

Über dieses Dokument

Inhalt

Um eine korrekte Geräuschanalyse bzw. -beurteilung durchführen zu können, muss sowohl die binaurale Aufnahme als auch die Wiedergabe von binauralen Aufnahmen richtig durchgeführt werden. Die vorliegende Application Note zeigt mögliche Fehlerquellen auf und beschreibt, was bei binauralen Aufnahmen und deren Wiedergabe zu beachten ist. Zusätzlich werden im letzten Kapitel einige Aspekte beschrieben, die die Geräuschwahrnehmung beeinflussen können.

1. Vorteile der binauralen Aufnahme _____	1
Korrekt entzerren _____	2
Auswahl eines geeigneten Kunstkopfes _____	3
2. Binaural wiedergeben _____	4
Die Bedeutung der korrekten Wiedergabe-Entzerrung _____	4
Weitere Aspekte, die die Geräuschwahrnehmung beeinflussen _____	5

Zielgruppe

Dieses Dokument richtet sich an Anwender¹ von Produkten für die binaurale Aufnahme und Wiedergabe, insbesondere die Produkte von HEAD acoustics.

Fragen?

Sie haben Fragen? Wir freuen uns über Ihre Rückmeldungen!

Fragen zum Inhalt dieses Dokuments: Imke.Hauswirth@head-acoustics.com

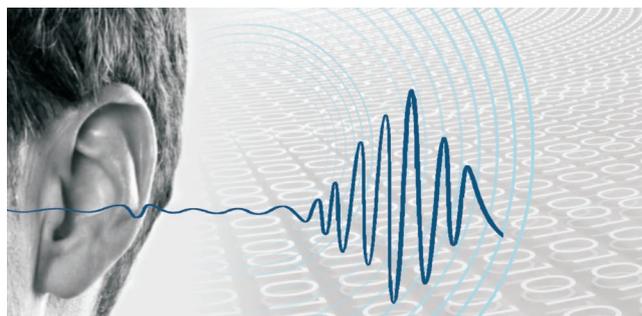
Technische Fragen zu unseren Produkten: SVP-Support@head-acoustics.com

Binaural aufnehmen, wiedergeben und bewerten – Wichtige Hinweise

1. Vorteile der binauralen Aufnahme

Menschliches Gehör als Analysator

Für die Beurteilung von Geräuschen und eine zielgerichtete Geräuschoptimierung ist es oft unzureichend, nur eine messtechnische Analyse wie den A-bewerteten Schalldruckpegel oder ein Spektrogramm zu betrachten. Der Analysator „menschliches



Gehör“ sollte ebenfalls zur Geräuschbewertung hinzugezogen werden. Für eine Geräuschbeurteilung mit dem menschlichen Gehör ist die Wiedergabe einer konventionellen Mikrofonaufnahme allerdings häufig unzulänglich. Denn nur mit der binauralen

¹ Im nachfolgenden Text wird verallgemeinernd das generische Maskulinum verwendet. Dies soll ausschließlich der besseren Lesbarkeit dienen. Selbstverständlich möchten wir gleichermaßen alle Geschlechter ansprechen bzw. einbeziehen.

Messtechnik können Geräusche so aufgezeichnet und wiedergegeben werden, dass der Hörer diese so wahrnimmt, als wäre er selbst im entsprechenden Schallfeld anwesend. Das menschliche Gehör kann durch die Verarbeitung beider Ohrsignale unterschiedliche Schalleinfallrichtungen erkennen, verschiedene Schallquellen selektieren und verfügt darüber hinaus über ein großes Auflösungsvermögen im Frequenz- wie im Zeitbereich. Die binaurale Messtechnik mit ihren zum Menschen vergleichbaren Übertragungseigenschaften erlaubt also die Erweiterung der herkömmlichen Messtechnik durch Einbeziehung des menschlichen Gehörs als Messinstrument.



Akustisches Archiv

Die Geräusche könnten auch direkt beim Auftreten angehört und bewertet werden. In vielen Situationen ist dies aber technisch oder zeitlich nicht möglich, z. B. wenn mehrere Personen ein Fahrzeuginnengeräusch auf dem Fahrersitz bewerten sollen. Die Aufzeichnung der Geräusche mit einem Kunstkopf bietet zusätzlich die Möglichkeit, ein „akustisches Archiv“ zu erstellen. So kann zum Beispiel das Innenraumgeräusch eines Serienfahrzeuges mit dem eines bereits recycelten Fahrzeugs verglichen werden, das einen bestimmten Entwicklungsstand repräsentiert.

Sehen und Hören bei der Analyse kombinieren



Außerdem hat die Aufzeichnung der Geräusche den Vorteil, dass zusätzlich zum Analysieren mit dem Gehör die Geräuschdaten auch rechnergestützten messtechnischen Analysen unterzogen werden können. Diese Kombination aus analysierendem Sehen und Hören optimiert die Geräuschdiagnose und erleichtert das gezielte Geräuschdesign.

Korrekt entzerren bei der Aufnahme

Aufnahmeentzerrung

Ein Kunstkopf verändert durch seine äußere Geometrie ein Schallfeld in vergleichbarer Weise wie ein Mensch. Diese Veränderungen sind beabsichtigt, da durch sie der Mensch beim Abhören der Kunstkopfaufnahme die Geräusche binaural wahrnehmen kann. Durch diese Veränderungen sind die Aufnahmen allerdings nicht mit Messmikrofonaufnahmen vergleichbar. Um die Kunstkopfaufnahmen für die messtechnische Analyse mit Messmikrofonaufnahmen vergleichbar zu machen, wird eine Aufnahmeentzerrung benötigt. Bei Kunstkopf-Messsystemen von HEAD acoustics stehen drei Entzerrungsarten zur Verfügung: Die Entzerrung für die standardisierten Schallfelder Freifeld und Diffusfeld, sowie eine Entzerrung, die nur die richtungsunabhängigen Anteile der Geräusche entzerrt. Diese Entzerrung heißt *Independent of Direction* (ID) und eignet sich z. B. für den Fahrzeuginnenraum, in dem weder ein Diffusfeld noch ein Freifeld vorliegt.

In Abbildung 1 sind beispielhaft die individuellen Entzerrungsfiler für ein Kunstkopfmesssystem HMS IV dargestellt.

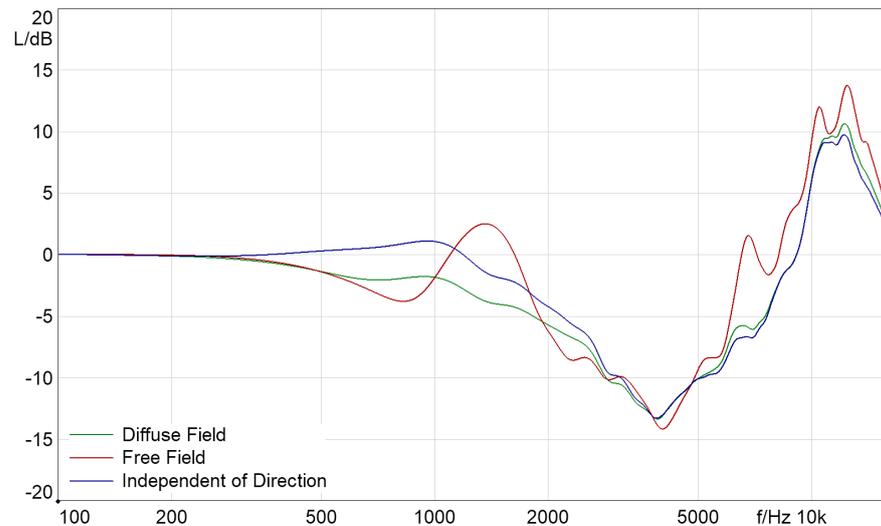


Abbildung 1: Individuelle Entzerrungen eines HMS IV

Auswahl eines geeigneten Kunstkopfes

Kunstkopf für ohrferne und ohrnahe Quellen

Neben der Auswahl der richtigen Entzerrung für das entsprechende Schallfeld muss auch eine geeignete Kunstkopfauswahl getroffen werden. HEAD acoustics bietet zwei grundsätzlich unterschiedliche Gruppen von Kunstköpfen an. Die eine Gruppe eignet sich nur für die Messung von ohrfernen Schallquellen, die andere Gruppe kann für Messungen von ohrnahen Schallquellen, d. h. Schallquellen direkt am Ohr, verwendet werden. Ein Kunstkopf, der für die im NVH-Bereich üblichen Aufgaben optimiert wurde, eignet sich nur für die Messungen von ohrfernen Schallquellen und kann nicht für ohrnahe Schallquellen verwendet werden.

Zur Überprüfung einer Mess- und Wiedergabekette, bei der einem Kunstkopf ein Kopfhörer aufgesetzt wird, kann somit kein NVH-Kunstkopf eingesetzt werden. Die Ohrimpedanz eines NVH-Kunstkopfes weicht erheblich von der eines menschlichen Ohres ab. Dadurch zeigen zum Beispiel Kopfhörer, die die Ohren des Kunstkopfes umschließen, auf dem Kunstkopfohr ein anderes Übertragungsverhalten als auf einem menschlichen Ohr, was eine Kontrollaufnahme verfälscht. Ein solcher Messaufbau kann nur für Vergleichsmessungen herangezogen werden und nicht zur Bestimmung absoluter Werte.

Für ohrnahe Messungen bietet HEAD acoustics spezielle Kunstköpfe an, die z. B. für die Messungen von Telefonendgeräten verwendet werden. Im ohrnahen Schallfeld tritt die akustische Belastungsimpedanz des Ohres mit der Quellimpedanz der Schallquelle in Wechselwirkung. Aus diesem Grund ist der Kunstkopf für die Messung von Übertragungseigenschaften von ohrnahen Schallquellen mit einer Nachbildung der Ohrkanal- und Trommelfellimpedanzen ausgestattet. Sobald die Schallquelle nicht mehr direkt am Ohr befindet, sind die Rück-

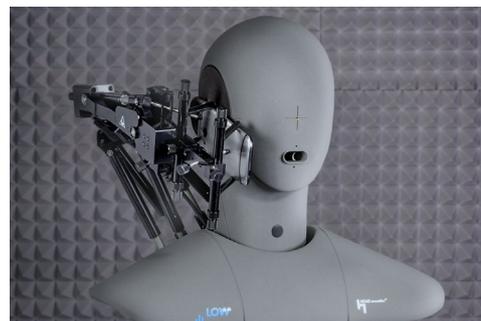


Abbildung 2: HMS II.3

wirkungen vernachlässigbar und es kann ein Kunstkopf für ohrferne Schallquellen eingesetzt werden.

Bei der Verwendung eines Kunstkopfes zur Messung von Kopfhörern muss darüber hinaus besonderes Augenmerk auf die Positionierung des Kopfhörers gelegt werden. Da es schwierig ist, die Kopfhörer immer wieder gleich zu platzieren, müssen mehrere Messungen durchgeführt werden, bei denen die Kopfhörer immer wieder neu positioniert werden. Die Messungen können dann gegebenenfalls unter Verwendung geeigneter Strukturmittelungsverfahren gemittelt werden.

2. Binaural wiedergeben

Gründe für die Wiedergabeentzerrung

Auch für die Wiedergabe über Kopfhörer wird eine Entzerrung benötigt. Dies hat mehrere Gründe: Zum einen muss die zuvor bei der Aufnahmeentzerrung durchgeführte Filterung rückgängig gemacht werden. Außerdem muss berücksichtigt werden, dass der Schall bei der Schallaufnahme das Ohr des Kunstkopfes und bei der Wiedergabe das des Hörers durchquert, also zweimal durch eine Außenohrübertragungsfunktion verändert wird. Dies verfälscht den Klang des aufgenommenen Geräusches und muss durch eine entsprechende Filterung korrigiert werden. Nur mit einer kalibrierten und entzerrten Wiedergabe kann eine gehörrichtige Wiedergabe erfolgen, so dass der volle Nutzen aus den binauralen Aufnahmen gezogen werden kann.

Für die Wiedergabe von binauralen Aufnahmen bietet HEAD acoustics geeignete Wiedergabesysteme an (z. B. *labP2*). Diese Systeme applizieren während der Wiedergabe ein Filter, das für eine gehörrichtige Wiedergabe der binauralen Signale sorgt.



Abbildung 3: Wiedergabemodul labP2

Fehler beim Verzicht auf einen Wiedergabefilter

Die Bedeutung der korrekten Wiedergabe-Entzerrung

Wenn auf die Verwendung der richtigen Wiedergabe-Entzerrung verzichtet wird, z. B. bei der Wiedergabe über eine einfache Soundkarte, wird die Wiedergabe verfälscht und die Wahrnehmung der Geräusche kann nicht mehr der im originalen Schallfeld entsprechen. Abbildung 4 zeigt die frequenzabhängigen Fehler am Ohr des Hörers, der eine entzerrte, binaurale Aufnahme ohne Wiedergabe-Entzerrung abhört, bezogen auf den Pegel einer korrekt entzerrten Wiedergabe am Beispiel eines *labP2* mit einem Kopfhörer HD VII.

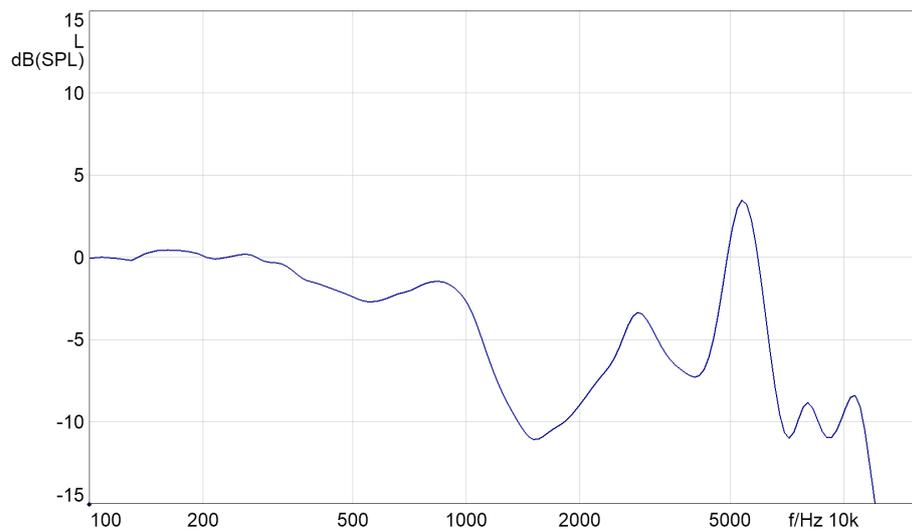


Abbildung 4: Beispielhafter Fehler am Ohr des Hörers bei der Wiedergabe ohne korrekte Entzerrung

Der Verlauf der Kurve ist für verschiedene Kopfhörermodelle unterschiedlich. Sie ist aber immer frequenzabhängig und auf keinen Fall vernachlässigbar.

Für ein akkurates und effizientes Arbeiten muss die komplette Aufnahme- und Wiedergabekette also aufeinander abgestimmt sein. Ansonsten wird die Wiedergabe über den gesamten Frequenzbereich verfälscht, was zu Veränderungen in der Geräuschwahrnehmung führt. Und auf der Basis von verfälschten Geräuschen kann keine zuverlässige Geräuschoptimierung durchgeführt werden.

Für eine gehörrichtige Wiedergabe müssen folgende Punkte berücksichtigt werden:

- Werden durch das Wiedergabe-Gerät individuelle Wiedergabe-Filter für einen bestimmten Kopfhörer appliziert, sollte dieser Kopfhörer auch an das Wiedergabegerät angeschlossen sein. Die individuellen Wiedergabefilter werden bei HEAD acoustics speziell für einen spezifischen Kopfhörer bestimmt. Die Seriennummer des Kopfhörers, für den ein Kopfhörerausgang kalibriert und entzerrt wurde, ist über dem Kopfhörerausgang angegeben. Die Seriennummer des richtigen Headsets steht auf der Rückseite des SQuadrigas/SQobolds.
- Nur mit einer zur Aufnahme-Entzerrung korrespondierende Wiedergabe-Entzerrung kann eine gehörrichtige Wiedergabe erfolgen. D. h., wenn bei der Aufnahme die ID-Entzerrung verwendet wurde, muss bei der Wiedergabe die ID-Wiedergabe-Entzerrung eingestellt werden. Für jeden Kopfhörer, der zusammen mit einem Wiedergabesystem bei HEAD acoustics erworben wird, wird eine individuelle Entzerrung erstellt. Diese besteht aus einem Filtersatz mit drei binauralen Filtern (Freifeld, Diffusfeld und *Independent of Direction*).

Weitere Aspekte, die die Geräuschwahrnehmung beeinflussen

Selbst wenn die Wiedergabe unter messtechnischen Gesichtspunkten korrekt durchgeführt wird, können verschiedene Aspekte der Umgebung, die Erwartungshaltung oder die Wiedergabereihenfolge der Signale beim Abhören deren Beurteilung in unerwünschter Weise beeinflussen. Der Akustiker, der die Geräusche abhört oder auch der Versuchsleiter, der Hörversuche durchführt, muss die im Folgenden aufgeführten Aspekte kennen und beachten, um eine valide Beurteilung der Geräusche zu erhalten.

Kontexteffekte bei der Wiedergabe

- Der **Kontext der Wiedergabe** beeinflusst die Beurteilung des Geräusches unter Umständen sehr stark. Dies kann mehrere Ursachen haben:
 - **Die raumakustischen Eigenschaften des Aufnahmeortes und des Wiedergabeortes unterscheiden sich:**
Eine Diskrepanz zwischen der Akustik des Versuchsraums, der einen Hörer umgibt, und der Akustik des Raumes, den er hört, kann ihn verunsichern. Dies trifft insbesondere auf ungeübte Hörer zu, die zum ersten Mal eine Kunstkopfaufnahme anhören. Wenn der Hörer z. B. in einem großen Raum mit schallharten Wänden sitzt, erwartet er Geräusche mit einem gewissen Maß an Hall. Geräusche, die in einem schalltoten Raum aufgezeichnet wurden, erfüllen dann nicht die Erwartungshaltung des Hörers und werden anders bewertet. Dieser Effekt lässt sich am besten dadurch vermeiden, dass sich Aufnahme- und Wiedergabeort in den raumakustischen Eigenschaften gleichen. Ist dies nicht möglich, kann eine Trainingsphase vor dem eigentlichen Hörversuch den Teilnehmern helfen, sich in die Hörsituation einzugeöhnen.
 - **Die Versuchsumgebung passt nicht zum Geräusch:**
In einigen Veröffentlichungen werden Versuche beschrieben, bei denen Geräusche sowohl am originalen Entstehungsort (z. B. in einer Fahrzeugkabine) und in einem Abhörraum dargeboten werden. Der Vergleich der Ergebnisse dieser beiden Versuchsreihen zeigt zum Teil deutliche Unterschiede. Diese Unterschiede werden aber nicht durch eine messtechnisch fehlerhafte Wiedergabe hervorgerufen, sondern durch die veränderte Erwartungshaltung der Hörer auf Grund der jeweiligen Umgebung. Ein Fahrzeuginnengeräusch, das in einem sehr ruhigen Abhörraum wiedergegeben wird, wird von vielen Versuchsteilnehmern als sehr laut empfunden. Wenn das gleiche Geräusch in einer Fahrzeugkabine angehört wird, beurteilen die Versuchsteilnehmer es weniger oft als sehr laut. Die richtige Umgebung sorgt, wie die richtige Raumakustik, für eine angemessene Erwartungshaltung beim Hörer und somit für eine realitätsnahe Geräuschbeurteilung. Für die Wiedergabe von Fahrzeuginnengeräuschen hat HEAD acoustics das SoundCar entwickelt, in dem ein Fahrzeuginnengeräusch innerhalb einer Fahrzeugkabine bewertet werden kann. In bestimmten Fällen kann durch eine geeignete Visualisierung, z. B. über ein Standbild, einen Film oder eine bewegte Szenerie auf einem Monitor, bereits eine geeignete Umgebung geschaffen werden. Dabei ist die Auswahl der Bilder von entscheidender Bedeutung, da diese wiederum Einfluss auf die Beurteilung haben.



- **Vibrationen beeinflussen die Geräuschwahrnehmung:**
Wenn Luftschall und Körperschall gleichzeitig auftreten, z. B. bei einem Fahrzeuginnengeräusch, kann der Körperschall die Beurteilung des Luftschalls beeinflussen. Im SoundCar besteht die Möglichkeit, das Lenkrad und

den Fahrersitz durch Shaker anzuregen und so auch den Körperschall adäquat wiederzugeben. Diese Maßnahme macht die Geräuschwiedergabe noch realistischer. Die zusätzliche Darbietung von Vibrationen kann sowohl zu einer besseren als auch zu einer schlechteren Beurteilung der Geräusche führen. Dies ist in vielen Fällen davon abhängig, ob die Vibrationen als passend oder unpassend zum Geräusch empfunden werden.

Hinweise zum A/B-Vergleich

- **Die Wiedergabe von Geräuschen im A/B-Vergleich kann die Beurteilung beeinflussen.** Wenn einem Versuchsteilnehmer die Testsignale im A/B-Vergleich dargeboten werden, ist er in der Lage, auch kleine Änderungen z. B. im Schalldruckpegel zu identifizieren und in die Beurteilung einfließen zu lassen. In der Praxis sind solche direkten A/B-Vergleiche kaum möglich. Zum Beispiel kann der Fluglärm eines Flugzeugtyps in der Realität nicht direkt mit dem eines anderen verglichen werden, da bis zum nächsten Überflug einige Zeit vergeht. Normalerweise orientiert sich das menschliche Gehör anhand von Mustern in Geräuschen und nutzt diese zur Identifikation. Diese Muster können im Langzeitgedächtnis gespeichert und zur Beurteilung herangezogen werden. Beim A/B-Vergleich kann zur Beurteilung z. B. auch der im Kurzzeitgedächtnis abgespeicherte Schalldruckpegel herangezogen werden. Dies kann zu abweichenden Urteilen in einem Hörversuch im Vergleich zur Beurteilung ohne direkten Vergleich führen. Beim Entwurf eines Hörversuch-Designs muss dieser Umstand beachtet werden. Wenn ein Hörversuch die Fähigkeit des Gehörs zur Unterscheidung verschiedener Aspekte wie Frequenz oder Pegel untersuchen soll, eignet sich dafür ein Testdesign mit A/B-Vergleichen. Für die Beurteilung der Geräuschqualität oder der Lästigkeit von Lärm ist meist eine Bewertung ohne unmittelbaren Vergleich besser geeignet.

Grundsätzliche Hinweise zur Beurteilung durch Versuchsteilnehmer

Bei der Durchführung von Hörversuchen können sicherlich nicht immer alle der genannten Punkte berücksichtigt werden. Der Versuchsleiter sollte aber die Auswirkungen kennen und bei der Auswertung der Ergebnisse bedenken. Auf diese Weise können Verzerrungen in der Geräuschbewertung interpretiert und berücksichtigt werden. Außerdem ist es wichtig zu betonen, dass ein Versuchsteilnehmer, der sich z. B. durch eine realitätsfremde Umgebung beeinflussen lässt, nichts falsch macht. Die Erwartungshaltung der Versuchsteilnehmer wird die Geräuschbewertung stets in einer spezifischen Form beeinflussen. Denn der Versuchsteilnehmer kann von seiner Erwartungshaltung nicht abstrahieren und aus diesem Grund keine unbeeinflusste Bewertung abgeben. Das heißt, der Fehler kann nicht durch die Versuchsteilnehmer „korrigiert“ werden, sondern nur durch eine geeignete Versuchsmethodik.



Die Experten der Engineering Services von HEAD acoustics bieten Ihnen ein umfangreiches Angebot an Dienstleistungen im Bereich Hörversuche an. Profitieren Sie von unserem Know-how und unserer Erfahrung: <mailto:engineering@head-acoustics.com>