

# Emotionale Vorgänge beim Hören von Musik und ihre Resonanz im Vegetativum

G. Harrer<sup>1</sup>, M. E. Harrer<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Forschungsinstitut für experimentelle Musikpsychologie der Herbert von Karajan Stiftung an der Universität Salzburg, Landesnervenklinik Salzburg, <sup>2</sup>Innsbruck

## Zusammenfassung

In den Jahren 1968 bis 1982 wurde in empirischen Einzel- und Erkundungsstudien versucht, die beim Hören und Erleben von Musik auftretenden Veränderungen im Bereich des vegetativen Nervensystems und der Psychomotorik zu erfassen und zu analysieren. Mit polygraphischen Untersuchungen unter synchroner Registrierung mehrerer vegetativer Parameter (EKG, Pulsfrequenz, Oszillogramm, Plethysmographie, Atmung, elektrischer Hautwiderstand) und EMG als Indikatoren der Musikwirkung konnten unterschiedliche Reaktionen in Abhängigkeit von der Art des dargebotenen Musikstückes, von Lautstärke, Tempo und Rhythmus gefunden werden. Auch die aktuelle Einstellung der Probanden zur Musik, ob emotionale Hingabe bis hin zu Chill-Erlebnissen oder rational kritische Verarbeitung, ebenso die vegetative Stabilität oder Labilität der psycho-physischen Regelkreise beeinflussen das Ergebnis.

Es wurde auch der Frage einer möglichen koordinativen bzw. synchronisierenden Wirkung frequenz-variiertes externer Rhythmen und Musikausschnitte auf biologische endogene Rhythmen (Puls und Atmung) nachgegangen.

Überdies werden Einzelbeobachtungen über die Wirkung psychotroper Substanzen (Tranquilizer) auf das Musikerleben und die assoziierten vegetativen Vorgänge dargelegt. Das Paradigma einer engen und unauflösbaren Koppelung zwischen Erleben und vegetativer Reaktion kann offenbar durch Tranquilizer vorübergehend seine absolute Gültigkeit verlieren.

**Schlüsselwörter:** Musik, Emotion, Vegetativum, Pulse driving, Chills

## Emotional Outcomes while Listening to Music and Their Resonance in the Autonomic Nervous System

G. Harrer, M. E. Harrer

### Abstract

Between 1968 and 1982, the authors evaluated empirical case studies and pilot studies on changes that occur in the autonomic nervous system and in the psychomotoric system of subjects listening to music. Up to five different parameters for autonomous reactions were recorded simultaneously: ECG, heart rate, psycho-galvanic reflex, respiratory movements, plethysmography. EMG indicated reactions of the motor system. The reactions depended on the loudness, velocity, rhythm and kind of presented piece of music. The results were also affected by the prevailing attitude of the subjects, e.g. whether they were critically analyzing or emotionally surrendering or even experiencing chills. An other influencing factor was the subject's individual stability or lability of autonomic regulation.

The authors also studied whether variations in the frequency of rhythms of beats/drums or in the pieces of music listened to, may have an influence on biological rhythms as heart rate and respiration.

Observations on the effects of psychotropic drugs (tranquilizer) on the subjective experiencing of music and the associated autonomic reactions are reported. Over a period of time, tranquillizers may affect the paradigm's absolute validity of the close and insoluble coupling of experience and autonomic reaction.

**Key words:** music, emotion, autonomic function, pulse driving, chills

© Hippocampus Verlag 2008

## Einführung

Die beim Hören und Erleben von Musik auftretenden emotionellen Abläufe sind mit körperlichen Veränderungen assoziiert, die als psychophysische Entsprechungen zu verstehen sind und sich vor allem im vegetativen Nervensystem und in der Motorik äußern. Unser Anliegen war es, durch Erkundungsstudien die Abhängigkeit dieser Vorgänge von verschiedenen Einflussgrößen zu erfassen und zu analysieren: Dazu gehören die Art des dargebotenen Musikstückes, Lautstärke, Tempo und Rhythmus, die aktuelle Einstellung des Hörenden zur Musik – ob mit emotionaler Hingabe oder rational kritisch bewertend –, ferner Hörgewohnheiten, aber auch vegetative Labilität oder Stabilität der Betroffenen. Die Wirkungsweise von Musik auf psychophysische Regelkreise zu untersuchen dient nicht zuletzt musiktherapeutischen Zielsetzungen, um Anhaltspunkte zum Beispiel für die Bewertung aktiver und rezeptiver Musiktherapie zu gewinnen.

Im Rahmen dieser Bestrebungen führten wir polygraphische Untersuchungen mit synchroner Registrierung von Pulsfrequenz, Elektrokardiogramm, Atmung, Oszillogramm, elektrischem Hautwiderstand und Muskeltonus durch. Weitere Pilotstudien galten der Frage der Veränderung des Musikerlebens durch psychotrope Substanzen. Überdies wurde in Erkundungsstudien die Möglichkeit einer synchronisierenden Wirkung bzw. einer Anknüpfung biologischer Funktionsabläufe, von Pulsfrequenz und Atmung an externe frequenzvariierte rhythmisch akustische Reize und Musikstücke untersucht.

## Vergleich aktives Musizieren (Dirigieren) mit reiner Musikrezeption

Da viele unserer Untersuchungen im Rahmen des Forschungsinstitutes für experimentelle Musikpsychologie der Herbert von Karajan Stiftung an der Universität Salzburg durchgeführt wurden, sei eine experimentelle Einzelfallstudie mit diesem Dirigenten vorangestellt:

Es ging um die Frage

1. nach Unterschieden in der Qualität und/oder Intensität der vegetativen Reaktionen zwischen aktivem Musizieren (Dirigieren) und bloßem Anhören des gleichen Musikstückes,
2. um die Auswirkung psychotroper Substanzen (Tranquillizer) auf die psychischen und vegetativen Vorgänge beim Musikhören.

Dazu wurden bei *Herbert von Karajan*, während er in der Berliner Philharmonie bei seinem Orchester die von ihm besonders geschätzte Leonoren-Ouvertüre dirigierte, verschiedene Kreislaufparameter (EKG, Pulsfrequenz, Oszillogramm/Durchblutung), die Atmung sowie Veränderungen des elektrischen Hautwiderstandes telemetrisch registriert. Die Analyse der von uns erhobenen polygraphischen Daten ergab, wie wir aufgrund zahlreicher Voruntersuchungen

auch erwartet hatten, ein vegetatives Muster, das mit den von ihm beschriebenen emotionellen Vorgängen während des Dirigierens gut korrelierte.

Die vegetativen Reaktionen beim Dirigieren wurden anhand eines Vergleiches der polygraphischen Aufzeichnungen mit der dazugehörigen Partitur Passage für Passage genau analysiert. Herbert von Karajan schilderte dazu sein subjektives Erleben. Es waren nicht immer nur durch die Musik ausgelösten Emotionen. Eine besonders heftige vegetative Reaktion erklärte er damit, dass er an dieser Stelle Angst gehabt habe, die Musiker könnten nicht die von ihm erwünschte Perfektion zeigen.

Die bei einem anschließenden Durchgang mit reinen Dirigierbewegungen durch die körperliche Anstrengung bzw. durch den energetischen Aufwand hervorgerufenen Änderungen waren hingegen vergleichsweise eher gering [11, 14].

Im Weiteren hörte sich der Maestro die Tonbandaufzeichnung der von ihm dirigierten Leonoren-Ouvertüre über Kopfhörer an (Abb. 1).

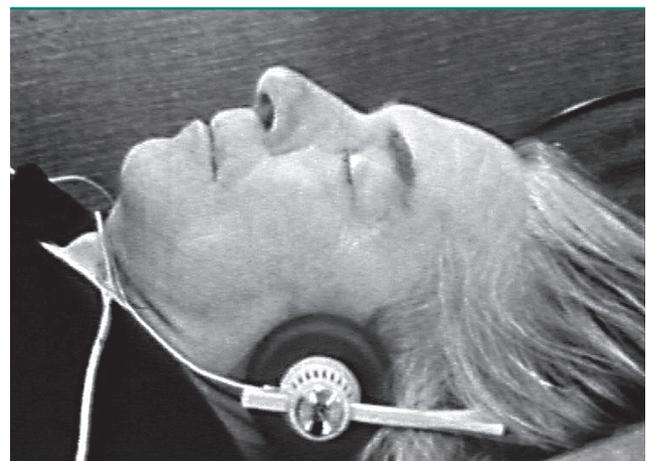


Abb. 1: Herbert von Karajan beim Anhören des zuvor auf Tonband aufgenommenen, von ihm dirigierten Musikstückes.

Bei diesem rezeptiven Nacherleben waren die vegetativen Veränderungen zwar erwartungsgemäß geringer, das vegetative Muster und das individuelle Reaktionsprofil jedoch noch voll erhalten [10, 11, 14]. Insbesondere kam es bei emotionell besetzten Passagen zu den typischen vegetativen Reaktionen.

Geradezu als »Kontrapunkt« wirkt der Vergleich der aufgezeichneten vegetativen Reaktionen beim intensiven emotionalen Erleben der Leonoren Ouvertüre mit dem autonomen Muster beim Lenken seines Düsenflugzeugs mit vorwiegend intellektuellem Anforderungsprofil und rationaler Handlungssteuerung: Wir registrierten Karajans Pulsfrequenz, während er seinen Jet lenkte und dabei noch zusätzlich bestimmte Aufgaben zu erfüllen hatte. So musste er dreimal die Startbahn so tief anfliegen, dass die Räder den Boden fast berührten, und anschließend die Maschine sofort wieder hochziehen – ein angesichts der

Geschwindigkeit des Flugzeugs recht heikles und nicht ganz ungefährliches Manöver. Dabei zeigte sich, dass es zwar jedes Mal beim Anfliegen der Startbahn zu einer Pulsfrequenzsteigerung kam, sich diese jedoch im Vergleich zu den Änderungen unter Musikeinwirkung innerhalb relativ geringer Grenzen hielt. Auch als der Co-Pilot unvermutet das Steuer übernahm und eine »Rolle« durchführte, stieg die Pulsfrequenz nicht sehr viel mehr an (Abb. 2).

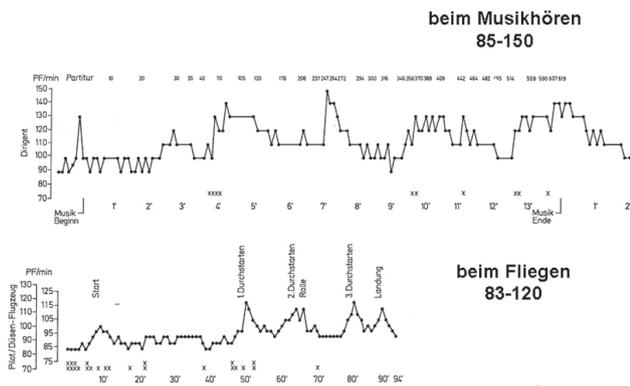


Abb. 2: Pulsfrequenz von Herbert von Karajan beim Musikhören und während des Steuerns seiner Düsenmaschine

Es scheint bemerkenswert, dass die messbare emotionale Aktivierung beim Dirigieren so viel größer ist als bei unter Umständen lebensgefährlichen Flugmanövern. Versucht man eine finale Deutung dieser Ergebnisse, liegt die Annahme nahe, dass allzu große Ausschläge vegetativer Funktionen, vor allem des Kreislaufs, kognitive Leistungen – im gegebenen Fall das Steuern eines Flugzeuges – eher beeinträchtigen würden, während ein starkes emotionell-vegetatives Mitschwingen beim Dirigieren fast als eine Voraussetzung für eine emotionale Resonanz beim Publikum anzusehen ist.

Schon am Beginn unserer Zusammenarbeit hatte uns der Maestro umgekehrt demonstriert, wie er sich entspannen und seine Herzrhythmickeit beeinflussen könne, indem er sich in unserem Labor auf den Boden legte, einige Yoga-Übungen machte und so seine Pulsfrequenz – unter EKG-Kontrolle – in kurzer Zeit um 10–15 Schläge pro Minute reduzieren konnte.

### Einfluss psychotroper Substanzen auf Musikerleben und vegetative Resonanz

Im letzten Abschnitt des Versuches injizierten wir Herbert von Karajan intravenös einen Tranquilizer (Benzocetamine), um den Einfluss des Präparates auf das musikalische Erleben beim Anhören seiner aufgezeichneten Orchesteraufführung einerseits und die vegetativen Abläufe andererseits zu erkunden. Nach einer Einwirkzeit von 15 Minuten wurde ihm die Leonoren-Ouvertüre noch einmal bei gleichzeitiger polygraphischer Registrierung der biologischen Parameter über Kopfhörer vorgespielt.

Die vegetativen Veränderungen blieben nach der Tranquilizer-Gabe fast völlig aus. Das bei den vorausgegangenen Versuchen beobachtete »vegetative Muster« war nicht mehr erkennbar. Völlig überraschend war nun der Kommentar Herbert von Karajans, *keine Veränderung* des emotionalen Musikerlebens gegenüber dem Vorversuch beobachtet zu haben. Er äußerte sogar den Verdacht, man habe ihm »Wasser gespritzt« bzw. ein Placebo verabreicht.

Die wahrscheinlich nur relativ kurze Zeit mögliche Dichotomie zwischen subjektivem Erleben einerseits und der Reaktion des Vegetativums andererseits, wie sie im Experiment mit Herbert von Karajan zu beobachten war, ist im Hinblick auf das Leib-Seele-Problem und die Beziehung zwischen Psyche und Soma sicher bemerkenswert.

Das Ausbleiben bzw. die weitgehende Unterdrückung der vegetativen Reaktionen durch einen Tranquilizer bei einer anderen Versuchsperson zeigt Abbildung 3.

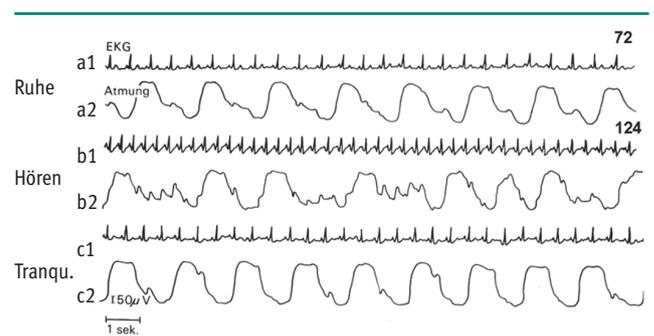


Abb. 3: (a1 und a2) EKG und Atmung unter Ruhebedingungen; (b1 und b2) unter starker emotionaler Mitbeteiligung (Dixieland); (c1 und c2) unter den gleichen Bedingungen wie b, aber unter der Einwirkung eines Tranquilizers (Chlordiazepoxid)

Mit dem Einfluss psychoaktiver Substanzen auf das Musikerleben haben sich bisher nur relativ wenige Autoren beschäftigt.

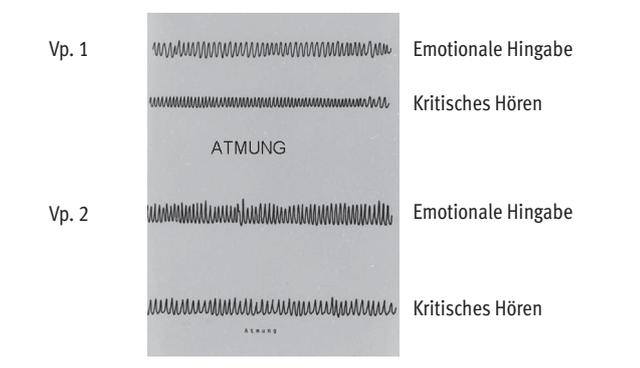
Wir haben 15 musikinteressierten Personen verschiedene klassische und vereinzelt auch Unterhaltungs-Musikstücke vorgespielt und ihnen danach einen Tranquilizer (25 mg Chlordiazepoxid) verabreicht. Nach einer einstündigen Pause und einem neuerlichen Vorspielen der jeweils gleichen Musikstücke wurden sie einzeln zu ihren Eindrücken hinsichtlich eventueller Unterschiede im Musikerleben vor und nach der Medikamenteneinnahme befragt. Die pharmakogene Wirkung zeigte sich ebenso oft in einer Dämpfung des Musikerlebens wie in einer Erhöhung des ästhetischen Genusses und blieb nur in Einzelfällen aus: Zwei Probanden gaben an, überhaupt keine Unterschiede bemerkt zu haben. Sieben Teilnehmer des Versuches berichteten, die Musik wie aus größerer Entfernung, weniger eindrucksvoll und etwas emotionsloser erlebt zu haben. Sechs Personen erzählten, die Musik, vor allem die klassischen Stücke, nach der Tranquillantien-Einnahme sogar genussreicher erlebt zu haben, weil ihr zuvor überwiegend emotionelles Hören in ein rational kritisches, ästhetisch wertendes Erleben umgewandelt wurde. Das musikalisch Schöne habe so

ungestörter verarbeitet werden können. *Adorno* [1] sieht dieses »strukturelle« Hören als einzig adäquate Verhaltensweise gegenüber der Musik an.

Nach herkömmlicher Meinung sollen Tranquilizer nur die potentiell gesundheitsgefährdenden pathologischen Spitzen der Erregung unterdrücken, nicht jedoch das normale Gefühlsleben beeinträchtigen, analog der Metapher »Sonnenbrille für die Seele«. In unseren Beobachtungen wurde allerdings in einigen Fällen auch das *normale* Erleben moduliert. *Weber* [32, 33], der mit dem Halluzinogen Psilocybin arbeitete, konnte bei seinen Versuchspersonen einen Verlust der Fähigkeit feststellen, ein Musikstück im Zusammenhang als Zeitgestalt zu erfassen. In einem Literaturüberblick berichtet *Fachner* [6] über cannabisinduzierte Veränderungen der Wahrnehmung sowie der emotionalen und kognitiven Verarbeitung von Musik.

### Analytisches Musikhören und Chill-Erlebnisse

Bei Untersuchungen zum Einfluss »analytischen Hörens« auf das emotionale Erleben von Musik fand *Rötter* [26] bei seinen Versuchspersonen, dass »analytisches Hören zu einer Intensivierung des Musikerlebens führt«. Wir hingegen kamen zu folgender Beobachtung: Bei Versuchen, Musikstücke emotionell empathisch anzuhören, d. h. sich gleichsam der Musik hinzugeben, fielen die vegetativen Reaktionen meist viel stärker aus als bei kritisch wertendem Hören (Abb. 4).



**Abb. 4:** Unterschiede in der Wirkung von Musik auf die Atmung bei »emotionalem« und »kritischem« Hören (J. S. Bach: Wohltemperiertes Klavier Teil I Präludium und Fuge in As-Dur)

Das Auslösen besonders intensiver Gefühlsregungen durch Musikpassagen im Sinne einer Gänsehaut-Reaktion, eines »Erschauerns«, eines sogenannten Chill-Erlebnisses als eines vom autonomen Nervensystem ausgelösten Reflexes beim Musikhören trat nach umfassenden Studien von *Altenmüller* [3, 4], dem Leiter des Instituts für Musikphysiologie und Musiker-Medizin an der Hochschule für Musik und Theater in Hannover, bei rund einem Drittel der Probanden auf. Es wurde insbesondere durch etwas Neues im Musikablauf und durch die ausgeprägte Wirkung menschlicher Stimmen hervorgerufen. Es häufte sich beispielswei-

se auch dann, wenn die Lautstärke in dem für unser Gehör besonders empfindlichen höheren Frequenzbereich zwischen 1.000 und 3.000 Hz zunahm. Zu Chill-Phänomenen neigende Menschen wiesen grundsätzlich niedrigere Reizschwellen in ihrem emotionalen Erleben auf. Zudem war auch ihre musikalische Erfahrung bedeutsam. Bei etwa 20% der Untersuchten führten die Gänsehaut-Erlebnisse nicht auch zu entsprechenden psychophysiologischen Reaktionen der erfassten Parameter (Herzfrequenz, Atemfrequenz, Hautleitwerte, Hauttemperatur, Gesichtsmuskel-EMG), während es umgekehrt manchmal auch zu starken Veränderungen der Hautleitwerte oder der Pulsfrequenz ohne gleichzeitiges Chill-Phänomen kam.

### Zeitgefühl, Tempostabilität und -wandel

*Clynes* und *Walker* [5] haben mehrere Interpretationen der Haydn-Variationen von Brahms unter Arturo Toscanini sowie andere Musikaufführungen hinsichtlich der Dauer ausgemessen und dabei erstaunliche Übereinstimmungen des Zeitmaßes festgestellt. Die Länge der Darbietungen differierte nur um Sekundenbruchteile.

*Rötter* [27] berichtete ebenfalls über Untersuchungsergebnisse zur musikalischen Tempogenauigkeit bei 40 qualifizierten Pianisten und Dirigenten. Auf die sehr differenzierten Einzelergebnisse kann hier nicht weiter eingegangen werden. In weiteren Untersuchungen [28] wies er nach, dass ein Musiker ein bestimmtes Musikstück auch noch nach längerer Zeit in fast dem gleichen Tempo reproduzieren kann und dass sich selbst die ausdrucksbedingten kurzzeitigen Verzögerungen und Beschleunigungen mit erstaunlicher Präzision wiederholten.

Auch Herbert von Karajans ungewöhnlich stabiles und genaues Zeitgefühl war allgemein bekannt. Als Beispiel erwähnte er einmal bei einem Oster-Symposium in Salzburg, dass die Dauer seiner Aufführungen, z. B. des Bolero von Ravel, in Tokio oder in New York oder in Berlin, selbst wenn Jahre dazwischen lagen, nur um wenige Sekunden differierte. Nachdem von einigen Zuhörern Zweifel daran geäußert wurden, führte er Recherchen durch und berichtete ein Jahr später, dass sich seine Angaben voll bewahrt hatten.

Der Maestro erzählte uns andererseits folgende Beobachtung: Er habe früher vor den Aufführungen in der Mailänder Scala wiederholt in einem in der Nähe befindlichen »Bistro« einen kleinen Imbiss zu sich genommen und dazu ein Glas Wein getrunken. Er habe jedoch das Gefühl gehabt, die Präzision seines »Zeitgefühls« leide durch den Genuß des Weines. Er habe deshalb fortan darauf verzichtet.

Diese Mitteilung veranlasste uns zu weiteren Untersuchungen [13]. Bei einer Erkundungsstudie über den Einfluss von Alkohol auf die Fähigkeit, einen bestimmten Rhythmus konstant beizubehalten, konnten wir trotz einer bereits fahreignungsrelevanten Blutalkoholkonzentration um 0,75‰ nur sehr geringe, nicht signifikante Veränderungen feststellen. Auch das absolute Gehör des Probanden war dabei nicht beeinträchtigt.

Hier sei noch ein Hinweis auf eine mögliche, bisher offenbar nicht bekannte psychopsychische Interaktion gestattet: Kern [17] berichtete auf dem »Carinthischen Sommersymposium«, dass seine Frau, eine Berufsmusikerin mit absolutem Gehör, im Fieber diese Fähigkeit verliere. Da uns ein sehr bekannter Komponist mit absolutem Gehör mitteilte, dass er an sich selbst die gleiche Beobachtung gemacht habe, versuchten wir bei unserem Probanden einen Fieber-Zustand zu simulieren, indem wir die Körpertemperatur durch ein Überwärmungsbad erhöhten. Aber auch bei 38,7°C konnte objektiv trotz sehr sensibler Versuchsanordnung keine Veränderung festgestellt werden. Lediglich subjektiv hatte der Proband den Eindruck, die dargebotenen Töne um einen Halbton zu hoch zu hören. Wahrscheinlich tritt eben der beschriebene Effekt nur bei echtem Fieber auf [13].

Zur Frage veränderter Tempowahrnehmung erzählte uns Herbert von Karajan noch von einer weiteren Beobachtung: Als er sich in St. Moritz (1.856 m. ü. M) Probeaufnahmen seiner Schallplattenfirma anhörte, habe er zu seinem Entsetzen bemerkt, dass das Tempo völlig falsch sei. Beim Anhören der gleichen CD dann in Salzburg (430 m. ü. M) empfand er das Tempo jedoch wieder als völlig korrekt.

Simon [30, 31] interessierte sich für dieses Phänomen und führte mit einem Dirigenten vergleichende Versuche auf dem Untersberg (1.776 m. ü. M) bei Salzburg und in der Stadt selbst (430 m. ü. M) durch, die diese höhenbedingte Veränderung der Tempowahrnehmung bestätigten.

Eine allgemeine Erfahrung der musikalischen Aufführungspraxis ist die zunehmende Beschleunigung der Tempi im Laufe der Jahre. Jennen und Gembris [16] führten Untersuchungen zu den Hypothesen durch, dass ältere Dirigenten langsamere musikalische Tempi wählen und dass seit den fünfziger Jahren das Aufführungstempo schneller wurde. Die erste Hypothese ließ sich nur in Bezug auf die Oper »Don Giovanni« bestätigen; die Aufnahmen wurden in Abhängigkeit vom Dirigentenalter signifikant langsamer, während das Aufnahmejahr keine Rolle spielte. Die Einspielungen der »Zauberflöte« wurden hingegen über die Aufnahmejahre hinweg signifikant schneller. Das Alter der Dirigenten hatte dabei keinen Einfluss.

### Aktivierung – Erregung – Entspannung – Beruhigung

Grundsätzlich wirken sich alle Reize, und damit auch die Musik auf das Vegetativum »erregend« oder »hemmend« aus. Diese anregende oder beruhigende Wirkung kann bestimmten musikalischen Charakteristika zugeordnet werden, wie dies Hesse [15] in einem Schema dargestellt hat (Tab. 1). Viele Ergebnisse unserer Untersuchungen lassen sich in dieses Schema einordnen.

Als wichtigster Parameter für vegetative Veränderungen hat sich in psychophysiologischen Untersuchungen die fortlaufende Registrierung der Pulsfrequenz bewährt. Sie ist einerseits ein äußerst sensibler vegetativer Parameter und lässt sich andererseits technisch relativ einfach erfassen und messen. Bei der Auswertung sind im Wesentlichen

	Aktivierende Wirkung	Beruhigende Wirkung
Intensität	– große Lautstärke – große Lautstärkeänderungen – starke Akzente	– geringe Lautstärke – geringe Lautstärkeänderungen – weiches Pulsieren
Zeitablauf	– schnelles Tempo – häufiger Tempowechsel – tänzerischer Dreiertakt	– Tempo in oder unter der Herzfrequenz – gleichmäßiges Tempo – zweizeitige (gerade) Taktarten
Tonhöhenstruktur	– großer Tonhöhenumfang – weite Intervalle (melodische Sprünge)	– geringer Tonhöhenumfang – enge Intervalle (Tonschritte)
Klangcharakter	– hell strahlende Klangfarbe – dissonante Klänge – weiter harmonikalere Bereich	– weiche Klangfarbe – konsonante Klänge – einfache Harmonik

Tab. 1: Anregende oder beruhigende Wirkung bestimmter musikalischer Charakteristika (aus H. P. Hesse [15, S. 157])

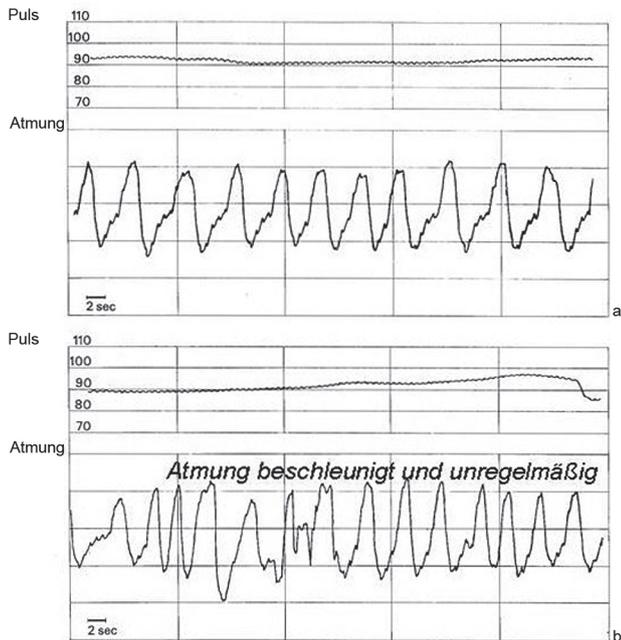
der Frequenzanstieg als Ausdruck der Erregung und eine Frequenzabnahme als Hinweis auf eine Entspannung zu berücksichtigen. Extrasystolen sind nach unseren Beobachtungen besonders bei unangenehm empfundenen Dissonanzen häufiger zu finden. Bei der Atmung ändern sich nicht nur die Frequenz, sondern auch die Atemtiefe (Amplitude) und die Regelmäßigkeit und somit insgesamt die »Architektur« des Atmungsablaufes.

Die belastungsabhängige Irritabilität der einzelnen Organsysteme zeigt zum Teil große interindividuelle Unterschiede. Manche Menschen reagieren z.B. auf Stress bevorzugt mit einer Veränderung der Herzaktion (Herzklopfen, Herzjagen) oder der Atmung (Hyperventilation, Seufzen usw.), andere mit Störungen des Magen-Darmtrakts (Übelkeit, Erbrechen, Durchfall usw.). Häufig sind auch Auffälligkeiten im motorischen System (Zittern, Muskelanspannung) zu beobachten. Es liegt dann eine jeweilige »Organ-Präponderanz« mit erniedrigter Reizschwelle und erhöhter Ansprechbarkeit vor. Bei der Erfassung verschiedener autonomer Parameter kann sich dann ein individuelles Reaktionsprofil ergeben.

Eine »Organpräponderanz« konnte Schultes [29] indes unter »rhythmischer und melodischer Musik« bei ihren Untersuchungen (EEG, EKG, Atemfrequenz) an 49 Herzphobikern und 49 gesunden Kontrollpersonen erstaunlicherweise nicht feststellen.

Eine interindividuelle Gegenüberstellung irritiert-aversiver und positiver Aktivierung in Abhängigkeit von Hörgewohnheiten und Musikpräferenzen illustriert Abbildung 5.

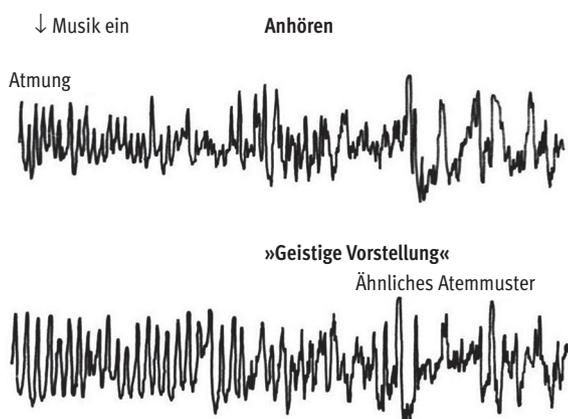
Die als »wohltuend« empfundene Musik von Tschaiowski führt zu einer ruhigen, regelmäßigen Atmung; die als »unangenehm« bewertete Musik von Hindemith ist mit einer beschleunigten, unregelmäßigen Atmung verbunden. Auch das innere Hören und die Vorstellung einer vertrauten Musikpassage kann ein typisches vegetatives Muster aktualisieren – analog zur Aktivierung kortikaler und subkortikaler Strukturen noch vor Beginn der Willkürbewegung bereits beim geistigen Bewegungsentwurf und der stets



**Abb. 5:** Obere Kurve (a): Auswirkungen eines subjektiv als »wohlthuend« erlebten Musikstückes (Tschaikowski: Konzert für Klavier und Orchester Nr 1 in b-Moll); untere Kurve (b): Auswirkungen eines subjektiv als »unangenehm« erlebten Musikstückes (Hindemith: Oktett) auf die Atmung

vorausgehenden reinen Bewegungsvorstellung bzw. mentalen Planung: Einer Versuchsperson, die beim Anhören einer bestimmten Passage eines »Spanischen Tanzes«, der sie an ihre Hochzeitsreise erinnerte, immer die gleichen typischen Atemveränderungen zeigte, wurde aufgetragen, sich diese Passage nur gedanklich vorzustellen, ohne sie zu hören (Abb. 6). Die Ergebnisse im Sinne ähnlicher Muster bei derartigen Versuchen waren für uns erstaunlich.

*Klingenberg* [18] weist darauf hin, dass der Mensch ein für Melodien prinzipiell unbegrenztes Gedächtnis habe. Die »Präzision ist so groß, dass auch die in der Vorstellung



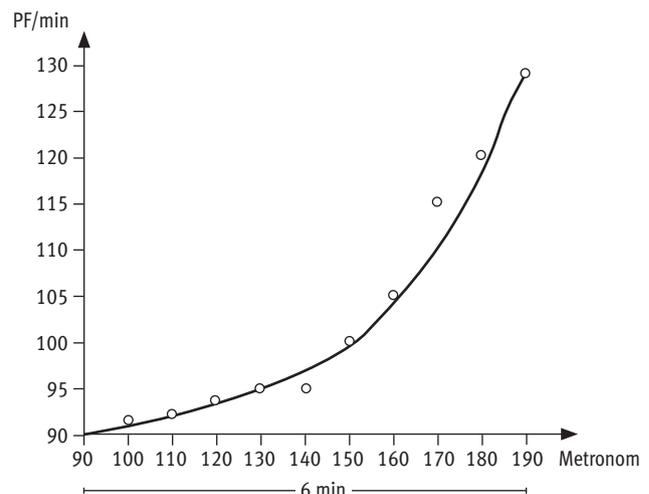
**Abb. 6:** Veränderungen der Atmung (obere Kurve) beim Anhören eines bei der Versuchsperson emotional stark besetzten Musikstückes und (untere Kurve) bei geistiger Vorstellung (»Spanischer Tanz«)

erklingende Arie genau so lange dauert wie beim wirklichen Gesang, weil das Gedächtnis die komplette Sequenz ohne Lücken gespeichert hat«.

### Annäherung biologischer Rhythmen an externe Abfolgen

Unser besonderes Interesse galt der Synchronisation bzw. – genauer ausgedrückt – der Ankoppelung von Puls und Atmung an musikalische Rhythmen mit der Frage der Einflussmöglichkeiten von Musik auf endogene biologische Regelungsvorgänge durch externe Zeitgeber und Synchronisationsmechanismen.

Einer Versuchsperson wurde mittels Kopfhörer eine sich kontinuierlich steigende Metronomfrequenz vorgespielt. Dabei erhöhte sich die Herzschlagfolge durch den »Magneteffekt« der immer rascher werdenden Reize von 80 auf 130/min. Allerdings ist es uns bei anderen Versuchspersonen nicht mehr gelungen, dieses Ergebnis in gleichem oder ähnlichem Ausmaß zu erzielen (Abb. 7).



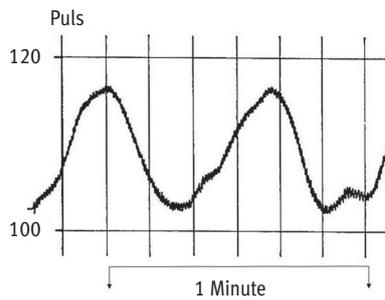
**Abb. 7:** In Einzelfällen kann es zu einer erstaunlichen Ankoppelung von rhythmischen akustischen Reizen (Metronom) und Pulsfrequenz kommen.

Wie Lautstärkeveränderungen den Puls »mitziehen« können, verdeutlicht Abb. 8. Hier bewegte sich die Pulskurve in weitgehender Übereinstimmung mit dem Lauter- und Leiser-Werden eines Trommelwirbels.

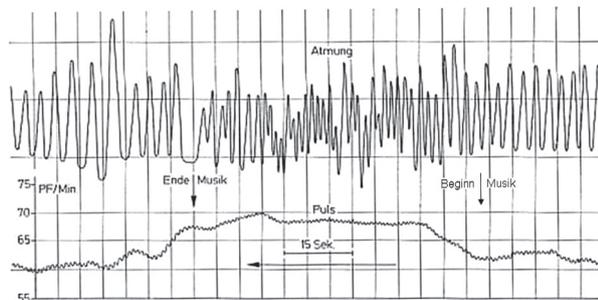
Ein »Puls-Driving« durch Temposteigerung zeigt die von rechts nach links zu lesende Puls-Kurve in Abb. 9.

Der Versuchsperson wurde »In der Halle des Bergkönigs« aus der Peer Gynt-Suite Nr. 1 von E. Grieg vorgespielt. Puls- und Atemfrequenz steigen parallel mit der Temposteigerung der Musik an. Nach Musik-Ende kommt es rasch wieder zur Rückkehr zu den Ausgangswerten.

Mit der Frage von Ankoppelungsphänomenen bzw. Synchronisationseffekten einfacher rhythmischer Stimuli und komplexer rhythmisch-musikalischer Abfolgen auf endogene, periodisch ablaufende physiologische Funktionen setzte sich unsere Mitarbeiterin *C. Frank* [7] eingehend auseinander. Die Studie wurde an einer Stichprobe von 40



**Abb. 8:** Die Pulsfrequenz steigt mit zunehmender Lautstärke des Trommelwirbels an und sinkt bei abnehmender Lautstärke wieder ab.



**Abb. 9:** Atmung (oben) und Puls (unten, beide von rechts nach links zu lesen) beim Anhören von »In der Halle des Bergkönigs« aus der Peer-Gynt-Suite Nr. 1. von E. Grieg

Probanden in Vergleichsuntersuchungen (pro Versuchsperson je fünf Sitzungen) durchgeführt. Registriert wurden als Indikatoren der physiologischen Reaktionen auf die Musik sowohl Puls und Atmung als auch elektrische Hautleitfähigkeit und das Finger-Oszillogramm. In Abstimmung auf die individuelle Ausgangslage wurden unter Berücksichtigung enger biophysiological sinnvoller Grenzen einer Ankoppelung an einen akustischen Stimulus sowohl Kombinationen frequenz-variiertes Metren und Klangstücke als auch metrisch unveränderte Musikstücke dargeboten. Frank kommt aufgrund ihrer Studien zu folgendem, sehr kritischen Ergebnis: Die Möglichkeit einer Synchronisationswirkung lasse sich »mit aller Vorsicht bejahen. Die durch den Musikkhythmus hervorgerufene Abweichung einer vegetativen Funktion von ihrem ursprünglichen Eigenrhythmus, von ihrer bevorzugten Frequenzlage, war nur für kurze Zeit möglich und an günstige Voraussetzungen, wie vegetative Reagibilität und nachhaltige Erlebniswirkung sowie an eine dem biologischen Spontanrhythmus sehr angenäherte Frequenz des akustischen Ereignisses gebunden. Die Frage bleibt trotzdem noch offen, inwieweit das ‚Mitziehen‘ des biologischen Rhythmus primär auf eine frequenzbedingte Synchronisationswirkung, d. h. auf einen gerichteten Zeitgebereinfluss zurückzuführen oder – in Abhängigkeit von der Erlebniswirkung – eher Folge einer allgemeinen Erregungssteigerung und anschließender Rückregulation war«. Eine Steigerung der Pulsfrequenz war eher und in größerem Ausmaß gegeben als eine »Senkung«, die indes auch

immer einen aktiven Regulationsvorgang darstellt. Die Voraussetzung für eine absolute Koordination war meist eine der Herzschlagfolge sehr angenäherte externe Frequenz. Reine Metren führten höchst selten zu prägnanten Synchronisationsbeziehungen, da ihre Gleichförmigkeit teils sehr belastend erlebt wurde.

Reinhardt [25] konnte bei 28 Krebs-Patienten mit chronischen Schmerzen, bei Vergleichsuntersuchungen am 1. und 15. Tag eines Entspannungstrainings, eine Zunahme der Synchronisation zwischen vorgespielter Musik und Pulsfrequenz in einem 2:3 Verhältnis (Musik-Tempo zwischen 48 und 42/min) feststellen. Jene Patienten, die bei der Entspannungstherapie am erfolgreichsten waren und bei denen sich auch die Schmerzzustände gebessert hatten, zeigten auch die besten Synchronisations-Ergebnisse.

Morgenstern [21] setzt sich im Hinblick auf musiktherapeutische Wirkungsforschung methodisch kritisch mit der Überprüfung eventueller Synchronisation bzw. harmonischer Proportionen von musikalischem Grundschlag und der Herzfrequenz auch unter besonderer Berücksichtigung der Herzfrequenzvariabilität auseinander.

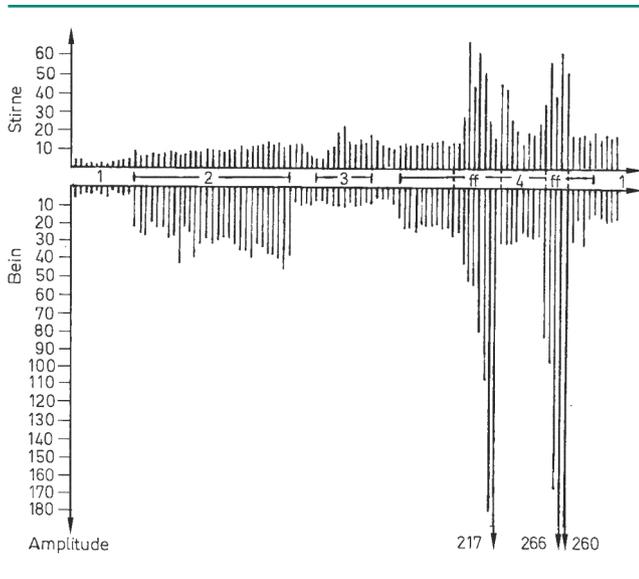
In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, dass durch den Herzschlag der Mutter bereits eine pränatale »rhythmische« Prägung erfolgt und seit vielen Jahrhunderten eine sehr enge Verknüpfung von Puls und Musik-Rhythmus gesehen wurde. So bediente man sich der Musik-Erfahrungen, um den menschlichen Pulsschlag besser verstehen und erfassen zu können [19, 20].

### Musik – Muskel – Motorik

Abschließend sei auf die Einwirkung der Musik auf den Spannungszustand der Muskulatur eingegangen [8]. Verglichen wurde die Wirkung von klassischer Musik, Tanzmusik und Kopfrechnen auf das Elektromyogramm der Stirn- und Beinmuskulatur (Abb. 10).

Beim Anhören von Tanzmusik stiegen die Muskelaktionspotentiale am Bein stark, und im Vergleich dazu an der Stirn nur geringfügig an. Das umgekehrte Verhältnis zeigte sich beim Lösen einer Rechenaufgabe. Die Muskelaktivität im Stirnbereich ist (ohne Sprechen) höher als am Bein. Beim Anhören des Brandenburgischen Konzerts Nr. 6 von J. S. Bach kam es zu einer Zunahme der Muskelaktivität am Bein und in nur etwas geringerem Ausmaß im Stirnbereich. Bei besonders dynamischen Musikpassagen mit hoher Lautstärke stiegen die Muskelpotentiale an Stirn und Beinen exzessiv an. Man könnte spekulieren, Bach'sche Musik erfasst eben den ganzen Menschen. Bei den Probanden waren übrigens während der ganzen Untersuchung keine sichtbaren Bewegungen zu beobachten.

In weiteren Untersuchungen, auf die hier nicht näher eingegangen werden soll, prüften wir die Beeinflussung der motorischen Reflexantwort durch Musik. Dabei wurde das Ausmaß des Ausschlages des Achillessehnen-Reflexes registriert und gemessen. Es zeigten sich signifikant höhere Ausschläge beim Anhören von Volksmusik (Kalinka) gegenüber der Orgel-Toccat (BWV 540) von J. S. Bach [8].



**Abb. 10:** Veränderungen der Muskelspannung im (obere Kurve) Stirn- und (untere Kurve) Bein-Bereich: (1) In Ruhe, (2) beim Hören von Tanzmusik, (3) beim Kopfrechnen und (4) bei Musik von J. S. Bach (Brandenburgisches Konzert Nr. 6)

In einer anderen Pilotstudie bekamen die Versuchspersonen die Anweisung, den Hebel eines graphisch registrierenden Dynamometers mit jeweils möglichst gleicher Kraftanstrengung zu drücken, wobei ihnen nach einer Anlern- und Übungsphase (zunächst mit optischer Kontrolle) ein Wiegenlied, Marschmusik und Jazzmusik vorgespielt wurde. Es zeigten sich unter dem Wiegenlied signifikant niedrigere und unter der Marsch- und Jazzmusik signifikant höhere Werte [8].

### Musik und elektrische Hirnaktivität

Andere physiologische Zugänge zum Musikerleben bestehen auch in der elektroencephalographischen Erfassung der Aktivierung neuronaler Netzwerke in der Großhirnrinde. Auf die diesbezüglichen bahnbrechenden Untersuchungen von *Petsche* [23, 24] kann hier leider nicht näher eingegangen werden. Im gegebenen Zusammenhang verdienen auch die von *Altenmüller* und *Beisteiner* [2] bei der Verarbeitung rhythmischer und melodischer Strukturen nachgewiesenen Großhirnaktivierungsmuster besondere Erwähnung, ebenso die eingehende Auseinandersetzung von *Panksepp* und *Bernatzky* [22] mit den neuro-affektiven Grundlagen des Musikverständnisses.

Die musikbezogene Anwendung funktioneller bildgebender Verfahren zur Erfassung neurochemischer Veränderungen in den Transmittersystemen ist von größtem aktuellen Interesse. PET- und SPECT-Untersuchungen sind durch den Einsatz radioaktiver Tracer Grenzen gesetzt. Von der funktionellen Magnetkernspintomographie ist bei weiterer Verfeinerung der Technik noch einiges zu erwarten.

### Schlussbemerkungen

Für unsere umfangreichen, inzwischen »musikhistorischen« Untersuchungen stand uns ein sehr gut ausgestattetes neuropsychologisches Labor zur Verfügung. Bei der Auswertung konnten wir auch auf unsere klinischen Erfahrungen zurückgreifen.

Unsere frühen vielfältigen »Erkundungsstudien« im Grundlagenbereich lassen jedoch eine Verallgemeinerung der Ergebnisse nicht zu. Hierfür wären Untersuchungen an entsprechend großen randomisierten und parallelisierten Versuchsgruppen notwendig gewesen, die auch eine statistische Auswertung erlauben. Dazu fehlten uns im Rahmen eines klinischen Betriebes die Voraussetzungen. Wir hoffen aber, mit unserer Reprise weitere Untersuchungen auf diesem hoch interessanten Forschungsbereich anregen zu können.

### Danksagung

Meiner verstorbenen Ehefrau bzw. Mutter Frau Dr. med. Hildegund Harrer, die als Neurologin ganz wesentlich bei der Durchführung unserer Untersuchungen mitwirkte, sei diese Publikation posthum in Dankbarkeit gewidmet.

### Literatur

- Adorno Th W: Einleitung in die Musiksoziologie. Suhrkamp, Frankfurt 1962
- Altenmüller E, Beisteiner R: Musiker hören Musik: Grosshirnaktivierungsmuster bei der Verarbeitung rhythmischer und melodischer Strukturen. In: Behne K E, Kleinen G, de la Motte-Haber H (eds): Musikpsychologie. Empirische Forschungen – Ästhetische Experimente. Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie 1995, Bd. 12; Noetzel, Wilhelmshaven 1996, 89-109
- Altenmüller E, Kopiez R: Schauer und Tränen. Zur Neurobiologie der durch Musik ausgelösten Emotionen. In: Bullerjahn C, Gembris H, Lehmann A C (eds): Musik gehört, gesehen und erlebt. Verlag der Hochschule für Musik und Theater, Hannover 2005, 159-180
- Altenmüller E, Grewe O, Nagel F, Kopiez R: Der Gänsehaut-Faktor. Gehirn und Geist 2007; 1-2: 58-63
- Clynes M, Walker J: Neurobiologic Functions of Rhythm, Time and Pulse in Music. In: Clynes M (ed): Music, Mind and Brain. Plenum Press, New York 1982, 171-216
- Fachner J: Drogen und Musik - ein Überblick. Suchttherapie 2005; 6 (2): 60-65
- Frank Chr: Musikrhythmen als möglicher Synchronisator für biologische Rhythmen? In: Harrer G (ed): Grundlagen der Musiktherapie und Musikpsychologie. 2. Aufl., G Fischer, Stuttgart, New York 1982, 85-104
- Harrer G: Affekt und Muskelspannung. In: Weintraub A, Battegay R, Beck D et al. (eds): Psyche und Rheuma. Schwabe, Basel 1975, 58-67
- Harrer G (ed): Grundlagen der Musiktherapie und Musikpsychologie. 2. Aufl., G Fischer Stuttgart, New York 1982
- Harrer G: Das »Musikerlebnis« im Griff des naturwissenschaftlichen Experiments. In: Harrer G (ed): Grundlagen der Musiktherapie und Musikpsychologie. 2. Aufl., G Fischer, Stuttgart, New York 1982, 3-53
- Harrer G, Harrer H: Musik, Emotion und Vegetativum. Wien med Wschr 1968; 118: 966-971
- Harrer G, Harrer H: Music, emotion and autonomic function. In: Critchley M, Henson A R (eds): Music and the brain. W. Heinemann Medical books ltd, London 1977, 202-216
- Harrer G, Harrer H, Mayr A: Die Beeinflussung des absoluten Gehörs und des rhythmisch-musikalischen Zeitgefühls durch besondere Einwirkungen (Alkohol bzw. Überwärmung). In: Simon W C (ed): Mensch und Musik. Otto Müller, Salzburg 1979, 98-104

14. Harrer G, Harrer H, Pöldinger W, Revers W J, Simon W C: Emotion und Entspannung. Filmdokumentation Ciba-Geigy, Basel 1971
15. Hesse H P: Musik und Emotion. Springer, Wien, New York 2003
16. Jennen M, Gembris H: Veränderungen des Tempos bei Dirigenten. Eine empirische Untersuchung anhand von Schallplattenaufnahmen von Mozarts »Don Giovanni« und »Die Zauberflöte«. In: Behne K E, Kleinen G, de la H. Motte-Haber H (eds): Musikpsychologie. Jahrbuch der Deutschen Gesellschaft für Musikpsychologie, Band 15: Die Musikerpersönlichkeit. Hogrefe, Göttingen 2001, 29-46
17. Kern A: Persönliche Mitteilung 1977
18. Klingenberg H G: Grenzen der akustischen Gedächtnisfähigkeit. Acta Musicologica 1974, 46: 171-180
19. Kümmel W: Puls und Musik (16.-18. Jahrhundert). Medizin-historisches Journal 1968; 3: 269-293
20. Kümmel W: Musik und Medizin. Ihre Wechselbeziehungen in Theorie und Praxis. Alber, Freiburg, München 1977
21. Morgenstern M: The effect of music on heart activity: Correlation analyses of physiological strain and emotional involvement of two musicians during performance, listening, and rest. Royal Holloway and Bedford New College (University of London), Master Dissertation 2002
22. Panksepp J, Bernatzky G: Emotional sounds and the brain: the neuro-affective foundations of musical appreciation. Behavioural Processes 2002; 60 (2): 133-155
23. Petsche H (ed): Musik – Gehirn – Spiel. Beiträge zum 4. Karajan-Symposium. Birkhäuser, Basel 1989
24. Petsche H: Neurophysiologische Aspekte zum Musikerleben. In: Simon W C (ed): Musik und Mensch. Otto Müller, Salzburg 1979, 70-84
25. Reinhardt U: Untersuchungen zur Synchronisation von Herzfrequenz und musikalischem Rhythmus im Rahmen einer Entspannungstherapie bei Patienten mit tumorbedingten Schmerzen. Forschende Komplementärmedizin 1999; 6: 135-141
26. Rötter G: Die Beeinflussbarkeit emotionalen Erlebens von Musik durch analytisches Hören. Schriften zur Musikpsychologie und Musikästhetik, Band 1. Lang, Frankfurt 1987
27. Rötter G: Musik und Zeit. Kognitive Reflexion versus rhythmische Interpretation. Schriften zur Musikpsychologie und Musikästhetik, Band 9. Lang, Frankfurt 1997
28. Rötter G: Zeitwahrnehmung und die Produktion von Zeitabläufen innerhalb komplexer musikalischer Zusammenhänge. In: Müller K, Aschersleben G (ed): Rhythmus. Ein interdisziplinäres Handbuch. Huber, Bern 2000, 111-132
29. Schultes M: Psychologische und physiologische Untersuchungen zur Organpräponderanz bei Herzphobikern. Universität Wien, Grund- und integrationswissenschaftliche Fakultät 1984
30. Simon W C: Musikerleben und Herzfunktion, aufgezeigt am Beispiel des Dirigierens. In: Simon W C (ed): Mensch und Musik. Otto Müller, Salzburg 1979, 92-97
31. Simon W C: Persönliche Mitteilung
32. Weber K: Veränderungen des Musikerlebens in der experimentellen Psychose (Psilocybin). Confinia psychiat 1967; 10: 139-176
33. Weber K: Beobachtungen und Überlegungen zum Problem der Zeiterlebensstörungen, ausgehend von den Veränderungen des Musikerlebens in der experimentellen Psychose. Confinia psychiat 1977; 20: 79-94

**Korrespondenzadressen:**

Univ. Prof. Dr. Gerhart Harrer  
Fichtenweg 8  
A-5026 Salzburg  
E-Mail: gerhart.harrer@aon.at