

Binaural Messen, Auswerten und Wiedergeben

Inhalt

Einleitung	1
Aufnahmen mit dem Kunstkopf	3
Entzerrung einer Kunstkopf-Aufnahme	4
Entzerrungsschnittstelle	6
Analyse einer Kunstkopf-Aufnahme	8
Binaurale Aufnahmen mit anderen Aufnahmegegeräten	9
Wiedergabe binauraler Aufnahmen	11
Anhang: Anwendungsbeispiel	14

Einleitung

Schallquellenlokalisierung

Der Mensch ist mit Hilfe seines binauralen Gehörs in der Lage, den Ursprungsort einer Schallquelle zu bestimmen. Diese Quellenlokalisierung ist sowohl in der Horizontal- als auch in der Medianebene möglich. In der Horizontalebene basiert die Lokalisation auf der Auswertung interauraler Unterschiede. Sobald sich die Schallquelle nicht mehr direkt vor dem Kopf befindet, kommt es auf Grund der unterschiedlichen Weglängen, die der Schall zu den Ohren zurücklegen muss, zu interauralen Laufzeitunterschieden. Obwohl diese Unterschiede sehr gering sind (deutlich weniger als 0,0001s) und nicht bewusst wahrgenommen werden, kann das Gehirn diese Unterschiede als Richtung interpretieren. Sobald ein Geräusch an einem Ohr früher ankommt, heißt das für unser Gehirn, das Geräusch kommt aus dieser Richtung. Diese Laufzeitunterschiede sind dann am größten, wenn sich die Schallquelle links oder rechts neben dem Hörer befindet. Die interauralen Laufzeitunterschiede werden als wichtigste Grundlage für die Schallquellenlokalisierung betrachtet.

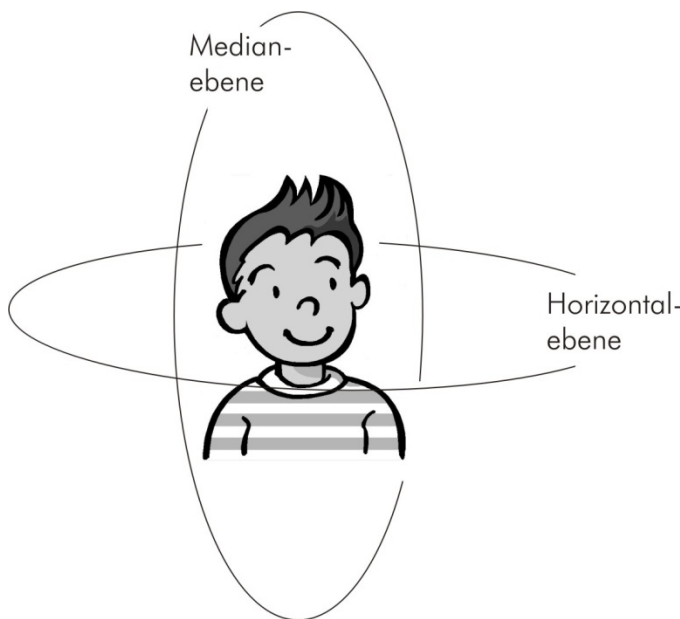


Abbildung 1: Median- und Horizontalebene

Zusätzlich kommt es durch Abschattung zu interauralen Pegeldifferenzen. Eine Geräuschquelle die sich vor dem rechten Ohr befindet, erzeugt am rechten Ohr einen höheren Pegel als am

linken, weil der Kopf die Schallausbreitung beeinflusst. Auch diese Pegelunterschiede werden vom Gehirn interpretiert und dienen der Lokalisation. Zur räumlichen Orientierung werden immer beide Effekte ausgenutzt. Untersuchungen mit künstlichen Signalen haben aber gezeigt, dass die Effekte auch separat eine Lokalisation ermöglichen.

Die Lokalisation in der Medianebene basiert auf einem anderen Phänomen. Bewegt sich die Schallquelle entlang der Medianebene, werden keine interauralen Unterschiede erzeugt. Trotzdem ist das Gehirn in der Lage, auch in dieser Ebene eine Schallquellenlokalisierung durchzuführen. Dies geschieht durch die richtungsabhängige Filterung des Schalls, die durch die geometrischen bzw. anatomischen Formen der Ohrmuscheln, des Kopfes, der Schultern und des Rumpfes hervorgerufen werden. Je nach Einfallsrichtung ist das Spektrum des an den Ohren eintreffenden Signals verzerrt. Diese spektralen Unterschiede können vom Gehirn als Richtung interpretiert werden, indem bestimmten Verzerrungen bestimmte Richtungen zugeordnet werden. Im Gegensatz zu der Lokalisation in der Horizontalebene ist die Lokalisation in der Medianebene weniger genau aufgelöst.

Mit Hilfe des binauralen Gehörs kann außerdem die Schallquellenseparierung, Störgeräuschunterdrückung und Selektion beim Hören stattfinden. Dies lässt sich am einfachsten am Beispiel des Cocktail-Party-Effekts erklären: Auf einer Party mit vielen Gästen, die sich in kleinen Gruppen unterhalten und zusammen einen relativ hohen Geräuschpegel erzeugen, ist es trotzdem möglich, sich auf einen Sprecher zu konzentrieren und die restlichen Sprecher auszublenden. Diese Fähigkeit basiert auf der räumlichen Trennung der Geräuschquellen, die wiederum nur möglich ist, weil das Gehör die einzelnen Ursprungsorte der Quellen lokalisieren kann.

Richtungsabhängige und richtungsunabhängige Veränderungen des Schallfeldes

Für die Schallquellenlokalisierung benötigt das Gehör wie oben beschrieben nicht nur die interauralen Differenzen, sondern auch die richtungsabhängigen Veränderungen des Schallsignals, die durch die Anwesenheit der Person im Schallfeld verursacht werden. Die richtungsabhängigen Veränderungen werden hauptsächlich durch die Ohrmuschel, den Kopf und durch die Schultern hervorgerufen.

Zusätzlich zu diesen richtungsabhängigen Veränderungen verursachen die Ohrmuschelhöhle (Cavum Conchae) und der Ohrkanal Veränderungen, die von der Schalleinfallsrichtung unabhängig sind. Im Gegensatz zu den richtungsabhängigen Veränderungen, die auf Beugung und Reflexion basieren, werden die richtungsunabhängigen Veränderungen durch Resonanzen hervorgerufen. In Abbildung 2 sind diese unterschiedlichen Schallfeldveränderungen und ihre Ursachen getrennt dargestellt.

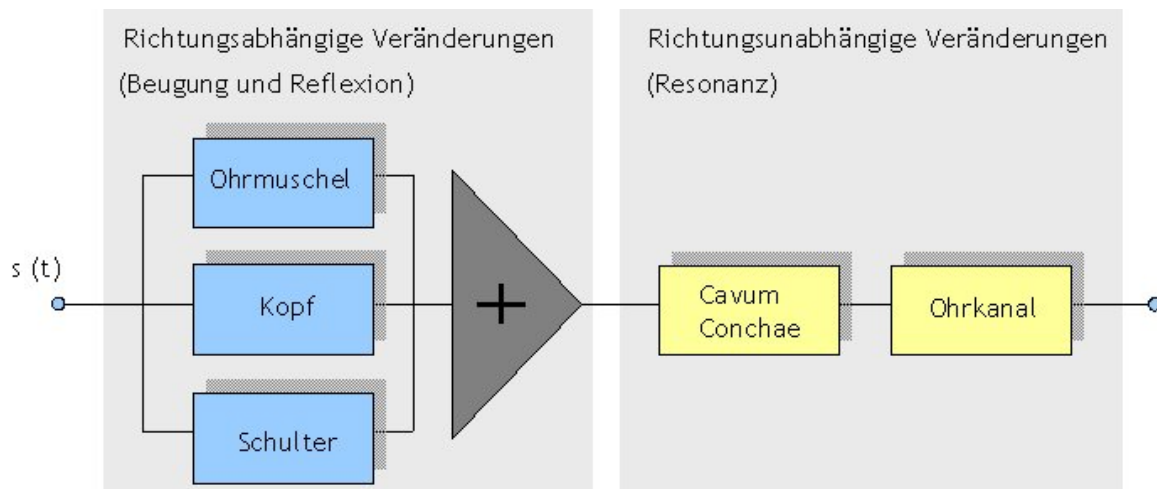


Abbildung 2: Ursachen der richtungsabhängigen und -unabhängigen Signal-Veränderungen

Aufnahmen mit dem Kunstkopf

Den oben beschriebenen Effekten zur Lokalisation gemeinsam ist die Tatsache, dass sie die interauralen Unterschiede und die Schallfeldänderungen, die durch die Physiologie des Hörers hervorgerufen werden, auswerten. Das Gehör ist auf diese Informationen angewiesen, um eine sinnvolle räumliche Lokalisation durchführen zu können. Nur eine Schallaufnahme, die diese Informationen enthält, kann beim Abhören ein Räumlichkeitsgefühl erzeugen. Aufnahmen, die mit einem einzelnen Mikrofon durchgeführt wurden, enthalten diese Informationen nicht und können somit vom Gehör nicht entsprechend ausgewertet werden. Durch die fehlende räumliche Trennung der Geräuschquellen kann das Gehirn die einzelnen Quellen nicht separieren, und es ist schwerer, sich auf einzelne Quellen zu konzentrieren.

Aufnahmen, die mit Stereomikrofonen durchgeführt wurden, enthalten Intensitäts- oder Laufzeitunterschiede, die durch den räumlichen Abstand der Mikrofone erzeugt werden. Diesen Aufnahmen fehlt aber die Verzerrung des Schallfeldes durch den Kopf, die für die Lokalisation in der Medianebene nötig sind. Das heißt, dass auch eine Stereoaufnahme keine korrekte Lokalisation ermöglicht, sondern nur eine ungefähre Positionsbestimmung in der Horizontalebene.

Eine vollständige räumliche Abbildung eines Schallfeldes ist nur mit einer Kunstkopf-Aufnahme möglich. Eine solche Aufnahme enthält zwei Kanäle (linkes und rechtes Ohr), die sowohl die nötigen interauralen Differenzen als auch die nötigen Verzerrungen beinhalten, weil der Kunstkopf das Schallfeld ähnlich wie eine Person verzerrt. Eine Kunstkopf-Aufnahme ermöglicht dem Hörer, ein Geräusch so wahrzunehmen, als ob er selber im entsprechenden Schallfeld anwesend wäre.

Das Ziel der kopfbezogenen Stereophonie ist die verzerrungsfreie Messung, Übertragung und Reproduktion von Schallereignissen an den menschlichen Trommelfellen. Das Prinzip der Messung mit einem künstlichen Kopf ist zunächst einfach, dennoch traten bei früheren Kunstkopfmesssystemen viele Probleme auf (z.B. hohes Eigengeräusch, niedriger dynamischer Bereich, fehlende Kalibrierfähigkeit). 1982 kam mit dem HMS I (HEAD Measurement System) der Firma HEAD acoustics GmbH das erste kalibrierfähige Kunstkopf-Messsystem mit originalgetreuer Kopf- und Ohrmuschelnachbildung und Übertragungseigenschaften, die mit dem menschlichen Gehör vergleichbar sind, auf den Markt. Seit 1989 steht das Kunstkopf-Messsystem HMS II zur Verfügung, das eine mathematisch beschreibbare, vereinfachte Geometrie und eine repräsentative

Richtcharakteristik besitzt. Die vereinfachte Geometrie berücksichtigt die relative Positionierung aller akustisch wirksamen Körperteile und erlaubt durch die mathematische Beschreibbarkeit z.B. die Berechnung der ID-Entzerrung.

Die digitalen Kunstköpfe HMS III und HMS IV (Abbildung 3) sind das Ergebnis der Weiterentwicklung der Kunstkopf-Messtechnik durch die HEAD acoustics GmbH. Durch den Einsatz der 24-Bit-Technologie besitzen diese Kunstkopf-Messsysteme ein sehr geringes Eigenrauschen und einen Dynamikumfang vergleichbar mit dem des menschlichen Gehörs.

Mit Hilfe dieser neuen Kunstkopfmesssysteme können Schallereignisse so aufgenommen werden, dass sie auch die für die Lokalisation nötigen Informationen enthalten.



Abbildung 3: HMS IV

Entzerrung einer Kunstkopf-Aufnahme

Die Wiedergabe einer Kunstkopf-Aufnahme sollte mit einem auf den Kunstkopf angepassten Abhörsystem erfolgen und muss gewährleisten, dass der gleiche Höreindruck entsteht, als hätte der Hörer das Schallereignis unmittelbar wahrgenommen (siehe Abbildung 4). Dazu müssen die Signale $(p_r(t), p_l(t))$, die an den Ohren einer Testperson anliegen, die sich im Schallfeld befindet, den Signalen $(p'_r(t), p'_l(t))$ entsprechen, die an den Ohren einer Testperson anliegen, die die vom Kunstkopf in dem gleichen Schallfeld aufgenommenen Signale abhört.

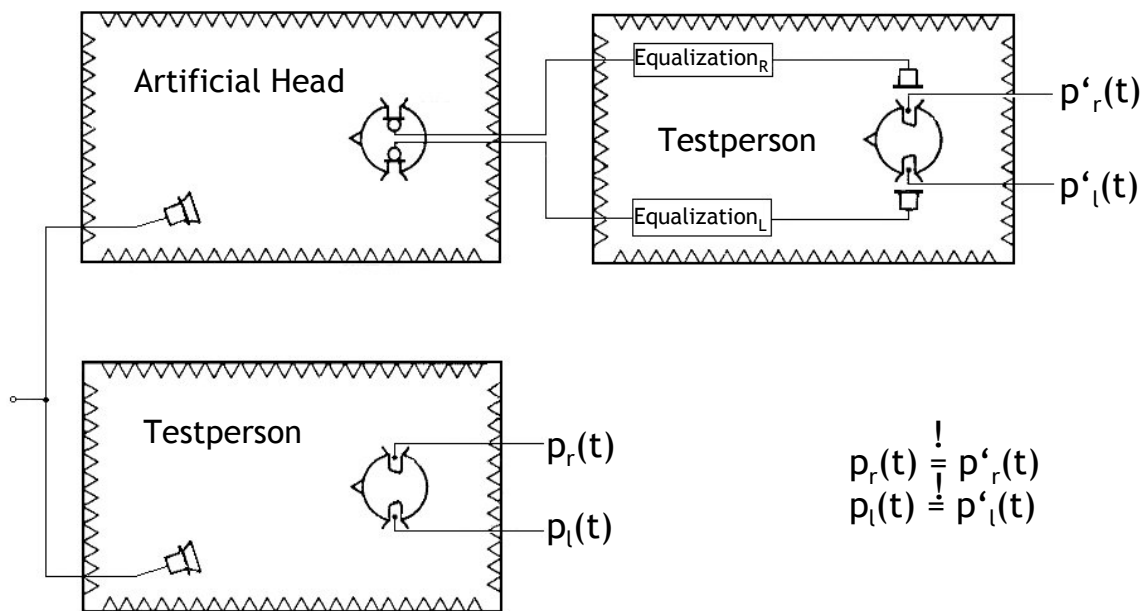


Abbildung 4: Anforderung an die Wiedergabe einer Kunstkopf-Aufnahme

Für eine solche Wiedergabe ist es allerdings erforderlich, die mit dem Kunstkopf aufgenommenen Signale vor der Wiedergabe zu filtern. Diese Filterung wird auch Entzerrung (engl. Equalization) genannt. Die Entzerrung ist nötig, weil die Kopfhörermembran nicht an der gleichen Stelle wie die Mikrofonmembran im Kunstkopf platziert werden kann. In Abbildung 5 ist dies in einer Skizze vereinfacht dargestellt. Der Schall, der vor der Aufnahme mit dem Mikrofon im Kunstkopf z.B. bereits eine Cavum-Conchae-Nachbildung durchquert hat, wird bei der Wiedergabe durch einen Kopfhörer noch einmal durch das menschliche Cavum Conchae geleitet. Durch die Ankoppelung des Kopfhörers an das Ohr und die unterschiedlichen Abschlüsse (Trommelfell <-> Mikrofon) wird zudem das Schallfeld im Ohr verändert. Mit Hilfe der Entzerrung können diese Effekte ausgeglichen werden, so dass beim Abhören einer Kunstkopf-Aufnahme am Trommelfell des Hörers die gleichen Signale anliegen, als wäre er selber im ursprünglichen Schallfeld anwesend. Zusätzlich können mit der Entzerrung eventuell auftretende Unregelmäßigkeiten der Übertragungseigenschaften des Kopfhörers ausgeglichen werden.

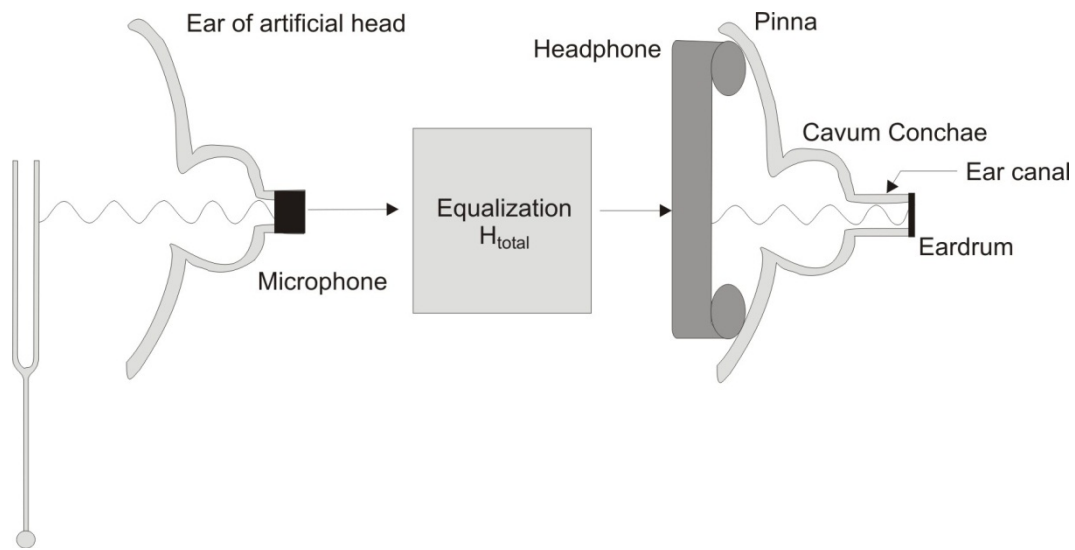


Abbildung 5: Entzerrung einer Kunstkopf-Aufnahme für die korrekte Wiedergabe

Entzerrungsschnittstelle

Um die Kunstkopfsignale kompatibel zu konventioneller Messtechnik (Mikrofon-Aufnahmen) analysieren zu können, muss eine Schnittstelle erzeugt werden. Die für die gehörrichtige Reproduktion der Schallsignale nötige Entzerrung H_{total} wird bei HEAD acoustics Produkten in zwei Teilentzerrungen (H_{record} , $H_{playback}$) aufgeteilt, so dass eine solche Schnittstelle entsteht. An dieser Schnittstelle ist das Kunstkopfsignal durch die Aufnahme-Entzerrung H_{record} gefiltert, um es zu konventionellen Mikrofonaufnahmen vergleichbar zu machen. Dieses Signal kann dann für die Signalanalyse verwendet werden. Die Aufteilung ist in Abbildung 6 schematisch dargestellt.

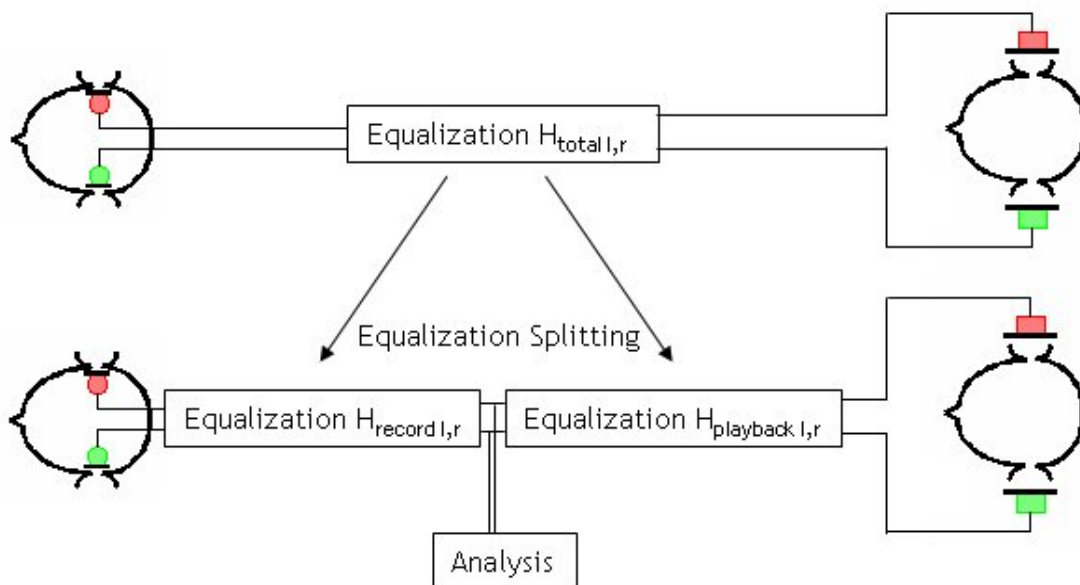


Abbildung 6: Aufspaltung der Entzerrung für die Analyse

Um zu gewährleisten, dass das Signal an der Schnittstelle dem einer konventionellen Mikrofonaufnahme entspricht, stehen für verschiedene Schallfelder verschiedene Aufnahme-Entzerrungen H_{record} zur Verfügung. Das Kunstkopf-Messsystem von HEAD acoustics bietet die

folgenden drei Aufnahme-Entzerrungen an: FF (Freifeld), DF (Diffusfeld) und ID (independent of direction). Damit jede Aufnahme-Entzerrung H_{record} zusammen mit der Wiedergabe-Entzerrung H_{playback} die Gesamt-Entzerrung H_{total} ergibt, gibt es für die unterschiedlichen Aufnahme-Entzerrungen entsprechend unterschiedliche Wiedergabe-Entzerrungen. Die Wiedergabe-Entzerrung H_{playback} muss für die gehörrichtige Wiedergabe die Aufnahme-Entzerrung H_{record} ausgleichen und die Gesamt-Entzerrung H_{total} herstellen. Nur so ist sichergestellt, dass beim Abhören der Kunstkopf-Aufnahme die gleichen Signale am Trommelfell anliegen, als wäre der Hörer im ursprünglichen Schallfeld anwesend gewesen.

Sowohl beim Freifeld als auch beim Diffusfeld handelt es sich um Schallfelder mit exakt festgelegten Rahmenbedingungen. Diese Rahmenbedingungen liegen allerdings in der Praxis nur selten vor. Aus diesem Grund wurde von HEAD acoustics die patentierte ID-Entzerrung entwickelt. Die ID-Entzerrung filtert nur die durch Resonanzen verursachten, richtungsunabhängigen Anteile der Übertragungsfunktion aus dem Kunstkopfsignal heraus. Die FF- bzw. DF-Entzerrung entfernt auch die richtungsabhängigen Anteile aus dem Signal. Während die FF- und DF-Entzerrungen durch umfangreiche Messungen bestimmt wurden, basiert die ID-Entzerrung auf mathematischen Berechnungen.

In Abbildung 7 ist die grundlegende Vorgehensweise zur Bestimmung der FF-Entzerrung schematisch dargestellt. Um die Freifeld-Entzerrung für einen Kunstkopf zu bestimmen, wird dieser in einem Freifeld von vorne mit weißem Rauschen beschallt. Dann wird der Versuch noch einmal durchgeführt, wobei der Kunstkopf durch ein Messmikrofon ersetzt wird. Die beiden resultierenden Spektren der Kunstkopf- und der Mikrofon-Aufnahme werden voneinander subtrahiert. Das Ergebnis ist ein FF-Entzerrungsfiler, mit dem eine Kunstkopf-Aufnahme unter den gegebenen Schallfeldbedingungen so gefiltert werden kann, dass sie einer Mikrofon-Aufnahme entspricht. Die Entzerrung arbeitet aber natürlich nur dann korrekt, wenn die vorgegebenen Schallfeldbedingungen erfüllt sind. Für andere Schallfeldbedingungen bzw. Schalleinfallrichtungen müssen andere Entzerrungen verwendet werden.

Mit der FF-Entzerrung kann also eine Kunstkopf-Aufnahme, die im Freifeld bei Schalleinfall von vorne aufgezeichnet wurde, so entzerrt werden, dass das Kunstkopfsignal mit einer entsprechenden Mikrofonaufnahme vergleichbar ist. Entsprechend wird mit der DF-Entzerrung eine Kunstkopf-Aufnahme entzerrt, die in einem Diffusfeld mit Schalleinfall aus allen Richtungen aufgezeichnet wurde. In Schallfeldern, die weder einem Diffusfeld noch einem Freifeld entsprechen, sollte die ID-Entzerrung verwendet werden. Die Verwendung der falschen Entzerrung, d.h. eine Entzerrung, die nicht den vorhandenen Schallfeldbedingungen und der Schalleinfallrichtung entspricht, verfälscht das abgespeicherte Signal. Ein falsch entzerrtes Kunstkopfsignal ist nicht mit einem Mikrofon-Signal vergleichbar und führt zu Fehlinterpretationen bei der Analyse.

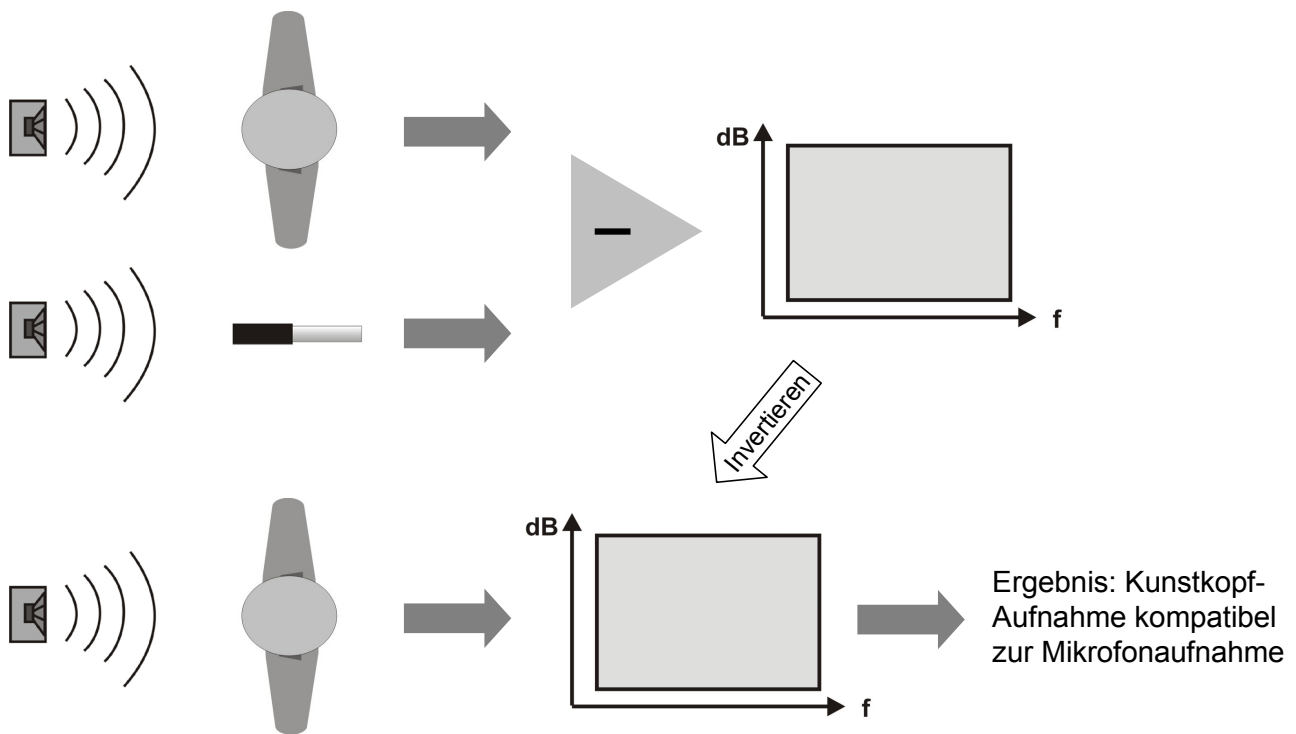


Abbildung 7: Messung zur Bestimmung der Freifeld-Entzerrung (vereinfacht)

Abbildung 8 zeigt den Frequenzverlauf der drei Entzerrungskurven im Vergleich.

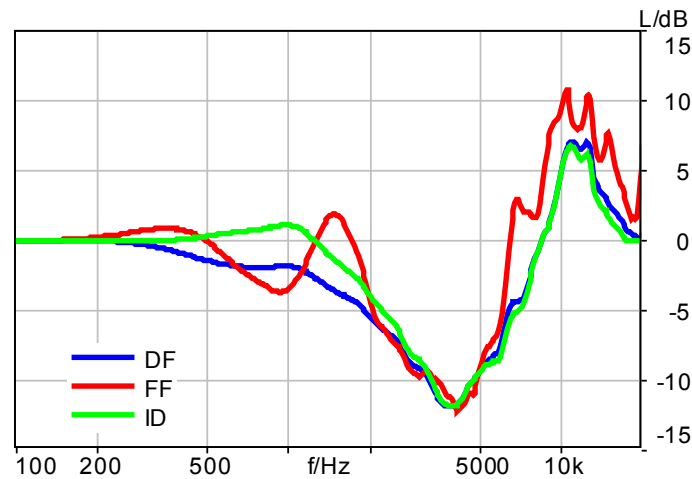


Abbildung 8: Frequenzverlauf der verschiedenen Entzerrungsfunktionen

Eine Kunstkopf-Aufnahme, die mit der passenden Aufnahme-Entzerrung durchgeführt wurde, ist mit einer konventionellen Mikrofonaufnahme weitestgehend vergleichbar und kann mit einer Signalanalyse-Software, z.B. mit ArtemiS, untersucht werden.

Analyse einer Kunstkopf-Aufnahme

Der Unterschied zwischen einer korrekt entzerrten Kunstkopf-Aufnahme und einer Mikrofon-Aufnahme liegt natürlich darin, dass es sich bei der einen Aufnahme um eine zweikanalige Mes-

sung handelt während die andere nur einen Kanal liefert. Um die Analyse der Kunstkopfaufnahme zu vereinfachen, werden die beiden Kunstkopfkkanäle häufig von den Anwendern gemittelt. Dies ist allerdings nur selten sinnvoll.

In der Praxis handelt es sich bei Kunstkopfaufnahmen um dichotische Signale, d.h. die Signale der beiden Ohren sind unterschiedlich. Bei der Geräuschwahrnehmung durch das menschliche Gehirn werden diese unterschiedlichen Signale nicht immer einfach gemittelt. Bei Untersuchungen zur Beurteilung der Lästigkeit von dichotischen Signalen hat sich gezeigt, dass die empfundene Lästigkeit zunimmt, wenn die interauralen Pegeldifferenzen zunehmen. Auch bei anderen Geräuschaspekten repräsentiert der arithmetische Mittelwert nicht unbedingt den gesamten Geräuscheinindruck, weil die Berechnung des arithmetischen Mittelwerts u.U. dazu führt, dass der negative Wert des einen Kanals durch den positiven Wert des anderen Kanals aufgehoben wird (siehe hierzu auch das Anwendungsbeispiel im Anhang dieser Application Note). Dies entspricht aber nicht in jedem Fall der Geräuschverarbeitung und -wahrnehmung im menschlichen Gehirn. Aus diesem Grund sollten bei der Analyse von Kunstkopfsignalen zunächst immer beide Kanäle untersucht werden. Zeigt ein Vergleich der beiden Kanäle, dass nur ein geringer Unterschied vorliegt, ist es ausreichend, bei den folgenden Untersuchungen nur einen der beiden Kanäle zu betrachten. Liegen größere Abweichungen vor, kann es sinnvoll sein, den Kanal für die weiteren Untersuchungen zu verwenden, der den schlechteren Analyse-Wert (also z.B. den höheren Wert für die Schärfe-Analyse) liefert.

Zusätzlich zur Signal-Analyse müssen die Kunstkopf-Signale immer angehört werden. Ein Vergleich des Höreindrucks mit den Ergebnissen der Signalanalyse zeigt, welche Analyse den Höreindruck am besten wiedergibt. Außerdem zeigt der Vergleich des Höreindrucks mit den Analyseergebnissen, welcher Kanal besonders beachtet werden muss.

Binaurale Aufnahmen mit anderen Aufnahmegeräten

Nicht immer kann für eine binaurale Aufnahme ein Kunstkopf verwendet werden. Das Fahrzeuginnenraumgeräusch an der Position des Fahrers kann während der Fahrt nicht mit einem Kunstkopf aufgezeichnet werden. Die Fahrerposition muss von einer Person eingenommen werden, die in der Lage ist, das Fahrzeug zu steuern. Für eine solche Aufgabe wurde das Kopfbügelmikrofon BHM (Binaural Head Microphone) entwickelt (Abbildung 9).



Abbildung 9: Kopfbügelmikrofon BHM

Ein solches Aufnahmegerät besteht aus zwei Sondenmikrofonen, die der Fahrer während der Fahrt auf dem Kopf bzw. in den Ohren trägt. Die beiden Mikrofone nehmen über die Sonden

den Schalldruckpegel an den beiden Ohreingängen des Fahrers auf. Statt durch den Kunstkopf werden die nötigen Veränderungen im Schallfeld durch den Fahrer hervorgerufen. Auf diese Weise erhält der Benutzer eine binaurale Geräuschaufnahme, die mit einer Kunstkopf-Aufnahme vergleichbar ist.

Eine Kopfbügelmikrofonaufnahme muss ebenso wie eine Kunstkopf-Aufnahme entzerrt werden, damit beim Anhören dieser Aufnahme der gleiche Eindruck entsteht, den ein Hörer im originalen Schallfeld gehabt hätte. Auch für die Kopfbügelmikrofonaufnahme wird diese Entzerrung in Aufnahme- und Wiedergabe-Entzerrung geteilt, um eine Schnittstelle zur konventionellen Messtechnik zu schaffen. Für die Kopfbügelmikrofone steht allerdings nur die ID-Entzerrung zur Verfügung, d.h. nur die richtungsunabhängigen Veränderungen des Schallfeldes werden entzerrt. Für die anderen Schallfeldbedingungen, wie FF und DF, sollte ein Kunstkopf verwendet werden. Die ID-Entzerrung für das Kopfbügelmikrofon basiert auf Messungen mit mehreren unterschiedlichen Trägern und wurde so entworfen, dass eine ID-entzerrte Kopfbügelmikrofon-Aufnahme mit einer ID-entzerrten Kunstkopf-Aufnahme vergleichbar ist. Auf Grund der unterschiedlichen Geometrie von verschiedenen Kopfbügelmikrofon-Träger kann es zu geringfügigen Abweichungen kommen.

Genau wie beim Kunstkopf ist auch die Entzerrung für das Kopfbügelmikrofon geteilt, so dass eine Schnittstelle zur konventionellen Messtechnik entsteht. Im Unterschied zum Kunstkopf, bei dem die Entzerrung direkt durch die eingebaute Elektronik erfolgt, muss bei einer Aufnahme mit einem Kopfbügelmikrofon BHM von HEAD acoustics die Entzerrung entweder mit einem binauralen Equalizer BEQ oder durch die Aufnahme-Software durchgeführt werden. Dabei ist zu beachten, dass die Entzerrung nur einmal durchgeführt wird, ansonsten wird die Klangfarbe der Aufnahme verfälscht. Die entzerrten, binauralen Aufnahmen können dann genau wie eine Kunstkopf-Aufnahme analysiert werden.

Ein weiteres binaurales Aufnahmegerät von HEAD acoustics ist das binaurale Headset BHS. Dieses Headset ist eine binaurale Aufnahme- und Wiedergabeeinheit, die an das Frontend SQuadriga von HEAD acoustics angeschlossen werden kann (Abbildung 10).



Abbildung 10: SQuadriga mit BHS

Die BHS-Aufnahmen können genau wie Kopfbügelmikrofon-Aufnahmen ID-entzerrt werden und sind dann mit einer ID-entzerrten Kunstkopf-Aufnahme vergleichbar. Allerdings sind die Abweichungen zwischen BHS-Aufnahme und Kunstkopf-Aufnahme unter Umständen größer als die

zwischen kopfbügelmikrofon-Aufnahme und Kunstkopf-Aufnahme. Dies liegt an der unterschiedlichen Bauweise der Geräte und der unterschiedlichen Art, wie sie getragen werden. Die Entzerrung der BHS-Aufnahmen wird automatisch durch das Frontend SQuadriga durchgeführt, so dass die BHS-Aufnahme richtig entzerrt vorliegt und genau wie eine Kunstkopf-Aufnahme analysiert werden kann.

Wiedergabe binauraler Aufnahmen

Bei der Wiedergabe der binauralen Aufnahmen ist wichtig, dass der Wiedergabe-Pegel und die Wiedergabe-Entzerrung den Einstellungen bei der Aufnahme angepasst sind. Wie bereits oben beschrieben, muss die Wiedergabe-Entzerrung H_{playback} so gewählt werden, dass diese zusammen mit der Aufnahme-Entzerrung H_{record} der Gesamt-Entzerrung H_{total} entspricht. Die Wahl des Entzerrungsfilters beeinflusst nicht nur den Wiedergabe-Pegel, sondern auch die spektrale Verteilung also die Klangfarbe der Aufnahme. HEAD acoustics stellt für die Wiedergabe von binauralen Aufnahmen einen programmierbaren Equalizer (PEQ) zur Verfügung (Abbildung 11). Mit diesem Equalizer können der korrekte Pegel und die passende Entzerrung für die Wiedergabe eingestellt werden. Außerdem enthält dieser Equalizer Filter, mit denen eventuelle Schwankungen der Kopfhörer-Übertragungseigenschaften ausgeglichen werden können. Diese Filter werden individuell für die mit der PEQ ausgelieferten Kopfhörer erstellt. Zusätzlich stehen aber auch Standard-Filter für andere Kopfhörertypen zur Verfügung.



Abbildung 11: PEQ V mit elektrodynamischem Kopfhörer HD IV.1

Auswahl der Wiedergabe-Entzerrung

Der programmierbare Equalizer ist mit allen nötigen Filtern für die Wiedergabeentzerrung H_{playback} programmiert, so dass die binaurale Aufnahme richtig entzerrt wiedergegeben werden kann und ein zum Original-Schallfeld vergleichbarer Geräuscheindruck entsteht. Die Einstellung der Wiedergabeentzerrung kann an der PEQ manuell oder automatisch erfolgen. Die PEQ IV benötigt für die automatische Einstellung HMS-Daten¹. Der Nachfolger PEQ V benötigt keine HMS-Daten mehr, sondern kann über die USB-Schnittstelle ferngesteuert werden.

Bei der Wiedergabe mit der Analyse Software ArtemiS besteht die Möglichkeit, die für die PEQ VI nötigen HMS-Daten während der Wiedergabe zu erzeugen. Die Einstellung dafür erfolgt auf der Eigenschaftsseite, die mit dem Befehl „Einstellungen“ im Menü „Extras“ (engl. Oberfläche „Options“ -> „Settings“) aufgerufen werden kann (siehe Abbildung 12). Sobald der Befehl

¹ HMS-Daten beinhalten u.a. Informationen über den Aussteuerungsbereich und die für die Aufnahme verwendete Entzerrung.

„HMS/RPM-Pulse generieren“ (engl. „Generate HMS/RPM pulse“) aktiviert ist, werden von ArtemiS HMS-Daten für die Wiedergabe mit der PEQ erzeugt. Wenn in der Datei Informationen bzgl. der Entzerrung vorliegen, werden diese verwendet und weitergeleitet. Liegen diese Informationen nicht vor, werden HMS-Daten mit der in der Zeile „Standard-Entzerrung“ (engl. „Default Equalization“) angewählten Entzerrung erzeugt.

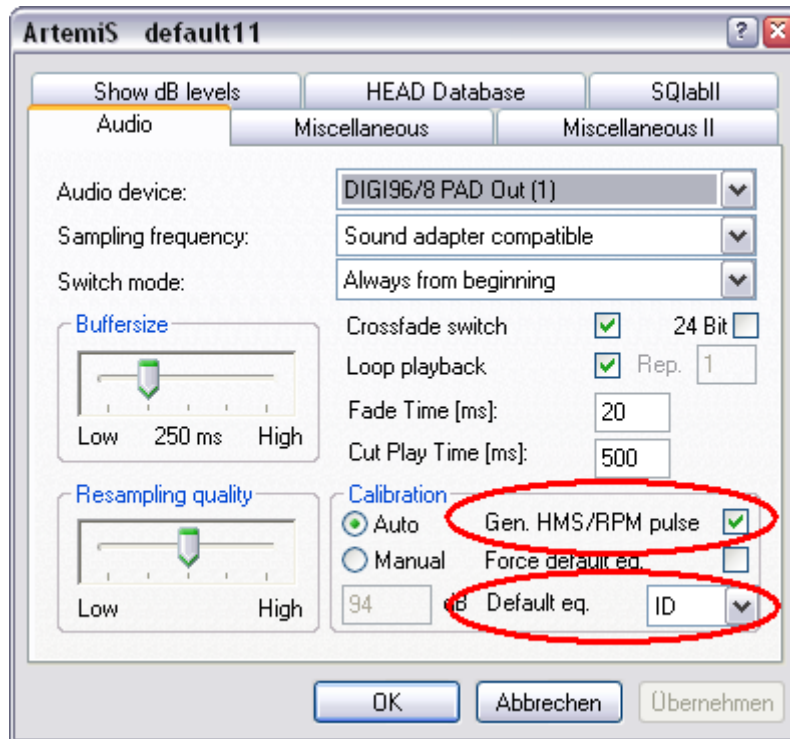


Abbildung 12: Eigenschaftsseite u.a. zur Festlegung der Verwendung von HMS-Daten

Auswahl des Wiedergabepegels für Kunstkopf-Aufnahmen

Neben der richtigen Entzerrungseinstellung ist die Auswahl des Wiedergabe-Pegels entscheidend für die korrekte, kalibrierte Wiedergabe. Bei Kunstkopf-Aufnahmen ist der Aussteuerungsbereich in 10dB-Schritten (84dB, 94dB usw.) fest vorgegeben. Dieser Aussteuerungsbereich entspricht dem Pegel, der an der PEQ eingestellt werden muss, um die Wiedergabe korrekt durchzuführen. Der Aussteuerungsbereich ist in der Datei abgespeichert und kann an die PEQ weitergeleitet werden, damit diese sich automatisch umstellt. Bei der Verwendung einer PEQ IV muss dazu in ArtemiS der oben bereits erwähnte Befehl „HMS/RPM-Pulse generieren“ aktiviert sein. Auf diese Weise werden HMS-Daten erzeugt, die von der PEQ IV für die automatische Umstellung benötigt werden. Eine PEQ V benötigt keine HMS-Daten und wird über die USB-Schnittstelle auch bei deaktiviertem „HMS/RPM-Pulse generieren“-Befehl richtig eingestellt, sobald sie im Modus „Auto“ steht.

Wie bei der Entzerrung kann natürlich auch der Pegel bei PEQ IV und PEQ V manuell eingestellt und verändert werden. Dann muss beachtet werden, dass die Wiedergabe bei falschen Einstellungen nicht mit dem ursprünglichen Pegel erfolgt. Für die korrekte Wiedergabe von Kunstkopf-Aufnahmen muss die PEQ auf den Pegel, der dem Aussteuerungsbereich entspricht, eingestellt sein.

Auswahl des Wiedergabepegels für BHM-Aufnahmen

Die Wiedergabe einer BHM-Aufnahme erfolgt ebenfalls in den meisten Fällen über die Analysesoftware ArtemiS, eine PEQ und einen Kopfhörer. Da für die BHM-Aufnahme nur die ID-Entzerrung zur Verfügung steht, muss die PEQ für die Wiedergabe immer auf ID eingestellt sein. Die Einstellung des Pegels an der PEQ muss dem Aussteuerungsbereich der Aufnahme entsprechen. Je nach Aufnahme-Konfiguration kann auch eine BHM-Aufnahme HMS-Daten enthalten. Ist dies der Fall, entspricht der Aussteuerungsbereich einem der bekannten 10dB-Schritte, so dass auch die PEQ auf einen solchen eingestellt werden muss. Dies kann automatisch oder manuell erfolgen. Bei der Verwendung einer PEQ IV muss für die automatische Einstellung der Befehl „HMS/RPM-Pulse generieren“ aktiviert sein.

Wenn bei der Wiedergabe in ArtemiS der Befehl „HMS/RPM-Pulse generieren“ nicht aktiviert wurde, muss die PEQ IV manuell auf den zum Aussteuerungsbereich der Aufnahme nächstliegenden Pegelwert gestellt werden (siehe auch S. 16/17).

Falls die beiden Kanäle der BHM-Messung unterschiedliche Aussteuerungsbereiche besitzen, muss die PEQ auf den höheren Aussteuerungsbereich eingestellt werden. Der Kanal mit dem geringeren Aussteuerungsbereich wird von ArtemiS automatisch umgerechnet, so dass auch für diesen Kanal eine pegelrichtige Wiedergabe erfolgen kann.

Wiedergabe mit SQuadriga und Headset BHS

Da es sich bei dem Headset BHS um eine Aufnahme- und Wiedergabeeinheit handelt, erfolgt nicht nur die Aufnahme, sondern auch die Wiedergabe direkt über das BHS. Über die Kombination SQuadriga / BHS können nicht nur BHS-Aufnahmen, sondern auch andere binaurale Aufnahmen, z.B. Kunstkopf-Aufnahmen, wiedergegeben werden. Sobald die Funktion „Auto“ im Monitoring-Menü angewählt ist, werden die Entzerrungs- und PegelEinstellung für die Wiedergabe automatisch durch das SQuadriga durchgeführt. Außerdem können die Einstellungen für Entzerrung und Pegel auch manuell ausgewählt werden. Wie bei der Wiedergabe mit der PEQ muss auch beim SQuadriga die Entzerrung für die Wiedergabe ausgewählt werden, die auch bei der Aufnahme verwendet wurde. Der Wiedergabepegel muss gleich dem Aussteuerungsbereich der Aufnahme eingestellt sein.

Wiedergabe mit einem fest eingestellten Pegelbereich

In Abbildung 12 ist eine Eigenschaftsseite von ArtemiS dargestellt, die zeigt, links neben dem Befehl „HMS/RPM-Pulse generieren“, die Einstellmöglichkeit für den Wiedergabe-Pegel. Es stehen die Einstellungen „Auto“ bzw. „Manuell“ zur Verfügung. Alle oben beschriebenen Vorgehensweisen zur Einstellung der PEQ für die Wiedergabe von binauralen Dateien beziehen sich auf die Einstellung „Auto“. Im folgenden Abschnitt wird die Verwendung der Einstellung „Manuell“ beschrieben.

Mit der Auswahl „Manuell“ wird der darunter liegende Bereich aktiviert, so dass ein fester Wiedergabe-Pegel eingestellt werden kann. Jede Datei, die jetzt mit ArtemiS wiedergegeben wird, wird automatisch auf den dort eingetragenen Wiedergabe-Pegel umgerechnet. Der Wiedergabe-Pegel muss so ausgewählt werden, dass er den durch die HMS-Daten vorgegebenen 10dB-Schritten (84dB, 94dB usw.) entspricht. Für eine korrekte, pegelrichtige Wiedergabe muss die PEQ auf den gleichen Wert eingestellt werden. Ist die PEQ auf „Auto“ gestellt, wird dieser Pegelwert automatisch eingestellt (bei der PEQ IV muss dazu der Befehl „HMS/RPM-Pulse generieren“ aktiviert sein). Die Einstellung kann natürlich auch manuell durchgeführt werden. Mit dieser Funktion können mit ArtemiS Dateien wiedergegeben werden, die über einen unterschiedlichen

Aussteuerungsbereich und keine HMS-Daten verfügen. Für die Wiedergabe wird dann ein Pegelbereich ausgewählt, auf den auch die PEQ eingestellt wird und mit dem alle Dateien wiedergegeben werden. Dabei ist zu beachten, dass der Pegelbereich ausreichend groß gewählt wird, so dass keine Übersteuerungen auftreten.

Anhang: Anwendungsbeispiel

BHM-Aufnahme in Fahrzeuginnenraum

Der Fahrzeuginnenraum ist auf Grund der Mischung aus reflektierenden und absorbierenden Materialien weder ein reines Freifeld noch ein Diffusfeld. Für die Aufnahme in der Fahrgastzelle eines PKWs empfiehlt sich daher die Verwendung der ID-Entzerrung. Im folgenden Beispiel wurde ein BHM mit ID-Entzerrung für die Aufnahme verwendet. Die Aufnahme wurde direkt auf der Computer-Festplatte gespeichert und steht nun richtig entzerrt für die Analyse und Wiedergabe zur Verfügung.

Analyse der BHM-Aufnahme

In Abbildung 13 ist die Analyse FFT vs. time der Fahrzeuginnenraum-Aufnahme dargestellt. Die FFT-Analyse zeigt deutlich, dass zwischen 8,5 und 13,5 Sekunden das Signal eine Resonanz durchläuft. Diese Resonanz ist im linken stärker als im rechten Kanal.

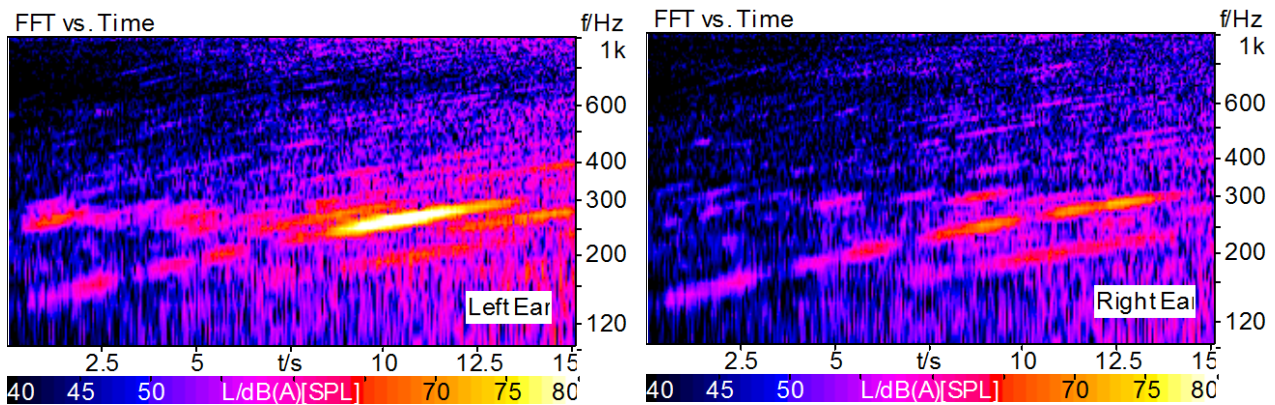


Abbildung 13: FFT-vs-time-Analyse eines Fahrzeuginnengeräusches

In Abbildung 14 ist das Ergebnis einer Analyse Spezifische Prominenz des Fahrzeuginnengeräusches aus Abbildung 13 dargestellt. Die Analyse Spezifische Prominenz dient dazu, tonale Komponenten in einem Signal zu finden und zahlenmäßig darzustellen. Dazu wird z.B. in einem terzbreiten Frequenzband die Leistung bestimmt, die dann auf den Mittelwert der Leistungen in den benachbarten Terzbändern bezogen wird. Je höher der resultierende Zahlenwert, desto tonaler ist der Schall. Die Spezifische-Prominenz-Analyse ist sehr gut geeignet, um Resonanzen des oben beschriebenen Signals aufzuspüren.

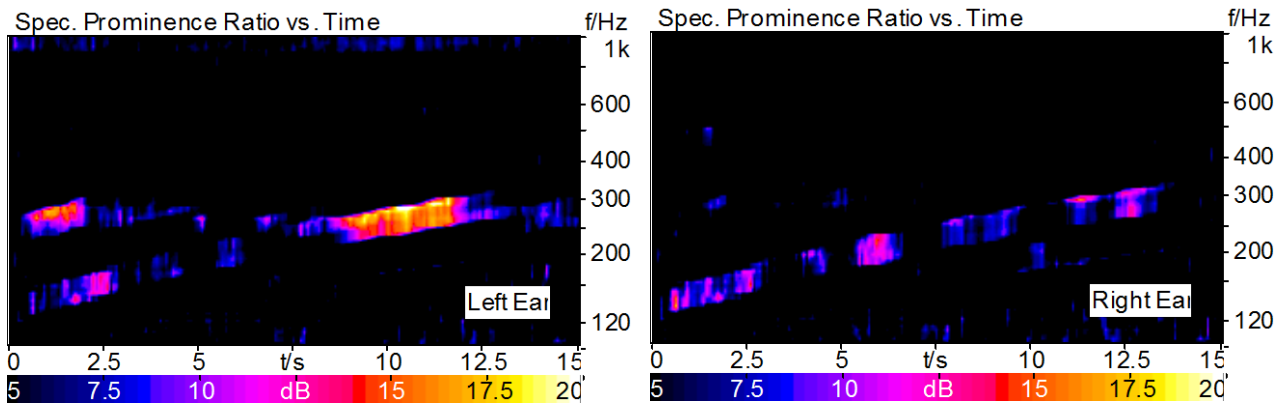


Abbildung 14: Spec.-Prominence-Ratio-Analyse des Fahrzeuginnengeräusches aus Abbildung 13

Auch diese Analyse zeigt deutlich, dass die Resonanz im linken Ohr sehr viel ausgeprägter ist als im rechten. Die in Abbildung 15 dargestellte Mittelung der beiden Kanäle zeigt deutlich, dass eine Mittelung die Aussagekraft der Analyse reduziert. Die tonale Komponente ist zwar auch in der gemittelten Analyse vorhanden, aber die Ausprägung hat deutlich abgenommen. In diesem Fall würde es sich anbieten, für die weiteren Analysen dieser Art den linken Kanal zu verwenden.

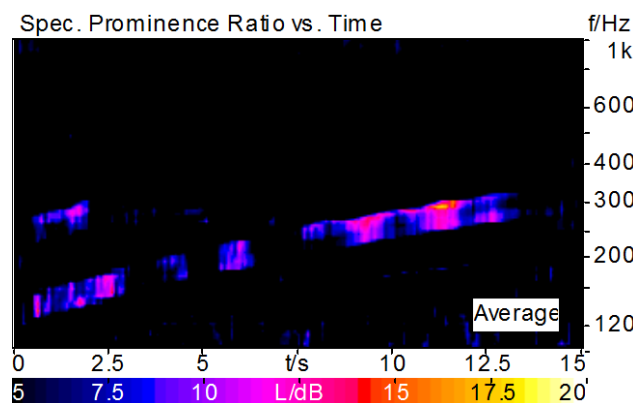


Abbildung 15: gemittelte Werte der Spec.-Prominence-Ratio-Analyse aus Abbildung 14

Um zu überprüfen, ob die Analyse-Ergebnisse dem Wahrnehmungseindruck entsprechen, muss die Geräuschdatei angehört werden.

Wiedergabe der BHM-Aufnahme

Für die Wiedergabe der BHM-Datei soll in diesem Anwendungsbeispiel ArtemiS und eine PEQ benutzt werden. Der Aussteuerungsbereich der Aufnahme ist für beide Kanäle 105,1dB. Diese Angabe ist in der Datensatz-Information (engl. „Dataset Information“) enthalten und kann mit ArtemiS ausgelesen werden (siehe Abbildung 16).²

² Um den gezeigten Dialog aufzurufen, müssen Sie beim Drücken des „Dataset Info“-Button auf der Eigenschaften-Seite des Zeitsignals die [Umschalt]-Taste gedrückt halten.

Ch	Abb.	Name	Title	Sampling rate	Range(rms)	Unit	Quantity	Calibration	Headroom	Emphasis	Equalization
1	BL	BHM_L		44100 Hz	7.1841	Pa	pressure	105.1	6	<input type="checkbox"/> on/off	ID
2	BR	BHM_R		44100 Hz	7.2071	Pa	pressure	105.1	6	<input type="checkbox"/> on/off	ID
3	as	accsitz		44100 Hz	7.0987	m/(s^2)	acceleration	11.0	6	<input type="checkbox"/> on/off	Lin
4	al	acclenk		44100 Hz	7.0763	m/(s^2)	acceleration	11.0	6	<input type="checkbox"/> on/off	Lin

Write protection On Off
 HMS data Decoded:

Abbildung 16: Datensatz-Information der BHM-Aufnahme

Sofern die Einstellung „Automatisch“ im Abschnitt „Kalibrierung“ der Einstellungen\Audio-Eigenschaftenseite ausgewählt ist, stehen für die korrekte Wiedergabe der Datei mehrere Möglichkeiten zur Verfügung:

- Wiedergabe mit HMS-Daten über eine PEQ IV: Ist der Befehl „HMS / RPM-Pulse generieren“ aktiviert, werden die Datei-Informationen über Pegel und Entzerrung bei der Wiedergabe als HMS-Daten an die PEQ IV weitergeleitet. Sofern die PEQ auf „Auto“ eingestellt ist, erfolgt die richtige Einstellung automatisch in einem der 10dB-Schritte (84dB, 94dB usw.). Im vorliegenden Beispiel mit einem Aussteuerungsbereich von 105,1dB würde die PEQ automatisch auf den nächst höheren Bereich, also 114dB, und ID-Entzerrung eingestellt. Damit die Wiedergabe nicht zu laut ist, wird die Aussteuerung durch ArtemiS entsprechend umgerechnet.
- Wiedergabe ohne HMS-Daten über eine PEQ IV: Bei der Wiedergabe ohne HMS-Daten, d.h. mit deaktiviertem Befehl „Generate HMS / RPM pulse“, muss der Pegel nicht auf einen, den HMS-Daten entsprechenden 10dB-Schritt eingestellt werden. Die PEQ wird manuell auf den dem Aussteuerungsbereich am nächsten liegenden ganzzahligen Pegel eingestellt, im vorliegenden Beispiel also auf 105dB.
- Wiedergabe über PEQ V (über USB): Die PEQ V benötigt für die automatische Einstellung keine HMS-Daten mehr. Ist die PEQ V auf „Auto“ eingestellt, erfolgt die Wiedergabe entweder in den bekannten 10dB-Schritten (bei aktiviertem Befehl „Generate HMS / RPM pulse“) oder in dem zum Aussteuerungsbereich nächst liegenden, ganzzahligen Pegel (bei deaktiviertem Befehl „Generate HMS / RPM pulse“). In beiden Fällen wird der Aussteuerungsbereich der Datei durch ArtemiS so umgerechnet, dass die Wiedergabe pegelrichtig erfolgt.

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