

FACHARBEIT IM FACH PHYSIK

Von Peter Liersch

Inhaltsverzeichnis

Hinleitung zum Thema

Grundsätzliche Klärung des Begriffs der Akustik

Der Schall

- Das menschliche Ohr
- Eigenschaften des Schalls
- Hörschall
- Infraschall und Ultraschall

Psychoakustische Verarbeitung von Schall

- Was ist Psychoakustik?
- Schalldruck
- Schallpegel
- Rechnen mit Schallpegeln

- Der Hörbereich
- Lautstärkeempfinden
- Die A-Bewertung

Versuch

- Hintergrund
- Die zum Versuch notwendigen Gegenstände und Programme
- Durchführung
- Schaltskizze / Erläuterung der Schaltskizze
- Erwartung
- Ergebnisse
- Auswertung / Konklusion

Quellen

Metzler Physik (Joachim Grehn) Enzyklopädie Enkarta 99 / Suchbegriff: Akustik

Schall und Raum / Kleine Einführung in die Welt der Akustik (Claus Römer)

Die faszinierende Welt der Physik / Kapitel über die Akustik (Bassermann)

Informationen des Professors der Fachhochschule Düsseldorf (Prof. Frank Kameier)

Lärm & Gesundheit (Bundeszentrale für gesundheitliche Aufklärung)

Schall und Klang / Kapitel über das Gehör und die Psychoakustik (Georg Eska)

Internet (Seiten der TU-München, der Uni-Wuppertal und anderer Universitäten)

In dieser meiner Facharbeit werde ich schwerpunktmäßig über die psychoakustische Verarbeitung von Schall beim Menschen schreiben. Im Folgenden werde ich erst einmal die zum Verständnis der Psychoakustik notwendigen Begriffe erklären und erläutern, dann näher auf das eigentliche Thema eingehen und im Weiteren einen eigenen Versuch zu diesem Thema einbringen.

Grundsätzliche Klärung des Begriffs der Akustik:

Die Akustik ist ein Teilgebiet der Physik, das den Schall und seine Wirkung untersucht. Außer der physikalischen Akustik gibt es zum einen die physiologische Akustik, die sich mit der Funktionsweise und der Struktur des menschlichen Gehörs sowie mit dem Hörvorgang befasst, zum anderen die Psychoakustik, deren Begriff ich im Folgenden näher erklären und erläutern werde.

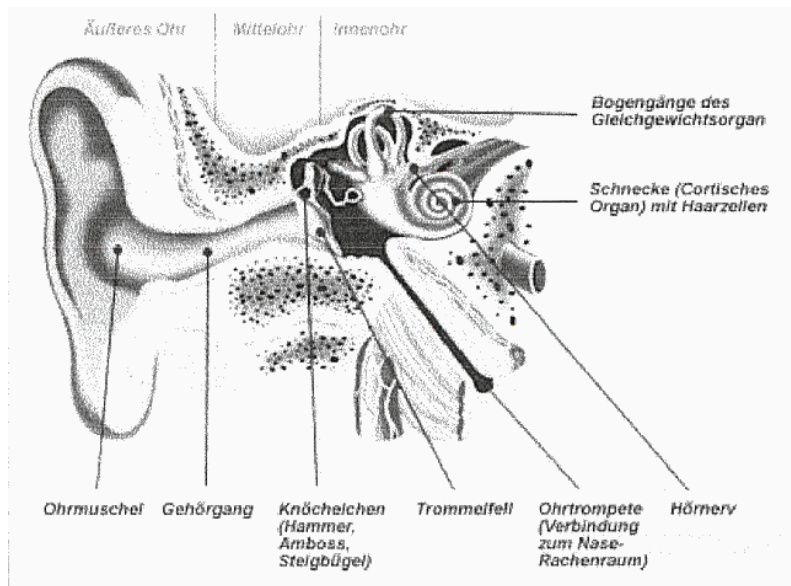
Allgemein beschäftigt sich die Akustik mit den Erscheinungen, die ein Beobachter über das Ohr wahrnehmen kann. Dies sind in erster Linie die hörbaren Frequenzen im Bereich von etwa 20 bis 20000 Hertz. Grob gefasst behandelt die Akustik die Entstehung, die Übertragung und den Empfang von Schall.

Der Schall:

Wie im Unterricht bereits besprochen bezeichnet man Schall als mechanische Schwingungs- und Wellenvorgänge in elastischen Medien (Gasen, Flüssigkeiten, Festkörpern). Der Schall wird durch Schwingungen erzeugt, die Schallwellen aussenden.

Die Abbildung unten zeigt den Aufbau des MENSCHLICHEN OHRES. Die Ohrmuschel sammelt die Luftschallwellen und leitet sie über den äußeren Gehörgang an das Trommelfell weiter. Diese Teile bilden das Außenohr. Das Trommelfell wird in Schwingungen versetzt und leitet diese über eine Kette von Gehörknöchelchen an das Innenohr weiter. Im Innenohr befindet sich das Hörorgan, die Schnecke. Diese ist mit Flüssigkeit gefüllt und setzt die empfangenen Schallwellen in elektrische Nervenimpulse um, die dann zum Gehirn weitergeleitet werden. Das eigentliche

Transformationsorgan ist das Cortische Organ, dessen Haarzellen die auch im Unterricht besprochene Fourieranalyse durchführen.



Wie ich im Folgenden ausführlicher erläutern werde, hat diese Übermittlung des Schalls zu einem großen Teil mit subjektiven Wahrnehmungen und Empfindungen jedes einzelnen Menschen zu tun.

Die Erkenntnis, dass es sich bei Schall um ein Wellenphänomen handelt, ist bereits 2000 Jahre alt. Ein römischer Architekt, der mit dem Bau von Amphitheatern beschäftigt war, verglich den Schall mit Wellen im Wasser. Wie wir zur Zeit im Unterricht im Zusammenhang mit den Beugungsgesetzen der Wellen schon erwähnt haben, liegt beidem auch das Huygense-Prinzip zugrunde. (Jeder Punkt einer Wellenfront kann als Ausgangspunkt von Elementarwellen angesehen werden, die sich mit gleicher Geschwindigkeit und Wellenlänge wie die ursprüngliche Welle ausbreitet. – Die Einhüllende aller Elementarwellen stellt die neue Wellenfront dar.)

EIGENSCHAFTEN DES SCHALLS

Tonhöhe und Tonstärke sind zwei verschiedene Maße für die von einem Schall beim Menschen bewirkte Schallempfindung. Diesen Begriffen entsprechen die auch schon im Unterricht erwähnten rein physikalischen Begriffe Frequenz und Schallintensität.

Für die Frequenz des Schalls gilt folgende Definition: Die Frequenz ist gleich der Anzahl der Schwingungen in einer Sekunde. Sie wird in Hertz (Hz) ausgedrückt. Je höher die Frequenz, um so höher ist der Ton. Die Schallintensität wird in Watt/cm^2 gemessen und mit dem Hinweiswort Bel (B) oder Dezibel (dB) angegeben.

Letztere sind keine physikalischen Einheiten, sondern ein Hinweis darauf, dass eine physikalische Größe gemessen wird, indem man den dekadischen Logarithmus des Verhältnisses dieser Größe zu einer gleichartigen Bezugsgröße angibt. Die Schallintensität ist der Dichte des Ausbreitungsmediums umgekehrt proportional: Je größer die Dichte eines Mediums, umso geringer ist die Schallintensität.

HÖRSCHALL

Bei der Wahrnehmung des Schalls durch das menschliche Gehör unterscheiden wir Ton, Klang und Geräusch. Ein reiner Ton entspricht einer Schallwelle, in der nur eine einzige Frequenz enthalten ist. In der Musik werden Frequenzverhältnisse zwischen den Tönen so geordnet, dass harmonische Zusammenklänge entstehen. Ein Geräusch dagegen besteht aus vielen Einzeltönen, deren Frequenzen in keinem gesetzmäßigen Zusammenhang stehen. Die Bezeichnung "Geräusch" für eine Schallempfindung ist trotz dieser physikalischen Definition von der Beurteilung des Hörers bzw. von seinem kulturellen Hintergrund abhängig. Die Stärke der Schallempfindung kann man am Lautstärkepegel ablesen. Auf dieser Basis versuchen die Staaten, die Grenzen der Lärmbelästigung gesetzlich festzulegen. Auf diesen Bereich der Lärmbelästigung werde ich jedoch nicht näher eingehen, da meine Klassenkameraden Annika Schäfer und Björn Schröder diesen Bereich in ihren Facharbeiten bearbeiten.

INFRASCHALL UND ULTRASCHALL

Beim Schall, der vom menschlichen Gehör nicht wahrnehmbar ist, unterscheidet man zwischen dem Infraschall mit Frequenzen unterhalb 16 Hz und dem Ultraschall mit Frequenzen oberhalb 20000 Hz. Der Infraschall dient in der Geologie zur Erkundung von gewissen Steinen. Ultraschallfrequenzen können von einigen Tieren, z. B. Fledermäusen und Hunden, wahrgenommen werden. Ultraschall wird beim Schallortungsverfahren "Sonar" im Bereich der Schifffahrt oder bei der Geschwindigkeitsbestimmung von Kraftfahrzeugen angewandt. In der Medizin hat die Ultraschalluntersuchung der verschiedensten Organe die risikoreiche Röntgenuntersuchung weitgehend verdrängt.

Die untenstehende Tabelle zeigt eine grobe Frequenzeinteilung der verschiedenen Schallbereiche.

Schallbereich	Frequenz
Infraschall	$\nu < 16 \text{ Hz}$
Hörbarer Schall	$16 \text{ Hz} < \nu < 16 \text{ kHz}$

Ultraschall	$16 \text{ kHz} < v < 10 \text{ MHz}$
Hyperschall	$10 \text{ MHz} < v$

Wie ich im Verlauf dieser Facharbeit noch näher erläutern werde, ist der Frequenzbereich des hörbaren Schalls, welcher in der Tabelle oben angegeben ist, nur ein Mittelwert, da äußerst viele Umstände (wie Alter, Training, Gewöhnung etc.) Einfluss darauf nehmen.

Psychoakustische Verarbeitung von Schall

WAS IST PSYCHOAKUSTIK?

Wie oben bereits einige Male erwähnt, ist die Wahrnehmung von Schall stark von psychischen Faktoren abhängig. So gut wie alles von dem, was wir tagtäglich hören, mussten wir im Laufe unserer Entwicklung erst erlernen und trainieren. Bei diesem Lernvorgang wurden wir durch unser direktes und indirektes Umfeld, durch die Art wie unsere Mitmenschen sich ausdrücken und durch unseren Kulturkreis geprägt. Bestimmte Rhythmen aus Musik und Gespräch, bestimmte Dreiklänge, mit anderen Worten bestimmte akustische Muster empfinden wir als schön und angenehm, und zwar nicht, weil wir mit dieser Empfindung geboren wurden, sondern weil wir sie seit frühester Kindheit hören und damit aufgewachsen sind. Folglich rufen bestimmte Klänge in unterschiedlichen Kulturkreisen völlig unterschiedliche Empfindungen hervor (Prinzip der Psychoakustik).

Während sich die Psychologie mit unseren Empfindungen beschäftigt, befasst sich die Psychoakustik mit den im Bewusstsein auftretenden Hörscheinungen. Sie versucht, die durch akustische Reize hervorgerufenen, Empfindungen zu beschreiben, auszuwerten und zu erklären. Ferner macht sie Aussagen darüber, welche psychologische Empfindung unser Gehirn signalisiert, wenn unser Ohr einem Ton ausgesetzt wird. Der Mensch entwickelt somit eine subjektive Reizantwort zu den jeweils gegebenen akustischen Reizen. Der Zusammenhang dieser beiden muss über Experimente und Messungen ermittelt werden. Im Folgenden sollte man sich darüber im Klaren sein, dass die Psychoakustik sowohl quantitative (wie viel) als auch qualitative (ja/nein) Aussagen macht. Das Folgende Beispiel verdeutlicht: Wenn 50 von 100 Testpersonen, also 50 %, die Lautstärke eines bestimmten Tones als schmerzhaft empfinden, dann wird unter den gegebenen Versuchsbedingungen diese Lautstärke als Schmerzschwelle erklärt. Quantitativ ist die Aussage deshalb, weil man die Lautstärke des Tones physikalisch messen kann. Bei komplexeren Fragestellungen sind jedoch

häufig nur qualitative Aussagen möglich, etwa die Frage, ob ein bestimmter Klang als angenehm oder unangenehm empfunden wird. (Quelle: Zitat aus Eskas "Schall und Klang" Seite 160)

Dadurch, dass die Empfindung "laut" sehr ungenau ist, sind die Ergebnisse der Psychoakustik im physikalischen Sinne nicht exakt, jedoch sind quantitative Aussagen möglich, da die psychophysischen Empfindungen des Menschen durch Lernprozesse trainiert werden. Man ist deshalb sehr wohl in der Lage, abzuwägen, ob ein Ton doppelt so laut oder halb so laut ist wie der Vergleichston.

Im Folgenden werde ich die Begriffe Schalldruck und Schallpegel näher erläutern, deren Verständnis unbedingt notwendig ist, um die logarithmischen Beziehungen und Zusammenhänge in der Akustik verstehen zu können.

SCHALLDRUCK

Der Schalldruck ist die durch einen Ton hervorgerufene Abweichung des Luftdrucks von dem sonst herrschenden Luftdruck. Dieser physikalisch messbare Wert ist sehr klein, da der durch einen lauten Ton von 114 dB verursachte Druck nur ein Zehntausendstel des Luftdrucks beträgt, und es somit umständlich ist mit ihm zu arbeiten. Aus diesem Grund wird bei der Angabe der Stärke des Schalls der Schalldruck eines Tones mit dem Druck eines gerade noch wahrnehmbaren Tones bei 1 kHz verglichen. Dies wird Schalldruckpegel, auch kurz Schallpegel genannt. Er drückt lediglich aus, um wie viel stärker der Schall zum Zeitpunkt der Messung als der gerade noch wahrnehmbare ist. Dies wird dann wie schon oben erklärt in Bel oder $B/10 =$ Dezibel ausgedrückt. Da die Dezibelskala logarithmisch ist, entspricht jede Verdopplung des Schalldrucks einer Schallpegelzunahme um 6 dB. Bei zehnfachem Schalldruck steigt der Schallpegel um 20 dB.

SCHALLPEGEL

In der Akustik sind Drücke über viele Größenordnungen relevant. Deshalb benutzt man in der Praxis den Schallpegel L , der eine Umrechnung des Schalldrucks bzw. der Schallintensität in ein logarithmisches Maß darstellt:

$$L = 20 \text{ dB} \cdot \log (p/p_0) = 10 \text{ dB} \log (I/I_0)$$

Mit $p_0 = 20 \mu \text{ Pa}$ bzw. $I_0 = 10^{-12} \text{ W/m}^2$ (Hörschwelle bei 1 kHz). Dieses logarithmische Maß hilft, Schall mit stark unterschiedlichen Intensitäten gleichzeitig auf einer Skala darstellen zu können. Es ist das Verhältnis zweier Schallfeldgrößen. Die Größe im Nenner ist eine festgelegte

Bezugsgröße. Natürlich bezieht sich L immer auf eine Frequenz bzw. einen Frequenzbereich.

RECHNEN MIT SCHALLPEGELN

Da der Schallpegel L eine logarithmische Größe ist, dürfen beispielsweise zur Berechnung des Gesamtschallpegels bei der Überlagerung von zwei Schallquellen nicht einfach die Pegel L_1 und L_2 addiert werden. Vielmehr ist hier mit den physikalischen Größen p bzw. I zu rechnen.

Sind bei den zu berechnenden Schallfeldern die exakten Wellengleichungen bekannt, so ist die zu betrachtende Größe der Schalldruck p . Dabei können Interferenzen auftreten, deren Bedeutung wir auch schon im Unterricht näher erläutert haben, die speziell beachtet werden müssen. Im täglichen Leben treten nur sogenannte inkohärente Schallwellen (d.h. solche ohne exakt bestimmte Phasenlage) auf. In diesem Fall ist die Intensität $I \propto p^2$ die Größe, mit der gerechnet werden muss.

Um beispielsweise den gemeinsamen Pegel zweier gleicher Schallquellen $L_1=L_2$ bzw. $I_1=I_2$ zu berechnen, addiert man die Intensitäten. $I_{\text{ges}} = I_1 + I_2 = 2I_1$. Damit folgt:

$$\begin{aligned} L_{\text{ges}} &= 10 \text{ dB} \cdot \log (I/I_0) = 10 \text{ dB} \cdot \log (2 \cdot I_1/I_0) \\ &= 10 \text{ dB} \cdot (\log (I_1/I_0) + \log (2)) = L_1 + 3,01 \text{ dB} \end{aligned}$$

Durch diese eher komplizierte Rechnung kommt man abschließend zu dem Ergebnis:

Eine Verdopplung der Intensität I entspricht also einer Zunahme des Schallpegels L um etwa 3 dB; eine Erhöhung um 10 dB oder 20 dB bedeutet eine Verzehnf- bzw. Verhundertfachung der Intensität.

DER HÖRBEREICH

Die beim Hörschall auftretenden Druckschwankungen sind meist sehr gering. Bei einem Normaldruck von 1013 mbar genügen schon Änderungen im Nanobar-Bereich, um eine Reizung des menschlichen Gehörs herbeizuführen.

Das menschliche Ohr kann Drücke zwischen 10^{-5} Pa (untere Hörgrenze) und 10^2 Pa (Schmerzgrenze) wahrnehmen. Kein Messgerät kann ohne Umschaltvorrichtung einen derartig großen Bereich (7 Größenordnungen) darstellen. Für $I_0 = 10^{-12}$ W/m² findet man auch die Bezeichnung Hörschwelle. Sie ist die vom menschlichen Ohr gerade noch wahrnehmbare Schallintensität bei 1 kHz. Der zugehörige Druck ist 20 μ Pa,

was einer Bewegung der Luftteilchen von nur 10^{-9} cm entspricht. Unter dieser Distanz kann man sich schlecht etwas vorstellen, deshalb zum Vergleich der Durchmesser des Wasserstoffatoms: 10^{-8} cm

LAUTSTÄRKEEMPFINDEN

Da das menschliche Hörvermögen äußerst frequenzabhängig ist, gibt die dB-Skala nicht die genaue Hörempfindung wieder, wie sich später in meiner Versuchsreihe noch zeigen wird. Bei niedrigen und hohen Frequenzen ist die Empfindlichkeit des Ohres geringer, wohingegen sie bei etwa 1 kHz maximal ist. Der Schallpegel muss folglich bei tiefen und hohen Frequenzen sehr viel höher sein als am Empfindlichkeitsmaximum, wenn in allen Fällen eine gleich starke Empfindung hervorgerufen werden soll. Der Maßstab für das Lautstärkempfinden des Gehörs ist die Lautstärke L_s (Einheit phon). Diese ist nicht wahllos gewählt, sondern so, dass bei einer Schallfrequenz von 1 kHz der Wert der Lautstärke (in phon) gleich dem Schalldruckpegel (in dB) ist.

Die Ermittlung der Lautstärke ist somit immer eine Vergleichsmessung. Führt man solche Vergleichsmessungen im gesamten Hörbereich durch, so erhält man Kurven gleicher Lautstärke. Dabei gibt jede Kurve an, welcher Schallpegel L in Abhängigkeit von der Frequenz nötig ist, damit das Ohr eine bestimmte Lautstärke L_s empfindet. In diesem Diagramm ist zu sehen, dass bei 1 kHz ein Pegel von 70 dB ausreicht, um die gleiche Lautstärke (70 phon) hervorzurufen, wie sie ein Pegel von 83 dB bei 63 Hz erzeugt. Studien über Hörempfindung zufolge nimmt das menschliche Gehör Lautstärkeunterscheide von 1 phon gerade noch wahr, wobei die Hörschwelle (für alle Frequenzen) bei 0 phon liegt.

Das subjektive Lautstärkeempfinden ist keineswegs linear von der Schallintensität abhängig. Im Bereich ab 40 phon entspricht eine Verdopplung der Lautstärke einer Zunahme von L_s um etwa 10 phon, also einer um den Faktor 10 höheren Intensität. Unterhalb von 40 phon ist das Ohr empfindlicher.

Aus einem Buch entnommen habe ich folgende Beispielswerte für Lautstärken (in phon bzw. dB (A)), um für meinen Versuch unten Vergleichszahlen zu haben.

Leises Flüstern	10 phon
Üblicher Hintergrund-Schall im Haus	40 phon
Deutliche Sprache	50 phon
"Zimmerlautstärke" von Radio und Fernsehen	60 phon

Laute Walkman-Musik	85 – 105 phon
Diskotheke	100 – 130 phon
Düsenflugzeug	120 phon
Schmerzgrenze	130 phon
Gehörschädigung auch bei kurzer Einwirkung	Ab 110 phon (das macht mich sehr bedenklich)

DIE A-BEWERTUNG

Da unser Gehör sehr verschieden empfindlich auf verschiedene Frequenzen reagiert, wäre die ideale Angabe der Lautstärke eines Geräusches der Wert in phon. Dessen Bestimmung ist jedoch relativ kompliziert, sodass die Lautstärke allgemein in der sogenannten A-Bewertung angegeben ist. Dazu wird zu dem gemessenen Schallpegel (dem sog. unbewerteten Schallpegel) eine bestimmte Konstante addiert beziehungsweise davon subtrahiert. Die Angabe des Schallpegels erfolgt dann in der Einheit dB(A). Ein 1 kHz-Ton mit 70 dB entspricht somit auch 70 dB(A), ein 100 Hz-Ton der gleichen Intensität jedoch nur etwa 53 dB(A), da er vom Menschen entsprechend leiser empfunden wird. Aufgrund dieser recht leichten Umrechnung gelten für die A-bewerteten Messwerte die gleichen Rechenregeln wie für unbewertete Größen. Neben der A- wurden im Laufe der Zeit auch noch B-, C- und D-Bewertungskurven eingeführt, da aber die A-Bewertung bei Lautstärken unter 90 dB (also in dem Bereich, mit dem man am meisten zu tun hat) besser dem Lautstärkeempfinden des Menschen entspricht, haben sich diese nie durchgesetzt.

Da meiner Meinung nach jetzt alle wesentlichen Elemente der Psychoakustik näher erläutert wurden, werde ich im Folgenden die Werte eines Versuches präsentieren, welchen ich selbst entwickelt und durchgeführt habe.

Versuch:

Bei den Erkundungen zu meinem Thema der Psychoakustik bin ich recht vielen Messwerten und Statistiken begegnet, eine Frage blieb jedoch völlig unbeantwortet, beziehungsweise über diese habe ich nichts Näheres gefunden:

Was passiert mit der Hörfähigkeit oder Hörempfindlichkeit des menschlichen Ohres, wenn dieses einer kurz andauernden, hohen Belastung (wie dem Hören von lauter Walkman-Musik) ausgesetzt wird?

Wird sie merklich eingeschränkt? Falls ja, für wie lange? Gilt diese Einschränkung oder Verschlechterung der Hörempfindung für alle Frequenzbereiche? Hängt sie vom Alter ab?

Da ich keine näheren Angaben zu diesen Fragen in der mir zugänglichen Literatur gefunden habe, dachte ich mir, dass diese Fragestellung doch recht interessant im Hinblick auf meine Facharbeit wäre.

DIE ZUM VERSUCH NOTWENDIGEN GEGENSTÄNDE UND PROGRAMME

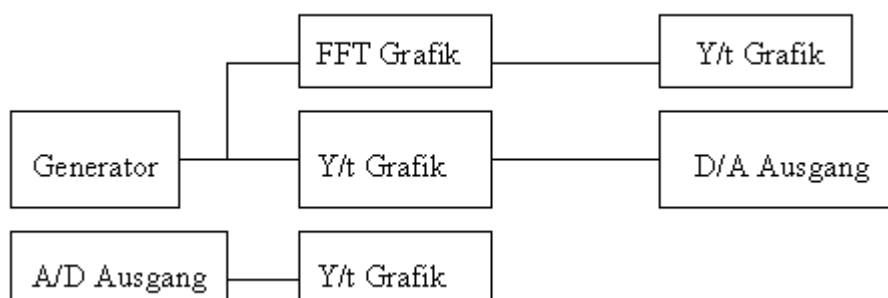
Ein Discman mit Musik CD, ein Ohrmuschelkopfhörer mit Rausch-Filter (für die optimale Übermittlung der Musik), ein Computer mit der Software "DASYLab", ein Knopfmikrophon, ein Kallibrator, ein geeichter Schallpegelmesser und ein zweiter Kopfhörer.

DURCHFÜHRUNG

Zur Beantwortung der oben schon genannten Fragen habe ich folgendes Versuchsmuster zugrunde gelegt:

Die mit dem Computerprogramm DASYLab selbst entwickelte unten stehende Schaltung ermöglichte mir, gezielt einen bestimmten Ton mit einer bestimmten Frequenz gleichmäßig über die Kopfhörer abzuspielen. Zudem konnte ich gleichzeitig über das ebenfalls angeschlossene Knopfmikrophon den erzeugten Ton auf Lautstärke und Genauigkeit prüfen.

Schaltskizze:



Erläuterung der Schaltskizze:

Über den Generator wird ein Ton einer bestimmten Frequenz erzeugt, der einerseits durch die Fourieranalyse und andererseits durch eine normale Y/t Grafik näher erläutert wird. Über das Modul D/A Ausgang ist der Ton anschließend über die Lautsprecher bzw. den Kopfhörer hörbar (oder eben nicht hörbar, falls die Frequenz zu hoch gewählt wurde).

Der zweite Teil der Schaltung besteht nur aus zwei Modulen, dem A/D Ausgang und einer Y/t Grafik. Über das erste Modul kann das Programm mit Hilfe des Knopfmikrophons einen Ton aufnehmen, der über das Modul Y/t Grafik in einem Diagramm dargestellt wird.

Zu Beginn des Versuchs passte ich das Knopfmikrofon, mit Hilfe des Kallibrators, den genauen Versuchsbedingungen an, da ich erst ermitteln musste wie viel der tatsächlichen Lautstärke des abgesandten Tones wirklich durch das Mikrofon an das Computerprogramm DASyLab weitergegeben wird und wie viel auf dem Weg bis zur Analyse verloren geht.

Nun spielte ich meinen Testpersonen nacheinander Töne verschiedener Frequenzen über Kopfhörer vor (100 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz usw.), die sie anschließend näher beschreiben sollten (war der Ton klar hörbar, nur leise zu hören, unangenehm, durchdringend etc?). Wenn ich nun mit der Frequenz in den Bereich der gerade noch hörbaren Töne gekommen war, versuchte ich den Ton mit der höchst möglichen Frequenz zu erfassen, den meine Testperson noch wahrnehmen konnte. Nach der Erfassung dieser höchst möglich hörbaren Frequenz, musste sich meine Testperson einen Musiktitel (Band: Anastacia; Titel: I'm outta love) für genau zwei Minuten mit sehr hoher Lautstärke anhören. Die genaue Lautstärke des abgespielten Stückes erfasste ich mit Hilfe des Schallpegelmessers und zusätzlich zur Sicherheit auch noch mit DASyLab (über das Knopfmikrofon), welche sich auf 85 bis 95 dB belief. Nachdem meine Testperson sich dieser Beschallung unterzogen hatte, spielte ich ihr nun erneut jenen Ton vor, den sie vor der Beschallung gerade noch durchgehend wahrnehmen konnte.

ERWARTUNG

Wenn ich aus dem, was ich im Laufe der Facharbeit über Lärm und Gehörschäden gelesen habe, eine Vermutung für das Ausgehen meines Versuches formulieren müsste, dann würde ich zu aller erst sagen, dass ich von einer Verschlechterung der Hörleistung nach der Beschallung ausgehe. Wie ausgeprägt dies sein wird, kann ich nicht sagen, dennoch vermute ich, dass diese Schädigung nur von kurzer Dauer sein wird, sodass die Testperson vermutlich schon nach kurzer Zeit wieder ebenso gut hört, wie zu Beginn des Versuchs, da bei einer Beschallung von 95 dB eine bleibende Hörschädigung so gut wie ausgeschlossen ist.

ERGEBNISSE

Getestet wurden im Laufe der Versuchsreihe 8 Personen im Alter von 18 bis 55 Jahren, welche sich aufgrund ähnlicher Empfindungen und Profile in drei Testgruppen einteilen ließen.

Testgruppe I (bestehend aus drei Personen):

Profil: 18 Jahre; männlich und weiblich; eher unmusikalisch, da sie kein Instrument spielen

Empfindungen:

1000 Hz	Deutlich hörbar; unangenehm; durchdringend
5000 Hz	Deutlich hörbar; unangenehm; fast schmerzhaft
10000 Hz	Deutlich hörbar; unangenehm
13000 Hz	Deutlich, aber schon etwas leiser hörbar
15000 Hz	Letzter noch wahrnehmbarer Ton, der durchgehend gehört wird; nur bei hoher Konzentration hörbar; äußerst leise
15600 Hz	Nur bei hoher Konzentration und dann auch nur für circa 2 Sekunden hörbar; äußerst leise.

Die Beschallung erfolgte nach dem letzten, durchgehend hörbaren Ton, also nach 15000 Hz. Als ich den Testpersonen, mir inbegriffen, nach dem Anhören des Liedes wieder denselben Ton, also mit einer Frequenz von 15000 Hz, vorspielte, wurde dieser von den Testpersonen für nur noch etwa 1 Sekunde wahrgenommen und verblasste dann schnell. Nach einer Pause von genau zwei Minuten war auch dieser Ton wieder für alle Testpersonen durchgehend hörbar.

Testgruppe II (bestehend aus zwei Personen):

Profil: 18 Jahre alt; weiblich und männlich; sehr musikalisch, da sie schon seit über 10 Jahren ein Instrument spielen (Geige bzw. Klarinette) und einen Gehörbildungskursus belegt haben

Empfindungen:

1000 Hz	Deutlich hörbar; unangenehm; durchdringend
5000 Hz	Deutlich hörbar; unangenehm; recht schmerzhaft

10000 Hz	Deutlich hörbar; unangenehmster Ton aus der Frequenzreihe
15000 Hz	Immer noch laut und deutlich hörbar
17500 Hz	Letzter noch wahrnehmbarer Ton, der durchgehend gehört wird; nur bei hoher Konzentration hörbar; äußerst leise
18000 Hz	Nur bei hoher Konzentration und dann auch nur für circa 1 ½ Sekunden hörbar; äußerst leise.

Diesmal besaß der letzte, durchgehend hörbare Ton eine um 2500 Hz höhere Frequenz (17500 Hz), als bei der ersten Testgruppe. Wiederum ist dieser Wert der maßgebende, welcher sowohl vor, als auch nach der Beschallung vorgespielt wurde. Nach der Beschallung wurde dieser Ton von meinen Testpersonen nicht mehr wahrgenommen. Nach einer Pause von genau zwei Minuten war auch dieser Ton wieder durchgehend hörbar.

Testgruppe III (bestehend aus drei Personen):

Profil: 40 bis 55 Jahre; männlich und weiblich; ein wenig musikalisch, da sie in der Jugend ein Instrument spielten

Empfindungen:

1000 Hz	Deutlich hörbar; unangenehm; durchdringend
5000 Hz	Deutlich hörbar; neutraler Ton; nicht sonderlich unangenehm
10000 Hz	Deutlich hörbar; neutraler Ton; nicht sonderlich unangenehm; durchgehend hörbar
12500 Hz	Letzter noch wahrnehmbarer Ton, der durchgehend gehört wird; nur bei hoher Konzentration hörbar; äußerst leise
13250 Hz	Nur bei hoher Konzentration und dann auch nur für circa ½ Sekunde hörbar; äußerst leise.

Bei den Personen meiner dritten, etwas älteren Testgruppe besaß der letzte, durchgehend hörbare Ton eine Frequenz von "nur" 12500 Hz. Das sind 5000 Hz weniger als bei meiner zweiten Testgruppe. Als dieser Ton

nach der Beschallung wiederholt vorgespielt wurde, war dieser für meine Testpersonen für nur noch etwa 2 Sekunden hörbar, da dieser dann wie bei der ersten Testgruppe sehr schnell verblich. Wie auch bei beiden vorigen, jüngeren Testgruppen, war auch bei dieser Testgruppe der Ton nach einer Pause von genau zwei Minuten wieder durchgehend hörbar.

AUSWERTUNG / KONKLUSION

Die oben vorgestellten Ergebnisse meiner Versuchsreihe, die ich im Folgenden auswerten werde, sind teilweise erwartungsgemäß, andere wiederum hätte ich nicht in dem Ausmaße erwartet.

Wie ich auch zu Beginn der Versuchsreihe vermutete, zeigen die Daten oben, dass Hörempfinden (jedenfalls bei der Messgenauigkeit, mit der ich arbeiten konnte) nicht geschlechterspezifisch ist. Es zeigten sich keine erkennbaren Unterschiede bei männlichen und weiblichen Testpersonen in derselben Testgruppe. Eindeutig hingegen war, dass Frequenzen von älteren Personen zum einen anders, zum anderen auch (in den höheren Frequenzbereichen) schlechter wahrgenommen wurden. Personen der dritten Testgruppe zum Beispiel empfanden einen Ton mit der Frequenz von 10000 Hz keineswegs unangenehm, wohingegen die jüngeren Testpersonen diesen Ton fast schon als schmerzhaft empfunden haben. Ferner verdeutlichen die Tabellen, dass einerseits das Hörvermögen, mit anderen Worten die höchst möglich hörbare Frequenz, mit dem Alter abnimmt und andererseits, dass, was ich durchaus nicht so erwartet hätte, der Bezug zur Musik, also das Training, einen großen Stellenwert besitzt. So hören meine musikalischen Testpersonen im gleichen Alter 2500 Hz höhere Frequenzen, als die, die nie in ihrem Leben ein Musikinstrument gespielt haben. Folglich kann ich die These aufstellen, dass die Hörempfindlichkeit auch trainingsabhängig zu sein scheint.

Im Weiteren kann man sagen, dass die recht laute Beschallung von ca. 90 dB eine, zwar nicht sehr lange, aber doch eindeutig feststellbare Verschlechterung oder Einschränkung der Hörleistung beziehungsweise Hörempfindlichkeit verursacht. So hörten die Testpersonen der zweiten Gruppe, mit dem eher besser ausgebildeten Gehör, den Ton nach der Beschallung überhaupt nicht mehr und die der anderen beiden Gruppen nahmen ihn nur noch für eine sehr kurze Zeit wahr, bevor er völlig verblasste. Bei allen zehn getesteten Personen ist zumindest eine Besonderheit durchweg festgestellt worden, nämlich dass der sofort nach der Beschallung nur eingeschränkt oder gar nicht mehr hörbare Ton nach einer Wartepause von zwei Minuten bei allen wieder durchweg wahrnehmbar wurde. Dies lässt vermuten, dass eine kurzzeitige Beschallung von 90 dB das menschliche Ohr nicht bleibend beeinträchtigt, sondern dass sie lediglich die Hörempfindlichkeit für die nächsten zwei Minuten vermindert (Betäubungs-Effekt).

Im Großen und Ganzen entspricht dies schon dem, was ich erwartet hatte, jedoch hätte ich eine höhere Beeinträchtigung des Hörvermögens für durchaus möglich gehalten.
