

## 2. LERNEN AUS NEUROBIOLOGISCHER PERSPEKTIVE

Zwei Faktoren spielen für das Lernen eine bedeutsame Rolle: einmal das Gehirn bzw. genauer der Cortex (auch Kortex, Großhirnrinde, siehe Kapitel 2.1) und zum anderen die Neuronen (Kapitel 2.3). Aus neurobiologischer Sicht bedeutet Lernen den Aufbau von Neuronenpopulationen im Cortex. Jedes Neugeborene kommt mit ca. 100 Milliarden Neuronen auf die Welt, die jedoch nur minimalst miteinander verknüpft sind. Im ersten Lebensjahr vergrößert das Baby seine Gehirnmasse von ca. 250 auf 750 Gramm, und das nur dadurch, dass das Baby „lernt“, d. h., dass feste Verbindungen zwischen den Neuronen entstehen, es also zu Neuronenpopulationen kommt. Braun & Meier (2004: 507) erläutern, dass das Gehirn von sich aus ständig nach Anregungen und Abwechslung sucht. Das Gehirn möchte also seine Neuronenpopulationen erweitern. Etwa 10 Millionen Informationen treffen pro Sekunde auf unser Gehirn, davon werden ca. 20 Informationen bewusst aufgenommen (und eventuell weitergeleitet), der Rest prallt quasi ab. Mit der Pubertät hat das Gehirn sein durchschnittliches Endgewicht zwischen 1,3 und 1,4 kg erreicht. Bei Männern befinden sich ca. 23 Milliarden, bei Frauen ca. 19 Milliarden der insgesamt 100 Milliarden Neuronen im Cortex. Während es beim Kleinkind viele, aber schwache neuronale Verknüpfungen gibt, sind es beim Erwachsenen weniger, aber sehr feste Verbindungen.<sup>5</sup>

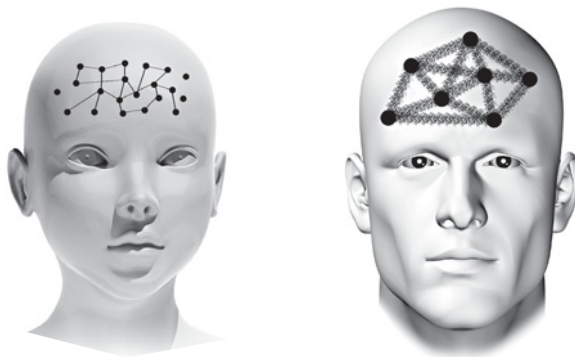


Abb. 1 Neuronen im Cortex: Baby vs. Erwachsener

---

5 Die Daten zum Gehirn und Neuronen entstammen vorwiegend Trepel (2008), Korte (2012) und Squire & Kandel (2009), Bonhoeffer & Gruss (2011). Die Angaben finden sich wiederholt in allen neurobiologischen Quellen.

## 2.1 DER CORTEX

Der Cortex ist in zwei Gehirnhälften, Hemisphären genannt, unterteilt, die mehr oder weniger symmetrisch aufgebaut sind. Die beiden Hemisphären sind durch Stränge von Nervenfaserbündeln (mehr als 300 Millionen Nervenfasern) verbunden. Die beiden Hälften kommunizieren miteinander über das Corpus callosum, den Balken. Insgesamt werden im Cortex (also in beiden Hemisphären jeweils) vier verschieden große Lappen unterschieden: der Frontal- oder Stirnlappen, der Parietal- oder Scheitellappen, der Okzipital- oder Hinterhauptslappen und der Temporal- oder Schläfenlappen. Die einzelnen Lappen sind durch sog. Furchen (lat. Sulcus, Sulci) voneinander getrennt. Die Hirnlappen selbst sind wiederum in verschiedene Windungen unterteilt (lat. Gyrus, Gyri). Neben den Regionen der Hirnaußenseite gibt es weitere Strukturen und Gebiete, die unter der sichtbaren Schicht verborgen liegen, wie zum Beispiel die sog. Insel, die u. a. für die Artikulation zuständig ist (vgl. Herrmann & Fiebach 2007: 100). In dieser Darstellung werden nur die Gebiete lokalisiert und thematisiert, die für das Lernen von Sprache (Erst-, Zweit- und Fremdsprache) von Relevanz sind.

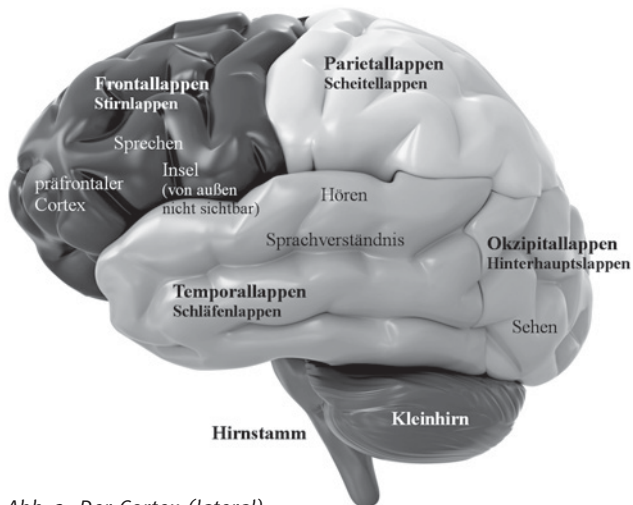


Abb. 2: Der Cortex (lateral)

Für Sprache und so auch für das Sprachenlernen sind alle Bereiche des Cortexes im Einsatz, der motorische Cortex regelt neben dem Broca-Areal die Muskeln beim Sprechen. Das Broca-Areal (Sprechen) selbst befindet sich im Frontallappen. Es ist zuständig für die syntaktische Verarbeitung und die motorische Koordination des

Sprechens. Im Deutschen sind beim Sprechen über 100 Muskeln im Einsatz. Im Frontallappen findet ferner die sprachpragmatische Verarbeitung statt, so z. B. bei Anspielungen oder Metaphern. Der Parietallappen verarbeitet haptische Reize (Tastsinn) und enthält das Lesezentrum. Im Temporallappen wird der emotionale Gehalt des Gesichtsausdrucks unseres Gegenübers bewertet (siehe Kapitel 2.2). Hier befindet sich auch das Sprachverarbeitungszentrum, das sog. Wernicke-Areal (Sprachverständnis). Der Okzipitallappen schließlich dient der visuellen Reizaufnahme. Im Alter nimmt das Volumen einiger dieser Areale ab (siehe Kapitel 13). Eine zentrale Funktion, noch vor der eigentlichen Sprachverarbeitung, hat das sog. Limbische System.

## 2.2 DAS LIMBISCHE SYSTEM

Das Limbische System (Limbus) befindet sich im Zentrum des Gehirns. Jedes neuronale Signal, also jeder Reiz, passiert als Erstes den Limbus (bestehend u. a. aus Hippocampus, Gyrus cinguli und Amygdala). Das Limbische System bewertet die ankommenden Reize nach den Kriterien bekannt vs. unbekannt, wichtig vs. unwichtig und angenehm vs. unangenehm. Der Informationsinhalt wird also einerseits mit bereits vorhandenen Wissensbeständen verglichen, andererseits wird der Reiz emotional bewertet (im Hippocampus).

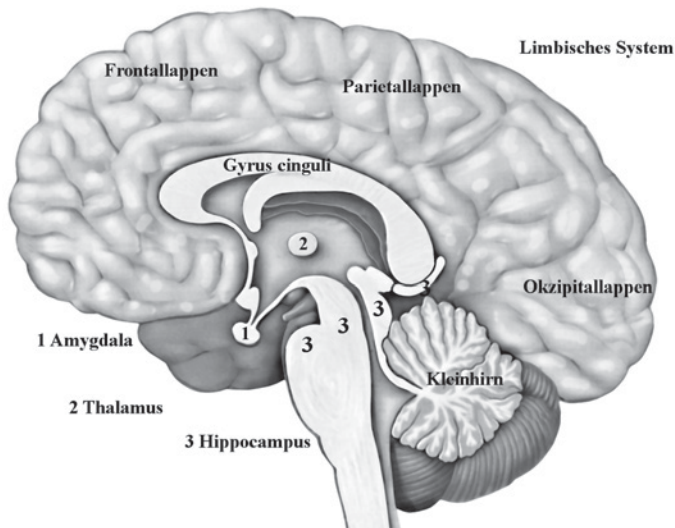


Abb. 3: Der Cortex (medial) mit Limbischem System

Sobald der Reiz als unwichtig empfunden wird, wird er gar nicht erst weitergeleitet. Nehmen wir als Beispiel die Vokabel *kutsu* (japanisch Schuh): Wenn der Reiz *kutsu* auf Ihr Ohr trifft, ist davon auszugehen, dass der Reiz, da wenig relevant, nicht an den subkortikalen Bereich (den Bereich unterhalb des Cortex, das Arbeitsgedächtnis) weitergeleitet wird und so nicht die Chance hat, jemals als fester Wissensbestand (Neuronenpopulation) im Cortex zu landen. Wörter oder Inhalte, die den Lernenden jedoch emotional ansprechen oder aber Wissensbestände, die den Lernenden sinnvoll erscheinen, werden weitergeleitet. Was für den einen Lernenden jedoch mit Sinnhaftigkeit verknüpft ist, kann für einen anderen sinnfrei sein. Siebert (2003: 12 bzw. 2006: 86) spricht – in Anlehnung an Spitzer – von einem Relevanz- und einem Neuigkeitsdetektor. Hat ein Reiz (in Form des Lernstoffs) keine offensichtliche Relevanz, so erreicht er den Arbeitsspeicher (subkortikalen Bereich) erst gar nicht. Die Situation ist den meisten Lehrenden aus dem Unterricht bekannt: Die Lehrkraft erläutert ein sprachliches Phänomen, und einer der Teilnehmenden fragt kurz danach, ob irgendwann genau dieses Phänomen vermittelt wird.

#### Wie kann man das Limbische System aktivieren?

Da neue Informationen zunächst mit vorhandenen Wissensbeständen verglichen werden, ist es sinnvoll, den Unterrichtseinstieg bzw. den Einstieg in ein neues Thema derart zu gestalten, dass vorhandene Wissensbestände wieder aktiviert werden, also z. B. über Mindmaps, die zunächst in Einzelarbeit erarbeitet und dann vielleicht in kleinen Gruppen diskutiert werden (vgl. Kapitel 14). Hilfreich ist ferner, wenn man den Nutzen der Wissensbestände konkret thematisiert; man also aufzeigt, welche wissenschaftliche, kulturelle, gesellschaftliche, persönliche Relevanz das Thema hat.

### Wie spreche ich die emotionale Seite an?

Das Limbische System möchte neugierig gemacht werden (vgl. Herrmann 2010). Es schätzt eine entspannte Atmosphäre. Roth (2010: 60) schreibt:

*Dieses System entscheidet insofern grundlegend über den Lernerfolg, als es bei jeder Lernsituation fragt: Was spricht dafür, dass Hinhören, Lernen, Üben usw. sich tatsächlich lohnen? Dies geschieht überwiegend aufgrund der vergangenen, meist unbewusst wirkenden Erfahrung. Kommt das System zu einem positiven Ergebnis, so werden über die genannten neuromodulatorischen Systeme in der Großhirnrinde vorhandene Wissens-Netzwerke so umgestaltet, dass neues Wissen entsteht.*

Darüber hinaus schätzt das Limbische System motivierte und glaubhafte Lehrende. Je desinteressierter der Lehrende erscheint, desto eher schließt das Limbische System, dass der Wissensbestand ohne wirkliche Relevanz ist (vgl. Roth 2010). Zu Beginn eines jeden Erstkontakts und auch bei jedem weiteren Gesprächskontakt wird die Glaubwürdigkeit des Gegenübers unbewusst evaluiert. Dies geschieht durch Analyse des Gesichtsausdrucks, prosodische Merkmale (also der Stimme) und der Körperhaltung. Beteiligt sind Amygdala, insulärer Cortex (sog. Insel, überdeckt von den Lappen) sowie der rechte Temporal- und Parietallappen (vgl. Winston et al. 2002).

Erscheint der Lehrende motiviert, geht der Lernende unbewusst davon aus, dass das Wissen sinnvoll oder auch emotional gewinnbringend ist. Wenn das Limbische System davon ausgeht, dass das Zuhören und aktive Mitarbeiten in der Folge zu einem Dopamin-Ausstoß (Neurotransmitter, der Vorfreude und Glücksgefühle auslöst) führt, ist die Feuerung dementsprechend stärker.

Ferner ist eine positive Anstrengung, die die Neurotransmitter Noradrenalin (anregend in geringen Dosen) und Acetylcholin (unterstützt die Speicherung<sup>6</sup>) ausschüttet, lernförderlich. Ohne jegliche Anstrengung und „positiven Stress“ schaltet das Gehirn ebenfalls ab (vgl. Kapitel 5). Die Lernenden müssen also gefordert werden. Das vom Limbischen System Gespeicherte wird allmählich an den Cortex übertragen, und dies in der Regel während des Schlafens (vgl. Spitzer 2009: 123 ff. und Kapitel 14).

---

6 Ein Mangel an Acetylcholin ist der Auslöser für die Alzheimer-Krankheit.

Beim Lernen ändern sich vor allem die Verbindungen zwischen den Neuronen. Die Weitergabe von Reizen erfolgt über die sog. Synapsen (vgl. Kapitel 2.3), sodass Lernen auch als Veränderung der Synapsenstärke definiert werden kann (vgl. Giesinger 2009: 527). Die Synapsen wiederum übertragen die bereits angesprochenen Neurotransmitter, von denen zurzeit (2013) über 100 verschiedene bekannt sind. Fürs Lernen von besonderer Bedeutung sind (vgl. Kapitel 5):

- Acetylcholin: zentral für die Aufmerksamkeitssteuerung
- Noradrenalin: Informationsverarbeitung, Angst und Emotionen
- Dopamin: Belohnungssystem<sup>7</sup>
- GABA (Gamma-Amino-Buttersäure): dämpft Erregung und beruhigt
- Serotonin: Wohlbefinden
- Glutamat: Sinneswahrnehmungen

## 2.3 NEURONEN UND SYNAPSEN

Bei jedem Input (bewusstem oder unbewusstem) entstehen sog. Ladungsprozesse zwischen den beteiligten Neuronen. Gleicher Input (also z. B. Wiederholungen) spricht die gleichen Neuronengruppen an. Die einzelnen beteiligten Neuronen gehen eine stabilere Verbindung ein.

Das Neuron besteht aus dem Zellkörper, der den Zellkern enthält, Dendriten und Axonen. Der Reiz wird von den Dendriten aufgenommen und über das Axon an das nächste Neuron weitergeleitet. Am Ende des Axons befinden sich und entstehen die Synapsen (vgl. Trepel 2008: 3 ff.)

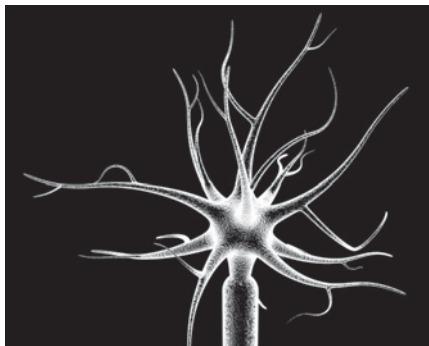


Abb. 4: Neuron/Nervenzelle (Original)

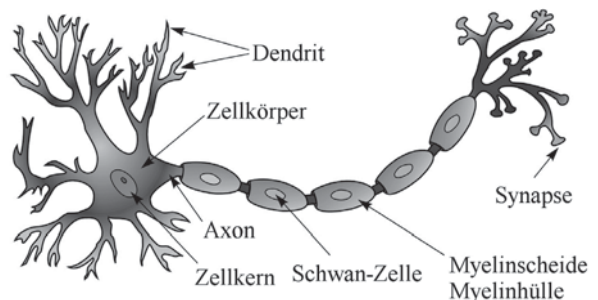


Abb. 5: Neuron schematisch

7 Ein Zuwenig an Dopamin begünstigt Parkinson, ein Übermaß an Dopamin begünstigt Schizophrenie.

Jedes Neuron wird durch seine Membran umschlossen. Der bereits angesprochene Ladungsprozess entsteht durch die Aufnahme von Kalium in die Zelle und Abgabe von Natrium aus der Zelle. So entsteht ein elektrischer Ladungsunterschied. Wird ein Neuron durch einen Reiz aktiviert, gibt es seinen Ladungsunterschied in Form eines elektrischen Impulses ab. Die Übertragung von einem Neuron zu einem nächsten Neuron erfolgt nun durch die Weitergabe der bereits angesprochenen Neurotransmitter, also chemischer Stoffe, die von einer Synapse an die nächste Synapse weitergegeben werden. Je stärker der Reiz (Signalstärke), desto mehr Neurotransmitter werden freigesetzt bzw. weitergeleitet.

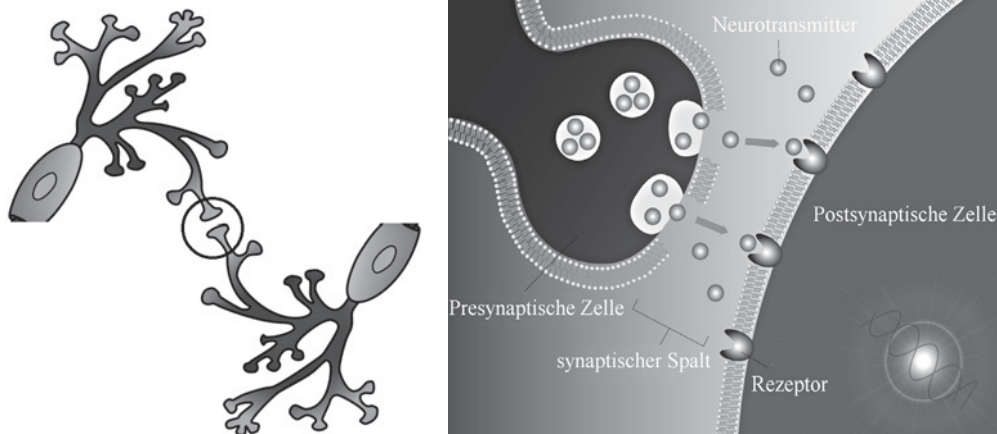


Abb. 6: Weitergabe von einem Neuron an das nächste Neuron

Ein Neuron kann bis zu 10.000 (je nach Quelle auch bis zu 15.000) synaptische Verbindungen aufbauen, bei 100 Milliarden Neuronen können das  $10^{16}$  Synapsen sein. Lernen heißt also, um es noch einmal zu wiederholen, dass zwischen bestimmten Neuronen – aufgrund von wiederholten Reizen – eine feste Verbindung mithilfe der Synapsen aufgebaut wird (vgl. Trepel 2008: Kapitel 1). Von der Geburt bis zum 2. Lebensjahr entwickeln sich 1,8 Millionen Synapsen pro Sekunde (vgl. Korte 2012: 40).

Bei jedem Lernprozess kommt es zu einer Veränderung der betroffenen Neuronenpopulationen, indem das neue Wissen an bereits vorhandenes andockt. Man spricht hier von synaptischer Plastizität oder Synapsenplastizität. Lernen ist folglich ein Umstrukturierungsprozess vorheriger Wissensbestände im Cortex (vgl. Spitzer 2000: 11, 30). Man spricht auch von neuronaler Reorganisation.



Nehmen wir zur Verdeutlichung noch einmal *kutsu* (Schuh): Wenn Sie die neue Vokabel *kutsu* speichern, so dockt das Wort entweder an ihr muttersprachliches oder eines Ihrer fremdsprachlichen mentalen Lexika an (vgl. zu mentalen Lexika: Sunderman & Kroll 2006, Dijkstra & Van Heuven 2002, Jared & Kroll 2001, Marian & Spivey 2003). Damit hat sich die vorherige Neuronenpopulation verändert. Bei festen Wissensbeständen bestehen Tausende synaptischer Verbindungen zwischen den beteiligten Neuronen. Vorausgesetzt, das limbische System gewährt dem Reiz *kutsu* Zugang zum subkortikalen Bereich, so vergleicht das Gehirn, wie bereits dargestellt, den neuen Reiz, also den neuen Input, mit bereits vorhandenen Wissensstrukturen (oder Erfahrungen) im Cortex. Sollte der Lernende beispielsweise die auch vor allem in England bekannte Schuhmarke Oki-Kutsu kennen, fällt die Speicherung leicht.

Der Reiz wird besser verarbeitet, wenn er auf bereits ähnliche Strukturen trifft (Mustererkennung). So fällt es einem koreanischen Muttersprachler sehr viel leichter, *kutsu* zu speichern, da Schuh auf Koreanisch *gudu* heißt. Häufige Inputs (in Form von Wissensbeständen) werden dann auf einer insgesamt größeren Fläche repräsentiert als seltene Inputs und solche, die nirgendwo andocken können (vgl. Spitzer 2000: 95 ff.).

*Kutsu* dockt dabei also zunächst an der Erstsprache (oder einer anderen fest verankerten Sprache) an. Je öfter es wiederholt wird, desto „selbstständiger“ wird der Wissensbestand. Je positiver die Konnotationen, desto besser wiederum die Speicherung. Würde ich z. B. bei der Vermittlung der Vokabel *kutsu* solchen Frauen, die ein Faible für Schuhe haben, ein paar Schuhe schenken, würde ich den Speicherungsprozess unterstützen.

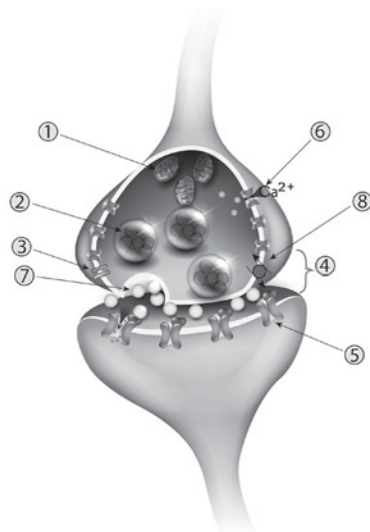
Die Axone (Nervenfortsätze, die den Reiz weiterleiten) werden von einer Myelinhülle (auch Myelinschicht, Myelinscheide, Isolierhülle) umwickelt. Verantwortlich für die Produktion des Myelins sind sog. Gliazellen (dazu gehören auch u. a. die Schwann-Zellen). Da viele Neuronen über mehrere Nervenfortsätze verfügen, wird die Anzahl von Gliazellen mit 100.000 Milliarden angegeben. Diese Myelinhülle schützt dabei nicht nur die Nervenfortsätze (Axone), sondern sorgt auch dafür, dass die elektrischen Impulse möglichst schnell weitergeleitet werden. Ein Neuron ohne Myelinhülle leitet einen Impuls 10 Meter pro Sekunde, mit Myelinhülle 100 Meter pro Sekunde. Myelin ist eine fettige, elektrisch gut isolierte Schicht, die zu 80% aus Fetten und zu 20% aus Proteinen besteht. Die Myelinisierung beginnt im 9. Monat noch im Mutterleib, steigt bis zum 20. Lebensjahr stetig an und ent-



wickelt sich bis zum ca. 50. Lebensjahr weiter. Zwischen dem 12. und 20. Lebensjahr verdoppelt sich die Myelinmenge im Gehirn. Myelin ist ein Schlüsselfaktor des Lernens im Alter, weil die Myelinhülle zunehmend dünner wird (vgl. Kapitel 13).

### Wie erreicht der Reiz nun den Cortex?

Im Allgemeinen werden unterschiedliche Sinne und damit Reize differenziert: der Sehsinn (optisch), der Geruchssinn (olfaktorisch), der Tastsinn (haptisch) und der akustische Sinn. Die analogen Signale (optisch, akustisch, haptisch, olfaktorisch) treffen auf einen adäquaten Rezeptor, es entsteht ein Rezeptorpotenzial, welches in den nachgeschalteten Neuronen in für das Gehirn lesbare digitale Signale umgewandelt wird; es wird ein Aktionspotenzial ausgelöst (vgl. Kandel et al. 2012). Der Reiz *kutsu* trifft als akustischer Reiz auf Ihr Ohr, wird digital umgewandelt und trifft auf ein erstes Neuron. Der Reiz wird in der Folge, wie dargestellt, von einem Neuron zum nächsten weitergeleitet. Schreibe ich den Begriff *kutsu* an die Tafel, wird der analoge optische Reiz von den Photorezeptoren in digitale Signale transformiert. Einen stärkeren Reiz kann ich vielleicht auslösen, wenn *kutsu* mit einem Bild über den Beamer an die Wand projiziert wird. Die optischen Medien unterscheiden sich folglich bezüglich ihrer Reizintensität. Die Reizübertragung von einem Neuron zum nächsten erfolgt, wie bereits dargestellt, über die Synapse(n), die die chemischen Botenstoffe weitergibt/-geben. Und – wie ebenfalls bereits angesprochen – kann die Speicherung durch eine positive Emotion gefestigt werden.



A präsynaptisches Neuron  
B postsynaptisches Neuron

1. Mitochondrium (Energiebereitsteller)
2. Vesikel mit den Neurotransmittern
3. Autorezeptor
4. Synaptischer Spalt
5. Neurotransmitter Rezeptor
6. Kalziumkanal
7. verschmolzenes Vesikel gibt Neurotransmitter frei
8. Neurotransmitter Pumpe (Rückführung der nicht aufgenommenen Neurotransmitter)

Abb. 7: Synapse schematisch

Die Synapse leitet (über die Axone) das ankommende Aktionspotenzial (das Wort *kutsu*) an das nächste, also das postsynaptische Neuron weiter. Die Neurotransmitter befinden sich zunächst in den sog. Vesikeln (Bläschen) des präsynaptischen Neurons. Durch das ankommende Aktionspotenzial werden sie freigesetzt. Die Neurotransmitter gelangen in den synaptischen Spalt und werden vom postsynaptischen Neuron aufgenommen. Im präsynaptischen Neuron werden die Neurotransmitter sofort wieder aufgebaut. Bei übermäßigem Stress kann dies verzögert werden, sodass die weitere Reizweiterleitung blockiert ist (sog. Blackout). Erfolgt der gleiche Reiz häufiger, werden die gleichen Neuronen wieder aktiv. Es bilden sich weitere Synapsen aus. Durch häufige Wiederholung werden die Wissensbestände im Cortex (Langzeitgedächtnis) als „neuronale Netzwerke“ (Siebert 2006: 14) gespeichert.

Gehirnscans zeigen, dass nach nur 20 Minuten Klavierspielen beispielsweise neue Neuronenpopulationen nachweisbar sind (vgl. auch Spitzer 2000: 86). Wird danach nicht weiter geübt, geht die Neuronenpopulation verloren. Ähnliches passiert bei allen Lerngegenständen: Sowohl die Konnektivität der Synapsen als auch die Population an sich bedürfen der Wiederholung gleicher oder ähnlicher Signale.

Der Ablauf lässt sich schematisch wie folgt zusammenfassen:

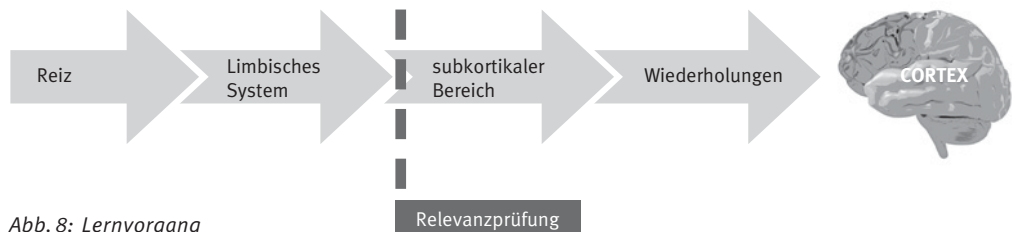


Abb. 8: Lernvorgang

Deutlich wird, dass einerseits das limbische System emotional angesprochen werden muss, damit der Reiz überhaupt weitergeleitet wird und andererseits Wiederholungen notwendig sind, damit das Wissen in den Cortex gelangt. Eine Vokabel muss beispielsweise auch bei lerngeübten Lernenden ungefähr 80 Mal wiederholt werden, ehe sie fest im Cortex verankert ist (vgl. Apeltauer 2010: 15). Werfen wir im folgenden Kapitel einen detaillierten Blick auf die prä- und postnatale Entwicklung.

## Quellenverzeichnis

- S. 8: links © fotolia/Supertrooper; rechts © fotolia/sirylok
- S. 9: © fotolia/martanfoto
- S. 10: © fotolia/Alexilus
- S. 13: links © fotolia/martanfoto; rechts © fotolia/Vector Art Design
- S. 14: links: © fotolia/Vector Art Design; rechts © fotolia/meletver
- S. 16: © Thinkstock/iStock/TefiM
- S. 17: © fotolia/martanfoto
- S. 21: © fotolia/martanfoto
- S. 34: © Sergey Nivens – stock.adobe.com
- S. 38/39: Gehirn © fotolia/martanfoto; Ohr © fotolia/sirylok
- S. 40: Gehirn © fotolia/martanfoto; Auge: Marion Grein, Mainz
- S. 43: beide © fotolia/Marcin Sadlowski
- S. 52/53: © fotolia/martanfoto
- S. 57: © fotolia/Entropia
- S. 59: © fotolia/sirylok
- S. 71: © fotolia/martanfoto