Norbert Urbainsky, Małgorzata Woltmann-Żebrowska

Über psycho-physiologische Wechselbeziehungen von Musik und Bewegung

Prace Naukowe Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie. Kultura Fizyczna 9, 269-285

2010

Artykuł został opracowany do udostępnienia w internecie przez Muzeum Historii Polski w ramach prac podejmowanych na rzecz zapewnienia otwartego, powszechnego i trwałego dostępu do polskiego dorobku naukowego i kulturalnego. Artykuł jest umieszczony w kolekcji cyfrowej bazhum.muzhp.pl, gromadzącej zawartość polskich czasopism humanistycznych i społecznych.

Tekst jest udostępniony do wykorzystania w ramach dozwolonego użytku.

MUZEUM HISTORII POLSKI

PRACE NAUKOWE Akademii im. Jana Długosza w Częstochowie
Seria: Kultura Fizyczna 2010, z. IX

Norbert Urbainsky*
Małgorzata Woltmann-Żebrowska**

Über psycho-physiologische Wechselbeziehungen von Musik und Bewegung

Zusammenfassung

Der Artikel schildert die gegenseitigen Wechselwirkungen im Bereich der Musik und der Bewegung, ihre Einflüsse auf die Motorik und Bewegungskoordination, wie auch auf einige Organe des menschlichen Organismus, vor allem auf die Hirnrinde und das Hörapparat.

Hauptworte: Musik, Körpererziehung, Sport, Bewegung

Schon in den 20er Jahren des letzten Jahrhunderts begann man nach den psycho-physiologischen Grundlagen zu fragen, die das Problem der Wechselbeziehungen von Musik und Bewegung durch die Neurowissenschaften beleuchten sollten.

Während in den letzten 50 Jahren die Sportwissenschaften auf dem Gebiet der Motorik große Fortschritte gemacht haben, fanden bisher neurowissenschaftliche Studien in der Musikwissenschaft und Musikpädagogik nur eine geringe Resonanz und vereinzelte Ansätze (Kwasnicowa, Z. 1952, Teichert, J. 1954, Hohler, V. 1955, Spickowa, M. 1955, Prochazka, Z. 1956, Herold, W. 1956, Urbainsky, N. 1957)[1].

* Prof. dr, prof. w Instytucie Badań Zdrowia, Porad Zdrowia i Prewencji, Bochum.
** Dr, adiunkt w Zakładzie Pedagogiki Akademii Wychowania Fizycznego w Poznaniu.

1 Z. Kasnicowa, *Programm der Bewegungen mit Musik und des Volkstanzes für die Hochschule für Körperkultur*, Warschau 1955 und über die gegenseitige Abhängigkeit von Musik und Be-

Die Schwierigkeiten solcher Untersuchungen sind das Problem, die Wechselbeziehungen von Musik und Bewegung als eine Einheit zu erforschen und darzustellen. Da das Wirken der Einzelreaktionen untereinander vom Gesamtsystem abhängig ist, sollten nicht nur die Einzeltätigkeiten, z.B. die des CORTIschen Organs, des Rückenmarks oder des Cortex aufgezeigt werden, sondern die Verbundenheit aller einzelnen Reaktionen und Systeme untereinander.

Die engen Beziehungen zwischen Musik und Bewegung hatten bisher einen mehr oberflächlichen Charakter bei der Beschreibung alle Phänomene. Sie lassen sich aus der wesensverwandten Struktur ihrer Elemente erklären. Man spricht nicht nur von körperlicher, sondern auch von musikalischer Bewegung. Solche Erscheinungen in der Musik wie Tempo, Rhythmus, Dynamik, Formgebung, Harmonik u.a. spiegeln sich auch in der körperlichen Bewegung wider (Komauer, B. 1952, Truslit, A. 1950)[2].

In den 80er und 90er Jahren des letzten Jahrhunderts sind zusätzliche Untersuchungen als Forschungsschwerpunkte zum Musikhören dazugekommen. Als Messverfahren werden zunächst die Elektroenzephalographie (EEG) eingesetzt. Heute mißt man Gehirnprozesse beim Musikhören und weitere musikalische Aktivitäten zur Ermittlung funktioneller und struktureller Veränderungen im Gehirn, die mit Musikhören verbunden sind, mit neuen, verbesserten Apparaten; meistens sind das Kombinationen von Messverfahren[3].

Interessant sind zunächst Fragestellungen zu klären, die eine Dominanz einer oder beider Gehirnhälften, bzw. die Lokalisierung von Gehirnaktivitäten, Auswirkungen auf Wachheits- und Aufmerksamkeitszustände, emotionale Reaktionen, Unterschiede zwischen Musikern und Nichtmusikern, Sportlern und Gelegenheitssportlern, nachweisen. Weiter könnte die Aufschlüsselung musikspezi-

---

wegung, Warschau 1952; Z. Prochazka, Laufende Untersuchungen am Institut für Körperkultur und Sport in Prag 1956; M. Spickowa, *Über die Aufgaben der Musik und der Bewegung in der Rhythmik*, „Telesne Vychova Mladeze" 1955, Heft 5; V. Hohler, *Die Musikbegleitung bei gymnastischen Übungen*, „Teorie a Praxe Telesne Vychova a Sportu" 1955, Heft 8; J. Teichert, *Die Verwendung von Musik in der Gymnastik*, „Theorie und Praxis der Körperkultur" 1954, Heft 8; W. Herold, *Verwendung und Gestaltung von Musik zu gymnastischen Grundformen*, „Gymnastik und Turnen" 1956, Heft 6; N. Urbainsky, *Psycho-physiologische Wechselbeziehungen von Musik und Bewegung*, unveröffentl. Dipl.-Arbeit, Weimar 1957.

[2] B. Komauer, *Die Beziehungen zwischen Musik und Bewegung*, „Leibesübungen und Leibeserziehung", Heft 6, Wien 1952; A. Truslit, *Musik und Bewegung*, „Schweizerische Musikzeitung", Heft 1, Zürich 1950.

[3] Gehirnaktivitäten werden gemessen durch:

– Verfahren zur Erfassung von magnetischen und elektrischen Feldern, die durch neuronale Aktivitäten entstanden sind (MEG u. EEG)
– Verfahren zur Registrierung des lokalen Blutflusses, der durch neuronale Erregungszustände ausgelöst wird (PET (Positronen-Emissions-Tomographie) u. MRT (Magnetresonanz-Tomographie), bzw. fMRT (funktionelle Magnetresonanz-Tomographie)).

fischer Teilaspekte (z.B. Melodie, Rhythmus, Dynamik, Harmonie, Formen), sowie musikalische Lernvorgänge, auch in Verbindung mit Bewegungen und ihrer Strukturen, bei Forschungen eine Rolle spielen.

Teilergebnisse sind bei Musikern und Nichtmusikern bei durchgeführten Studien vorhanden, die darauf hinweisen, dass bei Musikern (auf Grund ihrer langjährigen musikalischen Tätigkeiten) eine Vergrößerung des Großhirnareals erfolgt ist, das für das Aufnehmen von Tönen verantwortlich ist (Pantev et. al. 1998)[4].

Weitere Annahmen, die noch weiter gehen in der Bestimmung lokaler Cortexregionen, zeigen ein nicht einheitliches Verständnis dieser Fragestellungen: Sie beinhalten, dass das Hören von Musik bei Musikern mehr in der linken Gehirnhälfte stattfindet und sich vorwiegend analytisch vollziehe, während die Wahrnehmung von Musik bei Nichtmusikern meistens in der rechten Gehirnhälfte lokalisiert wird und mehr emotional bestimmt sei (Damasio/Damasio 1977, Hirshkowitz et al. 1978, Peretz/Babai 1992, Messerli et al. 1995, Vollmer-Haase et al. 1998)[5].

Wie wird Musik im Gehirn aufgenommen und verarbeitet? Bei der Übermittlung und Leitung nervaler Erregungen sind hauptsächlich die Nervenzellen mit ihren Fortsätzen beteiligt, einschließlich der Glia und der mesodermalen Zellen. Man nimmt an, dass die Nervenfasern am meisten beansprucht werden, während die Zellkörper bei der Erregung sich wohl nicht anders verhalten als die Dendriten und Neuriten (Axone). Jede lebende Zelle besitzt die Fähigkeit, die durch Reize hervorgerufenen Veränderungen auf andere Zellabschnitte weiterzuleiten. Für die Aufnahme der Reize sind normalerweise typisch gebaute Organe (Rezeptoren) verantwortlich. Weiter werden alle nervalen Tätigkeiten auch von elektrischen Erscheinungen begleitet. Die Neurone werden wahrscheinlich außer ihrer Hauptaufgabe, der Erregungsvermittlung, keine andere Aufgabe haben; wenigstens tritt diese Funktion im physiologischen Versuch auffällig hervor.

---

[4] Ch. Pantev et al., *Increased Auditory Cortical Representation in Musicians*, „Nature" 1992, s. 811–814.

[5] A.R. Damasio, H. Damasio, *Musical Faculty and Cerebral Dominance*, [in:] *Music and the Brain*. Hrsg.: Macdonald Critchley und Henson, R.A. London: Heinemann, W., s. 141–155 (1977); M. Hirshkowitz et al., *EEG Alpha Asymmetry in Musicians and Non-Musicians: A Study of Hemispheric Specialization*, „Neuropsychology" 16, s. 125–128 (1978); I. Peretz, M. Babai, *The Role of Contour and Intervals in the Recognitation of Melody Parts: Evidence from Cerebral Asymmetries in Musicians*, [in:] EEG-EMG-Zeitschrift in: „Neuropsychologia" 30, s. 277–292 (1992); P. Messerli et al., *Hemispheric Dominance for Melody Recognition in Musicians*, „Neuropsychologia" 33, s. 395–405 (1995); J. Vollmer-Haase et al., *Hemispheric Dominance in the Processing of J.S. Bach Fugues: A Transcranial Doppler Sonographie* (*TDC*) *Study with Musicians*, „Neuropsychologia" 38, s. 857–867 (1998).

Häufig wird in der psychologischen Literatur der Rezeptor gleich Sinnesorgan gesetzt. Bei einer Sinnesempfindung handelt es sich immer um ein psychisch bewußtes Erlebnis, während es doch auch Erregungen der so genannten visceralen Rezeptoren gibt, die sich unterhalb einer Bewußtseinssphäre abspielen. Auf der anderen Seite werden aber auch die Rezeptorfunktionen bei Sinnesempfindungen nicht voll ausgelastet. Die Sinnesempfindungen sind also nicht die unmittelbaren Folgen einer Rezeptortätigkeit. Es ließe sich vielleicht klären, inwieweit ein Rezeptorreiz eine Sinnesempfindung hervorruft, wenn der *vorherige* Zustand des Zentralnervensystems, vielleicht sogar der des gesamten Organismus, berücksichtigt würde.

Im allgemeinen unterscheidet man zwischen Exterorezeptoren und Interorezeptoren, je nachdem, wo dieselben lokalisiert sind; ob auf der Oberfläche des Organismus oder ob sie Rezeptoren der Gefäße, der inneren Organe und Skelettmuskel sind. Die akustischen Rezeptoren rechnet man zu den Exterorezeptoren, während die kinästhetischen zu den Interorezeptoren zählen. Von allen Rezeptoren führen afferente nervale Fasern ins Körperinnere bzw. zum Zentralnervensystem. Dass eine Erregung, die einen gewissen Weg zurückgelegt hat nicht zum Rezeptor zurückfließt, liegt wohl an der absoluten Refraktärphase[6]. Man nimmt an, dass in jeder ableitenden Nervenfaser eine Impulsserie entsteht, da die Nervenendigungen jedes Rezeptors gleichfalls Impulse aussenden. Die Frequenz dieser Impulse ist umso höher, je mehr Nervenendigungen durch einen Reiz erregt werden. Die Weiterleitung dieser Reize und die Vervollständigung dieser Funktionen nennt man Analysator. PAWLOW bezeichnet als Analysator die funktionelle Einheit von Nervenelementen, die einer bestimmten höchsten Form der Analyse und Synthese der Umweltreize, die des äußeren und inneren Milieus, zugrunde liegt.

Der Analysator besteht aus drei Abschnitten; dem peripheren Teil (Rezeptor), dem afferenten Zweig (einschließlich der Nervenzellen der medulla spinalis, der medulla oblongata und des Zwischenhirns) und dem corticalen oder dem zentralen Teil, in dem sich die höhere Analyse und Synthese vollzieht (Projektor). Nach der Art der Rezeptoren werden auch ihre Analysatoren benannt (Höranalysator, Sehanalysator, Bewegungsanalysator u.a.). Der Analysator ist also nicht nur für die Aufnahme einzelner Reize verantwortlich, sondern auch für die Weiterleitung und Verarbeitung derselben, sowie für die Lokalisierung und Wechselwirkung eines Erregungs-prozesses im Zentralnervensystem. Versuche über die biologischen Vorgänge der Rezeptoren sagen noch nichts über die Funktion der Analysatoren aus, über den Vorgang der Bewegung und des

[6] Wenn durch ein Neuron gerade eine Erregung fließt, dann ist es selbst unerregbar.

Hörens. Erst durch die einzelnen Wechselbeziehungen im Cortex kommt eine Funktion zustande.

Über den Gehöranalysator

Eine wesentliche Rolle bei der Ausführung von Bewegungsgewohnheiten spielt neben dem Sehorgan vor allem das Hörorgan. Das Einwirken der Musik auf den Gehöranalysator ist nicht zuletzt auf einen „komplexen Analysator" – bei der Ausprägung des „rhythmischen Gefühls" – zurückzuführen. Das CORTIsche Organ ist dabei der wichtigste Träger rezeptorischer Funktionen im Ohr. Dort sind die peripheren Fortsätze bipolarer Ganglienzellen des Ganglion spirale cochleae, die Nervenfasern der Sinneszellen des CORTIschen Organs. An der Wurzel der Lamina spiralis ossea ist dieses Ganglion zu finden, während im Modiolus die zentralen Fortsätze zum Nervus cochlearis zusammengefasst werden.

Neue Untersuchungsergebnisse zeigen (Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience, 2001)[7], dass jede periphere Nervenfaser mehrere innere und äußere Haarzellen innerviert, auf der anderen Seite versorgt aber auch mehr als eine Nervenfaser die einzelnen Haarzellen. Es ist deshalb sehr wahrscheinlich, dass den nächstgelegenen Ganglionabschnitten nicht unbedingt die Innervationsquellen der Haarzellen zuzuschreiben sind.

Treffen nun longitudinale Luftschwingungen zwischen 16 und 20 000 Hz als adäquate Reize auf die Rezeptoren des CORTIschen Organs, so erfahren die den Reizen zugrunde liegenden physikalischen Vorgänge, bevor sie auf die Rezeptoren treffen, bestimmte Umwandlungen. Es werden also wahrscheinlich nicht die Luftschwingungen selbst sein, sondern die durch Luftschwingungen veranlaßte Gewebsveränderungen im CORTIschen Organ, die die Gehörrezeptoren in Tätigkeit versetzen. Die Schallwellen gelangen nur bis zum Trommelfell. Die Eigenschwingungen des Trommelfells gelangen dann über die Gehörknöchelchen zur Endolymphe, so dass man annehmen muß, dass die Haarzellen des CORTIschen Organs durch die Schwingungen der Endolymphe gereizt werden. Es könnte aber auch sein, dass die Sinneshaare nicht durch die Schwingungen der Endolymphe gereizt werden, sondern dass sie zunächst die Membrana tectoria oder die Basilarmembran bewegt und dass dadurch die Haarzellen gereizt werden.

Im Folgenden werden die Hörbahnen beschrieben: Wie schon erwähnt, laufen zunächst alle afferenten Fasern durch die Interzellularräume (NUELscher

[7] Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience, Leipzig 2001: „Spiegelbild der Sprache – Neurokognition von Musik".

Raum und Tunnel) des CORTIschen Organs, weiter durch die Lamina spiralis ossea zu den Ganglienzellen des Ganglion spirale. Von dort aus suchen sich die zentralen Fortsätze der bipolaren Ganglienzellen den Weg zum Modiolus, wo sie sich sammeln und ihn als Nervus cochlearis verlassen. Die Fasern, die nun in der Nähe der Basis liegen, verlaufen verhältnismäßig gradlinig; während die Fasern, die basalwärts zu finden sind, spiralförmig weitergehen – aber in entgegengesetzter Richtung. Die Fasern des Nervus cochlearis, die zentralwärts liegen, bilden mit dem Nervus vestibularis den VIII. Hirnnerv, der nun senkrecht in das Mittelhirn eindringt. Die Nerven des Nervus cochlearis werden hier geteilt, und zwar endigt ein Teil in der Nervensubstanz des Nucleus cochlearis, der andere im Nucleus cochlearis ventralis.

Die Fasern der sekundären Hörbahn verlaufen in zwei verschiedene Richtungen; die Fasern aus dem dorsalen Nervenkern laufen dorsalwärts bis zur Mittellinie des Corpus restiforme und stoßen dann zu den Fasern des Lemniscus lateralis der anderen Seite, während die Fasern des ventralen Kerns über die Mittellinie hinweggehen und mit den Fasern der anderen Seite den Trapezoidkörper bilden. Die Fasern laufen nun weiter vom Corpus quadrigeminum caudale des Mittelhirns zum Corpus geniculatum mediale des Zwischenhirns. Das Corpus geniculatum kann man auch als primäres subcorticales Hörzentrum bezeichnen. Genauso wie das Corpus geniculatum laterale ist es ein Thalamusteil und eigentlich ein Vorsprung des Pulvinars. Es besitzt einen dorsalen und ventralen Kern, der eine großzellig, der andere kleinzellig. Die zentralwärts strebenden Hörfasern enden im medialen Kniehöcker, die alle aus dem unteren Vierhügel und den lateralen Schleifen stammen. Den letzten Teil der zentralen Hörbahn nennt man Hörstrahlung, der im inneren Kniehöcker beginnt und in den HESCHIschen Querwindungen des Temporallappens endigt.

Die psychisch-subjektive Seite des Hörvorgangs

Die Gehörempfindung

Nachdem der Analysator als der anatomisch-physiologische Apparat des Gehörs beschrieben wurde, muß auch auf die psychischen Prozesse eingegangen werden und zwar auf den einfachsten Prozeß, die Empfindung. Die Empfindungen geben uns Aufschluß über alle unsere Kenntnisse der Welt und sind die Grundlagen für andere, höhere Erkenntnisprozesse, die Wahrnehmungen und Vorstellungen. Sie geben uns Auskunft über bestimmte Eigenschaften unserer Umwelt und sind die Quelle der Kenntnisse über Vorgänge und Veränderungen im eigenen Körper. Alle Empfindungen sind von der Leistung des Nervensystems abhängig, von der Arbeitsfähigkeit der Rezeptoren, der afferenten Fasern

und den jeweilig verantwortlichen Großhirnabschnitten. Wird ein Teil dieses Analysators zerstört, so fallen die entsprechenden Empfindungen aus.

Außer den Empfindungen, die die Eigenschaften einzelner Erscheinungen und Dinge außerhalb von uns widerspiegeln, gibt es noch Empfindungen, die uns über die eigene Bewegung und über den Zustand der inneren Organe aufklären. Die Gehörsempfindung zählt man zur ersten Gruppe. Den psychischen Inhalt der Gehörsempfindung geben in erster Linie die Tonstärke, die Tonhöhe und das Timbre (Klangfarbe). Zur Tonstärke wäre zu sagen, dass sie abhängig von der Amplitude der Schwingung ist, die Tonhöhe wiederum ist auf die Anzahl der Schwingungen in der Sekunde angewiesen (Frequenz), während das Timbre die Widerspiegelung der Schwingungsform darstellt.

Aber nicht alle Reize, die auf die Gehörrezeptoren treffen, rufen Empfindungen hervor[8].

Um eine Empfindung entstehen zu lassen, muß eine bestimmte Intensität des Reizes vorhanden sein. Wir haben es hier bei unserem Beispiel mit einer Minimalintensität eines Reizes, der gerade noch eine Empfindung liefert, zu tun (absolute Empfindungsschwelle). Treten einige Zeit lang genügend starke Reizerreger auf, die auf das Gehör wirken, so kommt es zu einer gewissen Abnahme der Reizempfindlichkeit; fehlen aber diese Reizerreger oder sind sie sehr schwach, dann vergrößert sich die Reizempfindlichkeit (Adaption). Die Adaption der Gehörsempfindungen ist unbedeutend, wenn ein Ton längere Zeit anhält, die Empfindung aber nicht aufhört. Allerdings gibt es bei der Aufnahme gewisser Reize einen Umstand, der der Adaption sehr ähnelt: Man gewöhnt sich z.B. sehr bald an das Rauschen eines Baches und „hört“ ihn später nicht mehr, oder an die Musik des Radios und „hört“ sie auch später nicht mehr.

Bei diesem Beispiel handelt es sich nicht um das Schwächerwerden der Empfindung, sondern um eine Richtungsänderung der Aufmerksamkeit. Richten wir dieselbe dem Reizobjekt wieder zu, so wird der Reiz maximal wieder erfaßt.

Werden an das entsprechende Sinnesorgan keine Anforderungen gestellt, nimmt die Reizempfindlichkeit ab; umgekehrt nimmt die Reizempfindlichkeit zu, wenn man also das Gehör „trainiert“: d.h. nur im Prozeß des Gebrauchs, wird z.B. ein musikalisches Gehör ausgebildet. Nicht nur bei Musikern trifft man eine bemerkenswerte Feinheit des Gehörs an, sondern auch bei Blinden, die besondere Unterschiede der Reizerreger wahrnehmen.

---

[8] Z.B. das Ticken einer Armbanduhr wird aus größerer Entfernung nicht mehr wahrgenommen. Töne mit einer sehr hohen Frequenz, die Hunde noch hören können, kann der Mensch nicht hören.

Die Gehörswahrnehmung und – vorstellung

Bei dem psychischen Prozeß der Wahrnehmung handelt es sich um einen Übergang von der Empfindung zum *Denken*; ein Prozeß, der einen wesentlichen Beitrag zum Problem „Musik und Bewegung" leistet. Die Wahrnehmung kommt also dem Denken näher, da sie gegenüber der Empfindung die Umwelt besser (manchmal vollständiger) widerspiegelt. Sie ist ein psychischer Prozeß, der ein kompliziertes Abbild der Gegenstände und Erscheinungen der objektiven Welt darstellt und nicht nur einzelne Eigenschaften und Besonderheiten widerspiegelt.

Die Wahrnehmung entsteht also auf Grund einzelner Empfindungen, die wiederum durch die Einwirkung bestimmter Reizerreger auf unsere Sinnesorgane entsteht, wobei eine ganze Anzahl von diesen Reizen über der Empfindungsschwelle liegt.

Bei der Physiologie der Wahrnehmung ist es notwendig, die Rolle der Analyse und Synthese zu beachten. Diese Zergliederung bestimmter äußerer Agenzien in Einheiten, versetzt jedes Individuum in die Lage, auf die feinsten Einwirkungen der Umwelt zu reagieren. Die Vereinigung, das Zusammensetzen der einzelnen Elemente zu Komplexen, veranlaßt den Mensch und auch das Tier, sich bei seinem Verhalten von besonderen Merkmalen leiten zu lassen.

Man unterscheidet zwei Formen der Analyse: die niedrige Form, die sich an der Peripherie des Analysators vollzieht und die höhere Analyse, die eine Funktion des cerebrospinalen Nervensystems darstellt. Als den physiologischen Mechanismus der höheren Form der Analyse wird die differenzierende Hemmung angesehen. Die Differenzierung wirkt am besten, wenn ähnliche, nicht gefestigte Reize gegenübergestellt werden und nicht durch einförmige Wiederholung ein und desselben Reizes. Die höhere Form der Synthese ist genauso wie die höhere Form der Analyse mit der Tätigkeit der Großhirnhemisphäre verbunden. Bei der Synthese handelt es sich in der Hauptsache um die Bildung von Nervenverbindungen zwischen den einzelnen entstandenen Erregungszentren, die durch die verschiedenen Teile des komplexen Reizes hervorgerufen wurden und den beständigen Zusammenhang der Gegenstände und Erscheinungen der Materie widerspiegeln. Wir haben es hier also mit einem bedingten Reflex zu tun, da bei der Einwirkung einer Reihe von Reizerregern die Antwortreaktion nicht von der Eigenart des einzelnen Reizerregers abhängt, sondern von der Eigenart ihres Verhältnisses. Die Bildung solcher Reflexe gibt uns die Möglichkeit, bestimmte Melodien zu erkennen, unabhängig von der absoluten Tonhöhe und Lautstärke.

Bei der psychisch-subjektiven Seite der Gehörswahrnehmung ist weiter zu erwähnen, dass die Heraushebung des Objekts von großer Bedeutung ist, die sich in den meisten Fällen reibungslos vollzieht. Dieser Herausstellung des Objekts liegen bestimmte Gruppierungen von Tönen zugrunde. Es ist auch verständlich, dass die frühere Erfahrung des Menschen eine wesentliche Rolle

spielt und dadurch der Inhalt der Wahrnehmung größer ist als der Inhalt der vorhandenen Empfindung.

Natürlich werden die Wahrnehmungen auch von bestimmten Wünschen und Gefühlen beeinflußt. Man kann die Menschen folglich in objektive und subjektive Wahrnehmungstypen einteilen: die einen, die bei der Wahrnehmung auf die Genauigkeit großen Wert legen und die anderen, die ihrer Einbildungskraft und ihren Mutmaßungen freien Raum lassen. Dieser Prozeß der individuellen Entwicklung ist natürlich nicht von dem System der zeitweiligen Verbindungen zu trennen, die die Begründung ihrer Gesetzmäßigkeiten in der Dynamik komplizierter Erregungen finden.

Eine besondere Art des psychischen Prozesses bildet die V o r s t e l l u n g, die Abbilder von Gegenständen und Erscheinungen (z.B. Musik) widerspiegelt, die man im gegebenen Augenblick und ohne eine dafür verantwortliche Empfindung *nicht* wahrnimmt. Die Vorstellungen teilt man im allgemeinen nach den Arten der Empfindungen ein, genauso wie die Wahrnehmungen. Bei den Gehörsvorstellungen versuchen wir uns irgendeinen Ton, ein Musikmotiv oder ein Musikthema vorzustellen; man bemüht sich in Gedanken Akkorde, Lieder und ganze Musikstücke zu „hören". Diese Art der Fähigkeit, sich die Musik vorzustellen, die ein wesentlicher Faktor bei der Ausführung von Bewegungsgewohnheiten ist, nennt man „Inneres Gehör".

Es ist aber nicht so, dass sich die Vorstellungen nicht von den Wahrnehmungen unterscheiden; gewöhnlich verliert die Vorstellung gegenüber der Wahrnehmung an Deutlichkeit, was wiederum bei den einzelnen Menschen noch verschieden ist. Einem Musiker wird das „Innere Hören" nicht so schwer fallen, wie einem Menschen, der mit der Musik wenig in Berührung kam und außerdem noch relativ unmusikalisch ist[9]. Deshalb kommen, neben der Fähigkeit, die akustisch-musikalischen Verhältnisse zu erkennen, auch die Beziehungen zwischen Tonhöhe und Tonqualität, Tonstärke und Klangfarbe, Tonart und Rhythmus herzustellen, die Fähigkeit hinzu, deutliche Gehörsvorstellungen zu haben, die man im allgemeinen auch zum musikalischen Gehör zählt. Außerdem haben die Vorstellungen einen fragmentarischen Charakter, da sie die Merkmale und Besonderheiten der Objekte nicht mit peinlicher Genauigkeit widerspiegeln. Sie müssen schon hoch entwickelt sein, wie z.B. bei den Gehörvorstellungen eines Komponisten, um verhältnismäßig stabil und beständig zu erscheinen. Natürlich können die Vorstellungen im gegebenen Augenblick durch Wahrnehmungen gestützt werden (z.B. bei Musikern, die sich eine Melodie besser vorstellen können, wenn sie auf die Klaviatur oder auf das Griffbrett eines Streichinstruments sehen, oder sogar einem Tänzer zuschauen).

---

[9] Vgl. a.a.O.

Vorstellungen sind aber niemals mit Wahrnehmungen identisch; sie können sie höchstens bis zu einem gewissen Grade ersetzen, da sie kein absolutes Abbild der Wirklichkeit sind, sondern im Grunde genommen eine Verallgemeinerung der Dinge und Erscheinungen der objektiven Welt.

Die Rolle des Vestibularapparates bei Bewegungsgewohnheiten

Neben dem Gehörorgan hat der Vestibularapparat an der Ausführung von Bewegungsgewohnheiten einen wesentlichen Anteil. Schon aus der Tatsache, dass die Bogengänge dieses Organs nicht nur auf Bewegungsreize, sondern auch auf Schallreize reagieren, könnte man schließen, dass durch diese physiologische Anlage schon allein eine Verbindung zwischen Ton und Bewegung besteht.

Nicht nur die Besonderheit, dass der Gehöranalysator und Vestibularanalysator morphologisch eng nebeneinanderliegen, sondern dass die beiden Organe auch phylogenetisch in näherer Beziehung stehen (ursprünglich wahrscheinlich e i n Organ bildeten), läßt vermuten, dass auch vom anatomischen Bau her eine Verbindung zwischen Gehörsempfindungen und Bewegungsakten vorhanden sein müßte.

Eindeutig konnte bis heute festgestellt werden, dass der Vestibularapparat mit der Aussendung von Impulsen zur Regelung des Muskeltonus betraut ist. Natürlich haben nebenbei auch vestibuläre Reize Beziehungen zu Sinnesempfindungen; das zeigen z.B. Erscheinungen des Schwindels und des gestörten Gleichgewichts nach Vestibularreizen. Da aber im Gegensatz zu echten Sinnesorganen keine vestibulären tertiären ableitenden Faserbahnen in dichteren Bündeln vorhanden sind, die in bestimmten sensorischen Arealen des Cortex endigen, kann man nicht von „primären Sinnesempfindungen“ sprechen.

Zunächst gehen alle diese Empfindungen auf das veränderte Muskelgleichgewicht zurück, welches dann erst wieder neue Empfindungen hervorruft. Der Vestibularapparat ist also in erster Linie ein Rezeptionsorgan, das je nach seiner Lage im Raum Impulse zu verschiedenen quergestreiften Muskeln entsendet. Änderungen der Raumlage bewirken Änderungen der Tonusverteilung, und diese sind es, die als „Raumempfindung“ ins Bewußtsein dringen. Was die Beziehungen der Utriculus- und Sacculus masculae zu umschriebenen Extremitätenmuskeln anbelangt, so kann man den Einfluß des Utriculus auf die Tonusverteilungen quergestreifter Muskeln klären. Es scheint, als ob jede Utriculus mascula den Tonus der gleichseitigen Arm- und Beinmuskeln beeinflußt, da nach einer einseitigen Labyrinth – bzw. Utriculusläsion der Muskeltonus der gleichseitigen Extremitäten abnimmt.

Die Praxis hat gezeigt, dass die Funktion des Vestibularapparates unter dem Einfluß gymnastischer, tänzerischer und sportlicher Tätigkeiten wesentlich verbessert werden kann. In diesem Zusammenhang hat man in den entsprechenden Abschnitten des zentralen Nervensystems eine Konzentration der Erregung konstatiert, bei gleichzeitigem Abnehmen der vegetativen und somatischen Reflexe, die bei der Erregung des Vestabularanalysators entstehen. Ist die Stabilität des Organismus gegenüber dem spezifischen Reiz des Vestibularapparates höher, dann sind meistens die vegetativen und somatischen (motorischen und sensorischen) Reflexe nicht so gut ausgeprägt.

In diesem Zusammenhang muß auch der kinästhetische Sinn erwähnt werden, der noch feiner reagiert und die Wahrnehmung der Stellung der Glieder, des Kopfes und des Rumpfes vermittelt und damit einen wesentlichen Beitrag für die Koordination von Bewegungen, die der Sehnen, der Muskeln und Knochen, der Bänder und Gelenke zu einem zweckmäßigen Ganzen vereinigt, wodurch erst die Stellung der Gelenke, die Dehnung der Muskeln usw. bewußt werden.

Es ist festzustellen, dass der kinästhetische Sinn den Vestibularapparat gut ergänzt, da die Kenntnis über die Stellung der Gelenke und Muskeln uns in die Lage versetzt, die Muskelkontraktionen zu beurteilen und dadurch wieder bei Bewegungs-fertigkeiten nur das erforderliche Mindestmaß an Kontraktionen zu verbrauchen.

Hörstrahlung und Zusammenwirken der gesamten Hirnrinde

Wie schon erwähnt, bildet die Hörstrahlung den letzten Abschnitt der Hörleitung, die ausgeht vom Corpus geniculatum internum und in der corticalen Hörsphäre des Gyrus temporalis transversus magnus endet. Die größte Ausdehnung hat sie erst in der HESCHLschen Windung, weil diese im Verhältnis zum inneren Kniehöcker einen größeren Durchmesser besitzt. Dieser fächerförmigen Entfaltung hat die Hörstrahlung auch den Namen „Hörmarklamelle“ zu verdanken.

Die Hörstrahlung breitet sich nicht – wie man bisher annahm – auf mehrere Abschnitte des Schläfenlappens aus, sondern sie beschränkt sich im wesentlichen auf die vordere Querwindung. Sie tritt auch nicht in medio-lateraler Richtung in die temporale Querwindung, sondern die Projektionsfasern lokalisieren sich in paralleler Anordnung gleichzeitig von vorn unten her in den Markraum der HESCHLschen Windung. In der Regel bleibt der caudale Abhang der temporalen Querwindung von Projektionsfasern frei. In diesem Zusammenhang ist noch zu bemerken, dass die vordere temporale Querwindung noch längere Assoziationssysteme mit dem Schläfenpol, mit dem Fuß der dritten Stirnwindung, der Insel, der hinteren Zentralwindung und der hinteren Querwindung unterhält.

Wie anfangs schon erwähnt, sind genaue Lokalisierungen der Musikaufnahmen im rechten und linken Schläfenlappen nicht objektiv zu beschreiben. Es wurde auch die Annahme formuliert, dass für ein „ganzheitliches Hören" die rechte Gehirnhälfte zuständig ist und für analytisches Hören die linke Gehirnsphäre (Schubert et al. 2000).

Auch eine andere Beschreibung sei möglich: Die Grobstruktur der Musik werde zunächst in der rechten Gehirnhemisphäre herausgearbeitet, dann erst erfolge eine mehr in Einzelheiten gehende Analyse in der linken Gehirnhälfte (Altenmüller 2002).

Zur Frage der Lokalisation wurde festgestellt, dass fast alle Gehirnregionen, die in der linken Hemisphäre für die Sprache zuständig sind, auf der rechten Seite – gleichermaßen spiegelbildlich – bei der Wahrnehmung von Musik erregt werden. Das gilt vornehmlich sowohl für das dem Broca-Areal entsprechende Areal in der vorderen rechten Gehirnhälfte als auch für die dem Wernicke-Areal gegen-überliegende rechte Gehirnregion im Schläfenlappen. Darüber hinaus haben weitere Forschungsarbeiten der Leipziger Forschungsgruppe gezeigt[10], dass bei der Wahrnehmung von Musik diejenigen Regionen in der linken Gehirnhälfte, die für die Sprache stehen, erregt sind – nur nicht so stark wie in den rechtsseitigen Arealen. Das zeigt, dass die übliche Annahme der Lokalisation von linker Gehirnhemisphäre für Sprache und rechter Gehirnhemisphäre für Musik nicht weiter aufrecht zu erhalten ist, und dass Sprache und Musik möglicherweise ähnlich verarbeitet werden (Petsche 1994). Es wird noch sehr viel Zeit vergehen bis eine präzise Lokalisation der Musik- und Sprachareale erforscht ist, eine Forschung, die in den 40er Jahren des letzten Jahrhunderts begann und noch nicht abgeschlossen ist (Bailey et al. 1943; Sugar et al. 1948).

Die Umsetzung in motorische Bewegungen

Als motorisches Rindenfeld wird in der Hauptsache der Gyrus praecentralis angesehen, der in zwei architektonisch verschiedene Felder (Area 4 und 6) zerfällt und eine somatotopische Gliederung aufweist. Diese Gliederung ist so angeordnet, dass jede Körperhälfte, wenn man sie auf den Kopf stellen würde, der vorderen Zentralwindung entspricht. Der untere Teil der Zentralwindung ist für Kopf- und Halsmuskeln, der mittlere Teil für die oberen Extremitäten und der obere Teil der Zentralwindung für die Rumpf- und Beinmuskeln verantwortlich. Hier entstehen also die willkürlichen Bewegungsimpulse, die über die Pyramidenbahn abgeleitet werden.

[10] S.a.a.O.

Weitere motorische Bezirke in der Großhirnrinde sind: die an die vordere Zentralwindung grenzende obere und mittlere Stirnwindung, die hintere Zentralwindung und der obere Scheitellappen bis zum Sulcus parietooccipitalis. Die von hier ausgehenden Impulse werden nicht über die Pyramidenbahn direkt zu den motorischen Wurzelzellen des Rückenmarkes abgeleitet, sondern ziehen durch subcorticale Zentren (Pallidum, Thalamus, Substantia nigra, Nucleus ruber und Brückenkerne).

Neben dem „Pyramidenfeld" und der Areae extrapyramidales sind in der Großhirnrinde noch untergeordnete sekundäre motorische Zentren zu finden, die bestimmte Erinnerungsbilder für Bewegungsgewohnheiten festhalten („kinästhetische Erinnerungsbilder" oder Bewegungsentwürfe). Zu der Faserverbindung der praecentralen motorischen Zentren ist zu sagen, dass sie sehr vielseitig ist. Die motorischen Felder bekommen sowohl durch intercorticale afferente Fasern von anderen Arealen wie auch durch afferente Fasern von subcorticalen Zentren Impulse. Neben den thalamocorticalen Fasern und den afferenten Fasern aus subcorticalen Zentren, sind die intercorticalen afferenten Fasern von großer Wichtigkeit. Die Tatsache, dass die primäre Hörrinde die Felder 21 und 22, insbesondere aber Area 8 innerviert, zeigt deutlich, dass zwischen diesen Abschnitten der Großhirnrinde vielseitige Assoziationsmöglichkeiten vorhanden sind. Für unser Thema ist die Verbindung der Hörrinde mit dem motorischen Feld 8 hervorzuheben. Schon Pawlow behauptete „[…] die kinästhetischen Rindenzellen können mit allen Zellen der Rinde, sowohl den Vertretern aller äußeren Einwirkungen als auch aller möglichen inneren Prozesse des Organismus in Verbindung gebracht werden, und sie stehen auch tatsächlich in Verbindung"[11].

Bei der Ausführung von Bewegungsfertigkeiten ist in der Hauptsache die quergestreifte Muskulatur des Skelettes beteiligt. Diese kann ihre Arbeit nur dann ausführen, wenn gewisse Körperorgane (Effektoren) durch nervale Erregungen in Tätigkeit versetzt werden. Im allgemeinen teilt man die Effektoren in Entereffektoren und Extereffektoren ein, wobei es sich bei den letzteren hauptsächlich um die Muskelgruppen der Extremitäten, des Rumpfes und des Halses handelt.

Jeder quergestreifte Muskel besitzt eine Eigenerregbarkeit; der Impuls muß also von der motorischen Endplatte auf den Muskel übertragen werden. Im allgemeinen ist man der Auffassung, dass die Endplatte eine Sonderform der Synapse bildet, da durch Anbringung von Reiz- und Ableitelektroden ähnliche elektro-chemiko-physiologische Erscheinungen auftreten wie in der Neurosynapse. Die Endplatte teilt einen Reiz, den sie von den motorischen Zentren des Cortex

[11] Zitiert bei A.N. Krestownikow – Sportärztetagung in Leipzig, 1953.

zugeleitet bekommt über die Pyramidenbahn durch das Gehirn, das Rückenmark und die motorischen Vorderhörner zu dem entsprechenden efferenten Nerv mit.

Über Bewegungskoordination

In der sportpädagogischen Praxis und beim Erlernen eines Musikinstrumentes, sowie bei der Ausführung tänzerischer Bewegungen u.a.m. bezieht sich der Koordinationsbegriff auf Bewegungsphasen oder Teilhandlungen, um eine geordnete Verbindung zwischen dem Zentralnervensystem und der Muskulatur zu erreichen.

Bewegungsphasen liegen im Bewegungsrhythmus vor, wenn z.B. beim Tanzen (Arme, Beine, Rumpf, Kopf) oder beim Orgelspiel (Finger, Arme, Beine) die Teilbewegungen miteinander koordinieren. Zu den kinematisch bedingten Freiheitsgraden[12] kommt zum koordinierenden motorischen Akt noch ein weiterer Faktor hinzu, der die Bewegung und deren Steuerbarkeit noch komplizierter macht: die Elastizität der Muskeln, Sehnen und Bänder.

Für die motorische Koordination sind hauptsächlich fünf Analysatoren verantwortlich: der kinästhetische, der taktile, der statico-dynamische (Vestibularapparat), der optische und der akustische Analysator. Der kinästhetische und der statico-dynamische Analysator werden zum inneren Regelkreis, die drei anderen Analysatoren zum äußeren Regelkreis der Motorik gezählt. Im inneren Kreis verläuft der Informationsweg ausschließlich innerhalb des Organismus, während beim äußeren Kreis auch teilweise außerhalb der Informationswege dominiert. Je nach Bewegungsablauf und Bewegungsstruktur haben die fünf Analysatoren sehr unterschiedliche Anteile an den Informationen.

Bei der führenden Rolle des Bewegungsanalysators verringert sich nicht die Bedeutung der anderen Analysatoren. Die Forschungen haben gezeigt, dass die Ausführung einer komplizierten Bewegungsaktion – in Verbindung mit Musik – das Vorhandensein einer optimalen Erregbarkeit a l l e r Analysatoren nötig macht und dass sich im Verlauf dieser Aktion der bedingten Reflexe ein „komplexer“ Analysator bildet. Diesen komplizierten, komplexen Analysator kann man nicht von dem Mechanismus der Bewegungsfertigkeiten trennen, denn er stellt den afferenten Abschnitt des dynamischen Stereotyps dar.

Aus dem bisher Gesagten geht hervor, wie kompliziert und vielschichtig Bewegungskoordinationen sind, wenn sehr verschiedene Nervenzentren zusam-

[12] Beim motorischen Akt muß eine große Anzahl von Freiheitsgraden beherrscht werden. Für die Ganzkörperbewegung werden 240 Freiheitsgrade benötigt, die aus den Freiheitsgraden des Gelenksystems resultieren. Allein für die Armbewegung ergeben sich 30 Freiheitsgrade.

menwirken. Aus der Bewegungslehre ist uns bekannt (Meinel / Schnabel 2004), dass die Bewegungskoordination als Regulation der Bewegungstätigkeit viele Stufen durchläuft, da außer den eng umrissenen Organen und anatomischen Strukturen auch andere Faktoren eine Rolle spielen: Handlungsziele, Programmierung, Antizipation, Steuerung-Regelung (efferente Impulsgebung), motorisches Gedächtnis, Rückmeldung, Afferenzsynthese, Korrektur und äußere und innere Einflüsse.

Daraus kann man schließen, dass die Bewegung nach Musik bestimmte Analysatoren bevorzugt, die dann durch ihre Wechselbeziehungen an der Entstehung des „rhythmischen Gefühls" maßgeblich beteiligt sind.

Schlußbemerkungen

Die hier besprochenen Ablaufbedingungen der Wechselbeziehungen von Musik und Bewegung können als objektive Mindestbedingungen bezeichnet werden. Dieser Versuch einer psycho-physiologischen Begründung der Bewegung nach Musik läßt noch viele Fragen offen. Man könnte z.B. untersuchen, welche Bewegungs-vorstellungen bzw. Bewegungsbilder beim Hören von Musik sich bilden. Außerdem müßte man die Bedeutung der Musik beim Erlernen der Bewegungsfertigkeiten berücksichtigen und die Entwicklung des Konzentrationsvermögens untersuchen, die bei bestimmten Altersstufen der Menschen eine große Rolle spielen. Weiter wäre zu klären, ob der körperliche Rhythmus angeboren und der Takt erlernbar ist.

Weitere Untersuchungen der funktionellen Kernspintomographie müssen ergeben, dass Melodie- und Harmoniewahrnehmungen objektiv in der rechten Hemisphäre stattfinden, die genaue Analyse der Zeitstruktur, einschließlich des Rhythmus, in der linken Hemisphäre (Max-Planck-Institute 2001).

Eines scheint sicher, dass die Musikwahrnehmung im Wesentlichen genetisch gesteuerte Fertigkeiten des Menschen ist: alle gesunden Menschen können Musik wahrnehmen und reagieren auf die wichtigsten Eigenschaften der Musik mit bestimmten psychischen und motorischen Reaktionen.

Trotzdem bleiben noch viele Fragen offen. Als **Fazit** sei deshalb zu konstatieren, dass die Forschungsergebnisse der Anatomie und Physiologie der höheren Nerventätigkeit seit etwa 1928 bis heute, also seit ca. 80 Jahren, ihre Gültigkeit nicht verloren haben. Alle Wissenschaftler, die auf diesem Gebiet geforscht haben und in kleinen Schritten sehr viele Teilergebnisse erzielten, sind nicht vergessen; ihre Ergebnisse sind heute noch gültig und können als Grundlage für weitere Forschungen dienen.

Streszczenie

O wzajemnych psycho-fizjologicznych związkach muzyki i ruchu

Artykuł ukazuje wzajemne oddziaływanie na siebie muzyki i różnych form ruchu, ich wpływ na motorykę i koordynację ruchową człowieka, a także na niektóre organy ludzkiego organizmu, w tym przede wszystkim na korę mózgową i aparat słuchu.

Słowa kluczowe: muzyka, wychowanie fizyczne, sport, ruch

Summary

The Mutual Psycho-physiological Relationship of music and movement

The article presents the mutual interaction of music and various forms of movement, their effects on motility of human and physical coordination, and also some organs of the human body, including in particular the cerebral cortex and the hearing aid.

Keywords: music, physical education, sport, exercise

Literaturnachweis

Altenmüller E. (2002), *Musik im Kopf*, [in:] Gehirn und Geist.

Altenmüller E. et al. (2000), *Neuronale Grundlagen der Verarbeitung musikalischer Zeitstrukturen*, [in:] Rhythmus.

Bailey, Bonin, Garol, Mc Gulloch (1943), *Functional Organization of the Temporal Lobe of Monkey and Chimpanzee*, J. Neurophysiol. 6.

Blischke K., Munzert J. (2003), *Antizipation und Automatisation*, [in:] Mechlin H. / Munzert J. (Hrsg.), *Handbuch Bewegungswissenschaft – Bewegungslehre*.

Gottschick J. (1955), *Die Leistung des Nervensystems*.

Hirshkowitz M. et al. (1978), *EEG Alpha Asymmetry in Musicians and Non-Musicians*, [in:] *A Study of Hemispheric Specialization*, [in:] Neuropsychologia 3.

Komauer B. (1952/6), *Die Beziehungen zwischen Musik und Bewegung*, [in:] Leibesübungen und Leibeserziehung.

Krestownikow A.N. (1953), *Physiologie der Körperübungen*.

Langelüdde A. (1928), *Rhythmus und Takt bei Gesunden und Geisteskranken*, [in:] Zeitschrift für die gesamte Neurologie und Psychiatrie, Bd. 113.

Lotze M. et al. (2003), *The Musicians' Brain: Functional Imaging of Amateurs and Professionals during Performance and Imagery*, [in:] Neuromage 20.

Max Planck Institute of Cognitive Neuroscience (2001, Presseinformation), *Harmonie im Hirn – jeder ist musikalisch*.

Meinel K., Schnabel G. (2004), *Bewegungslehre – Sportmotorik*.

Pawlow I.P. (1953), *Sämtl. Werke*, Bd. II/2.

Peretz I., Babai M. (1992), *The Role of Contour and Intervals in the Recognition of Melody Parts: Evidence from Cerebral Asymmetries in Musicians*, [in:] Neuropsychologia 30.

Petsche M. (1994), *The EEG While Listening to Music*, [in:] EEG-EMG-Zeitschrift.

Schürmann K. et al. (2003), *Musik und Emotion, Hemisphärenasymmetrie bei affektiver Verarbeitung auditiver Reize*.

Sugar, French, Chasid (1948), *Cortico-Cortical Connection of the Superior Surface of the Temporal Operculum in the Monkey*, [in:] Neuropsycholog. II.

Truslit A. (1950/1), *Musik und Bewegung*, [in:] Schweiz. Musikzeitung.

Vingerhoets G. et al. (2003), *Cerebral Hemodynamics During Discrimination of Prosodic and Semantic Emotion in Speech Studied by Transcranial Doppler Ultrasonography*, in: Neuropsychology 1.