

Hinweise zur Durchführung binauraler Messungen und deren Wiedergabe

Um eine korrekte Geräuschanalyse bzw. -beurteilung durchführen zu können, muss sowohl die Aufnahme als auch die Wiedergabe richtig durchgeführt werden. Die vorliegende Application Note zeigt mögliche Fehlerquellen auf und beschreibt, was bei der Aufnahme und Wiedergabe von Geräusch-Dateien zu beachten ist.

Kunstkopf-Aufnahmen

Für die Beurteilung von Geräuschen ist es keinesfalls ausreichend nur den A-bewerteten Pegelverlauf oder ein Spektrogramm zu betrachten. Der Analysator „menschliches Gehör“ muss ebenfalls für eine Bewertung hinzugezogen werden. Die Wiedergabe einer Mikrofonaufnahme reicht jedoch für eine Beurteilung eines Geräusches häufig nicht aus. Denn nur mit der Kunstkopf-Messtechnik ist der Akustik-Ingenieur in der Lage, den Schall so aufzuzeichnen und wiederzugeben, als wenn der Hörer selbst im entsprechenden Schallfeld anwesend gewesen wäre. Das menschliche Gehör kann unterschiedliche Schalleinfallrichtungen erkennen, verschiedene Schallquellen selektieren und verfügt darüber hinaus über ein großes Auflösungsvermögen im Frequenz- wie im Zeitbereich. Die Kunstkopf-Messtechnik mit zum Menschen vergleichbaren Übertragungseigenschaften erlaubt die Erweiterung der herkömmlichen Messtechnik durch Einbeziehung des menschlichen Gehörs als Messinstrument [1].

Natürlich kann ein Geräusch auch direkt beim Auftreten gehört 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. Außerdem hat das Aufzeichnen eines Signals den Vorteil, dass zusätzlich zum Analysieren mit dem Gehör die Geräuschdaten auch rechner-gestützten messtechnischen Analysen unterzogen werden können. Diese Kombination aus analysierendem „Sehen“ und Hören optimiert die Geräuschdiagnose und erleichtert die Geräuschoptimierung.

Mit Hilfe der Entzerrungsschnittstellen können Kunstkopf-Aufnahmen zur konventionellen Messtechnik kompatibel analysiert werden. Dazu ist es nötig, dass die zum Schallfeld passende Schnittstelle für die Aufnahme eingestellt wird. Bei Kunstkopf-Messsystemen von HEAD acoustics stehen drei Entzerrungen 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)“ [2] und eignet sich z.B. für den Fahrzeuginnenraum, in dem weder ein Diffusfeld noch ein Freifeld vorliegt.

Neben der Auswahl der richtigen Entzerrung für das entsprechende Schallfeld muss auch die Auswahl des geeigneten Kunstkopfes beachtet werden. HEAD acoustics bietet zwei grundsätzlich unterschiedliche Gruppen von Kunstköpfen an. Die eine Gruppe eignet sich nur für die Messung im Fernfeld¹, die andere Gruppe kann zusätzlich für Messungen im Nahfeld verwendet werden.

¹ Fernfeld: Die Entfernung r von der Schallquelle ist größer als die doppelte Wellenlänge λ ($r > 2\lambda$). Nahfeld: Die Entfernung r von der Schallquelle ist kleiner als die doppelte Wellenlänge λ ($r < 2\lambda$).

Ein Kunstkopf, der für die im NVH-Bereich üblichen Aufgaben (d.h. Fernfeld-Messungen) geeignet ist, kann nicht für Messungen im Nahfeld verwendet werden.

In der Vergangenheit wurden Veröffentlichungen publiziert, in denen beschrieben wird, dass zur Kontrolle der Mess- und Wiedergabe-Kette Kopfhörer auf einen NVH-Kunstkopf platziert wurden. Über die Kopfhörer wird dann eine Kunstkopf-Aufnahme wiedergegeben und erneut eine Aufnahme durchgeführt. Dieses Vorgehen ist jedoch nicht zweckdienlich, weil die Abweichungen, die bei einem Vergleich der „Kopfhörer/Kunstkopf“-Aufnahme mit der Original-Kunstkopfaufnahme auftreten können, nicht ausschließlich auf eine fehlerhafte Wiedergabe zurückzuführen sind, sondern vielmehr darauf, dass ein NVH-Kunstkopf nicht für Nahfeldaufnahmen geeignet ist. Die Kopfhörer, die die Ohren des Kunstkopfes umschließen, verändern die akustische Impedanz, so dass die Aufnahme u.U. verfälscht wird. Ein solcher Messaufbau kann nur für Vergleichsmessungen herangezogen werden und nicht zur Bestimmung absoluter Werte. Für exakte Nahfeld-Messungen bietet HEAD acoustics einen speziellen Kunstkopf an, der z.B. für die Messungen von Kopfhörern und Telefonendgeräten verwendet wird. 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 gemittelt werden.

Wiedergabe von Schallaufnahmen

Für die Wiedergabe von Kunstkopfaufnahmen bietet HEAD acoustics ein geeignetes Wiedergabesystem an, das optimal auf die Kunstkopfsysteme abgestimmt ist. Eine aufeinander abgestimmte Wiedergabekette garantiert am besten eine korrekte Wiedergabe. Doch 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 Ingenieur, der die Geräusche abhört oder auch der Versuchsleiter, der Hörversuche durchführt, muss die im Folgenden aufgeführten Aspekte kennen und bei seiner Arbeit beachten, um eine valide Beurteilung der Geräusche zu erhalten.

- Der Kontext der Wiedergabe beeinflusst die Beurteilung des Geräusches u.U. sehr stark. Dies kann mehrere Ursachen haben.
 - Die raumakustischen Eigenschaften des Aufnahmeortes und des Wiedergabeortes unterscheiden sich:
Eine ungeübte Versuchsperson, die das erste Mal eine Kunstkopfaufnahme anhört, verunsichert eine Diskrepanz zwischen der Akustik des Versuchsraums, der sie umgibt, und des Raumes, den sie hört. Wenn die Versuchsperson z.B. in einem großen Raum mit schallharten Wänden sitzt, erwartet sie Geräusche mit einem gewissen Maß an Hall. Geräusche die in einem schalltoten Raum aufgezeichnet wurden, erfüllen dann nicht die Erwartungshaltung der Versuchsperson und werden anders bewertet. Eine falsche Bewertung kann am besten vermieden werden, wenn sich Aufnahme- und Wiedergabeort in den raumakustischen Eigenschaften gleichen oder durch eine Trainingsphase vor dem eigentlichen Hörversuch.
 - 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 Versuchspersonen als „sehr laut“ empfunden. Wenn das gleiche Geräusch in einer Fahrzeugkabine angehört wird, beurteilen die Versuchspersonen 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 [3], [4].

- Vibrationen beeinflussen die Geräuschwahrnehmung:
Wenn Luftschall und Körperschall gleichzeitig auftreten, z.B. bei einem Fahrzeuginnengeräusch, kann der Körperschall die Beurteilung des Luftschalls beeinflussen [5]. 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 [6]. Dies ist in vielen Fällen davon abhängig, ob die Vibrationen als passend oder unpassend zum Geräusch empfunden werden.
- Die Beurteilungssituation ist realitätsfremd:
Im Alltag wird ein Geräusch in vielen Fällen nebenbei und unterschwellig wahrgenommen. Im Fahrzeuginnenraum konzentriert sich der Fahrer auf das Steuern des Fahrzeugs und auf die anderen Verkehrsteilnehmer. Er hat nicht die Möglichkeit seine Aufmerksamkeit ausschließlich dem Geräusch des Fahrzeugs zu widmen. Dennoch wird ein unpassendes Geräusch oder eine ungewöhnliche Geräuschänderung sofort wahrgenommen. In einem Hörversuch in dem sich die Versuchsperson nur auf das Geräusch konzentriert, wird das Geräusch oft anders bewertet als in der realen Situation [7]. Ein einfaches und einprägsames Beispiel für diese Verzerrung in der Beurteilung ist die Geräuschaufnahme einer Beschleunigung im Fahrzeuginnenraum. Beim Anhören eines solchen Geräuschs im Labor reagieren viele Versuchspersonen ängstlich, da sie keine Kontrolle über den Beschleunigungsvorgang ausüben können. HEAD acoustics bietet mit dem H3S (HEAD 3D Sound Simulation System) eine Software-Lösung, die es zusammen mit der nötigen Hardware ermöglicht, ein Fahrzeug wie gewohnt zu fahren und gleichzeitig die gewünschten Geräusche anzuhören und zu bewerten. Dies ermöglicht der Versuchsperson die Kontrolle über die Fahrsituation und somit auch über das akustische Feedback. Auf die Weise kann die Verzerrung in der Bewertung minimiert

werden. Auch bei anderen Geräuschen kann eine Beurteilung losgelöst vom Original-Kontext die Untersuchung verfälschen (z.B. Straßenverkehrslärm oder Fluglärm). Dann ist es nötig, die Geräuschbeurteilung im korrekten Kontext zu ermöglichen. Bei Untersuchungen von Verkehrslärm besteht die Möglichkeit die Versuchspersonen die Verkehrsgeräusche in der ihnen vertrauten Umgebung, d.h. zum Beispiel in ihrer Wohnung, beurteilen zu lassen.

- Die Wiedergabe über Kopfhörer allein ist u.U. im tieffrequenten Bereich nicht ausreichend. Dann muss die Kopfhörer-Wiedergabe durch einen Subwoofer ergänzt werden. In diesem Fall wird nicht nur das Kopfhörersignal über eine PEQ (Programmable Equalizer) entzerrt, sondern auch der Subwoofer über eine separate PEQ angesprochen. Mit Hilfe der PEQs können der Kopfhörer und der Subwoofer aufeinander abgestimmt werden. Das heißt, die Laufzeitverzögerung zwischen dem Kopfhörer- und dem Subwoofersignal wird ausgeglichen, der Schalldruckpegel kalibriert und der Frequenzgang angepasst. Da ein Subwoofer die Wiedergabe bei tiefen Frequenzen verstärkt, verändert sich durch diesen zusätzlichen Pegel natürlich die Beurteilung der Geräusche im Vergleich zur reinen Kopfhörerwiedergabe.
- Die Wiedergabe von Geräuschen im A/B-Vergleich kann die Beurteilung beeinflussen. Wenn einer Versuchsperson die Testsignale im A/B-Vergleich dargeboten werden, ist sie in der Lage, auch kleine Änderungen z.B. im Schalldruckpegel zu identifizieren und in die Beurteilung einfließen zu lassen. In der Realität 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 Realität führen [8]. 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. Die Beurteilung von Geräuschqualität oder von Lästigkeit von Lärm sollte in der Regel absolut, d.h. ohne unmittelbaren Vergleich, erfolgen, weil nur so eine realitätsnahe Beurteilung möglich ist.

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

Haben Sie Fragen an den Autor? Schreiben Sie uns an: imke.hauswirth@head-acoustics.de.
Wir freuen uns auf Ihre Rückmeldung!

Literatur

- [1] K. Genuit
„Ein Geräuschdiagnosesystem zur Analyse von Schallereignissen unter Ausnutzung des Nachrichtenempfängers menschliches Gehör“
Fortschritte der Akustik FASE/DAGA 1982, Göttingen, DPG-Verlag Bad Honnef (1982)
- [2] K. Genuit
„Diskussion einer neuen Schnittstelle zur Definition von Kopfhörersignalen“
Fortschritte der Akustik FASE/DAGA 1987, Aachen, DPG-Verlag Bad Honnef (1987)
- [3] W. Ellermeier, S. V. Legarth
“Visual Bias in subjective Assessments of automotive Sounds”
Euronoise 2006, Tampere, Finland
- [4] T. Hashimoto
“Tradeoff Level of the Visual Scenery and Seat/Floor Vibrations to the Perception of Sound Quality of Car Interior Noise”
Inter-Noise 2004, Prague, Czech Republic
- [5] K. Genuit, J. Poggenburg
„The influence of vibrations on the subjective judgement of vehicle’s interior noise”
Noise-Con '98, Ypsilanti, Michigan, USA
- [6] A. Sköld, D. Västfjäll
“Vibrational Influence on Product Sound Quality in Cars”
Forum Acusticum 2005, Budapest, Ungarn
- [7] B. Schulte-Fortkamp, K. Genuit, A. Fiebig
“New Approach for the Development of Vehicle Target Sounds”
Inter-Noise 2006, Honolulu, Hawaii, USA
- [8] K. Jäger, H. Fastl, F. Schöpf, G. Gottschling, U. Möhler
„Wahrnehmung von Pegeldifferenzen bei Vorbeifahrten von Güterzügen“
Fortschritte der Akustik DAGA 1997, Kiel, S. 228 – 229.