

Dahinter steckt

EIN KLUGER KOPF

Was läuft in genialen Gehirnen anders als in den grauen Zellen von Dietrich Durchschnitt? Lange Zeit tappten Mediziner und Hirnforscher in dieser Frage im Dunkeln. Doch es tut sich etwas: In den letzten Jahren konnten sie die ersten neurobiologischen Schleier des klugen Kopfes lüften.

VON CHRISTIAN HOPPE UND JELENA STOJANOVIC

MEHR ZUM TITELTHEMA

- > **Clever, kreativ – erfolgreich?**
Hochbegabte Kinder optimal fördern (S. 40)
- > **Hochbegabung: Fakten und Fiktionen**
Die vielen Facetten außergewöhnlicher Intelligenz (S. 44)

Was hat der Mathematiker Carl Friedrich Gauß (1777–1855) mit dem Philosophen John Stuart Mill (1806–1873) und dem Pianisten Lang Lang (Jahrgang 1982) gemeinsam? Sie alle fielen – ebenso wie Wolfgang Amadeus Mozart (1756–1791) – bereits als Kinder durch ungewöhnliche Geistesgaben auf. Heute sprechen wir von Hochbegabung: einer weit über dem Altersdurchschnitt liegenden Leistungsfähigkeit.

Was unterscheidet hochintelligente Köpfe von normalen Durchschnittsdenkern? Für diese Frage hatten sich Hirnforscher lange Zeit wenig interessiert. Zwar konnten klinische Neuropsychologen in den vergangenen 150 Jahren sehr viel über den Zusammenhang zwischen kognitiven Fähigkeiten und Hirnprozessen lernen. Doch diese Erkenntnisse stammten überwiegend aus Untersuchungen über Funktionsausfälle nach schweren Hirnschädigungen. Intakte psychische Funktionen anhand gesunder Gehirne zu ermitteln stellt aber eine weitaus größere Herausforderung dar.

Kognitive Prozesse beruhen auf neuronaler Signalverarbeitung – also sollten sich hier auch die Unterschiede zwischen normalen und hoch-

begabten Denkern verbergen. Dass Hochbegabte ihren Geist erfolgreicher und effektiver einsetzen, ist offensichtlich. Doch wie kommt es zu dieser höheren kognitiven Leistungsfähigkeit? Etwa durch ein größeres Gehirn? Durch mehr Nervenzellen oder Synapsen, die sich mit einer Denkaufgabe beschäftigen? Oder im Gegenteil: durch eine höhere »neuronale« Effizienz – sodass also die gleiche Leistung mit einem geringeren Einsatz an Energie und Hirnmasse erzielt wird? Diese Fragen sind unter Hirnforschern heute heiß umstritten.

Der emeritierte Jenaer Experimentalpsychologe Werner Krause geht davon aus, dass Hochbegabte Denkaufgaben besonders geschickt angehen: Rasch extrahieren sie die Merkmale eines Problems, die für die Lösung entscheidend sind. Ihr Geist »verschlingt« die Aufgabe und bearbeitet sie flexibler. Damit lässt sich die begrenzte Kapazität des Arbeitsgedächtnisses optimal ausnutzen; die einzelnen Lösungsschritte laufen effizienter und schneller ab – Hochbegabte erreichen dadurch in kürzerer Zeit und mit weniger Anstrengung höhere Leistungen als Normalbürger.



CHINESISCHES WUNDERKIND

Seit seinem fünften Lebensjahr tritt der Pianist Lang Lang öffentlich auf – bereits mit elf gewann er seinen ersten internationalen Preis.

Worauf beruht diese höhere kognitive Effizienz des Gehirns? Edward Miller von der University of New Orleans vermutete bereits im Jahr 1994, die Nervenzellen von hochintelligenten Menschen seien stärker myelinisiert. Myelin sorgt als Isolierschicht der Axone für eine rasche Weiterleitung der Nervensignale. Wenn Intelligenzbestien tatsächlich schnellere Nervenfaser besäßen, kämen sie unterm Strich mit einer geringeren Hirnaktivität und entsprechend niedrigerem Energieverbrauch aus.

Schuften in der Ruhephase

Norbert Jaušovec von der slowenischen Universität Maribor fand Ende der 1990er Jahre ebenfalls Hinweise für eine gesteigerte neuronale Effizienz: Seine Messungen per Elektroencephalografie (EEG) ergaben, dass Hochbegabte, die eine mentale Nuss knacken, im Vergleich zu normal begabten Menschen nicht etwa Anzeichen höherer, sondern vielmehr niedrigerer Anstrengung aufwiesen. Während der Ruhephasen sah es dagegen genau umgekehrt aus: Jetzt schienen die genialen Köpfe mehr zu arbeiten als die der Vergleichsgruppe.

Die Arbeitsgruppe des Grazer Psychologen Aljoscha Neubauer bestätigte in einer Reihe von Studien, dass eine höhere geistige Leistungsfähigkeit mit einer geringeren corticalen Aktivierung verknüpft sein kann: Demnach arbeiten geniale graue Zellen weniger. Diese Ergebnisse decken sich allerdings nicht mit den EEG-Messungen von Joel Alexander von der Western Oregon University in Monmouth, die er 1996 zusammen mit Michael O'Boyle von der Texas Tech University in Lubbock und Camilla Benbow von der Iowa State University in Ames an jugendlichen Überfliegern durchführte. Die drei Forscher untermauerten zwar die Vorstellung der amerikanischen Neurologen Norman Geschwind und Albert Galaburda, der zufolge Genies vor allem ihre rechte Hirnhälfte einsetzen (siehe Kasten S. 55), die mentale Aktivität lag jedoch während der Bearbeitung von Aufgaben höher als bei ihren durchschnittlich begabten Altersgenossen.

Letztlich bleiben EEG-Daten zu grob, um zu ergründen, wie groß die Hirnregionen sind, die bei bestimmten Aufgaben arbeiten. Einen räumlich viel genaueren Blick hinter die Stirn

AUF EINEN BLICK

Turbogeist im Superhirn

1 Hochbegabte erzielen ihre ungewöhnlichen Leistungen durch eine höhere *kognitive* Effizienz.

2 Diese höhere kognitive Effizienz könnte theoretisch durch eine gesteigerte *neuronale* Effizienz erreicht werden, indem das hochbegabte Gehirn mit einem *geringeren* Einsatz an Masse und Energie gleiche Leistungen erzielt.

3 Die meisten Hirnaktivitätsmessungen geben jedoch keine Hinweise für eine höhere neuronale Effizienz. Vielmehr haben Hochbegabte im Vergleich zu normal begabten Menschen *regional vergrößerte* Hirnareale sowie eine *erhöhte* Hirnaktivität, sobald sie sich mit kognitiven Aufgaben beschäftigen, die ihren geistigen Fähigkeiten entsprechen.

Klassische Wunderkinder: musikalisch Hochbegabte

Menschliche Talente sind vielfältig, und auch unter »Genies« herrscht bunter Durcheinander: Manche erweisen sich als Mathe-asse, andere als begnadete Pianisten. Forschungsergebnisse, die an Versuchspersonen mit unterschiedlichsten Hochbegabungen gewonnen wurden, decken sich tatsächlich weitgehend. So konnte die Tübinger Psychologin Marianne Hassler zu Beginn der 1990er Jahre in umfangreichen Untersuchungsreihen das Geschwind-Galaburda-Modell (siehe Kasten rechts) auch in puncto musikalisches Talent bestätigen: Linkshänder wiesen zum Beispiel einen höheren »musikalischen IQ« auf, und die Mehrheit der professionellen Musiker bevorzugte tatsächlich die linke Hand.

Ähnlich wie bei Hochintelligenten sieht auch die Hirnaktivität von musikalischen Genies aus: 2003 berichteten Wissenschaftler um Christo Pantev, der jetzt an der Universität Münster forscht, von einer im Vergleich zu Nichtmusikern um ein Viertel ausgedehnteren Hirnaktivierung bei Musikern, die Klaviertöne hörten. Die Forscher hatten ihre Daten mit der Magnetoencephalografie (MEG) gewonnen, bei der magnetische Feldpotenziale an der Kopfoberfläche registriert werden.

Die gesteigerte Hirnaktivität der Musiker scheint jedoch ausschließlich beim Hören von Musik aufzutreten, fanden Forscher aus Österreich um Joydeep Bhattacharya 2001 heraus. Lauschten ihre Probanden dagegen einem gesprochenen Text, dann sah das Hirnstrom-Muster bei Musikern und Nichtmusikern ähnlich aus.

Vanessa Sluming von der University of Liverpool und ihre Kollegen wiesen 2002 per Magnetresonanztomografie (MRT, siehe Kasten S. 56) bei Orchestermusikern eine höhere Dichte der grauen Substanz – also der Nervenzellkörper – im Broca-Areal des linken Stirnhirns im Vergleich zur Kontrollgruppe nach. Diese Hirnstruktur spielt bekanntermaßen für die Sprachproduktion eine entscheidende Rolle. Wie weitere fMRT-Studien zeigten, benötigen

Musiker dieses Areal auch für die visuell-räumliche Verarbeitung von Reizen, wenn sie beispielsweise vom Blatt spielen. Die höhere Dichte im Broca-Areal scheint jedoch nicht angeboren zu sein, denn bei Musikern unter 50 Jahren nahm sie mit der Dauer der Instrumentenpraxis zu. Offensichtlich gilt auch hier: Erst die Übung macht den Meister!

2003 konnten Christian Glaser von der Universität Jena und Gottfried Schlaug von der Harvard Medical School in Boston die Ergebnisse von Sluming bestätigen. Bereits 1995 hatten Schlaug und seine Kollegen von der Universität Düsseldorf bei Musikern mit absolutem Gehör ein größeres linkes Planum temporale in der Hirnrinde des Schläfenlappens gefunden. Bei den meisten Menschen ist diese Region, die am Sprachverständnis mitwirkt, links größer als rechts. Diese Asymmetrie scheint jedoch bei Menschen mit absolutem Gehör noch stärker ausgeprägt zu sein als bei Musikern, die nicht über diese Gabe verfügen, sowie bei Nichtmusikern.

Dass die asymmetrischen Verhältnisse sogar bis in die Fingerspitzen reichen, hatten im selben Jahr Forscher um Thomas Elbert von der Universität Konstanz herausgefunden: Geigenspielern standen für den Daumen und den kleinen Finger der linken Greifhand deutlich größere Hirnareale zur Verfügung als für die rechte Hand, die lediglich den Bogen führt – allerdings nur, wenn die Musiker vor ihrem siebten Lebensjahr mit dem Geigenspiel begonnen hatten.

Genialität ist also das Ergebnis harter Arbeit: Für musikalische Höchstleistungen empfiehlt es sich, spätestens ab dem sechsten Geburtstag mit dem Musizieren zu beginnen. Vor einer reifen Konzertleistung steht der Schweiß von mindestens 10 000 Übungsstunden. Eine gestandene Künstler- oder auch Wissenschaftlerpersönlichkeit kann sich demnach erst entwickeln, wenn günstige Anlagen und ein effizientes Training in einer unterstützenden Umwelt zusammentreffen.

REIFE LEISTUNG

Neben Talent gehört unermüdliches Üben zu den Voraussetzungen einer Musikerkarriere.



erlaubt die Kernspin- oder Magnetresonanztomografie (MRT; siehe Kasten S. 56), die inzwischen mit zahlreichen Studien belegen konnte, dass durch Training besonders beanspruchte Hirnstrukturen an Volumen zunehmen.

Wie dynamisch dabei die Hirnentwicklung bei Hochintelligenten abläuft, fand Pamela Shaw von den National Institutes of Mental Health in Bethesda 2006 heraus, als sie zusammen mit ihren Kollegen Studien mit über 300 Kindern ausgewertet hatte: Demnach starten intellektuell hochbegabte Kinder unter acht Jahren zwar mit einer im Durchschnitt dünneren Großhirnrinde, die jedoch sehr schnell wächst, sodass sie schließlich unmittelbar vor der Pubertät dicker als die ihrer Altersgenossen ist. Dieser Zusammenhang zwischen Entwicklungsdynamik und Intelligenz zeigt sich vor allem beim präfrontalen Cortex, also im vorderen Bereich des Stirnlappens, dem Sitz rationaler Denkprozesse.

Die Denksport-Connection

Masse allein ist jedoch nicht alles. Entscheidend ist, wie und unter welchen Bedingungen das Gehirn seine grauen Zellen nutzt. Dabei beeinflusst die Schwere der zu bewältigenden Denkaufgabe die Vorgänge im Gehirn maßgeblich: Wenn es knifflig wird, arbeiten Stirn- und Scheitellappenstrukturen beider Hirnhälften eng zusammen. Hochintelligente Jugendliche setzen dieses kognitive Netzwerk allerdings viel stärker ein als normal Begabte gleichen Alters. Das entdeckte 2006 eine koreanische Arbeitsgruppe um Kun Ho Lee von der Nationaluniversität Seoul, als sie die Hirnaktivität von 36 Jugendlichen per funktioneller Magnetresonanztomografie (fMRT) gemessen hatten.

Zu ähnlichen Ergebnissen waren ein Jahr zuvor auch die Forscher um Michael O'Boyle sowie im Jahr 2003 die Gruppe um Jeremy Gray von der Washington University in St. Louis gekommen: Sobald das Gehirn von Hochbegabten gefordert ist, zeigt es sich im Vergleich zu denen von normal Begabten gleichen Alters deutlich aktiver.

Doch erneut scheint die Sachlage nicht eindeutig. Denn andere Forscher, wie zum Beispiel Richard Haier von der University of California in Irvine, hatten genau das Gegenteil herausgefunden: eine geringere Aktivität frontaler Hirnareale bei Hochbegabten. Was könnte dahinterstecken? Bereits 1995 bot Haier zusammen mit Gerald Larson vom Navy Personnel Research and Development Center in San Diego



SCHÖN SYMMETRISCH

Die beiden Großhirnhälften sehen zwar gleich aus, vollbringen aber unterschiedliche Leistungen.

Zweiseitig: das Geschwind-Galaburda-Modell

Norman Geschwind (1926–1984) gilt mit seinen Untersuchungen zu den funktionellen Unterschieden der beiden Großhirnhemisphären als Vater der amerikanischen Verhaltensneurologie. Zusammen mit seinem Kollegen Albert Galaburda schlug der Harvard-Forscher in den 1980er Jahren vor, dass Sexualhormone wie Testosteron die Embryonalentwicklung der beiden Hirnhälften maßgeblich beeinflussen. Interessanterweise sind etliche Hochbegabte Linkshänder oder Beidhänder, nehmen Sprache besser auf dem linken Ohr wahr, sind kurz-sichtig und neigen zu Autoimmunkrankheiten wie Allergien oder Asthma – alles Merkmale, die durch eine hormonell bedingte Dominanz der *rechten* Hemisphäre ausgelöst werden können. Die These von Geschwind und Galaburda: Im Rahmen eines »Syndroms atypischer Lateralisierung« resultiert Hochbegabung aus einem Übergewicht der rechten Hirnhälfte beziehungsweise aus einer im Vergleich zu normal Begabten geringeren Linkshirndominanz.

eine Erklärung für den scheinbaren Widerspruch an: Es kommt darauf an, für wen die Denksportaufgaben gestellt werden! Was sich für Dietrich Durchschnitt als harte Nuss erweist, erledigt der geistige Überflieger mit links. Seine geringere Hirnaktivität bei derselben Aufgabe entpuppt sich damit schlicht als subjektive Unterforderung. Passen die Hirnforscher jedoch die Aufgabenschwierigkeiten an das individuelle Leistungsniveau ihrer Probanden an, dann zeigen Hochbegabte in der Tat eine stärkere Aktivierung entsprechender Hirnareale – und zwar wiederum, wie von Geschwind und Galaburda vermutet, besonders in der rechten Hemisphäre.

Zusammengefasst vermitteln die meisten Hirnforschungsstudien den Eindruck, dass es tatsächlich eines größeren Volumens bestimmter, besonders rechtsseitiger Hirnareale mit erhöhter Aktivität bedarf, um eine bessere kogni-

Blick hinter die Stirn: bildgebende Verfahren der Hirnforschung

Um 1929 entwickelte der deutsche Nervenarzt Hans Berger die **ELEKTROENCEPHALOGRAFIE (EEG)**. Hierbei wird die elektrische Hirnaktivität mittels aufgeklebter Elektroden gemessen, welche die elektrischen Feldpotenziale an der Kopfoberfläche registrieren. Schädel und Kopfhaut verursachen zwar räumliche Verzerrungen, zeitlich verläuft die kostengünstige und unbedenkliche Methode jedoch hochpräzise ab. Ähnlich funktioniert die Magnetoencephalografie (MEG), bei der die magnetischen Feldpotenziale erfasst werden.

DIE KERNSPIN- ODER MAGNETRESONANZTOMOGRAFIE (MRT) wird seit 1985 in der medizinischen Diagnostik eingesetzt. Hierbei richtet ein äußerst starkes Magnetfeld die Spinachsen von Wasserstoffatomen im Hirngewebe aus. Ein elektromagnetisches Signal lenkt die Spins kurzzeitig aus. Wenn die angeregten Atome in

ihre Ausgangslage zurückkehren, geben sie ein charakteristisches Messsignal ab. Aus diesem Signal berechnet der Computer Schnittbilder des Gehirns. Das ungefährliche Verfahren, das ohne Röntgen- oder andere ionisierende Strahlung auskommt, kann Strukturen des Gehirns auf einen Millimeter genau darstellen.

DIE FUNKTIONELLE MAGNETRESONANZTOMOGRAFIE (fMRT) misst die Durchblutung einzelner Hirnareale, sobald sich die Versuchsperson mit einer bestimmten Aufgabe beschäftigt. Dabei wird die Änderung des Anteils sauerstoffhaltigen Hämoglobins erfasst. Das räumliche Auflösungsvermögen verschlechtert sich zwar im Vergleich zur strukturellen MRT auf etwa drei Millimeter, ist jedoch immer noch deutlich besser als bei EEG-Messungen. Deren zeitliche Genauigkeit erreichen fMRT-Messungen allerdings nicht.

LITERATURTIPPS

Bastian, H.G.: Leben für Musik. Eine Biographie-Studie über musikalische (Hoch-)Begabungen. Mainz: Schott 1989.

Kalbfleisch, M.L.: Functional Neural Anatomy of Talent. In: Anatomical Record Part B: The New Anatomist 277B(1), 2004, S. 21–36.

Schneider, W.: Individual Development from Three to Twelve: Findings from the Munich Longitudinal Study. Cambridge: Cambridge University Press 1999.

Mehr Literaturhinweise finden Sie unter www.gehirn-und-geist.de/artikel/939767.

WEBLINKS

www.hochbegabung-und-gehirn.de

Website der AG Hochbegabung an der Uniklinik Bonn

www.karg-stiftung.de

Die Karg-Stiftung für Hochbegabtenförderung in Frankfurt/Main unterstützt Projekte für hochbegabte Kinder und Jugendliche.

tive Leistungsfähigkeit zu erreichen. Geringere Hirnaktivitäten können bei Hochbegabten aber dann auftreten, wenn sie dieselben Aufgaben wie normal Begabte bearbeiten müssen.

Eine höhere kognitive Effizienz wird demnach strukturell und funktionell nicht durch weniger – also durch eine gesteigerte neuronale Effizienz –, sondern durch mehr Hirnmasse und -aktivität realisiert. Auch die Messergebnisse bei musikalischen Wunderkindern deuten auf eine gesteigerte Hirnaktivität hin (siehe Kasten S. 54). Und dieses »Mehr« scheint uns nicht in die Wiege gelegt zu sein. Sie entsteht vielmehr erst durch intensives Training – sichere Hinweise auf eine angeborene »Begabung« fehlen bislang.

Mit Fleiß und Disziplin

Menschen tun gerne, was sie gut können – und sie können solche Dinge gut, die sie häufig tun. Man muss weder genetische Faktoren vollkommen ignorieren noch so weit gehen wie der amerikanische Psychologe John B. Watson (1878–1958), der als Begründer des Behaviorismus (siehe G&G 9/2007, S. 36) jegliche Fähigkeit für beliebig antrainierbar hielt. So hatten die beiden Psychologen Angela Duckworth und Martin Seligman von der University of Pennsylvania in Philadelphia 2005 herausgefunden, dass ein IQ über 100 – also lediglich über dem Durchschnitt – vollkommen genügt, um her-

vorragende akademische Leistungen zu vollbringen. Innerhalb einer Gruppe von 140 Studenten mit dieser »Minimalbegabung« erklärten sich individuelle Leistungsunterschiede nur durch Selbstdisziplin mit entsprechend hartem Training – eine höhere Intelligenz mit einem IQ über 115 brachte dagegen keinen weiteren Vorteil.

Doch was bewegt einen vielleicht zwar nicht hoch-, aber zumindest hinreichend begabten Menschen dazu, sich über viele Jahre mehrere Stunden am Tag einer Sache voller Hingabe und Leidenschaft zu widmen? Im Willen einer Person drückt sich ihre Individualität aus – Motivation unterliegt jedoch auch genetischen, sozialen und pädagogischen Einflüssen. Daher wagen wir an dieser Stelle eine Vorhersage: In fünf Jahren wird sich ein Übersichtsartikel über »Gehirn und Begabung« auch und besonders mit Erkenntnissen über Motivationsprozesse bei Hochleistenden, deren Formbarkeit durch Training und soziale Einflüsse sowie deren genetische Grundlagen beschäftigen. ☺

Die Psychologen **Christian Hoppe** und **Jelena Stojanovic** sind wissenschaftliche Mitarbeiter an der Universitätsklinik für Epileptologie in Bonn. Seit 2006 erforschen sie mit Förderung der Karg-Stiftung die neuronalen Grundlagen von Hochbegabung.

 www.gehirn-und-geist.de/audio