

# Abschlussarbeit

## Neurodidaktik in der Basisbildung

Eingereicht am Lehrgang ALBAintensiv 2020

Vorgelegt von: Marie Cerwenka, BSc.

Ort, Datum: Linz, 5.11.2020



## **Abstract**

**Einleitung:** Lernen bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Hirnforschung, Psychologie und Didaktik. Ziel dieser Arbeit ist die Recherche von neurodidaktischen Prinzipien und das Erfassen von Umsetzungsmöglichkeiten in der Basisbildung.

**Methodik:** Zur Bearbeitung der Forschungsfrage wurde eine umfassende Literaturrecherche nach themenspezifischen Artikeln und Grundlagenliteratur in Datenbanken durchgeführt.

**Ergebnisse:** Prinzipien aus der Neurodidaktik können relativ leicht in der Basisbildung Anwendung finden. Beispielsweise kann eine gezielte Adaption der Lernumgebung (bewusste Gestaltung des Gruppenraums) positiv auf die periphere Wahrnehmung wirken. Ein gewisses Hintergrundwissen zur Struktur von Lern- und Gedächtnisprozessen kann außerdem auf vielfältige Weise in die Unterrichtsaktivität einfließen und ermöglicht es, „Neuomythen“ kritisch zu hinterfragen.

**Diskussion und Schlussfolgerung:** Die Neurodidaktik kann viele Punkte wissenschaftlich begründen erklären, die empirisch schon lange Wirkung zeigten. Verschiedenste neurobiologische Prozesse ermöglichen eine Veränderung der Hirnstrukturen über die gesamte Lebensspanne. Dies ist durchaus ein sehr wichtiges Argument, das den Sinn und Nutzen lebenslangen Lernens bekräftigt.

**Schlüsselwörter:** Neurodidaktik, Basisbildung, Hirnforschung

## **Inhaltsverzeichnis**

Abstract .....	2
Inhaltsverzeichnis.....	3
1 Einleitung .....	4
2 Theoretischer Hintergrund.....	5
2.1 Begriffe – Versuch einer Eingrenzung .....	5
2.2 Anatomische Voraussetzungen .....	5
2.3 Grundlagen des Lernens bei Erwachsenen.....	6
2.3.1 Einordnung des „lernenden Gehirns“ .....	6
2.3.2 Lernen und Gedächtnis .....	7
2.4 Neuromythen .....	9
3 Methodik.....	11
4 Ergebnisse .....	12
4.1 Prinzipien des Lernens auf neurowissenschaftlicher Basis.....	12
4.2 Ausgewählte Bereiche mit Umsetzungsmöglichkeiten in der Basisbildung .....	15
5 Diskussion und Schlussfolgerung.....	19
Literaturverzeichnis .....	21
Tabellenverzeichnis.....	23
Abbildungsverzeichnis .....	23

# 1 Einleitung

„All learning is brain based, all teaching is not“ – Lernen bewegt sich im Spannungsfeld zwischen Hirnforschung, Psychologie und Didaktik. Eine große Anzahl an Begriffen wurde in den letzten Jahrzehnten geprägt, im Versuch, dieses Konzept zu definieren: brain-based Learning, Educational Neuroscience und Neurodidaktik seien hier als Beispiel genannt. Sie alle verfolgen ein gemeinsames Ziel, dieses soll letztendlich eine wissenschaftliche Darlegung und Optimierung von Lernprozessen sein. Tatsächlich gibt es von wissenschaftlicher Seite viel Unterstützung, aber auch Skepsis gegenüber dem Ausmaß der Übertragung neurowissenschaftlicher Kenntnisse in die Lehr-/Lernforschung (z.B. Bruer, 1997; van der Meulen et al., 2015). Ebenso trägt eine unsachgemäße Auslegung der Forschung zur Aufrechterhaltung von sogenannten Neuromythen bei. Ein solcher Mythos ist beispielsweise, dass *„Unterricht so gestaltet werden sollte, dass beide Gehirnhälften beansprucht werden“* – die Zustimmungsrate unter österreichischen Lehramtsstudenten am Beginn ihrer Ausbildung lag hier bei 86% (Krammer et al., 2019). Tatsächlich erfolgt keine Trennung neuronaler Verarbeitung abhängig von den Hemisphären, beide arbeiten immer zusammen (ebenda, 2019).

Informationen über die Neurobiologie und -didaktik des Lernens sind nicht nur für Lehrerinnen und Lehrer, sondern alle lehrenden Personen von Nutzen. Dies betrifft also auch Lehrende in der Basisbildung und Alfabetisierung. Es bedarf daher eines evidenzbasierten Zugangs zur Thematik, um den eigenen Unterricht bereichernder gestalten zu können. Auch ein Überblick über die Grundlagen des Lernens ist wichtig, um sogenannte „Neuromythen“ zu identifizieren bzw. kritisch hinterfragen zu können. Zusätzlich dazu soll das Thema gehirngerechtes Lernen überblicksmäßig aus den verschiedenen Disziplinen beleuchtet werden. Ebenso sollen Lernprozesse in ihren entsprechenden anatomischen/psychologischen Voraussetzungen beschrieben werden (Gehirnstrukturen und Gedächtnissysteme).

Ziel dieser Arbeit ist die Recherche von neurodidaktischen Prinzipien und das Erfassen von Umsetzungsmöglichkeiten in der Basisbildung. Mittels des erhaltenen Wissens können Didaktik und Lernsetting gezielter an die Lernvoraussetzungen von Erwachsenen in Basisbildungsangeboten angepasst werden.

Es wurde daher folgende Forschungsfrage formuliert:

Wie können neurodidaktische Prinzipien in der Planung von Basisbildung miteinbezogen werden, um Lernprozesse optimal zu unterstützen?

## 2 Theoretischer Hintergrund

### 2.1 Begriffe – Versuch einer Eingrenzung

Educational Neuroscience, gehirn-gerechtes Lernen, brain-targeted oder brain-based learning, Neurodidaktik – ein Konzept mit vielen Namen. Im Wesentlichen handelt es sich, wie Jenkins (2018, p. 66f) beschreibt, um eine multidisziplinäre Zusammenarbeit zwischen den Fachbereichen Neurowissenschaft, kognitiver Psychologie, Pädagogik und Biologie, die nun ihre Forschungsergebnisse über mentale Prozesse und Hirnstrukturen gemeinsam vorlegen. Herrmann (2009, p. 164) weist in Bezug auf die Begriffsgebung „brain-based learning“ zu Recht auf eine unglückliche Begriffswahl hin – Lernen und Handeln findet klarerweise immer im Gehirn statt. Auch der Begriff „Neurodidaktik“ ist nicht präzise: es handelt sich vielmehr um eine neue Methodik (Lehr-/Lernverfahren) als eine Didaktik (Begründung der Auswahl und Anordnung der Lehrinhalte).

Ziele dieser interdisziplinären Forschungsrichtung sind unter Anderem (Petitto & Dunbar, 2009, p. 1):

- die menschlichen Lernfähigkeiten über die gesamte Lebensspanne zu verstehen (sowohl auf das Gehirn als auch auf das Verhalten bezogen)
- Veränderungen in der Bildung und Erziehung mittels wissenschaftlichen Untersuchungsmethoden zu begründen.

Lernen im Sinne der Neurodidaktik definiert Arnold (2009, p. 182) damit, dass  
*„(...) alle menschlichen Dispositionen beteiligt sind: alle Sinne, Werte, Emotionen, kognitive Abläufe (Verstehensprozesse), aber auch Handlungen. (...) Lernen besteht nicht nur aus der Aufnahme und Speicherung von Informationen, sondern in gleichem Maße aus der Umsetzung der Information in Handlung in Form von Sprache, Planung, dem Setzen und Erreichen von Zielen. Erst durch die praktische Umsetzung wird der Lernprozess vollendet.“*

### 2.2 Anatomische Voraussetzungen

Es ist neurowissenschaftlich gut belegt, dass Wissen nicht „übertragen“ werden kann, sondern im Gehirn einer jeden Person neu „geschaffen“ werden muss. Dies geschieht über unbewusste Prozesse, die bestimmten Rahmenbedingungen unterliegen. Diese Rahmenbedingungen sind eng mit dem limbischen System verknüpft. Hier werden Affekte, Motivation und Gefühle vermittelt, die im Lernerfolg eine erhebliche Rolle innehaben. Limbische Teile des präfrontalen, orbitofrontalen und cingulären Cortex sind für bewusste Emotionen und Motive, sowie für bewusste kognitive Leistungen, Handlungs- und

Impulskontrolle zuständig. Im Hippocampus ist das deklarative Gedächtnissystem mit seinen verschiedenen Teilleistungen (siehe unter Kapitel 2.3.2) verankert. In der Amygdala erfolgt die emotionale Konditionierung sowie die Reaktion auf negative Gefühle wie Furcht oder Stress. Das mesolimbischen System ist für die Generierung von Neuromodulatoren (Dopamin, endogene Opioide, Oxytocin) des körpereigenen „Belohnungssystems“, die durch Beachtung, Zuwendung und Anerkennung entstehen, verantwortlich. Das neuromodulatorische System beeinflusst die allgemeine Aufmerksamkeit / Erregung / Stress (Noradrenalin), Antrieb / Neugier / Belohnungserwartung (Dopamin), Beruhigung / Wohlgefühl (Serotonin) und gezielte Aufmerksamkeit / Lernförderung (Acetylcholin). (Roth, 2009, p. 58)

## **2.3 Grundlagen des Lernens bei Erwachsenen**

### **2.3.1 Einordnung des „lernenden Gehirns“**

Nach Bruner (1980, p. 57ff, zitiert nach Kron 2004, p. 199) besteht Lernen grundsätzlich aus drei Teilprozessen. Zum ersten ist das die Aneignung neues Wissens („acquisition of knowledge“), zum zweiten die Umwandlung des Wissens („transformation of knowledge“), und zum dritten die Bewertung des Wissens („evaluation of knowledge“).

Die beteiligten Forschungsdisziplinen der Neurodidaktik sehen das Gehirn mit seinen Lernprozessen von jeweils unterschiedlichen Blickwinkeln (Herrmann, 2009, p. 9f): die Neurowissenschaften sehen das Lernen als physiologisch-chemisch nachweisbare Veränderungen in den Nervenbahnen und Synapsen. Diese Plastizität des Gehirns ist die Voraussetzung für lebenslanges Lernen. Synaptische Verknüpfungen werden andauernd bei Gebrauch verstärkt, bei Nichtbenutzung schwächer – „use it or lose it“ (Kleim & Jones, 2008). Oft werden auch neue Verknüpfungen geschaffen oder nicht verwendete abgebaut. Der Begriff „adult neurogenesis“ beschreibt den Vorgang der Zellneubildung im erwachsenen Gehirn. Diese neuen Neuronen sind jedoch sehr anfällig dafür, wieder abgebaut zu werden, wenn nicht ein gewisse Lernanstrengung dahinter steht („effortful learning“). (Kweldju, 2019, p.2). Ähnlich formuliert es auch Roth (2009, p. 65): demnach sei es nicht vorteilhaft, wenn

*„(...) Lernen zu entspannt und ‚kuschelig‘ ist und ohne jegliche Anstrengung auf niedrigstem Niveau passiert. Lernen muss als positive Anstrengung empfunden werden.“*

Für die Kognitionspsychologie gilt das Gehirn als eine „Agentur“ von und für höhere Prozesse wie Denken, Verstehen, und so fort. Die Pädagogik sieht das lernende Gehirn als die Grundlage zur vielseitig erfolgreichen Exploration der Lebenswelt (Herrmann, 2009, p. 10). Im Kontext der Alfabetisierung und Basisbildung ist es noch wichtig, die Unterscheidung von privilegiertem und nicht-privilegiertem Lernen anzumerken.

Der Begriff privilegiertes Lernen bezieht sich auf jenes Lernen, bei dem in einem

biologischen Entwicklungsprogramm festgelegt ist, durch welche Umweltbedingungen die Lernprozesse angestoßen werden. Beispiele für privilegiertes Lernen wären z.B. Sprechen oder Gehen lernen. Die Kulturtechniken (das heißt Lesen, Schreiben, Mathematik...) die u.A. in der Basisbildung vermittelt werden, lassen sich dem nicht-privilegierten Lernen zuschreiben. Es ist hierbei nicht evolutionär oder biologisch festgelegt, welche Faktoren Lernprozesse auslösen bzw. wie diese ablaufen. (Schumacher, 2009, p. 130).

### **2.3.2 Lernen und Gedächtnis**

Lernen ist untrennbar mit verschiedenen Gedächtnisfunktionen verbunden. Eine Strukturierung und Bezeichnung der verschiedenen Speicher in den verschiedenen Literaturen findet sich bei Kaufmann et al. (2008, p. 18): Als erstes werden Informationen im Ultrakurzzeitgedächtnis/sensorischen Speicher registriert. Dort bleiben sie nur einen Bruchteil einer Sekunde und werden nach unterschiedlichen Sinneseindrücken gefiltert und gespeichert. Verbale Information wird z.B. als visuelle und auditive Information gespeichert, deren Bedeutung wird allerdings nicht weiter analysiert. Nur wenn die Information als relevant bewertet wird, wird sie ans Kurzzeitgedächtnis weitergeleitet.

Das Kurzzeitgedächtnis speichert Informationen bis zu vier Minuten lang. Auch hier wird wiederum gefiltert, was an das Langzeitgedächtnis weitergeleitet wird. (Kaufmann et al., 2008, p. 18). Wie Brand & Markowitsch (2009, p. 70) anmerken, erfolgt der Transfer vom Kurzzeit- ins Langzeitgedächtnis aktiv. Es ist wichtig, neuen Informationen Aufmerksamkeit zu schenken und diese zu elaborieren (auszuschmücken) bzw. durch Assoziationen mit bereits existente Verknüpfungen zu verbinden. Dies geschieht im Arbeitsgedächtnis, wo „(..) *Inhalte verändert, elaboriert und zusammengefasst*“ werden können, um Informationen zu enkodieren oder bereits enkodierte abzurufen (ebenda, 2009, p. 70f).

Das Arbeitsgedächtnis hat nur eine begrenzte Speicherkapazität. Deshalb könnte es von Vorteil sein, zuerst einen Überblick über ein Themengebiet zu geben, um den Lernenden eine Möglichkeit zu geben, neues Wissen einzuordnen mit dem vorhandenen zu verknüpfen – erst danach sollten spezifische Details präsentiert werden (Watagodakumbura, 2017, p. 62). Ein weiterer Vorteil eines groben Überblicks am Beginn einer Lerneinheit ist das „Priming“. Es handelt sich um die unbewusste Verarbeitung eines Stimulus, was später zu einer verbesserten Wiedererkennungsleistung führt (Brand & Markowitsch, 2009, p. 81).

Das Langzeitgedächtnis bettet neue Informationen in vorhandenes Wissen ein. Die Speicherdauer des Langzeitgedächtnisses ist unterschiedlich. Manche Informationen bleiben jahrelang, manche nur einige Wochen bestehen. Offenbar wirkt sich die Verarbeitungstiefe auf die Wissensverankerung aus – je stärker die vorhandenen Vernetzungen aktiviert werden, desto einfacher kann neues Wissen daran andocken. (Kaufmann et al., 2008, p. 18). Bei Kron (2004, p. 194) wird die Unterteilung in prozedural und deklaratives Gedächtnis

vorgenommen, wie sie in der neuen Literatur nun gängig ist. Das deklarative Gedächtnis bezieht sich auf Inhalte, über die sprachlich berichtet werden kann. Es unterteilt sich zum einen in das „episodische Gedächtnis“ (das an die eigene Biografie gebunden ist), das also für das „Erinnern“ verantwortlich ist („remembering“) (ebenda, 2004, p. 194).

Das episodische Gedächtnis ist das hierarchisch höchste System, Inhalt ist hier klar mit Raum- Zeit-, und Situationsbezug abgespeichert (Brand & Markowitsch, 2009, p. 71).

Zum anderen beinhaltet es das Faktengedächtnis (bzw. semantisches Gedächtnis), das also Wissen konstruiert („knowing“). In dieses Gedächtnis fällt der Großteil der Inhalte, die in Unterrichtssituationen gelernt werden. Zuletzt noch das Bekanntheits- oder Vertrautheitsgedächtnis („familiarity memory“), das uns Vertrautes und weniger Vertrautes voneinander unterscheiden und behalten hilft. (Kron, 2004, p. 194).

Herrmann (2009, p. 163) unterstreicht die Bedeutung der Funktionszusammenhänge zwischen den verschiedenen „Typen“ des deklarativen Gedächtnisses.

Problematisch ist, wenn Lernende nur durch bloße Wiederholung Inhalte auswendig lernen – dies entspricht nicht einem semantischen, also inhaltlich bedeutsamen Lernens. Das Wissen ist weder an Vorwissen angeknüpft, noch kann damit weitergearbeitet werden. (Roth, 2009, p. 67).

Das prozedurale Gedächtnis, auch implizites Gedächtnis genannt, beinhaltet hingegen Wissen, das unser Handeln mitbestimmt, aber nicht zur Sprache gebracht werden kann (z.B. motorische Abläufe, wie beim Tennis spielen). (Kron, 2004, p. 194).

Das explizite Bewusstmachen einer Routinehandlung kann deren Ablauf sogar erheblich stören (Brand & Markowitsch, 2009, p. 72).

Einen großen Anteil macht tatsächlich impliziertes/prozedurales Lernen aus, nicht also das Lernen in der Schule, wie Watagodakumbura (2017, p. 62) feststellt. Erwachsene Lernende einer Zweitsprache können zwar nicht mehr vom prozeduralen Gedächtnis profitieren, sind aber im Stande, dies ausreichend mit dem deklarativen Gedächtnis und dem Arbeitsgedächtnis zu kompensieren (Kweldju, 2019, p.7).

Die Informationsverarbeitung zur Bildung neuer Gedächtnisinhalte sowie deren Abruf folgt einem bestimmten Muster: zuerst wird der Inhalt eingespeichert, dann konsolidiert (gefestigt), abgelagert. Der abgelagerte Inhalt wird dann bei Bedarf abgerufen. Durch jeden Abruf erfolgt eine erneute Einspeicherung (Re-Enkodierung) des Inhalts. Es wird damit die Abspeicherung eines Inhalts jedes Mal gefestigt, wenn ein Abruf erfolgt. (Brand & Markowitsch, 2009, p. 72).

Es bedeutet aber auch, dass falsche oder unvollständige Antworten von Lernenden möglichst zeitnah korrigiert werden sollten, um eine „falsche“ Re-Enkodierung (und damit Stabilisierung eines „falschen Inhalts“) zu verhindern (ebenda, 2009, p. 75).



## 2.4 Neuromythen

Bei Neuromythen handelt sich um zumeist populäre, aber inkorrekte Auslegungen verschiedener Aspekte von Gehirnfunktionen (van der Meulen et al., 2015, p. 230). Diese Mythen sind häufig teil des öffentlichen Diskurses, sind aber aus neurowissenschaftlicher Sicht nicht haltbar. Beispiele hierfür sind Statements wie

- *“There is no time to lose as everything important about the brain is decided by the age of three.”*
  - *“There are critical periods when certain matters must be taught and learnt.”*
  - *“I’m a „left-brain“, she’s a „right-brain“ person.”*
  - *“A young child’s brain can only manage to learn one language at a time.”*
- (OECD, 2007, p. 4).

In der Studie von Dekker et al. (2012) wurde die Prävalenz von Neuromythen unter Volks- und Mittelschullehrenden in den Niederlanden und in Großbritannien untersucht (n=242) (siehe Tabelle 1).

Neuromyth	Incorrect	
	UK (%)	NL (%)
Individuals learn better when they receive information in their preferred learning style (e.g., auditory, visual, kinesthetic).	93	96
Differences in hemispheric dominance (left brain, right brain) can help explain individual differences amongst learners.	91	86
Short bouts of co-ordination exercises can improve integration of left and right hemispheric brain function.	88	82
Exercises that rehearse co-ordination of motor-perception skills can improve literacy skills.	78	63
Environments that are rich in stimulus improve the brains of pre-school children.	95	56
Children are less attentive after consuming sugary drinks, and/or snacks.	57	55
It has been scientifically proven that fatty acid supplements (omega-3 and omega-6) have a positive effect on academic achievement.	69	54
There are critical periods in childhood after which certain things can no longer be learned.	33	52
We only use 10% of our brain.	48	46
Regular drinking of caffeinated drinks reduces alertness.	26	36
Children must acquire their native language before a second language is learned. If they do not do so neither language will be fully acquired.	7	36
Learning problems associated with developmental differences in brain function cannot be remediated by education.	16	19
If pupils do not drink sufficient amounts of water (=6–8 glasses a day) their brains shrink.	29	16
Extended rehearsal of some mental processes can change the shape and structure of some parts of the brain.	6	14
Individual learners show preferences for the mode in which they receive information (e.g., visual, auditory, kinesthetic).	4	13

**Tabelle 1: Neuromythen (adaptiert nach Dekker et al., 2012)**

Es zeigte sich, dass sieben von den 15 Mythen mehr als der Hälfte der Lehrerinnen und Lehrern als glaubhaft erschien (ebenda, 2012).

Krammer et al. (2019, p. 229) führten diese Studie (mit teils den selben Items) auch mit österreichischen Lehramtsstudentinnen und -studentinnen (n=673) durch. Hier zeigten sich ähnliche Resultate. In dieser Arbeit soll nur auf die häufigsten Mythen eingegangen werden: am verbreitetsten ist der „Lerntypen-Mythos“, dass Schülerinnen und Schüler besser lernen, wenn ihnen Informationen entsprechend ihres jeweiligen Lerntyps vermittelt werden (Zustimmungsrate= 97%). Die Autoren vermuten hier, dass der Fehlglaube an „Lerntypen“ aus der eigenen Schulerfahrung stammen könnte. Auch Grein (2019, p. 76) bestätigt, dass das Konzept der „Lerntypen“ in Bezug auf präferierte Sinneswahrnehmungen kritisch zu sehen ist. Der Vollständigkeit halber wird hier erwähnt, dass es durchaus sogenannte „Lernstile“ geben könnte: Dies sind

*„intraindividuell relativ stabile, zumeist situations- und aufgabenunspezifische Präferenzen (Dispositionen, Gewohnheiten) von Lernern sowohl bei der Verarbeitung als auch bei der sozialen Interaktion.“* (Grotjahn, 2003, p. 326, zitiert nach Grein, 2019, p. 74).

Ebenso ist der Koordinationsübungs-Mythos prävalent, dass also kurzzeitige Koordinationsübungen die Integration zwischen den Gehirnhälften verbessern können (Zustimmungsrate= 88%). Sehr verbreitet ist auch der Mythos, dass Unterricht so gestaltet werden sollte, dass beide Gehirnhälften beansprucht werden (Zustimmungsrate= 86%). Der Mythos der getrennten neuronalen Verarbeitung könnte eventuell durch ein Missverstehen von neurowissenschaftlichen Studien gefördert werden (ebenda, 2019, p. 236).

Tatsächlich werden visuelle, auditive und kinästhetische Stimuli in unterschiedlichen Teilen des Gehirns verarbeitet. Dekker et al. (2012) verweisen in diesem Zusammenhang auf Gilmore et al. (2007) und Coffield et al. (2004):

*„(...) these separate structures in the brain are highly interconnected and there is profound cross-modal activation and transfer of information between sensory modalities (Gilmore et al., 2007). Thus, it is incorrect to assume that only one sensory modality is involved with information processing. Furthermore, although individuals may have preferences for the modality through which they receive information [either visual, auditory, or kinesthetic (VAK)], research has shown that children do not process information more effectively when they are educated according to their preferred learning style (Coffield et al., 2004)“*

### 3 Methodik

Zur Beantwortung der Forschungsfrage wurde eine Literaturrecherche durchgeführt. Um ein spezifisches sowie aktuelles Fachwissen aus der Literatur zu gewinnen, fand eine Recherche in Büchern, Fachzeitschriften, elektronischen Datenbanken sowie in Internetportalen statt. Zu den verwendeten elektronischen Datenbanken zählen Pubmed und Science Direct. Die Internetrecherche erfolgte u.a. über Google Scholar. Relevante Artikel zum Bereich Lernen wurden durch Handsuche ermittelt, in entsprechender Fachliteratur wie z.B. „*Neurodidaktik*“ – herausgegeben von U. Herrmann (2009).

Folgende Suchbegriffe wurden verwendet:

- deutsch: Neurodidaktik, gehirn-gerechtes Lernen
- englisch: learning, neurodidactics, brain-based learning, educational neuroscience

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Prinzipien des Lernens auf neurowissenschaftlicher Basis

Caine & Caine (1990) haben auf Basis neurowissenschaftlicher Erkenntnisse 12 Prinzipien vorgeschlagen, wie Lernen und Lehren gehirn-gerecht stattfinden kann. Arnold (2009, p. 189 – 192) hat diese Prinzipien aufgegriffen/erweitert und aktuellen Bezug hergestellt. Im folgenden werden die Prinzipien ins Deutsche übersetzt und deren jeweilige Bedeutung kurz erläutert.

#### 1) Lernen betrifft die gesamte Physiologie.

Neuronenwachstum unterliegt, wie viele andere Bereiche des Körpers, teilweise auch externen Bedingungen. Stress, Angst oder Langeweile wirken hemmend – deshalb ist es wichtig, positive und wertschätzende Lernumgebungen zu schaffen. Als Konsequenz sind auch Maßnahmen zu gesunder Ernährung, Bewegung und Stressmanagement nicht außer Acht zu lassen. (Caine & Caine, 1990, p.66)

#### 2) Das Gehirn ist ein soziales Organ.

Soziale Beziehung stellen einen wesentlichen Faktor im Leben dar. Das Gefühl, angenommen und akzeptiert zu werden, trägt zu lernförderlicher, entspannter Aufmerksamkeit bei („relaxed alertness“). (Arnold, 2009, p. 190)

#### 3) Die Suche nach Sinn/Bedeutung ist angeboren.

Als Suche nach Sinn verstehen Caine & Caine (1990, p. 67) hier die angeborene Fähigkeit, Wahrnehmungen bzw. Erfahrungen zu interpretieren, einzuordnen und tiefer verstehen zu können. Bekannte Stimuli werden registriert, gleichzeitig neue Stimuli gesucht und verarbeitet. Sie beschreiben ein ideales Lernumfeld, das einer ausgewogenen Kombination von Bekannten und Neuem Rechnung trägt (ebenda, p.67):

*„ (...) a learning environment, that provides a stability and familiarity. At the same time, it should be able to satisfy the brain's enormous curiosity and hunger for novelty, discovery and challenge.“*

#### 4) Bedeutungssuche funktioniert über (neuronale) Mustererkennung.

Automatische Mustererkennungsprozesse sind kontinuierlich teil unserer Verarbeitung. Lehrende sollten Material auf eine Weise anbieten, die Lernenden es erlaubt, zugrundeliegende Regeln und Muster (selbstständig) zu begreifen. (ebenda, 1990, p.67) Sehr effektives Lernen findet statt, wenn neue Muster mit vorhandenem Vorwissen verbunden wird (Arnold, 2009, p. 190).

**5) Emotionen spielen bei der Mustererkennung eine wichtige Rolle.**

Caine & Caine (1990, p. 67) legen hier den (untrennbaren) Zusammenhang zwischen Kognition und Emotion dar. Lernprozesse sind laut den Autoren stets beeinflusst von individuellen Einstellungen und emotionaler Färbung zu einem jeweiligen Thema. Ebenfalls verweisen sie auf die förderliche Rolle von positiven Emotionen bei Gedächtnisabrufen.

**6) Das Gehirn verarbeitet Informationen in Teilen und als Ganzes simultan.**

Arnold (2009, p. 191) erläutert hier, dass sich die Aufmerksamkeit des Gehirns sowohl auf das Ganze, als auch auf die Details richtet, um Informationen sinnvoll verarbeiten zu können. Als Konsequenz soll den Lernenden ein Verständnis des Gesamten übermittelt werden, das die Details miteinander verbindet (ebenda, 2009, p. 191).

**7) Lernprozesse erfolgen sowohl über fokussierte Aufmerksamkeit als auch periphere Wahrnehmung.**

Bei diesem Prinzip werden mehrere wichtige Punkte angesprochen. Eine Voraussetzung für Lernvorgänge ist die gelenkte Aufmerksamkeit: das Gehirn bzw. das Gedächtnis absorbiert jene Inhalte, denen eine Person Beachtung schenkt (Caine & Caine, 1990, p. 67f). Zusätzlich werden aber auch jene (peripheren) Stimuli verarbeitet, die außerhalb des momentanen Fokus liegen. Dies spielt vor allem hinsichtlich Gestaltung der Lernumgebung sowie der eigenen (Lehrenden-)Haltung eine Rolle. Speziell fallen in die periphere Wahrnehmung laut den Autoren Sinnesreize wie Geräusche, Temperaturempfindungen, die Gestaltung des Raumes, Lichtverhältnisse, aber auch subtile Veränderungen in Körpersignalen und Ausdruck der lehrenden Person.

**8) Lernen geschieht in bewussten als auch unbewussten Vorgängen.**

Unser Gehirn verarbeitet zahllose Eindrücke gleichzeitig, die meisten auf unbewusster Ebene (ebenda, 1990, p. 68). Es wäre vorteilhaft, diese unbewussten Prozesse ebenfalls miteinzubeziehen (vgl. Punkt 7, periphere Wahrnehmung). Sie gelangen meist mit etwas Verspätung ins Bewusstsein oder beeinflussen uns anderwertig (Lazarov, 1978, zitiert nach Caine & Caine 1990, p. 68):

*„Having reached the brain, this information emerges in the consciousness with some delay, or it influences motives and decisions“.*

**9) Es gibt mindestens zwei Arten von Gedächtnis.**

Eines dient der Speicherung und Archivierung isolierter Fakten, Fertigkeiten und Abläufen. Das andere ist die simultane Aktivierung vielfältiger Systeme, um Erfahrungen

sinnvoll zu verarbeiten. Lernen ist demnach effektiver, wenn Informationen und Erfahrungen verknüpft werden (Arnold, 2009, p. 191).

### **10) Lernen ist entwicklungsabhängig.**

Menschen entwickeln sich unterschiedlich bzw. unterschiedlich schnell. Arnold (2009, p. 192) sieht eine „ (...) *Gruppierung [Lernender] nach Können, nicht nach Alter*“ als beste Voraussetzung für das Lernen.

### **11) Herausforderungen fördern Lernprozesse, Bedrohung wirkt hemmend.**

Exekutivfunktionen werden durch Bedrohung und Angst stark beeinträchtigt. „Relaxed alertness“, d.h. eine entspannte Aufmerksamkeit als Basis für Lernvorgänge, kann nicht hergestellt werden. Motivation, eine herausfordernde Aufgabe zu meistern, bestärkt Lernen.

### **12) Jedes Gehirn ist einzigartig.**

Dieser Punkt erscheint fast selbstverständlich: keine Hirnstruktur ähnelt der anderen. Im besten Fall wird Lernmaterial so angeboten, dass individuelle Lernpräferenzen und Begabungen angesprochen werden.

Zusätzlich zu diesen Grundprinzipien sollen in der Basisbildung auch (neurobiologische) Aspekte des lebenslangen Lernens einfließen. Üben und Wiederholung ist ausschlaggebend, um ein gewissen Level an „Automatizität“ (im Vergleich zu „Kompetenz“) zu erreichen. Wie bei kindlichen Lernprozessen spielt auch bei Erwachsenen Motivation eine wichtige Rolle. Motivation ist bei erwachsenen Lernern gekoppelt mit niedrigeren Drop-out Wahrscheinlichkeiten und kann beispielsweise durch konstruktives Feedback gesteigert werden. Passiver Frontalunterricht könnte für Erwachsene sogar weniger effektiv sein als für Kinder – eine Beschäftigung mit dem zu erarbeitenden Material bzw. die Interaktion mit einem anwesenden Tutor ist daher besonders wichtig. Die Reihenfolge des Lernstoffs sollte im Curriculum mit Bedacht festgesetzt werden: Vorläuferfähigkeiten (wie z.B die phonologische Bewusstheit für den Literacyunterricht) sollen auch für Erwachsene als erstes abgehandelt werden. Es soll auf eine möglichst lärmarme Umgebung geachtet werden. Den Erwachsenen soll die Wichtigkeit von ausreichendem Schlaf für die Gedächtniskonsolidierung bewusst gemacht werden. (Knowland & Thomas, 2014, p. 116f).

Roth (2009, p. 62-76) nennt zudem noch vier Faktoren, die den Lehr- und Lernprozess maßgeblich beeinflussen:

- Motiviertheit und Glaubhaftigkeit des Lehrenden

Dieser Aspekt wird bei Caine & Caine (1990) im Punkt „peripherer Wahrnehmung“ angesprochen. Es geht hier um die unbewusste Analyse des Gesichtsausdrucks, der Prosodie und der Körperhaltung der Lehrperson durch die Lernenden.

- Individuellen kognitiven und emotionalen Lernvoraussetzungen einer Person  
Hiermit sind genetisch determinierte Faktoren wie z.B die Aufmerksamkeitsregelung durch Neuromodulatoren gemeint.
- Die allgemeine Motiviertheit und Lernbereitschaft der Lernenden
- Die spezielle Motiviertheit der Lernenden für einen bestimmten Stoff, Vorwissen und der aktuelle emotionale Zustand
- Der spezifische Lehr- und Lernkontext  
Interessanterweise wird offenbar zu jedem Wissensinhalt, der erworben wird, auch mitgelernt, wer diesen Inhalt vermittelt (Quellengedächtnis) und wann bzw. wo das Lernen (Orts- und Zeitgedächtnis) stattfindet (ebenda, 2009, p. 67).

## 4.2 Ausgewählte Bereiche mit Umsetzungsmöglichkeiten in der Basisbildung

Als Grundsteine für effektives Lernen und professionellen Unterricht gelten folgende drei Komponenten (Caine & Caine, 2004, zitiert nach Arnold, 2009, p. 193):

### 1) Entspannte Aufmerksamkeit („relaxed alertness“) und eine lernförderliche Umgebung

Ein Zustand, der von einem geringen Maß an Angst und einem hohen Maß an Herausforderung geprägt ist. Hier ist das Gehirn für Lernvorgänge bereit, der Lernende erlebt sich als selbstbewusst, interessiert und motiviert. Herrmann (2009, p. 151) weist darauf hin, dass bei einem lehrerzentrierten Frontalunterricht „(...) *alle Gehirne im Gleichschritt funktionieren sollen*“, was natürlich aufgrund der Individualität jedes einzelnen Lernenden Störungspotential mit sich bringt. Er schlägt daher für Konsolidierungsphasen im Unterricht angeleitetes selbstorganisiertes Arbeiten der Schüler oder die Integration von Entspannungsphasen vor.

Zusätzlich beeinflussen Lernumgebungen die Lernenden unbewusst. Hermann (2009, p. 152) spricht sich für Lernorte aus, die dem Schülern Respekt, Wärme und Mitverantwortung signalisieren.

Umsetzungsmöglichkeiten in der Basisbildung:

- Selbststudienaufträge vereinbaren, die abschließend im Plenum besprochen werden
- Stressbewältigungsstrategien gemeinsam ansprechen oder erarbeiten
- Entspannungsverfahren wie progressive Muskelentspannung nach Jacobson etc.
- Pausenplanung: ev. kleine Snacks wie z.B. Walnüsse anbieten – sie beinhalten Tryptophan, eine Aminosäure, die bei der Verbesserung des Gedächtnisses eine

Rolle spielt (Haider et al., 2011, p. 339). Auch Flavonoid-reiche Lebensmittel wie grüner Tee oder Heidelbeeren unterstützen die Gedächtnisbildungsprozesse im Hippocampus (Rendeiro, 2012, p. 255f).

- Leise Musik im Hintergrund bei Routineaufgaben
- Die Lernenden haben öfter die Möglichkeit, ihre eigene Arbeit zu korrigieren – sie dürfen ihre Antworten mit einem Lösungsblatt vergleichen. Dies regt Kursteilnehmende eher dazu an, über ihre Fehler zu reflektieren und sie zu verstehen (Jenkins, 2018, p. 70).
- Der Lernort wird personalisiert: Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer erstellen ein Vorstellungsblatt (A4) von sich.  
Es sollen darauf kurz Alter, Hobbies, Familie, Herkunftsland, Muttersprache etc. beschrieben sein. Im Kurs wird noch ein Foto gemacht, wenn die Lernenden das möchten. Diese Blätter werden besprochen und im Gruppenraum aufgehängt.
- Je nach Themenkomplex werden im Gruppenraum dazu passende Plakate aufgehängt bzw. Objekte mitgebracht.

## **2) Geordnete Vertiefung in komplexe Erfahrungen („orchestrated immersion in complex experiences“)**

Erfahrungen bedingen Lernvorgänge im menschlichen Gehirn – Sinneswahrnehmungen wie Gehör, Geschmack und Bewegung sind also Teil des Lernens. Diesen Erfahrungen wird Bedeutung zugeschrieben. Im idealen Fall wird es Lernenden ermöglicht, neue Erfahrungen mit bereits Bekanntem zu verknüpfen. Arnold (2009, p. 194) betont, dass es für den Einbezug der Sinne, Herstellungen von Verknüpfungen zu bereits Gelerntem und der Anwendung des neuen Wissens keine vorgeschriebene Reihenfolge gibt – *„bei jeder komplexen Erfahrung geschehen alle drei Abläufe gleichzeitig“*.

Umsetzungsmöglichkeiten in der Basisbildung:

- Das Wortfeld Lebensmittel/Essen eignet sich gut, es auf vielfältige Art aufzubereiten. Die Bezeichnungen für verschiedene Lebensmittel, welche die Teilnehmerinnen und Teilnehmer angreifen, riechen und schmecken können, bleiben eher im Gedächtnis. Es bietet sich auch an, gemeinsam ein einfaches Gericht zu kochen. Hier können Verben des Kochens gleich mit den dazugehörigen Bewegungen verbunden werden (umrühren, wiegen, etc.).
- Das Wortfeld Wohnen im Möbelgeschäft: die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bekommen die Aufgabe, Möbel für eine neue Wohnung zu besorgen. Gemeinsam wird eine Liste von Möbeln zusammengestellt. Im Geschäft können sie die Begriffe festigen, in dem sie die Objekte sehen, angreifen, probesitzen, etc. können. Weiterführend kann mit Preisen, Budget etc. gearbeitet werden.



- Größenmaße: Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer können die Größe des Raums schätzen, dann wird er gemeinsam durch Schritte abgegangen/kontrolliert. Sie können sich nach der Körpergröße von groß bis klein aufstellen, etc.
- Multimediale Stimuli dienen als Einstieg in neue Themen (kurze Filmsequenzen, Comics, Bilder...), es wird im Brainstorming gesammelt, was die Kursteilnehmerinnen und -teilnehmer über das aktuelle Thema bereits wissen. Es gibt offenbar einen sogenannten „Picture superiority effect“, d.h. Bilder können im Gedächtnis besser abgerufen werden als Wörter (Paivio 1971, zitiert nach Hardiman et al., 2014, p. 145).
- Die Kursteilnehmerinnen und -teilnehmer tauschen sich in Kleingruppen über Einspeicherungshilfen aus („Diese Formel/diese Vokabel merke ich mir, indem ich...“). Kleingruppenarbeit stellt auch eine „distinkte Episode“ dar, die im Sinne des Quellengedächtnisses (siehe Kapitel 4.1) als Abrufhilfe fungieren kann. (Brand & Markowitsch, 2009, p. 82).

### 3) Aktive Verarbeitung von Erfahrungen („active processing of experience“)

Bedeutungstragendes wird von den Lernenden nachhaltiger gespeichert. Aktiv angewandtes Wissen durch Feedback, Finden und Vergleichen von Merkmalen und Beziehungen, Denken in Aktivitäten und Treffen von Entscheidungen im Austausch mit anderen, fördert die Konsolidierung im Gedächtnis. Das limbische System kann hierbei als zentrales „Bewertungssystem“ des Gehirns bezeichnet werden. Jede Situation wird dahingegen beurteilt, ob sich das Zuhören, Lernen, Üben tatsächlich lohnt bzw. ob etwas lustvoll/gut/vorteilhaft war und wiederholt werden sollte (Herrmann, 2009, p. 160). Ebenfalls gilt das Erzählen von Verstandenem als Erklärung einem anderen Gegenüber als große Gedächtnisstütze – hierbei wird auch die eigene neuronale Strukturierung differenziert (ebenda, 2009, p. 161).

Umsetzungsmöglichkeiten in der Basisbildung:

- Der Lernstoff hat Alltagsrelevanz im Leben der Lernenden, das Material kommt aus dem Alltag der Lernenden (Briefe, Rechnungen, Wohnungsanzeigen...).
- Lernende erzählen ihren Kurskolleginnen und -kollegen von eigenen Erfahrungen, die sie im Alltag gemeistert haben, z.B ein Behördengang bei einer Wohngenossenschaft.
- Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer werden vor eine (theoretische) Aufgabe gestellt, z.B. sollen sie einen Ausflug nach Wien planen. Sie sollen die Planung so detailliert wie möglich erfassen (Verkehrsmittel, Sehenswürdigkeiten, Budget...). Hier kommt die Anwendung einer Vielzahl an Kompetenzen zum Tragen.
- „Effort after meaning“ (Jenkins, 2018, p. 69): Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer bilden Zweiergruppen. Sie erhalten drei Minuten Zeit, eine Erklärung zu einer Frage

zu formulieren, z.B. warum manche Bäume im Herbst die Blätter verlieren. Diese Antwort sollen sie im Plenum kurz ausführen.

- Am Ende der UE bekommen die Teilnehmerinnen und Teilnehmer ein „Ein-Minuten-Papier“. Hier können sie in einer Minute alles notieren, was Ihnen von den UE an diesem Tag als besonders wichtig erschienen ist. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, dass Teilnehmerinnen und Teilnehmer (anonym) eine Frage notieren können, bzw. einen Begriff, den sie noch einmal erklärt haben möchten. Diese Fragen werden gesammelt und von der Lehrperson in den nächsten Einheiten aufgegriffen.

## 5 Diskussion und Schlussfolgerung

Die Forschungsfrage „Wie können neurodidaktische Prinzipien in der Planung von Basisbildung miteinbezogen werden, um Lernprozesse optimal zu unterstützen?“ wurde im Ergebnisteil behandelt. Es konnten einige exemplarische Umsetzungsmöglichkeiten gefunden werden. Das Hintergrundwissen zur Neuroanatomie des Lernens kann auf vielfältige Weise in die Unterrichtsaktivität der Basisbildung einfließen.

Wie die Studien von Dekker et al. (2012) und Krammer et al. (2019) zeigen, überwiegen bestimmte Neuromythen auch bei Lehramtsstudentinnen und -studenten. Wohl auch aus einem übereifrigen Zugang heraus, Lernen auf biologischer Ebene zu verstehen, wie van der Meulen et al. (2015, p.230) konstatieren. Das zeigt, dass am Einwirken neurowissenschaftlicher Forschung und deren Transfermöglichkeiten in den Unterrichtsalltag durchaus Interesse unter Pädagoginnen und Pädagogen bzw. Lehrpersonen besteht. Eine Beschäftigung mit diesem Thema wäre wichtig für alle jene Personen, die Lehrfunktionen innehaben.

Es hat sich gezeigt, dass Kenntnisse über Neuroanatomie und Lernprozessen für Lehrende ausschlaggebend sind, um „Neuromythen“ kritisch hinterfragen zu können. Wie Dekker (2012) es formuliert: *„(...) neuroscience literacy (i.e., a general understanding of the brain) may protect against incorrect ideas linking neuroscience and education.“*

Varma et al. (2008, p. 141) haben systematisch Bedenken und Möglichkeiten der Neurodidaktik aufgelistet. Im folgenden sollen einige ausgewählte Punkte kommentiert werden. Korrekterweise stellen die Autoren fest, dass die Methoden der Neurowissenschaften einigen pädagogisch wichtigen Aspekten kaum Zugang bietet (z.B dem Phänomen des (Lern-)kontexts. Des weiteren ist die Überprüfung von Thesen mittels neurowissenschaftlicher Methoden (Bildgebung des Gehirns) mit beträchtlichen Kosten verbunden. Alferink & Farmer-Dougan (p. 49) weisen zudem darauf hin, dass über die genauen Hirnaktivitäten auch trotz bildgebender Untersuchungen keine genauen Aussagen über Zusammenhänge getroffen werden können:

*„Finally, it is critical to understand that techniques such as PET scans and fMRI techniques simply correlate brain activity with behaviors such as solving a problem in algebra or reading a page (Epstein, 2008). Like all correlations, one cannot conclude that the brain activity causes the problem solving, or for that matter, that the reading or problem solving causes the localized brain activity, as both may be linked to other variables“*

Es scheint aktuell nicht rentabel, diese Bildgebungsmethoden für pädagogische Forschungsfragen heranzuziehen. Ebenso sei nicht klar, ob neurowissenschaftliche

Prozesse bereits ausreichend gedeutet werden können, um sie in die Pädagogik transferieren zu können. Letztlich sprechen Varma (2008, p. 141) noch einen wichtigen Punkt an: missinterpretierte Forschungsergebnisse bieten die Gefahr, sich zu Neuromythen zu entwickeln.

Insgesamt scheint die Neurodidaktik viele Punkte aufzugreifen, die empirisch schon lange Wirkung zeigten (Alferink & Farmer-Dougan, 2010, p. 50). Zusammenfassend kann nun evidenzbasiert begründet und bestätigt werden, „(...) *was gute Pädagogen schon immer wussten* (...)“, wie Herrmann (2009, p. 168) es formuliert. Besonders in der Erwachsenenbildung ist die Neurodidaktik jedoch hervorzuheben, da sie sich immer auf die Plastizität des Gehirns stützt. Diese Plastizität ist ein essentielles Argument, das den Sinn und Nutzen lebenslangen Lernens, und somit auch der Basisbildung und Alfabetisierung, bekräftigt (Knowland & Thomas, 2014, p. 117).

*„(...) neuroscience confirms that learning is a lifelong activity and that the more it continues the more effective it is.“* (OECD, 2007, p. 5).

Abschließend zeigte die Recherche zu dieser Arbeit, von wievielen Faktoren Lernprozesse abhängig sind. Während manche unbewusst ablaufen, können manche sehr wohl von außen beeinflusst werden. Die Lernumgebung kann ansprechend gestaltet werden, um auch die periphere Wahrnehmung miteinzubeziehen. Zu Beginn einer neuen Lehreinheit dient ein Grob-Überblick dazu, an eventuell vorhandenes Vorwissen anzuknüpfen, und den Inhalt strukturiert anzubieten. Dazu können Primingeffekte für spätere, erleichterte Wiedererkennungsleistungen genutzt werden. Sich die eigene Haltung im Unterricht bewusst zu machen ist ebenfalls ein wichtiger Aspekt. Durch unbewusste Wahrnehmungsprozesse die innerhalb kürzester Zeit ablaufen, kann die Motivation bzw. Unterrichtshaltung einer Lehrperson detektiert werden. Der Unterricht sollte keine Unterforderung sein, sondern sich zwischen Phasen positiver Anstrengung und Entspannungs-/Konsolidierungsphasen abwechseln. Eine positive, stressfreie und motivierende Lernumgebung sollte die Grundlage eines jeden Basisbildungsangebots sein.

Die Neurodidaktik erhebt nicht den Anspruch, das einzig wahre Rezept für gelungenen Unterricht zu bieten. Vielmehr geht es darum, ein grundlegendes Bewusstsein für den Ablauf des Lernens aus neurobiologischer Sicht zu schaffen und teils bereits bekanntes, empirisches Wissen evidenzbasiert aufzuarbeiten. Aus diesem grundlegenden Wissen über Lernprozesse heraus können die Prinzipien der Neurodidaktik auf vielfältige Art und Weise in die Basisbildung integriert werden.

## Literaturverzeichnis

- Alferink, L. A., & Farmer-Dougan, V. (2010). Brain-(not) based education: Dangers of misunderstanding and misapplication of neuroscience research. *Exceptionality*, 18(1), 42-52.
- Arnold, M. (2009). Brain-based Learning und Teaching – Prinzipien und Elemente. In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.) *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. Weinheim und Basel: Beltz, 182-195.
- Bruer, J. T. (1997). Education and the brain: A bridge too far. *Educational researcher*, 26(8), 4-16.
- Caine, R. N., & Caine, G. (1990). Understanding a brain-based approach to learning and teaching. *Educational leadership*, 48(2), 66-70.
- Coffield, F., Moseley, D., Hall, E., and Ecclestone, K. (2004). *Learning Styles and Pedagogy in Post-16 Learning. A Systematic and Critical Review*. London: Learning and Skills Research Centre.
- Dekker, S., Lee, N. C., Howard-Jones, P., & Jolles, J. (2012). Neuromyths in education: Prevalence and predictors of misconceptions among teachers. *Frontiers in psychology*, 3.  
[https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2012.00429/full?source=post\\_page-.....](https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpsyg.2012.00429/full?source=post_page-.....) (Zuletzt abgerufen am 11.10.2020)
- Gilmore, C. K., McCarthy, S. E., and Spelke, E. S. (2007). Symbolic arithmetic knowledge without instruction. *Nature* 447, 589-592.
- Grein, M. (2019). DIE Methode des Fremdsprachenlernens? Berücksichtigung von Lernstilen und Einflussfaktoren als Fachkompetenz. In: Ersch, Christina Maria (Hrsg.) *Kompetenzen in DaF / DaZ*. Berlin: Frank & Timme, 69-101.
- Haider, S., Batool, Z., Tabassum, S., Perveen, T., Saleem, S., Naqvi, F., ... & Haleem, D. J. (2011). Effects of walnuts (*Juglans regia*) on learning and memory functions. *Plant Foods for Human Nutrition*, 66(4), 335-340.
- Hardiman, M., Rinne, L., & Yarmolinskaya, J. (2014). The effects of arts integration on long-term retention of academic content. *Mind, Brain, and Education*, 8(3), 144-148.
- Herrmann, U. (2009). Neurodidaktik – neue Wege des Lehrens und Lernens. In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.) *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. Weinheim und Basel: Beltz, 9-16.

- Jenkins, R. T. (2018). Using educational neuroscience and psychology to teach science. Part 2. A case study review of 'The Brain-Targeted Teaching Model' and 'Research-Based Strategies to Ignite Student Learning'. *School Science Review*, 100(371), 66-75.
- Kaufmann, S., Zehnder, E., Vanderheiden, E., Frank, W. (2008). *Fortbildung für Kursleitende Deutsch als Zweitsprache: Didaktik, Methodik* (Vol. 2). Hueber Verlag.
- Kleim, J. A., & Jones, T. A. (2008). Principles of experience-dependent neural plasticity: implications for rehabilitation after brain damage. *Journal of speech, language, and hearing research*, 51, 225-293.
- Knowland, V. C., & Thomas, M. S. (2014). Educating the adult brain: How the neuroscience of learning can inform educational policy. *International Review of Education*, 60(1), 99-122.
- Krammer, G., Vogel, S.E., Yardimci, T. et al. (2019). Neuromythen sind zu Beginn des Lehramtsstudiums prävalent und unabhängig vom Wissen über das menschliche Gehirn. *Zeitschrift für Bildungsforschung* 9, 221-246.
- Kron, F. W. (2004). *Grundwissen Didaktik*. München: Reinhardt.
- Kweldju, S. (2019). Educational neuroscience for second language classrooms. *J-ELLiT (Journal of English Language, Literature, and Teaching)*, 3(2), 1-9.
- Lozanov, G. (1978). *Suggestology and Suggestopedia – Theory and Practice*. Working document for the Expert Working Group, United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO).
- OECD (2007). *Understanding the Brain: The Birth of a Learning Science*, OECD, Paris.
- Paivio, A. (1971). *Imagery and verbal processes*. New York, NY: Holt, Rinehart, & Winston.
- Petitto, L. A., & Dunbar, K. (2004). New findings from educational neuroscience on bilingual brains, scientific brains, and the educated mind. In *Conference on Building Usable Knowledge in Mind, Brain, & Education*, 1-20.
- Rendeiro, C., Guerreiro, J. D., Williams, C. M., & Spencer, J. P. (2012). Flavonoids as modulators of memory and learning: molecular interactions resulting in behavioural effects. *Proceedings of the Nutrition Society*, 71(2), 246-262.
- Roth, G. (2009). Brain-based Learning und Teaching – Prinzipien und Elemente. In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.) *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. Weinheim und Basel: Beltz, 58-85.

- van der Meulen, A., Krabbendam, L., & de Ruyter, D. (2015). Educational neuroscience: Its position, aims and expectations. *British Journal of Educational Studies*, 63(2), 229-243.
- Varma, S., McCandliss, B. D., & Schwartz, D. L. (2008). Scientific and pragmatic challenges for bridging education and neuroscience. *Educational researcher*, 37(3), 140-152.
- Watagodakumbura, C. (2017). Principles of Curriculum Design and Construction Based on the Concepts of Educational Neuroscience. *Journal of Education and Learning*, 6(3), 54-69.
- Schumacher, R. (2009). Neurodidaktik – neue Wege des Lehrens und Lernens. In: Herrmann, Ulrich (Hrsg.) *Neurodidaktik. Grundlagen und Vorschläge für gehirngerechtes Lehren und Lernen*. Weinheim und Basel: Beltz, 124-133.

## **Tabellenverzeichnis**

Tabelle 1, p. 9: Neuromythen

## **Abbildungsverzeichnis**

Deckblatt: lizenzfreie Abbildung <https://pixabay.com/de/vectors/anatomie-axone-biologie-gehirn-2952567/> (zuletzt abgerufen am 24.11.2020)