

Das Gehirn lernt nie aus.

Welchen Beitrag können die Neurowissenschaften zur Erwachsenenbildung leisten?

Die enormen Fortschritte der Hirnforschung erlauben es uns, die Funktionsweise des Gehirns und damit auch die Biologie des Lernens immer besser zu verstehen. Von einigen skeptisch beäugt, von anderen euphorisch gepriesen werden neurobiologische Erkenntnisse zunehmend für die Lehre und das Lernen genutzt. Bevor ich in meinem Beitrag auf Veränderungen von Gehirnfunktionen und Lernfähigkeit mit zunehmendem Alter eingehe, möchte ich deshalb zunächst diskutieren, welchen Beitrag die Neurowissenschaften generell zur Lehr-Lern-Forschung leisten können.

Hierbei sind im wesentlichen zwei Aspekte zu unterscheiden. Zum einen lassen sich Defizite in Hirnfunktionen als Korrelate verringerter Lernfähigkeit (z.B. Dyslexie, Dyskalkulie oder auch Aufmerksamkeitsstörungen) identifizieren. Die Diagnose dieser Funktionsstörungen erlaubt somit die Entwicklung von Trainings- und Interventionsmaßnahmen zur Behandlung der zugrunde liegenden Störungen und damit zur Verbesserung der Lernfähigkeit.

So zeigen Kinder mit Dyslexie häufig eine verringerte Aktivität in bestimmten Hirnarealen, die für die phonologische Verarbeitung wichtig sind. Wie verschiedene Studien zeigen konnten, kann die Aktivierung in diesen Arealen durch ein geeignetes Computer-gestütztes Training normalisiert und damit das Sprachverständnis als wichtige Voraussetzung für das Lernen deutlich verbessert werden.

Diesem Defizitmodell („Disease model“) des Lernens kann das sogenannte „Engineering model“ gegenübergestellt werden. Dieses Modell geht davon aus, dass das Verständnis elementarer neurobiologischer und kognitiver Funktionen genutzt werden kann, um diese Funktionen optimal für Lernprozesse zu nutzen. Hierbei unterscheidet man zwischen sogenannten Domänen-spezifischen Funktionen (z.B. der Art der kortikalen Repräsentation visueller Reize oder den neuronalen Prozessen bei der Verarbeitung auditiver Informationen) und Domänen-unspezifischen Funktionen. Letztere umfassen generelle Lernmechanismen, die Plastizität des Gehirns oder auch die Aufmerksamkeitssteuerung.

So weiß man heute u.a., dass die mit angenehmen Erlebnisqualitäten verbundene Ausschüttung von Dopamin bei Ratten während eines Lernprozesses die Speicherung

im Langzeitgedächtnis fördert und bei positiver Stimmung Informationen eher über den Hippocampus, bei negativer aber über den Mandelkern (Amygdala) gespeichert werden. Dies ist insofern von Bedeutung, da der Hippocampus für die Assoziation von alten und neuen Gedächtnisinhalten von zentraler Bedeutung ist, während der Mandelkern evolutionär hauptsächlich für den schnellen und automatisierten Abruf von Informationen in Stress- und Gefahrensituationen verantwortlich ist, z.B. also in Situationen, in denen Abstraktionsvermögen oder Verknüpfung mit bereits bekannten Inhalten da zeitraubend eher kontraproduktiv sind.

Ein weiteres Beispiel ist der Befund, dass sich der zirkadiane Rhythmus von Kindern während der Pubertät ändert: Kinder schlafen dann früher ein und wachen später auf. Da Aufmerksamkeit steuernde Areale im Gehirn aber bei Müdigkeit weniger aktiv sind, empfiehlt es sich, den Schulanfang älterer Kinder nach hinten zu verschieben.

Gerade auch die Plastizität des Gehirns, also die Fähigkeit zu strukturellen und funktionellen Anpassungen als Folge von Lernprozessen, wurde in den letzten Jahren sehr intensiv erforscht. Man spricht in diesem Zusammenhang von sensiblen und kritischen Perioden.

Während sensibler Perioden ist die Plastizität in bestimmten Hirnbereichen und damit die Adaptivität und Lernfähigkeit besonders stark ausgeprägt. In dieser Phase geschieht die Anlage der anatomisch-strukturellen Voraussetzungen für an die individuelle Umwelt angepasstes Verhalten (z.B. Neuronendichte, Verbindungen zwischen Neuronen, Netzbildung).

Von kritischen Perioden spricht man dagegen, wenn Umwelteinflüsse und Erfahrungen während sensibler Phasen entscheidend sind für die normale Entwicklung und Verhalten dauerhaft verändern. Dies betrifft vor allem die sensorische prä- und perinatale Entwicklung, hat aber häufig entscheidende Auswirkungen auch auf die spätere kognitive Entwicklung.

Aber auch außerhalb sensibler oder kritischer Perioden bleibt das Gehirn plastisch und Lernen geschieht über die gesamte Lebensspanne! Plastische Prozesse benötigen dann jedoch mehr Energie, sind langsamer und in der Regel auf funktionelle Veränderungen der dann fertig ausgebildeten Anatomie beschränkt.

Ausgewählte sensible Perioden sind z.B. für:

- Spracherwerb: ab ca. 10 Monate bis in frühe Adoleszenz (graduell abnehmend)
- Musische Fähigkeiten: 7 Monate bis 8 Jahre
- Motorische Fähigkeiten: 3 Monate bis 10 Jahre
- Emotionale Kompetenz: (Pubertät)
- Metakognition: (möglicherweise 10-14 Jahre)

Auch für die Ausbildung anderer Funktionen und Fähigkeiten, wie z.B. die intrinsische Motivation, werden sensible Phasen vermutet, die jedoch noch wenig erforscht sind.

Zusammenfassend muss allerdings konstatiert werden, dass über die Zusammenhänge zwischen den gut erforschten neurophysiologischen Prozessen und verständnisvollem, sinnstiftendem Lernen nur wenig bekannt ist. Während also die Neurowissenschaften zu verstehen helfen, warum manche Lernumgebungen bei manchen Menschen erfolgreich sind, bei anderen aber nicht („Disease model“), fehlen aber in der Regel direkte Evidenzen, die neurobiologische und Lernprozesse miteinander verknüpfen („Engineering model“).

Dies weist hin auf die Notwendigkeit einer Art „Educational Neuroscience“, in der Erkenntnisse und Forschung aus verschiedensten Disziplinen, wie z.B. Erziehungswissenschaften, kognitiver Psychologie, Neurowissenschaften, Philosophie, Soziologie und Informationstechnologie verknüpft werden, um u.a. die neurowissenschaftlichen Befunden aus dem Labor auf ihre Anwendbarkeit in der realen (Lern-) Welt zu überprüfen.

Ansätze einer solchen „Educational Neuroscience“ bestehen z.B. bei der OECD mit dem Centre for Educational Research and Innovation (CERI) - Learning Sciences and Brain Research ([www.oecd.org/edu/brain](http://www.oecd.org/edu/brain)), dem Transferzentrum für Neurowissenschaften und Lernen in Ulm (Prof. Manfred Spitzer; [www.znl-ulm.de](http://www.znl-ulm.de)) und bei uns am Jacobs Center for Lifelong Learning and Institutional Development (JCLL), International University Bremen ([www.iu-bremen.de/jacobs](http://www.iu-bremen.de/jacobs)), an dem wir lebenslanges Lernen in einem umfassenden systemischen Ansatz zu untersuchen.

Unterschiedliche Betrachtungsebenen sind für uns dabei das Individuum (aus biologischer und psychologischer Sicht), sein Umfeld (Familie, Unternehmen), der Kontext (Bildung, Freizeit) und die Einbettung in den gesellschaftlichen Rahmen, womit ich beim Thema Weiterbildung angelangt bin.

Aktuelle Studien belegen, dass in Deutschland die Weiterbildungsquote deutlich unter dem EU-Mittel und weit unter der Quote der Skandinavischen Länder liegt. Dies wirft die Frage auf, welche Hindernisse bei uns das lebenslange Lernen behindern.

Unser systemischer Ansatz deutet auf Hindernisse auf verschiedensten Ebenen. Auf gesellschaftlicher Ebene sind zu nennen eine öffentliche, auch in den Medien verbreitete Meinung, die durch ein negatives Altersstereotyp gekennzeichnet ist, aber auch ein Arbeitsrecht, dass der Seniorität im Tarifrecht mehr Bedeutung beimisst als den tatsächlichen Fähigkeiten. Unternehmen stellen die Produktivität älterer Arbeitnehmer in Frage und bezweifeln, da schwer messbar, die Rendite und den Nutzen von Weiterbildung älterer Mitarbeiter. Im Erziehungssystem sind eine altersangemessene Didaktik, eine größere Übersichtlichkeit über bestehende Angebote und eine bessere Zugänglichkeit von Institutionen der Erwachsenenbildung erforderlich. Auf Ebene des Individuums spielen Kognition und Lernfähigkeit sowie die Motivation Älterer eine wichtige Rolle.

Wie aktuelle Ergebnisse von Britta Renner am Jacobs Center zeigen nimmt z.B. die Neugier, als Voraussetzung für Lernbereitschaft entgegen der weitverbreiteten Ansicht nicht ab! Von der Natur her WOLLEN wir immer dazu lernen, wir KÖNNEN gar nicht anders. Das gilt nicht nur für Kinder. Allerdings behindern die UMSTÄNDE das Lernen wie z.B. Eintönigkeit, ein Mangel an neuen Herausforderungen und eine falsche Einschätzung der Möglichkeiten und der Lernfähigkeit Älterer.

Wie verändern sich denn nun Gehirnfunktionen und Lernfähigkeit mit dem Altern?

Natürlich kann das adulte und alternde Gehirn noch Lernen: z.B. ein neues Gedicht, eine neue Wegstrecke, physikalische Zusammenhänge. Was Lernen im Alter limitiert sind die zugrunde liegenden biologischen Prozesse im Gehirn, die einerseits die Leistungsfähigkeit bei normalen Verarbeitungsprozessen aber andererseits auch die Plastizität des Gehirns bestimmen.

Von Bedeutung sind weiterhin die während der ontogenetischen Entwicklung etablierten anatomischen Beschränkungen, da im adulten Kortex nach heutigem Stand der Forschung keine neuen Nervenzellen und Verknüpfungen mehr gebildet werden. Das vorhandene Netzwerk wird durch Veränderungen der Stärke der Verbindungen lediglich umgebaut. Auch weiß man, dass frühe Lernerfahrungen einen fördernden Einfluss auf spätere Plastizitätsprozesse haben.

Biologische Alterungsprozesse beginnen sehr früh im Leben, nämlich schon mit 30-40 Jahren. Ab dann beobachten wir einen Rückgang der Leistungsfähigkeit in allen wichtigen biologischen Funktionen wie z.B. dem Herz-Kreislauf-System, der Lungenfunktion, der Muskelkraft oder der Nervenleitgeschwindigkeit.

Es ist deshalb nicht überraschend, dass auch kognitive Fähigkeiten mit zunehmendem Alter abnehmen. Dabei zeigen Aspekte der fluiden Intelligenz, die weitgehend auf biologischen Mechanismen beruhen, einen Verlauf, der dem biologischen Altern ähnelt, also beginnend im frühen Erwachsenenalter kontinuierlich abnimmt. Zu diesen Funktionen gehören z.B. die Verarbeitungsgeschwindigkeit, die Kapazität des Arbeitsgedächtnisses oder die räumliche Orientierung. Demgegenüber bleiben die Fähigkeiten, die der kristallinen Intelligenz zugeordnet werden (also z.B. Sprachvermögen, mathematische Abstraktion, etc.) häufig bis ins höhere Alter konstant oder zeigen sogar Wachstum (Stichwort Weisheit).

Zu den wichtigsten altersbedingten biologischen Veränderungen, die im Endeffekt zu Einbußen der kognitiven Leistungsfähigkeit führen zählt dabei entgegen der landläufigen Meinung nicht ein genereller Verlust an Nervenzellen. Zwar verlieren wir im Laufe unseres Lebens ca. 10% unserer ursprünglichen Neurone. Bei einer interindividuellen Varianz von 100-300% (je nach Areal) ist dieser Verlust aber eher unbedeutend. Von größerer Wichtigkeit sind z.B. eine verringerte Produktion von Botenstoffen und eine schlechtere elektrische Isolierung oder gar Abbau der Verbindungen zwischen den Nervenzellen, den Dendriten und Axonen. Die Folge sind eine geringere Aktivierungsstärke, ein schlechteres Signal-zu-Rausch Verhältnis und Störungen der Kommunikation zwischen den Neuronen. Kognitive Fehlleistungen können darüber hinaus aber auch sekundäre Effekte anderer Störungen sein. Die Abnahme des Hörvermögens gerade im für das Sprachverständnis wichtigen Frequenzbereich macht nicht nur das Verstehen von Sprache und in Folge dessen die weitere Verarbeitung des Gehörten schwieriger. Auch werden z.B. durch erhöhte

Aufmerksamkeit Ressourcen gebunden, die für andere kognitive Prozesse dann nicht zur Verfügung stehen. Sekundären kognitive Einbußen sind demzufolge nicht eine direkte Folge des Alterns, sondern könnten durch erfolgreiche Behandlung der Ursachen (hier eine Hörhilfe) vermindert werden.

Wichtig ist in diesem Zusammenhang auch, dass Alterungsprozesse eine sehr starke inter- und intra-individuelle Varianz aufweisen und es lässt sich aus dem Alter einer Person keineswegs auf das Vorhandensein von körperlichen oder mentalen Defiziten schließen. So gibt es hochbetagte Personen, die eine ähnliche oder sogar bessere Leistung erbringen als der Durchschnitt der jungen Erwachsenen. Genauso gibt es aber auch viele junge Menschen, die schon unter dem Mittelwert der älteren Population liegen. Ähnlich verhält es sich innerhalb eines Individuums mit verschiedenen Funktionen. Von einer motorischen Beeinträchtigung kann also nicht auf visuelle oder kognitive Defizite geschlossen werden und eine Beurteilung der kognitiven Leistungsfähigkeit auf Grund offensichtlich zu Tage tretender Einbußen (z.B. schlechtes Hören) oder gar des Alters per se verbietet sich daher.

Zu den Funktionen, die vom Altern betroffen sein können, gehört auch die Plastizität des Gehirns und damit die Lernfähigkeit. Jedoch gibt es auch hier eine sehr starke Varianz zwischen den Individuen. Studien zeigten, dass auch alte Versuchspersonen über 65 Jahre ähnliche Lernkurven in kognitiven, sensorischen und motorischen Trainingsexperimenten aufweisen können wie junge Erwachsene, auch wenn sie von einem niedrigeren Ausgangsniveau beginnen. Aber auch hier findet man eine große Gruppe von Versuchspersonen, die diese Lernfähigkeit nicht aufweisen.

Aus dem gesagten lässt sich schließen, dass kognitive Leistungsfähigkeit und Lernvermögen nicht primär vom chronologischen Alter sondern von vielen Faktoren abhängen. Latent vorhandene Defizite können bei vorhandener Reservekapazität (z.B. kognitive Ressourcen, die nicht vollends ausgeschöpft werden) z.B. kompensiert werden, sodass sie nicht offen als kognitive Einbußen zu Tage treten. Aktuelle Studien zeigen verschiedene Arten von Kompensation auf. Zum Einen kann die Strategie der Verarbeitung geändert werden. Personen, die auditive Einbußen haben, werden sich z.B. beim Lernen auf den visuellen Kanal konzentrieren oder umgekehrt. Andere Menschen sind in der Lage, die Aufmerksamkeit stärker auf bestimmte

Verarbeitungsprozesse zu fokussieren und damit die dazu gehörige Hirnaktivität zu verstärken. Eine dritte Art dieser eher unbewusst ablaufenden Kompensationsmöglichkeiten ist eine Verringerung der sogenannten Lateralisierung des Gehirns. Während der Kinder- und Jugendentwicklung findet eine Differenzierung des Gehirns statt, in deren Folge sich homologe Strukturen der rechten und linken Gehirnhälfte auf die Verarbeitung verschiedener Aspekte der in diesen Strukturen repräsentierten Funktionen spezialisieren (z.B. bei der Wahrnehmung von Sprache der Rhythmus oder der Inhalt von Sätzen). Diese Differenzierung oder Spezialisierung nimmt mit dem Alter wieder ab, so dass die homologen Strukturen beider Hemisphären dieselbe Aufgabe übernehmen und damit die Verarbeitungskapazität erhöhen können.

Während durch Kompensation bestehende Alterungsprozesse ausgeglichen werden können, kann der Alterungsprozess selbst aber auch auf vielfältige Weise, z.B. den Lebensstil beeinflusst werden. Es ist einleuchtend, dass die Vermeidung von krank machenden Einflüssen (Drogen, Alkohol, Stress) und eine gesunde Ernährung auch die kognitive Leistungsfähigkeit erhalten helfen. Das Altern des Gehirns ist aber auch durch eine stimulierende Umwelt beeinflussbar. In Tierexperimenten konnte gezeigt werden, dass z.B. alte Ratten, die in einem sogenannten „enriched environment“, also einem größeren Käfig, in dem die Tiere viel Abwechslung haben, sich selbst das Futter suchen müssen und viel in Bewegung bleiben, die Aktivierung im Gehirn der von jungen Tieren entsprach, während alte Ratten in Standardkäfigen, in denen sie ohne viel Bewegung nur fraßen und schliefen, deutlich weniger und eine veränderte Hirnaktivität aufwiesen. Bei Affen konnte gezeigt werden, dass Tiere in einem „enriched environment“ deutlich mehr Kontaktstellen zwischen den Nervenzellen aufwiesen als Tiere in Standardkäfigen. Dieser Effekt wurde sogar noch verstärkt, wenn die Tiere nicht allein, sondern zu mehreren in der stimulierenden Umgebung gehalten wurden. Auch soziale Interaktion fördert also die Leistungsfähigkeit des Gehirns. Zu den sogenannten Lifestyle-Faktoren, die die Leistungsfähigkeit des Gehirns beeinflussen, gehört auch die körperliche Aktivität. So wurde bereits mehrfach gezeigt, dass Senioren, die körperlich sehr aktiv sind, in vielen kognitiven Tests deutlich besser abschneiden als ihre weniger aktiven Altersgenossen. Ein regelmäßiges, moderates Fitnessprogramm dient also nicht nur der

Krankheitsprävention (Herz-Kreislauf-Krankheiten, Diabetes, Bluthochdruck), sondern verbessert auch die Hirndurchblutung, verstärkt die Hirnaktivität, fördert den Erhalt und die Neubildung von Nervenzellen und ihren Kontakten, stärkt die Neurotransmitterbildung und führt somit alles in allem zu einer effizienteren und Ressourcen schonenderen Verarbeitung im Gehirn.

Meinen Vortrag zusammenfassend lässt sich also sagen:

- Wie andere Körperfunktionen verringern sich auch die sensorischen, motorischen und kognitiven Kapazitäten kontinuierlich mit dem Alter.
- Kognitive Einbußen sind begleitet von strukturellen Veränderungen:
  - Reduzierung von neuronalen Verbindungen und Neurotransmittern, geringere Hirndurchblutung, nur geringe Abnahme der Neuronenzahl
- Die Plastizität des Gehirns ermöglicht Kompensation:
  - Rekrutierung zusätzlicher Ressourcen, verminderte Lateralisierung, veränderte Verarbeitungsstrategien
- Das alternde Gehirn bleibt plastisch und adaptiv!
- Einige altersabhängige Veränderungen beruhen auf verändertem Verhalten und sind beeinflussbar!

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Ben Godde

Associate Professor of Neuroscience & Human Performance

Jacobs Center for Lifelong Learning & Institutional Development

International University Bremen