



Didaktische Rekonstruktion als Planungs- und Forschungsrahmen nutzen

Fachliche Klärung, Gestaltung und Evaluation einer universitären
Lehrveranstaltung zum Thema Gehirn und Lernen

**Online-Supplement:
Konzeptwechselltexte zu Neuromythen
zum Thema Lernen und Gedächtnis**

Finja Grospietsch^{1,*} & Jürgen Mayer¹

¹ *Universität Kassel*

* *Kontakt: Universität Kassel, Didaktik der Biologie,
Heinrich-Plett-Straße 40, 34132 Kassel
finja.grospietsch@uni-kassel.de; jmayer@uni-kassel.de*

Zitationshinweis:

Grospietsch, F., & Mayer, J. (2021). Didaktische Rekonstruktion als Planungs- und Forschungsrahmen nutzen. Fachliche Klärung, Gestaltung und Evaluation einer universitären Lehrveranstaltung zum Thema Gehirn und Lernen [Online-Supplement: Konzeptwechselltexte zu Neuromythen zum Thema Lernen und Gedächtnis]. *HLZ – Herausforderung Lehrer*innenbildung*, 4 (2), 165–192. <https://doi.org/10.11576/hlz-2548>

Eingereicht: 01.10.2019 / Angenommen: 12.05.2020 / Online verfügbar: 26.02.2021

ISSN: 2625–0675



Inhalt

- (1) Arbeitsaufträge zu den Konzeptwechseltexten
- (2) Konzeptwechseltext *Wir nutzen nur 10 % unseres Gehirns*
- (3) Konzeptwechseltext *Das Gehirn funktioniert ähnlich einer Festplatte. Informationen werden an spezifischen Orten gespeichert*
- (4) Konzeptwechseltext *Spiegelverkehrte Koordinationsübungen können die Interaktion von linker und rechter Hirnhälfte verbessern und machen schlau*
- (5) Konzeptwechseltext *Man lernt besser, wenn man Informationen nach präferiertem Lerntyp erhält (auditiv, visuell, haptisch, intellektuell)*
- (6) Konzeptwechseltext *Über den akustischen Kanal (z.B. durch Audioaufnahmen mit Vokabellisten) können im Schlaf gänzlich neue Inhalte gelernt werden*
- (7) Konzeptwechseltext *Von der Geburt bis zum dritten Lebensjahr sind Lernende am empfänglichsten für Lernprozesse*
- (8) Konzeptwechseltext *Man lernt nachhaltiger, wenn man verschiedene Themen systematisch hintereinander statt miteinander vermischt lernt*

Literaturverzeichnis

Bildrechte

Anmerkung: Nachfolgend handelt es sich um die Konzeptwechseltexte, die im Wintersemester 2018/2019 in der Lehrveranstaltung *Gehirngerechtes Lernen – Konzept oder Mythos?* der Universität Kassel eingesetzt wurden. Im Unterschied zu den Konzeptwechseltexten aus der Studie von Grospietsch und Mayer (2018) enthalten die hier abgebildeten Konzeptwechseltexte besonders starke Widerlegungsimpulse (z.B. „Doch das ist falsch“). Von den Studierenden wurde dies teilweise kritisiert. Das Lehr-Lern-Material wird zukünftig weiter optimiert und an die Vorstellungen Studierender angepasst, die im Rahmen einer empirischen Studie rekonstruiert werden konnten. Bei Interesse am überarbeiteten Material wenden Sie sich bitte an die Autorin.

(1) Arbeitsaufträge zu den Konzeptwechselltexten

Beispiele für die Arbeitsaufträge vor (obere Darstellung) und nach Lesen der Konzeptwechselltexte (untere Darstellung). Die kursiv gedruckten Textstellen variieren je nach Konzeptwechselltext, indem sie an den jeweiligen Neuromythos angepasst werden.

„Wir nutzen nur 10 % unseres Gehirns.“

Nehmen Sie begründet Stellung zu dieser Aussage. Antworten Sie ehrlich und intuitiv; unterlassen Sie Recherchen oder das Nachblättern auf Folgeseiten. Halten Sie in Ihrem eigenen Interesse **nur Ihren jetzigen Wissensstand** fest:

„Wir nutzen nur 10 % unseres Gehirns.“

Sie haben nun einige Informationen über die Aussage, dass *wir nur 10 % unseres Gehirns nutzen*, gehört. Lesen Sie noch einmal Ihre zu Beginn verfasste Stellungnahme durch. Würden Sie nach den neuen Informationen noch genauso antworten? Wenn nicht, überarbeiten bzw. ergänzen Sie Ihre Antwort hier:

(2) Konzeptwechseltext *Wir nutzen nur 10 % unseres Gehirns*

Nutzen wir nur 10 % unseres Gehirns?

Nicht nur die Werbung, sondern auch die Filmindustrie postuliert, dass wir nur einen Bruchteil unseres Gehirns nutzen. Der 2014 erschienene Film *Lucy* beschreibt beispielsweise, dass in jeder und jedem von uns ungeahnte Möglichkeiten stecken, man gar zur bzw. zum Superheld*in mutieren könne, ließe sich nur auf die brachliegenden 90 % unseres Gehirns zugreifen. Quellen solcher Denkweisen seien angeblich Albert Einstein und vor allem der amerikanische Psychologe William James, der 1907 schrieb: „We are making use of only a small part of our possible mental and physical resources“ (S. 14). Und auch bildgebende Verfahren scheinen zu belegen, dass wir immer nur einen kleinen Teil unseres Gehirns nutzen. Doch stimmt das alles wirklich?

Bildgebende Verfahren müssen richtig interpretiert werden!

Wahr ist: Bildgebende Verfahren können heutzutage zeigen, welche spezifischen Gehirnbereiche an einer mentalen oder physischen Tätigkeit beteiligt sind. Jedoch sind dies Momentaufnahmen zu einer spezifischen Tätigkeit (z.B. Sprechen), die nichts darüber aussagen, ob nicht auch andere Bereiche des Gehirns zeitgleich aktiv daran arbeiten, dass wir aufrecht auf dem Laborstuhl sitzen, atmen oder an unser Mittagessen denken. Es ist eine Fehlinterpretation, anzunehmen, dass auf Abbildungen neurowissenschaftlicher Zeitschriften immer nur die farblich markierten Bereiche des Gehirns aktiv seien. Bei bildgebenden Verfahren wird das Aktivitätsmaß für vermeintliche Ruhezustände des Gehirns von dem/der Forscher*in vorab definiert! Was wir sehen, sind Differenzbilder, die nur das, was deutlich über eine Grundaktivität (z.B. für Atmung oder Sinneswahrnehmung) hinausgeht, farblich hervorheben. Doch auch der „Rest“ des Gehirns, der in tristem Grau hinterlegt wird, arbeitet fleißig! Gehirnteile sind immer in einer Art „Bereitschaftsmodus, in dem vorausschauende Aktivität [...] vorhanden ist“ (Macedonia, 2014, S. 20). Und auch wenn Neurone gerade keine Signale zu einer bestimmten Handlung weiterleiten, sind sie viel beschäftigt! Michael Pecka, Mitarbeiter des neurobiologischen Instituts der Ludwig-Maximilians-Universität München, betont: „Wenn eine Nervenzelle sich ‚entscheidet‘, eine Information nicht weiterzuleiten, dann ist das auch eine wichtige Funktion und besitzt einen eigenen Informationsgehalt“ (Moebus, 2015). Vereinfacht ausgedrückt (Vergleich nach Beck, 2016): Nur weil auf dem „Neuronen-Fußballplatz“ ein „Spieler“ das 1:0 schießt, heißt das noch lange nicht, dass der Rest der Mannschaft inaktiv auf der „Großhirn-Bank“ saß. Je nach Situation und den jeweiligen Anforderungen sind sicherlich unterschiedliche Spieler des Gehirns aktiver als andere, doch erst im raschen Zusammenspiel aller Neuronen ist unser Gehirn in der Lage, eine effiziente Antwort auf sich schnell ändernde Umweltreize zu liefern (Macedonia, 2014), und ist damit eine perfekte Mannschaft!

Es gibt keine „stille Großhirnrinde“!

Tierversuche von Karl Lashley (amerik. Psychologe) zeigen, dass die chirurgische Entfernung der Großhirnrinde von Ratten an manchen Stellen zu keinen Ausfällen in Bezug auf eine bestimmte Aufgabe führte, die der Forscher ihnen stellte (Lashley, 1929). Experimente an menschlichen Proband*innen zeigen wiederum, dass bei einer elektrischen Stimulation einiger Bereiche der Großhirnrinde eine körperliche Reaktion (z.B. Armkribbeln) hervorgerufen wird, bei der Stimulation anderer Bereiche wiederum nicht. Man könnte schlussfolgern, dass diese

Bereiche einem *silent cortex* (stille Großhirnrinde) angehören und keine Funktion besitzen. Doch das ist falsch! Diese vermeintlich „stillen“ Bereiche der Großhirnrinde gehören zwar nicht zum motorischen Cortex, der eine körperliche Reaktion auslöst, sehr wohl aber zum Assoziationscortex, der wichtige Funktionen höherer psychischer, psychosozialer und geistiger Fähigkeiten wie z.B. abstraktes Denken übernimmt (Bear et al., 2009). Dass eine erhöhte Beanspruchung „vernachlässigter“ Gehirnteile – ähnlich einem Muskeltraining – eine Steigerung der Gehirnnutzung hervorrufen kann, ist falsch (Becker, 2006)! Diese Gehirnteile werden bereits genutzt. Nur für andere Prozesse.

Der Prozentwert 10 beruht auf falschen Fakten!

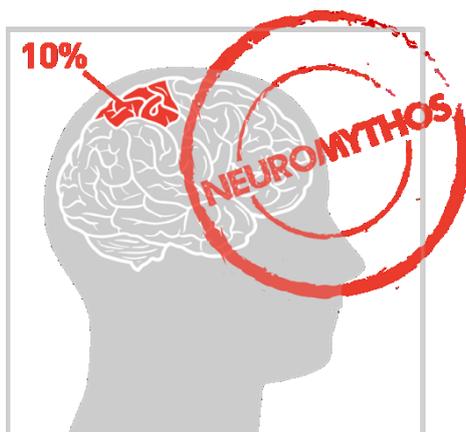
Wissenschaftliche Äußerungen werden häufig überspitzt und/oder falsch ausgelegt! Geäußert wurde z.B. von dem Psychologen James im einleitenden Zitat nur, dass viele Menschen „geistig träge sind“ (Neuronation, 2017) und – völlig allgemein gehalten – nicht alle ihre mentalen und physischen Möglichkeiten im Leben ergreifen. Selbst wenn man dieses Zitat auf das Lernen bezieht, so sagt James in keinem Fall, dass wir unsere Lernkapazitäten nicht voll entfalten können, weil unser Gehirn nur zu Bruchteilen genutzt wird (vgl. James, 1907). Der Wert von 10 % beruht sogar auf einer wissenschaftlich nicht haltbaren Annahme. Nämlich darauf, dass wir zehnmal mehr funktionslose Gliazellen (weiße Substanz) als Neuronen (graue Substanz – die unsere Kognition steuert) besäßen. Doch das ist falsch! Das Verhältnis von Gliazellen und Neuronen liegt nach heutigem Forschungsstand eher bei 1:1. Außerdem besitzen Gliazellen wichtige Funktionen zur Unterstützung der Neuronen, statt auf der „faulen Hirnhaut zu liegen“ (vgl. Beck, 2016; Beyerstein, 2002). Mit der Berufung auf Wissenschaftler wie James oder Einstein wirbt es sich natürlich sehr gut für die Überwindung einer vermeintlichen Zehn-Prozent-Grenze; die meisten Werbeslogans rund um das Gehirn und seine Kapazitätssteigerung sind jedoch plakative Überspitzungen!

Biologisch betrachtet gilt nur eins: Use it or lose it!

Betrachtet man das Zehn-Prozent-Statement einmal aus evolutionärer Perspektive, so stellt sich schnell die Frage, wie das menschliche Gehirn, das 2 % unserer Körpermasse ausmacht, jedoch 20 % unseres Energiehaushaltes verbraucht (OECD, o.J.), sich bewähren konnte, wenn es nur zu verschwenderischen 10 % genutzt wird? Welchen evolutionären Vorteil hätte der Mensch von einem hauptsächlich ungenutzten Gehirn? Die Antwort ist ganz klar: KEINEN! Der hohe Energieverbrauch des Gehirns kann nur in Kauf genommen werden, weil mit seiner zunehmenden Größe auch ein evolutionärer Vorteil verbunden war. Im Zuge von „Optimierungsmaßnahmen im Laufe der Evolution“ (Macedonia, 2014, S. 18) wäre nutzlose und energievernichtende Masse schon längst beseitigt worden. Die Evolution erlaubt keine Verschwendung. Ein metabolisch gesehen sehr „teures“ Gehirn, welches nur mit 10 % seiner eigentlichen Leistungsfähigkeit arbeiten würde, würde aus dem Genpool verschwinden (OECD, o.J.).

Auch wenn wir nicht alle Informationen der Umwelt 1:1 aufnehmen können, mal etwas vergessen, uns gelernte Fakten nicht gleich einfallen, wir nicht alle Aktivitäten des Gehirns bewusst wahrnehmen, wir abgelenkt oder müde sind: Unser Gehirn ist immer zu 100 % für uns im Einsatz. Es gibt keine brachliegenden 90 %, die wir freischalten können oder müssen. Optimieren können wir nur unser Lernen. Was Ratgeberliteratur für eine angebliche Gehirnkapazitätserhöhung verschweigt, ist, dass sie wissenschaftliche Äußerungen aus dem Zusammenhang reißt.

Dass wir nur 10 % unseres Gehirns nutzen und diese Kapazität steigern müssen, ist nämlich ein:



**(3) Konzeptwechselltext *Das Gehirn funktioniert ähnlich einer Festplatte.
Informationen werden an spezifischen Orten gespeichert***

**Funktioniert unser Gehirn wie eine Festplatte,
die Informationen an spezifischen Orten abspeichert?**

Das Gehirn wurde im Laufe der Geschichte mit zahlreichen Metaphern beschrieben, die dem jeweiligen Stand der Technik entsprachen, z.B. Räderwerk, Dampfmaschine oder Telefonzentrale (vgl. Hüther, o.J.). Heutzutage ist die Computer- bzw. Festplatten-Metapher die mit am häufigsten verbreitete. Viele Menschen behaupten auf Basis dieses Vergleichs, Gedächtnisinhalte seien an spezifischen Orten im Gehirn gespeichert, und es gebe Sprach-, Mathe- oder auch Liebeszentren. Doch ist das alles wirklich so?

Wir besitzen keine „Landkarte“ für die Informationsspeicherung im Gehirn!

Wahr ist: Es gibt unterschiedliche Hirnregionen (Großhirn, Kleinhirn usw.) und auch innerhalb des Großhirns verschiedene Rindenregionen, die einer funktionalen Aufgabenteilung unterliegen. Die Großhirnrinde unterteilt sich beispielsweise in 52 verschiedene Rindenfelder (Bear et al., 2009). Man könnte annehmen, dass diese autonom arbeiten und wie bei einer Landkarte aufzeigen, was sich wo mit welcher Funktion befindet. Doch das ist falsch! Weder Hirnregionen noch Großhirnfelder sind isolierte „Inseln“. Sie kommunizieren miteinander und beeinflussen sich gegenseitig (Anderson et al., 2013). Es sind außerdem immer verschiedene Hirnregionen an der Verarbeitung von Informationen beteiligt. Beispielsweise arbeiten bei der Sprachverarbeitung des Menschen mehrere Großhirnfelder zusammen: Ganze Netzwerke im vorwiegend linken Temporallappen und im linken vorderen Frontallappen unterstützen die Verarbeitung von Syntax, wohingegen andere Netzwerke sowohl im rechten als auch im linken Temporallappen die semantische Verarbeitung unterstützen (Friederici, 2011).

Im Gehirn gibt es keine spezifischen Orte für zu speichernde Informationen!

Immer wieder vernimmt man Schlagzeilen, dass im Gehirn feste Areale für Angst, Liebe, Hoffnung, Lust u.v.m. gefunden wurden. Das erscheint plausibel, jeder hat doch schließlich schon mal von Seh-, Hör- und Sprachzentrum gehört. Der Spiegel verkündete 2013 sogar, dass man DAS Mathe-Zentrum gefunden habe. Fakt ist jedoch etwas anderes: Hirnregionen besitzen nicht nur eine einzige Funktion. Der Mandelkern (Amygdala) kann beispielsweise sowohl Angst- als auch Vorfreudezentrum sein (Beck, 2016). Außerdem gilt: Auch wenn eine Hirnregion an einer Funktion beteiligt ist, bildet sie kein Funktionszentrum! Es existiert beispielsweise eine Hirnregion, die eine höhere Aktivität bei dargebotenen Zahlen aufweist. Diese „Zahlerkennungsregion“ ist mit anderen Regionen, die Aufgaben des Hörens, Schreibens, der Arithmetik und der Speicherung von mathematischen Informationen übernehmen, vernetzt. Es sind noch viele neurowissenschaftliche Studien nötig, um die Beziehung zwischen den Hirnregionen höherer mathematischer Kognition genauer zu beschreiben (Shum et al., 2013). DAS „Mathezentrum“ gibt es nicht, und wir können es auch nicht gezielt im Unterricht ansprechen. Neurowissenschaftler Beck (2016) erklärt: „Man sollte nie den Fehler machen, [...] einzeln[e] Hirnregionen separat zu betrachten, sie quasi zu eigenen Organen im Gehirn zu erklären“ (S. 53).

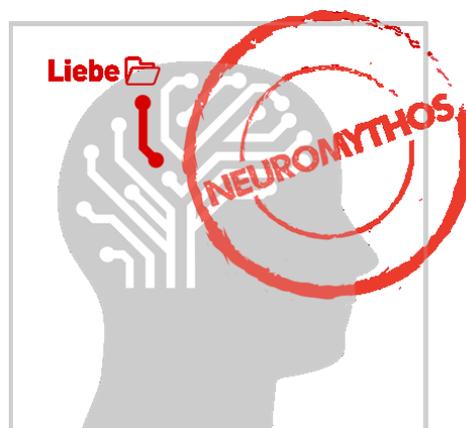
Informationen (z.B. eine Matheaufgabe) werden parallel an mehreren Orten im Gehirn bearbeitet und sind in der Gesamtarchitektur des Netzwerks gespeichert (Bear et al., 2009; Carter, 2014).

Das Gehirn speichert anders als eine Festplatte!

Man könnte meinen, dass die Metapher der Festplatte doch zumindest gut geeignet sei, um die Speicherfunktion des Gehirns zu verdeutlichen! Doch auch das ist nicht ganz richtig! Verarbeitungsschritte im Gehirn laufen nicht Schritt für Schritt (wie bei der Festplatte), sondern parallel ab und sind weit über das ganze Gehirn verteilt (Wachsmuth, 2015). Im Gegensatz zur Festplatte, die eine bestimmte Speicheradresse je Informationsverarbeitung benutzt, aktiviert das Gehirn ein ganzes Netz an Neuronen und verbraucht dabei viel weniger Energie. Im Gehirn ergeben sich durch Weiterleitung und Übertragung von Nervenimpulsen auf viele Neuronen charakteristische Aktivitätsmuster, die sich dynamisch an jeden Umweltreiz anpassen. Mangelnde Präzision und/oder Fehler einzelner Neuronen werden dabei durch die Aktivität der ganzen (sich synchronisierenden) Neuronen-Gruppe ausgeglichen (Beck, 2016). Das Gehirn speichert also ganz anders: nicht seriell, sondern im Netzwerk! Die massive parallele Verarbeitung und hohe Fehlertoleranz machen unser Gehirn Festplatten überlegen!

Das Gehirn ist „flexibler“ als eine Festplatte!

Eine Festplatte kann irgendwann voll sein und muss zu Teilen gelöscht werden. Anders das Gehirn – hier kann potenziell jede Information verarbeitet werden, denn Nervenzellen haben mehr Möglichkeiten, aktiv zu sein, als es „Atome im Sonnensystem gibt“ (Beck, 2016, S. 224). Dennoch sibt das Gehirn knallhart aus, was es nicht braucht, und verankert nur, was wichtig ist (Beck, 2016). Die Wichtigkeit misst das Gehirn nach Anzahl der Wiederholungen, mit der eine Information beim „Türsteher“ Hippocampus präsentiert wird. Nur was den Hippocampus mehrmals aktiviert, wird zur langfristigen Speicherung an die Großhirnrinde weitergegeben. Wir speichern Daten (zum Beispiel Vogelarten) somit nur ab, wenn wir sie wiederholen. Das ist wichtig, denn Informationsmüll muss aussortiert werden, bevor er das Netzwerk unnötig belastet. Mit jedem eintreffenden Reiz verändert sich die Netzwerkarchitektur des Gehirns, damit dieser Reiz beim nächsten Mal besser verarbeitet werden kann (Beck, 2016)! Dass das Gehirn ähnlich einer Festplatte funktioniert und Informationen an spezifischen Orten speichert, ist also ein:



(4) Konzeptwechseltext *Spiegelverkehrte Koordinationsübungen können die Interaktion von linker und rechter Hirnhälfte verbessern und machen schlau*

Können spiegelverkehrte Koordinationsübungen die Interaktion von linker und rechter Hirnhälfte verbessern und schlau machen?

„Jonglieren macht schlau!“ heißt es auf Internetseiten. Jonglieren sei deshalb ein gutes Gehirntraining, weil beide Gehirnhälften zusammenarbeiten müssen – das fördere die Wahrnehmung. Auf anderen Homepages lassen sich weitere Empfehlungen für Wadabam-Training, Brain-Speed und Gehirnfitness-Training finden. Brain-Gym, zu Deutsch Gehirngymnastik, scheint das neue Zauberwort zu sein. Lernratgeber, Computerprogramme und Apps werben mit Begriffen wie Edu-Kinestetik, Hirnjogging, Birkenbihl-Methode oder Lernen mit dem ganzen Gehirn. Doch was ist dran an (Koordinations-)Übungen, die versprechen, die Gehirnhälften oder bestimmte Gehirnbereiche zu aktivieren, miteinander zu verknüpfen und Lernen oder sogar Intelligenz zu steigern?

Linke und rechte Hirnhälfte arbeiten stets zusammen!

Wahr ist: Eine Nervenbahnkreuzung verbindet die linke Gehirnhälfte mit der rechten Körperseite und umgekehrt (de Lussanet & Osse, 2012; Kinsbourne, 2013). Man könnte annehmen, dass motorische Probleme bei Überkreuzübungen (z.B. gegenläufige Bewegungen wie linken Arm und rechtes Bein zusammenführen) aus der fehlenden Koordination oder mangelnden Interaktion zwischen den beiden Hirnhälften resultieren (vgl. Hyatt, 2007). Doch das ist falsch! Solche motorischen Probleme bei Überkreuzübungen resultieren aus der fehlenden Übung dieser Bewegungen, die allerdings durch Wiederholungen verbessert werden können. Auch Lernschwierigkeiten beim Lesen entstehen nicht durch eine mangelnde Zusammenarbeit zwischen den beiden Gehirnhälften (vgl. Howard-Jones, 2014; Hyatt, 2007). Solche Lernschwierigkeiten sind eher auf die unterschiedliche Kapazität des Arbeitsspeichers und die Menge an themenspezifischem Vorwissen zurückzuführen (Alloway, 2009). Bei Kindern mit einer Matheschwäche wiederum konnten neurologische Einschränkungen im Arbeitsspeicher und in der Verarbeitungsgeschwindigkeit nachgewiesen werden (Willcutt et al., 2013). Die Hirnhälften arbeiten jedoch sowohl bei jeder Koordinationsübung als auch beim Lernen zusammen (Blais et al., 2017; Julius & Adi-Japha, 2016; Nielsen et al., 2013). In der Mitte zwischen beiden Gehirnhälften liegt der Balken (*Corpus Callosum*), ein dicker Nervenband, welches aus 200 bis 250 Millionen Nervenfasern besteht und das die rechte mit der linken Hirnhälfte verbindet (Chudler, 2011). Diesen Informationsaustausch belegen Experimente des Nobelpreisgewinners Roger Sperry, der die Folgen von Split-Brain-Operationen (vorgenommen zur Heilung von Epilepsie) näher untersuchte (Badenschier, 2012). Die operative Durchtrennung des Balkens führt beispielsweise dazu, dass Patient*innen nicht mehr in der Lage sind, „mit der rechten Hand einen Gegenstand von einem Tisch zu nehmen, der ihnen im linken Gesichtsfeld eingeblendet w[i]rd“ (Becker, 2007, S. 6). Die Konzeptionen von Brain-Gym und Co. fordern mit der Zusammenarbeit von linker und rechter Hirnhälfte also etwas, das bei gesunden Menschen ohnehin existiert!

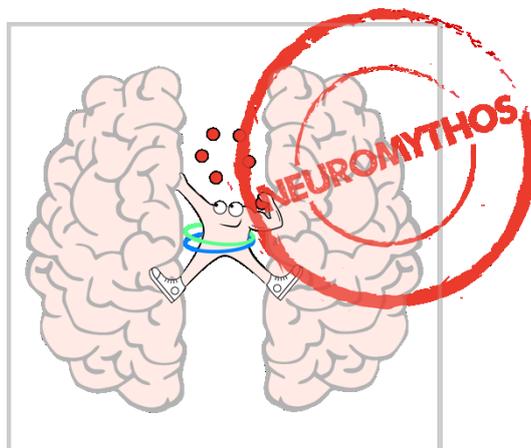
Nicht auf die Neuronenzahl kommt es an!

Auch wenn man weiß, dass die Gehirnhälften über den Balken miteinander verbunden sind, könnte man annehmen, dass die Zusammenarbeit der Hirnhälften gesteigert werden kann, wenn man die Anzahl an synaptischen Verbindungen zwischen ihnen erhöht (vgl. Howard-Jones, 2014). Mit genau solchen Argumenten werben Brain-Gym-Kurse: „Beim Jonglieren wird der Balken ganz besonders aktiviert. Gleichzeitig wird das Protein X gebildet, das für das Wachstum neuer Gehirnzellen sorgt“, oder auch: „Wenn man jongliert, entstehen neue Verknüpfungen zwischen Nervenzellen“. Doch das ist keine Besonderheit! Neue synaptische Verknüpfungen entstehen nämlich bei jedem kognitiven Prozess. Nach dem Neurobiologen Henning Beck passiert dies „immer [...], wenn man angestrengt denkt“ (Beck, 2016, S. 132). Mehr Neuronen sind auch kein Erfolgsgarant. Es ist eher so, dass intelligentere Menschen spezifische Neuronen effizienter aktivieren, um ein bestimmtes Problem (besser) zu lösen (Roth, 2003, S. 187). „Energietechnisch“ können intelligente Menschen wichtige Dinge ökonomischer verarbeiten und abrufen als weniger intelligente (Becker, 2006; Roth, 2003). Sie müssen ihr Gehirn stoffwechselphysiologisch also weniger beanspruchen.

Brain-Gym, Hirnjogging & Co schulen nur kognitive Teilbereiche!

Medial weit verbreitet ist die Metapher vom „Gehirn als Muskel“: Mit bestimmten Lernmaterialien trainiere man angeblich nur den intellektuellen Muskel des Gehirns, während „Konzentrationsmuskel“, „Visualisationsmuskel und andere geistige Muskeln“ verkümmern (Becker, 2006, S. 152). Mit spezifischem Brain-Gym-Lernmaterial könne man hingegen viel mehr und effektiver lernen, größere Bereiche des Gehirns aktivieren und kognitive Möglichkeiten optimal ausnutzen. Doch das ist falsch! Neurobiologe Beck (2016, S. 125) erklärt: „Klar, mit konkreten Übungen fordern Sie Ihr Gehirn – jedoch sehr eingeschränkt. Genauso wie Sie bei[m] Aus-dem-Stand-Hochspringen nur einen Teilbereich des Hochsprungs trainieren, konzentrieren Sie sich mit isolierten Hirnjogging-Übungen nur auf einen winzigen Teilbereich Ihrer geistigen Kompetenzen“. Phantasieisen, Überkreuzübungen, Jonglieren, Konzentrationsübungen, Logikrätsel – sie alle helfen uns, in einem bestimmten, eng begrenzten Gebiet durch Übung (!) besser bzw. schneller zu werden. Stellt man sich danach neuen, fremden Aufgaben (zum Beispiel Gedächtnisspielen), stellt sich jedoch heraus: Man schneidet genau gleich gut bzw. schlecht ab – sofern man Placeboeffekte vernachlässigt. Hirnjogging besteht aus „geistige[n] Trockenübungen“; Intelligenz und Kreativität erwachsen hingegen „aus dem Zusammenspiel vieler Fähigkeiten“ (Beck, 2016, S. 125f.). Ein Effekt von Gehirnjogging darf nach dem Neurobiologen Henning Beck (2016) aber nicht unterschätzt werden: Es motiviert, und die meisten Übungen machen Spaß! Nicole Becker (2008, S. 2) warnt: „Es mag sein, dass Brain-Gym-Übungen – genau wie andere Bewegungsübungen – Grundschulkindern gut gefallen, die theoretischen Annahmen [...] sind jedoch unhaltbar und deshalb ist der aktuelle Boom dieser Konzeptionen insbesondere im Bereich der Lehrerfortbildung bedenklich“. Sollte es subjektive oder objektive Verbesserungen des Lernens geben, dürften diese wohl eher auf die mit Brain-Gym verbundene Lernpause sowie die Kreislaufaktivierung zurückzuführen sein. Insofern ist gegen eine kleine Gymnastik in einer Lernpause nichts einzuwenden – einen Effekt auf den Balken zwischen den Hirnhälften hat sie aber nicht. Selbst wenn gehirnjoggende Personen Sudokus schneller lösen und behaupten, besser und effektiver denken zu können, heißt das lange nicht, dass ihr „Gehirn mehr Power bekommt“ (Beck, 2016, S. 127) oder sie intelligenter geworden

sind. Die Aussagen, dass wir durch spiegelverkehrte Koordinationsübungen die Interaktion der Hirnhälften verbessern können oder z.B. durch Jonglieren schlau werden, sind also ein:



(5) Konzeptwechseltext *Man lernt besser, wenn man Informationen nach präferiertem Lerntyp erhält (auditiv, visuell, haptisch, intellektuell)*

Lernt man besser, wenn man Informationen nach präferiertem Lerntyp erhält (auditiv, visuell, haptisch, intellektuell)?

Viele Lernratgeber und Schulbücher preisen die Bedeutsamkeit einer Berücksichtigung von Lerntypen an. Es existieren über 70 ähnliche Modelle und Konzepte. Das Konzept der Lerntypen von Vester (1975) hat eine besonders lange Tradition und genießt andauernde Popularität. In seinem Bestseller teilt Vester Lernende in vier verschiedene Lerntypen ein:

- auditiver Lerntyp – lernt durch Hören und Sprechen;
- visueller Lerntyp – lernt optisch (durch Beobachtung);
- haptischer Lerntyp – lernt durch Anfassen, Fühlen, Machen;
- intellektueller Lerntyp – lernt durch seinen Intellekt/Verstehen.

Grundidee ist, dass jeder Mensch bestimmte Vorlieben im Umgang mit Informationen, „eine ‚individuelle‘ Art der Wahrnehmung und Verarbeitung von Inhalten“ (Becker, 2009, S. 75), habe. Aufgabe der Schule sei es deshalb, Lerntypen zu bestimmen, Medien und Unterrichtsmaterialien gezielter auf den präferierten Lerntyp der Schüler*innen abzustimmen und somit das Lernen des Einzelnen effizienter zu gestalten. Doch stimmt das alles wirklich?

Die Einteilung nach Lerntypen ist inhaltlich nicht plausibel!

Wahr ist: Lerner zeigen Präferenzen für einen Modus, in dem sie Informationen erhalten (visuell oder verbal) (Höffler et al., 2017). Vester (1975) behauptet, dass sich die vier von ihm eingeteilten Lerntypen nur durch „einen anderen Wahrnehmungskanal“ (S. 51) unterscheiden. Doch das stimmt so nicht! Denn welcher Wahrnehmungskanal bedient einen „intellektuellen Lerntypen“? M. Looß (2001), Professorin für Didaktik der Naturwissenschaften, erklärt, dass der intellektuelle Lerntyp rein logisch nicht in die Kategorie „Wahrnehmungskanal“ passt. Bei den vier Lerntypen von Vester handelt es sich nach Quast (2007) „um 3 Typen, die unterschiedliche sensorische Verarbeitungsmodalitäten favorisieren sollen und einen Typ, der durch verbal-abstraktes Denken lernen soll“ (S. 2). Looß (2001) kritisiert deshalb: „Durch diese Einteilung [...] negiert Vester die intellektuelle Leistung bei den Typen 1 bis 3 und behält sie stattdessen ausschließlich dem Lerntyp 4 vor“ (S. 2). Demnach könne nur der intellektuelle Lerntyp abstraktes Wissen, wie z.B. komplexe Zusammenhänge in der Biologie, begreifen. Die übrigen Lerntypen seien auf das schlichte Erfassen von Sinneseindrücken durch einen Wahrnehmungskanal beschränkt und könnten diese nicht kognitiv weiterverarbeiten. Wahrnehmung wird bei Vester fälschlicherweise „mit der kognitiven Lernleistung gleichgesetzt bzw. als Alternative (!) zu kognitiv dominierten Lernformen vorgestellt“ (Looß, 2007, S. 144). Das Konzept der Lerntypen nach Vester, wie es in vielen Schulbüchern auftaucht, ist also logisch nicht stringent!

Lerntypentests messen nicht, was sie vorgeben!

Häufig werden Präferenzen in der Informationsdarbietung nicht nur mit Präferenzen bezüglich eines Lerntyps, d.h. der Art und Weise, Informationen zu verarbeiten, gleichgesetzt (Becker, 2009), sondern es wird auch behauptet, dass Lerntypen messbar seien. Auch das trifft nicht zu! Lerntypentests messen unzuverlässig und sind ein unzureichendes Mittel, um heterogene Lerngruppen in Kategorien einzuteilen (Pashler et al., 2009). Vesters Test beispielsweise (praktische Teiltests mit jeweils zehn Begriffen, die durch Lesen, Hören, Anschauen von Bildern bzw. Anfassen von Gegenständen gelernt werden sollen) erweist sich „weder als valide noch als reliabel“ (Quast, 2007, S. 2). Dr. Ulrike Quast, Dozentin für Lehrerfortbildung, führt aus: „Es handelt sich [...] um konkrete Begriffe wie Handtuch, Dose oder Heft, deren Auswahl offensichtlich nach Gutdünken erfolgte. Dass es sich um ein- bis dreisilbige Begriffe handelt, die das Arbeitsgedächtnis unterschiedlich ‚beanspruchen‘, wurde nicht in Betracht gezogen. Dass darüber hinaus die Merkfähigkeit für die einzelnen Begriffe durch die individuelle Erfahrung des einzelnen bestimmt wird, spielt auch keine Rolle. [...] Schließlich spielen beim Lernen so genannte Primacy- und Recency-Effekte (zuerst und zuletzt Gelerntes wird am besten eingepägt) eine Rolle, die das Testergebnis beeinflussen müssten“ (Quast, 2007, S. 2). Neben all diesen Schwächen sind Lerntypentests dann auch noch alles andere als zuverlässig: Führt man verschiedene Tests durch, so kann es passieren, dass man in einem ein haptischer, im nächsten ein auditiver und im übernächsten ein abstrakter Lerntyp ist.

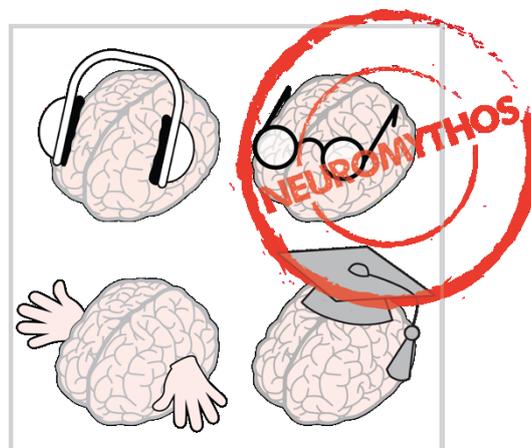
Es gibt keinen empirischen Beleg für die Existenz und Wirkweise von Lerntypen!

Man könnte trotzdem annehmen, dass die Berücksichtigung von Lerntypen (z.B. visueller Lerntyp bekommt visuelles Lernmaterial) den Lerneffekt im positiven Sinn beeinflusst. Doch das wäre eine wissenschaftlich nicht angemessene Behauptung! Es liegt bislang keine wissenschaftliche Untersuchung vor, die die Existenz von Lerntypen bestätigt (Newton, 2015). Alle Untersuchungen, die angeblich den Nachweis für typengerechten Lernens erbringen, verfehlen nach Saum-Aldehoff (2010) „fundamentale Kriterien wissenschaftlicher Forschung und [sind] daher wertlos.“ Die wenigen Studien, die wissenschaftlichen Standards entsprachen, kamen wiederum zu „Ergebnissen, die den Annahmen ‚typengerechter‘ Lernstile rundweg widersprachen“ (Saum-Aldehoff, 2010; vgl. Pashler et al., 2009). Neurobiologe Beck erklärt: „Die Lerneleistung hängt nicht im Geringsten davon ab, ob man Informationen nach seinem angeblichen Lieblingsschema verarbeitet oder nicht“ (2016, S. 139). Um einen nachhaltigen, positiven Lerneffekt zu erlangen, muss jede Information – unabhängig von der Modalität, in der sie präsentiert wurde – bedeutungshaltig verarbeitet werden (Newton & Miah, 2017). Anhänger der Lerntypentheorie lassen sich von der „naiven Vorstellung leiten, dass eine Information vom Sinnesorgan – je nach ‚Lerntyp‘, zum Beispiel dem Auge oder dem Ohr – quasi direkt ins Langzeitgedächtnis überführt wird“ (Becker, 2009, S. 76). Tatsächlich erfordert Wissenserwerb jedoch eine intellektuelle Auseinandersetzung mit dem Gegenstand (Becker, 2009). Saum-Aldehoff (2010) erklärt: „Man kommt [...], selbst wenn man bestimmte Präferenzen im Umgang mit Lerninhalten haben mag, um das intellektuelle Durcharbeiten von Inhalten nicht herum.“ Lernen ist mehr als die „zweifelloso notwendige Benutzung der Sinne“, und Lerneffizienz ist abhängig von den kognitiven Aktivitäten eines Lernenden (Looß, 2001, S. 9). Logisch erscheint diese Aussage besonders mit Bezug auf das Mehrspeichermodell nach Atkinson und Shiffrin

(1968). Betrachtet man dieses Modell, so fällt auf, dass nur der sensorische Speicher der Einteilung visuell-auditiv-haptisch folgt. Bereits das Kurzzeitgedächtnis unterteilt sich mit phonologischer Schleife (verbal) und räumlich-visuellem Notizblock (visuell) in nur noch zwei sensorische Verarbeitungskategorien. Das Langzeitgedächtnis wiederum arbeitet ganz anders. Hier werden Wissensarten (z.B. semantisch, prozedural) und keine Sinnesreizarten verarbeitet. Wichtig für die Übertragung ins Langzeitgedächtnis ist, dass wir Lerninhalte vertieft verarbeiten (elaborieren) und wiederholen, und nicht, dass wir unser Lernmaterial Lerntypen-gerecht präsentiert bekommen.

Lernstrategiepertoire statt Lerntypen berücksichtigen!

Das Denken in Lerntypen hat nach dem Neurobiologen Beck (2016) eine gewisse Attraktivität: „Es kommt erstens unserem Bedürfnis entgegen, etwas Besonderes zu sein. Auf einmal ist man nicht mehr jemand, der die Konjugation unregelmäßiger altgriechischer Verben schlicht nicht kapiert, sondern der ‚audio-haptische integrative Typ‘ – und der braucht eben ein spezielles Lernprogramm. Zweitens suggeriert es, dass es ganz easy ist, besser zu lernen – einfach eine Lerntypisierung durchführen und danach gezielt trainieren. Und drittens eine prima Ausrede: Wenn es mal nicht geklappt hat mit dem Lernen, war es im Zweifel die falsche Methode, man selbst ‚lernt einfach nun mal ein wenig anders‘“ (S. 138). Die Popularität der Vesterschen Theorie speist sich aber vor allem aus den persönlichen Erfahrungen, dass die Art und Weise, wie man lernt, sehr stark individuell geprägt ist und dass wir Präferenzen in Bezug auf einen Modus haben, in dem wir Informationen erhalten (z.B. „Visuelle Informationen verarbeite ich am besten“). Durch diese Erfahrungen hält man Lerntypen für plausibel und tradiert die Theorie unkritisch weiter (Looß, 2007). Doch man sollte anders argumentieren! Ja, Lernen ist individuell, denn jeder Lerner hat ein bestimmtes Lernstrategiepertoire (vergleichbar mit einem mentalen Werkzeugkasten), das er ausbauen und sein Lernen je nach Art der Lern-Baustelle (z.B. Textverstehen) modifizieren kann. Auch wenn in aktueller Ratgeberliteratur, Schulbüchern, Schulungen für Lehrpersonen und teilweise sogar in den Curricula von der Lerntypentheorie die Rede ist – In-Lerntypen-Denken „unterschätzt, wie toll [dein] Gehirn tatsächlich arbeitet und wie viel es kann“ (Beck, 2016, S. 146), und ist ein:



(6) Konzeptwechseltext *Über den akustischen Kanal (z.B. durch Audioaufnahmen mit Vokabellisten) können im Schlaf gänzlich neue Inhalte gelernt werden*

Kann man im Schlaf gänzlich neue Inhalte lernen?

„Sie wollen gerne eine Fremdsprache lernen, haben in Ihrem stressigen Alltag aber keine Zeit? Lernen Sie doch einfach und entspannt im Schlaf! Wir stellen Ihnen Vokabellisten als Audio-dateien für die Erweiterung Ihres Wortschatzes in über 20 Sprachen zur Verfügung.“ Diese und ähnliche Werbungen für Online-Sprachkurse sind in großer Menge im Internet zu finden. Klingt super, schließlich würden wir angeblich mehr als ein Drittel unseres Lebens mit Schlaf vergeuden. Die Programme versprechen, dass die Aktivität des Gehirns im Schlaf als Lernzeit genutzt werden könne, um gänzlich neue Inhalte zu lernen. Insbesondere der akustische Kanal spiele dabei eine Rolle. Doch stimmt das alles wirklich?

Während des Schlafs ist das Gehirn aktiv – aber anders aktiv als in Wachphasen!

„In der heutigen Leistungs- und Freizeitgesellschaft wird Schlaf häufig als überflüssige bzw. nutzlos verbrachte Lebenszeit angesehen. Aus neuropsychologischer Sicht ist dieser schlechte Ruf des Schlafs nicht zu rechtfertigen“ (Diekelmann & Born, 2009, S. 47). Zahlreiche Studien belegen: Proband*innen, die nach dem Lernen schlafen, zeigen deutlich bessere Erinnerungsleistungen als solche, die wach bleiben mussten (Diekelmann & Born, 2009). Auch während wir schlafen, ist unser Gehirn aktiv. Belege dafür sind, dass der Energieverbrauch des Gehirns in der Nacht nur wenig reduziert wird (Seul, 2006) und, wie Untersuchungen mit der Magnetresonanztomographie (MRI) zeigen, sich auch im Schlaf „die Aktivität von Hirnregionen stark verändert“ (Wirth, 2005). Man könnte daraus schließen, dass mit diesen Aktivitäten Voraussetzungen für Lernprozesse im Schlaf erfüllt sind. Doch das ist nicht korrekt! In Schlafphasen ist das Gehirn anders aktiv als im Wachzustand! Mitarbeiter der AG Neurophysiologie Vogt (2012) erklären, was im Schlaf passiert: „Netzwerkaktivitäten, die während des Lernens sichtbar [waren], treten in ähnlicher Form beim Schlafen auf“. Studien belegen beispielsweise, dass „neuronale Aktivierungsmuster während visuell-räumlicher Lernaufgaben im nachfolgenden Tiefschlaf sowohl in hippocampalen wie auch in kortikalen Netzwerken selektiv wiederholt w[e]rden“ (Piosczyk et al., 2009, S. 44f.). Damit tritt in der Nacht eine „Nachbearbeitung der Erfahrungen des Tagesgeschehens“ ein (Seul, 2006, S. 947). Während dieses Replays überträgt unser Gehirn das Gelernte in das Langzeitgedächtnis in der Großhirnrinde. Ohne diese Prozesse könnten Informationen nicht dauerhaft abgespeichert und langfristig erlernt werden (Diekelmann & Born, 2009). Replays von Gedächtnisrepräsentationen finden während des Schlafs statt, „weil erst in diesem Zustand der weitgehenden Abschaltung von der akuten externen Reizaufnahme [...] Kapazitäten für die [...] Verarbeitung [...] bereits aufgenomme[r] Information[en] frei werden“ (Wagner, 2004, S. 22). Ansonsten würden die im Schlaf neu erlernten Informationen die alten, bereits bestehenden Informationen überschreiben (Diekelmann & Born, 2009). Da Neuronengruppen „nicht gleichzeitig Neues aufnehmen und Altes verarbeiten können“ (Wirth, 2005), muss der Mensch schlafen.

Sowohl im Tief- als auch im Traumschlaf ist das Gehirn mit Verarbeitung beschäftigt!

Man könnte nun anmerken, dass es aber unterschiedliche Schlafstadien gibt, die während einer Nacht mehrfach durchlaufen werden (nach Schroer, 2011, circa vier bis fünf Zyklen). „Die erste Hälfte der Nacht verbringen wir vor allem mit Tiefschlaf, gekennzeichnet durch langsame hohe Hirnstromkurven. Nach einigen Stunden überwiegt dann der REM¹- oder Traumschlaf [...], bei dem die Hirnstromkurven ähnlich“ denen im Wachzustand sind (Wirth, 2005). Man könnte annehmen, dass zumindest in diesen REM-Schlafphasen Lernprozesse möglich sind. Doch das ist ein Trugschluss! Im Traumschlaf oder REM-Schlaf festigen wir das prozedurale Gedächtnis und verarbeiten emotionale Ereignisse (Diekelmann & Born, 2009; Wagner, 2004). Bildgebende Studien haben gezeigt, dass gerade die Amygdala „als entscheidende Gehirnstruktur in der emotionalen Gedächtnisbildung selektiv während des REM-Schlafs eine besonders starke Aktivierung aufweist“ (Wagner, 2004, S. 22). In der Tiefschlafphase wird hingegen vor allem das deklarative Gedächtnis (semantisches & episodisches Wissen) gebildet, wobei dem Hippocampus eine wichtige Rolle zukommt: „Man kann sich diese Hirnregion wie einen Zwischenspeicher vorstellen“, sagt S. Diekelmann, die am *Institute for Medical Psychology and Behavioural Neurobiology* Tübingen arbeitet: „Wenn wir etwa Vokabeln lernen, dann sind viele verschiedene Bereiche der Großhirnrinde aktiv. Bis wir schlafen, merkt sich der Hippocampus, dass diese Einzelteile zusammengehören. In der Nacht dann löst er die gleichen Cortex-Aktivitäten aus.“ (zitiert nach Vogt, 2012). In der Tiefschlafphase werden neu aufgenommene Gedächtnisinhalte also vom Hippocampus „in den Neokortex transferiert“; dabei erfolgt eine „dynamische Integration und Anpassung der Inhalte in die dort bereits bestehenden Netzwerke“ (Diekelmann & Born, 2009, S. 48). Zusammengefasst: Klavierspielen (prozedurales Wissen) verarbeiten wir im Traumschlaf, Faktenwissen (deklaratives Wissen) im Tiefschlaf. In beiden Schlafstadien hat das Gehirn mit der Verarbeitung tagsüber aufgenommener Informationen zu tun, indem es Erinnerungen „in jene Hirnregionen verschiebt“ (vgl. Wirth, 2005), die sich für die Speicherung „besonders eignen“. Schlafenszeit wird also in beiden Schlafstadien zur Konsolidierung – d.h. Reaktivierung und „Umverteilung“ von zuvor enkodierten Inhalten/Erinnerungen – genutzt (Gais & Born, 2004; Piosczyk et al., 2009).

Im Schlaf können Einsichten gewonnen werden – aber nur zu tagsüber Erlernem!

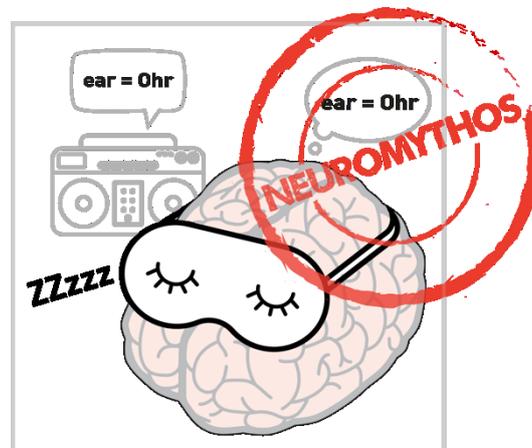
Forscher wie der russische Chemiker Dimitrij Mendelejew, Erfinder des Periodensystems, berichten, abends erschöpft eingeschlafen zu sein und die entscheidende Idee ihrer Erfindung „morgens wie ein Bild“ vor sich gehabt zu haben (Seul, 2006, S. 945). Vielleicht bist du selbst schon einmal mit einer neuen Idee zu etwas aufgewacht. Man könnte daraus schließen, dass im Schlaf gänzlich neue Dinge gelernt werden können. Doch so ist es nicht! Im Schlaf laufen, wie erwähnt, Prozesse ab, die Gelerntes verfestigen. Solche nächtlichen Umstrukturierungsprozesse von tagsüber erlerntem prozeduralem und deklarativem Wissen können dazu führen, dass wir über Nacht neue Zusammenhänge erkennen. Die neue Einsicht resultiert aber aus der Verarbeitung tagsüber eingespeicherter Informationen (Stickgold, 2012)! Beispiel: Nach Bearbeitung von Zahlenreihen können über Nacht z.B. neue Einsichten in versteckte Rechenregeln gewonnen werden. Jedoch nur, wenn die zugrundeliegenden Informationen (Zahlenreihen) im Wach-

¹ Die Augenmuskeln zucken in dieser Schlafphase wild, deswegen die Bezeichnung REM vom englischen *rapid eye movement* (Wagner, 2004).

zustand eingespeichert wurden. Wenn keine Gedächtnisrepräsentationen eingespeichert (enkodiert) werden, dann wird im Schlaf auch nicht so umstrukturiert (konsolidiert), dass neue Einsichten entstehen (Stickgold, 2012; Wagner, 2004).

Während des Schlafs dringen Sinnesreize kaum zum Gehirn durch!

Beim traditionellen Lernsystem deutscher Schulen liegen Aufnahme von Informationen (Vormittag) und Schlaf (Abend) weit auseinander. Man könnte annehmen, dass die Gedächtnisbildung verbessert wird, wenn man Enkodierung und Konsolidierung zusammenbringt, indem man z.B. Audioaufnahmen mit Vokabeln im Schlaf hört. Doch das ist so nicht richtig! Unser Gehirn ist während des Schlafs relativ stark von der Außenwelt abgeschottet, um, wie erwähnt, tagsüber Gelerntes zu verfestigen. Reize von außen – wie Vokabeln auf Audiospuren – können (und das ist so gewollt) kaum zu ihm durchdringen! Effektiv ist es allerdings, die Inhalte, die über den Tag hinweg gelernt wurden, abends vor dem Schlafengehen noch einmal zu wiederholen. So rücken im Laufe des Tages hinzugekommene Erlebnisse, die das Erinnerungsvermögen an Lerninhalte schwächen, auf der „Konsolidierungsprioritätenliste“ zugunsten der Lerninformationen in den Hintergrund – deshalb Ihre „Gute-Nacht-Briefe“ ans Gehirn! Sowohl Lernenden als auch Lehrenden sollte bewusst sein, „dass optimale Lernleistungen nur möglich sind, wenn auch der Schlafrhythmus in die Planung der Lerneinheiten einbezogen wird“ (Diekelmann & Born, 2009, S. 49). Der Ratschlag im Volksmund „Schlaf erstmal eine Nacht drüber“ hat durchaus seine Berechtigung; dass wir im Schlaf gänzlich neue Inhalte lernen können, ist jedoch ein:



**(7) Konzeptwechseltext *Von der Geburt bis zum dritten Lebensjahr sind
Lerner am empfänglichsten für Lernprozesse***

Ist man bis zum dritten Lebensjahr am empfänglichsten für Lernprozesse?

„Früh übt sich, wer ein Meister werden will“, heißt es in einem Sprichwort oder auch: „Was Hänschen nicht lernt, lernt Hans nimmermehr“. Insbesondere das Hänschen-Sprichwort erfährt großen Zuspruch: Man sehe doch ganz oft, wie spielend leicht Kinder eine Sprache lernen oder im Memory gewinnen, wohingegen sich Erwachsene bei diesen Dingen unglaublich schwertun. Kindliches Lernen sei erwachsenem Lernen überlegen, und gerade in den ersten drei Lebensjahren lernten Kinder unglaublich viel: Sprechen, Gehen, Körperkontrolle usw. Die Verknüpfung zwischen Neuronen laufe in dieser Phase auf Hochtouren. Es wird von sogenannten Prägephasen oder kritischen Zeitfenstern gesprochen, die unser späteres Leben – inklusive unseres Lernens – bestimmen würden. Doch stimmt das alles wirklich?

Nicht auf die Zahl an Synapsen kommt es an, sondern auf ihre effiziente Verknüpfung!

Wahr ist: Die Wachstumsrate des Gehirns ist in den ersten Lebensjahren durch einen Anstieg von Nervenzellverbindungen enorm. Es kommt sogar zu einer „Überproduktion“ an Synapsen, einer übermäßig starken Verknüpfung von Nervenzellverbindungen, damit das frühkindliche Gehirn viele Aktivitätsmuster ausbilden und sich schnell an eintreffende Reize anpassen kann (Sabitzer, 2010). Die höchste synaptische Dichte tritt dabei im Alter von drei bis fünf Jahren auf (Bianchi et al., 2013; Carter, 2014). Ein dreijähriges Kind besitzt ungefähr doppelt so viele Neuronen wie ein Erwachsener (Sabitzer, 2010). Man könnte nun annehmen, dass diese große Anzahl an Nervenzellverbindungen (Synapsen) mit besonders gutem Lernen einhergeht. Getreu dem Motto: Je mehr Nervenzellverbindungen (Synapsen) im Gehirn bestehen, desto besser lerne und umso intelligenter sei man. Doch das ist keine wissenschaftlich angemessene Vorstellung! Eine neurowissenschaftliche Studie von Neubauer et al. (2004) konnte zeigen, dass intelligentere Personen beim Lösen von kognitiven Aufgaben die Großhirnrinde weniger aktivieren als weniger intelligente Personen. Intelligente Gehirne zeichnen sich durch eine reduzierte, aber effiziente Vernetzung der Neuronen aus (Genç et al., 2018). Lenzen und Hübener (2016) erklären: „[D]er Aufbau von Synapsen [im Kleinkindalter] geschieht zunächst einmal rasant und wahllos, so als würde man auf einer Party erst einmal versuchen, mit ‚speed dating‘ alle Anwesenden kennenzulernen. [...] Auf der Party muss man sich irgendwann entscheiden, mit wem man sich tatsächlich unterhalten möchte. Ähnlich ergeht es den Neuronen: Nur die aktivsten Synapsen bleiben erhalten, die anderen werden abgebaut. [...] Dieser Prozess heißt synaptic pruning [...]. Er kann uns in der Kindheit phasenweise viele Milliarden Synapsen täglich kosten. Das klingt bedrohlich, führt aber dazu, dass die kognitiven Prozesse effizienter funktionieren“. Henning Beck erklärt (2016): „Dieses Zurechtstutzen erhöht die Effizienz des Nervennetzwerkes ungemein“. Besonders viele Nervenzellen in den ersten Lebensjahren sind also kein Indikator für besonders gutes Lernen!

Erwachsenwerden birgt auf Hirnebene nicht nur Nachteile!

Immer wieder hört man, dass im Alter die Hirnmasse abnehme und die Verbindungen zwischen Hirnbereichen weniger werden. Effizienz und Verarbeitungsgeschwindigkeit ließen nach! Man könnte daraus folgern, dass sich von der Kindheit an die Struktur des Gehirns nur zum Negativen entwickelt. Doch das stimmt so nicht! Aussagen zur Hirnentwicklung im Alter beziehen sich häufig aufs hohe Erwachsenenalter und sind in diesem Fall auch korrekt. Vorher finden aber durchaus noch positive Entwicklungen statt: Einige wichtige Bereiche des Gehirns, wie beispielsweise der präfrontale Cortex und die Myelinisierung (Umhüllung der Axone der Nervenfasern mit Myelin), entwickeln sich erst vollständig im erwachsenen Gehirn, d.h. bis zum 30. Lebensjahr (Spear, 2013). Erst der ausgebildete präfrontale Cortex ermöglicht Erwachsenen z.B., überlegte Reaktionen und moralische Entscheidungen zu treffen (Carter, 2014), und die Myelinisierung sorgt für eine schnellere und effizientere Informationsübertragung zwischen weit auseinanderliegenden Hirnregionen (Spear, 2013). Die Hirnentwicklung ist somit weder im Kindesalter abgeschlossen, noch geht es ab diesem Alter schnurstracks mit unserem Gehirn bergab!

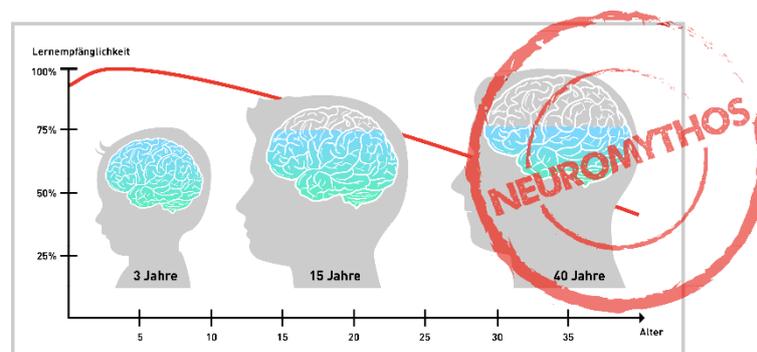
Erwachsene lernen nicht schlechter als Kinder – nur anders!

Erwachsene berichten häufig aus eigenen Erfahrungen, dass sie gegen Kinder im Memory-Spielen verlieren oder sie für das Erlernen von neuen Sachverhalten und Fertigkeiten länger brauchen als noch im eigenen Kindes- und Jugendalter. Man könnte darauf basierend annehmen, dass Erwachsene schlechter lernen als Kinder. Doch auch das stimmt so nicht! Durch bildgebende Verfahren ließ sich nachweisen, dass bei erwachsenen Lernenden immer mehr Gehirnareale mitmischen, die für die Kognition, also das bewusste Denken und Handeln, zuständig sind. Diese bewusstere Kontrolle unseres Tuns und somit auch unseres Lernens ist es, was uns wie eine Hürde vorkommt und unser Lernen auf den ersten Blick verschlechtert. Statt einfach wie ein Kind auszuprobieren und ganz nebenbei zu lernen, sind Erwachsene insbesondere beim Bewegungslernen verkopfter, denn sie wollen erst verstehen, was sie da tun, bevor sie damit beginnen (Becker, 2006). Das ist nicht immer von Nachteil! Dadurch, dass Erwachsene ihr Lernen auf Erfahrungen aufbauen, sind ihre Lernprozesse flexibler als bei Kindern: Erwachsene können, auf Erfahrungen basierend, beim Lernen von Schritt A zu Schritt C springen, wohingegen Kinder linear von A nach B nach C lernen, weil sie Erfahrungen erst sammeln müssen (Carter, 2014; Schnurr, 2010). Junge Menschen verarbeiten neue Informationen in kleineren, differenzierteren Netzwerken schneller und effizienter; ältere Menschen verarbeiten neue Informationen hingegen großflächiger in besser verknüpften Neuronennetzwerken (Beck, 2016; OECD, 2002). Auch wenn Lernprozesse sich dadurch im erwachsenen Alter verlangsamen, sind sie keinesfalls schlechter als kindliche Lernprozesse – sie sind nur anders!

Nur ein absolutes Fehlen von Stimuli kann unwiderrufliche Schäden hervorrufen!

Und trotzdem hört man immer wieder von kritischen Zeitfenstern im frühen Kindesalter, die genutzt werden müssen, weil sie sich sonst unwiederbringlich schließen. Man könnte annehmen, dass die Förderung innerhalb dieser Phasen entscheidend sei, um Einfluss auf die Gehirnentwicklung zu nehmen. Doch das ist ein Trugschluss! Entstehung, Verknüpfung und Reduzierung von Synapsen finden „unabhängig von den spezifischen Erfahrungen [ein]es Kleinkindes statt“ (Guldberg, 2006). Soziologe Niebel (2017) erklärt: „Umwelteinflüsse einschließlich der Stimulation, die Eltern ihren Kindern geben können, rufen weder eine frühe Synapsenbildung

hervor noch beeinflussen sie, wann oder auf welchem Niveau die synaptischen Dichten ihren Höchststand erreichen“ (S. 17). Es gibt keinen einschlägigen Beweis dafür, dass die Art der frühkindlichen Pflege die Synaptogenese oder die Verknüpfung von Synapsen beeinflusst (Guldberg, 2006). Neurobiologe Henning Beck (2016) ergänzt: „[E]s gibt sens[ible] Phasen in unserer Gehirnentwicklung, in denen wir lernen, Muster (akustische oder optische) zu erkennen und schnell zu verarbeiten. Doch nur in ganz seltenen Fällen (wie beim Erlernen grundlegender sprachlicher Fähigkeiten) handelt es sich dabei um eine einmalige Gelegenheit“ (S. 275). Nur wenn die Umwelt nicht verfügbar ist (z.B. Abgeschiedenheit von der Außenwelt), dann entwickeln sich Funktionen wie Sehen oder Sprache nicht, und die „entsprechenden kognitiven Leistungen bleiben irreversibel gestört“ (Stahl & Zoubek, 2009, S. 11). Kritische Phasen in Form von Entwicklungsfenstern, die einmal auf- und später unwiderruflich zugeschlagen werden, sind beim Menschen [somit] nicht ohne weiteres zu finden (vgl. Niebel, 2017, S. 13). Noch dazu gehen solche Phasen über die ersten drei Lebensjahre hinaus (bspw. acht bis neun Jahre für die Entwicklung des visuellen Systems; Niebel, 2017). Die Erfahrungen, die wir während sensibler Phasen benötigen, sind ständig um uns herum. Es gibt nichts, was wir unseren Kindern zusätzlich, durch besondere Anstrengung, noch präsentieren müssten“ (Guldberg, 2006). Beck appelliert deshalb: „Vergessen Sie [...] den irreführenden Begriff eines kritischen Zeitfensters, das irgendwann komplett geschlossen ist. Denn tatsächlich schließen solche Zeitfenster äußerst schlecht und sind dazu noch einfach verglast: Ständig zieht es, neue Informationen kommen durch und ermöglichen es auch einem erwachsenen Gehirn [...] zu lernen“ (S. 275f.). Nach dem Erziehungswissenschaftler Bailey haben wir „zu viele Hinweise auf die erstaunliche Fähigkeit von Menschen [...], sich zu verändern und aus ihren Erfahrungen zu lernen – und zwar in fast jedem Alter –, um zu der einseitigen Vorstellung zu gelangen, die Jahre der frühen Kindheit seien wichtiger als alle anderen“ (Guldberg, 2006). Die Aussage, dass man von der Geburt bis zum dritten Lebensjahr am empfänglichsten für Lernprozesse sei, ist demnach ein:



(8) Konzeptwechseltext *Man lernt nachhaltiger, wenn man verschiedene Themen systematisch hintereinander statt miteinander vermischt lernt*

Lernt man nachhaltiger, wenn man verschiedene Themen systematisch hintereinander statt miteinander vermischt lernt?

Wenn wir uns an unsere Schulzeit zurückerinnern, haben wir ein Thema geblockt gelernt: Wir fingen in einer Stunde mit der Erarbeitung an, übten das Gelernte, und abschließend wurde es in einer Form der Leistungskontrolle überprüft. Die meisten Schulbücher leiten dazu an, Themen systematisch hintereinander zu bearbeiten. Als „heimliche Lehrpläne und Orientierungshilfen“ (Lipowsky et al., 2015, S. 3) beeinflussen sie die Unterrichtsvorbereitung vieler Lehrkräfte und sorgen so dafür, dass sich der Unterricht in vielen Klassenzimmern eher durch ein thematisch geblocktes Vorgehen auszeichnet. Unsere Aufgabe als Lehrkraft sei schließlich eine Erleichterung des Wissensaufbaus für die Lernenden, und das geblockte Lernen eines Themas könne seiner kognitiven Verknüpfung und Einsortierung in neuronale Netze ja nur entgegenkommen. Doch stimmt das alles wirklich?

Verschachteltes Lernen führt langfristig zu höheren Lernerfolgen als geblocktes!

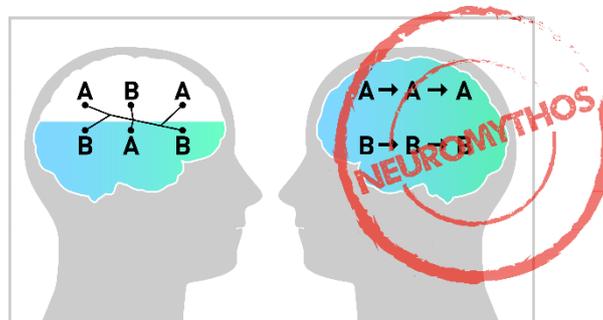
Wahr ist: Strukturierung bei der Gestaltung von Unterricht fördert das Lernen von Schüler*innen (Hattie, 2009). Man könnte auf dieser Basis annehmen, dass Schüler*innen in Tests schlechter abschneiden, wenn Unterrichtsthemen nicht strukturiert nacheinander (= Blocklernen, z.B. aaabbbccc) gelehrt werden. Doch das ist so nicht richtig! Ziegler und Stern (2014) zeigten in ihren Untersuchungen, dass zwar zunächst diejenigen Schüler*innen in Tests besser abschneiden, die im Block lernen, jedoch diejenigen Schüler*innen, die Inhalte vermischt lernen (z.B. abcbcacab), einen Tag, eine Woche und drei Monate nach Abschluss des Trainings in den eingesetzten Leistungstests besser abschneiden (Lipowsky et al., 2015). Zudem zeigte sich, dass die Schüler*innen in der „Block- Gruppe“ mit der Zeit mehr Fehlvorstellungen entwickelten als die, die verschachtelt (so der kognitionspsychologische Fachbegriff) lernten (Lipowsky et al., 2015). Diese Ergebnisse belegen „die Überlegenheit des verschachtelten Lernens gegenüber dem geblockten Lernen“ (Lipowsky et al., 2015, S. 4). Die besseren Leistungen der „Verschachtelungs-Gruppe“ resultieren vermutlich daraus, dass die Proband*innen nicht nur die aktuell „relevanten Strategien kennen und ausführen, sondern vor allem [...] entscheiden, bei welcher Aufgabe welche Strategie anzuwenden ist und wo eine andere Strategie zielführender ist“ (Lipowsky et al., 2015, S. 4). Lipowsky et al. (2015) erklären: „Beim verschachtelten Lernen werden die Schüler/-innen vermehrt zu kognitiv anspruchsvolleren Aktivitäten ange-regt. Wenn die Schüler/-innen beispielsweise unterschiedliche algebraische Operationen nicht geblockt, sondern vermischt und abwechselnd lernen, lädt dies dazu ein, diese zu vergleichen und auf Unterschiede zu untersuchen“ (S. 4). Beim verschachtelten Lernen werden „durch die Kontrastierung der Inhalte [...] Vergleichsprozesse initiiert“, die zu einem langfristigeren Behalten und zu einer besseren Übertragung des Gelernten befähigen (Lipowsky et al., 2015, S. 4).

Es gibt Maßnahmen, die das Lernen kurzfristig erschweren, langfristig aber fördern!

Als Lehrkraft geht man oft davon aus, dass schnelle Erfolge während des Lernens positiv seien und langfristiges Lernen zur Folge habe. Man könnte damit verbunden annehmen, dass Lernprozesse für Schüler*innen erleichtert werden müssen (z.B. durch Strukturierung mittels geblockten Lernens), um einen nachhaltigen Wissenserwerb zu erreichen. Doch auch dies ist so nicht richtig! Gemäß Forschungsergebnissen zu „wünschenswerten Erschwernissen“ (*desirable difficulties*) sollen Lernprozesse von Schüler*innen gezielt erschwert werden, weil der Wissenserwerb dadurch mittel- und langfristig wirksamer gestaltet wird (Bjork & Bjork, 2011; Dunlosky et al., 2013; Weinstein et al., 2018). Schnelle Lernerfolge übersetzen sich nämlich „nicht automatisch in langfristige Lernerfolge. Ganz im Gegenteil! Ein einfaches Prinzip aus der Kognitionspsychologie besagt: Schnelles und leichtes Lernen führt zu kurzfristigem Wissenserhalt, langsames und aufwändigeres Lernen führt zu langfristigem Wissenserhalt [...]. Von einem langfristigen Lernerfolg wird gesprochen, wenn Wissen auch noch ein paar Tage nach dem Lernen (und idealerweise länger) abrufbar ist“ (Küpper-Tetzel, 2015). An der Universität Kassel werden aktuell vier Maßnahmen erforscht, die das Lernen im ersten Moment erschweren, langfristig aber Behalten und Transfer des Gelernten steigern sollen. Neben dem **(1) verschachtelten Lernen sind dies (2) das verteilte Lernen, (3) der Generierungseffekt und (4) der Testungseffekt**. Empirische Belege zu allen vier Maßnahmen machen deutlich, dass es sinnvoll sein kann, „den Prozess des Lernens gezielt anspruchsvoller zu gestalten, um die Lernenden kognitiv stärker zu aktivieren und dazu anzuregen, Lerninhalte tiefer zu durchdringen und miteinander zu vernetzen“ (Lipowsky et al., 2015, S. 1). In Bezug auf das **verteilte Lernen** konnte belegt werden, dass es sich auf das langfristige Behalten günstiger auswirkt, wenn der Lerninhalt nicht massiert – also als Ganzes am Stück – gelernt wird (aaaa), sondern zeitlich auf verschiedene Lernphasen (a - - -a - - -a - - -a) verteilt wird“ (Lipowsky et al., 2015, S. 2). Küpper-Tetzel (2015), Mitarbeiterin am Center for Integrative Research on Cognition, Learning, and Education (CIRCLE) an der Washington University, begründet: „Eine Erklärung für diesen Effekt ist, dass Lernende durch das Wiederholen des Lernstoffs nach einer längeren Pause angeregt werden, sich an die vorherige Lerneinheit zu erinnern, was zu einer Verstärkung der Gedächtnisspur führt“. Auch **aktives Generieren** wirkt sich positiv auf langfristiges Behalten aus: Durch diese Maßnahme (z.B. Wörter nach einfachen Vorgaben wie *Gegenteil* selbst finden: lang – k ____ = gesuchtes Wort ist *kurz*) wird ein Lerngegenstand nachweislich längerfristig behalten, als wenn die gleichen Informationen lediglich, z.B. in einem Text, passiv rezipiert werden (Slamecka & Graf, 1978). Und auch **Tests** können den Lernprozess langfristig verbessern (z.B. Roediger & Karpicke, 2006), indem sie „das wiederholte Abrufen von Informationen aus dem Gedächtnis trainier[en], was die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass die Informationen auch in Zukunft leichter behalten und abgerufen werden können“ (Lipowsky et al., 2015, S. 7). Außerdem werden durch Tests „das vorhandene Wissen besser verknüpft und organisiert [...] und auch Wissenslücken eher bemerkt“ (Lipowsky et al., 2015, S. 7f.). Maßnahmen, die unter dem Begriff „wünschenswerte Erschwernisse“ zusammengefasst werden, erschweren das Lernen also kurzfristig, fördern das Behalten und den Transfer des Gelernten aber langfristig.

Leichte Lernprozesse sind nicht die besseren!

Auch Schüler*innen selbst gehen davon aus, dass ihnen „leichtes Lernen“ den größten Lernerfolg ermöglicht. Beim verschachtelten Lernen z.B. empfinden sie durch die Verknüpfung, Kontrastierung und das Vergleichen der Inhalte und die damit verbundenen kognitiv anspruchsvollen Aktivitäten das Lernen oft als schwer und weniger erfolgreich (Zulkipli & Burt, 2013). Doch das ist ein Irrtum! Es sind gerade die langsamen, nicht sofort sichtbaren Lernerfolge, die zu einem langfristigen und nachhaltigen Behalten des Erlernten führen (Bjork & Kroll, 2015)! D.h., auch wenn Lernende wünschenswerte Erschwernisse als weniger hilfreich einschätzen (z.B. Tests), so muss dies noch lange nicht stimmen! Küpper-Tetzel (2015) erklärt: „[U]nsere unmittelbare Einschätzung der Effektivität einer Lernstrategie [reflektiert] [...] nicht [ih]ren tatsächlichen Erfolg, Wissen langfristig zu behalten. Schnelle Erfolge während des Lernens ‚gaukeln‘ uns vor, neu erworbenes Wissen für eine lange Zeit behalten zu können, obwohl dies nicht der Fall ist“. Gerade das verschachtelte Lernen, welches Lernenden schwieriger erscheint, erweist sich aber als vielversprechender für nachhaltiges Lernen (Dunlosky et al., 2013; Bjork & Kroll, 2015). Für Lehrpersonen eröffnen sich vor diesem Hintergrundwissen „neue Möglichkeiten, den Unterricht wirksamer zu gestalten“ (Lipowsky et al, 2015, S. 1). Wichtig ist aber, dass Erschwernisse gut angeleitet, unterstützt und durch Feedback begleitet werden: Beim Testen ist das Aufzeigen der richtigen Lösung unumgänglich, und beim Generieren liegt eine „nicht unerhebliche Herausforderung [...] darin, Lernende zu lenken, die tatsächlich fachlich zentralen Inhalte und Zusammenhänge aktiv und korrekt zu [erkennen] (Lipowsky et al., 2015, S. 6). Dass man nachhaltiger lernt, wenn man verschiedene Themen systematisch hintereinander statt miteinander vermischt lernt, ist vor dem Hintergrund neuerer Forschungsergebnisse aber ein:



Literaturverzeichnis

- Alloway, T.P. (2009). Working Memory, but not IQ, Predicts Subsequent Learning in Children with Learning Difficulties. *European Journal of Psychological Assessment, 25* (2), 92–98. <https://doi.org/10.1027/1015-5759.25.2.92>
- Anderson, M.L., Kinnison, J., & Pessoa, L. (2013). *Describing Functional Diversity of Brain Regions and Brain Networks*. Amsterdam: Elsevier.
- Atkinson, R.C., & Shiffrin, R.M. (1968). Human Memory: A Proposed System and Its Control Processes. In W. Kenneth, W. Spence & J.T. Spence (Hrsg.), *Psychology of Learning and Motivation, Bd. 2* (S. 89–195). New York, San Francisco, CA, & London: Academic Press. [https://doi.org/10.1016/S0079-7421\(08\)60422-3](https://doi.org/10.1016/S0079-7421(08)60422-3)
- Badenschier, F. (2012). *Die geteilten Gehirne*. Zugriff am 22.05.2017. Verfügbar unter: <https://www.dasgehirn.info/entdecken/meilensteine/die-geteilten-gehirne>.
- Bear, M.F., Connors, B.W., & Paradiso, M.A. (2009). *Neurowissenschaften: Ein grundlegendes Lehrbuch für Biologie, Medizin und Psychologie* (3. Aufl.). Heidelberg: Spektrum Akademischer Verlag.
- Beck, H. (2016). *Hirnrissig: Die 20,5 größten Neuromythen – und wie unser Gehirn wirklich tickt* (2. Aufl.). München: Wilhelm Goldmann.
- Becker, N. (2006). *Die neurowissenschaftliche Herausforderung der Pädagogik*. Bad Heilbrunn: Klinkhardt.
- Becker, N. (2007). Hirngerechtes Lernen und Lehren? Die Neuromythen in der Ratgeberliteratur. *Lernchancen, 58* (10), 5–7.
- Becker, N. (2008). Reißt die Zeitfenster zum Lernen auf! *FAZ, Online-Feuilleton*. Zugriff am 13.03.2020. Verfügbar unter: <http://www.faz.net/aktuell/feuilleton/f-a-z-serie-gehirntraining-reisst-die-zeitfenster-zum-lernen-auf-1515295.html>.
- Becker, N. (2009). Hirngespinnste der Pädagogik. *Psychologie heute, 11*, 72–77.
- Beyerstein, B.L. (2002). Whence Cometh the Myth that We Only Use 10% of our Brains? In S. Della Sala (Hrsg.), *Mind Myths. Exploring Popular Assumptions about the Mind and Brain* (S. 3–24). Chichester: John Wiley & Sons.
- Bianchi, S., Stimpson, C.D., Duka, T., Larsen, M.D., Janssen, W.G.M., Collins, Z., et al. (2013). Synaptogenesis and Development of Pyramidal Neuron Dendritic Morphology in the Chimpanzee Neocortex Resembles Humans. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 110*, Suppl. 2, 10395–10401.
- Bjork, E.L., & Bjork, R.A. (2011). Making Things Hard on Yourself, but in a Good Way: Creating Desirable Difficulties to Enhance Learning. In M.A. Gernsbacher, R.W. Pew, L.M. Hough & J.R. Pomerantz (Hrsg.), *Psychology and the Real World: Essays Illustrating Fundamental Contributions to Society* (S. 56–64). New York: Worth Publishers.
- Bjork, R.A., & Kroll, J.F. (2015). Desirable Difficulties in Vocabulary Learning. *The American Journal of Psychology, 128* (2), 241. <https://doi.org/10.5406/amerjpsyc.128.2.0241>
- Blais, M., Amarantini, D., Albaret, J.-M., Chaix, Y., & Tallet, J. (2017). Atypical Inter-Hemispheric Communication Correlates with Altered Motor Inhibition during Learning of a New Bimanual Coordination Pattern in Developmental Coordination Disorder. *Developmental Science, 21* (3), e12563. <https://doi.org/10.1111/desc.12563>
- Carter, R. (2014). *Das Gehirn. Anatomie, Sinneswahrnehmung, Gedächtnis, Bewusstsein, Störungen*. München: Dorling Kindersley.
- Chudler, E.H. (2011). *One Brain ... or Two?* Zugriff am 03.11.2016. Verfügbar unter: <https://faculty.washington.edu/chudler/split.html>.
- De Lussanet, M.H.E., & Osse, J.W.M. (2012). An Ancestral Axial Twist Explains the Contralateral Forebrain and the Optic Chiasm in Vertebrates. *Animal Biology, 62* (2), 193–216. <https://doi.org/10.1163/157075611X617102>
- Diekelmann, S., & Born, J. (2009). Schlaf dich schlau! Die Bedeutung des Schlafes für Gedächtnisbildung. *Lernen als Thema der Neurowissenschaften, 5*, 46–52.
- Dunlosky, J., Rawson, K.A., Marsh, E.J., Nathan, M.J., & Willingham, D.T. (2013). Improving Students' Learning with Effective Learning Techniques: Promising Directions from Cognitive and Educational Psychology. *Psychological Science in the Public Interest, 14* (1), 4–58. <https://doi.org/10.1177/1529100612453266>

- Friederici, A.D. (2011). The Brain Basis of Language Processing: From Structure to Function. *Physiological Reviews*, 91 (4), 1357–1392. <https://doi.org/10.1152/physrev.00006.2011>
- Gais, S., & Born, J. (2004). Declarative Memory Consolidation: Mechanisms Acting during Human Sleep. *Learning & Memory*, 11 (6), 679–685. <https://doi.org/10.1101/lm.80504>
- Genç, E., Fraenz, C., Schlüter, C., Friedrich, P., Hossiep, R., Voelkle, M.C., et al. (2018). Diffusion Markers of Dendritic Density and Arborization in Gray Matter Predict Differences in Intelligence. *Nature Communications*, 9, 1905. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-04268-8>
- Guldborg, H. (2006). *Der Mythos des „Kindheits-Determinismus“*. Zugriff am 30.05.2019. Verfügbar unter: https://www.novo-argumente.com/artikel/der_mythos_des_kindheits_determinismus.
- Hattie, J. (2009). *Visible Learning: A Synthesis of Over 800 Meta-analyses Relating to Achievement*. New York: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203887332>
- Höffler, T.N., Koć-Januchta, M., & Leutner, D. (2017). More Evidence for Three Types of Cognitive Style: Validating the Object-Spatial Imagery and Verbal Questionnaire Using Eye Tracking when Learning with Texts and Pictures. *Applied Cognitive Psychology*, 31 (1), 109–115. <https://doi.org/10.1002/acp.3300>
- Howard-Jones, P.A. (2014). Neuroscience and Education: Myths and Messages. *Nature Reviews Neuroscience*, 15 (12), 817–824. <https://doi.org/10.1038/nrn3817>
- Hüther, G. (o.J.). *Weltbilder*. Zugriff am 30.04.2017. Verfügbar unter: <http://www.synergetik-institut.de/3-weltbilder.html>.
- Hyatt, K.J. (2007). Brain Gym®: Building Stronger Brains or Wishful Thinking? *Remedial and Special Education*, 28 (2), 117–124. <https://doi.org/10.1177/07419325070280020201>
- James, W. (1907). The Energies of Men. *The Philosophical Review*, 16 (1), 1–20.
- Julius, M.S., & Adi-Japha, E. (2016). A Developmental Perspective in Learning the Mirror-Drawing Task. *Frontiers in Human Neuroscience*, 10, 83. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00083>
- Kinsbourne, M. (2013). Somatic Twist: A Model for the Evolution of Decussation. *Neuropsychology*, 27 (5), 511–515. <https://doi.org/10.1037/a0033662>
- Küpper-Tetzel, C.E. (2015). Erfolgreich Lernen: Effektive Lernstrategien frisch aus der kognitionspsychologischen Forschung. *The Inquisitive Mind*, 4. Zugriff am 03.07.2017. Verfügbar unter: <http://de.in-mind.org/article/erfolgreich-lernen-effektive-lernstrategien-frisch-aus-der-kognitionspsychologischen?page=2>.
- Lashley, K.S. (1929). *Brain Mechanisms and Intelligence: A Quantitative Study of Injuries to the Brain*. Chicago, IL: University of Chicago Press.
- Lenzen, M., & Hübener, M. (2016). *Die Entwicklung eines Gehirns*. Zugriff am 20.06.2017. Verfügbar unter: <https://www.dasgehirn.info/entdecken/kindliches-gehirn/die-entwicklung-eines-gehirns-8706?gclid=CNaErMrantQCFQjGwodrG8H3Q>.
- Lipowsky, F., Richter, T., Borromeo-Ferri, R., Ebersbach, M., & Hänze, M. (2015). Wünschenswerte Erschwernisse beim Lernen. *Schulpädagogik Heute*, 6 (11), 1–10.
- Looß, M. (2001). Lerntypen? Ein pädagogisches Konstrukt auf dem Prüfstand. *Die Deutsche Schule*, 93 (2), 186–198.
- Looß, M. (2007). Lernstrategien, Lernorientierungen, Lern(er)typen. In D. Krüger & H. Vogt (Hrsg.), *Theorien in der biologiedidaktischen Forschung* (S. 141–152). Berlin & Heidelberg: Springer.
- Macedonia, M. (2014). Neuromythen oder Märchen über das Gehirn. In M. Macedonia & S. Höhl (Hrsg.), *Gehirn für Einsteiger* (S. 15–24). Linz & Heidelberg: SchEz.
- Moebus, T. (2015). *Hirnaktivität: Nutzen wir wirklich nur zehn Prozent unseres Gehirns?* Zugriff am 05.06.2017. Verfügbar unter: <http://www.spektrum.de/frage/nutzen-wir-wirklich-nur-zehn-prozent-unseres-gehirns/1343481>.
- Neubauer, A.C., Grabner, R.H., Freudenthaler, H.H., Beckmann, J.F., & Guthke, J. (2004). Intelligence and Individual Differences in Becoming Neurally Efficient. *Acta Psychologica*, 116, 55–74. <https://doi.org/10.1016/j.actpsy.2003.11.005>
- Neuronation. (2017). *Wir nutzen nur 10 % unseres Gehirns. Ein Mythos, der um die Welt ging*. Zugriff am 24.04.2017. Verfügbar unter: <https://www.neuronation.de/science/wir-nutzen-nur-10-unseres-gehirns-ein-mythos-der-um-die-welt-ging>.
- Newton, P.M. (2015). The Learning Styles Myth Is Thriving in Higher Education. *Frontiers in Psychology*, 6, 1908. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2015.01908>
- Newton, P.M., & Miah, M. (2017). Evidence-based Higher Education – Is the Learning Styles ‘Myth’ Important? *Frontiers in Psychology*, 8, 444. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2017.00444>

- Niebel, R. (2017). *Der Mythos des Kindheits-Determinismus Zwei Kritiken*. Zugriff am 20.06.2017. Verfügbar unter: http://rolf-niebel.de/Rolf%20Niebel_Der%20Mythos%20des%20Kindheits-Determinismus.pdf.
- Nielsen, J.A., Zielinski, B.A., Ferguson, M.A., Lainhart, J.E., & Anderson, J.S. (2013). An Evaluation of the Left-Brain vs. Right-Brain Hypothesis with Resting State Functional Connectivity Magnetic Resonance Imaging. *PLoS ONE*, 8 (8), e71275. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0071275>
- OECD (Organisation for Economic Co-operation and Development) (Hrsg.). (2002). *Understanding the Brain: Towards a New Learning Science*. Paris: OECD.
- OECD (Organization for Economic Co-operation and Development). (o.J.). *Neuromyth 4: We Only Use 10% of our Brain*. Zugriff am 01.05.2018. Verfügbar unter: <https://www.oecd.org/education/ce-ri/neuromyth4.htm>.
- Pashler, H., McDaniel, M., Rohrer, D., & Bjork, R. (2009). Learning Styles: Concepts and Evidence. *Psychological Science in the Public Interest*, 9 (3), 105–119. <https://doi.org/10.1111/j.1539-6053.2009.01038.x>
- Piosczyk, H., Kloepfer, C., Riemann, D., & Nissen, C. (2009). Schlaf, Plastizität und Gedächtnis. *Somnologie – Schlafforschung und Schlafmedizin*, 13 (1), 43–51. <https://doi.org/10.1007/s11818-009-0404-x>
- Quast, U. (2007). *Lernpsychologie*. Zugriff am 29.05.2017. Verfügbar unter: http://studienseminar.rlp.de/fileadmin/user_upload/studienseminar.rlp.de/gs-sim/service_download/BS_Themenskript_Lernpsychologie.pdf.
- Roediger, H.L., & Karpicke, J.D. (2006). Test-Enhanced Learning: Taking Memory Tests Improves Long-Term Retention. *Psychological Science*, 3, 249–255. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01693.x>
- Roth, G. (2003). *Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert* (2., vollst. überarb. Aufl.). Frankfurt a.M.: Suhrkamp.
- Sabitzer, S. (2010). *Neurodidaktik – Neue Impulse für den Informatikunterricht*. Zugriff am 20.06.2017. Verfügbar unter: https://www.researchgate.net/publication/263655393_Neurodidaktik_Neue_Impulse_fur_den_Informatikunterricht.
- Saum-Aldehoff, T. (2010). *Der Mythos vom „typengerechten“ Lernen*. Zugriff am 29.05.2017. Verfügbar unter: https://www.psychologie-heute.de/news/emotion-kognition/detailansicht/news/der_mythos_vom_typengerechten_lernen/.
- Schnurr, E.M. (2010). *Lernen im Alter*. Zugriff am 05.12.2016. Verfügbar unter: <http://www.zeit.de/zeit-wissen/2011/01/Forschung-Lernen>.
- Schroer, I. (2011). *Beeinflussung der Gedächtnisbildung durch Geruchsexposition im Schlaf unter Verwendung der Gerüche Citral und IBA*. Dissertation, Universität Lübeck.
- Seul, H. (2006). Lernen und Schlaf. *Erziehungskunst*, 9, 945–951.
- Shum, J., Hermes, D., Foster, B.L., Dastjerdi, M., Rangarajan, V., Winawer, J., Miller, K.J., & Parvizi, J. (2013). A Brain Area for Visual Numerals. *The Journal of Neuroscience*, 33 (16), 6709–6715. <https://doi.org/10.1523/JNEUROSCI.4558-12.2013>
- Slamecka, N.J., & Graf, P. (1978). The Generation Effect: Delineation of a Phenomenon. *Journal of Experimental Psychology: Human Learning & Memory*, 4 (6), 592–604. <https://doi.org/10.1037/0278-7393.4.6.592>
- Spear, L.P. (2013). Adolescent Neurodevelopment. *Journal of Adolescent Health*, 52 (2), 7–13. <https://doi.org/10.1016/j.jadohealth.2012.05.006>
- Stahl, S., & Zoubek W. (2009). Von einem Heureka-Moment zum Nächsten. *Bildung Bewegt*, 2, 10–16.
- Stickgold, R. (2012). To Sleep: Perchance to Learn. *Nature Neuroscience*, 15 (10), 1322–1323. <https://doi.org/10.1038/nn.3223>
- Vester, F. (1975). *Denken, Lernen, Vergessen: was geht in unserem Kopf vor, wie lernt das Gehirn, und wann lässt es uns im Stich?* Stuttgart: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Vogt, R. (2012). *Lernen im Schlaf*. Zugriff am 30.05.2017. Verfügbar unter: <https://www.dasgehirn.info/handeln/schlaf-traum/lernen-im-schlaf-2075>.
- Wachsmuth, I. (2015). *Funktioniert das Gehirn wirklich wie ein Computer?* Zugriff am 30.04.2017. Verfügbar unter: <https://www.dasgehirn.info/aktuell/frage-an-das-gehirn/funktioniert-das-gehirn-wirklich-wie-ein-computer>.
- Wagner, U. (2004). *Schlaf-assoziierte Konsolidierungs- und Restrukturierungsprozesse in der emotionalen und kognitiven Gedächtnisbildung*. Dissertation, Universität Lübeck.
- Weinstein, Y., Madan, C.R., & Sumeracki, M.A. (2018). Teaching the Science of Learning. *Cognitive Research: Principles and Implications*, 3 (1), 2. <https://doi.org/10.1186/s41235-017-0087-y>

- Willcutt, E.G., Petrill, S.A., Wu, S. Boada, R., DeFries, J.C., Olson, R.K., et al. (2013). Comorbidity between Reading Disability and Math Disability: Concurrent Psychopathology, Functional Impairment, and Neuropsychological Functioning. *Journal of Learning Disabilities, 46* (6), 500–516. <https://doi.org/10.1177/0022219413477476>
- Wirth, M. (2005). *Wie man im Schlaf lernt*. Zugriff am 10.06.2017. Verfügbar unter: <https://www.nzz.ch/arti cleD3LRT-1.168139>.
- Ziegler, E., & Stern, E. (2014). Delayed Benefits of Learning Elementary Algebraic Transformations Through Contrasted Comparisons. *Learning and Instruction, 33*, 131–146. <https://doi.org/10.1016/j.learninstruc.2014.04.006>
- Zulkipli, N., & Burt, J.S. (2013). The Exemplar Interleaving Effect in Inductive Learning: Moderation by the Difficulty of Category Discriminations. *Memory & Cognition, 41* (1), 16–27. <https://doi.org/10.3758/s13421-012-0238-9>

Bildrechte

Bei allen Abbildungen, die in diesem Dokument enthalten sind, handelt es sich um eigene Darstellungen. Die Bildrechte besitzt die Autorin.