

GEHIRN UND MUSIK ANMERKUNGEN ZUR MUSIKBEZOGENEN GEHIRNFORSCHUNG

Winfried Pape

In den letzten Jahren sind die Neurowissenschaften auf ein großes, weit über ihre Fachgrenzen und andere Wissenschaftszweige hinausgehendes Interesse gestoßen. Kaum vergeht ein Monat, in dem nicht die Medien über neue neurowissenschaftliche Untersuchungsergebnisse berichten. Wenngleich es 2003 auch die Musik unter den Überschriften »Mathematik der Gefühle« und »Klang der Sinne« zu Titelgeschichten im *Spiegel* (31. Juli 2003) und in *Geo* (11. November 2003) gebracht hat, fanden bisher neurowissenschaftliche Studien in der Musikwissenschaft und Musikpädagogik nur eine geringe Resonanz.

Im Kontext allgemeiner Annahmen und Erkenntnisse der neurowissenschaftlichen Forschung wird im Folgenden versucht, wissenschaftliche Diskurse und Untersuchungsergebnisse, die musikalische Phänomene tangieren oder zum Inhalt haben, zu sichten, einzuordnen und zu analysieren. Mit den Bemerkungen zu besonders relevant erscheinenden Teilaspekten (Musikhören – Lernen, Üben, Musikmachen – Bewusstsein/Unbewusstes – Emotionen und Verstand), die keineswegs schon die Gesamtproblematik umfassen,¹ ist die Anregung verbunden, sich in der Musikwissenschaft und Musikpädagogik intensiv mit der Thematik auseinanderzusetzen.

Musikhören

Soweit in den 1980er und 1990er Jahren neurowissenschaftliche Untersuchungen musikalische Phänomene zum Inhalt hatten, bildeten Studien zum Musikhören den Forschungsschwerpunkt. Als Messverfahren wurde hierbei zunächst vorwiegend die Elektroenzephalographie (EEG) eingesetzt, was auch den seinerzeitigen Stand der technischen Entwicklung widerspiegelt.

Heute werden zur Messung von Gehirnprozessen beim Musikhören sowie bei weiteren musikalischen Aktivitäten, d.h. zur Ermittlung funktioneller und struktureller Veränderungen des Gehirns im Zusammenhang mit Musik, neben verbesserten Geräten weitere Messverfahren bzw. eine Kombination von Messverfahren benutzt, die im Rahmen dieses Aufsatzes aber nur am Rande angesprochen werden können.²

In thematischer Hinsicht ist das Erkenntnisinteresse von Untersuchungen zum Musikhören darauf gerichtet, Fragestellungen zu klären, die eine bestehende oder nicht bestehende Dominanz einer Gehirnhälfte bzw. die Lokalisierung von Gehirnaktivitäten, Auswirkungen auf Wachheits- (Vigilanz-) und Aufmerksamkeitszustände, emotionale Reaktionen, Unterschiede zwischen Musikern und Nichtmusikern, die Aufschlüsselung musikspezifischer Teilaspekte (z.B. Melodie, Rhythmus, Klänge), musikalische Lernvorgänge sowie Modalitäten der Sprach- und Musikwahrnehmung bzw. -verarbeitung betreffen. Als Beispiele sollen hier einige Studien herausgegriffen werden, die Unterschiede zwischen Musikern und Nichtmusikern und topographische Veränderungen bzw. Lateralisierungsprobleme zu eruieren versuchen.

Zu Unterschieden beim Musikhören zwischen Musikern und Nichtmusikern deuten Befunde einer mit dreißig Musikern und dreizehn Nichtmusikern durchgeführten Studie darauf hin, dass bei Musikern auf Grund ihrer Ausbildung eine Vergrößerung des Teils der Großhirnrinde stattgefunden hat, der für das Aufnehmen von Tönen zuständig ist (Pantev et al. 1998; Messverfahren: MEG³).

Wenn bereits angesichts der Stichprobengröße und Stichprobenzusammensetzung dieser Untersuchung Zweifel im Hinblick auf die Tragfähigkeit solcher Ergebnisse aufkommen, gilt das in gesteigertem Maße für Studien etwa gleicher empirischer Provenienz, die zu deutlich weiter gehenden Annahmen gelangen. Sie beinhalten, dass das Hören von Musik bei Musikern mehr in der linken Gehirnhälfte erfolge und sich eher in analytischer Weise vollziehe, während die Wahrnehmung von Musik bei Nichtmusikern vorwiegend in der rechten Gehirnhälfte statfinde und mehr emotional bestimmt sei bzw. eher ganzheitlich vor sich gehe (Damasio/Damasio 1977, Hirshkowitz et al. 1978, Peretz/Babaï 1992, Messerli et al. 1995, Vollmer-Haase et al. 1998). Um hier kein Missverständnis aufkommen zu lassen: Der geäußerte Vorbehalt bezieht sich nicht auf die thematische Relevanz der untersuchten Fragestellungen, sondern auf die Fragwürdigkeit von Schlussfolgerungen, die neben der Problematik der jeweiligen Stichprobengröße und/oder Stichprobenzusammensetzung auch durch eine fehlende Berücksichtigung musikalischer Sozialisationsphänomene in noch nicht befriedigendem Umfang abgesichert sind. So blieb z.B. infolge anders lautender Ergebnisse der Zuschrei-

bungsversuch »ganzheitliches Hören: rechte Gehirnhälfte – analytisches Hören: linke Gehirnhälfte« nicht unwidersprochen (Schuppert et al. 2000). Stattdessen wurde die Annahme formuliert, die Grobstruktur der Musik werde zunächst in der rechten Gehirnhemisphäre herausgearbeitet; danach erfolge eine mehr in Einzelheiten gehende Analyse in der linken Gehirnhälfte (Altenmüller 2002).

In verschiedenen Untersuchungsreihen der Arbeitsgruppe »Neurokognition von Musik« (Max-Planck-Institut für neurophysiologische Forschung Leipzig, Arbeitsbereich Neuropsychologie; Teamleitung: Kölsch) spielte man rund zweihundert erwachsenen Versuchsteilnehmern – vornehmlich Personen, die nach dem Kriterium ausgesucht waren, dass sie sich selbst für un-musikalisch hielten – sowie auch Berufsmusikern Akkordsequenzen vor (in der Regel mit Klavier eingespielt und charakterisiert durch gleiche Länge sowie gleiche Lautstärke; im Verlauf oftmaliger Testdurchgänge verändert durch harmoniefremde Töne, Instrumentenwechsel und Hinzunahme Neapolitanischer Sextakkorde).

Laut Forschungsberichten wurden die vorgenommenen Veränderungen bei allen Testpersonen, also auch bei denen, die sich als un-musikalisch einschätzten, wahrgenommen (Messverfahren: EEG und EKP, in weiteren Untersuchungen MEG und fMRT⁴). Eine gesteigerte Gehirnaktivität war immer dann festzustellen, wenn Veränderungen innerhalb der jeweiligen Akkordsequenzen auftraten. Offensichtlich werden diese Veränderungen frühzeitiger im Gehirn registriert (erstes Aktivitätsmaximum bereits nach ca. 180 bis 200 Millisekunden).

Zur Frage der Lokalisation wird festgestellt, dass fast alle Gehirnregionen, die in der linken Hemisphäre für die Sprachproduktion zuständig sind, auf der rechten Seite – gleichermaßen spiegelbildlich – bei der Wahrnehmung von Musik in Aktion treten. Das gilt in erster Linie sowohl für das dem Broca-Areal entsprechende Areal in der vorderen rechten Gehirnhälfte als auch für die dem Wernicke-Areal gegenüberliegende rechte Gehirnregion im Schläfenlappen. Darüber hinaus haben weitere Forschungsarbeiten der Leipziger Forschungsgruppe gezeigt, dass bei der Wahrnehmung von Musik zudem diejenigen Regionen in der linken Gehirnhälfte, die für Sprache stehen, involviert sind – nur nicht so stark wie in den rechtsseitigen Bereichen. Das führt zu der mit Ergebnissen anderer, auch früherer Untersuchungen korrespondierenden Aussage, dass die übliche Lokalisation von linker Gehirnhemisphäre für Sprache und rechter Gehirnhemisphäre für Musik nicht weiter aufrecht zu erhalten ist und Sprache und Musik möglicherweise ähnlich verarbeitet werden (s. u. a. Petsche 1994).

Ohne den Stellenwert der Leipziger Untersuchungen zu schmälern, ist eine generelle Schlussfolgerung mit mehr als einem Fragezeichen zu versehen. Zwar mag man sich getrost darüber streiten, ob Mozart »in gewissem Sinne« kaum »musikalischer« war als »der Bäcker nebenan« – nur »ungleich kreativer« (Kölsch in: Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience 2001; Presseinformation), oder sich damit beruhigen, dass nicht Mozart, sondern der Bäcker von nebenan weiter seine kleinen Brötchen gebacken hat. Eingedenk der Tatsache, dass die Hirnforschung bedeutende Einsichten in das Zusammenwirken verschiedener Hirnregionen gewonnen hat, jedoch noch nichts weiß über die Regeln, nach denen das menschliche Gehirn arbeitet, übersteigt es die Vorläufigkeit und Tragfähigkeit der Ergebnisse, wenn in dieser Überinterpretation angenommen wird, »jeder Mensch« sei »musikalisch..., sogar sehr musikalisch« (ebd.) oder »jeder Mensch« besitze »ein musikalisches Wissen«, das »sein Gehirn automatisch anwendet, ob er will oder nicht« (Prilipp 2000). Die im gleichen Kontext wesentlich vorsichtiger formulierte Annahme, jeder Mensch verfüge über ein musikalisches Grundwissen bzw. -verständnis, das ein angeborenes biologisches Kennzeichen mit jeweiligen kulturellen Ausprägungen sei, bietet demgegenüber ein tragfähiges und unterstützendes Argument für musikwissenschaftliche und musikpädagogische Begründungszusammenhänge.

Lernen, Üben, Musizieren

Bisher wurde in neurowissenschaftlichen Veröffentlichungen nicht selten die große Bedeutung früher Prägungsperioden hervorgehoben, wobei die Altersangaben zwischen ein bis drei und ein bis fünf (oder sechs) Jahren schwanken. In diesen frühen Prägungsperioden reagiere ein Individuum infolge genetisch bedingter Steuerungsprozesse besonders sensibel auf Umweltreize, die sich im zentralen Nervensystem einprägen. Sind die frühen optimalen Lernphasen abgeschlossen, ändere sich an der Architektur des Gehirns nichts Wesentliches mehr. Einer solchen Aussage oder Lehrmeinung widersprechen allerdings inzwischen gegensätzliche Befunde: Nachgewiesen wurden u. a. die Veränderbarkeit von Verbindungen zwischen Neuronen und ein Nachwachsen von Nervenzellen (was für Lernvorgänge erforderlich ist, die erst dann erfolgen können, wenn Nervenzellen in bestimmten Gehirnregionen neu entstehen). Zudem belegt sind Adaptionsprozesse im zentralen Nervensystem an die Erfahrungen eines Organismus, die man unter dem Begriff Neuroplastizität zusammenfasst. Neuroplastizität trifft im Übrigen auch für ganze Bereiche der Großhirnrinde zu (vgl. Spitzer 2003: 174ff.),

wobei für bestimmte Aufgabenstellungen zusätzliche Gehirnregionen in Anspruch genommen werden können. Des Weiteren zeigen Forschungen, die sich speziell mit der Phase der Pubertät beschäftigen (mehrheitlich heute bei weiblichen Jugendlichen mit elfeinhalb, bei männlichen mit zwölf-einhalb Jahren beginnend), dass während der Pubertätsphase in Teilen der Großhirnrinde ein Umbau stattfindet. Das betrifft vor allem das An- und Abschwellen grauer Zellen in einem Bereich direkt hinter der Stirn, das etwa im Alter von elf bis zwölf Jahren (nach Geschlecht unterschiedlich) erfolgt. Das mit dem Abschwellen verbundene Schrumpfen schwächerer Nervenzellen gilt als wichtiges Indiz für die Persönlichkeitsreifung. Damit ist ein jahrelang verkündeter neurowissenschaftlicher Lehrsatz, unverrückbare und nicht mehr korrigierbare Fundamente der Persönlichkeitsstruktur würden nur in den ersten fünf oder sechs Lebensjahren (bzw. nur in der Jugend) gelegt und jeder Mensch müsse mit seinem angeborenen Vorrat an Gehirnzellen auskommen, außer Kraft gesetzt. Zwar nimmt mit dem Alter die Adaptions- und Lernfähigkeit des menschlichen Gehirns ab, jedoch keineswegs so stark wie zunächst angenommen (s.u.).

Eine wesentliche Anmerkung zur Entwicklung der Persönlichkeitsstruktur ist hinzuzufügen: Bereiche des menschlichen Gehirns, die so wichtige Aktionen wie den Umgang mit Mitmenschen, d.h. ein sich Zurechtfinden in der Gesellschaft, das Bedenken von Folgen des eigenen Verhaltens sowie moralische und ethische Erwägungen bestimmen, entwickeln sich erst mit Beginn, während oder nach der Pubertät.

Eine frühe, wie umfangreich auch immer sich vollziehende Formung von Grundzügen der Persönlichkeitsstruktur hat selbstredend Konsequenzen für das Lernen allgemein und für einen frühen Lernbeginn im Besonderen. In der Musikpädagogik waren und sind Hinweise auf die Notwendigkeit eines frühen Lernens nicht außergewöhnlich. Vielfach fehlte diesen Hinweisen jedoch eine theoretische Untermauerung, die allerdings auch dadurch behindert wurde, dass in der Musikpädagogik und in der Musikpsychologie eine einseitige Orientierung an der Entwicklungstheorie Piagets vorherrschend war (und teilweise noch ist). Mit stetig wachsenden Erkenntnissen der Gehirnforschung dürfte sich aber für die Musikpädagogik und Musikpsychologie ein Feld eröffnen, auf dem neue Erkenntnisse über musikalisches Lernen bzw. über frühes musikalisches Lernen möglich werden. Im Folgenden sollen deshalb die wenigen in der Neurowissenschaft publizierten Aspekte dargestellt werden, die sich auf das Lernen, Üben und Musikmachen beziehen.

In einer Untersuchung zur Aktivierung des menschlichen Gehirns durch Spielen, Hören und Lesen von Musik (Sergent et al. 1992) wurde für zehn professionelle Pianisten eine Aktivierung des rechten Kleinhirns durch Tonlei-

terspiel konstatiert (Messverfahren: PET⁵). Diese Aktivierung geht einher mit einer Aktivierung des linken Frontalhirns, das eine Überlappung aufweist mit dem prämotorischen Areal, welches beim Schreiben von Wörtern aktiviert ist. Sergent et al. schlossen daraus, dass beim Hören und Spielen von Musik Areale der Gehirnrinde in Aktion treten, die sich mit Arealen überlappen, die gleichfalls für das Sprechen und die Wahrnehmung von Sprache eine Funktion haben. Damit ergeben sich Parallelen zu Ergebnissen der Leipziger Untersuchungen.⁶

Resultate einer weiteren Studie mit professionellen Klavierspielern weisen darauf hin, dass vermutlich eine enge Verbindung zwischen der Hörrinde des Großhirns und der motorischen Rinde besteht, da das Melodiehören motorische Gehirnzentren aktiviert und umgekehrt schon ein lautloses Tastendrücken den Stoffwechsel in Hörregionen erhöht. (Bei Klavieranfängern verstärkten sich solche Effekte mit der Anzahl der Klavierstunden.) Zudem wurde bei Klavierspielern die Aktivierung einer Hörregion in der rechten Gehirnhälfte festgestellt, die dem Broca-Areal in der linken Gehirnhälfte entspricht (Bangert/Altenmüller 2003).

Assoziationssysteme, worunter man den Zusammenschluss von Neuronen aus dem Augenblick heraus versteht, machen ca. 80 Prozent der Nervenverbindungen in der Großhirnrinde aus. Unabhängig von Merkmalsausprägungen werden solche Verbindungen zunächst in großem Überschuss angelegt. Bei Erregung von Nervenzellen bilden sich diejenigen Verbindungen stärker aus und bleiben erhalten, die oft gleichzeitig erregt werden, d.h. auf Merkmale reagieren, die häufig gemeinsam auftreten. Damit führen frühe Erfahrungen zu strukturellen Veränderungen. Sie sind von ebenso entscheidender Bedeutung wie genetisch bedingte Strukturveränderungen. Übertragen auf das Instrumentalspiel bedeutet das: Frühes Training von Fertigkeiten verändert jeweils zuständige kortikale Areale.

Um herauszufinden, wie sich immer wieder geforderte Vorgänge sehr präziser Greifbewegungen in der Großhirnrinde abbilden, wurde den Fingern der linken Hand und danach der rechten Hand von neun Berufsgeigern (und einem Berufsgitarristen) ein leichter Berührungsreiz zugeführt und sowohl im rechten als auch im linken Kortex der Abstand der kortikalen Repräsentation zwischen Daumen und kleinem Finger der linken Hand sowie zwischen Daumen und kleinem Finger der rechten Hand gemessen (Verfahren: MEG). Das Ergebnis ist in dreifacher Hinsicht von Interesse: a) das Areal in der Großhirnrinde für die Finger der linken Hand ist flächenmäßig größer ausgebildet als das Areal für die Finger der rechten Hand, b) die Vergrößerung des Areals für die Finger der linken Hand steht in direktem Zusammenhang mit dem Beginn des Geigen- bzw. Gitarrenspiels, d.h. eine Vergrößerung des

die linke Hand abbildenden Areals war vorwiegend bei den Musikern festzustellen, die vor dem zwölften Lebensjahr mit dem Instrumentalspiel begonnen hatten,⁷ c) bei Nichtmusikern (Rechtshändern) ist den Fingern der rechten Hand ein deutlich größeres Areal zugewiesen als den Fingern der linken Hand (Elbert et al. 1995).

In Ergänzung des Ergebnisses von Elbert et al. ist ein Detail der eingangs zitierten Studie von Pantev et al. nachzutragen: Neben der Frage nach einer unterschiedlichen Repräsentation von Tönen bei Musikern und Nichtmusikern wurde auch untersucht, ob sich bei den Musikern dieser Stichprobe ein Zusammenhang zwischen der Vergrößerung der kortikalen Repräsentation von Tönen und dem jeweiligen Beginn der instrumentalen Praxis ergab. Die Studie sagt aus, dass bei den Musikern, die vor dem neunten Lebensjahr begonnen hatten, ein Instrument zu erlernen, eine noch stärkere Zunahme des Gehirnnareals, das Töne aufnimmt, gegeben war als bei denjenigen mit späterem Instrumentalspielbeginn.

Eine im vorigen Jahr durchgeführte Untersuchung, die nicht die Bestimmung spezifischer Gehirnaktivitäten während des Musikmachens bei Profi-, Amateur- und Nichtmusikern zum Ziel hatte, sondern nach Unterschieden fragte, die das gesamte Gehirn betreffen, kam zu dem Ergebnis, dass Profimusiker über mehr graue Gehirns substanz verfügen als Amateur- und Nichtmusiker (Verfahren: MRT, voxelbasierte Morphometrie⁸). In einer Langzeitstudie mit fünf- bis siebenjährigen amerikanischen Schulkindern soll herausgefunden werden, ob die festgestellten Unterschiede für Musiker sozusagen von Geburt an gelten oder das Resultat eines ständigen Trainings sind (Gaser/Schlaug 2003).

Abgrenzung von Bewusstsein und Unbewusstem

Der derzeitigen Diskussion über Bewusstsein und Unbewusstes bzw. über eine Abgrenzung von Bewusstsein und Unbewusstem ist zunächst zu entnehmen, dass bei der Thematisierung von Bewusstsein verschiedenartige Klassifizierungen vorgenommen werden. So unterscheidet man beispielsweise zwischen Hintergrundbewusstsein (u. a. das Erleben der eigenen Identität, die Kontrolle eigener geistiger und körperlicher Handlungen) und aktuellem Bewusstsein (z.B. Sinneswahrnehmungen, Denken, Vorstellen, Erinnern, Wünsche, Absichten; vgl. Roth 2001: 193). Ein anderes Klassifizierungsprinzip beinhaltet eine Einordnung in einen kognitiven (mit Betonung des intentionalen Charakters), phänomenalen (mit Hervorhebung subjektiver und qualitativer Aspekte) und introspektiven oder reflexiven Bereich

(vgl. Pacherie 2004: 6ff.). Unabhängig von solchen differierenden Klassifikationen besteht aber im Allgemeinen Konsens darüber, dass die unterschiedlichen Arten/Formen von Bewusstsein auf Aktivitäten des assoziativen Kortex beruhen. Allerdings wird der assoziative Kortex nicht als der alleinige Entstehungsort von Bewusstsein gesehen. Denn – so die des Öfteren vertretene These – ohne Einwirkung neuromodulatorischer Systeme und des limbischen Systems (besonders des Hippocampus), die ihrerseits wieder auf der Ebene des Unbewussten anzusiedeln sind, entstehe kein Bewusstsein.

Bewusstseinszustände werden vielfach durch zwei Merkmale zu charakterisieren versucht: durch bewusstes Erleben und durch die Möglichkeit, Zustände des Bewusstseins in Worte zu fassen. Darüber hinaus finden sich in der Literatur (vgl. z.B. Delacour 2004: 12ff.) als Kriterien von Bewusstsein der Wachzustand, der so genannte REM-Schlaf (auch »paradoxe Schlaf«⁹ genannt) und bestimmte Fähigkeiten wie z.B. Veränderungen feststellen zu können, ein festes Ziel zu verfolgen oder Metakommunikation treiben zu können.

Als unbewusst gelten alle den Hirnstamm, den Thalamus (Schaltzentrum im Zwischenhirn) und die subkortikalen Zentren des Endhirns betreffenden Vorgänge, die ohne Aktivitäten der assoziativen Großhirnrinde erfolgen. Auch sie umfassen Phänomene wie Wahrnehmung, Lernen, Erinnern, Emotionen und Handlungssteuerung.

Wenn, wie oben skizziert, in der Regel davon ausgegangen wird, dass es sich bei Bewusstsein und Unbewusstem nicht einfach um differente Zustände desselben Gehirnsystems, sondern um zwei Systeme handelt, die sich im Hinblick auf Gehirnanatomie und Funktion unterscheiden, können implizite (bewusste) und explizite (unbewusste) Prozesse gegeneinander abgegrenzt werden (weitere Begriffspaare sind: prozedurale und deklarative, automatisierte und elaborierte [oder kontrollierte] Prozesse). Nach Roth (2001: 228ff.) sind implizite Prozesse u. a. dadurch gekennzeichnet, dass sie rasch und ohne Mühe ablaufen, nur einer geringen willentlichen Kontrolle unterliegen, wenig Aufmerksamkeit und Bewusstsein benötigen, kaum Anfälligkeit gegenüber Fehlern zeigen und durch Übung zu verbessern sind. Explizite Prozesse sind auf kognitive Reserven angewiesen, laufen langsam und vielfach mühevoll ab, verlangen Bewusstsein und Aufmerksamkeit und benötigen Zugriffe auf das Langzeitgedächtnis.

Nach Unterscheidung zweier Systeme und ihrer kennzeichnenden Beschreibung ist nach Maßgabe der formulierten Annahme die Frage zu stellen, in welcher Weise beide Systeme zusammenwirken. Diese Frage wird u. a. dahingehend zu beantworten versucht, dass speziellere Bewusstseinszustände dort auftreten, wo sich das kognitiv-emotionale System mit Phäno-

menen auseinander zu setzen hat, die sowohl wichtig als auch neu sind. Voraussetzung für die Auseinandersetzung ist ein unbewusst funktionierendes System, das alle Wahrnehmungen des Gehirns mit einem raschen Zugriff auf verschiedene Gedächtnisarten nach den Kategorien wichtig/unwichtig und neu/bekannt klassifiziert. Tatbestände, die unbewusst als unwichtig klassifiziert werden, gelangen nicht oder nur undeutlich in das menschliche Gehirn, während als wichtig und bekannt eingestufte Tatbestände zur einer Aktivierung derjenigen Verarbeitungsareale führen, die sich schon zu einem früheren Zeitpunkt mit ihnen beschäftigt hatten (vgl. Roth 2001: 230). In ähnlicher Argumentationsführung wird in einem Zwei- oder Drei-Stufen-Modell der Ebene des Unbewussten eine zentrale Entscheidungsfunktion für menschliche Handlungskontrolle zugeschrieben.

Die äußerst komprimierte Skizze zum Thema Bewusstsein – Unbewusstes eröffnet ein weites Feld für Diskussionen (generell zur Frage, wie weit es heute als gesichert gelten kann, unbewusste Verhaltensdeterminanten gegenüber bewussten in den Vordergrund zu stellen, sowie in Einzelheiten zu Themenbereichen wie Gedächtnis, implizites und explizites Lernen, Kreativität), die an dieser Stelle nicht zu führen sind. Wie sehr sich die ohnehin bestehende inhaltliche Problematik aber noch potenziert, wenn man versucht, Bezüge zur Musik herzustellen, soll wenigstens an einem kleinen Ausschnitt zum Thema Gedächtnis demonstriert werden.

Die Wahrnehmung und Speicherung von Sinnesreizen erfolgt zunächst in der Großhirnrinde. Die Erinnerung an diese Wahrnehmung geschieht beim Menschen auch dann, wenn sie nicht bewusst wird. Man spricht in diesem Fall vom impliziten (oder prozeduralen) Gedächtnis. Es gilt als wichtiger Ort des motorischen Lernens, also des Zustandekommens von Fertigkeiten, und ist weitaus heterogener ausgestaltet als das explizite (oder deklarative) Gedächtnis. Neben den motorischen Fertigkeiten (in der neurowissenschaftlichen Fachliteratur trifft man hier des Öfteren auf das Stichwort »Klavier spielen«) und Fertigkeiten kognitiver Art wird dem impliziten oder prozeduralen Gedächtnis die Entstehung von Gewohnheiten, das Priming (Reproduzieren unbewusster Inhalte), das Klassifizieren auf der Grundlage von Prototypen, die Konditionierung und das Lernen durch Gewöhnung zugerechnet.

Wahrgenommene Reize, die in das Bewusstsein gelangen sollen, müssen von der Großhirnrinde an den Hippocampus geleitet und dort verarbeitet werden. Als eine Art Schaltzentrale entscheidet der Hippocampus darüber, welche Informationen an die Großhirnrinde zurück zu schicken sind, um sie dort zu speichern und zu Inhalten des expliziten (bewussten) Gedächtnisses zu machen. Unterteilt wird das explizite Gedächtnis in ein episodisches Ge-

dächtnis (persönliche Erlebnisse, Erinnerungen zugehörige Gefühle) und ein Fakten- oder Wissensgedächtnis.

Das explizite Gedächtnis, dessen Veränderung durch Erfahrung(en) bewirkt wird, reagiert im Fertigungsbereich in erster Linie auf Üben, das bei bestimmten Fertigkeiten (beispielsweise beim Erlernen eines komplexen Bewegungsablaufs) anfangs große Konzentration verlangt (bei hoher Aktivität beteiligter Regionen in der Großhirnrinde), mit fortschreitender und erfolgreicher Absolvierung infolge einer zunehmenden Verlagerung in die unbewusst agierende motorische Rinde sowie in tiefere motorische Gebiete (Kleinhirn, Basalganglien) aber stets weniger an Aufmerksamkeit und Kontrolle benötigt. Übertragen auf das Instrumentalspiel könnte das u. a. bedeuten, dass die immer wieder in der Instrumentaldidaktik geführte Auseinandersetzung zur Frage eines »unbewussten/bewussten« Übens im Hinblick auf spieltechnische Aspekte mehr oder weniger hinfällig wird, da zum einen mit ungeklärter Begrifflichkeit eine definitive Trennung zwischen »unbewusst« und »bewusst« suggeriert, zum anderen übersehen wird, dass neben Gehirnvorgängen bei der Bewegungsvorbereitung auch schwierige sensorische Leistungen oftmals unbewusst ablaufen. Zudem lässt diese Diskussion die von der Gehirnforschung betonte geringe Wirksamkeit einer bewussten, von oben nach unten verlaufenden Kontrolle innerhalb der Ebenen des limbischen Systems außer Acht.

Emotionen und Verstand

In der Frage, welche Rolle Emotionen im Bewusstseinsprozess spielen, gelangten Antonio R. Damasio und seine Mitarbeiter (in erster Linie Hanna Damasio) auf Grund ihrer Untersuchungen zu der Annahme, dass Emotionen und Verstand nicht voneinander zu trennen sind und emotionale Prozesse die Grundvoraussetzung für die Entwicklung des Bewusstseins darstellen (Damasio 1994, Damasio 2000).¹⁰ Ausgangspunkt für diese Annahme war das auffällige Verhalten von Patienten, bei denen Störungen des limbischen Systems vorlagen.

In einschlägigen neurowissenschaftlichen Publikationen wird heute oftmals davon ausgegangen, dass Vernunft und Verstand eingebettet sind in den Bereich der Emotionen. Ihre Entstehung und Kontrolle unterliegt den vornehmlich unbewusst agierenden Zentren des limbischen Systems, die darüber hinaus für die Entstehung der Gedächtnisorganisation, der Aufmerksamkeits- und Bewusstseinssteuerung sowie der vegetativen Funktionen verantwortlich sind. Diese Zentren des limbischen Systems entstehen früher als

die bewusst operierenden kortikalen Zentren. Zudem markieren sie die Grenzen, innerhalb derer Letztere agieren (vgl. Roth 2001: 451). Ohne Emotionen kommen aus Sicht der Gehirnforschung beim Menschen keine Entscheidungen zu Stande, erfolgt keine Bewertung und Steuerung von Verhalten. Emotionen sind die Basis für Rationalität.

Eine kürzlich veröffentlichte Studie (Vingerhoets et al. 2003) zur Frage der Unterscheidung prosodischer und semantischer Elemente in sprachlichen, die Gefühlsebene betreffenden Äußerungen kommt zu dem Resultat, dass eine deutliche Arbeitsteilung beider Gehirnhemisphären vorliegt: Beim Anhören gefühlsbeladener, z.B. Furcht, Ärger, Trauer oder Freude ausdrückender Sätze (und auch so genannter neutraler Sätze) sind beide Gehirnhälften aktiviert, unterscheiden sich jedoch je nach Aufgabenstellung durch das Ausmaß der Lateralisierung. Wenn die an der Untersuchung beteiligten sechsunddreißig Personen ihre besondere Aufmerksamkeit auf den Gefühlsausdruck des Gesprochenen richten sollten, war die rechte Gehirnhälfte stärker involviert, während bei der Aufforderung, sich nur auf den Inhalt eines gesprochenen Satzes zu konzentrieren, eine signifikant stärkere Beanspruchung der linken Gehirnhälfte zu beobachten war. Mit einer Schlussfolgerung der Untersuchung, dass bei der Einschätzung des Emotionsgehalts von Gehörtem immer gleichzeitig auch eine Prüfung des Bedeutungsgehalts stattfindet, ergeben sich Parallelen zu den skizzierten allgemeinen Aussagen, wonach Verstandes- und Emotionsebenen nicht voneinander zu trennen sind.

Im Kontext von emotionalen Prozessen und Lernen ist auf die von der Gehirnforschung akzentuierte Abhängigkeit der Lernvorgänge von Bewertungssystemen hinzuweisen. Diese aus mehreren Kerngebieten in der Tiefe des Gehirns stammenden Bewertungssysteme müssen aktiviert sein, damit Lernen in Gang gesetzt wird. Ihre Aktivierung erfolgt in besonderem Maße dann, wenn Inhalte der Wahrnehmung mit emotionalen Reaktionen verbunden sind. Ohne solche zusätzlichen, intern hervorgebrachten Signale können weder die erfahrungsbedingten Veränderungen der Verschaltung in frühen Lernphasen noch die Lernprozesse im Erwachsenenalter erfolgen (vgl. Singer 1998: 51).

Forschungen, die sich speziell mit dem diffizilen Thema Musik und Emotionen beschäftigen, befinden sich erst in einem Anfangsstadium. Sozusagen noch im Vorfeld der Thematik lassen erste Forschungsbemühungen vermuten, dass die Wahrnehmung von konsonanten und dissonanten Klängen vor bzw. getrennt von einer emotionalen Bewertung erfolgt (Blood et al. 1999). Nach einer weiteren, vom Gänsehauteffekt ausgehenden Untersuchung, soll Musik neuronale Belohnungssysteme und Emotionen aktivieren, die biolo-

gisch wichtigen Stimuli wie Nahrung und Sex oder auch künstlichen, durch Drogen hervorgerufenen Reizen gleichkommen. Außerdem würden durch Musik, die man als angenehm empfindet, emotionale Reaktionen wie Furcht oder Widerwille vermindert (Blood/Zatorre 2001). Zur Klärung der Fragestellung, ob die kortikale Verarbeitung von Musik abhängig ist von emotionalen Reaktionen, scheinen Befunde einer dritten Untersuchung darauf hin zu deuten, dass keine allgemein bestimmbares, emotionsunabhängige Aktivierungsverteilung besteht, weil emotionale Reaktionen die Aktivierungsgegebenheiten in beiden Gehirnhälften bestimmen (Schürmann et al. 2003).¹¹

Wenn es zutreffen sollte, dass keine Trennung zwischen Emotion und Kognition besteht, Emotionen das Fundament für Rationalität bilden, d.h. ohne sie keine Bewertung und Steuerung von Verhalten zu Stande kommen, und Lernvorgänge nur dann erfolgreich verlaufen, wenn Emotionen im Spiel sind, müsste eine kritische Überprüfung im Hinblick auf Musik bzw. musikalische Lernvorgänge dazu führen, nicht nur bekannte allgemeine Lehrbuch-schemata (z.B. Sensorik – Kognition – Motorik), sondern auch die in der musikpädagogischen Literatur (einschließlich Lehrplänen) immer wieder vorgenommene Unterscheidung in kognitive, affektive und psychomotorische Bereiche in Frage zu stellen bzw. zu revidieren. Im Besonderen ist für das Instrumentalspiel resp. das Üben zu prüfen, ob und in welcher Weise emotionale Aktivierungen eine Konsolidierung dessen zur Folge haben, was durch Üben erreicht wurde.

Kritikpunkte musikbezogener neurowissenschaftlicher Studien

Musikpsychologische Studien zum Thema Entwicklung musikalischer Fähigkeiten (wobei teilweise Fragestellungen zum Konstrukt Musikalität eingeschlossen sind), die nicht selten auch in der musikbezogenen neurowissenschaftlichen Literatur zur Untermauerung oder Ergänzung zitiert werden, konzentrieren sich in der Regel auf die Untersuchung elementarer musikalischer Wahrnehmungsfähigkeiten und elementarer Reproduktions- und Produktionsleistungen, d. h. auf die Erforschung von Fähigkeiten, die nicht auf der Grundlage einer gezielten Förderung entstanden sind. Untersuchungen dieser Art vermitteln ein Bild der Fähigkeitsentwicklung, das viele interessante Details zeigt, in seiner Gesamtheit jedoch eine Reihe unscharfer Konturen und einseitiger Perspektiven aufweist. In forschungsmethodischer Hinsicht ist für solche Unschärfen die Schwierigkeit verantwortlich, Ergebnisse

in Beziehung zu setzen, die – selbst bei gleicher Themenstellung – infolge unterschiedlicher Forschungsansätze bzw. andersartiger Frageintentionen oder differierender methodischer Vorgehensweisen zustande gekommen sind. Eine weitere Problematik besteht darin, dass Ergebnisse nicht selten auf Stichproben von stark variierender Größe mit unterschiedlichsten Altersgruppierungen beruhen oder gelegentlich Hinweise zum Auswahlverfahren von Stichproben fehlen. In inhaltlicher Sicht ist meistens eine Vernachlässigung struktureller sozialisationstheoretischer Aspekte festzustellen: Musikalische, personale und soziale Bedingungen und Entwicklungen von Kindern/Jugendlichen spielen eine untergeordnete Rolle. Gleiches gilt für Fragestellungen zu allgemeinen und musikalischen Einflüssen und Wechselwirkungen, die sowohl von der unmittelbaren räumlichen und sozialen Umwelt (Personen, Kleingruppen, soziale Netzwerke) als auch von organisierten Sozialisationsinstanzen und sozialen Organisationen ausgehen (vgl. Pape 2002). Unverständlich bleibt außerdem die Tatsache, dass Jazz und Populäre Musik ungeachtet ihrer gesellschaftlichen und individuellen Bedeutung in vielen Untersuchungen ausgeklammert sind.

Die beiden letzten Kritikpunkte (Vernachlässigung musiksozialisatorischer Aspekte, Ausklammerung von Jazz und Populärer Musik) treffen in der Regel ebenfalls für neurowissenschaftliche Arbeiten zu, die sich explizit mit Musik beschäftigen. Dimensionen musikalischer Sozialisation werden kaum berücksichtigt, d.h. Gesichtspunkte zur Persönlichkeitsentwicklung in Wechselwirkung von Individuation und Vergesellschaftung sind durchweg nicht einmal ansatzweise zu erkennen. Das ist umso erstaunlicher, weil auch in neurowissenschaftlichen Diskursen immer wieder die Bedeutung von Umwelteinflüssen hervorgehoben wird.

Ein Grund für die Ausklammerung musiksozialisatorischer Fragestellungen könnte möglicherweise darin zu suchen sein, dass in einem noch relativ jungen Wissenschaftszweig zunächst bestimmte Forschungsprioritäten zu setzen sind. Da aber die angesprochene Problematik nicht aus dem Blickfeld geraten darf, um einseitige Sichtweisen zu vermeiden, sollten diese Mängel wenigstens zur Debatte gestellt werden.

Unübersehbar ist die Fokussierung auf die traditionelle Kunstmusik als Untersuchungsgegenstand: Überwiegend entstammen die in neurowissenschaftlichen Studien verwendeten Musikbeispiele dem Bereich der so genannten Klassischen Musik, wobei in der Regel Hinweise zu Auswahlprinzipien und genauere Angaben bzw. kurze musikalische Analysen der zu hörenden Ausschnitte fehlen.

Populäre Musik als Untersuchungsgegenstand bildet die Ausnahme (Walker 1977, Mitkov et al. 1981, Behne/Lehmkuhl 1988, Behne et al. 1989,

Field 1998). Zudem dienen Beispiele der Populären Musik fast durchweg einem Vergleich mit Beispielen aus der Klassischen Musik. Erläuterungen zur Musik sind auch hier Fehlanzeige (mit einer Ausnahme bei Behne).

Eine oft geringe Stichprobengröße, gleichfalls ein Kennzeichen musikbezogener neurowissenschaftlicher Studien, könnte ihre Ursache in den Untersuchungskosten oder auch in den von einem sehr komplizierten Messinstrumentarium gesetzten Rahmenbedingungen haben. Im Sinne von Vorstudien ist gegen Untersuchungen mit geringer Stichprobengröße nichts einzuwenden. Einwände sind jedoch gegen Tendenzen der Überinterpretation zu erheben, d.h. Befunde solcher Stichproben vorschnell zu verallgemeinern. Entsprechende Mitteilungen und Berichte in Presse, Rundfunk und Fernsehen, ohnehin auf Vereinfachungen und Vergrößerungen spezialisiert, verstärken diese Tendenzen in erheblichem Maße.

Neben meistens fehlenden Diskursen über die Bedeutung unterschiedlicher Qualität von Musikbeispielen, die in neurowissenschaftlichen Untersuchungen Anwendung fanden, wurden bisher kaum Fragen problematisiert und diskutiert, welcher spezifischen Art und Größe Einflüsse sind, die bei musikbezogenen Studien von einer Laboruntersuchungspraxis ausgehen. Das betrifft nicht zuletzt das Musikhören: Allein schon die Laborsituation steht in diametralem Gegensatz zu allen sonstigen Hörsituationen, die in der Lebenswelt der Versuchsteilnehmer vorkommen. Ungemein diffiziler gestalten sich die situativen Umstände von Laboruntersuchungen, wenn schwierigere musikalische Sachverhalte Untersuchungsgegenstand sind. Zu nennen ist hier ein beinahe schon kurios anmutendes Beispiel, bei dem sich Amateur- und Profigeiger zur Messung von Gehirnaktivitäten in die enge und laute Röhre eines fMRT-Gerätes zu begeben hatten mit der Aufgabenstellung, Griffbewegungen in Passagen des Violinkonzerts G-Dur von Mozart zu simulieren (Lotze et al. 2003).¹²

Vorläufiges Resümee

Der Versuch, einen auf Musik gerichteten Überblick zum Stand der gegenwärtigen neurowissenschaftlichen Forschung zu bekommen, zeigt, dass musikspezifische Fragestellungen in der allgemeinen neurowissenschaftlichen Literatur noch einen marginalen Charakter haben. Auffällig ist allerdings, wie häufig Musik erwähnt wird.¹³

Das Erkenntnisinteresse der auf Musik bezogenen Arbeiten konzentriert sich derzeit noch vorwiegend auf das Hören von Musik. Dass damit nur ein erster Schritt in Richtung eines Versuchs, Determinanten musikalischen Ver-

haltens zu bestimmen, getan werden kann, ist nicht von vornherein schon mit negativen Vorzeichen zu versehen. Allerdings scheinen die Kriterien für die Auswahl spezifischer Fragestellungen bisher eher zufälliger Art zu sein, was die Lückenhaftigkeit der Ergebnisse erklärt. Zudem sind die Befunde neurowissenschaftlicher Studien zum Musikhören bisher von eingeschränkter Aussagekraft, da die untersuchungstechnischen Bedingungen dem zeitlichen Rahmen ausgewählter Musikbeispiele noch enge Grenzen setzen. Zu erforschen bleibt u. a., welche Gehirnregionen in welcher zeitlichen Abstufung verantwortlich sind für das Hören komplexerer musikalischer Gebilde und welche spezifischen Gehirnaktivitäten einer angenommenen Arbeitsteilung zwischen linker und rechter oberer Schläfenlappenwindung zu Grunde liegen.

Gegenüber Studien zu Wahrnehmungsphänomenen von Musik befindet sich die Forschung in den Themenbereichen Musikmachen, Abgrenzung zwischen Bewusstsein und Unbewusstem sowie Emotionen in den Anfängen. Neue Untersuchungsprojekte sind für den deutschsprachigen Raum in Leipzig (Max-Planck-Institut) und Hannover (Hochschule für Musik und Theater) angekündigt. Es bedarf keiner weiteren Betonung, dass Forschungsarbeiten im Bereich emotionaler Reaktionen auf Musik ein ganz besonderes Gewicht für die Musikpsychologie und Musikpädagogik haben.

In gesonderter musikpädagogischer Sicht legen einige musikbezogene neurowissenschaftliche Studien die Annahme nahe, dass jeder Mensch über ein musikalisches Grundempfinden verfügt. Für die Musikpädagogik beinhaltet eine solche Ansicht keine überraschend neue Erkenntnis. Wenn unzulässige Überzeichnungen vermieden werden, könnte diese Sichtweise jedoch als zusätzliche Argumentationshilfe für konzeptionelle musikpädagogische Begründungszusammenhänge dienen, zumal offensichtlich schwierige Sachverhalte wie etwa die Problematik von Musikalität oder Begabung in der Öffentlichkeit nur ungenügend darstellbar sind und allenfalls zu Schlagworten verkommen.

Mit dem für musikalisches Lernen (und besonders für das Erlernen von Instrumenten) relevanten Hinweis auf die von der Gehirnforschung immer wieder hervorgehobene Bedeutung eines frühen Lernbeginns besitzt die Musikpädagogik ein Argument, das es offensiv in der Öffentlichkeit einzusetzen gilt (Notwendigkeit einer gezielten Förderung der Musikalischen Früherziehung, des Musikunterrichts in der Grundschule und des frühen Instrumentalspiels). Bei der Betonung des hohen Stellenwerts einer frühen Förderung sollte jedoch nicht vergessen werden, dass die Entwicklung gesellschaftlichen Handelns, die sich erst während oder nach der Pubertät vollzieht und

in deren Abfolge Musik eine nicht unerhebliche Rolle spielen kann, einen für die Ausbildung der Persönlichkeitsstruktur nachhaltigen Vorgang darstellt.

Auch lebenslanges Lernen, u. a. ein Kernpunkt der musikalischen Erwachsenenbildung, ist nach derzeitigen Erkenntnissen der Gehirnforschung (Veränderbarkeit von Verbindungen zwischen Neuronen, Nachwachsen von Nervenzellen, Neuroplastizität) keineswegs mehr in Frage zu stellen. Im übrigen können, wie Ergebnisse einer kürzlich veröffentlichten Langzeitstudie zeigen (Verghese et al. 2003), auch im Alter durch mindestens zweimal wöchentlich erfolgende kognitive Aktivitäten, unter denen ausdrücklich das Spiel von Instrumenten erwähnt ist, kognitive Reserven mobilisiert und Demenz hinausgeschoben bzw. verhindert werden.

Ein früher Lernbeginn ist in der Musik in der Regel verbunden mit Üben, das weitgehend mit dem prozeduralen Lernen (Lernen von Fähigkeiten) gleichgesetzt werden kann. Auch wenn es sich hier um einen in der Musikpädagogik schon immer bekannten Sachverhalt handelt, wird die Bedeutung und Unabänderlichkeit des Übens durch neurowissenschaftliche Forschungen unterstrichen. Allerdings besteht weiterhin die Notwendigkeit, über eine ganze Reihe strittiger und bisher ungeklärter Fragen zu diskutieren, zu der die Gehirnforschung aus sachlichen Gründen kaum Hilfestellung geben kann: Sie betreffen u. a. den Erfolg des Übens im Verhältnis von Ausmaß des täglichen Übensums und der Übedauer an Jahren (seit Beginn des Instrumentalspiels) sowie nicht zuletzt Fragen der Motivation zum Üben, die ein zentrales Problem des Musizierens darstellen. Eine zusätzliche Schwierigkeit würde der Versuch mit sich bringen, auf der Basis physiologischer Rahmenbedingungen wenigstens annäherungsweise Eignungskriterien für das Erlernen bestimmter Instrumente zu erarbeiten.

Angesichts der Kompliziertheit des Gegenstandes, der methodologischen Komplexität und einer nicht zur Verfügung stehenden, kostspieligen geräte-technischen Ausrüstung erscheint ausgeschlossen, dass die Systematische Musikwissenschaft und die Musikpädagogik sich einfach in neurowissenschaftliche Forschung einklinken und sozusagen aus sich selbst heraus Untersuchungen in Gang bringen könnten. Forschung ist nur möglich in interdisziplinärer Zusammenarbeit. Ad hoc realisierbar ist allerdings für die Musikwissenschaft und Musikpädagogik, relevante, d.h. auf Musik bezogene Erkenntnisse und Ergebnisse der Neurowissenschaften zur Kenntnis zu nehmen, sie im Hinblick auf ihre musikwissenschaftliche und musikpädagogische Relevanz zu prüfen und zu kommentieren.

Anmerkungen

1 Einen Kernpunkt der Gesamtproblematik bildet der Zusammenhang zwischen Genen und Verhalten: Zahlreiche Strukturen und Funktionen des menschlichen Gehirns entwickeln sich zum einen in Prozessen der Selbstorganisation des Gehirns, die weitgehend unabhängig von der Umwelt verlaufen, zum anderen in solchen, die in hohem Maße den vielfältigen Umwelteinflüssen sowie auch autobiographischen Einflussgrößen unterliegen (letztere Prozesse betreffen in erster Linie komplexe Wahrnehmungsvorgänge, beziehen sich also auf für geistige Tätigkeiten zuständige Gehirnaktivitäten). Gegenüber genetischen Determinanten sind beide Entwicklungsprozesse zumindest von gleichrangiger Relevanz. Eine eindeutige und einfache Beziehung zwischen Genen und Verhalten, wie sie von manchen Verhaltensgenetikern nahe gelegt oder propagiert wurde (und wird) und die den Gedanken von der Formbarkeit des Ichs in den Hintergrund treten ließ, stößt heute auch in der Genforschung allmählich auf Skepsis. Sie gründet sich u. a. in der Erkenntnis, dass eine immer größer werdende Komplexität eines Organismus eine immer größer werdende Vielfalt des Verhaltensrepertoires zur Folge hat.

- 2 Bei der Messung von Gehirnaktivitäten sind grundsätzlich zu unterscheiden:
- a) Verfahren zur Erfassung von magnetischen und elektrischen Feldern, die durch neuronale Prozesse entstanden sind (MEG und EEG),
 - b) Verfahrensweisen zur Registrierung des lokalen Blutflusses, der durch neuronale Erregungszustände ausgelöst wird (PET und MRT bzw. fMRT).

Alle vier Methoden werden als bildgebende Verfahren bezeichnet. MEG (Magnetenzephalographie) und EEG (Elektroenzephalographie) eignen sich in besonderer Weise, die Repräsentation des Körpers im Gehirn sichtbar zu machen. Das betrifft z.B. die Hirnregionen, die für bestimmte Gliedmaßen zuständig sind. In richtiger Kombination eingesetzt, ergänzen sich MEG und EEG (Sichtbarmachung von Gehirnregionen, die mit der MEG schwer zu erfassen sind, bei gleichzeitig gegenüber der EEG genauere Verteilungsbild). Neue Geräte verfügen sowohl über das MEG- als auch das EEG-System. Die PET (Positronen-Emissions-Tomographie), eine der wichtigsten Methoden zur Erkundung der kognitiven Funktionen des menschlichen Gehirns, ist das (bisher) einzige Verfahren, mit dem die Relation zwischen kognitiven Prozessen und der Neurotransmission erforscht werden kann.

Die MRT bzw. fMRT (Magnetresonanztomographie bzw. funktionelle Magnetresonanztomographie) wurde vornehmlich benutzt zur Erforschung des Sehsystems, der Motorik der Augen und des Arbeitsgedächtnisses. Heute werden mit der fMRT alle Regionen der Gehirnrinde und die darunter befindlichen Strukturen sowie alle kognitiven Funktionen untersucht. Eine prägnante Rolle hat die fMRT auch bei Erkundungen der Plastizität des Gehirns (neuronale Veränderungen beim Lernen).

Zur Aufschlüsselung der registrierten Signale benötigen die genannten Verfahren komplizierte, computergestützte mathematische Analysen. Außer der Kombination von MEG und EEG wird heute vielfach versucht, alle genannten Verfahren miteinander zu verbinden. Die neueste technische Entwicklung auf dem Gebiet der fMRT ist eine Ganzkörper-MRT mit einer deutlich höheren magnetischen Feldstärke

(4 Tesla gegenüber 1,5 Tesla), die auch bei Messungen an einer einzelnen Person ausgeprägte Signale ermöglicht (Standort: Forschungszentrum Jülich).

3 Die MEG (Magnetenzephalographie) registriert mittels Elektroden (in heutigen Messgeräten in einer Haube oder einem Helm integriert) in Echtzeit die magnetische Signatur von Gehirnaktivitäten (an der Kopfhaut; tiefer liegende Neuronengruppen sind weniger oder kaum in MEG-Signalen abzubilden). Alle Daten zur Leitfähigkeit und Geometrie der Gewebe werden zu einem dreidimensionalen Gittermodell zusammengefasst. Die räumliche Auflösung liegt im Zentimeterbereich (etwas besser als bei der EEG), die zeitliche Auflösung ist millisekundengenau.

4 Die EEG (Elektroenzephalographie) registriert in Echtzeit das elektrische Potential, das auf die Gesamtheit der Primär- und Sekundärströme zurückgeht (elektrische Signatur wird an der Kopfhaut abgegriffen). Mit der EEG kann eine relativ große Anzahl von Nervenzellen gemessen werden. Wie bei der MEG liegt die zeitliche Auflösung im Millisekundenbereich (quasi in Echtzeit). Dagegen sind die Möglichkeiten der räumlichen Lokalisierung noch eingeschränkter als bei der MEG. Im Kontext von EEG sind EKP (Ereigniskorrelierte Potentiale) zu erwähnen, welche die Änderungen der EEG infolge der Wahrnehmung äußerer Reize oder intern hervorgerufener Ereignisse (Vorstellungen, Erinnerungen) erfassen. Da mit bloßem Auge nicht erkennbar, werden solche Änderungen durch Mittelungsverfahren aus der EEG extrahiert. Die fMRT (funktionelle Magnetresonanz-Tomographie) nutzt ein Hauptelement des menschlichen Körpers: Wasserstoff. Die fMRT misst, wie sich Kernspins von Wasserstoffkernen verhalten. Eine Injektion einer radioaktiven Substanz ist somit nicht erforderlich. Außerdem sind mehrfache Untersuchungen problemlos möglich (Schwierigkeiten können sich allerdings dadurch ergeben, dass sich eine VP in eine enge und laute Röhre begeben muss). Die fMRT besitzt wie die PET eine gute räumliche Auflösung (ebenfalls bis in den Bereich von Millimetern), die zeitliche Auflösung ist aber – ähnlich wie bei der PET – mit Schwächen behaftet. Die fMRT firmiert auch unter fNMR (funktionelle Kernspin-Tomographie).

5 Die PET (Positronen-Emissions-Tomographie) macht Veränderungen des lokalen Blutflusses im Gehirn sichtbar, die von neuronalen Aktivitäten hervorgerufen werden (neuronale Aktivitäten verbrauchen Energie, für deren Bereitstellung Glucose und Sauerstoff notwendig sind). Der Indikator, mit dessen Hilfe der Blutfluss von außen gemessen werden kann, ist Wasser, das in radioaktiv markierter Form (radioaktives Isotop oder ein damit gekennzeichnetes Molekül) einer Versuchsperson injiziert wird. Die PET (mit zylindrischer, den Kopf umgebender Apparatur) ermöglicht eine Aufzeichnung der Durchblutung im gesamten Gehirn und die Umsetzung in ein dreidimensionales Aktivitätsbild. Die räumliche Auflösung ist gut (bis in den Millimeterbereich). Der zeitlichen Auflösung sind jedoch Grenzen gesetzt: schnelle neuronale Prozesse werden mit der PET nicht erfasst. Auch die Darstellung der Anatomie eines untersuchten Gehirns ist nicht möglich.

6 Weitere Übereinstimmungen zeigen zwei an der Chinese University of Hong Kong (Departement of Psychology) entstandene Studien, die einen Zusammenhang zwischen Instrumentalspiel bzw. musikalischem Training und sprachlichem Gedächtnis herstellen. Danach können Kinder, die vor dem zwölften Lebensjahr mit

dem Spiel von Klavier, Violine oder Flöte begonnen haben, sich besonders gut an Gesprochenes erinnern. Gleichzeitig sollen durch das Instrumentalspiel auch allgemeine physische Veränderungen im Gehirn gefördert werden, von denen wiederum andere Fähigkeiten ihren Nutzen haben (Chang et al. 1998). Männliche Schüler im Alter von sechs bis fünfzehn Jahren, von denen fünfundvierzig Teilnehmer des Programms »Band und Orchester« waren, wiesen nach einem ein- bis fünfjährigen Untersuchungszeitraum signifikant bessere verbale Gedächtnisleistungen auf als Schüler ohne musikalisches Training (Ho et al. 2003).

7 Singer (1998: 50) weist in diesem Zusammenhang darauf hin, dass es bei Geigern, die erst nach dem 20. Lebensjahr mit dem Geigenspiel beginnen, zu keiner Vergrößerung der Repräsentation der linken Hand in der Großhirnrinde mehr komme.

8 Mit Hilfe der voxelbasierten Morphometrie können dreidimensionale Gehirnregionen dargestellt werden.

9 Der REM-Schlaf, gekennzeichnet durch ruckartige Augenbewegungen, ist meistens von Träumen begleitet. In dieser Phase ist das Gehirn bisweilen aktiver als im Wachzustand. Die Reizschwellen der Sinnesorgane sind erhöht, die Muskeln dagegen erschlaffen.

10 Im Gegensatz zur neueren Psychologie, wo die Begriffe Emotion und Gefühl (auch Emotion und Affekt) vielfach synonym gebraucht werden, differenziert Damasio im Sinne einer Trennung in zwei Gruppen unterschiedlicher Phänomene: »emotions« und »feelings« (in etwa angemessen mit »Gefühle« zu übersetzen). Emotionen sind nach Damasio »öffentliche« Vorgänge (z.B. zittern, erröten), während Gefühle »innerliche, private« Prozesse darstellen. Gefühle folgen erst dann Emotionen, wenn das Gehirn festgestellt hat, welche Veränderungen im Körper vor sich gegangen sind.

11 Gemeinsames Merkmal aller drei Untersuchungen ist eine Stichprobengröße von maximal sechzehn Versuchsteilnehmern/-teilnehmerinnen.

12 Laut Ergebnis dieser mit Hilfe der fMRT durchgeführten Untersuchung mit acht Profi- und acht Amateurgeigern verteilen sich bei den Profigeigern die Gehirnaktivitäten nicht über eine Vielzahl von Gehirnbereichen, sondern konzentrieren sich auf drei Regionen: primäres motorisches Zentrum, primäre Hörrinde und Gehirnnareale im oberen Partiaallappen.

13 Aktuell im »Manifest« führender deutscher Neurowissenschaftler über Gegenwart und Zukunft der Hirnforschung, wo zum Schluss von einer Bach-Fuge die Rede ist (*Gehirn und Geist* 2004, 6, 37).

Zitierte Literatur

- Altenmüller, Eckart (2002). »Musik im Kopf.« In: *Gehirn und Geist* 2, S. 18-25.
- Bangert, Marc / Altenmüller, Eckart (2003). »Mapping Perception to Action in Piano Practice: A Longitudinal DC-EEG-study.« In: *BMC Neuroscience* 4, S. 26-36.
- Behne, Klaus-Ernst / Lehmkuhl, Peter (1987). »EEG-Korrelate des Musikerlebens. Teil 1.« In: *Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie* 4, S. 49-63.
- Behne, Klaus-Ernst et al. (1988). »EEG-Korrelate des Musikerlebens. Teil 2.« In: *Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie* 5, S. 95-110.
- Blood, Anne J. et al. (1999). »Emotional Responses to Pleasant and Unpleasant Music Correlate with Activity in Paralimbic Brain Regions.« In: *Nature Neuroscience* 2, S. 382-387.
- Blood, Anne J. / Zatorre, Robert J. (2001). »Intensely Pleasurable Responses to Music Correlate with Activity in Brain Regions Implicated with Reward and Emotion.« In: *Proceedings of the National Academy of Sciences* 20, S. 11818-11823.
- Chan, Agnes S. et al. (1998). »Music Training Improves Verbal Memory.« In: *Nature* 396, S. 128.
- Damasio, Antonio R. (1994). *Descartes' Irrtum. Fühlen, Denken und das menschliche Gehirn*. München: List.
- Damasio, Antonio R. (2000). *Ich fühle, also bin ich. Die Entschlüsselung des Bewusstseins*. München: List.
- Damasio, Antonio R. / Damasio, Hanna (1977). »Musical Faculty and Cerebral Dominance.« In: *Music and the Brain*. Hg. v. : Macdonald Critchley und R. A. Henson. London: W. Heinemann, S. 141-155.
- Delacour, Jean (2004). »Was kann die Neurobiologie erklären? Ist Bewusstsein eine reine Illusion?« In: *Spektrum der Wissenschaft. Spezial 1 (Bewusstsein)* 2004, S. 12-19.
- Elbert, Thomas. et al. (1995). »Increased Cortical Representation of the Fingers of the Left Hand in String Players.« In: *Science* 270, S. 305-307.
- Field, Thomas et al. (1998). »Music Shifts Frontal EEG in Depressed Adolescents.« In: *Adolescence* 33, S. 109-116.
- Gaser, Christian / Schlaug, Gottfried (2003). »Brain Structures Differ Between Musicians and Non-Musicians.« In: *Journal of Neuroscience* 23, S. 9240-9245.
- Hirshkowitz, Max et al. (1978). »EEG Alpha Asymmetry in Musicians and Non-Musicians: A Study of Hemispheric Specialization.« In: *Neuropsychologia* 16, S. 125-128.
- Ho, Yim-Chi et al. (2003). »Music Training Improves Verbal but Not Visual Memory: Cross-Sectional and Longitudinal Explorations in Children.« In: *Neuropsychology* 3, S. 439-450.
- Lotze, Martin et al. (2003). »The Musicians' Brain: Functional Imaging of Amateurs and Professionals during Performance and Imagery. In: *NeuroImage* 20, S. 1817-1829.
- Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience (2001; Presseinformation). »Harmonie im Hirn — jeder ist musikalisch.« [http://www.cns.mpg.de/institute/wissenschaft/print/musik_d.mxl; Stand v. 15.11.2002].
- Messerli, Pierre et al. (1995). »Hemispheric Dominance for Melody Recognition in Musicians and Non-Musicians.« In: *Neuropsychologia* 33, S. 395-405.

- Pantev, Christo et al. (1998). »Increased Auditory Cortical Representation in Musicians.« In: *Nature* 392, S. 811-814.
- Pacherie, Élisabeth (2004). »Mehr als ein Bewusstsein. Das Phänomen Bewusstsein hat viele Facetten.« In: *Spektrum der Wissenschaft. Spezial 1 (Bewusstsein)* 2004, S. 6-11.
- Pape, Winfried (2002). »Mehr Fragen als Erkenntnisse zur musikalischen Sozialisation.« In: *Jazzforschung/Jazzresearch* (Festschrift E. Jost). 34. Graz: Akademische Druck- und Verlagsanstalt, S. 177-197.
- Peretz, Isabelle / Babai, Myriam (1992). »The Role of Contour and Intervals in the Recognition of Melody Parts: Evidence from Cerebral Asymmetries in Musicians.« In: *Neuropsychologia* 30, S. 277-292.
- Petsche, Hellmuth (1994). »The EEG While Listening to Music.« In: *EEG-EMG-Zeitschrift* 25, S. 130-137.
- Prilipp, Arnd (2000). »Jeder ist musikalisch.« In: *Presseinformation Max-Planck-Gesellschaft* [http://www.mpg.de/pri48_00.htm; Stand v. 12.11.2002].
- Roth, Gerhard (2001). *Fühlen, Denken, Handeln. Wie das Gehirn unser Verhalten steuert*. Frankfurt/M.: Suhrkamp.
- Schürmann, Kristian et al. (2003). »Musik und Emotion. Hemisphärenasymmetrie bei affektiver Verarbeitung auditiver Reize.« [<http://www.immm.hmt-hannover.de/pages/schuermann/induziert.htm>; Stand v. 29.7.2003].
- Schuppert, Maria et al. (2000). »Receptive Amusia: a Common Symptom Following Unilateral Cerebro-Vascular Cortical Lesions.« In: *Brain* 123, S. 546-559.
- Sergent, Justine et al. (1992): »Distributed Neuronal Network Underlying Musical Sight-Reading and Keyboard Performance.« In: *Science* 257, S. 106-109.
- Singer, Wolf (1998): »Früh übt sich ...« — Zur Neurobiologie des Lernens.« In: *Ungenutzte Potentiale. Wege zu konstruktivem Üben*. Hg. v. G. Mantel. Mainz: Schott, S. 43-53.
- Spitzer, Manfred (2003). *Musik im Kopf. Hören, Musizieren, Verstehen und Erleben im neuronalen Netzwerk*. Stuttgart: Schattauer (3. Aufl.).
- Verghese, Joe et al. (2003). »Leisure Activities and the Risk of Dementia in the Elderly.« In: *The New England Journal of Medicine* 25, S. 2508-2516.
- Vingerhoets, Guy et al. (2003). »Cerebral Hemodynamics During Discrimination of Prosodic and Semantic Emotion in Speech Studied by Transcranial Doppler Ultrasonography.« In: *Neuropsychology* 1, S. 93-99.
- Vollmer-Haase, Juliane et al. (1998). »Hemispheric Dominance in the Processing of J. S. Bach Fugues: A Transcranial Doppler Sonography (TDC) Study with Musicians.« In: *Neuropsychologia* 38, S. 857-867.

Weiterführende Literatur

- Altenmüller, Eckart (2001). »How many Music Centers are in the Brain?« In: *Annals of the New York Academy of Sciences*, S. 930.
- Altenmüller, Eckart / Beisteiner, Roland (1996). »Musiker hören Musik. Großhirnaktivierungsmuster bei der Verarbeitung rhythmischer und melodischer Strukturen.« In: *Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie* 12, S. 89-109.
- Altenmüller, Eckart et al. (1997). »Music Learning Produces Changes in Brain Activation Patterns: A Longitudinal DC-EEG Study.« In: *International Journal of Arts Medicine* 5, S. 28-34.

- Altenmüller, Eckart et al. (2000a). »Neuronale Grundlagen der Verarbeitung musikalischer Zeitstrukturen.« In: *Rhythmus. Ein interdisziplinäres Handbuch*. Hg. v. Katharina Müller und Gisa Aschersleben. Bern: Huber, S. 59-78.
- Altenmüller, Eckart et al. (2000b). »The Impact of Music Education on Brain Networks: Evidence from EEG-Studies.« In: *International Journal of Music Education* 35, S. 47-53.
- Avanzini, Giuliano / Faienza, Carmine / Minciacchi, Diego / Lopez, Luisa / Majno, Maria (2004). *The Neuroscience and Music*. (= Annals of the New York Academy). New York: New York Academy of Sciences.
- Gaab, Nadine / Schlaug, Gottfried (2003). »The Effect of Musicianship on Pitch Memory Performance Matched Groups.« In: *Neuroreport* 14, S. 2291-2295.
- Jäncke, Lutz et al. (2000). »Cortical Activations in Primary and Secondary Motor Areas for Complex Bimanual Movements in Professional Pianists.« In: *Cognitive Brain Research* 1-2, S. 177-183.
- Jäncke, Lutz (2001): »Was ist so Besonderes an den Gehirnen von professionellen Musikern?« In: *Zeitschrift für Medizinische Psychologie* 10, S. 107-114.
- Jäncke, Lutz (2002): »The Case of a Left-Handed Pianist Playing a Reversed Keyboard: A Challenge for the Neuroscience of Music.« In: *Neuroreport* 13, S. 1579-1583.
- Jourdain, Robert (2001). *Das wohltemperierte Gehirn. Wie Musik im Kopf entsteht und wirkt*. Heidelberg-Berlin: Spektrum Akademischer Verlag.
- Kölsch, Stefan (2000). »A Contribution to the Investigation of Central Auditory Processing with a New Electrophysiological Approach.« In: *MPI Series in Cognitive Neuroscience*. Bd. 11. Hg. v. Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience. Leipzig.
- Kölsch, Stefan (2001). »Differentiating ERAN and MMN: An ERP Study.« Published Paper. Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience. Leipzig.
- Kölsch, Stefan (2002). »Bach Speaks: A Cortical »Language-Network« Serves the Processing of Music.« Published Paper. Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience. Leipzig.
- Kölsch, Stefan et al. (2002). »Music Matters: Pre-Attentive Musicality of Human Brain.« In: *Psychophysiology* 39, S. 38-48.
- Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience (2001; Presseinformation). »Spiegelbild der Sprache — Neurokognition von Musik.« [http://www.cns.mpg.de/institut/forscherteam/print/team_koelsch_e.xml; Stand v. 15.11.2002].
- Pape, Winfried (2004). »Musikalische Wahrnehmungs- und Lernprozesse. Bemerkungen zu neurowissenschaftlichen Ergebnissen und Annahmen.« In: *Diskussion Musikpädagogik* 21, S. 42-50.
- Peretz, Isabelle (2001). »Listen to the Brain: The Biological Perspective on Musical Emotions.« In: *Music and Emotion — Theory and Research*. Hg. v. John A. Sloboda und Patrik N. Juslin. Oxford: Oxford University Press, S. 105-134.
- Peretz, Isabelle (2002). »Brain Specialization for Music.« In: *The Neuroscientist* 4, S. 374-382.
- Peretz, Isabelle et al. (1994). »Functional Dissociations Following Bilateral Lesions of Auditory Cortex.« In: *Brain* 117, S. 1283-1302.
- Peretz, Isabelle et al. (1998). »Music and Emotion: Perceptual Determinants, Immediacy and Isolation after Brain Damage.« In: *Cognition* 68, S. 111-141.
- Petsche, Hellmuth (1987). »Gehirnvorgänge beim Musikhören und deren Objektivierung durch das EEG.« In: *Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie* 4, S. 7-28.

- Schlaug, Gottfried et al. (1995). »Increased Corpus Callosum Size in Musicians.« In: *Neuropsychologia* 33, S. 1047-1055.
- Schlaug, Gottfried et al. (1995). »In Vivo Evidence of Structural Brain Asymmetry in Musicians.« In: *Science* 267, S. 699-701.
- Schlaug, Gottfried et al. (1998). »Macrostructural Adaptions of the Cerebellum in Musicians.« In: *Society for Neuroscience* 24, 842.7.
- Zatorre, Robert et al. (1994). »Neural Mechanisms Underlying Melodic Perception and Memory for Pitch.« In: *Journal of Neuroscience* 4, S. 1908-1919.
- Zatorre, Robert et al. (2002). »Structure and Function of Auditory Cortex: Music and Speech.« In: *Trends in Cognitive Science* 1, S. 37-46.