

1. AMseL – Neurokognitive Korrelate von Je-Ki-bezogenem und außerschulischem Musizieren

Peter Schneider, Annemarie Seither-Preisler

1.1 Forschungshintergrund und Motivation

Seit etwa zwei Jahrzehnten wird in vielfältiger Weise der Einfluss neurologischen Wissens auf musikpädagogische und erziehungswissenschaftliche Fragen zum Teil kontrovers diskutiert. Erstens geht es um die grundsätzliche Frage, welchen Beitrag die Erkenntnisse der Neurowissenschaften zur Verbesserung der Pädagogik bzw. Didaktik leisten („pädagogische Neurobiologie“), zweitens um spezielle Ratgeber zum „hirngerechten Lernen“ („brain based learning“) und drittens um sogenannte *neuropädagogisch-neurodidaktische Konzepte* (Gruhn & Rauscher, 2008; Roth, 2011). Leider wurden die vielfältigen Errungenschaften der Gehirnforschung oft zur unnötigen Polemisierung und zum Anfachen von Grabenkämpfen zwischen Pädagogen und Neurologen herangezogen. So wurden Positionen vertreten, die suggerieren, Pädagogik und Didaktik könnten schlicht durch Hirnforschung ersetzt werden. Dies wird zum Beispiel durch folgendes Statement deutlich „So sollte man auch in der Pädagogik verfahren: Es gilt nicht nur, die Grundlagen von Lernprozessen mithilfe der Gehirnforschung aufzuspüren, sondern auch, die sich hieraus ergebenden Schlussfolgerungen auf ihre Anwendbarkeit, Wirksamkeit und vielleicht auch Nebenwirkungen hin „klinisch“ – das heißt in der Praxis des Lehrens – zu überprüfen“ (Spitzer, 2003). Diese Sicht wurde von Bildungsforschern nicht zu Unrecht als überzogen kritisiert (Stern, 2005). Die unter „hirngerechtem Lernen“ bekannt gewordenen Lernmethoden (Superlearning, Edu-Kinestatik, Gehirnjogging, Brain Gym) basierten bislang nur teilweise auf neurowissenschaftlichen Konzepten (Becker, 2006).

Hingegen wurde im musikpädagogischen Bereich die Relevanz von neuroanatomischen Indikatoren (Herholz & Zatorre, 2012), des neuroplastischen Lernens (Jäncke, 2009), der hemisphärenspezifischen Verarbeitung (Altenmüller & Gruhn, 1997; Gruhn & Rauscher, 2008) und der Subjektivität und Individualität von individuellen Hörprofilen (Seither-Preisler et al., 2007; Wengenroth et al., 2010) bisher so gut wie nicht thematisiert.

Im Fokus des als Längsschnittstudie angelegten Forschungsprojekts „Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens (AMseL)“¹ stand das Zusammenwirken von musikalischem Potential (Begabung), entwicklungsbedingter Reifung und trainingsbedingter Plastizität von relevanten Hirnstrukturen. Des Weiteren wurden musizierbedingte Auswirkungen auf die Hörwahrnehmung sowie mögliche Transfereffekte in nicht auditive Domänen untersucht. Im Rahmen der neurologischen Musikalitätsforschung gelang es zum ersten Mal, in konsistenter Weise kausale Zusammenhänge zwischen veranlagungs- und trainingsbedingten Einflüssen aufzuzeigen und damit das heute oft hochgehaltene Modell des „trainingsbedingten Lernerfolges“ entscheidend zu erwei-

¹ www.am-sel.org

tern (Seither-Preisler & Schneider, 2013). Insbesondere konnten die in früheren Projekten gefundenen anatomischen und funktionellen Besonderheiten im Gehirn von Musikern (Schneider, 2002, 2005, 2009; Wengenroth, 2010, 2012) nun auch bei musizierenden Grundschulkindern nachgewiesen werden. Dies führt zu einer Reihe von musikpädagogisch relevanten Überlegungen, welche den Erfolg und die Effizienz des musikalischen Lernens, sowie die damit verbundene Eigenmotivation der Lernenden betreffen. Einerseits wird das grundlegende Verständnis reflektiert, wie sich regelmäßiges Musizieren auf die basale und komplexe auditorische Informationsverarbeitung - insbesondere die Sensibilisierung des Gehörs - auswirkt. Andererseits werden mögliche Transfereffekte auf die Entwicklung allgemeiner kognitiver Fähigkeiten (Intelligenz, Kreativität, Aufmerksamkeit) und spezieller Kompetenzen (Lese-, Rechtschreib- und Rechenfähigkeit), sowie auf das Verhalten (Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität und Impulsivität) thematisiert.

Die psychoakustischen Forschungsergebnisse des AMseL-Projekts erlauben konkrete Aussagen zur besonderen Rolle der subjektiven Klangverarbeitung im Zusammenhang mit der Präferenz von Musikinstrumenten und zur individuellen Klangvorstellung. Darüber hinaus liefern die vorliegenden Ergebnisse Hinweise auf musizierbedingte Verbesserungen von auditiven Wahrnehmungs- und Diskriminationsleistungen.

Die aktuellen neurowissenschaftlichen Forschungserkenntnisse können der musikpädagogischen Forschung und der Wirkungsforschung kultureller Bildung im Zusammenhang mit der Initiative *Jedem Kind ein Instrument* (JeKi) dienen, wenn es um Fragen des Zusammenspiels von musikalischer Begabung und musikalischem Lernen geht. Der Einbezug der Gehirnforschung als relevanter Zweig der Bildungsforschung ermöglicht es, die Mechanismen der auditiv bedingten Veranlagung und Plastizität auf der Ebene der dem Verhalten zugrunde liegenden Gehirnfunktionen systematisch zu erforschen und festzustellen, ob frühes Instrumentalspiel zu neuroplastischen Veränderungen des kindlichen Gehirns führt. Außerdem können Aussagen dazu gemacht werden, für welche außermusikalischen Bereiche Transfereffekte wahrscheinlich bzw. eher nicht zu erwarten sind.

1.2 Experimenteller Aufbau, Stichprobe und Organisation der Messungen

Das AMseL-Projekt wurde im Rahmen der *JeKi*-Begleitforschung als Verbundvorhaben der Universitäten Heidelberg und Graz realisiert. Das Ziel dieser bewusst sehr breit angelegten Studie war es, zu untersuchen, ob sich regelmäßiges aktives Musizieren auf (a) die Sensibilität des Gehörs, (b) allgemeine kognitive Fähigkeiten (Intelligenz, Kreativität, Aufmerksamkeit), (c) spezielle Kompeten-

zen (Lesen, Rechtschreiben, Rechnen), (d) AD(H)S²-relevantes Verhalten (Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität und Impulsivität) und (d) neuroanatomische Strukturen und Funktionen des Gehirns auswirkt. Insbesondere wurden Effekte des schulischen *JeKi*-Trainings mit jenen von konventionellem außerschulischem Instrumentalunterricht verglichen. Die Palette der Erhebungsinstrumente umfasste eine Reihe von Fragebögen, psychologischen Tests, Hörtests, sowie neuroanatomische Magnetresonanztomographie-Messungen (MRT) und neurofunktionelle Magnetenzephalographie-Messungen (MEG) mit akustischen Stimuli.

Im Mittelpunkt von Teilprojekt 1 (Neurologische Universitätsklinik Heidelberg) stand die Untersuchung des Zusammenhanges zwischen musikalischem Lernen und gehirnbioologischen sowie psychometrischen Merkmalen. Insbesondere wurde die Anatomie des Hörkortex und dessen Aktivierung beim Hören von Klängen untersucht. Den Schwerpunkt von Teilprojekt 2 (Institut für Psychologie der Universität Graz) bildeten Fragebogenerhebungen, die psychoakustische Untersuchung verschiedener Hörfunktionen im Zusammenhang mit Sprache und Musik sowie mögliche Transfereffekte in den kognitiven Bereich.

Die Studie wurde als Längsschnittuntersuchung konzipiert. Im Zeitraum zwischen April 2009 und September 2012 wurden die teilnehmenden Kinder in zwei Erhebungswellen im Abstand von 12-13 Monaten untersucht, derzeit läuft eine dritte Erhebungswelle. Die nachfolgend vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf die Daten der ersten beiden Messzeitpunkte.

Die teilnehmenden Kinder wurden aufgrund der speziellen Anforderungsprofile nicht schulbezogen, sondern individuell über Presse, Lernförderinstitute und Flyer rekrutiert. Dies erfolgte über eine kontinuierliche Öffentlichkeitsarbeit mit Pressemeldungen, Informationsveranstaltungen an Schulen und Lerninstituten, sowie die individuelle Kontaktaufnahme des Mitarbeiterteams mit den Eltern. In die Stichprobe wurden nur Kinder aufgenommen, die irgendeiner Art von regelmäßiger, durch Erwachsene angeleiteter Freizeitbeschäftigung nachgingen. Diese konnte im Üben eines Musikinstrumentes, diversen sportlichen Betätigungen, künstlerischen Aktivitäten (z. B. Mal- und Theatergruppen) oder Hobbies (z. B. Schach-Gruppe, Tanzen) bestehen. Das Ausmaß solcher Freizeitbeschäftigungen wurde systematisch erfasst, um zu gewährleisten, dass sich spezifische Musiziereffekte von unspezifischen Fördereffekten (z. B. durch ein Mehr an Zuwendung) abgrenzen lassen. In beiden Teilprojekten wurde dieselbe Stichprobe untersucht. Diese enthielt einerseits schulisch unauffällige Kinder und andererseits Kinder, die entweder von Lese-Rechtschreibschwäche (LRS) oder von AD(H)S betroffen waren.

An den beiden ersten im Abstand von etwa einem Jahr durchgeführten Messzeitpunkten nahmen 145 Grundschul Kinder (65 *JeKi*-Kinder aus NRW und Hamburg, 80 Kontrollkinder aus Heidelberg) teil, welche zu Beginn der Studie im Durchschnitt achteinhalb Jahre alt waren. In 42 Fällen lagen Auffälligkeiten

² Im Folgenden wird die Bezeichnung AD(H)S verwendet, da sich in unserer Stichprobe sowohl Kinder mit Aufmerksamkeitsdefizit-Hyperaktivitätsstörung (ADHS) als auch mit Aufmerksamkeitsdefizitstörung (ADS) befanden.

vor (23-mal ärztlich diagnostizierte AD(H)S und 19-mal förderpädagogisch oder testpsychologisch abgeklärte Lese-Rechtschreibschwäche). Letztere wurde entweder aufgrund von Gutachten entsprechender Lernförderinstitute und Schulpsychologen oder aufgrund von deutlich unterdurchschnittlichen Kennwerten der in der Studie verwendeten Hamburger Schreibprobe (HSP) angenommen³.

Um die Effektivität von *JeKi*-Unterricht dem außerschulischen Musikunterricht gegenüberstellen zu können, wurden Kontrollkinder rekrutiert, die entweder überhaupt nicht musizierten ($n = 34$) oder privat möglichst intensiv musizierten ($n = 46$). Die 65 teilnehmenden *JeKi*-Kinder stammten aus NRW ($n = 26$) und Hamburg ($n = 39$), die 80 teilnehmenden Kontrollkinder aus dem Raum Heidelberg. Die Verteilung der Klassenstufen der *JeKi*- und Kontrollkinder war sehr ähnlich (zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung: (a) *JeKi*-Gruppe: zweite Klasse: 24,1 %, dritte Klasse: 15,2 %, vierte Klasse: 5,5 %; (b) Kontrollgruppe: zweite Klasse: 28,3 %, dritte Klasse: 23,4 %, vierte Klasse: 3,4 %). Gleiches gilt für die Altersverteilung zum Zeitpunkt der Erstuntersuchung: (a) *JeKi*-Gruppe: Durchschnittsalter von 8 Jahren und 8 Monaten; (b) Kontrollgruppe: Durchschnittsalter von 8 Jahren und 6 Monaten). Auch die Geschlechterverteilung in beiden Gruppen war sehr ähnlich: (a) *JeKi*-Gruppe: 37 Jungen, 28 Mädchen; (b) Kontrollgruppe: 42 Jungen, 38 Mädchen.

Die Kinder nahmen an jeweils vier Messterminen (neurologische Erst- und Wiederholungsmessung an der Neurologischen Klinik in Heidelberg, psychologische Erst- und Wiederholungsmessung in Wohnortnähe) teil. Da die psychologischen und hörakustischen Untersuchungen in Kleingruppen erfolgten, wurden die Messungen kontinuierlich und zeitversetzt durchgeführt, wobei die erste Ersttestung im Januar 2010 und die letzte Ersttestung im Juli 2011 stattfanden. Die neurologischen Messungen wurden als Einzeluntersuchungen durchgeführt und erforderten inklusive Anfahrt zwei bis drei aufeinanderfolgende Tage. Die Mitarbeiter im Heidelberger Teilprojekt führten insgesamt 45 Messwochenenden mit Kleingruppen von jeweils etwa fünf bis acht Kindern durch. Diese waren etwa zur Hälfte *JeKi*-Kinder, die aus NRW und Hamburg nach Heidelberg anreisten. Die psychologischen Untersuchungen wurden von dem Grazer AMseL-Team im Rahmen von zehn mehrtägigen Rundreisen vor Ort durchgeführt (Heidelberg, Hamburg, Recklinghausen, Bochum, Bottrop). Die psychologischen Testungen fanden in Kleingruppen von sechs bis acht Kindern statt und dauerten inklusive Pausen etwa drei Stunden.

Nur 10 der 145 getesteten Kinder schieden vorzeitig aus der Studie aus. Bei einem Teil dieser 10 Dropout-Kinder liegen für den zweiten Messzeitpunkt zumindest die neurologischen oder die psychologischen Daten vor. Ein Kind wurde aufgrund von neurologischen Auffälligkeiten nachträglich von den entsprechenden Analysen ausgeschlossen.

³ T-Wert für Graphemtreffer mindestens eine Standardabweichung unter klassenmäßigem Normwert, was einem Prozentrang von 15,86 % entspricht; Empfehlung der *Deutschen Gesellschaft für Kinder- und Jugendpsychiatrie und Psychotherapie*.

1.2.1 Erfassung des Musizierverhaltens und sozialer Faktoren

Im Rahmen des Grazer Teilprojekts wurden umfassende Fragebogenerhebungen zur musikalischen Praxis und zum privaten und schulischen Umfeld durchgeführt. Im Zuge der ersten Erhebungswelle wurden jeweils ein Eltern- und ein Schülerfragebogen mit soziodemografischem und musikbezogenem Schwerpunkt vorgegeben. Während der zweiten Erhebungswelle wurde ein Wiederholungsfragebogen für Eltern vorgelegt, um etwaige situative Veränderungen und den zwischenzeitlichen Verlauf der musikalischen Praxis zu erfassen. Des Weiteren wurde den JeKi-Musiklehrern und -lehrerinnen ein Fragebogen zur Unterrichtspraxis zugesandt, welcher aber nur von etwa einem Drittel der Lehrkräfte retourniert wurde und somit für die Studie nicht aussagekräftig war. Alle Fragebögen konnten auf Wunsch entweder in Papierform oder zu Hause elektronisch am PC ausgefüllt werden.

Die Intensität des Musizierens wurde detailliert auf Basis der beiden musikbezogenen Elternfragebögen und ausführlicher persönlicher Interviews erfasst. Von besonderer Bedeutung ist der im Rahmen der Zweiterhebung bestimmte *kumulative Musizierindex* (MI), der sich aus der Überzeit in Wochenstunden * Jahre der musikalischen Praxis ergibt ($MI_{gesamt} = MI_{außerschulisch} + MI_{JeKi}$). Durch die Erfassung des $MI_{außerschulisch}$ und MI_{JeKi} war es möglich, die Wirkungen von Instrumentalunterricht außerhalb der Schule und im Rahmen von JeKi getrennt zu untersuchen. Darüber hinaus wurden mit dem MI_{gesamt} allgemeine Effekte erfasst. Die Angaben zum MI beziehen sich ausschließlich auf häusliches Üben, die eigentlichen Unterrichtszeiten sind also nicht einbezogen. Daher bildet der MI auch ein Maß für die kindliche Motivation, Zeit in das Erlernen eines Instrumentes zu investieren, was als Ausdruck von Musikalität zu werten ist.

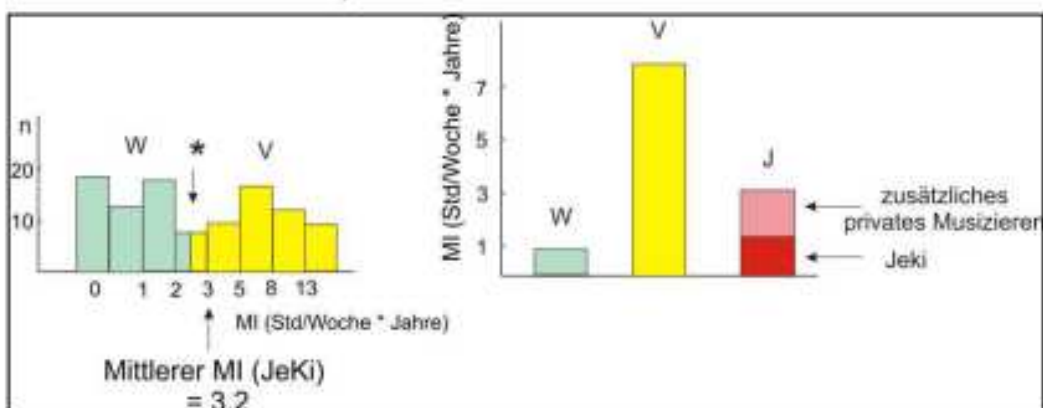


Abbildung 1: Musizierverhalten

In der Stichprobe war die Verteilung des MI_{gesamt} stark asymmetrisch, da viele Kinder keine oder eine eher geringe musikalische Praxis aufwiesen, während einige wenige Kinder bereits über eine sehr hohe Praxis verfügten (vgl. Abb. 1/links; in dem Histogramm ist der MI_{gesamt} logarithmisch gegen die Anzahl der Kinder aufgetragen). Am Knickpunkt der zweigipfligen Verteilung wurde ein Cutoff-Wert von $MI_{gesamt} = 2,5$ gewählt (gekennzeichnet mit *), um wenig (W) und viel (V) musizierende Kinder in annähernd gleich große Gruppen zu teilen. Schulauffällige Kinder mit Legasthenie oder AD(H)S wurden

nicht in diese Einteilung einbezogen, da diese in der Regel kaum musizierten, was zu einer Verzerrung der Ergebnisse hätte führen können.

In *Abbildung 1/rechts* sind die durchschnittlichen Werte des MI_{gesamt} für die schulunauffälligen Gruppen der wenig und viel musizierenden Kinder ungeachtet ihrer Zugehörigkeit zur *JeKi*- oder Kontrollgruppe aufgetragen. Wenig musizierende Kinder (W; $n = 52$) weisen einen durchschnittlichen MI_{gesamt} von 0,9 auf, viel musizierende Kinder (V; $n = 59$) einen durchschnittlichen MI_{gesamt} von 8,1. Daneben sind zum Vergleich die Werte nur für die *JeKi*-Gruppe (J) aufgetragen, die mit einem mittleren MI_{gesamt} von 3,2 eine vergleichsweise geringe Übeintensität erkennen lässt. Die meisten *JeKi*-Kinder erhielten während des Untersuchungszeitraums zusätzlich auch außerschulischen Instrumentalunterricht. Bei manchen Kindern war dies von Anfang an der Fall, bei anderen setzte der zusätzliche private Unterricht zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt ein. Durchschnittlich entfiel in der *JeKi*-Gruppe etwa die Hälfte der Übezeit ($MI_{gesamt} = 1,5$) auf *JeKi*-bezogenes Musizieren und die andere Hälfte ($MI_{gesamt} = 1,7$) auf außerschulisches privates Musizieren. Um eine Vermischung von Effekten, die auf außerschulischem und *JeKi*-bezogenem Musizieren beruhen, zu vermeiden, wurden beide Aspekte statistisch getrennt analysiert. Zur Prüfung möglicher *JeKi*-Effekte wurde der $MI_{außerschulisch}$ in Korrelationsanalysen herauspartialisiert und in Varianzanalysen als Kovariate behandelt, um den außerschulischen Einfluss rechnerisch zu eliminieren.

Jener Teil der Kontrollkinder, der außerschulisch musizierte, wies im Durchschnitt eine deutlich höhere Übeintensität (MI_{gesamt}) auf als die *JeKi*-Kinder. Dies war im Sinne der Untersuchungsziele beabsichtigt, um eine möglichst große Spannweite musizierbedingter Effekte abbilden zu können, vor deren Hintergrund die Wirksamkeit des *JeKi*-Musizierens geprüft werden kann.

Der mittlere MI_{gesamt} betrug in der AD(H)S-Gruppe 1,4 und in der LRS-Gruppe 1,8, was zeigt, dass Kinder mit diesen Entwicklungsauffälligkeiten kaum musizierten. Wir vermuten, dass dies unter anderem damit zusammenhängt, dass Familien mit betroffenen Kindern besonders gefordert sind, sodass wenig Zeit für eine zusätzliche musikalische Förderung bleibt. Ein weiterer Grund könnte darin liegen, dass legasthene Kinder häufig auch besondere Schwierigkeiten mit dem Erlernen der Notenschrift haben, was sowohl seitens der Kinder als auch der Eltern und musikpädagogischen Lehrkräfte als Hürde beim Erlernen eines Instruments empfunden wird. Ähnliches gilt für Kinder mit AD(H)S, die Schwierigkeiten haben, sich lange zu konzentrieren. Auch hier ist die Erfolgserwartung aller Beteiligten häufig von vornherein niedrig, sodass nicht einmal Versuche in diese Richtung unternommen werden.

Des Weiteren wurde der sozioökonomische Hintergrund der Kinder anhand der Fragebogenerhebungen bestimmt. Aus einer Vielzahl von Einzelangaben wurden mittels einer Hauptkomponentenanalyse drei unabhängige Sozialfaktoren extrahiert⁴ (vgl. Abb. 2). In den ersten Faktor „Bildungsnähe“ gingen die

⁴ KMO-Kriterium: 0,7; Bartlett's Test of Sphericity: $\chi^2(36) = 213,6$; $p = 0,000$; Kommunalitäten aller Items zwischen 0,52 und 0,72; Varimax-Rotation: 3 Faktoren erklären 59,8 % der Gesamtvarianz der berücksichtigten Items.

Bildungsabschlüsse beider Elternteile sowie die Anzahl der Bücher im Haushalt ein. Auch das Bruttoeinkommen aller Haushaltsmitglieder zeigte eine bedeutende Ladung auf dieser Komponente, da Bildung gewöhnlich mit höheren Einkommen korrespondiert. In die zweite Komponente „elterliche Zuwendung“ flossen ein: (a) familiäre Kommunikation (Zeit zum Reden, gemeinsame Mahlzeiten, über Bücher, Filme etc. diskutieren), (b) Elternengagement (bei Hausaufgaben und schulischen Vorbereitungen helfen, Vorlesen, über Lerninhalte sprechen) und (c) kulturelle Teilhabe (Häufigkeit gemeinsam besuchter Bildungseinrichtungen und Kulturveranstaltungen). In die dritte identifizierte Komponente „Freizeitangebot & Ressourcen“ gingen ein: (a) Intensität der außermusikalischen Freizeitgestaltung, (b) Eigentum des Kindes (eigenes Zimmer, Schreibtisch, Bücher, Lernprogramme), (c) Bruttoeinkommen (da die dem Kind zur Verfügung gestellten Angebote und materiellen Ressourcen natürlich auch von den Einkommensverhältnissen abhängen).

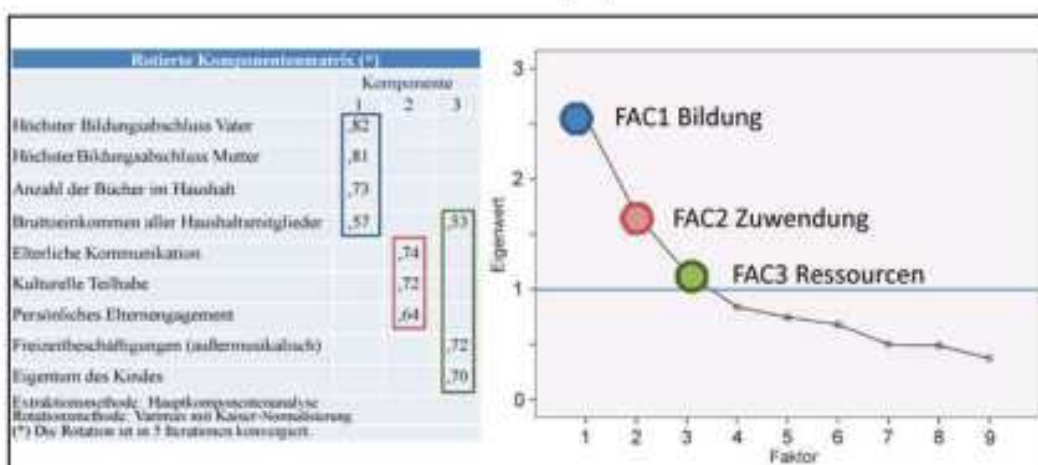


Abbildung 2: Sozioökonomischer Hintergrund

1.2.2 Psychoakustische Testungen

Bei der eingesetzten Batterie an Hörtests handelte es sich um teils selbst entwickelte Verfahren [Auditory Ambiguity Test AAT (Seither-Preisler) und Pitch-Test (Schneider) zum Grund- vs. Obertonhören und Blackbird-Silbentest (Seither-Preisler & Seither) zur Unterscheidung von Sprachsilben], sowie um Verfahren der Arbeitsgruppe von Prof. Usha Goswami von der Universität Cambridge (Dino-Tests zur Unterscheidung von Tonhöhen, Einschwingverhalten, Lautstärke, Tonlängen und Metric-Test zur Unterscheidung von Rhythmen).

Im Folgenden soll näher auf zwei einander ergänzende Verfahren zur Bestimmung der subjektiven Klangwahrnehmung (Pitch-Test, Schneider, 2005; Auditory Ambiguity Test, Seither-Preisler et al., 2007) eingegangen werden. Die diesen Tests zugrundeliegende Idee geht bereits auf den Physiologen und Physiker Hermann von Helmholtz und sein 1863 in Heidelberg verfasstes Buch „Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik“ zurück (von Helmholtz, 1863). Als Pionier der Wahrnehmungsfor-

schung wies er erstmalig auf die Subjektivität von Klangempfindungen hin. Er unterschied die „synthetische“ Wahrnehmung, bei der einzelne Frequenzkomponenten zu einer „Klangmasse“ verschmelzen, von der „analytischen“ Wahrnehmung, bei der Obertöne bewusst herausgehört werden. Mit diesen beiden Wahrnehmungsformen nahm er Bezug auf die „Perzeption“ bzw. „Apperzeption“ im Leibniz’schen Sinne, die heute mit „preattentiven“ und „attentiven“, d. h. vorbewussten und bewussten Wahrnehmungsformen in Verbindung gebracht werden (Terhardt, 1974; Koelsch, Schröger & Tervaniemi, 1999; Koelsch et al., 2005).

Der kanadische Forscher Robert Zatorre ging einen Schritt weiter und untersuchte die unterschiedliche Verarbeitung spektraler und zeitlicher Aspekte der Klangwahrnehmung (Zatorre & Belin, 2001). Er konnte zeigen, dass sich Tonlänge und Rhythmus vorwiegend in der linken Hemisphäre abbilden, während spektrale Komponenten wie Klangfarbe und Melodiekontur primär in der rechten Hemisphäre verarbeitet werden. Eine genauere Analyse ergab, dass der Schwerpunkt der auditorischen Verarbeitung im seitlichen Bereich des Hörkortex lokalisiert ist. Aus physiologischen Simulationen des Hörsystems lässt sich schließen, dass die Wahrnehmung der Grundfrequenz einer Obertonreihe eher auf zeitlichen Parametern beruht, welche der Periodizitätsfrequenz der Schallwelle entsprechen, während die Wahrnehmung der Obertöne auf spektralen Aspekten beruht, die mit der Struktur des Frequenzspektrums zusammenhängen (Seither-Preisler et al., 2006). Daher liegt es nahe, die Hypothese aufzustellen, dass das „Grundtonhören“ eine linkshemisphärische und das „Obertonhören“ eine rechtshemisphärische Eigenschaft sein müssten.

Verschiedene psychoakustische Studien zeigten, dass es starke individuelle Unterschiede hinsichtlich der Tendenz gibt, harmonische Klänge eher grund- oder obertonbezogen zu hören (Preisler, 1993; Schneider, 2005; Seither-Preisler et al., 2007, 2008). Die subjektive Klangverarbeitung ist also bei gleicher akustischer Stimulation sehr verschieden und spiegelt wie ein Fingerabdruck das individuelle Wahrnehmungsprofil wider.

Der *Pitch-Test* und *Auditory Ambiguity Test* wurden mit dem Ziel entwickelt, diese Unterschiede zunächst an Erwachsenen und später auch an Grundschulkindern systematisch zu erforschen. In beiden Tests hören die Probanden eine größere Zahl von harmonischen Klangpaaren und müssen beurteilen, ob deren Tonhöhe ansteigt oder abfällt. Die Grundtöne der harmonischen Klänge fehlen und die vorhandenen Obertöne sind so gewählt, dass sie sich immer gegenläufig zu den fehlenden Grundtönen verschieben. Je nach Dominanz des Hörmodus (Grundton- oder Obertonhören) werden die Klangfolgen als fallend (vgl. Abb. 3, blauer Pfeil) oder steigend (vgl. Abb. 3, roter Pfeil) gehört.

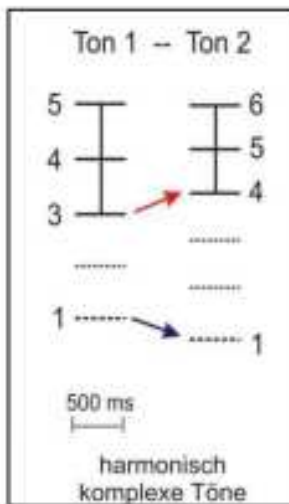


Abbildung 3:
Klangspektren der Tests zum Grund- und Obertonbören (Pitch-Test und Auditory Ambiguity Test)

Anmerkung:

Gestrichelte Linien: fehlende Teiltöne (1: Grundtöne);
durchgezogene Linien: vorhandene Obertöne.

Des Weiteren wurden folgende psychoakustische Verfahren verwendet:

- *Blackbird-Silbentest* (Seither-Preisler & Seither, 2012). Die Aufgabe der Kinder besteht darin, die gesprochenen Silben „GE“ und „KE“ zu unterscheiden. Zunächst haben die Silbenpaare eine Dauer von 1000 ms und werden dann zunehmend schneller dargeboten, bis schließlich eine Dauer von 100 ms erreicht ist. Die Tonhöhe bleibt dabei unverändert. Die Schwierigkeit der Reize wird automatisch an das Antwortverhalten der Kinder angepasst, bis eine stabile Schwelle erreicht wird. Der Test wurde während der ersten Messphase im Rahmen des Grazer Teilprojektes entwickelt und in der zweiten Messphase eingesetzt, um phonologische Defizite insbesondere im Zusammenhang mit Legasthenie zu identifizieren (vgl. Tallal & Gaab, 2006).
- In den sogenannten *Dino-Schwellentests* (entwickelt von D. Bishop; Huss et al., 2011) haben die Kinder die Aufgabe, jeweils zwei Klänge zu vergleichen und zu beurteilen, welcher der leisere, höhere, längere oder weicher klingende von beiden ist. Die Schwierigkeit der Reize wird an das Antwortverhalten der Kinder angepasst, bis eine stabile Schwelle erreicht wird.
- In dem *Metric-Rhythmustest* (Huss et al., 2011) besteht die Aufgabe darin, 24 Rhythmuspaare miteinander zu vergleichen und zu beurteilen, ob diese identisch oder unterschiedlich sind. Gemessen werden die Anzahl der richtigen Antworten und die mittlere Reaktionszeit.

1.2.3 Psychologische Testungen

Im Rahmen der psychologischen Testungen wurden folgende Erhebungsinstrumente eingesetzt:

- *Culture Fair Intelligence Test/CFT*. Der *CFT1* (bis zu 9 Jahren und 5 Monaten; Cattell, Weiß & Osterland, 1997) bzw. *CFT 20-R* (ältere Kinder; Weiß, 2006) ermöglicht die Bestimmung der Grundintelligenz im Sinne der „General Fluid Ability“ nach Cattell. Der Test gibt darüber Auf-

schluss, bis zu welchem Komplexitätsgrad ein Kind in der Lage ist, insbesondere nonverbale Problemstellungen zu erfassen und zu lösen.

- *Torrance Test of Creative Thinking/TTCT* (Torrance, 1966). Es wurde der Subtest "Picture Completion" vorgegeben, welcher die figuralbildnerische Kreativität erfasst. Die Kinder hatten die Aufgabe, aus zehn Vorlagen mit wenigen angedeuteten Linien innerhalb von zehn Minuten möglichst phantasievolle Zeichnungen anzufertigen und diese zu unterteilen. Drei unabhängige psychologische Experten beurteilten jede der Zeichnungen hinsichtlich der Kreativitätsdimensionen „Originalität“ und „Flexibilität“.
- *Continuous Attention Performance Test/CAPT* (Nubel, Starzacher & Grohmann, 2006). Es handelt sich um einen computergestützten sprachfreien Test zur Erfassung der auditiven und visuellen Daueraufmerksamkeit. Den Kindern werden fünf verschiedene Tierzeichnungen bzw. entsprechende Tierlaute präsentiert, wobei auf eine Zielsequenz per Knopfdruck reagiert werden muss. Von Interesse sind die Anzahl verpasster Treffer (Omissionen) als Maß der Unaufmerksamkeit und die Anzahl falsch-positiver Reaktionen (Commissionen) als Maß der Impulsivität.
- *Salzburger Lesescreening/SLS* (Mayringer & Wimmer, 2003). Den Kindern wird eine Liste sehr einfacher richtiger und falscher Sätze vorgelegt (z. B. „Bananen sind blau“), die möglichst schnell gelesen und nach ihrer Richtigkeit beurteilt werden sollen. Gemessen wird, wie viele Sätze in drei Minuten korrekt bearbeitet werden. Ähnlich dem Intelligenzquotienten wird ein klassenbezogener Lesequotient (LQ) mit einem Mittelwert von 100 und einer Standardabweichung von 15 gebildet.
- *Hamburger Schreibprobe/HSP* (May, 2002). Es handelt sich um ein Verfahren zur Bestimmung der Rechtschreibkompetenz. Die zu schreibenden Testwörter bzw. -sätze werden vorgelesen und anhand von Illustrationen veranschaulicht. Im ersten Schritt wird die Zahl richtig geschriebener schwieriger Wortstellen (Graphemtreffer) ermittelt. Im zweiten Schritt können anhand einer differenzierten Betrachtung richtig und falsch angewandte Rechtschreibstrategien (alphabetisch: lautliches Schreiben, orthografisch: Beachtung von erlernten Regeln, morphematisch: Erschließung von Wortstämmen und Zerlegung komplexer Wörter in Wortteile) bestimmt werden.
- *Schweizer Rechentest/SRT* (Lobeck & Frei, 1987; Lobeck, Frei & Blöchlinger, 1990). Es wurden repräsentative Beispiele für die zweite, dritte und vierte Schulstufe ausgewählt, die je nach Klassenstufe Addition, Subtraktion, Multiplikation, Division und einfache Gleichungen umfassten. Bestimmt wurde der Prozentsatz an korrekten Lösungen.
- Diagnostik-System zur Erfassung psychischer Störungen bei Kindern und Jugendlichen – Checkliste für hyperkinetische Störungen/DISYPS-KJ HKS (Döpfner & Lehmkuhl, 2000). In diesem Fragebogen zur AD(H)S-Neigung werden Elternurteile auf vierstufigen Ratingskalen erfasst. Über 20 Items werden Summenscores für die drei Symptomgruppen Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität und Impulsivität gebil-

det. Außerdem wird ein Gesamtscore bestimmt. Der Fragebogen wurde allen Eltern vorgegeben, um diese Merkmale auch bei unauffälligen Kindern quantitativ zu erfassen und zu prüfen, ob Musizieren die AD(H)S-Neigung auch im Normbereich geringfügig beeinflusst.

1.2.4 Neurowissenschaftliche Messungen

Es wurden zwei gesundheitlich völlig unbedenkliche neurologische Messverfahren eingesetzt: zum einen die Kernspintomographie (MRT) zur Erfassung der anatomischen Struktur des Gehirns und zweitens die Magnetencephalographie (MEG) zur Messung der Gehirnströme beim Hören von Klängen (vgl. Abb. 4 a, b). Gerade die Kombination von strukturellen MRT- und funktionellen MEG-Messungen mit denselben Probanden ist besonders effektiv, da erstere die erforderliche räumliche Auflösung zur Lokalisierung gewährleisten und letztere eine hohe zeitliche Präzision liefern.

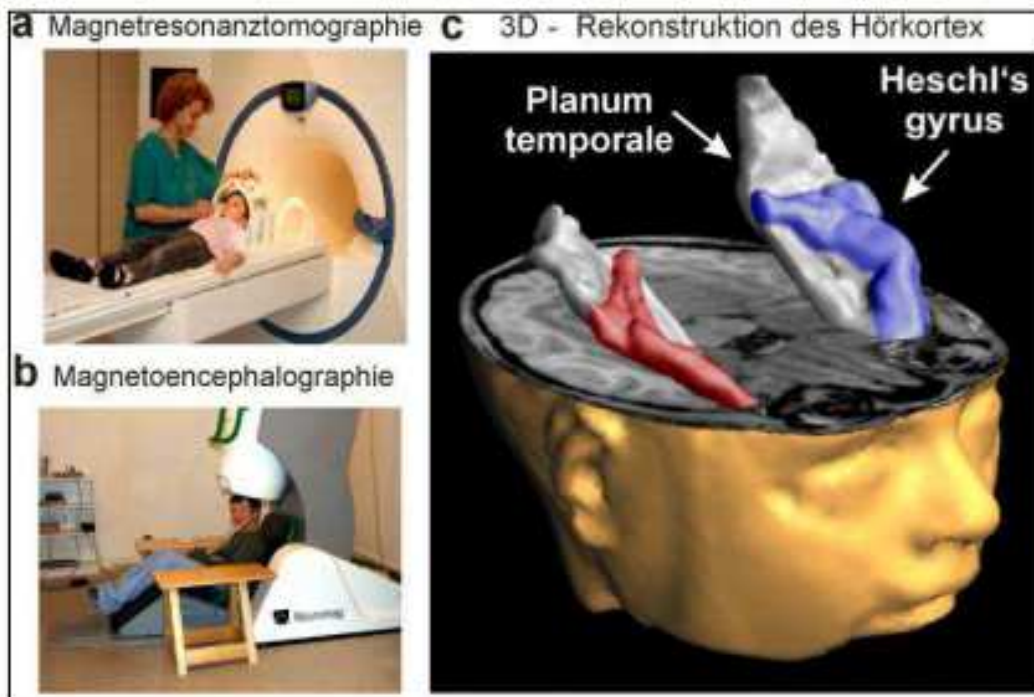


Abbildung 4: Neurologische Erhebungsinstrumente

Am ersten Tag des Messwochenendes kamen die Kinder zum Forschungsscanner der neuroradiologischen Abteilung der Heidelberger Universitätsklinik, wo hochauflösend die individuelle Gehirnanatomie vermessen wurde. Die Kinder waren sehr motiviert, sodass 143 der 145 Teilnehmer erfolgreich untersucht werden konnten.

Am zweiten Tag wurden die Kinder in den vom Erdmagnetfeld abgeschirmten MEG-Raum der Sektion Biomagnetismus geführt, um die extrem schwachen Gehirnströme beim Hören von Klängen zu erfassen. Die Kinder wurden aufgefordert, sich entspannt unter die MEG-Haube zu setzen, wo sie sich während der 20-minütigen passiven Messung einen Stummfilm freier Wahl ansehen

konnten. Währenddessen hörten sie verschiedene Instrumentalklänge und artifizielle harmonische Klangspektren, die über Plastikschräuche zum Ohr geföhrt wurden. Diese lösen im Gehirn sogenannte *auditorisch evozierte Antworten* aus, die von 122 supraleitenden Spulen (mit flüssigem Helium auf -270 Grad Celsius abgeköhlt) als Magnetfeldänderungen außerhalb des Kopfes registriert werden. Pro Sekunde wurden jeweils 122.000 Messungen abgeleitet, aus denen die auditorisch evozierte Quellenaktivität berechnet werden kann (Scherg & Cramon, 1986).

1.3 Ergebnisse

1.3.1 Psychoakustik

Die Ergebnisse der psychoakustischen und psychologischen Verlaufsmessungen zeigten, dass intensives Musizieren mit einer Reihe von Vorteilen auf perzeptiver und kognitiver Ebene einhergeht, insbesondere einer besseren Hörfähigkeit, erhöhten Aufmerksamkeit, verringerten Impulsivität und erheblich besseren Leistungen beim Lesen und Rechtschreiben.

Viel musizierende Kinder ($MI_{gesamt} \geq 2,5$) erzielten in den *Dino-Tests* deutlich feinere Schwellen beim Unterscheiden von Frequenzen als wenig/nicht musizierende Kinder ($MI_{gesamt} < 2,5$). Erstere konnten in der Regel noch Unterschiede von etwas mehr als einem Viertelton richtig klassifizieren, letztere hingegen nur bis zu ca. einem Halbton. Darüber hinaus zeigten sich geringe musizierbedingte Vorteile für das Unterscheiden des Einschwingverhaltens (weicher vs. harter Anschlag) und der Tonlänge, nicht aber für die Lautstärke. Die mit dem *Metric-Test* erfasste Rhythmuswahrnehmung war bei viel musizierenden Kindern etwas besser. Keine Unterschiede zeigten sich hingegen hinsichtlich des Erkennens der im *Blackbird-Silbentest* schnell dargebotenen Sprachsilben.

Die mit dem *Auditory Ambiguity Test* erfasste Fähigkeit, sich auf den Grundton eines harmonischen Klanges zu fokussieren, nahm bei allen Kindern zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt deutlich zu ($p \leq 0,001$; Anstieg der Grundtonantworten über die Zeit von 45,5 % auf 56,7 %). Zu Beginn der Studie waren die meisten Kinder noch tendenziell obertonhörend, zum zweiten Messzeitpunkt hingegen tendenziell grundtonhörend. Für den *Pitch-Test*, welcher eher die relative Dominanz des Oberton- und Grundtonhörens misst, fand sich hingegen in den Verlaufsmessungen nach Herausrechnen der mehrdeutigen, ambivalenten, oktavierenden Antwortmuster ein stabiler Verlauf. Zudem zeigte sich für den *Auditory Ambiguity Test* eine deutliche positive Korrelation zwischen der Grundtonerkennung und dem MI_{gesamt} ($\rho_{Spearman} = 0,005$). Dies deutet darauf hin, dass die Fähigkeit zur Grundtonfokussierung einerseits im Laufe der Reifeentwicklung zunimmt und andererseits durch musikalisches Training verstärkt wird. Offenbar beschleunigt die musikalische Praxis also den natürlichen auditiven Reifeprozess.

Die Befunde legen nahe, dass frühes Musizieren klanglich-harmonische Fähigkeiten fördert, die wichtig für das Erfassen sprachlicher Merkmale (Grundtonhöhe und Klangfarbe stimmhafter Sprachlaute) und musikalischer Struktu-

ren (Grundtonfortschreitung, Auflösung der Akkordstruktur, Hören einzelner Stimmen im polyphonen Satz) sind. Eine getrennte Betrachtung des $MI_{\text{außerschulisch}}$ und MI_{JeKi} ergab, dass die genannten Effekte nur für außerschulisches Musizieren, nicht aber für das *JeKi*-Musizieren nachweisbar waren. Dies zeigte sich daran, dass entsprechende außerschulische Musiziereffekte auch nach Herauspartialisierung des MI_{JeKi} erhalten blieben, während der MI_{JeKi} selbst keine entsprechenden Effekte erkennen ließ.

Dieser Befund erklärt sich wohl daraus, dass beim außerschulischen Musizieren das Ausmaß des Übens im Durchschnitt etwa fünfmal höher war als beim reinen *JeKi*-Musizieren. Daraus folgt, dass Musizieren im Grundschulalter zwar einen deutlich positiven Einfluss auf das Gehör auszuüben vermag, es aber einen erheblich höheren Übeaufwand im Rahmen von *JeKi* bräuchte, um ähnliche Effekte zu erzielen, wie sie für außerschulischen Instrumentalunterricht typisch sind.

1.3.2 Kognition und Kompetenz

Die psychologischen Erhebungen zeigten keine Zusammenhänge des Ausmaßes des MI_{gesamt} mit der über den *CFT 1* bzw. *CFT 20-R* erfassten nicht-sprachlichen Grundintelligenz. In früheren Studien wurden hingegen zumindest teilweise entsprechende Zusammenhänge zwischen Musizierverhalten und Intelligenz berichtet (z. B. Schellenberg, 2004, 2006, 2011; Schellenberg & Peretz, 2008). Wir vermuten, dass diese Diskrepanz dadurch bedingt ist, dass in den Studien von Glenn Schellenberg der *Wechsler-Intelligenztest (WISC-III)* verwendet wurde, welcher auch sprachbezogene Aufgaben enthält. Diese Interpretation liegt nahe, da zahlreiche Arbeiten positive Zusammenhänge zwischen dem Musizierverhalten und sprachlichen Fähigkeiten fanden, während räumlich-visuelle und mathematische Fähigkeiten deutlich weniger bis gar nicht von musikalischen Aktivitäten zu profitieren scheinen (BMBF-Band „Macht Mozart schlau“; 2006). Letzteres wurde in unserer Studie zumindest für den schriftsprachlichen Bereich, die zeichnerische Kompetenz und die Rechenfähigkeit bestätigt.

So zeigten sich für die im *TTCT* bestimmte bildnerische Kreativität (Originalität und Flexibilität) ebenfalls keine Zusammenhänge mit dem Musizierverhalten. Hier sollte auch ein interessantes Nebenergebnis erwähnt werden, nämlich dass Kinder mit AD(H)S signifikant originellere Zeichnungen anfertigten als unauffällige Kinder. Auch bezüglich der mit dem *SRT* bestimmten Rechenfähigkeit ergaben sich keine musizierbedingten Effekte, obwohl diese Variable eng mit dem Faktor Bildungsnähe korrelierte.

Für den Lese-Rechtschreibbereich zeigten sich hingegen zu beiden Messzeitpunkten deutliche Zusammenhänge mit dem Musizierverhalten, welche Werte bis zu $\rho_{\text{Spurman}} = 0,39$ ($p \leq 0,001$) erreichten. Diese betrafen alle untersuchten Dimensionen, nämlich die Lesegenauigkeit, drei Rechtschreibstrategien (alphabetisch, orthografisch, morphematisch) und die Graphemtreffer (korrekt geschriebenen schwierige Wortstellen). Für den MI_{JeKi} ergab sich zumindest für die morphematische Strategie (Erschließung von Wortstämmen und Zerlegung

komplexer Wörter in Wortteile) zum zweiten Messzeitpunkt ein positiver Zusammenhang ($\rho_{\text{Spearman}} = 0,26; p \leq 0,05$).

Abbildung 5 zeigt das Abschneiden wenig und viel musizierender Kinder hinsichtlich der mit dem SLS bestimmten Leseleistung (LQ/2) und der mit der HSP erfassten Rechtschreibkompetenz (drei Rechtschreibstrategien, Graphemtreffer) zu beiden Messzeitpunkten (1, 2). Der Pfeil bezeichnet die altersgemäßen durchschnittlichen Leistungen der für die jeweiligen Tests herangezogenen Normstichproben. Während das Verhalten der wenig/nicht musizierenden Kinder gut den Normwerten entspricht, zeigten viel musizierende Kinder deutlich überdurchschnittliche Leistungen. Entsprechende korrelative Berechnungen ergaben, dass der Zusammenhang zwischen Musizierintensität und Lese-Rechtschreibkompetenz bei neun der zehn durchgeführten Analysen (fünf Leistungsparameter; zwei Messzeitpunkte) hoch signifikant ($p \leq 0,01^{**}$) oder höchst signifikant ($p \leq 0,001^{***}$ bzw. $p \leq 0,0001^{****}$) war.

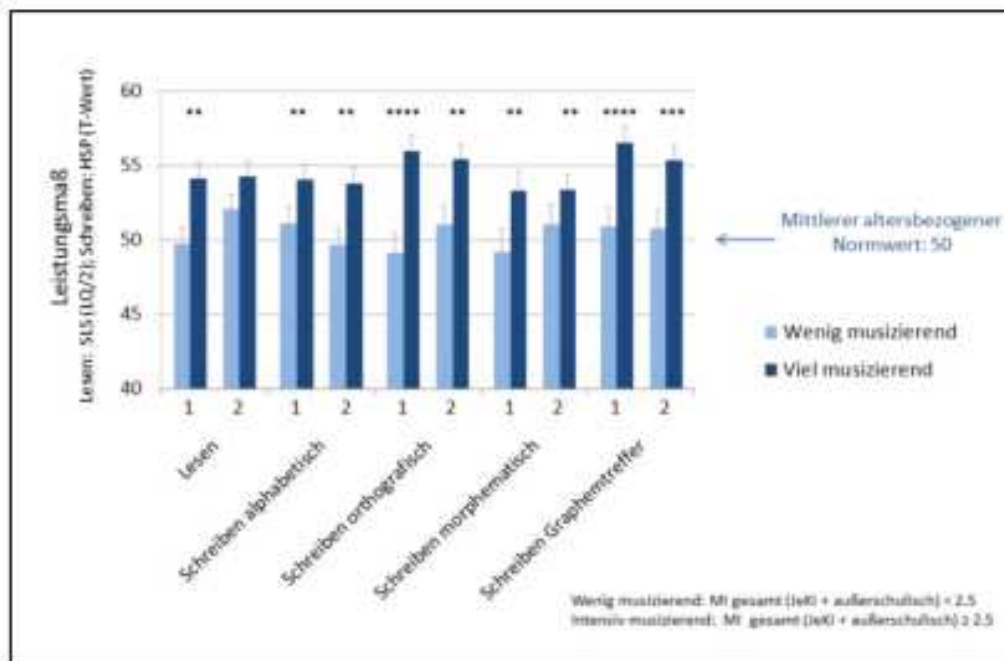


Abbildung 5: Musizierverhalten und Lese-Rechtschreibleistungen

Da eingewendet werden kann, dass diese Effekte möglicherweise auf unspezifische soziale Faktoren zurückzuführen sind, wurden partielle Korrelationen berechnet, in denen die Einflüsse der drei ermittelten Sozialindizes (Bildungsnähe des Elternhauses, Zuwendung, Freizeitangebot & Ressourcen) herauspartialisiert wurden. Die beobachteten signifikanten Zusammenhänge blieben praktisch unverändert bestehen, was zeigt, dass die bessere Lese-Rechtschreibkompetenz viel musizierender Kinder tatsächlich ein spezifisches Phänomen ist, das nicht durch eine allgemein bessere Förderung erklärt werden kann.

Um zu klären, welche Faktoren einen maßgeblichen Einfluss auf die Lese-Rechtschreibkompetenz haben, wurden Regressionsanalysen berechnet. Als Prädiktoren dienten die drei Sozialindizes, das Musizierverhalten (MI_{gesamt}), die

über den *CFT1* bzw. *CFT 20-R* erfasste Grundintelligenz und die über den *CAPT* gemessene Daueraufmerksamkeit (Gesamtzahl der visuellen und auditiven Omissions- und Commissionsfehler). Kriterium für die Lesefähigkeit war der Lesequotient des *SLS*. Für die Rechtschreibkompetenz dienten die vier Parameter der *HSP* als Kriterien. Die Lesefähigkeit wurde mit knapp 20 % Varianzaufklärung am stärksten durch die Grundintelligenz und am zweitstärksten durch das Musizerverhalten (beide Messzeitpunkte: relative Wichtigkeit: $\beta_{Musizierindex} = 0,3$) erklärt. Hingegen erwies sich bei der Vorhersage der vier Rechtschreibmaße zu beiden Messzeitpunkten das Musizerverhalten als wichtigste Größe (Varianzaufklärung: 7-25 %; Wertebereich für $\beta_{Musizierindex} = 0,5-1$). Der dominante Einfluss des Musizierens könnte einerseits durch förderliche Einflüsse frühen Notenlesens und andererseits durch auditives Training bedingt sein, welches die gehörsmäßige Segmentierung von Sprachlauten und deren Übersetzung in Grapheme erleichtert. Zudem könnte das mit dem Musizieren verbundene Aufmerksamkeitstraining einen Einfluss auf die Leserechtschreibleistung ausgeübt haben.

Hinsichtlich der Aufmerksamkeit wurden ebenfalls bedeutsame Korrelationen mit dem Musizerverhalten gefunden, und zwar sowohl im Hinblick auf den am PC durchgeführten Daueraufmerksamkeitstest *CAPT* (Gesamtzahl visueller und auditiver Omissions- und Commissionsfehler) als auch auf den AD(H)S-relevanten Elternfragebogen *DISYPS-KJ HKS* (Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität und Impulsivität). Die Zusammenhänge mit dem MI-gesamt lagen zwischen $\rho_{Spurman} = -0,2$; $p \leq 0,05$ und $\rho_{Spurman} = -0,32$; $p \leq 0,001$. Auch das *JeKi*-Übeverhalten korrelierte zumindest zum ersten Messzeitpunkt signifikant negativ mit der Impulsivität ($\rho_{Spurman} = -0,28$; $p \leq 0,05$). Nach Herauspartialisierung der Sozialvariablen waren die Zusammenhänge allerdings nur noch für das außerschulische Musizieren, nicht jedoch für das *JeKi*-Musizieren signifikant. Regressionsanalysen bestätigten den dominanten Einfluss des Musizierens auf die Aufmerksamkeit, während Hyperaktivität und Impulsivität besser durch niedrige Ausprägungen der Sozialvariablen „Freizeitangebot & Ressourcen“ und „Bildungsnähe“ vorhergesagt wurden.

1.3.3 Neuroanatomie und Hörwahrnehmung

Der Hörkortex liegt wie eine Art „inneres Ohr“ im Großhirn. Im Zentrum befinden sich die sogenannten *Heschlschen Querwindungen*, welche nach dem Wiener Anatomen Richard Ladislaus Heschl benannt sind. Sie sind wesentlich für elementare Hörfunktionen, wie das Erkennen von Tonhöhen, Klangfarben und Melodien, und spielen daher bei der Musikwahrnehmung eine wichtige Rolle. Dahinter liegt das sogenannte *Planum temporale*, welches weitere auditorische Areale enthält und vor allem in der linken Hemisphäre als Teil des Wernicke-Areals eine wichtige Rolle bei der sensorischen Sprachverarbeitung spielt.

Beim *Pitch-Test*, der die relative Dominanz des Oberton- und Grundtonhörens misst, zeigten die Kinder eine mit der relativen Größe des rechten Heschl-Gyrus steigende Fähigkeit zur Obertonwahrnehmung. Meist waren Kinder mit einer vergrößerten rechten Heschlschen Querwindung Obertonhörer und Kinder mit einem vergrößerten linken Heschlschen Querwindung Grundtonhörer.

Die anatomischen Voraussetzungen spiegeln sich also direkt in den Hörprofilen der Kinder wider und bestätigten damit die zuvor bei erwachsenen Profimusikern gefundenen Zusammenhänge (Schneider et al., 2005). Eine frühere Studie (Schneider et al., 2005a) hatte zudem bereits gezeigt, dass erwachsene Grundtonhörer eher perkussive Instrumente mit impulsiver Tongebung (Schlagzeug, Gitarre, Klavier) oder hohe Melodieinstrumente (Trompete, Querflöte) bevorzugen, während Obertonhörer eher tiefere oder klangfarbenreichere Melodieinstrumente mit ausgehaltener Tongebung (Blockflöte, Cello, Posaune) oder Gesang präferieren. Diese Merkmale stehen auch im Zusammenhang mit dem präferierten Musikstil (Tantschinez, 2006). Die Stabilität der hier vorliegenden Verlaufsdaten weist darauf hin, dass die mit dem *Pitch-Test* extrahierten Hörprofile keine trainingsbedingten Effekte zeigen, sondern ihrerseits als stabile Wahrnehmungsformen Einfluss auf das Musizierverhalten, die Präferenz von Musikinstrumenten und den bevorzugten Musikstil haben. Daher sollten auch grundtonhörende Kinder andere musikalische Stärken und Präferenzen aufweisen als obertonhörende Kinder. Es gilt daher, individuelle Hörprofile frühzeitig zu erkennen und die Wahl der Instrumente sowie den Unterricht möglichst gut darauf abzustimmen. Die (In-)Kompatibilität von Hörprofilen sollte im Unterricht unmittelbare Auswirkungen auf das Verhältnis zwischen Lehrenden und Lernenden haben (Gruhn, Hofmann & Schneider, 2012; Schneider, 2012). Idealerweise sollten die Profile ähnlich sein, um die Kommunikation zu erleichtern und vorhandene Potentiale optimal zu fördern.

1.3.4 Neuroanatomie und Musizierverhalten

In *Abbildung 4c* ist rechts der 3D-rekonstruierte Kopf eines ADHS-Kindes abgebildet. Der Hörkortex ragt mit zwei Flügeln aus dem Querschnitt. Im Zentrum befinden sich die „Heschlschen Querwindungen“ (rot und blau gefärbt), die für elementare Funktionen der Klang- und Musikwahrnehmung zuständig sind. Dahinter liegt das als graues Dreieck erkennbare Planum temporale, welches in der linken Hemisphäre als Teil des Wernicke-Areals wichtig für die sensorische Sprachverarbeitung ist. Bei jedem Kind wurde aus den strukturellen MRT-Messungen individuell die Größe und anatomische Form des Hörkortex ermittelt (vgl. Abb. 6a).

Die berechneten Oberflächen des Hörkortex sind hier gemittelt für wenig und viel musizierende Kinder, sowie für AD(H)S-Kinder abgebildet. Es ist erkennbar, dass die anatomischen Strukturen bezüglich Form, Gyrierung und Größe stark variieren. Die gruppenstatischen Berechnungen ergaben, dass die Heschlschen Querwindungen von viel musizierenden gegenüber wenig/nicht musizierenden Kindern durchschnittlich um 35 % vergrößert sind, während die Plana temporalia um 45 % verkleinert sind (Seither-Preisler & Schneider, 2013, submitted). Darüber hinaus sind die Heschlschen Querwindungen von viel musizierenden Kindern oft verdoppelt oder sogar verdreifacht. Das Volumenverhältnis von Heschlscher Querwindung zu Planum temporale, also die Gewichtung zwischen den vorderen und hinteren Arealen, steigt mit zunehmendem MI_{gesamt} auf das Zwei- bis Dreifache an. Interessanterweise bestand dieser Effekt bereits zum ersten Messzeitpunkt, also zu einer Zeit als die Kinder noch

am Anfang ihres formalen Musikunterrichts standen. Die Änderung des Volumens der Heschlschen Querwindung zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt betrug unabhängig vom Musizierindex bei allen 145 Kindern im Mittel nur 0,02 %, d. h. die anatomische Größe war im Alter von sieben bis zehn Jahren extrem stabil, sodass die Daten beider Messzeitpunkte fast perfekt korrelierten ($r = 0,98$).

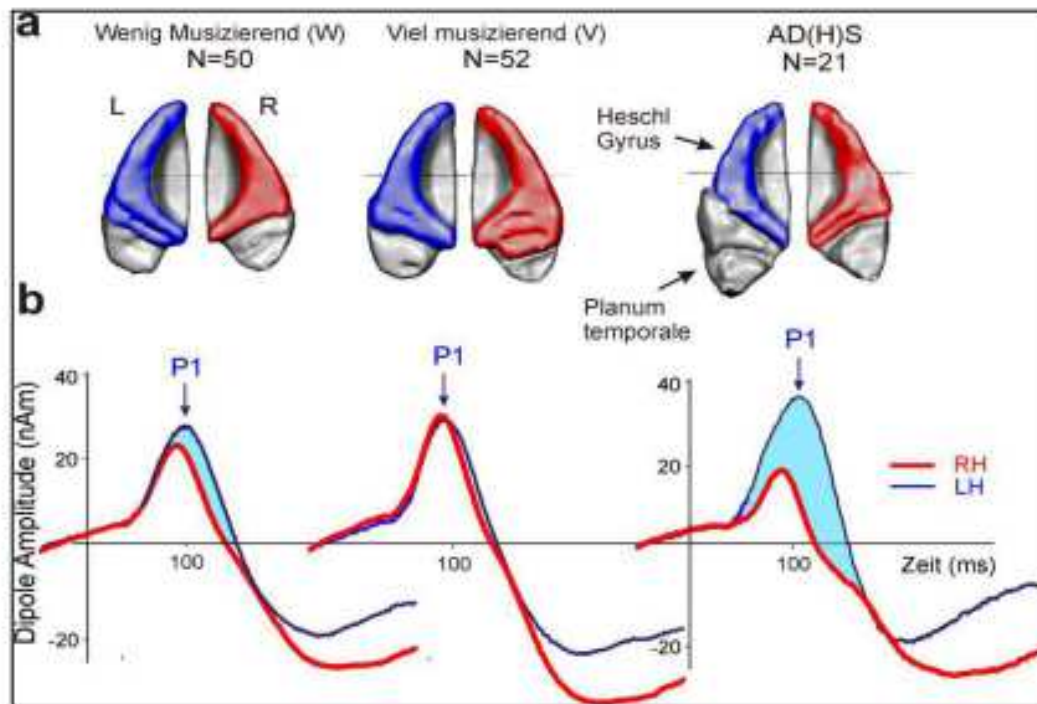


Abbildung 6: Morphologie und Aktivierung des auditorischen Kortex.

Dies zeigt, dass die beobachtete anatomische Größe und Form des auditorischen Kortex bereits in früher Kindheit vor Beginn des formalen Musikunterrichtes vorgegeben ist. Damit kann im Rahmen der neurologischen Musikforschung erstmalig belegt werden, dass die enormen anatomischen Gruppenunterschiede zwischen viel und wenig/nicht musizierenden Kindern nicht trainingsbedingt erklärt werden können. Offenbar ist es also nicht so, dass sich der Heschl Gyrus durch häufiges Üben wie ein Muskel vergrößert. Vielmehr kann die anatomische Größe als stark veranlagte Komponente aufgefasst werden, welche ihrerseits einen Einfluss auf das musikalische Lernpotential und die damit verbundene Eigenmotivation zum Üben hat.

Bei der AD(H)S-Gruppe (und teilweise auch bei der LRS-Gruppe) liegen gegenläufige Befunde zu den intensiv musizierenden Kindern vor. Hier sind die Plana temporalia im Vergleich zu den unauffälligen Kindern im Mittel um 55 % vergrößert, während die Heschlschen Querwindungen komplementär dazu verkleinert sind. Erwähnenswert sind die Effektstärken der neuroanatomischen Gruppenvergleiche, welche teilweise Werte um *part. $\eta^2 = 0,3$* ($p < 10^{-6}$) erreichten. Das bedeutet, dass die Varianz zwischen den Gruppen bis zu etwa einem Drittel durch die genannten neuroanatomischen Variablen erklärt wird. Bei den AD(H)S und LRS-Kindern zeigten sich tendenziell spiegelsymmetrische neuroanatomische Merkmale, wobei AD(H)S-Kinder meist ein vergrößertes linkes Planum temporale und LRS-Kinder meist ein rechtsseitig vergrößertes Planum temporale zeigten. Die neuroanatomischen Besonderheiten im Bereich des Planum temporale stehen vermutlich im direkten Zusammenhang mit den häufig bei AD(H)S- und LRS diagnostizierten auditiven Verarbeitungs- und

Wahrnehmungsstörungen (Leonard et al., 2001; Leonard & Eckert, 2009; Paul-Jordanov et al., 2010).

1.3.5 Aktivierung des Gehirns und Musizierverhalten

Die funktionellen MEG-Messungen der Gehirnströme beim Hören von harmonisch komplexen Tönen und Instrumentalklänge zeigten – anders als die neuroanatomischen Merkmale – deutliche neuroplastische entwicklungs- bzw. trainingsbedingte Veränderungen. In *Abbildung 6b* sind die Reaktionen des auditorischen Kortex in einem Zeitfenster von ca. 200 ms nach Tonbeginn zu sehen. Nach etwa 70-100 ms ist als erste Reaktion die primäre positive Antwort (P1) erkennbar.

Viel musizierende Kinder zeigten signifikant frühere primäre Antworten (86 ms) als wenig/nicht musizierende Kinder (91 ms), was als Reifvorsprung zu deuten ist. Im Mittel aller Kinder wurde im Verlauf von Messzeitpunkt 1 zu 2 in beiden Hemisphären eine systematische Beschleunigung der primären Antwort um 6,5 ms gemessen. Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit früheren Befunden zur natürlichen Reifung auditiver Funktionen überein (Sharma et al., 1997; 2005; Eggermont & Ponton, 2002). Trotz dieser neuroplastischen Effekte ließen sich die Antwortkurven gut reproduzieren und blieben als „individuelle Fingerabdrücke“ über die Zeit weitestgehend erhalten.

Interessanterweise zeigte sich mit zunehmendem musikalischem Training im Verlauf eine schnellere Reaktionszeitverkürzung, die bei besonders intensiv musizierenden Kindern auf bis zu 15 ms anstieg. Die viel musizierenden Kinder zeigten also von Anfang an einen relativen Entwicklungsvorsprung, der sich über die Zeit noch verstärkte. Bei auffälligen Kindern war es genau umgekehrt, wobei eine signifikante Verlangsamung der primären Antwort der linken Hemisphäre, sowie ein verlangsamter Reifeprozess über die Zeit beobachtet wurden.

Interessante Ergebnisse wurden auch hinsichtlich der Kommunikation zwischen beiden Gehirnhemisphären gefunden. Bei viel musizierenden Kindern zeigten die Antworten in der rechten (vgl. Abb. 6b, rote Kurve) und linken (vgl. Abb. 6b, blau Kurve) Gehirnhälfte einen im Vergleich zu wenig/nicht musizierenden Kindern signifikant synchroneren Verlauf (zeitlicher Abstand der Spitzenwerte: W: 8 ms, V: 4 ms), was auf eine bessere Zusammenarbeit beider Hemisphären hinweist. Bei auffälligen AD(H)S- und LRS-Kindern wurde hingegen eine extreme Laufzeitverschiebung zwischen der links- und rechtsseitigen primären Antwort von durchschnittlich 23 ms gemessen, wobei in der Regel die linke Hemisphäre verzögert reagierte (vgl. Abb. 6b; dort als blau schattierte Fläche dargestellt). Wir nehmen an, dass diese relativen Zeitverschiebungen unterschiedliche Entwicklungsstände beider Gehirnhälften anzeigen, welche zu Problemen bei integrativen auditiven Leistungen führen und damit Aufmerksamkeitsstörungen sowie Schwierigkeiten beim Schriftspracherwerb bedingen können.

Während also intensiv musizierende Kinder gegenüber wenig/nicht musizierenden Kindern durch (a) eine schnellere Verarbeitungsgeschwindigkeit der primären Hörareale, (b) einen beschleunigten Reifeprozess auditiver Funktionen und (c) eine deutlich bessere Hemisphärenkommunikation charakterisiert sind, ist es bei auffälligen Kindern genau umgekehrt. Sie zeigen eine langsamere und wahrscheinlich ineffizientere auditive Verarbeitung, einen verlangsamten

natürlichen Reifeprozess und eine Störung des Zusammenspiels der Funktionen der rechten und linken Gehirnhemisphäre.

Die Verlaufsdaten (Seither-Preisler & Schneider, 2013, submitted) zeigen eindrücklich, dass genau jene Gehirnbereiche und -funktionen von musikalischem Training zu profitieren scheinen, welche bei AD(H)S und LRS Auffälligkeiten aufweisen. Dies lässt vermuten, dass ein geeignetes musikalisches Förderprogramm den bei AD(H)S und LRS beobachteten Entwicklungsauffälligkeiten und auditorischen Verarbeitungsdefiziten entgegenwirken sollte. Daher sollte gerade hier musikalische Förderung besonders wichtig sein. Während eine musikpädagogische und –therapeutische Begleitung im Bereich der Legasthenie diskutiert wurde (Ovéry, 2003), wurde dies im Zusammenhang mit AD(H)S bisher noch nicht in Betracht gezogen. Unsere Studie zeigt, dass aktives Musizieren nicht nur eine Reihe von auditiven Wahrnehmungsfunktionen, sowie Aufmerksamkeitsleistungen und die Lese-Rechtschreibkompetenz verbessert, sondern auch auf die Gehirnentwicklung und interhemisphärische Kommunikation einen deutlich positiven Einfluss ausübt. Da zwischen diesen Bereichen enge Zusammenhänge bestehen, sollten die frühe Erkennung musikalischer Fähigkeiten und deren Entwicklung besonders in der Förderpädagogik mehr Beachtung als bisher finden und Eltern von Kindern mit Lese-Rechtschreibschwäche oder AD(H)S empfohlen werden.

1.3.6 Musikalische Begabung und lernbedingte Plastizität

Während die kortikale Dicke der grauen Substanz im Verlauf weitgehend stabil blieb (vgl. Abb. 7a; dort am Beispiel eines intensiv musizierenden Kindes dargestellt), zeigten die im MEG gemessenen Gehirnströme deutlich sichtbare Veränderungen (vgl. Abb. 7b). In der Abbildung ist zu erkennen, dass zum ersten Messzeitpunkt die primäre P1-Antwort dominiert. Zum zweiten Messzeitpunkt kommt darüber hinaus die spätere, sekundäre N1-Komponente hinzu.

Unsere Daten zeigen, dass die überaus stabilen anatomischen Merkmale des auditorischen Kortex eng mit dem Ausmaß musikalischen Übens (MI_{gesamt} , $MI_{außerschulisch}$ und $MI_{schulisch}$) korrespondieren. Offenbar hängt die mittels des MI erfasste Bereitschaft, Zeit in das Erlernen eines Musikinstruments zu investieren, in einem hohen Maß von Strukturen des Gehirns ab, die weitgehend genetisch veranlagt sind (Hulshoff Pol et al., 2006), bereits zu Beginn der Studie ausgebildet waren und sich über den Untersuchungszeitraum nicht mehr messbar veränderten. Dies bedeutet, dass diese neuroanatomischen Merkmale einen großen Einfluss auf die Übemotivation der Kinder haben und somit als anlagebedingte Indikatoren musikalischer Begabung anzusehen sind.

Da in der Studie auch soziale Faktoren mittels Fragebogenerhebungen detailliert erfasst und kontrolliert wurden, erlaubt dies eine Abschätzung, wie groß der relative Einfluss von Begabung und sozialem Umfeld auf das Übeverhalten und die Entwicklung musikalischer Kompetenzen ist. Um dies zu prüfen, wurden Regressionsanalysen mit dem Kriterium MI_{gesamt} berechnet. Als Prädiktoren dienten einerseits das Volumen der rechten Heschlschen Querwindung und andererseits die drei identifizierten Sozialindizes. Die Neuroanatomie erwies sich als wichtigster Prädiktor (relative Wichtigkeit: $\beta = 0,57^{***}$), gefolgt von den Faktoren „Bildungsmilieu“ ($\beta = 0,31^{**}$) und „Freizeitangebot & Ressourcen“ ($\beta = 0,12^*$). Letztere leisteten also gemeinsam einen ähnlichen Beitrag, wie die

neuroanatomische Begabungskomponente. Demnach scheinen sich die Einflüsse von Anlage und Umwelt auf das Übeverhalten etwa die Waage zu halten. Allerdings ist anzumerken, dass die Varianzaufklärung des Regressionsmodells bei ca. 25 % liegt, was bedeutet, dass der Großteil der Unterschiede im Übeverhalten durch weitere Faktoren bedingt ist, welche hier nicht berücksichtigt werden konnten.

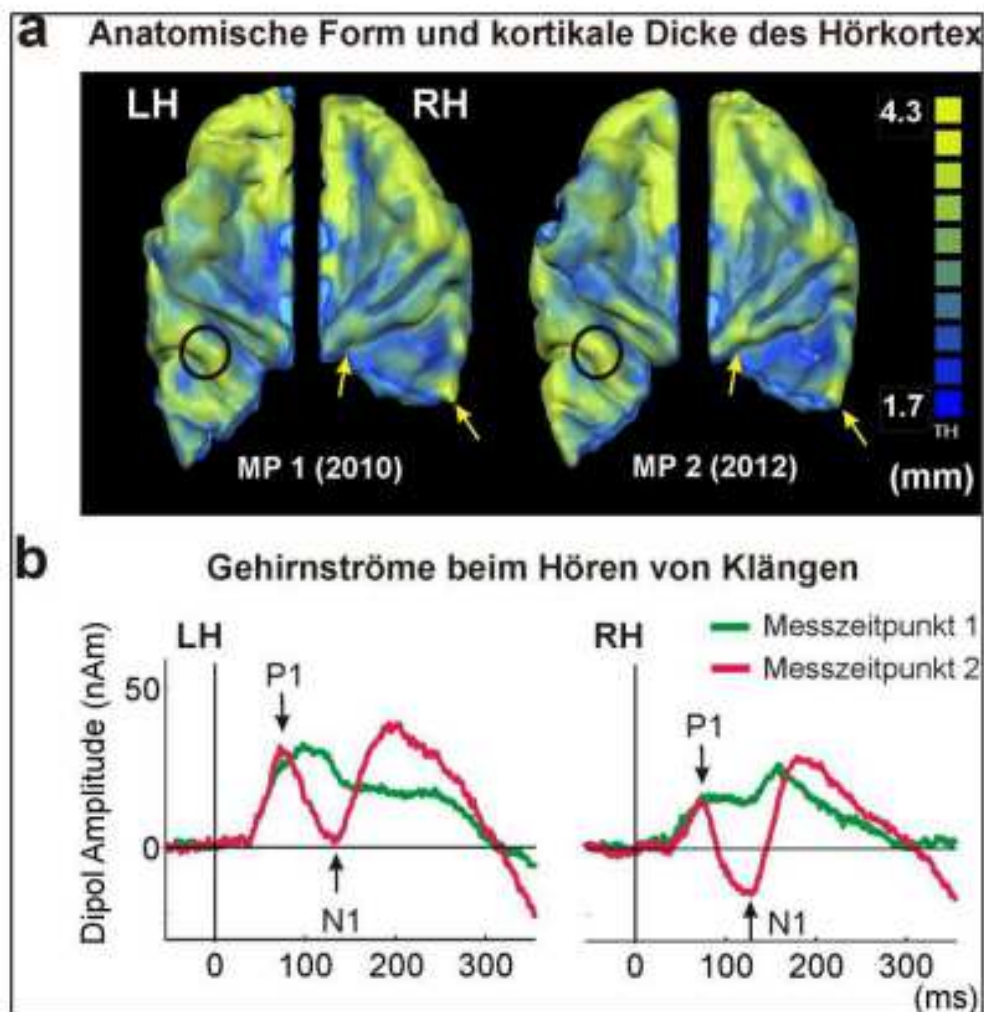


Abbildung 7: Kortikale Dicke

Die Ergebnisse zeigen, dass es im Rahmen unseres Forschungsprojektes erstmals gelungen ist, stabile neurologische Marker musikalischer Begabung zu identifizieren, welche lerninduzierten neuroplastischen Veränderungen durch aktives Üben gegenübergestellt werden können. Dies eröffnet prinzipiell die Möglichkeit, musikalisch begabte Kinder unabhängig von ihrem Verhalten frühzeitig aufgrund ihrer neurologischen Dispositionen zu identifizieren und besonders zu fördern. Ähnliches gilt für Kinder mit Legasthenie und AD(H)S. Auch für sie wurden sowohl stabile neuroanatomische als auch variable neuroplastische Merkmale gefunden, welche sich im Zuge des Lernens veränderten.

Diese interessanten Ergebnisse veranlassten uns dazu, die diagnostische Relevanz unserer Befunde rechnerisch abzuschätzen. Dabei ging es um die Frage, wie gut es gelingt, Kinder allein aufgrund von neuroanatomischen und -funktionellen Merkmalen, d. h. ohne die Kenntnis jeglicher Verhaltensmerkmale und Testkennwerte, korrekt (a) als wenig vs. viel musizierend und (b) als unauffällig vs. von AD(H)S betroffen zu klassifizieren. Entsprechende Diskriminanzanalysen ergaben zu 78 % korrekte Zuordnungen hinsichtlich der musikalischen Praxis, wobei die Größe des rechten Heschl Gyrus die wichtigste Rolle zur Vorhersage der Übemotivation spielte. Bei den unauffälligen vs. AD(H)S Kindern gelang sogar eine zu 91 % korrekte Klassifikation, wobei hier die Asynchronizität der primären P1-Antworten und die Größe des linken Planum temporale die wichtigsten Prädiktoren für das Störungsbild AD(H)S waren (Seither-Preisler & Schneider, 2013, submitted).

1.4 Musikpädagogische Implikationen

Im Folgenden soll versucht werden, die beschriebenen Ergebnisse in einen Gesamtkontext einzubetten (vgl. Abb. 8). Unsere Daten legen nahe, dass die mit der musikalischen Begabung assoziierten neuroanatomischen Merkmale und soziale Faktoren („Bildungsmilieu“ und „Freizeitangebot & Ressourcen“) einen ähnlich starken Einfluss auf die Motivation des Kindes ausüben, ein Instrument zu erlernen.

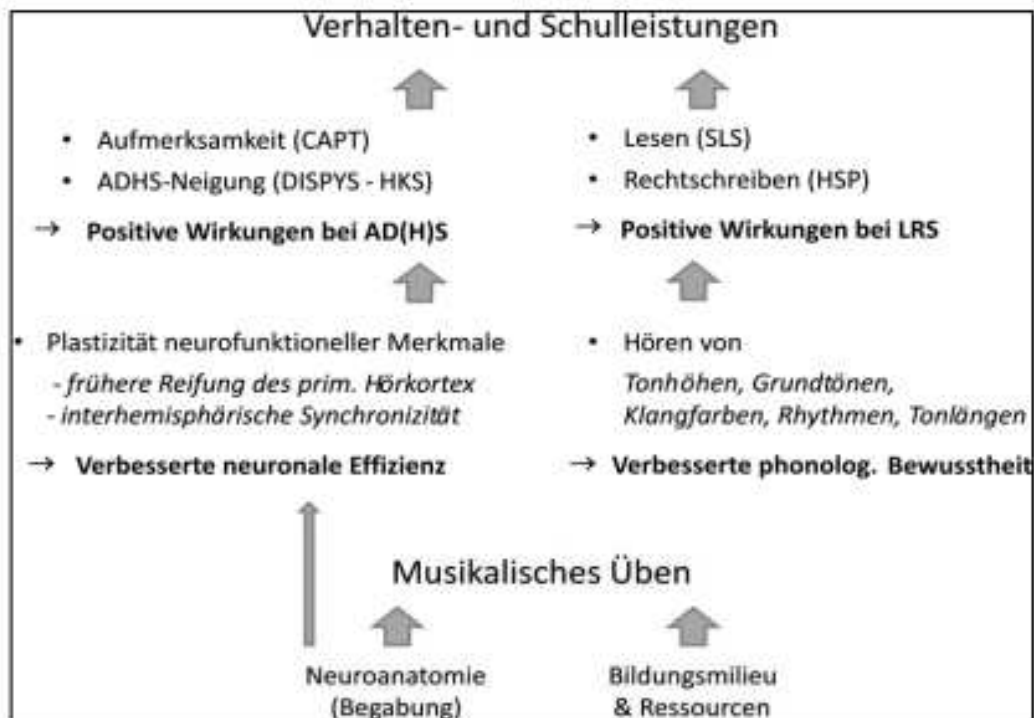


Abbildung 8: Übersichtsmodell zum Einfluss von Begabung und Training

Musikalisches Üben scheint sich seinerseits positiv auf die neuronale Effizienz des Gehirns auszuwirken, was sich in einer früheren Reifung des Hörkortex und einer verbesserten Zusammenarbeit der rechten und linken Hemisphäre (interhemisphärische Synchronizität) zeigt. Dies liefert eine Erklärung dafür, weshalb musizierende Kinder eine bessere Daueraufmerksamkeit und eine verringerte AD(H)S-Neigung (*CAPT* und *DISYPS-KJ HKS*: weniger Aufmerksamkeitsprobleme, Hyperaktivität und Impulsivität) zeigen. Die Befunde legen also nahe, dass Musizieren besonders für Kinder mit AD(H)S indiziert sein sollte. Von den 23 an der Studie teilnehmenden AD(H)S-Kindern erhielten nur wenige Instrumentalunterricht (jeweils 3 außerschulisch und 3 im Rahmen von *JeKi*).

Wir vermuten, dass dieses im Vergleich zu unauffälligen Kindern geringe Ausmaß an musikalischer Aktivität durch die besondere familiären Belastung, zeitintensive therapeutische Maßnahmen sowie die Erwartung, das Kind könne dem Instrumentalunterricht wegen seiner Aufmerksamkeitsprobleme und Hyperaktivität ohnehin nicht folgen, bedingt ist. Im Rahmen der Datenerhebung wurde uns zudem wiederholt von Eltern rückgemeldet, ihre Kinder seien wegen AD(H)S teilweise aus dem *JeKi*-Instrumentalunterricht ausgeschlossen worden, da sie die Gruppe stören würden. Dies erscheint umso bedauerlicher, als unsere Forschungsergebnisse zeigen, dass Musizieren mit verbesserten Aufmerksamkeitsleistungen einhergeht und einen positiven Einfluss auf Gehirnfunktionen ausübt, welche bei AD(H)S beeinträchtigt sind. Daher sollten gerade solche Kinder in besonderem Maße musikalisch gefördert werden. Da der Instrumentalunterricht mit AD(H)S-Kindern offenbar eine besondere musikpädagogische Herausforderung darstellt, sollte das Thema in die Ausbildung der *JeKi*-Lehrkräfte mit einbezogen werden, wobei eine enge Zusammenarbeit mit Förderpädagogen und -pädagoginnen wünschenswert wäre. An dieser Stelle sollte auch erwähnt werden, dass in der derzeit laufenden dritten Erhebungswelle des *AMseL*-Projektes gezielt weitere musizierende Kinder mit AD(H)S rekrutiert wurden. Obwohl solche Kinder selten zu finden sind, ist deren Untersuchung essentiell, wenn direkt Aufschlüsse über musizierbedingte Veränderungen bei AD(H)S gewonnen werden sollen.

Ein weiteres wichtiges Ergebnis unserer Studie ist, dass das kindliche Hörvermögen deutlich vom Musizieren profitiert. Damit sollte sich auch die phonologische Bewusstheit verbessern, also die Fähigkeit, die lautliche Struktur von Sprache zu erfassen. Das Vermögen, sich vom Bedeutungsinhalt der Sprache zu lösen und zu begreifen, dass Sätze aus Wörtern, Wörter aus Silben und Silben aus Lauten aufgebaut sind, stellt eine wesentliche Voraussetzung zum Schriftspracherwerb dar (Wagner & Torgesen, 1987). Dies könnte erklären, weshalb sich in unserer Studie die Lese-Rechtschreibkompetenz mit steigender musikalischer Expertise (unabhängig von allgemeiner sozialer Förderung) systematisch verbesserte. Zudem könnten sich auch die besseren Aufmerksamkeitsfunktionen musizierender Kinder positiv auf die Lese-Rechtschreibkompetenz ausgewirkt haben. In jedem Fall legen die Ergebnisse nahe, dass musikpädagogische Förderung auch bei LRS besonders wirksam sein sollte. Daher gilt auch in diesem Fall, dass besondere Hürden, wie Schwierigkeiten beim Erlernen der Notenschrift, nicht dazu führen sollten, Eltern vom Instrumentalunterricht ihrer legasthenen Kinder abzuraten. Vielmehr sollten hier vereinfachte und spieleri-

Die von uns gefundenen Zusammenhänge lassen sich in einem neurokognitiven Modell der individuellen Reife- und Lernprozesse verallgemeinert darstellen (Seither-Preisler & Schneider, 2013, submitted; vgl. Abb. 9).

Das im Rahmen von Neuropädagogik oder „Hirn-basiertem Lernen“ (brain based learning) üblicherweise anerkannte und hochgehaltene Modell des trainingsbedingten Lernerfolgs („training-induced plasticity“) ist innerhalb des rot gestrichelten Kreises skizziert und geht davon aus, dass der Lernerfolg weitgehend durch das Übeverhalten bestimmt wird. Wie die aktuellen Forschungsergebnisse erstmals zeigen, existieren darüber hinaus auch zuverlässige neuroanatomische Marker für musikalische Begabung, die ihrerseits Einfluss auf das Lernverhalten nehmen (als Beispiel ist in *Abbildung 9* rechts unten die spezifische neuroanatomische Struktur des Hörkortex eines hochbegabten Organisten dargestellt). Dieser Befund führt uns zu einem erweiterten Modell, welches deutlich weitreichendere Aussagen ermöglicht als es im Rahmen herkömmlicher, rein trainingsbasierter Modelle möglich ist.

Die Entwicklung des individuellen Begabungsprofils zu einem persönlichen Kompetenzprofil ist mit verschiedenen Entwicklungspfaden dargestellt: erstens die reifebedingte Plastizität, die automatisch ohne Interaktion mit der Umwelt verläuft und weitgehend biologisch determiniert ist (vgl. Abb. 9, rechter Pfad); zweitens der begabungsbedingte Einfluss auf die Eigenmotivation, der zu lernbedingter Plastizität führt (vgl. Abb. 9, mittlerer Pfad). Als Beispiel sei ein Kind mit hoher musikalischer Begabung genannt, das gern (Eigenmotivation) und häufig (Übeverhalten) auf einem Instrument spielt. Das Kind trainiert selektiv jene Funktionen, die für die Ausbildung der musikalischen Kompetenz relevant sind, was auf neuronaler Ebene mit erhöhter lernbedingter Plastizität einhergeht. Es kommt zu einer gezielten Vernetzung der beteiligten Gehirnareale bei gleichzeitiger Unterdrückung irrelevanter Funktionen, also einer verbesserten neuronalen Effizienz. Dies ist in *Abbildung 9* exemplarisch in Form der auditorisch evozierten Antwortkurven des Hörkortex skizziert, die – als Indikatoren eines unreifen neurologischen Entwicklungsstandes – hier noch eine relativ geringe Synchronisierung und Effizienz aufweisen. Unsere Befunde zeigen, dass sich dieser Status durch musikalisches Training positiv beeinflussen lässt. Derartige neurofunktionelle Marker erlauben es auch, die Ergebnisse von Kennwerten in psychologischen Leistungstests besser zu interpretieren und einzuschätzen, ob relativ zur Altersnorm ein neurologischer Entwicklungsvorsprung oder -rückstand vorliegt. Zudem können fördernde Interventionen gesetzt und deren Auswirkungen geprüft werden.

In dem Modell wird davon ausgegangen, dass sich eine zunehmende lerninduzierte Konnektivität positiv auf die Entfaltung weiterer Potentiale auswirkt (vgl. Abb. 9; gestrichelte Linie „Feedback“). Diese werden kontinuierlich in ein sinnvolles Ganzes integriert. Finden sich zum Beispiel im latenten Begabungsprofil eines Kindes hohe Potentiale für die auditive Vorstellungskraft und die motorische Koordination, so können im Verlauf des musikalischen Lernens beide Bereiche zur Entfaltung angeregt werden. Neue Qualitäten entstehen und ein charakteristisches individuelles Kompetenzprofil - in diesem Fall mit musikalisch-tänzerischer Neigung - beginnt sich zu manifestieren (dieses ist in *Ab-*

bildung 9 oben als Vernetzung der im ursprünglichen Begabungsprofil noch unverbundenen Einzelpotentiale dargestellt).

Die Pädagogik spielt in diesem Modell eine wichtige Rolle, da sie auf die verschiedenen Ebenen Einfluss nehmen kann und so die lerninduzierten Entwicklungsprozesse fördern oder unter ungünstigen Umständen auch hemmen kann (vgl. Abb. 9, links). Auf unterster Ebene gilt es, latente Begabungen frühzeitig zu erkennen. Eine wesentliche Bedeutung kommt den Lehrenden bei der Aufgabe zu, durch aufmerksame Beobachtung die Eigenmotivation der Kinder für einen bestimmten Bereich frühzeitig zu fördern. Dies sollte sich positiv auf die Entfaltung bestehender Begabungen auswirken. Darüber hinaus sollte das konkrete Überverhalten durch die Vermittlung von prozeduralem und deklarativem Wissen, also durch Theorie und Praxis, qualifiziert angeleitet und unterstützt werden. Dies sollte wiederum neuroplastische Lernvorgänge unterstützen und beschleunigen, mit dem Ziel, die bereits im Begabungsprofil latent angelegten Potentiale als ausgereiftes Kompetenzprofil möglichst vollständig zur Geltung zu bringen. Als Konsequenz kommt es nicht so sehr darauf an, alle möglichst Kinder früh, schnell und intensiv musikalisch zu trainieren, sondern eher darauf, das persönliche Begabungsprofil zu erkennen, zu verstehen und gezielt zu fördern. Da sich der Lernerfolg und das Ausmaß an Neuroplastizität vermutlich direkt proportional zum anlagelegten Potential verhalten, erscheint es als zielführend, pädagogisch an jenen Punkten anzusetzen, an denen die stärksten Begabungen erkennbar sind und davon auszugehen, dass eher defizitäre Bereiche von dieser Förderung mit profitieren.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welchen Beitrag *JeKi* zu diesen Zielen leisten kann. Unsere Ergebnisse zeigen, dass bereits Kinder, ähnlich wie Erwachsene, stabile individuelle Hörprofile aufweisen, die sie besonders für das Erlernen bestimmter Instrumente prädestinieren (Schneider et al., 2005a).

Auch das Interesse für bestimmte Musikstile lässt sich teilweise über das Hörprofil erklären (Tantschinez, 2006). Derzeit wird diesen Gesichtspunkten im *JeKi*-Unterricht noch nicht Rechnung getragen. Meist erfolgt die Instrumentenauswahl anhand von ersten Erfahrungen im Einstiegsjahr, vagen Vorstellungen und der jeweiligen Verfügbarkeit an der Schule. Da davon auszugehen ist, dass sich ein Eingehen auf die individuelle Hörweise der Kinder nachhaltig auf die Motivation zum Musizieren auswirken sollte, möchten wir anregen, entsprechende Hörtests bereits zu Beginn des *JeKi*-Trainings anzubieten. Auf diese Weise könnten Eltern und Kinder bei der Auswahl der *JeKi*-Instrumente frühzeitig und sachgerecht beraten werden, um spätere Frustrationen zu vermeiden. Allerdings ist es sicherlich leichter, im Einzelunterricht auf die individuellen Fähigkeiten eines Kindes einzugehen als im *JeKi*-Gruppenunterricht. So wurde in den von uns durchgeführten Befragungen auch die Problematik unterschiedlicher Lernstände und -geschwindigkeiten immer wieder deutlich. Dabei wurde bemängelt, dass sich das Lerntempo der *JeKi*-Gruppen häufig nach den langsamsten Schülern richtet und schnellere bzw. motiviertere Schüler gelangweilt zum Warten gezwungen sind. Obwohl solche Unterschiede im Gruppenunterricht unvermeidlich sind, könnte diesen dennoch teilweise begegnet werden, indem man Gruppen mit ähnlichen Lernständen und Hörprofilen zusammenfasst. Idealerweise sollte auch der/die Lehrende durch ein vergleichbares Hör-

profil charakterisiert sein. Dies sollte sowohl positive Auswirkungen auf das Verhältnis zwischen Unterrichtenden und Unterrichteten (Gruhn et al., 2012; Schneider 2012) als auch auf die Kommunikation der Schüler und Schülerinnen untereinander haben und damit die Freude am gemeinsamen Musizieren erhöhen.

Ein weiterer Aspekt betrifft die Wirksamkeit des *JeKi*-Unterrichts im Vergleich zum außerschulischen Instrumentalunterricht. Unsere Ergebnisse zeigen, dass intensives Musizieren sowohl auf neuronaler Ebene als auch auf Verhaltensebene mit einer Reihe positiver Effekte einhergeht. Allerdings wurden solche Effekte fast nur im Rahmen von intensivem privatem Training beobachtet. Dabei ist zu beachten, dass die zum Üben aufgewendete Zeit der außerschulisch musizierenden Kontrollkinder ($MI_{gesamt} = MI_{außerschulisch}: 8,3$) im Durchschnitt ca. fünfmal höher war als die Zeit, die *JeKi*-Kinder im Rahmen von *JeKi* für das Üben aufwendeten ($MI_{JeKi}: 1,5$; $MI_{außerschulisch}: 1,7$). Mit anderen Worten, die *JeKi*-Kinder übten etwa gleich viel für das schulische *JeKi*-Angebot und für weitere private Angebote, erreichten jedoch bei Weitem nicht das Niveau der von uns gezielt rekrutierten, intensiv musizierenden Kontrollkinder. Außerdem verfügte ein großer Teil dieser intensiv musizierenden Kinder auch über eine längere musikalische Praxis als die *JeKi*-Kinder.

Es überrascht daher wenig, dass für *JeKi* kaum statistisch signifikante Effekte beobachtet wurden. Im neurologischen Bereich waren die meisten entwicklungsbedingten Vorteile erst ab einem MI_{gesamt} von etwa 5 erkennbar, also bei einem Wert, der in der Regel nur von den außerschulisch musizierenden Kindern erreicht wurde. Aus unserer Sicht folgt aus dem Fehlen von *JeKi*-Effekten nicht, dass dieser Unterricht im Hinblick auf die untersuchten Leistungen unwirksam wäre. Die von uns getesteten *JeKi*-Kinder hatten erst eine geringe Erfahrung im Instrumentalspiel und der Untersuchungsabstand von 13 Monaten zwischen erstem und zweitem Messzeitpunkt war relativ kurz. Es ist sehr gut vorstellbar, dass die Teilnahme am *JeKi*-Unterricht langfristig das Interesse an Musik, die Freude am Instrumentalspiel und den Wunsch nach außerschulischem Musikunterricht fördert, sodass sich entsprechende Effekte erst später einstellen werden. Bisher stehen die Ergebnisse solcher Langzeitbeobachtungen noch aus. Zudem ist davon auszugehen, dass bei einer Intensivierung des *JeKi*-Unterrichts und des häuslichen Übens die zu erwartenden positiven Wirkungen verstärkt eintreten sollten. Allerdings sollte auch bedacht werden, dass außerschulischer und *JeKi*-bezogener Instrumentalunterricht wegen der unterschiedlichen Gruppengrößen und Unterrichtspraktiken nur eingeschränkt vergleichbar sind. Für beide Unterrichtsformen gilt, dass diese sehr verschieden ablaufen können und daher heterogene Auswirkungen zu erwarten sind. Dies zeigte sich auch deutlich in den von uns vorgegebenen Eltern- und Schülerfragebögen zur musikalischen Praxis. Daher kann aus den vorliegenden Daten der Schluss gezogen werden, dass intensives Musizieren eine Reihe positiver Wirkungen nach sich zieht, die prinzipiell auch durch das *JeKi*-Programm erreichbar sein sollten. Endgültigen Aufschluss hierzu können allerdings erst die Ergebnisse weiterer Längsschnitterhebungen geben.

Literatur

- Altenmüller, E. & Gruhn, W. (1997). *Music, the brain, and music learning*. Chicago: GIA Publ., Vol. 2.
- Becker, N. (2006). *Die neurowissenschaftliche Herausforderung der Pädagogik*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg.) (2006). *Macht Mozart schlau? Die Förderung kognitiver Kompetenzen durch Musik*. Bildungsforschung: Bd. 18. Bonn, Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Bock J. & Braun K. (2011). The impact of perinatal stress on the functional maturation of prefronto-cortical synaptic circuits: Implications for the pathophysiology of ADHD. *Progress in Brain Research*, 189, 155-169.
- Cattell, R. B., Weiß, R. H. & Osterland, J. (1997). *Grundintelligenztest Skala 1 (CFT1)* (5., revid. Aufl.). Göttingen: Hogrefe.
- Döpfner, M. & Lehmkuhl, G. (2000). *DISYPS KJ. Diagnostik-System für psychische Störungen im Kindes- und Jugendalter nach ICD10 und DSM IV* (2., korr. und erg. Aufl.). Bern, Göttingen, Toronto, Seattle: Verlag Hans Huber.
- Eggermont, J. J. & Ponton, C. W. (2002). The neurophysiology of auditory perception: from single units to evoked potentials. *Audiology and Neurotology*, 7 (2), 71-99.
- Gruhn, W., Hofmann, E. & Schneider, P. (2012). Grundtonhören und Obertonhören. Hörtypen und ihre Instrumente. *Üben und Musizieren*, 1 (12), 1-7. Mainz: Schott.
- Gruhn, W. & Rauscher, F.H. (2008). *Neurosciences in Music Pedagogy*. New York: Nova Biomedical.
- Herholz, S. C. & Zatorre, R. J. (2012). Musical Training as a Framework for Brain Plasticity: Behavior, Function, and Structure. *Neuron*, 76 (3), 486-502.
- Hulshoff Pol, H. E., Schnack, H. G., Posthuma, D., Mandl, R. C. W., Barré, w. F., van Oel, C., van Haaren, N. E., Collins, D. L., Evans, A. C., Amunts, K., Buergele, U., Zilles, K., de Geus, E., Boomsma, D. I. & Kahn R. S. (2006). Genetic contributions to human brain morphology and intelligence. *The Journal of Neuroscience*, 26 (40) 10235-10242.
- Huss, M., Verney, J.P., Fosker, T., Mead, N. & Goswami, U. (2011). Music, rhythm, rise time perception and developmental dyslexia: Perception of musical meter predicts reading and phonology. *Cortex*, 47, 674-689.
- Jäncke, L. (2009). The plastic human brain. *Restor. Restorative Neurology and Neuroscience*, 27 (5), 521-538.
- Koelsch, S., Schröger, E. & Tervaniemi, M. (1999). Superior preattentive auditory processing in musicians. *Neuroreport*, 10 (6), 1309-1313.
- Koelsch, S., Fritz T., Schulze, K., Alsop, D. & Schlaug, G. (2005). Adults and children processing music: An fMRI study. *NeuroImage*, 25, 1068-1076.
- Leonard, C. & Eckert, M. (2009). Asymmetry and dyslexia. *Developmental Neuropsychology*, 33 (6), 663-681.
- Leonard, C.M., Eckert, M., Lombardino, L., Oakland, T., Kranzler, J., Mohr, C., King, W. & Freeman, A. (2001). Anatomical risk factors for phonological dyslexia. *Cerebral Cortex*, 11 (2), 148-157.
- Lobeck, A. & Frei, M. (1987). *S-R 1-3 (Schweizer Rechentest 1.-3.)*. Göttingen: Hogrefe.
- Lobeck, A., Frei, M. & Blöchliger, R. (1990). *S-R 4-6 (Schweizer Rechentest 1.-3.)*. Göttingen: Hogrefe.
- May, P. (2002). *Hamburger Schreib-Probe 1-9* (6., aktual. und erw. Aufl.). Hamburg: Verlag für pädagogische Medien.
- Mayringer, H. & Wimmer, H. (2003). *Salzburger Les-Screening für die Klassenstufen 1-4 (SLSS 1-4)*. Bern: Hans Huber.
- Nubel, K., Starzacher, E. & Grohmann, G. (2006). *CAPT - Continuous Attention Performance Test*. Göttingen: Hogrefe.
- Paul-Jordanov, I., Bechtold, M. & Gawrilow, C. (2010). Methylphenidate and if-then plans are comparable in modulating the P300 and increasing response inhibition in children with ADHD. *ADHD*, 2, 115-126.

- Overy, K. (2003). Dyslexia and music. From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 497-505.
- Overy, K., Nicolson, R. I., Fawcett, A. J. & Clarke, E. F. (2003). Dyslexia and music: Measuring musical timing skills. *Dyslexia*, 9 (1), 18-36.
- Penhune, V. B. (2011). Sensitive periods in human development: Evidence from musical training. *Cortex*, 47 (9), 1126-1137.
- Preisler, A. (1993). The influence of spectral composition of complex tones and of musical experience on the perceptibility of virtual pitch. *Perception and Psychophysics*, 54 (5), 589-603.
- Roth, G. (2011). *Bildung braucht Persönlichkeit. Wie Lernen gelingt*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, 15 (8), 511-514.
- Schellenberg, E. G. (2006). Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology*, 98, 457-468.
- Schellenberg, E. G. & Peretz, I. (2008). Music, language, and cognition: Unresolved issues. *Trends in Cognitive Sciences*, 12, 45-46.
- Schellenberg, E. G. (2011). Music lessons, emotional intelligence, and IQ. *Music Perception*, 29, 185-194.
- Schneider, P. (2012). Neurowissenschaftliche Beiträge zur Wirkungsforschung in der Kulturellen Bildung - Neuronale Grundlagen der individuellen Klangwahrnehmung und das zerebrale Symphonieorchester. In T. Fink, B. Hill, V.-I. Reinwand & A. Wenzlik (Hrsg.), *Die Kunst, über Kulturelle Bildung zu forschen*. Kulturelle Bildung: Bd. 29 (S. 64-80). München: kopaed.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H.G., Specht, H.J., Gutschalk, A. & Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5 (7), 688-694.
- Schneider, P., Sluming, V., Roberts, N., Scherg, M., Goebel, R., Specht, H.J., Dosch, H.G., Bleeck, S., Stippich, C. & Rupp, A. (2005). Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nature Neuroscience*, 8 (9), 1241-1247.
- Schneider P., Sluming, V., Roberts, N., Bleeck, S. & Rupp, A. (2005a). Structural, functional, and perceptual differences in Heschl's gyrus and musical instrument preference. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 387-394.
- Schneider P., Andermann M., Engelmann, D., Schneider R. & Rupp A. (2006). Music in the brain – individual differences in sound perception and the cortical symphony orchestra. *Deutsche Medizinische Wochenschrift*, 131, 2859-2857.
- Schneider, P., Andermann, M., Wengenroth, M., Goebel, R., Flor, H., Rupp, A. & Diesch, E. (2009). Reduced volume of Heschl's gyrus in tinnitus. *NeuroImage*, 45, 927-939.
- Schneider, P. & Wengenroth, M. (2010). Neural basis of individual holistic and spectral sound perception. *Contemporary Music Review*, 28 (3), 315-328.
- Scherg, M. & von Cramon, D. (1986). Evoked dipole source potentials of the human auditory cortex. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 65 (5), 344-360.
- Seither-Preisler, A., Patterson, R. D., Krumbholz, K., Seither, S. & Lütkenhöner, B. (2006). Evidence of pitch processing in the N100m component of the auditory evoked field. *Hearing Research*, 213 (1-2), 88-98.
- Seither-Preisler, A., Johnson, L., Krumbholz, K., Nobbe, A., Patterson, R. D., Seither, S. & Lütkenhöner, B. (2007). Tone sequences with conflicting fundamental pitch and timbre changes are heard differently by musicians and non-musicians. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33 (3), 743-751.
- Seither-Preisler, A., Johnson, L., Seither, S. & Lütkenhöner, B. (2008). The perception of dual aspect tone sequences changes with stimulus exposure. *Brain Research Journal*, 2, 125-148.
- Seither-Preisler, A. & Seither, S. (2012). *Skalenbandbuch Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens AMseL*. Erstellt im Rahmen der JeKi-Begleitforschung, Datenpool Bremen, Universität Bremen, Institut für Musikwissenschaft und Musikpädagogik.

- Seither-Preisler, A. & Schneider, P. (2013, submitted). *Bilateral synchronization of primary auditory cortex promotes musical and attentional skills in children*.
- Sharma, A., Kraus, N., McGee, T. & Nicol, T. (1997). Developmental changes in P1 and N1 auditory responses elicited by consonant-vowel syllables. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 104 (6), 540-545.
- Sharma, A., Martin, K., Roland, P., Bauer, P., Sweeney, M. H., Gilley, P. & Dorman, M. (2005). P1 latency as a biomarker for central auditory development in children with hearing impairment. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16, 564-573.
- Spitzer, M. (2003). Medizin für die Pädagogik. *Die ZEIT*, 39. Verfügbar unter <http://www.zeit.de/2003/39/Neurodidaktik> [23.01.2014].
- Stern, E. (2005). Pedagogy Meets Neuroscience. *Science*, 310, 745.
- Tallal, P. & Gaab, N. (2006). Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in Neurosciences*, 29 (7), 382-389.
- Tantschinez, C. (2006). Welcher Hörtyp sind Sie? *Audio-Motor Presse Stuttgart*, 3.
- Terhardt, E. (1974). Pitch, consonance, and harmony. *Journal of the Acoustical Society of America*, 55, 1061-1069.
- Torrance, E. P. (1966). *Torrance Test of Creative Thinking*. Scholastic Testing Service, Bensenville, IL.
- von Helmholtz, H. L. F. (1863). *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik* (1. Aufl.) Braunschweig: Friedrich Vieweg & Sohn Verlag.
- Wagner, R. & Torgesen, J. (1987). The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin*, 101 (2), 192-212.
- Weiß, R. H. (2006). *Grundintelligenztest Skala 2 - Revision. CFT 20-R*. Göttingen: Hogrefe.
- Wengenroth, M., Blatow, M., Bendszus, M. & Schneider, P. (2010). Leftward lateralization of auditory cortex underlies holistic sound perception in Williams syndrome. *PLoS ONE*, 5 (8), e12326.
- Wengenroth, M., Blatow, M., Heinecke, A., Hofmann, E., Reinhardt, J., Stippich, C. & Schneider, P. (2013). Increased volume and function of right auditory cortex in absolute pitch. *Cerebral Cortex*, vor dem Druck online publiziert.
- Zatorre, R.J., & Belin, P. (2001). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 11 (10), 946-953.