

PSYCHOAKUSTIK – I

Die Psychoakustik befasst sich mit der Nachbildung des menschlichen Gehörs. Ziel ist es, ein Modell zu erstellen, das den Höreindruck des Menschen abbildet. Dazu wird versucht, den Zusammenhang zwischen dem physikalischen Ereignis (Schallwelle) und dem psychischen Erleben (resultierender Höreindruck) herzustellen.

Jeder Mensch nimmt Schallereignisse individuell unterschiedlich wahr, etwa wie laut oder leise ein Geräusch ist. Es muss daher eine Bewertungskurve gefunden werden, die dem Median der Empfindungen einer Stichprobe an Personen entspricht. Zu diesem Zweck wird bei einem psychoakustischen Test versucht, die subjektiven Empfindungen der Probanden zu evaluieren, die erst ab einer Vielzahl an Ergebnissen gültig ist.

Um Schalle psychoakustisch zu charakterisieren, stehen verschiedene Analysemethoden zur Verfügung, u. a.:

- Lautheit: DIN-Lautheit, Instationäre Lautheit
- Schärfe: Modelle von Widmann, Aures, von Bismarck
- Rauigkeit: Modell von Widmann
- Motorrauigkeit: Modell von Müller-BBM
- Schwankungsstärke: Modell von Widmann
- Artikulationsindex: offen, geschlossen, modifiziert
- Tonhaltigkeit: nach DIN 45681
- Prominence Ratio & Tone-to-Noise Ratio: ANSI S1.13-2005 sowie ECMA-74

Dieses White Paper behandelt die Grundlagen der Psychoakustik und gibt einen Einblick in die psychoakustischen Analysemethoden mit der PAK-Software.

Die Psychoakustik als "Black Box" des Gehörs

Der Mensch besitzt ein komplexes Hörorgan, das einer unserer empfindlichsten Sinne ist. Insbesondere im Alltag fällt auf, dass Menschen Schalle unterschiedlich wahrnehmen.

Als objektive, physikalische Größe lässt sich Schall als Druckunterschied mit einem Mikrophon sehr gut messen und anschließend als Pegel berechnen und anzeigen. Die Psychoakustik versucht, eine Verbindung der subjektiven Empfindung zur physikalischen Messgröße des Schalldrucks unter Berücksichtigung der physiologischen Grundlagen des Gehörs herzustellen.

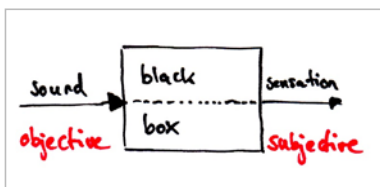


Abbildung 1:
Psychoakustik als "Black Box" des menschlichen Gehörs

Physiologische Grundlagen und Phänomene

Der Hörapparat des Menschen ist in Außen-, Mittel- und Innenohr unterteilt. Das Außenohr erstreckt sich von der Ohrmuschel über den Gehörgang bis zum Trommelfell, das den Übergang zum Mittelohr mit den Gehörknöchelchen Hammer, Amboss und Steigbügel bildet. Im Innenohr befinden sich die Gehörschnecke sowie unser Gleichgewichtsorgan. Am Trommelfell wird eine Luftschallwelle in eine Wanderwelle auf der Basilarmembran gewandelt. Innerhalb der Gehörschnecke wird diese Bewegung mithilfe der Haarzellen in Nervenimpulse umgewandelt. Diese neuronalen Reize werden in das Gehirn weitergeleitet und dort verarbeitet.

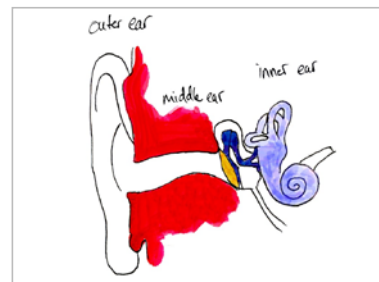


Abbildung 2:
Physiologie des menschlichen Hörapparates

Die Verarbeitung im Gehirn wirft viele Fragen auf, da hier kulturelle Unterschiede, frühkindliche Prägungen sowie die aktuelle Gefühlslage eine Rolle bei der Interpretation des Schalls spielen. Besonders wichtig bei der Modellierung des menschlichen Höreindrucks sind die zeitliche und spektrale Verdeckung.

Unter zeitlicher Verdeckung wird verstanden, dass „leisere Schallereignisse“ sowohl kurz vor als auch nach dem Eintreten des lauten Geräusches „maskiert“ werden, d. h. nicht mehr wahrnehmbar sind. Dies zeigt, dass das Gehör eine gewisse Trägheit aufweist und damit eine zeitliche Auflösungsgrenze hat.

Die spektrale Verdeckung tritt bei jedem Geräusch mit Frequenzen unterschiedlicher Intensitäten auf. Ein reiner Sinus-Ton als Störschall verursacht eine obere und untere Flanke, wobei die obere Flanke zu höheren Pegeln abflacht. Unterhalb dieser Flanken, die als Mithörschwellen bezeichnet werden, kann ein zweiter Oberton nicht mehr wahrgenommen werden. Dieser Effekt wird bei der MP3-Kompression (ISO-MPEG Audio Layer-3) genutzt. Er hat den Vorteil, die Datenmenge enorm zu verringern, da Geräuschanteile, die vom Menschen nicht wahrgenommen werden können, nicht übertragen werden.

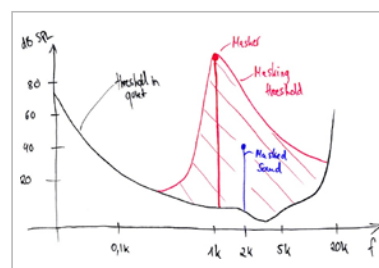


Abbildung 3:
Maskierung eines Schalles

Wird die Ruhehörschwelle des gesunden menschlichen Gehörs betrachtet, fällt auf, dass das Gehör unterschiedliche Empfindlichkeiten aufweist und daher von der Frequenz abhängt. Die Empfindlichkeit des Gehörs bei einer Frequenz von 1 kHz wurde mit 20 μPa angegeben, was dem Referenzschalldruckpegel P_0 entspricht. Die „Kurven gleicher Lautstärke“ oder Isophone beschreiben das frequenzabhängige Lautstärkeempfinden des Menschen. Ein 100 Hz Sinus-Ton muss beispielsweise mit einem Schalldruckpegel (SPL) von 45 dB dargeboten werden, um das gleiche Lautstärkeempfinden wie bei einem 1 kHz Sinus-Ton mit 40 dB SPL zu erreichen.

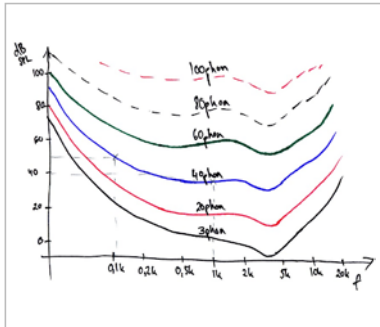


Abbildung 4:
Kurven gleichen Lautstärkeempfindens

Frühere Filtertechnik konnte die komplexe Kurve der Ruhehörschwelle nicht exakt nachbilden. Das historische A-Filter diente als erste Näherung. Um Geräusche dem menschlichen Empfinden vor einer Bearbeitung anzupassen, wurde die A-Bewertungskurve eingeführt. Eine Schwäche der A-Bewertung ist allerdings, dass bei höheren Pegeln tiefe Frequenzen zu stark gedämpft werden, da der Verlauf der Empfindungskurve bei größerer Lautstärke nicht mehr die gleiche Form hat wie die Ruhehörschwelle. Insbesondere Schalle mit hohen Pegeln und dominanten tiefen Frequenzanteilen werden mit der A-Bewertung somit falsch eingeschätzt. Um Fehlinterpretationen zu vermeiden, wurden psychoakustische Parameter, wie die Lautheit, Schwankungsstärke, Rauigkeit und Schärfe, entwickelt.

Zusammenfassung

Das menschliche Gehör ist ein hochempfindlicher Sinn und hat einen großen Einfluss auf das Qualitätsempfinden von Produkten sowie auf das Wohlbefinden in einer Lebenssituation. In diesem White Paper wurden die Physiologie und die auditiven Eigenschaften des Hörorgans und wie dies in der Technik genutzt wird beschrieben.

Im zweiten Teil unserer Psychoakustik-Reihe werden die psychoakustischen Parameter Lautheit, Schwankungsstärke, Schärfe und Rauigkeit näher beschrieben und wie sie als Maß einer subjektiven, aber dennoch quantifizierbaren Messgröße von Schallen verwendet werden können.

Weiterführende Literatur

- [1] H. Fastl, E. Zwicker: Psychoacoustics. Facts and Models, 2007
- [2] B. C. J. Moore: An Introduction to the Psychology of Hearing, 2013
- [3] H. von Helmholtz: Die Lehre von den Tonempfindungen als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik, Originalausgabe 1865
- [4] G. Müller, M. Möser: Taschenbuch der Technischen Akustik, 2003
- [5] PAK-Benutzerdokumentation

Die PAK-Software bietet umfangreiche Möglichkeiten der Datenakquise und -analyse insbesondere bei Akustik-, Schwingungs-, Struktur- und Rotationsanalysen. PAK liefert für alle Anwendungen ein flexibles, effizientes und kompaktes Werkzeug und ist erfolgreich im Einsatz bei hochstandardisierten, genormten Aufgaben, der Qualitätsprüfung und dem Troubleshooting.

Einen vertiefenden Einblick in die Signalanalyse und weitere Themen rund um die Analysewerkzeuge von Müller-BBM VibroAkustik Systeme erhalten Sie bei einem von uns angebotenen Praxistraining. Weitere Informationen finden Sie unter <http://www.muellerbbm-vas.de/service/training>.

Müller-BBM VibroAkustik Systeme ist einer der führenden Anbieter für vibroakustische Messtechnik. Wir sind Know-how-Träger für die Interpretation dynamischer oder physikalischer Daten, insbesondere in den Bereichen NVH, Festigkeit und Komfort. Im Fokus unserer Systemkompetenz stehen innovative Lösungen, die sich nahtlos in gegebene Systemumfelder integrieren.

Kontaktdaten

Müller-BBM VibroAkustik Systeme GmbH
Robert-Koch-Straße 13, 82152 Planegg, Deutschland
Tel. +49-89-85602-400
Fax +49-89-85602-444
E-Mail: sales@MuellerBBM-vas.de
www.MuellerBBM-vas.de | www.MuellerBBM-vas.com