

Dossier

Neuroplastizität

Nicht immer sind die Gene schuld

Wie Erfahrungen unser
Gehirn beeinflussen

«Dafür bin ich zu alt» hat als Ausrede ausgedient – zumindest, was das Lernen angeht. Der Psychologe FSP und Neurowissenschaftler Lutz Jäncke gibt einen Überblick über die aktuelle Plastizitätsforschung und zeigt, dass auch Menschen im Alter noch viel verändern können.

Das Gehirn des Menschen ist ein faszinierendes Organ. Es verfügt über ungefähr 80 bis 100 Milliarden Nervenzellen, wobei jede Nervenzelle zirka 10000 Verbindungen zu anderen Neuronen aufweist. Insofern ist es ein unglaublich grosses und weitverzweigtes Netzwerk, das für unser Handeln, Denken und Fühlen verantwortlich ist, und es ändert sich ständig infolge der Erfahrung. Die durch Erfahrung ausgelöste Veränderung des Gehirns bezeichnet man als Neuroplastizität, Gehirnplastizität oder neuronale Plastizität. Man unterscheidet die funktionelle von der strukturellen Neuroplastizität. Unter Ersterem versteht man funktionelle Veränderungen von neuronalen Netzwerken. Dies können stärkere oder auch schwächere neurophysiologische Aktivierungen in den betroffenen Hirngebieten sein. Möglich ist auch, dass neue Neuronengruppen mit in die Kontrolle der psychischen Funktion eingebunden werden. Die strukturelle Neuroplastizität bezeichnet die durch Erfahrung und Lernen ausgelösten strukturellen Veränderungen der grauen oder der

weisen Hirnsubstanz. Die Bedeutung der Erfahrung und des Lernens war in der empirischen Psychologie seit jeher sehr gross. Aus diesem Grund waren und sind die Lern- und die Gedächtnispsychologie immer noch sehr wichtige psychologische Teildisziplinen. Ihre Erkenntnisse betreffen nicht nur das Verständnis normaler Lern- und Gedächtnisprozesse, sondern bilden vor allem die empirische Grundlage für viele Techniken, die zur Therapie von psychischen Störungen genutzt werden. Die Erforschung der neuronalen Grundlagen des Lernens und des Gedächtnisses führte letztlich auch zur modernen Plastizitätsforschung, einer Disziplin der kognitiven Neurowissenschaften und der modernen Neuropsychologie.

Frühe Erkenntnis

Bereits in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts vermuteten führende Psychologen wie William James und Wilhelm Wundt, dass dem Lernen und dem Gedächtnis ganz bestimmte neurophysiologische Prozesse zugrunde liegen müssten. Einen aus Sicht der heutigen Neurophysiologie wirklich relevanten Diskussionsbeitrag zur Neuroplastizität hat Jerzy Konorski (ein Schüler von Iwan Pawlow) in seinem 1948 erschienenen Buch vorgelegt: Er beschrieb die neurophysiologischen Mechanismen, welche beim klassischen und operanten Konditionieren beteiligt sind. Insofern war er weltweit der erste Wissenschaftler, der einen direkten Zusammenhang zwischen psychologischen Prozessen und den zugrunde liegenden neurophysiologischen Prozessen suchte. Oft wird im angloamerikanischen Sprachraum der kanadische Neuropsychologe Donald Hebb als der Begründer der modernen Plastizitätsforschung bezeichnet. Allerdings erschien Hebbs Buch ein Jahr später als Konorskis. Er beschrieb die Hebb-Synapse beziehungsweise den Hebb-Mechanismus. Hiernach stärken zwei Neuronen(-gruppen) ihre Verbindung, wenn sie häufig gemeinsam feuern.

Gene versus Umwelt

Wenn man über die Neuroplastizität nachdenkt, dann fragt man sich zwangsläufig: Sind nun die Erfahrungen oder die Gene wichtiger für die Entwicklung unseres

Gehirns und unseres Verhaltens? Diese Frage zieht sich wie ein roter Faden durch die Geschichte der Psychologie und Hirnforschung. Oft war es so, dass die jeweilige Richtung (Erbanlagen oder Umwelterfahrung) die ausschliessliche Erklärungsgewalt über das Zustandekommen der psychischen und physiologischen Funktionen für sich beanspruchte. Ein unrühmliches Beispiel sind die Debatten über den Einfluss der Gene auf die Intelligenz in den 1950er bis in die 1970er Jahre. Die «Genetiker» behaupteten, dass die Intelligenz zu grossen Teilen genetisch fundiert sei, während die Anhänger der sozialen Einflüsse der Umwelt eine viel grössere Bedeutung beimassen. Heutzutage hat sich die Sichtweise durchgesetzt, dass Umwelt und Gene miteinander interagieren. Die Gene legen die Rahmenbedingungen für die Entwicklung des Gehirns und dessen erfahrungsbedingte Beeinflussbarkeit fest. Einige Hirngebiete (zum Beispiel die primären motorischen und sensorischen Areale) sind wahrscheinlich weniger plastisch als andere, und in der frühen Kindheit ist die Plastizität besonders gross. Trotz aller genetischen Festlegungen ist nach den neuen Erkenntnissen aber auch das Erwachsenengehirn erstaunlich plastisch.

Expertiseforschung

Trotz der Bücher von Konorski und Hebb begann die Plastizitätsforschung eigentlich erst recht spät – an Tieren in den 1970er und 1980er Jahren. Die ersten Studien mit Menschen erfolgten sogar erst Anfang der 1990er Jahre. Dabei verwendet man den Querschnitt- oder den Längsschnittansatz. Beim Querschnittansatz werden Personen untersucht, die in einem bestimmten Gebiet Experten sind – zum Beispiel professionelle Musikerinnen. Diese werden mit Nichtexperten hinsichtlich neurophysiologischer und neuroanatomischer Kennwerte verglichen. Um die Aussagekraft der so erzielten Befunde zu erhöhen, kann man zusätzlich Verhaltensparameter mit den neuroanatomischen und neurophysiologischen Befunden korrelieren. Beliebte Parameter hierbei sind zum Beispiel Trainingsdauer oder auch das Alter zu Beginn des Trainings. Der Psychologe K. Anders Ericsson von der Florida State University konnte 1993 etwa zeigen, dass exzellente Profi-

musiker bis zum Alter von 20 Jahren mehr als 10000 Stunden geübt haben. Im Vergleich dazu fallen die zirka 1500 Trainingsstunden von Amateurmusikern im gleichen Alter sehr bescheiden aus. Wenn man so viel trainiert, dann müssen sich die an der Kontrolle der Expertise beteiligten neuronalen Netzwerke anpassen und sich ändern. Beim Längsschnittansatz lässt man Versuchspersonen eine bestimmte Tätigkeit über einen gewissen Zeitraum üben – von Sekunden bis hin zu Jahren. Verglichen werden die neuronalen Kennwerte derselben Personen vor und nach dem Training.

Das Gehirn eines Musikers

Diese Forschungsansätze sind in den letzten 20 Jahren intensiv genutzt worden und haben viele interessante Befunde zur Neuroplastizität des menschlichen Hirns zutage gefördert. Besonders spektakulär sind meines Erachtens die Ergebnisse zur strukturellen Neuroplastizität. Im Prinzip haben diese Untersuchungen ergeben, dass jene Hirngebiete, welche in die Kontrolle der geübten Fertigkeiten eingebunden sind, ihre anatomische Struktur verändert haben. Das kann eine Zunahme des Volumens, der Kortexdicke oder der Oberfläche eines bestimmten Hirngebiets sein. Möglich sind auch veränderte architektonische Besonderheiten der Kabelsysteme, welche Informationen zwischen den an der Kontrolle der Expertise beteiligten Hirngebieten vermitteln. So finden wir bei Pianisten beidseitig vergrößerte Handmotorareale, offenbar deswegen, weil Pianisten jahrelang beidhändig üben. Bei Streichern dagegen fallen lediglich vergrößerte Handmotorareale auf der rechten Hemisphäre auf, denn sie verbessern insbesondere ihre motorischen Fertigkeiten für die linke Hand. Auch das Kleinhirn, das bekannt ist für seine Beteiligung an schnellen und prozeduralen motorischen Fertigkeiten, weist an einigen Stellen vergrößerte Volumina der grauen Substanz auf. Diese und noch weitere anatomische Veränderungen korrelieren sehr häufig mit der Dauer und Häufigkeit des Übens oder mit dem Alter des Beginns des Musiktrainings. Im Grunde ist jede Art der Expertise (Schachspielen, Balletttanzen, Golfspielen, Simultanübersetzen etc.) mit anatomischen Besonderheiten gekoppelt.

Es braucht nicht immer Jahre

Diese anatomischen Besonderheiten äussern sich auch in Längsschnittuntersuchungen. So konnte unsere Arbeitsgruppe kürzlich zeigen, dass eine Immobilisierung des linken Arms für zwei Wochen (aufgrund eines Armbruchs) zu einer Reduktion der kortikalen Dicke im rechtsseitigen Handmotorareal führte. Gleichzeitig vergrößerte sich die kortikale Dicke in den prämotorischen Arealen auf der gegenüberliegenden Hemisphäre. Interessant war auch, dass die Zunahme der korti-

kalen Dicke im rechtsseitigen Prämotorikortex und die Abnahme der kortikalen Dicke im linksseitigen Motorikortex mit der Verbesserung der motorischen Leistungsfähigkeit der linken Hand hoch korrelierte. Man erkennt an dieser Untersuchung eindrücklich zwei für die Plastizitätsforschung wichtige Aspekte: die sich doch recht schnell abspielenden anatomischen Veränderungen und der enge Zusammenhang zwischen Struktur und Funktion.

Drei Arten plastischer Veränderungen

Die veränderten neurophysiologischen Aktivierungsmuster indizieren in der Regel folgende drei erfahrungsbedingte Veränderungen: Erstens zeigen viele Untersuchungen, dass mit zunehmender Übung die an der Kontrolle der geübten Funktion beteiligten Hirngebiete effizienter arbeiten. Das erkennt man in der Regel an geringeren neurophysiologischen Aktivierungen. Das heisst: Im Verlauf des Erfahrungserwerbs beteiligen sich zunehmend nur noch die wesentlichen neuronalen Netzwerke. Diese Konzentration führt zweitens dazu, dass mehr neuronale Ressourcen auf andere Neuroengruppen verwendet werden können, dass sich also die neuronale Netzwerkarchitektur verändert. Drittens kann diese Effizienzsteigerung und Netzwerkveränderung dazu führen, dass die Expertisefunktion völlig anders verarbeitet wird als bei Nichtexperten. Dies wäre dann eine Modusveränderung im Hinblick auf die Verarbeitung.

Plastizität bleibt auch im Alter erhalten

Die enorme Plastizität des menschlichen Gehirns scheint auch mit dem Alter nicht abzunehmen. Trotz der anfänglichen Konzentration auf jüngere Menschen haben schon die ersten Plastizitätsstudien deutlich gemacht, dass zumindest auch das erwachsene Gehirn bemerkenswert plastisch ist. So konnte der Neurologe Vilayanur Ramachandran von der University of California bereits Anfang der 1990er Jahre zeigen, dass arm- und beinamputierte Patientinnen und Patienten eine interessante und bis dahin nicht vermutete Reorganisation der sensomotorischen Areale erfahren. Die von Ramachandran untersuchten Personen waren im Durchschnitt 45 Jahre alt, was bereits andeutete, dass offenbar auch im vorangeschrittenen Alter das Gehirn plastisch bleibt. Genau das konnte in neuen Untersuchungen präziser gezeigt werden. Die Hamburger Arbeitsgruppe um den Neurologen Arne May liess in einer 2008 veröffentlichten Studie über 65 Jahre alte Personen einige Monate mit drei Bällen jonglieren und konnte zeigen, dass erhebliche anatomische Veränderungen im Verlauf des Trainings offensichtlich wurden. Die Veränderungen traten im Hippokampus, im Areal V5 (das für die Analyse von visuell vermittelten Bewe-

gungen spezialisiert ist) und im ventralen Striatum auf. Im Wesentlichen waren dies die gleichen Hirngebiete wie bei der vergleichbaren Untersuchung mit jungen Versuchspersonen. Diese Untersuchung ist ein Meilenstein für die Neuropsychologie, denn sie belegt, dass sich auch das Gehirn von Seniorinnen und Senioren durch Erfahrung strukturell verändern kann.

Körperliche Fitness als Denkhilfe

Früher herrschte die Ansicht, dass die Gehirne mit dem Alter mehr oder weniger «automatisch» degenerieren würden. Heute erkennt man, dass der anatomische und neurophysiologische Alterungsprozess sehr individuell erfolgt. Eine Untersuchung der Bremer Arbeitsgruppe von Claudia Voelcker-Rehage aus dem Jahr 2010 konnte zeigen, dass der Lebensstil im Alter mit der neuroanatomischen und neurophysiologischen Alterung des Gehirns zusammenhängt. Senioren, die bis ins hohe Alter körperlich und kardiovaskulär fit blieben, lösten schwierige Exekutivfunktions-Aufgaben besser als jene Senioren, die weniger fit waren. Viel interessanter war aber der Befund, dass die fitten Senioren beim Lösen dieser schweren Aufgaben geringere Durchblutungen insbesondere im Frontalkortex aufwiesen. Dies wird als Hinweis für die geringeren neurophysiologischen Ressourcen gewertet, welche für das Bearbeiten komplexer psychologischer Aufgaben benötigt werden. Eine wahrscheinliche Erklärung für diesen Befund ist, dass Senioren, welche bis ins hohe Alter körperlich fit bleiben, ein Mindestmass an Selbstkontrolle und Selbstdisziplin aufwenden müssen, um diese Fitness aufrechtzuerhalten: Die Aktivierung dieser Selbstdisziplin wird über den Frontalkortex vermittelt, der im Wesentlichen auch für die Kontrolle der Exekutivfunktionen verantwortlich ist. Letztlich bedeutet dies, dass die Exekutivfunktionen durch die Aufrechterhaltung der körperlichen Leistungsfähigkeit quasi mittrainiert werden. Des Weiteren weiss man mittlerweile auch, dass bei intensiver körperlicher Betätigung vermehrt Nervenwachstumsfaktoren ausgeschüttet werden, die das Wachstum von Dendriten und Axonen fördern. Diese ersten Untersuchungen sind sehr vielversprechend und sind auch der Anlass für die Etablierung des gross angelegten Forschungsschwerpunkts «Dynamik gesunden Alterns» an der Universität Zürich. In diesem Rahmen sollen die neurophysiologischen, neuroanatomischen, psychologischen und medizinischen Rahmenbedingungen des Alterns näher untersucht werden.

Lutz Jäncke

Literatur

Draganski, B., Gaser, C., Busch, V., Schuierer, G., Bogdahn, U., & May, A. (2004). Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training. *Nature*, 427, 311–312.

Ericsson, K. A., Krampe, R. T., & Clemens, T. (1993). The role of deliberate practise in the acquisition of expert performance. *Psychological Review*, 100(3), 363–406.

Jäncke, L. (im Druck). *Einführung in die kognitiven Neurowissenschaften*. Bern: Huber-Verlag.

Langer, N., Hanggi, J., Müller, N. A., Simmen, H. P., & Jäncke, L. (2012). Effects of limb immobilization on brain plasticity. *Neurology*, 78(3), 182–188.

Voelcker-Rehage, C., Godde, B., & Staudinger, U. M. (2010). Physical and motor fitness are both related to cognition in old age. *The European Journal of Neuroscience*, 31(1), 167–176.

Der Autor

Lutz Jäncke ist Professor für Neuropsychologie an der Universität Zürich und Psychologe FSP. Er arbeitet im Bereich der funktionellen Neuroanatomie und hier insbesondere im Bereich der kortikalen Plastizität im Zusammenhang mit dem Lernen. Ein besonderer Schwerpunkt ist die Erforschung der neuronalen Grundlagen der Musikverarbeitung.

Kontakt

Prof. Dr. Lutz Jäncke, Universität Zürich, Psychologisches Institut, Abteilung Neuropsychologie, Binzmühlestrasse 14/Box 25, 8050 Zürich. lutz.jaencke@uzh.ch

Résumé

Le cerveau est un organe capable de se modifier par l'expérience, comme le révèle l'article du neuropsychologue et psychologue FSP Lutz Jäncke. Si les gènes fixent les conditions-cadres du développement du cerveau et déterminent sa flexibilité liée à l'expérience, des études sur la neuroplasticité montrent que l'éventail des possibilités est étonnamment ouvert. Ainsi, on a pu mettre en évidence que, dans le cas des musiciens professionnels, les zones du cerveau impliquées dans l'activité musicale présentent une structure anatomique très différente de celles des musiciens amateurs. Depuis peu, il s'est clairement avéré que la plasticité ne décline pas avec l'âge et qu'une bonne condition physique contribue à maintenir la capacité d'apprentissage.

psycho scope

Neuroplastizität

Adaption durch Erfahrungen

Neuroplasticité

Modifiable par l'expérience

Das PsyG ist in Kraft

Serie zu den Fachgebieten der Psychologie

La LPsy est en vigueur

Série sur les domaines de spécialisation

Berufsgeheimnis

Zeugnispflicht im Zivil- und Strafprozess

Secret professionnel

Obligation de témoigner en droit civil et pénal



www.psychologie.ch

Föderation der Schweizer
Psychologinnen
und Psychologen FSP

Fédération Suisse
des Psychologues FSP

Federazione Svizzera
delle Psicologhe
e degli Psicologi FSP

4/2013
vol. 34