

Macht Musik schlau?

Zu den neuronalen Auswirkungen musikalischen Lernens im Kindes- und Jugendalter

Eckart Altenmüller, Hannover

Zusammenfassung

Fast wöchentlich wird in den Medien über die wundervollen Auswirkungen von Musik auf das Gehirn und auf die Intelligenz berichtet. Gegenstand dieses Übersichtsartikels ist eine kritische Sichtung der Befunde, insbesondere in Hinblick auf die Transfer-Wirkung von Musik. Musizieren gehört zu den schwierigsten menschlichen Leistungen. Gehörsinn, Motorik, Körperwahrnehmung und Hirnzentren, die Emotionen verarbeiten werden gleichzeitig beansprucht. Allein für die Verarbeitung der beim Hören entstehenden Eindrücke benötigen wir ungefähr 100 Milliarden Nervenzellen. Die Sensomotorik beim Musizieren muss Höchstleistungen an räumlich-zeitlicher Präzision erbringen. Durch zähes Üben werden über Jahre komplizierte feinmotorische Steuerprogramme erstellt, die dann genau im richtigen Moment abgerufen werden müssen. Jahrelanges Training führt zu charakteristischen Anpassungsvorgängen der Gehirnvernetzung und sogar der Gehirnstruktur. Eine Verbesserung allgemeiner Denkfertigkeiten durch diese Prozesse findet nach neuen Befunden allerdings nicht statt. Möglicherweise wirkt Musizieren im Kindes- und Jugendalter positiv auf emotionale Kompetenzen und das Sozialverhalten. Allerdings sind die Auswirkungen des Musizierens auf diese Dimensionen der Persönlichkeit bislang nicht ausreichend erforscht. Am Ende des Artikels werden relevante Forschungsfragen formuliert.

Summary

Almost weekly media report on positive consequences of musical activities on brain networks and intelligence. The aim of this review article is to summarize findings concerning effects of music on brain networks, brain structures and on cognitive as well as emotional processes. Performing music requires the integration of multimodal sensory and motor information and precise monitoring of the performance via auditory feedback. In the context of western classical music, musicians are forced to reproduce highly controlled movements almost perfectly with a high reliability. These specialized sensory-motor skills are acquired during extensive training periods over many years, starting in

early infancy and passing through stages of increasing physical and strategic complexities. The superior skills of musicians are mirrored in plastic adaptations of the brain on different time scales. However, these dramatic changes in brain function and structure seem not to be accompanied by an increase in general cognitive ability. Possibly, emotional competence and social behaviour is improved. Further research on this topic is required and research questions are proposed.

Keywords

Music induced brain plasticity, Intelligence, Emotions, Brain activation,

Einleitung

Obwohl es als Binsenweisheit gilt, dass Musik die Entwicklung des Gehirns fördert, sind bislang wenig handfeste Nachweise erbracht worden. Der Zusammenhang zwischen Musikalität und Intelligenz wurde bereits 1925 von Terman in seiner Untersuchung an tausend überdurchschnittlich intelligenten Kindern nachgewiesen. Er stellte fest, dass mit einem hohen Intelligenzquotienten auch künstlerisch-musikalische Hochbegabung weit überzufällig häufig einher geht (Terman und Oden, 1925). In jüngerer Zeit fand in Deutschland in einer durch das BMBF geförderten Studie Bastian (2000) bei Schulkindern eine positive Korrelation zwischen musikalischer Begabung und dem Intelligenzquotienten. Aktuell konnten kanadische Wissenschaftler in Längsschnittstudien Auswirkungen von Musikunterricht auf Intelligenzleistungen überprüfen und teilweise (geringe) Effekte feststellen (Schellenberg 2004). Gegenstand dieses Artikels ist, in konzentrierter Form 1. neuronale Auswirkungen musikalischen Lernens darzustellen und 2. mögliche Transfereffekte auf kognitive oder emotionale Leistungen aufzuzeigen.

Neuronale Auswirkungen musikalischen Lernens

a.) Auswirkung von Musikhören auf neuronale Netzwerke

Bereits das **Hören von Musik** ist musikalisches Lernen, denn es fördert auditive Mustererkennung und Gedächtnisbildung (Altenmüller 2002). Im Mutterleib werden ab der 22. Schwangerschaftswoche auditive Muster gehört, die im Wahrnehmungssystem des Ungeborenen implizites Wissen über Regularitäten erzeugen könnten, wobei bislang unklar ist, in welchem Umfang das geschieht. Das Gedächtnis für im Mutterleib Gehörtes scheint nach der Geburt nur für etwa 14 Tage stabil zu sein (Parncutt 2006). Im frühen Säuglingsalter ist die (implizite) Gedächtnisbildung aber effizient, denn sechs Monate alte Säuglinge sind schon in der Lage, harmonische Dreiklänge von unharmonischen zu unterscheiden oder weisen eine Vorliebe für einfache Schwingungsverhältnisse wie Quinten (2:3) und Oktaven (1:2) gegenüber komplexen Intervallen, (45: 32) auf. Dies wird als früher Nachweis akkultrierter auditiver Mustererkennung gewertet, da harmonische Akkorde und Intervalle in unserer Kultur häufiger auftreten als Unharmonische (Übersicht bei Trehub, 2001). Die zum Beweis notwendige Gegenprobe mit Säuglingen aus einer realen oder künstlich erzeugten „unharmonischen“ Kultur steht aber noch aus.

Der Gesang der Mutter führt bei Säuglingen zu einer spezifischen Wirkung auf die Cortisolproduktion des Speichels: Säuglinge mit niedriger Vigilanz werden durch den mütterlichen Gesang aktiviert (Erhöhung des Speichelkortisol), solche mit hoher Vigilanz werden beruhigt (Shenfield et al. 2004). Beide Effekte steigern die Fitness, denn sowohl zu passive als auch zu aktive Säuglinge gedeihen schlechter (Trehub 2003).

Hören Erwachsene subjektiv als angenehm und anregend empfundene Musik, dann lassen sich vielfältige Effekte auf das Verhalten nachweisen, die allerdings hinsichtlich ihrer neurobiologischen Grundlage noch nicht im Detail verstanden sind. Berühmt wurde der von Rauscher et al. 1993 beschriebene „Mozart-Effekt“. Er besagt, dass das Hören von anregender Musik für etwa 20 Minuten eine verbesserte Leistung in einem Test für räumliche Vorstellung erzeugt. Dieses Experiment hat hunderte von Folgeuntersuchungen auch an Kindern nach sich gezogen, die sehr verkürzt folgendes Bild ergaben:

1. Der „Mozart-Effekt“ funktioniert wohl mit jedem Reiz, der anregend ist und positiv bewertet wird. So zeigt Schellenberg, dass bei Kindern auch das Hören einer Kurzgeschichte von Stephen King zu einer Verbesserung der räumlichen Vorstellung führt, vorausgesetzt die Kinder bewerten die Geschichte entsprechend positiv (Schellenberg 2006).
2. Musik kann auch sprachliche Intelligenzleistungen kurzfristig (für ca. 30 Minuten) leicht verbessern – dieser Effekt ist allerdings weniger stark ausgeprägt (Schellenberg und Hallam 2005).
3. Die Erhöhung der Wachheit (Vigilanz) scheint Voraussetzung zu sein, denn die eher beruhigende Musik von Albinoni beeinflusste die kognitive Leistungsfähigkeit nicht (Schellenberg 2006).
4. Eine länger anhaltende Wirkung des Musikhörens auf Intelligenzleistungen ist bislang nicht bewiesen (Hetland 2000)
5. Neurobiologisches Korrelat des flüchtigen Mozart-Effektes scheint am ehestens eine verstärkte Hirndurchblutung und durch Neurohormone ausgelöste beschleunigte neuronalen Interaktionen auf Grund des erhöhten Wachheitsgrades und der positiven Stimmung zu sein (Chabris 1999).

b.) Auswirkung von Gehörbildung auf neuronale Netzwerke

Gehörbildung ist ein Fach, das an Musikschulen und Musikhochschulen unterrichtet wird. Im Wesentlichen zielt Gehörbildung auf eine Verbesserung der akustischen Mustererkennung und auf die Zuordnung akustischer Muster zu Begriffen. Dabei wird nicht nur das implizite Wissen „von“ Musik sondern auch explizites Wissen „über“ Musik vermittelt, wobei beide Wissensformen je nach Lehrmethode unterschiedlich stark angesprochen werden. In der einzigen Studie, in der direkt Veränderungen der neuronalen Vernetzung bei unterschiedlichen Gehörbildungsarten an drei Gruppen von Jugendlichen untersucht wurden, hatten Schüler die Aufgabe, musikalische Phrasen als „offen“ oder als „geschlossen“ zu klassifizieren. Diese Leistung beruht auf dem Erkennen musikalischer Regularitäten, wobei in unserer Musikkultur geschlossene musikalische Phrasen bei weitem dominieren. Die erste Schülergruppe erhielt über sechs Wochen einmal wöchentlich verbal betonten Unterricht mit Unterweisung über die Regeln, nach denen musikalische Phrasen gestaltet werden. Die zweite Gruppe erhielt Musik betonten Unterricht mit aktivem Improvisieren an Instrumenten und rhythmischen Bewegungsübungen, eine dritte Kontrollgruppe betrachtete Musikvideos. Ü-

berwiegend verbale Vermittlung des Wissensstoffes führte bei der ersten Schülergruppe nach den sechs Wochen Unterricht zu einer Mehraktivierung der sprachrelevanten Regionen der linken Schläfen- und Stirnhirnregion beim Lösen der Gehörbildungsaufgaben. Bei der zweiten Schülergruppe entstand eine Mehraktivierung der rechten Stirnhirn- und beider Scheitelregionen. Die Scheitelregionen sind als polymodale Hirnregionen für die Integration von visuellen, akustischen und sensorischen Informationen wichtig. Die dritte Kontrollgruppe zeigt nach den 6 Wochen erwartungsgemäß keine Veränderungen der Gehirnaktivierung (Altenmüller et al. 1997). Trotz der unterschiedlichen Lehrmethoden hatten beide aktive Gruppen den gleichen Leistungszuwachs in der Gehörbildungsaufgabe. Bei einer Nachuntersuchung nach einem Jahr zeigte allerdings die zweite, überwiegend durch musikalisch-rhythmische Aktivität trainierte Schülergruppe noch einen leichten – statistisch nicht bedeutsamen Vorsprung vor den verbalen Lernern (Altenmüller und Gruhn 1997). Die Ergebnisse sind nicht überraschend, da es bekannt ist, dass unterschiedliche mentale Repräsentationen im Zentralnervensystem auch räumlich unterschiedlich abgelegt werden. Wichtig ist aber die Erkenntnis, dass die an der Musikwahrnehmung beteiligten neuronalen Netzwerke durch die Hörbiographie, also **durch die Art und Weise, wie wir Musik** gelernt haben, ganz wesentlich beeinflusst werden (Altenmüller 2003a). Das heißt, die durch Musik induzierte Gehirnaktivität ist individuell unterschiedlich. Damit werden alle vereinfachenden Modelle, die beispielsweise der rechten Hemisphäre die Musikverarbeitung zuweisen in Frage gestellt (Übersicht dazu in Altenmüller et al. 2000).

c.) Auswirkung des Musizierens auf neuronale Netzwerke

Musizieren gilt als starker Anreiz für plastische Veränderungen des Zentralnervensystems. Unter Neuroplastizität versteht man die funktionelle und strukturelle Anpassung des Nervensystems an Spezialanforderungen, die in aller Regel relevante und komplexe Informationsverarbeitung einschließen müssen. Plastizität kann in allen Zeitbereichen beobachtet werden und ist begleitet von kurz- und langfristigen Lernvorgängen. Die Mechanismen der Plastizität schließen rasche Veränderungen synaptischen Signalverhaltens im Sekundenbereich, Wachstum von Synapsen und Dendriten über Stunden bis Tage, verstärkte axonale Myelinisierung mit Verbesserung der neuronalen Signalübertragung über Wochen und verringertes (physiologisches) Absterben von

Neuronen im Jahresbereich ein. Begleitet werden diese Veränderungen von Anpassung der Blutkapillaren und des Stützgewebes im ZNS.

Der Einfluss musikalisch-sensomotorischen Lernens auf die neuronalen Netzwerke wurde an Erwachsenen beim Erlernen des Klavierspiels nachgewiesen (Bangert und Altenmüller 2003). Bereits nach 20 Minuten Klavierüben entsteht bei Anfängern eine funktionelle Kopplung mit gleichzeitiger Aktivierung der Nervenzellverbände in den Hörrinden und in den sensomotorischen Arealen. Nach fünf Wochen Training am Klavier sind diese zunächst nur vorübergehenden Änderungen der neuronalen Vernetzung stabil und es kommt zu einer Zunahme der neuronalen Kohärenz und der Geschwindigkeit der neuronalen Leitungsgeschwindigkeit zwischen den Hör- und Bewegungsregionen (Bangert 2001). Bei ausgebildeten Pianisten kommt es beim Hören von Klaviermusik (Bangert et al. 2005) oder beim Betrachten pianistischer Bewegung (Haslinger et al. 2005) zu einer starken Mitaktivierung der sensomotorischen Handregion, ohne dass Bewegungen sichtbar sind. Umgekehrt führen bei professionellen Klavierspielern pianistische Handbewegungen auf einer stummen Tastatur zu einer Aktivierung der Hörregionen. Diese Befunde dokumentieren die durch musikalische Training verursachte enge Kopplung von neuronalen Repräsentationen im Dienste der auditiv-sensomotorischen Integration. Interessanterweise zeigten Pianisten beim Spiel auf einer stummen Tastatur oder beim Beobachten pianistischer Bewegungen auch eine Aktivierung der linkshemisphärischen Broca-Regionen im Stirnhirnbereich. Dies hat zu einer Neubewertung der Funktion dieser Hirnregionen geführt. So wird heute die Broca Region in einem erweiterten Verständnis übergreifend als Ort der Programmierung geübter symbolhaltiger Bewegungssequenzen interpretiert.

Ein Zusammenhang zwischen dem Grad der musikalischen Expertise und stärker ausgeprägten oder erweiterten neuronalen Antworten auf musikalische Reize konnte in zahlreichen Studien mit unterschiedlichen Methoden belegt werden. Pantev und Mitarbeiter (1998) zeigten beispielsweise, dass intensives musikalisches Training zu einer Vergrößerung der neuronalen Antwort in primären und sekundären auditiven Regionen führt. Dabei sind diese Veränderungen spezifisch für die jeweiligen Instrumente und musikalischen Erfordernisse. Trompeter beispielsweise besitzen nur für Trompetenklänge, nicht aber für Geigenklänge vergrößerte rezeptive Felder in den auditiven Arealen des Schläfenlappens (Pantev et al. 2001). Dirigenten zeigen im Vergleich zu Pia-

nisten eine stärkere Reaktion auditiver Neurone bei Aufgaben, die eine präzise Ortslokalisation von Klangquellen erfordern (Münste et al. 2001). Eben diese Fertigkeit wird im Alltag eines Dirigenten ständig geübt. Auch in Verhaltensexperimenten wird deutlich, dass Musikwahrnehmung spezifisch für die jeweiligen Erfordernisse des Instrumentes trainiert wird: Geiger beispielsweise sind aufgrund der freien Wahl der Tonhöhen auf der Geige auf eine sehr präzise Tonhöhenwahrnehmung angewiesen und besitzen daher ein besseres Unterscheidungsvermögen für Tonhöhen als Pianisten (Hofmann et al. 1997). Die speziellen Hörfertigkeiten von Musikern spiegeln sich auch in neuroanatomischen Anpassungen wider (siehe Abschnitt 2d, Übersicht dazu auch bei Münste et al. 2002). Inwiefern diese Veränderungen Auswirkungen auf außermusikalische Leistungen haben, wurde in all diesen Studien nicht überprüft. Wie in Abschnitt 3b dargestellt wird, hat Klavierunterricht aber (geringfügige) Auswirkungen auf einige kognitive Funktionen.

Die bislang einzige Studie, in der mit neurophysiologischen Methoden Transferleistungen musikalischer Aktivität auf Sprachleistungen bei Kindern explizit untersucht wurde, stammt aus der Arbeitsgruppe um Stefan Koelsch im Max-Planck Institut für kognitive Neurowissenschaften in Leipzig.

An musikalisch regelmäßig geschulten 11-jährigen Chorsängern zeigte Sebastian Jentschke, dass diese Kinder im Vergleich zu musikalisch nicht aktiven Kindern nicht nur stärkere neuronale Antworten auf Verletzungen musikalischer Regularitäten aufwiesen, sondern auch syntaktische Verletzungen in gesprochenen Sätzen mit einer stärker ausgeprägten Komponente des Ereignis korrelierten Potentials beantworteten. Diese verstärkte neuronale Aktivierung war vor allem in dem späteren Zeitbereich um 500 bis 1000 ms ausgeprägt, was für eine andersartige bewusste Verarbeitung der syntaktischen Verletzungen bzw. für eine andersartige interne Fehlerkorrektur spricht (Jentschke et al. 2005). Kritisch anzumerken ist an dieser Studie, dass 1.) kein Längsschnittdesign vorliegt, die Unterschiede zwischen beiden Gruppen also auch durch eine Stichprobenverzerrung zu erklären wären, (wobei die Autoren darauf geachtet haben, dass Ausbildungsstand der Eltern und sozioökonomischer Hintergrund der Kinder in beiden Gruppen vergleichbar waren) und 2.) das sprachliche Verhalten der Kinder nicht ausdrücklich überprüft wurde. Weiter unten (Abschnitt 5) wird dargestellt, welche Studien notwendig sind, um eindeutige Aussagen zu den Auswirkungen des Musizierens auf das Zent-

ralnervensystem und auf das Verhalten zu erlauben.

d.) Auswirkung des Musizierens auf die Hirnstruktur

Intensive Gehörbildung und jahrelanges Üben auf dem Instrument führen zu strukturellen Anpassungen des ZNS, die sich mit den neuen Methoden der Kernspintomographie sehr gut abbilden lassen. Langjährige Übung der Feinmotorik führt bei Pianisten und Geigern zu einer Größenzunahme der sensomotorischen Handregionen, insbesondere der nicht dominanten Hand. Diese Unterschiede sind besonders bei denjenigen Instrumentalisten deutlich, die vor dem Alter von sieben Jahren mit dem Instrumentalspiel begonnen hatten. Entsprechend ist bei trainierten Musikern auch die mit der Zweipunktscheidungsschwelle gemessene Feinempfindung an den Fingerspitzen gegenüber Nicht-Musikern verbessert (Ragert et al. 2003). Neue Untersuchungen mit der „Voxel-basierten Morphometrie“ (VBM) zeigen, dass nicht nur die anatomische Größe des motorischen Kortex bei Musikern zunimmt, sondern auch die Dichte der Neuronen (Gaser und Schlaug 2003), und dass letztere Veränderungen auch noch entstehen, wenn erst im Erwachsenenalter begonnen wird, zu üben. Auch das Broca-Areal der linken Stirnhirnregion, das Kleinhirn, und der primäre auditive Kortex besitzen bei Musikern eine größere neuronale Dichte. Die absolute Größe der primären Hörrinde korreliert sehr gut mit Hörfertigkeiten, die vor allem auditives Arbeitsgedächtnis erfordern (Schneider et al. 2002). Derartige übungsabhängige plastische Anpassungen des Nervensystems betreffen auch die Faserstruktur. So ist der Balken bei Musikern im Vergleich zu Nichtmusikern kräftiger ausgeprägt. Mit Hilfe der Faserdarstellung (Diffusion Tensor Imaging oder „DTI“) konnte unlängst gezeigt werden, dass diese Größenzunahme vor allem diejenigen Anteile des Balkens betreffen, die die Hörregionen beider Hemisphären verbinden. Auch die Pyramidenbahn vom primär motorischen Kortex zu den Vorderhornregionen des Rückenmarkes ist bei Pianisten stärker ausgeprägt als bei einer Kontrollpopulation (Bengtsson et al. 2005).

An dieser Stelle sei kurz darauf eingegangen, warum von allen Berufen gerade bei Musikern die stärksten plastischen Anpassungsvorgänge des Nervensystems beobachtet werden: Vier wichtige Gründe kann man anführen:

1. Musizieren wird in früher Kindheit begonnen und in aller Regel von zukünftigen Berufsmusikern intensiv durchgeführt. Das Nerven-

system wird während seiner wichtigsten Wachstumsphasen vor und während der Pubertät stark stimuliert.

Anzumerken ist hier, dass bei Zusammenstellung ähnlich homogener Gruppen in anderen Fertigungsdomänen ähnliche strukturelle Anpassungen des Gehirns nachweisbar sind. So fanden Maguire et al. (2000) bei Londoner Taxifahrern eine Vergrößerung von Gedächtnisstrukturen im Hippocampus, die vermutlich der räumlichen Orientierung und Navigation dienen. Sechs Wochen dauerndes Training im Jonglieren führte bei Erwachsenen zu einer Vermehrung der neuronalen grauen Substanz im Übergangsbereich zwischen Sehrinde und Scheitelregion. Diese Regionen dienen der visuell-räumlich-motorischen Integration (Draganski et al. 2004).

2. Professionelles Musizieren erfordert höchste räumlich-zeitliche Kontrolle zahlreicher neuronaler Systeme und ist daher auf hohe Geschwindigkeit der Informationsverarbeitung zwingend angewiesen. In Tierversuchen konnte nachgewiesen werden, dass diese Bedingungen die Bemerkung der Nervenfasern und die synaptische Effizienz fördern (Fields und Grahams 2002).

3. Die präzise Informationsverarbeitung ist für Musiker von großer Bedeutung. Professionelles Musizieren findet in einem unnachgiebigen gesellschaftlichen Belohnungs- und Bestrafungssystem statt, in dem wenige Sekunden der Leistungsschwäche oft biographisch wichtige Konsequenzen nach sich ziehen (Probenspiel, Wettbewerb). Diese Situation führt zu Hormonausschüttungen, insbesondere der Botenstoffe Adrenalin und Dopamin, die die Neuroplastizität unterstützen.

4. Musizieren ist selbstbelohnend und stellt einen starken emotionalen Reiz dar. Auch hier wirken hormonelle Faktoren wie die Ausschüttung von Dopamin und von Endorphinen auf neuroplastische Vorgänge ein.

Ein weiterer Grund dafür, dass man gerade bei klassisch ausgebildeten Musikern bevorzugt neuroplastische Veränderungen findet liegt in der Methodik der Untersuchungen. In aller Regel werden nämlich die Plastizitätsbefunde als Gruppenvergleich zwischen klassisch ausgebildeten Berufsmusikern und musikalischen Laien erhoben. Da professionelles Musizieren klassisch ausgebildeter Musiker auf einem mehr oder weniger kanonischen Ausbildungsweg beruht, der in der Gruppe starke Gemeinsamkeiten aufweist, nämlich früher Beginn des Instrumentalunterrichts, hohe kumulative Le-

bensübezeit und vergleichbare sensorisch-auditive Aktivitäten, können sehr homogene Probandengruppen zusammengestellt werden. Dadurch werden die Effekte deutlicher als in heterogen zusammengesetzten Gruppen, wie wir sie z. B. bei den bildenden Künstlern oder bei den Schriftstellern finden würden.

In der Laienpresse werden diese Anpassungsvorgänge häufig als sehr positiv bewertet, letztendlich sind es jedoch Phänomene von eher geringem Aussagewert. Sie zeigen, dass sich das Gehirn, - wie andere Organe - stärker in der Kindheit, aber auch im Erwachsenenalter an Spezialanforderungen anpasst. Die zu Grunde liegenden überraschend dynamischen Mechanismen sind derzeit nur in Teilen aufgeklärt. Unser Gehirn spiegelt das wider, mit dem wir uns im Leben intensiv beschäftigen, es ist Struktur gewordene Lebensgeschichte. Die mit der Spezialisierung einhergehende Vergrößerung oder neuronale Verdichtung bestimmter Zentren bringt vermutlich in anderen Hirnbereichen funktionelle Verkleinerungen mit sich. Um das zu verdeutlichen denke man nur daran, dass ein Konzertpianist nicht auch noch intensiv Zeit investieren könnte, um in London Taxi zu fahren – das würde man ihm auch gar nicht wünschen.

Nicht gezeigt wird durch diese Untersuchungen:

1. ein irgendwie gearteter positiver Transfer-effekt auf andere Fertigungsdomänen,
2. welcher Anteil an diesen Veränderungen genetisch bedingt ist. So ist theoretisch denkbar, dass „Begabung“ sich gerade in einer genetisch angelegten Bereitschaft zur spezifischen oder generellen Neuroplastizität niederschlägt
3. welche negativen Auswirkungen mit diesen Veränderungen verbunden sein können. Bei Musikern tritt in etwa 1% der Fälle ein Verlust der fein-motorischen Kontrolle lang geübter Bewegungen auf. Diese als „fokale Dystonie“ oder als „Musikerkrampf“ bezeichnete Erkrankung ist als dysfunktionelle, maladaptive Neuroplastizität interpretierbar (Altenmüller 2003b). Auch andere Folgen des Übertrainings sind denkbar. So können chronische Schmerzen oder Angsterkrankungen auch bei Berufsmusikern überdurchschnittlich häufig beobachtet werden (Übersicht in Blum 1995).

Transfereffekte: verbessert Musizieren kognitive oder emotionale Fertigkeiten?

In diesem Abschnitt werden Transfereffekte des Musizierens auf andere kognitive und emotionale Leistungen dargestellt. Dabei soll im ersten Teil die besondere Problematik des intensivierten Musikunterrichts an Schulen am Beispiel des Berliner Schulversuchs exemplarisch beleuchtet werden.

a.) Schulversuche mit intensiviertem Musikunterricht

Schulversuche, die Auswirkungen von intensiviertem Musikunterricht auf andere schulische Leistungen und auf das Sozialverhalten überprüfen, sind nicht neu. Es ist ein besonderes Problem der Erziehungswissenschaften, dass derartige Studien stets mit großen methodischen Schwierigkeiten und mit immensen Kosten verbunden sind. Schon bei der Frage, welchen Intelligenztest und welchen Musikalitätsbegriff man heranziehen soll, scheiden sich die Geister. Kinder und Jugendliche sind zahlreichen wechselnden Einflüssen ausgesetzt und können nicht wie in einem Laborexperiment durch Veränderung einer einzigen Einflussgröße, hier durch intensivierten Musikunterricht, untersucht werden. Klaus Ernst Behne (1995) hat die methodischen Fallstricke der Interventionsstudien sehr klar dargestellt. Unspezifische Effekte können die Ergebnisse verfälschen. Allein die Tatsache, Teilnehmer eines Experimentes – des Musikversuches - zu sein, kann die Kinder zu überdurchschnittlichen Leistungen motivieren. Dieses Problem ist aus der allgemeinen Psychologie als „Hawthorne – Effekt“ bekannt. Wissen Lehrer und Lehrerinnen dass ihre Schüler an Modellversuchen teilnehmen, werden sie möglicherweise engagierter unterrichten und den Kindern mehr Zuneigung und Interesse entgegen bringen. Dieser Effekt wird als „Pygmalion-Effekt“ bezeichnet. Schließlich kann der Umstand, dass Kinder durch Musikunterricht eine größere Anzahl von Unterrichtsstunden haben und somit mehr Zuwendung erfahren, die Ergebnisse günstig beeinflussen, unabhängig davon, ob Musik oder beispielsweise Kunst, Ballett oder Sport unterrichtet wird.

In seiner Übersicht würdigte Klaus Ernst Behne (1995) die bis 1994 durchgeführten Schulversuche. Eine vereinfachte Metaanalyse der größeren Studien zeigt, dass intensiver Musikunterricht positive Auswirkungen auf Sozialverhalten und Motivation der Schüler hat (z.B.

Weber et al. 1993). Instrumentalunterricht scheint darüber hinaus geeignet, Aufmerksamkeit und Ausdauerverhalten positiv zu beeinflussen (z.B. Scott 1992). Weniger klar ist die Aussage hinsichtlich der Steigerung intellektueller Fertigkeiten durch Musikunterricht, insbesondere da nicht in allen Studien unspezifische Effekte ausgeschlossen wurden. Das gilt auch für die unter der Leitung von H.G. Bastian (2000) durchgeführte Berliner Längsschnittstudie, die hier exemplarisch etwas eingehender vorgestellt werden soll. Zu dieser auf sechs Jahre angelegten Studie wurden 130 Kinder in Modellschulen und 40 Kinder aus Kontrollschulen herangezogen. Die Kinder in den Modellschulen erhielten im Rahmen von musikbetonten Zügen einen 2-stündigen Fachunterricht in Musik, erlernten einzeln oder in Gruppen ein Instrument und musizierten in unterschiedlichen Ensembles. Der mittlere Intelligenz-Quotient wurde mit dem „Culture Faire Intelligence Test“ (CFT1) erfasst. Dieser Test fragt im wesentlichen Spearmans „Grundintelligenz“ ab. Dabei wird geprüft, inwieweit Kinder die Fähigkeit haben, Regeln zu erkennen, Merkmale zu identifizieren und Wechsel der Merkmale schnell wahrzunehmen. Eine erste Zwischentestung ergab nach drei Jahren keinen signifikanten Unterschied zwischen den Modell- und den Kontrollgruppen (Bastian 1997). Die Endauswertung zeigte nach 4 Jahren (offenbar wurde der CFT nicht über die ganze Dauer des Schulversuchs eingesetzt) ein besseres Abschneiden der Versuchsgruppe um 6 IQ-Punkte im Mittelwert. Als weiterer Intelligenztest wurde eine Kurzform des „Adaptiven Intelligenz-Diagnostikum“ eingesetzt. Dieser Test ist umfassender und untersucht Alltagswissen, schulische Rechenfähigkeit, Konzentrationsfähigkeit, Schnelligkeit in der symbolischen Informationsverarbeitung im manuell-visuellen Bereich, räumlich-zeitliches Denken, verbal-logisches Denken und soziales Erfassen und Reflektieren.

Die Gesamtauswertung dieses Tests erbrachte nach sechs Jahren Versuchszeit keine signifikanten Unterschiede zwischen den Modellklassen und den Kontrollschulen. Auch hinsichtlich der Konzentrationsfähigkeit waren die Kinder der musikbetonten Züge den Versuchskindern nicht langfristig im Verlauf der Jahre überlegen. Als deutlicher Effekt wird eine Verbesserung des Sozialverhaltens in den musikbetonten Zügen beschrieben. So finden sich z.B. insgesamt weniger völlig ausgegrenzte Schüler. Darüber hinaus ist die musikalische Leistung der Kinder in den Schulen, die intensivierten Musikunterricht erhalten, tendenziell besser.

Insgesamt ist die Bilanz dieses Schulversuches ernüchternd. Eindeutige langfristige

Transfereffekte für sprachliche, logisch-mathematische und räumliche Intelligenz finden sich nicht. Möglicherweise zeigen sich Transfereffekte hinsichtlich der sozialen Intelligenzen. Eine Zunahme des IQ um 6 Punkte entspricht der statistischen Schwankungsbreite (siehe Macintosh 1998). Das Design der Studie war fehlerhaft, denn eine echte Kontrollgruppe, die z.B. in einem anderen Fach, etwa Werken oder Malen eine entsprechende Mehrzuwendung erfuhr, fehlt. Aus diesem Grund kann keine kausale Beziehung zwischen intensivem **Musikunterricht** und den beobachteten Effekten hergestellt werden. Es bleibt also unklar, ob nicht allein die vermehrte Zuwendung etc. für die Verbesserung von Sozialverhalten verantwortlich ist.

b.) Kontrollierte Interventionsversuche mit Musikunterricht.

Der Einfluss des Musizierens auf kognitive Fertigkeiten lässt sich in Interventionsstudien mit überprüfem Einzel-Instrumentalunterricht besser kontrollieren. Mehrere derartige Studien wurden in den letzten Jahren durchgeführt. Von Frau Costa-Giomi wurde die Entwicklung des Intelligenzquotienten bei Kindern mit und ohne Klavierunterricht verglichen. Dieses bislang langfristige Experiment wurde in den Jahren 1994 bis 1997 in Montreal durchgeführt. 67 neunjährige Kinder aus eher sozial schwachen Familien erhielten über drei Jahre wöchentlich Klavierunterricht, 50 Kinder waren in der Kontrollgruppe (ohne Klavierunterricht). Während zu Beginn der Studie alle Kinder den gleichen, sprachliche, räumliche und mathematische Leistungen umfassenden Intelligenzquotienten aufwiesen, zeigte sich nach zwei Jahren Klavierunterricht ein Vorsprung der Klavierschüler in allen drei getesteten IQ-Domänen, der allerdings nach drei Jahren von den Kindern der Kontrollgruppe wieder aufgeholt war (Costa Giomi 1999).

In einigen neueren Studien wurden ähnliche Resultate erzielt. Die Gruppe um Schellenberg untersuchte in einer Interventionsstudie 144 Kinder im Alter von sechs Jahren die 36 Wochen Klavierunterricht, Gesangsunterricht, Schauspielunterricht oder keinen Unterricht erhielten. Die Klavier- und Gesangskinder hatten nach diesen 36 Wochen einen um 3 – 3.5 IQ Punkte höheren IQ als die Kinder mit Schauspielunterricht oder die ohne Unterricht. Diese Ergebnisse verfehlte in Einzeltestungen die Signifikanz, wurden aber dann schwach signifikant ($p > 0.05$), wenn Gesang – und Klaviergruppen gemeinsam gegen Schauspiel- und Kontrollgruppe getestet wurden (Schellen-

berg 2004). Insgesamt ist der Effekt also sehr schwach.

Offensichtlich sind Auswirkungen auf die Kognition nach Musikunterricht nicht auf Kinder beschränkt. Bugos und Mitarbeiter (2004) erteilten 20 Senioren im Alter zwischen 60 und 85 Jahren über sechs Monate Klavierunterricht und verglichen sie mit einer Kontrollgruppe von 18 gleich alten Probanden. Die Klaviergruppe hatte nach dem Unterricht eine Verbesserung von Gedächtnisleistungen, die Arbeitsgedächtnis, Planungsgedächtnis und Strategiebildungen mit einschlossen ($p < 0.05$).

c.) Bessere kognitive Leistungen bei musizierenden Kindern und Erwachsenen

Ein einfacher, wenngleich methodisch anfechtbarer Zugang zur Frage, ob Musizieren kognitive Leistungen fördert wäre die einmalige Intelligenztestung von musizierenden Kindern und Erwachsenen im Vergleich zu sonst möglichst gleichartigen nicht musizierenden Altersgenossen. Methodisch anfechtbar bleibt die Stichprobenauswahl. So ist bekannt, dass Kinder, die Musikunterricht erhalten in der Regel aus sozioökonomisch besser gestellten Familien mit höherem Bildungsniveau stammen als nicht musizierende Kinder.

Beide Faktoren beeinflussen den Intelligenzquotienten (Macintosh 1998). Bastian stellte eine positive Korrelation zwischen musikalischen Leistungen und dem IQ bei Schülern in Gymnasien her (Bastian 2000). Dieser Intelligenzvorsprung lässt sich aber bei Musikstudenten im Vergleich mit Psychologie – oder Medizinstudenten nicht mehr finden. Lediglich ausgestanzte Fertigkeiten, wie die visuelle Mustererkennung und die Wahrnehmungsgeschwindigkeit sind bei Musikstudenten verbessert. Hier handelt es sich am ehesten um einen Effekt spezifischen Trainings beim Noten lesen und vom Blattspiel (Helmbold et al. 2005). Die Befunde führen zu der aparten Schlussfolgerung, dass offensichtlich nur die weniger Intelligenzen der intelligenten musizierenden Schüler Musik auch als Profession betreiben wollen. Ohne auf die Diskussion um die lebenspraktische Bedeutung des Intelligenzquotienten eingehen zu wollen ist diese Folgerung durchaus plausibel. Angesichts der derzeit schlechten beruflichen Aussichten von Musikern und der immer währenden Abhängigkeit von hoher körperlicher Leistungsfähigkeit ist es einsehbar, dass Jugendliche mit alternativen Möglichkeiten eine sichere berufliche Laufbahn wählen.

In anderen Ländern sind weitere stabile Befunde positiver Korrelationen von kognitiven

Fertigkeiten mit musikalischer Betätigung gefunden worden. So zeigte die Gruppe um Agnes Chan, dass erwachsene Musiker (Chan et al. 1998) und musizierende Kinder (Ho et al. 2003) über ein besseres Wortgedächtnis als Nichtmusiker verfügen. Hier ist allerdings anzumerken, dass die chinesische Sprache als tonale Sprache besonders musiknah ist. So dienen im Chinesischen Wortmelodien und Melodiekonturen der Übermittlung von Wortbedeutungen. Im indogermanischen Sprachraum überwiegen die Intonationssprachen – hier scheint dieser Effekt auf das Wortgedächtnis nicht zu existieren. Hinsichtlich emotionaler Sprachfertigkeiten sind neue Interessante Befunde hinzugetreten. So zeigten Thompson und Kollegen (2004), dass musikalisch geschulte Kinder den emotionalen Gehalt traurig, fröhlich, ängstlich und ärgerlich gesprochener Sätze sicherer erkennen konnten als Kinder, die nicht musizieren. Ähnliche, aber nicht ganz so positive Ergebnisse erzielten Kinder, die Schauspielunterricht erhielten, während Gesangsunterricht keine Auswirkung auf die Erkennensleistung des emotionalen Gehaltes von Sprache hatte.

Zusammenfassung und Schlussbewertung

Fasst man die dargestellten Ergebnisse dieses Artikels zusammen, so kann man Folgendes feststellen:

1. Musikhören mit Induktion von Aktivierung und positiver Stimmung führt (wie andere Stimuli mit gleicher Wirkung) zu einer kurzfristigen Verbesserung kognitiver Leistungen, besonders bei zeitlich räumlichen Denkaufgaben.
2. Gehörbildung führt zu zusätzlichen mentalen Repräsentationen von Musik, die sich in differenzierten neuronalen Netzwerken niederschlagen.
3. Intensives Musizieren führt zu unterschiedlichen kurz- und langfristigen plastischen Anpassungen des zentralen Nervensystems.
4. Es gibt Hinweise auf eine zumindest kurzfristige leichte Steigerung kognitiver und emotionaler Fertigkeiten durch Musizieren. Nicht kausal bewiesen sind langfristige Effekte und Effekte auf das Sozialleben.
5. Musikstudenten in Deutschland sind nicht intelligenter als andere Studenten.
6. Es gibt eine Korrelation von musikalischen Leistungen und Sprachgedächtnis bei chinesischen Kindern und Erwachsenen.

Zusammenfassend sind die Befunde hinsichtlich einer positiven Auswirkung des Musizierens auf andere kognitive Leistungen enttäuschend. Aber auch wenn nur wenig wissenschaftlich fundierte Beweise für einen Transfer von Musikerziehung und Musizieren auf andere Intelligenzleistungen existieren, sollte dies nicht im Umkehrschluss als Argument gegen die Bedeutung von Musikerziehung für die kognitiven Fertigkeiten und die Persönlichkeitsentwicklung von Kindern und Jugendlichen eingesetzt werden. Eine Schwierigkeit der Transfer-Forschung ist ja, dass in vielen Bereichen derzeit noch geeignete Testinstrumente fehlen, die man zum Messen von Transfereffekten benötigt. Wie etwa will man intrapersonale und interpersonale Intelligenz mit vertretbarem Aufwand messen? Wie sollen „kreatives Potential“, „Selbstvertrauen“, „langfristige Zielsetzung“, „ästhetisches Empfinden“, „emotionale Wärme“, in einer Langzeitstudie an schwer kontrollierbaren, hochdynamischen und zahlreichen Einflussfaktoren ausgesetzten biologischen Systemen, - nämlich an Kindern, - mit wissenschaftlicher Exaktheit erfasst werden? Und was wissen wir über die Späteneffekte, die frühe Musikerziehung im Erwachsenenalter erzeugen kann, was über Einflüsse auf die Lebensqualität? Dies führt direkt zum letzten Abschnitt. An welchen Fragen sollte in den nächsten Jahren weiter geforscht werden?

Forschungsdesiderate

a.) Neurobiologische Forschung außerhalb des Transferbereiches:

- Neurobiologische Forschungen sollten verstärkt die Aufklärung der Mechanismen der Neuroplastizität in Angriff nehmen. Hier werden neue Methoden der Morphometrie durch kernspintomographische Spezialverfahren einen großen Stellenwert haben.
- Bislang ist noch sehr wenig über die Dynamik der plastischen Anpassungen bekannt. Überhaupt nicht untersucht ist, ob sich plastizitätsbedingte Anpassungen bei Musikern nach Beenden der Musikerlaufbahn wieder zurückbilden.
- Untersuchungen an Kindern fehlen.
- Unklar ist, ob es ein „Plastizitätsgen“ gibt, ob also die Fähigkeit des individuellen Gehirns, sich morphologisch – funktionell an Spezialanforderungen anzupassen genetisch bedingt ist.

b.) Neurobiologische Forschung mit Transferaspekten

- Die Bedingungen plastischer Anpassungen sind nicht geklärt. Welche Rolle spielt sensomotorische Aktivität, welche Motivation, welche positive oder negative Emotion?
- Grundsätzlich sollte in neurobiologischen Studien an Musikern das Verhalten breiter mit überprüft werden. Beispielsweise sollte die Konsequenz einer gemessenen Vergrößerung der sensomotorischen Handareale bei Musikern auch durch einen objektiven Handgeschicklichkeitstest (außerhalb des Instruments) überprüft werden. Hinweise auf einen Teiltransfer motorischer Leistungen bei Musikern auf andere Handfertigkeiten existieren bereits (Hundt-Georgiadis und v. Cramon 1999).

c.) Transferexperimente mit Interventionen in Form von Musikunterricht

- Alle Interventionsstudien müssen ein Design mit Parameterkonstanz aufweisen. Intensivierter Musikunterricht muss durch einen anders gearteten intensivierten Unterricht als Kontrollgruppe ergänzt werden.
- Dringend benötigt werden langfristige – auf 10 bis 15 Jahre angelegte Interventionsstudien.
- Dringend benötigt werden Studien in denen die oben angesprochenen „weichen Kriterien“, Sozialverhalten, emotionale Wahrnehmung, subjektive und objektive Lebensqualität als Zielvariablen integriert werden.
- Dringend benötigt werden Studien, in denen die Möglichkeit, durch Musizieren gesundheitliche Störungen zu beeinflussen gezielt untersucht wird. Eine derartige Studie ist derzeit bei uns an Schlaganfallpatienten in Arbeit (Schneider et al. 2007)

Literaturhinweise

Altenmüller E. *Musikwahrnehmung und Amusien*. In: P. Thier, H.O. Karnath (Eds). *Neuropsychologie*. Springer, Berlin pp 439-452 (2002)

Altenmüller: E. *How many Music Centers are in the brain*. In: R. Zatorre, I. Peretz. (Eds). *The biological foundations of music*. Oxford University Press, Oxford, pp 267-279 (2003a)

Altenmüller E. *Focal Dystonia: Advances in Brain Imaging and Understanding of Fine Motor Control in Musicians Hand Clinics* 19: 1-16 (2003b)

Altenmüller E, Gruhn W, Parlitz D, Kahrs J: *Music learning produces changes in brain activation patterns: a longitudinal DC-EEG-Study*. *Int. J. of Arts Medicine* 5: 28-34 (1997)

Altenmüller E, Gruhn W. *Music, the brain and music learning. Mental representation of music and changing activation patterns through learning*. In: E. Gordon (ed.) *GIML Monograph Series Nr. 2*, G.I.A. Publ. Inc. Chicago (1997)

Altenmüller E, Bangert M, Liebert G, Gruhn W: *Mozart in Us: How the Brain processes Music*. *Medical Problems of Performing Artists* 15: 99-106, (2000)

Bangert M. *Auditiv-sensomotorische Integration bei komplexen hochtrainierten Wahrnehmungs- und Verhaltensleistungen: Analyse kortikaler Koaktivierungsprozesse am Beispiel des Klavierspiels*. Dissertation Universität Hannover (2001)

Bangert M, Altenmüller E. *Mapping Perception to Action in Piano Practice: A longitudinal DC-EEG-study*. *BMC Neuroscience* 4:26-36 (2003)

Bangert M, Peschel T, Rotte M, Drescher D, Hinrichs H, Schlaug G, Heinze HJ, Altenmüller E. *Shared networks for auditory and motor processing in professional pianists: Evidence from fMRI conjunction*. *Neuroimage*: doi.org/10.1016/ (2005).

Bastian HG. *Beeinflusst intensive Musikerziehung die Entwicklung von Kindern?* *Musikforum* 86: 4-22 (1997)

Bastian HG. *Musik(erziehung) und ihre Wirkung*. Schott, Mainz 2000

Behne, KE. *Vom Nutzen der Musik*. *Musikforum* 82: 27-39 (1995)

- Bengtsson S, Nagy Z, Skare S, Forsman L, Forssberg H, Ullen F. *Extensive Piano practicing has regionally specific effects on white matter development*. Nat Neurosci, 8: 1148-1150 (2005)
- Blum J. *Medizinische Probleme bei Musikern*. Thieme Stuttgart, New York (1995)
- Bugos J, Perlstein WM, Brophy TS, Bodenbaugh P. *The effects of individualized piano instruction on executive memory functions in older adults (60-85)*. Proceedings of the ICMPC8, Evanston, 2004
- Chabris CF: *Prelude or requiem for the 'Mozart-Effect'*. Nature 400: 826-827 (1999)
- Chan AS, Ho Y, Cheung M: *Music training improves verbal memory*. Nature 396: 128 (1998)
- Costa-Giomi E. *The Effects of Three Years of Piano Instruction on Children's cognitive development*. Journal of Research in Music Education, 47: 198-212 (1999)
- Draganski B, Gaser C, Busch V, Schuierer G, Bogdahn U, May A. *Neuroplasticity: Changes in grey matter induced by training*. Nature 427(6972):311-312 (2004)
- Fields, RD, Stevens-Graham B. *New Insights into Neuron-Glia Communication*. Science 298: 556-562, (2002)
- Gaser C, Schlaug, G. *Brain structures differ between musicians and non-musicians*. J. Neuroscience. 23: 9240-9245 (2003)
- Haslinger B, Erhard P, Altenmüller E, Schroeder U, Boecker H, Ceballos-Baumann AO. *Transmodal sensorimotor networks during action observation in professional pianists* J. Cogn Neuroscience: 17, 282-293 (2005)
- Helmbold N, Rammsayer T, Altenmüller E. *On differences in primary mental abilities between musicians and non-musicians*. J of Individual Differences 26: 74-85 (2005).
- Hetland L. *Learning to make music enhances spatial reasoning*. J. Aesthetic Education 34, 179-237 (2000).
- Ho, YC, Cheung MC, Chan, AS *Music Training Improves Verbal but Not Visual Memory: Cross-Sectional and Longitudinal Explorations in Children*: Neuropsychology 17: 439-450 (2003).
- Hofmann G; Mürbe D, Kuhlisch E, Pabst F. *Unterschiede des auditiven Frequenzdiskriminationsvermögens bei Musikern verschiedener Fachbereiche*. Folia Phoniatria et Logopaedica 49: 21-25 (1997)
- Hund-Georgiadis M, von Cramon DY: *Motor-learning-related changes in piano players and non-musicians revealed by functional magnetic-resonance signals*. Experimental Brain Research 125: 417-425 (1999)
- Jentschke S, Koelsch S, Friederici AD. *Investigating the relationship of music and language in children*. Ann N.Y. Acad.Sci 1060: 231-242 (2005)
- Mackintosh NJ. *IQ and Human Intelligence*. Oxford University Press, Oxford, 1998
- Maguire EA, Spiers HJ, Good CD, Hartley T, Frackowiak RS, Burgess N: *Navigation expertise and the human hippocampus: a structural brain imaging analysis*. Hippocampus 13(2):250-9 (2003)
- Münste TF, Kohlmetz C, Nager W, Altenmüller E *Superior auditory spatial tuning in professional conductors*. Nature 409: 580 (2001)
- Münste TF, Altenmüller E, Jäncke L. *The musician's brain as a model of neuroplasticity*. Nature Reviews Neuroscience, 3: 473-478 (2002)
- Pantev C, Oostenveld R, Engelien A, Ross B, Roberts LE, Hoke M. *Increased auditory cortical representation in musicians*. Nature; 392: 811-814 (1998)
- Pantev C, Roberts LE, Schulz M, Engelien A, Ross B. *Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians*. Neuroreport 12: 169-74 (2001)
- Parncutt R. *Prentatal Development* In: G.E. McPherson (Ed.) The child as musician: A handbook of musical development. Oxford University Press (2006 in press)
- Ragert P, Schmid A, Altenmüller E, Dinse R. *Meta-plasticity in musicians*. Eur J Neurosci 19: 473-478 (2004).
- Rauscher F, Shaw GL, Ky KN: *Music and spatial task performance*. Nature 365: 611 (2003)
- Schellenberg EG. *Music lessons enhance IQ*. Psychological Science 15: 511-514 (2004)

Schellenberg EG. *Exposure to Music: The truth about the consequences*. In G.E. McPherson (Ed.) *The child as musician: A handbook of musical development*. Oxford University Press, 2006 (in press),

Schellenberg EG, Hallam S. *Music listening and cognitive abilities in 10 and 11 year olds: the Blur effect*. *Ann N.Y. Acad.Sci* 1060: 1-8 (2005)

Schneider P, Scherg M, Dosch HG, Specht HJ, Gutschalk A, Rupp A. *Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians*. *Nat Neurosci* 5: 688-94 (2002).

Schneider S., Schönle P. W., Altenmüller E. & Münte, T. F.. *Using musical instruments to improve motor skill recovery following a stroke*. *J Neurol*. DOI 10.1007/s00415-006-05232 (2007)

Scott L. *Attention and perseverance behaviours of preschool children enrolled in Suzuki violin lessons and other activities*. *Journal of Research in Music Education* 40: 225-235 (1992)

Shenfield, TS, Trehub S, Nakata T. *Maternal singing modulates infant arousal*. *Psychol. Music* 31: 365-375 (2004)

Terman LM, Oden MH. *Genetic studies of Genius: Mental and physical traits of one thousand gifted children*. Stanford University Press, Stanford, 1925

Thompson, WF, Schellenberg EG, Husain G. *Decoding speech prosody: Do music lessons help?* *Emotion*, 4, 46-64 (2004)ä-
Trehub, S. *Musical predispositions in infancy*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930: 1-16 (2001).

Trehub, S. *Toward a developmental psychology of music*. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999: 402-413 (2003).

Weber EW, Spychiger M, Patry JL. *Musik macht Schule*. Blaue Eule Verlag, Essen, 1993

Korrespondenzadresse

Univ.Prof. Dr. med. Eckart Altenmüller
Institut für Musikphysiologie und Musiker-Medizin
Hochschule für Musik und Theater Hannover
Hohenzollernstr. 47
30161 Hannover
Telephon 0511/3100 552
Fax 0511/3100 557
e-mail: altenmueller@hmt-hannover.de