



Messtechniklabor: Versuch V15

Psychoakustische Geräuschbeurteilung von Ventilatoren mit dem semantischen Differential

Gruppe:

| | Name | Vorname | Matr.- Nr. |
|----|------|---------|------------|
| 1. | | | |
| 2. | | | |
| 3. | | | |
| 4. | | | |
| 5. | | | |
| 6. | | | |
| 7. | | | |
| 8. | | | |

Tag des Versuchs:

Teilnahme am Versuch:

Korrekturhinweise:

Endtestat:

1. Ziel des Laborversuchs und Vorbereitung durch die Teilnehmer

Ziel des Laborversuches ist es, die Laborteilnehmer mit psychoakustischen Hörversuchen vertraut zu machen. Die Teilnehmer lernen den grundlegenden Ablauf eines psychoakustischen Hörversuchs von der Erstellung über die Durchführung bis zur statistischen Auswertung anhand einer ausgewählten Methode kennen.

2. Grundlagen

2.1 Psychoakustik

Die rein physikalische Beschreibung eines Schallereignisses reicht zur akustischen Auswahl technischer Produkte in der Regel nicht aus. Die Psychoakustik als Teildisziplin der Psychophysik beschreibt Zusammenhänge zwischen physikalischen Schallreizen und den durch diese hervorgerufenen Empfindungen der Hörer [1]. Der Zusammenhang zwischen Reiz und Empfindung wird neben zeitlichen und spektralen Eigenschaften des Schalls von unzähligen weiteren Attributen bestimmt. So kann die Farbe eines technischen Produkts oder die Einstellung des Hörers (generelle Einstellung zu dem Produkt, persönlicher Nutzen etc.) bereits einen beträchtlichen Einfluss auf die Beurteilung haben.

Um ein besseres Verständnis für die Beurteilung von Geräuschen eines technischen Produkts zu erhalten, wird mit Hilfe von psychoakustischen Hörversuchen ein Zusammenhang zwischen physikalischen Größen (wie z.B. dem mit einem einfachen Messgerät messbaren emittierten Schalldruck) und der subjektiven Beurteilung durch einen Hörer gesucht.

2.2 Hörtests: Paarvergleich und semantisches Differential

Häufig verwendete Hörtests sind der sog. Paarvergleich und das sog. semantische Differential. Beim Paarvergleich werden jeweils nur zwei Geräusche hinsichtlich einer charakteristischen Eigenschaft verglichen ("Welches der beiden Geräusche ist angenehmer?"). Obwohl diese Methode als intuitiver empfunden wird, weil derartige Vergleiche häufig im Alltag anzutreffen sind, wird die Methode des semantischen Differentials häufiger eingesetzt. Bei dieser Methode werden mehrere Geräuschcharakteristika ("Dimensionen") abgefragt, z.B. "laut - leise" und "schwankend - nicht schwankend". Je nach Dimension werden unipolare oder bipolare Skalen eingesetzt, [2]. In Bild 1 oben sind zwei Beispiele für eine siebenstufige *unipolare* Skala, im gleichen Bild unten für eine siebenstufige *bipolare* Skala dargestellt. Generell ist für jede Dimension eines zu beurteilenden Geräuschs eine eigene Skala erforderlich.

Zur umfassenden Analyse und Bewertung von Geräuschen ist die Methode des semantischen Differentials besser geeignet. Im Paarvergleich wird nur eine Dimension (bspw. "angenehm") abgefragt; um eine vergleichbare Aussage wie mit dem semantischen Differential zu erhalten, müsste daher der Paarvergleich für jede Dimension getrennt durchgeführt werden.

2.3 Geräuschquellen: Ventilatoren

In diesem Versuch wird das Geräusch von Ventilatoren psychoakustisch beurteilt. Ventilatoren finden sich als Komponente in vielen Geräten in unserem Alltag wieder. So sind sie beispielsweise in verschiedenen Haushaltsgeräten (Dunstabzugshaube, Spülmaschine, etc.), Lüftungs- und Klimageräten oder auch in Wärmepumpen eingebaut. Verschiedene Bautypen wie Axial-, Radial-, Diagonal- oder Querstromventilator sind gebräuchlich.

Ventilatoren fördern Luft und bauen dazu eine Druckerhöhung auf. Ein beschauftes Laufrad als wichtigstes Bauteil des Ventilators überträgt die mechanische Energie von der Welle auf das Fluid. Das Ventilatorgeräusch setzt sich zusammen aus Antriebsgeräuschen (des Motors, der Lagerung etc.) und aeroakustischen Geräuschen, die durch die Strömung in der Maschine selbst verursacht werden.

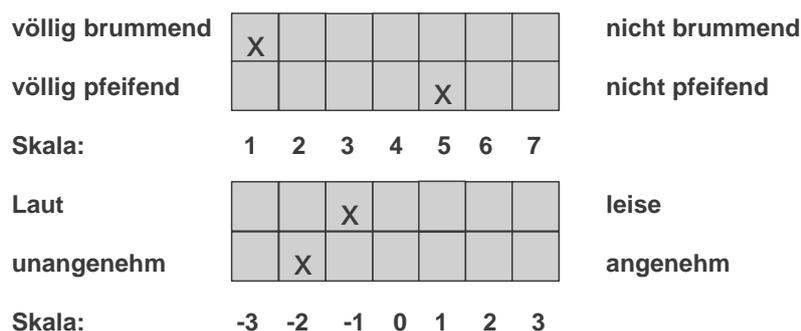


Bild 1: Beispiel für unipolare und bipolare siebenstufige Skalen

3. Hörstudio

Die wichtigste Eigenschaft einer psychoakustischen Testumgebung ist ein möglichst ruhiges Umfeld. So wurde bei der Einrichtung des Hörstudios der Universität Siegen (Bild 2) darauf geachtet, die Nachhallzeit, die durch reflektierende Flächen bestimmt wird, zu reduzieren.



Bild 2: Hörstudio der Universität Siegen

Um dies zu erreichen, wurde die Decke mit schallabsorbierenden Platten verkleidet und der Boden mit Teppichboden belegt. Den Reflexionen durch die Fensterfronten wurde mit akustisch wirksamen Gardinen entgegengewirkt, die gleichzeitig lichtdurchlässig sind, um möglichst viel natürliches Licht zu ermöglichen. Im Hörstudio der Universität Siegen stehen mehrere Individualhörplätze mit qualitativ hochwertigen Kopfhörern zur Verfügung.

3.1 Individualhörplatz

Ein Individualhörplatz besteht aus einem Tablet-PC (Terminal), einem Wiedergabemodul sowie dem Kopfhörer (Bild 3). Das Wiedergabemodul labP2[®] ermöglicht die Wiedergabe von korrekt entzerrten Aufnahmen. An einem Modul können maximal zwei Kopfhörer angeschlossen werden. Der Kopfhörer HD 650[®] von Sennheiser ist ein offener dynamischer Kopfhörer. Zur gehörrichtigen Wiedergabe wurde jeder Kopfhöerausgang passend zum Wiedergabemodul entzerrt und kalibriert. Eine Entzerrung bzw. eine Filterung des Geräuschsignals ist notwendig, weil die Position der Mikrofonmembran im Messraum nicht der Position der Kopfhörermembran im Wiedergaberaum entspricht [3]. Erst durch eine Entzerrung kann einer Person bei der Wiedergabe über Kopfhörer der Eindruck vermittelt werden, sich im Schallfeld der Aufnahmesituation zu befinden. Die Kalibrierung des Kopfhöerausgangs wird benötigt, um die Geräusche mit dem der Aufnahme entsprechend korrekten Pegel wiederzugeben. Eine Kalibrierung wurde sowohl elektrisch als auch akustisch durchgeführt. Die Kalibrierwerte sind jedoch vor jeder Messung nochmals mit einem definierten Signal elektrisch zu überprüfen.



Bild 3: Individualhörplatz im Hörstudio der Universität Siegen

3.2 Master-PC

Der Master-PC wird zur Versuchsvorbereitung, zur Versuchssteuerung und zur anschließenden statistischen Versuchsauswertung genutzt. Der Master-PC ist in einem separaten Raum untergebracht. Die Geräusche werden auch am Master PC über das Wiedergabemodul labP2[®] sowie den Kopfhörer HD 650[®] wiedergegeben,

3.3 Software

SQuare[®] ist eine modular aufgebaute Software des Unternehmens HEAD acoustics zum Design verschiedener Hörtests. Neben individuellen Tests, wie sie in diesem Hörstudio durchgeführt werden, können ebenfalls Gruppen- oder Interaktiv-Tests durchgeführt werden. Beim Individualmodus ist jeder Hörplatz mit einem eigenen Wiedergabemodul ausgestattet. Die Aussteuerung und Entzerrung wird automatisch von der Software gesteuert. Durch die individuelle Steuerung der Wiedergabemodule hat jeder Testteilnehmer die Möglichkeit, die Geräusche mehrfach anzuhören oder nochmals zu einer vorhergehenden Bewertung zurückzugehen. Beim Gruppenmodus haben die Testteilnehmer keinen Einfluss auf Abspieldauer und -zeitpunkt der Geräusche.

4. Versuchsdurchführung und Versuchsbericht

4.1 Messung von Geräuschen für den Hörversuch

Die Versuchsteilnehmer vermessen ein Ventilatorsystem im Hörstudio des Instituts für Fluid- und Thermodynamik. Als Messgerät wird das Kunstkopfmesssystem HSU III.2 und das Aufnahmesystem SQuadriga II verwendet. Die Geräuschquelle wird in einem von den Teilnehmern erstellten Versuchsaufbau vermessen und ausgewertet. Weitere Geräuschdaten von vergleichbaren Ventilatorsystemen werden zur Verfügung gestellt. Mittels der Software ArtemiS Suite werden die Geräusche akustisch verglichen.

4.2 Aufbau eines semantischen Raumes zur Beschreibung der gemessenen Geräusche

Nach der Vermessung und Analyse der Geräusche bereiten die Versuchsteilnehmer ihren Hörversuch vor, in dem sie passende Adjektivpaare zur Beschreibung und Bewertung finden. Hierfür bereiten sie die Wiedergabe der Geräusche mittels Kopfhörer über die Software SQuare[®] vor [vgl. Bild 4 c) Auswahl "Presentation" anstatt "Semantic Differential"]. Während der Wiedergabe notiert jeder Teilnehmer alles, was ihm zu den Geräuschen einfällt. Im Anschluss daran treffen die Versuchsteilnehmer eine finale Auswahl der am häufigsten genannten Adjektive und bilden entsprechende Gegensatzpaare.

4.3 Durchführung eines Hörversuchs

Die Versuchsteilnehmer führen einen Hörversuch mit den von ihnen vermessenen Geräuschen durch. Die Beurteilung wird über die Software SQuare[®] realisiert. Als Versuchsmethode wird das semantische Differential gewählt. Die hierfür benötigten Adjektivskalen wurden in 4.2. bestimmt. Die notwendigen Schritte sind dem nachfolgenden Bild 4 zu entnehmen. Der Versuch soll aus vier verschiedenen Geräuschen und sieben Attributspaaren bestehen.

Die Versuchsteilnehmer beginnen die Erstellung mit dem Öffnen des sogenannten Import Wizard in SQuare[®] (Bild 4 a)). Dort werden sie Schritt für Schritt durch die Versuchserstellung geführt. Im ersten Schritt wird ein Dateiname des Versuches gewählt. Der Versuch ist in Form "ddmmyy_Gruppexy" zu benennen. Im nächsten Schritt müssen die vier Geräusche über "add" hinzugefügt werden. In c) wählen die Versuchsteilnehmer den Testtyp aus. Für den Versuch wird das "Semantic Differential" genutzt. Im letzten Schritt werden die Skalen definiert. Hierzu müssen zunächst die Attribute dem Versuch über die Schaltfläche "add" hinzugefügt werden (Bild 4 d). Als weitere Definition muss in Bild 4 e) angegeben werden, ob es sich um eine siebenstufige bipolare Skala ("7 levels bipolar") oder unipolare Skala ("7 levels") handelt.

Im Versuchsdesigner müssen die Skalen noch weiter an den Versuch angepasst werden. Die Benennung der Skalenstufen wird durch den "Import Wizard" mit Zahlenwerten versehen. Die Grenzen der Skalenstufen müssen zur korrekten Darstellung umbenannt werden. Entsprechend der Zuordnung in Bild 1, wird die Benennung "-3" bzw. "1" durch Attribute, die eine negative Beurteilung darstellen, ersetzt. Die Benennung "3" bzw. "7" entspricht dem entgegen gesetzten Attribut. So wird beispielsweise "-3" durch "laut" und "3" durch "leise" ersetzt.

Vor der Durchführung des Hörversuches muss überprüft werden, ob eine pegelrichtige Wiedergabe gewährleistet wird. Die Hardware wird in regelmäßigen Abständen kalibriert. Vor jedem Versuch sind die eingestellten Kalibrierwerte elektrisch zu überprüfen. Hierfür wird die am Kopfhörerausgang anliegende Spannung bei einem auf 65 dB(SPL) eingestellten 1 kHz Ton mit einem Multimeter gemessen.

4.4 Auswertung des Hörtests

Die Auswertung erfordert folgende Schritte:

- a) Laden Sie die Ergebnisse als Excel Files aus dem Results-Manager von SQuare herunter. Bestimmen Sie zunächst die Reliabilität der Versuchsteilnehmer.
- b) Bestimmen Sie: Mittelwert, Standardabweichung, Median, oberes und unteres Quartil, Häufigkeitsverteilungen sowie Extremwerte. Beantworten Sie die Frage, wann Sie den Median dem Mittelwert vorziehen sollten. Wie wurden die Geräusche beschrieben und bewertet?
- c) Suchen Sie Zusammenhänge zwischen den Beurteilungen auf den einzelnen Adjektivskalen. Nutzen Sie hierfür Korrelationskoeffizienten. Gibt es Zusammenhänge zwischen der Bewertung und der Beschreibung von Geräuschen?

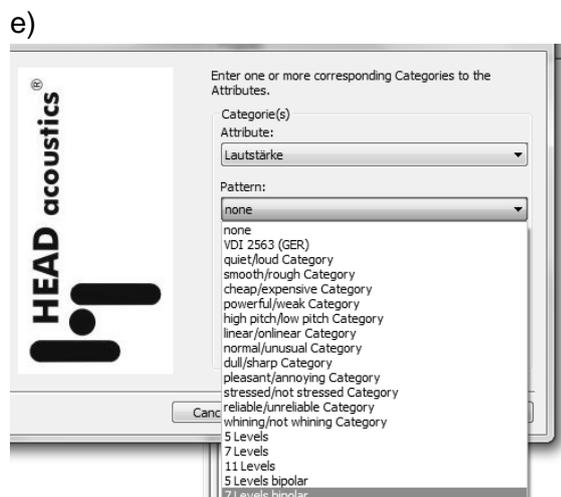
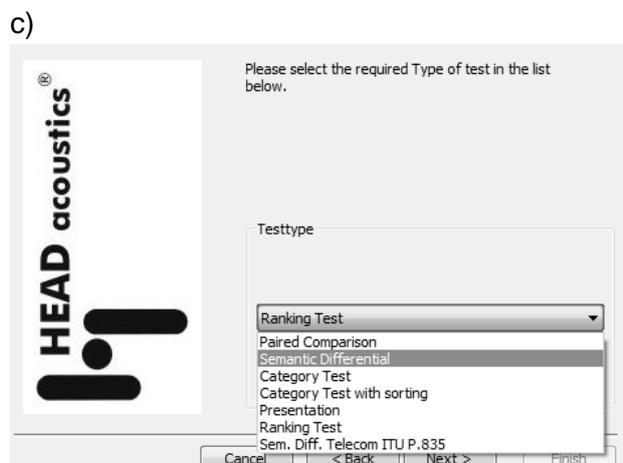
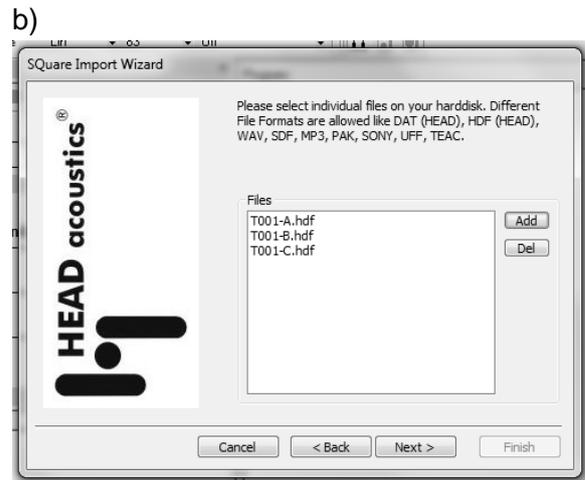
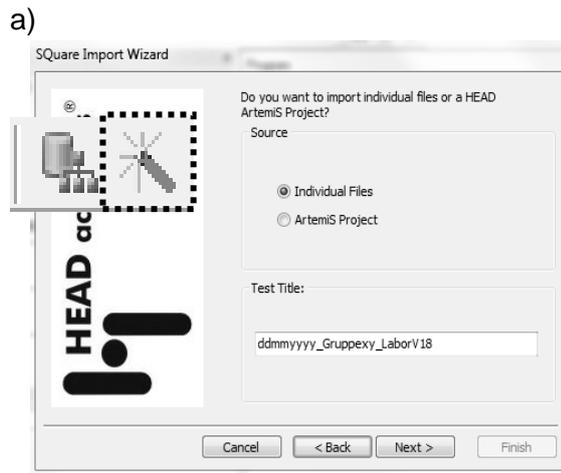


Bild 4: Vorgehensweise zur Erstellung eines Versuchs mit semantischem Differential im Import Wizard der Software SQuare. a) Auswahl der Schaltfläche (oben links) und Dateibenennung, b) Geräuschauswahl, c) Auswahl des Testtyps "Semantic Differential", d) Eingabe der Attribute e) Wahl der Skalen für jedes Attribut

4.5 Versuchsbericht (alternativ Teilnahme an Hörversuchsstudie, siehe 4.7. Sonstiges)

Gliederung

Deckblatt mit am Versuchstag eingetragenen Namen

1. Versuchsbeschreibung

1.1 allgm. Beschreibung des Aufbaus eines semantischen Differentials

1.2. Beschreibung des Versuchsablaufs (Messung Geräusche bis Hörversuchsauswertung)

2. Beurteilung der Reliabilität der Teilnehmer nach a)

3. Ergebnisprotokoll nach Aufgabe b)

4. Auswertung der Aufgabe c)

4.6 Fragen zur Versuchsvorbereitung

Bitte arbeiten Sie das Skript sorgfältig vor dem Versuch durch und klären Sie für das Prüfungsgespräch mit dem Versuchsbetreuer folgende Fragen bzw. Aufgaben:

- a) Nennen und beschreiben Sie die im Skript vorgestellten Hörversuchsmethoden.
- b) Erläutern Sie die Unterschiede zwischen bipolaren und unipolaren Skalen.
- c) Was ist eine Korrelation?
- d) Was beschreibt die Reliabilität?
- e) Beschreiben Sie die Begriffe Mittelwert, Median, unteres und oberes Quartil und Standardabweichung.
- f) Was wird in der Akustik gemessen? Wie hängt dieser Messwert mit der Angabe in "dB" zusammen? Was bedeutet dB(A)?

4.7 Sonstiges

- *Teilnahme an Hörversuch:* Anstelle eines Versuchsprotokolls kann der Versuchsteilnehmer alternativ an einer Hörversuchsstudie teilnehmen. Individuelle Termine können auch bereits vor der Durchführung dieses Messtechnikversuches erfragt werden.
- *Abgabefrist:* Bis zwei Wochen nach dem Laborversuch 12 Uhr. Für Abgabetermine, die in die vorlesungsfreie Zeit fallen, sind gesonderte Regelungen zu erfragen.
- *Abgabeort:* Hölzerner Kasten an der Wand vor dem Labor PB-D-0102 (Gebäudeteil mit den Laboren).
- *Anerkennung und Korrektur:* Aushang mit Anerkennung/Rücksprache/Durchgefallen-Vermerk vor dem Raum PB-D0117 bis ca. zwei Wochen nach Abgabefrist des Berichts. Ist der gesamte Laborbericht anerkannt, ist für alle eingetragenen Teilnehmer der Versuch bestanden. Rücksprache erfolgt im Raum PB-D0117/1.
- *Abholung anerkannter Berichte:* Anerkannte Berichte können ab drei Wochen nach dem letzten ausgeschriebenen Laborversuch des Semesters abgeholt werden. Nicht abgeholte Berichte werden voraussichtlich vor dem darauf folgenden Semester vernichtet.
- *Rückfragen:* Laborbetreuer siehe Institutshomepage IFT.

5. Literatur

- [1] E. Zwicker, Psychoakustik, Berlin: Springer Verlag, 1982
- [2] K. Genuit, Sound Engineering im Automobilbereich, Berlin: Springer Verlag, 2010
- [3] HEAD acoustics GmbH, Binaural Messen, Auswerten und Wiedergeben, Application Note 10/13, Herzogenrath, 2013