



Der musikalische Mensch

Evolution,
Biologie und
Pädagogik
musikalischer
Begabung

Herausgegeben von
Wilfried Gruhn und
Annemarie Seither-Preisler

OLMS

11 Neurokognitive Aspekte musikalischer Begabung

Annemarie Seither-Preisler, Peter Schneider

Der folgende Beitrag behandelt im ersten Teil die biologischen Grundlagen musikalischer und kognitiver Kompetenzen und die Frage, wie sich diese im Gehirn abbilden. Im zweiten Teil werden aktuelle Ergebnisse unserer Längsschnittstudie *Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens (AMseL)*¹ vorgestellt. Im Mittelpunkt steht dabei das Zusammenwirken von musikalischer Begabung, entwicklungsbedingter Reifung und trainingsbedingter Plastizität von relevanten Gehirnstrukturen und -funktionen bei Kindern. Im dritten Teil werden die theoretischen und praktischen Implikationen der Forschungsergebnisse der AMseL-Studie diskutiert. Insbesondere wird das Verhältnis von veranlagter Begabung und trainingsinduzierter Expertise neu bewertet und darauf aufbauend im letzten Abschnitt ein neurokognitives Begabungs- und Kompetenzmodell des musikalischen Lernens vorgestellt. Das Modell integriert Ansätze der Begabungs- und Expertiseforschung (vgl. Kap. 3) und setzt diese zum aktuellen Stand der Neurowissenschaften in Beziehung.

1. Biologische Grundlagen musikalischer und kognitiver Kompetenzen: auditive Wahrnehmung, Mustererkennung und ästhetische Kompetenz

Die Gestaltpsychologie hat eindrücklich gezeigt, dass jegliche Wahrnehmung mit dem Auffinden und Interpretieren von Mustern und Regelmäßigkeiten verbunden ist. Dies ist sowohl im visuellen (Palmer, 1999) als auch im auditiven Bereich (Bregman & Mc Adams, 1994) der Fall. Wir sehen im Alltag nicht nur einzelne Linien und Flächen, sondern vor allem die daraus resultierenden Objekte, etwa ein Haus oder einen Eisenbahnwaggon. Auch hören wir nicht nur einzelne Frequenzen, sondern nehmen Klänge, Sprache und Musik als Ganzes wahr. Unter schlechten Übertragungsbedingungen, bei denen Teile einer Szene nicht sichtbar sind oder akustische Signale von Lärm verdeckt werden, nehmen wir Informationen dennoch erstaunlich präzise wahr und vervollständigen das Gesehene oder Gehörte, ohne dass uns dies bewusst würde. Unsere Sinnesorgane und sensorischen Gehirnareale sind permanent darauf ausgerichtet, aus der Fülle von verfügbaren Signalen relevante Muster herauszufiltern und Störungen so gut wie möglich auszublenden. Wahrnehmen bedeutet also nicht, wie es zunächst den Anschein haben mag, die Umwelt einfach nur

passiv abzubilden. Vielmehr wird im Rahmen von Bewertungs- und Selektionsprozessen aktiv Information generiert, welche für die Orientierung in der Umwelt wichtig und manchmal überlebensnotwendig ist. Dieser Prozess läuft vorbewusst ab und wird vom Gehirn quasi im Hintergrund geleistet.

Auch bei der auditiven Wahrnehmung und der Musikwahrnehmung im Besonderen geht es um Mustererkennung. Dieser Prozess beginnt bereits auf der elementaren Ebene der Tonhöhen-, Klangfarben- und Rhythmuswahrnehmung und setzt sich dann auf höheren Komplexitätsebenen der Sprach- und Musikwahrnehmung fort. Dies soll zunächst anhand von ein paar Beispielen veranschaulicht werden.

Wir konnten in neurowissenschaftlichen Untersuchungen zeigen, dass die subjektive Wahrnehmung von Tonhöhen auf der zeitlich-harmonischen Voranalyse akustischer Regelmäßigkeiten beruht, welche vom Hörsystems weitgehend automatisch geleistet wird (Seither-Preisler et. al., 2003; 2006a; 2006b). Zunächst wird im Innenohr die Periodizität des Schalls in periodische Nervenimpulssalven umgewandelt. Diese werden über den Hörnerv an eine Reihe von Hörkernen weitergeleitet und dort vorverarbeitet, bevor sie das Gehirn erreichen. Dort werden komplexere akustische Merkmale analysiert und weitere Informationen integriert, bis schließlich das bewusste Hörerleben einsetzt. Je nach Ergebnis der vorbewussten Analyse reagiert der Hörkortex unterschiedlich stark auf ein Schallereignis. Lässt sich aufgrund von zeitlichen Regelmäßigkeiten in den Nervenimpulsfolgen eine dominante Tonhöhe identifizieren, so fällt die kortikale Antwort deutlich stärker aus als wenn es sich um akustisch vergleichbares, aber informationsloses Rauschen handelt. Zudem erhöht sich die Amplitude der im Hörkortex ausgelösten Antwort direkt proportional mit dem Ausmaß an akustischer bzw. neuronaler Regelmäßigkeit (Krumbholz et al., 2003). Dies zeigt, dass unser Gehirn stärker auf bedeutungshaltige Information als auf Zufallsereignisse reagiert.

In weiteren Studien untersuchten wir die für den sprachlichen und musikalischen Bereich wichtigen Fähigkeiten der Grund- und Obertonwahrnehmung. Zunächst soll kurz auf die historischen Anfänge zur Erforschung dieser Hörleistungen eingegangen werden. Der Physiologe und Physiker Hermann von Helmholtz wies in seinem 1863 in Heidelberg verfassten Buch »Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik« (von Helmholtz, 1954) erstmalig auf den konstruktiven Charakter und 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.

Inzwischen ist weit mehr über die Physiologie des Hörsystems bekannt als zu der Zeit, als von Helmholtz forschte. Heute lässt sich aus Simulationen schließen, dass beim Hören harmonischer Klänge Tonhöhe und Klangfarbe neuronal auf unterschiedlichen Wegen verarbeitet werden. Die Wahrnehmung von Tonhöhe und insbesondere eines Grundtons beruht weitgehend auf zeitlichen Aspekten, welche

der Wiederholrate (Periodizität) der Schallwelle entsprechen, während die Wahrnehmung der Klangfarbe mit der Struktur des Obertonspektrums zusammenhängt (Seither-Preisler et al., 2006a). Der kanadische Neurowissenschaftler Robert Zatorre untersuchte die unterschiedliche Verarbeitung zeitlicher und spektraler Aspekte der Klangwahrnehmung im Gehirn. Er konnte zeigen, dass sich zeitliche Merkmale, wie Tonlänge und Rhythmus, vorwiegend in der linken Hemisphäre abbilden, während spektrale Merkmale, wie Klangfarbe und Melodiekontur, primär in der rechten Hemisphäre verarbeitet werden (Zatorre & Belin, 2001). Daher liegt es nahe, die Hypothese aufzustellen, dass das »Grundtonhören« eine Eigenschaft des linken und das »Obertonhören« eine Eigenschaft des rechten Hörkortex sein sollte. Diese Hypothese bestätigte sich später in unseren Untersuchungen (Schneider et al., 2005).

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

Die beiden Autoren dieses Betrages entwickelten jeweils einen eigenen Hörtest zur Erfassung der individuellen Ausprägung des Grund- und Obertonhörens. Sowohl beim *Pitch-Test* (Schneider et al., 2005) als auch beim *Auditory Ambiguity Test* (Seither-Preisler et al., 2007) 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 individueller Hörweise werden die Klangfolgen als fallend, steigend oder ambivalent gehört. Die beiden Verfahren unterscheiden sich allerdings hinsichtlich ihrer akustischen Reizeigenschaften und der Testinstruktionen. Der *Pitch-Test* erfasst die relative Dominanz des Oberton- und Grundtonhörens in verschiedenen Frequenzbereichen als individuelles Hörprofil. Der *Auditory Ambiguity Test* misst hingegen eher die prinzipielle Fähigkeit zur Fokussierung auf einen Grundton, also die Stärke der auditiven Gestaltbildung. Letztere spielt sowohl für die Sprachwahrnehmung als auch für musikalische Fähigkeiten eine wichtige Rolle. In der Sprache bildet sich über den Grundtonverlauf die Sprachmelodie ab, welche auch Rückschlüsse auf die Emotionen des Sprechers zulässt. In der Musik ermöglicht die Fähigkeit das Erkennen von eindeutigen Tonhöhen trotz unterschiedlicher Klangfarbe. Dies ist wiederum die Basis für das Erkennen von Akkorden, Tonarten und Melodieverläufen. Zudem bildet die Fähigkeit die Grundlage für das Sinnerkennen in polyphonen musikalischen Strukturen.

Peter Schneider (Schneider et al., 2005) konnte mit Hilfe des *Pitch-Tests* für erwachsene Profimusiker nachweisen, dass Personen, die stark grundtonhörend

(schwach obertonhörend) sind, im Gehirn eine linksseitige Dominanz aufweisen. Bei stark obertonhörenden (schwach grundtonhörenden) Personen verhält es sich genau umgekehrt. Insbesondere zeigte die für das Hören außerordentlich wichtige Heschlsche Querwindung im Zentrum des auditorischen Kortex ein asymmetrisches Volumen und eine entsprechend asymmetrische Aktivierung. Weitere Untersuchungen ergaben, dass 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 (Schneider, 2005; Gruhn et al., 2012). Diese Merkmale stehen auch im Zusammenhang mit dem bevorzugten Musikstil, wobei Rockmusiker in der Regel Grundtonhörer, Opernliebhaber dagegen Obertonhörer sind (Tantschinez, 2006).

Mit Hilfe des *Auditory Ambiguity Test*, welcher misst, wie gut jemand in der Lage ist, die Aufmerksamkeit auf den fehlenden Grundton zu lenken, konnte gezeigt werden, dass erwachsene Profimusiker deutlich besser zu dieser Mustererkennungsleistung in der Lage sind als Amateure und Nichtmusiker (Seither-Preisler et al., 2007). Eine spätere Untersuchung zeigte, dass diese Fähigkeit über mehrere Wochen hinweg gut trainiert werden kann, wobei das Gehör implizit lernt, dieses redundante Merkmal zunehmend zu beachten (Seither-Preisler et al., 2008). Die Überlegenheit der Musiker beim Grundtonhören bedeutet jedoch nicht, dass sie deswegen zum Obertonhören weniger gut in der Lage wären. Das Gegenteil ist der Fall, wie eine weitere Studie zeigte. In einer Stichprobe von 1203 Musikern (Profimusiker, Musikstudierende und geübte Amateurmusiker) und 170 Nichtmusikern, die mit dem *Pitch-Test* untersucht wurden, zeigte sich nämlich, dass die Musiker im mittleren Frequenzbereich (ca. 300 – 1500 Hz) auch die Obertonspektren signifikant besser wahrnehmen konnten als Nichtmusiker (Gruhn et al., 2012, Schneider & Wengenroth 2009). Dies ist jener Hörbereich, welcher die Hauptformanten vieler Instrumentalklänge abbildet. Bei hohen Frequenzen ergaben sich hingegen im Mittel keine Unterschiede zwischen den Gruppen. Ein gewisser Anteil der Hörerinnen und Hörer nahm im gesamten Testbereich ausschließlich Obertöne oder Grundtöne wahr. Manche Personen waren im tiefen Frequenzbereich Grundtonhörer und im hohen Frequenzbereich Obertonhörer, andere genau umgekehrt, sodass sich je nach Hörtyp völlig unterschiedliche Klangwahrnehmungsprofile ergaben. Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse der beiden einander ergänzenden Hörtests, dass die meisten Musiker offenbar sowohl besser zum Grund- als auch zum Obertonhören in der Lage sind als ungeübte Personen und ihre Fähigkeiten je nach Aufgabenstellung und Hörsituation gezielt einsetzen.

In einer weiteren Studie untersuchte eine unserer Doktorandinnen (Wilfling, 2011), wie sich die Fähigkeit zur Grundtonfokussierung im Gehirn abbildet. Zunächst wurden Personen gesucht, welche die fehlenden Grundtöne harmonischer Klänge besonders deutlich oder besonders schwer wahrnehmen können. Mit Hilfe des *Auditory*

Ambiguity Test wurden 21 starke Fokussierer (größtenteils Profimusiker) und 14 schwache Fokussierer (größtenteils Amateurmusiker und Nichtmusiker) identifiziert. In einem nächsten Schritt wurden diesen Personen harmonische Klänge präsentiert und dabei die Gehirnwellen abgeleitet. Dabei zeigten sich markante Unterschiede zwischen den beiden Gruppen. Bei den starken Fokussierern wiesen die Gehirnwellen während der Präsentation der harmonischen Klangspektren eine deutliche Synchronisation im hochfrequenten Bereich auf (Gammaband von 30 Hz und höher). Man nimmt heute an, dass solche Oszillationen das neurophysiologische Korrelat von bewusster Mustererkennung und Gestaltbildung (*neural binding*) sind. Außerdem spielen sie eine wichtige Rolle bei Aufmerksamkeitsprozessen und dem Abruf von Gedächtnisinhalten (Herrmann, Fründ & Lenz, 2010). Mittlerweile ist bekannt, dass durch die hochfrequente Synchronisation räumlich getrennte Verarbeitungszentren, die gemeinsam Information verarbeiten, zusammengeschaltet werden. Diese können sich auch in weit auseinander liegenden Hirngebieten befinden. Wir nehmen daher an, dass es bei den Personen, die besonders gut zur Fokussierung auf den Grundton in der Lage waren, zu einer Integration der einzelnen Reizmerkmale (Obertöne) zu einem Gesamteindruck (gemeinsame Grundtonhöhe) kam und dies mit einer »orchestrierten« gemeinsamen Reaktion der beteiligten Nervenzellverbände einherging. Bei der anderen Gruppe kam es hingegen zum umgekehrten Phänomen, also einer leichten Desynchronisation. Vermutlich waren hier die Neuronenverbände, die durch die einzelnen Obertöne angeregt wurden, nicht in der Lage, den »gemeinsamen Nenner« des Gehörten zu finden und reagierten daher auch nicht »im Gleichklang«.

In Übereinstimmung mit unseren Untersuchungsergebnissen zeigten Park und Mitarbeiter im selben Jahr, dass es beim Hören konsonanter Akkorde zu einer höheren Gammaband-Synchronisation kommt als beim Hören dissonanter Akkorde (Park et al., 2011). Dies entspricht der Erfahrung, dass sich Konsonanz subjektiv auch als Klangverschmelzung beschreiben lässt, während dissonante Akkorde stärker in ihre Einzelanteile zu zerfallen scheinen. Vergleichbares passiert, wenn Personen uneindeutige Bilder mit angedeuteten Punkt- oder Strichmustern präsentiert bekommen und darin plötzlich eine zusammenhängende Figur erkennen. Auch hier kommt es zum Zeitpunkt des Aha-Erlebnisses in den für das Sehen zuständigen Gehirnbereichen zu einer hochfrequenten synchronen Aktivierung im Gammabandbereich (Tallon-Baudry et al., 1998).

Besonders interessant ist, dass Musiker beim passiven Hören von Klängen (Trainor et al., 2009) und von Musikstücken (Bhattacharya & Petsche, 2001a,b) im Gehirn eine stärkere Synchronisation im Gammaband aufweisen als Nichtmusiker. Sie scheinen also den »Sinn« des Gehörten stärker zu erfassen. In den genannten Studien war die Aktivierung bei Musikern zudem weiträumiger und umfasste Teile des Schläfenlappens (Hören), des Scheitellappens (Raumvorstellung und Integration anderer Sinnesmodalitäten) und frontale Hirngebiete (Aufmerksamkeit und Beurteilung). Auch beim mentalen Rotieren von dreidimensionalen Objekten zeigten Musiker in dem

für die Musikverarbeitung relevanten Netzwerk eine stärkere Gamma-Synchronisation (Bhattacharya et al., 2001). Eine Studie von Sluming und Kollegen (Sluming et al., 2007) ergab zudem, dass Profimusiker bei mentalen Rotationsaufgaben deutlich besser abschnitten, wobei die Leistungen mit der Dauer der musikalischen Praxis korrelierten. Bei den Musikern waren nicht nur die für die Aufgabe typischen Gehirnbereiche (Scheitellappen und oberer Teil des Stirnhirns) besonders stark durchblutet, sondern zusätzlich auch das im unteren Teil des Stirnhirns gelegene Broca-Areal, welches für die Kontrolle von Sprachfunktionen (Sprechen, Grammatik, Betonungsmuster) und die Vorbereitung von Bewegungen zuständig ist. Dies legt nahe, dass Musiker nicht nur beim Hören, sondern auch beim Lösen anderer Aufgaben weiträumigere kortikale Netzwerke aktivieren als Nichtmusiker, was die teilweise berichteten Transfereffekte in räumliche und sprachliche Leistungsbereiche erklären könnte (Rittelmeyer, 2012). Musiker zeigen, wahrscheinlich als Folge eines frühen und intensiven Trainings, bereits beim passiven Hören verstärkte Gehirnströme in auditiven Arealen (Shahin et al., 2003; Schneider et al., 2005). Darüber hinaus sind häufig auch nicht-auditorische Funktionen, wie die audiomotorische Schleife (Altenmüller, 2008), das räumliche Vorstellungsvermögen (Sluming et al., 2007) oder multisensorische Netzwerke (Wengenroth et al., 2014) involviert, was zu einer differenzierteren und vielfältigeren Wahrnehmung von Musik führt.

Die kanadische Neurowissenschaftlerin Laurel Trainor zeigte, dass die bei erwachsenen Musikern beobachtete erhöhte Synchronisation im Gamma-Bereich beim Hören von Klängen auch bei musizierenden Kindern auftritt (Trainor et al., 2009). Das Muster ist bereits im Alter von fünfeinhalb Jahren nach einem einjährigen musikalischen Training zu beobachten. Dies legt nahe, dass die für erwachsene Musiker typische weiträumige hochfrequente Gehirnaktivierung das Ergebnis langfristigen und ausdauernden Übens sein dürfte.

Zusammenfassend zeigen die erwähnten neurowissenschaftlichen Studien zur Tonwahrnehmung, dass das Gehirn nicht nur bevorzugt auf geordnete Information reagiert, sondern dadurch auch selbst zu einer weiträumig konzertierten Aktivität angeregt wird, welche ihrerseits zum bewussten Erleben von Klang und Musik führt. Professionelle Musiker sind anscheinend in besonderem Maße zu dieser Leistung befähigt, was ihnen eine reichhaltigere und differenzierte auditive Wahrnehmung ermöglicht.

Ähnliche Überlegungen treffen wohl auch auf das Erkennen von zeitlichen Mustern, also Takt und Rhythmus, zu. Auch hier spricht unser Bewusstsein besonders stark auf Regelmäßigkeit und Struktur, also auf Information, an. Wir reagieren unwillkürlich auf Rhythmen und versuchen, uns durch das Mitklopfen des Takts oder durch Bewegungen mit dem Gehörten zu synchronisieren. Dieses Verhalten ist schon bei sehr jungen Kindern zu beobachten (Gruhn, 2003; Overy & Turner, 2009). Interessanterweise handelt es sich hierbei um ein Phänomen, das – zumindest für Kinder – von unmittelbarem Nutzen zu sein scheint. Rhythmen spielen sowohl in

der Sprach- als auch der Musikverarbeitung eine wichtige Rolle. Nicht umsonst werden von Eltern in der so genannten Ammensprache (z. B. »Hopsasa – Trallala«) einzelne Merkmale zunächst rhythmisch und tonal stark überbetont, um Säuglingen einen ersten musikalischen Zugang zur Sprache zu erschließen. Werden solche Lautäußerungen auch noch durch Mimik, Gestik und gleichzeitiges Schaukeln unterstützt, so intensiviert sich das sensorische Erleben des Babys weiter und prägt sich tief in dessen Bewusstsein ein, lange bevor es die Bedeutung gesprochener Sätze versteht.

Die Fähigkeit zu begreifen, dass Sätze aus Wörtern, Wörter aus Silben und Silben aus Lauten aufgebaut sind, wird als phonologische Bewusstheit bezeichnet (Wagner & Torgesen, 1987). Liegen frühe Defizite in der Sprachentwicklung vor, so wirkt sich dies später häufig negativ auf die Lese- und Rechtschreibfähigkeit aus (Bailey & Snowling, 2002). Man schätzt, dass ca. 40 % der legasthenen Kinder Defizite in der auditiven Wahrnehmung und Mustererkennung aufweisen (Hämäläinen et al., 2013). Eine Reihe von Untersuchungen konnte zeigen, dass die phonologische Bewusstheit und die Lesefähigkeit insbesondere mit der Fähigkeit zum Erkennen von zeitlichen Vorgängen zusammenhängen (Hämäläinen et al., 2013; Huss et al., 2011). Dabei scheinen sowohl Probleme bei der schnellen Hörverarbeitung, wie die Unterscheidung von Plosivlauten (»b« vs. »p«; »d« vs. »t«, »g« vs. »k«; Tallal & Gaab, 2006) als auch von langsameren rhythmischen Mustern (Huss et al., 2011) eine besondere Rolle zu spielen.

Die Arbeitsgruppe um die britische Musikpsychologin Kate Overy untersuchte Kinder mit und ohne Lese-Rechtschreibschwäche im Hinblick auf ihre sprachlichen und musikalischen Fähigkeiten (Overy, 2003; Overy et al., 2003). Tatsächlich schnitten Kinder mit Legasthenie bei Tests zur zeitlichen Reizwahrnehmung sowohl im musikalischen als auch im sprachlichen Bereich schlechter ab. Die Autoren vermuteten daher, dass sich aktives Musizieren und insbesondere rhythmisches Training bei Legasthenie günstig auswirken sollte. In späteren Untersuchungen bestätigte sich diese Annahme. Kate Overy entwickelte daher ein musikalisches Trainingsprogramm für lese-rechtschreibschwache Kinder, in dem hauptsächlich Rhythmusspiele zur Anwendung kommen. Im Vergleich zu einer untrainierten Gruppe zeigte die Trainingsgruppe nach ca. drei Monaten signifikant verbesserte rhythmische, phonologische und Lese-Rechtschreib-Leistungen. Auch die Ergebnisse unserer eigenen, nachfolgend dargestellten *AMseL*-Studie sprechen dafür, dass musikalisches Training die Lese-Rechtschreibkompetenz von Grundschulkindern signifikant verbessert.

Solche Studien zeigen, dass auch höhere kognitive Funktionen, wie die Sprach- und Lese-Rechtschreibkompetenz, zunächst darauf angewiesen sind, dass Regel- und Gesetzmäßigkeiten in elementaren akustischen Mustern erkannt werden. Auch die Integration visueller Elemente zu räumlichen Objekten oder das logische Fortsetzen von Zahlenreihen erfordert das Erkennen von Struktur. Somit scheint das Erkennen von regelmäßigen Mustern und deren Veränderungen so etwas wie ein Generalfak-

tor vorbewussten Erkennens überhaupt zu sein, der sich gleichermaßen auf Wahrnehmung und Kognition bezieht und eine Grundfunktion des Gehirns darstellt. Dies entspricht in etwa der Auffassung des österreichischen Psychologen Peter Hofstätter, der Generalfaktor menschlicher Intelligenz sei die »Fähigkeit zur Auffindung von Ordnung« (Hofstätter, 1971; vgl. Kap. 1). Damit aber könnte der ästhetischen Kompetenz, welche sich im weitesten Sinne als Fähigkeit zum sinnlichen Erkennen und Interpretieren von Formelementen beschreiben lässt, eine wesentliche Rolle in *Perzeption* (vorbewusster holistischer Wahrnehmung), *Apperzeption* (bewusster Lenkung der Aufmerksamkeit auf elementare Formelemente, wie Linien, Flächen oder Frequenzen) und *Kognition* zugeschrieben werden (Helmholtz, 1863; Kandinsky, 1973). Dies erscheint auch aus evolutionsbiologischer Sicht schlüssig, ohne Kunst oder Bewusstsein auf reinen Biologismus reduzieren zu wollen. Wenn »Wirklichkeit« als dynamisches Gefüge verschiedener Ordnungszustände mit chaotischen Übergängen verstanden wird, so ist die Kompetenz, diese mit den Sinnen zu erfassen und bewusst zu interpretieren, so etwas wie ein Generalfaktor intelligenten Verhaltens überhaupt. Aus diesem Blickwinkel ist die Freude am Künstlerischen und der Musik weit mehr als kultureller Luxus. Sie ist als Spiel mit jenen Elementen zu verstehen, welche Teil der menschlichen Wahrnehmung sind und für das Verstehen von Wirklichkeit unerlässlich sind. Selbstverständlich bedeutet dies nicht, dass damit auch eine »natürliche und allgemeingültige« Auffassung von Kunst verbunden ist, denn Struktur kann in vielgestaltigster Form auftreten und ist damit immer auch kulturell und individuell geformt. Als Vergleich bietet sich hier wieder die Sprache an, welche trotz aller Regelmäßigkeit in verschiedensten Formen und Dialekten existiert und beim Ausdruck von Inhalten keinen prinzipiellen Beschränkungen unterworfen ist.

Aus dieser informationstheoretischen Sicht kann sowohl angeborene Begabung als auch erworbene Expertise als Fähigkeit definiert werden, in einem bestimmten Kompetenzbereich einen überdurchschnittlichen Komplexitätsgrad an Mustern verarbeiten und verstehen zu können. Diese allgemeine Definition lässt sich sowohl auf die klassischen kognitiven Bereiche der sprachlichen, visuell-räumlichen und numerischen Intelligenz als auch auf ästhetische Kompetenzen beziehen. Auch Musikalität mit ihren Teilbereichen der Tonhöhen-, Klang- und Rhythmusvorstellung findet hier die ihren Platz.

2. Die Längsschnittstudie *AMseL: Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens*

Im Folgenden soll eine aktuelle Längsschnittstudie zu den Wirkungen aktiven Musizierens im Grundschulalter vorgestellt werden. Im Zentrum der Untersuchung steht das Zusammenwirken von musikalischem Potenzial, entwicklungsbedingter Reifung

und trainingsbedingter Plastizität von relevanten Gehirnstrukturen. Des Weiteren werden mögliche musizierbedingte Transfereffekte auf die Hörwahrnehmung und auf kognitive Fähigkeiten untersucht. Im Speziellen geht es um die Frage, ob sich regelmäßiges aktives Musizieren auf (a) die Sensibilität des Gehörs, (b) allgemeine kognitive Fähigkeiten (Intelligenz, Kreativität, Aufmerksamkeit), (c) spezielle Kompetenzen (Lesen, Rechtschreiben, Rechnen) und (d) AD(H)S-relevantes Verhalten (Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität und Impulsivität) auswirkt (Schneider & Seither-Preisler, in Vorbereitung).

An den beiden ersten, im Abstand von etwa einem Jahr durchgeführten Messzeitpunkten nahmen 145 Grundschulkinder teil, welche zu Beginn der Studie im Durchschnitt achteinhalb Jahre alt waren. Bei einem Teil der Kinder lag eine förderpädagogisch oder testpsychologisch abgeklärte Lese-Rechtschreibschwäche oder ärztlich diagnostizierte AD(H)S vor.

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 oder Hobbies (z. B. Schach-Gruppe, Tanzen) bestehen. Das Ausmaß der Freizeitbeschäftigungen wurde systematisch erfasst, um zu gewährleisten, dass sich spezifische Musiziereffekte von unspezifischen Fördereffekten durch ein Mehr an Zuwendung abgrenzen lassen.

Der sozioökonomische Hintergrund der Kinder wurde anhand von Fragebogenerhebungen bestimmt. Mittels statistischer Analysen konnten drei unabhängige Sozialfaktoren identifiziert werden, hinsichtlich derer sich die Kinder deutlich unterschieden. In den ersten Faktor »Bildungsnähe des Elternhauses« gingen die Bildungsabschlüsse beider Elternteile sowie die Anzahl der Bücher im Haushalt ein. In den zweiten Faktor »elterliche Zuwendung« flossen die familiäre Kommunikation, das Elternengagement im schulischen und privaten Bereich und die Häufigkeit gemeinsam besuchter Kulturveranstaltungen ein. In dem dritten Faktor »Freizeitangebot & Ressourcen« wurden die Intensität der außermusikalischen Freizeitgestaltung und das Eigentum des Kindes (Zimmer, Schreibtisch, Bücher, Lernprogramme) berücksichtigt.

Das Musizerverhalten wurde quantitativ über die Zeit, die in das häusliche Üben eines Musikinstrumentes investiert wird, erfasst. Dafür wurde ein so genannter *kumulativer Musizierindex* gebildet, der sich aus der Übezeit in Wochenstunden mal den Jahren an bisheriger musikalischer Praxis ergibt. Die Kinder wurden aufgrund der Übeintensität in zwei annähernd gleich große Gruppen geteilt, wobei die wenig musizierende Gruppe zum zweiten Messzeitpunkt einen durchschnittlichen Musizierindex von 0.9 und die viel musizierende Gruppe einen durchschnittlichen Musizierindex von 8.1 aufwies. Die beiden Gruppen unterschieden sich also erheblich in ihrer musikalischen Expertise.

Neuroanatomische Indikatoren von Musikalität und von Entwicklungsauffälligkeiten

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 so genannte 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.

Verschiedene Studien zeigten, dass Musiker deutlich vergrößerte Hörareale aufweisen (Gaser & Schlaug, 2003; Schlaug, et al., 1995). Insbesondere zeigen die Heschlschen Querwindungen ein auffällig höheres Volumen an grauer Substanz (Schneider et al., 2002). Zudem gibt es neuroanatomische Besonderheiten, die mit speziellen auditiven Fähigkeiten oder Beeinträchtigungen einhergehen. An erster Stelle ist das absolute Gehör zu nennen, also die Fähigkeit, einen gegebenen Ton unmittelbar und mühelos ohne äußere Hilfsmittel identifizieren oder produzieren zu können. Diese Fähigkeit korreliert mit einer spezifischen Vergrößerung bzw. medialen Verdoppelung der rechten Heschlschen Querwindung und zeigt funktionell in diesem Areal ein zusätzliches Verarbeitungszentrum, welches mit einem rechtshemisphärischen Netzwerk motorischer, sensorischer und visueller Areale synchron verschaltet ist. Ein zweites spezifisches Phänomen ist Tinnitus, also das Klingeln, Pfeifen und Rauschen der Ohren. Das Auftreten von Tinnitus korreliert mit einer spezifischen Volumenreduktion um ca. 60 % der klangverarbeitenden Areale im Bereich des primären auditorischen Kortex auf der Seite des betroffenen Ohrs. Interessanterweise zeigen Musiker im Vergleich zu Nichtmusikern eine weitaus geringere Gefährdung und im Falle des Auftretens von Tinnitus eine geringere emotionale Belastung und kürzere Dauer, sodass in diesem Fall ein »protektiver Effekt des Musizierens« angenommen werden kann (Schneider et al., 2009). Als drittes auditives Spezifikum ist das »Williams-Beuron-Syndrom« (WBS) zu nennen, eine genetisch bedingte Erkrankung, die mit einer ganz besonderen Hörweise und Affinität zu Musik und Alltagsgeräuschen verbunden ist. Die Patienten weisen aufgrund einer Mutation am Chromosom 7 ein besonderes neuropsychologisches Profil auf, bei dem ausgeprägte Schwächen in der logisch-räumlichen Domäne charakteristischen Stärken im musikalisch-sprachlichen Bereich gegenüberstehen. Bereits in früher Kindheit sind WBS-Betroffene begeistert von stark rhythmusbetonten Musikrichtungen wie Schlagen, Volksmusik, Country und Rock, und zeigen bei den neuronalen Messungen eine auffällige auditorische Linksasymmetrie. Ihre Heschlschen Querwindungen weisen eine charakteristische verwurzelte Struktur auf, die derjenigen von Musikern entspricht. Da WBS-Betroffene aufgrund psychomotorischer Defizite nicht in der Lage sind, an einem

klassischen Musikunterrichtsprogramm teilzunehmen, lassen sich die neurologischen Resultate als genetisches Modell der Musikalität interpretieren und liefern einen wertvollen Hinweis zur genetischen – da trainingsunabhängigen – Komponente von musikalischer Begabung und Größe des auditorischen Kortex (Wengenroth et al., 2010).

In der *AMSEL*-Studie wurde die Gehirnanatomie der Kinder am Forschungsscanner der neuroradiologischen Abteilung der Heidelberger Universitätsklinik vermessen. Bei jedem Kind wurde aus den strukturellen MRT-Messungen individuell die Größe und anatomische Form des Hörkortex ermittelt. Wie bei Erwachsenen variierten die anatomischen Strukturen der Kinder stark bezüglich ihrer Größe, Form und Ausgestaltung der einzelnen Windungen. Die gruppenstatistischen Berechnungen ergaben, dass die Heschlschen Querwindungen von viel musizierenden gegenüber wenig bzw. nicht musizierenden Kindern durchschnittlich um 35 % vergrößert waren, während die *Plana temporalia* um 45 % verkleinert waren (Seither-Preisler & Schneider, 2014). Darüber hinaus waren 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, stieg mit zunehmendem Musizierindex auf das Zwei- bis Dreifache an. Interessanterweise bestand dieser Effekt bereits zum ersten Messzeitpunkt, also zu einer Zeit als die meisten 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 ($r=0.98$).

Dies zeigt erstmals, dass die beobachtete anatomische Größe und Form des auditorischen Kortex bereits in früher Kindheit vor Beginn des formalen Musikunterrichts vorgegeben ist. Diese Auffassung wird durch eine genetisch-neurologische Zwillingsstudie von Hulshoff Pol und Kollegen (2006) bestätigt, in welcher gezeigt wurde, dass die Morphologie der Heschlschen Querwindungen größtenteils veranlagt ist. Die Autoren schätzen die Erblichkeit auf ca. 80 %. Aufgrund der in unserer Studie gefundenen extrem hohen zeitlichen Stabilität gehen wir davon aus, die sich die angegebenen 20 % an Variabilität auf ein frühes, möglicherweise pränatales oder frühkindliches Entwicklungsstadium beziehen, welches im Grundschulalter bereits abgeschlossen ist.

Daher kann nun erstmalig belegt werden, dass die enormen neuroanatomischen Unterschiede zwischen viel und wenig bzw. nicht musizierenden Kindern nicht trainingsbedingt erklärt werden können. Offenbar ist es nicht so, dass sich die Heschlsche Querwindung 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 Lernpotenzial und die damit

verbundene Eigenmotivation zum Üben zu haben scheint. Dies steht in deutlichem Gegensatz zu der früheren Auffassung, dass es keine vorgegebenen neurologischen Unterschiede zwischen Kindern, die ein Instrument erlernen wollen und jenen die dies nicht tun, gibt und beobachtete Unterschiede rein trainingsbedingt zu interpretieren sind (Norton et al., 2005).

Bei der AD(H)S-Gruppe (und teilweise auch bei der Legasthenie-Gruppe) waren die Befunde im Vergleich zu den intensiv musizierenden Kindern gegenläufig. Hier waren die Plana temporalia gegenüber den unauffälligen Kindern im Mittel um 55 % vergrößert, während die Heschlschen Querwindungen komplementär dazu verkleinert waren. Bei Kindern mit AD(H)S und Legasthenie zeigten sich tendenziell spiegelsymmetrische neuroanatomische Merkmale, wobei Kinder mit Aufmerksamkeitsdefiziten meist ein vergrößertes linkes und Kinder mit Lese-Rechtschreibschwäche manchmal ein rechtsseitig vergrößertes Planum temporale aufwiesen. Wir nehmen an, dass diese neuroanatomischen Besonderheiten in direktem Zusammenhang mit den häufig bei AD(H)S- und Legasthenie diagnostizierten auditiven Verarbeitungs- und Wahrnehmungsstörungen stehen (Leonard et al., 2001, 2006; Paul-Jordanov et al., 2010).

Aktivierung des Gehirns bei musizierenden und entwicklungs-auffälligen Kindern

Die Messung der funktionellen Aktivierung des Gehirns erfolgte ebenfalls an der Heidelberger Universitätsklinik in dem vom Erdmagnetfeld abgeschirmten MEG-Raum der Sektion Biomagnetismus. Anders als die hoch stabilen neuroanatomischen Merkmale zeigten die funktionellen Aktivierungen beim Hören von musikalischen Klängen deutliche neuroplastische entwicklungs- bzw. trainingsbedingte Veränderungen.

Präsentiert man einen akustischen Reiz, so tritt typischerweise als erste Reaktion die primäre positive Antwort (P1) auf. Bei Erwachsenen tritt diese Antwort nach etwa 50 ms auf, bei Kindern deutlich später (etwa 70-100 ms). Die von uns untersuchten viel musizierenden Kinder zeigten im Mittel signifikant frühere primäre Antworten (86 ms) als die wenig bzw. nicht musizierenden Kinder (91 ms), was als Reifavorsprung zu deuten ist.

Zudem wurde im Verlauf vom ersten zum zweiten Messzeitpunkt in beiden Hemisphären im Mittel eine systematische Beschleunigung der primären Antwort um 6.5 ms gemessen. Diese Ergebnisse stimmen weitgehend mit früheren Befunden zur natürlichen Reifung auditiver Funktionen überein (Eggermont & Ponton, 2002; Sharma et al., 1997, 2005). Trotz dieser neuroplastischen Effekte ließen sich die Antwortkurven gut reproduzieren und blieben als »individuelle Fingerabdrücke« über die Zeit weitestgehend erhalten. Interessanter Weise zeigte sich mit zunehmendem musikalischem Training im Verlauf eine schnellere Reaktionszeitverkürzung, die bei beson-

ders intensiv musizierenden Kindern bis zu 15 ms betrug. 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 verlangsamer Reifeprozess über die Zeit beobachtet wurden.

Interessante Ergebnisse wurden auch hinsichtlich der Kommunikation zwischen beiden Gehirnhemisphären gefunden. Die Antworten in der rechten und linken Gehirnhälfte zeigten bei den viel musizierenden Kindern einen signifikant synchroneren Verlauf (mittlerer zeitlicher Abstand der Spitzenwerte: 4 ms) als bei den wenig bzw. nicht musizierenden Kindern (8 ms). Dies weist auf eine bessere Zusammenarbeit beider Hemisphären bei musikalisch aktiven Kindern hin. Bei auffälligen Kindern mit AD(H)S- oder Legasthenie 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. Wir nehmen an, dass diese relativen Zeitverschiebungen unterschiedliche Entwicklungsstände beider Gehirnhälften anzeigen, welche zu Problemen bei integrativen auditiven Leistungen führen und damit auch Aufmerksamkeitsstörungen sowie Schwierigkeiten beim Schriftspracherwerb bedingen können.

Während also intensiv musizierende Kinder gegenüber wenig bzw. nicht musizierenden Kindern durch eine schnellere Verarbeitungsgeschwindigkeit der primären Hörareale, einen beschleunigten Reifeprozess auditiver Funktionen und 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 zeigen eindrucklich, dass genau jene Gehirnbereiche und -funktionen von musikalischem Training zu profitieren scheinen, welche bei AD(H)S und Legasthenie Auffälligkeiten aufweisen. Dies lässt vermuten, dass ein geeignetes musikalisches Förderprogramm 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 wird und bereits erste vielversprechende Ergebnisse vorliegen (Overy, 2003), wurde dies im Zusammenhang mit AD(H)S bisher noch nicht in Betracht gezogen. Unsere Studie zeigt, dass aktives Musizieren sich nicht nur auf die Gehirnentwicklung und interhemisphärische Kommunikation positiv auswirkt, sondern auch eine Reihe von auditiven Wahrnehmungsfunktionen, sowie Aufmerksamkeitsleistungen und die Lese-Rechtschreibkompetenz verbessert (Schneider & Seither-Preisler, in Vorbereitung). Hier soll nur auf die wesentlichsten Ergebnisse verwiesen werden, welche zeigen, dass musizierende Kinder feinere Unterschiedsschwellen beim Beurteilen von Tonhöhen, Tonlängen und Rhythmen erzielen und besser in der Lage sind, die Grundton-

höhen harmonischer Klänge zu erfassen. Des Weiteren verfügen sie über eine bessere auditive und visuelle Daueraufmerksamkeit und zeigen eine geringere Neigung zu Aufmerksamkeitsstörungen, Hyperaktivität und Impulsivität. Am auffälligsten ist jedoch das deutlich bessere Abschneiden musizierender Kinder in Lese-Rechtschreibtests, wobei sich bei allen untersuchten Teilfertigkeiten signifikant bessere Leistungen zeigten als bei nicht musizierenden Kindern. Der positive Einfluss des Musizierens auf den schriftsprachlichen Bereich könnte einerseits durch förderliche Einflüsse frühen Notenlesens und andererseits durch auditives Training bedingt sein, welches die gehörmäßige Segmentierung von Sprachlauten und deren Übersetzung in Grapheme erleichtert. Neben der verbesserten phonologischen Bewusstheit könnte auch eine Verbesserung von Aufmerksamkeitsfunktionen einen indirekten positiven Einfluss auf die Lese-Rechtschreibkompetenz ausgeübt haben. Daher sollten die frühe Entwicklung musikalischer Fähigkeiten besonders in der Förderpädagogik mehr Beachtung als bisher finden und Eltern von Kindern mit Lese-Rechtschreibschwäche oder AD(H)S empfohlen werden.

3. Musikpädagogische Implikationen der AMsel-Studie

Seit etwa zwei Jahrzehnten wird in vielfältiger Weise der Einfluss neurologischen Wissens auf 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 so genannte »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, ZEIT Online). 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).

Im musikpädagogischen Bereich wurde die Relevanz von neuroanatomischen Indikatoren (Herholz & Zatorre, 2012), des neuroplastischen Lernens (Jäncke, 2008),

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. Wir hoffen, mit unseren aktuellen neurowissenschaftlichen Erkenntnissen der Musikpädagogik neue Impulse geben zu können, wie musikalische Begabung und musikalisches Lernen zusammenwirken und optimal gefördert werden können.

Bereits in früheren Studien konnten von uns anatomische und funktionelle Besonderheiten im Gehirn von erwachsenen Musikern nachgewiesen werden (Schneider et al., 2002, 2005, 2009; Wengenroth et al., 2010, 2013). Bislang war jedoch unklar, ob diese im Querschnitt gefundenen Unterschiede das Ergebnis einer langjährigen musikalischen Praxis sind oder umgekehrt anlagebedingte Voraussetzungen für eine musikalische Laufbahn darstellen. Nun konnten auch bei intensiv musizierenden Grundschulkindern entsprechende neuroanatomische und funktionelle Besonderheiten nachgewiesen werden. Unsere Daten zeigen, dass die anatomischen Merkmale des auditorischen Kortex (Volumen an grauer Substanz in den Heschlschen Querwindungen) eng mit dem Musizierverhalten der Kinder korrespondieren. Die Analyse der Längsschnittdaten ergab zudem, dass die gefundenen strukturellen Unterschiede bereits zu Beginn der musikalischen Praxis bestanden und sich über den Untersuchungszeitraum praktisch nicht veränderten. Daher interpretieren wir diese Merkmale als Indikatoren musikalischer Begabung. Diese Interpretation wird durch eine genetisch-neurologische Zwillingsstudie von Hulshoff Pol und Kollegen (2006) gestützt, in welcher gezeigt wurde, dass die Morphologie der Heschlschen Querwindungen offenbar größtenteils veranlagt ist.

Da in unserer Studie auch soziale Faktoren mittels Fragebogenerhebungen detailliert erfasst und kontrolliert wurden, konnten Abschätzungen vorgenommen werden, welchen Einfluss neuroanatomische Veranlagung einerseits und soziale Umwelt andererseits auf die musikalische Übepaxis und Entwicklung haben. Als Vorhersagevariablen diente einerseits das Volumen der rechten Heschlschen Querwindung und andererseits die drei identifizierten Sozialfaktoren. Die Zielgröße, welche es zu erklären galt, war die mit Hilfe des Musizierindex erfasste Übeintensität. Dabei erwiesen sich die neuroanatomischen Befunde als wichtigste Größe, gefolgt von den Faktoren »Bildungsmilieu« und »Freizeitangebot & Ressourcen«. Diese beiden Sozialfaktoren leisteten gemeinsam einen etwas geringeren Beitrag als die neuroanatomische Begabungskomponente. Demnach scheinen sich die Einflüsse von Anlage und Umwelt auf das Übeverhalten etwa die Waage zu halten.

Aufgrund von Zwillingsstudien geht man heute davon aus, dass Intelligenz zu mindestens 50 % erblich ist (Stern & Neubauer, 2013). Unsere Ergebnisse legen den vorsichtigen Schluss nahe, dass dies auch auf den Bereich der Musikalität zutreffen könnte. Der Vergleich beruht allerdings auf unterschiedlichen methodischen Zugängen. Während den Aussagen der Intelligenzforschung Zwillingsstudien zu Kennwer-

ten in Intelligenztests zugrunde liegen, gelangten wir aufgrund der Berücksichtigung anlagebedingter neurologischer Merkmale einerseits und sozialer Einflüsse andererseits zu einem vergleichbaren Resultat.

Bisherige Ergebnisse der Intelligenzforschung zeigen, dass die Korrelationen zwischen Testkennwerten und den Befunden bildgebender neurologischer Messungen bei maximal $r=0.5$ liegen (Neubauer & Stern, 2007). Diese Zusammenhänge sind zu gering, um darauf eine neurowissenschaftlich basierte Diagnostik kognitiver Fähigkeiten aufzubauen. In unserer aktuellen Studie wurden hingegen Zusammenhänge bis zu $r=0.6$ zwischen musikalischen Überverhalten und neuroanatomischen Merkmalen gefunden. Dieser Genauigkeitszuwachs ist aller Wahrscheinlichkeit nach durch die individuelle Segmentierung der Gehirnanatomie bedingt, welche große Vorteile gegenüber den normalerweise durchgeführten neurologischen Untersuchungen im Gruppenvergleich bietet (Schneider et al., 2009). Die höchsten Korrelationen, die im Rahmen einer rein testbasierten empirischen Psychologie überhaupt zu erwarten sind, liegen zwischen $r=0.5$ und 0.7 , also im selben Genauigkeitsbereich. Dies wirft die Frage auf, ob die von uns gefundenen hohen Zusammenhänge zumindest prinzipiell eine neurowissenschaftliche basierte Musikalitätsdiagnostik erlauben würden, um besonders begabte Kinder unabhängig von ihrem Verhalten frühzeitig aufgrund ihrer gehirnanatomischen Dispositionen zu identifizieren und zu fördern. Ein entscheidender Vorteil dieses Ansatzes wäre sicherlich, das latente Potenzial unabhängig von Umwelteinflüssen erfassen zu können. Mittels genetischer Untersuchungen ist dies kaum möglich, da sich musikalische Begabung nicht an einzelnen Genen festmachen lässt. Auch psychologische Tests leisten hier keine differenzierten Aussagen, weil beobachtete Testleistungen immer das gemeinsame Resultat von veranlagter Begabung, umweltbedingter Lernerfahrung und tagesaktuellen Leistungsschwankungen sind. Hier kommt also nur die phänotypische oder manifeste Musikalität zum Tragen, welche bis zu einem gewissen Grad durch Störfaktoren verzerrt sein kann. Daher erscheint eine Kombination neurowissenschaftlicher und testpsychologischer Verfahren diagnostisch besonders vielversprechend. Auf diese Weise sollte es möglich sein, getrennte Aussagen über hauptsächlich veranlagte Merkmale (Volumen grauer Substanz im Hörkortex) und lernbedingte Leistungsmerkmale (z. B. Änderung von Testkennwerten im Zuge von pädagogischen Maßnahmen) machen zu können.

4. Neurokognitives Begabungs- und Kompetenzmodell

Die Ergebnisse der *AMseL*-Studie führen zu einer Reihe von musikpädagogisch relevanten Überlegungen, welche den Erfolg des musikalischen Lernens, sowie die damit verbundene Eigenmotivation der Schüler betreffen. Zur Veranschaulichung sollen zunächst die einzelnen Ergebnisse in einen Gesamtzusammenhang gestellt werden (Abb. 11.1).

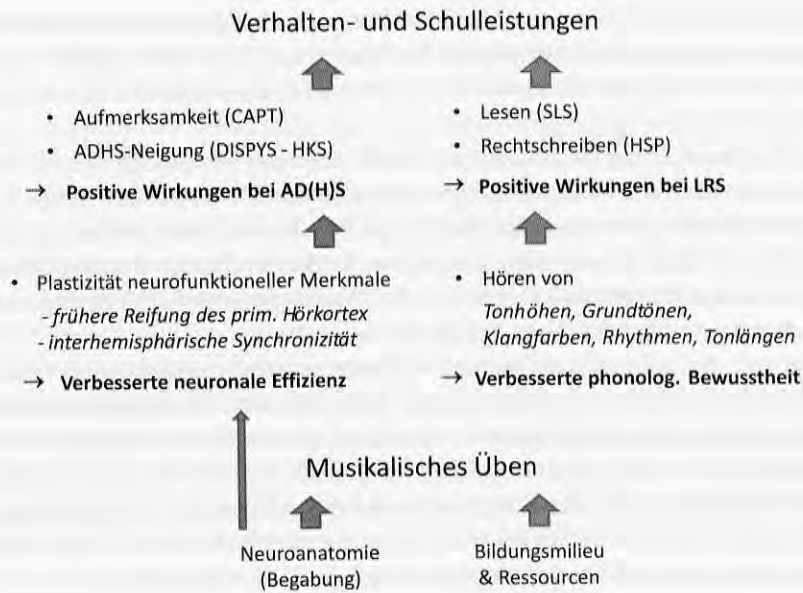


Abb. 11.1: Modell zum Verständnis der Ergebnisse der AMseL-Studie (in Klammern sind die jeweils verwendeten psychologischen Tests angegeben)

Die Ergebnisse legen nahe, dass die mit der musikalischen Begabung assoziierte neuroanatomische Disposition und soziale Faktoren einen ähnlich starken Einfluss auf die Motivation des Kindes ausüben, ein Instrument zu erlernen. Musikalisches Üben scheint sich seinerseits positiv auf die neuronale Effizienz des Gehirns auszuwirken (frühere Reifung des Hörkortex und verbesserte interhemisphärische Synchronizität). Dies könnte erklären, weshalb musizierende Kinder eine bessere Daueraufmerksamkeit und eine verringerte ADHS-Neigung (weniger Aufmerksamkeitsprobleme, Hyperaktivität und Impulsivität) zeigen. Die Ergebnisse legen also nahe, dass Musizieren besonders für Kinder mit AD(H)S indiziert sein sollte. Auf der anderen Seite zeigte sich, dass das Hörvermögen deutlich vom Musizieren profitiert. Damit sollte sich auch die phonologische Bewusstheit verbessern, also die Fähigkeit, die lautliche Struktur von Sprache zu erfassen. Zudem könnten sich auch die besseren Aufmerksamkeitsfunktionen musizierender Kinder positiv auf die Lese-Rechtschreibkompetenz ausgewirkt haben. Daher legen die Ergebnisse nahe, dass musikpädagogische Förderung auch bei Legasthenie besonders wirksam sein sollte. Während bereits frühere Studien zeigten, dass musizierende Kinder häufig eine bessere Lese-Rechtschreibkompetenz aufweisen, war bisher unklar, ob dieser Zusammenhang allein dadurch zustande kommt, dass eine bessere soziale Förderung einen positiven Einfluss auf beide Bereiche ausübt (Butzlaff, 2000). Unsere Ergebnisse zeigen, dass der Zusammenhang auch nach Herausrechnen der sozialen Einflüsse noch

bestehen bleibt. Dies belegt, dass das Musizieren einen eigenständigen, unmittelbar fördernden Einfluss auf schriftsprachliche Fähigkeiten hat. Dafür spricht auch, dass sich die Lese-Rechtschreibkompetenz mit steigender musikalischer Expertise systematisch verbesserte.

Somit sollte sich das Musizieren einerseits über die Förderung der neuronalen Effizienz und von Aufmerksamkeitsprozessen und andererseits über eine Verbesserung der Hörfähigkeit und der phonologischen Bewusstheit positiv auf die Entwicklung von Kindern auswirken. Von dieser Verbesserung der Konzentration und Wahrnehmungsfähigkeit sollte nicht nur das Wohlbefinden und Verhalten der Kinder profitieren, sondern auch die Schulleistungen.

Aufgrund der gefundenen Zusammenhänge zwischen veranlagungs- und trainingsbedingten Einflüssen plädieren wir dafür, das derzeit populäre Modell des »trainingsbedingten Lernerfolges« entscheidend zu erweitern. Im Folgenden wird ein allgemeines neurokognitives Modell vorgestellt, welches die Zusammenhänge zwischen Begabung, natürlicher Reifung und Lernen thematisiert und aufzeigt, wie die Pädagogik Einfluss auf den Entwicklungsprozess nehmen kann (Seither-Preisler & Schneider, 2014). Das Modell ist in Abb. 11.2 grafisch veranschaulicht.

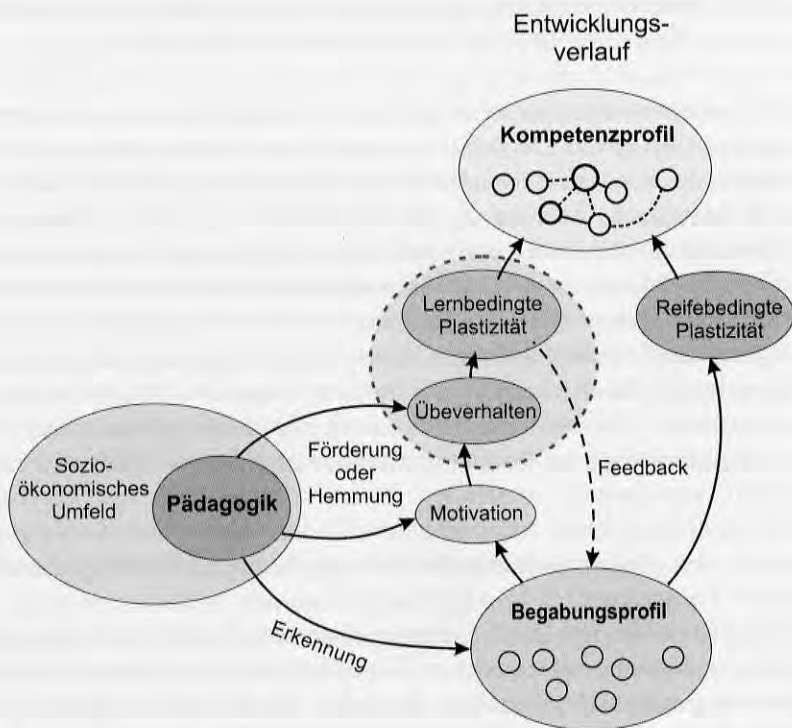


Abb. 11.2: Neurokognitives Begabungs- und Kompetenzmodell

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 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 Abb. 11.2 rechts unten die spezifische neuroanatomische Struktur des Hörkortex eines hochbegabten Organisten dargestellt). Dieser Befund führte uns zu einem erweiterten Modell, welches umfassendere Aussagen ermöglicht als es im Rahmen herkömmlicher rein trainingsbasierter Modelle möglich ist.

Die Entwicklung des individuellen Begabungsprofils zu einem persönlichen Kompetenzprofil ist schematisch anhand von unterscheidbaren Entwicklungspfaden dargestellt. Auf unterster Ebene findet sich das Begabungsprofil als Set von besonderen Veranlagungen, welche hier als unverbundene Kreise dargestellt sind. Es wird angenommen, dass die einzelnen Anlagen am Anfang des Lebens noch für sich stehen und nicht miteinander in Wechselwirkung getreten sind. Dieses frühe Stadium entspricht etwa dem Ansatz der *Primary Mental Abilities* von Louis Thurstone (1938), nach welchem Intelligenz auf einer Reihe unabhängiger Primärfähigkeiten beruht. Wir nehmen allerdings an, dass sich im Laufe der Entwicklung und des Lernens eine integrative Vernetzung herausbildet, die diese Faktoren zunehmend aufeinander bezieht. Dies führt zu einem Status, der eher einer dimensional, hierarchischen Modellvorstellung kognitiver und künstlerischer Fähigkeiten entspricht. Dabei steht ein so genannter Generalfaktor an der Spitze und bezieht die einzelnen Teilfähigkeiten bis zu einem gewisse Grad aufeinander (vgl. Carroll, 1993; Gardner, 1983; Guilford, 1967). Die Intensität und Art der Vernetzung sollte nicht nur von der natürlichen Reifeentwicklung, sondern in erster Linie von der individuellen Lernerfahrung und vom Expertiseerwerb abhängen. Daher ist das aus dem Entwicklungsverlauf resultierende individuelle Kompetenzprofil hier auch teilweise verbunden dargestellt, wobei stärker trainierte Funktionen als breitere Kreise eingezeichnet sind.

Der elementarste Entwicklungspfad ist jener der reifebedingten Plastizität. Dieser Weg ist biologisch determiniert und kann prinzipiell auch ohne Interaktion mit der Umwelt ablaufen (rechter Pfad in Abb. 11.2). Die biologische Reifung eines Organismus ist als universell zu betrachten, weil sie in gewissem Umfang alle höheren Lebewesen betrifft. In der Realität kommt es allerdings auch hier zu Wechselwirkungen mit der Umwelt, welche den Reifeprozess hemmen oder beschleunigen können. Als Beispiel ist die natürliche Gehirnreifung zu nennen. Beim Menschen kommt es im Zuge der Entwicklung zu einer verstärkten Myelinisierung der Nervenbahnen, welche mit einer altersgemäßen Verbesserung der sensorischen und kognitiven Informationsverarbeitung einhergeht. Dieser Prozess bildet sich in den Ergebnissen der

AMseL-Studie als Beschleunigung evozierte Gehirnantworten über den Entwicklungsverlauf der Kinder ab. Es wird vermutet, dass durch die mit dem Lebensalter zunehmend »schnellere Taktung« nicht nur die Effizienz der Wahrnehmung gesteigert wird, sondern auch mehr Informationen im Arbeitsgedächtnis gehalten werden können, was wiederum einen positiven Einfluss auf kognitive Fähigkeiten hat. Im Zuge der Entwicklung reifen sensorische Areale, die für die elementare Reizverarbeitung zuständig sind und im hinteren Teil des Kortex liegen (Hinterhaupts-, Schläfen- und Scheitellappen), früher aus als der für höhere integrative Funktionen und die willentliche Kontrolle zuständige Stirnlappen. Letzterer entwickelt sich bis in das junge Erwachsenenalter hinein weiter.

Als zweiter Entwicklungsweg ist die lernbedingte Plastizität dargestellt (mittlerer Pfad). Hier bilden sich jene Prozesse ab, die nicht universell sind, sondern von der spezifischen Interaktion eines Individuums mit seiner Umwelt abhängen. Es geht also um das Zusammenspiel zwischen persönlichen Veranlagungen einerseits und besonderen äußeren Rahmenbedingungen andererseits. Neurologisch schlägt sich der individuelle Lernprozess in lokalen Veränderungen der Dichte und Erregbarkeit von neuronalen Verbindungsstellen (Synapsen) nieder. Sind bestimmte Ereignisse in der Erfahrung häufig gemeinsam repräsentiert oder werden bestimmte Fertigkeiten intensiv geübt, so kommt es zu einer erhöhten synaptischen Konnektivität und einer entsprechenden Vernetzung von Nervenverbänden, welche in weiterer Folge häufiger gemeinsam aktiviert werden. In unserer Studie zeigte sich dieser Prozess als neuroplastische Verbesserung der Effizienz des Hörkortex über die Zeit, die neben dem natürlichen Reifezustand auch vom Ausmaß des musikalischen Trainings abhing. So ergab die Analyse der im Gehirn evozierten Antwortmuster, dass musizierende Kinder einen Entwicklungsvorsprung aufwiesen, welcher sich im Laufe des Untersuchungszeitraums zunehmend verstärkte. Auch zeigte sich, dass bei musizierenden Kindern die rechte und linke Hörrinde besser miteinander synchronisiert sind, also die Gehirnhemisphären besser zusammenarbeiten.

Auch Transferwirkungen von einer Lerndomäne auf eine verwandte Domäne können als Folge einer zunehmenden Vernetzung der diesen Leistungen zugrunde liegenden neuronalen Netzwerke verstanden werden. Dabei sollte sich aufgrund der Überlappung der beteiligten Neuronenverbände Nahtransfer (Übertragung erlernter Kompetenzen auf ähnliche Situationen, z. B. Musizieren und auditive Mustererkennung) früher ausbilden als Ferntransfer (Übertragung auf unähnliche Situationen, z. B. Musizieren und Lese-Rechtschreibkompetenz).

Der Vorgang der lernbedingten Plastizität wird in der so genannten Expertiseforschung als zentral erachtet. Hier wird angenommen, dass langfristige, zielgerichtete und kontrollierte Übung die entscheidende Rolle beim Kompetenzerwerb spielt. Durch Training kommt es zu einer Automatisierung von Fertigkeiten, sodass diese zunehmend effizienter ablaufen können. In der so genannten »Zehn-Jahres-Regel« (Ericsson, 1996) wurde postuliert, dass es einer mindestens zehnjährigen Übungs-

phase bedarf, um in einem bestimmten Bereich eine herausragende Leistung zu erbringen (vgl. Kap. 3). Die Bedeutung angeborener Faktoren wird aus dieser Sicht hingegen als gering erachtet.

Der Begabungsforscher Heiner Gembris übte Kritik an dem Expertisemodell und argumentierte, dass die langfristige Motivation zum Üben selbst eine Funktion von angeborenen Begabungen sein dürfte (Gembris, 2009). Auch der Musikpsychologe John Sloboda (1993) bemerkte, ein zentrales Problem des Expertise-Ansatzes bestehe in der Frage nach der Motivation, aus der heraus intensives Üben begonnen und über lange Zeiträume aufrechterhalten wird.

Obwohl auf der Hand liegt, dass der Expertiseerwerb stark von der Lernmotivation abhängt, wurde bisher wenig erforscht, in welchem Ausmaß die Motivation von veranlagten und umweltbedingten Einflüssen abhängt. Aus der Motivationspsychologie ist bekannt, dass der Wunsch, die eigene Kompetenz zu steigern (intrinsische Positivmotivation) eher zum Erfolg führt als die der Wunsch, Versagen und Kritik zu vermeiden (extrinsische Negativmotivation). Häufig wird angenommen, es handle sich bei Motivation um ein Persönlichkeitsmerkmal, das ganz allgemein Einfluss auf das Lernverhalten nimmt. Der Begabungsforscher Robert Gagné geht in seinem *Differenzierten Begabungs- und Talentmodell* davon aus, dass aus latenten Begabungen durch Lernen manifeste Talente entstehen, wobei die motivationalen Faktoren Initiative, Ausdauer und Interesse als allgemeine Katalysatoren auf diesen Prozess einwirken (Gagné, 1985; 1993). Offen bleibt dabei die Frage nach der Wechselwirkung zwischen spezifischen Begabungen einerseits und dem Durchhaltevermögen andererseits. Handelt es sich beim Ausdauerverhalten in erster Linie um eine allgemeine Eigenschaft der Persönlichkeit, die stabil und situationsunabhängig ist? Hängt ausdauerndes Verhalten primär von zu erwartenden äußeren Belohnungen ab? Oder ist die wahrgenommene Selbstwirksamkeit entscheidend, also der Erwartung, aufgrund eigener Kompetenzen gewünschte Handlungen erfolgreich ausführen zu können?

Beobachtungen zeigen, dass Kinder, die in einem bestimmten Bereich besonders begabt sind, häufig unabhängig von der Umwelt eine sehr hohe Übemotivation zeigen (vgl. Kap. 2). Nach Auffassung der amerikanischen Begabungsforscherin Ellen Winner »führt Talent zu harter Arbeit, welche wiederum zu ständig ansteigenden Leistungen führt« (Winner, 1996, S. 297). Demnach wäre zumindest die intrinsische Motivation eine Größe, welche selbst vom spezifischen Begabungsprofil abhängt.

Wir gehen in unserem Modell davon aus, dass Begabung die intrinsische Lernmotivation erhöht, was im weiteren Verlauf auch zu einem Mehr an lernbedingter Plastizität führt. Dies entspricht der Sicht, dass die zur Verfügung stehenden Basisressourcen die Qualität und Intensität des Lernprozesses bestimmen.

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 Kompe-

tenz relevant sind, was auf neuronaler Ebene mit erhöhter lernbedingter Plastizität einhergeht. Es kommt zu einer gezielten Vernetzung der beteiligten Gehirnnareale bei gleichzeitiger Unterdrückung irrelevanter Funktionen, also einer verbesserten neuronalen Effizienz. Dies ist in Abb. 11.2 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. In dem Modell wird des Weiteren davon ausgegangen, dass sich eine zunehmende lerninduzierte Vernetzung von Gehirnfunktionen positiv auf die Entfaltung weiterer Potenziale auswirkt (gestichelte Linie »Feedback« in Abb. 11.2). Diese werden kontinuierlich in ein sinnvolles Ganzes integriert (z. B. auditive Vorstellungskraft und besonders gute motorische Koordination). Es entstehen neue Qualitäten, welche über die Summe der zunächst noch latent angelegten Einzelpotenziale hinausgehen. Ein charakteristisches individuelles Kompetenzprofil mit z. B. musikalisch-tänzerischer Neigung manifestiert sich (dieses ist in Abb. 2 oben als Vernetzung der im ursprünglichen Begabungsprofil noch unverbundenen Einzelpotenziale 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 (Abb. 11.2 links). Auf unterster Ebene gilt es, latente Begabungen frühzeitig zu erkennen. Dabei erscheint es sinnvoll, nicht nur schulische Leistungsmaße oder Kennwerte psychologischer Tests heranzuziehen, sondern die Kinder genau zu beobachten. In welchen Bereichen engagieren sie sich freiwillig und gern? In welche Aktivitäten investieren sie von sich aus viel Zeit? Wovon sind sie begeistert? Eine wesentliche Bedeutung kommt Pädagogen bei der Aufgabe zu, durch aufmerksame Beobachtung die Eigenmotivation der Kinder für einen bestimmten Bereich frühzeitig zu erkennen und zu fördern. Dies sollte sich positiv auf die Entfaltung bestehender Begabungen auswirken. Wird nicht auf latente Begabungen eingegangen, die nach Entfaltung drängen, so kann dies die Lernmotivation untergraben und zum so genannten *Underachievement* führen, also dem Phänomen, dass Kinder Schulleistungen erbringen, welche deutlich unter ihrem eigentlichen Fähigkeitsniveau liegen (Seely, 1993). Des Weiteren ist es natürlich eine der wesentlichsten Aufgaben von Pädagogen, das konkrete Überverhalten durch die Vermittlung von deklarativem und prozeduralem Wissen, also durch Theorie und Praxis, qualifiziert anzuleiten und zu unterstützen. Dies sollte wiederum neuroplastische Lernvorgänge unterstützen und beschleunigen, mit dem Ziel, die bereits im Begabungsprofil latent angelegten Potenziale als ausgereiftes Kompetenzprofil möglichst vollständig zur Geltung zu bringen.

Unserer Auffassung nach kommt es nicht so sehr darauf an, alle Kinder in gleicher Weise möglichst früh, schnell und intensiv zu trainieren, sondern eher darauf, die kindlichen Interessen sensibel wahrzunehmen und als Hinweise auf ein möglicherweise dahinterliegendes Begabungsprofil zu sehen, das sich entfalten möchte. Dies bedeutet auch, die Frühförderung nicht überzubewerten, in der Sorge, sonst möglicherweise eine sensible Entwicklungsphase zu versäumen. Zumindest in der Intelligenzforschung wurde bisher keine Evidenz gefunden, dass gezielte Frühförderung spezielle Vorteile bringt. Auch erscheint die Annahme voneinander abgegrenzter sensibler Phasen für die meisten kognitiven Fähigkeiten inzwischen wenig plausibel (Blakemore & Frith, 2006; Bruer, 2002). Im Hinblick auf die musikalische Förderung bedeutet dies, dass übertriebener Ehrgeiz sogar schädlich sein kann, wenn er dem Kind zu einem Zeitpunkt Leistungen abverlangt, zu denen es noch nicht bereit ist. Es kann passieren, dass die intrinsische Motivation langfristig Schaden nimmt, wenn die Situation als zu starke Belastung und als äußerer Zwang empfunden wird. Als Folge entstehen entweder Stress und innerer Leistungsdruck oder es werden genau jene Lernbereiche, die eigentlich gefördert werden sollten, in einem späteren Lebensalter gemieden, da sie fortan als unangenehm erinnert werden. Vielmehr gilt es, Vertrauen zu haben, dass sich das Kind normalerweise selbst Reize und Situationen sucht, die zu seinem Entwicklungsstand und seinen aktuellen Fähigkeiten passen, sodass man spielerisch dort ansetzen kann, wo das Kind gerade steht. Bei jungen Kindern kann dies durch gemeinsames Singen oder spontanes Bewegen zur gehörten Melodien geschehen, wenn sich passende Situationen ergeben.

Unserer Auffassung nach sollte es nicht so sehr um die Frage gehen, wie ein Weniger an Begabung durch ein Mehr an Motivation und exzessives Üben wettgemacht werden kann, um alle Kinder auf ein vergleichbares Leistungsniveau zu bringen, sondern eher darum, besondere Interessen und Motivationen aufzugreifen, um die dahinter liegenden Begabungen gezielt zu fördern. Da sich der Lernerfolg und das Ausmaß an Neuroplastizität vermutlich direkt proportional zum veranlagten Potenzial 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.

Literatur

- Altenmüller, E. (2008). Neurology of musical performance. *Clinical Medicine*, 8, 410-413.
- Altenmüller, E. & Gruhn, W. (1997). *Music, the brain, and music learning*. Chicago: GIA Publications.
- Bailey, P. J. & Snowling, M. J. (2002). Auditory processing and the development of language and literacy. *British Medical Bulletin*, 63, 135-146.

- Becker, N. (2006). *Die neurowissenschaftliche Herausforderung der Pädagogik*. Bad Heilbrunn: Julius Klinkhardt.
- Bhattacharya, J. & Petsche, H. (2001a). Enhanced phase synchrony in the electroencephalograph gamma band for musicians while listening to music. *Physical Review E, Statistical, Nonlinear, and Soft Matter Physics*, 64(1 Pt 1), 012902.
- Bhattacharya, J. & Petsche, H. (2001b). Musicians and the gamma band: a secret affair? *Neuroreport*, 12(2), 371-374.
- Bhattacharya, J. & Petsche, H. (2005). Drawing on mind's canvas: differences in cortical integration patterns between artists and non-artists. *Human Brain Mapping*, 26(1), 1-14.
- Bhattacharya, J., Petsche, H., Feldmann, U. & Rescher, B. (2001). EEG gamma-band phase synchronization between posterior and frontal cortex during mental rotation in humans. *Neuroscience Letters*, 311(1), 29-32.
- Bhattacharya, J., Petsche, H. & Pereda, E. (2001). Long-range synchrony in the gamma band: role in music perception. *The Journal of Neuroscience*, 21(16), 6329-6337.
- Blakemore, S. J. & Frith, U. (2006). *Wie wir lernen. Was die Hirnforschung darüber weiß*. München: Deutsche Verlagsanstalt.
- Bregman, A. S. & Mc Adams, S. (1994). Auditory scene analysis: The perceptual organization of sound. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95(2), 1177-1178.
- Bruer, J. T. (2002). *Der Mythos der ersten drei Jahre. Warum wir lebenslang lernen*. Weinheim: Beltz.
- Butzlaff, R. (2000). Can music be used to teach reading? *Journal of Aesthetic Education*, 34, 3-4.
- Carroll, J. B. (Ed.). (1993). *Human cognitive abilities: A survey of factor-analytic studies*. New York: Cambridge University Press.
- Eggermont, J. J. & Ponton, C. W. (2002). The neurophysiology of auditory perception: From single units to evoked potentials. *Audiology & Neuro-Otology*, 7, 71-99.
- Ericsson, K. A. (1996). *The road to excellence: The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games*. Mahwah, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gagné, F. (1985). Giftedness and talent: Reexamining a reexamination of the definitions. *Gifted Child Quarterly*, 29, 103-112.
- Gagné, F. (1993). Constructs and models pertaining to exceptional human abilities. In K. A. Heller, F. J. Mönks & A. H. Passow (Eds.), *International handbook of research and development of giftedness and talent*. Elmsford, NY: Pergamon Press.
- Gardner, H. (Ed.). (1983). *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. New York: Basic Books.
- Gaser, C. & Schlaug, G. (2003). Gray matter differences between musicians and nonmusicians. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 514-517.
- Gembris, H. (Hg.). (2009). *Grundlagen musikalischer Begabung* (3. Aufl.). Augsburg: Wißner.
- Gruhn, W., Hofmann, E. & Schneider, P. (2012). Grundtonhören und Obertonhören. Hörtypen und ihre Instrumente. *Üben & Musizieren*, 1. Mainz: Schott.
- Gruhn, W. & Rauscher, F. H. (Eds.) (2008). *Neurosciences in Music Pedagogy*. New York: Nova Science.
- Gruhn, W. (2003). *Kinder brauchen Musik: Musikalität bei kleinen Kindern entfalten und fördern*. Weinheim: Beltz.
- Guilford, J. P. (Ed.). (1967). *The nature of human intelligence*. New York: McGraw-Hill.

- Hämäläinen, J. A., Salminen, H. K. & Leppänen, P. H. T. (2013). Basic auditory processing deficits in dyslexia: Systematic review of the behavioral and event-related potential/field evidence. *Journal of Learning Disabilities*, 46, 413-417
- Herholz, S. C. & Zatorre, R. J. (2012). Musical training as a framework for brain plasticity: behavior, function, and structure. *Neuron*, 76(3), 486-502.
- Herrmann, C. S., Fründ, I. & Lenz, D. (2010). Human gamma-band activity: A review on cognitive and behavioral correlates and network models. *Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(7), 981-992.
- Heschl, R. L. (1878). Über die vordere quere Schläfenwindung (Dissertation). Wien.
- Hofstätter, P. R. (1971). *Differentielle Psychologie*. Stuttgart: Kröner.
- Hulshoff Pol, H. E., Schnack, H. G., Posthuma, D., Mandl, R. C. W., Baare, W. F., van Oel, C., et al. (2006). Genetic contributions to human brain morphology and intelligence. *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(6), 674-689.
- Jäncke, L. (2008). *Macht Musik schlau? Neue Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften und der kognitiven Psychologie* (1. Aufl.). Bern: Huber.
- Kandinsky, V. (1973). *Punkt und Linie zu Fläche. Beitrag zur Analyse malerischer Elemente*. Bern: Benteli Verlag.
- Krumbholz, K., Patterson, R. D., Seither-Preisler, A., Lammertmann, C. & Lütkenhöner, B. (2003). Neuromagnetic evidence for a pitch processing center in Heschl's gyrus. *Cerebral Cortex*, 13(7), 765-772.
- Leonard, C., Eckert, M., Given, B., Virginia, B. & Eden, G. (2006). Individual differences in anatomy predict reading and oral language impairments in children. *Brain: A Journal of Neurology*, 129(Pt 12), 3329-3342.
- Leonard, C. M., Eckert, M. A., Lombardino, L. J., Oakland, T., Kranzler, J., Mohr, C. M., et al. (2001). Anatomical risk factors for phonological dyslexia. *Cerebral Cortex*, 11(2), 148-157.
- Neubauer, A. & Stern, E. (Hg.). (2007). *Lernen macht intelligent*. München: Deutsche Verlags-Anstalt.
- Norton, A., Winner, E., Cronin, K., Overy, K., Lee, D. J. & Schlaug, G. (2005). Are there pre-existing neural, cognitive, or motoric markers for musical ability? *Brain and Cognition*, 59(2), 124-134.
- Overy, K. (2003). Dyslexia and music: From timing deficits to musical intervention. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999(1), 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.
- Overy, K. & Turner, R. (2009). The rhythmic brain. *Cortex*, 45(1), 1-3.
- Palmer, S. E. (1999). *Vision Science*. Cambridge (USA): MIT Press.
- Park, J. Y., Park, H., Kim, J. I. & Park, H. J. (2011). Consonant chords stimulate higher EEG gamma activity than dissonant chords. *Neuroscience Letters*, 488(1), 101-105.
- 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. *Attention Deficit and Hyperactivity Disorders*, 2(3), 115-126.

- Preisler, A. (1993). The influence of spectral composition of complex tones and of musical experience on the perceptibility of virtual pitch. *Perception & Psychophysics*, 54(5), 589-603.
- Rittelmeyer, C. (2012). *Warum und wozu ästhetische Bildung? Über Transferwirkungen künstlerischer Tätigkeiten. Ein Forschungsüberblick* (2. Aufl.) Athena-Verlag.
- Roth, G. (2011). *Bildung braucht Persönlichkeit. Wie Lernen gelingt*. Stuttgart: Klett-Cotta.
- Schellenberg, E. G. (2004). Music lessons enhance IQ. *Psychological Science*, 15, 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. (2011). Music lessons, emotional intelligence, and IQ. *Music Perception*, 29, 185-194.
- Schlaug, G., Jaencke, L., Huang, Y., Staiger, J. F. & Steinmetz, H. (1995). Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia*, 33(8), 1047-1055.
- Schneider, P. (2005). Obertöne brummen rechts im Hirn. ZEIT Online, 11. August 2005
- Schneider, P., Andermann, M., Wengenroth, M., Goebel, R., Flor, H., Rupp, A., et al. (2009). Reduced volume of Heschl's gyrus in tinnitus. *NeuroImage*, 45(3), 927-939.
- 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. & Seither-Preisler, A. (in Vorb.). Neurokognitive Korrelate von JeKi-bezogenem und außerschulischem Musizieren. In *Ergebnisse des JeKi-Forschungsschwerpunktes (Empirische Bildungsforschung)*, hg. vom Bundesministerium für Bildung und Forschung, Berlin.
- 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. *Nature Neuroscience*, 8(9), 1241-1247.
- Schneider P. & Wengenroth, M. (2009). Neural basis of individual holistic and spectral sound perception. *Contemporary Music Review*, 28(3), 315-328.
- Schumacher, R. et al. (2006) (Hg.). *Macht Mozart schlau? Die Förderung kognitiver Kompetenzen durch Musik. Bildungsforschung Bd. 18*. Berlin: Bundesministerium für Bildung und Forschung.
- Seely, K. (1993). Gifted students at risk. In L. Silverman (Ed.), *Counseling the gifted and talented*. Denver: Love Publishing.
- Seither, S. & Seither-Preisler, A. (2012). *Skalenhandbuch Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens (AMseL) – Erste und zweite Messphase 2010-2012*. Datenpool Bremen.
- 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(3), 125-148.
- Seither-Preisler, A., Krumbholz, K. & Lütkenhöner, B. (2003). Sensitivity of the neuromagnetic N100m deflection to spectral bandwidth: a function of the auditory periphery? *Audiology & Neuro-Otology*, 8(6), 322-337.
- Seither-Preisler, A., Krumbholz, K., Patterson, R., Seither, S. & Lütkenhöner, B. (2006a). Evidence of pitch processing in the N100m component of the auditory evoked field. *Hearing Research*, 8(6), 322-337.
- Seither-Preisler, A., Patterson, R. D., Krumbholz, K., Seither, S. & Lütkenhöner, B. (2006b).

- From noise to pitch: Transient and sustained responses of the auditory evoked field. *Hearing Research*, 218, 50-63.
- Seither-Preisler, A., Johnson, L., Krumbholz, K., Nobbe, A., Patterson, R., Seither, S., et al. (2007). Tone sequences with conflicting fundamental pitch and timbre changes are heard differently by musicians and nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 33(3), 743-751.
- Seither-Preisler, A. & Schneider, S. (2014). Bilateral synchronization of primary auditory cortex promotes musical and attentional skills in children. *Journal of Neuroscience*, 34(33), 10937-10949.
- Shahin, A., Bosnyak, D. J., Trainor, L. J. & Roberts, L. E. (2003). Enhancement of neuroplastic P2 and N1c auditory evoked potentials in musicians. *Journal of Neuroscience*, 23(13), 5545-5552.
- Sharma, A., Kraus, N., McGee, T. J. & Nicol, T. G. (1997). Developmental changes in P1 and N1 central 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., et al. (2005). P1 latency as a biomarker for central auditory development in children with hearing impairment. *Journal of the American Academy of Audiology*, 16(8), 564-573.
- Sloboda, J. A. (1993). Musical ability. In G. R. Bock & K. Ackrill (Eds.), *The origins and development of high ability* (pp. 106-118). Chichester: Wiley.
- Sluming, V., Brooks, J., Howard, M., Downes, J. J. & Roberts, N. (2007). Broca's area supports enhanced visuospatial cognition in orchestral musicians. *The Journal of Neuroscience*, 27(14), 3799-3806.
- Spitzer, M. (2003): Medizin für die Pädagogik. ZEIT Online, 18. September 2003
- Stern, E. & Neubauer, A. (2013). *Intelligenz – Große Unterschiede und ihre Folgen* (1. Aufl.). München: Deutsche Verlagsanstalt.
- Stern, E. (2005). Pedagogy meets neuroscience. *Science*, 310(5749), 745.
- Tallal, P. & Gaab, N. (2006). Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in Neurosciences*, 29(7), 382-390.
- Tallon-Baudry, C., Bertrand, O., Peronnet, F. & Pernier, J. (1998). Induced gamma-band activity during the delay of a visual short-term memory task in humans. *Journal of Neuroscience*, 18, 4244-4254.
- Tantschinez, C. (2006). Welcher Hörtyp sind Sie? *Audio – Motor Presse, Stuttgart*, 3, 8-12.
- Thurstone, L. L. (Ed.). (1938). *Primary Mental Abilities*. Chicago: The University of Chicago Press.
- Trainor, L. J., Shahin, A. J. & Roberts, L. E. (2009). Understanding the benefits of musical training: effects on oscillatory brain activity. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1169, 133-142.
- von Helmholtz, H. (1863) *Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, Braunschweig (Gesammelte Schriften, Band 2, Hildesheim 2003).
- von Helmholtz, H. (1954). In Ellis A. J. (Ed.), *On the sensations of tone as a physiological basis of the theory of music*. New York: Dover Publications.
- 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.

- 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., Reinhardt, J., Stippich, C., Hofmann, E., et al. (2014). Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cerebral Cortex*, 24(5), 1127-1137
- Wilfling, B. (2011). Psychoakustische Effekte und neuronale Korrelate individueller Klangwahrnehmung. Unveröff. Dissertation, Naturwissenschaftliche Fakultät der Karl-Franzens-Universität Graz, Graz.
- Winner, E. (1996). The rage to master: The decisive role of talents in the visual arts. In K. A. Ericsson (Ed.), *The road to excellence. The acquisition of expert performance in the arts and sciences, sports, and games* (pp. 271-301). Mahwah, NJ: Erlbaum.
- Zatorre, R. & Belin, P. (2001). Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cerebral Cortex*, 11, 946-953.

Anmerkungen

¹ Die von den beiden Autoren durchgeführte Studie *Audio- und Neuroplastizität des musikalischen Lernens (AMseL)* wurde vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Rahmen der Begleitforschung zu dem Bildungsprogramm *Jedem Kind ein Instrument (JeKi)* als Verbundprojekt 01KJ0809 / 01KJ0810 gefördert.