

Zur kognitiven Elektrophysiologie der Musikrezeption: Zugänge zu Kognition, Emotion und Ästhetik

Mira Müller & Thomas Jacobsen

Zusammenfassung

Die kognitive Elektrophysiologie bietet die Möglichkeit, Prozesse der Musikrezeption mit hoher zeitlicher Auflösung nicht-invasiv zu untersuchen. Im vorliegenden Beitrag wird ein Überblick über Studien, die diesem Forschungsfeld zuzuordnen sind, gegeben. Hierbei wird insbesondere auf kognitive, emotionale und ästhetische Aspekte der Musikverarbeitung eingegangen.

Abstract

Cognitive electrophysiology offers the possibility to study processes of music perception non-invasively and with a high temporal resolution. An overview of studies belonging to this scientific field is provided in this article. Especially cognitive, but also emotional and aesthetical aspects of music processing will be considered.

1 Einleitung

Die Musik ist dem Menschen in seiner phylogenetischen Entwicklung seit langem ein beharrlicher Begleiter. So stammen die ältesten bis heute gefundenen Musikinstrumente aus einer Zeit von vor über 30.000 Jahren (D'Er-rico et al., 2003). Doch nicht nur ihre lange Geschichte, sondern auch ihre anhaltende Popularität und die enorme Variationsbreite, mit der sie auftritt, bewegen Vertreter vieler Forschungsdisziplinen, sich mit Fragen der Musik und der Musikrezeption zu beschäftigen. Vertreter der biologischen Psychologie können aus einem neurowissenschaftlichen Methodenrepertoire schöpfen, um sich dem Phänomen Musik zu nähern und mit Hilfe neuronaler Korrelate Einblicke in Prozesse der Musikverarbeitung zu gewinnen. Dabei können sie auf Befunde zur allgemeinen auditiven Verarbeitung akus-

tischer Stimuli zurückgreifen. Auch neurokognitive Untersuchungen zur Sprachverarbeitung haben vielfach Fragestellungen im Bereich der Musik motiviert. So finden sich mittlerweile in der Literatur zahlreiche Forschungsbefunde zu Aspekten der Musikrezeption, die mit Hilfe neurowissenschaftlicher Methoden gewonnen wurden.

Im folgenden Beitrag wird aus dem Spektrum dieser Studien ein Teilbereich herausgegriffen und fokussiert besprochen. Dieser umfasst kognitiv elektrophysiologische Untersuchungen zur Musikrezeption. Darunter werden sowohl Studien verstanden, die Aspekte der Informationsverarbeitung im engeren Sinne zum Gegenstand haben, als auch solche, die der Erforschung emotionaler und ästhetischer Verarbeitung gewidmet sind. Im ersten Teil wird ein Überblick über klassisch kognitive Studien gegeben. Darauf folgt eine Besprechung von Studien, die emotionale Aspekte der Musikrezeption zum Gegenstand haben, gefolgt von einer Darstellung der bisher am wenigsten elektrophysiologisch beforschten Musikästhetik. Vorangestellt ist eine kurze Einführung in die Elektrophysiologie.

2 Einführung in die Elektrophysiologie

Das Jahr 1780, in dem Luigi Galvani seine berühmten Experimente zur Muskelkontraktion von Froschschenkeln unter dem Einfluss statischer Elektrizität durchführte, markiert den Beginn der elektrophysiologischen Forschung. Galvani legte mit seinen Untersuchungen den Grundstein für weitere Entdeckungen, so dass heute die elektrochemischen Eigenschaften von Zellen und die elektrischen Potenziale, die bei der Weiterleitung von Informationen in menschlichen und tierischen Nervensystemen entstehen, gut untersuchte Entitäten darstellen. Die Möglichkeit, elektrische Potenziale im menschlichen Gehirn, welches die höchste Dichte an elektrochemisch kommunizierenden Zellen aufweist, zu messen, bestand zu Galvanis Zeiten noch nicht. Der in Jena arbeitende Hans Berger berichtete erst 1929 über die von ihm entwickelte Elektroenzephalographie, einem entscheidenden Fortschritt auf diesem Gebiet. Mit Hilfe dieser Methode wurde es erstmals möglich, auf der Kopfoberfläche summierte elektrische Aktivität der Neuronen des Gehirns zu messen. Nachdem die anfängliche Skepsis, die die damalige Wissenschaftsgemeinschaft der Elektroenzephalographie entgegenbrachte, überwunden war, wurde sie bald fester Bestandteil des neurophysiologischen Forschungsinstrumentariums und des Methodenkanons der medizinischen Diagnostik. Sie zählt zu den nicht-invasiven Verfahren, da zu ihrer Durchführung keine Eingriffe in den Organismus vonnöten sind. Dies stellt einen entscheidenden Vorteil insbesondere für ihre Anwendung im Rahmen psychologischer Forschung dar.

Die Aktivität synchron aktiver, größerer Neuronenverbände wird, bedingt durch die elektrischen Leitereigenschaften organischen Materials, in abge-

schwächer Form auf der Kopfoberfläche mit Hilfe dort angebrachter Elektroden messbar. Diese Spannungsschwankungen, in der Größenordnung von Millionstelvolt, werden in der Regel mit Millisekundengenauigkeit anhand konventionalisierter Elektrodenpositionierungsschemata aufgezeichnet. Diese Messwerte bilden dann den Datensatz, der als Elektroenzephalogramm (EEG) bezeichnet wird. Zur besseren Veranschaulichung werden diese Daten meist grafisch dargestellt. Die mittels EEG ableitbare Hirnaktivität bewegt sich in einem Frequenzbereich von 0 bis über 100 Hz.

Folgende Unterteilung der EEG-Frequenzbänder ist gebräuchlich: Gamma-(γ)-Wellen: > 30 Hz, Beta-(β)-Wellen: 13–30 Hz, Alpha-(α)-Wellen: 8–13 Hz, Theta-(θ)-Wellen: 4–8 Hz, Delta-(δ)-Wellen: 0,5–4 Hz (vgl. z. B. Rösler, 1982).

Für Studien der affektiven Musikverarbeitung ist bislang die Alpha-Aktivität von besonderer Bedeutung. Diese lässt sich u. a. im entspannten Wachzustand aufzeichnen und kann insbesondere bei minimaler Reizeinwirkung beobachtet werden. Aufgrund dieser Eigenschaft, die Ausprägung neuronaler Aktivität in Abhängigkeit der Stärke der Reizeinwirkung anzeigen zu können, wird sie in vielen Studien als Maß für die Stärke und Charakteristik der Gehirnaktivität verwendet. Dabei ist zu beachten, dass gemessenes Alpha und das Ausmaß der Gehirnaktivität sich invers zueinander verhalten, d. h. je höher die Alphaaktivität ausfällt, als desto geringer ist die Gehirnaktivität einzuschätzen, welche gerichtete, komplexe mentale Operationen begleitet.

Das EEG kann mit hoher zeitlicher Auflösung kontinuierlich abgeleitet werden. So wird die Möglichkeit eröffnet, mentale Prozesse zu untersuchen, die der Verhaltensmessung nicht oder nur schwer zugänglich sind. Dies begründet die Bedeutung der nicht-invasiven Elektroenzephalographie für die psychologische Forschung.

Die Magnetenzecephalographie (MEG), ein weiteres Verfahren, das zur Untersuchung der Musikkrezeption Verwendung findet, registriert mit Hilfe supraleitender Sensoren das Magnetfeld, welches von der neuronalen Aktivität des Gehirns produziert wird. Das MEG ermöglicht in der Regel eine genauere Lokalisation der untersuchten Gehirnfunktionen als das EEG, bei gleicher zeitlicher Auflösung.

Häufig werden auf der Grundlage des EEG ereigniskorrelierte Potenziale (EKPs) und auf der Basis des MEG ereigniskorrelierte Felder (EKFs) berechnet. EKPs sind Potenzialverläufe, die zeitlich mit spezifischen sensorischen, motorischen oder kognitiven Ereignissen in Verbindung stehen. In der kognitiven Elektrophysiologie werden hierbei in der Regel psychologische Experimentaldesigns verwendet. Um zuverlässig EKPs aus den unterschiedlichen Quellen neuronaler Aktivität herausfiltern zu können ist es üblich, eine größere Anzahl von Durchgängen bedingungsäquivalenten Stimulusmaterials zu Mittelwerten zusammenzufassen.

EKPs werden häufig in Komponenten aufgeteilt. Zu ihrer Benennung werden mehrere Parameter herangezogen: zum einen die Polarität, welche

die Auslenkung der Amplitude in entweder positive oder negative Richtung beschreibt, und zum anderen ihre Gipfellatenz, unter der der Zeitpunkt, an dem die Amplitude ihre maximale Auslenkung erreicht, verstanden wird. Des Weiteren werden die Verteilung der EKPs auf der Kopfoberfläche sowie eine funktionale Charakterisierung der Komponenten verwendet. So steht beispielsweise die Bezeichnung „P300“ für eine Komponente des EKP mit einem positiven Kurvenverlauf und einer Gipfellatenz von ca. 300 Millisekunden. Während frühe Komponenten (z. B. N1) stärker von exogenen Aspekten (Reizeigenschaften) abhängen, stehen spätere Komponenten (z. B. N400) eher in Zusammenhang mit endogenen Aspekten (höheren kogni-

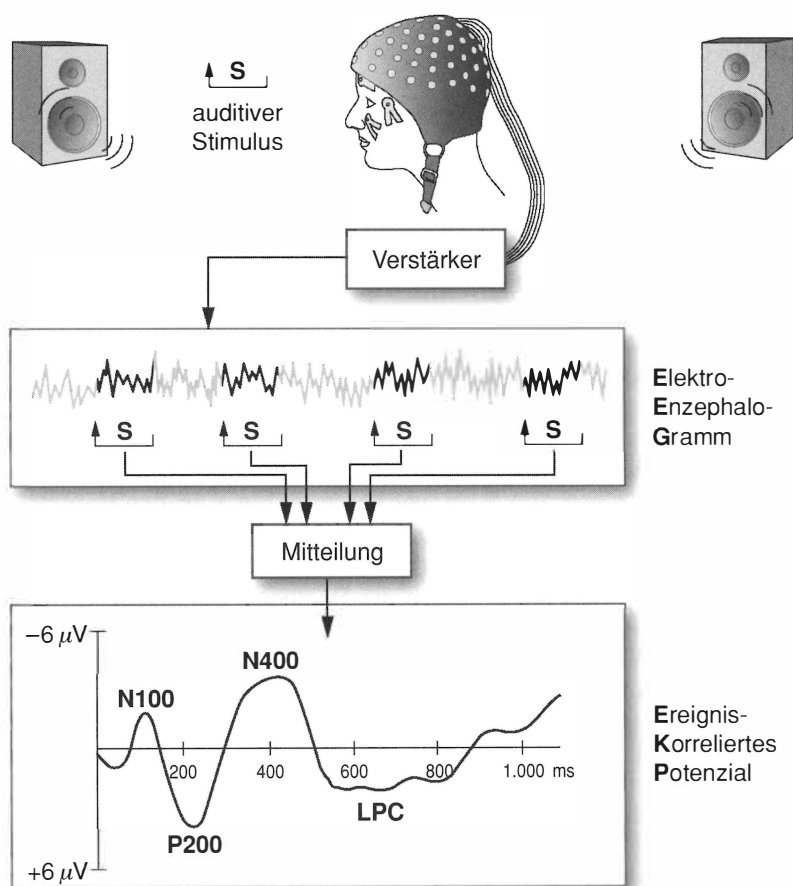


Abb. 1:
Elektrozephalographie und Ereigniskorrelierte Hirnpotenziale

tiven Verarbeitung). Für ausführliche Einführungen in die Elektrophysiologie sei z. B. auf Luck (2005), Picton et al. (2000) und Rugg und Coles (1995) verwiesen.

3 Musik und Kognition

Bei der Mehrzahl der Untersuchungen, die mit Hilfe elektrophysiologischer Methoden durchgeführt wurden und der Erforschung kognitiver Aspekte der Musikrezeption dienten, handelt es sich um EKP-Studien. Um eine gute Übersichtlichkeit zu wahren, werden sie gemäß der Chronometrie besprochen. Obwohl es eine große inhaltliche Variabilität gibt, werden jedoch für die Mehrzahl der Komponenten Vergleiche zwischen musikalischen Experten und Laien angestellt. Außerdem spielen häufig Parallelen zur Elektrophysiologie der Sprachverarbeitung eine Rolle.

3.1 N1 und P2

Die N1 oder N100, eine negative Komponente im EKP, weist ihr Amplitudenmaximum ca. 100 ms nach Beginn der Stimulusdarbietung auf. Chronometrisch betrachtet ist sie damit eine der frühen Potenzialveränderungen, die in der kognitiven Elektrophysiologie untersucht werden. Die auditive N1 ist ein Korrelat kortikaler Verarbeitung akustischer Reize. Sie setzt sich aus mehreren Teilprozessen zusammen (N1a, N1b), welche von unterschiedlichen neuronalen Strukturen generiert werden (siehe z. B. Näätänen & Picton, 1987, für einen Überblick; vgl. auch N1b und N1c, Trainor, Shahin & Roberts, 2003). Das magnetische Pendant der N1 wird als N1m oder N100m bezeichnet.

Sowohl die N1 als auch die N1m werden unter einer großen Bandbreite experimenteller Bedingungen aufgezeichnet und sind dadurch eher unspezifisch (Lütkenhöner, Seither-Preisler & Seither, 2006). Im Allgemeinen wird jedoch davon ausgegangen, dass die N1/N1m die Präzision der perzeptuellen Verarbeitung reflektiert. Im Zusammenhang mit Musikrezeption ist von Interesse, ob sich diese durch Erfahrung modulieren lässt. Beispielsweise liegt es nahe, von Unterschieden zwischen Musikern und Nicht-Musikern auszugehen bezüglich des Umfangs und der Ausgestaltung der mentalen Repräsentation von Schall. Pantev und Kollegen (1998) beispielsweise fanden insbesondere bei Musikern, die sehr früh mit ihrer musikalischen Ausbildung begonnen hatten, eine stärker ausgeprägte N1m in Reaktion auf Klaviertöne im Vergleich zu musikalischen Laien. Die Autoren interpretieren dies als Indikator für eine durch das Training musikalischer Fähigkeiten bedingte funktionelle Reorganisation des sensorischen Kortex (vgl. auch Jäncke, 2002 sowie Münte, Altenmüller & Jäncke, 2002). Des Weiteren verglichen Pantev und Kollegen (2001) Trompeter und Violinisten und berichteten über Unterschiede in der Ausprägung der

N1m in Abhängigkeit davon, ob die Teilnehmer Töne des eigenen oder fremden Instruments hörten. Es gibt jedoch auch Studien, im Rahmen derer keine Unterschiede beim Vergleich der N1m musikalischer Experten und Laien in Reaktion auf musikalische Töne gefunden wurden (Hirata, Kuriki & Pantev, 1999; Lütkenhöner et al., 2006; Schneider et al., 2002). Ob sich Musiker von Nicht-Musikern in der bei ihnen gemessenen N1m in Reaktion auf musikalische Stimuli unterscheiden, ist also noch umstritten.

Im Rahmen von EKP-Studien wird die N1 häufig, wie erwähnt, in Subkomponenten unterteilt. Die N1b kann laut Shahin, Roberts und Trainor (2004) als ein Indikator für die Reife des auditorischen Kortex betrachtet werden, weil sie erst in der späten Adoleszenz der N1b Erwachsener vollständig gleicht (vgl. auch Hirose et al., 2003). Um herauszufinden, ob musikalische Ausbildung einen Einfluss auf die Reife des auditorischen Kortex hat, verglichen Shahin und Kollegen (2004) EKPs vierjähriger Kinder, die mit Hilfe der Suzukimethode Klavier oder Violine spielen lernten, mit EKPs von Kindern, die keinen Musikunterricht erhielten, in Reaktion auf Sinus-, Klavier- und Violintöne. Die Autoren berichten über starke Gruppenunterschiede bezüglich der N1b und P2 Potenziale. Bei der P2 handelt es sich um eine auf die N1 folgende Komponente positiver Polarität, die bei den Kindern, die Musikunterricht erhielten, stärker ausgeprägt war, insbesondere für Töne des gelernten Instruments verglichen mit Sinustönen und den Tönen des nicht gelernten Instruments. Der N1b-P2 Komplex der Kinder, die ein Instrument spielen lernten, glich dabei dem Erwachsener viel stärker als der der Kinder, die kein Instrument spielen lernten (Shahin et al., 2004). Diese Befunde geben Anlass zu der Behauptung, dass die Reifung des auditorischen Kortex durch bestimmte Umwelteinflüsse (wie z. B. Musikunterricht) beschleunigt werden kann (ebenda).

Die N1c, die den chronometrisch spätesten Teil der N1 widerspiegelt, ist im Vergleich zu den anderen beiden Komponenten, N1a und N1b, lateraler verteilt und hat ihre Generatoren im superioren temporalen Gyrus (vgl. Luck, 2005). Shahin, Bosnyak, Trainor und Roberts (2003) untersuchten in ihrer Studie zur musikalischen Expertise die N1c zusammen mit der P2. Dabei unterschied sich der N1c-P2 Komplex professioneller Violinisten von dem studentischer Teilnehmer, die keine Form musikalischer Ausbildung genossen hatten (ebenda). Die Autoren schließen daraus, dass die gemessenen EKP-Effekte Prozessen zugeordnet werden können, die an der Verarbeitung musikalischer Information beteiligt sind. Ein weiterer Befund, der für die Trainierbarkeit dieser Prozesse spricht, stammt von Bosnyak, Eaton und Roberts (2004). In 15 halbstündigen Trainingssitzungen lernten musikalische Laien, Töne bestimmter Frequenzen zu unterscheiden. Es zeigten sich sowohl in Verhaltensleistung als auch im N1c-P2 Komplex Unterschiede zwischen Prä- und Postmessung. Dass insbesondere die P2 trainingssensitiv ist, bestätigen auch die Forschungsberichte anderer Forschergruppen (vgl. dazu Atienza, Cantero & Dominguez-Marin, 2002; Kuriki, Kanda & Hirata, 2006, sowie Tremblay et al., 2001).

3.2 MMN

Das auditorische Verarbeitungssystem des Menschen überwacht die akustische Umwelt. Es ist in der Lage, Regelmäßigkeiten zu enkodieren, ohne dass die Aufmerksamkeit auf diese Regelmäßigkeiten gerichtet sein muss. Ein gleichförmiger wiederholt auftretender Reiz, z. B. ein in kurzen Abständen immer wieder abgespielter 800 Hz Ton, stellt eine einfache solche Regelmäßigkeit dar. Tritt in dieser repetitiven Abfolge plötzlich ein 1.200 Hz Ton auf, ist die Regelmäßigkeit verletzt. Diese Verletzung wird prä-attentiv (d. h. ohne Aufmerksamkeit zu erfordern) durch automatisch ablaufende gedächtnisbasierte Vergleichsprozesse aufgedeckt. Damit ist gemeint, dass die invarianten Eigenschaften des wiederholt auftretenden Stimulus (im oben genannten Beispiel die Frequenz des Tones), die als Inhalte im sensorischen Gedächtnis gespeichert sind, automatisch mit den Eigenschaften des neu eintreffenden Reizes verglichen werden. Das elektrophysiologische Korrelat der Verarbeitung eines Reizes, der abweichende Eigenschaften aufweist, also die etablierte Regelmäßigkeit verletzt, wird als Mismatch Negativity (MMN) bezeichnet (z. B. Näätänen, Jacobsen & Winkler, 2005; Schröger, 1997). Die MMN wird folglich evoziert durch selten auftretende Stimuli („deviants“), die sich von den häufig auftretenden Stimuli („standards“) in einer oder mehreren physikalischen oder abstrakten Eigenschaften unterscheiden. Ihr Auftreten zeigt an, ob die invarianten Eigenschaften der Standardstimulation enkodiert wurden, und ob sie von denen des Deviants diskriminiert werden (z. B. Tervaniemi, 2001).

Die MMN weist eine negative Polarität auf und ist mit einer Latenz von 100–250 ms an fronto-zentralen Ableitungsorten am stärksten (Näätänen et al., 2005). Bei Ableitungen mit Nasenreferenz kehrt sich ihre Polarität an

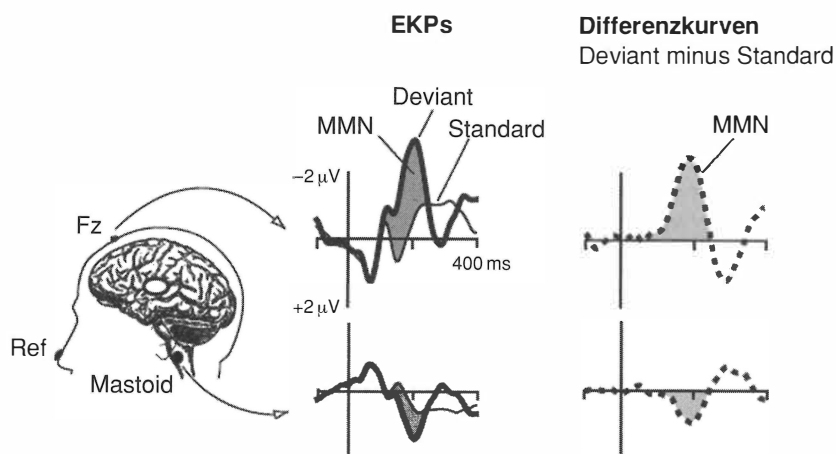


Abb. 2:
Mismatch Negativity

inferioren Ableiteorten (z. B. den Mastoiden) um. Ihre Generatoren befinden sich hauptsächlich im oder in unmittelbarer Nachbarschaft des primären auditorischen Kortex (Alho, 1995; Heinke et al., 2004), wobei es jedoch auch Hinweise auf frontale und parietale Beteiligung gibt (z. B. Tervaniemi, 2001). Zusammengefasst lässt sich festhalten, dass die MMN als Maß für die prä-attentive Diskriminationsleistung des auditiven Systems aufgefasst werden kann.

Im Hinblick auf die Musikrezeption lässt sich mit Hilfe des MMN-Paradigmas also untersuchen, welche Eigenschaften musikalischer Stimuli außerhalb des Fokus der Aufmerksamkeit enkodiert werden. Über Befunde zu allgemeinen physikalischen Eigenschaften akustischer Reize (z. B. Lautstärke) hinausgehend wurden z. B. Belege für MMN im Zusammenhang mit musikalischen Intervallabständen (Sekunde, Terz etc.) und deren Richtung (von C nach D vs. von D nach C) erbracht (Paavilainen et al., 1999). Für eine umfassende Darstellung weiterer Befunde sei auf Tervaniemi (2001) verwiesen.

Obwohl die MMN, wie bereits erwähnt, prä-attentiv ausgelöst werden kann und den Ablauf weitgehend automatischer Prozesse widerspiegelt, ist die MMN dennoch mit behavioralen Maßen perzeptueller Fähigkeiten korreliert. Gute Leistungen im Advanced Measure of Musical Audiation (AMMA) Test, einem Musikalitätstest, gingen in einer Studie von Seppänen, Brattico und Tervaniemi (2007) mit stärker ausgeprägter MMN (höheren Amplituden) einher (siehe auch Tervaniemi et al., 1997). Dies impliziert, dass prä-attentive neuronale Prozesse die Akkuratheit der darauf folgenden aufmerksamkeitsabhängigen Prozesse beeinflussen (Tervaniemi, 2001). Weitere Hinweise auf unterschiedliche Ausprägung der MMN in Abhängigkeit vom musikalischen Expertenstatus finden z. B. Nager und Kollegen (2003, vgl. auch Münte et al., 2001, sowie Münte et al., 2003), die das räumliche Hörvermögen von Dirigenten mit dem von Pianisten und Nicht-Musikern verglichen. Während Nicht-Musiker nur eine rudimentäre MMN aufwiesen (in Reaktion auf Deviants, die sich in der Tonhöhe von den Standardreizen unterschieden und aus einer gemäß der Primäraufgabe zu ignorierenden Richtung dargeboten wurden), war sie sowohl bei Pianisten als auch Dirigenten vollständig ausgeprägt. Bei den Dirigenten, im Gegensatz zu den Pianisten, war sie von einer Positionierung im EKP gefolgt, die auf Prozesse der Aufmerksamkeitszuwendung hindeutet. Unterschiede in der Verhaltensleistung zusammen mit weiteren Unterschieden im EKP belegten außerdem das bessere räumliche Diskriminationsvermögen der Dirigenten (ebenda). Fujioka und Kollegen (2004), die in einer Studie zur Verarbeitung melodischer Information MMN im Zusammenhang mit Kontur und Tonhöhe untersuchten, fanden diese bei Nicht-Musikern deutlich geringer ausgeprägt als bei Musikern. Koelsch, Schröger und Tervaniemi (1999) berichten sogar über völliges Ausbleiben von MMN bei Nicht-Musikern in Reaktion auf unsaubere Akkorde (Deviants) in einem Strom korrekt intonierter Akkorde (Standards), während für die teilnehmenden Musiker MMN aufgezeichnet werden konnte. Die Beeinflussbarkeit sensorischer Gedächtnisprozesse durch Training lässt sich durch die dargestellten Befunde weiter belegen (siehe z. B. auch Näätänen et al., 1993).

3.3 ERAN

Tritt ein musikalischer Stimulus (z. B. ein Akkord) in einem musikalischen Kontext (z. B. einer Akkordfolge) auf, der die (impliziten) harmonischen Erwartungen des Hörers verletzt, spiegelt sich das u. a. in einem weiteren früh auftretenden ereigniskorrelierten Potenzial wider, dessen Amplitudenmaximum bei ca. 200 ms liegt. Dabei handelt es sich um eine Komponente negativer Polarität an rechtsseitig-anterioren Ableiteorten, die als Early Right Anterior Negativity (ERAN) bezeichnet wird (Koelsch et al., 2000). Die kognitive Verarbeitung eines nicht den harmonischen Erwartungen entsprechenden Akkords wird also von einer ERAN begleitet. Der Begriff „Erwartung“ in diesem Zusammenhang deutet an, dass der Hörer ein bestimmtes Ergebnis antizipiert. Das jedoch wirft die berechnete Frage danach auf, wie ein Hörer während des Hörens eines ihm unbekannten Musikstücks eine (implizite) Vorstellung darüber entwickeln kann, in welcher Weise es sich fortsetzt oder wie es endet. Mit Hilfe eines musikwissenschaftlichen Exkurses lässt sich diese Frage befriedigend aufklären: Bei den meisten musikalischen Werken, die seit dem 17. Jahrhundert in Europa komponiert wurden, handelt es sich um tonale Musik, der die Dur- und Moll-Tonleiter zugrunde liegen. Ihre harmonische Struktur basiert auf den Regeln der Harmonielehre. Der Akkord, der auf den ersten Ton der Tonleiter aufbaut, wird dabei als Tonika bezeichnet, der auf dem fünften Ton der Tonleiter aufbauende als Dominante. Unter der Subdominante wird der Akkord verstanden, dem der vierte Ton der Tonleiter als Grundlage dient (siehe Abb. 3).

Die Abfolge der Akkorde in musikalischen Stücken folgt bestimmten Regeln, die insbesondere im Rahmen psychologischer Forschung häufig als musikalische Syntax bezeichnet werden (Lerdahl & Jackendoff, 1983; Sloboda, 1985; Swain, 1997). Beispielsweise ist die Dominante der Subdominante meist nachgeordnet. Sehr selten findet sich eine Umkehrung dieser

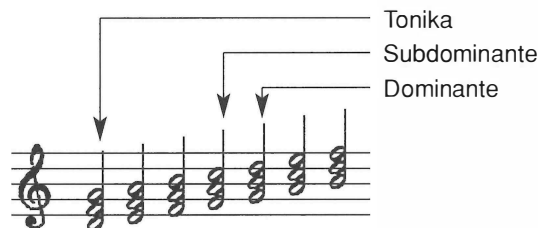


Abb. 3:

Tonika, Dominante und Subdominante. In Anlehnung an Koelsch und Siebel (2005).

Reihenfolge. Das Auftreten der Tonika nach der Dominante markiert oft das Ende einer Harmonie; aufgrund dessen wird die Tonika auch als Zielakkord bezeichnet. Das Regelwerk der Harmonielehre westlicher Musik haben nicht nur ausgebildete Musiker verinnerlicht, sondern es ist auch ein Bestandteil des impliziten Wissens musikalischer Laien (Koelsch, Schmidt & Kansok, 2002). Um zur Beantwortung der Ausgangsfrage zurückzukehren: Es wird also basierend auf mehr oder weniger implizitem musikalischen Wissen während des Hörens einer musikalischen Sequenz ein Kontext aufgespannt, der mit bestimmten Erwartungen über die Weiterführung der Akkordabfolge verknüpft ist. Diese Erwartungen können entweder bestätigt, z. B. indem am Ende einer Akkordfolge die Tonika auf die Dominante folgt, oder verletzt werden, z. B. durch die Umkehrung dieser Reihenfolge. Letzterer Fall wird von einer ERAN begleitet (Koelsch et al., 2000). Ebenso wie die MMN kann die ERAN prä-attentiv ausgelöst werden (Koelsch et al., 2001). Aufmerksamkeitsprozesse haben jedoch einen entscheidenden Einfluss auf die Amplitude der ERAN (Loui et al., 2005). Sie variiert zudem in Abhängigkeit vom Ausmaß der harmonischen Verletzung (Koelsch et al., 2001), sowie in Abhängigkeit von der musikalischen Expertise (Koelsch et al., 2002). Die Effekte musikalischer Expertise auf die Ausprägung der ERAN konnten sowohl für Erwachsene (ebenda) als auch für sehr viel jüngere Probanden (11-Jährige), die zum Zeitpunkt der Untersuchung nicht länger als vier oder fünf Jahre Musikunterricht erhalten hatten, nachgewiesen werden (Jentschke, Koelsch & Friederici, 2005). Bezüglich der Verteilung des Aktivitätsmusters auf der Kopfoberfläche berichten Koelsch und Kollegen (2003) Geschlechtsunterschiede. Bei Männern fanden die Autoren eine stärker ausgeprägte ERAN über rechts- als über linksseitigen Arealen, während sie sie bei Frauen bilateral in ähnlich starker Ausprägung messen konnten. Des Weiteren wiesen Koelsch und Mulder (2002) nach, dass eine ERAN nicht nur auftritt, wenn zur Maximierung experimenteller Kontrolle artifiziell hergestellte Stimuli verwendet werden, sondern auch dann, wenn naturalistische musikalische Stimuli verwendet werden. Im Rahmen einer MEG-Untersuchung lokalisierten Koelsch und Friederici (2003) die Generatoren der ERAN im inferioren fronto-lateralen Kortex, einer Gehirnregion, die auch bei sprachsyntaktischen Regelverletzungen aktiviert wird (vgl. auch Maess et al., 2001). Auf Überschneidungen musik- und sprachsyntaktischer Verarbeitung deuten auch Befunde von Jentschke, Koelsch und Friederici (2005) hin, die das Auftreten der ERAN bei fünfjährigen, zum Teil sprachentwicklungsgestörten, Kindern untersuchten. Die Autoren konnten nur für die Fünfjährigen, deren Sprachentwicklung einen normalen Verlauf nahm, eine ERAN in Reaktion auf harmonische Erwartungen verletzende Akkorde beobachten, bei den sprachentwicklungsgestörten Fünfjährigen blieb sie aus. Weitere Indizien für die Überlappung neuronaler Ressourcen, die der musik- und sprachsyntaktischen Verarbeitung zugrunde liegen, berichten außerdem Koelsch, Gunter, Wittfoth und Sammler (2005).

3.4 P3

Die P3 oder P300, eine Komponente des ereigniskorrelierten Potenzials mit positiver Polarität, welche bei ca. 300 ms ihr Amplitudenmaximum erreicht, lässt sich in zwei Subkomponenten, P3a und P3b, unterteilen. Erstere gilt als Index für unwillkürliche Aufmerksamkeitszuwendung (z. B. Escera et al., 2000) und letztere als Index für kontrollierte Stimulusevaluation (z. B. Münte et al., 1998). Über P3-Potenziale wird in einer Vielzahl von Studien zur Musikrezeption, die sehr unterschiedliche Forschungsfragen zum Gegenstand haben, berichtet. Sowohl im Zusammenhang mit basalen Prozessen wie der Rhythmus- und Tonhöhenverarbeitung (Jongsma, Desain & Honing, 2004; Tervaniemi et al., 2006) als auch mit komplexeren Prozessen wie der Melodieverarbeitung (Lopez et al., 2003; Verleger, 1990) und der Verarbeitung harmonischer Verletzungen (Beisteiner et al., 1999; Besson & Faïta, 1995; Regnault, Bigand & Besson, 2001) konnten P3-Effekte gefunden werden. Auch im Rahmen von Untersuchungen zum absoluten Gehör (Barnea, Granot & Pratt, 1994; Hantz et al., 1997; Itoh et al., 2005; Wayman et al., 1992) und erblich bedingter Amusie (Peretz, Brattico & Tervaniemi, 2005) ist die P3 von Bedeutung. Sie kann offensichtlich unter einer großen Bandbreite experimenteller Bedingungen aufgezeichnet werden und ist dadurch eher unspezifisch. Die Instruktionen, die Teilnehmer solcher Studien erhalten, sind jedoch für das Auftreten der P3 von entscheidender Bedeutung. Nur dann nämlich, wenn das Stimulusmaterial aufgabenrelevant ist, ist die Stimulusverarbeitung auch von einer vollständigen P3 begleitet. Analog zu den bereits besprochenen Komponenten lassen sich auch auf P3-Potenzialen Unterschiede im Expertenstatus abbilden. Beispielsweise gaben Crummer und Kollegen (1994) den Teilnehmern an ihrem Experiment drei unterschiedlich schwere Aufgaben zur Klangfarbenunterscheidung verschiedener Instrumente vor. Die P3-Amplitude war bei Musikern mit absolutem Gehör am niedrigsten, während ihre Latenz verkürzt war. Musikalische Experten ohne absolutes Gehör und musikalische Laien wiesen stärker ausgeprägte P3-Amplituden und längere Latenzen auf (Crummer et al., 1994). Die Autoren interpretieren diese Ergebnisse als Indikatoren dafür, dass die Verarbeitung der Klangfarbe in Abhängigkeit von der Ausprägung musikalischer Expertise mit unterschiedlicher Aktivität beteiligter Gedächtnis- und Informationsverarbeitungssysteme einhergeht (ebenda).

3.5 N400

Der erste Bericht über die N400, eine Komponente negativer Polarität, die ca. 400 ms nach Beginn der Stimulusdarbietung ihr Amplitudenmaximum erreicht, stammt von Kutas und Hillyard (1980). Ausgelöst wird sie durch linguistische Stimuli, die sich mit dem semantischen Kontext, in dem sie

auftauchen, nicht vereinbaren lassen (wie z. B. das Verb „cry“ in dem Satz „The pizza was too hot to cry“, anstelle von „eat“) (Kutas & Hillyard, 1980). Die N400 gilt als ein guter Index für semantische Integrationsprozesse (Besson & Schön, 2001). Die angestellten Forschungsbemühungen, mittels nicht-linguistischer Stimuli, also z. B. durch melodisch oder harmonisch unerwartete Töne oder Akkorde in einem musikalischen Kontext, N400-Potenziale zu evozieren, waren jedoch nicht erfolgreich (Besson & Macar, 1987; Paller, McCarthy & Wood, 1992; Besson, Faïta & Requin, 1994; Besson & Faïta, 1995). Diese Befunde legen nahe, dass Musik möglicherweise einer vergleichbaren semantischen Dimension entbehrt. Es existiert jedoch eine Studie von Koelsch et al. (2004), im Rahmen derer diese Schlussfolgerung in Frage gestellt wird. In ihrer Untersuchung nutzen die Autoren das Prinzip des semantischen Primings, denn schon Kutas und Hillyard (1984) konnten zeigen, dass die N400-Amplitude sich dadurch modulieren lässt. Koelsch et al. (2004) verwenden als semantisches Primingmaterial sowohl musikalisches als auch linguistisches Material. Für beide Materialsorten wiesen sie Primingeffekte in Form von reduzierten N400-Amplituden nach. Auch Musik kann folglich (zumindest zu einem gewissen Grad) der semantischen Informationsübermittlung dienen.

3.6 P600

Die P600 ist eine spät (ca. 600 ms nach Beginn der Stimulusdarbietung) auftretende Komponente positiver Polarität, die, im Gegensatz zur N400, welche als Index semantischer Verarbeitung gilt, als Korrelat syntaktischer Integrationsprozesse verstanden wird. Wie schon im Abschnitt über die ERAN erläutert, weist die westliche tonale Musik genügend strukturelle Normen und Regeln auf, um die Verwendung des Begriffs „musikalische Grammatik“ zu rechtfertigen (Patel et al., 1998). Mit tonaler Musik vertraute Hörer sind aufgrund ihrer Erfahrung mit dieser musikalischen Grammatik in der Lage, harmonische Anomalien und Regelverletzungen zu erkennen, ebenso wie sie sprachsyntaktische Anomalien und Regelverletzungen erkennen können. Aufgrund dessen liegt es nahe, die Ergebnisse sprachsyntaktischer Untersuchungen auf den Bereich der Musikverarbeitung übertragen zu wollen. Besson und Faïta (1995) sowie Janata (1995) zählen zu den Forschern, die das Auftreten der P600 im Zusammenhang mit Musikverarbeitung zum ersten Mal beschrieben haben. Besson und Schön (2001) berichten über Variationen der P600-Amplitude in Abhängigkeit von dem Ausmaß musiksyntaktischer Unstimmigkeit, dem Expertenstatus und der Vertrautheit des Hörers mit bestimmter Musik. Vertraute Musik im Vergleich zu unvertrauter Musik ging mit einer stärkeren positiven Auslenkung der Amplitude der P600 einher. Das gleiche galt für den Vergleich zwischen Musikern und Nicht-Musikern, sowie für schwerwiegende Verletzungen musikalischer Erwartungen

verglichen mit weniger offensichtlichen musiksyntaktischen Fehlern (Besson & Schön, 2001). Die Befunde der Studien im Bereich Musiksyntaktik deuten auf eine Analogie zur sprachsyntaktischen Verarbeitung hin. Sowohl der Sprache als auch der Musik scheint die Eigenschaft inhärent zu sein, starke Erwartungen hervorzurufen (ebenda). Erst Patel und Kollegen (1998) verglichen jedoch die linguistische P600, evoziert durch nicht erwartungskonforme sprachsyntaktische Wendungen, direkt mit der musikalischen P600, evoziert durch entsprechendes musikalisches Material. Sie konnten weder Unterschiede in der Amplitude noch in der Verteilung der gemessenen Potenziale über die verschiedenen Ableiteorte hinweg feststellen. Diese Befunde geben Grund zur Annahme eines allgemeinen syntaktischen Integrationsprozesses anstelle eines sprachspezifischen.

Die Erforschung klassisch kognitiver Aspekte der Musikrezeption mittels kognitiver Elektrophysiologie ist zwar noch ein relativ junges Forschungsfeld, bis dato sind jedoch schon viele wichtige Befunde daraus hervorgegangen. In vielen Studien werden Musiker mit Nicht-Musikern in Hinblick auf verschiedene Aspekte der Musikverarbeitung verglichen. Auch der Vergleich der Musikverarbeitung mit Prozessen der Sprachverarbeitung ist ein häufig gewählter Ausgangspunkt für Forschungsbemühungen in diesem Bereich. Beide Ansätze können, wie deutlich wurde, letztendlich zum Erkenntnisgewinn beitragen. Beispielsweise bieten sie Forschern die Möglichkeit, sich mit Fragen nach der Musikspezifität bestimmter kognitiver Prozesse oder danach, auf welche allgemeinen kognitiven Prozesse sich musikalische Expertise zusätzlich auswirkt, genauer zu beschäftigen. Im Folgenden geht es um Emotionswahrnehmung und -erleben im Zusammenhang mit Musikrezeption.

4 Musik und Emotion

Musikrezeption beinhaltet weit mehr als die Verarbeitung akustischer Reize. Beispielsweise wird der Musik nachgesagt, sie habe ein besonders bemerkenswertes Potenzial dafür, Emotionen bei ihren Hörern wecken zu können. Dieser emotionale Aspekt der Musikrezeption wird in den folgenden Abschnitten aufgegriffen und diskutiert. Dabei muss an dieser Stelle aufgrund der geringeren Dichte vorhandener EKP-Studien zum Thema Musik und Emotion auf eine an chronometrischen Prinzipien orientierte Berichterstattung verzichtet werden. Zurückzuführen ist die geringere Dichte vorhandener EKP-Studien zum einen auf die mangelhafte Registrierbarkeit der für die Emotionsverarbeitung entscheidenden subkortikalen Aktivität mittels elektrophysiologischer Messmethoden (ausgenommen invasiven Verfahren mit Tiefenelektroden, vgl. S. 26), und zum anderen auf die Uneinheitlichkeit theoretischer Ausgangspositionen. Ein Ziel der folgenden Darstellung ist deshalb die Einordnung vorhandener elektrophysiologischer Untersuchungen in ein einheitliches theoretisches Rahmenmodell.

Das Davidsonsche Emotionsmodell (Davidson et al., 1979) zugrundeliegend, untersuchten Autoren wie z. B. Schmidt und Trainor (2001) die Stärke und Lateralisierung der Gehirnaktivität in Reaktion auf Musikexzerpte, in denen Emotionen zum Ausdruck kommen. Davidson und Kollegen (1979) gehen davon aus, dass Emotionen entlang Annäherungs- und Vermeidungstendenzen organisiert sind und in Abhängigkeit von der Zugehörigkeit zu diesen Kategorien mit stärker ausgeprägter links- bzw. rechtshemisphärischer Aktivität des Frontalhirns einhergehen. Positive Emotionen, wie z. B. Freude und Glück, sind für Annäherungsverhalten entscheidend und werden dementsprechend linkshemisphärisch verarbeitet, wohingegen negative Emotionen, wie z. B. Angst, Ärger und Traurigkeit, die mit Vermeidungstendenzen assoziiert werden, mit rechtshemisphärischer Aktivität korreliert sind. Zu dieser Theorie gibt es eine Vielzahl von Forschungsbefunden aus verschiedenen Bereichen, im Rahmen derer die Ausprägung der Gehirnaktivität häufig über das Alphafrequenzband gemessen wird. Wie schon erwähnt ist dabei zu beachten, dass gemessenes Alpha und das Ausmaß der Gehirnaktivität sich invers zueinander verhalten. Beispielsweise haben Henriques und Davidson (1991) in einer klinischen Studie erhöhte linkshemisphärische Alpha-Aktivität in einer Stichprobe depressiver Probanden im Vergleich zu einer gesunden Kontrollgruppe gefunden und diese hirnpfysiologische Veränderung mit dem Mangel an positivem Affekt, der ein charakteristisches Symptom der depressiven Störung darstellt, in Verbindung gebracht. Analog zu diesen Studien bedienten sich Schmidt und Trainor (2001) der Methode der Alphafrequenzbandmessung. Sie konnten, in Einklang mit der Theorie von Davidson et al. (1979), in ihrer Studie, in der sie Versuchspersonen vier verschiedene Musikexzerpte von unterschiedlicher emotionaler Valenz und Intensität vorspielten, ein asymmetrisches frontales Aktivierungsmuster in Abhängigkeit von der Valenz der Stimuli und erhöhte Frontalhirnaktivität in Abhängigkeit von der Intensität der Stimuli nachweisen. So war die gemessene Aktivität während des Hörens fröhlicher Musikexzerpte an Ableitorten über links-frontalen Arealen erhöht, während des Hörens trauriger Exzerpte dagegen an Ableitorten über rechts-frontalen Arealen. Über ähnliche Ergebnisse berichten auch Tsang und Kollegen (2001), denen eine Replikation der Befunde mit modifiziertem Material (durch Tempo- und Tonartveränderungen erzeugte Versionen eines Musikstückes, von denen jede eine andere Emotionen transportierte) gelang, sowie Thayer und Faith (2001), die jedoch im temporalen statt, wie erwartet, im frontalen Aktivierungsmuster Lateralisierungseffekte fanden. Keine Hinweise auf Lateralisierungseffekte ergaben sich in einer Studie von Schmidt, Trainor und Santesso (2003), die Babys im Alter von 3, 6, 9 und 12 Monaten daraufhin untersuchten. Auch Sammler und Kollegen (2007) berichten über ein Ausbleiben der erwarteten Lateralisierung der Alphaaktivität in Reaktion auf Emotionen induzierende Musik und finden stattdessen auf Emotionsverarbeitung zurückführbare Effekte im Theta-Frequenzband. Baumgartner, Esslen und Jäncke (2006) wählten in ih-

rer Studie einen ähnlichen Versuchsaufbau wie Schmidt und Trainor (2001), fügten der Bedingung, in der Versuchspersonen Musikexzerpte hörten, die verschiedene Emotionen ausdrücken, jedoch zwei weitere hinzu. In der ersten wurden Bilder mit affektiven Inhalten dargeboten und in der zweiten wurden Bilder und Musik gleichzeitig dargeboten. Die gleichzeitig dargebotenen Stimuli entstammten dabei derselben Emotionskategorie. Für keine der drei Bedingungen berichteten die Autoren Lateralisierungseffekte in Abhängigkeit vom Emotionstyp. Diese zu den Befunden Schmidt und Trainors (2001) in Widerspruch stehenden Ergebnisse verweisen auf die Notwendigkeit weiterer Untersuchungen in diesem Bereich.

4.1 Wahrnehmung von emotionalem Gehalt

Die Autoren der beschriebenen Studien legen ihrem Vorgehen die Annahme zu Grunde, traurige Musik löse Traurigkeit aus. Sie gehen also von einer unvermittelten emotionalen Reaktion des Hörers auf die in der Musik enthaltene Emotionalität aus. Der Hörer selbst erlebt die Emotion, und zwar genau die, die das Musikstück transportiert. Die Wahrnehmung von Emotionen und das Erleben von Emotionen scheinen in der Theorie Schmidt und Trainors (2001) zu einem untrennbaren Ganzen zu verschmelzen (siehe Abb. 4a).

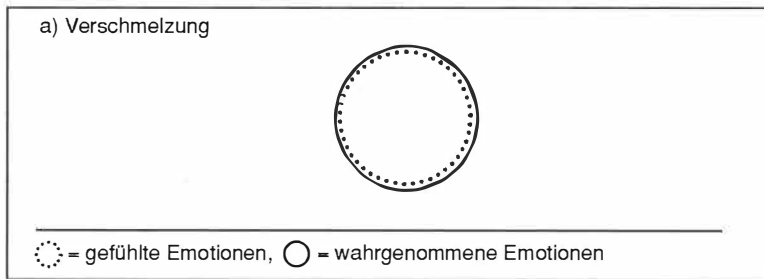
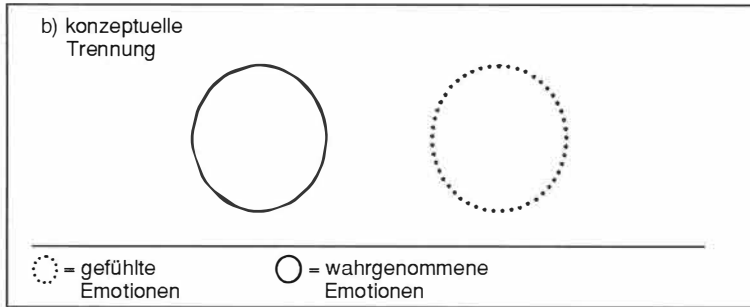


Abb. 4a:
Emotionswahrnehmung und Emotionserleben in der Musikverarbeitung:
ein möglicher theoretischer Ausgangspunkt

Diese Konzeptualisierung erweist sich jedoch in vielen Fällen als ungünstig, z. B. wenn es darum geht zu erklären, warum Musik, die Traurigkeit oder andere negative Emotionen ausdrückt, freiwillig von einer Vielzahl von Individuen rezipiert wird (Schubert, 1996). So gibt es zu dieser theoretischen Position kritische Stimmen sowohl aus der Psychologie als auch der Philosophie (Jackendoff & Lehrdahl, 2006; Kivy, 1999). Für Kivy (1999) z. B. existiert eine klare Trennung zwischen den Emotionen, die in der Musik zum Ausdruck kommen, und dem, was der Hörer als Reaktion darauf fühlt (siehe Abb. 4b).

**Abb. 4b:**

Emotionswahrnehmung und Emotionserleben in der Musikverarbeitung:
ein weiterer theoretischer Ausgangspunkt

Anhand Bouwsma (1965) Aussage, „the sadness is to the music rather like the redness to the apple, than it is like the burp to the cider“ (S. 49), veranschaulicht Kivy (1999) seine Auffassung. Der erste Teil dieser Aussage spiegelt die Position der Konturtheoretiker wider, die die emotionale Expressivität als eine objektive Eigenschaft der Musik betrachten und sie in der Ähnlichkeit zwischen dem dynamischen Profil der Musik und dem menschlichen Verhalten, welches als Bestandteil einer Emotion ausgelöst wird, begründet sehen (Davies, 2003). Jackendoff und Lehrdahl (2006), zwei Vertreter der Kognitionspsychologie, sind ähnlicher Auffassung. Für sie erkläre sich der größte Teil der emotionalen Ausdruckskraft der Musik aus ihrer Imitation menschlicher Motorik (Körperhaltung und Gestik), welche in Zusammenhang mit Emotionserleben auftritt und deren emotionalen Gehalt wir besonders effizient wahrnehmen und identifizieren könnten (ebenda). Nicht nur der größte Anteil der emotionalen Expressivität der Musik rühre aus dieser Anlehnung an die Motorik, sondern auch der musikspezifischste. Weniger musikspezifisch, aber trotzdem in der Musik vorkommend, wären allgemeine Charakteristika der Audition, z. B. plötzliche laute Geräusche, um Überraschungseffekte auszudrücken, sowie die Imitation der affektiven Merkmale menschlicher Vokalisationen, welche sich z. B. in der Beschreibung eines Stückes als „seufzende“ Violinenmusik wiederfände. Komponisten bedienten sich demnach vieler verschiedener Mittel, um ihren musikalischen Werken emotionale Ausdruckskraft zu verleihen (ebenda).

Wie effizient, schnell und automatisch die Identifikation von in Musik transportierten Emotionen gelingt, belegt eine unter Verwendung des Mismatch Negativity-Paradigmas entstandene Studie von Goydke und Kollegen (2004). Einzelne Violinentöne wurden, entweder traurigen oder fröhlichen Ausdruck intendierend, gespielt und aufgenommen. Ebenso wie Töne unterschiedlichen Timbres oder unterschiedlicher Tonhöhen lösten diese Töne, die

sich nachweislich in ihrem emotionalen Ausdruck unterschieden, eine MMN bei Versuchspersonen aus, deren Aufmerksamkeit während des Versuchs auf ein Video und nicht auf die Töne gerichtet war (ebenda). Die ähnliche Verteilung der gemessenen Aktivität über die Timbre-, Tonhöhen- und Emotionsbedingung hinweg deutet laut Goydke et al. (2004) auf ähnliche, zugrunde liegende Generatoren hin. Da es sich bei Klangfarbe und Tonhöhe um physikalische Eigenschaften eines Tones handelt, vermuten die Autoren, dass auch die emotionale Expressivität eines Tones anhand bestimmter subtiler physikalischen Eigenschaften identifiziert wird. Menschliche Gehirne scheinen sich durch die Fähigkeit, eingehende Information schnell und unabhängig von ihrer Darbietungsform auf möglicherweise enthaltene Hinweise auf Emotionen zu prüfen, auszuzeichnen.

4.2 Ästhetische Emotionen

Hörer sind also, wie oben erörtert wurde, sehr gut in der Lage, die emotionale Ausdrucksweise der Musik zu verstehen. Wie steht es nun um die eigenen Emotionen der Hörer? Bis auf ästhetisch irrelevante Fälle wie z. B. Traurigkeit als Reaktion auf ein musikalisches Hörerlebnis, welche sich aus mit dem Musikstück verknüpften biografischen Begebenheiten herleitet („our song phenomenon“), ist Kivy (1999) nicht der Meinung, dass traurige Musik Traurigkeit in ihren Hörern erzeugt. Seiner Ansicht nach ist es die Schönheit der Musik, die den Menschen anrührt und emotional bewegt. Erleben wir die emotionale Ausdrucksstärke der Musik als schön („schön traurig“), reagieren wir auf die transportierte Emotion mit eigenen Emotionen, jedoch nicht, indem wir dieselbe Emotion (Traurigkeit) erleben, sondern mit der Empfindung von Emotionen, die Kivy (1999) als „namenlos“, Jackendoff und Lehrdahl (2006) als „reaktiv“ und Scherer (2004; 2005) als „ästhetisch“ bezeichnen. In Scherers Konzeption unterscheiden sich die ästhetischen Emotionen von den als „gewöhnlich“ oder auch „utilitaristisch“ bezeichneten Emotionen insbesondere durch ihren mangelnden adaptiven Wert. Sie sind nicht primär handlungsleitend oder entscheidend für die Erfüllung wichtiger Bedürfnisse und damit für die Aufrechterhaltung des Wohlergehens des Organismus. Vielmehr sind sie Produkt des Wertschätzungsprozesses, der sich bei der Wahrnehmung von Schönheit (in Natur, Kunstwerken oder künstlerischen Darbietungen) vollzieht. Als Beispiele für solche ästhetischen Emotionen nennt Scherer (2005) u. a. Rührung, Bewunderung, Faszination, Glückseligkeit und Verückung. Obgleich diese Emotionen keine utilitaristische Funktion haben, entbehren sie nicht physiologischer Korrelate. Gänsehaut, Wonneschauern und feuchte Augen konstituieren den physiologischen Anteil ästhetischer Emotionen (ebenda). Diese diffusen Reaktionen sind laut Scherer (2005) jedoch nicht mit den starken handlungsrelevanten Erregungsvorgängen utilitaristischer Emotionen gleichzusetzen.

4.2.1 Intensive ästhetische Emotionen

Aufschluss über neurophysiologische Korrelate von mittels Musik geweckten, intensiven ästhetischen Emotionen liefert insbesondere eine Studie von Blood und Zatorre (2001; siehe auch Zatorre, 2003, und Menon & Levitin, 2005). Obgleich in dieser Studie keine elektrophysiologischen Methoden zum Einsatz kamen, sondern die Gehirnaktivität mit Hilfe von Positronen Emissions Tomografie (PET) aufgezeichnet wurde, soll sie aufgrund ihres zentralen Stellenwerts für die Erforschung ästhetischer Emotionen trotzdem Erwähnung finden. Die Teilnehmer an der Studie hörten Musikstücke, die sie vor der Untersuchung selbst ausgewählt hatten. Auswahlkriterium war dabei die Eigenschaft des Musikstücks, bei dem jeweiligen Probanden zuverlässig intensive positive ästhetische Emotionen (Wohneschauer) auslösen zu können, ohne jedoch mit positiven persönlichen Erinnerungen oder Assoziationen verknüpft zu sein (um Artefakte durch extra-ästhetische Phänomene auszuschließen). Die mittels PET aufgezeichnete Gehirnaktivität war während starker ästhetischer Emotionen in Gehirnregionen, die ansonsten nur auf sehr stark belohnende und motivational bedeutsame Stimuli ansprechen, erhöht. Dazu zählen das dorsale Mittelhirn, das ventrale Striatum (inklusive des N. accumbens), die Insularegion und der orbitofrontale Kortex (Zatorre, 2003). Untersuchungen wie diese ermöglichen Einblicke in die Verarbeitung ästhetischer Emotionen im Gehirn. Zusätzlich ergibt sich bei genauerer Betrachtung der von den Teilnehmern der Studie getroffenen Musikauswahl ein interessantes Bild: Die ausgewählten Stücke verleihen nicht durchgängig Glückseligkeit oder einer anderen positiven Emotion Ausdruck. Ein Teilnehmer wählte z. B. das Streicheradagio von Barber, welches zuverlässig positive ästhetische Emotionen bei ihm auslöste, obwohl es Traurigkeit ausdrückt. Diese Beobachtung ist in Einklang mit Kivys (1999) Argumentation zu sehen und steht in Kontrast zu der Argumentation Schmidt und Trainors (2001), die Barbers Komposition in ihrer Studie aufgrund der in ihr zum Ausdruck kommenden Traurigkeit verwendeten, um Traurigkeit bei ihren Versuchspersonen zu evozieren.

4.2.2 Weniger intensive ästhetische Emotionen

Die Studie von Blood und Zatorre (2001) stellt insofern eine Ausnahme dar, als dass in ihrem Rahmen besonders intensive und positive ästhetische Emotionen untersucht werden. Vermutlich weniger intensive ästhetische Emotionen begleiteten die Hörerlebnisse von Versuchspersonen, denen stark vereinfachte oder künstlich erzeugte musikalische Stimuli vorgespielt wurden. In Studien, in denen das Dissonanz-Paradigma Anwendung findet, hören Probanden entweder dissonant oder konsonant klingende Akkorde oder

Tonfolgen (z. B. Blood et al., 1999). Die Autoren dieser Studien gehen davon aus, dass dissonante Stimuli zuverlässig als unangenehm/negativ und konsonante Stimuli als angenehm/positiv empfunden werden; sie verstehen demnach Dissonanz als das primitivste musikalische Merkmal, um Emotionen zu wecken (Gosselin et al., 2006). In ihren Studien, im Rahmen derer sie mittels PET die Gehirnaktivität messen, ergeben sich Hinweise auf die Verarbeitung von Dissonanz und Konsonanz in paralimbischen Hirnstrukturen (Blood et al., 1999; Gosselin et al., 2006), welche allgemein mit emotionaler Verarbeitung in Verbindung gebracht werden. Auch Wieser und Mazzola (1986) konnten anhand von elektrophysiologischen Ableitungen mit Hilfe von Tiefenelektroden, für deren Einsatz ein Eingriff in das Gehirn nötig ist, bei einem an Epilepsie leidenden Probanden, der während der Aufzeichnung seiner Gehirnaktivität Serien konsonanter und dissonanter Akkorde vorgespielt bekam, die Beteiligung limbischer Strukturen bei der Verarbeitung von Dissonanz nachweisen. Diese beiden Autoren berichten zusätzliche Lateralisierungseffekte, die sich in Form von stärkeren Aktivierungen am linken Ableitort in Reaktion auf konsonante Stimuli zeigten. Im Zusammenhang mit diesen Studien bleibt jedoch noch die Frage nach der Musikspezifität der gefundenen Effekte zu klären. Als musikspezifisch kann nämlich nur das gelten, was über die Gemeinsamkeiten der affektiven Dissonanzverarbeitung und der affektiven Verarbeitung unangenehmer Geräusche hinausgeht. Bei Beachtung solcher Parallelen zur allgemeinen Verarbeitung unangenehmer Geräusche ist zusätzlich die Möglichkeit der Auslösung nicht ausschließlich ästhetischer, sondern auch utilitaristischer Emotionen als Reaktion auf dissonante Musik in Erwägung zu ziehen, wie sie auch in Reaktion auf andere unangenehme Geräusche denkbar ist (vgl. dazu auch Abb. 5).

Nicht nur Dissonanz und Konsonanz, sondern auch verschiedene musikstrukturelle Merkmale werden mit Emotionen in Verbindung gebracht (Jackendoff & Leirdahl, 2006), so z. B. auch die Verletzung harmonischer Erwartungen (Steinbeis, Koelsch & Sloboda, 2005). Die kognitive Verarbeitung unerwarteter Harmonien wird, wie bereits erläutert, durch eine im zeitlichen Ablauf früh auftretende Komponente negativer Polarität an rechtsseitig-anterioren Ableitorten markiert (ERAN). Die in der Studie von Steinbeis et al. zusätzlich zu diesem ereigniskorrelierten Potenzial erhobene Hautleitfähigkeit als Maß emotionaler Beteiligung variierte hypothesenkonform in Abhängigkeit vom Ausmaß harmonischer Verletzung. Je harmonisch unerwarteter der Schlussakkord ausfiel, desto stärker war die emotionale Reaktion. Worum genau handelt es sich jedoch, wenn in diesem Zusammenhang von emotionaler Beteiligung die Rede ist? Fragen wie diese scheinen auch Davies (2003) zu bewegen, da er wie folgt konstatiert:

„There is quite a gap between one's expecting that a given harmonic structure will be continued one way rather than another and one's yearning or hoping for that continuation, and there is a yet bigger gulf to reactions of delight or gloom when what is anticipated occurs or does not“ (S. 283).

Im Rahmen weiterführender Forschung gilt es, mehr über die Natur der affektiven Anteile herauszufinden, die die Wahrnehmung harmonischer Verletzung und anderer musikstruktureller Manipulationen begleiten.

4.3 Ein theoretischer Kompromiss

Nicht unerwähnt bleiben soll eine weitere theoretische Position, die als Kompromiss zwischen der Auffassung Kivys (1999) und der Schmidt und Trainors (2001) verstanden werden kann. So postulieren Jackendoff und Lehrdahl (2006) neben der Kategorie der reaktiven Emotionen eine weitere, die sie „empathische Emotionen“ nennen und nehmen an, dass empathische Emotionen ebenso als Reaktion auf Musik auftreten können wie reaktive (ästhetische) Emotionen (siehe Abb. 4c).

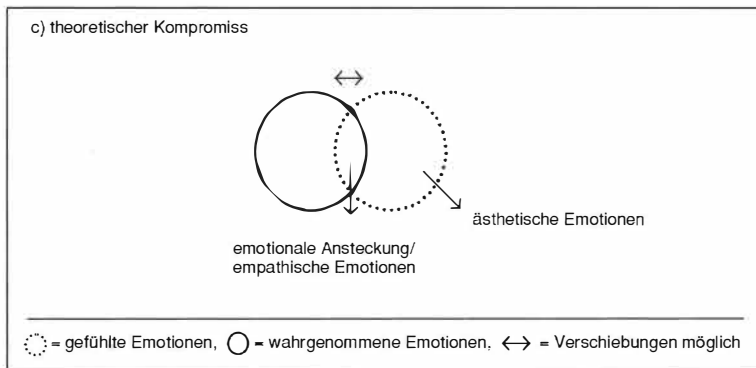


Abb. 4c:

Emotionswahrnehmung und Emotionserleben in der Musikverarbeitung:
Kompromissvorschlag

Auch Davies (1991) geht von der Möglichkeit emotionaler Ansteckungsprozesse während der Musikrezeption aus. Emotionale Ansteckung definieren Hatfield, Cacioppo und Rapson (1994) als die menschliche Tendenz, Gesichtsausdruck, Vokalisation, Haltung und Bewegung automatisch mit denen des Gegenübers zu synchronisieren. Laut Davies (1991) können wir, ebenso wie wir uns von der Stimmung eines Mitmenschen anstecken lassen, auch von der Stimmung eines Musikstückes angesteckt werden. Sogar Kivy (1999) selbst räumt im Sinne der Fehlertheorie Meyers (1956) die Möglichkeit ein, dass starke Rührung als Reaktion auf die Schönheit expressiver Musik vom Hörer fälschlicherweise für das Gefühl gehalten wird, das er in dem Stück wahrnimmt. In der Sozialpsychologie ist die fehlerhafte Attribu-

tion unspezifischen Arousal ein gut untersuchtes Phänomen (Excitation-Transfer-Theory, siehe z. B. Zillmann, Milavsky & Katcher, 1972) und lässt sich auf diesen Kontext plausibel übertragen. Die Existenz dieses und weiterer u. U. komplett andersgearteter vermittelnder Mechanismen gilt es jedoch mittels empirischer Untersuchungen zu belegen.

Zusammenfassend soll noch einmal auf den größeren Geltungsbereich einer Theorie hingewiesen werden, die eine konzeptuelle Trennung der in der Musik wahrgenommenen Emotionen von den Emotionen, die der Hörer selbst erlebt, beinhaltet. Sowohl emotionale Reaktion auf nicht-emotionale Musik, als auch das völlige Ausbleiben emotionaler Reaktionen auf stark expressive Musik sind im Rahmen einer solchen Auffassung erklärbar. Die folgende Abbildung (Abb. 5) stellt den Entwurf eines theoretischen Rahmenmodells dar, in dem alle behandelten Aspekte der affektiven Musikverarbeitung zusammengefasst sind (vgl. dazu auch Bullerjahn, 2001, S. 198).

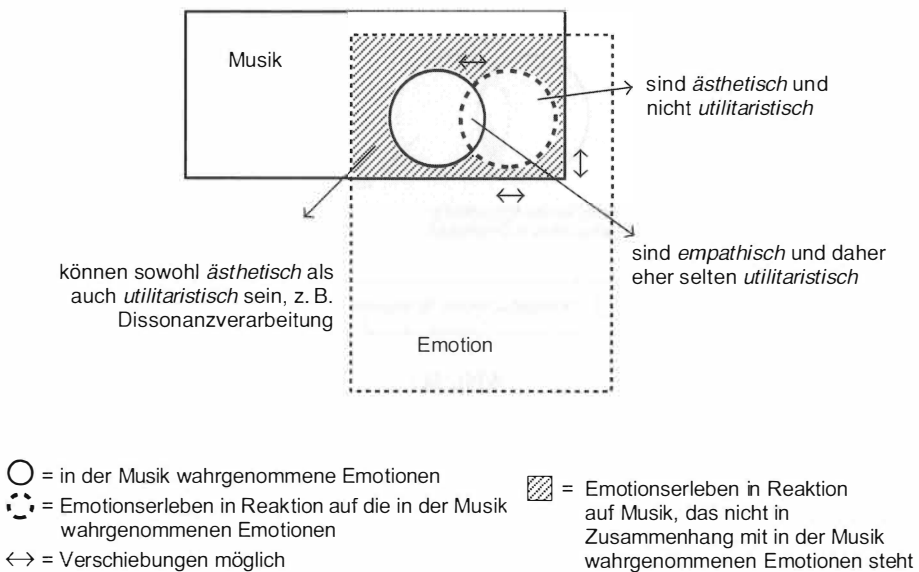


Abb. 5:
Ein Rahmenmodell zur affektiven Musikverarbeitung

Wichtig bleibt des Weiteren zu bedenken, dass Individuen, während sie Musik oder Kunst rezipieren, sich über ihren Status als Rezipienten bewusst sind, d. h. des kognitiven Rahmens (ein auf Goffman (1974) zurückgehendes Konzept), dessen kontinuierliche Präsenz im Bewusstsein die ästhetische

Erfahrung begleitet und den Unterschied zu „echten“ Erfahrungen markiert (Jackendoff & Lehrdahl, 2006). Möglicherweise gibt es jedoch intensive ästhetische Erfahrungen, die diesen kognitiven Rahmen (zumindest temporär) außer Kraft zu setzen im Stande sind, wie z. B. die Rezeption von Horrorfilmen, bei der ängstliche Individuen mitunter starke Angstgefühle erleben. Im Bereich der Musikrezeption ist uns jedoch nur ein Bericht von Sacks (2006) bekannt, der wie folgt über die Reaktion von Individuen mit Williamssyndrom auf musikalische Stimuli berichtet:

„Individuals with Williams syndrome, for example, though they have severe visual and cognitive deficits, are often musically gifted, and usually extravagantly sensitive to the emotional impact of music. I have seen few sights more extraordinary than a group of 40 young people with Williams syndrome breaking into uncontrollable weeping at tender or sad music, or uncontrollably excited if the music is animated“ (S. 2529).

Aufgrund kognitiver Defizite ist vermutlich die Verankerung des kognitiven Rahmens, der die ästhetische Erfahrung als solche im Bewusstsein markiert, beeinträchtigt. Diese Hinweise auf inter- und intraindividuelle Variabilität in diesem Bereich sollten Berücksichtigung in zukünftigen Untersuchungen finden.

5 Musik und Ästhetik

Obwohl Mensch und Tier viele der Eigenschaften teilen, die die Musikalität des Menschen ausmachen – so können z. B. sogar Koi Karpfen zwischen verschiedenen Musikstilen unterscheiden (Chase, 2001) – scheinen dennoch bestimmte Aspekte der Musikrezeption etwas speziell Menschliches zu sein. Die Fähigkeit, Musik genießen zu können, ist als einer dieser Aspekte zu nennen, da selbst mit den Menschen artverwandte Affen keine Musik mögen (McDermott & Hauser, 2007). Als angenehm empfundene Musik wird häufig als „Ohrenschmaus“ bezeichnet; ihre Rezeption führt mitunter, wie bereits erläutert, zu Gänsehaut, Wonneschauern und feuchten Augen. Welche Musikstücke bei jedem einzelnen derartige Reaktionen hervorrufen, kann jedoch interindividuell sehr verschieden sein. Evaluative mentale Prozesse, die im Ergebnis zu einem ästhetischen Urteil führen, spielen in diesem Zusammenhang eine wichtige Rolle. Mit der uralten Frage danach, was Individuen als schön oder hässlich empfinden, die sich seit langem durch die Menschheitsgeschichte zieht, befasst sich auch die empirische Ästhetik. Im Folgenden geht es um Studien, in deren Rahmen die neuronalen Mechanismen des ästhetischen Urteilsprozesses als Reaktion auf musikalisches Stimulusmaterial untersucht werden.

Altenmüller und Kollegen (2002) spielten ihren Versuchspersonen 120 Musikexzerpte vor, die wenig bekannten instrumentalen Musikstücken unterschiedlichen Genres (Klassik, Pop und Jazz) entstammten. Im Anschluss an eine jede Darbietung ließen sie die Versuchspersonen auf einer 5-stufigen

Skala einschätzen, ob sie das gehörte Musikstück mögen oder nicht mögen. Diese Art der Einschätzung kann, von einem weitgefassten Ästhetikbegriff ausgehend, als eine Form ästhetischen Urteilens betrachtet werden. (Konventionell verwendet bezieht sich diese Begrifflichkeit vornehmlich auf Urteile über die Schönheit von Objekten (Jacobsen et al., 2004)). Die Auswertung der während der Darbietung der musikalischen Stimuli elektroenzephalographisch aufgezeichneten Gehirnaktivität ergab folgendes Muster: Für Stimuli, die gemocht wurden, fanden die Autoren stärkere Aktivität an Ableiteorten über linksseitig fronto-temporalen Regionen als für Stimuli, die nicht gemocht wurden. Die Darbietung nicht gemochter Stimuli wiederum ging mit erhöhten Messwerten an rechtsseitigen Ableiteorten über frontalen und temporalen Großhirnregionen einher.

Diese Befunde können als analog zu den Befunden von Gagnon und Peretz (2000) und denen von Brattico und Kollegen (2003) gesehen werden. Gagnon und Peretz (2000) baten ihre Teilnehmer, tonale und atonale Melodien danach zu beurteilen, ob sie sich angenehm oder unangenehm anhören. Die Melodien wurden entweder dem linken oder dem rechten Ohr und damit primär entweder der rechten oder linken Hemisphäre dargeboten. Bei der Auswertung der gemessenen Reaktionszeiten ergab sich wie bei Altenmüllers et al. (2002) ein Vorteil der rechten Hemisphäre für die „unangenehm“-Antworten und ein Vorteil der linken Hemisphäre für die „angenehm“-Antworten. Interessant ist weiterhin, dass keine Lateralisierungseffekte auftraten, sobald die Versuchspersonen dazu angehalten waren, deskriptive Urteile über die gleichen Stimuli zu fällen. Diese speziell mit dem ästhetischen Urteil einhergehende Lateralisierung belegt auch die Studie von Brattico et al. (2003).

6 Ausklang

In Studien zur Musikrezeption wird, bis auf wenige Ausnahmen, in denen Musiknoten visuell präsentiert wurden (z. B. Gunter, Schmidt & Besson, 2003; Williamon & Enger, 2004; Yumoto et al., 2005), mit akustischer Stimulation gearbeitet. Im Gegensatz zur Verarbeitung visueller Reize, die parallel geschieht, werden akustisch dargebotene Stimuli jedoch vorwiegend seriell verarbeitet. Musik ist insofern parallelen Verarbeitungsmodi nicht zugänglich, als es sich bei ihr nicht um ein sich räumlich manifestierendes, sondern zeitlich abhängiges Phänomen handelt. In diesem Sinne bescheinigt auch Koopman (2001) der Musik einen Mangel an „beharrlicher Substanz“ und konstatiert wie folgt:

„Normale Gegenstände verdanken ihre Identität durch die Zeit hindurch dem Besitz einer solchen Substanz. Der Kugelschreiber, den ich noch vor zwei Sekunden sah, ist derselbe wie der, den ich in diesem Moment betrachte. Daher kann man Objekte unabhängig vom zeitlichen Geschehen betrachten; man kann sie sozusagen „aus der Zeit herausnehmen“ und auf ihre Eigenschaften untersuchen. Der musikalischen Entität fehlt jedoch eine solche Beharrlichkeit und zeitliche Unabhängigkeit. Es gibt keine Substanz, die sich durch die Zeit ständig als dieselbe erweist.“ (S. 330).

Diese fehlende zeitliche Unabhängigkeit erschwert auch die Erforschung der Musik. Auf welchen Teil der Musikrezeption bezieht sich z. B. ein nach Abschluss der Rezeption abgegebenes deskriptives oder evaluatives Urteil über den Höreindruck? „Ist von Musik als Objekt die Rede, so denkt man dabei an erster Stelle an ein Werk als Ganzes“ (Koopman, 2001, S. 329). Kann sich ein solches Urteil also auf ein ganzes Werk beziehen? Ein musikalisches Werk in seiner ganzen Länge präsent im Bewusstsein zu haben, ist jedoch nicht möglich (ebenda). Selbst Musiker, die in der Lage sind, ein auswendig gelerntes Stück imaginär im Kopf durchzuspielen, sind an die nicht zu überbrückende zeitliche Abhängigkeit der Musik gebunden. Auch ihnen ist es nicht möglich, ein musikalisches Werk wie ein Gemälde zu einem Zeitpunkt in seiner Vollständigkeit zu betrachten. Die Möglichkeiten, die elektrophysiologische Methoden bieten, insbesondere in ihrer Eigenschaft, abhängiges Datenmaterial nicht nur zu einem Zeitpunkt, sondern über zeitliche Epochen hinweg liefern zu können, machen sie zu geeigneten Untersuchungswerkzeugen, um zeitlich abhängige Phänomene wie z. B. Musikrezeption trotz ihres Mangels an „beharrlicher Substanz“ zu erforschen.

Ziel des vorliegenden Beitrags war es, einen Überblick über Forschungsbemühungen zur Musikverarbeitung im menschlichen Gehirn zu geben, im Rahmen derer elektrophysiologische Methoden zur Anwendung kommen. Wie schon an anderer Stelle erwähnt, wurden bisher insbesondere kognitive Aspekte der Musikverarbeitung mit Hilfe von elektrophysiologischen Methoden untersucht. Im Bereich Musik und Emotion gibt es deutlich weniger Studien, die das elektrophysiologische Methodenrepertoire ausschöpfen. Dies ist insbesondere auf die Lokalisierung der Emotionsverarbeitung in vorwiegend subkortikalen Hirnregionen, deren Aktivität sich nicht oder nur sehr bedingt elektroenzephalographisch aufzeichnen lässt, zurückzuführen. Einen weiteren Grund für die geringere Anzahl der auf affektive Aspekte fokussierten Studien könnte die bis dato bestehende Uneinheitlichkeit der theoretischen Ausgangspositionen darstellen. Die Entwicklung einer einheitlichen Rahmentheorie zur affektiven Musikverarbeitung, wie sie ansatzweise im vorliegenden Beitrag vorgeschlagen wurde, könnte Impulse für weitere Forschungsbemühungen an der Schnittstelle Musik, Emotion und Elektrophysiologie setzen. Dabei ist eine Orientierung an schon bestehenden Überlegungen und Konzeptionen aus verwandten Disziplinen wünschenswert. So gibt es neben musikwissenschaftlichen und philosophischen Arbeiten auch zahlreiche psychologische Studien, die zwar nicht auf neurowissenschaftlichen Methoden fußen aber fundierte theoretische Rahmenkonzeptionen aufweisen. Die Erforschung von Musikeffekten ist ein von Grund auf interdisziplinäres Vorhaben. Ein stärkerer Einbezug der Befunde anderer Disziplinen kann also die Erforschung affektiver Aspekte der Musikverarbeitung mit Hilfe elektrophysiologischer Methoden nur voranbringen.

Am wenigsten biopsychologische Forschung gibt es jedoch zur Musikästhetik. Obwohl die empirische Ästhetik zu den ältesten psychologischen Forschungstraditionen zählt (Jacobsen, 2006), werden ästhetische Überlegungen oftmals den Vertretern der Geisteswissenschaften überlassen.

Fest steht, dass sowohl im Zusammenhang mit ästhetischen und emotionalen, aber auch kognitiven Aspekten viele Fragen offen bleiben, die es zu klären gilt. Die Erforschung der Musikrezeption mittels elektrophysiologischer Methoden ist demnach noch lange nicht abgeschlossen, sie stellt vielmehr ein zukunftsträchtiges und vielversprechendes Forschungsfeld dar.

Literatur

- Alho, K. (1995). Cerebral generators of mismatch negativity (Mmn) and its magnetic counterpart (Mnm) elicited by sound changes. *Ear and Hearing*, 16 (1), 38–51.
- Altenmüller, E., Schürmann, K., Lim, V. K. & Parlitz, D. (2002). Hits to the left, flops to the right: different emotions during listening to music are reflected in cortical lateralisation patterns. *Neuropsychologia*, 40 (13), 2242–2256.
- Atienza, M., Cantero, J. L. & Dominguez-Marin, E. (2002). The time course of neural changes underlying auditory perceptual learning. *Learning & Memory*, 9 (3), 138–150.
- Barnea, A., Granot, R. & Pratt, H. (1994). Absolute pitch – electrophysiological evidence. *International Journal of Psychophysiology*, 16 (1), 29–38.
- Baumgartner, T., Esslen, M. & Jäncke, L. (2006). From emotion perception to emotion experience: emotions evoked by pictures and classical music. *International Journal of Psychophysiology*, 60 (1), 34–43.
- Beisteiner, R., Erdler, M., Mayer, D., Gartus, A., Edward, V., Kaindl, T., Golaszewski, S., Lindinger, G. & Deecke, L. (1999). A marker for differentiation of capabilities for processing of musical harmonies as detected by magnetoencephalography in musicians. *Neuroscience Letters*, 277 (1), 37–40.
- Berger, H. (1929). Über das Elektrenkephalogramm des Menschen. *Archiv für Psychiatrie und Nervenkrankheiten*, 87, 527–570.
- Besson, M. & Faïta, F. (1995). Event-related potential (ERP) study of musical expectancy – comparison of musicians with nonmusicians. *Journal of Experimental Psychology-Human Perception and Performance*, 21 (6), 1278–1296.
- Besson, M., Faïta, F. & Requin, J. (1994). Brain waves associated with musical incongruities differ for musicians and non-musicians. *Neuroscience Letters*, 168 (1–2), 101–105.
- Besson, M. & Macar, F. (1987). An event-related potential analysis of incongruity in music and other non-linguistic contexts. *Psychophysiology*, 24 (1), 14–25.
- Besson, M. & Schön, D. (2001). Comparison between language and music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 232–258.
- Blood, A. J. & Zatorre, R. J. (2001). Intensely pleasurable responses to music correlate with activity in brain regions implicated in reward and emotion. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 98 (20), 11818–11823.
- Blood, A. J., Zatorre, R. J., Bermudez, P. & Evans, A. C. (1999). Emotional responses to pleasant and unpleasant music correlate with activity in paralimbic brain regions. *Nature Neuroscience*, 2 (4), 382–387.
- Bosnyak, D. J., Eaton, R. A. & Roberts, L. E. (2004). Distributed auditory cortical representations are modified when non-musicians are trained at pitch discrimination with 40 Hz amplitude modulated tones. *Cerebral Cortex*, 14 (10), 1088–1099.
- Bouwsma, O. K. (1965). *Philosophical Essays*. Lincoln, NE: University of Nebraska Press.

- Brattico, E., Jacobsen, T., De Baene, W., Nakai, N. & Tervaniemi, M. (2003). Electrical brain responses to descriptive versus evaluative judgments of music. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 155–157.
- Bullerjahn, C. (2001). *Grundlagen der Wirkung von Filmmusik*. Augsburg: Wißner.
- Chase, A.R. (2001). Music discriminations by carp (*Cyprinus carpio*). *Animal Learning & Behavior*, 29 (4), 336–353.
- Crummer, G.C., Walton, J.P., Wayman, J.W., Hantz, E.C. & Frisina, R.D. (1994). Neural processing of musical timbre by musicians, nonmusicians, and musicians possessing absolute pitch. *Journal of the Acoustical Society of America*, 95 (5 Pt 1), 2720–2727.
- D'Errico, F., Henshilwood, C., Lawson, G., Vanhaeren, M., Tillier, A.M., Soressi, M., Bresson, F., Maureille, B., Nowell, A., Lakarra, J., Backwell, L. & Julienlo, M. (2003). Archaeological evidence for the emergence of language, symbolism, and music – An alternative multidisciplinary perspective. *Journal of World Prehistory*, 17 (1), 1–70.
- Davidson, R.J., Schwartz, G.E., Saron, C., Bennett, J. & Goleman, D.J. (1979). Frontal versus parietal eeg asymmetry during positive and negative affect. *Psychophysiology*, 16 (2), 202–203.
- Davies, S. (1991). Sound sentiment – an essay on the musical emotions – Kivy, P. *Journal of Aesthetics and Art Criticism*, 49 (1), 83–85.
- Davies, S. (2003). Philosophy, music and emotion. *Australasian Journal of Philosophy*, 81 (2), 281–283.
- Escera, C., Alho, K., Schröger, E. & Winkler, I. (2000). Involuntary attention and distractibility as evaluated with event-related brain potentials. *Audiology and Neuro-Otology*, 5 (3–4), 151–166.
- Fujioka, T., Trainor, L.J., Ross, B., Kakigi, R. & Pantev, C. (2004). Musical training enhances automatic encoding of melodic contour and interval structure. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 16 (6), 1010–1021.
- Gagnon, L. & Peretz, I. (2000). Laterality effects in processing tonal and atonal melodies with affective and nonaffective task instructions. *Brain and Cognition*, 43 (1–3), 206–210.
- Goffman, E. (1974). *Frame analysis: An essay on the organisation of experience*. New York: Harper and Row.
- Gosselin, N., Samson, S., Adolphs, R., Noulhiane, M., Roy, M., Hasboun, D., Baulac, M. & Peretz, I. (2006). Emotional responses to unpleasant music correlates with damage to the parahippocampal cortex. *Brain*, 129, 2585–2592.
- Goydke, K.N., Altenmüller, E., Möller, J. & Münte, T.F. (2004). Changes in emotional tone and instrumental timbre are reflected by the mismatch negativity. *Cognitive Brain Research*, 21 (3), 351–359.
- Gunter, T.C., Schmidt, B.H. & Besson, M. (2003). Let's face the music: A behavioral and electrophysiological exploration of score reading. *Psychophysiology*, 40 (5), 742–751.
- Hantz, E.C., Kreilick, K.G., Marvin, E.W. & Chapman, R.M. (1997). Absolute pitch and sex effect event-related potential activity for a melodic interval discrimination task. *Journal of the Acoustical Society of America*, 102 (1), 451–460.
- Hatfield, E., Cacioppo, J. & Rapson, R. (1994). *Emotional contagion*. New York: Cambridge University Press.
- Heinke, W., Kenntner, R., Gunter, T.C., Sammler, D., Olthoff, D. & Koelsch, S. (2004). Sequential effects of increasing propofol sedation on frontal and temporal cortices as indexed by auditory event-related potentials. *Anesthesiology*, 100 (3), 617–625.
- Henriques, J.B. & Davidson, R.J. (1991). Left frontal hypoactivation in depression. *Journal of Abnormal Psychology*, 100 (4), 535–545.

- Hirata, Y., Kuriki, S. & Pantev, C. (1999). Musicians with absolute pitch show distinct neural activities in the auditory cortex. *Neuroreport*, 10 (5), 999–1002.
- Hirose, H., Kubota, M., Kimura, I., Yumoto, M. & Sakakihara, Y. (2003). N100m in children possessing absolute pitch. *Neuroreport*, 14 (6), 899–903.
- Itoh, K., Suwazono, S., Arao, H., Miyazaki, K. & Nakada, T. (2005). Electrophysiological correlates of absolute pitch and relative pitch. *Cerebral Cortex*, 15 (6), 760–769.
- Jackendoff, R. & Lerdahl, F. (2006). The capacity for music: what is it, and what's special about it? *Cognition*, 100 (1), 33–72.
- Jacobsen, T. (2006). Bridging the arts and sciences: A framework for the psychology of aesthetics. *Leonardo*, 39 (2), 155–162.
- Jacobsen, T., Buchta, K., Köhler, M. & Schröger, E. (2004). The primacy of beauty in judging the aesthetics of objects. *Psychological Reports*, 94 (3), 1253–1260.
- Janata, P. (1995). Erp measures assay the degree of expectancy violation of harmonic contexts in music. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 7 (2), 153–164.
- Jäncke, L. (2002). What is special about the brains of musicians? *Neuroreport*, 13 (6), 741–742.
- Jentschke, S., Koelsch, S. & Friederici, A. D. (2005). Investigating the relationship of music and language in children – Influences of musical training and language impairment. *Neurosciences and Music II: From Perception to Performance*, 1060, 231–242.
- Jongsma, M. L., Desain, P. & Honing, H. (2004). Rhythmic context influences the auditory evoked potentials of musicians and non-musicians. *Biological Psychology*, 66 (2), 129–152.
- Kivy, P. (1999). Feeling the musical emotions (A philosophical approach). *British Journal of Aesthetics*, 39 (1), 1–13.
- Koelsch, S. & Friederici, A. D. (2003). Toward the neural basis of processing structure in music. Comparative results of different neurophysiological investigation methods. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 15–28.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., Friederici, A. D. & Schröger, E. (2000). Brain indices of music processing: „nonmusicians“ are musical. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 12 (3), 520–541.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., Schröger, E., Tervaniemi, M., Sammler, D. & Friederici, A. D. (2001). Differentiating ERAN and MMN: an ERP study. *Neuroreport*, 12 (7), 1385–1389.
- Koelsch, S., Gunter, T. C., Wittfoth, M. & Sammler, D. (2005). Interaction between syntax processing in language and in music: an ERP Study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 17 (10), 1565–1577.
- Koelsch, S., Kasper, E., Sammler, D., Schulze, K., Gunter, T. & Friederici, A. D. (2004). Music, language and meaning: brain signatures of semantic processing. *Nature Neuroscience*, 7 (3), 302–307.
- Koelsch, S., Maess, B., Grossmann, T. & Friederici, A. D. (2003). Electric brain responses reveal gender differences in music processing. *Neuroreport*, 14 (5), 709–713.
- Koelsch, S. & Mulder, J. (2002). Electric brain responses to inappropriate harmonies during listening to expressive music. *Clinical Neurophysiology*, 113 (6), 862–869.
- Koelsch, S., Schmidt, B. H. & Kansok, J. (2002). Effects of musical expertise on the early right anterior negativity: An event-related brain potential study. *Psychophysiology*, 39 (5), 657–663.
- Koelsch, S., Schröger, E. & Tervaniemi, M. (1999). Superior pre-attentive auditory processing in musicians. *Neuroreport*, 10 (6), 1309–1313.
- Koelsch, S. & Siebel, W. A. (2005). Towards a neural basis of music perception. *Trends Cognitive Science*, 9 (12), 578–584.

- Koopman, C. (2001). Identifikation, Einfühlung, Mitvollzug. Zur Theorie der musikalischen Erfahrung. *Archiv für Musikwissenschaft*, 59 (4), 317–336.
- Kuriki, S., Kanda, S. & Hirata, Y. (2006). Effects of musical experience on different components of MEG responses elicited by sequential piano-tones and chords. *Journal of Neuroscience*, 26 (15), 4046–4053.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1980). Reading senseless sentences – brain potentials reflect semantic incongruity. *Science*, 207 (4427), 203–205.
- Kutas, M. & Hillyard, S. A. (1984). Event-related brain potentials (ERPs) elicited by novel stimuli during sentence processing. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 425 (Jun), 236–241.
- Lerdahl, F. & Jackendoff, R. (1983). *A generative theory of tonal music*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Lopez, L., Jurgens, R., Diekmann, V., Becker, W., Ried, S., Grozinger, B. & Erne, S. N. (2003). Musicians versus nonmusicians. A neurophysiological approach. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 124–130.
- Loui, P., Greut'-'t-Jong, T., Torpey, D. & Woldorff, M. (2005). Effects of attention on the neural processing of harmonic syntax in Western music. *Cognitive Brain Research*, 25 (3), 678–687.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to event-related potential technique*. Cambridge, Massachusetts: The MIT Press.
- Lütkenhöner, B., Seither-Preisler, A. & Seither, S. (2006). Piano tones evoke stronger magnetic fields than pure tones or noise, both in musicians and non-musicians. *Neuroimage*, 30 (3), 927–937.
- Maess, B., Koelsch, S., Gunter, T. C. & Friederici, A. D. (2001). Musical syntax is processed in Broca's area: an MEG study. *Nature Neuroscience*, 4 (5), 540–545.
- McDermott, J. & Hauser, M. D. (2007). Nonhuman primates prefer slow tempos but dislike music overall. *Cognition*, 104 (3), 654–668.
- Menon, V. & Levitin, D. J. (2005). The rewards of music listening: Response and physiological connectivity of the mesolimbic system. *Neuroimage*, 28 (1), 175–184.
- Meyer, L. B. (1956). *Emotion and meaning in music*. Chicago: University of Chicago Press.
- Münste, T. F., Altenmüller, E. & Jäncke, L. (2002). The musician's brain as a model of neuroplasticity. *Nature Reviews Neuroscience*, 3 (6), 473–478.
- Münste, T. F., Kohlmetz, C., Nager, W. & Altenmüller, E. (2001). Neuroprecognition. Superior auditory spatial tuning in conductors. *Nature*, 409 (6820), 580.
- Münste, T. F., Nager, W., Beiss, T., Schroeder, C. & Altenmüller, E. (2003). Specialization of the specialized: electrophysiological investigations in professional musicians. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 131–139.
- Münste, T. F., Schuppert, M., Johannes, S., Wieringa, B. M., Kohlmetz, C. & Altenmüller, E. (1998). Brain potentials in patients with music perception deficits: evidence for an early locus. *Neuroscience Letters*, 256 (2), 85–88.
- Näätänen, R., Jacobsen, T. & Winkler, I. (2005). Memory-based or afferent processes in mismatch negativity (MMN): A review of the evidence. *Psychophysiology*, 42 (1), 25–32.
- Näätänen, R. & Picton, T. (1987). The N1 Wave of the Human Electric and Magnetic Response to Sound – a Review and an Analysis of the Component Structure. *Psychophysiology*, 24 (4), 375–425.
- Näätänen, R., Schröger, E., Karakas, S., Tervaniemi, M. & Paavilainen, P. (1993). Development of a Memory Trace for a Complex Sound in the Human Brain. *Neuroreport*, 4 (5), 503–506.

- Nager, W., Kohlmetz, C., Altenmüller, E., Rodriguez-Fornells, A. & Münte, T.F. (2003). The fate of sounds in conductors' brains: an ERP study. *Cognitive Brain Research*, 17 (1), 83–93.
- Paavilainen, P., Jaramillo, M., Näätänen, R. & Winkler, I. (1999). Neuronal populations in the human brain extracting invariant relationships from acoustic variance. *Neuroscience Letters*, 265 (3), 179–182.
- Paller, K. A., McCarthy, G. & Wood, C. C. (1992). Event-related potentials elicited by deviant endings to melodies. *Psychophysiology*, 29 (2), 202–206.
- Pantev, C., Oostenveld, R., Engelien, A., Ross, B., Roberts, L. E. & Hoke, M. (1998). Increased auditory cortical representation in musicians. *Nature*, 392 (6678), 811–814.
- Pantev, C., Roberts, L. E., Schulz, M., Engelien, A. & Ross, B. (2001). Timbre-specific enhancement of auditory cortical representations in musicians. *Neuroreport*, 12 (1), 169–174.
- Patel, A. D., Gibson, E., Ratner, J., Besson, M. & Holcomb, P. J. (1998). Processing syntactic relations in language and music: An event-related potential study. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 10 (6), 717–733.
- Peretz, I., Brattico, E. & Tervaniemi, M. (2005). Abnormal electrical brain responses to pitch in congenital amusia. *Annals of Neurology*, 58 (3), 478–482.
- Picton, T. W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S. A., Johnson, R., Miller, G. A., Ritter, W., Ruchkin, D. S., Rugg, M. D. & Taylor, M. J. (2000). Guidelines for using human event-related potentials to study cognition: Recording standards and publication criteria. *Psychophysiology*, 37 (2), 127–152.
- Regnault, P., Bigand, E. & Besson, M. (2001). Different brain mechanisms mediate sensitivity to sensory consonance and harmonic context: evidence from auditory event-related brain potentials. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 13 (2), 241–255.
- Rösler, F. (1982). *Hirnelektrische Korrelate kognitiver Prozesse*. Berlin: Springer-Verlag.
- Rugg, M. D. & Coles, M. G. H. (1995). *Electrophysiology of Mind: Event-Related Brain Potentials and Cognition: Event-related Brain Potentials and Cognition*. New York: Oxford University Press.
- Sacks, O. (2006). The power of music. *Brain*, 129, 2528–2532.
- Sammler, D., Grigutsch, M., Fritz, T. & Koelsch, S. (2007). Music and emotion: Electrophysiological correlates of the processing of pleasant and unpleasant music. *Psychophysiology*, 44 (2), 293–304.
- Scherer, K. R. (2004). Which emotions can be induced by music? What are the underlying mechanisms? And how can we measure them? *Journal of New Music Research*, 33 (3), 239–251.
- Scherer, K. R. (2005). What are emotions? And how can they be measured? *Social Science Information Sur Les Sciences Sociales*, 44 (4), 695–729.
- Schmidt, L. A. & Trainor, L. J. (2001). Frontal brain electrical activity (EEG) distinguishes valence and intensity of musical emotions. *Cognition & Emotion*, 15 (4), 487–500.
- Schmidt, L. A., Trainor, L. J. & Santesso, D. L. (2003). Development of frontal electroencephalogram (EEG) and heart rate (ECG) responses to affective musical stimuli during the first 12 months of post-natal life. *Brain and Cognition*, 52 (1), 27–32.
- Schneider, P., Scherg, M., Dosch, H. G., Specht, H. J., Gutschalk, A. & Rupp, A. (2002). Morphology of Heschl's gyrus reflects enhanced activation in the auditory cortex of musicians. *Nature Neuroscience*, 5 (7), 688–694.
- Schröger, E. (1997). On the detection of auditory deviations: A pre-attentive activation model. *Psychophysiology*, 34 (3), 245–257.

- Schubert, E. (1996). Enjoyment of negative emotions in music: An associative network explanation. *Psychology of Music*, 24, 18–24.
- Seppänen, M., Brattico, E. & Tervaniemi, M. (2007). Practice strategies of musicians modulate neural processing and the learning of sound-patterns. *Neurobiology of Learning and Memory*, 87 (2), 236–247.
- Shahin, A., Bosnyak, D. J., Trainor, L. J. & Roberts, L. E. (2003). Enhancement of neuroplastic P2 and N1c auditory evoked potentials in musicians. *Journal of Neuroscience*, 23 (13), 5545–5552.
- Shahin, A., Roberts, L. E. & Trainor, L. J. (2004). Enhancement of auditory cortical development by musical experience in children. *Neuroreport*, 15 (12), 1917–1921.
- Sloboda, J. (1985). *The musical mind: The cognitive psychology of music*. Oxford: Clarendon Press.
- Steinbeis, N., Koelsch, S. & Sloboda, J. A. (2005). Emotional processing of harmonic expectancy violations. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 1060, 457–461.
- Swain, J. (1997). *Musical languages*. New York: Norton.
- Tervaniemi, M. (2001). Musical sound processing in the human brain. Evidence from electric and magnetic recordings. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 259–272.
- Tervaniemi, M., Castaneda, A., Knoll, M. & Uther, M. (2006). Sound processing in amateur musicians and nonmusicians: event-related potential and behavioral indices. *Neuroreport*, 17 (11), 1225–1228.
- Tervaniemi, M., Ilvonen, T., Karma, K., Alho, K. & Näätänen, R. (1997). The musical brain: brain waves reveal the neurophysiological basis of musicality in human subjects. *Neuroscience Letters*, 226 (1), 1–4.
- Thayer, J. F. & Faith, M. L. (2001). A dynamic systems model of musically induced emotions. Physiological and self-report evidence. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 452–456.
- Trainor, L. J., Shahin, A. & Roberts, L. E. (2003). Effects of musical training on the auditory cortex in children. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 506–513.
- Tremblay, K., Kraus, N., McGee, T., Ponton, C. & Otis, B. (2001). Central auditory plasticity: Changes in the N1-P2 complex after speech-sound training. *Ear and Hearing*, 22 (2), 79–90.
- Tsang, C. D., Trainor, L. J., Santesso, D. L., Tasker, S. L. & Schmidt, L. A. (2001). Frontal EEG responses as a function of affective musical features. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 930, 439–442.
- Verleger, R. (1990). P3-evoking wrong notes: unexpected, awaited, or arousing? *International Journal of Neuroscience*, 55 (2–4), 171–179.
- Wayman, J. W., Frisina, R. D., Walton, J. P., Hantz, E. C. & Crummer, G. C. (1992). Effects of musical training and absolute pitch ability on event-related activity in response to sine tones. *Journal of the Acoustical Society of America*, 91 (6), 3527–3531.
- Wieser, H. G. & Mazzola, G. (1986). Musical consonances and dissonances: Are they distinguished independently by the right and left hippocampi? *Neuropsychologia*, 24 (6), 805–812.
- Williamon, A. & Egner, T. (2004). Memory structures for encoding and retrieving a piece of music: an ERP investigation. *Cognitive Brain Research*, 22 (1), 36–44.
- Yumoto, M., Matsuda, M., Itoh, K., Uno, A., Karino, S., Saitoh, O., Kaneko, Y., Yatomi, Y. & Kaga, K. (2005). Auditory imagery mismatch negativity elicited in musicians. *Neuroreport*, 16 (11), 1175–1178.
- Zatorre, R. J. (2003). Music and the brain. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 999, 4–14.

Zillmann, D., Milavsky, B. & Katcher, A. H. (1972). Excitation transfer from physical exercise to subsequent aggressive behavior. *Journal of Experimental Social Psychology*, 8 (3), 247–259.

Autorenhinweis

Wir danken Andrea Gast-Sandmann für die Bereitstellung der Abbildung 1, dem MPI-CBS für die Genehmigung zum Abdruck derselben, Erich Schröger für die Vorlage zur Abbildung 2 und Johanna Steinberg für Korrekturhinweise zum Manuskript.