



DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Phänomene der Oktavillusion“

Verfasser

Harald Schandara

angestrebter akademischer Grad

Magister der Philosophie (Mag.phil.)

Wien, Jänner 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 316

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Musikwissenschaft

Betreuerin / Betreuer:

Univ.-Prof. Dr. Christoph Reuter

Inhaltsverzeichnis:

1.0 Vorwort	1
1.1 Einleitung	2
1.2 Das Ohr	4
1.3 Psychoakustische Grundlagen	
1.3.1 Tonhöhenwahrnehmung.....	7
1.3.2 Frequenzgruppen.....	8
1.3.3 Residualtöne und Differenztöne.....	9
1.3.4 Sinustöne und Schwebungen.....	10
1.3.5 Kombinationstöne.....	12
1.3.6 Komplexe Wellenformen und Maskierung.....	13
1.3.7 Partielle Verdeckung/Maskierung.....	15
1.3.8 Klangfarbe.....	16
1.3.9 Partielle Verdeckung (nach Fricke).....	17
1.3.10 Verschmelzung als Begriff.....	18
2.0 Gruppierungsmechanismen beim Musikhören	20
2.1 Auditory Stream Segregation.....	21
2.2 Gestaltgesetze.....	25
2.3 Messmethoden.....	29
2.4 Tempo.....	31
2.5 Lokalisation.....	33
2.6 Melodieverlauf.....	35
2.7/8 Aufmerksamkeitsfokus/Asynchronizität von Einsätzen.....	36
2.9 Intensitätsunterschiede.....	38
2.10 Klangfarbendifferenzen.....	39
3.0 Händigkeit	44
3.1 Right Shift Theory nach Annett.....	45
3.2 Messmethoden.....	46
4.0 Das Phänomen der Oktavillusion	
4.1 Musical Illusions.....	48
4.2 Separate „What“ and „Where“ Decision Mechanisms.....	49
4.3 Lateralization by Frequency.....	51
4.4 Ear Dominance and Sequential Interactions.....	52
4.5 Pitch Proximity in the Grouping of Simultaneous Tones.....	56
4.6 Pitch Class Theory.....	58
5.0 Replikationsexperiment Oktavillusion 2011	
5.1 Methode I.....	60
5.2 Unterschiede in den Ergebnissen der Händigkeitsklassifizierung.....	64
5.3 Methode II.....	64
5.4 Ergebnisse.....	65
6.0 Zusammenfassung	67
7.0 Literaturverzeichnis	72

1.0 Vorwort:

In der Psychoakustik sind einige Paradoxien und auditorische Illusionen bekannt, jede davon ist ein Faszinosum für sich. Diana Deutsch's Oktavillusion ist eines der am meisten untersuchten Phänomene, seit ihrer Entdeckung 1973 sind nahezu jedes Jahr Artikel und Studien zur Thematik erschienen. Um nachvollziehen zu können wie sich die Illusion tatsächlich anhört braucht man lediglich einen Internetzugang und einen Kopfhörer, auf Diana Deutsch's Website stehen die Stimuli zum anhören bereit (http://philomel.com/musical_illusions/example_octave_illusion.php).

Selbst wenn man versucht die Wahrnehmung bewusst zu beeinflussen, gelingt das kaum, oder nur in sehr geringem Maß. Der Grund, weswegen genau die Oktavillusion als Thema gewählt worden ist, ist der, dass ich 2011 an einem Replikationsexperiment zu dieser als Versuchsleiter beteiligt war.

Die Ergebnisse dieses Experiments sind im Oktober 2011, beim 162. Meeting der Acoustical Society of America, in San Diego, präsentiert worden.

Die Arbeit ist so aufgebaut, dass nach einer kurzen Einleitung einige, für das Verständnis des Oktavillusionseffekts wichtige, psychoakustische Grundlagen beschrieben werden.

Einen Schwerpunkt bildet dann die Auditory Stream Segregation, es werden zu diesem Thema einige Experiment und Erklärungsmöglichkeiten aufgeführt. Im Anschluss daran folgt ein Abriss zur Händigkeit und Annett's Right Shift Theory, welche bis jetzt das beste Erklärungsmodell für die Händigkeit zu sein scheint. Diesem Abschnitt ist noch Krumhansl's Pitch Shift Theory angehängt, da diese zur Erfassung der Oktavillusion unumgänglich ist. Weiters findet sich dort ein Abschnitt zu den Möglichkeiten der akkuraten Messung der Händigkeit und Erklärungen dazu, welche Unterschiede es gibt.

Im Anschluss an diese Theoretischen Grundlagen werden einige Studien zur Oktavillusion beschrieben, die Auswahl der Experiment basiert auf einer gewissen Durchgängigkeit.

Es gibt noch unzählige mehr, bei einigen ist zum Beispiel über längere Zeit demselben Phänomen auf unterschiedliche Weise nachgegangen worden, beschrieben werden jene Studien, die jeweils mehr oder weniger am Ende einer solchen Kette stehen. Im Vergleich dazu wird dann das eigene Experiment beschrieben, gefolgt von einer Zusammenfassung, in welcher noch einmal auf die Zusammenhänge eingegangen wird.

1.1 Einleitung:

Aufgrund der gegebenen Komplexität von Musikalischem Schall erscheint es unmöglich die Mechanismen der auditiven Wahrnehmung als ganzes zu untersuchen. In den Experimenten werden meist Teilaspekte untersucht und die Erkenntnisse anschließend mit dem großen Ganzen der auditiven Wahrnehmung verbunden. Ein überwiegender Teil der Forschungen beschäftigt sich direkt oder indirekt mit den Funktionen und Gesetzmäßigkeiten der Unterscheidung von Schallereignissen. Als Begründer der musikalischen Akustikforschung kann Herrmann von Helmholtz' Arbeit von 1896, „Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik“ angesehen werden. Aber auch ein Blick in Instrumentationslehren verschiedener Epochen, wie beispielsweise jene von Berlioz aus der Mitte des 19. Jahrhunderts und Anfang des 20. Jahrhunderts von Richard Strauss überarbeiteten, bieten interessante Einblicke.

Beschäftigt man sich mit einem solchen Buch erkennt man schnell dass die Komponisten und Komponistinnen schon sehr viel länger über Phänomene wie Verdeckung, Verschmelzung, Klangfarben, Frequenzgruppen, Formanten und andere „psychoakustische“ Erscheinungen Bescheid wussten.

Auf welche Art und Weise wird also vorgegangen? Das Basisinstrument der Psychoakustik ist das wissenschaftliche Experiment, es handelt sich also um empirische Vorgehensweisen.

Was wir hörend wahrnehmen ist nämlich meist nicht im Einklang mit dem tatsächlich physikalisch stattfindenden Ereignis. Aus diesem Grund werden Schallphänomene in der Psychoakustik jeweils von zwei Seiten beschrieben, erstens über die subjektiven Eigenschaften wie zum Beispiel Klangfarbe oder Lautheit, zweitens über die objektiv physikalisch messbaren wie die Auslenkung oder die spektrale Beschaffenheit. „Ein Hörereignis lässt sich durch die Parameter Lautstärke, Tonhöhe, Klangfarbe und Dauer beschreiben. Vorrangig korreliert die wahrgenommene Lautstärke auf der objektiven Seite der Schallereignisse mit der Amplitude der Schwingungen die Tonhöhe mit der Wiederholungshäufigkeit von Perioden im Schwingungsverlauf, die Klangfarbe mit der spektralen Zusammensetzung der Schallwelle und die Dauer mit den gemessenen Zeitabschnitten der Schalleinwirkung auf das Gehör“ (Bruhn/Kopiez/Lehmann, 2009, S.413).

Abgesehen von diesen gibt es noch andere untergeordnete Abhängigkeiten, im Prinzip hängen aber alle Parameter der Wahrnehmung mit ihren physikalischen Gegenständen zusammen.

Anders als die verschiedenen Messtechniken bei den physikalischen Parametern benötigt man für die Gewinnung von psychoakustischen Daten eben die Höreindrücke von Versuchspersonen, welche im eingangs erwähnten im Hörexperiment ermittelt werden.

Bereits im frühen Mittelalter konstatiert Boethius in „De Institutione Musicae“ dass es bei der Untersuchung der Musik keinen Sinn ergebe diese über die Sinne der Menschen zu betreiben.

Allein der Umstand dass die Wahrnehmung nicht nur von Mensch zu Mensch verschieden sei, sondern auch bei der selben Person zu unterschiedlichen Zeitpunkten, führe zu der Konsequenz die Musik ausschließlich über die Mathematik zu beschreiben. Das wäre die einzige Möglichkeit zu einer gültigen Wahrheit zu gelangen.

Lange Zeit war das Wissen um Klang nicht ausreichend um an diese Idee in einer Vernünftigen Art und Weise anknüpfen zu können. Der Entwicklung mathematischer Systeme sind im 20. Jahrhundert die technischen Möglichkeiten gefolgt um Klänge systematisch zu erforschen und zu beschreiben. Es war unumgänglich ein Verständnis von Klang und Schall zu entwickeln um psychoakustische Phänomene wissenschaftlich erschließen zu können.

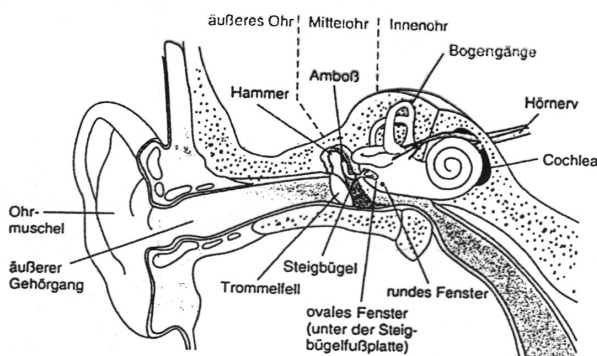
Bei Experimenten zur Wahrnehmung ist es von entscheidender Wichtigkeit die physikalischen Stimuli genau zu bestimmen und zu beschreiben um sie überhaupt in Relation zu den Perzepten stellen zu können. Es geht also darum die subjektiv wahrgenommen Phänomene den objektiv physikalisch vorhandenen Stimuli gegenüberzustellen.

1.2 Das Ohr:

Die Aufgabe des Ohres ist es eintreffende Luftdruckschwankungen in Nervenimpulse umzuwandeln welche dann im Gehirn weiter verarbeitet werden (Keidel 1975, S.45). Der Schall trifft auf die Ohrmuschel und gelangt über den Gehörgang zum Trommelfell. Die Ohrmuschel bewirkt einen Trichtereffekt für kurzweilige Schallwellen in Richtung des Trommelfells (Hall 2003, S.106).

Der gesamte Gehörgang ist durchschnittlich etwa 2,5 – 3cm lang und misst ca. 1cm im Durchmesser, seine Abmessungen können jedoch von Mensch zu Mensch starke Unterschiede aufweisen (Gelfand 2004, S.44). Am Ende des Gehörgangs befindet sich das Trommelfell, eine dünne, elliptische und nach außen konkave Scheibe aus faserigem Gewebe, die ja nach Schalldruck hin und her schwingt (ders. 2004, S.44). Hinter dem Trommelfell befindet sich das Mittelohr, dieses ist mit der Mundhöhle über die Eustachische Röhre verbunden, dies ist notwendig um ein freies schwingen des Trommelfells zu gewährleisten (Hall 2003, S.106). Mittel und Innenohr sind durch zwei kleine Öffnungen, welche Membranen zum verschließen aufweisen, verbunden (Yost 2007, S.69). Sie werden als ovales Fenster und rundes Fenster bezeichnet und schließen die Flüssigkeit des Innenohrs (Perilymphe) ein (Gelfand 2009, S.42). Im Mittelohr befinden sich drei Gehörknöchelchen, als Hammer, Amboss und Steigbügel bezeichnet, diese ergeben zusammen ein Hebelübersetzung welches die Schwingungen in das Innenohr weiterleitet. Die Übersetzung beträgt in etwa 1,3, der Druck, welcher am ovalen Fenster ankommt ist 1,3 Mal höher als jener welcher

vom Trommelfell abgegeben wird (Keidel 1975, S.52). Im Mittelohr befinden sich weiters der Hammermuskel und der Steigbügelmuskel, ersterer befestigt das Trommelfell, zweiterer statbilisiert den Steigbügel zu den Seiten hin und erhöht dadurch die Steifigkeit des Systems (Hall 2003, S.108). Die beiden Muskeln fungieren, bis zu einem Grad, auch als Schutzmechanismus bei zu starken Schalldrücken (Keidel, 1975, S.50).



nach Hall 2004, S.106

Der Steigbügelmuskel wird bei Schalldrücken von über 80-100dB aktiviert und weist eine Reaktionszeit von 10-20ms auf, der Hammermuskel reagiert in etwa 10 Mal langsamer, wodurch bei Frequenzen über 1000Hz eine Intensitätsdämpfung von bis zu 20dB erreicht werden kann (Yost 2007, S.77).

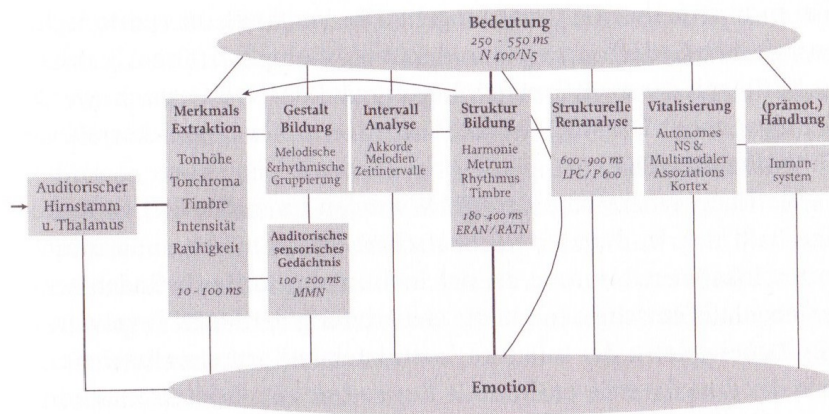
Das Innenohr besteht aus der Schnecke und den Gängen des Vestibulapparates, welcher dem Gleichgewichtssinn dient (Yost 2007, S.83). Die Schnecke ist ein zum Ende hin schmaler werdendes Rohr, welches drei mal eingerollt ist und eine Länge von in etwa 3,5cm aufweist (ausgerollt). Innen ist die Schnecke durch den Schneckengang, einem Kanal, welcher mit zäher Flüssigkeit (Endolymphe) gefüllt ist, in zwei Gänge geteilt (Gelfand 2009, S.54). Diese werden als Paukengang und Vorhofsgang bezeichnet, beide sind mit Perilymphe gefüllt (ders. ebenda).

Im Paukengang befindet sich die Basilarmembran, sie schwingt je nach Anregung und leitet diese Schwingungen an das Cortische Organ weiter, welches wiederum auf der inneren Seite der Basilarmembran sitzt (Yost 2007, S.88). Das Cortische Organ beherbergt um die 20.000 Haarzellen, durch die Schwingungen der Basilarmembran gruppenweise angeregt senden sie Signale in die angrenzenden Zellen der Gehörnerven (Hall 2003, S.108).

Die Basilarmembran ist so aufgebaut dass sie an einem Ende die tiefsten und am anderen die höchsten Frequenzen aufnimmt, mit allen anderen dazwischen (Keidel 1975, S.105).

Neuronen sind in Gruppen unterteilt mit dem Gehirn verbunden. Wenn also ein Schallereignis eintrifft werden immer wieder verschiedene Bereiche von Neuronen angeregt zu feuern (ders. 1975, S.107). Die ankommende Information wird also im Innenohr in neuronale Impulse umgewandelt (Keidel 1975, S.108). Diese werden dann, über Hirnstamm und Thalamus zum (primären) auditorischen Kortex weitergeleitet. Schon in dieser ersten Verarbeitungsstufe können die Colliculi inferiores (die hinteren Hügel des Mittelhirndaches) des Hirnstamms und der Thalamus unangenehme oder auch gefährliche Reize erkennen und, mit Ausnahme des auditorischen Kortex, direkt in Regionen des Gehirns leiten welche an emotionalen Prozessen und emotionalem Verhalten beteiligt sind (Kochelsch&Schröger, in Bruhn, Kopiez, Lehmann 2009, S.394).

Informationen wie Tonhöhe, Tonfärbung, Klangfarbe, Rauigkeit und Intensität werden ca. 12 – 100 Millisekunden nach Eintreffen im auditorischen Kortex ausgewertet, mit hoher Wahrscheinlichkeit nicht ausschließlich dort sondern auch in umliegenden Regionen. Bereits während der Analyse der akustischen Basismerkmale werden musikalische Gestalten über das „auditorisch sensorische Gedächtnis“ gebildet. Dieses auditorisch sensorische Gedächtnis weist die Eigenschaft auf eintreffende akustische Informationen über die Zeit zu analysieren und einige Sekunden lang zu speichern (Kochelsch&Schröger, in Bruhn, Kopiez, Lehmann 2009, S.393-397).



nach Bruhn, Kopiez, Lehmann 2009, S.395

Das ist von enormer Tragweite, da musikalische Information nur über die Zeit vermittelt werden kann und es sonst nicht möglich wäre zusammenhängende Elemente zu erkennen.

Nicht zuletzt der Rhythmus eines Musikstücks wäre ohne das Erkennen der Wiederholung unmöglich, aber auch die Musik an sich würde nur sehr schwer erschließbar sein da selbst Stücke, welche keine Wiederholungen aufweisen auf eben diesen basieren.

Außerdem ist diese Speicherfunktion unerlässlich um das momentan gehörte mit gespeicherten akustischen Eindrücken abzugleichen. Aufgrund der in der Vorverarbeitung gewonnenen Daten im Vergleich mit den gespeicherten ist das Gehirn in der Lage einen ersten Eindruck des gehörten zu erstellen.

1.3 Psychoakustische Grundlagen:

1.3.1 Tonhöhenwahrnehmung:

Die Beurteilung der Tonhöhe hängt zuerst einmal nicht unwesentlich von den Klängen selbst ab. Unser Gehör ordnet jeder Wellenform die sich periodisch wiederholt nahezu die gleiche Tonhöhenwahrnehmung zu, deswegen werden hier zuerst einfache Sinuswellen zur Erläuterung herangezogen und im späteren Verlauf zu komplexeren Wellenformen gewechselt.

Die Tonhöhenwahrnehmung hängt nicht ausschließlich mit der Frequenz zusammen, große Intensitätsunterschiede können ebenfalls zu einer Verschiebung der wahrgenommenen Tonhöhe führen, die Abweichung ist jedoch nur sehr gering, maximal in der Größenordnung eines Halbtons (Roederer 1995, S.26, Terhardt 1972, S.65).

Tiefe Töne zeigen die Tendenz etwas tiefer, und hohe etwas höher zu erscheinen wenn sie mit großer Lautstärke erklingen, im Mittenbereich treten kaum Beeinflussungen auf. Allerdings sind diese Effekte ausschließlich bei recht einfachen Wellenformen und reinen Sinusschwingungen vorhanden.

Bei komplexen Wellenformen wie sie in der Musik vorkommen wird das Gehör durch die Lautstärke nicht in seiner Tonhöhenwahrnehmung beeinflusst.

Die Frequenz hat jedoch starke Auswirkungen auf das Lautstärkeempfinden, bei komplexen wie bei Sinusschwingungen gleichermaßen.

Aktuelle Theorien zur Tonhöhenwahrnehmung (bei komplexen Klängen) basieren zumeist auf der Periodizität, und zum Teil auch auf Konzepten der Ortswahrnehmung. Im Prinzip geht man davon aus dass es sich um eine Art Mustererkennung handeln muss (Terhardt 1972, S.174). Alles deutet darauf hin dass die eigentliche „Tonhöhe“ erst im Gehirn entsteht, dass dort die erwähnten Muster erkannt und verarbeitet werden. Wenn viele Frequenzen eintreffen sucht das Gehirn sie nach harmonischen Mustern ab und bildet im Fall eines Treffers die Tonhöhe, den Grundton (Schouten 1940, S.288). Ein Ton mit einer Frequenz von 1800Hz kann ein Grundton sein, aber auch der zweite Teilton in einem Spektrum mit einem Grundton von 900Hz. Ebenso könnte er der dritte Teilton zu 600Hz, der vierte zu 450Hz usw. sein. Tauchen nun zum Beispiel die beiden Frequenzen 1800Hz und 2000Hz gleichzeitig auf, gibt es nicht mehr viele Möglichkeiten, am nächsten läge die beiden als neunten und zehnten Teilton von 200Hz zu interpretieren. Das Gehirn trachtet stets danach geordnete Muster zu finden, selbst wenn diese im zugrunde liegenden Schallereignis gar nicht vorhanden sind. Man hört also eine Schwingung welche sich aus den vorhandenen Schwingungen ergibt.

1.3.2 Frequenzgruppen:

Das Gehör reagiert auf Frequenzen an bestimmten Regionen der Basilarmembran. Wenn zwei Signale, deren Frequenzen nahe beieinander liegen gleichzeitig auf die Basilarmembran treffen, regen sie dort die gleiche Region an, sind sie weiter voneinander entfernt regen sie unterschiedliche Regionen an. Diese Regionen werden nach Scharf als Frequenzgruppen, oder die kritische Bandbreite bezeichnet. Allerdings überlappen sich diese Gruppen ein wenig und sind nicht komplett voneinander getrennt, weswegen Scharf konstatiert; „Die kritische Bandbreite ist die Bandbreite, an deren Grenzen sich die subjektive Wahrnehmung eher plötzlich verändert“.

Trotzdem lassen sich die Gruppen recht gut erfassen und unterteilen, demnach liegt die kritische Bandbreite ab 500Hz bei ca. 15 - 20% der Mittenfrequenz, das entspricht $2\frac{1}{2} - 3$ Halbtönen, auf der Basilarmembran sind das in etwa 1,5mm. Über 500Hz entspricht das in etwa dem Intervall einer Terz, in etwa 20% der jeweils anliegenden Schwingung, darunter bewegt sie sich in Abständen von ca. 100Hz. Das bedeutet jedoch nicht das die Grenzen zwischen diesen Gruppen statisch sind, man kann im Prinzip jeden Punkt an der Basilarmembran als Mittenfrequenz einer Frequenzgruppe/Bandbreite festlegen (Pollard 1988, S.235). Einer der daraus resultierenden Effekte ist folgender. Ein Rauschen das alle Frequenzen von 980 bis 1020Hz umfasst, somit 1000Hz als Mittenfrequenz aufweist und die Bandbreite folglich 40Hz beträgt, wird vorgespielt. Nun wird die Bandbreite allmählich vergrößert während die Intensität gleich bleibt. Sobald nun die Bandbreite einen gewissen Wert (160Hz) überschreitet, steigert sich plötzlich die wahrgenommene Lautstärke (Hall 2003, S.392).

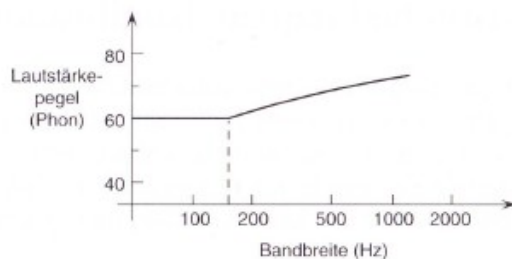


Bild 17.11

Die Änderung der wahrgenommenen Lautstärke von schmalbandigem Rauschen, wenn die Bandbreite erhöht wird, die Gesamtintensität aber konstant bleibt. Die Linie knickt beim Erreichen der kritischen Bandbreite. Bei diesem Beispiel ist die Mittenfrequenz 1000 Hz (nach Zwicker und Feldtkeller 1956).

nach Hall 2003, S.392

Das Ohr verarbeitet die ihm gebotenen Eindrücke in einer festgelegten Reihenfolge, und benötigt für die verschiedenen Operationen unterschiedliche Zeiten (Pollard 1988, S.233), diese Zeiten werden als Integrationszeiten bezeichnet (Zwicker, Feldtkeller 1967, S.70). Während der ersten Integrationszeit (ca. 10ms), werden die erwähnten Frequenzgruppen gebildet, bei hohen Frequenzen etwas schneller als bei tieferen (Pollard 1988, S.237).

Die Empfindlichkeit gegenüber Spektren ist zu diesem Zeitpunkt noch äußerst gering, da die Frequenzgruppen ja noch nicht gänzlich zur Verfügung stehen. Nach Zwicker und Feldtkeller sind nach dieser ersten Integrationsphase bis zu dreißig mögliche Frequenzgruppen aufgebaut.

Während der zweiten Integrationszeit werden Einzelereignisse, welche hintereinander eintreffen zu einem Objekt zusammengefasst, das kann Frequenzabhängig zwischen 10ms und 90ms dauern

(Nach einer Feststellung von Feldtkeller ändert sich die Frequenzempfindlichkeit nach einer Zeitspanne von 100ms kaum noch). In diese zweite Integrationszeit fällt auch die Verwischungsschwelle (50-55ms), welche bei der Musikwahrnehmung eine wichtige Rolle spielt (Meyer-Eppler 1949, S.25, nach Reuter 1996, S.16).

Verzögert einsetzende Klänge werden als simultan wahrgenommen, so lang ihre Einsätze unterhalb der zweiten Integrationszeit stattfinden (Zera, Green 1993, S.1038). Die dritte Integrationszeit (ca. 250ms), dient vor allem der Interpretation der Klangfarbe, trotz kleinster Schwankungen in Amplitude und Periode wird ein Klang als feste harmonische Teiltonstruktur wahrgenommen (Fricke 1962, S.174 nach Reuter 1996, S.17). Auch hier zeigt sich ein ähnliches Phänomen wie bei der zweiten Integrationszeit, jedoch als Verschmierungsschwelle bezeichnet, und auf die Klangfarbe bezogen (Pollard, Janson 1982, S.168), die Zeitliche Grenze wird hier bei 250ms gesetzt.

1.3.3 Residualtöne und Differenztöne:

Die Residualtonwahrnehmung spielt eine gewichtige Rolle bei der Klangfarbenunterscheidung beim Musikhören, also beim simultanen Hören vieler Klanggestalten. Der Begriff Residualton stammt von J.F. Schouten (1940), und bezeichnet einen hörbaren virtuellen Grundtons eines Spektrums, sei er nun physikalisch vorhanden oder nicht (Schouten 1940, S.358).

Schouten hat mit Lichttönsirenen experimentiert welche auf Basis von Seebecks Lochsirene von 1844 aufgebaut waren.

Die Ergebnisse waren identisch wie die Seebecks, der Residualton ist nicht mit dem Differenzton gleichzusetzen, da bei Einsatz einer Stimmgabel der selben Frequenz keine Schwebungen auftreten, dies müsste aber der Fall sein falls der Ton tatsächlich physikalisch, auch außerhalb des Ohres vorhanden wäre. Er entsteht durch die Addition der Obertöne eines Klanges (Schouten 1940, S.361).

Der erwähnte Differenzton hingegen entsteht durch die Differenz zweier am Gesamtklang beteiligter Teilfrequenzen (Meyer-Eppler 1959, S.71ff nach Reuter 1996, S.18). Diese müssen nicht zwangsläufig in einem harmonischen Verhältnis zueinander stehen um einen Differenzton auszubilden was beim Residualton sehr wohl der Fall ist (Ritsma 1962, S.1228). Nachweisen lässt sich dieser Sachverhalt mit folgendem Experiment. Verschiebt man ein lineares Teiltongemisch nach oben verschwindet der Residualton und erscheint auf einer anderen Tonhöhe sobald ein einigermaßen harmonisches Teiltonverhältnis wiederhergestellt ist, der Differenzton hingegen bleibt vorhanden und in seiner Tonhöhe konstant Walliser 1969, S.324).

Verschiebt man nun nur einen Ton verhält sich der Residualton ebenso so wie bei oben stehender Vorgangsweise, der Differenzton jedoch verschiebt sich in die entgegengesetzte Richtung (Ritsma 1962, S.1224).

Weiters können Residualtöne von ihnen nahe liegenden Frequenzen nicht Verdeckt werden, was bei Differenztönen der Fall ist (ders. S.1224). Außerdem bleibt der Residualton auch bei geringen Intensitäten der Teiltöne bestehen, während der Differenzton bei zu geringer Auslenkung verschwindet (Schouten 1938, S.1090).

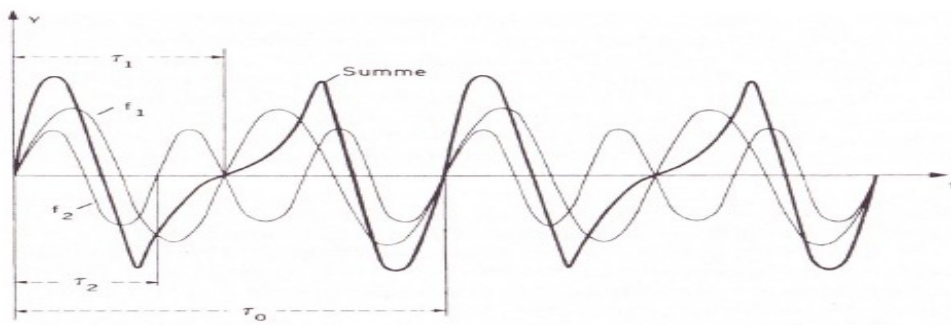
Bei weiteren Experimenten zum Residuum hat sich herausgestellt, dass dieses in der Tonhöhe schwankt. Es wird geringfügig höher bei steigender Ordnungszahl und Intensität der beteiligten Schwingungen (Terhardt 1972, S:184). Zurückzuführen ist das auf die Zusammensetzung der Wellenformen, je klarer diese sich gestalten desto weniger Abweichung tritt auf. Bei Verdeckung oder Verhallung, sowie Phasenverschiebungen verschwindet das Residuum weil die Wellenform zu diffus wird (Meyer-Eppler 1959, S.75, Fricke 1962, S.170 nach Reuter 1996, S.19).

Abschließend noch ein Spezialfall der Residualtonwahrnehmung, welcher in Zusammenhang mit der Oktavillusion noch zur Sprache kommen wird, den Shepard Tönen. Es handelt sich hierbei um die 1967 von Roger Shepard entdeckte Illusion einer endlos auf oder absteigenden Tonleiter, vergleichbar mit der endlosen Treppe von M.C.Escher (Shepard 1964, S.2348). Dieses Phänomen tritt auf wenn Spektren, deren Teiltöne ausschließlich aus Oktavabständen zusammengesetzt sind, durch ein Filter geschoben werden das eine Glockenform aufweist. So sind stets die Mittelfrequenzen am Prägnantesten, die jeweils hohen und tiefen „Teiltöne“ werden abgesenkt, wodurch ein „Grundton“ den nächsten ersetzt. Das Resultat ist der endlos fallende oder steigende Ton. In diesem Zusammenhang gäbe es auch noch den Glissando Effekt, dieser wird jedoch an späterer Stelle ohnehin noch ausführlich besprochen werden.

1.3.4 Sinustöne und Schwebungen:

Man kennt zwei verschiedene Arten von Überlagerungseffekten, die einen sind mechanischer Art, sind auf die Verarbeitung in der Schnecke, oder auf der Basilarmembran zurückzuführen und werden als Effekte erster Ordnung bezeichnet (Roederer 1995, S.34). Diese sind mit psychoakustischen Methoden relativ einfach zu erkennen, Überlagerungseffekte zweiter Ordnung ereignen sich auf neuronaler Ebene und sind deshalb sehr viel schwieriger zu erkennen und zu beschreiben (ders. S.35). Was passiert also bei Überlagerungen von Schall? Eine Sinuswelle verursacht Druckschwankungen in der Luft, diese erreichen das Trommelfell welches dadurch ebenfalls in der selben Frequenz zum Schwingen angeregt wird. Wenn nun ein zweiter Sinuston mit anderer Frequenz hinzutritt, reagiert das Trommelfell als ob es zwei voneinander unabhängige Operationen ausführt, und schwingt in der Frequenz des zweiten Tons ebenfalls. Die sich daraus ergebende Gesamtschwin-

gung ist die Summe der einzelnen Bewegungen die das Trommelfell ausführen würde, trafen die Töne einzeln ein (Roederer 1995, S.36 u. 49-51).



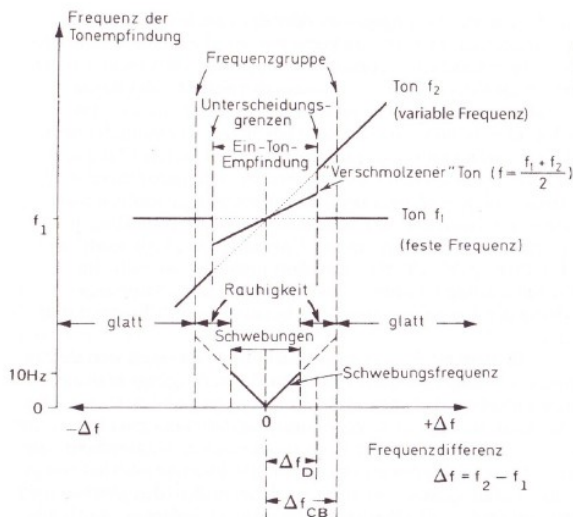
nach Roederer 1995, S.54

Mit Ausnahme von sehr großen Auslenkungen gilt das für alle beteiligten schwingenden Komponenten im Ohr. Dieser, in der Realität eigentlich nie vorkommende Fall, wird als lineare Überlagerung bezeichnet, bei nichtlinearen Schwingungen würden die Schwingungen sich gegenseitig auf verschiedene Arten beeinflussen, Verstärkungen oder Verdeckungen verursachen. Allein eine Verschiebung der Phase würde nicht mehr die exakte Summe der Teilamplituden ergeben, man nimmt in so einem Fall nicht zwei getrennte Töne wahr, sondern einen Ton mit bestimmter Höhe abhängig von der Frequenz der beiden eintreffenden Töne. Die beiden Wellen ergeben also eine neue Wellenform welche sich je nach Beschaffenheit der Ausgangstöne ergibt.

Ähnliche Phänomene ergeben sich bei der Überdeckung. Ein Ton kann durch die simultane Wahrnehmung eines anderen Tons „blockiert“ werden. Wenn man also zwei Sinustöne gleicher Frequenz, Auslenkung und Phase erzeugt, verdoppelt sich die Amplitude, es wird ein einzelner Ton mit erhöhter Lautstärke wahrgenommen, die sich daraus ergebende Schwingung ist sinusoidal mit doppelter physikalischer Intensität. Trennt man die beiden Frequenzen ein wenig, nimmt man Schwebungen wahr, erhöht man die Differenz noch mehr werden die Schwingungen der Schwebung so schnell dass sie nicht mehr einzeln wahrnehmbar sind, und Rauigkeit tritt auf (Roederer 1995, S.39).

Wenn man die Frequenztrennung so weit ausdehnt, dass sie die kritische Bandbreite der Frequenzgruppe überschreitet, beginnt man zwei voneinander getrennte Tonhöhen wahrzunehmen, und erst wenn die Frequenzen so weit auseinander liegen dass sie zwei verschiedene Frequenzgruppen anregen, also verschiedene Areale von Nervenzellen auf der Basilarmembran, verschwindet die Rauigkeit vollständig (Zwicker, Flottorp 1957, S.554).

Der Effekt tritt bei gleichzeitiger Beschallung beider Ohren auf, wären die Töne auf beide Ohren verteilt, also eine Frequenz auf dem linken die andere auf dem rechten Ohr, wäre die Schwebung kaum wahrnehmbar da es sich in diesem Fall um einen Schwebungseffekt zweiter Ordnung handelt.



nach Roederer 1995, S.40

Schwebungsphänomene spielen in der Musik eine bedeutende Rolle, durch sie werden unterschiedlichste Stimmungen, von unangenehm und beängstigend bis angenehm und beruhigend, evoziert. Das hängt von der Stärke des Effekts, den unterschiedlichen Klangfarben der Instrumente zueinander, und nicht zuletzt von der Stimmung der Instrumente selbst ab (Eine verstimmte Gitarre alleine kann auch schauerlich klingen). Auch beim Stimmen der Gitarre sind Schwebungen eine tragende Komponente, man justiert so lange an den Wirbeln bis die Seiten zueinander nicht mehr schweben.

1.3.5 Kombinationstöne:

In diesem Zusammenhang ist auch noch das Phänomen der Kombinationstöne zu erwähnen. Ausgegangen wird von Experimenten, bei welchen ein Ton von zweien seine Tonhöhe beibehält, während der zweite über die Frequenzgruppe hinaus ansteigt. Die sich daraus ergebenden Effekte werden in zwei Gruppen unterteilt, abhängig davon ob sich im Ohr oder im Nervensystem ereignen. Kombinationstöne gehören zur ersten Gruppe, es handelt sich um zusätzliche Tonhöhenperzepte welche auftreten wenn zwei Sinusschwingungen gleichzeitig erklingen, je höher deren Intensität desto stärker wird der Effekt wahrgenommen (Terhardt 1976-77, S.124-125).

Die Frequenzen dieser zusätzlichen Töne sind von den Ausgangstönen verschieden, und im zugrunde liegenden Schallereignis nicht vorhanden, da sie auf nichtlineare Verzerrungen im Ohr zurückzuführen sind. In der Praxis äußert sich das indem einer oder mehrere tiefere Töne zum Ausgangssignal zu hören sind.

Die Frequenz desjenigen Kombinationstons welchen man am deutlichsten wahrnimmt ergibt sich, wie bei den Residuen erwähnt aus der Differenz der Frequenzkomponenten der beteiligten Töne. Diese Töne entstehen wahrscheinlich in der Schnecke durch nichtlineare Verzerrungen, am Schneckeneingang sind sie nachweislich noch nicht vorhanden. Es wird angenommen dass auf der Basilarmembran die durch die Kombinationstöne erzeugten Frequenzen tatsächlich die entsprechenden Regionen anregen. „Man kann mathematisch zeigen, dass zwei harmonische (sinusförmige) Schwingungen mit verschiedenen Frequenzen f_1 und f_2 , wenn sie durch ein System mit verzerrenden (nichtlinearen) Eigenschaften geleitet werden, tatsächlich zusätzliche Schwingungen ausführen, deren Frequenzen lineare Kombinationen der Art $f_2 - f_1$, $2f_1 - f_2$,

$3f_1 - 2f_2$, $f_2 + f_1$, $2f_2 + f_1$ usw. sind. Neuere Experimente (Smoorenburg, 1972) weisen allerdings darauf hin, dass der Differenzton und die beiden anderen Kombinationstöne jeweils durch voneinander unabhängige Mechanismen in der Schnecke entstehen müssen. Die Intensitätsschwelle für die Erzeugung von Differenztönen liegt bedeutend höher und ist vom Frequenzverhältnis f_2/f_1 ziemlich unabhängig. Dagegen nimmt die Intensität der Kombinationstöne zu, wenn f_2 sich f_1 nähert.“ (Röderer, 2000, S.48)

1.3.6 Komplexe Wellenformen und Maskierung:

Wechselt man nun von Sinuswellen hin zu komplexen Wellenformen stößt man auf das Phänomen der Maskierung (auch Verdeckung). „Der von einer Frequenzgruppe (=kritischen Frequenzbandbreite) gelieferte Eindruck von Lautheit hängt ausschließlich von der in diesem Bandbereich empfangenen Energie ab; zwei ausreichend gut getrennte Bandbreiten liefern jeweils einen unabhängigen Beitrag zur Gesamt-Lautheit.“ (Donald E. Hall, Musikalische Akustik, 2003, S.397)

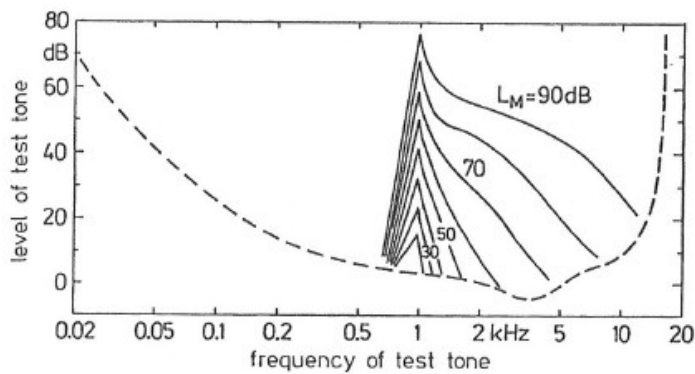
Innerhalb der Frequenzgruppe ist die Intensität additiv, außerhalb ist die wahrgenommene Lautheit additiv. Bei der Maskierung geht es nun um folgendes, hört man einen lauten Ton mit einer bestimmten Frequenz und einen zweiten, leisen Ton mit einer anderen Frequenz dessen Intensität weiter abnimmt, muss es folglich eine Schwelle geben ab der man den leisen Ton nicht mehr wahrnehmen kann. Fällt der leise Ton unter diese Schwelle wird er vom lauten Maskiert, also verdeckt und das umso eher je näher seine Frequenz der des lautereren Tons kommt.

Das alles vorausgesetzt die beiden Töne befinden sich in einer Bandbreite der gleichen Frequenzgruppe. Liegen die Töne so weit auseinander dass verschiedenen Frequenzgruppen angeregt werden erhält das Gehirn die Informationen durch getrennte Nervenkanäle.

Dadurch wird der leise Ton sehr viel besser hörbar, selbst wenn sein Pegel weit unter dem des lauten Tons liegt. Betrachtet man die unten stehende Abbildung ist zu erkennen dass tiefe Töne hohe eher maskieren/verdecken als umgekehrt (Feldtkeller, Zwicker 1956, S.62-63).

Das hängt mit den Schwingungsmustern der Basilarmembran zusammen, ein hochfrequenter Ton erzeugt nur auf einem kleinen Teil der Basilarmembran Bewegung, ein tiefer dagegen kann sich nahezu über die gesamte Membran ausbreiten was mehr Nervenkanäle beansprucht (Zwicker 1971, S.18-19).

Carl Stumpf hat bereits 1890 beobachtet dass lautere Töne gleichzeitig erklingende leisere verdecken/maskieren, der leise Ton verschwindet, während der Laute sich nicht ändert, was von Zwicker und Fastl (2006, S.68-69) bestätigt worden ist.



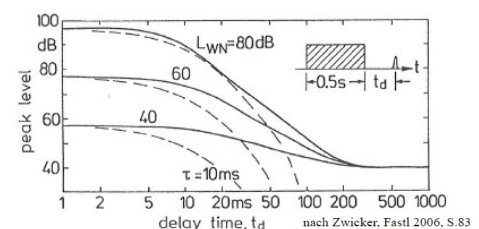
nach Zwicker, Fastl 2006, S.68

Die linke Flanke fällt bei steigender Intensität immer steiler ab während die rechte flacher wird, zur Erstellung ist ein schmalbandiges Maskierungsrauschen verwendet worden. Die links von 1000Hz liegenden tiefen Frequenzen werden weit weniger verdeckt als die rechts liegenden hohen. Die Lautheit der hohen Frequenzen leidet also viel mehr unter dem Maskierer als die der tieferen. Abgesehen von Intensität und Frequenz wird das Ausmaß der Verdeckung maßgeblich durch die Einfallsrichtung mitbestimmt. Nach Lindquist (1982) und Meyer (1984) vermindert sich die Verdeckungsschwelle bei Tönen ab einem Einfallswinkel von mehr als 45° um 6dB, bei Sprache sogar um bis zu 9dB. Unter einer Frequenz von 1000Hz hat der Einfallswinkel eines Schalls weniger Einfluss auf die Verdeckung als bei höheren Tönen.

Verdeckungen können auch bei nicht simultan eintreffenden Schallen auftreten, in diesem Fall spricht man von Vor- und Nachverdeckung. Sobald ein Signal zu abbricht bleibt die so bezeichnete Nachhörschwelle noch 2 -5ms auf gleicher Höhe und sinkt dann in einer der dritten Integrationszeit entsprechenden Dauer von 100 – 300ms auf die Ruhehörschwelle zurück.

Beide Zeiträume hängen mit der Dauer des vorangegangenen Ereignisses zusammen (Zwicker, Fastl 2006, S.82-83).

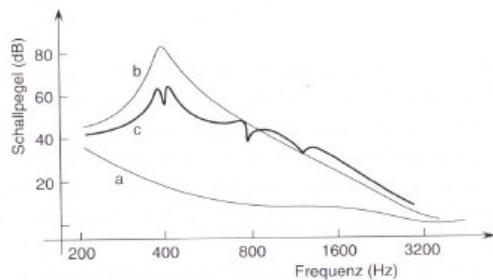
Die Vorverdeckung setzt bereits, analog zur Dauer der ersten Integrationszeit, 10 – 20ms vor dem Wahrnehmen einer Intensitätsänderung ein. Möglich ist das durch die bei den im Bezug auf die Integrationszeiten erwähnte Anpassung der



Frequenzgruppen auf ein neues Ereignis, die erste Integrationszeit ist ja die Zeitspanne in welcher die Frequenzgruppe(n) aufgebaut wird(werden). Setzt nun ein Klang während der Vorhörschwelle eines sehr ähnlichen oder gleichen Klangs ein, geht die Vorverdeckungsschwelle störungsfrei in die Mithörschwelle über. Unterscheiden sich die Klänge spektral, schnellst die Vorhörschwelle vorerst für einen Moment stark in die Höhe, erreicht kurz vor Wahrnehmung des folgenden Klangs ein Maximum und fällt dann innerhalb von 25ms wieder auf die Mithörschwelle. Man nimmt an dass das ebenfalls mit der Neugruppierung der Frequenzgruppen zusammenhängt. In der Realität der Musikpraxis verhält es sich jedoch so dass Vor- und Nachverdeckung ineinander übergehen.

Der Wahrnehmungsapparat ist erst in der Lage die beiden voneinander zu trennen wenn die betreffenden Signale zeitlich mehr als 200ms auseinander liegen, was in der Praxis eben kaum der Fall ist. Zwicker (1982) und Fastl (1990) sprechen von der Bildung so bezeichneter Mithörschwellen-Periodenmuster. Bei diesen hat die Vorverdeckung einen geringeren Einfluss auf die Anhebung der Hörschwelle als die Nachverdeckung, die Nachverdeckungsschwelle sinkt zwar schneller ab geht aber aufgrund der kurzen Pausen direkt in die Vorverdeckungsschwelle über anstatt zur Ruhehörschwelle zurückzukehren.

nach Hall 2003, S.399



a = Wahrnehmungsschwelle eines schwachen, reinen Tons mit variabler Frequenz b = erhöhte Hörschwelle bei vorhanden sein eines Maskierungsrauschens von 365-455Hz und 80dB Pegel c = Anhebung der Hörschwelle bei vorhanden sein eines maskierenden Sinustons mit 400Hz und 80dB Pegel.

Die Spalten in der Kurve zeigen, dass bei 400, 800 und 1200Hz der Testton aufgrund hörbarer Schwebungen leicht wahrgenommen wird.

Der Verdeckungs/Maskierungseffekt ist ein im Alltag ständig auftretender Effekt. Fährt man mit dem Auto auf die Autobahn auf, ist das Radio, obwohl es bis dahin gut zu hören war, auf einmal kaum mehr wahrzunehmen und man dreht lauter, ein im Hörsaal störendes Flüstern ist in der gut frequentierten Pausenhalle unhörbar usw.. Auch in der Musik spielt sie eine tragende Rolle, Komponisten/Komponistinnen machen Solostimmen gut hörbar indem sie sie in ein möglichst weit entferntes Register zur Orchesterbegleitung schreiben, dadurch werden beim Hörer unterschiedliche Frequenzgruppen von Orchesterbegleitung und Solostimme beansprucht und das Klangbild klar und einfach gehalten.

1.3.7 Partielle Verdeckung/Maskierung:

Nun hängt die Verdeckung aber nicht alleine von den Einsätzen und Enden von Schallereignissen zueinander ab, wie lange angenommen worden ist. Je länger der Einschwingvorgang der einzelnen Instrumente sei, desto „ungenauer“ können sie einsetzen um noch als simultan wahrgenommen zu werden (Gordon 1987). Allerdings scheinen die Formantbereiche hier eine noch übergeordnetere Rolle zu spielen. Gleichen sich die Formantbereiche zweier Instrumente, verdecken sie sich, den bisher besprochenen Gesetzmäßigkeiten zufolge eher, als wenn sie unterschiedliche Formantbereiche aufweisen (Fricke 1989, S.282-283).

Das deckt sich auch mit den Angaben in diversen Lehrbüchern das Mixen von Audiomaterial betreffend (Hat man beispielsweise zwei E-Gitarren welche ähnliche, oder gleiche Formanten aufweisen, soll man anstatt an der Intensität Veränderungen vorzunehmen, über Filter die Formanten diffe-

renzieren). Christoph Reuter hat zu dieser Frage ein Experiment durchgeführt bei welchem diese Annahmen weitgehend bestätigt worden sind (genaue Besprechung im folgenden Kapitel dieser Arbeit).

1.3.8 Klangfarbe:

„Klangfarbe bzw. deren Wahrnehmung, Beschreibung und Messung gehören zu jenen Bereichen der Systematischen Musikwissenschaft, die trotz einer mehr als einhundertjährigen Forschungsgeschichte auch heute noch Rätsel aufgeben und Musiker, Akustiker, Musikpsychologen, Instrumentatoren und Musikwissenschaftler aneinander vorbeireden lassen. Schon Carl Stumpf hat sich im zweiten Band der Tonpsychologie (1890) mit der Klangfarbe beschäftigt, dort schreibt er, dass diese sich auf vielen verschiedenen Faktoren beruht und die unzähligen, in diesem Zusammenhang auftauchenden Bezeichnungen leicht zu Verzweiflung führen können. Da diese vielen Beschreibungen vor allem mit von Klängen evozierten Gefühlen, die vor allem auch mit Instrumentengeschichte zu tun hätten, schlägt er vor diese Dinge unter dem Begriff Klangcharakter zusammenzufassen, und den Begriff Klangfarbe ausschließlich für Beschreibungen zu verwenden, welche nicht mit Assoziationen zusammenhängen (Stumpf 1890, S.516).

Es ist auch versucht worden die Faktoren eines Schallereignisses, wie z.B. Tonhöhe und Lautheit, abzuziehen und den verbleibenden „Rest“ als Klangfarbe zu bezeichnen. Bregman meint zu dieser Herangehensweise dass sie unbrauchbar wäre, da man mit den daraus resultierenden „Größen“ nicht arbeiten könne weil sie zum Teil nicht einmal von Instrument zu Instrument übertragbar wären.

Er plädiert dafür, dass ein Instrumentarium geschaffen werden müsste welches 1) in psychologisch einfachen, nachvollziehbaren Bahnen funktioniert, und 2) nach Möglichkeit klare physikalische Parameter aufweist. Dadurch wäre Klangfarbe messbar und in psychophysikalischen Experimenten könnten verlässliche Daten gewonnen werden. Bis es soweit ist solle man das Wort Klangfarbe lieber außen vorlassen und stattdessen von Eigenschaften von Klangfarbe sprechen welche die sequentielle Wahrnehmung beeinflussen (Bregman 1994, S.94).

Ebendiese Anforderungen erfüllen jedoch die Formantgesetze auch ohne zu definieren was Klangfarbe wäre. Schon Carl Stumpf hat diese von Hermann von Helmholtz (1863, 1896) im Zusammenhang mit Stimmen verwendete, Idee auf Instrumente umgelegt und festgestellt dass es sich nicht nur um einen einzelnen Ton sondern um einen Bereich im Spektrum handelt welcher besonders präsent ist (Stumpf 1926). Schumann hat später das Formantprinzip sogar in allgemeingültige Gesetze gefasst, indem er das Verhalten der Formantbereiche bezüglich Tonhöhen- und Dynamikänderungen beschrieben hat (Schumann 1929).

• Das Formantstreckengesetz

Musikinstrumente weisen in ihren Spektren Bereiche auf in welchen die Amplituden der Teiltöne besonders stark sind und die deshalb als Formanten oder Formantstrecken bezeichnet werden können. Steigt die Grundtonhöhe an, erhöht sich der stärkste Teilton des Formanten bis er die Grenze der Formantstrecke erreicht. Ist diese Grenze überschritten wechselt das Maximum zum nächstunteren Teilton, oder zu einem welcher dann in die Formantstrecke eintritt (Schumann 1929, S.98, Stumpf 1926, S.311).

- **Das Formantverschiebungsgesetz**

Spielt man auf einem Instrument lauter, also mit größerer Dynamik, verschiebt sich die maximale Auslenkung innerhalb der Formantstrecke nach oben, auf Teiltöne höherer Ordnung (Schumann 1929, S.15 -18, 98 – 100).

- **Das Sprunggesetz**

Wenn das Intensitätsmaximum das Ende der ersten Formantstrecke erreicht springt es über die dazwischen liegenden Teiltöne des Spektrums zur zweiten (höheren) Formantstrecke (Schumann 1929, S.98 u. 100).

- **Das Formantintervallgesetz**

Der stärkste Teilton der ersten Formantstrecke bildet, unabhängig von der Anschlagsintensität, ein fixes Intervall zum stärksten Teilton der zweiten Formantstrecke (Schumann 1929, S.100, 131, u. 208).

Dieses vierte Gesetz ist etwas widersprüchlich, da sich dieses Intervall je nach Spielintensität ändern kann. Schumann misst diesem Intervall bei der Klanggebung ebenfalls Bedeutung zu, genauere Betrachtungen hierzu findet man bei Wolfgang Köhler, einem Schüler Stumpfs (Köhler, Physik der Klangfarben, Versuch der psychologischen Theorie der Klangfarbe, beide 1909).

Trotz dieser langen Geschichte der Formantgesetze hat sich die Theorie in systematischer Musikwissenschaft und Akustik bis heute noch nicht durchgesetzt, man findet immer noch Publikationen in welchen sie nicht einmal erwähnt wird.

Es hat sich gezeigt dass der Einschwingvorgang, der für ausschlaggebend für die Klangfarbenerkennung gehalten worden ist, eigentlich nur wichtig wird wenn der Klang so hoch ist dass die Formanten nur noch vom Grundton repräsentiert werden (Reuter 1995, S.211).

Das bedeutet dass erst bei fehlenden Formanten der Einschwingvorgang für die Klangfarben-erkennung zum tragen kommt.

1.3.9 Partielle Verdeckung:

Formanten sind also für die Erkennung von Instrumenten(klangfarben) ausschlaggebend, wie verhält es sich nun wenn verschiedene Instrumente im Ensemble zusammenspielen? Können die Instrumente nach wie vor auf Basis deren Formantbereiche auseinandergehalten werden?

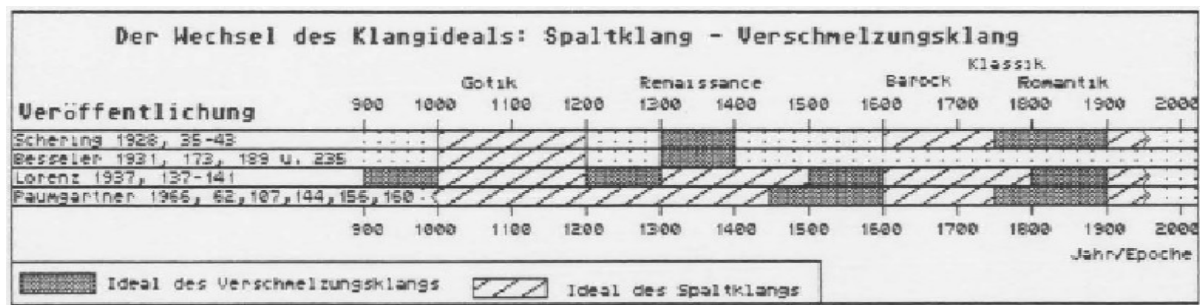
Zu dieser Frage hat Jost Fricke 1986 die Theorie der partiellen Verdeckung entwickelt, welche darauf basiert dass zusammenspielende Instrumente meist unterschiedliche Formantbereiche aufweisen und demnach gut auseinanderzuhalten wären, „gerade die wichtigen Teiltöne des einen Instruments, die innerhalb seines Formantbereiches liegen, verdecken die relativ unwichtigen Teiltöne des anderen Instruments, die zwischen seinen Formantstrecken liegen, und umgekehrt (Fricke 1986, S.145). Da die uns geläufigen Orchesterinstrumente ihre Formantbereiche an verschiedenen Stellen aufweisen, verdecken sie sich selbst bei simultanen Einsätzen, identischer Tonhöhe und gleicher Intensität selten komplett sondern eher partiell. „Es gilt hier das Gesetz des Stärkeren, und die in den Formantgebieten liegenden Töne sind jeweils die stärkeren. Alle schwächeren Klangkomponenten, die zwischen den Formantgebieten liegen, sind (klang)farblich von geringerer Bedeutung und dürfen deshalb von den stärkeren anderer Instrumente, die größere Bedeutung haben, verdeckt werden (Fricke 1993, S.191 – 192). Christoph Reuter hat, indem er die Theorie der partiellen Verdeckung experimentell umgekehrt hat, ein weiteres klangfarbenbezogenes Phänomen definiert, die (klangliche) Verschmelzung (Reuter 2000, S.176).

1.3.10 Verschmelzung als Begriff:

Der Begriff der Verschmelzung in der Musikwissenschaft steht in seiner Vieldeutigkeit dem der Klangfarbe in nichts nach. Er ist seit dem Ende des 19. Jahrhunderts zumindest zur Beschreibung drei unterschiedlicher klangfarblicher Phänomene herangezogen worden ohne auf die explizite Bedeutung des Begriffs einzugehen. Bei Carl Stumpf (1883, S.101, 1890, S.129ff), Ernst Kurth (1931, S.145f) und Heinrich Husman (1975, S.70) handelt es sich bei Verschmelzung um das Verhältnis eines oder mehrerer gleichzeitig erklingender Töne, zum Beispiel in einem Akkord.

Im Grunde geht es darum graduell zu beschreiben welche Intervalle innerhalb eines Klanges eher „verschmelzen“ und welche weniger. Auf Basis dieser Theorie entwickelt Arnold Schering ein System der Klangstile der abendländischen Musikgeschichte (Schering 1927). Nach diesem geschichtlichen System schwanken, je nach Epoche, die Klangstile zwischen dem „Ideal der Klangverschmelzung“ und dem „Ideal des gespaltenen Klanges“ hin und her. Klangverschmelzung hat für Schering viele verschiedene Dinge bedeutet, eine nicht mehr trennbare Vermischung von Klangfarben, einen Registerwechsel, den Konsonanzgrad von Intervallen und Akkorden, oder auch die Verstärkung oder Einpassung einer Melodie in einen Harmonieablauf (Schering, 1927, S.34-38).

Der Begriff Verschmelzung wird also, abgesehen von Klangfarbe, auch für Akkorde und Intervalle verwendet. Auch Bessler (1931), Lorenz (1937) und Paumgartner (1966) haben sich später noch mit dem Ideal des „Schmelzklangs“ und des „Spaltklangs“ beschäftigt.



nach Reuter 1996, S.89

Die voneinander abweichenden Angaben der verschiedenen Autoren hängen vor allem damit zusammen, dass Lorenz einen periodischen Wechsel von Schmelz und Spaltklang erkannt zu haben gemeint hat, welcher sich alle 300 Jahre vollziehe. Schering hat diese Idee abgelehnt, Besseler zitiert diesen, während Paumgartner eine Art Mischung der beiden Richtungen zu vertreten scheint. Zusammenfassend kann man sagen dass sich folgende drei Bedeutungen für den Begriff der Verschmelzung ergeben haben.

- Stumpf, Kurth und Husman verstehen unter Verschmelzung jene von Intervallen und Akkorden, die Klangfarbe wird von ihnen nicht berührt (Stumpf, 1883, 1890, Kurth, 1931, Husman, 1957).
- Schering, Lorenz und Paumgartner verwenden Verschmelzung für Akkorde, die Klangfarbe ähnlich oder gleich klingender Instrumente, sowie für Teiltöne von Klängen (Schering, 1928, Lorenz, 1937, Paumgartner, 1966).
- Besseler gebraucht den Begriff entweder in der reinen Vokalmusik, oder für Instrumente der selben Familie (Besseler, 1931).

Bei Christoph Reuter hingegen bezieht sich Verschmelzung (oder auch „blending“) auf die an einem Gesamtklang beteiligten Klangereignisse. Verschmelzung/Blending findet dann statt, wenn zwei unterschiedliche Instrumente, welche gleich klingen, also gleiche Formantbereiche aufweisen, zu einem Gesamtklangeindruck verschmelzen. Diese Verschmelzung/Blending ist die Umkehrung von der partiellen Verdeckung, bei welcher ja zwei mehrere Instrumente trotz Unisonospiel deutlich trennbar wahrgenommen werden (Reuter, 1996, S.91).

2.0 Gruppierungsmechanismen beim Musikhören:

Musik besteht aus komplexen, sich ständig verändernden Frequenzspektren, sehr oft durch die Überlagerung von Klängen verschiedenster Quellen. Dazu ein Beispiel; Am sandigen Ufer eines Sees werden in ein paar Schritten Abstand zum Wasserspiegel zwei Löcher in Abstand von ca. einem Meter zueinander mit Zugangskanälen zum See gegraben so dass eine Verbindung zu diesem besteht. Ungefähr in der Mitte der beiden Kanäle wird jeweils ein Taschentuch befestigt so dass die unteren Enden ins Wasser reichen. Wenn jetzt Wellen aus dem See die Kanäle hinauflaufen geraten die Taschentücher in Bewegung. Nun müsste man versuchen nur Aufgrund der Bewegungen der Taschentücher folgende Fragen zu beantworten; Wie viele Fahrzeuge befinden sich auf dem See und wie ist ihre Position? Welches ist das größte? Herrscht Wind vor? In welche Richtungen bewegen sich die Fahrzeuge? Diese nahezu unlösbar erscheinende Aufgabe ist eine ziemlich genaue Analogie zur Funktionsweise des Gehör und Wahrnehmungsapparats, die Kanäle stellen den Gehörgang dar und die Taschentücher das Trommelfell.

Die Schwierigkeit besteht jetzt darin in dem ankommenden Frequenzwirrwarr die momentan wichtigen Informationen zu erkennen, wie erwähnt sind das für das Ohr vorerst alles einfach Schallwellen die das Trommelfell anregen. Der/die Wahrnehmende muss nun, wie beim Seebeispiel, folgende Fragen lösen; Um wie viele Schallquellen handelt es sich? Sind die teilweisen Unregelmäßigkeiten im Spektrum auf Veränderung des Klangbildes einer Quelle zurückzuführen, oder handelt es sich um Störungen durch eine oder mehrere andere? Sind zwei übereinander liegende, also sich gleichzeitig ereignende Objekte ein komplexer oder zwei simple Klänge?

Nur weil mehrere Frequenzen simultan auftreten bedeutet also noch lange nicht dass diese von der selben Quelle stammen, was umgekehrt wiederum aber genauso der Fall sein kann.

Es muss folglich auf irgendeine Weise gewährleistet werden diese Informationsflut zu zerlegen um Sinnzusammenhang überhaupt herstellen zu können.

Auf welcher Basis separiert das Gehirn also die Informationen?

Um der Sache näher zu kommen muss erst einmal geklärt werden welche Informationen Klang transportieren kann. In einem Park zum Beispiel würde man Wind hören, Straßenverkehr, Stimmen, möglicherweise Tiere die in Sträuchern wuseln usw.. Wir nehmen das alles gleichzeitig und doch individuellen Teilen zugeordnet wahr, ein Rascheln und ein Schnaufen aus den Sträuchern wird als ein dort scharrendes kleines Tier registriert, ein entferntes Hupen und Schimpfen wird ebenfalls als zusammenhängend erfasst. Der Schall trägt also Informationen über physikalische Ereignisse.

Im Bezug auf das Hören von Musik hängen die Mechanismen natürlich von der Beschaffenheit dieser ab, man muss die Musik bis zu einem gewissen Grad kennen um sich darin zurechtzufinden. Abgesehen davon braucht man zur Herstellung dieser Bezüge ein Regelsystem, dieses ist bereits

von Riemann (1877) als musikalische Syntax bezeichnet worden. Akkorde müssen sich auf die jeweils vor und nach ihnen stehenden beziehen, Rhythmus und Metrum beziehen sich ebenfalls auf ihre Umgebung, andernfalls wäre es nicht möglich musikalische Zusammenhänge allein über das Hören, also ohne graphische Hilfestellungen wie Partituren oder ähnliches, auszumachen.

Die Verarbeitung dieser musikalischen Syntax ist im Gehirn offenbar stark automatisiert, die neuronalen Effekte der Verarbeitung musikalischer Syntax sind selbst bei unbewusstem Hören messbar, wenn die Versuchsperson beispielsweise während dem Musikhören ein Buch liest oder auch ein Videospiel spielt (Koelsch & Siebel, 2005).

Weiters ist diese Funktion offenbar unabhängig von der musikalischen Vorbildung.

Nichtmusiker weisen ein erstaunliches Wissen über musikalische Syntax auf, eine mögliche Erklärung ist die Hörerfahrung im Alltagsleben. Bei den im weiteren Verlauf beschriebenen Experimenten ist jedoch nur selten „richtige“ Musik als Stimulus verwendet worden, meist werden einzelne kleine Bestandteile, wie Melodien, Rhythmen oder auch einzelne Schwingungen und Schwingungsmuster eingesetzt. So werden beim Musikhören auftretende Phänomene isoliert untersucht und Schlüsse daraus gezogen. Ähnlich wie in der Physik ist die alles verbindende Feldtheorie auch in der Akustik und systematischen Musikwissenschaft noch ausständig.

2.1 Auditory Stream Segregation:

Die tatsächliche und gezielte Erforschung der perzeptuellen Organisation von Schallphänomenen kommt erst 1950 durch die Entdeckung der Trillerschwelle von Miller und Heise ins Rollen, später wird sie vor allem auch durch die Arbeiten von Albert S. Bregman (Auditory Scene Analysis) bekannt. Es existieren Mitte des vorigen Jahrhunderts zwar bereits einige Studien die mit dem Thema zu tun haben, die Erkenntnisse waren aber eher einseitig und vor allem noch nicht hinsichtlich einer Theorie der auditorischen Szenenanalyse als Gesamtheit zu erkennen.

Natürlich sind Einzelphänomene, z.B. die Lautheit oder auch Tonhöhe sowie die Effekte von Lärmbelastung, in bestimmten Zusammenhängen untersucht worden, diesen Studien ist jedoch gemein, dass ihnen niemals die Frage nach der auditiven Wahrnehmung unserer Umwelt zugrunde gelegen hat. Van Noorden hat, zum Beispiel, das Auftreten der Trillerschwelle bei 8 – 10 Sekunden bestätigen können (Van Noorden 1975, in Bregman 1994, S.51). Zumeist handelt es sich bei den Studien um Fragen die von medizinischen Standpunkten aus auf Hörbeeinträchtigungen bis hin zur Taubheit ausgelegt waren. Einer der Gründe dafür war, dass sich die wissenschaftliche Forschung vorher offenbar auf die Verarbeitung visueller Reize konzentriert hat und der auditiven Seite einfach nicht genug Aufmerksamkeit entgegengebracht worden ist.

Der Mensch ist in der Lage klangliche Stimuli komplexester Form zu verarbeiten und zu interpretieren. Beim Musikhören treffen eine Unzahl von Schwingungen in verschiedenster Frequenz und Intensität auf die Ohren. Trotz dieser Fülle an Information ist es uns möglich, beispielsweise bei einem Orchester, einzelne Instrumente herauszuhören oder auf den Gesamtklang zu achten, es steht uns sozusagen frei zwischen den einzelnen Instrumenten „hin und her zu schalten“. Das ist eine beachtliche Leistung des Wahrnehmungsapparates und des Gehirns die bis heute mit Computern immer noch nicht annähernd in derartiger Form zu bewerkstelligen ist.

Wie macht das Gehirn das? Beim erwähnten Orchester nehmen wir nicht etwa nur einzelne Töne wahr sondern vielmehr einen Gesamtklang welcher sich aus Akkordverbindungen, Melodien, Rhythmen und noch vielen anderen Dingen wie Anblas- und Streichgeräuschen und ähnlichem zusammensetzt. Wie organisiert das Gehirn also diesen Ansturm von Eindrücken? Lassen sich bestimmte Muster feststellen? Nach welchen Kriterien wird das Material sortiert? Wird alles zeitgleich ausgewertet oder haben manche Schallereignisse Vorrang gegenüber anderen?

Wie viel vom tatsächlich physikalisch vorhanden Phänomen wird überhaupt wahrgenommen?

Albert S. Bregman meint zwar im Vorwort zu *Auditory Scene Analysis*, dass in vor 1965 verfassten Arbeiten kaum etwas zur auditiven Wahrnehmung zu finden sei, übersieht dabei jedoch offensichtlich Hermann von Helmholtz, welcher bereits 1863 mit seiner „Lehre der Tonempfindungen“ Grundlagen für die Erforschung der auditiven Wahrnehmung vorgelegt hat.

Oder auch Carl Stumpf, der ebenfalls bereits Ende des 19. Jahrhunderts wichtige Beiträge zu der Thematik geliefert hat. Weiters Arnold Schering (1928), Ernst Kurth (1931), sowie Heinrich Bessler (1931) und Alfred Lorenz (1937), die sich mit Phänomenen der auditiven Wahrnehmung beschäftigt haben.

Das anfangs erwähnte Experiment von George A. Miller und George A. Heise aus dem Jahr 1950 sollte aber auf jeden Fall noch genauer erläutert werden.

Über zwei Oszillatoren sind jeweils abwechselnd in einem zeitlichen Abstand von 5 Änderungen pro Sekunde Töne vorgespielt worden. Die Tonhöhe des einen Oszillators war statisch, die des anderen variabel. Bei großen Unterschieden in der Tonhöhe sind voneinander getrennte Tonsequenzen wahrgenommen worden, bei kleinen jedoch ein Triller. Die Versuchspersonen haben von verschiedenen Ausgangseinstellungen ausgehend den variablen Oszillator über einen Regler so einstellen müssen, dass sich die einzelnen Tonsequenzen zu dem Triller vereinigen.

Die Grenze ab welcher der Triller erscheint wird von Miller und Heise als Trill Threshold bezeichnet. Diese Trillerschwelle erscheint stets, sobald die beiden Frequenzen einen Abstand von 2,4 Halbtönen zueinander erreichen [$\Delta f/f = 0,15$] (Miller, Heise 1950, S.638, nach Reuter 1996, S.36). Dowling hat 1973 bestätigt, dass ein minimaler Abstand vom Intervall einer kleinen Terz zwischen

zwei Tönen bestehen muss, damit sich eine Melodie, bei entsprechendem Tempo, zu zwei verschiedenen Melodieströmen ausbildet (Dowling 1973, S.323-324, nach Reuter 1996, S.36).

Das scheint ein Hinweis darauf zu sein, dass die Ausbildung von auditorischen Streams frequenzgruppenbasiert ist, wie noch zu sehen sein wird scheinen die Frequenzgruppen aber bei weitem nicht die einzigen bestimmenden Faktoren zu sein.

Die Aufmerksamkeit scheint ebenfalls eine wichtige Rolle zu spielen. Aus einem Klanggemisch können, je nach Aufmerksamkeitsverlagerung, verschiedenen Melodien „herausgehört“ werden, zwischen welchen dann auch hin und hergeschaltet werden kann (Dowling 1986, S.125).

Nach McAdams und Bregmann (1985) ist es dabei unmöglich einen Ton zwei verschiedenen Streams gleichzeitig zuzuordnen.

In der auditiven Forschung geht man zur Erstellung von Theorien und zur Erklärung von Phänomenen häufig von Erkenntnissen der visuellen Wahrnehmung aus. Es gibt zwei Grundfragen, von welchen im Bezug auf die Gruppierungsmechanismen bei der Verarbeitung auditiver Ereignisse ausgegangen wird: Die erste ist die nach den genauen Eigenschaften des Stimulus. Unser Gehör gruppiert komplexe Schallereignisse auf Basis der Frequenz der Komponenten, deren Auslenkung, ihrer räumlichen Quelle und/oder auf der Basis der Klangfarbe. Die festlegenden Prinzipien für die Gruppierung, also welchem Teil des Signals das Gehör wie folgt, sind hochkomplex und gleichzeitig unabänderlich. Es ist beispielsweise möglich dass bei einem bestimmten Schallereignis eine Gruppierung ausschließlich auf Basis der Frequenz erfolgt, verändert man nun dieses Schallereignis nur ein klein wenig kann es sein dass das Gruppierungsprinzip ausschließlich auf die räumliche Lokalisierung wechselt (Deutsch 1982, S.300f). Diese Organisationsunterschiede können in Hinsicht auf die Interpretation unserer Umwelt hin gedeutet und Schlüsse daraus gezogen werden.

Natürlich besteht ein nicht unwichtiger Grund dieser Forschung darin das Wesen der Musik besser zu verstehen, und damit ihre Wirkungsweise, ihre Gewichtung für die Entwicklung des Menschen geschichtlich wie auch soziologisch.

Das Gehirn stellt beim Musikhören Funktionen der akustischen Analyse, des auditorischen Gedächtnisses so wie der auditorischen Gestaltbildung bereit. In weiterer Folge extrahiert es aus den so gewonnenen Daten Syntax und Semantik der Musik (Koelsch & Schröger 2009, in Bruhn, Koppitz, Lehmann 2009, S.393). Die Syntax stellt die äußeren logisch erfassbaren Merkmale eines Musikstücks dar, Töne, Akkorde, Intervalle, Rhythmus, Metrum, bis zu einem gewissen Grad alles was sich in einer Partitur aufschreiben ließe (Riemann 1877). Bei der Semantik handelt es sich um die Inhalte, welche die Komponistin/der Komponist oder die/der aufführende Musikerin/Musiker ver-

mitteln möchten, oder auch um die Stimmung, in der sie sich zum Zeitpunkt ihrer Beschäftigung mit dem Stück befinden/befunden haben. Nicht zuletzt weist die Musik die ihr offenbar inhärente Eigenschaft auf, Auswirkungen auf Emotionen, das vegetative Nervensystem, den Hormonhaushalt und das Immunsystem so wie die Motorik (Tanzen, Mitklopfen, Singen usw.) auszulösen (Koelsch & Schröger 2009, in Bruhn, Kopiez, Lehmann 2009, S.405-409).

Um Sinnzusammenhang herzustellen fasst das Gehirn also akustische Informationen in Einheiten zusammen welche als „auditorische Gestalten“ bezeichnet werden (Ehrenfels 1890, S.252) wie z.B. Melodien, Motive oder auch Gitarrenriffs u.ä., es handelt sich also um melodische und rhythmische Gruppierungen. Diese Zusammenhangsbildung wird als „Auditory Stream Segregation“ bezeichnet, die Gruppen werden auf der Basis von Gestaltqualitäten gebildet. Das kann zum Beispiel bedeuten, dass Einzeltöne zu einem Akkord zusammengefasst werden, wenn sie zeitgleich erklingen.

Treten zu diesem Akkord noch weitere hinzu, die eine Tonfolge bilden, und werden dazu Melodietöne in höherer Lage als die Akkorde gespielt, nimmt man diese als nicht den Akkorden zugehörige Melodie wahr (Deutsch 1982, S.302-303). Spielte man die Melodietöne nun in der selben Lage wie die Akkorde und mit leicht unterschiedlich klingenden Instrumenten, z.B. Westerngitarre und klassische Gitarre, wird man trotz der klanglichen Nähe die Melodie trotzdem als solche erkennen und zuordnen. Würde man jetzt die beiden, Akkordfolge und Melodie, auf dem Klavier spielen werden sie weit nicht mehr so klar zu trennen sein. Spielte man zwei sich kreuzende Melodien auf dem selben Instrument wäre eine Differenzierung gar nicht mehr möglich, man würde bis zum Kreuzungspunkt absteigend, dann als aufsteigend wahrnehmen und umgekehrt (Tougas, Bregman 1985, S.791-792).

Es hat sich gezeigt, dass den Gestaltgesetzen bei der visuellen Wahrnehmung eine große Bedeutung zukommt, und in der Musikwahrnehmung verhält es sich ganz ähnlich.

Ist die Quelle eines Schalls beispielsweise weiter entfernt als eine andere, gleichzeitig erklingende, wird man die beiden eher als unabhängig voneinander erkennen als wenn sie von der gleichen Stelle ausgehen. Eine Sequenz die sich in kleinen Schritten in der Tonhöhe verändert, gehört eher zu einer einzigen Schallquelle, während eine, die über große Intervalle springt, je nach Tempo und Intervallgröße zu zwei verschiedenen Quellen interpretiert wird. Teiltonkomplexe, die zusammen steigen und fallen, werden auch eher als zusammengehörig und von der selben Quelle ausgehend interpretiert (McAdams, Bregman 1979, S.35).

Wenn man also einen Ton hören nimmt man verschiedene Parameter zu diesem Ereignis wahr, eine Grundtonhöhe, eine Lautheit, eine Klangfarbe und eine Positionierung im Raum.

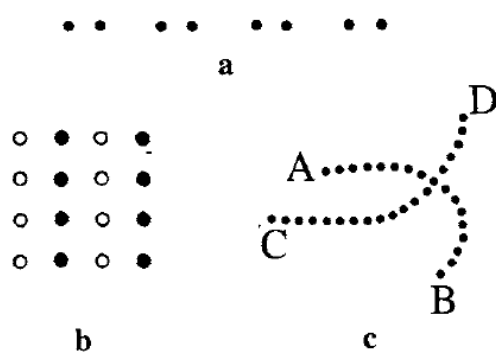
Jede auditive Wahrnehmung kann folglich als eine Zusammensetzung aus verschiedenen Teilen beschrieben werden. Wenn der Wahrnehmungsapparat korrekt funktioniert repräsentiert diese Verbindung aus Teilen die Position und die Charakteristika eines Schallereignisses. Wahrgenommen wird ein Schallereignis als Ganzheit, und es ist kaum möglich die verschiedenen Parameter bewusst getrennt zu hören, da zum Beispiel Lautheit und Klangfarbe auch maßgeblich vom Raumanteil abhängen, die verschiedenen Parameter sich also gegenseitig beeinflussen.

Wenn man die künstlich hergestellten Stimuli auf bestimmte Art und Weise manipuliert, interpretiert das Gehirn sie anders und es entstehen auditorische Illusionen. Aus diesen Illusionseffekten können Rückschlüsse auf die Funktionsweise des auditorischen Wahrnehmungsapparates gezogen werden.

Bregman erklärt es folgendermaßen; „The best way to begin is to ask ourselves what perception is for. Since Aristotle, many philosophers and psychologists have believed that perception is the process of using the information provided by our senses to form mental representations of the world around us. In using the word representations, we are implying the existence of a two-part system: one part forms the representations and another uses them to do such things as calculate appropriate plans and actions. The job of perception, then, is to take the sensory input and to derive a useful representation of reality from it“ (Bregman 1994, S.3).

Um eine solche Repräsentation aufzubauen ist es günstig, feststellen zu können welche Teile eines Stimulus zusammengehören, beziehungsweise mit dem selben Objekt in Verbindung stehen. Ohne diese Funktion wäre es nicht möglich sinnvolle Zusammenhänge herzustellen.

2.2 Gestaltgesetze:



nach Deutsch 1982, S.300

Wie schon erwähnt geht eine der Annahmen zur Gruppierung von Objekten von dem Prinzip der Nähe aus, nächstliegende Objekte werden also weiter entfernten vorgezogen (Fig.1a), als zusammengehörig interpretiert (Muster ab/cd), kaum jemand wird spontan die weiter auseinanderliegenden Punkte (Muster a/bc/de) als Gruppen wahrnehmen (Wertheimer 1923, S.304).

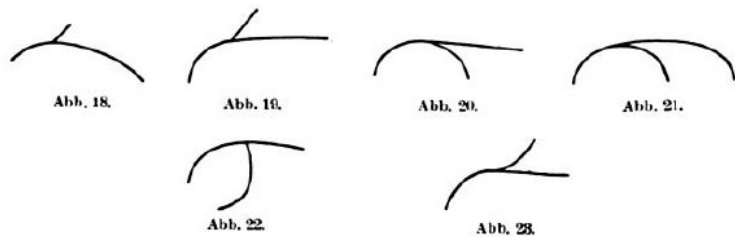
Das wird als Prinzip der Nähe bezeichnet.

Das selbe Prinzip gilt auch für Beispiel b, noch zusätzlich jedoch das Gesetz der Gleichheit, die Punkte und Kreise abwechselnd in einem Horizontalen Muster zu sehen ist nahezu unmöglich, wäh-

rend die vertikalen Gruppen von Punkten und Kreisen auf den ersten Blick eine Einheit bilden (Wertheimer 1923, S.313).

Beispiel c veranschaulicht das Gesetz der durchgehenden Linie, Elemente die gemeinsam eine Linie bilden werden als zusammengehörig wahrgenommen. (AB ergibt eine Linie, so wie CD). Das hängt jedoch nicht mit den Winkeln der Linien zueinander zusammen, auch wenn man diese verändert bleibt die Wahrnehmung die selbe. „Es kommt auf die „gute“ Fortsetzung an, auf die „kurvenge-rechte“, auf das „innere Zusammengehören“, auf das Resultieren in „guter Gestalt“, die ihre be-stimmten „inneren Notwendigkeiten“ zeigt.“ (Wertheimer 1923, S.324).

Manche Fortsetzungen in den gezeig-ten Beispielen bieten sich an, andere eher weniger, man kann sich gut vor-stellen, dass die eindeutigeren über die Mehrdeutigen bei der Interpretation „siegen“.



nach Wertheimer 1923, S.324

Das folgende Beispiel von Bregman zeigt die Problematik von einer anderen Seite, man soll sich die Buchstaben als Klänge vorstellen.

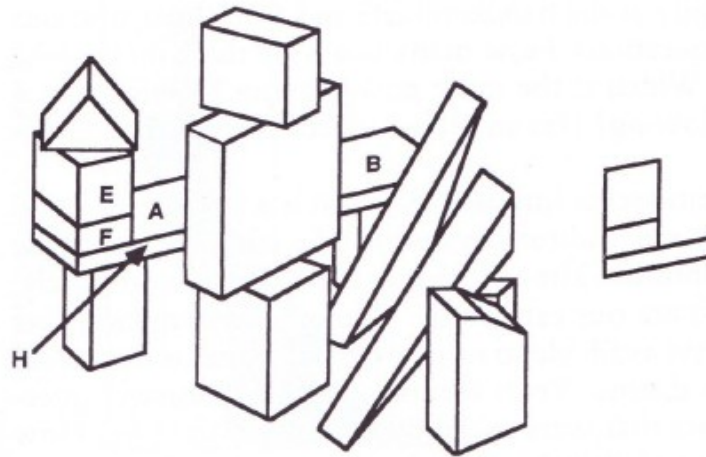
EIICNHE KSAITZZEE SAIUTCZHT

E I C N H E K S A I T T Z Z E E S A I U T C Z H T

nach Bregman 1994, S.4

Die obere Reihe ist nicht entschlüsselbar, bei der unteren kann man den Sinnzusammenhang erfassen. Im Prinzip unterscheidet sich ein Schallereignis nicht vom oberen Satz, der Wahrnehmungsap-parat ist jedoch in der Lage die Information zu entschlüsseln und das Ereignis wie im unteren Satz darzustellen.

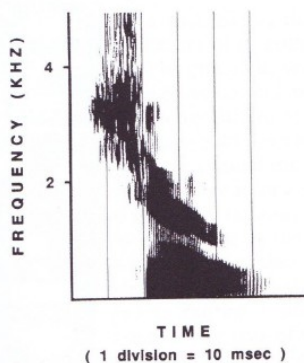
Hier noch ein Beispiel aus dem visuellen Bereich:



nach Bregman 1994, S.5

Man erkennt welche Objekte abgebildet sind, obwohl sie sich gegenseitig zum Teil überdecken. Wenn man die mit E, F und H bezeichneten Flächen zusammennimmt könnte man sie ebenso als das rechts abgebildete L-förmige Zeichen sehen. Dieses Zeichen wäre jedoch keine akkurate Abbildung einer umgebenden Umwelt. Der Wahrnehmungsapparat muss die eintreffenden Informationen derart verarbeiten, dass sie uns ein Zurechtfinden in unserer Umwelt ermöglichen.

Dazu werden die Informationen eben in Gruppen zusammengefasst, wobei hier wieder das Prinzip der Nähe eine tragende Rolle spielt. Betrachtet man das unten stehende Spektrogramm (eine graphische Darstellung eines Schallereignisses) des in Isolation gesprochenen englischen Wortes „shoe“, zeigt sich dass es sich nicht bloß um eine einzelne Schwingung handelt, sondern um eine Vielzahl von Frequenzen (Von links nach rechts kann man die zeitliche Ausdehnung ablesen und in der vertikalen Ebene die Frequenzen).



Auf diese Weise ist es möglich komplexe Klänge graphisch darzustellen, eine einzelne Sinusschwingung wäre in diesem Diagramm eine horizontale Linie.

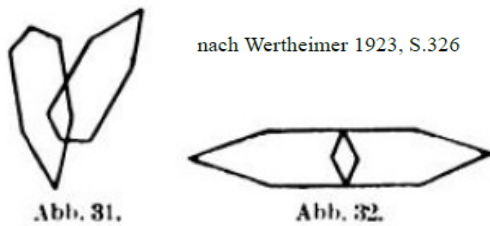
Viele Prinzipien und Gesetze der Gestaltpsychologie lassen sich, mit kleinen Abwandlungen, auf die Musik/Schallwahrnehmung übertragen.

nach Bregman 1994, S.7

Nach Max Wertheimer können verschiedene Gestaltgesetze definiert werden, das Gesetz der Nähe, sowie das Gesetz der Gleichheit sind oben bereits erwähnt worden. Dort werden sie allerdings als Faktoren (**Faktor der Nähe**, **Faktor der Gleichheit** usw.) bezeichnet, diese beiden beeinflussen

sich nach Wertheimer gegenseitig auf unterschiedliche Art und Weise. Der **Faktor der guten Gestalt** ist in dem Beispiel mit den verschiedenen Kurven ebenfalls bereits erläutert worden.

Mit diesem Beispiel zusammen hängt auch der **Faktor der guten Kurve**, hierbei geht es darum dass eine mathematisch logische Kurve, egal ob simpel oder komplex, eher als zusammenhängend erkannt wird (Wertheimer 1923, S.324). Bei der Musik bezieht sich das zum Beispiel auf Tonleitern und Glissandi (Reuter (1996, S.38). Der **Faktor der Geschlossenheit** ist stärker als die bisher erwähnten wenn bei Gebilden, die dies zulassen, geschlossene Gestalten vorherrschen. Bei der



linken Figur sind die zwei geometrischen Formen gut zu erkennen, bei der rechten ergeben sie etwas neues und sind selbst wenn man weiß um welche Formen es sich handelt nicht so leicht zu erkennen. Abgesehen von den bei Wertheimer verhandelten, sind noch weitere Faktoren, wie der **Faktor des gemeinsamen**

Schicksals, nach welchem Elemente die ein ähnliches Schicksal erleiden eher zusammengefasst werden. Der **Faktor der (objektiven) Einstellung** besagt, dass Gebilde, wenn sie sich in kleinen Schritten verändern, bis zu einem bestimmten Punkt im Sinne der Ausgangsfigur gedeutet werden (Reuter 1996, S.38). Außerdem werden alle beteiligten Elemente eines Ereignisses stets so verteilt, dass kein Rest übrig bleibt, wobei kein Teil zwei Gestalten gleichzeitig zugeordnet werden kann, dieses Prinzip wird als **Faktor des Aufgehens ohne Rest** bezeichnet (der selbe, S.38).

Abschließend sind noch zwei subjektive Faktoren zu nennen. Der **Faktor der Aufmerksamkeitsfokussierung/des Beobachterverhaltens**, welcher besagt, dass es auch lediglich Aufmerksamkeitsabhängig sein kann welche Elemente zusammengefasst werden (Reuter 1996, S38). Und der Faktor der Erfahrung/des weiteren Verlaufs, Gestalten werden aufgrund von Erfahrungen gebildet, Bekanntes wird eher zusammengefasst als Unbekanntes (Wertheimer 1923, S.333-336).

Nun darf man aber nicht davon ausgehen, dass diese Gesetze ausreichen, um die Stream Segregation zu erklären. Eines der größten Probleme stellt die Bewegtheit von Musik/Schallereignissen dar. Bilder sind fest, Musik ist ständig in Bewegung und verändert sich laufend. Um die Gestaltgesetze also auf Musik anwenden zu können müssen sie an diese angepasst werden. einen ersten Schritt in diese Richtung ist von David E. Rumelhart und A. Ortony unternommen worden (1977) von (Rumelhart, Norman, 1978). Von diesen wird der Schema Begriff eingeführt, ein solches Schema ist ein generalisierter Erinnerungsbaustein, zum Beispiel die Aktivität des Radfahrens, die Erinnerung an die gestrige Radtour wäre kein solches, sondern eben eine direkte, situationsbezogene Erinnerung. Ebenso wie für motorische Lernprozesse (das Radfahren muss man erlernen), existieren solche Schemata auch für geistige Fähigkeiten, wie zum Beispiel das Schreiben. Diese Schemata sind

Prototypen von Konzepten, sie sind nicht statisch, sondern entwickeln und verändern sich, je nach Lernfortschritt und Erfahrung, weiter (Rumelhart, Norman 1978, S.41). Das Musikalische Gedächtnis ist folglich ebenso aufgebaut, Ehrenfels hat bereits 1890 erkannt dass eine Melodie mehr sein muss als die Summe ihrer Töne.

Eine anderer Erklärungsversuch stammt von Wilhelm Salber (die Morphologie des seelischen Geschehens, 1965), der von „Verlaufsgestalten“ und „Handlungseinheiten“ spricht, also Figuren die sich tatsächlich in der Zeit verändern (Salber 1965, S.45ff, nach Reuter 1996, S.41). Er beschreibt diese Figuren als ständig in Entwicklung begriffen, sich zeitbezogen in einer Kreis oder Spiralbewegung fortlaufend verändernd, wobei jede entstandene Figur aus sich heraus eine weitere hervorbringt (ders.S.49, nach Reuter 1996, S.41). Fricke (1995) bezieht sich auf Salber (1984) wenn er schreibt, dass „dieses ständige Bestreben, die Eindrücke einer stets wechselhaften Umwelt zu ordnen, um sie zu verstehen und/oder adäquat auf sie zu reagieren, als eine menschliche Universalie betrachten, die unabhängig davon, ob ein sinnvolles Ergebnis erwartbar ist, mit jeder Wahrnehmung ausgelöst wird“. (Reuter, 1996, S.41)

Salber entwickelt ebenfalls die Idee einer der Wahrnehmung zugrunde liegenden Historisierung. Das bedeutet die Entwicklung eines Ereignisses aus seiner Entwicklung heraus zu erfassen, indem sinnstiftende Zusammenhänge zwischen vergangenen und gegenwärtigen Situationen des Ereignisses hergestellt werden. Dies geschehe durch „Setzungen“, die vorgenommen würden, und „Veränderungen“, welche von ersteren ausgehen und in weiterer Folge zu neuen Setzungen führen (Salber 1965, S.218ff, nach Reuter 1996, S.42).

Eine Veränderung könne nur wahrgenommen werden, wenn ein Bezug zur Setzung gegeben ist. Bei Musik wären das zum Beispiel Modulationen zwischen Tonarten. Dadurch wäre es nicht nur möglich zwischen Vergangenen und Gegenwärtigem Verbindungen herzustellen, sondern auch Erwartungshaltungen, die sich auf Zukünftiges beziehen, aufzubauen. Die Wahrnehmung strebe stets danach eine Fortsetzung zu finden welche dem Erhaltungs-Abwandlungsschema entspricht (Salber 1965, S.113, nach Reuter 1996, S.42).

2.3 Messmethoden:

Eines der größten Probleme stellt die Messung von Streaming/Gruppierungsphänomenen dar. Es gibt verschiedenste Wege Messungen anzustellen, und es ist eigentlich nicht möglich eine Messung über die andere zu stellen. Das hat unter anderem damit zu tun, dass keine dieser Messungsvarianten einen absoluten Wert abwirft, stets sind Stör/Verzerrungsfaktoren mit einzubeziehen. Lässt man zum Beispiel die Versuchsperson ihre Eindrücke aufzeichnen ist das Ergebnis extrem abhängig von den graphischen Fähigkeiten der Person (Bregman 1994, S.54). Weiters müsste in diesem Fall

bedacht werden, dass die Versuchsperson bei langsameren Tempi möglicherweise die Möglichkeit hat länger über die Darstellung des Gehörten zu reflektieren usw. (ders. S.54). Aus diesem Grund ist es notwendig zu einer Fragestellung verschiedene musikpsychologische Methoden anzuwenden, um die Ergebnisse verifizieren zu können. Nach Bregman (1994, S.55-57) sind folgende Methoden zur Messung der Stream Segregation zur Anwendung gekommen;

- **Methode der physikalischen Adjustierung**

Versuchspersonen müssen über Regler die physikalischen Parameter eines Stimulus so lange beeinflussen bis sie ein bestimmtes erwartetes Phänomen wahrnehmen (z.B. Miller, Heise, 1951).

- **Methode der Limitierung**

Die Eigenschaften einer sich wiederholenden Sequenz werden schrittweise verändert, die Versuchsperson ist dazu angehalten aufzuzeigen, wenn sich die Wahrnehmung ändert.

- **Methode der zeitlichen Verbindung/Trennung**

Hörer müssen einen Knopf gedrückt halten solange eine Sequenz einheitlich erscheint und einen anderen drücken, wenn sie Aufspaltungen der Melodie wahrnehmen (sinnvoll eher bei Experimenten, bei welchen gleichbleibende Stimuli über längere Zeitperioden vorgespielt werden).

- **Methode der fixen Beurteilungsskala**

Versuchspersonen sollen auf einer Skala (zum Beispiel 1 -6) ankreuzen, wie sie das gehörte Ereignis empfinden. So kann die Skala in obigen Fall von 1 = zwei separate Melodien bis 6 = eine einzelne Melodie reichen. Bei dieser Methode ist es natürlich schwerer exakte Grenzen zu beschreiben und folglich auch das jeweilige Experiment mit einem anderen zu vergleichen.

- **Methode der Wiedererkennung**

Versuchspersonen sollen ein Zielmuster, welches in einem Stimulus versteckt ist, erkennen.

Hier gibt es zwei Möglichkeiten: Die Versuchsperson muss versuchen im Stimulus eine ihr bekannte Melodie zu hören (zum Beispiel einen bekannten Song). Bei der zweiten Möglichkeit wird eine Melodie mehrmals vorgespielt und die Versuchsperson muss sie anschließend im Stimulus finden. Ein Vorteil dieser Methode ist, dass die Stimuli vorab hergestellt werden können und bei allen Personen die gleichen sind, was auch der Vergleichbarkeit zugute kommt.

- **Methode der rhythmischen Veränderungen**

Da ein Effekt bei der Aufsplittung der Streams darin besteht, dass der wahrgenommene Rhythmus stets innerhalb der Streams gehört wird, können Versuchspersonen gefragt werden welche Rhythmen sie hören und wie sie sich verändern, wenn man die Frequenzabstände ausdehnt.

- **Methode des zeichnerischen oder schriftlichen Darstellens**

Diese Methode kann besonders bei Versuchspersonen mit musikalischer Ausbildung interessante Ergebnisse hervorbringen, da das Gehörte in Notenschrift dargestellt werden kann. Eine andere

Möglichkeit besteht darin den Versuchspersonen Karten zu geben, von welchen jede für ein anderes Ereignis steht.

Diese sollen dann, je nachdem, was wahrgenommen wird arrangiert werden. Richard Warren hat diese Methode recht erfolgreich angewandt.

- **Wiedergabe der Anordnung von Elementen in einer sich wiederholenden Sequenz**

Diese Methode basiert auf der Schwierigkeit der Erkennung der Reihenfolge während des Streamings. Diese Funktion scheint nur gegeben zu sein, wenn es sich um die Reihenfolge von Elementen innerhalb eines Streams handelt.

In neueren Abhandlungen wird eher wieder auf die Einzelnen Parameter welche die Stream Segregation beeinflussen zurückgegriffen, Tempo, Melodieverläufe, Aufmerksamkeit, Intensitätsunterschiede, Lokalisation, Klangfarbendifferenzen und Asynchronizität der Einsätze (Bregman 1994, S.59ff, Deutsch 1982, S.301).

2.4 Tempo:

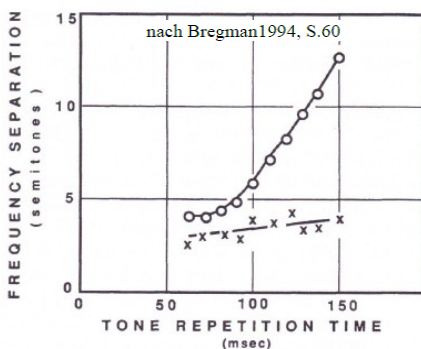
Ein wichtiger Aspekt von Klängen sind ihre temporalen Beziehungen zueinander, wie weit sie zeitlich voneinander entfernt sind (Bregman 1994, S.143). Dies betrifft alle tempobezogenen Einheiten, welche durch sie entstehen/gebildet werden und das Tempo ihrer Abfolge.

Wenn ein Stück Musik in verschiedene Streams zerlegt wird verliert der Hörer temporale Details, welche zwischen und in den Streams bestehen, und fokussiert stattdessen auf die tempobezogenen Verbindungen, die zwischen den Bestandteilen eines einzelnen Streams bestehen (Bregman 1994, S.143). Das hat damit zu tun, dass für den Hörer im Sinne der auditorischen Szenenanalyse einzelne Streams bedeutendere Informationen über seine Umwelt enthalten als alle Streams als Gesamtgebilde. Bregman sieht den Beweis für diese Theorie in einem Experiment von Richard Warren und Kollegen, Versuchspersonen werden vier Klänge in einer sich wiederholenden Abfolge vorgespielt. Ein Zischen, ein Ton, ein Brummen und der gesprochene Selbstlaut „e“, jeder Klang tritt dabei mit einer Dauer von 200ms auf. Die Versuchspersonen waren ohne Schwierigkeiten in der Lage die Klänge auseinanderzuhalten. Bei einer anschließenden Befragung war es ihnen allerdings nicht möglich deren Reihenfolge auch nur annähernd wiederzugeben (Warren, Obusek, Farmer, und Warren, 1969, S.586-587).

Besonders interessant ist dieses Ergebnis in Hinsicht auf die Experimente von Ira Hirsh. Bei einer ganz ähnlichen Methode mit Klängen deren Dauer lediglich 20ms betragen hat, waren die Versuchspersonen ohne Schwierigkeiten in der Lage die Reihenfolge der Klänge wiederzugeben (wo-

bei erwähnt werden muss, dass Hirsh' Versuchspersonen die Aufgabe im Vorfeld geübt haben) (Hirsh, 1959).

Ab welchem Tempi und Intervallen sich die Wahrnehmung von einen in zwei Melodieströme ändert, ist von Leon van Noorden untersucht worden. Bei Melodien, welche 10 – 20 Töne in der Sekunde aufweisen, spaltet sich diese schon ab einem Intervall von 3 Halbtönen auf, was durch die Frequenzgruppenbreite oder auch die durch das Tempo bald erreichte Verwischungsschwelle (ab 20 Tönen/sec) erklärt werden könnte. Bei langsameren Melodien kann es bis zu Intervallen von 15 Halbtönen dauern, bis eine Teilung stattfindet. Zwischen diesen Grenzbereichen ist der Aufmerksamkeitsfokus entscheidend für die Bildung von verschiedenen Streams. Wenn eine Melodie ausschließlich aus Halbtönen besteht wird sie tempounabhängig stets als zusammengehörig wahrgenommen (Bregman 1994, S.60).



Mit Steigerung des Tempos werden immer mehr Streams gebildet bis jeder Ton als eigener Melodiestrom wahrgenommen wird, man also eine Folge von Tonwiederholungen auf verschiedener Frequenzen hört.

Bei einem hierfür durchgeführten Experiment von van Noorden (1975) sollten die Versuchspersonen anzeigen, wann sie einen im Zeitraum von 80 Sekunden in der Frequenz von sehr hoch zu sehr tief wandernden Ton mit

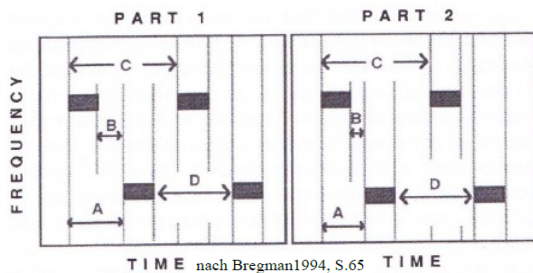
einem zweiten, auf einer Frequenz von 1kHz fixierten als zusammengehörig wahrnehmen (Van Noorden 1975, S.13). Dieser Ansatz hat jedoch zu keinen ausreichend verwertbaren Ergebnissen geführt, da die Versuchspersonen nicht in der Lage waren sich auf eine Wahrnehmung festzulegen, es waren, je nach Aufmerksamkeitsfokus, stets mehrere Perzepte möglich.

Erst eine veränderte Fragestellung, nämlich zu versuchen alle vorhandenen Töne als zusammengehörig wahrzunehmen und wiederzugeben, hat zu einem Ergebnis geführt: Die Schwelle, ab welcher der Frequenzabstand zu groß wird um die Töne als ganzes wahrzunehmen, wird seitdem als „temporal coherence boundary“ (TCB) bezeichnet (Van Noorden 1975, S.53).

Die Schwelle ab welcher es aufgrund der Nähe der Frequenzen nicht mehr möglich ist zwei getrennte Streams wahrzunehmen ist die „fission boundary“ (FB) (ders. 1975, S.10).

Die Untergrenze für die tempoabhängige Wahrnehmung von Tönen liegt bei 2 – 7 ms (500 – 143 Töne pro Sekunde), darunter werden einzelne Töne als durchgehendes Ereignis empfunden (Divenyi, Hirsh 1974). Die Reihenfolge von Tönen kann überhaupt erst ab 50 Tönen pro Sekunde wahrgenommen werden. Bei Klängen reduziert sich diese Schwelle auf 5 Klänge pro Sekunde (Dowling

1986, S.159). Das deckt sich auch mit den 200ms der Klangverschmierungsschwelle, und weist ebenfalls auf Einflüsse der Frequenzgruppenbreite hin da Töne in Terzabstand schlechter erkannt werden als Töne in Sextabstand (Divenyi, Hirsh 1974 148-149 u.151, nach Reuter 1996, S.45). Von nicht geringer Bedeutung sind auch die Pausen zwischen den Ereignissen: Je länger die Pausen zwischen den Tönen werden desto kürzer müssen die Töne selbst werden, um Streaming auszulösen (Bregman 1994, S.66). Die Versuchspersonen sollten das Verhältnis von Pausen und Tönen



so beeinflussen dass sie genau die Grenze zwischen einem und zwei Streams erreichen. Sie konnten nur die Tondauer beeinflussen, die Pausendauer war jeweils vorgegeben. Waren die Pausen länger, sind die Töne von den Versuchs-

personen verkürzt worden und umgekehrt. Insgesamt ist stets versucht worden die Gesamtdauer des Ereignisses auf ca. 200ms zu bringen, um die erwähnte Grenze zu erreichen.

Zählt man die Gesamtdauer der erzielten Ergebnisse zusammen fällt auf dass ihre Summen

Grenzdauern für Streaming-Effekte:		
Pause	Ton	Summe
ca. 1 ms	ca. 170 ms	ca. 171 ms
ca. 10 ms	ca. 190 ms	ca. 198 ms
ca. 25 ms	ca. 175 ms	ca. 200 ms
ca. 50 ms	ca. 150 ms	ca. 200 ms
ca. 75 ms	ca. 125 ms	ca. 200 ms
ca. 100 ms	ca. 90 ms	ca. 190 ms

Grenzdauern für Töne und Pausen, um einen Streaming-Effekt zu erzielen.
Nach DANNENBRINK, BREGMAN 1976, 988.

zwischen 190 – 200ms Dauer liegen, was ziemlich genau 5 Klänge pro Sekunde ergibt (Reuter 1996, S.45-46).

Das hat mitunter auch damit zu tun dass sich bei einer Pausendauer von unter 200ms ein Mit-hörschwellenperiodenmuster bildet (Zwicker, 1982).

2.5 Lokalisation:

Man könnte annehmen, dass sich die räumliche Lokalisation als Impulsgeber für die Bildung von Streams besonders gut eignet, da es sehr wahrscheinlich erscheint, dass Ereignisse, welche vom selben Ort ausgehen, auch zusammen gehören. Wir setzen ja unseren Sinn für das Richtungshören ein, um einer Konversation in einem überfüllten Raum zu folgen, bilden also einen Stream, welcher auf den Gesprächspartner/die Gesprächspartnerin bezogen ist. Wenn der auditorische Wahrnehmungsapparat also Schallereignisse nach deren Lokalisation gruppiert, muss es eine Methodik für die Abbildung in einem zusammenhängenden Ganzen geben. Wenn ein Schall von einer Position im Raum zu einer anderen gelangen will muss er die dazwischen liegenden „Positionen“ durchqueren, und die perzeptuelle Abbildung muss diese Eigenschaften ebenfalls aufweisen.

Wenn also zwei Elemente eines Schallereignisses sich akustisch gleichen, in ihrem räumlichen Ursprung jedoch zu weit voneinander entfernt sind, um von der selben Quelle auszugehen und auch

keine Bewegung durch den akustischen Raum ausgeführt haben, die sie verbinden könnte, werden sie höchstwahrscheinlich als von zwei verschiedenen Quellen stammend wahrgenommen werden. Obwohl die räumliche Lokalisierung den Anschein erweckt für perzeptuelle Gruppierungen völlig auszureichen, kann nicht einmal annähernd gesagt werden, dass sie in irgendeiner Form stärker involviert wäre als andere Faktoren. Bregman nimmt als Beispiel dafür die menschliche Fähigkeit verschiedene Stimmen auch über ein monophonisches Radio getrennt wahrnehmen zu können.

Dass dem so ist, hat Diana Deutsch mit folgendem Experiment nachgewiesen (Deutsch 1975, S.98): 70 Versuchspersonen sind über Kopfhörer zwei gegenläufige C-Dur Skalen vorgespielt worden; die einzelnen Töne waren Sinusschwingungen von jeweils 250ms Dauer, und zwar pro Tonschritt alternierend zwischen den beiden Ohren.

Die Stimuli sind zehn Mal vorgespielt worden, nachdem anschließend der Kopfhörer umgedreht worden ist ($L \leftrightarrow R$), sind die zehn Durchgänge noch einmal präsentiert worden.

Die Versuchspersonen sollten das Gehörte anschließend nachsingen. Das Resultat war, dass keine der Versuchspersonen eine durchgehend auf- oder Absteigende Linie wiedergegeben hat, nach vier Tönen ist die Linie stets umgekehrt worden. Daraus ließe sich schließen dass die Frequenz für die Ausbildung von Streams (bei Deutsch „channeling“) ausschlaggebender sei als die räumliche Lokalisierung (Deutsch 1975, S.98 u. 104). Dieses Ergebnis täuscht jedoch ebenfalls, da durch die dichotische Spaltung des Hörbeispiels in der Mitte, wenn sich die Skalen kreuzen, jeweils zweimal das G rechts und zweimal das F links auftaucht und das zu einer Zäsur führt, welche die Skalen unterbricht (Reuter 1996, S.51). „Aus diesem Grund (repetierende Tonhöhe am gleichen Ohr!) ist es (auch nach den Gestaltgesetzen) nur konsequent, dass eine Melodie mit wechselnder Richtung wahrgenommen wird anstelle einer durchgehend ab- oder aufsteigenden Skala“ (Reuter, 1996, S.53).

nach Reuter 1996, S.52

X-Pattern, nach DEUTSCH 1975, 1157, Fig. 1, aufgespalten nach Tönen am rechten und linken Ohr.

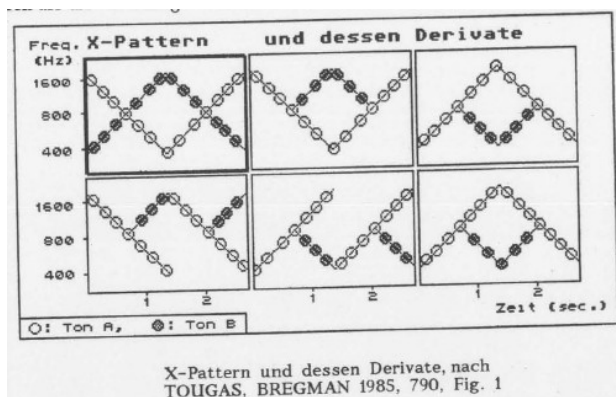
Die Problematik dieses Experiments könnte auch damit zusammenhängen, dass die links und rechts abwechselnden Töne physiologisch zwei verschiedene „Kanäle“ beanspruchen, sondern dass die akustische Beweislast den auditorischen Apparat veranlasst (berechtigt) anzunehmen die Signale

kämen von verschiedenen Positionen im Raum und deshalb die Streams gebildet werden (Bregman 1994, S.79). Ein Hinweis darauf könnte in den Experimenten Butlers zu finden sein. Er wiederholt im Prinzip das erwähnte Experiment, jedoch mit dem Unterschied, dass er Lautsprecher in einem Raum anstelle von Kopfhörern verwendet. Da durch die Reflexionen im Raum die Lokalisation erschwert wird, die Ergebnisse jedoch identisch waren, kann angenommen werden, dass das auftretende Streamingphänomen doch eher frequenzabhängig ist (Butler, 1979a, 1979b).

2.6 Melodieverlauf:

Wie bereits angesprochen worden ist sind melodiebezogene Streamingeffekte intervallabhängig. Bei kleineren Intervallen kommt das Gesetz der Nähe zum Tragen, bei großen Sprüngen innerhalb einer Melodie kann es zu Aufspaltungen in kleinere Melodieeinheiten kommen (McAdams, Bregman 1985, S.667-668). Bei Intervallen welche den Ambitus einer kleinen Terz unterschreiten sind Aufspaltungen nur schwer möglich (Dowling 1986, S.127-129 u. 156).

Wenn Versuchspersonen ein X-Pattern vorgespielt wird, nehmen diese entweder zwei sich durchkreuzende Melodien wahr oder zwei, die sich annähern und dann wieder voneinander entfernen. Wird vor der Präsentation des X-Patterns eine der beiden oben genannten Möglichkeiten als Beispiel vorgespielt, um sie anschließend im X-Pattern wiederzuerkennen, werden eher die sich nicht durchkreuzenden Linien erkannt (Bregman 1994, S.419).



nach Reuter 1996, S.48

Wenn eine ansteigende Linie von Tönen eine absteigende durchkreuzt, fällt es sehr schwer die Linien in dieser Art zu hören: am Kreuzungspunkt folgt man meist der gegenläufigen Linie in die entgegengesetzte Richtung. Der Wahrnehmungsapparat folgt eher Tönen welche sich in der selben Frequenzregion befinden als Kreuzungen. Werden die Töne durch Glissandi verbunden ist es eher möglich sie als zusammengehörig wahrzunehmen (Dowling 1986, S.156-157). Doch selbst dann werden sie eher als „bouncing“ denn als „crossing“ wahrgenommen (Tougas, Bregman 1985, S.796).

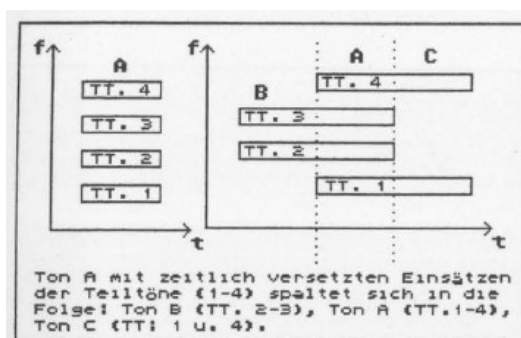
2.7 Aufmerksamkeitsfokus:

All diese Phänomene sind jedoch nicht einzig auf automatisierte Prozesse zurückzuführen. Sie sind auch in hohem Maß von der Aufmerksamkeitsfokussierung abhängig und lassen sich durch diese beeinflussen. Salber bezeichnet die Aufmerksamkeit als Folge und nicht als Ursache, welche sich aus der Historisierung ergebe (Salber 1965, S.223). Aus der fortwährenden Abwechslung zwischen Setzung und Veränderung ergäbe sich eine Erwartung und daraus resultierend eine Aufmerksamkeitsfokussierung. „So benötigt auch die Aufspaltung eines einzigen Melodiestroms in kleinere streams ein gewisses Maß an Zeit, wenn sie allein aufgrund von Aufmerksamkeitsfokussierung geschehen soll. Es scheint, dass das Gehör erst annimmt, dass die Signale zunächst von einer einzigen Quelle kommen, bis es genügend Informationen für andere Interpretationsmöglichkeiten zusammen hat“ (Reuter 1996, S.53, nach McAdams, Bregman 1985, S.660).

Verschiedene Experimente haben gezeigt, dass ein Hörer, welchem vorab gesagt wird nach welchem Muster er in einem Schallereignis suchen soll, dieses Muster leichter heraushören kann als eine nicht instruierte Versuchsperson (Bregman 1994, S.411).

2.8 Asynchronizität von Einsätzen:

Die Synchronizität der Einsätze von Schallereignissen wirkt sich ebenfalls auf die Gruppenbildung aus. Ob etwas als zusammengehörig empfunden wird, hängt von der Art der Verzögerung der einzelnen Teiltöne ab. Wenn Sinustöne simultan einsetzen werden sie nach folgendem Experiment als zusammengehörig wahrgenommen, bei nicht synchronem Einsatz ist das von der Verzögerungszeit abhängig (McAdams, Bregman 1985, S.687-688).



nach Reuter 1996, S.54

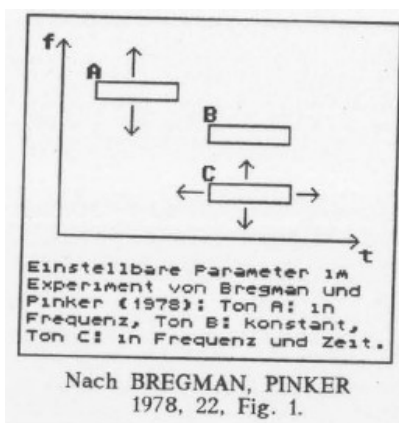
Bei Synchronem Einsatz der 4 Sinustöne (links) nimmt man einen Klang (A) wahr, setzen die Teiltöne 2 und 3 früher ein als 1 und 4, welche dann auch länger andauern, hört man insgesamt drei verschiedenen Klänge (A, B, C).

Das Problem bei diesem Versuch besteht darin, dass die Einsätze von Instrumenten nicht einfach festzulegen sind. Da im oben beschriebenen Experiment künstlich erzeugte Sinustöne eingesetzt

worden sind und davor nicht darauf eingegangen worden ist ob diese abrupt begonnen haben oder eine Art Einschwingvorgang simuliert worden ist (nach Reuter 1996, S.54 treten die beschriebenen Effekte nur auf, wenn die Töne mit einem Einschaltknacks beginnen, was eher auf abrupte Einsätze hinweisen würde), soll noch ein weiteres Experiment angeführt werden, bei welchem in der Methodik auf diese Problematik eingegangen worden ist. Es sind dort ebenfalls zwei Sinustöne mit verschiedenen Frequenzen zum Einsatz gekommen, der eine Ton halb so lang in der Dauer wie der andere. Der entscheidende Punkt ist, dass die beiden unterschiedliche „Einschwingzeiten“ aufgewiesen haben, also nach einer voneinander abweichenden Zeitspanne ein Maximum erreicht haben. Die Versuchspersonen sollten nun die Töne derart zueinander verschieben (einer war fixiert, der andere hat von den Versuchspersonen vor und zurückversetzt werden können), dass sie sie als gleichzeitig einsetzend hören. Es hat sich gezeigt, dass der Ton mit der längeren „Einschwingzeit“ stets so positioniert worden ist, dass er vor dem mit der kurzen „Einschwingzeit“ beginnt (Vos, Rasch, 1981). Auch Albert S. Bregman und Steven Pinker haben 1978 einige Experimente zur Asynchronizität der Einsätze und deren Auswirkung auf die Stream Segregation durchgeführt.

In den Hörbeispielen dieser Versuche folgt auf einen Ton (A) ein Tonpaar (B und C), B und C waren von gleicher Dauer, während der Einsatz von C zu B veränderbar war. Die Tonhöhe von A und C war ebenfalls variabel, mit der Einschränkung, dass A stets eine höhere Frequenz als die fixierte von B war.

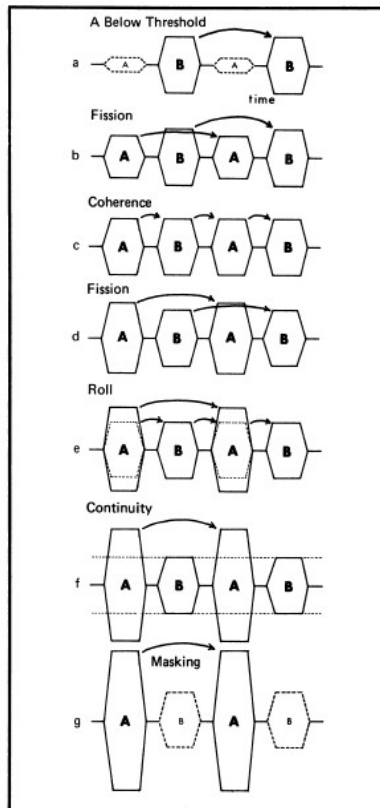
Die Fragestellung war, ob A und B gruppiert werden oder C und B einen Stream bilden, der dann mit dem Klang A abwechselt. Die Ergebnisse haben gezeigt, dass B und C bei synchronem



nach Reuter 1996, S.55

Einsatz am besten einen eigenen Stream bilden. Bei kleiner werdendem Frequenzabstand zwischen A und B sind die beiden zu einer Einheit zusammengefasst worden, was noch verstärkt worden ist, wenn der Einsatz von C gegenüber B nach hinten verschoben worden ist (Bregman, Pinker 1978, S.23).

2.9 Intensitätsunterschiede:



nach McAdams, Bregman 1985, S.670

Da es beim Musikhören selten vorkommt, dass alle Signale die gleiche Intensität aufweisen ist anzunehmen, dass der Pegel von Schallereignissen die Gruppenbildung ebenfalls beeinflusst, nicht zuletzt indirekt durch die entstehenden Verdeckungs/Maskierungsphänomene.

Ein zu dieser Thematik passender Versuch stammt von Leon van Noorden (1975). Das Diagramm zeigt die verwendeten Hörbeispiele und die dabei auftretenden Effekte. Die beiden Tonfolgen A und B weisen die gleiche Frequenz (1000Hz) auf, Töne innerhalb der Sequenzen weisen eine Dauer von 40ms auf. Der Pegel der Folge A ist variabel, während B auf einem Pegel von 35dB fixiert ist. Folgende Effekte sind bei verschiedenen Intensitäten von A beobachtet worden.

- Wenn A einen Pegel von 6dB aufweist ist sie aufgrund der Nachverdeckung durch B nicht hörbar, man nimmt lediglich B wahr.
- Hebt man den Pegel von A soweit an, dass er über der Nachverdeckungsschwelle von B liegt, werden zwei verschiedene Streams für A und B gebildet. Das funktioniert solange der Pegel von A 5dB unter jenem von B bleibt (Reuter 1996, S.49).
- Weist A eine Intensität von 5dB unter oder über B auf ist nur eine einzige Tonwiederholung zu hören.
- Ist der Pegel von A noch höher ergeben sich tempoabhängig zwei verschiedene Perzepte, unter einem Tempo von 13 Tönen pro Sekunde werden zwei unterschiedliche Streams zu A und B wahrgenommen: Ist die Geschwindigkeit höher als diese 13 Töne pro Sekunde entsteht ein „roll effect“ (in der Tonfolge A wird ein Pulsieren hörbar welches die Töne von Folge B mitpulsierend erscheinen lässt). Erhöht man die Intensität von A noch weiter scheint das Pulsieren sich in zwei verschiedenen Perioden aufzuspalten. Konzentriert man sich auf die lauten Töne hört man den leisen Ton durchgehend im Hintergrund während Folge B mit einer Rate von 10 Pulsen pro Sekunde erscheint. Wenn man sich nun auf die leisen Töne konzentriert entsteht der Eindruck diese würden in der doppelten Rate zu B pulsieren.

Wenn A am lautesten ist kann man B gar nicht mehr hören. Da die beiden Streams zusammen wie ein Trommelwirbel (engl. „drum roll“) klingen hat man das Phänomen als Roll Effect bezeichnet (Bregman 1994, S.380).

„Allgemein kann man sagen, dass bei einem Tempo von 2,5 – 10 Tönen pro Sekunde die aufeinanderfolgenden Töne einen Pegelunterschied von mindestens 2 -4dB aufweisen müssen, damit sich das Hörereignis in zwei Melodien aufspaltet. Oberhalb oder unterhalb dieser Tempospanne bedarf es mit langsameren oder schnelleren Tempi immer größerer Pegelunterschiede, um den Effekt einer Melodiespaltung zu erzielen (Reuter 1996, S.50, nach Van Noorden 1977 in McAdams, Bregman 1985).

2.10 Klangfarbendifferenzen:

Im Gegensatz zu den in den bisher besprochenen Experimenten verwendeten Sinustönen, welche sich ausschließlich über ihre Frequenz und Auslenkung beschreiben lassen und in der Realität eigentlich so nicht auftreten, sind Klänge etwas komplexer. Ein Klang kann, muss aber nicht, über die Basisparameter Grundfrequenz, Tonhöhe und spektrale Verteilung der Teiltöne definiert werden (Bregman 1994, S.83).

Die Grundfrequenz entspricht der Periode der zugrunde liegenden Wellenform eines Klangs.

Die empfundene Tonhöhe richtet sich nach der Grundfrequenz eines harmonischen Spektrums, wobei es keine Rolle spielt ob diese Schwingung nun tatsächlich physikalisch vorhanden ist oder nicht (Moore, 1982). Die spektrale Verteilung bezieht sich auf die relative Intensität der Teiltöne zueinander und ist hauptverantwortlich für die Empfindung von Klangfarbe, wie grell, stumpf, hell, dunkel usw. (Grey 1978, S.467). Klänge können sich in einem oder mehreren dieser Punkte unterscheiden, das folgende Beispiel zeigt einige Möglichkeiten auf:

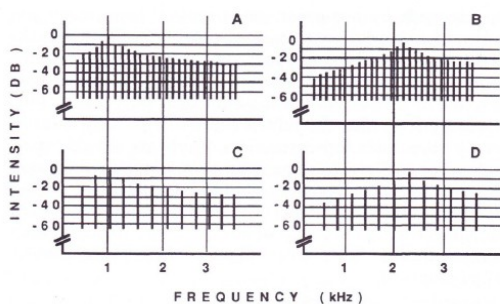


Figure 2.8
Four tones that differ in fundamental frequency and in spectral peak (formant) frequency. (From Bregman and Levitan 1983.)

nach Bregman 1994, S.84

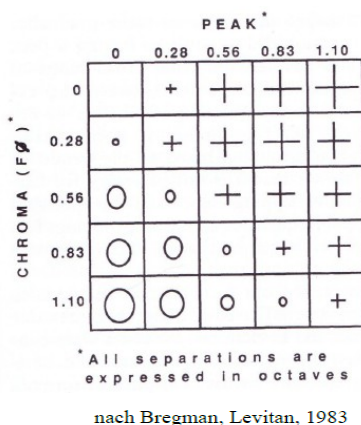
Klang A weist eine Grundfrequenz von 128Hz auf, welche physikalisch jedoch nicht vorhanden ist. Seine Teiltöne haben bei 1000Hz ein Maximum und sind um diese im Verhältnis zum restlichen Spektrum generell am lautesten. Beim Klang B fehlt ebenfalls die Grundschiwingung von 128Hz, er weist im Gegensatz zu A eine spektrale Spitze um 2161Hz auf. Klang C unterscheidet sich in der Grund-

frequenz von 277Hz von A und B, hat jedoch die gleiche spektrale Pegelspitze um 1000Hz wie A. Klang D hat die gleiche Grundfrequenz wie C und seine Pegelspitze ist, so wie bei B, um 2161Hz.

Die Frage war nun, welche Streams sich ergeben würden, wenn man die vier Klänge hintereinander in einer Schleife präsentiert. Falls die Grundfrequenz gegenüber des Spektrums dominiert müssten A und B zu einem und C und D zu einem anderen Stream gruppiert werden.

Sollte jedoch das Spektrum ausschlaggebend sein müssten A mit C und B mit D einen separaten Stream ausbilden. Den Versuchspersonen ist vorab eine Schleife aus zwei der vier Klänge vorgespielt worden, wobei zwischen diesen eine Pause von der Dauer der ausgelassenen Klänge eingefügt war, sodass das Vorabbeispiel die gleiche Gesamtlänge wie das vollständige Beispiel aufgewiesen hat. Auf einer Skala sollte anschließend eingetragen werden, wie klar die Versuchspersonen die jeweiligen Klänge im Gesamtbeispiel wahrgenommen haben.

Sie waren angewiesen, sich auf die Klarheit und den Rhythmus der beiden Zielklänge gleichermaßen zu konzentrieren. Die Annahme war, dass die beiden Klänge, wenn sie einen eigenen Stream ausbilden, im Gesamtbeispiel weiterhin erkennbar bleiben müssten. Sollte das nicht der Fall sein, müssten sie im Gesamten kaum oder nur sehr schwer erkennbar sein. Die Anordnung der Klänge im Versuch ist wie oben beschrieben erfolgt, die Klänge sind in den verschiedenen Durchgängen in ihrer Tonhöhe alteriert worden. Im Diagramm sind die Ergebnisse dargestellt, die Ellipsen bedeuten dass die Streams aufgrund des Grundtons leichter zu erkennen waren, die Plusse stehen für die leichtere Erkennung anhand der Formanten.



Zusammengefasst hat sich gezeigt, dass je größer der Unterschied zwischen den verschiedenen Faktoren ist, desto besser funktioniert die Gruppierung auf Basis des vergrößerten Faktors, sei es nun der Grundton oder das Spektrum. Im Prinzip bedeutet das, dass beide Faktoren gleich wichtig zu sein scheinen, die größere Anzahl von Plusen beweist lediglich das bei diesem einen Experiment der Einfluss der Formanten etwas stärker war, was sich aber aufgrund der Datenlage nicht verallgemeinern lässt.

Die großen Schwierigkeiten ergeben sich aus der Problematik Klangfarbe überhaupt zu definieren. Solange keine präzise Möglichkeit vorliegt Klangfarbe in allgemeingültigen Parametern zu beschreiben ist es äußerst schwierig die Ergebnisse verschiedener Experimente akkurat zu vergleichen. Der Sinneseindruck „Klangfarbe“ hängt offenbar mit derartig vielen sich gegenseitig beeinflussenden Variablen zusammen, dass eine simple Definition äußerst diffizil ist.

Eine Reihe von Versuchen Klangfarbe zu definieren stammen von John M. Grey (1977, S.457-459), unter anderen war einer seiner Ansätze der Klangfarbe (Timbre) graphisch darzustellen um Komponisten und Komponistinnen die Möglichkeit zu geben sie in Partituren festschreiben zu können. Auf Basis von Lickliders Zitat „until careful scientific work has been done on the subject, it can hardly be possible to say more about timbre than that it is a 'multidimensional' dimension“ (Licklider, 1951), analysiert er die Spektren der Aufnahmen von 16 verschiedenen Instrumenten, baut diese mit Hilfe von additiver Synthese nach um sie als Stimuli für Experimente verwenden zu können (Grey 1977, S.467ff). Diese Stimuli sind in verschiedenen Experimenten, mit unterschiedlichen Veränderungen, und unterschiedlichen Methoden, jedoch stets mit dem Ziel ihre klangfarblichen Unterschiede zu definieren, eingesetzt worden.

Wessel stellt Klangfarbe in einem auf dem von Grey vorgestellten „timbrespace“ Grey 1977, S.1272) basierenden zweidimensionalen Diagramm dar, bei welchem eine Achse für die Klangschärfe, die andere für die Einschwingdauer angelegt ist (Wessel 1978, S.8).

Aus zwei sich abwechselnden Klängen dieses Diagramms ist eine sich wiederholende Melodieschleife aus aufsteigenden Quartan gebildet worden. Wenn die Klänge auf der Schärfeachse weit voneinander entfernt waren haben die Versuchspersonen zwei verschiedene sich kreuzende Melodien gehört, waren die Klänge auf der Schärfeachse nah beieinander ist eine einzelne Melodie wahrgenommen worden (Wessel, 1978, S.11-12). Es wird nicht genau angegeben wie viele Personen teilgenommen haben (lediglich dass die Auswertung auf Daten von 9 Personen erfolgt ist). Wessel schreibt lediglich, dass nicht alle Personen den Effekt so wahrgenommen hätten.

Da die verschiedenen Tonhöhen durch transponieren des gesamten Spektrums erzielt worden sind ist mit relativer Sicherheit zu sagen dass bei realen Instrumenten auch bei kleinen Abständen auf der Schärfeachse zwei Streams gebildet worden wären (nach Reuter, 1996, S.59).

Das hat Christoph Reuter 2000 in einem Experiment nachweisen können. Bei der Konstruktion der Stimuli sind die spektralen Maxima der Formantbereiche je nach Tonhöhe mitverschoben worden. Ziel war es, herauszufinden inwiefern sich Formanten zur Klangfarbenunterscheidung eignen.

Aufbauend auf Fricke's Theorie der partiellen Verschmelzung, welche besagt, dass Instrumente mit unterschiedlichen Hauptformantbereichen besonders gut getrennt voneinander wahrgenommen werden (Fricke 1986, S.145). Als Ergänzung dazu stellt Reuter die Theorie der klanglichen Verschmelzung auf, nach welcher Instrumente mit gleichen Hauptformantbereichen nicht voneinander getrennt wahrgenommen werden (Reuter 2000, S.176).

Die Klangbeispiele sind aus den Aufnahmen von Oboe, Fagott, Trompete und Horn generiert worden, mit welchen die benötigten Töne eingespielt worden sind (Von den erfahrenen Instrumentalisten sind C-Dur Tonleitern, jeweils von c – g und g – d, in allen für das jeweilige Instrument erreich-

baren Registern eingespielt worden). Zusätzlich zu diesen „Instrumentenklängen“ sind noch Klänge verwendet worden, deren Formanten absichtlich vertauscht waren, Fagott mit Oboenformanten und umgekehrt, sowie Horn mit Trompetenformanten und umgekehrt.

Den 30 Versuchspersonen ist zunächst folgende Melodie, von einem zum nächsten Ton abwechselnd mit dem Klang einer Oboe, einem Fagott, einer Trompete und von einem Horn, vorgespielt worden. Zusätzlich sind die Klänge mit den vertauschten Formanten auf die selbe Weise präsentiert worden.



Als Theorie ist angenommen worden, dass Instrumente welche Formanten in den selben Frequenzbereichen aufweisen einen einzelnen Stream auslösen werden. Unterscheiden sich die Formantbereiche, werden zwei getrennte Streams gehört. Wechselt sich ein formantreiches Instrument bei einer Melodie mit einem ab welches starke Schwankungen aufweist, so werden aufgrund der Klanglichen Differenzen zwei Streams ausgebildet werden. Verwendet man zwei Instrumente welche hohe Schwankungen aufweisen, wird wieder ein einzelner Stream wahrgenommen werden (Reuter 2000, S.176).

Die Versuchspersonen sollten angeben, ob das Gehörte eine durchgehende, einzelne Melodie ist, oder ob es sich um zwei verschiedene Melodien handelt. Falls letzteres der Fall war, sollte noch zusätzlich angegeben werden, welche der beiden wahrgenommenen Melodien im Vordergrund stehe.

	1	2	3		1	2	3
FG(fg)/HN(hn)	24	3	3	OB(ob)/TP(tp)	24	6	0
OB(fg)/FG(fg)	18	5	7	OB(ob)/FG(ob)	15	14	1
TP(hn)/HN(hn)	20	5	5	HN(tp)/TP(tp)	25	1	4

nach Reuter 2000, S.176

OB(ob)/FG(fg)	2	25	3	FG(fg)/FG(ob)	4	7	19
TP(tp)/HN(hn)	2	26	2	OB(fg)/OB(ob)	6	7	17
TP(tp)/FG(fg)	3	25	2	HN(tp)/HN(hn)	3	25	2
HN(hn)/OB(ob)	3	4	23	TP(tp)/TP(hn)	9	9	12

Die obere Darstellung zeigt die Ergebnisse bei Klängen mit übereinstimmenden Formanten (vorwiegend ein Stream), die untere jene mit unterschiedlichen Formanten (vorwiegend zwei Streams). 1 = Personen, die eine durchgehende Melodie hören. 2 = Personen, die zwei Melodien hören (vordergründige Melodie setzt auf erster Note ein). 3 = Personen, die zwei Melodien hören (vordergründige Melodie setzt auf zweiter Note ein).

Mit Ausnahme der Oboe abwechselnd mit dem Fagott mit Oboenformanten sind nahezu alle Klänge mit gleichen Formanten als zusammengehörig wahrgenommen worden, also auch jene bei welchen die Formanten nicht zum Instrument passend waren. Weiters hat bestätigt werden können, dass bei Klängen mit ungleichen Formanten zwei Streams ausgebildet werden. Drittens hat sich gezeigt,

dass Klänge mit höheren Formanten, gegenüber solchen mit niedrigeren Formanten, in den Vordergrund treten (Reuter 2000, S.177).

Stream Segregation basiert offenbar auf vielen unterschiedlichen Faktoren, welche sich gegenseitig beeinflussen können. Bei Versuchen mit Klängen anstatt Sinustönen kommt noch das Problem der Definition von Klangfarbe hinzu, obwohl die Formanten von Musikinstrumenten eine tragende Rolle für die Bildung von Streams zu spielen scheinen. Mit den Gestaltgesetzen kann zwar einiges erklärt werden, anderes bleibt jedoch im Dunkeln.

3.0 Händigkeit:

Eines der gravierendsten Probleme der auditorischen Szenenanalyse besteht darin, dass wir aus vielen gleichzeitig eintreffenden Schallereignissen separate mentale Beschreibungen dieser Ereignisse schaffen müssen ohne das Gesamtbild aus den Ohren zu verlieren.

Gelöst wird diese Aufgabe vom Wahrnehmungsapparat indem er automatisierte Prozesse der Gruppierung aktiviert, und diese durch erlernte Schemata kontrolliert und abgleicht.

Diese automatisierten Prozesse scheinen so abzulaufen dass zuerst dass die eintreffende Schallenergie zuerst in viele kleinere Analysen aufgeteilt wird, ja nach Beschaffenheit des Ereignisses.

In diesem ersten Schritt wird erfasst woher der Schall kommen könnte, welche Intensität er aufweist, seine Bewegungen in Hinsicht auf Frequenzen und möglicherweise noch andere, noch unbekannte Eigenschaften. Im nächsten Schritt werden die verschiedenen Signale auf Basis ihrer zeitlichen und spektralen Parameter zu Gruppen, so genannten Streams, zusammengefasst.

Die dazu bekannten Parameter sind im vorigen Abschnitt besprochen worden, es gibt allerdings noch einen Faktor welcher das alles beeinflusst. Es scheint starke Auswirkungen auf die auditive Wahrnehmung zu haben ob man Rechts- oder Linkshändig ist.

Der Begriff Händigkeit bezeichnet die unterschiedliche Funktionalität der linken und rechten Extremitäten. Bei einem überwiegenden Teil der Menschen ist die rechte der linken Hand überlegen. Die Bezeichnung Links oder Rechtshänder/in ist jedoch kein absoluter, zweigestufter +/- Wert, sondern ein kontinuierlich, graduelles Merkmal mit Dominanztendenz zur rechten Hand.

Zur Klassifizierung werden nach neuesten Forschungsergebnissen die tatsächlichen motorischen Fähigkeiten von Personen herangezogen. In Zusammenhang mit der Händigkeit tauchen auch andere Begriffe auf, Lateralität/Seitigkeit bezieht sich auf neuronale und nicht-neuronale Asymmetrien, können sich jedoch auch auf anatomische Unterschiede angewendet werden.

Zerebrale Asymmetrie bezieht sich dagegen nur auf die beiden Hemisphären im Gehirn, Gehirnfunktion und Händigkeit weisen eine enge Beziehung zueinander auf, es sind jedoch zwei unterschiedliche Dinge gemeint. Die Händigkeit bezieht sich ausschließlich auf die Leistungsfähigkeit und Bevorzugung der Hand, je nach Methodik können Bestimmungen der Händigkeit über die Performanzhändigkeit (Leistungsfähigkeit), oder der Präferenzhändigkeit (Bevorzugung), zu voneinander abweichenden Prozentwerten für Links und Rechtshänder/innen führen.

Lange Zeit sind für die motorischen Fähigkeiten verschiedenste Ursachen, wie Händigkeit, Geschlecht und familiäre Sozialisation angenommen worden. Nach neueren Untersuchungen gestaltet sich die Sache allerdings komplexer, zum Beispiel kann es vorkommen, dass Linkshänder/innen, im Gegensatz zu Rechtshänder/innen, nicht immer die linken Extremitäten bevorzugen (Cherry, Kee,

1991, Peters, Servos, 1989). Bei motorischen Aufgaben zeigen Linkshänder eher Similaritäten zwischen den Extremitäten (Semmler, Nordstrom, 1995).

Die Right Shift Theorie von Annett legt einen Genetischen sowie einen kulturell erlernten Faktor zugrunde und gilt als anerkannt, obgleich der genetische Beweis noch ausständig ist. Da ein genetischer Test momentan noch nicht möglich ist, muss ein motorischer Test durchgeführt werden, bei welchem die (unterschiedlichen?) Fähigkeiten der beiden Hände gemessen werden.

3.1 Right Shift Theory nach Annett:

Nach Annetts „Right Shift Theory“ ist die Händigkeit eine durchgehende Variable „plus oder minus rechte (genetische) Vorbelastung“ (Annett, 2002, S.48).

Die rechte „Vorbelastung“ ist genetisch bedingt, wird als „Right Shift Factor“ bezeichnet und kann von der Mutter oder dem Vater weitergegeben werden.

Dieser Faktor wird auch als RS++ Faktor bezeichnet. Der RS+- Faktor hingegen ist der am meisten auftretende, reinerbliche Faktor, und der RS-- Faktor ist jener reinerbliche Faktor welcher sich ergibt wenn weder RS++ noch RS+- vorhanden sind. Diese relativ kleine Gruppe von genetischen nichtrechtshändigen Personen kommt der „Beidhändigkeit“ am nächsten, bei ihr können die motorischen Fähigkeiten für beide Hände, bis auf marginale Unterschiede, nahezu identisch sein.

Wenn man sich nun eine Skala vorstellt auf welcher, je nach motorischen Fähigkeiten, die Rechtshändigkeit und Nichtrechtshändigkeit dargestellt werden kann, würde man einen Nullpunkt zwischen den Fähigkeiten der linken und der rechten Hand annehmen. Bryden, Roy und Spence (2007) haben allerdings nachgewiesen dass diese Grenzschwelle im positiven Bereich, und nicht am Nullpunkt, einer solchen Skala angesetzt werden muss. Bei der Gruppe der beiden genetischen „Right Shifts“, RS+- und RS++, zeigt sich stets eine größere oder kleinere Überlegenheit der rechten Hand, niemals jedoch ein als absolut zu bezeichnender Wert. Das Problem dabei ist, dass von der Regel abweichende Rechtshänder/innen statistisch nicht von den „echten“, genetischen Rechtshänder/innen getrennt werden können. Das bedeutet, obwohl voneinander abweichende Meinungen vorherrschen, dass man, um akkurate Daten zu erhalten, motorische Tests durchführen muss, da Fragebögen und Ähnliches die Ergebnisse stets verzerren. Durch Training können die motorischen Fähigkeiten verbessert werden (Aoki, Furuya, & Kinoshita, 2005), was jedoch nicht nichts mit den „ursprünglichen“ genetischen Grundlagen zu tun hat und unter anderem auf neurologische Veränderungen/Anpassungen zurückzuführen ist (Elbert, Pantev, Wienbruch, Rockstruh, & Taub, 1995).

Nach der Annahme, dass zwischen den motorischen Fähigkeiten und höheren kognitiven Funktionen eine Verbindung besteht, müssten sich Faktoren wie Geschlecht, familiäre Prägung und laterale

Bevorzugung ebenfalls auf Performanzmessungen auswirken. Der Right Shift jedoch ist von den motorischen Fähigkeiten unabhängig, sollte daher also in etwa gleich verteilt sein, was jedoch auch bei nichtmenschlichen Spezies nicht der Fall zu sein scheint (Annett 2004, S.143 – 150). Daraus könnte man folgern dass die Verteilung auf dem Zufallsprinzip beruht, jedoch erlernte Faktoren mit eine Rolle spielen. Das führt (nach der Right Shift Theory) zu der Annahme dass beim Menschen die Rechtshändigkeit erblich ist, während das bei der Linkshändigkeit nicht der Fall ist (Annett 1972, S.343). Der Right Shift Factor bezieht sich nicht auf die Händigkeit, sondern auf die Dominanz der linken Gehirnhälfte (zerebrale Asymmetrie), ist der Faktor nicht vorhanden, ist Gehirnhälftendominanz dem Zufallsprinzip unterworfen (Annett 2004, S.143 – 150).

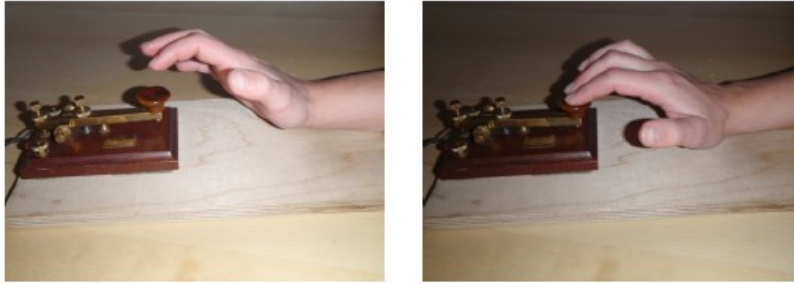
Um die Händigkeit zu klassifizieren sind verschiedene Verfahren angewendet worden, neben den erwähnten Performanztests sind häufig auch Fragebogenbasierte und Selbstdeklarationsverfahren zur Anwendung gekommen. Bei Zweiteren ist die Häufigkeit der beidhändigen Personen jedoch äußerst Gering, da dieser Begriff umgangssprachlich kaum in Gebrauch ist. Bei Fragebögen zur Bevorzugung der Hände bei verschiedenen Tätigkeiten wie Zähneputzen, Schreiben, Zündholz anreißen, Hammer halten usw. können, je nach Auswertungsverfahren, recht konkrete Lateralisationswerte ermittelt werden. Problematisch dabei ist die Schwellenbestimmung für Rechts und Linkshändigkeit, da die Trennung von rechtspräferierten Beidhänder/innen und genetischen Beidhänder/innen bei solchen Verfahren nicht möglich ist. Trotzdem ist es hilfreich Fragebögen bei Experimenten zu verwenden um Ergebnisse anderer Methoden abgleichen zu können.

3.2 Messmethoden:

Um nun die motorischen Fähigkeiten zu messen gibt es ebenfalls mehrere Möglichkeiten, Annett hat zum Beispiel ein Steckbrett-Verfahren verwendet, verschiedene Aufgaben müssen von den Versuchspersonen jeweils mit der linken und der rechten Hand ausgeführt werden, die Zeit die sie dafür brauchen wird (händisch) gestoppt. Nachteil dieser Vorgehensweise ist, dass, abgesehen von der relativen Ungenauigkeit der manuellen Zeitnahme, nur die Gesamtdauer ermittelt werden kann, Veränderungen der Performanz während des Verlaufs können nicht erfasst werden.

Ein Mehrdimensionales Verfahren, mit welchem eine elektronische Zeitreihenmessung, sowie Datenspeicherung möglich ist, wäre ideal um zerebrale Asymmetrien über die Handlateralisierung zu ermitteln. Ein solches System ist 1978 unter der Bezeichnung „speed tapping“ von Peters und Turling vorgestellt worden. Beim Speed Tapping Verfahren müssen die Versuchspersonen jeweils 30 Sekunden, abwechselnd mit der einen dann der anderen Hand, auf einem mit einem Computer verbundenen Morsetaster so schnell wie möglich zu drücken. Dabei soll das Handgelenk aufliegen und

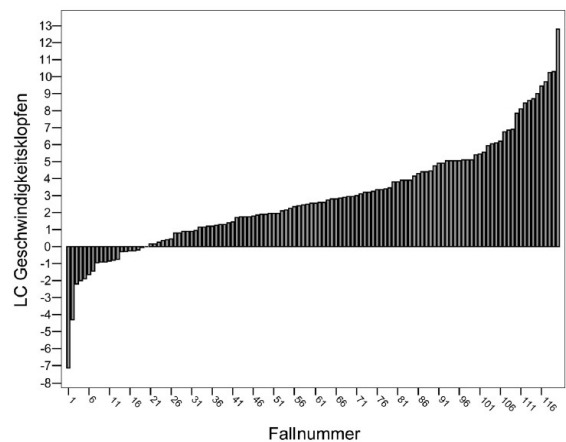
der Zeigefinger frei sein (siehe Abb.). Zwischen den Durchgängen findet eine Entmüdungsphase statt um die Hände zu entlasten.



nach Oehler, Reuter, Schandara, Kecht 2011

Als Auswertung erhält man, wie auch beim Steckbrettverfahren, einen so bezeichneten Lateralisationskoeffizienten ($LC = 100 \cdot [L-R/L+R]$), welcher über zwei Durchgänge gemittelt wird. In den LC-Wert fließen allerdings, im Gegensatz zum Steckbrettverfahren, nicht nur die Gesamtdauer ein, sondern auch die Ermüdung und die Regelmäßigkeit, wobei Erstere das langsamer werden über die 30 Sekunden darstellt, Zweitere die Schwankungsbreite der Klopfgeschwindigkeit. Abgesehen davon liefert die Software Tapping (2008) noch 25 weitere Handlungsparameter die dem Anwender zur Verfügung stehen. Der LC-Wert muss auch hier rechts von Null, im positiven Bereich liegen.

„Die kontinuierliche und rechtsschiefe Verteilung des Lateralisationskoeffizienten (LC) in einer Stichprobe von 128 Musikstudenten (basierend auf dem Datensatz aus Kopiez et al 2010)“ (Kopiez, Galley 2010).



4.0 Das Phänomen der Oktavillusion:

4.1 Musical Illusions (Deutsch 1975) :

Bei der Oktavillusion handelt es sich um ein subjektives Phänomen der Wahrnehmung, die „gehörten“ Töne und Klänge sind also physikalisch nicht vorhanden und entstehen offenbar erst nach dem das eigentliche Signal die mechanischen Komponenten des Ohres passiert hat. Das zu Grunde liegende Hörexperiment funktioniert wie im folgenden kurz umrissen; Wenn man über Kopfhörer einen durchgehenden Sinuston mit einer Frequenz von 400Hz auf einem Ohr und simultan auf dem jeweils anderen einen ebensolchen Ton mit einer Frequenz von 800Hz, beide mit gleicher Amplitude, vorgespielt bekommt, wird man die beiden in den meisten Fällen räumlich korrekt lokalisieren können.

Wenn allerdings diese beiden Töne abwechselnd in gleichbleibenden zeitlichen Intervallen (ein Ton 2sec) wiederholt auf beiden Ohren vorgespielt werden tritt ein seltsames Phänomen zu Tage.

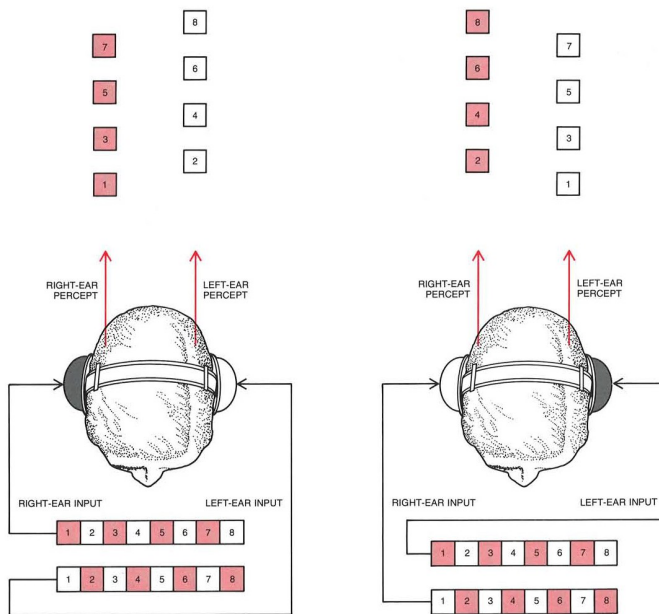
Nahezu niemand ist in diesem Fall in der Lage zu erkennen was sich physikalisch tatsächlich ereignet. Stattdessen können unterschiedlichste Perzepte, von einem einzelnen hohen Ton in einem und einen tiefen im anderen Ohr, einem hohen Ton der zwischen beiden Ohren hin und her wandert, bis hin zu eigenartigen Klanggebilden wahrgenommen werden.

Das auftretende Paradoxon steht wahrscheinlich mit der Wahrnehmung von Tonhöhe und räumlicher Lokalisierung von Tönen gleichermaßen in Zusammenhang. Nimmt man Theoretisch an der Zuhörer konzentrierte sich nur auf jeweils ein Ohr und ignoriert das andere, müssten die beiden verschiedenen Töne eigentlich erkennbar sein. Konzentrierte er sich im zeitlichen Intervall der vorgespielten Töne abwechselnd, müsste die wahrgenommene Tonhöhe eigentlich gleich bleiben da diese ja gewissermaßen von einem zum anderen Ohr hin und her wechselt. Trotzdem hören die meisten Menschen den hohen Ton in einem und den tiefen im anderen Ohr.

Das Paradoxe daran ist jedoch dass der tiefe Ton in dem Ohr gehört wird wo zu diesem Zeitpunkt der hohe Ton anliegt und umgekehrt. Wie erwähnt können vereinzelt auch andere Perzepte auftreten, manche Personen hören einen gleichbleibenden bis in der Tonhöhe leicht schwankenden Ton von einem Ohr zum anderen und zurück wandern. Andere nehmen überhaupt komplexe Illusionen, wie zwei unterschiedlich tiefe Töne von Ohr zu Ohr wechselnd oder auch ansteigende und/oder fallende Töne wahr. Einige meinen auch Unterschiede in der Klangfarbe zu hören, wie z.B. flötenartige Färbung beim hohen und glockenartige beim tiefen Ton.

Diese komplexen Perzepte sind jedoch durchwegs unstabil und meistens nicht über eine Vorspielsequenz (20sec) durchgehend vorhanden, treten also kurz zu Tage und verschwinden oder ändern sich dann (Deutsch 1974, an auditory illusion).

Dieses Aufgrund des tonalen Abstands der präsentierten Töne als Oktavillusion bezeichnete Phänomen wurde 1973 von Diana Deutsch an der University of California in San Diego entdeckt und im darauf folgenden Jahr bei der Tagung der Acoustical Society of America erstmals der Öffentlichkeit präsentiert. In der Abbildung sind unten die Stimuli und oben die Wahrgenommenen



nach D. Deutsch, Musical Illusions, Scientific American 1975, S.3

Phänomene zu sehen. Die Frequenzen in diesem Experiment waren 400Hz und 800Hz, jeder Ton hat eine Dauer von 250ms. Zwischen den Tönen war keine Pause. Die dargestellten Perzepte sind jene welche am häufigsten aufgetreten sind, diese haben sich auch nicht geändert wenn die Kopfhörer umgedreht worden sind (L↔ R). Rechtshänder/innen tendieren dazu den hohen Ton auf dem rechten und den tiefen Ton auf dem linken Ohr zu hören.

Bei Linkshänder/innen hingegen zeigt sich diese Tendenz nicht. In diesem ersten Experiment von 1973 ist ausschließlich der Zusammenhang mit der Händigkeit festgestellt worden, die möglichen Ursachen für die Illusion selbst waren zweitrangig.

4.2 Separate „What“ and „Where“ Decision Mechanisms

In Processing a Dichotic Tonal Sequence (Deutsch, Roll 1976):

In einer Folgestudie (1976) sollte auf diese Eingegangen werden. Es ist als Hypothese angenommen worden dass die Oktavillusion mit Faktoren der Tonhöhenwahrnehmung und der Lokalisation gleichzeitig zusammenhänge. Um die Tonhöhe des Stimulus abbilden zu können, die ja jeweils an beiden Ohren vorhanden ist, bilde ein Ohr eine Dominanz gegenüber dem anderen aus, dadurch werde die ankommende Frequenz nur auf jeweils einem Ohr wahrgenommen.

Bei Rechtshändern ist eine Dominanz des rechten Ohres gegenüber dem linken angenommen worden (Diana Deutsch, Phillip L. Roll 1976, S.2). Allerdings scheint diese Dominanz nicht durchgehend zu sein was die Lokalisation betrifft, die Töne scheinen in jenem Ohr lokalisiert zu werden das den höheren Ton empfängt. Wenn also eine Versuchsperson mit Dominanz des rechten Ohres auf

diesem den 800Hz Ton und auf dem linken den 400Hz Ton vorgespielt bekommt, nimmt diese einen Ton Wahr welcher einer Frequenz von 800Hz entspricht, und zwar auf dem rechten Ohr. Wenn man nun den Kopfhörer wendet, den 800Hz Ton auf dem linken und den 400Hz Ton auf dem rechten Ohr vorspielt, nimmt die Versuchsperson eine Frequenz welche 400Hz entspricht wahr, da das die Frequenz ist die auf dem rechten Ohr anliegt, lokalisiert sie allerdings im linken Ohr da dort die höhere Frequenz anliegt. Aufgrund dieser Theorie Dominiere ein Ohr das andere in Hinsicht auf die Tonhöhenwahrnehmung, jedoch nicht auf die Lokalisation.

Werden auf beiden Ohren die gleichen Tonhöhen vorgespielt, mit identischer Auslenkung, Phasenlage und Beginn, wird der Ton als in der Mitte des Kopfes wahrgenommen.

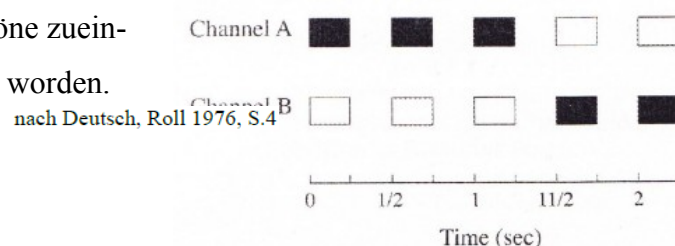
Variiert man den dichotischen Stimulus in der Amplitude wird der Ton in Richtung des Ohres welches die stärkere Auslenkung empfängt wahrgenommen. Wird der Einsatz der beiden Töne zueinander verändert, verschiebt sich der Wahrgenommene Ton in die Richtung des früheren Einsatzes, Phasendifferenzen verursachen eine Verschiebung zu dem Ohr welches die führende Phase empfängt (Diana Deutsch 1976, nach A.W. Mills 1972).

Methode des Experiments:

Nachdem den Versuchspersonen, welche einzeln getestet worden sind, erklärt worden ist dass sie eine sich wiederholende Tonsequenz hören würden, worauf sie verbal berichten sollten was sie wahrgenommen hätten, sind die Beispiele jeweils zweimal vorgespielt worden. Die Kopfhörerausrichtung ($L \leftrightarrow R$) ist nach dem ersten Durchgang umgedreht worden, wobei die Ausgangspositionierung ausgeglichen variiert worden ist.

Der Basisstimulus war der selbe wie schon im ersten Experiment, 800Hz und 400Hz, Tondauer 250ms, 10 Mal hintereinander präsentiert. Jedoch ist bei diesem Experiment die ersten drei Male jeweils der 800Hz Ton auf dem einen und der 400Hz Ton auf das andere Ohr gelegt worden, gefolgt von zwei Mal in der umgekehrten Anordnung.

Zusätzlich sind die Phasenlagen der Töne zueinander nach dem Zufallsprinzip variiert worden.



Die Sinuswellen sind von zwei Wavetec Oszillatoren (Modell Nr.155) generiert, auf Band aufgezeichnet und mit einem Pegel von 75db SPL über qualitativ hochwertige Kopfhörer vorgespielt worden. Teilgenommen haben 44 Studenten und Studentinnen der University of California, San Diego, alle waren Rechtshänder/innen, keine Hörbeeinträchtigung, und sind für die Teilnahme bezahlt worden.

Ergebnisse:

Die Grundannahmen sind, abgesehen von 3 Personen, von allen Teilnehmern/Teilnehmerinnen bestätigt worden. Die Töne sind in dem Ohr wahrgenommen worden in welchem jeweils der höhere Ton angelegen hat. Auch das Pattern 3, gefolgt von 2 ist durchgehend erkannt worden.

Die Töne sind wie erwartet in dem Ohr gehört worden, welches den höheren Ton empfangen hat, das war ebenso der Fall wenn ein tiefer Ton wahrgenommen worden ist, unabhängig davon ob dieser nun an dem jeweiligen Ohr vorhanden war oder nicht, also unabhängig von der Kopfhörerpositionierung. Ein besonders interessante, nicht erwartete Illusion ist allerdings aufgetreten. Wenn einer Versuchsperson (Tonhöhenwahrnehmung rechts), die hohen Töne links und die tiefen rechts vorgespielt worden sind, hat sie eine sich wiederholende Sequenz aus drei tiefen Tönen rechts, gefolgt von zwei hohen links wahrgenommen. Sind dann die Kopfhörer umgedreht worden, ist eine Sequenz aus zwei tiefen Tönen im linken, gefolgt von drei! Hohen im rechten Ohr gehört worden. Das Umdrehen bewirkt offenbar, dass im linken Kanal ein Ton „fallen“ gelassen wird, während im rechten einer hinzugefügt wird (Diana Deutsch, Philip L. Roll 1976, S.5).

4.3 Lateralization by frequency for repeating sequences of dichotic 400- and 800-Hz tones (Deutsch 1977):

Aufbauend auf den ersten beiden Experimenten sollte in der darauf folgenden Studie der „lateralization by frequency“ Effekt untersucht werden. Wie erwähnt beeinflussen unterschiedliche Amplituden bei Tönen mit gleicher Frequenz die Lokalisation in Richtung des stärkeren Signals.

Bei Signalen mit verschiedenen Frequenzen könnten bei gleicher Auslenkung Unterschiede in der Lautheit auftreten, und man kann annehmen dass die Lokalisation in Richtung des lauterer Tons ausfällt.

Um genau dieses Phänomen geht es in dem ersten der drei in dieser Studie vorgestellten Experimente. In einem zweiten bilden die Einflüsse von Amplitude/Lautheitsbeziehungen den Fokus. Im dritten Versuch sollte untersucht werden inwiefern die Präsentation solcher Töne in einer Schleife eine Rolle spielen könnte, und ob die beobachteten Effekte schwächer werden, oder möglicherweise gar nicht auftreten, wenn die Tonpaare einzeln präsentiert werden.

D)

Als Stimuli für den ersten Versuch sind die selben Basistöne verwendet worden wie bereits oben beschrieben, mit dem Unterschied, dass deren Amplituden variiert worden sind. Ein 800Hz Ton mit 70db SPL ist jeweils gleich oft zusammen mit einem 800Hz Ton mit 70, 73, 76, 79, 83 und 85dB SPL vorgespielt worden und umgekehrt. Die Versuchspersonen sollten angeben ob es sich bei den gehörten Beispielsequenzen um einen „rechts – links – rechts – links“ Typus oder um einen „links – rechts – links – rechts“ Typus handelt, was schriftlich niedergelegt werden sollte.

Aufgrund der so erhobenen Daten könnte man auf die Lokalisation der Frequenzen schließen.

Die vier Versuchspersonen waren Rechtshänder/innen. Es hat sich gezeigt dass eine Tendenz zu den hohen 800Hz Tönen auftritt, selbst wenn diese um einiges kleinere Amplituden aufweisen.

Obwohl gesagt werden muss dass lediglich zwei der vier Teilnehmer/innen den Effekt über die gesamten 15dB gezeigt haben, bei einer weiteren war er nur bis 9dB Unterschied vorhanden, die vierte hat darauf überhaupt nicht angesprochen und den Effekt ausschließlich bei gleicher Auslenkung wahrgenommen.

II)

Experiment zwei ist unternommen worden um herauszufinden ob Unterschiede in der Lautheit zum beschriebenen Ergebnis geführt haben könnten. Hierfür ist die selbe Prozedur wie bei I angewendet worden, jedoch mit dem Unterschied, dass die 400Hz und 800Hz Töne simultan auf beiden Ohren und hintereinander vorgespielt worden sind. Für jedes Tonpaar sollten im Vergleich angegeben werden welcher der beiden Töne lauter ist. Die Ergebnisse haben sich mit jenen des ersten Experiments weitgehend gedeckt, woraus geschlossen wird, dass Lautheitsdifferenzen keinen, oder zu vernachlässigenden, Einfluss auf die Lokalisation hätten.

III)

Die Stimuli waren identische mit jenen von I, die Töne sind jedoch in Zweierpaaren vorgespielt worden, also jeweils ein 800Hz Ton links mit einem 400Hz Ton rechts, gefolgt von deren Umkehrung. Wiederum sollte angegeben werden ob es sich um einen „links – rechts“ Typus oder einen „rechts – links“ Typus handelt. Im Gegensatz zum ersten Experiment hat sich gezeigt dass die Tendenz zum 800Hz Signal hin zu lokalisieren stark vermindert war. Offenbar spiele die Lautheit hier eine größere Rolle.

Der erwähnte Lokalisierungseffekt bei Tonsequenzen scheint folglich von der Lautheit unabhängig zu sein (Diana Deutsch 1977, S.185, nach Scharf 1969 u. 1974).

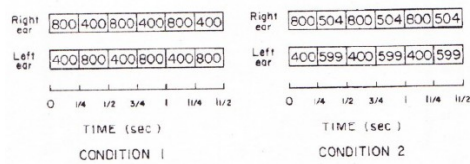
4.4 Ear dominance and sequential interactions (Deutsch 1978):

Der Effekt der Dominanz eines Ohres gegenüber dem anderen ist von Diana Deutsch in einer weiteren Studie näher untersucht worden. Wie erwähnt tritt er auf wenn gleichzeitig zwei Töne unterschiedlicher Frequenz, einer in einem, der andere im anderen Ohr, über Kopfhörer vorgespielt werden. Der Wahrnehmungsapparat fokussiert dann auf eine Frequenz, während die andere unterdrückt wird.

Experiment I:

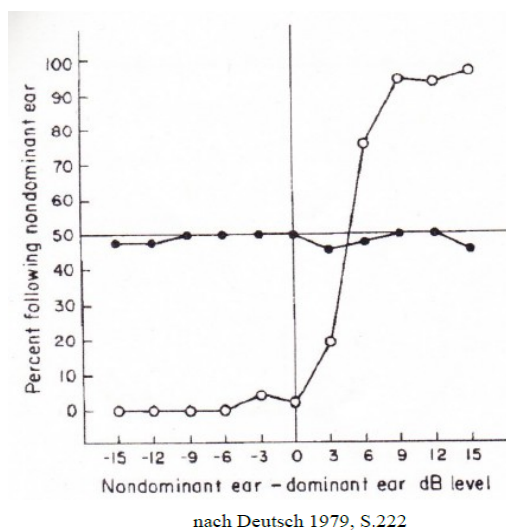
Die Basisstimuli sind wieder jene der früheren Experimente zum Einsatz gekommen, allerdings ist zu den bereits bekannten ein zusätzlicher Stimulus hinzugekommen. In einem zweiten Teil wech-

seln sich die 800Hz/400Hz Paare mit 599Hz/504Hz Paaren ab (entspricht einer Mollterz), was bedeutet dass die Frequenzen nicht durchgehend vorhanden sind.



nach Deutsch 1979, S.221

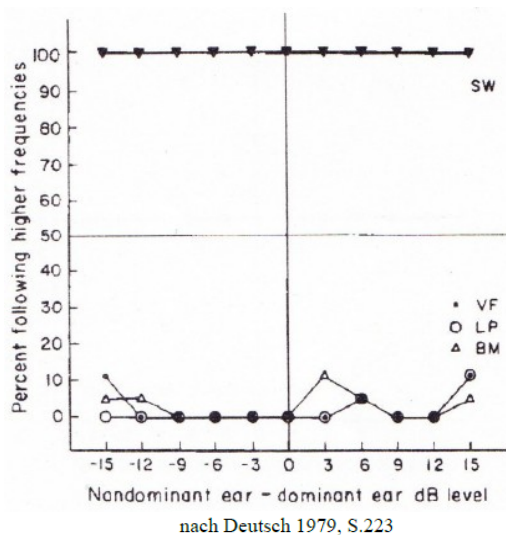
Bei beiden Teilen sind die Amplitudenverhältnisse zwischen den Töne variiert worden, 70dB SPL Töne links sind mit 70, 73, 76, 79, 82 und 85dB SPL rechts präsentiert worden und umgekehrt, die möglichen Paarungen sind jeweils gleich oft vorgekommen. Teilgenommen haben vier Versuchspersonen, zwei Links- und zwei Rechtshänder/innen.



Die Resultate zeigen dass bei Teil 1 die jeweilige Ohrdominanz zum tragen bis ein bestimmter Wert bei den Amplitudenunterschieden erreicht ist, die Theorie der Ohrdominanz hat sich bei diesem Stimulus also bestätigt.

Teil 2 hat allerdings andere Ergebnisse gezeigt, dort haben sich weder Ohrdominanz Effekte gezeigt, noch haben die Amplitudenunterschiede einen Effekt bewirkt.

Das Diagramm zeigt die Wahrnehmung in Bezug auf die Amplitudendifferenzen.

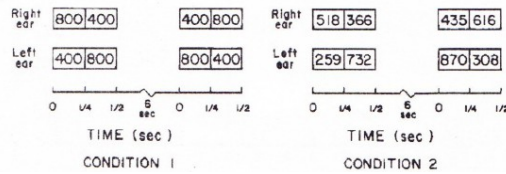


Wenn man die Wahrnehmung in Bezug auf die Frequenznähe ausdrückt erhält man ein durchgängiges Bild, unabhängig davon welches Ohr das Signal erhält oder der Amplitude.

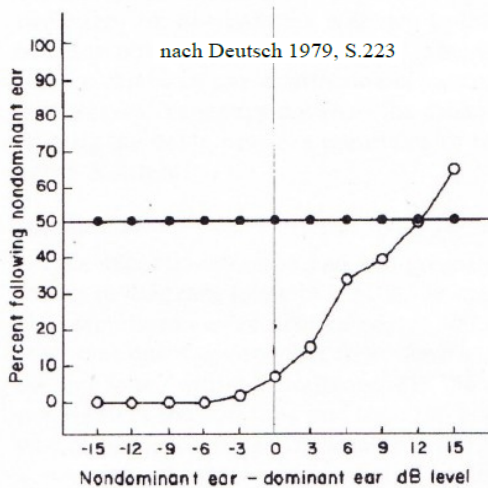
Experiment II:

Bei dem zweiten Experiment innerhalb dieser Studie war der Stimulus des ersten Teils von den Frequenzen und Tondauern identisch mit Experiment I, jedoch sind die Töne in Paaren präsentiert worden, zwischen diesen war jeweils eine Pause von 6s eingefügt.

Bei Teil 2 sind Tonpaare mit den Frequenzen 366Hz und 732Hz, 259Hz und 518Hz, sowie 308Hz und 616Hz, 435Hz und 870Hz, verwendet worden, zwischen den Paaren war ebenfalls eine Pause von 6s eingefügt.



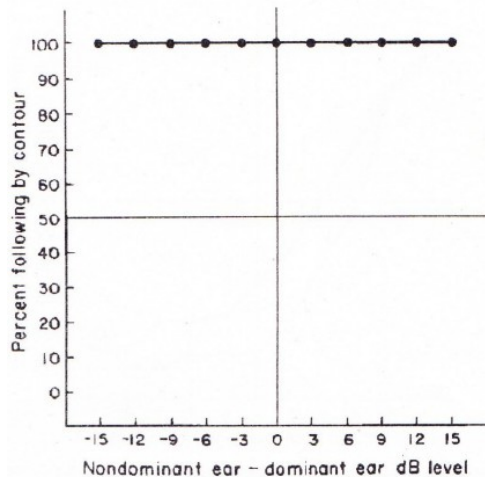
nach Deutsch 1979, S.223



Zu beurteilen war von den Versuchspersonen ob es sich um einen „hoch – tief“, oder einen „tief – hoch“ Typus von Paar handelt. Teilgenommen haben vier Personen, wovon eine Diana Deutsch selbst war.

Bei Teil 1 haben sich eindeutige Ohrdominanz Effekte gezeigt, bei Teil 2 dagegen sind diese überhaupt nicht aufgetreten.

Wenn man das Ergebnis so ausdrückt dass erkenntlich wird ob eher hohen oder eher tiefen Tönen gefolgt worden ist ergibt sich folgendes, einheitliches Resultat.



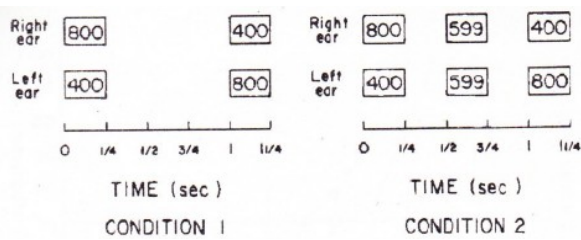
nach Deutsch 1979, S.224

Dadurch wird die Hypothese bestärkt, dass Ohrdominanz Effekt nur auftreten wenn beide Ohren abwechselnd die selbe Frequenz empfangen.

Um herauszufinden ob das Ausbleiben der Ohrdominanz Effekte möglicherweise auf die Pausen zwischen den Tonpaaren zurückzuführen ist, hat Deutsch noch ein drittes Experiment durchgeführt.

Außerdem sollte überprüft werden ob das Ergebnis der ersten beiden Experiment mit der Erweiterung der Frequenzen zu tun haben könnte.

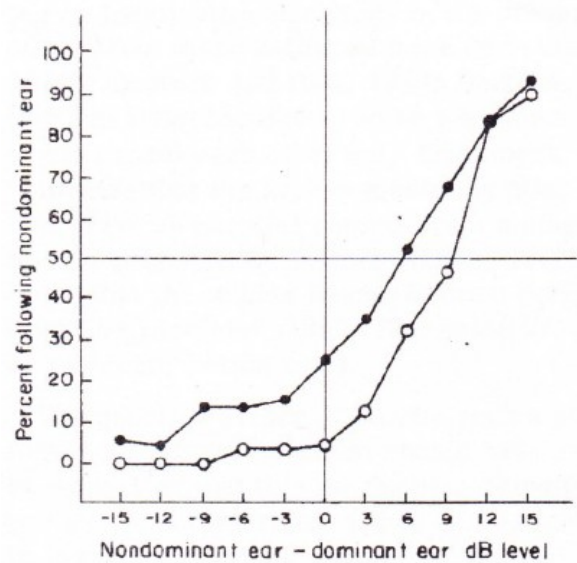
Stimulus Teil 1 ist dahingehend verändert worden dass eine Pause von 750ms zwischen den Tönen (800Hz und 400Hz) eingefügt worden ist, Stimulus Teil 2 ist ebenso aufgebaut, jedoch mit einem zwischen den beiden eingefügten Ton von 599Hz auf beiden Ohren.



nach Deutsch 1979, S.225

Beide Teile haben unterschiedliche Amplitudenverhältnisse aufgewiesen, nach dem gleichen System wie in Experiment I. Die Versuchspersonen haben wieder angeben müssen ob es sich jeweils um „hoch – tief“ oder „tief – hoch“ handelt, bei Teil 2 waren sie angewiesen den eingefügten Ton zu ignorieren.

Die Resultate haben gezeigt dass ein einzelner, eingefügter Ton den Ohrdominanz Effekt deutlich schmälert. Außerdem hat sich herausgestellt dass diese Illusion ebenso Händigkeitsabhängig ist, Rechtshänder/innen folgen eher dem Signal welches auf dem rechten Ohr präsentiert wird, Linkshänder/innen zeigen diese Tendenz überhaupt nicht (siehe auch Deutsch 1974, und Deutsch u. Roll 1976). Aufgrund dieser Erkenntnisse nimmt Diana Deutsch an, dass der Ohrdominanz Effekt mit Frequenz und Elementen räumlicher Lokalisierung gleichermaßen zusammenhängt (Deutsch 1979, S.225).



nach Deutsch 1979, S.225

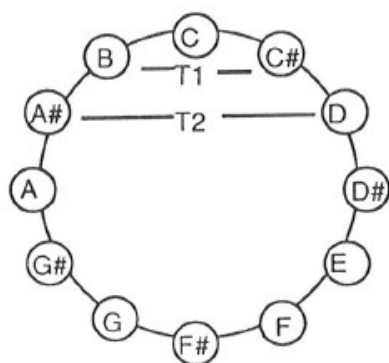
Im Zuge der Studie hat Deutsch in Nebenversuchen auch festgestellt dass die Illusionen bei Präsentation über Lautsprecher auftreten, selbst wenn diese ganz zusammengeschoben vor der Versuchsperson positioniert werden. Es müsse sich folglich um Prozesse handeln die mit dem (auditorischen) Raum in Zusammenhang stehen und nicht um Beziehungen der beiden Ohren zueinander. Der Ohrdominanz-Effekt hänge von wechselseitigen Beziehungen zwischen Frequenzen und räumlicher Information ab (Deutsch 1979, S.225).

Es wird angenommen dass die Händigkeitsabhängigkeit der beschriebenen Effekte mit der dominanten Seite des auditorischen Raums zu tun hat, das ist die gegenüberliegende Seite zur dominanten Gehirnhälfte, da dort die Effekte am stärksten auftreten. Weswegen sich ein derart komplexer Mechanismus entwickelt hat wird mit der Trennung von Echos und Reflexionen hyphotetisiert, ohne diesen wäre der Mensch nicht in der Lage Direktsignale von den Reflexionen zu trennen (Deutsch 1979, S.226).

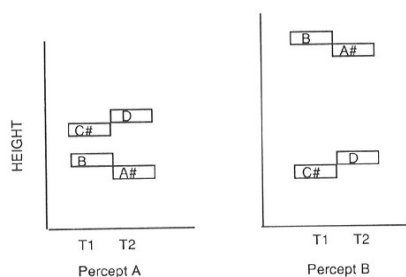
Offenbar hängt das Phänomen der Oktavillusion eng mit der Lateralisation des Gehirns, und der neuronalen Verarbeitung von Schallereignissen zusammen. Weiter haben verschiedene Studien gezeigt dass im Gehirn verschiedene Regionen für unterschiedliche Aufgaben der auditiven Verarbeitung zuständig sind (Evans und Nelson 1973, nach Deutsch 1981, S.1). Die räumliche Information wird also getrennt von der Frequenzinformation verarbeitet. Im besprochenen Artikel (Diana Deutsch, The Octave Illusion and Auditory Perceptual Integration 1981) wird kein neues Experiment vorgestellt, sondern die bereits durchgeführten in Hinsicht auf diese Hypothese verhandelt. Nach Deutsch lassen sich aus den Ergebnissen ihrer Experimente durchaus Bestätigungen für eine zeitweise getrennte Verarbeitung von räumlichen und frequenzbezogenen Informationen ableiten. Erst eine solche Trennung mache das Auftreten der erwähnten Paradoxe und Illusionen möglich (Deutsch 1981, S.3). Die Ergebnisse würden sich mit den Erkenntnissen im Bezug auf neurologische Organisation decken, wonach die überwiegende Mehrheit der Rechtshänder/innen eine dominante linke Gehirnhälfte aufweisen, das bedeute dass sie Sprache ebendort verarbeiten. Bei Linkshänder/innen treffe das nur in etwa bei zwei Dritteln der Personen zu, beim restlichen Drittel sei die rechte Hemisphäre dominant. Und obwohl die Sprache bei Rechtshänder/innen in der linken Hemisphäre lokalisiert ist, scheint sie bei Linkshänder/innen in beiden Gehirnhälften repräsentiert zu sein (Goodglass und Quadfasel 1954, Subirana 1969, nach Dianan Deutsch 1981, S.4). Wenn man nun annimmt dass ankommende Schallereignisse von der dominanten Seite des auditorischen Raums die stärksten Einflüsse auf die Wahrnehmung haben, dann würde man genau die erzielten Ergebnisse erwarten (Rechtshänder/innen reagieren vor allem auf Signale die sie auf der rechten Seite erreichen, Linkshänder/innen zeigen diese Tendenz nicht).

4.5 Pitch Proximity in the Grouping of Simultaneous Tones (Deutsch 1991):

In dieser Studie war die Frage im Vordergrund wie Tonhöhen zusammengefasst werden und welche Verbindungen zwischen gleichzeitig empfangenen Tönen und Patterns bestehen. Deutsch bezieht sich auf die Erkenntnisse von Bregman&Pinker (1978), dass tempobezogene Information besser wahrgenommen wird je näher sich die Frequenzen sind. Im Bezug auf Shepard (1964) sei anzunehmen dass der Wahrnehmungsapparat bei wenig, oder unscharfer, Information zur Tonhöhe eine ungefähre Tonhöhe abbildet. Die Töne in jenem Experiment und auch anderen in diese Richtung seien jedoch stets hintereinander präsentiert worden, wobei beim hier vorgestellten die Töne simultan vorgespielt worden sind. Shepards Stimuli waren Klänge aus jeweils 10 Teiltönen mit einem Abstand von einem Halbton zueinander, diese Klangkomplexe sind hintereinander mit Oktavintervall präsentiert worden. Über die Klänge ist ein Filter mit Glockencharakteristik gelegt worden, was dazu führt dass man entweder einen endlos auf- oder absteigenden Ton hört.



nach D. Deutsch 1991, S.187

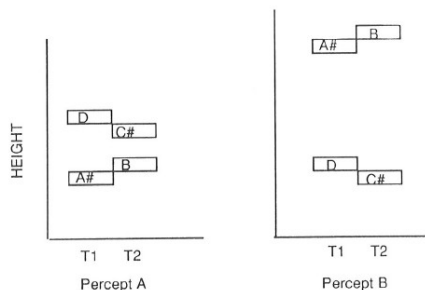
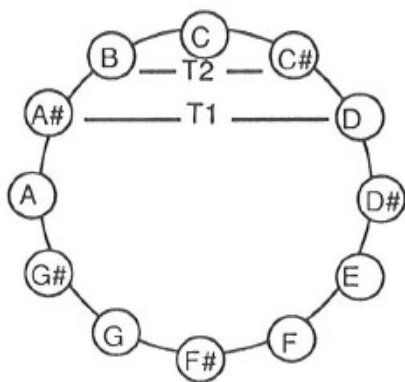


nach D. Deutsch 1991, S.187

Beim hier besprochenen Versuch sind ähnliche Stimuli wie bei Shepard verwendet worden, im Gegensatz zu den 10 Teiltönen bei Shepard haben Deutschs Klänge jeweils 6 Teiltöne in Oktavabstand aufgewiesen, das Glockenfilter ist jedoch im gleichen Verfahren angewendet worden. Im Diagramm sind zwei Beispielpatterns dargestellt, Typ 1 weist das Intervall einer Sekunde (2 Halbtöne), Typ 2 das einer großen Terz (4 Halbtöne, auf. Dieser Konfiguration

sind noch zwei weitere Tonpaare, eines mit dem Intervall einer verminderten Septime (10 Halbtöne), das andere mit dem einer kleinen Sexte (8 Halbtöne). Das Typ 1 Pattern (C# - D/B - A#) wird von Versuchspersonen als zwei sich voneinander fortbewegende Linien gehört. Daraus ergeben sich zwei Möglichkeiten der Wahrnehmung. Entweder die aufsteigende Linie wird als höher wahrgenommen als die absteigende, was mit dem Prinzip der Nähe der Frequenzen

in Einklang stehen würde (Percept 1), oder aber die absteigende Linie wird als höher gehört (Percept 2). Die Möglichkeiten für Typ 2 Patterns (D - C#/A# - B) sind nebenstehend.



nach D. Deutsch 1991, S.187

Als Hypothese ist angenommen worden dass Versuchspersonen bei Typ 1, nach der Theorie der Nähe, eher die höhere Linie als aufsteigend empfinden würden, beim Typ 2 hingegen eher die höhere Linie als absteigend.

Die Klänge sind, wie erwähnt aus jeweils 6 Sinuswellen im Oktavabstand konstruiert worden, so dass das Spektrum jedes Klangs einen Raum von 6 Oktaven umspannt hat.

Die Filterkurve hat eine Steilheit von 1/4 Oktavschritten aufgewiesen, so dass die Maxima jeweils genau in der Mitte positioniert waren. Die Klangbeispiele waren derart konstruiert dass keine Pitch Class ein zweites Mal vorgekommen hat können, was zu 32 Blöcken Geführt hat, die in zwei Durchgängen zu jeweils 16 Blöcken präsentiert worden sind. Die Beispiele sind den Versuchspersonen in Schalldichten Kammern präsentiert worden, nach jedem

Pattern haben sie angeben müssen ob die höhere oder die tiefere Linie auf- oder absteigend war.

Alle Klänge haben eine Dauer von 500ms aufgewiesen, ohne Pausen zwischen den Tonpaaren innerhalb eines Patterns. Zwischen den Patterns war eine Pause von jeweils 4 Sekunden um die Bewertung abzugeben. Teilgenommen haben 8 Personen, 7 davon Studenten und die Autorin, 6 Personen haben eine musikalische Ausbildung genossen, die verbleibenden 2 waren nicht musikalisch vorgebildet.

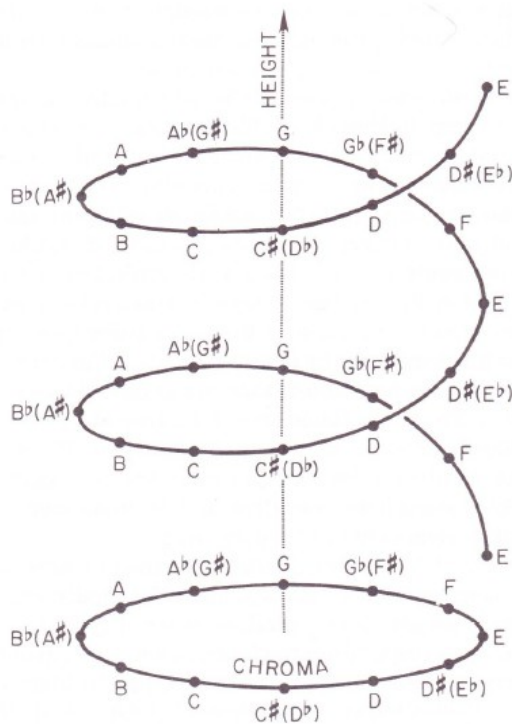
Es hat sich gezeigt dass bei Typ 1 eine eindeutige Tendenz besteht die höhere Linie als ansteigend zu hören, diese Tendenz ist bei allen Versuchspersonen aufgetreten, das Ergebnis war hochsignifikant ($p < ,005$). Bei Typ 2 ist ebenfalls ein hochsignifikanter Wert ermittelt worden ($p < ,005$), Alle Versuchspersonen haben die höhere Linie als absteigend gehört. Die Ergebnisse decken sich in allen Fällen mit den Annahmen der Pitch Class Theorie. Weiters lasse sich daraus schließen dass der Wahrnehmungsapparat unter bestimmten Umständen die Frequenznähe zur annähernden Abbildung der Tonhöhe heranzieht, dieses Phänomen scheint nicht ausschließlich auf hintereinander eintreffende Signale zuzutreffen, sondern ebenfalls auf gleichzeitig eintreffende (Deutsch 1991, S.192). Allerdings wirft Deutsch im weiteren Verlauf die Frage auf ob die beobachteten Effekte nicht ebenso auf die spektralen Eigenschaften der Klänge zurückzuführen seien, nämlich im Bezug auf eine Nähe der spektralen Komponenten zueinander. Dieser Frage sei bereits E. Burns (1981, S.30, nach D.Deutsch 1991, S.195) postuliert worden, nachdem er Shepards Experiment mit Klängen deren Spektren kleinere Intervalle als Oktaven aufgewiesen haben wiederholt hat. Burns hat mit diesen Klängen die gleichen Ergebnisse erzielt wie Shepard und infolge dessen angenommen dass der Effekt auf spektrale Zusammenhänge zurückzuführen sein müsse und nicht mit der Frequenznähe im Bezug auf die Pitch Class zu tun habe. Es sei jedoch ebenfalls gut möglich dass die Näheeffekte mit Pitch Class und den spektralen Eigenschaften gleichermaßen zu tun haben (Nakajima 1988, S.6, nach Deutsch 1991, S.195).

Aufgrund verschiedenster Hinweise muss angenommen werden, dass in der Wahrnehmung von Tönen mit Oktavabstand ein Zusammenhang besteht (Diana Deutsch 1979, S.1).

4.6 Pitch Class Theory:

Die Pitch Shift, oder Pitch Class Theorie von Carol L. Krumhansl ist in Bezug auf die westliche, tonale Musik zu sehen, obwohl sie auch in außereuropäischen Musiksystemen funktioniert (Krumhansl 1990, S.240 – 268), wird sie hier nur in Bezug auf die abendländische Musik vorgestellt. Im abendländischen Musiksystem gibt es 12 Tonhöhereinheiten pro Oktave, bei 8 Oktaven im musikalischen Zusammenhang. Zwischen gleichen Tönen in verschiedenen Oktaven besteht nun eine Verbindung/Verwandschaft, daraus ergeben sich 12 „pitch classes“.

Aus diesen 12 Klassen von Tonhöhen können aufgrund von Dur und Moll insgesamt 24 Tonarten gebildet werden. Eines der Prinzipien ist die Oktavengleichheit, in nahezu allen Kulturen gibt es sich wiederholende Töne in den Musiksystemen, stets basieren diese darauf ein 1:2 Verhältnis aufzuweisen. In den meisten Fällen tragen sie, wie auch im abendländischen Musiksystem, die selbe Bezeichnung, wie zum Beispiel $c - c' - c''$ usw.. Diese Oktavverwandtschaften sind, unter anderen, von Shepard (1981) in einer Spirale dargestellt worden. Nach Bachem (1950) sind am hohen und am tiefen Ende der Skala nur mehr die tatsächliche Tonhöhe und nicht mehr die Tonfärbung



Shepard 1982, nach Krumhansl 1990, S.114

ausschlaggebend für die Wahrnehmung/Einordnung. Der Begriff Tonfärbung (Chroma), bezieht sich auf ebendiese Oktavverwandtschaften zwischen den selben Tönen in verschiedenen Oktavlagen.

Eine um eine Oktave transponierte Melodie wird, im Vergleich zu einer Transponierung kleineren Intervalls, eher als gleich erkannt werden, da der Ambitus zwischen den Tönen nur dann exakt übereinstimmt.

Der Effekt der Oktavverwand-

schaft scheint eng mit der Tonalität verbunden zu sein. Auch nichtmenschliche Spezies, wie zum Beispiel Rhesusaffen nehmen ihn auf die gleiche Weise wahr wie der Mensch (Wright, Rivera, Hulse, Shyan und Networth 2000, S.304). Auch bei atonalen oder Zufallsmelodien scheint die Wieder-

erkennung nicht zu funktionieren, die Melodien müssen offenbar tonalitätsgebunden sein, auch Verschiebungen gesamter Komplexe nach oben oder unten, unter Einhaltung der Frequenz-Verhältnisse zueinander, haben nicht zu Gleichheitseffekten in der Wahrnehmung geführt (Krumhansl, Bharucha, Castellano 1982, S.32). Der Effekt tritt nur auf wenn die Melodie in einem Verhältnis von 2 halbiert, verdoppelt usw. wird.

5.0 Replikationsexperiment Oktavillusion 2011:

Da bei Diana Deutschs Studien die Händigkeit der Versuchspersonen stets über Fragebögen ermittelt worden ist, sollte im hier beschriebenen Replikationsexperiment ein motorischer Test verbunden mit mehrdimensionalem Verfahren zur Datenerhebung zur Anwendung kommen. Um das zu erreichen ist die Speed Tapping Methode zur Händigkeitsbestimmung herangezogen worden. Um die Ergebnisse vergleichen zu können ist der von Deutsch verwendete Fragebogen nach Varney und Benton (1974) ebenfalls von den Versuchspersonen ausgefüllt worden, jeweils bevor der Speed Tapping Test durchgeführt worden ist. Überprüft werden sollte, ob die mit der Händigkeit in Verbindung stehenden Effekte bei exakterer Klassifizierung weiterhin als signifikant erweisen würden. Der Stimulus war, ebenso wie bei Deutsch, ein 800Hz und ein 400Hz Sinuston abwechselnd im linken und im rechten Ohr. Rechtshänder/innen hören den hohen (800Hz) Ton rechts und den tiefen (400Hz) Ton links. Links/Beidhänder/innen hören den hohen und den tiefen Ton entweder rechts oder links. Die Studie ist von 4. - 8.2011 am Institut für Musikwissenschaft Wien durchgeführt worden. Teilgenommen haben 131 Personen, eine hohe Anzahl waren selbstdeklarierte Linkshänder/innen, professionelle Musiker/innen waren nicht darunter.

5.1 Methode I:

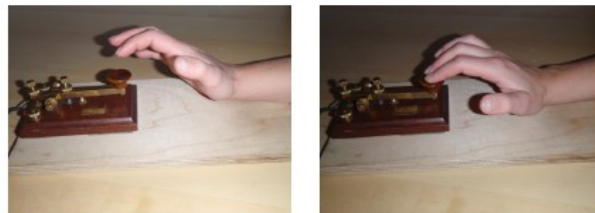
- Händigkeitsklassifizierung – Fragebogen Varney & Benton (1975)
- Speed Tapping

Der Fragebogen nach Varney & Benton (1975) besteht aus zehn Fragen nach der präferierten Hand bei verschiedenen Tätigkeiten. Zusätzlich können im unteren Bereich die Händigkeit der Eltern, sowie die von Geschwistern eingetragen werden. In der vorliegenden Studie ist jedoch lediglich der obere Abschnitt des Bogens verwendet worden. Ab drei abweichenden Antworten kann eine Person nicht mehr eindeutig zugeordnet werden, eine abweichende Antwort liegt noch im Toleranzbereich.

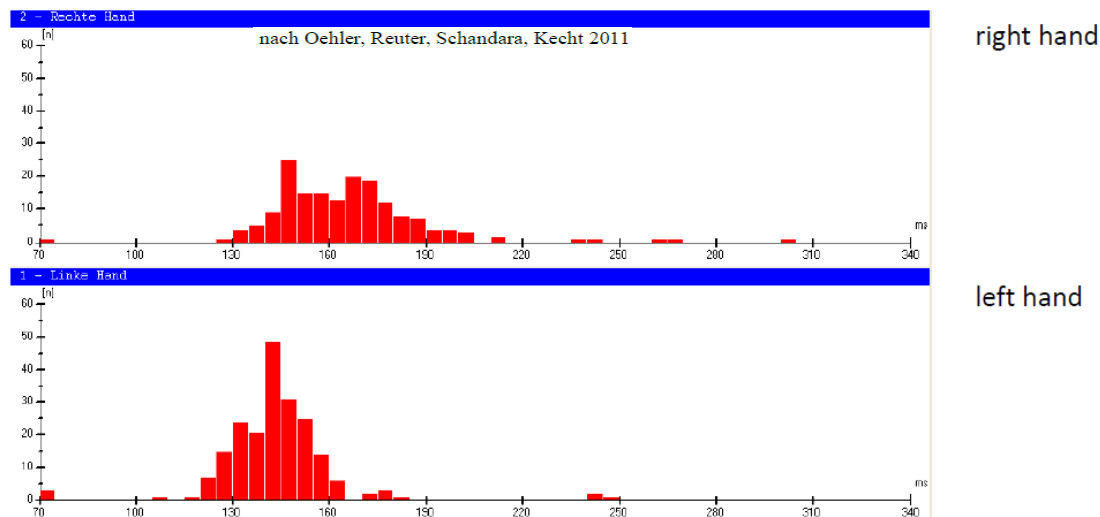
A. Are you righthanded or lefthanded?	Right	Left	Mixed
B. Do you consider yourself to be strongly, moderately or weakly righthanded (or lefthanded)?	Strong	Moderate	Weak
1. With which hand do you write?	Right	Left	Either
2. With which hand do you use a tennis racquet?	Right	Left	Either
3. With which hand do you use a screwdriver?	Right	Left	Either
4. With which hand do you throw a ball?	Right	Left	Either
5. With which hand do you use a needle in sewing?	Right	Left	Either
6. With which hand do you use a hammer?	Right	Left	Either
7. With which hand do you light a match?	Right	Left	Either
8. With which hand do you use a toothbrush?	Right	Left	Either
9. With which hand do you deal cards?	Right	Left	Either
10. With which hand do you hold a knife when carving meat?	Right	Left	Either
1. Is your father righthanded or lefthanded?	Right	Left	Mixed Don't Know
2. Is your mother righthanded or lefthanded?	Right	Left	Mixed Don't Know
3. If you have any siblings (brothers or sisters), give the sex, age and handedness of each (write in more blanks if needed).			
1) Sex _____ Age _____ Handedness:	Right	Left	Mixed Don't Know
2) Sex _____ Age _____ Handedness:	Right	Left	Mixed Don't Know
3) Sex _____ Age _____ Handedness:	Right	Left	Mixed Don't Know
4) Sex _____ Age _____ Handedness:	Right	Left	Mixed Don't Know
5) Sex _____ Age _____ Handedness:	Right	Left	Mixed Don't Know

nach Varney, Benton 1975

Speed Tapping wird auf einer Morsetaste ausgeführt, Daten werden aufgenommen und verarbeitet von der Software Tapping (2008). Das Handgelenk soll aufliegen und die Finger soll frei beweglich sein, es muss,



nach Oehler, Reuter, Schandara, Kecht 2011



Software Tapping – tapping data of one subject

aufgeteilt in zwei Durchgänge, abwechselnd mit beiden Händen jeweils 30 Sekunden lang mit Zeige- und Mittelfinger zusammen so schnell wie möglich „geklopft“ werden. Gemessen und gespeichert worden sind die Geschwindigkeit, die Gleichmäßigkeit und die Ermüdung, aus diesen Werten wird der Lateralisationskoeffizient (LC) berechnet. Die Abbildung zeigt die Rohdaten eines Durchgangs, oben die rechte, unten die linke Hand.

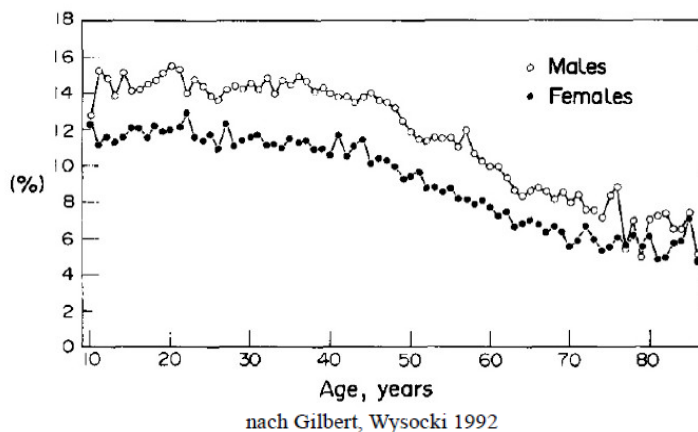
Die Lateralisationskoeffizienten sind in diesem Fall Geschwindigkeit $LC = -7,0$, Gleichmäßigkeit $LC = -27,9$ und Ermüdung $LC = -13,4$, was diese Person als designierte(n) Nichtrechtshänder/in kennzeichnet (designiert = objektiv ermittelt und vermutlich genetisch bedingt).

Zwei derartige Durchgänge werden anschließend gemittelt, in der Gesamtauswertung erhält man einen Einzelwert, liegt dieser über 1,89 wird die betreffende Person als rechtshändig eingestuft, darunter als nichtrechtshändig.

Bei Musikern nimmt man, aufgrund des Trainings für beide Hände, einen LC-Threshold von 1,25 an, bei Nichtmusikern wird er auf einem Wert von 1,89 angehoben (Kopiez, Reinhard, Galley, Niels 2010, S.123). Da an der vorliegenden Studie keine professionellen Musiker teilgenommen haben wird ein LC von 1,89 verwendet.

Der LC-Wert zeigt an ab wann eine Person als links- oder rechtshändig bezeichnet werden kann.

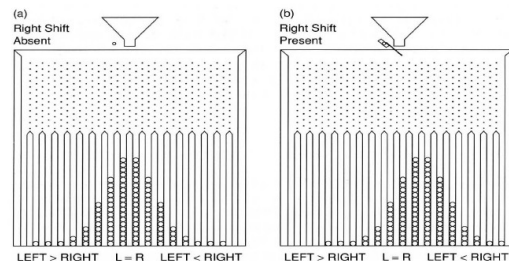
Die Prozentuelle Verteilung wird, je nach Studie und Region, anders angegeben, bei unten gezeigter Befragung von 1,17 Millionen Menschen von der Zeitschrift National Geographic sind die Wurfhand und die Schreibhand nachgefragt worden. Auffällig ist die unterschiedliche Verteilung



der Links- oder Beidhändigkeit bei der Schreibhand bei unter und über 30Jährigen (unter30=12-14%, über30=6%), der Grund dafür dürfte die Praktik des Umlernens auf die rechte Hand sein, welche bis zu dieser Zeit in amerikanischen Schulen gängig war. Erst durch ein Zusammenspiel von Zufalls-

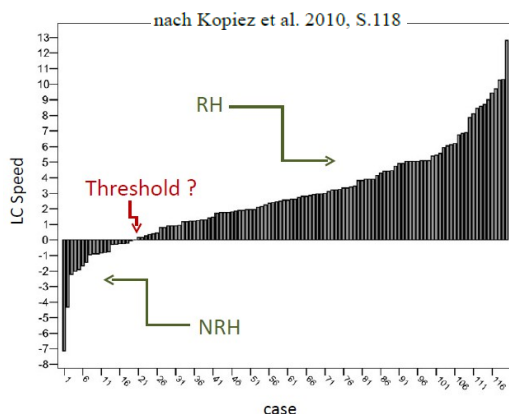
faktor und Right Shift Faktor entsteht die prozentuelle Verteilung in der Bevölkerung, was Annett als eine Stütze der Right Shift Theorie anführt.

Wie noch u sehen sein wird ergeben Experimente mit motorischen Tests andere Ergebnisse bei der Verteilung, diese stimmen jedoch weiterhin mit den Theorien Annetts überein. Wie man in der Abbildung erkennen kann ist die sich ergebende, rechtsschiefe Verteilung der Händigkeitshäufigkeiten, links Zufall, rechts Right Shift.



nach Annett 2002, S.69

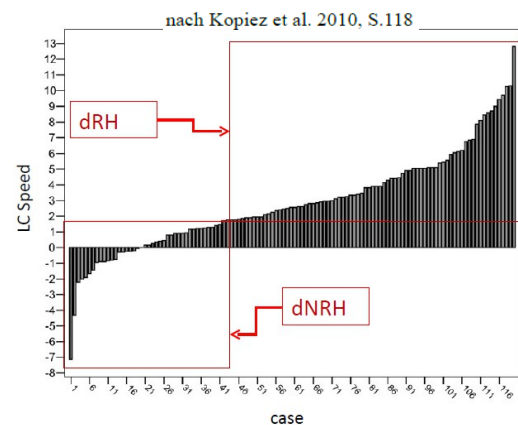
Bei einer Stichprobe von 128 Musikern von Kopiez und Galley (2010) ist folgende Verteilung der Lateralisationskoeffizienten auf Basis der Rohdaten ermittelt worden. Auf der linken Seite nach



unten hin befinden sich die Nichtrechtshänder/innen, rechts nach oben ausgerichtet die Rechtshänder/innen. Augenfällig ist die kontinuierliche Verteilung der Fähigkeiten, die Frage ist nun wo die Grenze (Threshold) zwischen Rechtshänder/innen und Nichtrechtshänder/innen zu ziehen ist. In der Abbildung ist sie vorerst auf den Schnittpunkt zwischen positiven und negativen Werten angesetzt, wobei positiv für

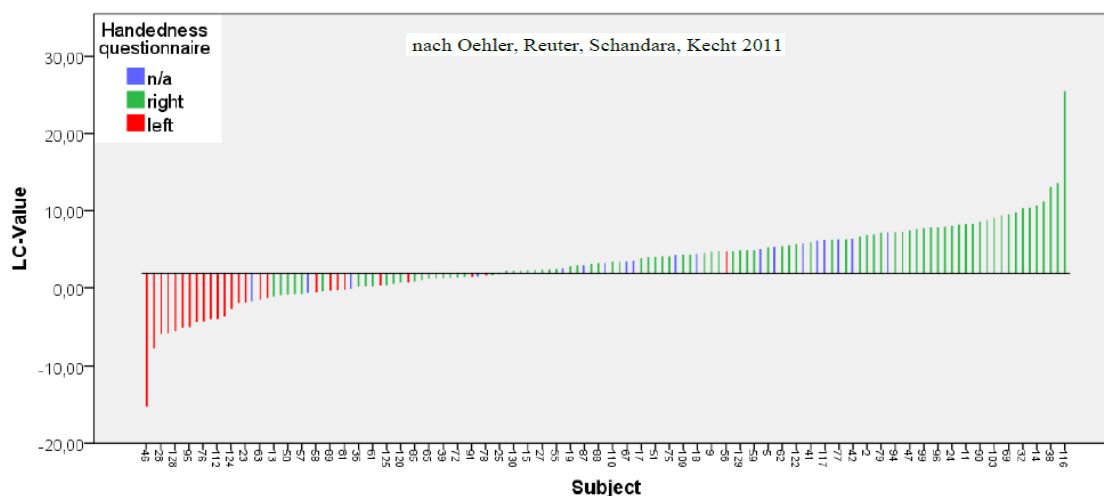
höhere Fähigkeiten der rechten Extremität steht und negativ für ebensolche der linken Hand.

„Zusammenfassend ist die Händigkeitsmessung also weniger ein Methodenproblem, sondern mehr ein Theorieproblem: Ohne eine zugrunde liegende Theorie der Händigkeit bleibt jede Schwellenwertbestimmung für die Klassifikation von Rechts- und Nichtrechtshändern letztlich willkürlich. Aus theoretischer Sicht der Richt-Shift-Theorie kann als ein Mindestkriterium jedoch festgehalten werden, dass dieser Grenzwert rechts von Null (im positiven Bereich) liegen muss.“ (Kopiez, Reinhard, Galley, Niels 2010, S.121)



Der in der unteren Abbildung dargestellte Grenzpunkt ist von Kopiez auf Basis der Daten der 128 Musiker und einer Kontrollgruppe von 1198 Nichtmusikern über statistische Grundlagenvverfahren (binär-logistische Regression) erstellt worden (Musiker=LC Threshold 1,25, Nichtmusiker=1,89, siehe vorherige Seite).

Die LC-Wert Verteilung auf Basis von Selbstdeklaration der Vorliegenden Studie gestaltet sich wie folgt. Blau (n/a) bezeichnet Personen die nicht gewertet worden sind.



Der hier erhaltene prozentuelle Anteil von Nichtrechtshänder/innen ist nach der binär-logistischen Regression zur Ermittlung eines LC-Schwellenwerts herangezogen worden. „Der Vorteil dieses statistischen Verfahrens ist die Ermittlung von Auftrittswahrscheinlichkeiten für jeden gefundenen LC-Wert unter Berücksichtigung eines externen Häufigkeitskriteriums für die Zielvariable“ (Kopiez, Reinhard, Galley, Niels 2010 S.123).

Ebenso wie in den Studien von Kopiez war der Anteil von designierten Nichtrechtshänder/innen bei der motorischen Messung um einiges höher als bei der Selbstdeklaration beim Fragebogen.

Das lässt vermuten, dass der Anteil der Nichtrechtshänder in der Bevölkerung ebenfalls weitaus höher ausfällt als bisher angenommen.

5.2 Unterschiede in den Ergebnissen der Händigkeitsklassifizierung:

Fragebogen (Selbstdeklaration):	Rechtshänder/innen	65%
	Linkshänder/innen	20%
	nicht Bewertbar	15%
Speed Tapping (motorische Messung):	Rechtshänder/innen	61%
	Nichtrechtshänder/innen	39%

Die Ergebnisse decken sich mit jenen der Kontrollgruppe aus Nichtmusikern von Kopiez (2010).

		N		%	
		dRH	dNRH	dRH	dNRH
<i>Nicht-Musiker (n = 1198)</i>					
Selbstdeklarierte	-	81	1117	93,2	6,8
Händigkeit*					
Designierte Händigkeit**	1,89	938	260	78,3	21,7
(Tapping-Geschwindigkeit)					

dRH = Rechtshänder/innen, dNRH = Linkshänder/innen (nach Kopiez, Reinhard, Galley, Niels 2010, S.124)

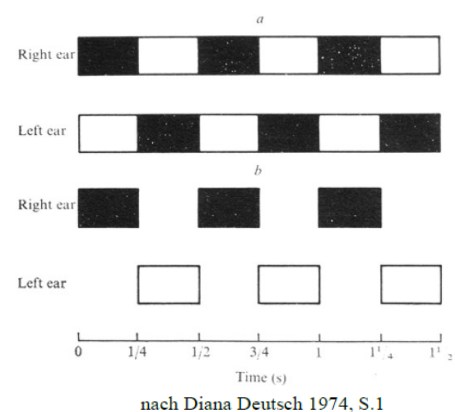
5.3 Methode II:

- Hörbeispiele/Oktavillusion

Die hier verwendeten Hörbeispiele waren identisch mit jenen von Diana Deutsch, ein 400Hz Sinuston und ein 800Hz Sinuston, jeweils abwechselnd auf beiden Ohren vorgespielt.

Die schwarzen Kästchen stellen die 800Hz Töne dar, die weißen die 400Hz Töne. Oben der Stimulus, unten das Perzept eines überwiegenden Teils der Versuchspersonen.

Jeder Ton weist eine Dauer von 250ms auf, sie folgen ohne Pause aufeinander. Beide Töne weisen die gleiche Auslenkung auf, das gesamte Beispiel dauert 20 Sekunden und ist über Kopfhörer präsentiert worden. Rechtshänder/innen hören den hohen Ton tendenziell eher



rechts, Linkshänder/innen zeigen diese Tendenz nicht. Eine vergleichsweise hohe Anzahl der 131 Versuchspersonen waren selbstdeklarierte Linkshänder/innen und haben zuvor noch nicht mit der Oktavillusion zu tun gehabt.

Vergleichbare Studien, mit motorischer Leistungsmessung der Extremitäten, sind zuvor vor allem mit musikpädagogischem Hintergrund durchgeführt worden (z.B. Jäncke 1993, Kopiez et al. 2006 und 2010).

Der Ablauf des Experiments war bei allen Versuchspersonen gleich, nach dem Vorlegen des Fragebogens ist der Hergang des Experiments erklärt und etwaige Fragen dazu beantwortet worden.

Nach dem Ausfüllen des Bogens ist die Aufgabe für das Speed Tapping erklärt und der Test durchgeführt worden. Im zweiten Abschnitt sind die Hörbeispiele graphisch präsentiert und erklärt worden, vorab ist den Versuchspersonen einmal der hohe Ton alleine vorgespielt worden und erläutert, dass sie sich auf diesen Ton konzentrieren sollten und angeben wo sie ihn hören.

Das sollte auf einem Antwortbogen eingetragen werden und zusätzlich mit den Händen angezeigt, da es manchen Personen in der Vorstudie nicht so leicht gefallen ist links und rechts zu „erkennen“.

Der Antwortbogen waren drei mögliche Antworten aufgeführt:

Zu hören ist

- a) ☐ abwechselnd ein hoher Ton auf dem linken Ohr und ein tiefer Ton auf dem rechten Ohr
- b) ☐ abwechselnd ein hoher Ton auf dem rechten Ohr und ein tiefer Ton auf dem linken Ohr
- c) ☐ etwas ganz anderes (z.B. nur eine Tonhöhe abwechselnd links und rechts, nur Töne auf einem Ohr etc.). Beschreiben Sie dies im folgenden Kommentarfeld

Kommentar:

nach Oehler, Reuter, Schandara, Kecht 2011

Im letzten Fall sind die Versuchspersonen angehalten worden ihr Perzept stichwortartig zu beschreiben, was ebenfalls am Antwortbogen festgehalten worden ist. Da das Perzept ein hoher Ton, welcher von links nach rechts wandert recht häufig aufgetreten ist, wird es in der Auswertung als vierte Möglichkeit mit der Bezeichnung „single“ geführt.

5.4 Ergebnisse:

	Percept				total
	oct. high tone left	oct. high tone right	single	complex	
right	20 23,3%	36 41,9%	17 19,8%	13 15,1%	86 100,0%
left	10 38,5%	6 23,1%	2 7,7%	8 30,8%	26 100,0%
total	30 26,8%	42 37,5%	19 17,0%	21 18,8%	112 100,0%

76,8 %

23,2 %

Pearson Chi square:

Chi = 4.365

df = 2 (oct. high tone left & right combined)

p = .113

w = .20 w = $\sqrt{(\text{Chi}^2/N)}$

	Percept				total
	oct. high tone left	oct. high tone right	single	complex	
right	13 16,3%	43 53,8%	20 25,0%	4 5,0%	80 100,0%
left	22 43,1%	7 13,7%	4 7,8%	18 35,3%	51 100,0%
total	35 26,7%	50 38,2%	24 18,3%	22 16,8%	131 100,0%

61,1 %

38,9 %

Pearson Chi square:

Chi = 23

df = 2 (oct. high tone left & right combined)

p = .001

w = .42

Die ermittelten Ergebnisse sind in der Auswertung über die selbstdeklarierte Händigkeit nahezu identisch mit jenen von Diana Deutsch und weisen die selben Effektgrößen auf. Unten stehende

Abbildung zeigt die Ergebnisse von 1974 im direkten Vergleich mit den neuen der Fragebögen und der Speed Tapping Auswertungen.

Auch die Verteilung der Perzepte ist nahezu identisch. Bei Händigkeitsklassifizierung über Speed Tapping können Fehlklassifizierungen reduziert werden.

Die Unterschiede in der dritten Tabelle sind letztlich auf solche zurückzuführen.

Die Effektgröße war weitaus höher ($w=.42$) als bei den selbstdeklarierten Händigkeits-

bestimmungsverfahren (Deutsch $w=.28$, hier $w=.20$), was zu ausgeprägteren Perzeptionsmustern führt.

Speed Tapping als Methode zur Händigkeitsklassifizierung scheint, aufgrund der höheren Trennschärfe der Ergebnisse, besser geeignet zu sein als Fragebögen auf Basis der Selbstdenklaration.

Original study (N=86)

	octave (%)	single (%)	complex (%)
Right handers	58	25	17
Left handers	52	9	39

$p < .05$
 $w = .28$

Questionnaire (N=112)

	octave (%)	single (%)	complex (%)
Right handers	65	20	15
Left handers	62	8	31

$p = .113$
 $w = .20$

Speed Tapping (N=131)

	octave (%)	single (%)	complex (%)
Right handers	70	25	5
Non-right handers	57	8	35

$p = .000$
 $w = .42$

Im Zuge der Studie sind noch zwei zusätzliche Stimuli ausprobiert worden, welche nicht in die offizielle Präsentation mit eingeflossen sind, die jedoch abschließend noch Erwähnung finden sollen.

Die verwendeten Hörbeispiele waren bis auf die Intervalle und Frequenzen identisch mit den oben beschriebenen, deren Präsentation ebenso. Die Intervalle waren kleiner, eines davon größer als die kritische Bandbreite einer Frequenzgruppe, das andere darunter. Die Ergebnisse waren dahingehend, dass Erstere und Zweitere unabhängig zum jeweils anderen als kohärenter empfunden worden sind als die beiden im Vergleich zueinander.

Aufgrund der Erkenntnisse wäre es interessant in Zukunft mehr Replikationsstudien „klassischer“ Händigkeitsklassifikationsexperimente mit der exakteren Speed Tapping Methode durchzuführen.

6.0 Zusammenfassung:

Die Wahrnehmung eines Schallereignisses, zum Beispiel eines Klages mit einer bestimmten Tonhöhe, Intensität und Dauer, ausgehend von einem bestimmten Punkt im Raum, basiert auf verschiedenen Stufen der Verarbeitung. Jede dieser Stufen ist ein auf genau die gegebene Aufgabe spezialisierter Mechanismus (Deutsch 1976, S.1). Um diese Mechanismen untersuchen zu können benötigt man einen Stimulus, welcher eine vorhersagbare Reaktion des Wahrnehmungsapparates evoziert. Wenn die Sinne etwas hervorrufen, das unreal (Illusion) oder gar unmöglich (Paradox) ist, wie zum Beispiel die endlose Treppe von Escher, oder das auditive Pendant dazu, die Shepard Tones, ergeben sich daraus zwangsläufig eine Reihe von Fragen und Möglichkeiten.

Hören ist die ständige Beurteilung von physikalischen Ereignissen vom Hörapparat.

Das Phänomen der Oktavillusion ist seit seiner Entdeckung in Zusammenhang mit unterschiedlichsten Fragestellungen für Experimente herangezogen worden. Eines der ersten Erkenntnisse war die Abhängigkeit der von den Versuchspersonen wahrgenommenen Perzepte von der Händigkeit.

Rechtshänder/innen tendieren dazu den höheren Ton rechts zu hören, Linkshänder/-innen zeigen diese Tendenz nicht (Deutsch 1974, S.1). Die Stimuli sind bei einem überwiegenden Teil der Experimente über Kopfhörer präsentiert worden, wobei es keine Rolle gespielt hat wenn die Kopfhörer verdreht worden sind, das Perzept der jeweiligen Versuchsperson ist dadurch nicht beeinflusst worden. Auch im Zusammenhang mit der Händigkeit steht die Theorie der Ohr-Dominanz, nach welcher ein Ohr über das andere dominiert. Unter bestimmten Voraussetzungen werden Stimuli, welche beiden Ohren präsentiert werden, eher mit einem, dominanten Ohr wahrgenommen (Deutsch, Roll 1976, S.5). Auch bei diesem Experiment hat das Umdrehen der Kopfhörer keine Auswirkungen auf die Perzepte gezeigt. Deutsch nimmt an, dass die Frequenzen, obwohl sie an beiden Ohren ankommen, auf einem Ohr unterdrückt, und somit nicht bewusst wahrgenommen werden können.

Und zwar wird der Ton jeweils in dem Ohr wahrgenommen, welches den höheren Ton erhält, unabhängig davon ob der gerade anliegende Ton hoch, oder tief ist (Deutsch 2004, S.1). Wenn also der hohe Ton links anliegt und der tiefe rechts, nimmt die Versuchsperson den hohen Ton Wahr, weil er auf dem rechten Ohr anliegt. Die Versuchsperson lateralisiert den hohen Ton auch rechts, weil dieses Ohr den höheren Ton erhält. Wird die Präsentation umgekehrt (durch umdrehen des Kopfhörers), der tiefe Ton dem rechten Ohr präsentiert, „hört“ die Versuchsperson den tiefen Ton zwar dort, lateralisiert ihn jedoch links, da dort der höhere Ton anliegt. Das wahrgenommene Muster ist also das gleiche wie im ersten Fall.

Das deutet darauf hin, dass die Oktavillusion mit Täuschungen des Wahrnehmungsapparates in Bezug auf die Tonhöhe und die räumliche Information eines Schallereignisses in Zusammenhang steht. Diese Annahme bezieht sich auf das von den meisten Versuchspersonen wahrgenommene Perzept. Das am zweithäufigsten auftretende Perzept ist ein zwischen den beiden Ohren hin und her

wandernder Ton, manchmal mit einer leichten Veränderung der Tonhöhe. Das dritte, wahrgenommene Perzept, von Deutsch als „complex“ bezeichnet, beinhaltet einige unterschiedliche Phänomene. Dieses ist bei Nichtrechtshänder/innen markant öfter aufgetreten als bei Rechtshänder/innen. Diese Beobachtungen decken sich mit neuropsychologischen Erkenntnissen von Herron (1980) zur Dominanz der Gehirnhälften und familiärer Prägung in Bezug auf die Händigkeit. Daraus ließe sich schließen, dass die Wahrnehmung der Oktavillusion auf die jeweilige Dominanz der Gehirnhemisphären zurückzuführen sei (Deutsch 2004, S.3).

Es werden bei der Verarbeitung von räumlicher Information von komplexen Schallen offenbar hohe Frequenzen bevorzugt, wenn allerdings aufgrund unklarer Informationen Konflikte entstehen, wird das dominante Ohr vom Wahrnehmungsapparat bevorzugt (Carson 2007, S.130).

Die mechanischen Teile des Ohres haben keinen Anteil an der Entstehung des Paradoxes, dort werden die ankommenden Schallwellen aufgenommen und an das Innenohr weitergeleitet.

Auch auf der Basilarmembran im Innenohr sollten noch keine Konflikte entstehen, da die beiden präsentierten Töne jeweils eigene Frequenzgruppen beanspruchen. Die möglichen Abweichungen von der effektiven Tonhöhe bei Sinuswellen ist von Zwicker ebenfalls untersucht worden und scheint in keinem nennenswerten Zusammenhang zum wahrgenommenen Phänomen zu stehen (Deutsch 2004, S.2, Zwicker 1984, S.129). Effekte wie Schwebungen, Residual- oder Differenztöne treten bei den verwendeten Stimuli nicht auf, ähnliche, vereinzelt auftretende Perzepte haben andere Ursachen und funktionieren nicht nach den zu diesen Effekten bekannten Gesetzmäßigkeiten, Überlagerungseffekte sind ebenfalls nicht aufgetreten. Da die dargebotenen Töne in zwei voneinander getrennten Frequenzgruppen liegen, sind Maskierungseffekte ebenfalls nicht möglich, durch die Dauer der einzelnen Töne (250ms) fallen Vor- und Nachverdeckung nicht ins Gewicht.

Diese Beobachtungen sind durch Zwicker bestätigt worden, er hat das Experiment mit verschiedenen Tondauern wiederholt. Bei einer Tondauer von unter 125ms tritt die Illusion nicht auf, oder wird durch andere paradoxe Eindrücke ersetzt, bei höherer Tondauer tritt die Illusion ebenfalls nicht mehr auf, die Töne werden „richtig“ erkannt (Zwicker 1984, S.135).

Diana Deutsch weist selbst ebenfalls darauf hin, dass der Effekt bei einer Dauer um 250ms ein Maximum erreicht (Deutsch 1983, S.612).

Die Intervalle scheinen nach Zwicker (1984) bis zu einem Grad Einfluss auf das Auftreten des Oktavillusionseffektes zu haben, bei dichotischer Darbietung von Tönen mit unterschiedlichen Intervallverhältnissen falle die Lateralisierung nicht immer nach dem Vorhersagemodell aus.

Allerdings hat Zwicker keine musikalisch reinen Intervalle benutzt, die Intervalle haben jedoch durchweg Abweichungen von den „eigentlichen“ musikalischen Intervallen aufgewiesen (siehe Tabelle folgende Seite).

Für Versuch 1 und 2 bei dichotischen Tonpaaren unterschiedlicher Frequenzverhältnisse verwandte Frequenzen f_1/f_2 in Hz sowie jeweiliger Tonheitsabstand Δz in Bark, in 3 Frequenzlagen.

	f_1/f_2	Δz	f_1/f_2	Δz	f_1/f_2	Δz
„Nahe“	384/416	0,32	951/1051	0,6	1998/2220	0,6
„Terz“	356/454	0,98	908/1175	1,6	1816/2220	1,3
„Quint“	317/475	1,58	832/1249	2,5	1665/2498	2,7
„Mittel“	344/571	2,27	868/1427	3,1	1537/2498	3,3
„Oktav“	270/540	2,7	713/1427	4,2	1427/2857	4,6
„Weit“	160/1000	6,9	400/2498	10,5	1178/6666	10,5

nach Zwicker 1984, S.130

Zwickers Resultate zeigen, dass bei tieferen Frequenzen eher zum höheren Ton lateralisiert wird, während bei den mittleren Frequenzen diese Tendenz zwar vorhanden ist, die Versuchspersonen jedoch eine gewisse Unsicherheit zeigen (Zwicker 1984, S.130). Zusammengefasst fällt es den Versuchspersonen mit tiefer Frequenz und großem Intervall leichter die Töne zu lateralisieren als bei umgekehrten Verhältnissen (Deutsch weist in einer Stellungnahme zu Zwickers Resultaten darauf hin, dass die selben Versuchspersonen, welchen die verschiedenen Intervalle präsentiert worden sind, vorher die 400Hz/800Hz Stimuli gehört hätten, und dadurch bei ihrer Beurteilung der anderen Intervalle vorbelastet und beeinflusst waren [Deutsch 2004, S.7]). Beim Intervall der Oktave sind jedoch die erwarteten Lateralisationseffekte aufgetreten (Zwicker 1984, S.130).

Die einzige Möglichkeit die Oktavillusion zu erklären sei, laut Bregman, dass die Versuchspersonen angenommen haben es gebe nur einen Ton, ausgehend von zwei verschiedenen Beschreibungen eines solchen, die über zwei verschiedene Wege der Analyse ermittelt, und anschließend falsch interpretiert werden (Bregman 1994, S.16). Die Illusion, dass nur ein Ton vorhanden ist könnte nach folgenden Schema entstehen: Ein Konflikt von Hinweisen führt dazu, dass aufgrund der harmonischen Information nur ein Ton vorhanden ist, dass, aufgrund der Tatsache, dass dieser Ton abwechselnd links und rechts erscheint, beide Töne zum selben Ereignis gehören.

Die unterschiedliche Lokalisierung der beiden deuten wiederum darauf hin, dass es sich um zwei separate Klänge handelt (Bregman 1994, S.306). Der Wahrnehmungsapparat bildet also entweder zwei Streams aus, die er anschließend nicht akkurat interpretieren kann, oder er wird schon vorher getäuscht und kann nicht „entscheiden“ ob zwei oder ein Stream notwendig sind um das Ereignis abzubilden. Da es unmöglich ist denselben Ton zwei Streams gleichzeitig zuzuordnen (McAdams, Bregman 1985, S.661) könnte ein weiterer Grund für das Auftreten des Illusionseffekts sein.

Erschwerend kommt noch hinzu, dass die Gestaltqualitäten des Stimulus sehr vage, und keinem bekannten Muster auch nur ähnlich sind. Bis auf ihre Wiederholung weisen sie keine musikalische Syntax auf. Da der Wahrnehmungsapparat darauf ausgelegt ist, Schallereignisse in ihrer Gesamtheit zu erfassen und auszuwerten, und ihm das bei dichotisch dargebotenen Oktavintervallen offenbar nicht möglich ist, setzt er die „logischste“ Erklärung, ein hoher Ton auf der einen, ein tiefer auf der anderen, ein.

Auch Aufmerksamkeitsfokussierung ändert nichts am Ergebnis, die Illusion tritt bei wiederholtem Hören in gleicher Weise auf wie beim ersten Durchgang.

Aufgrund von Tondauer (250ms) und Frequenz ($400\text{Hz}/800\text{Hz} = \text{Oktave}$) kann auch keine Auswirkung von „fission boundary“ und „temporal coherence boundary“ (Van Noorden 1975, S.10 und S.53) als Ursache für die Unmöglichkeit zwei getrennte Streams auszubilden, angenommen werden. Illusionseffekte bezüglich der Lokalisation können auch bei anderen Stimuli auftreten, wie zum Beispiel bei zwei dichotisch präsentierten C-Dur Tonleitern, auch hier haben 30 von 34 rechtshändigen Versuchspersonen die Töne rechts lateralisiert, obwohl sie an beiden Ohren vorhanden waren (Deutsch 1975, S.3). Es haben allerdings nur solche Versuchspersonen die Illusion wahrgenommen, welche zwei Streams gehört haben, auch sind die Perzepte der linkshändigen Versuchspersonen von den Rechtshändigen abgewichen (dies. 1975, S.3).

Im Gehirn von Rhesusaffen sind getrennte Regionen für die Verarbeitung von Informationen bezüglich der Art eines Schallereignisses und der räumlichen Lokalisation verantwortlich (Deutsch 2004, S.14, nach Rauschecker & Tian 2000). Weiters sind Anhaltspunkte dafür gefunden worden, dass Signale, welche diese beiden Regionen durchlaufen, separate Streams ausbilden würden (Deutsch 2004, S.14, nach Ramonski, et al. 1999). Die beiden Funktionen der räumlichen Lokalisation und der Erkennung der Tonhöhe, sind unabhängig voneinander (Deutsch, Roll 1976, S.6). Da der Effekt auftritt wenn die beiden Ohren hintereinander die gleiche Information erhalten, wird angenommen, dass es sich um einen Mechanismus handelt, welcher im Alltag dazu dient Direktschall von räumlichen Reflexionen zu trennen (Deutsch 2004, S.14).

Wenn die gleiche Frequenz hintereinander von zwei verschiedenen Stellen im Raum ausgeht, ist es sehr wahrscheinlich, dass es sich bei der jeweils nachfolgenden Frequenz um eine Reflexion handelt. Diese Interpretation wird unwahrscheinlicher, desto größer die Pause zwischen den beiden wird, oder wenn andere Frequenzen zwischen den beiden auftreten.

In Bezug auf die Frequenzinformation wird angenommen, dass es sich um einen Mechanismus handeln könnte, welcher den Schallschatten des Kopfes ausgleicht. Wenn in einer normalen Alltagssituation ein komplexes Schallereignis eintrifft, sind die Amplitudenunterschiede der Teiltöne, aufgrund der Filterfunktion des Kopfes, mitunter beträchtlich. „For example, when a complex tone is presented to the listener's right, then the higher frequency components at the left ear are attenuated relative to the lower frequency components. Assuming that the auditory system interprets the pattern that produces the octave illusion as the first and second harmonic of a complex tone, then it would make sense to interpret the signal as coming from the ear receiving the higher frequency – in this case, from the listener's right.“ (Deutsch 2004, S.15). Das deckt sich auch mit den Ergebnissen Dowlings, wonach es nicht möglich ist mehr als 5 Klänge pro Sekunde wahrzunehmen (Dowling

1986, S.159), im Fall des Oktavillusions-Stimulus sind es 4 „Klänge“ pro Sekunde (250ms pro Ton, keine Pause dazwischen).

Der Ansatz, Versuchspersonen den beschriebenen Stimulus (400Hz/800Hz Sinustöne, dichotisch dargeboten) anstatt über Kopfhörer, in einem Raum über Lautsprecher zu präsentieren, hat in oben beschriebenen Zusammenhang überaus interessante Resultate erbracht. Es hat sich herausgestellt, dass die selben Illusionen auftreten, obwohl die Töne beiden Ohren gleichzeitig, da die Trennung durch den Kopfhörer wegfällt, präsentiert worden sind. Wenn die Versuchsperson geradeausschauend, genau zwischen den Lautsprechern positioniert war, also ein Lautsprecher genau rechts und der andere genau links war, ist der hohe Ton als vom linken Lautsprecher, und der tiefe vom rechten Lautsprecher, ausgehend gehört worden (Deutsch 1981, S.6). Wenn die Versuchsperson langsam den Kopf gedreht hat, ist der hohe Ton trotzdem rechts geblieben, und zwar bis sie einen der beiden Lautsprecher direkt angeschaut hat, der gegenüberliegende Lautsprecher also direkt im Rücken war, erst dann ist die Illusion verschwunden, und durch den Eindruck ersetzt worden, dass aus beiden Lautsprechern gleichzeitig ein Klang komme (dies. 1981, S.6).

Wenn sich die Versuchsperson wieder zurückgedreht hat, hat das ursprüngliche Perzept (hoher Ton links/tiefer rechts), wieder eingesetzt, hat sie sich verkehrt herum hingesetzt, hat sich die Wahrnehmung umgekehrt, der hohe Ton ist dann aus dem Lautsprecher gekommen, welcher vorher den tiefen abgegeben hat und umgekehrt (ebenda).

Die These, dass es sich bei der Oktavillusion um einen Effekt handelt, der mit einer Täuschung des Wahrnehmungsapparats, in Bezug auf die Verarbeitung der räumlichen Information, und der Tonhöheninformation gleichermaßen handelt, scheint zuzutreffen. Wie die Verarbeitungskanäle genau funktionieren ist allerdings noch nicht genau bekannt und wird in den folgenden Jahren möglicherweise noch besser verstanden werden. Dass die der Oktavillusionseffekt in der beschriebenen Art und Weise auftritt, gilt jedoch als unbestritten. Experimente auf neurologischer Basis, und verfeinerte Messmethoden werden in Zukunft vielleicht Aufschluss darüber geben können, wie die Oktavillusion tatsächlich zustande kommt.

7.0 Literaturverzeichnis:

- Andrews Melinda W., Dowling W. Jay**, The Development of Perception of Interleaved Melodies and Control of Auditory Attention, *Music Perception* 1991, Vol.8, No.4, 349-368
- Annett Marian**, Cerebral Asymmetry in Twins: Predictions of the Right Shift Theory, *Neuropsychologia* 2003, Vol.41, 469-479
- Annett Marian**, Perceptions of the Right Shift Theory, *Cortex* 2004, Vol.40, 143-150
- Annett Marian**, Predicting Combinations of Left and Right Asymmetries, *Cortex* 2000, Vol.36, 485-505
- Bartlett James C., Dowling W. Jay**, Scale Structure and Similarity of Melodies, *Music Perception* 1988, Vol.5, No.3, 285-314
- Berlioz Hector, Strauss Richard**, *Instrumentationslehre*, C.F. Peters, Frankfurt am Main
- Bigand Emmanuel, Lalitte Phillippe, Dowling W. Jay**, Music and Language, *Music Perception*, Special Issue 25th 2009, Vol.26, No.3, 185-186
- Bilsen Frans A., Ritsma Roelof J.**, Repetition Pitch and its Implication for Hearing Theory, *Acustica* 1969/70, Vol.22, No.2, 63-73
- Bilsen Frans A., Ritsma Roelof J.**, Repetition Pitch Mediated by Temporal Fine Structure at Dominant Spectral Regions, *Acustica* 1967/68, Vol.19, No.2, 114-115
- Bilsen Frans A., Ritsma Roelof J.**, Some Parameters Influencing the Perceptibility of Pitch, *Journal of the Acoustical Society of America* 1970, 47, 469-475
- Braus Ira**, Retracting One's Steps: An Overview of Pitch Circularity and Shepard Tones in European Music, 1550-1990, *Music Perception* 1995, Vol.12, No.3, 323-351
- Bregman Albert S., Ahad Pierre A., Jean Kim**, Resetting the Pitch-Analysis System. 2. Role of Sudden Onsets and Offsets in the Perception of Individual Components in a Cluster of Overlapping Tones, *Journal of the Acoustical Society of America* 1994, 96 (5), Pt.1, 2694-2703
- Bregman Albert S., Ahad Pierre A.**, *The Perceptual Organization of Sound, Demonstrations to Accompany Bregman's Auditory Scene Analysis*, http://webpages.mcgill.ca/staff/Group2/abregm1/web/pdf/2004_Bregman_Woszczyk.pdf, Zugriff 29.1.2013
- Bregman Albert S.**, *Auditory Scene Analysis, The Perceptual Organization of Sound*, MIT Press paperback edition, Massachusetts 1994
- Bregman Albert S.**, Auditory Streaming: Competition among Alternative Organizations, *Perception & Psychophysics* 1978, Vol.23 (5), 391-398
- Bregman Albert S., Dannenbring Gary L.**, Auditory Continuity and Amplitude Edges, *Canadian Journal of Psychology* 1977, 31 (3), 151-159
- Bregman Albert S., Levitan Robert, Liao Christine**, *Perception & Psychophysics* 1990, 47 (1), 68-73
- Bregman Albert S., Pinker Steven**, Auditory Streaming and the Building of Timbre, *Canadian Journal of Psychology* 1978, 32, 19-31
- Brewer Bill**, *Perception and it's Objects*, Oxford University Press, 2011
- Bruhn Herbert, Kopiez Reinhard, Lehmann Andreas C.**, *Musikpsychologie, Das neue Handbuch*, Rohwolt Taschenbuch Verlag, Reinbeck bei Hamburg, 2008
- Dannenbring Gary L., Bregman Albert S.**, Effect of Silence Between Tones on Auditory Stream Segregation, *Journal of the Acoustical Society of America* 1976, Vol.59, No.4, 987-989
- Deutsch Diana**, *The Psychology of Music*, Academic Press, San Diego, 1982

- Deutsch Diana**, An Auditory Illusion, *Nature*, 1974, 251, 307 – 309
- Deutsch Diana**, Auditory Illusions, Handedness, and the Spatial Environment, *Journal of the Audio Engineering Society*, Vol. 31, No.9, 1983, 606-620
- Deutsch Diana**, Dichotic Listening to Melodic Patterns and its Relationship to Hemispheric Specialization of Function, *Music Perception*, 1985, Vol.3, No.2, 127-154
- Deutsch Diana, Dooley Kevin, and Henthorn Trevor**, Pitch Circularity from Tones Comprising full Harmonic Series, *Journal of the Acoustical Society of America*, 2008, 124, 589-597
- Deutsch Diana**, Ear Dominance and Sequential Interactions, *Journal of the Acoustical Society of America* 1980, Vol.67, No.1, 220-228
- Deutsch Diana, Hamaoui Kamil**, Gruppierungsmechanismen beim Hören von Musik, *Allgemeine Musikpsychologie*, Hogrefe Verlag, Göttingen 2005, 307-341
- Deutsch Diana, Hamaoui Kamil, Henthorn Trevor**, The Glissando Illusion and Handedness, *Neuropsychologia* 45, 2007, 2981-2988
- Deutsch Diana**, Lateralization and Sequential Relationships in the Octave Illusion, *Journal of the Acoustical Society of America*, 1988, 83, 365-369
- Deutsch Diana**, Lateralization by Frequency for Repeating Sequences of Dichotic 400- and 800-Hz Tones, *Journal of the Acoustical Society of America* 1978, Vol.63, No.1, 184-186
- Deutsch Diana**, Musical Illusions, *Encyclopedia of Neuroscience* 2009, Vol.5, 1159-1167
- Deutsch Diana**, Musical Illusions, *Scientific American*, 1975, 233, Nr.4, 92-98 & 103
- Deutsch Diana**, Octave Generalization and the Consolidation of Melodic Information, *Canadian Journal of Psychology*, 1979, 33, 201-205
- Deutsch Diana**, Pitch Proximity in the Grouping of Simultaneous Tones, *Music Perception*, 1991, Vol.9, No.2, 185-198
- Deutsch Diana, Roll Philip L.**, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1976, Vol.2, No.1, 23-29
- Deutsch Diana**, The Octave Illusion and Auditory Perceptual Integration, *Hearing Research and Theory*, Vol.1, New York: Academic Press, 1981, 99-142
- Deutsch Diana**, The Octave Illusion and the What-Where Connection, *Attention and Performance VIII*, 1980, 575-592
- Deutsch Diana**, The Octave Illusion in Relation to Handedness and Familial Handedness Background, *Neuropsychologia* 1983, Vol.21, 289-293
- Deutsch Diana**, The Octave Illusion Revisited Again, *Journal of Experimental Psychology, Human Perception and Performance*, 2004, 30, 355-364
- Deutsch Diana**, The Paradox of Pitch Circularity, *Acoustics Today*, 2010, Vol.6, Iss.3, 8-14
- Deutsch Diana**, The Perception of Auditory Patterns, *Handbook of Perception and Action: Volume 1*, Academic Press Ltd. 1996, 253-296
- Deutsch Diana**, Two-Channel Listening to Musical Scales, *Journal of the Acoustical Society of America*, 1975, 57, 1156-1160
- Deutsch Diana**, What are Musical Paradox and Illusion?, *The American Journal of Psychology* 2007, Vol.120, No.1, 123-140
- Dowling W. Jay**, Dichotic Recognition of Musical Canons: Effects of Leading Ear and Time Lag Between Ears, *Perception & Psychophysics* 1978, Vol.23, No.4, 321-325
- Dowling W. Jay, Fujitani Diane S.**, Contour, Interval, and Pitch Recognition in Memory for Melodies, *Journal of the Acoustical Society of America* 1971, Vol.49, No.2, 524-531

- Dowling W. Jay**, The Perception of Interleaved Melodies, *Cognitive Psychology* 1973, Vol.5, No.1, 322-337
- Dowling W. Jay**, Tillmann Barbara, Ayers Dan F., Memory and the Experience of Hearing Music, *Music Perception* 2002, Vol.19, No.2, 249-276
- Dowling W. Jay., Harwood Dane L.**, Music Cognition, Academic Press, Orlando, Florida 1986
- Dowling W. Jay.**, Rhythmic Fission and Perceptual Organization, *Journal of the Acoustical Society of America* 1968, 44, 1, 369
- Drake Carolyn, Dowling W. Jay, Palmer Caroline**, Accent Structures in the Reproduction of Simple Tunes by Children and Adult Pianists, *Music Perception* 1991, Vol.8, No.3, 315-334
- Eberlein Roland**, Theorien und Experimente zur Wahrnehmung musikalischer Klänge, Peter Lang, Frankfurt am Main, 1990
- Ehrenfels Christian**, Ueber „Gestaltqualitäten“, 1890, Inv.Nr. Musikwissenschaftliches Institut Wien; 11638
- Fastl Hugo, Zwicker Eberhard**, Psychoacoustics, Facts and Models, Springer Verlag, Berlin, Heidelberg 2007
- Feldtkeller Richard, Zwicker Eberhard**, Das Ohr als Nachrichtenempfänger, S.Hirzel Verlag, Stuttgart 1956
- Fricke Jobst**, Der Klang der Musikinstrumente nach den Gesetzen des Gehörs, Wechselwirkung Mensch – Instrument, Das Instrumentalspiel, Bericht vom Internationalen Symposion Wien, 12.-14. April 1988, Doblinger, Wien, München, 1989, 275-284
- Gelfand Stanley A.**, Essentials of Audiology, Thieme Medical Publishers, Inc., New York 2009
- Gelfand Stanley A.**, Hearing, An Introduction to Psychological and Physiological Acoustics, Marcel Dekker, New York 2004
- Gillmeister Helge, Eimer Martin**, Tactile Enhancement of Auditory Detection and Perceived Loudness, *Brain Research* 2007, Vol.1160, 58-68
- Gorynia Inge, Egenter Dominique**, Intermanual Coordination in Relation to Handedness, Familial Sinistrality and Lateral Preferences, *Cortex* 2000, Vol.36, 1-18
- Grey John M., Gordon John W.**, Perceptual Effects of Spectral Modifications on Musical Timbres, *Journal of the Acoustical Society of America* 1978, Vol.63, No.5, 1493-1500
- Grey John M., Moorer James A.**, Perceptual Evaluations of Synthesized Musical Instrument Tones, *Journal of the Acoustical Society of America* 1977, Vol.62, No.2, 454-463
- Grey John M.**, Multidimensional Perceptual Scaling of Musical Timbres, *Journal of the Acoustical Society of America* 1977, Vol.61, No.5, 1270-1277
- Grey John M.**, Timbre Discrimination in Musical Patterns, *Journal of the Acoustical Society of America* 1978, Vol.64, No.2, 467-472
- Guenther Frank H., Husain Fatima T., Cohen Michael A., Shinn-Cunningham**, Effects of Categorization and Discrimination Training on Auditory Perceptual Space, *Journal of the Acoustical Society of America* 1999, Vol.106, 2900-2912
- Gurd Jennifer M., Schulz Joerg, Cherkas Lynn, Ebers George C.**, Hand Preference and Performance in 20 Pairs of Monozygotic Twins with Discordant Handedness, *Cortex* 2006, Vol.42, 934-945
- Hall Donald E.**, Musikalische Akustik, Ein Handbuch, Schott Musik International, Mainz 2003
- Halpern Andrea R., Bartlett James C., Dowling W. Jay**, Perception of Mode, Rhythm, and Contour in Unfamiliar Melodies: Effects of Age and Experience, *Music Perception* 1998, Vol.15, No.4, 335-355
- Hellbrück Jürgen, Wolfgang Ellermeier**, Hören, Physiologie, Psychologie und Pathologie, Hogrefe Verlag, Göttingen 2004

- Helmholtz Herrman von**, Die Lehre von den Tonempfindungen als psychologische Grundlage für die Theorie der Musik, Braunschweig: F. Vieweg, 1863
- Katz Bob**, Mastering Audio, Focal Press, Elsevier Science 2002
- Keidel Wolf D.**, Physiologie des Gehörs, Akustische Informationsverarbeitung, Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1975
- Keuler Jenò**, The Paradoxes of Octave Identities, Studia Musicologica Academiae Hungaricae, T.40, Fasc.1/3, 1999, 211-224
- Kopiez Reinhard, Galley Niels**, Händigkeit: ihre theoretischen Grundlagen und ihre Bedeutung für das Instrumentalspiel, Begabungsförderung und Begabungsforschung in der Musik (Schriften des Instituts für Begabungsforschung in der Musik, Bd. 2), Münster 2010, 111-136
- Kopiez Reinhard, Galley Niels, Lehmann Andreas C.**, The Relation between Lateralisation, early Start of Training, and Amount of Practice in Musicians: A Contribution to the Problem of Handedness Classification, Laterality 2010, Vol.15, No.4, 385-414
- Kurth Ernst**, Musikpsychologie, Max Hesses Verlag, Berlin 1931
- Ladle Richard J., Todd Peter A.**, A Developmental Model for Predicting Handedness Frequencies in Crabs, Acta Oecologica 2006, Vol.30, 283-287
- Levitin Daniel J.**, This is Your Brain on Music, The Science of a Human Obsession, Penguin Books Ltd., London 2007
- Louven Christoph**, Die Konstruktion von Musik, Theoretische und experimentelle Studien zu den Prinzipien der musikalischen Kognition, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main 1998
- Luders Eileen, Cherbuin Nicolas, Thompson Paul M., Gutman Boris, Anstey Kaarin J., Sachdev Perminder, Toga Arthur W.**, When More is Less: Associations between Corpus Callosum Size and Handedness Lateralization, NeuroImage 2010, Vol.52, 43-49
- Mattusch Udo**, Verarbeitung und Repräsentation musikalischer Strukturen mit Methoden der künstlichen Intelligenz: Entwurf und Implementation eines computergestützten Repräsentationsmodells musikalischer Wahrnehmung, Peter Lang Verlag, Frankfurt am Main 1997
- McAdams Stephen, Bregman Albert S.**, Hearing Musical Streams, Computer Music Journal 1979, Vol.3, No.4, 26-43&60
- McAdams Stephen**, Segregation of Concurrent Sounds. I. Effects of Frequency Modulation Coherence, Journal of the Acoustical Society of America 1989, 86 (6), 2148-2159
- McAdams Stephen**, Spectral Fusion and the Creation of Auditory Images, Music, Mind, and Brain, Plenum Press, New York, London 1982, 279-298
- Moore Brian C. J.**, An introduction to the psychology of hearing, Academic Press 2008
- Moore Brian C. J.**, Handbook of Auditory Science, Oxford University Press, Oxford 2010
- Näätänen R., Paavilainen P., Rinne T., Alho K.**, The Mismatch Negativity (MMN) in Basic Research of Central Auditory Processing: A Review, Clinical Neurophysiology 2007, Vol.118, 2544-2590
- O'Boyle Michael W., Persson Benbow Camilla**, Handedness and its Relationship to Ability and Talent, Left Handedness, Behavioral Implications and Anomalies, Elsevier Science Publishers B.V. (North Holland) 1990, 343-372
- Parncutt Richard**, Revision of Terhardt's Psychoacoustical Model of the Root(s) of a Musical Chord, Music Perception 1988, Vol.6, No.1, 65-94
- Patterson Roy D., Allerhand Mike H., Giguère Christian**, Time-Domain Modeling of Peripheral Auditory Processing: A Modular Architecture and Software Platform, Journal of the Acoustical Society of America 1995, Vol.98. No.4, 1890-1894

Patterson Roy D., Auditory Images: How Complex Sounds are represented in the Auditory System, Journal of the Acoustical Society of Japan 2000, Vol.21, No.4, 183-190

Plomp Reinier, Aspects of Tone Sensation; a Psychophysical Study, Academic Press, London, 1976

Pollard H. F., Feature Analysis of Musical Sounds, Acustica 1988, Vol.65, 232-244

Pollard H. F., Jansson E. V., A Tristimulus Method for the Specification of Musical Timbre, Acustica 1982, Vol.51, 162-171

Ragozzine Frank, The Tritone Paradox and Perception of Single Octave-Related Complexes, Music Perception, 2002, Vol.19, No.2, 155-168

Reuter Christoph, Blending and Partial Masking, a Concept for the Perception and Identification of Simultaneously Playing Musical Instruments, Proceedings of the Blagodatovskije Readings. St. Petersburg, December 4-7, 2000, 180-183

Reuter Christoph, Die auditive Diskrimination von Orchesterinstrumenten, Peter Lang, Frankfurt am Main, 1996

Reuter Christoph, Oehler Michael, Schandara Harald und Kecht Michael, The Octave Illusion Revisited, Performance Measurements for Handedness Categorization, Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 130, 4, 2011, 2398

Reuter Christoph, Stream Segregation and Formant Areas, 5th ESCOM Conference, September 8-13, 2003, Hannover 2003, 214

Reuter Christoph, Verschmelzung und partielle Verdeckung, DAGA 2000, Fortschritte der Akustik, Oldenburg, 176-177

Reuter Christoph, Von der Physik der Klangfarben zur Psychologie der Klangfarben, Musikpsychologie Bd.17, Hogrefe Verlag, Göttingen 2004, 109-125

Ritsma Roelof J., Bilsen F. A., Spectral Regions Dominant in the Perception of Repetition Pitch, Acustica 1970, Vol.23, 334-339

Ritsma Roelof J., Existence Region of the Tonal Residue. I, The Journal of the Acoustical Society of America 1962, Vol.34, No.9, 1224-1229

Ritsma Roelof J., Existence Region of the Tonal Residue. II, The Journal of the Acoustical Society of America 1963, Vol.35, No.8, 1241-1245

Roederer Juan G., Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik, Springer Verlag, Berlin Heidelberg 2000

Roessler Johannes, Perception, Causation and Objectivity, Oxford University Press, Oxford 2011

Rumelhart David E., Norman Donald A., Accretion, Tuning, and Restructuring: Three Modes of Learning, Semantic Factors in Cognition, Hillsdale, New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates 1978, 37-53

Schnupp Jan, Nelken Israel, King Andrew, Auditory Neuroscience: Making Sense of Sound, Cambridge, MIT Press, Cambridge, Massachusetts 2011

Schouten J. F., Ritsma Roelof J., Cardozo Lopes B., Pitch of the Residue, Journal of the Acoustical Society of America 1962, Vol.34, No.8, 1418-1424

Schouten J. F., The Perception of Pitch, Phillips Technical Review 1940, Vol.5, No.10, 286-294

Schouten J. F., The Perception of subjective Tones, Proceedings 1938, Vol.40, No.10, 1086-1094

Schouten J. F., The Residue Revisited, Institute for Perception Research, Eindhoven, The Netherlands 1970, 40-58

Schouten J. F., The Residue, a New Component in Subjective Sound Analysis, Natuurkundig Laboratorium der N.V. Philips'. Gloeilampenfabrieken, Eindhoven, Holland, 1940, 357-365

- Shepard Roger N.**, Circularity in Judgments of Relative Pitch, *Journal of the Acoustical Society of America* 1964, Vol.36, No.12, 2346-2353
- Shuter-Dyson Rosamund, Gabriel Clive**, *The Psychology of Musical Ability*, Methuen, London and New York, 1981
- Stevens Smith Stanley, Davis Hallowell**, *Hearing, Its Psychology and Physiology*, John Wiley & Sons Inc, New York 1966
- Stumpf Carl**, *Die Sprachlaute, Experimentell-phonetische Untersuchungen*, Springer Verlag, Berlin 1926
- Stumpf Carl**, *Tonpsychologie, Erster Band*, S.Hirzel-Verlag, Leipzig 1883
- Stumpf Carl**, *Tonpsychologie, Zweiter Band*, S.Hirzel-Verlag, Leipzig 1890
- Terhardt Ernst**, *Akustische Kommunikation*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 1998
- Terhardt Ernst, Aures W.**, Wahrnehmbarkeit der periodischen Wiederholung von Rauschsignalen, *DAGA* 1984, 769-772
- Terhardt Ernst**, Die psychoakustischen Grundlagen der Musikalischen Akkordgrundtöne und deren algorithmische Bestimmung, *Tiefenstruktur der Musik*, Tech. Univ. Berlin 1982, 23-50
- Terhardt Ernst**, Ein psychoakustisch begründetes Konzept der Musikalischen Konsonanz, *Acustica* 1976/77, Vol.36, 121-137
- Terhardt Ernst**, Music Perception and Sensory Information Acquisition: Relationships and Low-Level Analogies, *Music Perception* 1991, Vol.8, No.3, 217-240
- Terhardt Ernst**, Schallfluktuationen und Rauigkeitsempfinden, *Akustik und Schwingungstechnik* 1971, 367-370
- Terhardt Ernst, Stoll G.**, Bewertung des Wohlklangs verschiedener Schalle, *DAGA* 1978, 583-586
- Terhardt Ernst**, The Concept of Musical Consonance: A Link between Music and Psychoacoustics, *Music Perception* 1984, Vol.1, No.3, 276-295
- Terhardt Ernst**, Tonhöhenwahrnehmung und harmonisches Empfinden, *Akustik und Schwingungstechnik* 1972, 59-68
- Terhardt Ernst**, Über akustische Rauigkeit und Schwankungsstärke, *Acustica* 1968, Vol.20, 215-224
- Terhardt Ernst**, Zur Tonhöhenwahrnehmung von Klängen, I. Psychoakustische Grundlagen, *Acustica* 1972, Vol.26, No.4, 173-186
- Terhardt Ernst**, Zur Tonhöhenwahrnehmung von Klängen, II. Ein Funktionsschema, *Acustica* 1972, Vol.26, 187-199
- Tougas Yves, Bregman Albert S.**, Crossing Auditory Streams, *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 1985, Vol.11, No.6, 788-798
- Van Noorden Leon P. A. S.**, Minimum Differences of Level and Frequency for Perceptual Fission of Tone Sequences ABAB, *Journal of the Acoustical Society of America* 1977, 61, No.4., 1041-1045
- Van Noorden P. A. S.**, Temporal Coherence in the Perception of Tone Sequences, Dissertation, Eindhoven 1975
- Vuoksima Eero, Koskenvuo Markku, Rose Richard J., Kaprio Jaakko**, Origins of Handedness: A Nationwide Study of 30 161 Adults, *Neuropsychologia* 2009, Vol.47, 1294-1301
- Warren Richard M.**, *Auditory Perception: An Analysis and Synthesis*, Cambridge University Press 2008
- Wertheimer Max**, Untersuchungen zur Lehre von der Gestalt, *Psychologische Forschung: Zeitschrift für Psychologie und ihre Grenzwissenschaften* 4, 1923, 301-350
- Wessel David L.**, Timbre Space as a Musical Control Structure, *Computer Music Journal* 1979, Vol.3, No.2, 45-52
- Wright Anthony A., Rivera Jacquelyne J., Hulse Stewart H., Shyan Melissa, Neiworth Julie J.**, Music Perception and Octave Generalization in Rhesus Monkeys, *Journal of Experimental Psychology, General* 2000, Vol.129, No.3, 291-307

- Yagcioglu Suha, Ungan Pekcan**, The „Franssen“ Illusion for Short Duration Tones is Preattentive: A Study using Mismatch Negativity, Brain Research 2006, Vol.1106, 164-176
- Yost William A.**, Fundamentals of Hearing, An Introduction, Elsevier, San Diego 2007
- Zingel Hans Joachim**, Spaltklang – das neue Ideal, Melos19. Jahrgang, 1952, 69-72
- Zwicker Eberhard**, Der Einfluß der zeitlichen Struktur von Tönen auf die Addition von Teillautheiten, Acustica 1969, Vol.21, 16-25
- Zwicker Eberhard**, Ein Beitrag zur Lautstärkemessung impulshaltiger Schalle, Acustica 1966, Vol.17, 11-22
- Zwicker Eberhard**, Ein Beitrag zur Unterscheidung von Lautstärke und Lästigkeit, Acustica 1966, Vol.17, 22-25
- Zwicker Eberhard, Flottorp G., Stevens S. S.**, Critical Band Width in Loudness Summation, Journal of the Acoustical Society of America 1957, Vol.29, No.5, 548-557
- Zwicker Eberhard**, Lautstärkeberechnungsverfahren im Vergleich, Acustica 1966, Vol.17, 278-284
- Zwicker Eberhard, Terhardt Ernst**, Analytical Expressions for Critical-Band Rate and Critical Bandwidth as a Function of Frequency, Journal of the Acoustical Society of America 1980, Vol.68, No.5, 1523-1525
- Zwicker Eberhard, Terhardt Ernst**, Facts and Models in Hearing, Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York 1974
- Zwicker Eberhard**, Zusammenhänge zwischen neueren Ergebnissen der Psychoakustik, Akustik und Schwingungstechnik, Plenarvorträge und Kurzreferate der Gemeinschaftstagung Berlin 1970, Vdi Verlag, Düsseldorf 1971, 9-21
- Zwicker U. T.**, Experimente zur dichotischen Oktavtäuschung, Acustica 1984, Vol.55, 128-136