umlernen als äußerst schwieriger Prozess?
- d. Wie gehen Sie mit unangenehmen Aufgaben um?

¹⁰ Lenneberg, E.H. (1967): *Biological foundations of language*. New York: Wiley.

LERNEN & EMOTION

Das Gehirn steht unter dem Einfluss der Amygdala (Mandelkern). Lernen gedeiht am besten in einem entspannten Klima. Wenn das Gehirn sich im Angstmodus befindet, wirkt sich dies auf Lernprozesse aus. Das Gehirn möchte sozusagen den Quellen der Angst entkommen, daher wird das Denken behindert. Mit Freude lernen heißt jedoch nicht immer sich zu amüsieren, wenn man Hindernisse bewältigt, kann das mühsam und anstrengend sein, die aus der Bewältigung der Hemmnisse gewonnene Erkenntnis kann mit Freude einhergehen. Lernen sollte daher positiv konnotiert werden.

Aufgabe 8

Denken Sie an ein Studienfach, für das Sie nur ungerne lernen, an dem Sie keine Freude haben und keine sonderliche Motivation verspüren, für dieses Fach zu lernen. Welche Strategien wenden Sie an, um diese Unlust zu überwinden?

LERNFÄHIGKEIT

Bis vor einiger Zeit galt die Annahme, dass sich das Gehirn **Erwachsener** nicht mehr verändert. Mittlerweile wurde erkannt, dass das Gehirn bis ins hohe Alter ständig **umgebaut** wird. Aus wissenschaftlicher Sicht ist unbestritten, dass der Mensch bis zum Lebensende lernfähig ist, er kann neue Sprachen lernen, eine neue Sportart beginnen oder neue Dinge erkunden. Wenn dies nicht möglich wäre, hätte sich die Menschheit nicht zahlreichen Herausforderungen stellen und diese bewältigen können. Zweifel bestehen allerdings in sogenannten „Gehirnjoggingangeboten“, da sich der Effekt nur auf die unmittelbar trainierte Aufgabe bezieht, andere Fähigkeiten würden demzufolge nicht vom Gehirnjogging profitieren.

Hausarbeit

Informieren Sie sich im Internet über Angebote zum Gehirnjogging, Training der Gehirnhälften, Brain Gym etc. Wählen Sie drei Angebote aus und stellen Sie diese vor. Begründen Sie aufgrund der Erkenntnisse aus dieser Lerneinheit, was Ihnen an den von Ihnen ausgewählten Angeboten sinnvoll erscheint oder was eher zweifelhaft ist.

INDIVIDUELLE BEGABUNG UND LERNEN

Die **genetische** Disposition, **frühkindliche** Erfahrungen sowie die **individuelle** Ausprägung von Begabungen sind an Lernprozessen beteiligt. Lernen kann ebenso trainiert werden wie das Gedächtnis, daher sind genetische Disposition sowie frühe Lernerfahrungen nicht **die einzigen** Komponenten, die für Lernerfolge/Lernmisserfolge verantwortlich sind.

Die Lernfähigkeit eines Menschen ist modular geprägt. Das Gehirn kann „trainiert“ werden, wenn man **individuell passende** Methoden/Lernstrategien wählt, um Lernprozesse zu initiieren und zu befördern. Es ist **empfehlenswert**, immer mal wieder neue Methoden oder Lernstrategien auszuprobieren und sein bisheriges Repertoire zu erweitern. Wichtig ist, Lerninhalte auf möglichst **vielfältige Weise** mental zu repräsentieren, da hierdurch unterschiedliche neuronale Areale aktiviert werden und Inhalte besser miteinander verknüpft werden. Je mehr Ansätze genutzt werden, desto nachhaltiger kann das Gelernte gespeichert werden,

WAHRSCHEINLICHKEITSLERNEN

Wir schätzen ab, welche Wahrscheinlichkeit für das Auftreten eines Signals vorhanden sind (vgl. LE 1). So werden Ordnung und Sicherheit hergestellt, unnötige Informationen werden abgebaut.

Aufgabe 9

Welche Fähigkeiten sind Voraussetzung, um bei folgenden Situationen zu den richtigen Ergebnissen zu kommen? Welches Wissen muss man besitzen?

- Wir haben gelernt, dass der Buchstabe Q stets von U gefolgt wird. Wenn wir ein Wort ergänzen wollen, das mit Q beginnt, ergänzen wir das U.
- Besteht eine gewisse Wolkenformation, so können wir abschätzen (auch ohne die WetterApp), ob es bald ein Gewitter geben wird. Die Wolken bilden bestimmte Muster, Signale wie Donner und Blitz deuten darauf hin.
- Um einen Text zu verstehen, reicht es die Buchstabenkombinationen (hier: englisch) zu kennen: TH_R_ _S_ _NLY_ _N_ W_Y T_ F_LL_ _N TH_ V_W_LS_ _N TH_S S_NT_NC_.

Leistungssteigerung durch Biomedizintechnologie

Der rasante Fortschritt der Biomedizin, der Neurowissenschaften und der Neuropharmakologie hat das menschliche Gehirn erreicht – und damit auch die Kognition

und Psyche des Menschen. So sind die biomedizintechnologischen Möglichkeiten der Leistungssteigerung des Menschen nicht mehr auf den Körper beschränkt, sondern erstrecken sich auch auf das „Innerste“ des Menschen und seiner personalen Identität: sein Denken und Fühlen, Entscheiden und Handeln. Neuroenhancement, also die Stimulierung und Verbesserung kognitiver Fähigkeiten– wie Denkfähigkeit, Gedächtnis, Aufmerksamkeit, Konzentration und Wachheit – ist etwa durch „Ritalin“ und „Modafinil“ möglich, die eigentlich zur Therapie von pathologischen Aufmerksamkeitsstörungen entwickelt wurden. Durch die Einnahme des Arzneistoffes „Fluoxetin“, der in der Therapie als Antidepressivum eingesetzt wird, kann eine Stimmungsverbesserung erreicht werden, die wiederum der Steigerung der geistigen Leistungsfähigkeit dient. Zudem verbessert es das Wohlbefinden. In den USA, aber auch in anderen Ländern, wird „Ritalin“ auch ohne klinische Symptome – im so genannten „offlabel-use“ – eingenommen, mit dem Ziel, die Gedächtnis- und Aufmerksamkeitsleistungen

zu verbessern. Die biomedizintechnologische Entwicklung kann diesem Bedarf zunehmend entsprechen. Eine deutliche Leistungssteigerung des menschlichen Gehirns durch neuropharmakologische Präparate ist möglich, wird erprobt oder sogar schon durchgeführt. Die gegenwärtige Konvergenz von Nachfrage- und Angebotsseite eröffnet ein gesellschaftliches wie individuelles Problemfeld, das Dringlichkeit aufweist und zu ethischen wie politischen Entscheidungen drängt: Soll eine pharmakologische bzw. biomedizintechnische Verbesserung des Funktionsniveaus und der Leistungsfähigkeit des Menschen verstärkt herbeigeführt oder eher gebremst werden? (Erny, Herrgen & Schmidt 2018: 7).

Zitiert aus: Erny, Nicola; Herrgen, Matthias & Schmidt, Jan. C. (2018), Einleitung und Horizontbestimmung. In: Erny, Nicola; Herrgen, Matthias & Schmidt, Jan C. (Hrsg.): Die Leistungssteigerung des menschlichen Gehirns. Neuro-Enhancement im interdisziplinären Diskurs. Wiesbaden: Springer, 7-16.

Reflexionsaufgabe

Welche Meinung vertreten Sie: Soll die Leistungsfähigkeit des Gehirns durch biomedizintechnologische Hilfen ermöglicht oder eher gebremst werden?

ZUSAMMENFASSUNG

- Das Gehirn besteht aus Milliarden von Nervenzellen, die durch Billionen von Synapsen miteinander verbunden sind. Die Nervenzellen können Synapsen durch Erfahrungen verändern. Synapsen werden zu Speichern aller vergangener Erfahrungen.
- Das Gehirn baut sich auch noch im Alter um.
- Beim Lernen interagieren die Untersysteme des Gehirns durch synaptische Verknüpfungen. Lernen bedeutet für das Gehirn, neue Verknüpfungen zu bilden.
- Gehirne verarbeiten Informationen parallel. Je mehr Nervenzellen miteinander vernetzt sind, desto mehr Informationen können verarbeitet werden. Je schneller das Gehirn arbeitet, desto größer die Leistungsfähigkeit.
- Durch Wiederholungen werden synaptische Verbindungen gestärkt. Dies ist wichtig für nachhaltiges Lernen und die Abrufbarkeit des Lernstoffs.
- Das limbische System ist für die emotionale Färbung von Lernaktivitäten oder Wahrnehmung verantwortlich. Daraus entstehen Lust oder Unlust zum Lernen.
- Der Hippocampus spielt eine entscheidende Rolle für die Verarbeitung und Speicherung von Informationen. Er schickt ankommende Signale schnell weiter und ist somit für das Lernen verantwortlich. Der Hippocampus ist auch wichtig für das Gedächtnis und die räumliche Orientierung.
- Die Amygdala beeinflusst das emotionale Lernen und das Gedächtnis. Sie verarbeitet emotionale Informationen und setzt sie in Reaktionen um.
- Je häufiger Lernerfahrungen stattfinden, desto nachhaltiger verankert sich Lernstoff im Gehirn.
- Defizite in der emotionalen Umwelt und Umgebung führen zu fehlerhaften Entwicklungen der emotionalen Schaltkreise im Gehirn.

AUFGABEN ZUR WISSENSKONTROLLE

1. Beschreiben Sie kurz, wie das Gehirn beim Lernen funktioniert.
2. Weshalb kann das Gehirn in kürzester Zeit auf Veränderungen reagieren?
3. Welche Rolle spielen die Synapsen beim Lernen?
4. Wie werden Informationen im Gehirn verarbeitet?
5. Weshalb kann das Gehirn in kurzer Zeit auf Veränderungen reagieren?
6. Was bewirken die Neurotransmitter?
7. Welche Relevanz haben Ergebnisse aus neurobiologischen Untersuchungen für das Lernen?
8. Welche Lerntheorie bildet am ehesten Befunden aus der Gehirnforschung ab (vgl. auch LE1)?
9. Welche Funktion hat das limbische System?
10. Erklären Sie, warum Kinder bis zum Eintritt der Pubertät zwei (oder auch mehr) Sprachen wie ihre Erstsprache fließend lernen können.
11. Formulieren Sie einige Grundsätze für Lernende, die anderen Lernenden helfen könnten (z.B. "dos and don'ts").

Reflexion

Das nehme ich aus LE 3 mit	Das ist mir noch unklar	Damit möchte ich mich noch intensiver auseinandersetzen