

Hochbegabung und Gehirn: ein Überblick über die wissenschaftliche Literatur

Dr. Christian Hoppe, DPs DTh

Jelena Stojanovic M.S.

Prof. Dr. Christian E. Elger

Wir berichten im folgenden über die Ergebnisse einer Literaturrecherche im *Web of Science* (Thomson), einer der weltweit größten Datenbanken für wissenschaftliche Literatur. Erfasst werden hier Originalarbeiten und Review-Artikel internationaler Fachzeitschriften, die größtenteils auf der Basis anonymer Fachgutachter-Voten (*peer review*) publizieren. Die Datenlage im *Web of Science* kann als äußerst umfassend, ja nahezu vollständig bezeichnet werden; entsprechend dient es heute für die meisten Bundesländer als Grundlage zur Berechnung der leistungsbezogenen Mittelvergabe an die einzelnen Universitäten.

Ziel dieser Recherche ist eine präzisere Beschreibung der wissenschaftlichen Ausgangsbasis bei der Planung der im Rahmen der Pilotstudie durchzuführenden funktionell-kernspintomographischen Untersuchungen. Nicht nur sollen dadurch unnötige Wiederholungen bereits durchgeführter Studien und bekannter Befunde vermieden werden, vielmehr soll ein konzeptuell-theoretisches Fundament erarbeitet werden, das die Formulierung prüfbarer Hypothesen sowie eine objektive Interpretation der später empirisch zu ermittelnden Daten gestattet.

1 Einleitung

1.1 Methode

Die Recherche wurde im Februar 2006 durchgeführt.

Der Suchterm wurde wie folgt gewählt:

TS=((gifted* OR talent*) AND (brain OR neuro* OR EEG OR imaging OR MRI))

Erläuterung:

- TS = *Topic Search*: erfasst alle Einträge im Titel, Schlüsselwörtern oder im Abstract.
- Die Suche wurde nicht auf eine bestimmte Domäne (z.B. allgemeine, mathematische oder musikalische Hochbegabung) eingeeengt.
- Es wurde nicht allgemein nach Beiträgen zum Thema Intelligenz, Musik bzw. Mathematik gesucht, sondern ausschließlich nach Arbeiten mit explizitem Bezug auf "Hochbegabung". Allgemeinere Arbeiten zum Thema "Expertise", faktische "Hochleistung" oder "Professionalität" wurden daher nicht erfasst. Die recherchierten Studien wurden in der Regel an Kindern und Jugendlichen durchgeführt; denn von "Hochbegabung" spricht man nur in Bezug auf diese Altersgruppe (i.S. eines zukünftig erst noch zu verwirklichenden Leistungspotenzials), während bei Erwachsenen offensichtlich nur die faktischen Leistungen gewertet werden.

- Es wurde gezielt nach Artikeln mit explizitem Bezug auf das Gehirn bzw. Methoden der kognitiven Neurowissenschaften (EEG u.a.) gesucht. D.h. dass keinesfalls die gesamte psychologische Literatur zum Thema erfasst wurde (z.B. Studien zur Diagnostik, optimalen Förderung oder behavioral-kognitionspsychologische Experimente mit Hochbegabten).¹
- Die Suche wurde hinsichtlich des Erscheinungsjahres der Beiträge nicht eingegrenzt.

1.2 Recherche-Ergebnis

Die Suche liefert insgesamt 240 Datenbankeinträge. Darunter wurden 81 Arbeiten mit klarem Bezug zum Thema unserer Studie gefunden²; 11 dieser Arbeiten waren bislang trotz Bestellung noch nicht verfügbar und konnten daher noch nicht im Original gelesen und beurteilt werden.

Der älteste Eintrag verweist auf einen Artikel aus dem Jahre 1973, 5 Arbeiten stammen aus den 1980-er Jahren, 13 Arbeiten aus den 1990-er Jahren, die übrigen 62 Fundstellen betreffen Arbeiten aus den Jahren 2000 und danach. Dies entspricht dem Aufschwung der kognitiven Neurowissenschaften in den vergangenen Jahren sowie der stetig wachsenden Verfügbarkeit ungefährlicher neurowissenschaftlicher Untersuchungsverfahren wie z.B. der Kernspintomographie (MRT).

Allerdings kamen nur bei 25 der von uns bereits gesichteten Originalarbeiten (nicht Reviews) moderne Verfahren der kognitiven Neurowissenschaften zur Anwendung, die eine mehr oder weniger direkte Erfassung und Lokalisierung neurophysiologischer Korrelate bestimmter psychologischer Phänomene und Leistungen gestatten (Elektroenzephalographie EEG: 8; MRT strukturell: 5, MRT funktionell: 8; Positronen-Emissions-Tomographie PET: 4). Bei den anderen Studien wurde lediglich indirekt über Hormonspiegel (z.B. Testosteron), die Händigkeit oder experimentalpsychologische Lateralisationsexperimente indirekt auf die Hirnfunktion (meist i.S. der Entdeckung einer Hemisphärendominanz) zurückgeschlossen.

1.3 Warum so wenige Studien?

Der Hauptgrund für die uns überraschende, geringe Anzahl kognitiv-neurowissenschaftlicher Studien dürfte sein, dass Untersuchungen an Kindern und Jugendlichen bis heute insgesamt nur einen sehr kleinen Anteil an allen neurowissenschaftlichen Studien ausmachen, obwohl Entwicklungsaspekte besonders geeignet sind, zu einem vertieften Verständnis höherer Hirnfunktionen beizutragen. Allerdings sind Studien, die eine Berücksichtigung von Alterseffekten verlangen, in ihrer Untersuchungsanlage meist wesentlich komplexer als Erwachsenenstudien. Die Durchführung wird noch aufwändiger, wenn Probanden aus der definitions-

¹ Es sei noch einmal daran erinnert, dass es sich bei der "Hirnforschung" in unserem Zusammenhang stets um das *joint venture* von Neurophysiologie und Psychologie handelt, hier im Sinne der Psychophysiologie (funktionelle Bildgebung); eine Absorption der gesamten psychischen Phänomenebene durch die neuronale Ebene steht bei dieser Unternehmung nicht zu erwarten und ist nicht intendiert.

² Die Recherche findet z.B. auch Studien zum "Talent" Endograft in der Gefäßchirurgie.

gemäß sehr kleinen Population hochbegabter Kinder bzw. Jugendlicher einbezogen werden sollen.

Ein weiterer Grund könnte darin liegen, dass das Potential einer Analyse außergewöhnlicher Leistungen für das Verständnis der höheren Hirnfunktionen in dem klinisch geprägten Umfeld der kognitiven Neurowissenschaften noch nicht vollständig erkannt wurde; denn im klinischen Kontext erhofft man sich ein tieferes Verständnis bestimmter Funktionen ja gerade umgekehrt von deren Ausfall.

1.4 Begabung, Fähigkeit oder Expertise?³

Das Konzept "Hochbegabung" beschreibt ein ungewöhnlich hohes *Leistungspotential bei Kindern und Jugendlichen*, das in der Zukunft erst noch durch Übung, Förderung usw. voll entfaltet und zu faktischer Hochleistung geführt werden muss. Aber bereits die Entdeckung dieses Potentials beruht auf faktischen Hochleistungen der Kinder im Alltag oder im psychologischen Test (relativ zur Altersgruppe); valide Testverfahren und Testdurchführung *lege artis* vorausgesetzt, wäre die Annahme einer "Begabung" oder eines "Talents" bei nur durchschnittlicher Testleistung zumindest fragwürdig. Nachweisbar ist somit eine bestimmte, zum Beobachtungszeitpunkt vorhandene überdurchschnittliche Fähigkeit (z.B. Intelligenz, Musikalität, Rechenfähigkeit usw.). Aber der Begriff der "Hochbegabung" impliziert darüber hinaus die Annahme eines dieser Fähigkeit ursächlich zugrunde liegenden früheren, nicht direkt beobachtbaren Vorgangs, nämlich einer "Be-gabung", durch die nur eine kleine Zahl von Kindern diese Fähigkeit und das dadurch angezeigte Potential gleichsam ohne eigenes Zutun erhalten haben.⁴ Diese "Gabe" wird im Individuum lokalisiert und besteht z.B. nicht darin, dass ein Kind in seinem Umfeld optimale Lernbedingungen vorfindet. Darüber hinaus impliziert der konnotierte Begriff des "Leistungspotentials" eine prognostische Validität der Alltagsbeobachtungen und der Testdiagnostik im Hinblick auf zu erwartende Hochleistungen im Erwachsenenalter. Aber die gruppenstatistischen Korrelationen z.B. zwischen Intelligenztestleistungen im Kindesalter und alltagsbezogenen Leistungen in Schule und Beruf implizieren keinesfalls Entsprechungen *in jedem Einzelfall*, vielmehr sind bekanntermaßen teils erhebliche Dissoziationen möglich (*underachievement*). Die durch den Intelligenztest erfassten Fähigkeiten sind demnach zwar notwendig, aber nicht hinreichend für gute Schulleistungen und beruflichen Erfolg: Neben institutionellen und sozialen Faktoren (z.B. einem dem Entwicklungsalter angemessenen Umfeld) sind im Alltag weitere, in der künstlichen Situation eines Intelligenztests noch nicht erfasste psychologische Fähigkeiten für die faktische Leistung relevant (z.B. soziale Fähigkeiten, Motivation bzw. Anstrengungsbereitschaft und Misserfolgstoleranz, Kreativität etc.).

Aus diesen Überlegungen ergibt sich eine weitere konzeptuelle Erklärung für die überraschend geringe Zahl relevanter neurowissenschaftlicher Studien zum Thema: Das Konzept "Begabung" mit den oben genannten Implikationen erscheint für eine an beobachtbarem Verhalten orientierte Psychologie keinesfalls unproblematisch. Im Bemühen, die außergewöhnlichen Fähigkeiten einer definitionsgemäß sehr kleinen Gruppe von Kindern und Jugendlichen zu erklären, wird ein besonderer Prozess oder Faktor (Begabung) angeführt, der

³ Vgl. zum folgenden Dettermann (1993).

⁴ Entsprechend umgekehrt auch "Minderbegabung".

dann aber nicht weiter spezifiziert werden und daher auch nicht wirklich als Erklärung akzeptiert werden kann. Es liegt näher, die nachgewiesenen Fähigkeiten selbst (z.B. hohe Intelligenz) in ihrer elementaren kognitiven Struktur und in ihrer Entwicklung zu untersuchen und davon auszugehen, dass es letztlich immer dieselben Prozesse und Faktoren sind, welche infolge ihrer variablen Ausprägung die unterschiedlichen Fähigkeitsprofile der Menschen generieren. In solchen Studien spielt der Begriff der "Expertise", also eines faktisch bereits vorhandenen, durch intensives Training erworbenen weit überdurchschnittlichen Könnens - häufig in alltagsrelevanten Fähigkeitsbereichen - eine entscheidende Rolle.⁵

1.5 Begabung vs. Übung: *Nature vs. Nurture*

Interessanterweise spiegelt sich die allgemeine "Vererbung vs. Umwelt"-Debatte (*nature-nurture*) in der Psychologie in unserem Forschungsbereich in der kognitions- und entwicklungspsychologischen Debatte über den Einfluss von "Begabung" (als im Individuum liegender Prädisposition - genetisch?) versus "Expertise" (als Lernerfolg in geeigneter Umgebung) auf die faktische Leistungsfähigkeit wieder.

Bei jeder Form des psychologischen Testens weisen die Aufgaben im Sinne der Validität eine gewisse Ähnlichkeit mit schul- oder alltagsbezogenen Anforderungen auf. Sie sind der alltäglichen Praxis aber auch hinreichend unähnlich, dadurch dass sie entweder elementare Basisfähigkeiten oder übergeordnete Metafähigkeiten erfassen. Nur durch diese Unähnlichkeit der Aufgaben mit Alltagsanforderungen kann der Einfluss eventuell vorausgegangener Übung kontrolliert und gewährleistet werden, dass alle Probanden den Test erstmalig und unvorbereitet bearbeiten. Dennoch kann der Faktor "Begabung" auch durch dieses Vorgehen nicht völlig isoliert werden; denn durch jede intensive Übung der Alltagsfertigkeiten werden immer auch die elementaren und die Metafähigkeiten indirekt mitgeübt (z.B. Tonhöhenunterscheidung bei musikalisch Hochbegabten). In querschnittlich angelegten Untersuchungen (wie bei den von uns geplanten fMRI-Studien) ist demnach prinzipiell eine Analyse überdurchschnittlicher Leistungen, nicht aber eine Analyse der ihre Genese bestimmenden Faktoren (Begabung vs. Übung) möglich.

Wir regen an, die hier angesprochenen konzeptuellen Fragen bei einem Symposium im kommenden Jahr eingehender mit Praktikern und Wissenschaftlern unter Federführung der Karg-Stiftung zu diskutieren.

⁵ Bei der stetigen Fortschreibung dieses Literaturberichts werden wir in Zukunft auch Arbeiten unter den Stichworten "Expertise" u.ä. berücksichtigen und erfassen.

2 Literaturüberblick

Der folgende Literaturüberblick wird - ein wenig provokant - unter folgende Fragen gestellt: Gibt es überhaupt so etwas wie "Talent" und "Begabung"? Welche Unterschiede finden die kognitiven Neurowissenschaften sowohl auf der Ebene von Hirnstruktur und Hirnfunktion wie auch auf der kognitiven Verhaltensebene zwischen Normal- und Hochbegabten? Lassen sich diese Unterschiede allein durch das glückliche individuelle Zusammenspiel von Motivation (Interesse) und konsequenter Übungspraxis erklären (Expertise) oder verweisen sie auf übungsunabhängige Prädispositionen im Sinne von "Talent" und "Begabung"?

Dieser erste Überblick über "Hochbegabung und Gehirn" wird in gewisser Weise chronologisch organisiert: Er setzt bei früheren Untersuchungen ein, bei denen die Verbindung zwischen Hochbegabung und Gehirn auf recht unspezifische Weise über die Händigkeit oder den Hormonstatus operationalisiert wurde, und schreitet nach und nach zu Studien mit modernen kognitiv-neurowissenschaftlichen Verfahren fort, die den Zusammenhang zwischen Begabung/Leistung und Gehirn wesentlich direkter erfassen können (Hirnstrommessung, Kernspintomographie, funktionelle Bildgebung).

2.1 Geschlecht und Hormonstatus

Einen noch sehr allgemeinen, aber dennoch für die Fragestellung nicht irrelevanten Ansatz verfolgen Studien zur Abhängigkeit der Begabung von Geschlecht und Hormonstatus, insbesondere dem Testosteronspiegel. Diese Untersuchungen schließen an die Thesen von Geschwind und Galaburda (1987) zur Abhängigkeit von Hochbegabung, atypische Händigkeit, atypische Sprachhemisphärendominanz und Affinität für Autoimmunerkrankungen (Allergien, Asthma) vom Testosteronspiegel während der fötalen Entwicklung an (Jungen: unterdurchschnittlich/verglichen mit Jungen; Mädchen: überdurchschnittlich/verglichen mit Mädchen). Hochbegabung erscheint hier als Folge einer hormonell bedingt andersartigen Entwicklung der rechten Hirnhälfte (oder der Verbindung beider Hirnhälften) und einer möglicherweise stärkeren Einbeziehung rechtshemisphärischer Hirnfunktionen in verschiedene kognitive und motorische Leistungen. Hassler (1991, 1992) fand in einer über acht Jahre angelegten Längsschnittstudie an über 120 Probanden (Musiker, Nichtmusiker; beiderlei Geschlecht), dass kreative Hochleistungen im Bereich der Musik mit einem "androgynen" Testosteronspiegel (bei Männern im unteren Durchschnittsbereich der Männer bzw. bei Frauen im oberen Durchschnittsbereich der Frauen) einhergehen. Ostadnikova et al. (2002) fanden bei 235 hoch- und normalbegabten Kindern denselben Zusammenhang. Hassler (1993) fand für die männlichen Probanden eine Bestätigung für das oben beschriebene Geschwind-Galaburda-Modell, nicht jedoch für die weiblichen Probanden.

2.2 Händigkeit

Die Händigkeit verweist auf ein wesentliches Organisationsmerkmal des Gehirns von Menschen und Primaten: die motorische Hemisphärendominanz. Mindestens 80% aller Menschen verwenden für kraftaufwändige sowie feinmotorische Tätigkeiten bevorzugt die rechte Hand - unter dominanter, jedoch nicht ausschließlicher Steuerung durch die linke Hirnhälfte

(gekreuzt) -, während bei 20% eine atypische Händigkeit (Links- oder Mischhändigkeit) vorliegt; reine Linkshändigkeit findet sich bei max. 10% der Bevölkerung. Unbestritten beruht Händigkeit hauptsächlich auf genetischen Faktoren; spätere kulturell geprägte Lernprozesse können allerdings die faktische Präferenz für die eine oder die andere Hand überformen (z.B. bei auf das Schreiben mit der rechten Hand umgelernten Linkshändern).

Immer wieder wurde vermutet, dass unter den allgemein intellektuell Hochbegabten sowie z.B. unter akademisch Hochleistenden (z.B. Professoren) ein höherer Anteil von Linkshändern zu finden ist. Piro (1998) fand insgesamt keinen Zusammenhang zwischen Hochbegabung und Händigkeit bei weit über 600 hoch- und normalbegabten Kindern; lediglich bei einzelnen Tätigkeiten (z.B. mit der Schere schneiden), die möglicherweise geringerer sozialer Prägung unterliegen, war der Anteil der Linkshänder in der Gruppe der Hochbegabten erhöht. Halpern, Haviland und Killian (1998) fanden einen deutlich erhöhten Anteil von Linkshändern in der Gruppe derjenigen, die einen Zugangstest zum Medizinstudium erfolgreich absolvierten (30% gegenüber 10% in der Allgemeinbevölkerung); die Linkshänder hatten in diesem Test domänenspezifische Vorteile im logischen Denken sowie im naturwissenschaftlichen Wissen, waren den Rechtshändern jedoch bei verbalen Aufgaben tendenziell unterlegen.

Auch domänenspezifische Begabungen weisen einen Zusammenhang zur Händigkeit auf: Hassler und Gupta (1993) fanden einen höheren "musikalischen" IQ (Wing's Test of Musical Intelligence) bei Linkshändern und einen erhöhten Anteil von Linkshändern unter den professionellen Musikern. Die aufsehenerregende Fallanalyse (Jäncke, 2002) des linkshändigen professionellen Pianisten Christopher Seed, der in nur wenigen Monaten auf ein Linkshänder-Piano mit umgekehrter Tastatur (hohe Töne links, tiefe Töne rechts) umgelernt hat, wirft allerdings die Frage auf, ob die faktische Handpräferenz nicht sehr stark vom Musizieren und vom Instrument selbst durch langjährige Übung mitgeprägt wird, selbst wenn bestimmte hirndispositionelle Unterschiede zwischen Links- und Rechtshändern nachweisbar sind (z.B. vergrößerte Hirnvolumina in motorischen Regionen kontralateral zur präferierten Hand). Denn linkshändige Pianisten sind allgemein weder willens noch fähig auf ein *reversed piano* umzulernen, obwohl dieses ihrer Linkshändigkeit im Grunde entgegenkommen müsste - Christopher Seed bleibt jedenfalls bislang eine absolute Ausnahme unter den linkshändigen Pianisten.

Man vermutet, dass das tendenziell größere allgemeine und domänenspezifische Leistungspotenzial von Linkshändern auf einer insgesamt höheren Beteiligung und Aktivierung ihrer rechten Hirnhälfte beruht (Benbow, 1986; O'Boyle & Benbow, 1990).

2.3 Hirnstrukturelle Unterschiede

Sluming et al. (2002) fanden bei Musikern im Vergleich zu Kontrollen, die nach Alter, Intelligenz und Geschlecht gematcht wurden, eine höhere Dichte der grauen Substanz (Nervenzellkerne) im Broca-Areal (inferiorer frontaler Cortex links), der auch für die Sprachproduktion von entscheidender Bedeutung ist. Bei Musikern fand sich kein altersbedingter Abbau der grauen Substanz und bei den unter 50-jährigen Musikern korrelierte die Dichte mit der Dauer der Instrumentenpraxis, sodass sich auf dieser Ebene eher ein Hinweis auf die Nutzungsabhängigkeit (Übungseffekte) als auf das Vorhandensein bestimmter, praxisunabhängiger hirstruktureller Dispositionen (Begabungen) ergibt - obwohl ein querschnittliches Studiendesign in dieser Frage keine abschließende Entscheidung erlaubt. Zu ähnlichen Ergebnissen und

Interpretationen kommen Gaser und Schlaug (2003) in Bezug auf Hirngebiete, die für das Spielen vom Blatt oder für die beidhändige Fingerkoordination beim Musizieren erforderlich sind.

Norton et al. (2005) berichten die Ergebnisse der Baseline-Phase einer auf mehrere Jahre angelegten neurowissenschaftlichen Längsschnittstudie zum Einfluss von Musikausbildung und Übungspraxis auf musikalische und andere kognitive Fähigkeiten sowie Hirnstrukturparameter: Bei den 5-7 jährigen Probanden, von denen einige am Anfang einer Instrumental-ausbildung stehen, fanden sich bereits Zusammenhänge zwischen musikalischen Fähigkeiten und phonematischer Aufmerksamkeit sowie nichtverbalem logischem Denken. Diese bereits vor der Musikausbildung nachweislichen positiven Zusammenhänge können entweder auf angeborene Begabungen und/oder (spekulativ) auf frühkindliches implizites Lernen und "Üben" zurückgeführt werden. Diese Studie wird in einigen Jahren sicherlich sehr interessante Ergebnisse zum Einfluss von Begabung ("angeboren") und Übungspraxis ("erworben") auf hirnstrukturelle Veränderungen sowie generell zum Zusammenhang von Hochbegabung/Hochleistung und Hirnstruktur liefern.

Eine erste kürzlich erschienene Arbeit von Shaw et al. (2006) zeigt im Längsschnitt, wie dynamisch man sich die kortikale Entwicklung insbesondere bei Hochbegabten vorstellen muss. Die Entwicklungsdynamik selbst ist stärker mit dem Intelligenzniveau korreliert als die jeweiligen querschnittlichen Zustände. So beginnen die intellektuell hochbegabten Kindern im Kindesalter (< 8 Jahre) mit einem tendenziell dünneren Cortex, der dann aber sehr rasch wächst, sodass unmittelbar vor der Pubertät (11 Jahre) Intelligenz positiv mit der Cortexdicke korreliert ist. In den folgenden Jahren kommt es wiederum bei den Hochbegabten zu einer besonders deutlichen Verdünnung des Cortex. Der stärkste Zusammenhang zwischen Entwicklungsdynamik und Begabung zeigte sich für den präfrontalen Cortex.

Eine auch für die funktionelle Bildgebung interessante Hypothese wurde von Miller (1994) in einem Review vorgetragen: Er vermutet aufgrund der meist schnelleren Aufgabenbearbeitung durch Hochbegabte einen höheren Grad der Myelinisierung von Nervenzellfasern im Gehirn; myelinisierte Nervenzellen können Signale schneller weiterleiten. In der Folge wird der Informationsaustausch mit weniger, jedoch myelinisierten (dickeren) Nervenfaserverbindungen effizienter realisiert. In der funktionellen Kernspintomographie (fMRI) würde sich dieser Zusammenhang in Form einer im Vergleich zu Normalbegabten und bei gleicher Leistung geringeren Hirnaktivierung bei Hochbegabten auswirken; das hieße, Hochbegabte lösen Aufgaben mit weniger, jedoch optimal vernetzten Nervenzellen.⁶

Leonhard, Eckert und Kuldau (2006) beschreiben, dass erst seit kurzem automatisierte Verfahren zur Messung bestimmter Hirnstrukturmerkmale (z.B. der Länge der Sylvischen Fissur zwischen Stirn- und Schläfenlappen) jenseits der voxel-basierten MR-Morphometrie zur Verfügung stehen, die in den zuvor beschriebenen Studien eingesetzt wurde. Man hofft, dass innovative neuroanatomische Maße sowohl mit genetischen Markern wie auch mit kognitiven Hochleistungen oder Defiziten korrelieren und damit den *missing link* zwischen Genom und sogenanntem Cognom (kognitiver Phänotyp) liefern. So scheint es z.B. einen Zusammenhang zwischen der verkürzten Sylvischen Fissur links beim Ullrich-Turner-Syndrom (Ge-

⁶ Der Autor erwähnt auch einen möglichen Einfluss der postnatalen Ernährung: Durch das Stillen könnten dem Gehirn möglicherweise mehr essentielle Fettsäuren für die Myelinisierung der Nervenfaserverbindungen zur Verfügung stehen als bei Flaschennahrung. Die Hypothese könnte erklären, warum gestillte Kinder im Durchschnitt höhere IQs aufweisen als nicht-gestillte Kinder.

schlechtschromosom 45 X0 statt 45 XX) mit einem verbalen Leistungsdefizit bei gleichzeitig überdurchschnittlicher visuell-räumlicher Begabung zu geben. Weitere Studien zu hirnstrukturellen Merkmalen bei Hochbegabten und Hochleistungsfähigen sind zu erwarten - und liegen für den Bereich der ausgebildeten "Expertise" bei Erwachsenen (nicht jedoch unter dem Stichwort "Hochbegabung") bereits zahlreich vor.⁷

2.4 Lateralisation kognitiver Hirnfunktionen: experimentalpsychologisch

Bereits experimentalpsychologisch (ohne neurophysiologische Messmethoden) ergaben sich Belege für die These einer höheren Funktionalität der rechten Hirnhälfte bzw. eines effizienteren interhemisphärischen Informationsaustausch bei Hochbegabten. Singh und O'Boyle (2004) konnten zeigen, dass mathematisch hochbegabte die sogenannte Global-Lokal-Aufgabe⁸ schneller lösen als Kontrollgruppen, wenn die zu vergleichenden Informationen getrennt dem rechten und linken Gesichtsfeld (bzw. der linken und rechten Hirnhälfte) präsentiert werden, sodass die rasche Lösung einen effizienten interhemisphärischen Informationsaustausch erfordert (rechte Hirnhälfte: globale Analyse, linke Hirnhälfte: lokale Analyse). O'Boyle, Gill, Benbow und Alexander (1994) fanden während der gleichzeitigen Bearbeitung einer Leseaufgabe (verbal, linke Hirnhälfte dominant) ausschließlich bei mathematisch Hochbegabten eine Reduktion der motorischen Leistung beider Hände (linke und rechte Hemisphäre), während sich bei Normalbegabten nur die Tippfrequenz der rechten Hand (linke Hirnhälfte) reduzierte; dieser Befund spricht nach Ansicht der Autoren dafür, dass bei den mathematisch Hochbegabten auch die rechte Hemisphäre verstärkt in sprachliche Aufgaben eingebunden ist. In der bereits erwähnten Studie von Hassler und Gupta (1993) fanden sich schließlich bessere Leistungen der Musiker beim dichotischen Hören für die rechte Hirnhälfte (linkes Ohr) als bei den Nichtmusikern; die Musiker waren zudem häufiger Linkshänder (motorisch rechtshemisphärisch dominant).

2.5 Hirnstrommessungen (EEG)

Die Arbeitsgruppe um Krause (Jena) konnte in mehreren Arbeiten zeigen, dass es bei mathematisch Hochbegabten während der Bearbeitung von mathematischen Aufgaben zu einer Entropiereduktion der EEG-Signale kommt, welche auf neuronaler Ebene eine effizientere, kompaktere kognitive Strategie der Problemlösung widerspiegelt (Seidel et al., 2001; Krause et al., 2001). Auch Jausovec fand in mehreren Studien in der Gruppe der Hochbegabten Hinweise auf eine einfachere, d.h. weniger chaotische (niedrigere Kolmogorov-Entropie) und letztlich auch geringere neuronale [und mentale] Aktivität (höhere Alpha-Power) während der

⁷ Besonders berühmt wurde die Londoner Taxifahrer-Studie, die nachweisen konnte, dass der posteriore Hippocampus in der Tiefe des Schläfenlappens, als einer für die räumliche Orientierung besonders wichtige Hirnstruktur bei dieser Berufsgruppe gegenüber gleichaltrigen Kontrollen vergrößert war, während der anteriore Hippocampus kleiner erschien (Maguire et al., 2000); beide Abweichungen waren zwar von der Dauer der Berufspraxis abhängig (könnten demnach auf Übung beruhen), aber das querschnittliche Untersuchungsdesign erlaubte nicht den Ausschluss der anderslautenden These einer von Anfang an bestehenden günstigeren Disposition für die langjährige Tätigkeit als Taxifahrer.

⁸ Global-Lokal-Aufgabe: Ein großer Buchstabe (global) wird aufgebaut aus einem immer wieder gedruckten kleinen Buchstaben (lokal). Die Probanden müssen entscheiden, ob der große und der kleine Buchstabe identisch sind oder nicht.

Bearbeitung von Aufgaben (Jausovec, 1997, 1998; Gerlic & Jausovec, 1999). Auch Alexander, O'Boyle und Benbow (1996) fanden eine höhere Alpha-Power (geringere Aktivität) bei Hochbegabten. Diese Befunde wären gut vereinbar mit der oben zitierten Myelinisierungshypothese von Miller (1994). In allen genannten Studien ergaben sich zudem Hinweise auf ein Lateralisationsmuster zugunsten einer verstärkten Aktivierung der rechten Hemisphäre (ferner auch bei O'Boyle, Benbow und Alexander, 1995).

2.6 Funktionelle Bildgebung (fMRI, PET)

Denkaufgaben zur Prüfung der fluiden Intelligenz aktivieren zuverlässig ein bilaterales frontoparietales Netzwerk (präfrontaler Cortex, anteriores Cingulum, posteriorer Parietallappen). Lee et al. (2006) konnten kürzlich zeigen, dass zwar das räumlich verteilte Aktivierungsmuster bei Normal- und Hochbegabten sehr ähnlich war, dass jedoch bei hochbegabten Jugendlichen die Aktivierungen insgesamt, besonders aber in parietalen Arealen ausgeprägter waren als bei Normalbegabten und dass die parietalen Aktivierungen mit den Intelligenzquotienten korrelierten.

Im Unterschied zu dieser Studie fanden O'Boyle et al. (2005) ein deutliche abweichendes räumlich verteiltes Aktivierungsmuster bei mathematisch normal- vs. hochbegabten Jugendlichen während der Bearbeitung einer mentalen Rotationsaufgabe. Auch bei dieser Aufgabe kommt es bekanntermaßen zu einer Aktivierung des oben genannten frontoparietalen Netzwerkes, betont auf der rechten Seite. Bei Hochbegabten fanden die Autoren nun ein deutlich bilateral-symmetrisches Aktivierungsmuster mit einer deutlich höheren Aktivierung des anterioren Cingulum. Die höhere Leistungsfähigkeit führen sie entsprechend auf einen erhöhten interhemisphärischen und anterior-posterioren Informationsaustausch sowie die dadurch ermöglichte andersartige kognitive Lösungsstrategie zurück.

Wüstenberg et al. (2001, Abstract) haben einen sehr interessanten Ansatz für die Analyse der mathematischen Hochbegabung vorgestellt. Sie gehen von der "Doppelrepräsentationshypothese" aus (Hendrickson, 1985) und zeigen mittels fMRI, dass mathematisch Hochbegabte im Unterschied zu Normalbegabten mathematische Probleme sowohl konzeptuell (eher linkshemisphärisch) wie auch visuell-räumlich (eher rechtshemisphärisch) repräsentieren und zwischen beiden Strategien flexibel wechseln können.

Gray (2003) verglich die Leistungen und Hirnaktivierungen bei der Bearbeitung einer sehr schweren Arbeitsgedächtnisaufgabe (3-back-Task, verbal und non-verbal) und korrelierte diese Daten mit den Intelligenzquotienten der Probanden. In Abhängigkeit von der Intelligenz fanden sich bessere Leistungen und höhere Aktivierungen, wiederum in frontoparietalen Hirnregionen. Möglicherweise erklärt die Schwierigkeit der Aufgabe den in dieser Studie positiven Zusammenhang zwischen Aktivierung und Leistung bzw. Leistungsfähigkeit (Intelligenz).

Die Aufgabenschwierigkeiten wurden in allen von uns gefundenen EEG- und fMRI-Studien nicht dem unterschiedlichen individuellen Leistungsniveau der Probanden angepasst, so dass hier zwar objektiv betrachtet gleich schwere, individuell betrachtet jedoch unterschiedlich schwere Aufgaben (leicht für Hochbegabte, schwer für Normalbegabte) präsentiert wurden. Die Gray (2003)-Studie zeigt jedoch, dass das Aufgabenniveau sehr entscheidend dafür sein könnte, ob höhere oder geringere Aktivierungen bei höher Begabten gefunden werden.

Literaturliste

- ALEXANDER, JE; OBOYLE, MW; BENBOW, CP. (1996). DEVELOPMENTALLY ADVANCED EEG ALPHA POWER IN GIFTED MALE AND FEMALE ADOLESCENTS. INTERNATIONAL JOURNAL OF PSYCHOPHYSIOLOGY 23:25-31.
- BENTIVOGLIO, M. (2003). MUSICAL SKILLS AND NEURAL FUNCTIONS - THE LEGACY OF THE BRAINS OF MUSICIANS. NEUROSCIENCES AND MUSIC 999:234-243.
- BOGOUSLAVSKY, J. (2005). ARTISTIC CREATIVITY, STYLE AND BRAIN DISORDERS. EUROPEAN NEUROLOGY 54:103-111.
- BOLTE, S; UHLIG, N; POUSTKA, F. (2002). THE SAVANT SYNDROME: A REVIEW. ZEITSCHRIFT FÜR KLINISCHE PSYCHOLOGIE UND PSYCHOTHERAPIE 31:291-297.
- BUTTERBAUGH, G. (1997). TALENTED TEENAGERS AFTER TRAUMATIC BRAIN INJURY: POST-DISCHARGE LESSONS FROM STUDENTS. ARCHIVES OF CLINICAL NEUROPSYCHOLOGY 12:295-295.
- CHATTERJEE, A. (2004). THE NEUROPSYCHOLOGY OF VISUAL ARTISTIC PRODUCTION. NEUROPSYCHOLOGIA 42:1568-1583.
- CHAVEZ, RA; GRAFF-GUERRERO, A; GARCIA-REYNA, JC; VAUGIER, V; CRUZ-FUENTES, C. (2004). NEUROBIOLOGY OF CREATIVITY: PRELIMINARY RESULTS FROM A BRAIN ACTIVATION STUDY. SALUD MENTAL 27:38-46.
- CUMMINGS, JL. (1989). THE EXCEPTIONAL BRAIN - NEUROPSYCHOLOGY OF TALENT AND SPECIAL ABILITIES - OBLER,LK, FEIN,D. AMERICAN JOURNAL OF PSYCHIATRY 146:1067-1068.
- DAWSON, G. (1989). THE EXCEPTIONAL BRAIN - NEUROPSYCHOLOGY OF TALENT AND SPECIAL ABILITIES - OBLER,LK, FEIN,D. JOURNAL OF AUTISM AND DEVELOPMENTAL DISORDERS 19:178-180.
- DEHAENE, S. (1992). VARIETIES OF NUMERICAL ABILITIES. COGNITION 44:1-42.
- DEHAENE, S. (1994). VARIETIES OF NUMERICAL ABILITIES. COGNITION :1-42.
- DETERMAN, DK. (1993). GIFTEDNESS AND INTELLIGENCE - ONE AND THE SAME? CIBA FOUNDATION SYMPOSIA 178:22-43.
- DUNCAN, J., SEITZ, R.J., KOLODNY, J., BOR, D., HERZOG, H., AHMED, A., NEWELL, F.N., & EMSLIE, H. (2000). A NEURAL BASIS FOR GENERAL INTELLIGENCE. SCIENCE 281:457-460.
- ELING, P. (1989). THE EXCEPTIONAL BRAIN - NEUROPSYCHOLOGY OF TALENT AND SPECIAL ABILITIES-
- FISCHER, DG; HUNT, D; RANDHAWA, BS. (1982). SPONTANEOUS EEG CORRELATES OF INTELLECTUAL-FUNCTIONING IN TALENTED AND HANDICAPPED ADOLESCENTS. PERCEPTUAL AND MOTOR SKILLS 54:751-762.
- GASER, C.; SCHLAUG, G. (2003). BRAIN STRUCTURES DIFFER BETWEEN MUSICIANS AND NON-MUSICIANS. THE JOURNAL OF NEUROSCIENCE 23:9240-9245.
- GEAKE, J.G. (N/A). A NEUROPSYCHOLOGICAL MODEL OF CREATIVE INTELLIGENCE. N/A N/A:N/A-N/A.
- GERLIC, I; JAUSOVEC, N. (1999). MULTIMEDIA: DIFFERENCES IN COGNITIVE PROCESSES OBSERVED WITH EEG. ETR&D-EDUCATIONAL TECHNOLOGY RESEARCH AND DEVELOPMENT 47:5-14.
- GILLBERG, C; STEFFENBURG, S; JAKOBSSON, G. (1987). NEUROBIOLOGICAL FINDINGS IN 20 RELATIVELY GIFTED-CHILDREN WITH KANNER-TYPE AUTISM OR ASPERGER SYNDROME. DEVELOPMENTAL MEDICINE AND CHILD NEUROLOGY 29:641-649.
- GONZALEZ-GARRIDO, AA; RUIZ-SANDOVAL, JL; GOMEZ-VELAZQUEZ, FR; DE ALBA, JLO; VILLASENOR-CABRERA, T. (2002). HYPERCALCULIA IN SAVANT SYNDROME: CENTRAL EXECUTIVE FAILURE?. ARCHIVES OF MEDICAL RESEARCH 33:586-589.
- GORDON, N. (2005). UNEXPECTED DEVELOPMENT OF ARTISTIC TALENTS. POSTGRADUATE MEDICAL JOURNAL 81:753-755.
- GOTZ, KO; GOTZ, K. (1973). INTROVERSION-EXTRAVERSION AND NEUROTICISM IN GIFTED AND UN-GIFTED ART STUDENTS. PERCEPTUAL AND MOTOR SKILLS 36:675-678.
- GRAY. (2003). NEURAL MECHANISMS OF GENERAL FLUID INTELLIGENCE. NATURE NEUROSCIENCE 6:316-322.
- HALPERN, DF; HAVILAND, MG; KILLIAN, CD. (1998). HANDEDNESS AND SEX DIFFERENCES IN INTELLIGENCE: EVIDENCE FROM THE MEDICAL COLLEGE ADMISSION TEST. BRAIN AND COGNITION 38:87-101.
- HASSLER, M. (1991). TESTOSTERONE AND MUSICAL TALENT. EXPERIMENTAL AND CLINICAL ENDOCRINOLOGY 98:89-98.

- HASSLER, M. (1992). CREATIVE MUSICAL BEHAVIOR AND SEX-HORMONES - MUSICAL TALENT AND SPATIAL ABILITY IN THE 2 SEXES. *PSYCHONEUROENDOCRINOLOGY* 17:55-70.
- HASSLER, M. (1993). ANOMALOUS DOMINANCE, IMMUNE PARAMETERS, AND SPATIAL ABILITY. *INTERNATIONAL JOURNAL OF NEUROSCIENCE* 68:145-156.
- HASSLER, M; GUPTA, D. (1993). FUNCTIONAL BRAIN ORGANIZATION, HANDEDNESS, AND IMMUNE VULNERABILITY IN MUSICIANS AND NON-MUSICIANS. *NEUROPSYCHOLOGIA* 31:655-660.
- HEILMAN, KM; NADEAU, SE; BEVERSDORF, DO. (2003). CREATIVE INNOVATION: POSSIBLE BRAIN MECHANISMS. *NEUROCASE* 9:369-379.
- HOOPER, SR. (1992). THE EXCEPTIONAL BRAIN - NEUROPSYCHOLOGY OF TALENT AND SPECIAL ABILITIES - OBLER, LK, FEIN, D. *ARCHIVES OF CLINICAL NEUROPSYCHOLOGY* 7:461-465.
- HOU, C; MILLER, BL; CUMMINGS, JL; GOLDBERG, M; MYCHACK, P; BOTTINO, V; BENSON, DF. (2000). ARTISTIC SAVANTS. *NEUROPSYCHIATRY NEUROPSYCHOLOGY AND BEHAVIORAL NEUROLOGY* 13:29-38.
- JANCKE, L. (2002). THE CASE OF A LEFT-HANDED PIANIST PLAYING A REVERSED KEYBOARD: A CHALLENGE FOR THE NEUROSCIENCE OF MUSIC. *NEUROREPORT* 13:1579-1583.
- JANCKE, L., BAUMANN, S., KOENEKE S., MEYER, M., LAENG, B., PETERS, M., & LUTZ, K. (2006). NEURAL CONTROL OF PLAYING A REVERSED PIANO: EMPIRICAL EVIDENCE FOR AN UNUSUAL CORTICAL ORGANIZATION OF MUSICAL FUNCTIONS. *COGNITIVE NEUROSCIENCE AND NEUROPSYCHOLOGY* 17:447-451.
- JAUSOVEC, N. (1997). DIFFERENCES IN EEG ALPHA ACTIVITY BETWEEN GIFTED AND NON-IDENTIFIED INDIVIDUALS: INSIGHTS INTO PROBLEM SOLVING. *GIFTED CHILD QUARTERLY* 41:26-32.
- JAUSOVEC, N. (1998). ARE GIFTED INDIVIDUALS LESS CHAOTIC THINKERS?. *PERSONALITY AND INDIVIDUAL DIFFERENCES* 25:253-267.
- JAUSOVEC, N. (2000). DIFFERENCES IN COGNITIVE PROCESSES BETWEEN GIFTED, INTELLIGENT, CREATIVE, AND AVERAGE INDIVIDUALS WHILE SOLVING COMPLEX PROBLEMS: AN EEG STUDY. *INTELLIGENCE* 28:213-237.
- JONES, RD; TRANEL, D. (2001). SEVERE DEVELOPMENTAL PROSOPAGNOSIA IN A CHILD WITH SUPERIOR INTELLECT. *JOURNAL OF CLINICAL AND EXPERIMENTAL NEUROPSYCHOLOGY* 23:265-273.
- KALBFLEISCH, M.L. (2004). FUNCTIONAL NEURAL ANATOMY OF TALENT. *THE ANATOMICAL RECORD (PART B: NEW ANAT.)* 277B:21-36.
- KARZMARK, P. (2001). IMPACT OF MUSICAL EXPERIENCE ON THE SEASHORE RHYTHM TEST. *CLINICAL NEUROPSYCHOLOGIST* 15:305-308.
- KNECHT, S; DRAGER, B; FLOEL, A; LOHMANN, H; BREITENSTEIN, C; DEPPE, M; HENNINGSSEN, H; RINGELSTEIN, EB. (2001). BEHAVIOURAL RELEVANCE OF ATYPICAL LANGUAGE LATERALIZATION IN HEALTHY SUBJECTS. *BRAIN* 124:1657-1665.
- KOIKE, A; SHIMIZU, H; SUZUKI, I; ISHIJIMA, B; SUGISHITA, M. (1996). PRESERVED MUSICAL ABILITIES FOLLOWING RIGHT TEMPORAL LOBECTOMY. *JOURNAL OF NEUROSURGERY* 85:1000-1004.
- KRAUSE, W., SCHACK, B., SEIDEL, G., HEINRICH, F., & KRAUSE, U. (2001). ENTROPY REDUCTION IN HUMAN MATHEMATICAL THINKING: A MICROSTATE STUDY OF EEG OSCILLATIONS. *NEUROIMAGE* 13:432-432.
- LEE, KH; CHOI, YY; GRAY, JR; CHO, SH; CHAE, JH; LEE, S; KIM, K. (2006). NEURAL CORRELATES OF SUPERIOR INTELLIGENCE: STRONGER RECRUITMENT OF POSTERIOR PARIETAL CORTEX. *NEUROIMAGE* 29:578-586.
- LEONARD, CM; ECKERT, MA; KULDAU, JM. (2006). EXPLOITING HUMAN ANATOMICAL VARIABILITY AS A LINK BETWEEN GENOME AND COGNOME. *GENES BRAIN AND BEHAVIOR* 5:64-77.
- MAGUIRE EA, GADIAN DG, JOHNSRUDE IS, GOOD CD, ASHBURNER J, FRACKOWIAK RS, FRITH CD. (2000). NAVIGATION-RELATED STRUCTURAL CHANGE IN THE HIPPOCAMPI OF TAXI DRIVERS. *PROC NATL ACAD SCI U S A*. 2000 APR 11;97(8):4398-403.
- MCINTOSH, DE; DUNHAM, MD; DEAN, RS; KUNDERT, DK. (1995). NEUROPSYCHOLOGICAL CHARACTERISTICS OF LEARNING DISABLED GIFTED CHILDREN. *INTERNATIONAL JOURNAL OF NEUROSCIENCE* 83:123-130.
- MILLER, BL; BOONE, K; CUMMINGS, JL; READ, SL; MISHKIN, F. (2000). FUNCTIONAL CORRELATES OF MUSICAL AND VISUAL ABILITY IN FRONTOTEMPORAL DEMENTIA. *BRITISH JOURNAL OF PSYCHIATRY* 176:458-463.
- MILLER, BL; CUMMINGS, J; MISHKIN, F; BOONE, K; PRINCE, F; PONTON, M; COTMAN, C. (1998). EMERGENCE OF ARTISTIC TALENT IN FRONTOTEMPORAL DEMENTIA. *NEUROLOGY* 51:978-982.

- MILLER, EM. (1994). INTELLIGENCE AND BRAIN MYELINATION - A HYPOTHESIS. PERSONALITY AND INDIVIDUAL DIFFERENCES 17:803-832.
- NORTON, A; WINNER, E; CRONIN, K; OVERY, K; LEE, DJ; SCHLAUG, G. (2005). ARE THERE PRE-EXISTING NEURAL, COGNITIVE, OR MOTORIC MARKERS FOR MUSICAL ABILITY?. BRAIN AND COGNITION 59:124-134.
- OBLER, LK, FEIN, D. ACTA PSYCHOLOGICA 70:99-100.
- OBOYLE, MW; BENBOW, CP; ALEXANDER, JE. (1995). SEX DIFFERENCES, HEMISPHERIC LATERALITY, AND ASSOCIATED BRAIN ACTIVITY IN THE INTELLECTUALLY GIFTED. DEVELOPMENTAL NEUROPSYCHOLOGY 11:415-443.
- O'BOYLE, MW; CUNNINGTON, R; SILK, TJ; VAUGHAN, D; JACKSON, G; SYNGENIOTIS, A; EGAN, GF. (2005). MATHEMATICALLY GIFTED MALE ADOLESCENTS ACTIVATE A UNIQUE BRAIN NETWORK DURING MENTAL ROTATION. COGNITIVE BRAIN RESEARCH 25:583-587.
- O'BOYLE, MW; GILL, HS. (1998). ON THE RELEVANCE OF RESEARCH FINDINGS IN COGNITIVE NEUROSCIENCE TO EDUCATIONAL PRACTICE. EDUCATIONAL PSYCHOLOGY REVIEW 10:397-409.
- OBOYLE, MW; GILL, HS; BENBOW, CP; ALEXANDER, JE. (1994). CONCURRENT FINGER-TAPPING IN MATHEMATICALLY GIFTED MALES - EVIDENCE FOR ENHANCED RIGHT-HEMISPHERE INVOLVEMENT DURING LINGUISTIC PROCESSING. CORTEX 30:519-526.
- OCONNOR, N; SMITH, N; FRITH, C; TSIMPLI, IM. (1994). NEUROPSYCHOLOGY AND LINGUISTIC TALENT. JOURNAL OF NEUROLINGUISTICS 8:95-107.
- OERTER, R. (2003). BIOLOGICAL AND PSYCHOLOGICAL CORRELATES OF EXCEPTIONAL PERFORMANCE IN DEVELOPMENT. NEUROSCIENCES AND MUSIC 999:451-460.
- OSTATNIKOVA, D; LAZNIBATOVA, J; PUTZ, Z; MATASEJE, A; DOHNANYIOVA, M; PASTOR, K. (2002). BIOLOGICAL ASPECTS OF INTELLECTUAL GIFTEDNESS. STUDIA PSYCHOLOGICA 44:3-13.
- PARKER, WD. (1997). AN EMPIRICAL TYPOLOGY OF PERFECTIONISM IN ACADEMICALLY TALENTED CHILDREN. AMERICAN EDUCATIONAL RESEARCH JOURNAL 34:545-562.
- PARKER, WD; STUMPF, H. (1995). AN EXAMINATION OF THE MULTIDIMENSIONAL PERFECTIONISM SCALE WITH A SAMPLE OF ACADEMICALLY TALENTED CHILDREN. JOURNAL OF PSYCHOEDUCATIONAL ASSESSMENT 13:372-383.
- PERANI, D. (2005). THE NEURAL BASIS OF LANGUAGE TALENT IN BILINGUALS. TRENDS IN COGNITIVE SCIENCES 9:211-213.
- PESENTI, M, ZAGO, L., CRIVELLO, F., MELLET, E., SAMSON, D., DUROUX, B., SERON, X., MAZOYER, B., & TZOURIO-MAZOYER, N. (2001). MENTAL CALCULATION IN A PRODIGY IS SUSTAINED BY RIGHT PREFRONTAL AND MEDIAL TEMPORAL AREAS. NATURE NEUROSCIENCE 4:103-107.
- PIRO, JM. (1998). HANDEDNESS AND INTELLIGENCE: PATTERNS OF HAND PREFERENCE IN GIFTED AND NONGIFTED CHILDREN. DEVELOPMENTAL NEUROPSYCHOLOGY 14:619-630.
- PIVIK, RT; BYLSMA, F; BUSBY, K; SAWYER, S. (1982). INTER-HEMISPHERIC EEG CHANGES - RELATIONSHIP TO SLEEP AND DREAMS IN GIFTED ADOLESCENTS. PSYCHIATRIC JOURNAL OF THE UNIVERSITY OF OTTAWA-REVUE DE PSYCHIATRIE DE L UNIVERSITE D OTTAWA 7:56-76.
- PLATEL, H; PRICE, C; BARON, JC; WISE, R; LAMBERT, J; FRACKOWIAK, RSJ; LECHEVALIER, B; EUSTACHE, F. (1997). THE STRUCTURAL COMPONENTS OF MUSIC PERCEPTION - A FUNCTIONAL ANATOMICAL STUDY. BRAIN 120:229-243.
- POPP, AJ. (2004). MUSIC, MUSICIANS, AND THE BRAIN: AN EXPLORATION OF MUSICAL GENIUS - THE 2004 PRESIDENTIAL ADDRESS. JOURNAL OF NEUROSURGERY 101:895-903.
- PRABHAKARAN, V., RYPMA, B., & GABRIELI, J.D.E. (2001). NEURAL SUBSTRATES OF MATHEMATICAL REASONING: A FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING STUDY OF NEOCORTICAL ACTIVATION DURING PERFORMANCE OF THE NECESSARY ARITHMETIC OPERATIONS TEST. NEUROPSYCHOLOGY 15:115-127.
- PRABHAKARAN, V., SMITH, J.A.L., DESMOND, J.E., GLOVER, G.H., & GABRIELI J.D.E. (1997). NEURAL SUBSTRATES OF MATHEMATICAL REASONING: A FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING STUDY OF NEOCORTICAL ACTIVATION DURING PERFORMANCE OF THE RAVEN'S PROGRESSIVE MATRICES TEST. COGNITIVE PSYCHOLOGY 33:43-63.
- RAPIN, I; KATZMAN, R. (1998). NEUROBIOLOGY OF AUTISM. ANNALS OF NEUROLOGY 43:7-14.
- SCHNEIDERMAN, E. (1987). A NEUROPSYCHOLOGICAL SUBSTRATE FOR TALENT IN 2ND-LANGUAGE LEARNING. JOURNAL OF CLINICAL AND EXPERIMENTAL NEUROPSYCHOLOGY 9:267-267.
- SCHRAG, A; TRIMBLE, M. (2001). POETIC TALENT UNMASKED BY TREATMENT OF PARKINSON'S DISEASE. MOVEMENT DISORDERS 16:1175-1176.

- SCHULTZ, K. (1989). THE EXCEPTIONAL BRAIN - NEUROPSYCHOLOGY OF TALENT AND SPECIAL ABILITIES - OBLER, LK, FEIN, D. CONTEMPORARY PSYCHOLOGY 34:1143-1144.
- SEIDEL, G; KRAUSE, W; SCHACK, B; HEINRICH, F; KRAUSE, U; WUSTENBERG, T; JORDAN, K; LEHMANN, W; LUTZ, K; HEINZE, HJ; JANCKE, L. (2001). ENTROPY REDUCTION AND MATHEMATICAL GIFTEDNESS: A MICROSTATE STUDY OF EEG OSCILLATIONS. NEUROIMAGE 13:S474-S474.
- SHAW, P., GREENSTEIN, D., LERCH, J., CLASEN, L., LENROOT, R., GOGTAY, N., EVANS, A., RAPOPORT, J., & GIEDD, J. (2006). INTELLECTUAL ABILITY AND CORTICAL DEVELOPMENT IN CHILDREN AND ADOLESCENTS. NATURE 440:676-679.
- SINGH, H; O'BOYLE, MW. (2004). INTERHEMISPHERIC INTERACTION DURING GLOBAL-LOCAL PROCESSING IN MATHEMATICALLY GIFTED ADOLESCENTS, AVERAGE-ABILITY YOUTH, AND COLLEGE STUDENTS. NEUROPSYCHOLOGY 18:371-377.
- 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.
- SNYDER, A.W., MULCAHY, E., TAYLOR, J.L., MITCHELL, D.J. SACHDEV, P., & GANDEVIA, S.C. (2003). RATES OF MATHEMATICAL REASONING: A FUNCTIONAL MAGNETIC RESONANCE IMAGING STUDY OF NEOCORTICAL ACTIVATION DURING PERFORMANCE OF THE NECESSARY ARITHMETIC OPERATIONS TEST. JOURNAL OF INTEGRATIVE NEUROSCIENCE 2:149-158.
- TREFFERT, DA; CHRISTENSEN, DD. (2005). INSIDE THE MIND OF A SAVANT. SCIENTIFIC AMERICAN 293:108-113.
- TUCKER, B; HAFENSTEIN, NL. (1997). PSYCHOLOGICAL INTENSITIES IN YOUNG GIFTED CHILDREN. GIFTED CHILD QUARTERLY 41:66-75.
- WEISS, V. (1992). MAJOR GENES OF GENERAL INTELLIGENCE. PERSONALITY AND INDIVIDUAL DIFFERENCES 13:1115-1134.
- WINNER, E. (2000). THE ORIGINS AND ENDS OF GIFTEDNESS. AMERICAN PSYCHOLOGIST 55:159-169.
- WINNER, E; VON KAROLYI, C; MALINSKY, D; FRENCH, L; SELIGER, C; ROSS, E; WEBER, C. (2001). DYSLEXIA AND VISUAL-SPATIAL TALENTS: COMPENSATION VS DEFICIT MODEL. BRAIN AND LANGUAGE 76:81-110.
- WUSTENBERG, T., SEIDEL, G., SCHACK, B., JORDAN, K., LEHMANN, W., HEINRICH, F., LUTZ, K., HEINZE, H.J., KRAUSE, W., & JANCKE, L. (2001). TOPOGRAPHICAL DIFFERENTIATION OF MODALITIES WITH RESPECT TO THE 'DOUBLE REPRESENTATION HYPOTHESIS' – A PILOT FMRI STUDY. NEUROIMAGE 13:489-489.