

Audiometrie

Anleitung zum Fortgeschrittenen-Praktikum

Stand: 04.07.2013

Institut für Angewandte Physik
Heinrich-Heine-Universität Düsseldorf

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	3
2	Geräte	3
2.1	Analoges Audiometer	4
2.2	Digitales Audiometer	4
2.3	Modulares Audiometer	4
2.3.1	Modulares Audiometer mit einem Funktionsgenerator	5
2.3.2	Modulares Audiometer mit zwei Funktionsgeneratoren	5
2.4	Funktionsgeneratoren	6
3	Versuche	7
3.1	Versuchsdurchführung	7
3.1.1	Zu: Modular, beidohrig	8
3.1.2	Zu: Modular, rechts/links-Aufspaltung	8
3.1.3	Zu: Modular, mit Störquellen	8
3.1.4	Zu: Funktionsgeneratoren mit Lautsprechern	9

1 Einführung

In diesem Versuch des Fortgeschrittenenpraktikums geht es darum, ein grundlegendes Verständnis für die Funktionsweise des Ohres und dessen mögliche Beeinflussung durch äußere Störquellen zu erarbeiten. Im Rahmen dieses Versuchs sollen die durchführenden Studierenden einen Einblick in die Messung von audiometrischen Kenndaten sowohl als Versuchsleiter als auch als Proband bekommen. Dies ist besonders für Studenten der Medizinischen Physik/Biophysik interessant. Dieser Versuch kann als praktische Erweiterung der Vorlesung “Grundlagen der medizinischen Physik” gut als Vertiefung für alle Interessierten dienen.

Ziel ist die Erstellung einiger charakteristischer Hörkurven, von denen einige im klinischen Alltag gebräuchlich, weiterführende aber nur für sehr spezielle Fälle in Gebrauch sind.

2 Geräte

Zur Erstellung der gesuchten Hörkurven kommen vier Versuchsaufbauten/Systeme zum Einsatz:

- Ein analoges Audiometer der Marke “Oscilla”, mit zugehörigem schalldämpfendem Kopfhörer (“Peltor H7A”)
- Ein digitales Audiometer (“Oscilla USB 330”), das in einen USB-Kopfhörer integriert ist und mit dem im Versuchsraum installierten PC verwendet wird.
- Ein modular aufgebauter Messplatz, mit dem genauere und weiterführende Messungen möglich sind. Auf diesem Messplatz soll das Hauptaugenmerk dieses Versuchs liegen.
- Ein Messplatz bestehend aus zwei Funktionsgeneratoren (“Hameg HMF2525 & Hameg HM8150”), die an einen Vorverstärker der Marke “renkforce” und zwei Boxen (“Magnat”) angeschlossen sind.

Diese vier Systeme sollen nun kurz im Aufbau skizziert werden, um danach von den Studierenden eigenverantwortlich zum Erreichen der Ergebnisse eingesetzt zu werden.

Wenn sich mit einem Audiometer vertraut gemacht wurde, sollten die entsprechenden Messungen vorgenommen werden, bevor man sich dem nächsten Gerät zuwendet. Lesen Sie die Anleitung komplett durch, um sich ein Bild davon zu machen, welche Messungen gemacht werden sollen und welche der verschiedenen Aufbauten Sie für welche Messung verwenden können.

2.1 Analoges Audiometer

Es handelt sich hier um ein Audiometer, wie es im Klinikalltag oder in HNO-Praxen häufig verwendet wird. Die Frequenzen sind nicht frei einstellbar, es gibt nur 11 voreingestellte Frequenzen, die jeweils rechts und links einzeln abgefragt werden können.

Stellen Sie sicher, dass das Hauptgerät "Oscilla SM910-B" mit der Steckdose und dem Kopfhörer "PeltorH7A" über die zwei gekennzeichneten Klinkenanschlüsse verbunden ist.

Machen Sie sich nun mit dem Gerät vertraut. Falls die Anleitung benötigt wird, liegt diese im Versuchsraum bereit.

Der Proband kann dem Versuchsleiter über den Drücker, der ein Licht am Hauptgerät auslöst, Bescheid geben, wenn er einen Ton hört. Hier muss der Versuchsleiter den jeweiligen Wert notieren. Der Proband sollte mit dem Rücken zum Gerät sitzen, um nicht durch möglicherweise abgelesene Einstellungen oder Bewegungen des Versuchsleiters beeinflusst zu werden.

2.2 Digitales Audiometer

Das digitale Audiometer (Oscilla USB-330, USB-Kopfhörer, ein Gerät) besitzt die gleichen voreingestellten Klinik-Norm-Abfragefrequenzen wie das analoge Audiometer.

Schalten Sie den im Raum vorhandenen PC ein, und wählen Sie auf dem Desktop das Programm "Audio Console" aus. Erstellen Sie durch Drücken auf den Button mit dem Plus-Zeichen einen neuen Prüfer, Sie! Danach können Sie einen neuen "Patienten" erstellen, nämlich Ihren Praktikumpartner.

Wenn Sie fertig sind, klicken Sie links oben auf den Button "Start Test", und wählen Sie danach unten rechts den Button "Auto". Nun werden alle Frequenzen nacheinander alternierend automatisch abgerastert.

Der Proband kann hier durch den Drücker Werte sofort im Programm bestätigen. Der Versuchsleiter muss also zwischen den einzelnen Frequenzen keine Werte notieren. Erst im Anschluss sollten ein Screenshot gespeichert sowie die Werte per Hand notiert werden, damit selber ein Graph erstellt werden kann. Der Versuchsleiter sollte dafür sorgen, dass auch hier der Bildschirm vom Probanden nicht eingesehen werden kann.

2.3 Modulares Audiometer

Der modulare Aufbau besteht aus zwei Hand-Funktionsgeneratoren der Marke "NTI Audio Minirator MR-PRO". Für die ausführliche Hörschwellenmessung wird nur ein Funktionsgenerator (im Folgenden "FG" genannt) benötigt; wenn man Störsignale hinzuschalten will, wird der zweite (baugleiche) FG sowie das Mischpult "Behringer Xenyx208" benötigt.

Diese Funktionsgeneratoren werden hier als Audiometer verwendet.

2.3.1 Modulares Audiometer mit einem Funktionsgenerator

Verbinden Sie den FG über das zugehörige Netzteil (“MR2-MR-PRO-DR2”) mit der Steckdose. Stecken Sie nun in den XLR-Ausgang (3-polig, mittig an der Unterseite des Gerätes) den Dämpfer mit der Aufschrift “MR -40dB”. Dieser Dämpfer sollte bei beiden Geräten zu allen Zeiten eingesteckt sein, um Unfälle, die zu Gehörschäden führen können, zu vermeiden.

Stecken Sie nun den “female-female”-XLR-Verbindungsstecker auf den Dämpfer. Darauf wird ein “XLR auf 2 Klinke” Kabel mit der Bezeichnung “BC15 INC” gesteckt. In dieses kann nun der Kopfhörer “Peltor H7A” gesteckt werden, der bereits mit dem analogen Audiometer verwendet wurde.

Machen Sie sich nun mit dem Gerät vertraut, die Bedienungsanleitung liegt im Versuchsraum bereit.

Unter der Option “wave” sollen Sie “sinewave” auswählen, mit den Tasten “Freq” und “Level” können Sie dann die Frequenz bzw. die Lautstärke des ausgehenden Signals regeln.

2.3.2 Modulares Audiometer mit zwei Funktionsgeneratoren

Für den Aufbau mit zwei Funktionsgeneratoren müssen Sie diese mit Hilfe des Mischpultes parallel schalten. Dazu gehen Sie wie folgt vor:

Verbinden Sie beide Funktionsgeneratoren über den Dämpfer mit jeweils einem der zwei identischen “female-male”-XLR-Kabel. Dieses stecken Sie nun jeweils in den XLR-Input der Spuren 1 und 2 des Mischpultes, die mit “MIC” gekennzeichnet sind.

Achten Sie darauf, dass alle Drehregler dieser beiden Spuren (mit Ausnahme des roten “FX”-Reglers und des weißen “Level”-Reglers) auf neutraler 12-Uhr-Position stehen.

Stecken Sie nun das Kabel mit der Aufschrift “Cordial Microphone Cable CMN220” in die Buchse des Mischpultes, die die Aufschrift “Phones” trägt. An die zwei Ausgänge kann nun wieder der Kopfhörer “Peltor H7A” angeschlossen werden.

Beachten Sie bitte, dass vor der Verwendung dieses Setups eine Kalibrierung nötig ist, siehe dazu Kapitel 3.1.3.

2.4 Funktionsgeneratoren

Dieser Aufbau besteht aus den beiden Funktionsgeneratoren “Hameg HMF255” & “Hameg HM8150”. Dabei wird der untere von beiden, der “HMF255” als Signalgeber benutzt, der vom oberen FG “HM8150” per Gate-Funktion gesteuert werden kann.

Die Buchse “Signal Output” des oberen FGs sollte nun mit der Buchse “Gate Input” des unteren FGs verbunden werden. Die Buchse “Signal Output” des unteren FGs sollte mit einem Kabel auf eine bereitliegende Weiche führen, die das Signal auf zwei Kabel aufspaltet und anschließend in die “Signal Input R/L”-Buchsen des Verstärkers (“renkforce”) führt.

Nun sollten die FGs betriebsbereit sein.

Sollte der “HM8150” nach dem Betätigen des Power-Knopfes einmal nur ein weißes Bild auf dem Display zeigen, schalten Sie ihn aus, trennen ihn vom Strom und halten Sie in ausgeschaltetem Zustand den Power-Knopf für mindestens 5 Sekunden gedrückt. Verbinden Sie das Gerät danach wieder mit der Steckdose und schalten Sie es ein.

3 Versuche

Ziel der oben beschriebenen Aufbauten ist es, Hörkurven aufzunehmen, also $f-L$ Graphen, in denen für jede Frequenz f die Lautstärke L aufgetragen ist, ab der der Proband den entsprechenden Ton wahrnehmen kann. ¹

Nun sollen folgende Kurven mindestens einmal aufgenommen werden:

- Einfaches analoges Audiogramm, rechts/links
- Einfaches digitales Audiogramm, rechts/links
- Ausführliches Audiogramm, beide Ohren
- Ausführliches Audiogramm, rechts/links
- Ausführliches Audiogramm: Tagesform ²
- Audiogramm mit Weißem Rauschen als Störquelle
- Audiogramm mit Reinton als Störquelle
- Messkurve/Tabelle für Pausendauer/Tondauer-Wahrnehmung in direkter Gegenüberstellung mit physikalischer Dauer.

Die für diese Aufnahmen zu nutzenden Verfahren sollen von den Durchführenden selber dem Ziel entsprechend gewählt und eingesetzt werden. Offensichtlich werden für die Audiogramme mit Störquelle jeweils zwei parallel geschaltete Audiometer benötigt.

Jeder Studierende sollte seinen Partner jeweils mindestens einmal in jedem obigen genannten Punkt vermessen haben. Zusätzlich können die einzelnen Messungen beliebig oft wiederholt werden, um im Bericht weitere statistische Schwankungen neben der Tagesform-Gegenüberstellung zu untersuchen. Für den Bericht sollen die Audiogramme verwendet werden, die als **Vermessender** aufgenommen wurden.

3.1 Versuchsdurchführung

Es ist sinnvoll, mit dem analogen Audiometer zu beginnen, um ein grundlegendes Gefühl für den Sachverhalt zu erlangen. Eine etwas fortschrittlichere Variante dieses Verfahrens ist dann das digitale Verfahren. Die Aufnahmen mit dem modularen Audiometer sollten anschließend verwendet werden, um die gewonnenen Einblicke so weit wie möglich zu verfeinern. Mit den Funktionsgeneratoren und den Lautsprechern wird anschließend die menschliche Wahrnehmung von Pausen- und Tondauerunterschieden versucht zu vermessen.

Die Durchführung ist (außer beim Aufbau aus 2.4) jeweils folgendermaßen vorzunehmen:

¹Für Beispiele und Orientierungshilfen sehen Sie sich die im Literaturverzeichnis angegebene Vorbereitungsliteratur und/oder die im Versuchsraum ausgehängten Info-Blätter an.

²Um eine Schwankung in der Tagesform bei Probanden zu detektieren, sollte die Messung des ausführlichen Audiogramms (beide Ohren) an mindestens zwei verschiedenen Tagen stattfinden. Die an verschiedenen Tagen aufgenommenen Audiogramme können danach im Bericht gegenübergestellt werden.

- Dem Ziel entsprechende Auswahl des Geräte-Setups
- Einteilung der beteiligten Personen in Versuchsführer und Proband
- Vermessen der Hörschwelle des Probanden
- Auftragung der Ergebnisse in einem $f - L$ Diagramm

Um eine Frequenz zu vermessen, geht man folgendermaßen vor: Wenn die jeweilige Frequenz eingestellt ist, wird die Intensität von einem sehr kleinen Wert (der für den Probanden nicht hörbar ist) vom Versuchsleiter langsam erhöht, bis die sogenannte Hörschwelle erreicht ist, der Proband den Ton also gerade eben wahrnehmen kann. Dieser Wert wird notiert, um mit allen aufgenommenen Frequenzen ein $f - L$ Diagramm zu erstellen.

Hierbei ist darauf zu achten, wie das Frequenzspektrum abgerastert wird: beim analogen und digitalen Audiometer sind die Frequenzen vorgegeben, beim modularen Aufbau muss jedoch protokolliert werden, wie gemessen wird. Es spielt keine Rolle, ob das Frequenzspektrum von kleinen zu großen Frequenzen hin abgerastert wird oder umgekehrt (oder sogar in völlig zufälliger Reihenfolge, was die bevorzugte Durchführung darstellt), jedoch sollte die Vorgehensweise im Bericht dokumentiert werden. Diese verschiedenen Herangehensweisen sollen auf Unterschiede hin verglichen werden. Versuchen Sie auch eine Erklärung zu finden, warum die Frequenzen mit kleiner Intensität hochgefahren werden und nicht von laut nach leise runtergefahren werden.

3.1.1 Zu: Modular, beidohrig

Für den modularen Aufbau sollten ca. 50 verschiedene Frequenzen zwischen 20 Hz und 20 kHz vermessen werden. Um vernünftige Frequenzen zu finden, sollten einige Probenmessungen durchgeführt werden, damit abgewägt werden kann, in welchen Abständen die Frequenzen liegen sollten.

3.1.2 Zu: Modular, rechts/links-Aufspaltung

Bei den Messungen für eine rechts/links-Aufspaltung mit modularem Aufbau kann einfach jeweils ein Kabel des Kopfhörers aus der Buchse gezogen werden, so dass das Signal nur noch auf einem Ohr ankommt. Zu Schalldämpfungszwecken sollte der Kopfhörer allerdings zu jeder Zeit beide Ohren abdecken.

3.1.3 Zu: Modular, mit Störquellen

Bei den Messungen mit Störquellen, für die zwei Geräte benötigt werden, sollte die reguläre Hörschwelle jeweils dreimal durchgemessen werden: einmal ohne Störsignal (als Referenz), jedoch durch den Aufbau mit Mischpult, damit die drei verschiedenen Reihen unter gleichen Voraussetzungen aufgenommen werden können. Dann sollte die Hörschwelle zweimal

mit verschiedenen lauten Störsignalen ermittelt werden.³ Vorher muss jedoch das Signal kalibriert werden, damit später die Mischpult-Messungen mit den Messungen ohne Mischpult vergleichbar sind.

Hierzu geht man folgendermaßen vor:

1. Messung der Hörschwelle des Probanden bei einer Referenzfrequenz zwischen 1-2 kHz (hier hört das menschliche Ohr am Besten) im Setup OHNE Mischpult.
2. Umbau auf Mischpult-Setup
3. Erneute Messung der Hörschwelle bei dieser Referenzfrequenz, diesmal jedoch durch Erhöhung der Masterlautstärke am Mischpult. Der Pegel des FGs, mit dem in Schritt 1 die Hörschwelle vermessen wurde, wird nicht verändert.
4. Nun sollte die Lautstärke des Mischpultes so eingestellt sein, dass die absolute Hörschwelle mit und ohne Pult zum gleichen Ergebnis führt.
5. Es ist darauf zu achten, dass die Spuren beider Frequenzgeneratoren am Mischpult nach der Kalibrierung exak gleiche Einstellungen (Lautstärke, EX) besitzen. Es reicht, eine Spur zu kalibrieren und die zweite den Einstellungen anzupassen.

3.1.4 Zu: Funktionsgeneratoren mit Lautsprechern

Bei diesem Aufbau gilt es, mit Hilfe des gegateten Signals auszumessen, wie der Mensch Ton- und Pausendauer unterschiedlich wahrnimmt.⁴

Nach dem erfolgreichen Aufbau der Funktionsgeneratoren (siehe auch Abschnitt 2.4) kann man nun am unteren FG (“Hameg HM8150”) eine beliebige Sinusfrequenz einstellen, mit der man den Versuchen durchführen möchte (es bietet sich ein gut von Außengeräuschen trennbares Signal an, zum Beispiel $f = 1\text{kHz}$).

Links unten am FG ist der Knopf “Gated” zu aktivieren (aktivierte Optionenschalter leuchten weiß). Außerdem muss, um ein Signal hören zu können, der Knopf “Output” rechts oben aktiviert sein.

Am oberen FG (“Hameg HMF2525”) soll nun eine Rechteckfunktion ausgewählt werden (allerdings jene mit unterschiedlichen Phasendauern). Hier kann nun über den Bedienungsbildschirm eine Taktfrequenz ausgewählt werden, in der das Signal des unteren FGs an- und ausgeschaltet wird.⁵

Über die Option “Tastverhältnis” (auf dem Bildschirm abgekürzt mit “Tastverh.”) kann nun ein prozentuales Verhältnis aus Tondauer und Pausendauer eingestellt werden. Dieses ist

³Vernünftige Intensitätswerte für Weißes Rauschen- und Reintonstörsignale können den Quellen entnommen oder durch Ausprobieren selber gefunden werden.

⁴siehe auch Info-Blätter im Versuchsraum oder Literatur.

⁵Bei Fragen zur Bedienung der FGs liegen im Versuchsraum die entsprechenden Bedienungsanleitungen bereit.

gleichzeitig auf dem Bildschirm grafisch beobachtbar. Bei einem Verhältnis von 50% sind Ton und Pause physikalisch exakt gleich lang.

Variieren Sie das Tastverhältnis zwischen 10% und 90%. Nun gilt es zu ermitteln, ob der Proband dieses Verhältnis ebenso empfindet oder ob das menschliche Gehör eine davon abweichende Wahrnehmungsfähigkeit aufweist.

Es gibt drei Fixpunkte, die der Proband mit Sicherheit subjektiv bestimmen kann:

- $\Delta t_{Pause} > \Delta t_{Ton}$
- $\Delta t_{Pause} = \Delta t_{Ton}$ oder
- $\Delta t_{Pause} < \Delta t_{Ton}$.

Aus diesen drei Punkten soll nun wahlweise ein Diagramm oder eine Tabelle erstellt werden (entscheiden Sie selber was sinnvoller ist und wie sie die Ergebnisse präsentieren wollen), das/die die reale Tondauer der subjektiv wahrgenommenen Tondauer gegenüberstellt. Es sollte gut erkennbar sein, dass die beiden sich nicht gleichen. Erläutern Sie, woran das liegt. Dieser Effekt tritt besonders bei kurzen Tondauern auf. Gibt es eine Tondauerschwelle, ab der dieser Effekt nicht mehr zu beobachten ist?

Probieren Sie als Taktfrequenz des Gatesignales verschiedene Werte zwischen 0,5 Hz und 5 Hz.

Literatur

- [Görn] GÖRNE, THOMAS: *Tontechnik*, Carl Hanser Verlag, Leipzig 2006
- [Heinz] HEINZEL, THOMAS: *Skript zur Vorlesung "Grundlagen der medizinischen Physik"*, Düsseldorf 2008
- [How] HOWARD, DAVID M., ANGUS, JAMIE: *Acoustics and Psychoacoustics*, Focal Press, Oxford 2006
- [Pier] PIERCE, JOHN R.: *Klang: Musik mit den Ohren der Physik*
- [Roed] ROEDERER, JUAN G.: *Physikalische und psychoakustische Grundlagen der Musik*
- [Zwic1] ZWICKER, EBERHARD: *Psychoakustik*, Springer-Verlag, Berlin 1982