

Mit Hirnforschung das Lernen sichtbar machen? –
Aktueller Forschungsstand kritisch betrachtet

LERNPRAKTIKEN REFLEKTIEREN & DIDAKTIK GESTALTEN

Die Hirnforschung, auch Neurowissenschaften genannt, wird in vielen Fachgebieten angewendet, um Zusammenhänge zwischen den Prozessen und Strukturen des Gehirns einerseits und den für das jeweilige Fachgebiet relevanten Prozessen andererseits sichtbar zu machen. Dies gilt für die Medizin ebenso wie für die Psychologie und die Sozialwissenschaften. In den Bildungswissenschaften ist es nicht anders. Im englischsprachigen Raum wird für dieses in den 2000er-Jahren aufkommende Forschungsfeld der Begriff „educational neuroscience“ verwendet. Auch von „neuroeducation“ und „neuroscience and education“ wurde gesprochen. Im deutschsprachigen Raum werden dazu die Begriffe „Bildungsneurowissenschaften“ oder „Neurodidaktik“ verwendet. Fachverbände oder Gesellschaften, die sich ausschließlich diesem Thema widmen, sind dort nicht stark etabliert. In Arbeitsgruppen, Zentren und Forschungseinrichtungen wird jedoch zu diesem Thema geforscht.

Ziel der Bildungsneurowissenschaften ist, Zusammenhänge zwischen Lernprozessen und Hirnaktivität beziehungsweise -struktur, oder anderen neuronalen Prozessen sichtbar zu machen. Es kommen moderne bildgebende Verfahren zum Einsatz, die Struktur, neurophysiologische Aktivität oder chemische Prozesse des Gehirns aufzeigen. In der Neurodidaktik sollen Erkenntnisse über Gehirnprozesse beim Lernen die Entwicklung didaktischer Konzepte unterstützen.

Bildungsneurowissenschaften sind interdisziplinär. Sie verbinden unter anderem Physik, Chemie, Neuroanatomie, Biologie, Physiologie, Statistik, Psychologie sowie Bildungs-, Lern-, und Erziehungswissenschaften. Das „Sichtbarmachen“ bezieht sich auf die Darstellung von Zusammenhängen zwischen der Verhaltensebene (beim Lernen) und Messungen des Gehirns.

Die Messungen des Gehirns basieren auf erfassbaren Signalen, von denen die Forschung zeigt, dass sie mit neurophysiologischen Vorgängen oder neuroanatomischen Eigenschaften im Gehirn zusammenhängen. Meistens handelt es sich dabei nicht um direkte, sondern um indirekte Messungen. Das heißt, es stecken viele Annahmen in dem, was gemessen wird. Betrachtet man das Beispiel der funktionellen Magnetresonanztomographie (fMRT), zeigt sich dies besonders deutlich. Bei der fMRT wird eine Person in das starke Magnetfeld des Tomographen (Scanner) gelegt und führt währenddessen eine Aufgabe, zum Beispiel eine Lernaufgabe, mittels eines visuellen Displays und Tasters aus. Im Scanner wird ein elektromagnetischer Puls erzeugt, der das Magnetfeld ähnlich wie ein Radiosender auf atomarer Ebene das Magnetfeld kurz aus dem Gleichgewicht bringt. Nach diesem kurzen Moment der Instabilität sorgt das starke Magnetfeld dafür, dass das Gleichgewicht auf atomarer Ebene wiederhergestellt wird und sich die Atome erneut ausrichten. Dabei senden die Atome einen elektromagnetischen Puls aus, der ähnlich wie bei einem Radioempfänger von einem Sensor gemessen werden kann. Dies funktioniert bei Eisenatomen, die auf das

magnetische Feld reagieren, wenn sie sich in venösem Blut, also Blut, das Sauerstoff abgegeben hat, befinden. In arteriellem Blut, in dem der Sauerstoff am Eisen gebunden ist, funktioniert dies nicht. Das gemessene Signal gibt somit einen Hinweis darauf, wie viel Sauerstoff im Blut vorhanden ist. Ein hoher Sauerstoffverbrauch liegt dann vor, wenn die lokale neuronale Aktivität im Gehirn erhöht ist. Solche physiologischen Prozesse geben somit indirekt einen Hinweis auf die neuronale Aktivität, wenn sie über die Zeit gemessen werden und der Verlauf des Blutflusses zu den neuronal aktiven Gebieten verfolgt wird. Um jedoch Vergleiche zwischen aktiven und weniger aktiven Bedingungen zu ziehen, sind weitere statistische Verfahren notwendig.

WAS BRINGT HIRNFORSCHUNG FÜR DIE BILDUNG?

Warum sage ich das alles? Der Grund ist, dass Aussagen zu Ergebnissen der Bildungsforschung in populärwissenschaftlicher Literatur oder in den Medien häufig mit Hirnforschung plausibilisiert werden. Mit Aussagen wie „die Hirnforschung zeigt...“ werden Behauptungen als glaubwürdiger verkauft. Die Leser sollen davon überzeugt werden, dass Aussagen zum Lernen oder zur Bildung einen höheren Wahrheitsgehalt haben. Manchmal wird dabei nur ein bunt gefärbtes Gehirn gezeigt, das ohne Beleg und ohne Kontext mit einem bildungsrelevanten Prozess in Verbindung gebracht wird. Es wird besonders kritisch, wenn neurowissenschaftliche Ergebnisse dazu genutzt werden, um Maßnahmen zu rechtfertigen oder um Schlussfolgerungen für Lernprozesse zu ziehen: „Weil die Hirnforschung es zeigt, sollten wir folgende Maßnahmen ergreifen“ oder „Die Hirnforschung zeigt, wie wir besser lernen“. In diese Kategorie fällt auch der weitverbreitete Begriff „gehirngerechtes Lernen“. Er wird der Bestsellerautorin Vera F. Birkenbihl zugeschrieben, aber auch von renommierten Neurowissenschaftlern wie Manfred Spitzer geprägt. Er setzt sich für „gehirngerechtes Lernen an

unseren Schulen“ ein (Spitzer 2007). Damit sind Schulen in Deutschland gemeint, die in der PISA-Studie in den 2000er-Jahren kritisch betrachtet wurden. In seinem Buch „Lernen: Gehirnforschung und die Schule des Lebens“ vertritt Spitzer die These, dass sich aus Erkenntnissen der Neurowissenschaften „Schlüsse ziehen lassen, die von konkreten Hinweisen, was an Schulen zu tun oder zu lassen ist, bis zu allgemeinen Überlegungen für eine menschengerechte Gesellschaft reichen“ (Spitzer 2007, S. 17). Das ist eine steile These. Der Begriff gehirngerechtes Lernen hat in der Pädagogik und der Erwachsenenbildung jedoch viel Anklang gefunden. Er wurde zum Label für gute Didaktik. Eine bestimmte Didaktik soll besser sein als eine andere, weil dies die Hirnforschung gezeigt haben soll.

NUTZEN UND GRENZEN DER HIRNFORSCHUNG

Das Problem bei solchen Aussagen ist jedoch, dass die Bildungsneurowissenschaften lediglich zeigen, wie das Gehirn auf eine bestimmte Aufgabe reagiert. Dabei wird keine Wertung darüber vorgenommen, ob das Lernen gut oder schlecht ist. Es sagt nichts über den Lernprozess selbst aus. Nur in den seltensten Fällen werden die Zusammenhänge genutzt, um Vorhersagen über Lernvorgänge zu überprüfen. Zudem wurden die neuronalen Mechanismen des Lernens und nicht des Lehrens untersucht. Letzteres ist jedoch das Kernthema der Lehrpersonenbildung und der Didaktik.

Somit stellt sich die Frage, ob Erkenntnisse der Neurowissenschaft genutzt werden können, um die Didaktik zu verbessern. Mit anderen Worten: Wie handlungsleitend ist die Hirnforschung in der Bildung? Lässt sich ein Vergleich mit Hatties Aussagen zum Sichtbarmachen des Lernens ziehen, der sowohl die Lernenden als auch die Lehrenden und ihre Interaktion berücksichtigt? Dieser Beitrag soll einige Perspektiven aufzeigen und anhand von Beispielen den Nutzen und die Grenzen der Hirnforschung beim Verständnis von „gutem Lernen“ vertiefen.

GIBT ES NICHT-GEHIRNGERECHTES LERNEN?

Diese Frage ist etwas unfair. Natürlich kann man nicht lernen, ohne das Gehirn zu nutzen. Selbst das „Muskelgedächtnis“ ist im Gehirn verankert. Besser ist die Frage, ob die Ressourcen des Gehirns in einer Lernsituation besser genutzt werden können als in einer anderen. Sind die didaktischen Rahmenbedingungen so gestaltet, dass das Gehirn ausreichend gefordert, aber nicht überfordert ist, um Informationen zu verarbeiten und Lernprozesse in Gang zu setzen?

Um zu verstehen, wie die Ressourcen des Gehirns für das Lernen genutzt werden können, ist es wichtig zu wissen, wie das Gehirn lernt. Eine umfassende Übersicht würde hier zu weit führen. Außerdem wissen wir noch lange nicht, wie das Gehirn tatsächlich lernt. Wir können jedoch versuchen, didaktische Schlussfolgerungen aus den neurowissenschaftlichen Befunden zu ziehen.

Wir können auch fragen, was gutes Lernen ausmacht und ob es Hinweise darauf gibt, dass die Ressourcen des Gehirns in Settings, in denen Lernen gut gelingt, besser genutzt werden als in Settings, in denen Lernen nicht gut gelingt.

Schließlich können wir erörtern, ob die Befunde auf alle Lernenden und alle Lehrenden zutreffen, ob sich individuelles Lernen vorhersagen und ob sich Hirnaktivität direkt zur Steuerung von Lernprozessen nutzen lässt. Der Schlüsselbegriff hierfür ist Neurofeedback.

WIE LERNT DAS GEHIRN?

Die Auflistung von drei Beispielen in denen neuronale Mechanismen des Lernens vorgestellt werden, ist nicht umfassend. Sie zeigt die Dimensionen der Faktoren, die für das Lernen des Gehirns bedeutsam sind. Die Beispiele betreffen das Belohnungssystem, die Ressourcennutzung bei Automatisierung sowie das Filtern von Informationen.

1. Das Belohnungssystem

Das Gehirn verfügt über ein ausgeprägtes und elaboriertes Belohnungssystem. Verschiedene Gehirnregionen, die mit spezifischen Neurotransmittern arbeiten, bilden ein Netzwerk, das auf bestimmte Reize, die als belohnend klassifiziert werden können, reagieren kann. Diese Systeme sind eng mit der Motivation verbunden. Das Gehirnvolumen, das sich mit der Belohnungsverarbeitung beschäftigt, ist bei kleineren Säugetieren, wie Nagetieren, proportional deutlich größer als bei Menschen. Dies spiegelt deren evolutionäre Bedeutung bei kleineren Säugetieren wider. Aus evolutionärer Sicht ist es plausibel anzunehmen, dass diese Mechanismen zum Überleben von Spezies beitragen. So können beispielsweise Nahrungsquellen als belohnend empfunden und Gefahren erkannt und erlernt werden. Auch die Wege zu den Nahrungsquellen sowie die Fluchtwege bei Gefahr können entsprechend erlernt werden. Studien zum Zusammenhang zwischen Lernen und Gehirn werden maßgeblich durch Tierversuche geprägt. Bekannte Beispiele sind Konditionierungsstudien, in denen Tiere durch die gleichzeitige Stimulation eines neutralen und eines negativen (zum Beispiel eines schmerzhaften) Reizes eine Assoziation herstellen. Dadurch lernen sie, auf den neutralen Reiz mit einem Schreckverhalten zu reagieren (klassische Konditionierung). Bei einer Variante, die als operationale oder operante Konditionierung bezeichnet wird, wird zufälliges Verhalten durch Belohnung zu persistierendem Verhalten. Weiterführende Beispiele sind Tierforschungs-Experimente, in denen Nagetiere bei der Suche nach Nahrung in einem Labyrinth lernen, sich zu orientieren. In der internen Landkarte, die diese Nagetiere entwickeln, sind Orte repräsentiert, die mit Orientierungspunkten auf dem Weg zur Nahrung verknüpft sind. Nagetiere scheuen nicht davor zurück, immer wieder und immer effizienter den Weg zur Nahrung zu verfolgen, um damit das Belohnungssystem zu aktivieren. Das hängt auch damit zusammen, dass das Belohnungssystem neurochemische Prozesse auslöst, die

sich positiv auf das Wohlbefinden auswirken. Wenn das Belohnungssystem jedoch gestört wird, wirkt sich das negativ auf das Lernverhalten in solchen Situationen aus. Dies weist darauf hin, dass diese Gehirnregionen für das Lernen notwendig sind. Wir wissen, welche Gehirnregionen die Orientierungspunkte auf der internen Landkarte repräsentieren, darunter der Hippocampus (Epstein et al. 2017). Ebenso ist bekannt, welche Gehirnregionen aktiv werden, wenn belohnende Nahrung gefunden wird (unter anderem der präfrontale Kortex, das ventrale Tegmentum und der Nucleus accumbens) (Schultz 2000). Diese Regionen sind bei Nagetieren und Menschen ähnlich.

In der Didaktik wird die Belohnung häufig und effektiv eingesetzt. Es ist jedoch umstritten, sie direkt anzuwenden. Belohnungen werden bei Lernenden in der Form von Noten oder sozialer Anerkennung eingesetzt. Das Feedback-System basiert ebenfalls auf diesem Prinzip. Lernende profitieren davon, wenn sie die Gelegenheit haben, ihr eigenes Wissen regelmäßig zu prüfen und ihren Wissenszuwachs zu verfolgen. Positives Feedback verstärkt die Assoziationen zwischen wahrgenommenen Reizen und Verhalten. Negatives Feedback schwächt die Assoziationen zwischen wahrgenommenen Reizen und Verhalten. Sowohl positives als auch negatives Feedback haben eine Wirkung auf das Belohnungssystem und modulieren das Lernen. Während positives Feedback dopaminerge Regionen im Belohnungssystem aktiviert und somit wie eine Belohnung wirkt, löst negatives Feedback ein Signal im Belohnungssystem aus, das das Verhalten korrigiert (Daniel/Pollmann 2014).

Erwähnenswert ist, dass das Monitoring des Lernerfolgs ähnliche Aktivitäten im Belohnungssystem auslöst wie eine externe Belohnung (Ripolles et al. 2016). Allein das derart sichtbar gemachte Lernen kann belohnend wirken und zum Wohlbefinden beitragen (Blain/Rutledge 2020). Daran geknüpft ist das Phänomen, dass intrinsische Motivation als potenziell wertvoller für das Lernen betrachtet wird als extrinsische Motivation.

Einige Studien haben gezeigt, dass das Lernen langfristig erfolgreicher ist und zu einem höheren Transfer des Gelernten beiträgt, wenn Belohnungsreize nicht sofort erscheinen und die einzige Handlungsleitung für das Lernen sind. Während eine schnelle Belohnung das Gewohnheitslernen verstärken kann, kann eine verzögerte Belohnung langfristig von Vorteil sein. Reize können auch tiefer verarbeitet werden. Lernende haben so die Gelegenheit, alternative Lösungswege zu finden und damit interne Belohnungsreize zu erzeugen. Interne Repräsentationen können besser genutzt werden, und das neu Erlernte knüpft an ältere Repräsentationen an. Die interne Selbstkontrolle ist höher und sagt die schulische Leistung vorher (Duckworth et al. 2013). Mit anderen Worten, das Belohnungssystem spielt eine wichtige Rolle beim Lernen und repräsentiert gewissermaßen eine alte Form des Lernens. Lernstrategien, gute didaktische Settings, wirksame Haltung einer Lehrperson, die an individuelles Lernen anknüpfen, werden damit jedoch nicht erklärt. Die Prinzipien und Evidenz guter Didaktik knüpfen an der Praxis an, die sich in der experimentellen Hirnforschung nicht gut untersuchen lässt. Wir können beispielsweise erraten, dass der Präfrontalkortex und seine Verbindung mit dem Belohnungssystem bei der Verarbeitung von verzögerten Belohnungen eine Rolle spielen (Luerssen et al. 2015). Eine Aussage darüber zu treffen, wie komplexe didaktische Massnahmen für das Gehirn optimiert werden können, geht jedoch zu weit.

2. Ressourcennutzung durch Automatisierung

Das Gehirn erhält sehr viele Informationen aus unterschiedlichen Sinneskanälen, die es zu verarbeiten hat. Eine der zentralen Eigenschaften des Gehirns ist die Fähigkeit, zu filtern und Ressourcen zu optimieren: Was ist es wert, Energie zu investieren, und was nicht? Das Lernen ist dabei sowohl Mittel als auch Zweck. Durch das Lernen können wir besser Relevantes von Irrelevantem unterscheiden. Es sind zwei Phänomene zu be-

leuchten. Das erste Phänomen betrifft das Priming, das zweite die Selektion durch Filterung.

Priming ist Grundlage für die Automatisierung von Gelerntem. Neue, relevante Informationen beanspruchen deutlich mehr Ressourcen als bereits verarbeitete Reize. Durch Wiederholung nimmt die Aktivität ab. Dieser Effekt wird als neuronales Priming bezeichnet. In der Hirnforschung gilt dies bereits als Hinweis auf einen Lernerfolg: Wenn ein Reiz wiederholt und eine veränderte Aktivität wahrgenommen wird, zeigt das, dass das Gehirn diesen Reiz in der ersten Situation anders und weniger effizient verarbeitet hat als in der wiederholten Situation. Es hat „gelernt“ (Turk-Browne et al. 2006). Reize werden bei Wiederholung schneller verarbeitet (Priming durch Wiederholung). Es kann auch sein, dass bei einer Wiederholung mehr Aktivität ausgelöst wird. Solche Situationen sind selten und treten auf, wenn Erinnerungen abgerufen werden, die mit dem Reiz verknüpft sind. Dies kann beispielsweise in einer Testsituation der Fall sein, in der die Frage gestellt wird, ob diese Information bereits bekannt ist.

In der Didaktik wird das Priming genutzt, um Automatismen zu erzeugen. Sind diese vorhanden, kann auf das Wissen aufgebaut werden, das heißt, es werden Ressourcen freigesetzt, um sich auf Aufgaben zu konzentrieren, die vorher wenig zugänglich waren (Servant et al. 2018; Sweller et al. 1998). In der Didaktik wird die Testsituation genutzt, um Gelerntes zu reaktivieren und zu festigen oder um Feedbacksituationen zu erzeugen. Wir wissen, dass reaktiviertes Wissen sich langfristig besser festigt als nicht reaktivier-

Autor |



Prof. Dr. Peter Klaver,
Leiter Zentrum Forschung
und Wissenstransfer an der
Interkantonalen Hochschule
für Heilpädagogik in Zürich
peter.klaver@hfh.ch

tes Wissen (Butler/Roediger III 2007). Die unterliegenden Mechanismen scheinen jedoch abzuweichen von der reinen Reaktivierung der gleichen Muster von Hirnaktivität in einer Testsituation (Wing et al. 2013). Diese Ergebnisse deuten auf Parallelen zwischen Studien zur Hirnforschung und der Didaktik hin. Auch hier ist jedoch eine Diskrepanz vorhanden. Studien, die die Effekte von Wiederholung und Testsituationen in Lernsettings untersucht haben, sind anders operationalisiert. Konstrukte und Bedingungen sind komplexer, als es mit neurowissenschaftlichen Studien möglich ist. Der Transfer von einem Beobachtungssystem zu einem anderen bleibt hypothetisch.

3. Ressourcennutzung durch Selektion

Ein weiterer Mechanismus ist die Selektion durch Filtern von Information. Selektive Aufmerksamkeit und das Arbeitsgedächtnis sind psychologische Phänomene und stehen hiermit in Verbindung. Das Filtern ist neuronal fest verankert. Einige basale neuronale Mechanismen sind so angelegt, dass nur bestimmte Informationen verarbeitet werden können. Die Architektur des visuellen Kortex ist darauf ausgelegt, räumlich angeordnete Reize zu verarbeiten. Bei einer Sehbeeinträchtigung kann diese Architektur durch andere räumlich angelegte Reize genutzt werden, wie taktile Reize beim Lesen von Brailleschrift. Der auditorische Kortex ist dagegen ausgelegt, Informationen von Sequenzen zu verarbeiten. Der Frontalkortex integriert Informationen, ist mit verschiedenen anderen Regionen des Gehirns verbunden und kann große Netzwerke innerhalb des

Gehirns beeinflussen. In vielen Hirnregionen wird die Verarbeitung konkurrierender Reize unterdrückt. Dadurch werden Interferenzen vermieden. Mittels Aufmerksamkeit kann die Selektion auch „top-down“ gesteuert werden. In solchen Fällen können höher gelegene Hirnregionen in der Verarbeitungshierarchie die Selektion verstärken, indem sie „relevante“ Verarbeitungspfade stärken und „irrelevante“ schwächen (Zanto et al. 2010). Diese Modulation wird schwieriger bei hoher Arbeitsgedächtnisbelastung und höherem Alter, wodurch mehr Interferenzen entstehen (Gazzaley et al. 2005; Klaver/Talsma 2013).

Für das Lernen ist Selektion zentral. Gutes Lernen bedeutet, dass nicht alle Informationen gespeichert werden, sondern nur die, die zum Erfolg beitragen. Dies geschieht an verschiedenen Stellen im Lernprozess. Zunächst ist das Filtern relevant, um sich im Unterricht nicht von visuellen und akustischen Reizen aus der Umgebung ablenken zu lassen. Auch interne Gedanken sollten unterdrückt werden, um sich selektiv auf die Informationen zu konzentrieren, die den Lernenden im Lernkontext angeboten werden. Mit internen Gedanken sind zum Beispiel Gedanken gemeint, die Stress erzeugen, wie zu hoher Leistungsdruck, oder Gedanken, die keine Verbindung zur Lernsituation haben (zum Beispiel Gedankenwanderung). Letzteres wird oft als „Unaufmerksamkeit“ klassifiziert. Bei der Reizverarbeitung im fMRT wird häufig beobachtet, dass sensorische Regionen im Gehirn aktiviert werden, während Regionen, die mit der Verarbeitung anderer Reize oder der internen Gedankenverarbeitung betraut sind, unterdrückt (inhibiert) werden (Raichle et al. 2001; Rees et al. 1997). Bei Arbeitsgedächtnisaufgaben, bei denen versucht wird, viele Informationen gleichzeitig zu verarbeiten, sehen wir ebenfalls, dass Gehirnregionen, die beispielsweise in die Emotionsverarbeitung involviert sind, unterdrückt werden (Dolcos/McCarthy 2006). Selbst lokal sehen wir dieses Phänomen: Es werden mehr Ressourcen angewendet, um die Umgebung auszublenden, als um die Akti-

vität, die der Verarbeitung von Informationen an diesem Ort entspricht, zu verstärken. Inhibition ist zentral, und ein Großteil der Ressourcen des Gehirns ist beim Lernen mit der Aufwendung von Inhibition beschäftigt.

Die Relevanz zeigt sich auch für Personen mit Lernschwierigkeiten. Aktuelle Theorien zum Aufmerksamkeitsdefizit-/Hyperaktivitätssyndrom (ADHS) legen nahe, dass das Zusammenspiel zwischen Belohnungssystem und Arbeitsgedächtnis gestört sein kann. Werden Belohnungen zu schnell gesucht, wirkt das negativ auf Aufmerksamkeit und Arbeitsgedächtnis. Diese Imbalance zwischen dem Aufmerksamkeitssystem und dem Belohnungssystem kann die Reizverarbeitung beeinträchtigen (Cortese et al. 2012). Ähnliche Probleme werden beim Autismus diskutiert. Einerseits wird eine Hypersensitivität für sensorische Reize beobachtet, andererseits können Reize auf der sozialen Ebene als belastend wahrgenommen werden. Beides kann die Aufmerksamkeit bei Lernaufgaben beeinträchtigen (Klein et al., 2024).

Aus didaktischer Sicht hat das Filtern eine Bedeutung für die Gestaltung des Lernraums. Räume können so gestaltet werden, dass sich Lernende auf ihre Lernaufgaben konzentrieren können und eine effektive Filterung möglich ist. Die Lernenden können so zusammengestellt werden, dass sie gemeinsam an einer Aufgabe arbeiten können. Die gemeinsame Aufmerksamkeit auf eine Aufgabe hilft den Lernenden, immer wieder zur zentralen Aufgabe zurückzukommen. Abschirmung ist ebenso wichtig, wenn die Lernzeit allein gestaltet wird. Wenn ein Lernraum mit vielen Aktivitäten gestaltet ist, die keinen Zusammenhang mit der Aufgabe haben, kann eine Ablenkung entstehen. Auch die nötige Herausforderung ist wichtig, um den Mittelweg zwischen Überforderung und Unterforderung zu finden. Die Rahmenbedingungen sind wichtig, um einen Überfluss an internen Gedanken zu vermeiden (Keilow et al. 2019).

Obwohl es Parallelen zwischen den Erkenntnissen der Hirnforschung und der Didaktik gibt, ist es schwierig, Schlussfolgerungen von der Hirnforschung zur Didaktik und

umgekehrt zu ziehen. Lernsettings werden optimiert, um das Lernen zu fördern und für möglichst alle Lernenden Rahmenbedingungen zu schaffen, die ihre Ressourcen nutzen und stärken. Es kann dabei helfen zu wissen, ob Lernende Stärken oder Schwächen beim Filtern haben. Es ist auch hilfreich zu wissen, in welchen Situationen das Filtern wichtig ist und in welchen weniger. Aber hätte man hierfür die Hirnforschung gebraucht?

EINFLUSS VON SYNCHRONISATION AUF DAS LERNEN

Die Erforschung der Zusammenhänge zwischen Lernen und Gehirn wird dadurch erschwert, dass Lernen oft in Gruppen stattfindet. Beim Frontalunterricht versucht eine Lehrperson, die Aufmerksamkeit der Gruppe auf sich zu lenken und Wissen zu vermitteln. In der Kleingruppenarbeit arbeiten Lernende miteinander. Bei der Einzelarbeit befinden sie sich oft in einem Raum mit anderen. Wie können die neuronalen Mechanismen des Lernens in diesen sozialen Situationen untersucht werden? Ist es auch möglich, den Austausch zwischen Lehrenden und Lernenden zu untersuchen?

Einige Studien haben dies bereits versucht. Mit fMRT ist es nicht möglich, zwei Personen nebeneinander zu setzen und sie gleichzeitig zu scannen. Man kann zwei Personen in zwei fMRT-Scannern Aufgaben bearbeiten lassen, bei denen sie das Gleiche oder einen Avatar der anderen Person sehen. Alternativ kann man mit dem Elektroenzephalogramm (EEG) elektrische Signale von der Kopfoberfläche messen und gleichzeitig Personen entweder eine Aufgabe allein oder die gleiche Aufgabe gemeinsam bearbeiten lassen. Sowohl in fMRT- wie bei EEG-Studien hat man festgestellt, dass sich die Hirnaktivitäten miteinander synchronisieren. Ausschlaggebend hierfür ist die externe Stimulation. Die gemeinsame Aufmerksamkeit für die Aufgabe scheint die Synchronisation zu beeinflussen. In einer Studie sahen Personen sich einen Film an. Dabei zeigte sich ein hohes Maß an Kohärenz in der Hirnaktivität, das von den Ereignissen des Films abhängig

war. Gesichter aktivierten die gleichen Regionen im Gehirn, und zwar gleichzeitig. Ähnliches wurde für Räume und Landschaften sowie für Werkzeuge beobachtet (Hasson et al. 2004). Die Emotionalität der Szenen hatte ebenfalls einen Einfluss auf die Synchronisation. Andere Studien zeigten, dass bereits Erlerntes ebenfalls die Synchronisation beeinflusst (Aly et al. 2018).

In einer Studie mit mobilem EEG wurde eine Gruppe junger Erwachsener in einer Lernsituation mit einer Lehrperson untersucht (Dikker et al. 2017). Es zeigte sich über verschiedene Lernbedingungen hinweg, dass die Lernenden erhöhte Gemeinsamkeiten in der Hirnaktivität aufwiesen, wenn sie entweder gemeinsam ein Video beobachteten oder zusammenarbeiteten. Die Studie zeigte auch einen positiven Zusammenhang zwischen dem Ausmaß der Synchronisation zwischen den Lernenden und der Beliebtheit der Lehrperson sowie dem längerfristigen Lernerfolg. (Eine Replikation dieser Ergebnisse steht aus.) Vorsichtig könnte man schließen, dass die Synchronisation zwischen Lernenden einen positiven Einfluss auf das Lernen hat. Dies könnte darauf hindeuten, dass diese Personen während der Aufgaben ähnliche Arbeit verrichten oder ihre Aufmerksamkeit gemeinsam auf eine Aufgabe lenken. Schlussfolgerungen über eine direkte Interaktion zwischen den Lernenden kann man nicht machen. Auch das Handeln und die Hirnaktivität der Lehrenden sowie die Wechselwirkungen zwischen beidem und den Lernenden wurden nicht untersucht.

Offen bleibt die Frage, wie sich die Wirksamkeit der Lehrperson beziehungsweise die Selbstwirksamkeit der Lehrperson oder der Lernenden auf die Hirnaktivität auswirken.

VORTEILE HETEROGENER LERNGRUPPEN

Eine weitere Herausforderung für die Didaktik besteht darin, dass Lernende neuronal sehr unterschiedlich sein können. Dies trifft insbesondere bei heterogenen Lerngruppen zu. Die Frage stellt sich, was wir über die Unterschiede im Gehirn bei heterogenen

Gruppen wissen. Ich möchte ein Beispiel für neuronale Unterschiede aufzeigen, die Heterogenität bedingen, und deren Auswirkungen auf die Didaktik erläutern. So hat das Alter einen entscheidenden Einfluss auf die Neuroplastizität und Lernfähigkeit. Bereits im Alter von zwei Jahren sind alle Voraussetzungen zum Lernen gegeben. Alle Neuronen sind vorhanden und es gibt die maximale Anzahl an Synapsen. Reifung bedeutet jedoch auch, dass Synapsen, also Verbindungen zwischen Neuronen, verschwinden müssen, insbesondere durch neuronales Priming. Das heißt, die Verbindungen sollen effizienter werden, um Informationen leichter bearbeiten zu können. Es findet eine neuronale Spezialisierung statt, die auch zum Lesen von Buchstaben und Zahlen beiträgt (Klaver et al. 2011). Erst im Erwachsenenalter, mit etwa 25 Jahren, gibt es keine messbaren großen strukturellen Veränderungen im Gehirn mehr. Zu diesem Zeitpunkt ist auch das Frontalhirn strukturell ausgereift. Im höheren Alter sind wiederum die Hirnregionen, die spät gereift sind, auch die ersten, die weniger funktionsfähig werden (Douaud et al. 2014).

Der direkte Zusammenhang mit der Didaktik ist noch wenig klar. Ein Faktor ist, dass das Frontalhirn im Unterricht sehr gut genutzt werden kann. Zum Beispiel können junge Erwachsene gut neue Ideen generieren (disruptives Denken), was eine zentrale Funktion des Frontalhirns ist. Dies fällt im höheren Alter jedoch schwerer. Ältere profitieren jedoch vom bereits vorhandenen Wissen und können dieses gut synergetisch zusammenfassen (Cui et al. 2026).

Auch wenn uns bewusst ist, dass Heterogenität einer Lerngruppe mit einer Heterogenität der Gehirne einhergeht, sind die direkten Konsequenzen für die Didaktik gering. Für die Didaktik ist der Umgang mit Heterogenität wichtiger. Eine heterogene Zusammensetzung von Gruppen ist wichtig. Dabei ist zentral, dass Lernende viel direkter miteinander kommunizieren und Bedürfnisse der anderen berücksichtigen können. Lehrpersonen sind dagegen oft zu weit weg und nehmen Spannungen weniger deutlich

wahr. Entsprechend können Lernende auch unterschiedliche Rollen im gemeinsam zu gestaltenden Lernprozess einnehmen. Beispielsweise können Lernende mit hohen Kompetenzen und kognitiven Leistungen eine unterstützende und koordinierende Rolle einnehmen. Sie können schwächere Lernende unterstützen und sind gleichzeitig beim Lernen nicht unterfordert (Szumski et al. 2017).

NEUROFEEDBACK MACHT HIRNAKTIVITÄT SICHTBAR

Abschließend möchte ich einen Aspekt benennen, der die Grenzen der Studien bedeutsam macht. Alle hier genannten Studien betreffen Gruppenanalysen. Die Gruppen von Studienteilnehmenden unterlagen ähnlichen Aufgabenbedingungen. Die Schlussfolgerungen wurden statistisch berechnet. Entweder wurden Aktivitäten zwischen Bedingungen verglichen oder ein Zusammenhang mit einem unabhängigen Faktor berechnet. Es werden keine Schlussfolgerungen für das Individuum gezogen. Das heißt, Lernbedingungen werden zwar verglichen, aber nicht an eine einzelne Person angepasst. Eine Möglichkeit, individuelle Hirnaktivitäten im Zusammenhang mit Lernen zu untersuchen, ist das Neurofeedback. Mithilfe des Neurofeedbacks wird die Hirnaktivität für das Individuum sichtbar gemacht. Diese kann die Aktivität in einer Aufgabe nutzen. Beispielsweise könnte eine Messung der Hirnaktivität das Lernen verbessern. Diese Methode wird in verschiedenen Kontexten angewendet. Insbesondere das EEG eignet sich, da es auch unter quasi realen Bedingungen eingesetzt werden kann.

Trotz einiger nachweisbarer Erfolge des Neurofeedbacks im Lernkontext (Parsons/Faubert 2021; Uslu/Vögele 2023) ist die Anwendung in der Praxis gering und sind die Folgen auf neuronaler Ebene unklar. Ein möglicher Grund dafür ist, dass beim Neurofeedback ein Signal als biologischer Marker genutzt wird, um einen Lernprozess anzusteuern. Lernprozesse sind jedoch viel komplexer, als dass sie durch ein Signal abgebildet werden können.

Dies scheint der rote Faden dieses Beitrags zu sein: Der Ansatz, Lernen mit Hirnforschung sichtbar zu machen, ist spannend, jedoch übersimplifizierend, wenn es um den Transfer auf Lernprozesse in realen Lehr- und Lernbedingungen geht.

FAZIT FÜR DIE PRAXIS

In meinem Beitrag habe ich anhand von Beispielen die Zusammenhänge zwischen der Hirnforschung und der Didaktik aufgezeigt. Dabei bin ich von der Frage ausgegangen, ob die Hirnforschung in der Didaktik genutzt werden kann. Die Antwort darauf lautet: „nicht direkt“. Die hier diskutierten Studien zeigen jedoch, dass spezifische neuronale Mechanismen die Basis für das Lernen bilden. In der Didaktik sehen wir verschiedene neuronale Mechanismen wieder. Das Wissen über Ressourcen des Gehirns kann helfen, bestimmte Lernpraktiken zu reflektieren, und trägt dazu bei, die Didaktik innerhalb eines Rahmens zu gestalten. Der Rahmen ist jedoch besser aus der didaktischen Forschung vorgegeben, in der aufschlussreiche Evidenz zu wirksamer Didaktik aufgezeichnet wird (Hattie 2007). Die Hirnforschung ist dagegen fast immer nachgelagert und darauf ausgelegt, zu verstehen, wie sich Lernprinzipien im Gehirn widerspiegeln. Die Argumentation, dass diese neuronalen Mechanismen erklären, wie das Lernen funktioniert, ist zirkulär und somit inkorrekt. Aus meiner Sicht reicht die Reflexion des Grundverständnisses des Lernens vollkommen aus. Wir sollten sowohl die Didaktik als angewandtes Forschungsfeld als auch die Hirnforschung als Grundlagenforschung weiterentwickeln und die Bildungsneurowissenschaften, die neue Zusammenhänge zwischen das Lernen und das Gehirn sichtbar macht, ausbauen. —

**LERNPRAKTIKEN
REFLEKTIEREN
&
DIDAKTIK
GESTALTEN**

Literatur |

- Aly, M./Chen, J./Turk-Browne, N. B./Hasson, U.: Learning Naturalistic Temporal Structure in the Posterior Medial Network. In: *J Cogn Neurosci*, 30(9), 2018, S. 1345-1365. https://doi.org/10.1162/jocn_a_01308
- Blain, B./Rutledge, R. B.: Momentary subjective well-being depends on learning and not reward. In: *Elife*, 9, 2020. <https://doi.org/10.7554/eLife.57977>
- Butler, A. C./Roediger III, H. L.: Testing improves long-term retention in a simulated classroom setting. In: *mEuropean Journal of Cognitive Psychology*, 19(4-5), 2007, S. 514-527. <https://doi.org/10.1080/09541440701326097>
- Cortese, S./Kelly, C./Chabernaud, C./Proal, E./Di Martino, A./Milham Michael, P./Castellanos, F. X.: Toward Systems Neuroscience of ADHD: A Meta-Analysis of 55 fMRI Studies. In: *American Journal of Psychiatry*, 169, 2012, S. 1038-1055. <https://doi.org/10.1176/appi.ajp.2012.11101521>
- Cui, H./Lin, Y./Wu, L./Evans, J. A.: Aging and the narrowing of scientific innovation. In: *Science*, 392(6798), 2026, S. 588-591. <https://doi.org/10.1126/science.ady8732>
- Daniel, R./Pollmann, S.: A universal role of the ventral striatum in reward-based learning: evidence from human studies. In: *Neurobiol Learn Mem*, 114, 2014, S. 90-100. <https://doi.org/10.1016/j.nlm.2014.05.002>
- Dikker, S./Wan, L./Davidesco, I./Kaggen, L./Oostrik, M./McClintock, J./Rowland, J./Michalareas, G./Van Bavel, J. J./Ding, M./Poeppl, D.: Brain-to-Brain Synchrony Tracks Real-World Dynamic Group Interactions in the Classroom. In: *Curr Biol*, 27(9), 2017, S. 1375-1380. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2017.04.002>
- Dolcos, F./McCarthy, G.: Brain systems mediating cognitive interference by emotional distraction. In: *J Neurosci*, 26(7), 2006, S. 2072-2079. <https://doi.org/10.1523/jneurosci.5042-05.2006>
- Douaud, G./Groves, A. R./Tamnes, C. K./Westlye, L. T./Duff, E. P./Engvig, A./Walhovd, K. B./James, A./Gass, A./Monsch, A. U./Matthews, P. M./Fjell, A. M./Smith, S. M./Johansen-Berg, H.: A common brain network links development, aging, and vulnerability to disease. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(49), 2014, S. 17648-17653. <https://doi.org/10.1073/pnas.1410378111>
- Duckworth, A. L./Tsukayama, E./Kirby, T. A.: Is it really self-control? Examining the predictive power of the delay of gratification task. In: *Pers Soc Psychol Bull*, 39(7), 2013, S. 843-855. <https://doi.org/10.1177/0146167213482589>
- Epstein, R. A./Patai, E. Z./Julian, J. B./Spiers, H. J.: The cognitive map in humans: spatial navigation and beyond. In: *Nat Neurosci*, 20(11), 2017, S. 1504-1513. <https://doi.org/10.1038/nn.4656>
- Gazzaley, A./Cooney, J. W./Rissman, J./D'Esposito, M.: Top-down suppression deficit underlies working memory impairment in normal aging. In: *Nat Neurosci*, 8(10), 2005, S. 1298-1300. <https://doi.org/10.1038/nn1543>
- Hasson, U./Nir, Y./Levy, I./Fuhrmann, G./Malach, R.: Intersubject synchronization of cortical activity during natural vision. In: *Science*, 303(5664), 2004, S. 1634-1640. <https://doi.org/10.1126/science.1089506>
- Hattie, J.: Visible Learning 2.0. Deutschsprachige Ausgabe von Visible Learning: The Sequel (2023). Baltmannsweiler 2024
- Keilow, M./Holm, A./Friis-Hansen, M./Kristensen, R. M. (2019). Effects of a classroom management intervention on student selective attention: results from a randomized controlled trial. In: *School Effectiveness and School Improvement*, 30(2), 2019, S. 194-211. <https://doi.org/10.1080/09243453.2018.1557701>
- Klaver, P./Marcar, V./Martin, E.: Neurodevelopment of the visual system in typically developing children. In: *Prog Brain Res*, 189, 2011, S. 113-136. <https://doi.org/10.1016/B978-0-444-53884-0.00021-X>
- Klaver, P./Talsma, D.: Behind the scenes: how visual memory load biases selective attention during processing of visual streams. In: *Psychophysiology*, 50(11), 2013, S. 1133-1146. <https://doi.org/10.1111/psyp.12126>
- Klein, C./Miczuga, T./Röring, H./Kost, M./Bast, N./Thiemann, U./Jarczok, T./Fleischhaker, C./Tebartz van Elst, L./Riedel, A./Biscaldi, M.: [Not Available]. In: *Fortschr Neurol Psychiatr*, 92(1-02), 2024, S. 11-18. <https://doi.org/10.1055/a-1839-6095> (Sensorische Auffälligkeiten bei Autismus-Spektrum-Störung: Validierung und Adaptation des englischsprachigen „Sensory Perception Quotient“ (SPQ) von Tavassoli und Kollegen.)
- Luerssen, A./Gyurak, A./Ayduk, O./Wendelken, C./Bunge, S. A.: Delay of gratification in childhood linked to cortical interactions with the nucleus accumbens. In: *Soc Cogn Affect Neurosci*, 10(12), 2015, S. 1769-1776. <https://doi.org/10.1093/scan/nsv068>
- Parsons, B./Faubert, J.: Enhancing learning in a perceptual-cognitive training paradigm using EEG-neurofeedback. In: *Scientific Reports*, 11(1), 2021, S. 4061. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-83456-x>
- Raichle, M. E./MacLeod, A. M./Snyder, A. Z./Powers, W. J./Gusnard, D. A./Shulman, G. L.: A default mode of brain function. In: *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 98(2), 2001, S. 676-682. <https://doi.org/10.1073/pnas.98.2.676>
- Rees, G./Frith, C. D./Lavie, N.: Modulating irrelevant motion perception by varying attentional load in an unrelated task. In: *Science*, 278(5343), 1997, S. 1616-1619. <https://doi.org/10.1126/science.278.5343.1616>
- Ripolles, P./Marco-Pallares, J./Alicart, H./Tempelmann, C./Rodriguez-Fornells, A./Noesselt, T.: Intrinsic monitoring of learning success facilitates memory encoding via the activation of the SN/VTA-Hippocampal loop. In: *Elife*, 5, 2016. <https://doi.org/10.7554/eLife.17441>
- Schultz, W.: Multiple reward signals in the brain. In: *Nat Rev Neurosci*, 1(3), 2000, S. 199-207. <https://doi.org/10.1038/35044563>
- Servant, M./Cassey, P./Woodman, G. F./Logan, G. D.: Neural bases of automaticity. In: *J Exp Psychol Learn Mem Cogn*, 44(3), 2018, S. 440-464. <https://doi.org/10.1037/xlm0000454>
- Spitzer, M.: Lernen: Gehirnforschung und die Schule des Lebens. Heidelberg 2007
- Sweller, J./van Merriënboer, J. J. G./Paas, F. G. W. C.: Cognitive Architecture and Instructional Design. In: *m Educational Psychology Review*, 10(3), 1998, S. 251-296. <https://doi.org/10.1023/A:1022193728205>
- Szumski, G./Smogorzewska, J./Karwowski, M.: Academic achievement of students without special educational needs in inclusive classrooms: A meta-analysis. In: *Educational Research Review*, 21, 2017, S. 33-54. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.edurev.2017.02.004>
- Turk-Browne, N. B./Yi, D. J./Chun, M. M.: Linking implicit and explicit memory: common encoding factors and shared representations. In: *Neuron*, 49(6), 2006, S. 917-927. <https://doi.org/10.1016/j.neuron.2006.01.030>
- Uslu, S./Vögele, C.: The more, the better? Learning rate and self-pacing in neurofeedback enhance cognitive performance in healthy adults. In: *Front Hum Neurosci*, 17, 2023, 1077039. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1077039>
- Wing, E. A./Marsh, E. J./Cabeza, R.: Neural correlates of retrieval-based memory enhancement: An fMRI study of the testing effect. In: *Neuropsychologia*, 51(12), 2013, S. 2360-2370. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2013.04.004>
- Zanto, T. P./Rubens, M. T./Bollinger, J./Gazzaley, A.: Top-down modulation of visual feature processing: the role of the inferior frontal junction. In: *Neuroimage*, 53(2), 2010, S. 736-745. <https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2010.06.012>