

## Elektrische Hautwiderstandsänderungen als Abbild musikalischer Strukturen

Vor 96 Jahren machte der französische Wissenschaftler C. Féré eine Entdeckung: Wenn man einen schwachen elektrischen Strom z.B. durch die Hand einer Versuchsperson fließen läßt, so stellt die Haut einen Widerstand für diesen Strom dar, der sich je nach Art des Stimulus, den man der Person darbietet, ändert.<sup>1</sup>

Die Entdeckung dieses Phänomens löste eine Flut von Untersuchungen aus, da man glaubte, eine Art »objektives« Meßgerät für Emotionen gefunden zu haben, denn besonders »affektive Stimuli« schienen die elektrodermale Aktivität (EDA) auszulösen. Praktische Anwendung fand die Messung der EDA in der Kriminologie, sie bildete die wichtigste Meßgröße des umstrittenen Lügendetektors.<sup>2</sup>

Messungen der Hautreaktionen wurden in Experimenten der Emotionspsychologie, der Lernpsychologie und auch der Musikpsychologie vorgenommen.

In den letzten Jahren ist jedoch zunehmend Kritik laut geworden, die sich zum Beispiel darauf bezieht, daß Hautwiderstandsreaktionen nicht einfach als Indikator für die Stärke von Emotionen angesehen werden können.<sup>3</sup> Auch als Indikator für ein globaleres Konzept wie »Aktivierung« scheint die Messung einer einzelnen physiologischen Größe nicht geeignet zu sein.<sup>4</sup> Daß jedoch emotionale Prozesse zumindest eine gewisse Rolle bei der Auslösung von elektrodermalen Aktivität spielen, mag aus den folgenden physiologischen Betrachtungen deutlich werden.

### Zur Physiologie der elektrodermalen Aktivität (EDA)

Die elektrodermale Aktivität ist zunächst Folge einer Permeabilitätsänderung einer Membran, die entweder in der Epidermis liegt

oder von der Schweißdrüse bzw. den Schweißdrüsengängen gebildet wird.<sup>5</sup> Diese wird nur durch den sympathischen Teil des autonomen Nervensystems innerviert (allerdings mit dem für postganglionäre parasympathische Impulsübertragung typischen Neurotransmitter Azetylcholin).<sup>6</sup> Die vom Zentralnervensystem zu den Schweißdrüsen übers Rückenmark kommenden Impulse erfahren auf ihrem Weg keine hormonelle Beeinflussung. Außerdem unterliegt die Schweißdrüse keiner rhythmischen autonomen Aktivität, wie dies zum Beispiel beim Herzschlag der Fall ist.<sup>7</sup> Elektrodermale Reaktionen sind direkte Indikatoren für Vorgänge im Gehirn. Allerdings im zentralen Nervensystem selbst ist die neuronale Verschaltung der Schweißzentren äußerst komplex. Wang<sup>8</sup>, der die neuronale Kontrolle der Schweißdrüsen im Zentralnervensystem von präparierten Katzen untersuchte, fand inhibitorische, excitatorische und regulatorische Zentren für Schweißdrüsenaktivität.

Excitatorische Zentren sind zum Beispiel das limbische System (mit Ausnahme des Hippocampus, dessen Aktivität inhibitorisch wirkt) oder die *Formatio Reticularis*. Dem limbischen System wird heute eine große Bedeutung für emotionale Prozesse beigemessen, und die *Formatio Reticularis* stellt einen Teil des allgemeinen Aktivierungssystems dar. Inhibitorisch wirkt u.a. der frontale zerebrale Kortex, der die oberste Kontrollinstanz für das limbische System darstellt.<sup>9</sup>

Auffällig ist weiter, daß Gehirngebiete, die für die Steuerung motorischer Aktivitäten zuständig sind, gleichzeitig auch Einfluß auf die Schweißdrüsen – und somit auf die elektrodermale Aktivität haben.

An dieser Stelle wären der *Nucleus Fastigii* des Kleinhirns (Stützmotorik) sowie die Basalganglien, Putamen und *Nucleus Caudatus*, zu erwähnen. Die Basalganglien stellen ein Bindeglied zwischen assoziativem und motorischem Cortex dar und dienen der Ausführung langsamer rampenförmiger Bewegungen.<sup>10</sup> Weiterhin stellt der sensomotorische Cortex ebenfalls ein excitatorisches Zentrum der Schweißdrüseninnervation dar.

Elektrodermale Reaktionen sind also unter anderem Anzeichen

emotionaler Vorgänge, werden durch kortikale Prozesse gehemmt und sind den Einflüssen motorischer Aktivitäten unterworfen.

Für unser Thema bedeutet dies:

Musik stellt in gewissem Sinne eine Folge von »emotionsauslösenden Stimuli« dar. Rhythmisch betonte Musik, die ja im Hörer Bewegungsvorstellungen, Bewegungsdrang u.ä. auslöst, müßte aber eine zusätzlich erhöhte elektrodermale Aktivität zur Folge haben.

Dies läßt sich durchaus an mehreren Untersuchungen belegen und wird auch durch die vorliegende Untersuchung bestätigt.

## Frühere Untersuchungen

Es gibt ungefähr 3000 Veröffentlichungen über elektrodermale Aktivität, aber nur rund 10 Untersuchungen, die sich mit Hautreaktionen und Musikhören beschäftigen.

David Wechsler stellte im Jahre 1925 fest, daß Musik zu Hautwiderstandsänderungen führe und daß besonders synkopierte Musik und Ragtime häufige Reaktionen hervorrufe. Diese Reaktionen schienen durch einzelne musikalische Merkmale ausgelöst zu werden (»as if to specific excitations«).<sup>11</sup>

Zimny und Weidenfeller<sup>12</sup> berichten, daß Musik, die als aufregend empfunden wird, zu einer ausgesprochenen Senkung des Hautwiderstandes führt. Eine Untersuchung von Traxel und Wrede<sup>13</sup> zeigt, daß Jazz-Musik stärkere EDA aufweist, als zum Beispiel symphonische Musik. Die Verfasser erklären dies dadurch, daß die durch symphonische Musik »ausgelösten Gefühle ... wohl differenzierter und auch gemäßigter« seien.

Bekannt geworden sind auch die Untersuchungen von Harrer<sup>14</sup>, der jedoch meistens Einzelfallstudien betrieb und auf eine normalerweise übliche zufallskritische Prüfung seiner Hypothesen verzichtete. Erwähnt sei jedoch eine Beobachtung aus seinen Arbeiten: Bei schizophrenen Patienten löste das Mitdirigieren eines Musikstückes »erhebliche vegetative Veränderungen« aus, wohingegen eine Bewegung, die etwa denselben Energieaufwand erforderte – ohne Musik – geringere Reaktionen hervorrief.<sup>14</sup>

## Beschreibung des Experiments

Die Ergebnisse dieses Artikels sind das »graphische Nebenprodukt« einer Untersuchung, die sich mit der Auswirkung von analytischem Hören auf das emotionale Erleben von Musik beschäftigt. Die Probanden, 20 Laien und 20 Fachleute, mußten viermal hintereinander je drei Musikstücke unter verschiedenen Bedingungen hören, deren genauere Erläuterung hier aber nicht notwendig erscheint. (Im Fall des Musikbeispiels »Bach« betrug die Größe der Stichprobe  $n = 60$ )

Während der Darbietung wurde der Hautwiderstand der Probanden mit einem Meßgerät ermittelt, das nur die kurzzeitigen, sog. phasischen Reaktionen aufzeichnete (Skin resistance response, SRR). Auf diesem Wege entstanden nun 560 graphische Aufzeichnungen der Hautwiderstandsreaktionen beim Musikhören, die wir mit Hilfe einer Rechenanlage zu drei »Durchschnittskurven« zusammengefaßt haben.

Die Fragestellungen, die hier beantwortet werden sollten, lauteten:

1. Gibt es bei einer größeren Stichprobe noch Gemeinsamkeiten der Hautwiderstandsreaktionen (interindividuelle Ähnlichkeit)?
2. Lassen sich den Hautwiderstandsreaktionen bestimmte musikalische Strukturmerkmale zuordnen (specific excitations)?
3. Gibt es dabei Unterschiede zwischen rhythmisch betonter und ruhiger Musik?

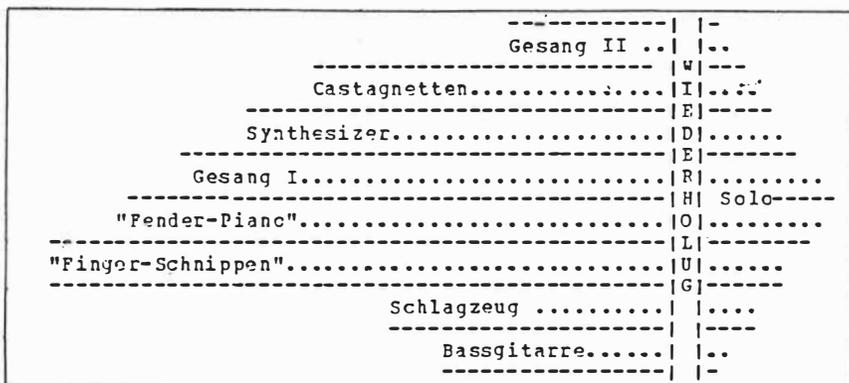
### Die Musikstücke

#### *Musikbeispiel I*

Beim ersten Musikbeispiel handelt es sich um einen Ausschnitt des vierten Brandenburgischen Konzertes von Johann Sebastian Bach in einer Aufnahme mit den Berliner Philharmonikern (Leitung H. v. Karajan, Deutsche Grammophon). Vorgespielt wurden die ersten 86 Takte des dritten Satzes, die Dauer betrug ca. 102 Sekunden. Das Stück ist eine Fuge in einem Concerto grosso, das den Wechsel von Tutti und Soli prägt.

### Musikbeispiel II

Dieses Beispiel wurde einer Langspielplatte der Gruppe *Earth Wind & Fire* entnommen (*All'n All*, CBS Inc. 40-82238, 1977) und trägt den Titel »Interlude«. Es wurde in der Gesamtlänge von 85 Sekunden dargeboten. Da es sich um ein Stück im *Funk*-Stil handelt, besitzt es ausgeprägte rhythmische Elemente. Eine musikalische Steigerung erfährt das Beispiel durch eine immer dichter werdende Instrumentation. Alle vier Takte erfolgt ein neuer Einsatz, dann wird das Stück nach einem kurzen Gitarrensolo ausgeblendet.



### Musikbeispiel III

Das dritte Beispiel stammt von der englischen Popgruppe »*Genesis*«, ist der LP *The lamb lies down on broadway* entnommen und trägt den Titel »Hairless heart« (Charisma-Records Ltd. 7599 121, 1974). Dauer des Beispiels: 144 Sekunden. Es ist im Gegensatz zum vorigen Beispiel nicht vom Rhythmus geprägt, sondern besitzt eher weiche melodische Züge. Eine einfache Reihenform liegt vor:

Einleitungstakte | a1 a2 b1 b2 a2 b1 b2 | Rhythmuswechsel  
+ Tonartwechsel

a1 wird von einer akustischen Gitarre vorgetragen, a2 von einem elektronischen Instrument, das im Klang einer Geige ähnelt:



Die wiederholten b-Abschnitte werden aus einem Thema gebildet, das auf einem Synthesizer gespielt wird, gegenüber den a-Abschnitten wesentlich lauter ist und entfernt an ein Thema in *Smetanas' Moldau* erinnert:



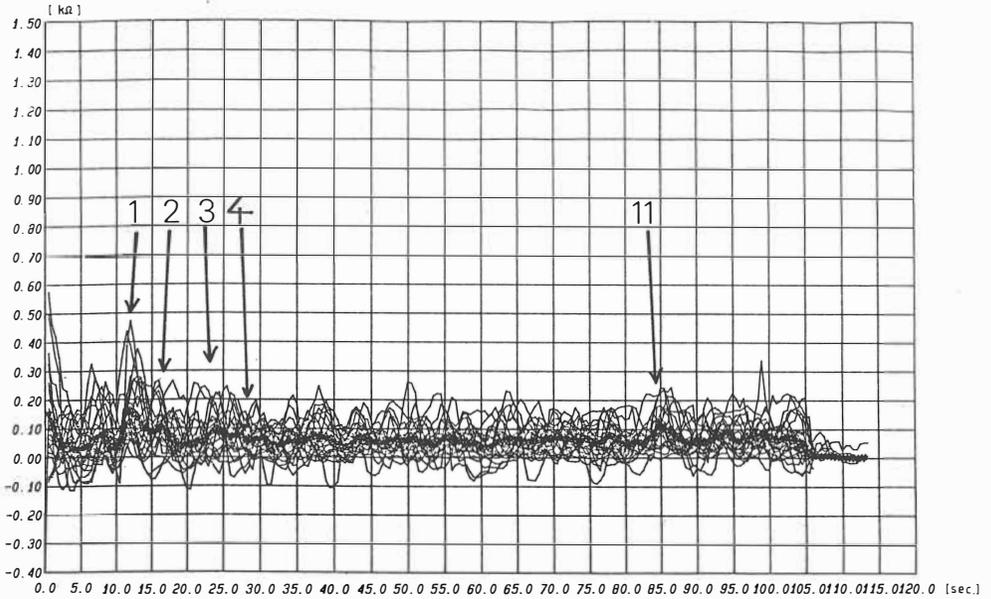
## Auswertung und Ergebnisse

Wie schon erwähnt, sollten die Meßkurven zu sog. Durchschnittskurven zusammengefaßt werden. Dazu wurden die einzelnen Kurven mit Hilfe eines Digitalisiergerätes in einen Rechner eingegeben. Eine Durchschnittskurve wurde aus den durchschnittlichen y-Werten von mehreren einzelnen Kurven im Abstand von  $x = 1\text{mm}$  gebildet. Die hierzu notwendigen Berechnungen wurden von einem Fortran-Programm ausgeführt und die Kurven wurden dann von einem Plotter gezeichnet.<sup>16</sup>

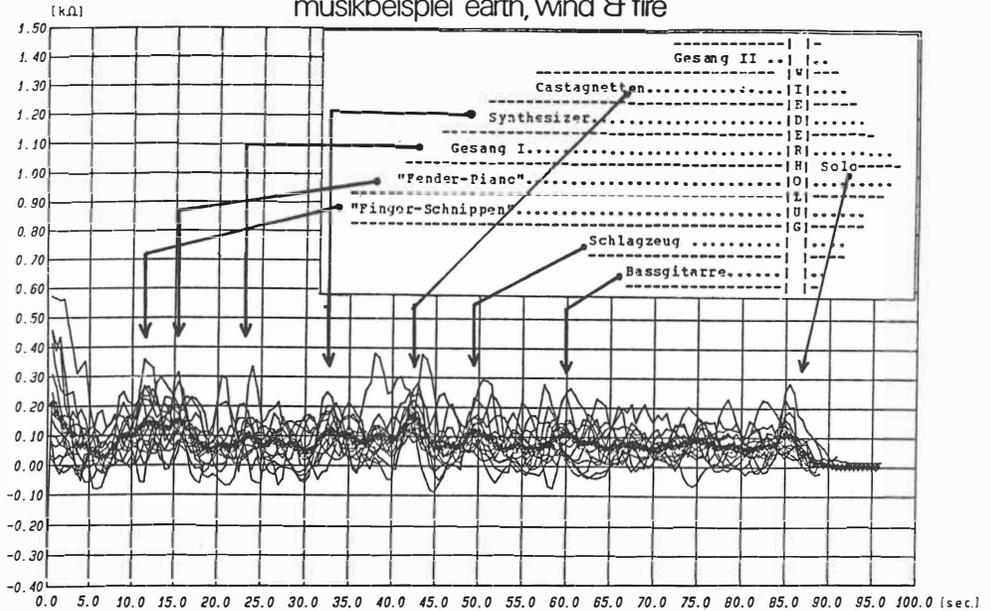
Der Durchschnittskurve *Bach* liegen 240 Einzelkurven und den beiden anderen Durchschnittskurven – *Earth Wind & Fire* und *Genesis* – je 160 Einzelmessungen zugrunde.

Über die Plots wurde nun ein Raster gelegt, das typische Strukturmerkmale der Stücke kennzeichnet. Im Fall *Bach* sind es die 12 Themeneinsätze der Fuge. (Zwischen dem zweiten und dritten Einsatz des Themas ist ein zweitaktiges Zwischenspiel eingeschoben, so daß der dritte Einsatz später als erwartet erscheint.) Man sieht nun, daß sich hier die ersten drei Einsätze und Themeneinsatz 11 (Celli) als Maxima in der Durchschnittskurve widerspiegeln. Sogar der verspätete Einsatz des dritten Themas ist zu erkennen. Dies ist bei einem Durchschnitt aus 240 Messungen wohl nicht mehr als Zufall zu betrachten.

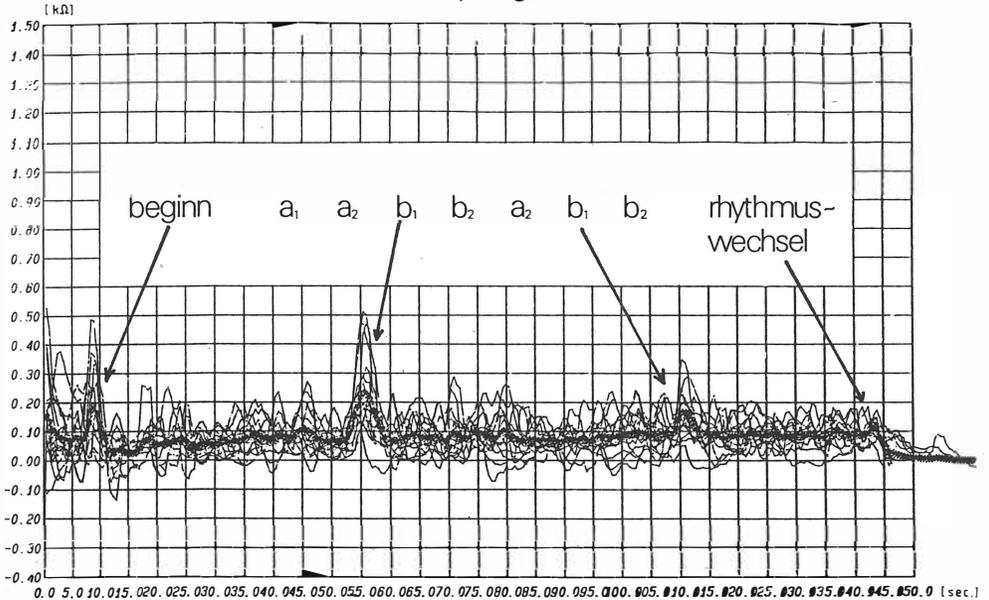
# musikbeispiel bach



# musikbeispiel earth, wind & fire



## musikbeispiel genesis



Beim Beispiel *Earth Wind & Fire* zeigt sich das sukzessive Einsetzen von Stimmen und Instrumenten ebenfalls in der Durchschnittskurve: Alle vier Takte erfolgt ein Einsatz, wobei vier Takte etwa acht Sekunden dauern. Genau an diesen Stellen zeigt die Kurve Maxima. (Lediglich die ersten beiden Einsätze folgen im Abstand von zwei Takten.) Auch am Beispiel *Genesis* kann man in der Durchschnittskurve einzelne Abschnitte des Stückes ausmachen: Maxima zeigen sich zu Beginn des Stückes und dann, wenn Abschnitt b1 erscheint. Man sieht allerdings, daß diese Kurve nicht so differenziert ist, wie dies beim rhythmisch betonten Musikstück der Fall ist.

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß elektrodermale Reaktionen durch spezifische musikalische Strukturmerkmale ausgelöst werden können und daß eine interindividuelle Ähnlichkeit dieser physiologischen Reaktion auf Musik besteht.

Die Beobachtung, daß rhythmische Musik besonders deutliche und differenzierte Reaktionen hervorruft, steht im Einklang mit frü-

heren Untersuchungen und kann durch zentrale Mechanismen, die an den elektrodermalen Reaktionen und gleichzeitig an motorischen Prozessen beteiligt sind, erklärt werden.

Abschließend sei noch auf ein Zitat des amerikanischen Musikwissenschaftlers Paul F. Farnsworth verwiesen: »Daraus dürfte gefolgert werden, daß sich keine Komposition finden läßt, von der garantiert werden kann, daß sie gleiche oder fast gleiche physiologische Veränderungen bei einer größeren Zahl von Menschen hervorruft.«<sup>15</sup> Wären die hier erhobenen physiologischen Daten bei jeder Person unterschiedlich, so hätten sich die Maxima der Durchschnittskurven »herausgemittelt« und wir hätten wahrscheinlich eine »Kurve« mit konstanter Amplitude erhalten. Somit können wir der Folgerung von Farnsworth nicht zustimmen.

#### Anmerkungen

- 1 Féré, C.: Note sur les modifications de la tension électrique dans le corps humain. Comptes rendus de séances de la société de Biologie, 1888, 5, S. 28–33.
- 2 Schandry, R.: Psychophysiologie. München: U & S, 1981, S. 280–283.
- 3 Rogge, K.-H.: Physiologische Psychologie. München: U & S, 1981, S. 78.
- 4 Fahrenberg, J., et al.: Psychophysiologische Aktivierungsforschung. München: Minerva Publikation, 1979, S. 355–357.
- 5 Schandry, R., a.a.O., S. 160.
- 6 Silbernagl, S., Despopoulos, A.: Taschenatlas der Psychologie. Stuttgart 1979, S. 49.
- 7 Wang, G.H.: The Neural Control of Sweating. Madison: The University of Wisconsin Press: 1964, S. 99.
- 8 ebenda: S. 95–112.
- 9 Pribram, K.H.: The Biologie of Emotions and other Feelings. In: R. Plutchik, H. Kellermann, Emotions. Volume 1, Theories of Emotion. New York: Academic Press, 1980.
- 10 Schmidt, R.F., Thews, G.: Physiologie des Menschen. Berlin: Springer, 1983, S. 113–114.
- 11 Wechsler, David: The Measurement of Emotional Reactions. In: Archives of Psychologie. No. 76, New York: 1925, S. 147.
- 12 Zimny, G.H., Weidenfeller, E.W.: Effects of music on GSR and heart rate, Amer. J. Psychol., 1963, 76, S. 311–314.
- 13 Traxel, W., Wrede, G.: Hautwiderstandsänderungen bei Musikdarbietung. In: Zeitschr. f. experimentelle und angewandte Psychologie (1959), S. 293–309.

- 14 Harrer, G., Harrer, H.: Musik, Emotion und Vegetativum. In: Wiener medizinische Wochenschrift Nr. 45/46/1968, S. 966–971.
- 15 Farnsworth, Paul R.: Sozialpsychologie der Musik. Stuttgart: Enke, 1976, S. 196.
- 16 Den Mitarbeitern des Fachbereichs Maschinenbau und Konstruktionstechnik der Technischen Universität Berlin – insbesondere Herrn Dipl. Ing. Klaus Menzel – sei an dieser Stelle für großzügige Unterstützung herzlich gedankt.

## Summary

Physiological reactions to music show a high inter-individual conformity, and there is a relationship between the structure of music and these reactions. This is shown by electrodermal activity-measurements of subjects hearing different pieces of music. 520 recordings of this kind were summarized as »mean-plots« by a computer. Rhythmic music in particular produces clear results. This is supported by earlier investigations and can be explained by the »neural control of sweating«.