



Lutz Jäncke

Neuropsychologie und Neurowissenschaften

Wo stehen Neuropsychologie und Neurowissenschaften heute und welche aktuellen Befunde sind für Kinder- und Jugendpsycholog/innen wichtig? Prof. Lutz Jäncke, erster Ordinarius für Neuropsychologie in der Schweiz, gibt einen kurzen und prägnanten Überblick.

Neuropsychologie et sciences neurologiques

Quel est l'état actuel de la neuropsychologie et des sciences neurologiques et lesquels des résultats nouveaux concernent les psychologues des enfants et des jeunes gens ? M. le Professeur Lutz Jäncke, qui a été le premier en Suisse chargé d'un ordinariat en Neuropsychologie nous en donne un résumé autant bref que significatif.

Begriffsbestimmung

Die Neuropsychologie ist eine Wissenschaftsdisziplin, die sich mit dem Zusammenhang zwischen dem Gehirn und dem Verhalten auseinandersetzt. Seit den frühen 20er Jahren des vorigen Jahrhunderts wird die Neuropsychologie eher mit den Verhaltensänderungen in Folge von Hirnstörungen in Verbindung gebracht. Der Begriff Neurowissenschaft ist eher eine Neukreation, der in den frühen 70er Jahren des vorigen Jahrhunderts verwendet wurde, um alle Forschungsrichtungen zusammenzufassen, die sich mit Hirnprozessen und Verhalten bei Mensch und Tier auseinandersetzen. Dieser Begriff wurde eher von

Neurobiologen verwendet, die sich im Rahmen von Tieruntersuchungen mit Hirnprozessen und den damit zusammenhängenden Verhaltensänderungen auseinandersetzen. Neuropsychologen waren damals implizit oder gar explizit von den Neurowissenschaften ausgeschlossen. Diese Disziplin war lange Zeit eine Domäne der Biologie, während die Neuropsychologie lange Zeit eine Domäne der Neurologie und nicht der Psychologie war. Insofern verwundert es nicht, dass viele bekannte Neuropsychologen insbesondere aus dem vorigen Jahrhundert Neurologen waren (Kleist und Duus). Wie auch immer, die aus heutiger Sicht künstlich anmutende Trennung zwischen Neuropsychologie und Neurowissenschaften ist kaum noch aufrecht zu erhalten. Es hat sich vielmehr eine Fusion zwischen beiden Disziplinen eingestellt, die letztlich sogar zu einer neuen Wissenschaftsdisziplin der Kognitiven Neurowissenschaft geführt hat. Trotz dieser begrifflichen Vielfalt ist zu bemerken, dass bei allen Disziplinen das Gehirn und seine fantastischen Leistungen im Vordergrund stehen.

Wie alles anfang

Der Mensch ist schon lange an dem Gehirn interessiert. Die wohl älteste Nennung des Wortes «Gehirn» findet sich in den «Edwin Smith Papyrus-Rollen». Hierbei handelt es sich um Papyrus-Rollen, welche wahrscheinlich um 1700 v.Chr. erstellt worden sind. Archäologen gehen davon aus, dass die dort beschriebenen Inhalte allerdings bis in die Zeit 2500-3000 v. Chr. zurückgehen. In diesen Papyrus-Rollen sind 48 klinische Fälle beschrieben, darunter 27 dezidierte Beschreibungen von Hirnverletzungen. In der Antike existierte nur eine kurze Periode, in der das Tabu der Sektion menschlicher Leichen gebrochen worden war, und zwar im 3. Jahrhundert vor Christus in Alexandria. Dort führten die zwei bemerkenswerten Forscher Herophilus und Erasistratos anatomische und physiologische Studien an den Leichen Hingerichteter, vielleicht sogar Vivisektionen an zum Tode Verurteilten durch. Leider sind nur Teile ihrer Arbeiten erhalten geblieben, die beim Brand der Bibliothek von Alexandria 47 v.Chr. vernichtet wurden. Nach dem Tod dieser Forscher sind in der Antike keine Sektionen mehr durchgeführt worden.



Abbildung 1: Hieroglyphen aus den Edwin-Smith-Papyrus-Rollen, welche das Gehirn beschreibt. Wahrscheinlich die erste kulturelle Dokumentation des Begriffs Gehirn.

Beginn der modernen Medizin

Die Geschichte der modernen, anatomisch orientierten Medizin begann in der Renaissance mit Leonardo da Vinci, der als Erster systematische Körperstudien anhand von anatomischen Präparaten anfertigte. Seine anatomischen Zeichnungen sind weltberühmt und von faszinierender Ausdruckskraft. 228 Blätter sind erhalten und heute im Besitz des englischen Königshauses in Windsor. Leider konnte er seinen Wunsch, ein anatomisches Handbuch zu erschaffen, nicht verwirklichen. Dies blieb Vesalius mit seinen Werken *De humani corporis fabrica* und *Epitome* vorbehalten. Beide Bücher erschienen 1543 in Basel. Vesalius hat beeindruckende Zeichnungen des menschlichen Gehirns angefertigt, die auch heutzutage nicht an Eindrucksstärke verloren haben. Zu bemerken ist, dass Vesalius diese Zeichnungen in einer Zeit anfertigte, in der die ventrikuläre Lokalisationshypothese noch sehr populär war. Im Rahmen dieser Theorie wird den Ventrikeln eine besondere funktionelle Bedeutung zugeschrieben. In den Ventrikeln sollte demzufolge das psychische Pneuma zirkulieren und über das Ventrikelsystem quasi in den Körper gepumpt werden. Das Gehirn fungiert im Rahmen dieses Gedankengebäudes lediglich als Stützkörper. Bestimmte Ventrikelbereiche sollten allerdings für verschiedene psychische Funktionen spezialisiert sein. Schöne optische Beispiele für diese Hypothese haben die Mönche Gregor Reisch (1504) Magnus Hundt (1501) abgeliefert. So wird z.B. dem ersten Ventrikel (der nicht gleichzusetzen ist mit dem heute als 1. Ventrikel bezeichneten Hohlkörper) die Fähigkeit zugeschrieben, Fantasie und Imagination zu kontrollieren. Der 2. Ventrikel wäre demnach für das Denken und der 3. für das Gedächtnis zuständig.

Phrenologie

Einen gewissen Aufschwung, zumindest was die Popularität in Laienkreisen betrifft, hat die Anatomie durch die Phrenologie erhalten. Die beiden Protagonisten dieser Richtung (Gall und Spurzheim) hatten versucht, aus den Unebenheiten der Schädeloberfläche (Beulen – bumps) auf die Beschaffenheit des darunter liegenden Hirngewebes zu schließen und diese anatomischen Eigenarten dann mit bestimmten psychischen Funktionen in Beziehung gebracht. Aus heutiger Sicht ist natürlich vollkommen einsichtig, dass dieser Ansatz einen Irrweg darstellte.

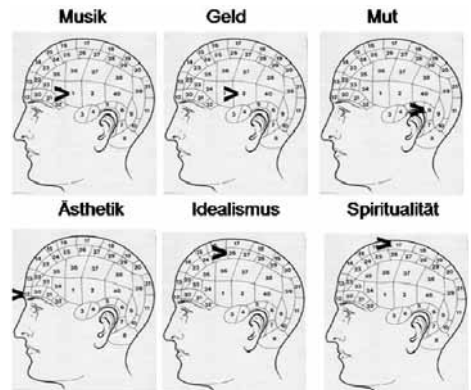


Abbildung 2: Schematische Beispiele für phrenologische Deutungsversuche hinsichtlich des Zusammenhangs zwischen Schädelmerkmalen und der Ausprägung psychischer Funktionen.

Broca und Wernicke

Bedeutend wenn nicht gar bahnbrechend waren die Befunde der Neurologen Paul Broca (1861; 1878) und Carl Wernicke (1874), sowie die Beschreibung des Patienten Phineas Gage. Diese drei Fallbeschreibungen belegen erstmalig, dass bestimmte Hirnfunktionen (Sprachexekution, Sprachperzeption und komplexe soziale Motivation) an die Intaktheit bestimmter Hirngebiete gebunden sind. Seit diesen Arbeiten, welche als Geburtsstunde der klinischen Neuropsychologie gelten, wird die Neuropsychologie mit Läsionsfällen und den damit zusammenhängenden psychischen Ausfällen in Verbindung gebracht. Anfang des 20ten Jahrhunderts wurden von Kleist und Dues (Frankfurt / Deutschland) hervorragende Be-

schreibungen von neurologischen Patienten mit psychischen Ausfällen vorgelegt, welche noch heute lesenswert sind. In den 50er Jahren des vorigen Jahrhunderts fand dann die empirische Psychologie insbesondere die Psychometrie und Testpsychologie ihren Weg in die Neuropsychologie, denn die Arbeit mit normierten, objektiven und reliablen psychologischen Tests hat sich als sehr nützlich für die Beschreibung der psychischen Ausfälle erwiesen.

Die Revolution

Die Neuropsychologie wäre weiter in ihrem Bestreben dezidierte Diagnostik psychischer Funktionen zu liefern erstarrt, wenn nicht neue Methoden zur Untersuchung des menschlichen Gehirns und dessen Funktion entwickelt worden wären. Ein erster Durchbruch konnte mit der Positronen-Emissions-Tomographie (PET) erzielt werden. Im Rahmen dieser Methode werden radioaktiv markierte Substanzen in die Blutbahn platziert, welche dann letztlich ins Gehirn gelangen. Da Hirngebiete, die in die Kontrolle kognitiver Prozesse eingebunden sind, neuronal stärker aktiv werden und damit ihre Durchblutung steigern, können durch das radioaktiv markierte Blut lokale Durchblutungsänderungen mit geeigneten Messgeräten festgestellt werden. Insofern war es erstmalig möglich, dem menschlichen Gehirn quasi bei der Arbeit zu zuschauen. Damit wurde «über Nacht» eine bis dahin einflussreiche Doktrin durchbrochen, nämlich dass die im Gehirn ablaufenden Prozesse nicht beobachtbar und damit nicht untersuchbar seien. Der einflussreichste Protagonist dieser Doktrin (Skinner) hat noch bis 1992 kurz vor seinem Tod alles das, was im Gehirn ablaufe und das Verhalten determiniere, quasi als nicht untersuchbar deklariert. Mit den neuen bildgebenden Verfahren können nun sogar Prozesse untersucht werden, die bis dahin für einen experimentell arbeitenden Psychologen Tabu waren. Typische Beispiele für solche Tabuthemen waren mentale Vorstellung, Reflektion oder gar Bewusstsein.

Eine weitere technische Entwicklung bahnte sich Mitte der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts seinen Weg in die Wissenschaft, nämlich die Magnet-

resonanztomographie (MRT). Diese Technik erlaubte es erstmalig bei gesunden und lebenden Menschen das Gehirn zu vermessen und es mit geeigneten Computertechniken sichtbar zu machen. Erstmals bekam man einen Einblick in die Individualität des menschlichen Gehirns und stellte auch fest, dass bestimmte psychische Eigenarten und Funktionen an bestimmte anatomische Besonderheiten gebunden sind (z.B. funktionale Asymmetrien korrelieren mit anatomischen Asymmetrien). Anfang der 90er Jahre kam ein weiteres Instrument zur Untersuchung von Hirnfunktionen hinzu, nämlich die funktionelle Magnetresonanztomographie (fMRT), mit der man besser und weniger invasiv als mit PET in der Lage ist, lokale Durchblutungsänderungen des menschlichen Gehirns räumlich sehr präzise zu untersuchen.

Weitere wichtige Neuentwicklungen sind die Magnetenzephalografie (MEG), moderne EEG-Technologien, sowie die transkranielle Magnetresonanztomographie (TMS), mit der man von aussen das Gehirn erregen oder gar hemmen kann. Diese Methode hat eine neue Dimension der Hirnforschung, nämlich die bewusste nicht-pharmakologische Beeinflussung von Hirnfunktionen eröffnet (für eine Zusammenfassung der Verfahren siehe Jäncke, 2005).

Die neuen Inhalte

Die oben kurz skizzierten neuen Methoden haben alte Inhalte und Erkenntnisse der Psychologie erhärtet und bestätigt, aber sie haben auch völlig neue Erkenntnisse hervorgebracht. Im Vordergrund steht allerdings die Fokussierung der Forschungsarbeit auf das Gehirn und die zunehmende Akzeptanz, dass das Gehirn wirklich für all das verantwortlich ist, was wir tun, fühlen oder denken. Dieser Paradigmenwechsel weg vom Verhalten hin zum Gehirn ist ein gewaltiger Schritt, der heute noch viele mit Unbehagen erfüllt. «Das Gehirn kann doch nicht für all das zuständig sein; da muss doch mehr sein?» sind typische Fragen, die immer wieder gestellt werden. Die oft als einzigartig empfundene menschliche Existenz scheint wie entzaubert zu sein und auf die Grösse eines 1.3 kg schweren Klumpens reduziert zu werden. Man könnte allerdings diesen Sachverhalt auch anders sehen. Man könnte zunehmend mehr und mehr Ehrfurcht vor dem

bemerkenswerten Organ Gehirn entwickeln, das offenbar eine so zentrale Rolle in unserem Dasein entwickelt hat. Neben diesem Paradigmenwechsel sind auch eine Reihe von bemerkenswerten Befunden zu erwähnen, die für den praktischen Alltag der Pädagogik, der Neurologie und der klinischen Psychologie eine herausragende Bedeutung einnehmen. Im Folgenden werde ich einige Beispiele darstellen, wobei ich jene mir erlaube herauszugreifen, die insbesondere für den praktisch orientierten Interessierten von besonderer Bedeutung sind bzw. sein werden. Dies sind Erkenntnisse bzgl. der «unbewussten Wahrnehmung», der Probleme des «freien Willens», der Problematik von «Illusion und Realität», sowie das neu verstandene Wechselspiel zwischen «Reifung und Plastizität» des menschlichen Gehirns.

Unbewusste Wahrnehmung

Der Terminus «unbewusste Wahrnehmung» war noch vor nicht allzu langer Zeit (ca. vor 10 Jahren) für einen Experimentalpsychologen ein Tabuwort. Es gab eigentlich keine unbewusste Wahrnehmung, insbesondere weil Skinners' Doktrin immer noch wirkte und ein guter Experimentalpsychologe sich deutlich von der Freudschen Psychoanalyse entfernen musste und Begriffe wie «unbewusst» aus seinem Vokabular verbannte. Dass gerade dieses Thema von den naturwissenschaftlich arbeitenden kognitiven Neurowissenschaften wieder aufgegriffen wurde, hat schon etwas Grotteskes. Wie auch immer, der wichtigste Befund zu diesem Thema wurde 1997 in dem angesehenen Journal of Neuroscience publiziert und beschreibt die Ergebnisse einer fMRT-Arbeit (Whalen et al., 1998). In dieser Arbeit wurden gesunden Versuchspersonen sehr kurz (ca. 25 ms) Gesichtsbilder dargeboten, die entweder lachende oder furchtverzerrte Gesichter darstellten. Die Darbietung wurde so sorgfältig durchgeführt, dass die Versuchspersonen überhaupt nicht merkten, dass sie Gesichter präsentiert bekamen. Es wurde allerdings die Veränderung der Durchblutung in verschiedenen Hirnregionen auf die Darbietung dieser Bilder räumlich sehr präzise erfasst. Hierbei zeigte sich ein bemerkenswerter Befund, nämlich dass die Furchtgesichter, obwohl sie gar nicht bewusst wahr-

genommen wurden, zu starken Durchblutungszunahmen im Mandelkern (Amygdala) führten. Dieses Hirngebiet ist eine wichtige Verarbeitungszentrale für emotionale Informationen, insbesondere wenn es sich um stark aktivierende und negative Emotionen wie Furcht handelt. Was bedeutet dieser Befund? Dieser Befund belegt, dass wichtige emotionale Informationen Zugang zu unseren emotionsverarbeitenden Zentren erlangen, ohne dass wir uns dessen bewusst gewahr werden. Dies bedeutet auch, dass diese Informationen prinzipiell für weitere Verarbeitungsschritte zur Verfügung stehen. Wahrscheinlich werden viele Denktätigkeiten durch die unbewusst aufgenommenen emotionalen Informationen beeinflusst. Sehr wahrscheinlich erklärt dies, dass wir Appetenzhandlungen ähnlich wie Tiere ausführen, um emotionalen Reizen zu begegnen oder ihnen auszuweichen. Mittlerweile sind eine Reihe von ähnlichen Ergebnissen publiziert worden. Des Weiteren bieten sich unbewusst dargebotene emotionale Reize auch als Hilfsmittel für neuropsychologische Therapiemöglichkeiten an. Z.B. hat sich gezeigt, dass die Darbietung von emotionalen Reizen Neglect-Probleme eliminieren bzw. reduzieren kann.

Freier Wille

Mit dem Erkenntnisgewinn der kognitiven Neurowissenschaften erhob sich die Suche nach dem «freien Willen» zunehmend zu einem bedeutenden Problem, welches Neurowissenschaftler und Philosophen gleichermaßen beschäftigt. Grundlage der Diskussion, ob der Mensch wirklich über einen ernst zu nehmenden freien Willen verfügt, war das bereits 1965 von den Deutschen Neurologen Kornhuber und Deecke entdeckte «Bereitschaftspotential» (1965). Hierbei handelt es sich um ein langsames elektrisches Potential, das sich ca. 1.5 Sekunden vor einfachen Bewegungen über den Motorarealen aufbaut. Wenn man allerdings durch ausgeklügelte Methoden misst, wann die Versuchsperson erstmalig den Wunsch verspürt, die einfache Bewegung auszuführen, stellt man fest, dass mindestens 300-400 ms vor diesem ersten bewusst gewordenen Wunsch, die Bewegung auszuführen, das Gehirn mit dem Aufbau des elektrischen Potentials beginnt (Haggard & Eimer, 1999). Mit

anderen Worten, das Gehirn bereitet die Bewegung fast eine halbe Sekunde vor dem Zeitpunkt vor, wo uns der Wunsch zu bewegen, bewusst wird. Ist demzufolge der «Wille» sich zu bewegen, eher eine Interpretation eines Phänomens, das bereits begonnen hat und vielleicht auch nicht zu beenden ist? Diese und ähnliche Fragen beschäftigen derzeit Philosophen und Neurowissenschaftler. Wie auch immer die Diskussion ausgehen wird, fest steht allerdings, dass die kognitive Neurowissenschaft im Zuge dieser Diskussion viele Befunde zu Tage gefördert hat, die belegen, dass unser Gehirn für viele alltägliche Tätigkeiten, mögen sie auch noch so kompliziert sein, wenig messbare Gehirntätigkeit aufwenden muss. Ein typisches Beispiel ist das Autofahren, das bei einem geübten Autofahrer relativ wenig neuronale Aktivierung erfordert. Gleichzeitig kann man feststellen, dass uns beim Autofahren auch recht wenige Ereignisse wirklich gewahr werden. Das bedeutet aber nicht, dass unser Gehirn diese Ereignisse nicht verarbeitet. Es bedeutet vielmehr, dass unser Gehirn über einen Verarbeitungsmodus verfügt, der eine effiziente aber gleichzeitig unbewusste Verarbeitung selbst komplizierter Abläufe ermöglicht. Dieser Verarbeitungsmodus, den wir prozedurale oder automatisierte Verarbeitung nennen, wird im Übrigen von anderen Hirngebieten kontrolliert, als die bewussten Verarbeitungsprozesse. Teilweise bestehen sogar gegenseitig hemmende Interaktionen zwischen diesen beiden Systemen. Ist das bewusste explizite System aktiv, wird das untergeordnete prozedurale unbewusst arbeitende System gehemmt. Allerdings eröffnet diese duale Einteilung auch neue therapeutische Möglichkeiten für Alzheimer-Patienten oder andere Patienten mit Gedächtnisstörungen. Bei diesen Patienten kann das prozedurale System noch genutzt werden, um neue und hilfreiche Verhaltensweisen aufzubauen. Erste Ansätze hierzu sind bereits praktiziert worden.

Illusion und Realität

Illusionen, Halluzinationen, Deja vu-Erlebnisse, mentale Vorstellungen, Tagträume oder gar Sinnes-täuschungen sind schillernde Beispiele menschlicher Wahrnehmungen, die nicht selten als Hirngespinnste

oder gar Einbildungen interpretiert wurden. Die moderne kognitive Neurowissenschaft hat sich wieder diesen Themen angenommen und konnte eindrücklich belegen, dass die oben aufgeführten Phänomene mit dezidierten neuronalen Erregungen verbunden sind. Demzufolge sind diese Phänomene als Produkt der neuronalen Erregung bestimmter Hirngebiete aufzufassen. In diesem Zusammenhang konnte gezeigt werden, dass unser Gehirn als ein vernetztes System aufzufassen ist, in dem verschiedene Funktionsmodule auf unterschiedlichen Ebenen miteinander kommunizieren. Hierbei sind verschiedene Interaktionswege dominant. Einer wird als Bottom-up-Weg und der andere als Top-down-Weg bezeichnet. Der Bottom-up-Weg kennzeichnet den Informationsfluss vom sensorischen Organ (z.B. dem Auge oder dem Ohr) zu den entsprechenden Verarbeitungszentren im Grosshirn. Der andere Weg (Top-down) kennzeichnet den Informationsfluss von übergeordneten Zentren zu untergeordneten Zentren, oder den Informationsweg zwischen den übergeordneten Zentren. Das Interessante hierbei ist, dass unser Gehirn offenbar den Top-down-Weg selbständig aktivieren kann und damit selbst generierte Wahrnehmungen erzeugen kann, die sich uns entweder als Illusionen, Deja-vu-Erlebnisse, mentale Vorstellungen oder Träume offenbaren. Hierbei kann sogar bei uns der Eindruck entstehen, dass die selbsterzeugten Wahrnehmungen real wären und wir nicht mehr zwischen Realität und Illusion unterscheiden können. Neuere Arbeiten konnten auch zeigen, dass unser Gehirn ständig und automatisch assoziiert. Z.B. wenn wir visuelle Reize wahrnehmen, die typischerweise mit akustischen Informationen gekoppelt sind (z.B. wir sehen ein Video von einem Wasserfall, wo der Ton abgeschaltet ist), dann sind automatisch auch die auditorischen Areale (genauer die sekundären auditorischen Areale) aktiv. Gelegentlich haben wir in solchen Situationen auch den Eindruck, dass wir etwas hören, obwohl kein akustischer Reiz vorhanden ist. Unser Gehirn assoziiert offenbar ständig und generiert individuelle Wahrnehmungen, die nicht immer (vielleicht auch nie) der physikalischen Realität entsprechen. Bemerkenswerterweise hatten schon die Buddhisten dieses Problem erkannt und zwischen Realität und Wahrheit unterschieden. Hierbei wird die

Wahrheit als subjektiv interpretierte Realität aufgefasst. Die moderne Hirnforschung belegt diese Auffassung, in dem sie nachweist, dass unser Gehirn ständig aufgenommene Informationen assoziiert und interpretiert. Hierbei sind die erstellten Assoziationen durchaus individuell und erfahrungsabhängig, so dass die daraus resultierenden Wahrnehmungen subjektiv sind. Ein wichtiger Hinweis auch im Zusammenhang mit dem folgenden Abschnitt ist, dass diese Assoziationen offenbar ein Produkt des individuellen Lernens sind. D.h. unser Gehirn baut im Zusammenhang mit der individuellen Lernerfahrung ein assoziatives Netz auf, das als Produkt auch individuelle Wahrnehmungen generiert. Interessant ist auch, dass die Grösse und Differenziertheit dieses Netzes wesentlich die Güte des Lernens determiniert. Prinzipiell kann man feststellen, dass mit zunehmender Differenziertheit des Netzes auch explizite Lernprozesse effizienter und schneller werden.

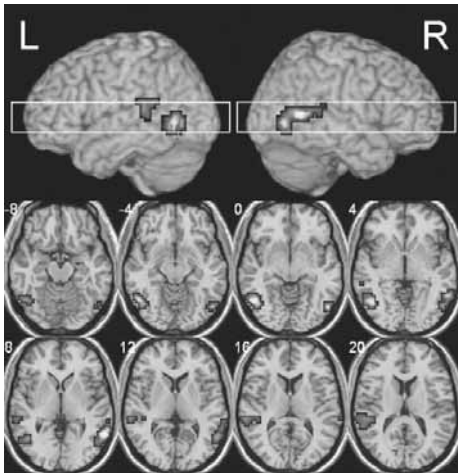


Abbildung 3: In rot* sind Durchblutungsveränderungen dargestellt, die im sekundären auditorischen Areal bei der Präsentation von visuellen Reizen gemessen werden konnten, die mit typischen Geräuschen assoziiert sind. Hierbei ist zu bedenken, dass physikalisch kein akustischer Reiz präsentiert wurde, aber trotzdem der auditorische Kortex aktiv ist (Bunce, Wüstenberg, Lutz, Heinze, & Jancke, 2005). *(Im schwarz-weiss-Druck dunkelgrau umrahmte Areale. Anm. d. Red.).

Die Plastizität des Gehirns

Die wohl bemerkenswertesten Befunde hat die moderne kognitive Neurowissenschaft im Hinblick auf die Plastizität des Gehirns beigetragen. Noch vor ca. 10 Jahren war es praktisch undenkbar anzunehmen, dass das erwachsene menschliche Gehirn durch erfahrungsbedingte Einflüsse strukturell bzw. anatomisch modifiziert werden könnte. Mit den neuen bildgebenden Methoden konnte allerdings eindrücklich gezeigt werden, dass kognitive und motorische Lernerfahrungen sich nicht nur in Verhaltensänderungen niederschlagen, sondern auch zu markanten strukturellen (anatomischen) Veränderungen des Gehirns führen. Professionelle Musiker zeichnen sich z.B. durch vergrösserte sensorische und motorische Areale aus, wobei das Ausmass der strukturellen Veränderung mit der Dauer und Intensität des Musiktrainings zusammenhängt. Absolut hörende Musiker weisen eine exzessive Vergrösserung des sekundären auditorischen Areals auf. Die Grösse des posterioren Hippokampusareals, das in räumliches Lernen eingebunden ist, ist bei Londoner Taxifahrern deutlich grösser, wobei die Grösse mit der Dauer des Taxifahrertrainings korreliert (je länger das Training desto mehr graue Substanz im Hippokampus) (Maguire et al., 2000). Interessant ist in diesem Zusammenhang auch ein neuerer Befund, wonach dreimonatiges Jongliertraining zu einer Zunahme der Dichte der grauen Substanz im Bewegungswahrnehmungsareal MT führt (Draganski et al., 2004).

Kortikale Umstrukturierung im Alter

Au dieser Stelle könnte ich die faszinierenden neuen Befunde zur Plastizität des adulten Gehirns quasi endlos weiterführen. Aus Platzgründen erlaube ich mir eine Konklusion, die sich m.E. aus diesen Studien ergibt, nämlich dass das menschliche Gehirn bis ins hohe Alter (sofern keine schwerwiegenden neurologischen oder psychiatrischen Krankheiten vorliegen) formbarer ist als bislang vermutet. Dies eröffnet nicht nur neue Perspektiven im Hinblick auf die Trainingsintensität, die wir älteren Gehirnen (und deren Träger) zumuten können ja sogar müssen, sondern diese Befunde tragen vielmehr dazu bei, das Altern aus einer veränderten Perspektive zu be-

trachten. Hierbei wird der Alterungsprozess nicht mehr als eine mehr oder weniger passive Abnahme von kognitiven Funktionen aufgefasst, welche durch einen ebenfalls passiven Abbau der Gehirnsubstanz bedingt ist. Altern wird gemäss der neuen Sichtweise eher als ein sich ständig vollziehender kortikaler Umstrukturierungsprozess aufgefasst, der sehr stark wenn nicht gar überwiegend von externen und erfahrungsbedingten Faktoren bestimmt wird. Hierbei kann es auch zu einem strukturellen Abbau der Hirnschicht kommen, auch wenn keine markanten neurologischen Beeinträchtigungen vorliegen. Wahrscheinlich sind diese Abbauprozesse sehr stark durch emotionale Belastungen (und den damit verbundenen negativen hormonellen Einflüssen) und durch Nichtgebrauch kognitiver Funktionen bedingt. Insofern wird in Zukunft dem Management des Alterns vermehrt Aufmerksamkeit gewidmet werden müssen. Neben der Art und Weise wie wir lernen mit Stress auslösenden Ereignissen umzugehen, wird auch die sinnvolle kognitive Betätigung im Alter eine wichtige Rolle einnehmen. Z.B. konnte kürzlich gezeigt werden, dass ältere Menschen über keinen Abbau der grauen Substanz im Frontalkortex leiden, wenn sie bis ins hohe Alter Musik ausüben.

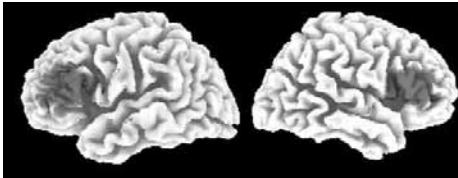


Abbildung 4: In rot* sind die Hirngebiete dargestellt, die mit zunehmendem Alter keinen Abbau der grauen Substanz zeigen, wenn die Versuchspersonen im Alter noch Musik ausüben (Sluming et al., 2002). *(Im schwarz-weiß Druck dunkelgrau umrahmte Areale. Anm. d. Red.).

Zunahme der Verkabelung im Jugendalter

Trotz der Abkehr von der unidimensionalen altersbedingten Abbauphase haben neuere Befunde auch mehr oder weniger passive aber biologisch bedingte Reifungsphänomene herausgearbeitet, die aber interessanterweise vor allem in der frühen Jugend bis ins Teenageralter wirksam sind (und nicht

im vorangeschrittenen Alter wie früher häufig vermutet). So konnte gezeigt werden, dass insbesondere der Frontalkortex, welcher Sitz wichtiger exekutiver Funktionen ist, in den ersten zwei Lebensdekaden massive anatomische Veränderungen erfährt. In den ersten 15-20 Lebensjahren kann ein kontinuierlicher Abbau der Dichte der grauen Substanz bei gleichzeitigem Aufbau der weissen Substanz (was einer Zunahme der inter- und intrahemisphärischen Verkabelung entspricht) festgestellt werden. Dies ist umso bemerkenswerter, als auch bekannt ist, dass gerade Jugendliche, insbesondere in der Zeitspanne um die Pubertät, enorme Probleme haben, ihre exekutiven Funktionen zu beherrschen. So gelingt ihnen vergleichsweise schlecht sich zu disziplinieren, sich zu motivieren, sich in andere hineinzusetzen, oder ihr Handeln zu planen. Dies hat natürlich enorme Konsequenzen für pädagogische Massnahmen. Denn aufgrund dieser Befunde sind Jugendliche (und insbesondere Pubertierende) offenbar reifungsbedingt noch nicht im Besitz voll funktionsfähiger exekutiver Funktionen. Eine Möglichkeit diesem Problem entgegenzuwirken bestände darin, die exekutiven Rahmenbedingungen von aussen vorzugeben. Auf der anderen Seite kann man aus diesen Befunden ableiten, dass man Jugendliche nicht sich selbst überlassen darf, denn aufgrund ihrer mangelnden Selbstkontrolle können sie sich schnell in anderen Tätigkeiten verlieren (z.B. exzessives Computerspielen oder Fernsehen etc.).

Frühe kognitive Stimulation ist nötig

Auch das Lernen in frühesten Kindheit wird zunehmend unter einer anderen Perspektive betrachtet. Frühkindliche Erfahrungen haben einen ungeheuren Einfluss auf die Entwicklung unseres Gehirns. In den ersten fünf Lebensjahren verdreifacht sich das Hirngewicht von 400 gr zu 1200 gr. In dieser Zeit des Hirnwachstums lernt das Kind viele elementare Funktionen, unter anderem die Sprache. Wird das kindliche Gehirn in dieser Zeit nicht angemessen stimuliert, verkümmert es quasi und bildet nicht die angemessenen Grundlagen aus, um in den folgenden Jahren weiteres Wissen adäquat zu erwerben und sicher im Gehirn zu verankern. Dies haben die bemerkenswerten Studien an Waisenkindern aus rumänischen Waisenhäusern

gezeigt. Diese Kinder leiden nicht nur unter einem reduzierten Hirnwachstum, sondern auch unter defizitären kognitiven Leistungen (wahrscheinlich infolge mangelnder kognitiver Stimulation). Insofern ist die konsequente kognitive Stimulation des Kindes eine wichtige Strategie, um die Entwicklung kognitiv funktionsfähiger Kinder zu fördern.

Grenzen der Plastizität

Es gibt allerdings auch Grenzen der Plastizität. Dies zeigt sich eindrücklich beim Spracherwerb. Das Sprachsystem funktioniert ungefähr wie ein statistischer Speicher, der Sprachsignale gemäss der Häufigkeit des Auftretens abspeichert. D.h. die Systeme bilden eine besondere Expertise für häufig gehörte bzw. gesprochene Sprachbestandteile aus. Dies kann dazu führen, dass z.B. eine zweite Sprache sich störend auf den Erwerb der ersten Sprache auswirkt. Bei normaler Begabung ist dies allerdings kein Problem, nur der Spracherwerb kann im Vergleich zu Kindern, die nur eine Sprache lernen, etwas verzögert sein. Allerdings mit dem Gewinn, dass das mehrsprachig aufwachsende Kind dann nach einer relativ kurzen Phase auch zwei Sprachen durchaus beherrschen kann. Dies ist ein Plädoyer für und nicht gegen die Zweisprachigkeit. Man sollte nur genügend Zeit und Geduld beim Spracherwerb an den Tag legen. Es hat sich gezeigt, dass Mehrsprachigkeit auch mit kognitiven Belastungen verbunden ist, denn der Wechsel zwischen den Sprachen ist mit mehr oder weniger aktiven Hemmprozessen verbunden. Wird die eine Sprache genutzt, muss die andere teilweise aktiv unterdrückt werden. Das kostet Aufmerksamkeit und damit Mühe. Insofern sollte man sich gut überlegen, welche Sprachen man lernen will, denn die Kapazität zum Spracherwerb scheint nicht unermesslich zu sein.

Lernen und Verlernen

Ein weiterer wichtiger Aspekt taucht im Zuge der kognitiven Neurowissenschaften ebenfalls auf. Unser Gehirn ist nicht nur lernfähig, sondern es ist auch in gleichem Masse fähig, zu verlernen. Man kann sogar seine eigene Muttersprache verlernen, wenn man sie nicht mehr verwendet, weil man eine fremde Sprache sprechen muss (Pallier et al., 2003). Dieser Befund

belegt eindrücklich, dass unser Gehirn ein dynamisches System ist, das sich an viele neue Situationen und Lebensumstände anpassen kann. Insofern ist dem Verlernen zu Gunsten des Erwerbs neuer Informationen in Zukunft vermehrt Aufmerksamkeit zu widmen. Im Übrigen ist dies eine Reminiszenz an die «alte» Lernpsychologie aus den 50er Jahren des letzten Jahrhunderts, die schon damals über das Verlernen als Voraussetzung für das Lernen neuer Informationen nachgedacht hat.

Kognitive Neurowissenschaften als aktueller Trend

Die oben dargestellten Befunde sollten zeigen, dass Neuropsychologie und Neurowissenschaften zu einer eigenen Disziplin verschmolzen sind, nämlich der kognitiven Neurowissenschaft. Diese Disziplin konzentriert sich nicht wie die klassische klinische Neuropsychologie auf das kranke Gehirn, sondern ergänzend auch auf das gesunde Gehirn. Im Vordergrund steht hierbei das menschliche Gehirn und nicht wie früher in der Neurobiologie das Gehirn von Primaten oder anderen Tieren. Hierdurch sind neue Erkenntnisschübe über die Funktionsweise des menschlichen Gehirns zu Tage gefördert worden, die für die Klinik (Diagnostik und Rehabilitation), die Pädagogik, aber auch für das grundlegende Verständnis des menschlichen Daseins ausserordentlich wichtig sind. Die neuen Befunde, die im Übrigen auch optisch eindringlich präsentiert werden (wegen der bildgebenden Verfahren), haben für den Laien immense Anziehungskraft. Offenbar erhofft man sich durch diese neue Forschungsrichtung Aufklärung über grundlegende Fragen des menschlichen Daseins (z.B. was ist Bewusstsein) und den Umgang mit Verhaltens- und Kognitionsstörungen. Diese Erwartungshaltung verpflichtet natürlich auch die kognitiven Neurowissenschaftler, das in sie gesetzte Vertrauen zu erfüllen, aber andererseits ist damit auch eine Verpflichtung zum sorgfältigen Umgang mit Erkenntnissen und Versprechungen verbunden. In diesem Spannungsfeld zu arbeiten, ist eine der bemerkenswertesten Herausforderungen der aktuellen Wissenschaft.

Lehrstuhl für Neuropsychologie an der Universität Zürich

Die Universität Zürich hat mit der Einrichtung des Ordinariats für Neuropsychologie demonstriert, dass sie die neuen Entwicklungen ernst nimmt. Die hohen Studierendenzahlen, welche sich in den ersten drei Jahren ergeben haben, belegen darüber hinaus, wie attraktiv dieses Fach ist. Die Studierenden werden in dieses Fach gemäss den oben beschriebenen Inhalten eingeführt. Wichtigstes Leitmotiv ist die konsequente Fokussierung auf das Gehirn. Nur wenn die Gehirnfunktionen verstanden werden, kann man das vom Gehirn kontrollierte und generierte Verhalten verstehen. Wichtigstes Forschungsziel an diesem Lehrstuhl ist die konsequente Erforschung der funktionellen und strukturellen Plastizität des menschlichen Gehirns. In Folge dieser Forschungsbemühungen sollen neue Methoden für die Rehabilitation und das Training kognitiver sowie motorischer Funktionen entwickelt werden.

Der Lehrstuhlinhaber arbeitet seit ca. 20 Jahren im Bereich der kognitiven Neurowissenschaften, wobei sein Hauptforschungsschwerpunkt die funktionelle Neuroanatomie sowie die Systemanalyse des Gehirns ist. Ein Kernschwerpunkt war immer die funktionelle Plastizität, wobei hierbei häufig professionelle Musiker untersucht wurden. Diese Berufsgruppe ist insofern interessant, als dass sie meistens sehr früh mit dem musikalischen Training beginnt und darüber hinaus bis hohe Alter intensiv trainiert. Insofern bieten sie ein exzellentes Modell, um den Einfluss von Training und Erfahrung auf das Gehirn und seine Funktionsweise zu untersuchen. Diese Forschungen haben zu über 140 Publikationen in internationalen peer-reviewed Zeitschriften, mehreren Büchern und Buchkapiteln geführt. Diese Arbeiten und der Autor werden zu den 1% der am häufigsten zitierten Beiträge zur Neurowissenschaft gezählt.

Prof. Dr. rer. Nat Lutz Jäncke
Universität Zürich, Lehrstuhl für Neuropsychologie
Treichlerstrasse 10, 8032 Zürich
Email: l.jaencke@psychologie.unizh.ch

Literatur

- Broca, P. (1861). Remarques sur le siege du language articulé survie d'une observation d'aphemie (perte de la parole). *Bull Soc Anat Paris*, 36, 330-357.
- Broca, P. (1878). Anatomie comparée des circonvolutions c-erebrales. Le grand lobe limbique et la scissure limbique dans la série des mammifères. *Rev Antropol Ser.*, 2, 384-498.
- Bunce, N., Wüstenberg, T., Lutz, K., Heinze, H. J., & Jancke, L. Scanning silence: Mental imagery of complex sounds. *Neuroimage*, (in press).
- 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.
- Haggard, P. & Eimer, M. (1999). On the relation between brain potentials and the awareness of voluntary movements. *Exp. Brain Res.*, 126, 128-133.
- Jäncke, L. (2005). Methoden der Bildgebung in der Psychologie und den kognitiven Neurowissenschaften. Stuttgart: Kohlhammer Verlag.
- Kornhuber, H. H. & Deecke, L. (1965). [CHANGES IN THE BRAIN POTENTIAL IN VOLUNTARY MOVEMENTS AND PASSIVE MOVEMENTS IN MAN: READINESS POTENTIAL AND REAFFERENT POTENTIALS.]. *Pflügers Arch. Gesamte Physiol Menschen. Tiere.*, 284, 1-17.
- Maguire, E. A., Gadian, D. G., Johnsrude, I. S., Good, C. D., Ashburner, J., Frackowiak, R. S. et al. (2000). Navigation-related structural change in the hippocampi of taxi drivers. *Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A.*, 97, 4398-4403.
- Pallier, C., Dehaene, S., Poline, J. B., LeBihan, D., Argenti, A. M., Dupoux, E. et al. (2003). Brain imaging of language plasticity in adopted adults: can a second language replace the first? *Cereb. Cortex*, 13, 155-161.
- Sluming, V., Barrick, T., Howard, M., Cezayirli, E., Mayes, A., & Roberts, N. (2002). Voxel-based morphometry reveals increased gray matter density in Broca's area in male symphony orchestra musicians. *Neuroimage.*, 17, 1613-1622.
- Wernicke, C. (1874). *Der aphasische Symptomenkomplex*. Breslau: Cohn & Weigert.
- Whalen, P. J., Rauch, S. L., Etcoff, N. L., McInerney, S. C., Lee, M. B., & Jenike, M. A. (1998). Masked presentations of emotional facial expressions modulate amygdala activity without explicit knowledge. *J. Neurosci.*, 18, 411-418.