

# *Ausgewählte Ergebnisse Forschungsperspektive Wirkung*

Lernfreude      Diagnostik  
Transfer  
Neuroplastizität



.....

.....

## *Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens bei musizierenden unauffälligen und entwicklungs- bzw. lernauffälligen Kindern*

Ergebnisse aus der Studie Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens. Reifeprozesse elementarer und komplexer Hörleistungen und auditiver Aufmerksamkeit bei JeKi-Kindern (AMseL II)



An einer Stichprobe von insgesamt 220 Kindern wurde auf Basis von neuroanatomischen, neurofunktionellen und hörakustischen Längsschnittdaten untersucht, wie sich reife- und lernbedingte musikalische Entwicklungsverläufe darstellen lassen. Die Kinder waren entweder unauffällig (Kontrollgruppe) oder zeigten Entwicklungs- und Lernauffälligkeiten (Lese-Rechtschreibschwäche, ADHS oder ADS) und musizierten entweder wenig / nicht („Nichtmusiker“) oder viel („Musiker“). Sowohl unauffällige als auch auffällige musizierende Kinder ließen auf Ebene des Gehirns und Verhaltens eine signifikant schnellere Entwicklung auditorischer Funktionen erkennen als nicht musizierende Kinder. Bei Kindern mit Legasthenie, ADHS oder ADS normalisierten sich im Zeitverlauf durch das Musizieren anormale Hemisphärenasymmetrien in der auditorischen Verarbeitung. Zudem gelang es mittels der von uns identifizierten neuroanatomischen, neurofunktionellen und hörakustischen Marker, die vier untersuchten Gruppen mit außergewöhnlichen Sensitivitäten und Spezifitäten von z.T. über 90% korrekt zu identifizieren und voneinander abzugrenzen.

### *Einleitung*

Im AMseL II-Projekt wurde untersucht, inwieweit sich auf der Basis von Längsschnittdaten, welche neuroanatomische, neurofunktionelle, hörakustische und kognitive Fähigkeiten umfassen, individuelle und gruppenspezifische Entwicklungsverläufe darstellen lassen. Von besonderem Interesse war die Frage nach dem Wechselspiel von veranlagten Faktoren, natürlichen Reifeprozessen und trainingsbedingter Expertise auf der Ebene der Wahrnehmung (Audioplastizität) und der kortikalen Informationsverarbeitung (Neuroplastizität). Es wurden Kinder untersucht, die entweder keine Entwicklungs- und Lernauffälligkeiten zeigten (Kontrollgruppe) oder eine Diagnose von LRS (Lese-Rechtschreibschwäche), ADHS (Aufmerksamkeits-Defizit-Hyperaktivitäts-Störung) oder ADS (Aufmerksamkeits-Defizit-Störung) erhalten hatten und entweder nicht („Nichtmusiker“) oder viel musizierten („Musiker“). Jene 145 Kinder, die bereits bei der AMseL I-Studie zweimal gemessen worden waren und zur Hälfte an dem JeKi-Programm in NRW oder Hamburg teilgenommen hatten, wurden in einer dritten Verlaufsmessung weiter untersucht. Zudem wurden 75 neue entwicklungs- bzw. lernauffällige Kinder mit keiner / geringer oder intensiver musikalischer Praxis rekrutiert. Mit Hilfe der Studie sollten mehrere Fragen beantwortet werden: (1) Hat intensives Musizieren einen besonderen Einfluss auf die Gehirnentwicklung, das Hörvermögen und im Sinne eines Lerntransfers auch auf außermusikalische Fähigkeiten? (2) Lassen sich generelle musizierbedingte und insbesondere auch JeKi-spezifische Wirkungen auch über das Grundschulalter hinaus feststellen? (3) Zeigt musikalisches Training besondere Wirkungen bei Lern- und Entwicklungsauffälligkeiten? (4) Falls ja, wie können entwicklungsauffällige Kinder musikalisch gefördert werden? (5) Gibt es auf Gehirnebene neuroanatomische und -funktionelle Marker für Legasthenie, ADHS und ADS mit möglicherweise diagnostischer Relevanz? Als neurologische Messverfahren wurde zum einen die Kernspintomographie (MRT) zur Erfassung der anatomischen Struktur des Gehirns und zum anderen die Magnetencephalographie (MEG) zur Messung der Gehirnströme beim Hören von Klängen eingesetzt. 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 (Schneider & Seither-Preisler 2015).

## *Ergebnisse*

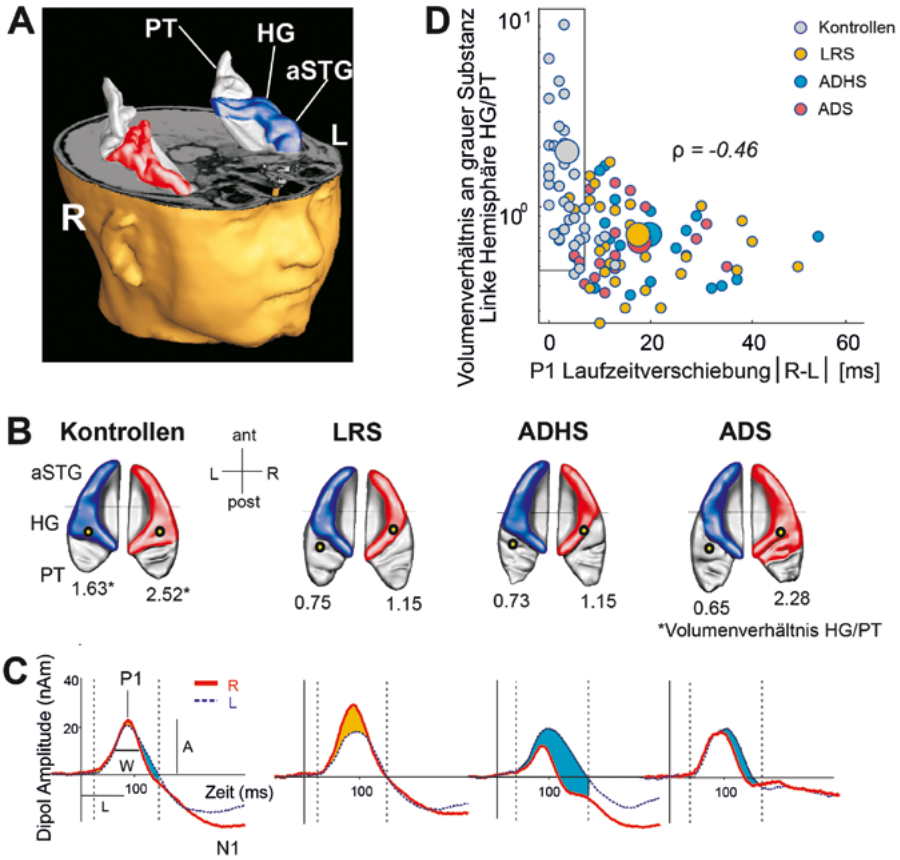
Zunächst zeigte sich, dass die im AMSEL I-Projekt nachgewiesenen neurologischen Besonderheiten der auditorischen Verarbeitung bei Kindern mit ADHS, nämlich erstens ein deutlich vergrößertes Areal des für die sekundäre auditorische Verarbeitung zuständigen Planum temporale (PT) in der linken Gehirnhälfte (Abbildung 1A) und zweitens eine charakteristische Laufzeitverschiebung von ca. 10–40 ms zwischen den primären auditorischen Antworten beider Gehirnhälften (Abbildung 1C und D), in der gleichen Form auch bei Probanden mit ADS oder LRS auftreten. Diese Merkmale erwiesen sich also als übergreifende neurologische Biomarker, welche offensichtlich allen untersuchten Probanden mit Entwicklungs- bzw. Lernauffälligkeiten gemeinsam waren. Dieser Befund korrespondiert auf Verhaltensebene mit einer verschlechterten Wahrnehmung von Sprachbedeutungsträgern (Phoneme und Silben) und einer geringeren Daueraufmerksamkeit (Seither-Preisler, Parncutt & Schneider 2014).

Die im Zentrum des Hörkortex liegenden, für die Klang- und Musikverarbeitung zuständigen ‚Heschl Gyri‘ (HG) wiesen zudem bei auffälligen Kindern auf der linken Seite ein geringeres Volumen an grauer Substanz und somit ein deutlich kleineres Verhältnis zwischen HG und PT auf als bei Kontrollkindern. Während bei der Kontrollgruppe die mittels MEG gemessene primäre auditorisch evozierte Antwort (P1) wie zu erwarten im rechten und linken HG lokalisiert wurde, zeigten alle entwicklungsuffälligen Kinder linksseitig in die sekundären auditorischen Assoziationsareale verschobene Quellen. Diese sind in Abbildung 1B als gelbe Kreise auf den gemittelten Oberflächen der Hörkortizes eingezeichnet. Dies kann als Hinweis auf eine atypische Informationsverarbeitung in diesen Gehirnarealen interpretiert werden.

Musizierende Kinder zeigten in allen untersuchten Gruppen gegenläufige neuroanatomische und -funktionelle Eigenschaften, nämlich besonders große Heschl Gyri und besonders geringe Laufzeitverschiebungen, d.h. eine sehr gute Synchronisation zwischen dem rechten und linken Hörkortex. Daher kann angenommen werden, dass sich Musizieren bei entwicklungsuffälligen Kindern generell positiv auswirkt.

Darüber hinaus kristallisierten sich zusätzliche neuroanatomische und -funktionelle Merkmale im rechten Hörkortex sowie hörakustische Eigenschaften heraus, welche sich als spezifisch für ADHS, ADS und Legasthenie erwiesen (Abbildung 1 C):

In der rechten Gehirnhälfte hatten nur Kinder mit LRS und ADHS vergrößerte PTs, ADS-Kinder hingegen keine anatomischen Auffälligkeiten.



**Abb. 1:** Strukturelle und funktionelle audiotische Neuromarker für LRS, ADHS und ADS. A, Dreidimensionale Oberflächenrekonstruktion eines individuellen Hörkortex. Der Heschl Gyrus (HG) einschließlich Duplikaturen und der vorne anschließende anteriore supratemporale Gyrus (aSTG) sind in der linken Hemisphäre (LH) in blau und in der rechten Hemisphäre (RH) in rot dargestellt. Das dahinter liegende, für sekundäre audiotische und sprachliche Verarbeitung zuständigen Planum temporale (PT) ist in grau gekennzeichnet. B, Aufblick auf die für die jeweiligen Gruppen gemittelten Oberflächen der Hörkortizes (L: links; R: rechts, ant: anterior; post: posterior). Das Volumenverhältnis der grauen Substanz zwischen HG und PT ist als Zahlenwert angegeben. C, Gemittelter Verlauf der primären audiotisch evozierten Felder beim Hören von Klängen verschiedener Musikinstrumente und harmonisch komplexer Töne in der rechten (rote Kurve) und linken (blaue Kurve) Hemisphäre; D, Korrelation zwischen relevanten anatomisch-strukturellen (linkes HG / PT Volumenverhältnis) und funktionellen (rechts / links-hemisphärische Laufzeitverschiebung) Merkmalen, welche zusammengenommen eine fast perfekte Trennung zwischen unauffälligen (graue Kreise) und auffälligen Kindern (farbige Kreise) ermöglichen. Gruppenmittelwerte sind als große Symbole abgebildet.

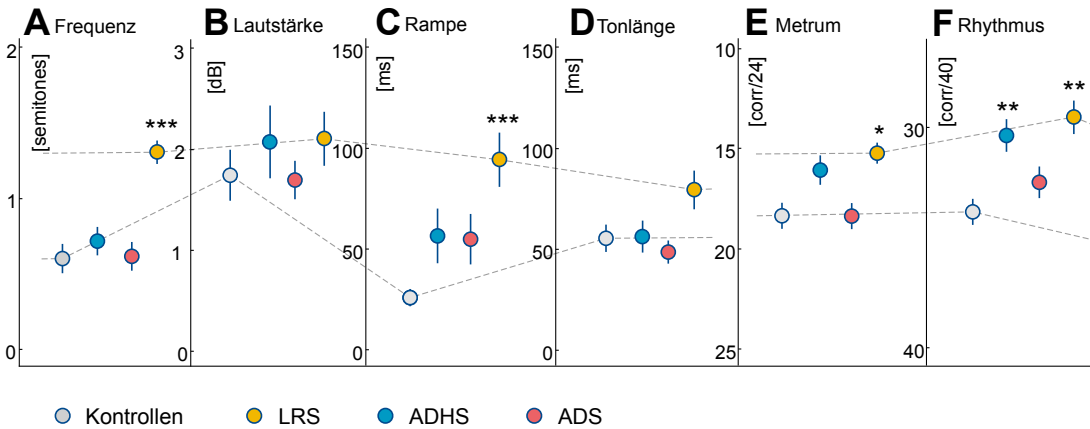
aus: Serrallach et al. 2016

Insgesamt ließen sich folgende drei wesentliche, für die Praxis relevante Ergebnisse des AMseL II-Projekts ableiten:

### **Diagnostische Relevanz**

Eine wesentliche Chance, die sich aus den neuen Forschungsergebnissen ergibt, liegt in einer objektiven gehirnbasierten (Früh-)Diagnostik von Lern- und Entwicklungsauffälligkeiten. Mittels der von uns gefundenen neuroanatomischen, neurofunktionellen und hörakustischen Marker gelang es mittlerweile, die vier untersuchten Gruppen (Unauffällig, Legasthenie, ADHS, ADS) mit einer außergewöhnlichen Sensitivität und Spezifität von z.T. über 90 % korrekt zu identifizieren und voneinander abzugrenzen. Auf Wahrnehmungsebene zeigten sich entsprechende Unterschiede sowohl im Bereich der elementaren als auch der komplexen Hörverarbeitung: Probanden mit Lese-Rechtschreibschwäche waren sowohl durch elementare Defizite (Frequenz-, Tonlängen und Tonrampenunterscheidung) als auch durch Schwierigkeiten bei komplexeren Aufgaben (Melodie- und Rhythmusunterscheidung, Grundton- bzw. Klangfarbenerkennung) charakterisiert, welche sich auch auf die sprachliche Ebene (Wahrnehmung von Phonemen, Vokalen, Silben) auswirkte. Probanden mit ADHS zeigten ausschließlich Schwierigkeiten bei der komplexen Hörverarbeitung und Kinder mit ADS wiesen keinerlei auditive Auffälligkeiten auf (Abbildung 2).

### Elementare Klangverarbeitung



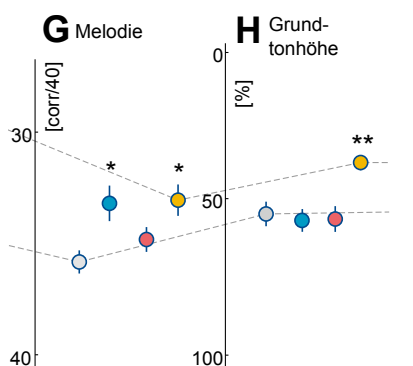
#### Positive Effekte des Musizierens

Die Längsschnittauswertungen der im AMseL II-Projekt durchgeführten 3. Verlaufsmessung mit Kindern, die bereits im Rahmen des AMseL I-Projekts untersucht worden waren, zeigen neben den in der AMseL I-Studie genannten positiven Auswirkungen des Musizierens (Seither-Preisler, Parncutt und Schneider 2014; Schneider & Seither-Preisler 2015) weitere wichtige musizierbedingte Effekte:

Sowohl unauffällige als auch auffällige musizierende Kinder ließen nicht nur im Grundschulalter, sondern auch darüber hinaus, eine signifikant schnellere Entwicklung auditorischer Funktionen erkennen. Konkret zeigte sich über die Zeit entsprechend dem natürlichen Entwicklungsverlauf eine zunehmend effizientere (d. h. schnellere) auditorische Informationsverarbeitung, welche bei musizierenden Kindern deutlicher ausgeprägt war als bei nicht musizierenden Kindern. Zudem kam es über die Zeit zu einer verstärkten Synchronisation links- und rechtshemisphärischer Funktionen, also einer zunehmend besseren Zusammenarbeit beider Gehirnhälften, wobei dieses Muster bei musizierenden Kindern ebenfalls deutlicher ausgeprägt war als bei nicht musizierenden Kindern.

Die mittels MEG gemessenen Laufzeitverschiebungen zwischen der rechten und linken Gehirnhälfte nahmen im Verlauf der mehrjährigen Erhebungen sowohl bei unauffälligen Kindern als auch bei den Kindern mit ADHS, ADS und LRS deutlich

## Komplexe auditorische Mustererkennung



**Abb. 2:** Hör- und Klangwahrnehmungsfähigkeiten. Im Vergleich zu unauffälligen Kontrollkindern zeigten Kinder mit LRS signifikant verschlechterte Werte bei den mit dem DINO-Test (Sutcliffe & Bishop 2005; Huss et al. 2011) erhobenen elementaren Hörleistungen (Unterschiedsschwellen für Frequenzen, Tonlängen und Tonrampen) und den mit dem Metric-Test (Sutcliffe & Bishop 2005; Huss et al. 2011) und IMMA-Test (Gordon 1986) erfassten komplexeren Hörleistungen (Unterscheidung von Metren, Rhythmen und Melodien). Des Weiteren zeigten die Ergebnisse von Tests zur Grundton- und Obertonwahrnehmung (Auditory Ambiguity Tests / AAT; Seither-Preisler et al. 2007; Pitch Perception Preference Test / PPPT; Schneider et al. 2005), dass die Klangwahrnehmung bei LRS-Kindern deutlich zugunsten der spektralen bzw. klangfarbenbezogenen Wahrnehmung verschoben war. Demgegenüber waren Kinder mit ADHS nur durch verschlechterte Werte in der komplexen Hörverarbeitung (Rhythmus- und Melodieunterscheidung) charakterisiert. Kinder mit ADS zeigten in allen Bereichen normale Leistungen.

aus: Serrallach et al. 2016

ab. Konkret wurden ab einem kumulativen Index der musikalischen Praxis ( $I_{MP}$ ; Übeaufwand in Wochenstunden \* Jahre) von 5 (also z. B. fünf Std / Woche in einem Jahr oder eine Std / Woche über fünf Jahre) deutliche positive Veränderungen beobachtet. Es bestehen hochsignifikante Korrelationen zwischen  $I_{MP}$  und dem Grad der über die Zeit zunehmenden Synchronisation beider Gehirnhemisphären, und zwar sowohl für die Gruppe entwicklungs- und lernauffälliger Kinder (Spearman's  $p = 0.58, p = 0.0004$ ; Abbildung 3 oben) als auch für die Kontrollgruppe (Spearman's  $p = 0.27, p = 0.009$ ; Abbildung 3 unten). Auch dies ist als Hinweis auf eine beschleunigte Gehirnentwicklung durch intensives Musizieren zu werten. Bei lern- und entwicklungsauffälligen Kindern hat – bedingt durch eine höhere anfängliche Dysbalance in der links- und rechtshemisphärischen Aktivierung – musikalisches Training einen besonders positiven Einfluss auf die Gehirnentwicklung. Dies unterstreicht die hohe Bedeutung früher musikpädagogischer und –therapeutischer Interventionen für Kinder mit Legasthenie, ADHS und ADS. Das Ergebnis legt nahe, dass über die musikalische Domäne hinausgehende hemisphärenspezifische Funktionen (links: detailbezogenes, linear-logisches Denken, rechts: ganzheitliches künstlerisch-kreatives Erleben) zunehmend miteinander vernetzt werden, was deutliche Vorteile bei der integrativen Informationsverarbeitung bieten sollte.



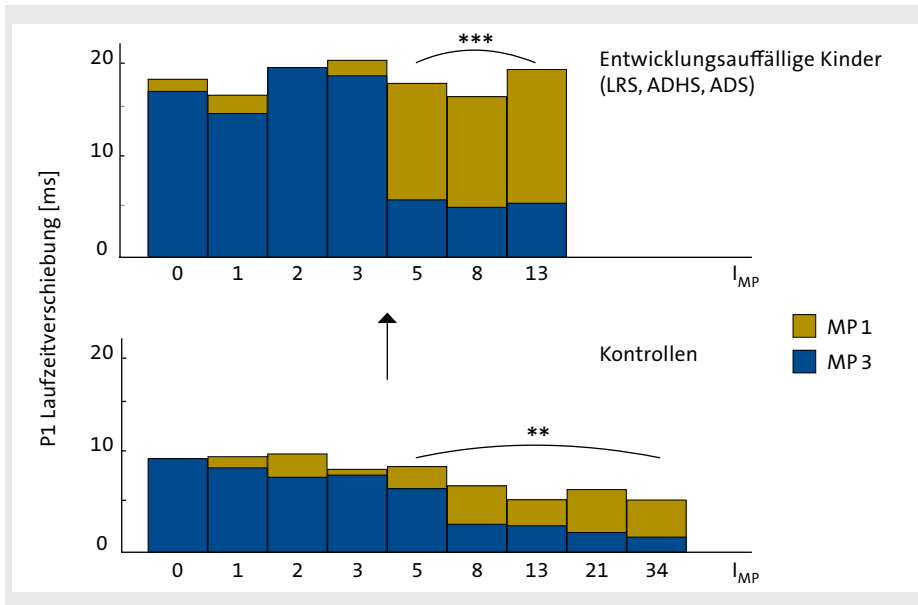


Abb. 3: Längsschnittergebnisse zur Entwicklung der interhemisphärischen P1-Laufzeitverschiebung vom ersten (MP1; Alter: 8–9 Jahre; helle Balken) bis zum dritten Messzeitpunkt (MP3; Alter ca. 12 Jahre; dunkle Balken) in Abhängigkeit vom musikalischen Übeverhalten (I<sub>MP</sub>: Index musikalischer Praxis).

### Neurokognitives Modell des musikalischen Lernens

Die Ergebnisse der AMsel II-Studie bestätigen und erweitern das im Rahmen der AMsel I-Studie aufgestellte neurokognitive Entwicklungsmodell des musikalischen Lernens und dessen Bedeutung für die Praxis (Seither-Preisler, Parncutt und Schneider 2014). Unsere Forschungsergebnisse belegen, dass es im Gehirn zuverlässige neuroanatomische Marker für musikalische Begabung gibt (makroskopisch ermittelte Größe und Form bestimmter Areale des Hörkortex), welche ihrerseits Einfluss auf das musikalische Lernverhalten nehmen. Solche morphologischen Merkmale, die auch bzgl. sprachlicher Fähigkeiten beschrieben wurden (Golestani et al. 2007, 2011; Zatorre 2013) liegen bereits vor dem Beginn des formalen Unterrichts vor. Aufgrund von Regressionsanalysen der Verlaufsdaten hat sich weiter bestätigt, dass die musikalische Übemotivation primär eine Funktion solcher neuroanatomischer Dispositionen ist, welche sich über den bisher beobachteten Entwicklungsverlauf (Grundschulalter bis zum Beginn der Pubertät) als äußerst stabil erwiesen haben. Aufgrund dieser Berechnungen konnte die Eigenmotivation zu musizieren (häusliche Übeintensität) etwa zu 60% durch neuroanatomisch vorgegebene Faktoren und zu 40% durch das mittels Fragebögen erhobene soziale Milieu ((a)

Bildungsmilieu; (b) Ressourcen (sozioökonomischer Hintergrund, Freizeitangebot, Eigentum des Kindes)) vorhergesagt werden, was gut mit aktuellen genetischen Schätzungen zum Einfluss veranlagter Komponenten auf die musikalische Übmotivation übereinstimmt (Butkovic et al. 2015; Hambrick et al. 2015). Anders als in bisherigen Begabungsmodellen (z. B. Gagné 2009; Heller & Hany 1996) wird in unserem neurokognitiven Modell die Motivation, welche die Intensität zielgerichteten Übens bestimmt, nicht als allgemeines Persönlichkeitsmerkmal, sondern domänenspezifisch betrachtet, da sie selbst von der zugrunde liegenden Begabung in einem bestimmten Bereich abhängt (vgl. Winner 1996; Gembris 2013; McPherson 2015).

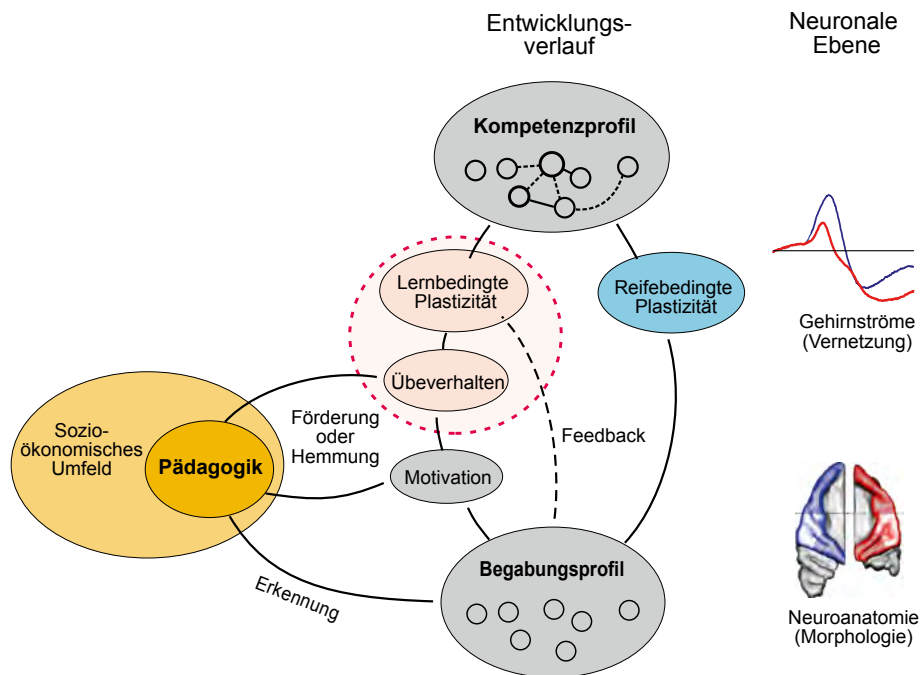


Abb. 4: Neurokognitives Entwicklungsmodell des musikalischen Lernens aus: Seither-Preisler et al. 2014

### Fazit

Die funktionellen MEG-Messungen, mit welchen die Gehirnaktivierung beim Hören musikalischer Klänge erfasst wurde, zeigten eine reife- und trainingsbedingte Entwicklung der gemessenen auditorisch evozierten Felder. Dabei war erkennbar, dass zielgerichtetes Üben im Gehirn neuroplastische Vorgänge in Gang setzt und natürliche, dem Lebensalter entsprechende Reifeprozesse beschleunigt. Die vorliegenden Ergebnisse legen insgesamt nahe, dass sich der Lernerfolg und das Ausmaß an Neuroplastizität direkt proportional zum veranlagten Potenzial verhalten. Als Konsequenz sollte es nicht so sehr darauf ankommen, alle Kinder bzw. Jugendlichen in gleicher Weise möglichst früh und intensiv zu trainieren, sondern eher darauf, das individuelle Begabungsprofil (musikalisch, bildnerisch, sprachlich etc.) zu erkennen und gezielt zu fördern. Dies stützt die bisherige Arbeitshypothese, dass es aus pädagogischer Sicht ratsam ist, im Unterricht bei Schülern dort anzusetzen, wo individuell die stärksten Begabungen erkennbar sind und davon auszugehen, dass defizitäre Bereiche (z. B. ADHS, ADS oder LRS) von dieser Förderung mit profitieren (Abbildung 4).

### Literatur

- Butkovic, A., Ullén, F. & Mosing, M. (2015). Personality related traits as predictors of music practice: underlying environmental and genetic influences. *Personality and Individual Differences*, 74, 133–138.
- Gagné, F. (2009). Building gifts into talents: Detailed overview of the DMGT 2.0.  
In B. MacFarlane & T. Stambaugh (Hrsg.), *Leading change in gifted education. The Festschrift of Dr. Joyce VanTassel-Baska*. Waco, TX: Prufrock Press.
- Gembris, H. (2013). *Grundlagen musikalischer Begabung und Entwicklung* (4., unveränd. Aufl.). Augsburg: Wißner (Reihe Wißner-Lehrbuch, Bd. 1).
- Golestani, N., Molko, N., Dehaene, S., LeBihan, D. & Pallier, C. (2007). Brain structure predicts the learning of foreign speech sounds. *Cerebral Cortex*, 17 (3), 575–582.
- Golestani, N., Price, C. J., & Scott, S. K. (2011). Born with an ear for dialects? Structural plasticity in the expert phonetician brain. *The Journal of Neuroscience*, 31 (11), 4213–4220.
- Gordon, E. (1986). *Intermediate Measures of Music Audiation*. GIA Publications.
- Hambrick, D. Z., & Tucker-Drob, E. M. (2015). The genetics of music accomplishment: Evidence for gene–environment correlation and interaction. *Psychonomic Bulletin & Review*, 22 (1), 112–120.

- Heller, K.A. & Hany, E.A. (1996). Psychologische Modelle der Hochbegabtenförderung.  
In F. Weinert (Hrsg.), *Psychologie des Lernens und der Instruktion* (Bd. 2, S. 477–513). Göttingen: Hogrefe.
- 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.
- McPherson, G. E., & Williamon, A. (2015). Building gifts into musical talents. In G. McPherson (Hrsg.), *The child as musician: A handbook of musical development* (S. 340–360). Oxford University Press.
- 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., Parncutt, R & Schneider, P. (2014). Size and synchronization of auditory cortex promotes musical, literacy and attentional skills in children. *The Journal of Neuroscience*, 34(33), 10937–10949.
- Seither-Preisler, A. & Schneider, P. (2015). Neurokognitive Aspekte musikalischer Begabung.  
In Gruhn & A. Seither-Preisler (Hrsg.), *Der musikalische Mensch* (S. 329–356). Hildesheim: Olms-Verlag.
- Seither-Preisler A. & Schneider, P. (2015). Positive Effekte des Musizierens auf Wahrnehmung und Kognition aus neurowissenschaftlicher Perspektive. In G. Bernatzky & G. Kreutz (Hrsg.), *Musik in der Medizin* (S. 375–394). Wien: Springer-Verlag.
- Schneider, P., Sluming, V., Roberts, N., Scherg, M., Goebel, R., Specht, H. J., et al. (2005). Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nat Neurosci*, 8(9), 1241–1247.
- Schneider, P. & Seither-Preisler, A. (2015). Neurokognitive Korrelate von JeKi-bezogenen und außerschulischem Musizieren.  
In U. Kranefeld (Hrsg.), *Instrumentalunterricht in der Grundschule: Prozess- und Wirkungsanalyse zum Programm Jedem Kind ein Instrument*. Bildungsforschung: Bd. 41 (S. 19–39) Berlin: BMBF.
- Serrallach, B., Groß, T., Bernhofs, V., Engelmann, D., Benner, J., Gündert, N., Blatow, M., Wengenroth, M., Seitz, A., Brunner, M., Seither, S., Parncutt, R., Seither-Preisler, A. & Schneider, P. (2016, in Begutachtung). *Neural biomarkers for dyslexia, ADHD and ADD in the auditory cortex of children*.

- Sutcliffe P. & Bishop, D (2005). Psychophysical design influences frequency discrimination performance in young children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 91 (3), 249–270.
- Winner, E. (1996). The rage to master: The decisive role of talents in the visual arts.  
In K. A. Ericsson (Hrsg.), *The road to excellence. The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games* (S. 271–301). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Zatorre, R. J. (2013). Predispositions and plasticity in music and speech learning: neural correlates and implications. *Science*, 342 (6158), 585–589.

