

Günther Bernatzky
Gunter Kreutz



Musik und Medizin

Chancen für Therapie,
Prävention
und Bildung

 Springer

Günther Bernatzky
Gunter Kreutz
(Hrsg.)

Musik und Medizin

Chancen für Therapie, Prävention und Bildung

Mit 52 Abbildungen

 Springer

Herausgeber

Prof. Dr. Günther Bernatzky
Fachbereich Ökologie und Evolution
Universität Salzburg
Salzburg, Österreich

Prof. Dr. Gunter Kreutz
Institut für Musik
Carl von Ossietzky Universität Oldenburg
Oldenburg, Deutschland

ISBN 978-3-7091-1598-5
DOI 10.1007/978-3-7091-1599-2

ISBN 978-3-7091-1599-2 (eBook)

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über ► <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Springer-Verlag Wien 2015

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Speicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen.

Umschlaggestaltung: deblik Berlin
Fotonachweis Umschlag: © ThinkStock
Satz: Crest Premedia Solutions (P) Ltd., Pune, India

Gedruckt auf säurefreiem und chlorfrei gebleichtem Papier

Springer-Verlag Wien ist Teil der Fachverlagsgruppe Springer Science+Business Media
www.springer.com

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
	<i>Günther Bernatzky und Gunter Kreutz</i>	
I	Sozio-kulturelle und psycho-biologische Grundlagen	
2	Musik und Wohlbefinden – ein dynamisch wachsendes Forschungsgebiet	7
	<i>Gunter Kreutz und Günther Bernatzky</i>	
2.1	Was ist Musik? Eine erste Annäherung	8
2.2	Vom Menschen zur Musik	9
2.3	Warum Musik?	10
2.4	Wohlbefinden und Gesundheit	10
2.5	Modelle	11
	Literatur	15
3	Musik und Medizin – ein Überblick	17
	<i>Claudia Spahn, Günther Bernatzky, Gunter Kreutz</i>	
3.1	Musik in der Medizin – Musikmedizin	18
3.2	Musiktherapie	19
3.3	Musik im Krankenhaus	20
3.4	Musikermedizin	20
3.5	Musikphysiologie	21
3.6	Angrenzende Fachgebiete	22
	Literatur	23
4	Musik, Kultur und Gesundheitsforschung vom Individuum zur Bevölkerung	25
	<i>Jostein Holmen, Koenraad Cuypers, Töres Theorell, Steinar Krokstad</i>	
4.1	Vom Gesundheitsrisiko zur Gesundheitsförderung	26
4.1.1	Kultur und Gesundheit in der HUNT-Studie, Norwegen	26
4.2	Kulturelle Teilhabe und Gesundheit	30
4.2.1	Historischer Hintergrund	30
4.2.2	Kultursoziologische Ansätze in der Gesundheitsforschung	31
4.2.3	Empirische Befunde	32
4.2.4	Zusammenfassung	33
4.3	Embodiment: psychobiologische Wirkungen musikalisch-kultureller Erfahrungen	34
4.3.1	Einflüsse musikalischer Aktivitäten auf die Gesundheit in der Bevölkerung	34
4.3.2	Lebensphasen	36
4.3.3	Zusammenfassung	40
4.4	Sozio-ökonomische Ungleichheit in Gesundheitssystemen und in kultureller Teilhabe	40
4.4.1	Sozio-ökonomische Ungleichheit und Gesundheit	40
4.4.2	Sozio-ökonomische Ungleichheiten in Gesundheitsförderung und Vorsorge	41
4.4.3	Kulturelle Teilhabe und Gesundheit	42
4.4.4	Kulturelle Teilhabe und gesunder Lebensstil	43
4.4.5	Fördert kulturelle Teilhabe die allgemeine Gesundheit?	43
	Literatur	44

21.4	Funktion des Instruments Stimme	331
21.5	Fähigkeiten des Instruments Stimme	331
21.6	»Care und Cure« der professionellen Stimme	332
21.7	Rezeption und Einsatz der Stimme	333
21.8	Stimme im Kontext individueller und sozialer Gesundheit	334
21.9	Singen – positive gesundheitliche Aspekte	334
	Literatur	335
22	Musizieren und Emotionsregulation bei Grundschulkindern	337
	<i>E. Kamala Friedrich, Ingo Roden, Emily Frankenberg, Gunter Kreutz, Stephan Bongard</i>	
22.1	Einleitung	338
22.2	Musik und Emotionen bei Erwachsenen und Kindern	339
22.3	Emotionen und Emotionsregulation	339
22.4	Emotionsregulation durch Musik	342
22.4.1	Musikalische Emotionsregulation bei Erwachsenen	342
22.4.2	Musikalische Emotionsregulation bei Jugendlichen	343
22.4.3	Musikalische Emotionsregulation bei Kindern	347
22.5	Musik und negative Emotionen	348
22.5.1	Stress-, Angst- und Schmerzreduktion durch Musik	348
22.5.2	Auftrittsängstlichkeit	350
22.6	Fragebogen zu Emotionen beim Instrumentenlernen (FEIL)	352
22.7	Zusammenfassung	354
	Literatur	355
23	Musik und kognitive Entwicklung	359
	<i>Franziska Degé und Gudrun Schwarzer</i>	
23.1	Einleitung	360
23.2	Musikhören	360
23.3	Musikunterricht	361
23.3.1	Musikunterricht und Intelligenz	362
23.3.2	Erklärungen des Einflusses von Musikunterricht auf die Intelligenz	364
23.3.3	Die Rolle exekutiver Funktionen	365
23.3.4	Musikunterricht und Gedächtnis	365
23.3.5	Musikunterricht und visuell-räumliche Fähigkeiten	366
23.3.6	Musikunterricht und Sprache	367
23.3.7	Musikunterricht und schulische Leistungen	369
23.3.8	Musikunterricht, Wohlbefinden und Gesundheit	370
	Literatur	371
24	Positive Effekte des Musizierens auf Wahrnehmung und Kognition aus neurowissenschaftlicher Perspektive	375
	<i>Annemarie Seither-Preisler und Peter Schneider</i>	
24.1	Messung von kognitiven und musikalischen Fähigkeiten	376
24.2	Musikalische Transferwirkungen	378
24.3	Musizieren und Lese-Rechtschreib-Kompetenz	382
24.4	Neuronale Korrelate von Intelligenz, Kreativität und Musikalität	384
24.5	Individuelle Unterschiede in der auditiven Wahrnehmung und neuronalen Informationsverarbeitung	387
	Literatur	390

Positive Effekte des Musizierens auf Wahrnehmung und Kognition aus neurowissenschaftlicher Perspektive

Annemarie Seither-Preisler und Peter Schneider

- 24.1 Messung von kognitiven und musikalischen Fähigkeiten – 376
- 24.2 Musikalische Transferwirkungen – 378
- 24.3 Musizieren und Lese-Rechtschreib-Kompetenz – 382
- 24.4 Neuronale Korrelate von Intelligenz, Kreativität und Musikalität – 384
- 24.5 Individuelle Unterschiede in der auditiven Wahrnehmung und neuronalen Informationsverarbeitung – 387
- Literatur – 390

Im Folgenden wird der Frage nachgegangen, ob durch aktives Musizieren Transfereffekte in kognitive Bereiche, wie sprachliche und mathematische Fähigkeiten oder die Lese-Rechtschreib-Kompetenz, zu erwarten sind. Zudem werden Einblicke vermittelt, welche Gehirnfunktionen an kognitiven und kreativ-musischen Leistungen beteiligt sind. Abschließend wird darauf eingegangen, wie sich individuelle musikalische Begabungen im Gehirn abbilden und wie diese durch Training gefördert werden können.

Bereits seit dem Ende des 19. Jahrhunderts gehen Wissenschaftler der Frage nach, warum sich Menschen hinsichtlich ihrer kognitiven und künstlerischen Fähigkeiten unterscheiden. Die empirische Psychologie und insbesondere die Intelligenzforschung hatten einen starken Einfluss auf die sich erst später entwickelnde Kreativitätsforschung. Dabei wurde von Anfang an die Frage nach dem Zusammenspiel beider Bereiche gestellt. Sind intelligente Menschen auch besonders kreativ? Haben Malen, Tanzen oder Musizieren positive Auswirkungen auf die Fähigkeit, Probleme zu lösen oder sich sprachlich gut zu artikulieren? Kann man solche Effekte auch im Gehirn nachweisen?

24.1 Messung von kognitiven und musikalischen Fähigkeiten

Zunächst soll kurz skizziert werden, wie kognitive und musikalische Fähigkeiten gemessen werden, um diese systematisch zu erforschen und miteinander in Beziehung zu setzen.

Die Intelligenzforschung blickt inzwischen auf eine etwa 100-jährige Geschichte zurück. Cattell stellte im Jahr 1941 ein frühes Modell der menschlichen Intelligenz vor, das in seinen Grundzügen noch heute aktuell ist. Einerseits wird eine genetisch bedingte fluide Intelligenz angenommen, welche in der Verarbeitungsgeschwindigkeit und den allgemeinen Fähigkeiten des Schlussfolgerns und Problemlösens zum Ausdruck kommt, andererseits eine erworbene kristallisierte Intelligenz, welche sich im Wort- und Wissensschatz und in konkreten Lösungsstrategien niederschlägt. Empirische Studien haben mittlerweile gezeigt, dass fluide Anteile ihren Höhepunkt um das 20. Lebensjahr erreichen und danach geringfügig, aber kontinuierlich abnehmen, während kristallisierte Anteile noch bis ins hohe Alter zunehmen können (Cavanaugh u. Blanchard-Fields 2011).

Bereits früh wurde kontrovers diskutiert, ob Intelligenz ein einheitliches Phänomen ist oder es mehrere, voneinander unabhängige »Intelligenzen« gibt. Diese Frage ist deshalb von Belang, weil Transferwirkungen vom musikalischen in den kognitiven Bereich umso wahrscheinlicher sind, je stärker übergreifende Faktoren wirksam sind, die beide Bereiche miteinander verbinden. Darüber hinaus spielt es auch eine Rolle, in welchem Ausmaß kognitive und musikalische Fähigkeiten stabile Begabungen repräsentieren oder als plastisch und lernbedingt anzusehen sind. Während Cattell die Idee eines Generalfaktors der Intelligenz vertrat, ging Thurstone (1938) von einer Reihe weitgehend unabhängiger Faktoren aus, welche den verbalen, numerischen, visuell-räumlichen Bereich sowie das Gedächtnis und die Verarbeitungsgeschwindigkeit betreffen. Später wurden sogenannte dimensionale Modelle entwickelt, die mehrere hierarchische Faktoren mit einem allgemeinen Generalfaktor, dem »g-factor«, an der Spitze annehmen. Der erste Vertreter dieses Ansatzes war Joy Paul Guilford, der im Jahr 1967 das Structure-of-Intellect-Modell vorstellte. Er inspirierte damit zahlreiche Wissenschaftler, die diesen Ansatz weiterentwickelten, sodass dieser heute in seinen Grundzügen als allgemein akzeptiert gilt (Neubauer u. Stern 2007; Stern u. Neubauer 2013). John B. Carroll (1993) schlug ein dimensionales Modell mit einem Generalfaktor, sieben Sekundärfähigkeiten und einer Reihe weiterer untergeordneter Tertiärfaktoren vor. Die Sekundärfaktoren umfassen neben

den klassischen kognitiven Domänen auch die visuelle und auditive Wahrnehmung, womit ein gewisser Bezug zum künstlerischen und musikalischen Bereich hergestellt wird. Daneben wurden Ansätze vorgeschlagen, die auch soziale Fähigkeiten und Kreativität in das Konzept der Intelligenz einzugliedern versuchten. Explizit zu nennen wäre hier die Theorie der multiplen Intelligenzen von Howard Gardner (1983), welche neben der linguistischen, der logisch-mathematischen und der intra- und interpersonellen Intelligenz (welche sich auf emotionale bzw. soziale Fähigkeiten beziehen) auch ästhetische Bereiche umfassen, z.B. die körperlich-kinästhetische, die bildlich-räumliche und die musikalisch-rhythmische Intelligenz. Als Merkmale der musikalischen Intelligenz werden die Tonhöhen-, Klangfarben- und Rhythmuswahrnehmung sowie die Fähigkeit, emotionale Wirkungen von Musik zu erleben, genannt. Gardner nimmt an, dass jeder Intelligenzbereich im Gehirn durch ein eigenes Verarbeitungssystem repräsentiert ist, da Hirnschädigungen zum Ausfall spezifischer Systeme führen können. Dies ist z.B. dann der Fall, wenn musikalische Fähigkeiten verloren gehen, ohne dass kognitive Fähigkeiten nennenswert beeinträchtigt wären. Des Weiteren können in den genannten Bereichen auch spezifische Hoch- oder Minderbegabungen auftreten.

Neben Intelligenzmodellen, die den Bereich des Musikalischen zumindest in Ansätzen zu integrieren versuchten, wurden auch eigenständige Modelle zur Bestimmung der Musikalität entwickelt. Methodisch sind auch diese eng an die Intelligenzforschung angelehnt. So vertrat Wing (1939/1961) ein Generalfaktor-Modell der Musikalität, bei dem sich bestimmte Bereiche (rhythmische, melodische, harmonische Fähigkeiten) unterscheiden lassen. Im Gegensatz dazu nahm Seashore (1919) in seinen frühen Forschungen an, dass es sich bei den genannten Fähigkeiten um unabhängige Teilbereiche handelt.

Als Mittelweg schlug Edwin Gordon (1965, 1986) ein eklektisches Modell vor, welches heute von vielen Musikalitätsforschern favorisiert wird. Während in den historischen Tests von Wing und Seashore Musikalität eher als Leistungsmerkmal (»musical achievement«) betrachtet wurde, welches über eine Testung von auditiven Unterschiedsschwellen erfasst werden kann, stellte Gordon eher den Begabungsaspekt (»musical aptitude«) und komplexere Informationsverarbeitungsprozesse in den Vordergrund. Zum einen wird zwischen melodischer und rhythmischer Tonvorstellung sowie dem musikalischen Empfinden für Phrasierung unterschieden und angenommen, dass jede Person hinsichtlich dieser Dimensionen ein individuelles Begabungsprofil zeigt. Zum anderen wird – ähnlich wie in den Strukturmodellen der Intelligenz – postuliert, dass diese Teilbereiche zusammenhängen und somit als Aspekte des übergeordneten Merkmals Musikalität aufgefasst werden können.

Nach Gordons musikalischer Lerntheorie äußert sich die musikalische Begabung in der Fähigkeit zur sogenannten Audiation. Dieser Begriff wurde von Gordon selbst geprägt und beschreibt das Ausmaß an mentaler Klangvorstellungskraft.

➤ **Audiation besteht in der Fähigkeit, Musik zu hören und zu verstehen, die nicht tatsächlich erklingt, sondern imaginativ vorgestellt wird. Für die Musik ist Audiation also etwa das, was für die Sprache das Denken ist.**

Wie man beim Hören von Sprache denkt oder beim Denken innerlich mit sich selbst spricht, so findet beim Hören und Vorstellen von Musik Audiation statt. Damit stellt Gordon das Konzept der Musikalität in die Nähe sprachlicher Fähigkeiten, welche auch in Intelligenzmodellen eine wichtige Rolle spielen. Aus dieser Perspektive scheinen Transfereffekte zwischen beiden Bereichen plausibel. Nach bisherigen empirischen Befunden wird davon ausgegangen, dass sich das Potenzial der Klangvorstellung bis zu einem Alter von 9 Jahren in einer sensiblen Entwicklungsphase befindet (Gordon 1986) und sowohl den individuellen musikalischen Reifeprozess

als auch die damit verbundene neuronale Vernetzung spezifisch auditiver und allgemein kognitiver/emotionaler Gehirnfunktionen beeinflusst (Koelsch et al. 2005; Zatorre 2003). Danach scheint die Audiation in eine stabile Phase überzugehen, in welcher sich die Leistungen zwar weiter verbessern, aber das Ausmaß der Veränderung bei Kenntnis des Potenzials weitgehend vorhersagbar ist.

24.2 Musikalische Transferwirkungen

Kürzlich widmete der Göttinger Pädagogikprofessor Christian Rittelmeyer dem Thema der ästhetischen Bildung und ihren Transferwirkungen in den kognitiven Bereich ein Buch, in welchem er umfassend auf positive Begleiterscheinungen der Kunst- und Musikerziehung sowie der Beschäftigung mit Theater und Tanz eingeht. Aufgrund des vorliegenden Forschungsmaterials plädiert er »in einer Zeit, in der künstlerische Schulfächer zunehmend zugunsten mathematisch-naturwissenschaftlicher und sprachbezogener Kompetenzen an den Rand gedrängt werden« (Rittelmeyer 2012, Klappentext) für eine Rehabilitierung ästhetischer Bildung. Zugleich verdeutlicht er, dass die bildende Wirkung ästhetischer Tätigkeiten nicht auf Transferwirkungen beschränkt ist und auch nicht Hauptziel der pädagogischen Förderung sein sollte. Auch der Begabungsforscher Wilfried Gruhn relativiert die Bedeutung möglicher Transferwirkungen (Gruhn 2003, S. 100):

- » Die immer wieder neu angestoßene Debatte um die kognitiven Effekte der musikalischen Erziehung soll nicht das eigentliche Anliegen verdecken, dass es darum geht, Kindern Musik als ein elementares Ausdrucksmittel nahe zu bringen, dessen rhythmische und melodische Grundlagen vitalen menschlichen Grundbedürfnissen entspringen, und nicht darum, Musik wegen der ungesicherten Nebeneffekte zu instrumentalisieren.

Dieser Sicht wird wohl kaum jemand widersprechen. Da jedoch in bildungspolitischen Diskussionen Transferwirkungen häufig als Argument zur Rechtfertigung künstlerischer und musikalischer Bildung herangezogen werden, werden wir im Folgenden die empirische Befundlage zu diesem Thema näher betrachten.

Im Bereich der Transferforschung werden verschiedene Arten von Effekten unterschieden. Positiver Transfer meint eine Verbesserung, negativer Transfer eine Verschlechterung von Leistungen, welche mit dem ursprünglichen Trainingsbereich in Beziehung stehen. Vorgeschlagen wurden auch die Begriffe »Nahtransfer« oder »lateral Transfer« für die Anwendung erlernter Kompetenzen auf Situationen vergleichbarer Komplexität und »Ferntransfer« oder »vertikaler Transfer« für eine Übertragung auf unähnliche Situationen bzw. auf Aufgaben höher Komplexität (Neubauer u. Stern 2007; Neubauer et al. 2005). Ein Beispiel für einen Nahtransfer ist die Wirkung aktiven Musizierens auf die Hörwahrnehmung inklusive der Spracherkennung. Ein Beispiel für einen Ferntransfer ist die Wirkung auf kognitive Fähigkeiten, wie Problemlösen, mathematische oder schriftsprachliche Kompetenzen.

Forschungen zur Beziehung zwischen Intelligenz und Kreativität sowie Intelligenz und Musikalität zeigen in der Regel moderate, aber konstant positive Zusammenhänge. So berichten Feist und Barron (2003), dass überdurchschnittlich kreative Personen, wie Künstler, Wissenschaftler und Schriftsteller, in der Regel auch über eine hohe Allgemeinintelligenz verfügen. Anekdotisch wird berichtet, dass herausragende Komponisten wie Mozart, Bach oder Beethoven über eine ausgesprochen hohe Intelligenz verfügt haben sollen – eine Annahme, die post hoc allerdings nicht mehr überprüfbar ist. Empirische Studien ergaben, dass musikalisch

Hochbegabte in der Regel zumindest einen überdurchschnittlichen IQ aufweisen (Kormann 1989). Die gefundenen Korrelationen zwischen Intelligenz und Musikalität liegen in verschiedenen Studien zwischen 0,2 und 0,45, was einer Varianzaufklärung zwischen 4 und 20% entspricht. Vergleiche zwischen erwachsenen Musikern und Nicht-Musikern zeigten, dass Ersterer in Bezug auf die Wahrnehmungsgeschwindigkeit und Flexibilität der Gestaltwahrnehmung deutlich besser abschneiden (Helmbold et al. 2006, 2007). Die Autoren vermuten, dass die Wahrnehmungsfähigkeit bei Musikern deshalb stärker entwickelt ist, weil diese entweder von vornherein Bestandteil der musikalischen Begabung ist oder als Folge häufigen Notenlesens gezielt trainiert wird.

Gruhn (2003) befasste sich mit der Frage, ob bei jungen Kindern im Alter zwischen 3 und 7 Jahren ein Zusammenhang zwischen musikalischen Fähigkeiten und der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit besteht. Ein Vergleich der Leistungen von Kindern mit und ohne Musikunterricht ergab, dass erstere signifikant besser abschnitten. Zudem zeigte sich eine deutliche positive Korrelation zwischen der kognitiven Verarbeitungsgeschwindigkeit und der Dauer des musikalischen Trainings. In einer Studie von Lynn et al. (1989) mit Grundschulkindern wurde der Zusammenhang zwischen der allgemeinen Intelligenz und der Fähigkeit zur Unterscheidung von Rhythmen und Tonhöhen untersucht. Auch hier korrelierten die Ergebnisse der Intelligenz- und Musikalitätstests positiv.

Inzwischen existieren mehrere Studien zu den Wirkungen aktiven Musizierens auf das Hörvermögen und der Frage, ob sich diese ihrerseits auf sprachliche und sprachnahe Funktionen auswirken. Schön et al. (2004) untersuchten, ob sich erwachsene Musiker von Nicht-Musikern hinsichtlich der Fähigkeit unterscheiden, Tonhöhenabweichungen in musikalischen Sequenzen und gesprochenen Sätzen zu erkennen. Die Musiker erzielten nicht nur, wie erwartet, im musikalischen Bereich bessere Leistungen, sondern waren auch beim Erkennen der Sprachmelodie deutlich überlegen. Zudem zeigten die im Gehirn mittels akustischer Stimulation ausgelösten Antworten (auditorisch evozierte Potenziale und Felder), dass die Musiker sensibler auf die entsprechenden Tonhöhenabweichungen reagierten. Eine spätere Untersuchung ergab, dass sich solche Unterschiede bereits bei 8 Jahre alten nicht musizierenden und musizierenden Kindern beobachten lassen (Magne et al. 2006).

Eine aussagekräftige Längsschnittstudie zu kognitivem Nah- und Ferntransfer bei Kindern und Jugendlichen stammt von einer chinesischen Forschergruppe (Ho et al. 2003), die die sprachlichen und räumlich-visuellen Gedächtnisleistungen von 6- bis 15-Jährigen untersuchte. Ein Teil der Kinder hatte bereits vor Studienbeginn ein musikalisches Training erhalten, welches über den einjährigen Untersuchungszeitraum hinweg fortgesetzt wurde. Ein weiterer Teil erhielt ab Studienbeginn Unterricht. Bereits zu Beginn der Untersuchung zeigte sich, dass die Kinder mit vorangegangenen musikalisches Training trotz eines vergleichbaren sozioökonomischen Umfeldes in ihren sprachlichen, nicht aber in ihren räumlich-visuellen Gedächtnisleistungen besser abschnitten. Über den Untersuchungszeitraum verbesserte sich das sprachliche Gedächtnis dieser Kinder weiter. Auch Kinder, die vor Beginn der Untersuchung noch keinen Musikunterricht erhalten hatten, zeigten nach dem einjährigen Training deutlich verbesserte sprachliche – nicht aber räumlich-visuelle – Gedächtnisleistungen. Hingegen kam es bei jenen Kindern, die den Musikunterricht vorzeitig abgebrochen hatten, zu keinem Leistungsanstieg im sprachlichen Gedächtnis. Insgesamt zeigen diese Ergebnisse also, dass der Musikunterricht zu einem positiven Nahtransfer in den sprachlichen, nicht jedoch zu einem positiven Ferntransfer in den visuell-räumlichen Bereich führte.

Eine weitere, relativ bekannte Längsschnittstudie stammt von Schellenberg (2004). Er teilte 144 Kinder nach dem Zufallsprinzip einer von vier Gruppen zu. Eine Gruppe erhielt ein Jahr lang Klavierunterricht, eine Gesangsunterricht und eine weitere Schauspielunterricht.

Die vierte Gruppe wurde nicht zusätzlich unterrichtet. Alle vier Gruppen wiesen nach einem Jahr einen moderaten Anstieg im Intelligenzquotienten auf, welcher bei den beiden Musikgruppen signifikant stärker ausfiel. Das Schauspieltraining führte hingegen zu signifikanten Verbesserungen in der Sozialkompetenz (► Kap. 23). Der Befund einer – allerdings relativ geringen – Steigerung intellektueller Fähigkeiten konnte in Folgestudien der Arbeitsgruppe (Schellenberg 2006, 2011; Thompson et al. 2004) repliziert werden. Glenn Schellenberg weist darauf hin, dass sowohl die den postulierten Transfereffekten zugrunde liegenden Mechanismen als auch deren Spezifität (Förderung von sprachlichen und räumlichen Fähigkeiten oder der allgemeinen Intelligenz) noch der weiteren Forschung bedürfen. In den zitierten Studien wurde der Wechsler-Intelligenztest (WISC-III) verwendet, bei dem verbale Leistungen eine besonders wichtige Rolle spielen.

Interessant ist auch eine in der Schweiz durchgeführte, groß angelegte Untersuchung mit 1.200 Schülern (Weber et al. 1993). In der Studie wurden 17 Klassen mit zusätzlichem Musikunterricht mit ebenso vielen bezüglich des sozio-ökonomischen Status vergleichbaren Kontrollklassen hinsichtlich der Schulleistungen in den Fächern Mathematik, Deutsch und Französisch verglichen. In den Musikklassen wurde der Unterricht in den Hauptfächern um je eine Stunde reduziert. Trotzdem schnitten in der Unterstufe die regulären Klassen und die Musikklassen in den Leistungstests gleich gut ab. In der Mittelstufe zeigte sich jedoch ein gewisser Leistungsrückgang der Musikklassen in den Fächern Mathematik und Deutsch, der wahrscheinlich durch den Ausfall der regulären Stunden bedingt war. Interessanterweise kehrte sich das Ergebnis in der Oberstufe um, sodass nun die Mathematik- und Deutschleistungen sogar besser waren als in der Kontrollgruppe. Für das Fach Französisch sowie für die allgemeine Intelligenzentwicklung wurden keine Effekte gefunden. Zudem zeigten sich über alle Klassen hinweg heterogene Befunde, was nahelegt, dass die unmittelbare Unterrichtspraxis einen starken Einfluss auf das jeweils erzielte Ergebnis einer Klasse hatte.

In einer weiteren in der Schweiz durchgeführten Studie untersuchten Wetter et al. (2009) mit einem statistischen Regressionsmodell, welche Faktoren Einfluss auf die Schulleistungen von 134 Kindern hatten. Berücksichtigt wurden die Faktoren Schulstufe, Geschlecht, elterliches Einkommen, Instrumentalunterricht und kunsthandwerklicher Unterricht (Zeichnen, Malen, Arbeit mit Holz und Textilien). Die Schulleistungen wurden über den Notendurchschnitt erfasst. Sowohl die Schulstufe und das elterliche Einkommen als auch der Instrumentalunterricht zeigten einen eigenständigen signifikanten Einfluss auf die schulischen Leistungen. Musizierende Kinder schnitten – auch nach Herausrechnen sozio-ökonomischer Unterschiede – in den Fächern Deutsch, Französisch, Mathematik, Geschichte, Kunst und Musik, nicht jedoch in Sport signifikant besser ab als nicht musizierende Kinder.

Eine in der deutschsprachigen Öffentlichkeit sehr bekannt gewordene Längsschnittstudie wurde von Bastian (2000) über mehrere Jahre hinweg an Berliner Grundschulen durchgeführt. Die Stichprobe umfasste 170 Kinder, von denen 47 in der Schule regulären und die restlichen 123 Kinder zusätzlichen Musikunterricht erhielten. Erhoben wurden die Sozialkompetenz und kognitive Fähigkeiten. Letztere umfassten die Grundintelligenz, Alltagswissen, verbal-logisches Denken, räumlich-visuelles Vorstellungsvermögen, die Geschwindigkeit der symbolischen Informationsverarbeitung im manuell-visuellen Bereich, die schulische Rechenfähigkeit und Aufmerksamkeitsleistungen. Die Studie ist als etwas problematisch einzustufen, da bereits die anfänglichen Stichprobengrößen sehr ungleich waren, im Verlauf mehr als ein Viertel der Kinder vorzeitig aus der Untersuchung ausschied, nicht alle Tests bei allen Kindern angewandt wurden und die Ergebnisse in keinem wissenschaftlichen Fachjournal publiziert wurden. Dennoch wurde öffentlichkeitswirksam die Meinung vertreten, die Studie hätte gezeigt, dass Musizieren kognitive und soziale Kompetenzen erheblich verbessere. Wegen der methodischen

Schwächen soll hier auf Detailergebnisse der als umfangreiches Buch veröffentlichten Studie nicht näher eingegangen werden. Kurze Zusammenfassungen finden sich im BMBF-Band »Macht Mozart schlau?« (Schumacher et al. 2006) und bei Jäncke (2008).

Moreno et al. (2009) untersuchte in einer Längsschnittstudie ebenfalls die Wirkungen aktiven Musizierens auf die kindliche Entwicklung. Die Teilnehmer waren musikalisch unerfahrene Kinder, denen im Rahmen der Untersuchung sechs Monate lang entweder Musik- oder Malunterricht erteilt wurde. Nur die der Musikgruppe zugeteilten Kinder zeigten am Ende der Studie signifikante Leistungsverbesserungen im Erkennen der Sprachmelodie sowie bemerkenswerterweise auch in einem Lesetest. Außerdem war in der Musikgruppe eine Sensibilisierung der in den Hörarealen des Großhirns ausgelösten Antworten auf Sprachreize erkennbar. Daher wurde auf einen positiven Nahtransfer vom musikalischen in den sprachlichen Bereich und einem Ferntransfer in den Lese-Rechtschreib-Bereich geschlossen, welcher schon bei Kindern wirksam wird.

In der von den Autoren dieses Beitrages aktuell durchgeführten Längsschnittstudie AMseL¹ (► www.am-sel.org), welche im Rahmen des JeKi-Begleitforschungsprogramms (► <http://bildungsserver.hamburg.de/begleitforschung/>) an 145 deutschen Grundschulkindern durchgeführt wurde, zeigte sich, dass musikalisches Training sowohl die Hörfähigkeit als auch die Aufmerksamkeit und die Lese-Rechtschreib-Kompetenz signifikant verbessert (Seither-Preisler et al. 2014; Schneider u. Seither-Preisler, in Vorb.).

► **Musizierende Kinder zeigten nicht nur bessere Unterscheidungsleistungen für Tonhöhen, Klangfarben, Tonlängen und Rhythmen, sondern auch eine geringere ADHS-Neigung, eine höhere auditive und visuelle Daueraufmerksamkeit sowie eine bessere Impulskontrolle. Des Weiteren ergaben sich deutliche musizierbedingte Vorteile hinsichtlich der Lese-Rechtschreib-Kompetenz.**

Musizierende Kinder zeigten eine Überlegenheit bezüglich der Lesegeschwindigkeit, der lautgetreuen Schreibweise (alphabetische Strategie), der Zerlegung von Wörtern in sinntragende Einheiten (morphematische Strategie), der Anwendung von Rechtschreibregeln (orthographische Strategie) und der richtigen Schreibung schwieriger Wortstellen (Graphemtreffer). Die Effekte blieben bestehen, nachdem die Einflüsse des elterlichen Bildungsmilieus, der elterlichen Zuwendung, der finanziellen Ressourcen und der Freizeitgestaltung der Kinder kontrolliert worden waren. Dies bestätigt die Annahme, dass Musizieren neben sozialen Einflüssen einen eigenständigen positiven Einfluss auf den Schriftspracherwerb hat. In der Studie wurden allerdings keine musizierbedingten Vorteile für mathematische Kompetenzen und die zeichnerische Kreativität gefunden. Dies ist aus unserer Sicht wenig überraschend, da in diesem Fall Gehirnregionen aktiviert werden, welche kaum einen Bezug zum Hören aufweisen.

Slevc und Miyake (2006) gingen der Frage nach, ob es einen Zusammenhang zwischen Musikalität und der Fähigkeit gibt, nach der Kindheit eine zweite Sprache zu erlernen. Die Untersuchung ergab einen signifikant positiven Zusammenhang zwischen musikalischen Fähigkeiten und dem Erkennen von Sprachlauten, nicht aber von grammatikalischen Strukturen. In einer neurowissenschaftlichen Studie von Jentschke et al. (2005) wurde untersucht, ob es einen Zusammenhang zwischen der Verarbeitung musikalischer und sprachlicher Syntaxstrukturen

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.

gibt. Dazu wurden zwei Gruppen von Kindern getestet, von denen die eine Hälfte aus dem Leipziger Thomanerchor stammte und somit über eine Gesangsausbildung verfügte und die andere Hälfte keine musikalische Ausbildung hatte. Die nicht singenden Kinder bildeten zwei Subgruppen, wobei ein Teil unauffällig war und ein Teil Defizite in der sprachlichen Entwicklung aufwies. Untersucht wurde, wie sich die Präsentation syntaktisch inkorrektur Sätze und unharmonischer Folgen musikalischer Akkorde auf die Aktivierung der Großhirnrinde auswirkt. Es zeigte sich, dass die Thomaner Chorknaben sowohl auf die syntaktisch inkorrektur Sätze als auch die unharmonischen Akkordfolgen mit stärkeren Aktivierungen in bestimmten Hirnregionen reagierte als Kinder ohne Gesangstraining. Die Autoren interpretierte diese Ergebnisse als Beleg für einen positiven Nahtransfer vom musikalischen in den sprachlichen Bereich. Als Ursache wurden Überlappungen zwischen musik- und sprachverarbeitende Gehirnregionen angenommen (Jentschke et al. 2005, 2008; Patel et al. 1998; Schuppert et al. 2000). Der Vergleich der nicht singenden unauffälligen und sprachauffälligen Kinder ergab ebenfalls interessante Unterschiede. Während sich bei den unauffälligen Kindern charakteristische Gehirnantworten auf unharmonische musikalische Folgen zeigten, stellten sich diese Antworten bei Kindern mit Defiziten in der sprachlichen Entwicklung nicht ein. Offenbar waren diese Kinder nicht in der Lage, die musikalische Syntax des Gehörten zu erfassen.

24.3 Musizieren und Lese-Rechtschreib-Kompetenz

Das Vermögen, sich vom Bedeutungsinhalt der Sprache zu lösen und zu verstehen, dass Sätze aus Wörtern, Wörter aus Silben und Silben aus Lauten aufgebaut sind, ist eine wesentliche Voraussetzung für den Schriftspracherwerb (Wagner u. Torgesen 1987). Kinder, die unter einer Lese- und Rechtschreib-Schwäche (Legasthenie) leiden, zeigen häufig eine verminderte phonologische Bewusstheit, die es ihnen erschwert, Sprachlaute zu erkennen und diesen Bedeutungen zuzuordnen. Verschiedene Untersuchungen zeigten, dass die phonologische Bewusstheit mit der Unterscheidbarkeit elementarer akustischer Merkmale zusammenhängt (Anvari et al. 1994; Lamb u. Gregory 1993). Es wird geschätzt, dass ca. 40% der Kinder mit einer Lese-Rechtschreib-Schwäche auch Defizite in der auditiven Informationsverarbeitung aufweisen (Hämäläinen et al. 2013). Obwohl auch subtile Defizite in der zentralnervösen Hörverarbeitung aufweisen, zeigt er andererseits auch, dass bei einem Großteil der legasthenen Kinder andere Ursachen, wie beispielsweise Aufmerksamkeitsprobleme oder Lerndefizite, vorliegen dürften (Landerl u. Willburger 2010). Im Fall einer leichten zentralnervösen Hörbeeinträchtigung ist davon auszugehen, dass eine schlechte Unterscheidung elementarer akustischer Merkmale zu einer unscharfen Wahrnehmung von Sprache führt, was zunächst den Aufbau einer differenzierten phonologischen Repräsentation (Bishop et al. 1999) und später den Schriftspracherwerb behindert (Castles u. Coltheart 2004; Goswami 2011; Huss et al. 2011). Dabei scheinen Probleme bei der schnellen zeitlichen Verarbeitung, wie die Unterscheidung von Plosivlauten (»b« vs. »p«; »d« vs. »t«, »g« vs. »k«) oder rhythmischen Mustern, eine besondere Rolle zu spielen (Tallal u. Gaab 2006).

Kürzlich lieferten neurowissenschaftliche Studien Hinweise auf die diesen Defiziten zugrunde liegenden neuronalen Mechanismen. So zeigt sich bereits auf der Ebene des Hirnstamms, auf der eine akustische Information automatisch vorverarbeitet wird, dass bei Kindern mit guter Lesefähigkeit Sprachreize neuronal präziser kodiert werden als bei Kindern mit schwacher Lesefähigkeit (Hornickel et al. 2009). Im Hörkortex ist die linke Hemisphäre auf die Erkennung schneller zeitlicher Änderungen mit einer Rate von etwa 40 Hz spezialisiert, während die rechte Hemisphäre bevorzugt langsame Änderungen mit einer Rate von etwa

4 Hz detektiert. Die linksseitige, schnell getaktete Analyse ermöglicht eine feine auditive Unterscheidung von Plosivlauten, welche von Legasthenikern beim Schreiben häufig verwechselt werden. Die rechtsseitige Verarbeitung ist hingegen wesentlich für die rhythmische Strukturierung gehörter Silben und Wörter und damit eine wichtige Voraussetzung für das Verstehen sprachlicher Bedeutung. Es ist wahrscheinlich, dass eine Störung in der zeitlichen Feinanalyse eine Störung der groben Rhythmisierung nach sich zieht, sodass beide Probleme in der Regel gemeinsam auftreten (Seither-Preisler et al. 2014).

Dies dürfte wiederum negative Auswirkungen auf die Fähigkeit haben, akustische Elemente (z.B. Silben oder bedeutungstragende Wortsegmente) in den phonologischen Speicher zu überführen und von dort bei Bedarf automatisiert abzurufen, um das Arbeitsgedächtnis zu entlasten. Eine Folge ist, dass das auditive Arbeitsgedächtnis bei Legasthenikern schneller als gewöhnlich überlastet ist, was in komplexen Hörsituationen zu Überforderung und Stress führt. In Übereinstimmung mit diesen Annahmen zeigten Meyer et al. (2012), dass bei Legasthenikern die zeitliche Verarbeitung sowohl in der linken als auch in der rechten Hemisphäre beeinträchtigt ist. Die von den Autoren dieses Beitrages an Kindern durchgeführte neurowissenschaftlichen Längsschnittstudie AMseL liefert zudem Hinweise darauf, dass bei Legasthenikern die beiden Hörkortizes weniger synchron zusammenarbeiten, als dies bei unauffälligen Kindern der Fall ist (Schneider u. Seither-Preisler, in Vorb.). Zudem konnte nachgewiesen werden, dass die bei Legasthenikern häufig beobachteten Automatisierungsstörungen mit einer verringerten zeitlichen Präzision in der auditiven Signalverarbeitung zusammenhängen (Chandrasekaran et al. 2009; Strait et al. 2011).

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, ob derartige Auffälligkeiten eher veranlagt oder durch Lerndefizite bedingt sind und ob sie sich durch spezielle Fördermaßnahmen ausgleichen lassen. Aufschlussreich ist hier eine aktuelle Studie von Skoe et al. (2013), in der gezeigt wurde, dass Armut und ein geringes Bildungsniveau der Eltern bereits auf Ebene des Hirnstamms mit einer geringeren zeitlichen Präzision der auditiven Signalverarbeitung einhergehen. In einer weiteren Studie von Hornickel et al. (2012) wurde zudem gezeigt, dass es bei lese- und rechtschreibschwachen Kinder, die in der Schule ein Jahr lang ein spezielles Hörgerät benutzten, zu einer signifikanten Leistungsverbesserung im schriftsprachlichen Bereich kam. Bei Kindern, denen diese Möglichkeit nicht geboten wurde, war dies nicht der Fall. Beide Ergebnisse zeigen eindrucksvoll den Einfluss von Umwelteinflüssen auf die Hörverarbeitung. Besonders interessant ist, dass Musizieren die zeitliche Präzision der neuronalen Kodierung zu verbessern vermag, wobei die positiven Effekte mit den Jahren an musikalischer Erfahrung zunehmen (Kraus u. Chandrasekaran 2010; Strait u. Kraus 2014). In einer weiteren Studie konnten Skoe und Kraus (2012) sogar nachweisen, dass Personen, die als Kind ein Instrument gespielt hatten, noch als Erwachsene genauere neuronale Antwortmuster zeigten. Entsprechende Vorteile wurden sowohl für musikalische Klänge als auch für die Sprache beobachtet (Musacchia et al. 2007; Wong et al. 2007). Unter anderem waren Musiker besser in der Lage, Laute wie /ba/ und /ga/ zu unterscheiden, was sich auch an einem präziseren Timing der ausgelösten neuronalen Impulssalven ablesen ließ (Parbery-Clark et al. 2012). Dies erklärt den oben beschriebenen Nahtransfer vom musikalischen in den sprachlichen Bereich und legt den Schluss nahe, dass Musizieren auch Problemen im Lese-Rechtschreib-Bereich entgegenwirken sollte.

Die Forschergruppe um die britische Musikpsychologin Katie Overy untersuchte Kinder mit und ohne Lese-Rechtschreib-Schwäche im Hinblick auf ihre sprachlichen und musikalischen Fähigkeiten (Overy 2003; Overy et al. 2003). Tatsächlich schnitten Kinder mit Legasthenie in beiden Bereichen bei Tests zur zeitlichen Reizwahrnehmung schlechter ab. Die Autoren vermuteten daher, dass sich aktives Musizieren und insbesondere rhythmisches Training bei Legasthenie günstig auswirke. In späteren Untersuchungen bestätigte sich diese

Annahme. Katie Overy entwickelte ein musikalisches Trainingsprogramm für lese- und rechtsschreibschwache Kinder, in dem hauptsächlich Rhythmusspiele zur Anwendung kommen. Das Programm wurde in einer Längsschnittstudie über einen Zeitraum von 15 Wochen dreimal wöchentlich mit einer Dauer von 20–30 Minuten durchgeführt. Im Vergleich zu einer untrainierten Gruppe zeigte die Trainingsgruppe nach diesem Zeitraum signifikant verbesserte rhythmische, phonologische und Lese-Rechtschreib-Leistungen.

24.4 Neuronale Korrelate von Intelligenz, Kreativität und Musikalität

Ein derzeit populärer Zweig der psychologischen Forschung widmet sich der Frage, wie sich kognitive und musisch-kreative Fähigkeiten des Menschen in Struktur und Funktion des Gehirns abbilden. Obwohl Intelligenz ein komplexes Merkmal ist, das sich aus dem Zusammenspiel mannigfaltiger Gehirnfunktionen ergibt, lassen sich in neuroanatomischen Untersuchungen bestimmte Muster erkennen. So bestehen positive Zusammenhänge zwischen Intelligenz und dem Volumen an grauer Substanz (Nervenzellen), an weißer Substanz (Nervenbahnen) sowie der Gehirngröße im Allgemeinen (Posthuma et al. 2002). Insbesondere scheint das Volumen an grauer Substanz im Stirnhirn (Frontalkortex) eine wichtige Rolle für Intelligenzleistungen zu spielen (Thompson et al. 2001). Zwillingsstudien legen nahe, dass die betreffenden neurologischen Eigenschaften größtenteils vererbt sein dürften (Neubauer u. Stern 2007). Darüber hinaus geht der kontinuierliche Zuwachs der Intelligenz im Verlauf der kindlichen und jugendlichen Entwicklung mit einer reifebedingten Zunahme der kortikalen Dicke des Gehirns einher (Shaw et al. 2006).

Abgesehen von diesen strukturellen Merkmalen zeigen sich auch individuelle Unterschiede und reifebedingte Veränderungen in der funktionellen Gehirnaktivierung. Bietet man wiederholt optische oder akustische Reize an, z.B. Lichtblitze oder Töne, und misst die charakteristische Reaktion des Gehirns darauf (Methode der evozierten Potenziale), so findet man, dass die Antwortmuster bis zu einem gewissen Grad variabel sind, also nicht bei allen Menschen gleich ausfallen. Im Verlauf der kindlichen Entwicklung erfolgen die Reaktionen aufgrund der natürlichen Reifung des Zentralnervensystems zunehmend schneller (Eggermont u. Ponton 2002; Seither-Preisler et al. 2014; Sharma et al. 1997, 2005). Dies liegt daran, dass mit steigendem Lebensalter die Ummantelung der Nervenbahnen mit Myelin (weiße Substanz) zunimmt und sich damit auch die Geschwindigkeit und Effizienz der Reizweiterleitung im peripheren Nervensystem und im Gehirn erhöht. Dieser Reifeprozess ist in Regionen, die für die Verarbeitung von Sinnesreizen zuständig sind, bereits in der Kindheit abgeschlossen, während er für höhere, spezifisch menschliche Gehirnfunktionen im Frontalkortex über die Pubertät hinaus ungefähr bis zum 20. Lebensjahr andauert. Ab dem 65.–70. Lebensjahr baut sich die Myelinschicht dann wieder langsam ab, was mit entsprechenden Leistungsrückgängen in Verhaltenstests – insbesondere im Hinblick auf die Reaktionsgeschwindigkeit – einhergeht. Interessanterweise hängen die kortikalen Antwortmuster erwachsener Personen u.a. von deren Intelligenz ab, wobei intelligenter Personen im Durchschnitt etwas schnellere neuronale Reaktionen zeigen (Bazana u. Stelmack 2002; Ertl u. Schafer 1969). Es wird vermutet, dass dieser Effekt durch individuelle Unterschiede in der Myelinisierung, also dem Volumen an weißer Substanz, bedingt ist. In einer von den Autoren dieses Beitrages durchgeführten Studie (Seither-Preisler et al. 2014) zeigte sich ein ähnlicher Befund im Hinblick auf musikalische Aktivitäten. So erfolgten die neuronalen Antworten des Hörkortex bei musizierenden Kindern schneller und synchroner als bei nicht musizierenden Kindern. Im Laufe der Entwicklung nahm der Vorsprung der Musizierenden weiter zu.

- **Es ist davon auszugehen, dass Musizieren die natürliche Reifung der Hörareale beschleunigt und damit auch einen positiven Einfluss auf höhere kognitive Funktionen hat.**

In der Intelligenzforschung zeigte sich neben individuellen Unterschieden in der Verarbeitungsgeschwindigkeit auch noch ein anderes bemerkenswertes Phänomen. Konfrontiert man Menschen mit Problemlösungsaufgaben, so kann man mittels bildgebender Verfahren zeigen, dass weniger intelligente Personen ihr Gehirn weiträumiger und stärker aktivieren als intelligentere Personen (Haier et al. 1992). Dieser zunächst überraschende Befund wurde mittlerweile vielfach repliziert (Neubauer u. Stern 2007; Stern u. Neubauer 2013). Er wird damit erklärt, dass intelligente Personen ihr Gehirn effizienter nutzen, da nur jene Schaltkreise aktiviert werden, welche für das Lösen der konkreten Aufgabe wirklich benötigt werden. Andere Aktivitäten, die diesen Prozess stören könnten, werden hingegen unterdrückt. Außerdem konnte gezeigt werden, dass der präfrontale Kortex, welcher das Arbeitsgedächtnis beherbergt und wichtig für selektive Aufmerksamkeit und Handlungsplanung ist, beim Lösen von Denkaufgaben eine besonders wichtige Rolle spielt.

Im Gegensatz zur neurowissenschaftlichen Intelligenzforschung befindet sich die neurowissenschaftliche Kreativitätsforschung noch in ihren Anfängen. In einer von Takeuchi et al. im Jahr 2010 durchgeführten DTI-Studie (Diffusion Tensor Imaging) wurde erstmals gezeigt, dass bei kreativen Personen besonders weiträumige Verbindungen zwischen verschiedenen Gehirnarealen bestehen. Wahrscheinlich kann so leichter auf verschiedenartige Informationen zugegriffen werden, welche in einem nur losen Zusammenhang zueinander stehen. Eine besondere Vernetzung (Forgeard et al. 2008; Hyde et al. 2009; Schlaug et al. 2005) wurde gefunden für

- die temporal-parietale Verbindung (ein Gehirnareal, das Informationen aus verschiedenen Sinnessystemen zusammenführt),
- den Präfrontalkortex, der wesentlich für höhere kognitive Funktionen und die Verhaltenssteuerung ist,
- das Corpus callosum, welches die beiden Großhirnhemisphären weiträumig miteinander verbindet.

Neben diesen strukturellen Besonderheiten wurde gezeigt, dass Kreativität auch mit Änderungen der funktionellen Aktivierung des Gehirns einhergeht. Die Grazer Kreativitätsforscher Andreas Fink und Mathias Benedek beschreiben in einer aktuellen Übersichtsarbeit, dass Kreativität regelmäßig mit einer Zunahme von Alphawellen im Frontalkortex assoziiert ist. Dieser Gehirnbereich ist u.a. für die Fokussierung von Aufmerksamkeit, willentliche Kontrolle und das Finden von Entscheidungen zuständig. Der Effekt der frontalen Alphawellen-Zunahme zeigte sich sowohl beim Vergleich von hoch und wenig kreativen Menschen als auch ganz allgemein in Situationen, in denen jemand eine neue kreative Lösung findet. Interessanterweise scheint der beschriebene Gehirnzustand bis zu einem gewissen Grad trainierbar zu sein, was mit einem beobachtbaren Zuwachs an Kreativität einhergeht.

Das Muster der frontalen Alphawellen-Zunahme kann auf zwei etwas unterschiedliche Weisen interpretiert werden. Klassisch wird dieser Gehirnzustand mit Entspannung und Inaktivität in Verbindung gebracht, da Alpha als Merkmal eines »kortikalen Leerlaufs« angesehen wird (Pfurtscheller u. Lopes da Silva 1999). Der Frontalkortex weist u.a. hemmende Verbindungen zu dem weiter hinten liegenden Schläfenlappen auf, welcher für die Verarbeitung von akustischen Sinnesinformationen und den Abruf von Gedächtnisinhalten zuständig ist. Des Weiteren bestehen auch Verbindungen zu dem tiefer liegenden, emotionsverarbeitenden limbischen System. Somit könnte der frontale Alpha-Zustand eine sonst bestehende Hemmung

aufheben, wodurch Emotionen und Gedächtnisinhalte verschiedenster Art stärker in das Erleben einfließen und damit neue Erfahrungen und kreative Ideen ermöglichen. Dazu passt, dass bei einer Überaktivierung des Schläfenlappens als Begleiterscheinung epileptischer Anfälle häufig akustische Halluzinationen auftreten. Auch hier kommt es – wenn auch auf anderem Wege – zu einer vorübergehenden Enthemmung dieser Hirnregion. Jäncke (2008) berichtet, dass von Epilepsie betroffene Menschen oft unter einem Zwang zu stehen scheinen, schriftstellerisch, künstlerisch oder musisch tätig zu sein.

Die Kreativitätsforscher Fink und Benedek schlagen ein etwas modifiziertes Modell vor. In einer ihrer früheren Arbeiten (Fink et al. 2009) hatte sich nämlich gezeigt, dass die in kreativen Phasen erhöhte Alpha-Aktivität des Stirnhirns nicht, wie vermutet, mit einer Unter-, sondern einer Überversorgung des zerebralen Blutflusses dieser Region einhergeht. Dies spricht dafür, dass das Stirnhirn im kreativen Prozess nicht deaktiviert wird, sondern eine aktive, steuernde Rolle einnimmt, welche allerdings komplementär zu klassischen Denkprozessen ist. Die Autoren nehmen an, dass die frontale Zunahme im Alpha-Frequenzband eine aktive Abschottung von Außenreizen anzeigt, wodurch der Abruf und die neue Rekombination gespeicherten Materials erleichtert werden. Damit wäre Kreativität eine besondere Form der geistigen Konzentration, die im Gegensatz zur Intelligenz nicht dazu dient, klar definierte Probleme mit nur einer richtigen Lösung zu bewältigen, sondern in komplexen Situationen neue Zusammenhänge zu erkennen und ungewöhnliche Wege zu beschreiten.

Leider ist wenig darüber bekannt, wie sich musikalische Kreativität im Gehirn abbildet. Eine der wenigen Studien, die sich diesem Thema widmen, zeigt, dass Profimusiker während des Improvisierens auf einem Instrument eine Gehirnregion an der Grenze zwischen Schläfen- und Scheitellappen, also die sogenannte temporo-parietale Verbindung zu deaktivieren scheinen. Diese Region ist u.a. dafür zuständig, äußeren Reizen Aufmerksamkeit zuzuwenden (Berkowitz u. Ansari 2010). Die Autoren interpretieren das Ergebnis dahingehend, dass geübte Musiker bei der Improvisation eine nach innen gerichtete Fokussierung aufbauen und störende Außenreize weitestgehend ausblenden können. In Übereinstimmung damit fanden Egner und Gruzelier (2003), dass Musiker, die mittels Neurofeedback darauf trainiert wurden, den Anteil an frontalen Alpha-Gehirnwellen im Bereich zwischen 8 und 12 Hz zu erhöhen, ihre Leistungen hinsichtlich der Spielgenauigkeit und des musikalischen Ausdrucks erheblich verbessern konnten.

- **Es ist wahrscheinlich, dass hohe musikalische Kreativität mit einer Art Flow-Zustand einhergeht, welcher über den Frontalkortex vermittelt wird. Dieser Zustand ermöglicht es, Außenreize weitestgehend zu ignorieren und die volle Konzentration auf das augenblickliche Spiel zu legen.**

Während also für intelligentes Problemlösen die fokussierte Aktivierung bestimmter Gehirnbereiche bei gleichzeitiger Hemmung aller anderen Funktionen charakteristisch ist, scheint im Bereich des Kreativen und Musischen gewissermaßen das Umgekehrte zu gelten. Hier sind die kortikalen Vernetzungen und Aktivierungen weiträumig und integrativ (Bhattacharya et al. 2001; Bhattacharya u. Petsche 2005), wobei der Frontalkortex einen von außen ungestörten Zugriff auf die im Gedächtnis gespeicherten vielgestaltigen Inhalte zu gewährleisten scheint.

Allerdings sind kreative Leistungen nicht nur durch eine Öffnung zum Neuen (divergente Phase) gekennzeichnet. Es braucht nach der Ideenflut auch die Fähigkeit, die Einfälle zu ordnen und zu beurteilen, also die Spreu vom Weizen zu trennen. Dies erfordert Konzentration, also eine abermalige Verengung des Blickwinkels (konvergente Phase). Damit wären künstlerisch-kreative Leistungen der Ausdruck einer dynamischen Balance zwischen Öffnung

und Fokussierung, welche sich im Gehirn als Wechselspiel zwischen weiträumiger Integration und einschränkender neuronaler Effizienz abbildet. Die kreative Persönlichkeit wäre demnach dadurch gekennzeichnet, je nach Anforderung und Phase flexibel im divergenten oder konvergenten Modus operieren zu können und beides optimal miteinander in Einklang zu bringen.

24.5 Individuelle Unterschiede in der auditiven Wahrnehmung und neuronalen Informationsverarbeitung

Als Nächstes wollen wir der Frage nachgehen, inwieweit sich individuelle Unterschiede in der Klangwahrnehmung, der Hörfähigkeit und der Hörbeeinträchtigung neurophysiologisch erklären lassen. Was bewirkt Musik an neuroplastischen Veränderungen im Gehirn? Inwieweit gibt es strukturelle und funktionelle Besonderheiten im Gehirn, die – möglicherweise auch veranlagt – unterschiedliche Wirkungen von Musik erklären können?

Als Pionier der neuronalen Klangforschung verwendete Lawrence Parsons aus Texas die Positronenemissionstomographie (PET), um die neuronale Aktivität auswendig gespielter virtuoser Klaviermusik im Gehirn zu untersuchen. Dafür wurden Profi-Pianisten mit einem metallfreien Klaviatur-Imitat in den Scanner gelegt und sollten den dritten Satz des Italienischen Konzertes von Johann Sebastian Bach spielen. In einer Kontrastbedingung wurde den Pianisten das Spielen von einfachen Tonleitern abverlangt. Als Ergebnis zeigte sich beim Auswendigspielen eine Aufmerksamkeitsfokussierung auf die wesentlichen Aktivierungszentren, beim Tonleiterspielen hingegen eine zusätzliche Aktivierung irrelevanter Areale (Parsons et al. 2005).

Der kanadische Forscher Robert Zatorre ging einen Schritt weiter und untersuchte die unterschiedliche Verarbeitung spektraler und zeitlicher Aspekte der Klangwahrnehmung (Zatorre u. Belin 2001). Er fand, dass sich die Tonlänge und der Rhythmus vorwiegend in der linken und spektrale Komponenten wie Klangfarbe und Melodiekontur vorwiegend in der rechten Hemisphäre abbilden. Eine genauere Analyse ergab, dass der Schwerpunkt der auditorischen Verarbeitung in den Heschl'schen Querwindungen lag, d.h. in beidseitig einfach oder mehrfach angelegten Gehirnwindungen im Zentrum des auditorischen Kortex, die nach dem Wiener Anatomen Richard Ladislaus Heschl benannt sind.

Neuroanatomische Untersuchungen ergaben, dass Musiker in der Regel eine deutlich vergrößerte Hörrinde aufweisen (Gaser u. Schlaug 2003; Schlaug et al. 1995; Schneider et al. 2002). Zudem zeigen sie verstärkte Gehirnströme beim Hören von musikalischen Reizen (Shahin et al. 2003). Bereits das passive Hören von Musik führte im Rahmen von funktionellen neurophysiologischen und bildgebenden Untersuchungen bei Musikern im Vergleich zu Nicht-Musikern zu einer erheblich stärkeren Hirnaktivierung, insbesondere im Bereich der primären und sekundären auditorischen Kernareale (Schneider et al. 2005). Aktives Musizieren spiegelte sich in einer zusätzlichen Vernetzung mit nicht-auditorischen Funktionen wider, wie der Einbeziehung der audio-motorischen Schleife (Altenmüller 2008), des räumlichen Vorstellungsvermögens (Sluming et al. 2007) und einer Synchronisation multisensorischer Netzwerke (Wengenroth et al. 2013).

An dieser Stelle soll auf einige spezielle neuroanatomische Eigenschaften des Hörkortex hingewiesen werden, die mit spezifischen Begabungen oder Defiziten einhergehen und höchstwahrscheinlich schon in frühester Kindheit angelegt sind.

Das absolute Gehör An erster Stelle ist das absolute Gehör zu nennen, also die Fähigkeit, einen bestimmten Ton unmittelbar und mühelos ohne äußere Hilfsmittel identifizieren oder

produzieren zu können. Um die graduelle Ausprägung des absoluten Gehörs quantitativ erfassen zu können, wurde ein spezifischer Test entwickelt, der die Fähigkeit des absoluten Gehörs vollständig vom relativen, intervallbezogenen Hören zu trennen vermag. Es zeigte sich, dass die Fähigkeit des Absoluthörens mit einer spezifischen Vergrößerung bzw. medialen Verdopplung der rechten Heschl'schen Querwindung einhergeht und es funktionell in diesem Areal ein zusätzliches Verarbeitungszentrum gibt, welches mit einem rechtshemisphärischen Netzwerk motorischer, sensorischer und visueller Areale synchron verschaltet ist (Wengenroth et al. 2013).

Tinnitus Ein zweites spezifisches Phänomen ist Tinnitus, also das Klingeln, Pfeifen und Rauschen im Ohr. Das Auftreten von Tinnitus korreliert auf der Seite des betroffenen Ohrs mit einer Volumenreduktion (ca. 60%) der klangverarbeitenden Areale im Bereich des primären Hörkortex. Interessanterweise zeigen Musiker im Vergleich zu Nicht-Musikern eine weitaus niedrigere Gefährdung und im Falle des Auftretens von Tinnitus eine geringere emotionale Belastung und kürzere Dauer, sodass von einem protektiven Effekt des Musizierens ausgegangen werden kann (Schneider et al. 2009).

Das Williams-Beuron-Syndrom (WBS) 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 auf 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 Schlager, Volksmusik, Country und Rock) und zeigen bei neuronalen Messungen eine auffällige Linksasymmetrie. Ihre Heschl'schen Querwindungen weisen eine charakteristische verwurzelte Gyrierung auf, die derjenigen von Musikern entspricht. Da WBS-Probanden 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 wertvolle Hinweise auf eine genetische – da trainingsunabhängige – Komponente von musikalischer Begabung und Größe des auditorischen Kortex (Wengenroth et al. 2010).

Zur weiteren Aufschlüsselung von veranlagten und umweltbedingten Faktoren müssen jedoch Längsschnittstudien herangezogen werden, die im Bereich der neurologischen Forschung bislang sehr selten durchgeführt wurden. Die Arbeitsgruppe um den deutschen Musikforscher Gottfried Schlaug zeigte in einer umfassenden aktuellen Longitudinalstudie, dass 5- bis 7-jährige musizierende Kinder einen Trend zu Transfereffekten musikalischer Früh-erziehung in den sprachlichen, räumlich-visuellen und mathematischen Bereichen aufweisen, der mit neuroplastischen Veränderungen in auditorischen Assoziationsarealen im Temporal-lappen und der temporal-parietalen Verbindung einhergeht (Forgeard et al. 2008; Hyde et al. 2009; Schlaug et al. 2005).

Die Ergebnisse der von uns durchgeführten AMseL-Längsschnittstudie an 145 Grundschulkindern zeigen darüber hinaus, dass musizierende Kinder eine vergrößerte Heschl'sche Querwindung insbesondere in der rechten Hemisphäre aufweisen (Seither-Preisler et al. 2014). Vergleichbare Befunde waren bereits früher in einer Querschnittsuntersuchung mit erwachsenen Musikern und Nicht-Musikern erzielt worden (Schneider et al. 2002). Allerdings war zum Zeitpunkt jener Untersuchung nicht klar, ob die beobachteten Unterschiede im Volumen an grauer Hirnsubstanz eher eine Folge des langjährigen intensiven Instrumentalspiels sind oder

als stabile Indikatoren musikalischer Begabung zu werten sind. Die aktuelle AMseL-Studie an Kindern belegt nun erstmals, dass entsprechende morphologische Besonderheiten schon zu einem sehr frühen Zeitpunkt vorliegen, wenn Kinder noch am Anfang ihres musikalischen Trainings stehen. Zwischen dem ersten und zweiten Messzeitpunkt im Abstand von einem Jahr wurden praktisch keine Änderungen der Heschl'schen Querwindungen bezüglich Form und Volumen an grauer Substanz beobachtet (Seither-Preisler et al. 2014). Dies legt nahe, dass sich diese Merkmale schon vor der Grundschulzeit und dem Beginn des formalen Musikunterrichts herausgebildet haben. Bislang ist unklar, ob die beobachteten deutlichen individuellen Unterschiede in der morphologischen Ausgestaltung des Hörkortex genetisch bedingt sind, auf vorgeburtlichen hormonellen Einflüssen im Mutterleib beruhen oder durch frühkindliches auditives Lernen erklärt werden können. Besonders interessant an den vorliegenden Ergebnissen ist, dass die individuelle Morphologie der rechten Heschl'schen Querwindung auch nach Kontrolle der musikalischen Vorerfahrung Vorhersagen darüber erlaubte, wie viel Zeit die Kinder zukünftig in das Üben ihres Instrumentes investieren würden. Je größer die rechte Heschl'sche Querwindung war, desto höhere Übe-Intensitäten wurden beobachtet. Daher ist davon auszugehen, dass individuelle Unterschiede in der Größe und Form dieser Struktur keine Folge des musikalischen Trainings sind, sondern im Grundschulalter bereits vorliegen und das musikalische Interesse bzw. Potenzial eines Kindes erkennen lassen. Dieses Ergebnis hat auch (musik-)pädagogische Implikationen, die im Folgenden kurz erörtert werden sollen.

Wir gehen davon aus, dass spezielle neuroanatomische Dispositionen im Hörkortex etwas über die musikalische Begabung eines Menschen aussagen. Eine günstige Disposition erhöht offenbar die intrinsische Motivation, sich mit dem Instrumentalspiel zu beschäftigen. Eine hohe Übe-Intensität führt ihrerseits zu weiteren lernbedingten Effekten und beeinflusst die Entwicklung von Wahrnehmungsleistungen, kognitiven Fähigkeiten und Gehirnfunktionen positiv. So kommt es zu Transfereffekten mit Verbesserungen der allgemeinen Hörwahrnehmung, der Aufmerksamkeit, des Sprachverstehens und der schriftsprachlichen Fähigkeiten.

Die Pädagogik spielt in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle, da sie diesen Entfaltungsprozess fördern oder – unter ungünstigen Umständen – auch hemmen kann. Es gilt daher zunächst, latente Begabungen möglichst frühzeitig zu erkennen und zu fördern. Ein sensibles Beobachten, womit sich Kinder eigenständig, gern und ausdauernd beschäftigen, kann hier wertvolle Hinweise liefern. Des Weiteren ist es eine wesentliche Aufgabe von Pädagogen, das konkrete Übe-Verhalten durch Theorie und Praxis qualifiziert anzuleiten und zu unterstützen. Dies sollte neuroplastische Lernvorgänge unterstützen und beschleunigen – mit dem Ziel, die bereits im Begabungsprofil latent angelegten Potenziale als ausgereiftes Kompetenzprofil möglichst vollständig zur Geltung zu bringen. Da sich der Lernerfolg und das Ausmaß an Neuroplastizität vermutlich direkt proportional zum angelegten Potenzial verhalten, scheint es 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.

Fazit

Ein vergleichender Überblick über die Musikalitäts-, Intelligenz- und Kreativitätsforschung zeigt, dass diese Bereiche Gemeinsamkeiten aufweisen und elementare auditive Wahrnehmungsleistungen Einfluss auf höhere kognitive Funktionen nehmen können. Dies wird auch durch Forschungsergebnisse zu Transferwirkungen vom musikalischen in den kognitiven Bereich belegt. Musizierende Kinder zeigen nicht nur bessere Unterscheidungsleistungen für Tonhöhen, Klangfarben, Tonlängen und Rhythmen, sondern auch eine geringere ADHS-Neigung, eine höhere auditive und visuelle Daueraufmerksamkeit sowie eine bessere Impulskontrolle. Des Weiteren sind

deutliche musizierbedingte Vorteile hinsichtlich der Lese-Rechtschreib-Kompetenz erkennbar. Neue Befunde der Hirnforschung führen diese Effekte auf eine beschleunigte Reifung der Hörareale durch das Musizieren zurück, welche mit Hirnregionen zur Steuerung der Aufmerksamkeit, des Arbeitsgedächtnisses sowie mit sprachverarbeitenden Regionen in enger Beziehung stehen. Zudem wurde gezeigt, dass bei Kindern mit AD(H)S und Legasthenie, die häufig auch von auditiven Wahrnehmungs- und Verarbeitungsstörungen betroffen sind, der rechte und linke Hörkortex nur unzureichend zusammenarbeiten. Da Musizieren diesem Problem entgegenwirkt, empfiehlt es sich, für solche Kinder spielerische Trainingsprogramme zu entwickeln, die auf der Ebene des elementaren Hörens ansetzen.

Literatur

- Altenmüller E (2008) Neurology of musical performance. *Clinical Medicine* 8: 410–413
- Anvari SH, Trainor LJ, Woodside J, Levy BA (2002) Relations among musical skills, phonological processing, and early reading ability in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology* 83(2): 111–130
- Bastian HG (2000) Musik(erziehung) und ihre Wirkung. Eine Langzeitstudie an Berliner Grundschulen. Schott Musik International, Mainz
- Bazana PG, Stelmack RM (2002) Intelligence and information processing during an auditory discrimination task with backward masking: an event-related potential analysis. *Journal of Personality and Social Psychology* 83(4): 998–1008
- Berkowitz AL, Ansari D (2010) Expertise-related deactivation of the right temporoparietal junction during musical improvisation. *NeuroImage* 49(1): 712–719
- 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, Pereda E (2001) Long-range synchrony in the gamma band: role in music perception. *The Journal of Neuroscience* 21(16): 6329–6337
- Bishop DVM, Carlyon RP, Deeks JM, Bishop SJ (1999) Auditory temporal processing impairment: Neither necessary nor sufficient for causing language impairment in children. *Journal of Speech, Language and Hearing Research* 42: 1295–1310
- Carroll JB (ed) (1993) *Human Cognitive Abilities: A Survey of Factor-Analytic Studies*. Cambridge University Press, New York
- Castles A, Coltheart M (2004) Is there a causal link from phonological awareness to success in learning to read? *Cognition* 91(1): 77–111
- Cattell RB (1941) Some theoretical issues in adult intelligence testing. *Psychological Bulletin* 38: 592
- Cavanaugh JC, Blanchard-Fields F (2011) *Adult development and aging*. Wadsworth/Cengage Learning, Belmont, CA
- Chandrasekaran B, Hornickel J, Skoe E, Nicol T, Kraus N (2009) Context-dependent encoding in the human auditory brainstem relates to hearing speech in noise: implications for developmental dyslexia. *Neuron* 64(3): 311–319
- Douglas S, Willats P (1994) The relationship between musical abilities and literacy skills. *Journal of Research in Reading* 17: 99–107
- Eggermont JJ, Ponton CW (2002) The neurophysiology of auditory perception: From single units to evoked potentials. *Audiol Neuro Otol* 7: 71–99
- Egner T, Gruzelier JH (2003) Ecological validity of neurofeedback: modulation of slow wave EEG enhances musical performance. *Neuroreport* 14(9): 1221–1224
- Ertl JP, Schafer EWP (1969) Neural efficiency and human intelligence. *Nature* 223: 421–423
- Feist GJ, Barron FX (2003) Predicting creativity from early to late adulthood: Intellect, potential, and personality. *Journal of Research in Personality* 37(2): 62–68
- Fink A, Benedek M (2012) EEG alpha power and creative ideation. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 44: 111–123
- Fink A, Grabner RH, Benedek M, Reishofer G, Hauswirth V, Fally M et al. (2009) The creative brain: Investigation of brain activity during creative problem solving by means of EEG and fMRI. *Human Brain Mapping* 30: 734–748

- Forgeard M, Winner E, Norton A, Schlaug G (2008) Practicing a musical instrument in childhood is associated with enhanced verbal ability and nonverbal reasoning. *PLoS One* 3(10): e3566
- Gardner H (ed) (1983) *Frames of mind: The theory of multiple intelligences*. Basic Books, New York
- Gaser C, Schlaug G (2003) Gray matter differences between musicians and nonmusicians. *Ann NY Acad Sci* 999: 514–517
- Gordon EE (ed) (1965) *Musical aptitude profile*. Houghton Mifflin, Boston
- Gordon EE (Hrsg) (1986) *Musikalische Begabung. Beschaffenheit, Beschreibung, Messung und Bewertung*. Schott, Mainz
- Goswami U (2011) A temporal sampling framework for developmental dyslexia. *Trends in Cognitive Sciences* 15(1): 3–10
- Gruhn W (2003) *Kinder brauchen Musik: Musikalität bei kleinen Kindern entfalten und fördern*. Beltz, Weinheim
- Guilford JP (ed) (1967) *The nature of human intelligence*. McGraw-Hill, New York
- Haier RJ, Siegel BV, McLachlan A, Soderling E, Lotteberg S, Buchsbaum MS (1992) Regional glucose metabolic changes after learning a complex visuospatial/motor task: a positron emission tomographic study. *Brain Research* 70: 134–143
- Hämäläinen JA, Salminen HK, Leppänen PHT (2013) Basic auditory processing deficits in dyslexia: Systematic review of the behavioral and event-related potential/field evidence. *Journal of Learning Disabilities* 46(5): 413–427
- Helmbold N, Troche S, Rammsayer T (2006) Temporal information processing and pitch discrimination as predictors of general intelligence. *Canadian Journal of Experimental Psychology = Revue Canadienne De Psychologie Experimentale* 60(4): 294–306
- Helmbold N, Troche S, Rammsayer T (2007) Processing of temporal and nontemporal information as predictors of psychometric intelligence: a structural-equation-modeling approach. *Journal of Personality* 75(5): 985–1006
- Heschl RL (1878) *Über die vordere quere Schläfenwindung*. Unveröff. Manuskript
- Ho YC, Cheung MC, Chan AS (2003) Music training improves verbal but not visual memory: cross-sectional and longitudinal explorations in children. *Neuropsychology* 17(3): 439–450
- Hornickel J, Skoe E, Nicol T, Zecker S, Kraus N (2009) Subcortical differentiation of stop consonants relates to reading and speech-in-noise perception. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 106(31): 13022–13027
- Hornickel J, Zecker SG, Bradlow AR, Kraus N (2012) Assistive listening devices drive neuroplasticity in children with dyslexia. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 109(41): 16731–16736
- Huss M, Verney JP, 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
- Hyde KL, Lerch J, Norton A, Forgeard M, Winner E, Evans AC et al. (2009) The effects of musical training on structural brain development: a longitudinal study. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1169: 182–186
- Jäncke L (2008) *Macht Musik schlau? Neue Erkenntnisse aus den Neurowissenschaften und der kognitiven Psychologie*. Huber, Bern
- Jentschke S, Koelsch S, Friederici AD (2005) Investigating the relationship of music and language in children: influences of musical training and language impairment. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1060: 231–242
- Jentschke S, Koelsch S, Sallat S, Friederici AD (2008) Children with specific language impairment also show impairment of music-syntactic processing. *Journal of Cognitive Neuroscience* 20(11): 1940–1951
- Koelsch S, Fritz T, Schulze K, Alsop D, Schlaug G (2005) Adults and children processing music: an fMRI study. *NeuroImage* 25(4): 1068–1076
- Kormann A (1989) Der Zusammenhang zwischen Intelligenz und Musikalität. *Internationale Zeitschrift Für Musik-, Tanz- Und Kunsttherapie* 2–3: 153–159
- Kraus N, Chandrasekaran B (2010) Music training for the development of auditory skills. *Nature Reviews. Neuroscience* 11(8): 599–605
- Lamb SJ, Gregory AH (1993) The relationship between music and reading in beginning readers. *Educational Psychology* 13(1): 19–27
- Landerl K, Willburger E (2010) Temporal processing, attention, and learning disorders. *Learning and Individual Differences* 20(5): 393–401
- Lynn R, Wilson RG, Gault A (1989) Simple musical tests as measures of Spearman's g. *Personality and Individual Differences* 10: 25–28

- Magne C, Schön D, Besson M (2006) Musician children detect pitch violations in both music and language better than nonmusician children: behavioral and electrophysiological approaches. *Journal of Cognitive Neuroscience* 18(2): 199–211
- Meyer M, Elmer S, Jäncke L (2012) Musical expertise induces neuroplasticity of the planum temporale. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1252: 116–123
- Moreno S, Marques C, Santos A, Santos M, Castro SL, Besson M (2009) Musical training influences linguistic abilities in 8-year-old children: More evidence for brain plasticity. *Cerebral Cortex* 19(3): 712–723
- Musacchia G, Sams M, Skoe E, Kraus N (2007) Musicians have enhanced subcortical auditory and audiovisual processing of speech and music. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 104(40): 15894–15898
- Neubauer A, Grabner R, Fink A, Neuper C (2005) Intelligence and neural efficiency: further evidence of the influence of task content and sex on the brain-IQ relationship. *Cognitive Brain Research* 25(1): 217–225
- Neubauer A, Stern E (Hrsg) (2007) *Lernen macht intelligent*. Deutsche Verlags-Anstalt, München
- 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 RI, Fawcett AJ, Clarke EF (2003) Dyslexia and music: Measuring musical timing skills. *Dyslexia* 9(1): 18–36
- Parbery-Clark A, Tierney A, Strait DL, Kraus N (2012) Musicians have fine-tuned neural distinction of speech syllables. *Neuroscience* 219: 111–119
- Parsons LM, Sergent J, Hodges DA, Fox PT (2005) The brain basis of piano performance. *Neuropsychologia* 43: 199–215
- Patel AD, Gibson E, Ratner J, Besson M, Holcomb PJ (1998) Processing syntactic relations in language and music: an event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience* 10(6): 717–733
- Pfurtscheller G, Lopes da Silva FH (1999) Event-related EEG/MEG synchronization and desynchronization: basic principles. *Clinical Neurophysiology* 110(11): 1842–1857
- Posthuma D, De Geus EJ, Baaré WF, Hulshoff Pol HE, Kahn RS, Boomsma DI (2002) The association between brain volume and intelligence is of genetic origin. *Nature Neuroscience* 5: 83–84
- Rittelmeyer C (2012) *Warum und wozu ästhetische Bildung? Über Transferwirkungen künstlerischer Tätigkeiten*. Ein Forschungsüberblick, 2. Aufl. Athena, Oberhausen
- Schellenberg EG (2004) Music lessons enhance IQ. *Psychological Science* 15: 511–514
- Schellenberg EG (2006) Long-term positive associations between music lessons and IQ. *Journal of Educational Psychology* 98: 457–468
- Schellenberg EG (2011) Music lessons, emotional intelligence, and IQ. *Music Perception* 29: 185–194
- Schlaug G, Jäncke L, Huang Y, Staiger JF, Steinmetz H (1995) Increased corpus callosum size in musicians. *Neuropsychologia* 33(8): 1047–1055
- Schlaug G, Norton A, Overy K, Winner E (2005) Effects of music training on the child's brain and cognitive development. *Annals of the New York Academy of Sciences* 1060: 219–230
- 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 HG, Specht HJ, 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: Bundesministerium für Bildung und Forschung (Hrsg) *Ergebnisse des JeKi-Forschungsschwerpunktes (Empirische Bildungsforschung)*, Berlin
- Schneider P, Sluming V, Roberts N, Scherg M, Goebel R, Specht HJ et al. (2005) Structural and functional asymmetry of lateral Heschl's gyrus reflects pitch perception preference. *Nature Neuroscience* 8(9): 1241–1247
- Schön D, Magne C, Besson M (2004) The music of speech: Electrophysiological study of pitch perception in language and music. *Psychophysiology* 41: 341–349
- Schumacher R, Altenmüller E, Deutsch W, Jäncke L, Neubauer A, Schwarzer G et al. (2006) In: Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) (Hrsg) *Macht Mozart schlau? Die Förderung kognitiver Kompetenzen durch Musik*. Bd 18, Berlin: 46–48, 68–70
- Schuppert M, Munte TF, Wieringa BM, Altenmüller E (2000) Receptive amusia: evidence for cross-hemispheric neural networks underlying music processing strategies. *Brain: A Journal of Neurology* 123(Pt 3): 546–559
- Seashore CE (1919) *Seashore measurement of musical talent*. New York, revidierte Fassungen 1939, 1956, 1960; dt. Ausg. hrsg. v. H. Fischer & C. Butch, Bern 1966
- Seither-Preisler A, Parncutt R, Schneider P (2014) Bilateral synchronization of auditory cortex promotes musical and attentional skills in children. *The Journal of Neuroscience* 34(33): 10937–10949

- Shahin A, Bosnyak DJ, Trainor LJ, Roberts LE (2003) Enhancement of neuroplastic P2 and N1c auditory evoked potentials in musicians. *J Neurosci* 23(13): 5545–5552
- Sharma A, Kraus N, McGee TJ, Nicol TG (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 MH, 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
- Shaw P, Greenstein D, Lerch J, Clasen L, Lenroot R, Gogtay N et al. (2006) Intellectual ability and cortical development in children and adolescents. *Nature* 440: 676–679
- Skoe E, Kraus N (2012) A little goes a long way: how the adult brain is shaped by musical training in childhood. *The Journal of Neuroscience* 32(34): 11507–11510
- Skoe E, Krizman J, Kraus N (2013) The impoverished brain: disparities in maternal education affect the neural response to sound. *The Journal of Neuroscience* 33(44): 17221–17231
- Slevc LR, Miyake A (2006) Individual differences in second-language proficiency: does musical ability matter? *Psychological Science* 17(8): 675–681
- Sluming V, Brooks J, Howard M, Downes JJ, Roberts N (2007) Broca's area supports enhanced visuospatial cognition in orchestral musicians. *The Journal of Neuroscience* 27(14): 3799–3806
- Stern E, Neubauer A (2013) *Intelligenz – Große Unterschiede und ihre Folgen*. Deutsche Verlags-Anstalt, München
- Strait DL, Hornickel J, Kraus N (2011) Subcortical processing of speech regularities underlies reading and music aptitude in children. *Behavioral and Brain Functions* 7: 44-9081-7-44
- Strait DL, Kraus N (2014) Biological impact of auditory expertise across the life span: Musicians as a model of auditory learning. *Hearing Research* 308: 109–121
- Takeuchi H, Taki Y, Sassa Y, Hashizume H, Sekiguchi A, Fukushima A et al. (2010) White matter structures associated with creativity: Evidence from diffusion tensor imaging *NeuroImage* 51(1): 11–18
- Tallal P, Gaab N (2006) Dynamic auditory processing, musical experience and language development. *Trends in Neurosciences* 29(7): 382–390
- Thompson P, Cannon T, Narr K, van Erp T, Poutanen V, Huttunen M et al. (2001) Genetic influences on brain structure *Nature Neuroscience* 4(12): 1253–1258
- Thompson W, Schellenberg E, Husain G (2004) Decoding speech prosody: do music lessons help? *Emotion* 4(1): 46–64
- Thurstone LL (ed) (1938) *Primary Mental Abilities*. The University of Chicago Press, Chicago
- Wagner R, Torgesen J (1987) The nature of phonological processing and its causal role in the acquisition of reading skills. *Psychological Bulletin* 101: 192–212
- Weber EW, Spychiger M, Patry J (1993). *Musik macht Schule*. Biografie und Ergebnisse eines Schulversuchs mit erweitertem Musikunterricht. Die Blaue Eule, Essen
- 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. (2013) Increased volume and function of right auditory cortex as a marker for absolute pitch. *Cerebral Cortex* 24(5): 1127–1137
- Wetter OE, Koerner F, Schwaninger A (2009) Does musical training improve school performance? *Instructional Science* 37(4): 365–374
- Wing HD (1939/1961) *Standardised tests of musical intelligence*. The Mere England; National Foundation for Educational Research
- Wong PC, Skoe E, Russo NM, Dees T, Kraus N (2007) Musical experience shapes human brainstem encoding of linguistic pitch patterns. *Nature Neuroscience* 10(4): 420–422
- Zatorre RJ (2003) Absolute pitch: a model for understanding the influence of genes and development on neural and cognitive function. *Nat Neurosci* 6(7): 692–695
- Zatorre R, Belin P (2001) Spectral and temporal processing in human auditory cortex. *Cereb Cortex* 11: 946–953