



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

Binaural Beats

Verfasser

Sebastian Rossböck

angestrebter akademischer Grad

Magister der Philosophie (Mag.phil.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 316

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Musikwissenschaft

Betreuer:

Univ. - Prof. Dr. Christoph Reuter

Inhaltsverzeichnis	S.1
1. Einleitung	S.3
2. physikalische Grundlagen	S.4
2.1 Schallerzeugung.....	S.4
2.2 Frequenz.....	S.5
2.3 Schallausbreitung.....	S.5
2.4 Wellenlänge.....	S.6
2.5 Lautstärke.....	S.7
2.6 Schwebung.....	S.8
3. Gehör und die Wahrnehmung von Schall	S.10
3.1 Außenohr.....	S.11
3.2 Mittelohr.....	S.11
3.3 Innenohr.....	S.13
3.4 Hörbahn.....	S.16
3.5 Lokalisation.....	S.19
4. Binaural Beats	S.21
4.1 Geschichte.....	S.21
4.2 Physiologie.....	S.23
4.3 Hörbereich.....	S.24
4.4 Geschlechterunterschiede.....	S.25
4.5 Neuronale Forschung und Elektroenzephalographie (EEG).....	S.27
4.5.1 Akustisch evozierte Potentiale.....	S.28
4.5.2 Frühe akustisch evozierte Potentiale.....	S.28
4.5.3 Auditory Steady State Response.....	S.29
4.5.4 Frequency Following Response.....	S.29
4.6 Reaktionen des Gehirns auf binaurale Beats.....	S.29
4.6.1 ASSR auf monaurale und binaurale Beats.....	S.30
4.6.2 Neuromagnetische Antworten auf binaurale Beats.....	S.30
4.6.3 Messbare evozierte Gehirnaktivität.....	S.30
4.6.4 Ursprung im Gehirn.....	S.31
4.6.5 Unterschied zwischen akustischen und binauralen Beats.....	S.32

4.6.6 Entrainment.....	S.32
4.6.7 Entrainment und binaurale Beats.....	S.33
5. Binaural Beats und Effekte auf das Bewusstsein.....	S.34
5.1 Psychologische und physiologische Studien.....	S.35
5.2 Binaural auditory beats affect vigilance performance and mood.....	S.36
5.3 Binaural beat induced theta EEG activity and hypnotic susceptibility.....	S.38
5.4 Binaural beat audio and pre-operative anxiety.....	S.42
5.5 Binaural beat technology in humans.....	S.44
5.6 Tinntrain.....	S.46
6. Pseudowissenschaft und Audiodrogen.....	S.47
6.1 unbestätigte Behauptungen.....	S.47
6.2 High durch binaurale Beats.....	S.50
7. Diskussion.....	S.51
8. Literatur.....	S.54
Abstract.....	S.59
Lebenslauf.....	S.60

1. Einleitung

Wenn den Ohren über Kopfhörer separat zwei Töne vorgespielt werden, deren Frequenzen sich um maximal 30 Hz unterscheiden, nimmt man nur einen Ton wahr, dessen Lautstärke mit der Rate des Frequenzunterschiedes moduliert. Diese pulsierenden Töne, die so entstehen, nennt man binaurale Beats (Oster 1973, S. 94). Übersetzt würde dies beidohrige Schwebung heißen, aber auch im deutschen Sprachgebrauch scheint die englische Bezeichnung am gebräuchlichsten zu sein.

Im Unterschied zu akustischen Schwebungen, die durch Interferenz von zwei Schallwellen auftreten, entstehen binaurale Beats im Gehirn durch die Interaktion der Nervensignale der Hörbahn. Dies geschieht wahrscheinlich in den Olivenkernen, die auch für Lokalisation zuständig sind (ebd. S. 98f).

Dieses Phänomen wurde erstmals 1839 von Heinrich Wilhelm Dove bemerkt, wurde aber lange Zeit nur als Sonderform der normalen Schwebung betrachtet (Dove 1839).

Das Interesse an binauralen Beats steigerte sich, nachdem Gerald Oster in einem Artikel die bisherige Forschung zusammenfasste und eigene Ergebnisse publizierte, die auf die klinischen Möglichkeiten von binauralen Beats hindeuteten (Oster 1973).

So sind binaurale Beats für die Neurologie interessant, da man durch sie ein weiteres Werkzeug hat, um die neuronale Verarbeitung von Schallwellen zu untersuchen (Schwarz, Taylor 2005, S. 667). Auf der anderen Seite sind binaurale Beats auch im Fokus der Esoterik und Alternativmedizin, da Stimulation durch diese Töne die Gehirnwellen beeinflussen kann und man dadurch mutmaßlich den Bewusstseinszustand verändert (Atwater 1997, S. 13f.).

Die Forschung ist in diesem Bereich noch nicht weit fortgeschritten und von vielen Seiten werden binauralen Beats Effekte zugeschrieben, die wissenschaftlich keineswegs belegt sind. Vor allem über das Internet werden Audiodateien angeboten, die mit binauralen Beats unterlegt sind und deren Konsum von Entspannung bis hin zu Rauschzuständen verhelfen soll (zB. www.i-doser.com).

Es ist fraglich, welche Effekte binaurale Beats auf unser Gehirn und unser Bewusstsein ausüben und in welcher Weise man sie einsetzen kann.

2. physikalische Grundlagen

2.1. Schallerzeugung:

Schall entsteht durch Vibration. Wenn ein Objekt sich kontinuierlich von einem Punkt zum anderen und zurück bewegt vibriert es. Wenn diese Vibration über die Luft übertragen wird und wir sie wahrnehmen handelt es sich um Schall (Yost 2007, S. 11). Die Vibrationen können ein sich wiederholendes Muster bilden oder komplett zufällig sein. Im ersten Fall spricht man von Klängen, im zweiten von Geräuschen (Hall 2008, S. 19). Die simpelste Schwingung, die man kennt, ist die Sinuswelle oder einfache harmonische Schwingung. Sie beschreibt eine bestimmte Auslenkung eines Körpers in Abhängigkeit von der Zeit, bei der sich ein Körper kontinuierlich zwischen einer maximalen und minimalen Auslenkung hin und her bewegt (Yost 2007, S. 13). Diese Auslenkung wird Amplitude(A) genannt. Es gibt die Spitzenamplitude, die die maximale positive Auslenkung beschreibt, den Spitze-Spitze-Wert, der die Distanz von der maximalen positiven Auslenkung bis zur maximalen negativen Auslenkung beschreibt und die RMS Amplitude(ebd, S.17f.). RMS steht für root mean square, was den quadratischen Mittelwert aller Amplituden einer Periode bezeichnet.

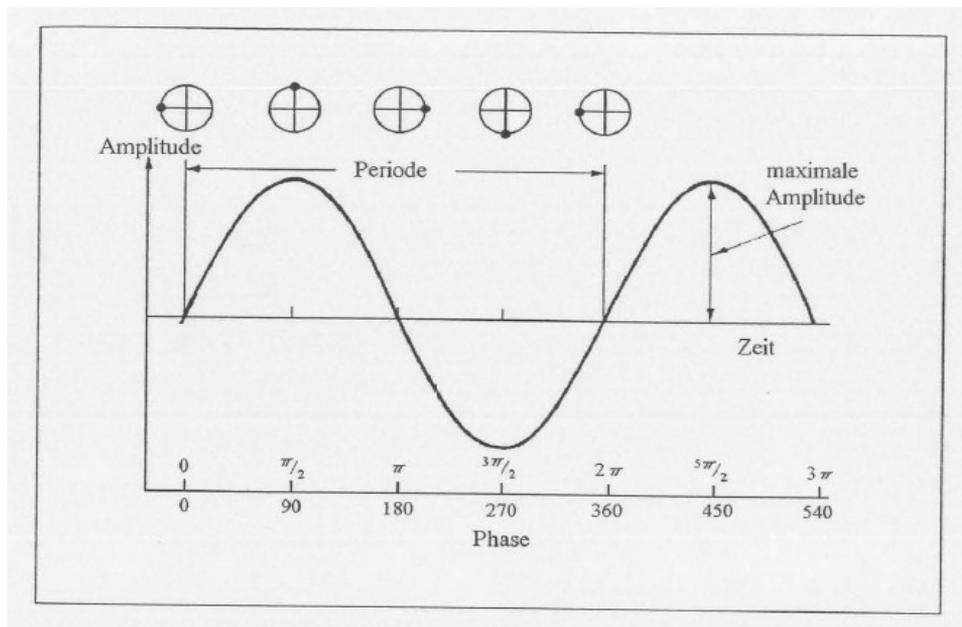


Abb.1 Sinuswelle (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 57)

Die Sinusschwingung ist eine periodische Welle. Das bedeutet, dass sich dieses Wellenmuster regelmäßig wiederholt. Mit dem Wort Periode beschreibt man die Dauer bis ein Zyklus (eine Schwingung) abgeschlossen ist und das Muster sich zu wiederholen beginnt (Roederer 2000, S. 21).

2.2 Frequenz

Die Frequenz, gemessen in der Einheit Hz (Hertz), beschreibt die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde. Wenn eine Schwingung sich also 1000 mal in einer Sekunde wiederholt hat sie eine Frequenz von 1000Hz.

Da die Periode die Dauer einer Schwingung (in Sekunden) beschreibt und die Frequenz die Anzahl der Schwingungen pro Sekunde, besteht zwischen den beiden das Verhältnis: $f = 1/P$ (Roederer 2000, S. 26)

Der wahrnehmbar Schall reicht von etwa 20Hz bis zu 20000Hz. Die Fähigkeit hohe Töne wahrzunehmen verschlechtert sich allerdings mit dem Alter, so liegen die Obergrenzen für Frauen im Pensionsalter bei ca. 12000 Hz und bei Männern bei ca. 5000Hz (Hall, 2008. S.110). Weitere Ursachen für Hörverlust sind Infektionen, Medikamente, hohe Schallbelastung, ein Schalltrauma oder eine Kombination dieser Ursachen (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 181f).

2.3 Schallausbreitung

Wenn ein Körper vibriert versetzt er damit auch die Luft um sich herum in Schwingung. Luftmoleküle stoßen an andere Luftmoleküle und bringen diese dadurch auch zum Schwingen. Diese Reaktion setzt sich fort und erzeugt Schwankungen im Luftdruck. Dabei bewegen sich die Teilchen nur geringfügig von ihrer Ausgangsposition weg und wieder zurück. Dadurch entstehen Verdichtungs- und Verdünnungsgebiete im Luftdruck, die das Trommelfell zum Vibrieren bringen, was man in weiterer Folge als Schall wahrnimmt (Yost 2007, S. 21). Luft ist nicht das einzige Medium das Schall übertragen kann. Schwingungen können genauso gut durch flüssige Materialien wie Wasser, oder feste wie Metall übertragen werden (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 54).

Ein anschaulicher Vergleich für die Schallübertragung sind die Wellen, die entstehen, wenn man einen Stein in ein Gewässer wirft. Man kann sehen, wie sich diese Wellen vom Eintrittspunkt des Steins von diesem entfernen. Das Wasser selbst bewegt sich allerdings nicht, sondern es ist die Wellenform, die sich fortbewegt (Hall 2008, S. 25). Bei der Ausbreitung von Schall passiert etwas ähnliches, mit dem Unterschied, dass Schall sich als Longitudinalwelle (Längswelle) überträgt. Das bedeutet, dass sich die Luftmoleküle entlang der Ausbreitungsrichtung vor- und zurückbewegen (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 60).

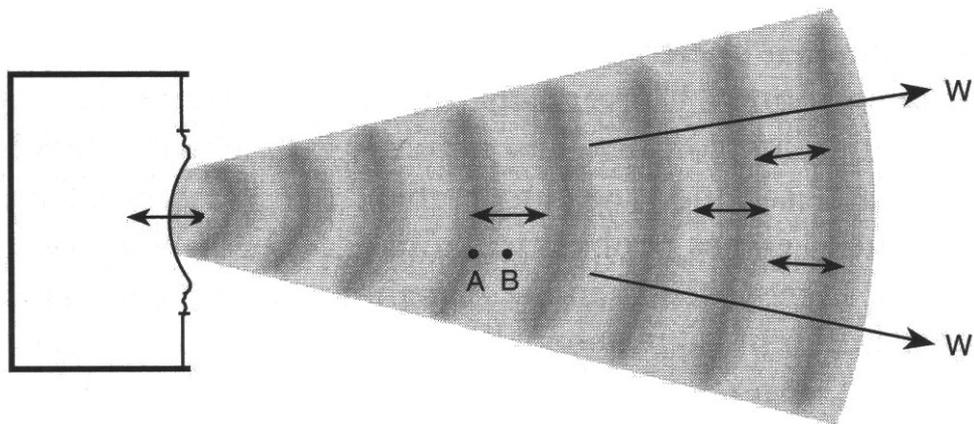


Abb.2 Schallausbreitung Longitudinalwellen (Hall 2008, S. 22)

Die dunkelgrauen Bereiche in der obigen Abbildung stehen für Gebiete mit einer hohen Dichte an Luftmolekülen, wodurch ein höherer Luftdruck entsteht. In den hellen Bereichen ist es genau umgekehrt.

2.4 Wellenlänge

λ (Lambda) bezeichnet die Wellenlänge von Schall, also den Abstand zwischen zwei Wellenhügeln (bei einer einfachen Schwingung). Die Wellenlänge wird von der Frequenz und der Schallgeschwindigkeit beeinflusst. Je schneller ein Objekt schwingt desto kürzer ist die Wellenlänge und umgekehrt. Wenn die Geschwindigkeit, mit der

sich die Wellen ausbreiten geringer ist sind die Wellenhügel näher beisammen und dadurch ist auch die Wellenlänge kürzer. Mit steigender Schallgeschwindigkeit wird auch die Wellenlänge größer (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 60).

Wellenlänge(λ), Frequenz(f) und Schallgeschwindigkeit(v) stehen in enger Beziehung zueinander:

$$v = f \cdot \lambda$$

Die Schallgeschwindigkeit ist abhängig von der Temperatur und beträgt ca. $v_T = 332 + (0.6 \cdot T_{\text{Celsius}}) \text{ m/s}$ (Hall 2008, S. 32.).

2.5 Lautstärke

Die Lautstärke von Schall wird über die Druckamplitude oder die Schallintensität gemessen. Durch die Intensität(I) wird angegeben wieviel Energie auf eine Fläche pro Sekunde wirkt. Die Einheit für Intensität ist Watt/m².

Es ist jedoch gebräuchlicher Lautstärke über die Druckamplitude zu definieren. Der Luftdruck, dem wir zu jeder Zeit ausgesetzt sind, beträgt (auf Meereshöhe) ca. 100000 Pa¹ (Röderer 2008, S. 78.). Die Hörschwelle ab der man Schall wahrnehmen kann liegt bei 0,00002 Pa, der größte erträgliche Schalldruck 20 Pa, bei einer Frequenz von 1000Hz. Da die Spannbreite zwischen diesen 2 Werten sehr groß ist benutzt man für die Beschreibung des Schalldruckpegels die Einheit Dezibel (dB), die nach Graham Bell dem Erfinder des Telephons benannt wurde.

Die Formel für den Schalldruckpegel(L_p) lautet:

$$L_p = 20 \cdot \log(p / p_0)$$

Mit dieser Formel bezeichnet man keinen absoluten Wert, sondern das 20fache Verhältnis des gemessen Schalls zu dem Referenzwert p_0 . Dieser Wert beträgt 0,00002 Pa und wurde durch Experimente 1930er Jahren als Hörschwelle festgelegt (Yost 2007, S. 25f.). In dB sind die beiden Grenzwerte nun 0dB (Hörschwelle) und 120dB (Schmerzschwelle). Eine Anhebung des Schalldruckpegels um 20dB bedeutet also, dass sich der Schalldruck verzehnfacht (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 67).

¹ Pascal, 1 Pa = 1 N/m²

2.6. Schwebung

Wenn zwei Wellen überlagert werden spricht man von Interferenz. Ihre Amplituden werden addiert und daraus können sich konstruktive oder destruktive Interferenzen ergeben.

Wenn zwei einfache harmonische Schwingungen mit der gleichen Frequenz und gleicher Phase zusammen erklingen werden ihre Amplituden addiert und man hört einen Ton dessen Amplitude der Summe der beiden einzelnen Wellen entspricht. Man nennt das konstruktive Interferenz. Wenn nun die Phase um eine halbe Periode verschoben ist treffen die Wellenhügel der ersten Wellen mit den Wellentälern der zweiten Welle aufeinander und die beiden Schwingungen löschen sich aus (Roederer 2000, S. 34ff).

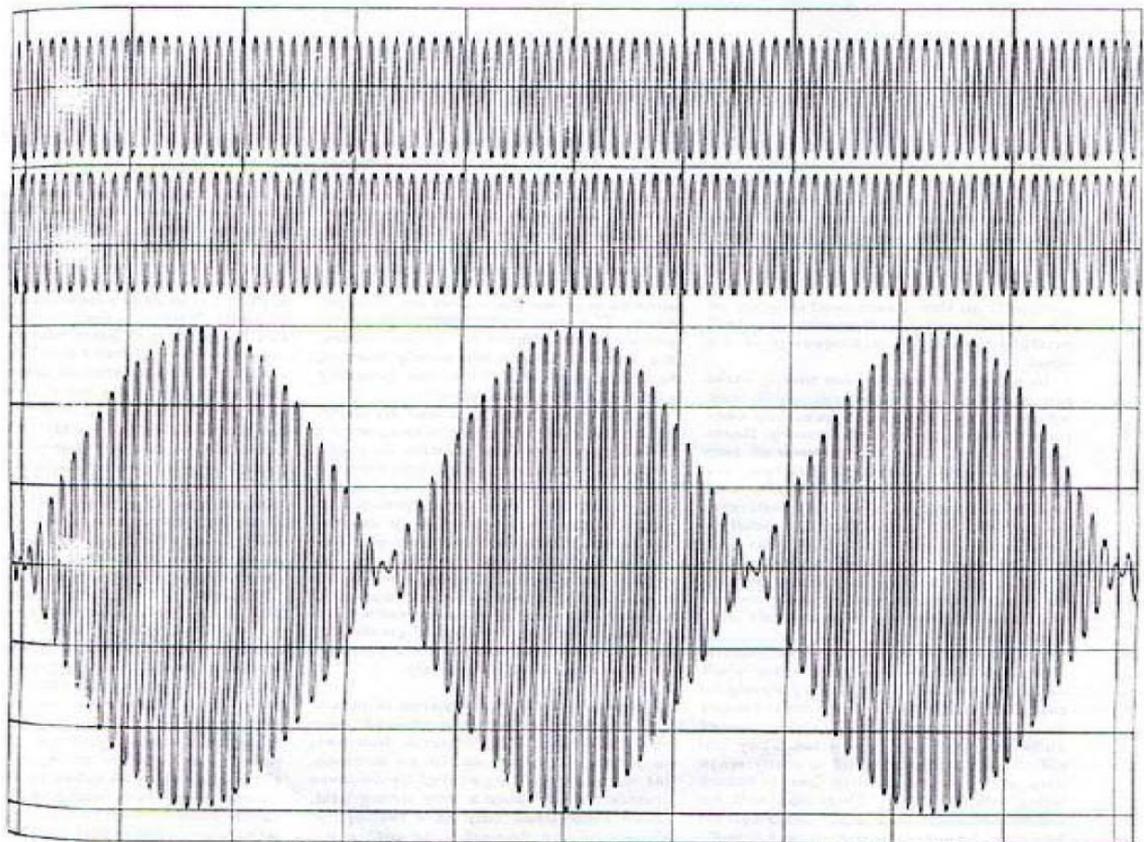


Abb.3 pos.dest.Interferenz und Schwebung (Oster 1973, S. 95)

Wenn die Frequenzen von zwei Tönen sich nur wenig unterscheiden nimmt man einen Ton wahr, dessen Tonhöhe dem Mittelwert der beiden Frequenzen entspricht. Dazu hört man eine Amplitudenschwankung, die als Schwebung bezeichnet wird. Die Frequenz, mit der die Amplitude moduliert wird, entspricht der Differenz der beiden Frequenzen. Wenn nun $f_1=400\text{Hz}$ und $f_2=410\text{Hz}$ sind erklingt ein Ton mit $f_\Delta=405\text{Hz}$ und einer Schwebungsfrequenz von 10Hz .

Wenn die Schwebungsfrequenz ca. 15Hz übersteigt (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 125) fängt man an die Schwebung nicht mehr als Amplitudenmodulation wahrzunehmen, sondern als eine Art Brummen, das als Rauigkeit bezeichnet wird. Wenn der Frequenzabstand weiter gesteigert wird nimmt man langsam 2 getrennte Töne wahr (ebd).

3. Das Gehör und die Wahrnehmung von Schall

Durch das Gehör ist man in der Lage Druckschwankungen um uns herum zu interpretieren und als Geräusche, Musik oder Sprache wahrzunehmen. Der menschliche Gehörapparat besteht aus dem Außen-, Mittel- und Innenohr sowie der Hörbahn. Die mechanischen Schwingungen in der Luft werden von unserem Gehör in das Gehirn übertragen, wodurch wir sie bewusst als Schall wahrnehmen.

Gross division	Outer ear	Middle ear	Inner ear	Central auditory nervous system
Anatomy	<p>The diagram illustrates the human ear in cross-section. The Outer ear includes the pinna, external auditory canal, and external auditory meatus. The Middle ear contains the malleus, incus, and stapes, along with the eardrum and eustachian tube. The Inner ear features the vestibule, semicircular canals, cochlea, and round window. The Central auditory nervous system is represented by the vestibular n., cochlear n., and internal auditory canal. The facial n. is also shown.</p>			
Mode of operation	<i>Air vibration</i>	<i>Mechanical vibration</i>	<i>Mechanical, Hydrodynamic, Electrochemical</i>	<i>Electrochemical</i>
Function	<i>Protection, Amplification, Localization</i>	<i>Impedance matching, Selective oval window stimulation, Pressure equalization</i>	<i>Filtering distribution, Transduction</i>	<i>Information processing</i>

Abb.4. Außen-, Mittel- und Innenohr (Yost 2007, S. 68).

3.1 Außenohr

Mit Außenohr bezeichnet man die Ohrmuschel und den Gehörgang, es reicht bis zum Trommelfell, wo das Mittelohr anfängt (Yost 2007, S. 69f.).

Durch den Gehörgang ist das empfindliche Trommelfell vor äußeren Einflüssen geschützt und die Ohrmuschel wirkt als frequenzabhängiger Trichter, durch den Schallwellen auf das Trommelfell gerichtet werden. Zusätzlich beeinflussen auch unsere Kopfform, unser Körper und im speziellen der Gehörgang das Spektrum, das auf unser Trommelfell trifft (ebd, S. 71ff).

Der Gehörgang hat eine durchschnittliche Länge von ca. 2,3cm (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 91) wodurch eine Resonanz bei Frequenzen von ca. 2000-4000Hz (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 98) entsteht und dadurch die wahrgenommene Lautstärke erhöht wird. Gerade in diesem Frequenzbereich ist unser Gehör besonders empfindlich.

3.2 Mittelohr

Die Grenze zwischen Außen- und Mittelohr ist das Trommelfell. Es ist eine ca. 55-90mm² große Membran (Yost 2007, S. 69), die durch den eintreffenden Schall in Schwingung versetzt wird. Hinter dem Trommelfell ist die Paukenhöhle, in der sich die Gehörknöchelchen befinden. Der Hammer (Malleus) ist direkt mit dem Trommelfell verbunden und überträgt die Schwingungen über den Amboss (Incus) auf den Steigbügel (Stapes), der wiederum das Signal über das ovale Fenster an das Innenohr weiterleitet (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 92f.). Außerdem befindet sich die Eustachische Röhre im Mittelohr, die dafür sorgt, dass der Druck in der Paukenhöhle dem Außendruck entspricht (ebd). Ohne diesen Druckausgleich ist das Trommelfell in seiner Funktion behindert, was eine Hörminderung bedeutet und zusätzlich können Schmerzen entstehen, wenn das Trommelfell durch den Druck gedehnt wird (Yost 2007, S. 75).

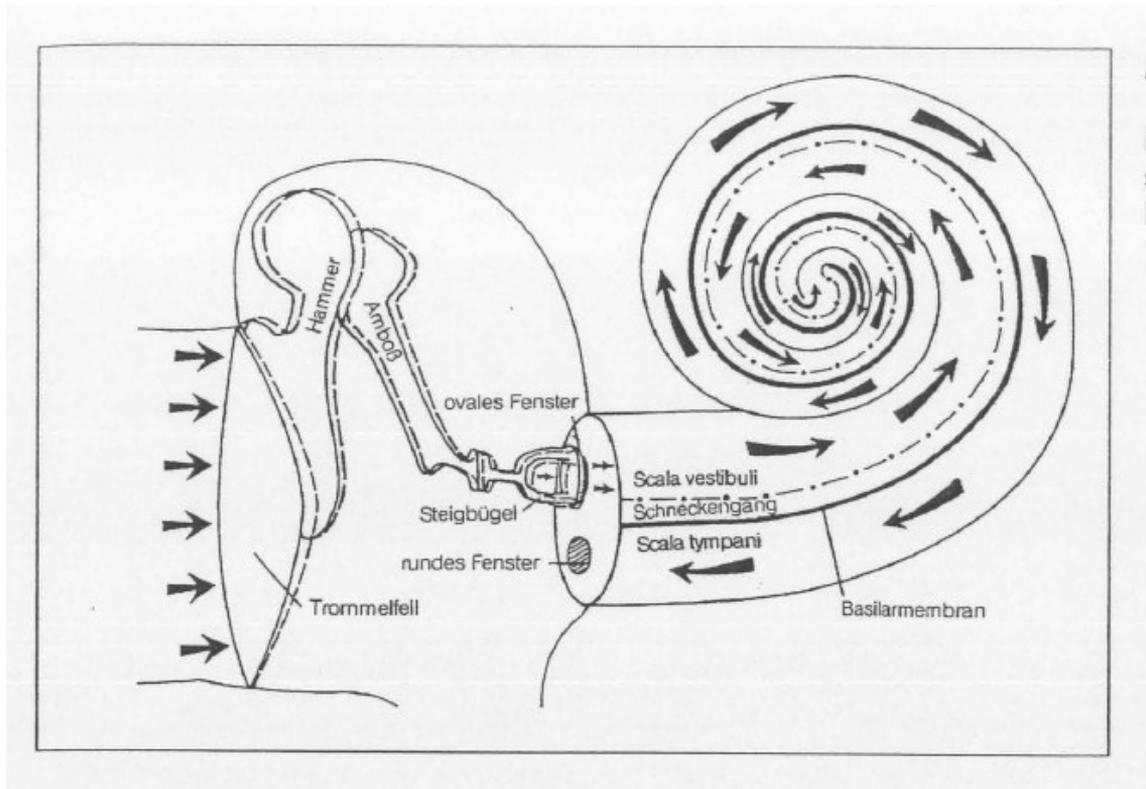


Abb. 5. Mittelohr und Ohrschnecke, (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 93)

Die Hauptaufgabe des Mittelohres ist es den Schall in das Innenohr weiterzuleiten. Die Hörschnecke (Cochlea) des Innenohres ist mit einer Flüssigkeit gefüllt. Da diese Flüssigkeit einen höheren Widerstand hat, sind die Druckschwankungen in der Luft nicht ausreichend, um das Signal effektiv in das Innenohr weiterzuleiten (Yost 2007, S. 75). Durch die Gehörknöchelchen wird der Druck, der auf die relativ große Fläche des Trommelfells wirkt, auf eine viel kleinere Fläche des Steigbügels übertragen. Durch die Verkleinerung der Fläche wird der Druck erhöht¹. Nur etwas zwei Drittel des Trommelfells sind fest mit dem Hammer verbunden, was einer Oberfläche von ca. 55mm² entspricht (ebd, S. 76). Die Steigbügel Fußplatte, die mit dem ovalen Fenster verbunden ist, hat eine Fläche von ca. 3,2mm² (ebd). Der Druckanstieg ist also im Verhältnis dieser beiden Oberflächen und entspricht $55\text{mm}^2/3,2\text{mm}^2 \approx 17$ (ebd). Hinzu kommt die Hebelwirkung von Hammer und Amboss, die den Druck nochmal um den Faktor 1,3 erhöht und zusätzlich wölbt sich das Trommelfell wenn es sich bewegt, was

¹ Druck=Kraft/Fläche

dazu führt, dass der Hammer sich mit der doppelten Kraft bewegt (ebd).

Eine weitere Aufgabe des Mittelohres ist es durch den sogenannten Stapediusreflex das Innenohr vor zu lauten Schalldruckpegeln zu schützen. Wenn der Schalldruckpegel 80dB überschreitet kontrahiert sich der Steigbügelmuskel (Musculus Stapedius). Dadurch wird die Verbindung des Steigbügels mit dem ovalen Fenster verschlechtert, sodass der Druck nicht mehr vollständig übertragen wird. So kann der Schall um bis zu 20dB gedämpft werden. Dieser Schutz ist allerdings etwas eingeschränkt, da er nur unter 2000Hz wirkt und nicht vor lauten Knallen schützt, da der Muskel, um vollständig zu kontrahieren, etwa 100-200 ms benötigt (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 99).

3.3 Innenohr

Allgemein gesprochen werden im Innenohr die Bewegungen, die der Steigbügel auf das ovale Fenster ausübt, durch Haarzellen in Nervenimpulse umgewandelt und dann über den Hörnerv an das Gehirn weitergeleitet (Yost 2007, S. 83).

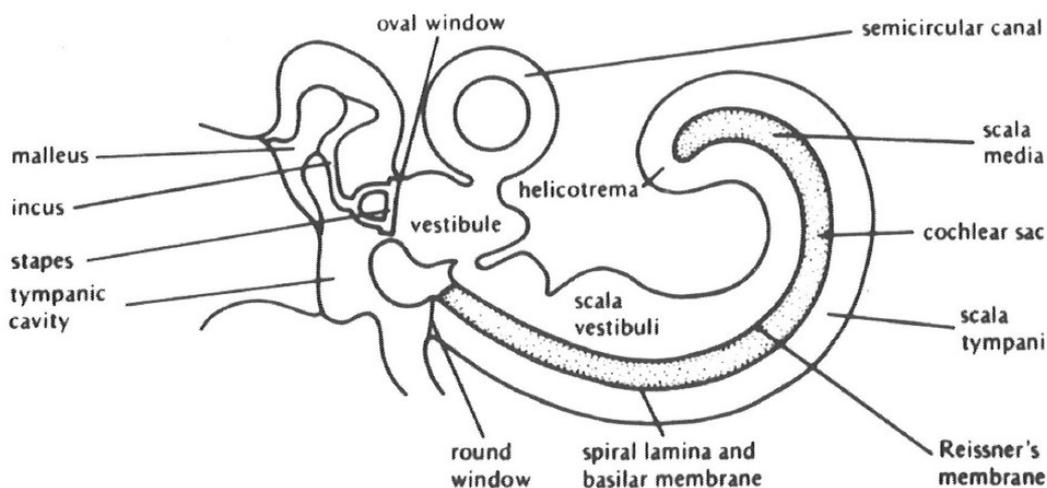


Abb.6. Innenohr (Yost 2007, S.84.)

Die Ohrschnecke (Cochlea) ist ein ca. 32mm langes, schneckenförmig aufgerolltes, Rohr, das in 3 Gänge unterteilt ist: die Scala vestibuli, die Scala media und die Scala

tympani (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 93). Die Scala media wird von den beiden anderen Gängen durch die Reissnersche Membran und die Basiliarmembran getrennt. Sie ist mit Endolymphe gefüllt, einer kaliumreichen Flüssigkeit. Die Scala vestibuli und die Scala tympani sind mit Perilymphe gefüllt, eine Flüssigkeit die besonders reich an Natriumionen ist. Dadurch hat die Endolymphe eine höhere positive Spannung (in etwa +80mV) als die Perilymphe. Dieses Spannungspotential ist notwendig für die neuronale Aktivität in den Haarzellen und dem Hörnerv (Yost 2007, S. 87).

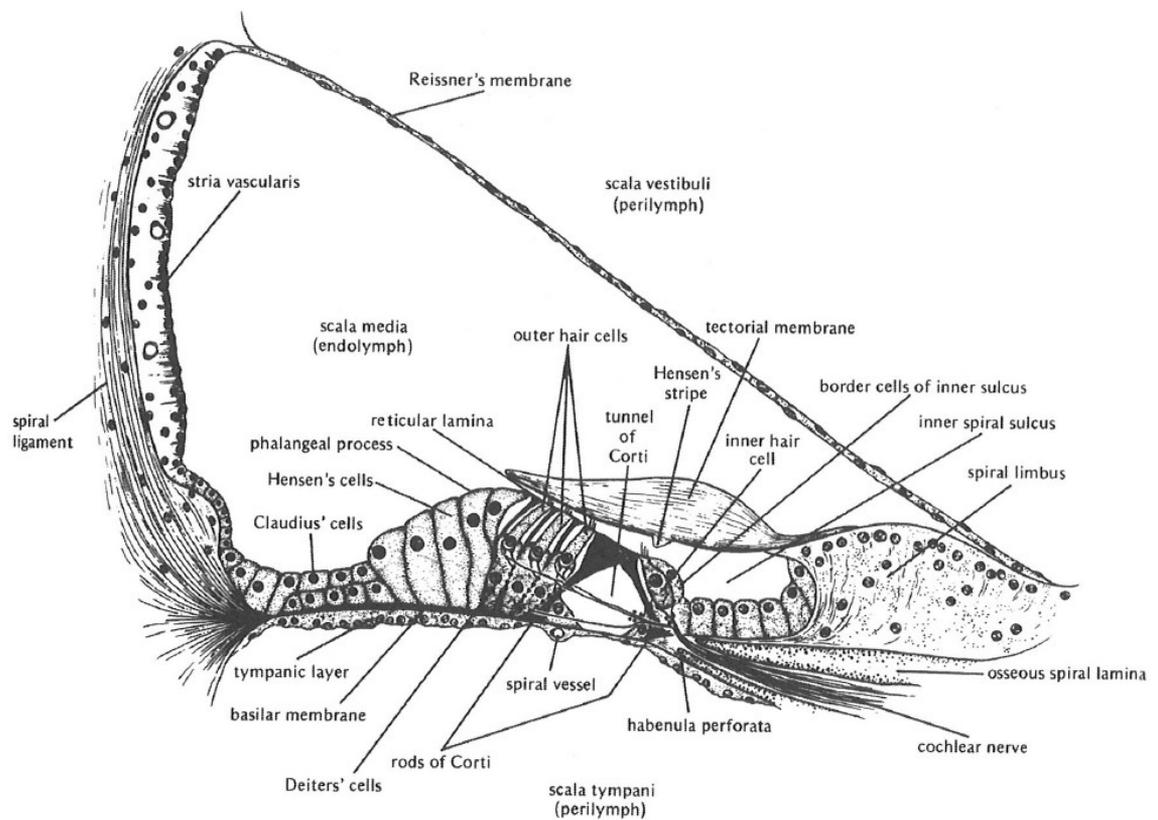


Abb.7.Querschnitt Cochlea (Yost 2007, S. 86)

Auf der Basilarmembran befindet sich der Teil unseres Körpers, der die Schwingungen in der Lymphflüssigkeit in Nervenimpulse umwandelt: das Cortische Organ. In diesem Organ liegen die äußeren und inneren Haarzellen, deren Härchen (Stereozilien) aus dem

Cortischen Organ hervortreten. Die äußeren Haarzellen sind in 3 Reihen angeordnet und sind teilweise mit der Tektorialmembran verbunden, die das Cortische Organ bedeckt. Sie dienen als Verstärker erhöhen die Frequenzselektivität des Gehörs.

Die inneren Haarzellen sind nicht mit der Tektorialmembran verbunden. Sie sind für die Umwandlung von mechanischer Energie in Nervenimpulse verantwortlich, die über die Hörbahn in das Gehirn geleitet werden (Yost 2007, S. 88).

Welche Haarzellen wie stark angeregt werden hängt von der Frequenz des Tones und der Beschaffenheit der Basilarmembran ab. Vom ovalen Fenster weg wird die Basilarmembran breiter und elastischer. Deswegen bilden verschiedene Frequenzen an unterschiedlichen Punkten ein Amplitudenmaximum. Tiefe Frequenzen erreichen ihr Maximum in der Schneckenspitze (Heliocotrema), hohe Frequenzen schon in der Nähe des ovalen Fensters. Die Bewegungen der Basilarmembran führt zu einer Scherbewegung, bei der die Stereozilien der Haarzellen ausgelenkt werden. Dadurch werden die Ionenkanäle geöffnet und positive Kaliumionen strömen in die Haarzelle. Die daraus entstehende Spannungsänderung bildet ein Aktionspotential in den Nervenfasern, das durch die Hörbahn an den auditiven Kortex im Gehirn geleitet wird und in weiterer Folge als Schall wahrgenommen wird (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 101f.).

Die Nervenzellen oder Neuronen sind der Grundbestandteil unseres Nervensystems und verantwortlich für die Weiterleitung und Verarbeitung von Informationen. Sie bestehen aus dem Zellkörper (Soma), den Dendriten und dem Axon. Die Dendriten sind Ausläufer des Neurons die Informationen empfangen, während Axone die Signale weiterleiten (Roederer 2000, S. 62).

3.4 Hörbahn

Die afferente Hörbahn transportiert die Nervensignale, die von den Haarzellen ausgelöst werden, bis in den auditiven Kortex, während auf der efferenten Hörbahn Impulse von höheren Nervenzentren an tiefer gelegene Ebenen und auch an das Innenohr gesendet werden (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 96f.).

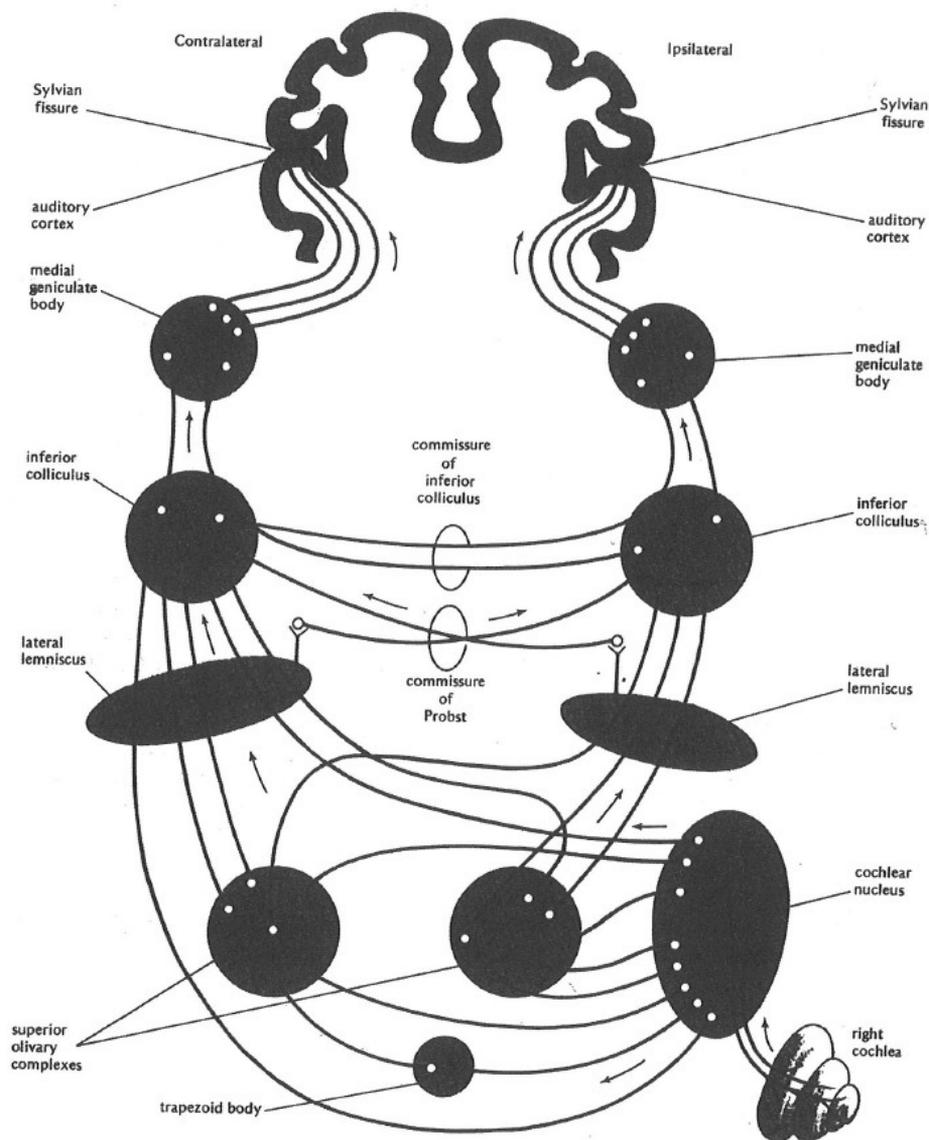


Abb.8. Hörbahn und Gehirnzentren (Yost 2007, S. 224)

Spiralganglion

Es ist die erste Verarbeitungsstufe. Von den Haarzellen ausgehend laufen hier die Nerven zum Hörnerv zusammen (ebd).

Hörkerne (nuclei cochlearis)

Die nächste Stufe ist der Hörkern, der aus vier Teilen besteht. Hier teilt sich die Hörbahn in drei Stränge. Einer führt in die seitliche Schleifenbahn auf der kontralateralen Seite des Gehirns. Die zwei anderen Stränge führen zum ipsilateralen und kontralateralen Olivenkomplex (Yost 2007, S. 241f.).

Die Nerven in den oberen Olivenkernen (superior olive) sind die ersten Neuronen, die von beiden Hörschnecken Informationen erhalten. Durch die Auswertung der Laufzeit- und Pegelunterschiede zwischen den beiden Ohren geschieht hier die Lokalisation von Schallquellen (Roederer 2000, S. 80).

Seitliche Schleifenbahn (lateral lemniscus) und die Vierhügelregion (colliculus inferior)

Über die seitliche Schleifenbahn (lateral lemniscus) gelangen die Informationen in die Vierhügelregion (colliculus inferior). Die Neuronenpfade, die hier entspringen, enthalten Nervenenden von den zuvor genannten Komplexen, sowie von den Kernen der seitlichen Schleifenbahn selbst (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 97). Die nächste Stufe ist der untere Colliculus (colliculus inferior). Hier werden die Informationen der unteren Stufen in Bezug auf Frequenz, Intensität, Richtung und Veränderungen ausgewertet. Es handelt sich noch nicht um bewusste Wahrnehmung, aber manche Reflexe sind bereits aktiv (Yost 2007, S. 242).

Der mittlere Kniehöcker (corpus geniculatum mediale)

Im mittleren Kniehöcker (corpus geniculatum mediale) finden erste Wechselwirkungen mit anderen Sinnen statt, sowie die Erkennung von Klangmustern. Schließlich erreichen die Informationen die Hörrinde. Die Reize werden von hier an andere Zentren des Gehirns weitergeleitet, analysiert und in die bewusste Wahrnehmung integriert.

Neben dem afferenten System gibt es auch das efferente System, das Informationen von oberen Nervenzentren bis in die äußeren Haarzellen transportiert. Es hat eine hemmende Wirkung und dient zur Kontrolle der afferenten Reize (Roederer 2000, S. 79ff).

3.5 Lokalisation

Wenn wir hören nehmen wir unsere Umwelt durch beide Ohren wahr. Die zwei separaten Signale, die von unseren Ohren empfangen werden, empfinden wir als ein einzelnes Schallereignis. Durch das binaurale Hören wird uns auch ermöglicht Schallquellen räumlich zu lokalisieren (Yost 2007, S. 208f.).

Um zu erörtern von welcher Seite der Schall kommt, nutzen wir die Laufzeit- und Pegeldifferenzen zwischen unseren beiden Ohren. Welche dieser beiden Eigenschaften für die Lokalisation genutzt wird, hängt von der Frequenz des Schalls ab. Bei hohen Frequenzen, etwa ab 2000Hz bis 3000Hz (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 149), nützen wir die Pegelunterschiede um die Schallquelle zu lokalisieren. Wenn nun Schall von der rechten Seite kommt, ist die Intensität am rechten Ohr höher, weil der Kopf die Schallwellen teilweise reflektiert und so ein Schallschatten auf der gegenüberliegenden Seite entsteht. Bei tiefen Frequenzen ist die Wellenlänge länger als der Durchmesser des Kopfs, wodurch er kein Hindernis mehr für die Schallwellen darstellt und die Pegelunterschiede klein sind (Gelfand 2009, S. 48). Deshalb ist der zeitlichen Unterschied, den der Schall braucht um die Ohren zu erreichen, ausschlaggebend für die räumliche Wahrnehmung. Wenn es sich bei dem Schall um einen Sinuston handelt, ist unser Gehör in der Lage die Phasenverschiebung zwischen den beiden Ohren zu erkennen. Bis Frequenzen von ca. 1500Hz sind wir dadurch in der Lage die Verlagerung einer Schallquelle um bis zu 1° zu erkennen (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 150).

In der Medianebene fallen die Laufzeitunterschiede weg. Um also herauszufinden ob sich eine Schallquelle zB. vor oder hinter uns befindet analysiert unser Gehör das Spektrum des Klangs. Unsere Ohrmuschel funktioniert dabei wie ein richtungsabhängiger Filter und auch unser Rumpf und der Kopf beeinflussen den eintreffenden Schall, sodass das Spektrum, das auf unser Trommelfell trifft, je nach Einfallswinkel anders ist.

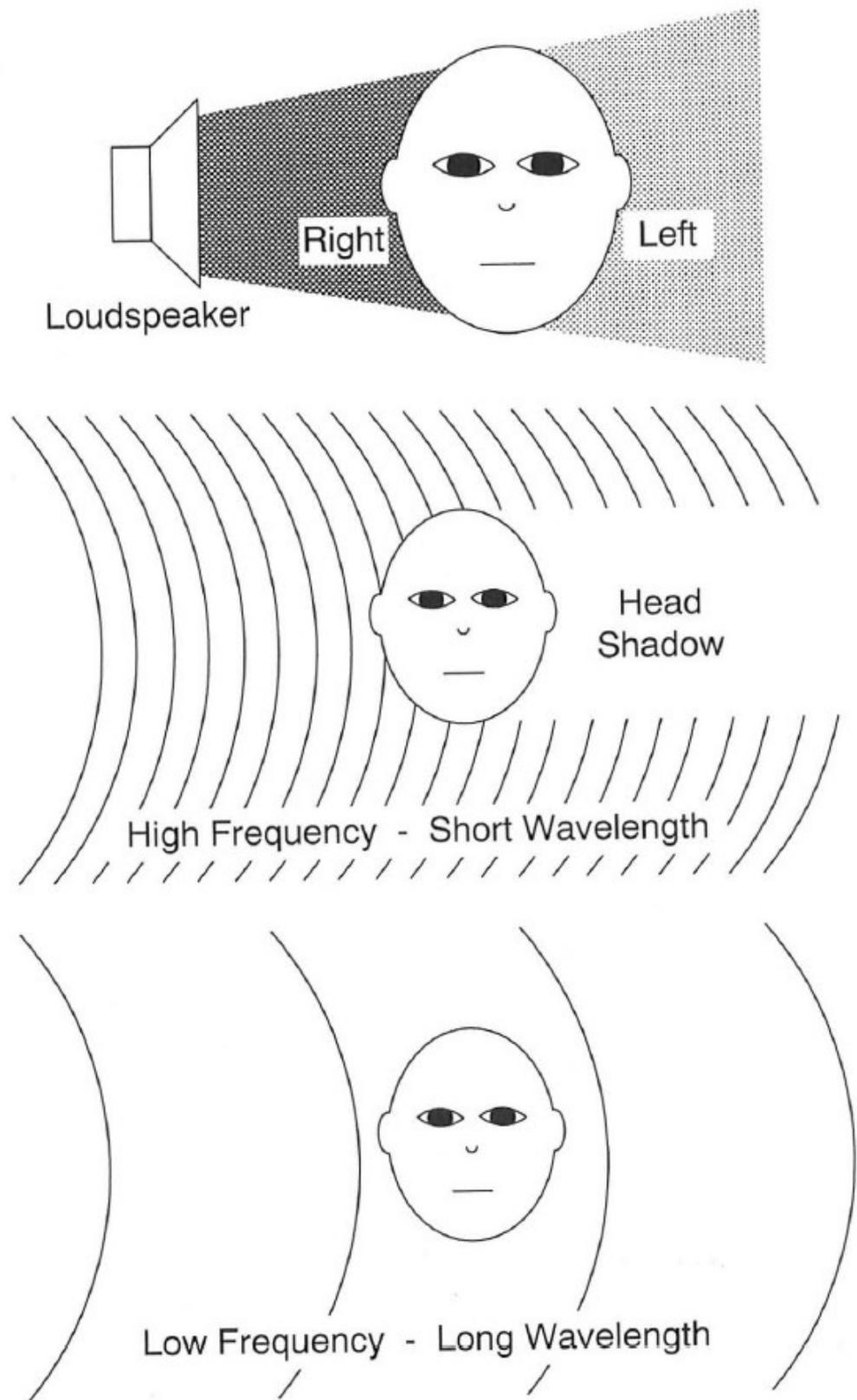


Abb.9 Richtungshören bei hohen und tiefen Frequenzen (Gelfand 2009, S. 48)

4. Binaural Beats

Binaurale Beats, oder binaurale Schwebungen, sind ein psychoakustisches Phänomen das entsteht, wenn beiden Ohren getrennt Sinustöne mit leicht unterschiedlicher Frequenz dargeboten werden (Oster 1973, S. 94).

Normale Schwebungen entstehen wenn Schallwellen überlagert werden. Die Frequenz des Tones der dadurch entsteht entspricht dem Mittelwert der beiden Ausgangsfrequenzen und durch positive und destruktive Interferenz wird die Amplitude moduliert (siehe Abb.3).

Im Gegensatz zu normalen Schwebungen entstehen binauralen Beats nicht durch physische Interferenz von 2 Schallwellen, sondern durch die Interaktion der Nervenaktivität, die diese in unserer Hörbahn auslösen (Oster 1973, S.94; Pratt et al. 2009, S. 1514).

4.1 Geschichte

Die binauralen Beats wurden von dem deutschen Physiker Heinrich Wilhelm Dove entdeckt. Er erwähnte dieses Phänomen erstmals 1839 im "Repertorium der Physik", dessen Herausgeber er war.

"Je entschiedener nun diese Versuche für die objektive Natur der Combinationstöne sprechen, desto auffallender ist, dass man die Stöße deutlich hört, wenn man die eine Stimmgabel dicht vor das eine Ohr hält, die andere dicht vor das andere Ohr, sie also wahrnimmt, wo nur ein Trommelfell durch die Schwingungen des einen der Töne erschüttert wird." (Dove 1839, S. 404)

Obwohl es Dove für nicht unwahrscheinlich hielt, dass dieser Ton eine subjektive Erscheinung ist (Dove 1839, S. 405), war zu dieser Zeit noch nicht genau geklärt auf welche Weise dieses Phänomen entsteht.

"Ich liefs unentschieden, ob diese Stöße objektiv zu erklären seyen, indem man annähme, daß eine Trommelfell würde vermittelt der festen Theile des Kopfes durch Schwingungen des andern in isochrone Schwingungen versetzt, oder subjektiv durch die Combination der Nerveneindrücke" (Dove 1857, S. 493)

Bis Anfang des 20. Jahrhunderts wurden sie als belangloser Spezialfall von normalen Schwebungen betrachtet. Es gab Theorien, dass die Töne über die Knochenleitung vom

einen Ohr zum anderen übertragen wurde (Stewart 1917), was sich letztendlich jedoch als falsch herausgestellt hat. So legte C.E. Lane schon 1925 dar, dass der Ursprung dieser Töne im Gehirn sein muss und im Zusammenhang mit der Lokalisation steht. (Lane 1925).

Lange Zeit wurden binauralen Beats als Kuriosität gesehen, bis Gerald Oster 1973 einen Artikel veröffentlichte, in welchem er die bisherigen Forschungsergebnisse sammelte und eigene, neue vorlegte. Er fand heraus, dass binaurale Beats für die Forschung von großer Bedeutung sein können, speziell in der Erforschung des Gehörs und auch im medizinischen Bereich. So fand er heraus, dass Menschen, die an der Parkinson-Krankheit leiden, binaurale Beats nicht hören können (Oster 1973).

Robert Monroe war der erste, der eine Verbindung sah zwischen binauralen Beats, Gesundheit und verbesserter psychischer Leistung. Am Monroe Institute untersuchte er die bewusstseinsweiternden Wirkungen dieses Phänomens, allerdings waren in diesen Studien diverse Störvariablen nicht kontrolliert und teilweise der Versuchsaufbau nicht angemessen (Beyerstein 1990, S. 32f.).

Seither wurden viele Studien durchgeführt, die die Wirkung von binauralen Beats auf diverse Bereiche des Bewusstseins untersucht haben. Signifikante Effekte konnten nicht bewiesen oder reproduziert werden.

Binauralen Beats werden viele Effekte auf das Bewusstsein zugeschrieben und neben den klinischen Studien gibt es auch unzählige Webseiten, die sie als Heilmittel gegen Schlafstörungen, hohen Blutdruck, ADHS, Depressionen und mehr vermarkten (www.binauralebeats.de/produkte).

Dazu kommt auch noch ein neuer Trend namens I-Dosing, bei dem suggeriert wird, dass man durch binaurale Beats Rauschzustände hervorgerufen werden können (Forgber 2010).

"...Dove helped launch two centuries of legitimate research and, as is almost always followed by exciting empirical study, money-grabbing pseudoscience." (Doyle 2010)

4.2 Physiologie

Binaurale Beats sind eng mit der Schalllokalisierung durch Phasen- bzw. Zeitunterschiede verknüpft. In der mittleren oberen Olive unserer Hörbahn geschieht eine Kreuzkorrelation, bei der der zeitliche Unterschied zwischen den Signalen der beiden Schnecken ermittelt wird. Das passiert indem das afferente Neuron nur dann feuern kann, wenn es von beiden ankommenden Fasern angeregt wird (Roederer 2000, S. 72ff).

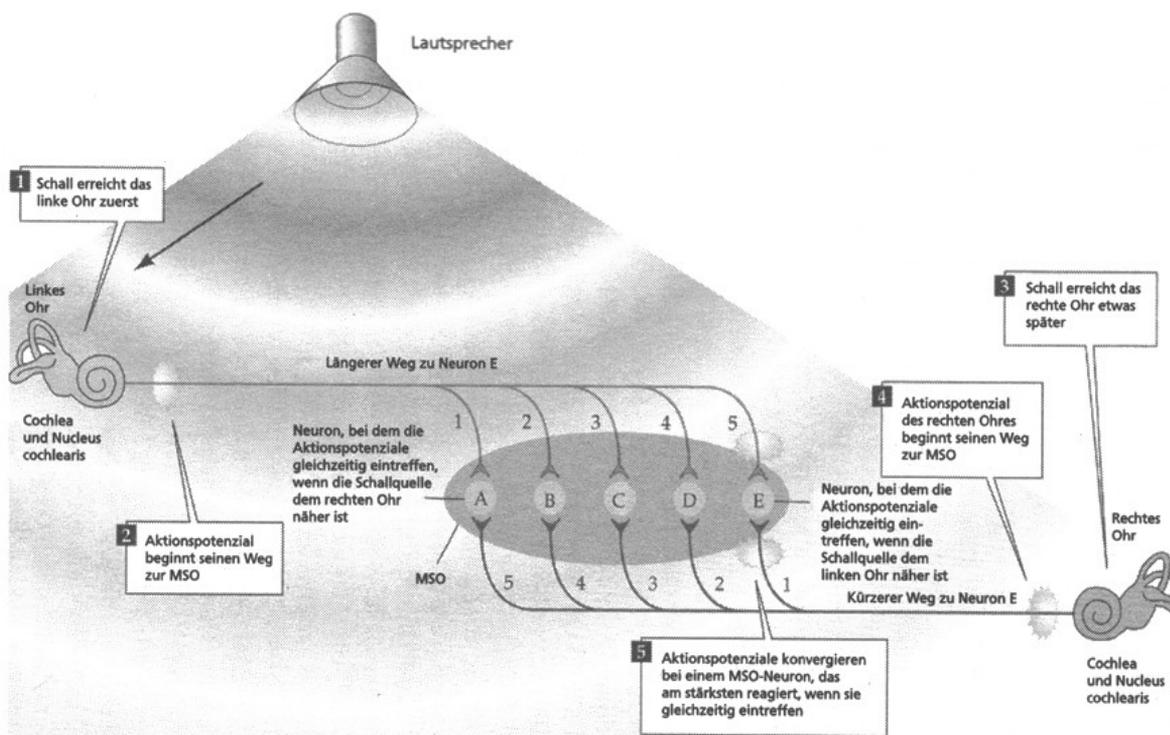


Abb.10 Schalllokalisierung (O'Shea 2008, S. 113)

Welches Neuron nun angeregt wird hängt davon ab, an welchem Ohr der Schall zuerst eintrifft, und mit welcher Zeitdifferenz sich die beiden neuronalen Signale treffen.

Dies ist nur eine sehr vereinfachte Darstellung. Die Neuroanatomie unserer Hörbahn ist weitaus komplexer (ebd).

Binaurale Beats bringen diesen Kreuzkorrelationsmechanismus durcheinander. Wir interpretieren die Phasenverschiebung, die sich durch den Frequenzunterschied ergibt, als unterschiedliche Ankunftszeiten des Signals. Das ist der Grund weshalb binaurale Beats in unserem Kopf zu rotieren scheinen (ebd).

Wenn die Intensitäten der beiden Töne unterschiedlich sind, beschreibt diese Bewegung eine elliptische Bahn (Oster 1973, S. 97).

Die Lautstärke von normalen Schwebungen entspricht der Summe der Amplituden der beiden Schwingungen. Das bedeutet, dass normale Schwebungen am besten zu hören sind, wenn die beiden Töne gleich laut sind, da dann ein Maximum und komplette Stille im periodischen Wechsel entstehen. Je größer der Unterschied in der Lautstärke der beiden Schwingungen wird, desto weniger ausgeprägt ist die Schwebung.

Binaurale Beats hingegen sind immer gleich deutlich zu hören, unabhängig vom Lautstärkenunterschied der beiden Signale (Oster 1973, S. 96).

4.3 Hörbereich von binauralen Beats

Binaurale Beats entstehen nur bei tiefen Tönen. Die Obergrenze ist dabei von Person zu Person verschieden und ist abhängig von der Lautstärke des Tons und der Frequenz der Schwebung (Licklider 1950, S. 470).

In Versuchen hat sich gezeigt, dass binaurale Beats bis zu einer Frequenz von 1500Hz wahrnehmbar sind. Ab 1000Hz wird es jedoch schwieriger sie zu hören. Durch Experimente hat man auch erkannt, dass binaurale Beats in einem Frequenzbereich um 500Hz am deutlichsten zu hören sind (Licklider 1950, S.471;Perrot 1969, S. 1479f.).

Die untere Grenze liegt bei etwa 90Hz. Darunter sind die Töne nur schwer zu definieren (Oster 1973, S. 95).

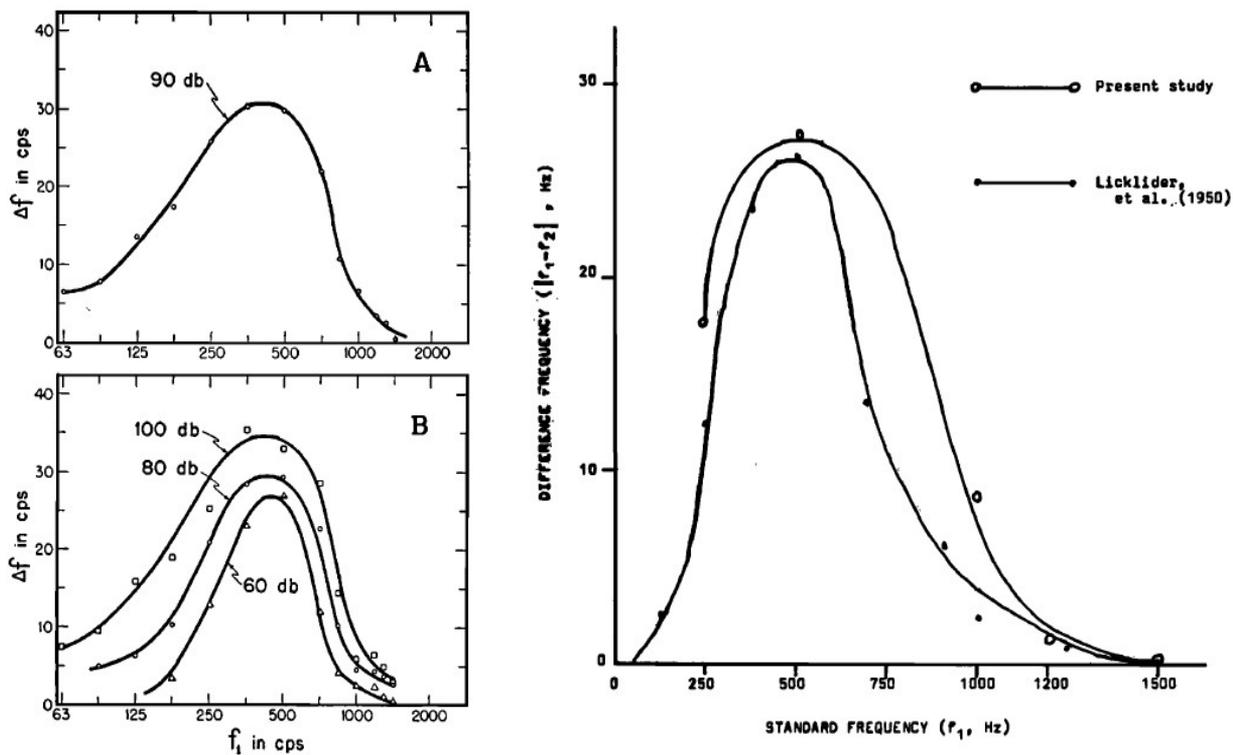


Abb.11 links:(Licklider et al. 1950, S. 470) , rechts:(Perrot 1969, S. 1480)

4.4 Geschlechterunterschiede

Die Fähigkeit binaurale Beats wahrzunehmen variiert zwischen den beiden Geschlechtern. In einer Studie bemerkte Jerry Tobias, dass die Grenzfrequenz der einzigen weiblichen Teilnehmerin deutlich unter der der männlichen Teilnehmer lag (Tobias 1963, S. 1446). In einem folgenden Experiment untersuchte er 20 Frauen und 20 Männer auf die Grenzen ihrer Wahrnehmung bezüglich binaural Beats. Seine Ergebnisse zeigten, dass die Obergrenze der Frequenz, bis zu der binaurale Beats wahrgenommen werden können, für Frauen durchschnittlich ca. 200Hz unter der von Männern liegt (Tobias 1965, S. 180).

Frauen die kurz vor dem Beginn ihres Menstruationszykluses waren, erzielten die höchsten Ergebnisse, weshalb Tobias ein weiteres Experiment durchführte:

Über einen Zeitraum von sechs Wochen testete er die Frequenzobergrenze von drei weiblichen Versuchspersonen.

Es zeigte sich, dass beim Beginn der Menstruation die Grenzfrequenz gleichauf mit den Männern lag, dann abnahm und 15 Tage danach, um den Zeitpunkt der Ovulation, nochmals etwas zunahm (Tobias 1965, S. 181). Gerald Oster hat in eigenen Tests diese Ergebnisse bestätigen können und weist darauf hin, dass dies mit dem Östrogenspiegel im Blut zusammenhängen kann (Oster 1973, S. 102).

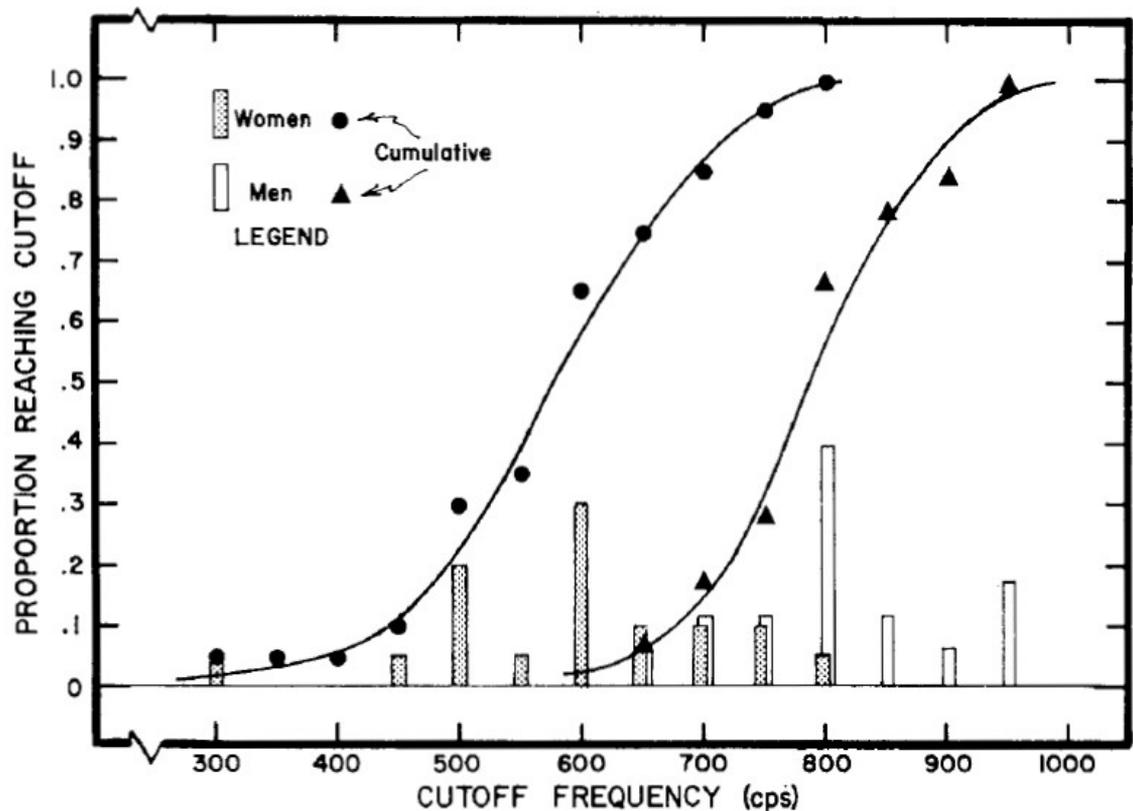


Fig. 1. Bar graphs illustrate the proportion of male subjects and the proportion of female subjects whose cutoff frequency is scaled on the abscissa. Cumulative distributions of the same data are also plotted.

Abb.12 (Tobias 1965, S. 180)

4.5 Neuronale Forschung und Elektroenzephalographie (EEG)

Das Elektroenzephalogramm ist ein wichtiges diagnostisches Werkzeug, um die Funktionsweise des Gehirns und Nervensystems zu messen. Bei der Erforschung der binauralen Beats und der neuronalen Verarbeitung von akustischen Reizen wird dieses Verfahren angewandt, um aus den erhaltenen Daten Rückschlüsse auf die Funktionsweise des Gehirns zu ziehen (Zschocke 2002, S. 6f.).

Bei der Elektroenzephalographie (EEG) werden elektrophysiologische Aktivitäten von kortikalen Nervenzellen gemessen. Für eine Messung werden Elektroden am Schädel angebracht, um die Potentialschwankungen registrieren, die die Gehirnaktivität auslöst. Die Potentialdifferenzen am Skalp betragen 10-100 μ V; sie werden verstärkt und dann im Oszillogramm dargestellt. Die Spannungsschwankungen werden je nach ihrer Frequenz in Gruppen eingeteilt (Mattle, Mumenthaler 2010, S. 77f.).

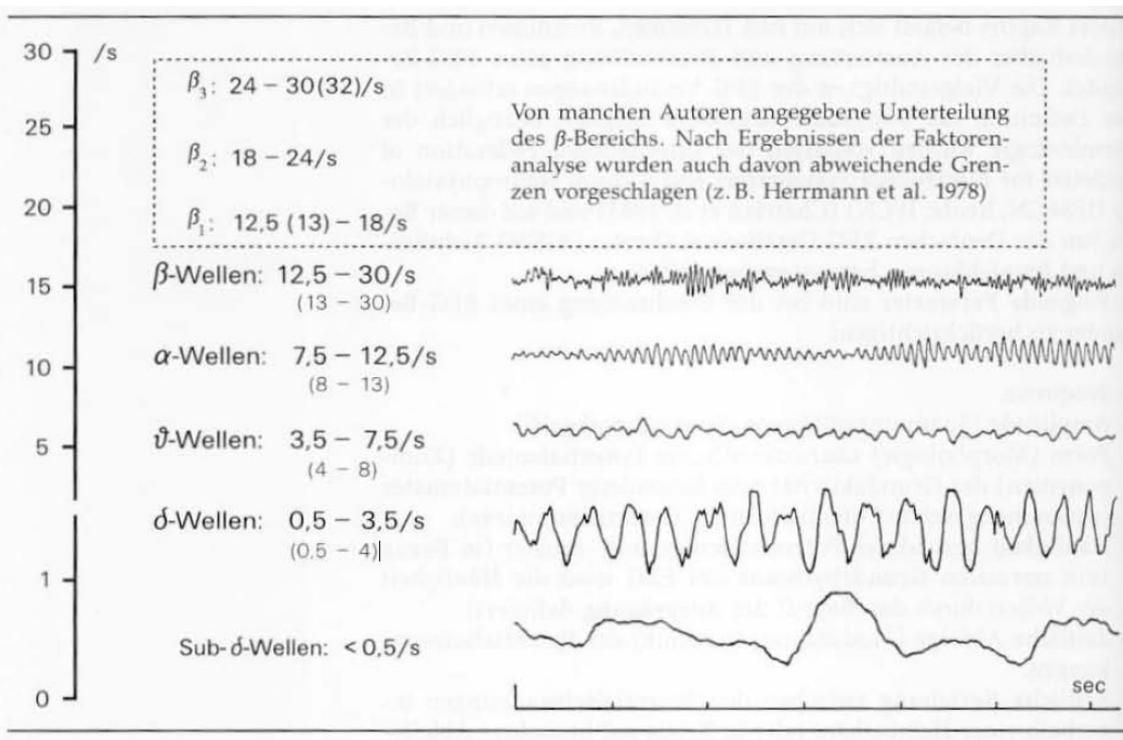


Abb.13 (Zschocke 2002, S. 102)

Die Gehirnaktivität (und folglich das EEG) verändert sich in Abhängigkeit des Wachheitszustandes, wodurch man auch etwaige Rückschlüsse auf den Bewusstseinszustand ziehen kann (Zschocke 2002, S. 159f.).

Alpha-Wellen stellen bei den meisten gesunden erwachsenen Menschen den entspannten Grundrhythmus dar und je nach Schlaftiefe kommt es zu einer Verlangsamung der Frequenz. Beta-Wellen kommen bei gesteigerter kortikaler Aktivität, Medikamenteneinnahme oder in REM-Schlafphasen vor (Zschocke 2002).

Eine Veränderung der neuronalen Aktivität produziert auch eine Veränderung der elektrischen Signale, die von den Elektroden aufgenommen werden. Die Signale, die das Nervensystem als Antwort auf einen akustischen Reiz produziert, nennt man akustisch evozierte Potentiale (Gelfand 2009, S. 332). Über binaurale Beats wird behauptet, dass sie bewusstseinsverändernde Eigenschaften haben und dass man über das Frequenz-Folge-Prinzip das Gehirn in Zustände der Entspannung, erhöhter Aufmerksamkeit oder Kreativität versetzen kann (Atwater 1997). Dieser Bereich ist allerdings noch recht wenig erforscht und viele Studien zu diesem Thema wurden schlecht durchgeführt und nicht von Fachleuten geprüft (Wahbeh et al 2007, S. 26)

4.5.1 Akustisch evozierte Potentiale (AEP)

Akustisch Evozierte Potentiale sind die elektrischen Reaktionen des Gehirns auf akustische Stimuli. Sie werden dazu verwendet die Funktionsfähigkeit der Hörbahn, von der Ohrschnecke bis zum auditorischen Kortex, zu testen (Hellbrück, Ellermeier 2004, S. 179). Es gibt unterschiedliche Formen dieser Potentiale und man unterscheidet sie nach der Latenz, mit der sie entstehen, und nach dem Stimulus, durch den sie ausgelöst werden.

4.5.2 Frühe akustische Potentiale

Die frühen akustischen Potentiale entstehen mit einer Latenz von maximal 10ms und haben ihren Ursprung im Hirnstamm und im Nucleus olivaris (Buchner 2005, S.39). Als Stimulus dient üblicherweise ein Klick-Geräusch, da es ein breites Spektrum und eine kurze Dauer hat, wodurch man möglichst viele Neuronen gleichzeitig erregen kann. Allerdings hat dieses Geräusch keine feste Frequenz, weshalb auch kurze "Ton-Stöße" (tone-bursts) verwendet werden (Gelfand 2009, S. 337).

4.5.3 Auditory Steady State Responses

ASSR (dt. Dauerantworten auf Hörreize) sind akustisch evozierte Potentiale, die von einem Ton ausgelöst werden, dessen Amplitude oder Frequenz moduliert wird. Die Antwort des Gehirns folgt dabei der Modulation des Tones. Die Antworten hängen von Stimulus und dem Zustand der Person ab. Allgemein lassen sich bessere Ergebnisse mit tiefen Trägerfrequenzen und mit hohem Modulationsgrad erzielen. Die beste Modulationsfrequenz ist abhängig vom Wachheitszustand der Person, wobei sich gezeigt hat, dass wache Erwachsene am besten auf 40Hz reagieren, schlafende Erwachsene und Kinder auf 80Hz (Atcherson und Stoodly [Hrsg] 2012, S. 108).

4.5.4 Frequency Following Response

Ähnlich wie die ASSR sind die FFR (dt. Frequenz-Folge-Antworten) dauerhafte Antworten auf einen akustischen Reiz. Wenn der Stimulus ein Ton ist, kann man im Histogramm erkennen, dass die Entladungen der Neuronen phasengekoppelt mit der Frequenz des Stimulus passieren (Atcherson und Stoodly [Hrsg] 2012, S. 85). Die FFR ist am deutlichsten wenn der Stimulus eine Frequenz von ca. 320Hz hat und nimmt mit zunehmender Frequenz ab. Diese Abnahme führt man auf die reduzierte Fähigkeit zur Phasenkopplung von Neuronen bei höheren Frequenzen zurück (ebd, S. 91).

4.6 Reaktionen des Gehirns auf binaurale Beats

Obwohl es viele Studien gibt, die die psychoakustischen Effekte von binauralen Beats untersucht haben, gibt bis jetzt nur wenige klinische Studien, die die neuronalen Antworten des Gehirns auf binauralen Beats erforscht haben.

Studien, die seit 2005 durchgeführt wurden, bestätigen, dass man die Gehirnaktivität, die mit der Stimulation durch binaurale Beats einhergeht, an der Kopfhaut messen kann (Pratt et al. 2009; Karino et al. 2006; Schwarz, Taylor 2005). Es wurden dabei unterschiedliche Stimuli verwendet und zur Messung wurden EEG und Magnetoenzephalographie verwendet.

4.6.1 ASSR auf monaurale und binaurale Beats

Schwarz und Taylor verwendeten eine Schwebungsfrequenz von 40Hz bei einer Trägerfrequenz von 400Hz und 3200Hz, und die evozierten Potentiale wurden mit einem EEG gemessen (Schwarz, Taylor 2005, S. 659f.). Die ASSR beim 400Hz -Ton waren sehr stark, während bei einer Trägerfrequenz von 3200Hz keine klaren neurologischen Antworten auf die binauralen Beats aufgezeichnet werden konnten (ebd, S.667).

4.6.2 Neuromagnetische Antworten auf binaurale Beats

In einer anderen Studie wurden Schwebungsfrequenzen von 4Hz und 6,66Hz bei Trägerfrequenzen von 240Hz und 480Hz verwendet. Mit einem Neuromagnetometer wurden die ASSR gemessen, und die Spektralanalyse der magnetischen Felder zeigte, dass die Antworten, die von den binauralen Beats hervorgerufen wurden, einen Teil der Schwebungsfrequenz enthielten (Karino et al. 2006).

4.6.3 Messbare evozierte Gehirnaktivität

Auch die Ergebnisse einer Studie aus dem Jahre 2009 zeigen, dass die Gehirnaktivität, die mit den binaural Beats korreliert, an der Kopfhaut messbar ist. Es zeigte sich auch hier, dass die Antworten der Schwebungsfrequenz folgen. Es wurden Beats mit einer Frequenz von 3Hz und 6Hz verwendet und Trägerfrequenzen von 250Hz und 1000Hz. Die Reaktionen auf die binaural Beats waren stärker auf den tiefen Ton und die langsamere Schwebungsfrequenz (Pratt et al. 2009).

4.6.4 Ursprung im Gehirn

Obwohl die Studien im Allgemeinen auf die selben Ergebnisse kommen, unterscheiden sie sich darin, wo der Ursprung der binauralen Beats vermutet wird. Schwarz und Taylor registrierten die stärkste Aktivität im frontalen und zentralen Bereich (Schwarz, Taylor 2005, S. 662f.). Die Ergebnisse von Karino et al. weisen darauf hin, dass die ASSR von binauralen Beats hauptsächlich im auditiven Cortex entstehen, konnten andere Quellen aber nicht ausschließen (Karino et al. 2006, S. 1935). In der Studie von Pratt et al. war der Ursprung im linken Temporallappen, der auch den auditiven Cortex enthält (Pratt et al. 2009, S. 1519). Es wird angenommen, dass diese Unterschiede durch die unterschiedlichen Stimuli und Messmethoden entstehen. Die Studien zeigen, dass binaurale Beats höchstwahrscheinlich im Stammhirn entstehen, im Thalamus und Auditiven Cortex weiterbestehen und weitergehend sekundäre auditorische Bereiche mit einbeziehen (Pratt et al. 2009, S. 1523).

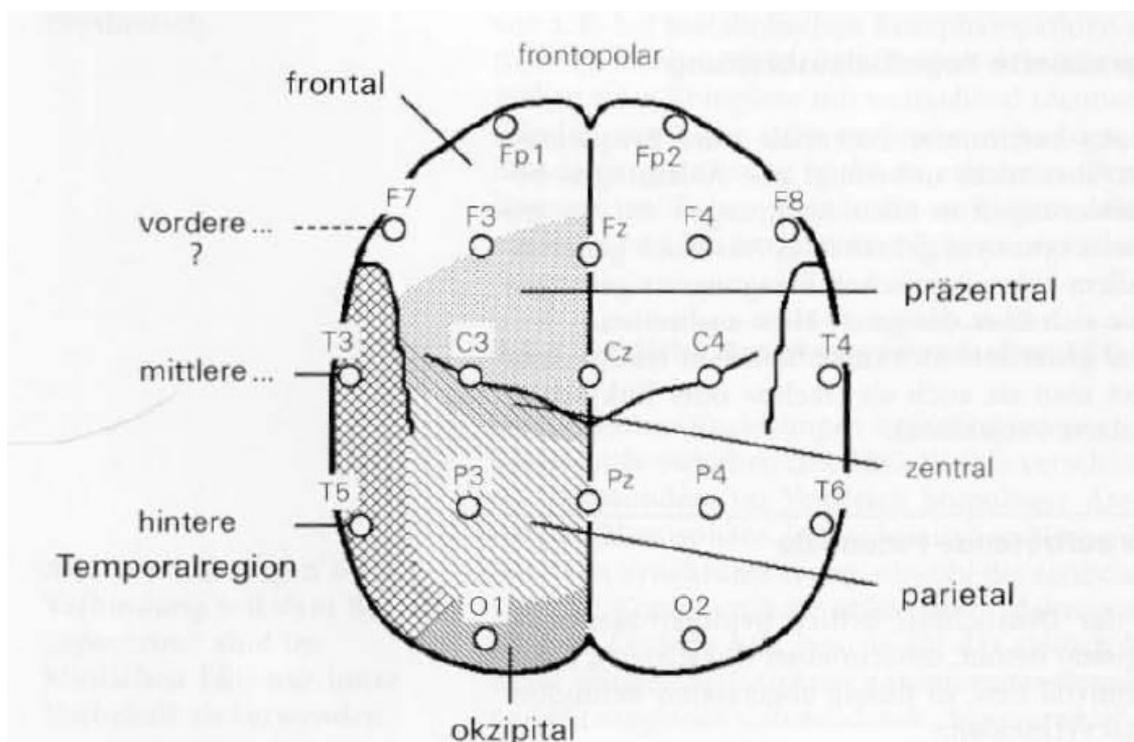


Abb.14 Topographie der Gehirnregionen und der Ableitungen des 10-20-Systems, das bei den meisten EEG-Untersuchungen eingesetzt wird (Zschocke 2002, S. 112).

4.6.5 Unterschied zwischen akustischen und binauralen Beats

In der Studie von Pratt et al. hat sich gezeigt, dass die Gehirnaktivität durch akustische und binaurale Beats gleichermaßen beeinflusst wird und auch die involvierten Gehirnareale sich nicht unterscheiden. Wie schon in der vorhergehenden Studie war der Ursprung der Gehirnaktivität im linken Temporallappen (Pratt et al. 2010, S. 41ff).

Allerdings waren die evozierten Potentiale, die durch die akustischen Schwebungen verursacht wurden, stärker als die der binaural Beats, obwohl beide Stimuli die gleiche Intensität hatten (ebd).

4.6.6 Entrainment

Entrainment beschreibt ein Phänomen, bei dem sich zwei rhythmische Prozesse synchronisieren. Es wurde erstmals 1665 von Christiaan Huygens entdeckt, als er bemerkte, dass zwei Pendeluhren, wenn sie gemeinsam auf einer Halterung angebracht waren, sich miteinander synchronisierten. Selbst wenn man ein Pendel absichtlich durcheinanderbrachte, waren die Uhren nach einer halben Stunde wieder synchron (Clayton, Sager, Udo 2005, S. 5ff).

Dieses Phänomen zeigt sich in vielen verschiedenen physikalischen und biologischen Systemen, wie zum Beispiel dem Schlafrhythmus, der sich dem Tag-Nacht-Rhythmus der Erde anpasst (ebd).

In frühen EEG Untersuchungen zeigte sich, dass man Alpha und Beta-Gehirnwellen mit dem blitzenden Licht eines Stroboskops synchronisieren kann. Später erkannte man auch, dass rhythmische Geräusche solche Effekte produzieren können (ebd, S. 9).

4.6.7 Entrainment und Binaural Beats

Die Effekte, die binauralen Beats zugeschrieben werden, basieren auf ihrer Fähigkeit Gehirnwellen zu beeinflussen. Wenn dem Gehirn binaurale Beats mit einer bestimmten Frequenz vorgespielt werden, soll damit auch der Bewusstseinszustand, der mit der jeweiligen Hirnaktivität assoziiert wird, erreicht werden.

Die Behauptungen über Effekte reichen dabei von Entspannung, Stressreduktion, verbesserte Lernfähigkeit, Fernwahrnehmung, Telepathie und außerkörperliche Erfahrung (Atwater 1997, S. 14).

Wissenschaftliche Studien konnten zwar zeigen, dass Stimulation durch binaurale Beats eine entspannende Wirkung haben können (Padmanabhan, Hildreth, Laws 2005; Wahbeh et al. 2007), aber für andere Wirkungen gibt es keine wissenschaftlichen Beweise.

5. Binaural Beats und Effekte auf das Bewusstsein

Die Ersten, die mit den möglichen Effekten von binauralen Beats auf das Bewusstsein experimentierten, waren Thomas Campbell und Dennis Mennerich. Sie wurden von Robert Monroe eingestellt, der parapsychologische Phänomene mit wissenschaftlichen Methoden untersuchen wollte. Ein Schlüsselwert war dabei eine Oszillation von 4Hz, die Robert Monroe nach eigenen Aussagen bei außerkörperlichen Erfahrungen wahrnahm. In einem Versuch diesen Zustand zu reproduzieren, verwendeten Campbell und Mennerich binaurale Beats, mit dem Ergebnis, dass sich die Gehirnwellen auf den akustischen Reiz einschwingen (Campbell 2005, S. 79ff).

"The binaural beats obviously affected our state of consciousness. During the next week we begged, borrowed, and bought the necessary equipment to expand our experiments. Bob had gone out of town for a week or two; subsequently, we experimented with the effect of binaural beats on altered state of consciousness on our own. After a week of trial and error experimenting, we were more excited about the possibilities. The effect was powerful. Using the binaural beat to entrain brainwaves as measured by the EEG was a fact. The effect on one's state of consciousness was dramatic." (Campbell 2005, S.79)

Die Ergebnisse, die sie in ihrer ersten Versuchsreihe erhielten, sprechen binauralen Beats außergewöhnliche Effekte zu.

There were so many paranormal happenings that weekend that we had a difficult time getting them all recorded. These naive subjects were reading numbers in sealed envelopes, remote viewing, manifesting lights in the sky, visiting their relatives, reading next week's newspaper headlines and much more." (ebd, S.80)

In der Folge gründete Robert Monroe das Monroe Institute, das bis heute als gemeinnützige Organisation existiert, die sich der Erforschung des menschlichen Bewusstseins widmet. Er entwickelte das Hemi-Sync genannte Verfahren, bei dem mit Hilfe von binauralen Beats beide Gehirnhälften synchronisiert werden, wodurch das Gehirn in außergewöhnliche Zustände versetzt werden soll, die tiefe Entspannung oder mentalen Fokus versprechen. Es gibt allerdings keine Beweise, dass die Synchronisation der beiden Gehirnhälften funktioniert, oder einen Nutzen hat (Beyerstein 2000, S. 19).

Viele Studien über binaurale Beats stammen direkt vom Monroe Institut, wobei man

beachten muss, dass die Forschung von dort nicht unabhängig oder unvoreingenommen ist. Das Monroe-Institut verkauft Selbsthilfe-CDs und die Forschung fand hauptsächlich direkt am Institut statt, da Robert Monroe zögerte, mit auswärtigen Forschern zu arbeiten (www.monroeinstitute.org/research/overview-of-research-at-the-monroe-institute).

"Considering it important to attain scientific validations regarding the physiological effects of his binaural beat mixes on the brain, in 1988 Monroe and his Explorers continued their research into the effects of binaural beats through the use of specialized technology that converted the output of a 20-channel EEG into a color-contour map of the electrical activity of the brain.[...] Monroe had some ambivalence regarding attempts to validate experiences of altered states through these kinds of physiological recordings of the brain changes, in part because he was concerned that if science could explain it, it might also try to explain it away. His ambivalence about the technology itself led to a similar hesitancy in working with outside researchers. In accordance with a policy he framed himself, during Monroe's lifetime, almost all research took place in-house at the Institute " (www.monroeinstitute.org/research/overview-of-research-at-the-monroe-institute)

Erst nach dem Tod von Robert Monroe im Jahre 1995 wurden Studien in wissenschaftlichen Zeitschriften veröffentlicht. Die Ergebnisse der Studien deuten darauf hin, dass binaurale Beats einen deutlichen Einfluss auf das Gehirn und Bewusstsein haben (Atwater 1997, S.14f).

5.1 Psychologische und physiologische Studien

Ein Großteil der psychoakustischen Studien, die über binauralen Beats durchgeführt wurden, stammen vom Monroe Institut und die wissenschaftliche Forschung in diesem Bereich ist noch begrenzt. Sie reicht von Auswirkungen auf die Wachsamkeit (Lane et al. 1998) und Hypnotisierbarkeit (Brady,Stevens 2000), bis zu angstlösenden Effekten und die Behandlung von Tinnitus (David,Naftali,Katz 2010). Viele dieser Studien, die die Effekte von binauralen Beats erforschen, weisen jedoch methodische Mängel auf, wie das Fehlen einer Kontrollgruppe (Lane et al. 1998, David,Naftali,Katz 2010) und eine Studie, die den Effekt von binauralen Beats auf die Hypnotisierbarkeit untersuchte, konnte, als das Experiment wiederholt wurde, ihre Ergebnisse nicht reproduzieren (Stevens et al. 2003). Überzeugende Beweise für die meisten der mutmaßlichen Effekte von binauralen Beats stehen noch aus.

5.2 Binaural auditory beats affect vigilance, performance and mood

Das Experiment

Eine Studie mit 29 Versuchspersonen wurde durchgeführt, um den Effekt von binauralen Beats auf die Aufmerksamkeit und Erregung zu untersuchen. Es wurden Schwebungsfrequenzen im Beta-Bereich, der mit Wachsamkeit, und im Delta/Theta-Bereich, der mit Schläfrigkeit assoziiert wird, verwendet. Das Entrainment mit diesen Frequenzen sollte die Aufmerksamkeit der Versuchspersonen erhöhen bzw. vermindern und so die Ergebnisse bei einer monotonen Aufgaben zu beeinflussen.

Den Versuchspersonen wurden über einen Computerbildschirm Buchstaben gezeigt, und ihre Aufgabe war es sich wiederholende Buchstaben zu entdecken (Lane et al. 1998).

Aufbau und Methodik

Die Versuchspersonen absolvierten über drei Tage jeweils drei Sitzungen, bei denen sie 30 Minuten lang die Konzentrationsaufgabe absolvierten. Während jeder Sitzung wurden ihnen über Stereokopfhörer eine von 3 Kassetten vorgespielt, die unterschiedliche Klänge enthielten. Die Versuchspersonen wurden über das Vorhandensein von binauralen Beats im Unklaren gelassen.

Auf jeder der drei Kassetten war rosa Rauschen zu hören. Auf der Kassette, mit der die Betawellen Gehirnaktivität angeregt werden sollte, waren binaurale Beats mit einer 16Hz und einer 24Hz Modulationsfrequenz zu hören, auf der für den Delta/Theta-Bereich 1,5Hz und 4Hz. Die dritte Kassette enthielt keine binauralen Beats und wurde nur bei der ersten Sitzung verwendet, die als Training für die kommenden Sitzungen dienen sollte. In den folgenden zwei Sitzungen absolvierten die Versuchspersonen die Konzentrationsaufgabe unter Einfluss von binauralen Beats. Die Reihenfolge, mit der die Stimuli präsentiert wurden, war ausbalanciert (ebd.).

Ergebnisse

Unter dem Einfluss von binauralen Beats im Beta-Bereich schnitten die Versuchspersonen bei der Aufgabe besser ab. Sie erkannten öfter wenn sich zwei Buchstaben wiederholten und produzierten weniger Fehler.

	Wiederholungen erkannt (von 180)	Fehler
Beta-Stimulus	153.5	6.6
Delta/Thea-Stimulus	147.6	8.7

Die Ergebnisse stimmten mit der Vorhersage überein, dass Stimulation durch binaurale Beats im Beta-Bereich die Aufmerksamkeit erhöht.

Es wurde angenommen, dass diese Effekte durch Synchronisation der Gehirnwellen mit den binauralen Beats entstehen, aber es wurden keine EEG-Werte gemessen um diese Hypothese zu überprüfen (ebd.).

Anmerkung:

In der Studie gab es keine Kontrollgruppe, die die Aufgaben ohne binaurale Beats durchgeführt hat und auch die Ergebnisse der ersten Trainingssitzung, bei der die Versuchspersonen nur das rosa Rauschen hörten, wurden nicht veröffentlicht. Man kann also nur die Ergebnisse beider Stimuli mit einander vergleichen, aber durch das Fehlen eines Referenzwertes kann keine klare Aussage über den Effekt von binauralen Beats getroffen werden.

5.3 Binaural-beat induced theta EEG activity and hypnotic susceptibility

Das Experiment

Brian Brady und Larry Stevens untersuchten im Jahr 2000 den Effekt von binauralen Beats auf die Empfänglichkeit für Hypnose. Erhöhte Gehirnwellenaktivität im Theta-Bereich wird mit erhöhter Empfänglichkeit für Hypnose in Verbindung gebracht und durch ihre Studie wollten sie die Wirksamkeit von binauralen Beats auf die Theta-Aktivität des Gehirns und damit auch auf Hypnotisierbarkeit erforschen (Brady, Stevens 2000, S.54ff).

Aufbau und Methodik

Die sechs Versuchspersonen waren weiblich und unterschiedlich empfänglich für Hypnose, was mit der *Stanford Hypnotic Susceptibility Scale, Form C* gemessen wurde. Jeweils zwei Versuchspersonen waren schwer hypnotisierbar, durchschnittlich hypnotisierbar und leicht hypnotisierbar.

Die binauralen Beats wurden über eine Kassette präsentiert, die vom Monroe Institut für diese Studie produziert wurde. Die Trägerfrequenzen waren in einem Bereich von 196Hz bis 523Hz und wurden kontinuierlich verändert um die Aufmerksamkeit zu fördern. Zusätzlich war auf den Kassetten rosa Rauschen zu hören.

Die binauralen Beats schwankten konstant zwischen 5,5Hz und 8,5Hz, über einen Zeitraum von vier Sekunden. Eine Kontrollkassette mit den selben Tönen und Rauschen, aber ohne binaurale Stimulation wurde auch produziert.

Über den Zeitraum einer Woche hörten die Versuchspersonen in drei Sitzungen 20 Minuten lang binauralen Beats, während sie an ein EEG angeschlossen waren. Davor wurde mit dem EEG ein Ausgangswert aufgezeichnet. Nach Abschluss der dritten Sitzung wurden die Versuchspersonen nochmals auf ihre Hypnotisierbarkeit getestet (ebd, S.56ff).

Ergebnisse

Die Testergebnisse zeigen, dass die schwer und durchschnittlich hypnotisierbaren Versuchspersonen nach der Einwirkung von binauralen Beats deutlich hypnotisierbarer waren als vorher. Die leicht hypnotisierbaren Versuchspersonen zeigten keine Veränderung.

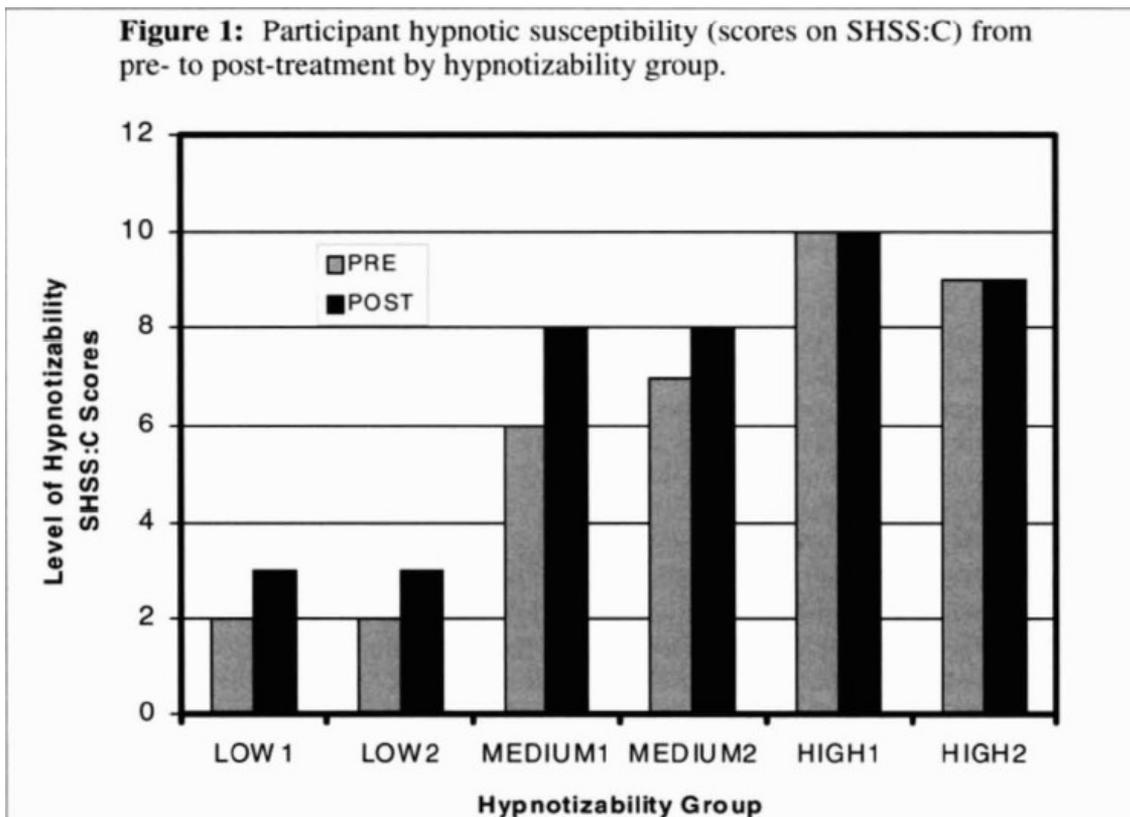


Abb.15 (Brady, Stevens 2000, S.58)

Fünf der sechs Versuchspersonen zeigten einen Aufwärtstrend der Theta-Aktivität zwischen den Sitzungen. Nur bei Versuchsperson MED1 zeigte sich ein Abwärtstrend. Die Ergebnisse deuten an, dass durch Einwirkung von binauralen Beats über einen längeren Zeitraum noch größere Unterschiede feststellbar wären (ebd, S.64). In Bezug auf die Korrelation von Theta-Aktivität und Hypnotisierbarkeit waren die Ergebnisse gemischt. Versuchsperson MED1 zeigte die größte Erhöhung der Hypnotisierbarkeit, aber gleichzeitig einen Rückgang der Theta-Aktivität bei Stimulation durch binaurale

Beats. Versuchsperson MED2 hingegen hatte den größten Anstieg der Theta-Aktivität, aber einen kleineren Anstieg der Hypnotisierbarkeit. Das deutet darauf hin, dass die Theta-Aktivität nicht unbedingt direkt zur Hypnotisierbarkeit beiträgt (ebd, S.65).

Figure 2: Mean percent theta activity over baseline and three stimulus sessions for Participant LOW1.

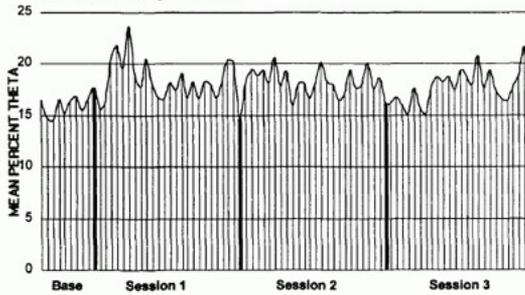


Figure 5: Mean percent theta activity over baseline and three stimulus sessions for Participant MED2.

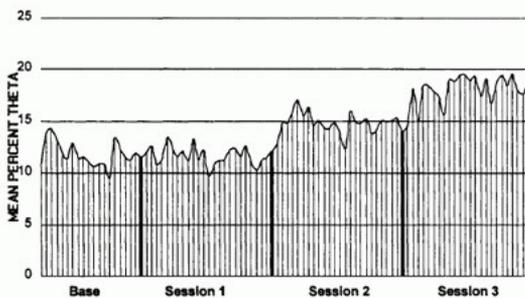


Figure 6: Mean percent theta activity over baseline and three stimulus sessions for Participant HIGH1.

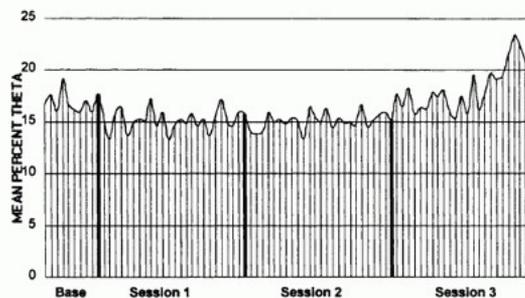


Figure 3: Mean percent theta activity over baseline and three stimulus sessions for Participant LOW2.

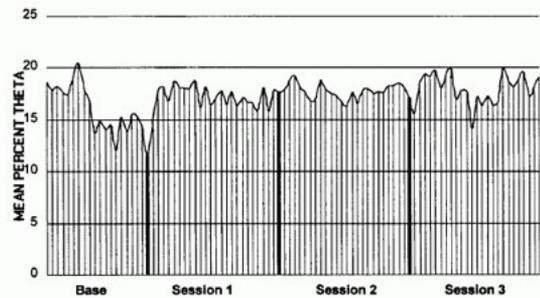


Figure 4: Mean percent theta activity over baseline and three stimulus sessions for Participant MED1.

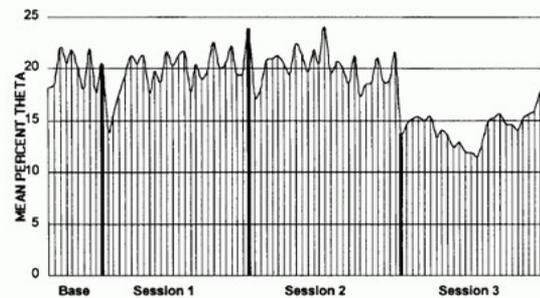


Figure 7: Mean percent theta activity over baseline and three stimulus sessions for Participant HIGH2.

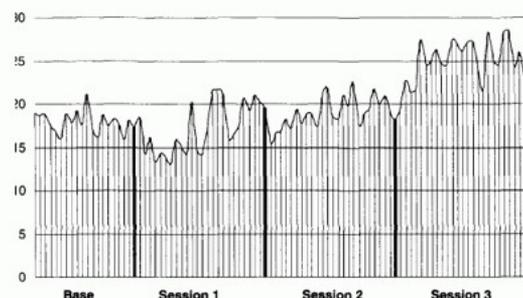


Abb.16 (Brady, Stevens 2000, S.59-62)

Widersprüchliche Resultate

Die Studie wurde im Jahr 2003 in leicht veränderter Weise wiederholt. Es wurde eine Kontrollgruppe eingeführt und die Anzahl der Versuchspersonen auf 27 erhöht. Als Stimulus diente die gleiche Kassette wie schon in der vorherigen Studie, aber die Versuchspersonen hörten sich die Aufnahme doppelt so lange an (40min).

Bei dieser Studie konnten die Resultate nicht reproduziert werden. Die Versuchspersonen zeigten keine Veränderung der Hypnotisierbarkeit und die Aktivität im Theta-Bereich des EEGs unterschied sich nicht signifikant zwischen der Experimental und der Kontrollgruppe (Stevens et al. 2003, S.302f).

Diese Ergebnisse können auf Mängel im Versuchsaufbau zurückgeführt werden. Dadurch, dass den Versuchspersonen über längere Zeit binaurale Beats vorgespielt wurden, könnte ein "Theta-Block"-Effekt eingetreten sein. Außerdem hat eine Analyse des Audiomaterials gezeigt, dass es von dem der ursprüngliche Studie abwich und die Amplitude der binauralen Beats kleiner war (ebd).

5.4 Binaural beat audio and pre-operative anxiety

Das Experiment

Von Oktober 2003 bis März 2004 wurde am Sunderland Royal Hospital in England eine Studie durchgeführt, bei der Effekt von binauralen Beats auf das Empfinden von Angst vor einer Operation untersucht wurde. In diesem Zeitraum nahmen 108 Patienten, bei denen eine Narkose vorgesehen war, an der Studie teil (Padmanabhan, Hildreth, Laws 2005, S.874f). Laut eigenen Berechnungen wurde eine Stichprobengröße von 34 Versuchspersonen pro Gruppe ermittelt, um einen Unterschied der Mittelwerte, mit einer Teststärke von 90%, festzustellen (ebd, S. 875).

Aufbau und Methodik

Am Tag der Operation wurden die Versuchspersonen 45-60 Minuten vor der Operation gebeten einen Fragebogen (State-Trait-Anxiety-Inventory) auszufüllen, mit dem die Angst der Versuchsperson ermittelt wurde.

Die Versuchspersonen wurden dann per Zufall einer von drei Gruppen zugewiesen. Eine der Gruppen hörte 30 Minuten lang binaurale Beats von einer kommerziell erhältlichen CD (Holosync Solution (Awakening Prologue)), die graduell langsamer werdend, binaurale Beats enthält, die sich in den letzten zehn Minuten im Delta-Bereich befinden. Die zweite Gruppe hörte einen identischen Soundtrack, aber ohne binaurale Beats und bei der dritten Gruppe wurde ohne spezielle Stimulation vorgegangen.

Die Vergabe der CD-Player mit den Klängen wurde doppelblind durchgeführt, so dass weder der anwesende Forscher noch die Versuchsperson wussten, welche CDs die binauralen Beats enthielten.

Nach 30 Minuten wurde erneut mit einem Fragebogen die Angst der Versuchspersonen gemessen. Die Versuchspersonen wurden gleichmäßig auf die Gruppen verteilt (ebd, S.875).

Ergebnisse

Die ursprünglichen Werte für Ängstlichkeit als persönliche Eigenschaft (STAI-T) zeigten keine signifikanten Unterschiede zwischen den Gruppen, aber die Werte für Angst als Zustand (STAI-S) waren in der binauralen Beats-Gruppe höher als in den beiden anderen. Deshalb wurden die ursprünglichen STAI-S Werte in die Berechnung mit einbezogen, um die Verzerrung der Daten anzupassen.

	Binaurale Beats n=35	Nur Audio n=34	Keine Stimulation n=35
Initial STAI-S score, %	51.6	40.5	42.8
Post-Intervention STAI-S score, %	19.2	28.0	36.6
Subjects showing an increase in STAI-S score	2	8	11
Subjects showing an decrease in STAI-S score	32	26	20
Subjects showing no change in STAI-S score	1	0	4

Die Ergebnisse dieser Studie deuten darauf hin, dass binaurale Beats eine angstmindernde Wirkung haben, was vor Operationen sehr hilfreich ist, vor allem wenn eine medikamentöse Beruhigung nicht erwünscht ist.

5.5 Binaural beat technology in humans

Das Experiment

2007 wurde in Portland eine unkontrollierte Pilotstudie durchgeführt, um vorläufige Daten für größere Studien zu sammeln. Da viele vorangegangenen Studien Mängel in ihrer Methodik aufwiesen, wurde in dieser Pilotstudie besonderer Wert darauf gelegt die psychologischen und physiologischen Auswirkungen mit besonders genauen Methoden zu erfassen (Wahbeh et al. 2007, S.26).

Aufbau und Methodik

An acht Versuchspersonen wurde getestet welchen Einfluss binaurale Beats haben, wenn sie täglich über einen Zeitraum von 60 Tagen wahrgenommen werden. Vor und nach dem Zeitraum, in dem die Versuchspersonen die CD mit binauralen Beats hörten, wurden von ihnen Speichel-, Urin- und Blutproben genommen und ihre psychologische Verfassung wurde mit Hilfe von Fragebögen ermittelt.

Die binauralen Beats wurden über eine CD vom Centerpointe Research Institute mit einer Laufzeit von 60 Minuten dargeboten. Die Beats beginnen im Beta-Bereich [sic] (10Hz) und nehmen stufenweise ab, bis sie im Delta-Bereich (2,5Hz) sind, wo sie für die restlichen 40 Minuten bleiben. Die Versuchspersonen wurden angewiesen, sich in den ersten zwei Wochen die CD täglich 30 Minuten lang anzuhören und in den folgenden 46 Tagen eine Stunde pro Tag (edb, S.26f.).

Ergebnisse

Die physiologischen und psychologischen Messdaten zeigten bei 4 Werten deutliche Veränderungen. Die Ängstlichkeit der Versuchspersonen zeigte einen deutlichen Rückgang und das Maß für Lebensqualität eine deutliche Verbesserung.

Die Werte für Dopamin, ein erregender Neurotransmitter, waren nach den 60 Tagen wesentlich zurückgegangen, sowie die des insulinähnlichen Wachstumsfaktors (IGF-1).

<i>Psychologic outcomes</i>	<i>Baseline mean</i>	<i>Endpoint mean</i>	<i>p (T ≤ t) two-tail</i>	<i>General outcomes</i>	<i>Baseline mean</i>	<i>Endpoint mean</i>	<i>p (T ≤ t) two-tail</i>
Depression ¹	6.38	5.00	0.32	Weight pounds	169	170	0.43
State Anxiety ²	32.63	38.88	0.11	Systole mm Hg	116	122	0.23
Trait Anxiety ²	42.25	33.75	0.004**	Diastole mm Hg	74.13	75.50	0.67
Total Mood Disturb ³	24.12	16.62	0.20	hsCRP ^B mg/L	1.24	1.05	0.47
Tension/Anxiety ³	10.63	8.75	0.39	Endocrine outcomes			
Depression ³	2.38	3.89	0.11	HPA axis cortisol-am ^S	5.64 ng/mL	8.6 ng/mL	0.16
Vigor ³	12.50	14.50	0.21	Noon ^S	2.24 ng/mL	1.15 ng/mL	0.53
Fatigue ³	12.00	8.13	0.18	Eve ^S	1.29 ng/mL	0.31 ng/mL	0.11
Confusion ³	7.25	6.88	0.71	Night ^S	0.28 ng/mL	0.48 ng/mL	0.47
Anger/Hostility ³	4.38	3.50	0.28	DHEA ^S	11.38 ng/mL	11.22 ng/mL	0.89
Total Absorption ⁴	44.50	45.50	0.69	Pineal: melatonin ^S	33.11 pg/mL	29.21 pg/mL	0.47
Response to stimuli ⁴	11.38	13.25	0.08	Growth hormone: IGF-1 ^B	217.75 ng/mL	178.5 ng/mL	0.01**
Synesthesia ⁴	8.50	8.38	0.89	Nervous outcomes	140.11 pg/gCr	92.14 pg/gCr	0.35
Enhanced cognition ⁴	9.38	8.88	0.23	Serotonin ^U	163.10 pg/gCr	106.09 pg/gCr	0.02**
Dissociative ⁴	9.00	8.00	0.23	Dopamine ^U	40.50 pg/gCr	38.70 pg/gCr	0.71
Vivid reminiscence ⁴	3.13	3.38	0.70	Norepinephrine ^U	5.74 pg/gCr	4.28 pg/gCr	0.23
Enhanced awareness ⁴	3.13	3.63	0.52	Epinephrine ^U			
Quality of life ⁵	84.63	90.75	0.03**				

1, Beck Depression Inventor-2 questionnaire; 2, State-Trait Anxiety Inventory; 3, Profile of Mood States; 4, Tellegen Absorption Scale; 5, World Health Organization-Quality of Life Inventory; B, blood; S, saliva; U, urine. ***p* 0.05.

DHEA, dehydroepiandrosterone; hsCRP, high-sensitivity C-reactive protein; HPA, hypothalamic-pituitary-adrenal; IGF-1, insulin-like growth-factor 1.

Abb.17 (Wahbeh et al. 2007, S.28)

Ein Rückgang der Ängstlichkeit wurde schon in früheren Studien bemerkt und die Ergebnisse dieser Studie bekräftigen diese Beobachtung. Außerdem deckt sich dieses Ergebnis mit der Reduktion von Dopamin, was auch in anderen Studien mit Angstminderung assoziiert wurde.

Die Verbesserung der Lebensqualität wurde mithilfe eines Fragebogens der World Health Organization gemessen, der psychologische, soziale, physische und umweltbezogene Aspekte miteinbezieht. Da es sich um eine Pilotstudie handelte, bei der keine Kontrollgruppe vorhanden war, ist diese Verbesserung nicht eindeutig auf die Wirkung der binauralen Beats zurückzuschließen, da eine Stunde Entspannung am Tag auch ohne den Einfluss von binauralen Beats die Lebensqualität verbessern kann (ebd).

5.6 Tinntrain

Binaurale Beats wurden auch zur Behandlung von Tinnitus eingesetzt. In einer Studie wurden 26 Versuchspersonen, die an Tinnitus litten, drei Monate lang mit persönlich zugeschnittenen Klängen behandelt, die aus binauralen Beats, Naturgeräuschen und einer Stimme bestanden. Die Frequenz der binauralen Beats lag im Bereich von 50-100Hz mit einer Schwebungsfrequenz von 10Hz. Den Versuchspersonen wurde ein Mp3-Player gegeben und sie wurden instruiert, sich die Klänge bis zu sechs Stunden jeden Tag anzuhören.

Nach drei Monaten berichteten alle Versuchspersonen, dass der Grad der Störung durch den Tinnitus zurückgegangen ist (David, Naftali, Katz 2010).

Bei dieser Studie war keine Kontrollgruppe vorhanden und es wurde nicht berichtet, wie lange sich die Versuchspersonen die binauralen Beats anhörten.

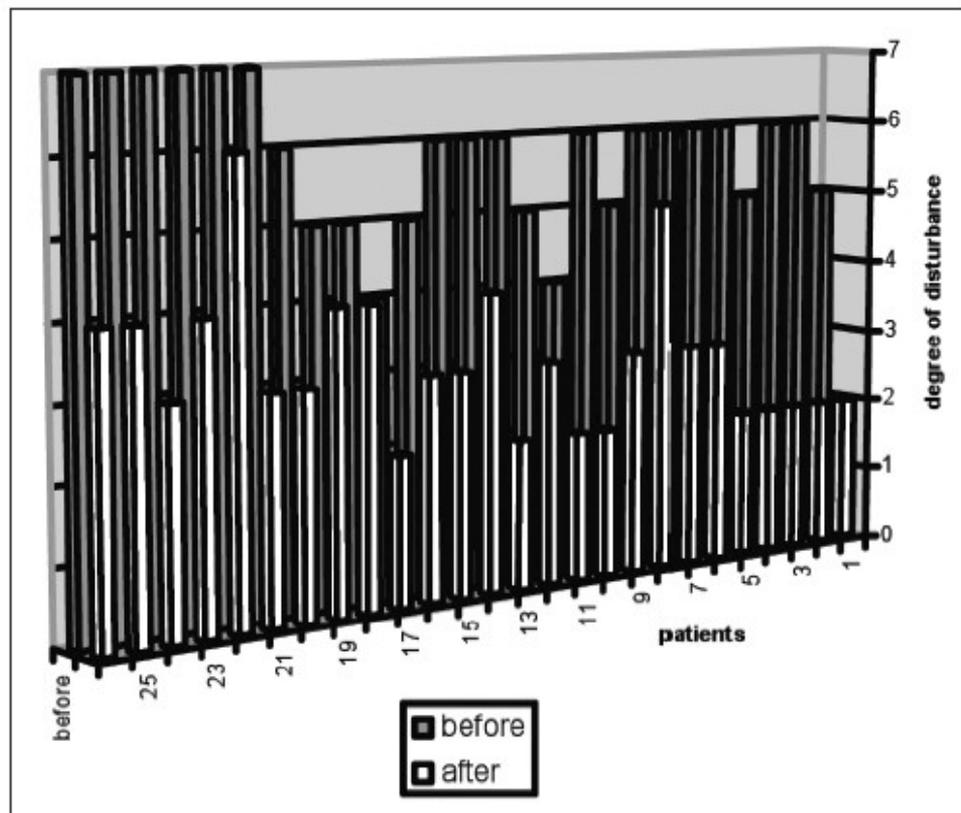


Figure 1. Degree of tinnitus disturbance pre-treatment (in red) and post-treatment (in blue).

Abb.18 (David, Naftali, Katz 2010, S. 28)

6. Pseudowissenschaft und Audiodrogen

6.1 Unbestätigte Behauptungen

"From their outset, the neurosciences have captured the public's imagination with their enviable achievements, thereby making themselves attractive for counterfeiters. Because valid applications of new discoveries in brain research could enhance a purchaser's cognitive abilities, mood, job performance, and net worth, it was predictable that hucksters would begin to trade in products that claim to refurbish the brain as a route to personal betterment. Unfortunately, this merchandise rarely lives up to its advance publicity (Beyerstein, 1990)." (Beyerstein 1999, S.59)

Binaurale Beats sind noch immer Gegenstand der Forschung und die Effekte, die ihnen von vielen Seiten zugeschrieben werden, konnten mit wissenschaftlichen Methoden nicht bewiesen werden. Manche Behauptungen wie, dass "Binaurale Beats erwiesenermaßen *physisch* auf Hirn und Körper des Zuhörers wirken und sogar veranlassen, dass die Hirnanhangsdrüse den Körper mit Wohlfühlhormonen wie Dopamin überschwemmt" (Nestor 2011, S.53), stehen sogar im direkten Widerspruch mit wissenschaftlichen Erkenntnissen (Wahbeh et al. 2007, S.27f.).

Abseits der wissenschaftlichen Forschung findet man binaurale Beats oft in Zusammenhang mit Esoterik und Alternativmedizin. Viele dieser Anbieter und Forschungsinstitute, wie das Monroe Institut, das Centrepoint Research Institute oder das Deutsche Institut für Binaural Beats Technologie, verkaufen auf ihren Webseiten CDs oder downloadbare Audiodateien mit binauralen Beats, die eine Vielzahl von psychischen Effekten versprechen (<http://www.binauralbeats.de/produkte>, <https://www.centerpointe.com/products>, <http://www.monroeinstitute.org/store>).

Diese Anbieter behaupten, dass durch man durch binaurale Beats die Hemisphären des Gehirns synchronisieren und die Gehirnströme stimulieren kann, wodurch die gewünschten Effekte entstehen.

"Die Hemisphären reagieren sofort auf Binaurale Beats und schwingen sich sozusagen auf die gleiche Frequenz ein, wie in unserem Beispiel. Die so erzielte Wirkung lässt sich wunderbar nutzen, um sich selbst in einen (nach Bedarf) konzentrierten oder entspannten mentalen Zustand zu versetzen."(www.binauralbeats.de/binaural-beats)

Das Centrepoint Research Institute nennt diese Technologie "Holosync®" (www.centerpointe.com/about), während das Monroe Institute, die als Erfinder dieses Prozesses gelten, sie "Hemi-Sync®" nennen (www.monroeinstitute.org/ressources/hemi-sync).

Auf der Website des Deutschen Instituts für Binaural Beats Technologie findet man Informationen zu Gehirnwellen, die suggerieren, dass bestimmte Frequenzen mit verschiedenen Zuständen verbunden sind, die man durch Stimulation mit binauralen Beats erreichen kann.

- *Deltawellen (0,1-4 Hz)*

Diese Wellen finden in der traumlosen Tiefschlafphase statt. Sie sollen zur Stressbewältigung dienen und förderlich für das Einschlafen sein.

- *Thetawellen (4,1-8 Hz)*

Thetawellen kommen in der leichten Schlafphase vor. Durch sie kann man angeblich besser meditieren, seinen Geist empfänglich für geniale Ideen machen, man erhält Zugriff auf die Steuerung des Unterbewusstseins und steigert seine Kreativität ins Unermessliche.

- *Alphawellen (8,1-13 Hz)*

Alphawellen entstehen im Gehirn bei leichter Entspannung und gleichzeitiger Wachheit. Durch Stimulation mit Alphawellen soll die Konzentration gestärkt werden, das Gehirn in den Entspannungsmodus gebracht werden und sie sollen sich zur Selbsthypnose eignen.

- *Betawellen (13,1-30 Hz)*

Betawellen treten auf, während man konzentriert, aber nicht übermäßig angespannt ist. Auf der Website wird nicht angegeben welche praktischen Anwendungsmöglichkeiten dieser Frequenzbereich hat.

- *Gammawellen (>30 Hz)*

Gammawellen treten bei starker Konzentration auf und binaurale Beats in diesem Frequenzbereich sollen bei anspruchsvollen Arbeiten helfen und einen hoch-effektiven "Power-Fokus" erzeugen.

(Quelle: www.binauralbeats.de/binaural-beats/binaural-beats-anwendung,
www.binauralbeats.de/brainwave-entrainment/gehirnwellen.)

Während die Frequenz der Gehirnwellen zwar mit dem Wachheitszustand verbunden ist (Zschocke 2002, S. 160), aber durch das Vorhandensein von bestimmten Wellen allein kann man nicht auf den Bewusstseinszustand schließen (Beyerstein 1990, S. 30). Alphawellen entstehen bei entspannter Wachheit (Zschocke 2002, S. 159), aber es wurde auch gezeigt, dass Personen lernen konnten Alphawellen zu produzieren, wenn sie sich in bedrohlichen Situationen befanden (Beyerstein 1990, S. 30).

Diese Behauptungen über mögliche Wirkungen stützen sich auf keinerlei wissenschaftliche Forschung und zugleich ist nicht nachgewiesen, dass die Synchronisation der Gehirnhälften einen positiven Effekt hat.

"Monroe, in his glossy promotional campaigns, however, has never been able to provide any credible evidence that synchronizing the two hemispheres would be of any benefit in either the short or the long term. In fact, as Fenwick (1987) and Beyerstein (1990) have pointed out, increases in coherence are also seen in patients with schizophrenia, during epileptic seizures and so-called delta comas, and even in brains on the verge of death. Fenwick (1987) has also warned that amateurs who don't really understand the intricacies of EEG recording methods can easily produce an illusion of coherence between EEG channels which is nothing more than an artifact of the faulty recording technique." (Beyerstein 2000, S.19)

Binauralbeats.de ist dabei nur ein Beispiel unter vielen, die binaurale Beats als Allheilmittel verkaufen ohne wissenschaftliche Beweise für die Gültigkeit ihrer Aussagen anzugeben.

Neben den bereits Erwähnten gibt es noch weitere ähnliche Anbieter, die auf ihren Websites CDs und Audiodownloads verkaufen und ihren Kunden Effekte versprechen, die von Entspannung bis hin zu Astralprojektion, der Fähigkeit die Aura eines Menschen zu sehen und Stärkung der Sehkraft reichen (www.unexplainablestore.com; www.ennora.com; www.brainev.com .)

Es ist wissenschaftlich bewiesen, dass man durch Stimulation mit binauralen Beats die Gehirnwellen beeinflussen kann (Pratt et al. 2009; Karino et al. 2006, Schwarz, Taylor 2005). Dass dadurch mehr bewirkt werden kann als (wenn überhaupt) Entspannung (Wahbeh et al. 2007; Padmanabhan, Hildreth, Laws 2005) ist allerdings nicht bewiesen.

6.2 High durch binaurale Beats

Eine weitere unbewiesene Behauptung über binaurale Beats ist, dass sie den Körper mit Wohlfühlhormonen überschwemmen (Nestor 2011, S.52) oder gar die Effekte von Drogen simulieren können.

"I-Dosing is the use auf auditory tones in an attempt to alter consciousness in ways that creates a simlated mood or experience, such as to mimic recreational drugs." (www.i-doser.com/about.html)

Die Produkte von I-Doser haben Titel wie "*Marijuana/Cocaine/Opium/Peyote*" (www.i-doser.com/index.php?main_page=index&Patch=35) und durch Gehirnwellensynchronisation mit binauralen Beats soll das Gehirn in den gleichen Zustand gebracht werden wie unter dem Einfluss dieser Drogen (ebd).

Auch diese Wirkungen basieren auf keinen wissenschaftlichen Forschungen und sind wahrscheinlich mit dem Placebo-Effekt erklärbar.

Diese digitalen Drogen haben 2010 reges mediales Interesse genossen, nachdem Schüler in Oklahoma, die anscheinend unter Drogeneinfluss waren, angaben sogenannte i-dosers ausprobiert zu haben (Colberg 2010).

"Though i-dosing has been around for several years -- known by various terms, such as "digital drugs" -- a March incident in Oklahoma prompted a new wave of concern. The Mustang public school district learned that kids were i-dosing and sent a letter home warning parents to be on the alert. Since then, tech blogs and media outlets have debated the riskiness of the practice[...]" (Hesse 2010)

Während man den Zustand den die Jugendlichen erfahren auf den Placeboeffekt zurückführen kann, ist das eigentliche Anliegen die Vermarktung von binauralen Beats als legale Drogen. Das Interesse an den Rauschzuständen könnte dazu führen, dass Jugendliche auch andere Suchtmittel ausprobieren (Colberg 2010).

7. Diskussion

Die hier vorgestellten Studien zeigen, dass das Hören von binauralen Beats Effekte auf das Gehirn und das Bewusstsein ausüben kann. Zwei klinischen Studien haben gezeigt, dass die Gehirnaktivität der Schwebungsfrequenz folgt (Pratt et al. 2009; Karino et al. 2006).

Dass dadurch jedoch die Effekte erzielt werden können, die den binauralen Beats nachgesagt werden, ist fragwürdig, da einige der hier angeführten Studien Mängel in ihrer Methodik aufweisen.

Die Studie von Lane et al. ,die 1998 durchgeführt wurde, kam zu dem Ergebnis, dass Stimulation mit binauralen Beats im Beta-Bereich die Wachsamkeit erhöht, während sie im Delta/Theta-Bereich einschläfernd wirkt. In dieser Studie gab es jedoch keine Kontrollgruppe und die Daten der Trainingssitzung, ohne den Einfluss von binauralen Beats, wurden nicht veröffentlicht, weswegen die Ergebnisse nur darauf hindeuten, dass die Versuchspersonen bei der Stimulation im Beta-Bereich aufmerksamer waren als im Delta/Theta-Bereich (Lane et al. 1998). Da man nun keinen Grundwert hat, zu dem diese Ergebnisse in Verbindung stehen, kann man sie nicht genau beurteilen.

Der Einfluss auf die Hypnotisierbarkeit wurde in einer Studie zwar nachgewiesen (Brady,Stevens 2000), konnte aber in einer ähnlichen Studie nicht reproduziert werden (Stevens et al. 2003). Dabei ist darauf hinzuweisen, dass in der ersten Studie die Versuchspersonen über binaurale Beats aufgeklärt wurden, während aus der zweiten Studie, die auch technische Probleme mit dem Audiostimulus hatte, nicht hervorgeht, ob die Versuchspersonen aufgeklärt waren oder nicht. Falls sie die möglichen Effekte von binauralen Beats nicht kannten, können die Ergebnisse der ersten Studie auf den Placeboeffekt zurückgeführt werden.

Der lindernde Effekt, den binaurale Beats auf Tinnitus haben wird laut David, Naftali und Katz darauf zurückgeführt, dass durch Entrainment mit binauralen Beats Gehirnwellen im Beta-Bereich, die die Reaktion auf den Tinnitus verschlimmern können, durch Alpha-Wellen ersetzt werden, die Ruhe fördern (Dave,Naftali,Katz 2010,

S.25). Gehirnwellen im Alpha-Bereich sind kennzeichnend für den normalen Ruhegrundrhythmus, der eintritt, wenn man die Augen, bei gleichzeitiger Wachheit, geschlossen hat (Zschocke 2002, S.159). Im Verlauf dieser Studie hörten die Versuchspersonen Naturgeräusche, weißes Rauschen und eine weibliche oder männliche Stimme zusätzlich zu den binauralen Beats, um die Entspannung zu steigern. Da in dieser Studie keine Kontrollgruppe untersucht wurde kann der lindernde Effekt nicht allein auf die binauralen Beats zurückgeführt werden. Außerdem ist nicht zu ermitteln, welchen Effekt Entrainment durch Frequenzen im Alphabereich zuzüglich zu entspannender Musik hat, da im entspannten Zustand ohnehin ein Alpha-Rhythmus vorherrscht.

Die Ergebnisse der von Padmanabhan, Hildreth und Laws durchgeführten Studie suggerieren, dass binaurale Beats einen beruhigenden, bzw. angstlösenden Effekt haben. Wesentlich dabei ist, dass binaurale Beats auch im Vergleich zur Kontrollgruppe entspannender waren, die sich einen identischen Soundtrack ohne binaurale Beats anhörte (Padmanabhan, Hildreth, Laws 2005).

Wahbeh et al. kamen zu ähnlichen Ergebnissen (Wahbeh et al. 2007). Die Versuchspersonen in dieser Studie hörten sich 60 Tage lang eine lang Stunde pro Tag binaurale Beats an, was aber auch ohne binaurale Stimulation zu erhöhter Entspannung führen kann.

Abgesehen davon, dass binaurale Beats eine entspannende Wirkung haben können, sind ihre Effekte kaum erforscht. Zukünftige Studien müssen unbedingt gut geplant werden, damit die möglichen Effekte deutlich bewiesen oder widerlegt werden können.

Dazu müssen der Placeboeffekt und der Versuchsleiter-Erwartungseffekt durch einen Doppelblindversuch kontrolliert werden, damit die Ergebnisse nicht durch die Erwartungshaltung der Versuchspersonen, oder des Versuchsleiters, beeinflusst werden. Um die Wirkung von binauralen Beats vergleichen zu können, benötigt man auch eine Kontrollgruppe, die sich Audiomaterial ohne binaurale Stimulation anhört. Ohne sie sind Ergebnisse nicht auf die Einwirkung durch binaurale Beats zurückzuführen.

Aber auch abgesehen von den Auswirkungen auf das Bewusstsein sind binaurale Beats interessant. Vorallem für die Neurologie, die sie zur Stimulation von akustisch

evozierten Potentialen einsetzen und so das Repertoire der EEG-Untersuchung erweitern kann (Schwarz, Taylor 2005, S.667).

Binaurale Beats könnten auch zur Diagnose von neurodegenerativen Erkrankungen eingesetzt werden. Gerald Oster berichtete bereits, dass Personen, die an der Parkinson-Krankheit leiden binaurale Beats nicht wahrnehmen konnten (Oster 1973, S.100). Meines Wissens wurde in diesem Bereich allerdings aber noch nicht weitergeforscht.

8. Literatur

Atcherson, Samuel R.; Stoody, Tina M. [Hrsg.] *Auditory Electrophysiology: A Clinical Guide*. New York: Thieme, 2012.

Atwater, F. Holmes. "Inducing Altered States of Consciousness with Binaural Beat Technology." *Proceedings of the Eight International Symposium on New Science*. (1997): S.11-15.

Beyerstein, Barry L., "Brainscams: Neuromythologies of the New Age." *International Journal of Mental Health* Vol. 19 No. 3 (1990): S.27-36.

Beyerstein, Barry L. "Pseudoscience and the brain: Tuners and tonics for aspiring superhumans" in Della Sala, Sergio [Hrsg.] *Mind-Myths: Exploring popular Assumptions about the Mind and Brain*. Chichester 1999.

Brady, Brian; Stevens, Larry. "Binaural Beat Induced Theta EG Activity and Hypnotic Susceptibility." *American Journal of Clinical Hypnosis* Vol. 43 No. 1 (2000): S.53-69.

Buchner, Helmut; Noth, Johannes [Hrsg.]. *Evozierte Potenziale, Neurovegetative Diagnostik, Okulographie*. Stuttgart: Thieme, 2005.

Campbell, Thomas. *My Big Toe*. Lightning Strike Books, 2005.

Clayton, Martin; Sager, Rebecca; Will, Udo. "In time with the music: the concept of entrainment and its significance for ethnomusicology" *European Meetings in Ethnomusicology*, Vol.11 (2005): S.3-75.

Colberg, Sonya. "'Digital drugs' at Mustang High School have experts warning of slippery slope." *NewsOK* <http://newsok.com/digital-drugs-at-mustang-high-school-have-experts-warning-of-slippery-slope/article/3475464/?page=1> aufgerufen am

27.02.2013

David, J. Ben; Naftali, Anthony; Katz, Arie. "Tintrain: A multifactorial treatment for tinnitus using binaural beats." *The Hearing Journal* Vol. 63 No. 11 (2010). S.25-28.

Deutsches Institut für Binaural Beat Technologie. "Binaural Beats Produkte." www.binauralebeats.de/produkte aufgerufen am 8.12.2012.

Dove, Heinrich Wilhelm [Hrsg.]. *Repertorium der Physik*. Berlin: Veit & Comp, 1839.

Dove Heinrich Wilhem. "Eine akustische Interferenz." *Monatsbericht der Akademie Mai* (1857): S.492-494.

Doyle, Ron S., "I-Dosing: Digital Drugs and Binaural Beats." *Psychology Today*, 14.07.2010. <http://www.psychologytoday.com/blog/you-20/201007/i-dosing-digital-drugs-and-binaural-beats> aufgerufen am 8.12.2012.

Draganova, Rossitza; Ross, Bernhard; Wollbrink, Andreas; Pantev, Christo. "Cortical Steady-State Responses to Central and Peripheral Auditory Beats." *Cerebral Cortex* Vol. 18 Issue 5 (2008) S.1193-1200.

Ennora Meditation, <http://www.ennora.com> , aufgerufen am 26.02.2013

Forgber, Lisa. "I-Dosing: Drogen aus dem Kopfhörer." *Der Tagesspiegel*, 11.08.2010. <http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/binaural-beats-i-dosing-drogen-aus-dem-kopfhoerer/1901428.html> aufgerufen am 8.12.2012.

Hall, Donald. *Musikalische Akustik*. Mainz: Schott, 2008.

Hellbrück, Jürgen; Ellermaier, Wolfgang. *Hören: Physiologie, Psychologie und Pathologie*. Göttingen: Hogrefe, 2004.

Hesse, Monica. "Some call i-dosing a drug substitute, while others say binaural beats fall flat." *The Washington Post* <http://www.washingtonpost.com/wp-dyn/content/article/2010/08/02/AR2010080204842.html> aufgerufen am 27.02.2013.

I-Doser, <http://www.i-doser.com> , aufgerufen am 27.02.2013.

inspire3, "Brain Evolution System" <http://www.brainev.com>" aufgerufen am 26.02.2013.

Karino, Shotaro; Yumoto, Masato; Itoh, Kenji; Uno, Akira; Yamakawa, Keiko; Sekimoto, Sotaro; Kaga, Kimitaka. "Neuromagnetic Responses to Binaural Beat in Human Cerebral Cortex." *Journal of Neurophysiology* 96 (2006): S.1927-1938.

Lane, C.E. "Binaural Beats." *Physical Review* Vol. 26 Issue 3 (1925): S.401-412.

Lane, James D.; Kasian, Stefan J.; Owens, Justine E.; Marsh, Gail R., "Binaural Auditory Beats Affect Vigilance and Mood." *Physiology & Behavior* Vol. 63 No. 2 (1998): S.249-252.

Licklider, Joseph Carl Robnett; Webster, J.C.; Hedlun, J.M., "On the Frequency Limits of Binaural Beats." *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 22 Nr. 4 (1950): S.468-473.

London, Justin. "Rhythm." *Grove Music Online, Oxford Music Online*. Oxford University Press, <http://www.oxfordmusiconline.com/subscriber/article/grove/music/45963pg1> aufgerufen am 05.01.2013.

Mattle, Heinrich; Mumenthaler, Marco. *Neurologie*. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 2011.

Nestor, James. *Opium bringt Opi um*. übersetzt von Trinkaus, Petra. Köln: Bastei Lübbe 2011

Oster, Gerald. "Auditory Beats in the Brain" *Scientific American* 229 (1973): S.94-102.

Padmanabhan, R.; Hildreth, A.J.; Laws, D., "A prospective, randomised, controlled study examining binaural beat audio and pre-operative anxiety in patients undergoing general anaesthesia for day case surgery." *Anaesthesia* Vol. 60 Issue 3 (2005): S.874-877.

Perrot, David R.; Nelson, Michael A., "Limits for the Detection of Binaural Beats." *The Journal of the Acoustical Society of America*. Vol. 46 Nr. 6 (1969): S.1477-1481.

Pratt, Hillel; Starr, Arnold; Michalewski, Henry J.; Dimitrijevic, Andrew; Bleich, Naomi; Mittelman, Nomi. "Cortical evoked potentials to an auditory illusion: Binaural beats." *Clinical Neurophysiology* 120 (2009): S.1514-1524.

Pratt, Hillel; Starr, Arnold; Michalewski, Henry J.; Dimitrijevic, Andrew; Bleich, Naomi; Mittelman, Nomi. "A comparison of auditory evoked potentials to acoustic beats and to binaural beats" *Hearing Research* 262 (2010): S.34-44.

Roederer, Juan G., *The Physics and Psychophysics of Music: An Introduction*, New York: Springer, 2008.

Roederer, Juan. *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*. Berlin: Springer, 2000.

Schwarz, Dietrich W. F.; Taylor, P. "Human auditory steady state responses to binaural and monaural beats." *Clinical Neurophysiology* 116 (2005): S.658-668.

Stewart, G.W. "The Theory of Binaural Beats." *Physical Review* Vol. 9 Issue 6 (1917): S.514-528.

Stevens, Larry; Haga, Zach; Queen, Brandy; Brady, Brian; Adams, Deanna; Gilbert, Jamie; Vaughan, Emily; Leach, Cathy; Nockels, Paul; McManus, Patrick. "Binaural Beat Induced Theta EEG Activity and Hypnotic Susceptibility: Contradictory Results and Technical Considerations" *American Journal of Clinical Hypnosis* Vol. 45 Issue 4 (2003): S.295-309.

The Unexplainable Store, "Audio Brainwave Stimulation And Crystals" <http://www.unexplainablestore.com> , aufgerufen am 26.02.2013.

Tobias, Jerry V. "Application of a 'Relative' Procedure to a Problem in Binaural-Beat Perception." *The Journal of the Acoustical Society of America* Vol.35 Nr.9 (1963): S.1442-1447.

Tobias, Jerry V. "Consistency of Sex Differences in Binaural Beat Perception." *International Journal of Audiology* Vol.4 No.2 (1965): S.179-182.

Wahbeh, Helanè; Calabrese, Carlo; Zwickey, Heather. "Binaural Beat Technology in Humans: A Pilot Study to Assess Psychologic and Physiologic Effects." *The Journal of Alternative and Complementary Medicine* Vol. 13 Nr. 1 (2007): S.25-32.

Yost, William. *Fundamentals of Hearing: An Introduction*. San Diego: Academic Press, 2007.

Zschocke, Stephan. *Klinische Elektroenzephalographie*. Berlin: Springer, 2002.

Abstract

Diese Diplomarbeit befasst sich mit dem psychoakustischen Phänomen: binaural Beats. Dabei handelt es sich um Schwebungen, die entstehen, wenn beiden Ohren separat zwei Töne vorgespielt werden, deren Frequenzen sich leicht unterscheiden. Binaurale Beats entstehen in der Folge durch die Interaktion der Nervensignale der Hörbahn.

Es werden die physikalischen und physiologischen Grundlagen der Erzeugung und Wahrnehmung von Schall vorgestellt.

Danach werden die Eigenschaften von binauralen Beats und die neuronalen Reaktionen auf sie behandelt.

Anschließend werden fünf Studien präsentiert, die die möglichen Effekte von binauralen Beats untersucht haben. Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass das Hören von binauralen Beats einen entspannenden Effekt haben könnte.

Dann werden pseudowissenschaftliche Anbieter aufgezeigt, die binauralen Beats unbestätigte Effekte zuschreiben.

Abschließend werden die Methodik und Ergebnisse der vorgestellten Studien kritisiert.

Lebenslauf

Persönliche Daten:

Name: Sebastian Rossböck
Telephon: 0650/4617156
E-Mail: s.rossboeck@gmail.com
Nationalität: Österreich

Schulbildung:

09/1993-06/1995 Volksschule 16, 9020 Klagenfurt
09/1995-06/1996 Volksschule Poggersdorf, 9130 Poggersdorf
09/1996-06/1997 Volksschule 16, 9020 Klagenfurt
09/1997-06/2005 BG/BRG Mössingerstraße, 9020 Klagenfurt

Studienverlauf:

09/2007-03/2013 Universität Wien: Fachrichtung Musikwissenschaft
Studienschwerpunkt: systematische Musikwissenschaft

Weitere Qualifikationen:

Fremdsprachen: Englisch fließend in Wort und Schrift
Französisch (Grundkenntnisse)

Besondere Kenntnisse:

Instrumente: Gitarre, Bassgitarre, Schlagzeug, elektronische Musikproduktion
PC-Kenntnisse: Audioproduktion und Aufnahme: Cubase, Logic
Videoschnitt: Final Cut, Adobe Premiere
Grafik: Adobe Photoshop, Adobe Illustrator