

Verwendung des Kopfbügelmikrofons BHM

HEAD acoustics stellt verschiedene binaurale Aufnehmer zur Verfügung, um an verschiedenen Messorten Schallereignisse so aufzuzeichnen, dass sie gehörrichtig wiedergegeben werden können. Das heißt, die Aufnahmen werden so durchgeführt, dass sie – mit der richtigen Wiedergabeentzerrung abgespielt – einen Höreindruck vermittelt, der dem entspricht, den eine Person in diesem Schallfeld gehabt hätte.

Zu diesen binauralen Aufnehmern gehören z.B. das Kopfbügelmikrofon (Binaural Head Microphone, BHM) oder das Kunstkopfmesssystem (Head Measurement System, HMS). Mit dem BHM können Sie binaurale Aufnahmen an Messorten durchführen, bei denen ein Kunstkopfmesssystem nicht eingesetzt werden kann. Dies ist zum Beispiel dann der Fall, wenn auf der Fahrerposition eines fahrenden Fahrzeugs gemessen wird. Hier kann das Kunstkopfmesssystem nicht eingesetzt werden, stattdessen wird ein Kopfbügelmikrofon verwendet, das von dem Fahrer getragen wird und mit dem der Schall am Ohrkanaleingang gemessen werden kann (siehe Abbildung 1).

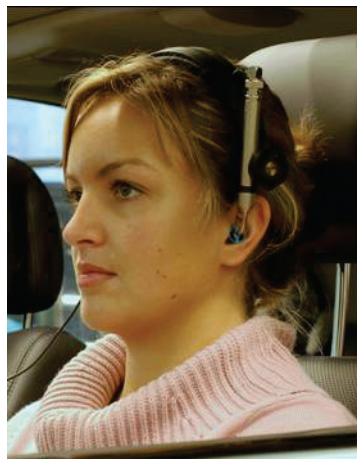


Abbildung 1: Verwendung des BHM's auf dem Fahrersitz in einer Fahrzeugkabine

Aufnehmen mit einem Kopfbügelmikrofon

Ein häufiger Anwendungsfall für das Kopfbügelmikrofon ist die Verwendung bei der Aufnahme in einer Fahrzeugkabine. Um reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten, muss bei der Aufnahme mit dem BHM folgendes beachtet werden:

Die Positionierung der Mikrofone hat besonders in einer so komplexen akustischen Umgebung wie einer Fahrzeugkabine einen großen Einfluss auf die spätere Aufnahme. So kann z. B. der Pegel auf Grund von stehenden Wellen einen deutlichen Unterschied aufweisen, je nachdem ob der Sitz etwas weiter nach vorn oder hinten verschoben wurde. Grundsätzlich ist weder die eine noch die andere Aufnahme falsch, da beide Aufnahmen den Schalldruck an der Stelle der Aufnahme repräsentieren. Um die Reproduzierbarkeit zu gewährleisten, muss der Aufnahmeort genau dokumentiert und bei einer eventuellen Wiederholungsmessung wieder exakt eingehalten werden.

Bei der Positionierung ist zusätzlich von Bedeutung, wer das BHM trägt. Durch die unterschiedlichen akustischen Eigenschaften des Trägers und die Unterschiede beim Aufsetzen des BHM können sich BHM-Aufnahmen, die von verschiedenen Personen durchgeführt wurden, ebenfalls unterscheiden. Um vergleichbare Aufnahmen z. B. für einen Hörtest zu erzeugen, sollten die Aufnahmen für eine Versuchsreihe von einer Person durchgeführt werden. Auf diese Weise erstellte Aufnahmen können auch von ungeübten Hörern sehr gut verglichen werden.

Ein weiterer entscheidender Punkt ist, dass der Träger während der Aufnahme versuchen muss, Störgeräusche zu vermeiden. Im Gegensatz zum Kunstkopf, der keinerlei Störgeräusche produziert, bewegt sich ein Mensch ständig, so dass durch das Reiben der Kleidung, Bewegung des BHM-Kabels oder sogar durch das Ticken der Uhr am Handgelenk des Trägers Störgeräusche entstehen können. Diese Störgeräusche fallen dem Träger während der Aufnahme unter Umständen gar nicht auf, können aber beim späteren Abhören der Aufnahme sehr störend sein, so dass die Aufnahme eventuell sogar erneut durchgeführt werden muss.

Damit die Aufnahme optimal ausgesteuert ist, muss auch beim BHM, wie bei allen Messmikrofonen, ein geeigneter Aufnahme-Range in der Aufnahme-Software eingestellt werden. Auf diese Weise wird gewährleistet, dass die Aufnahme nicht übersteuert ist und dass die aufzunehmenden Geräusche nicht im Grundrauschen der Messkette verschwinden.

Ein erfahrener Messingenieur wird sehr schnell die nötige Routine sammeln, um alle diese Bedingungen umsetzen zu können.

Entzerrung einer BHM-Aufnahme

Wie eine Kunstkopfaufnahme muss auch eine BHM-Aufnahme für die Analyse und die Wiedergabe entzerrt werden. Für die Analyse wird die BHM-Aufzeichnung während der Aufnahme entzerrt. Die Aufnahme-Entzerrung dient dazu, ein Signal für die Analyse zu erhalten, das mit einer Messmikrofon-Aufnahme vergleichbar ist. Auf diese Weise analysieren Sie ein Signal, das nicht die akustischen Besonderheiten des Aufnahme-Sensors enthält, sondern ein entzerrtes Signal, das Sie wie eine Messmikrofon-Aufnahme untersuchen können.¹

Zur Durchführung der korrekten Entzerrung bei der Aufnahme steht für das BHM die ID-Entzerrung zur Verfügung. Mit Hilfe der ID-Entzerrung werden die richtungsunabhängigen Anteile der Übertragungsfunktion aus dem Signal herausgefiltert. Diese Entzerrung wurde entwickelt, weil die in der Praxis vorhandenen Schallfelder nur selten den genormten Schallfeldbedingungen Diffusfeld oder Freifeld entsprechen. Die ID-Entzerrung sollte für alle Schallfelder, die weder einem Diffusfeld noch einem Freifeld entsprechen, also z. B. für das Schallfeld in einer Fahrzeugkabine, verwendet werden. Das Entzerrungsfilter wird für jedes BHM individuell bei der Fertigung erzeugt und kann auf verschiedene Weisen angewendet werden.

1. Die einfachste Möglichkeit ist die Verwendung eines binauralen Equalizers BEQ II.1. Die BEQ II.1 kann mit den individuellen Entzerrungskurven eines BHM programmiert werden, so dass am Ausgang das pegelrichtige und ID-entzerrte BHM-Signal anliegt. Die Programmierung wird werkseitig bei HEAD acoustics durchgeführt, z. B. wenn ein BHM und eine BEQ II.1 zusammen ausgeliefert werden. Sie kann aber auch nachträglich durchgeführt werden. Um ein korrekt entzerrtes Signal zu erhalten, ist es wichtig darauf zu achten, dass zur BEQ II.1 passende BHM zu verwenden. Jede BEQ II.1 kann nur für ein individuelles BHM programmiert werden. Die Seriennummer des korrekten BHM ist auf der BEQ II.1 angegeben.

¹ Eine ausführliche Beschreibung über die Aufnahme-Entzerrung finden Sie in der Application Note „Binaural Messen, Auswerten und Wiedergeben“.

In der Aufnahme-Software HEAD Recorder wird die Verwendung eines BHM inkl. einer korrekt programmierten BEQ II.1 wie folgt eingegeben: Im Menü „Ansicht“ (engl. „View“) der HEAD-Recorder-Bedienoberfläche wird der Befehl „Geräteeinstellung“ (engl. „Hardware-Properties“) angeklickt und in dem entsprechenden Fenster im Feld „Configuration“ der Eintrag „BHM“ ausgewählt (siehe Abbildung 2). Durch diese Einstellung wird automatisch die Einstellung „Equalization“ auf „ID“ umgestellt. Außerdem werden in der HEAD Recorder Kanalliste Auto-Sensoren verbunden. Mit dieser Konfiguration wird die auf der BEQ II.1 programmierte ID-Entzerrung für die Aufnahme verwendet und das BHM-Signal wird korrekt entzerrt.

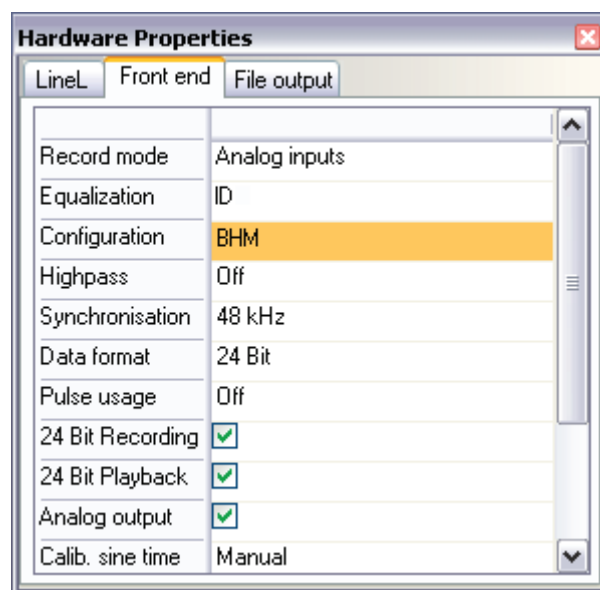


Abbildung 2: Geräteeinstellung im HEAD Recorder

2. Eine andere Möglichkeit ist, die Entzerrung über die verwendete Software durchzuführen. Dazu wird das individuelle Entzerrungsfiler bei der Definition des BHM-Sensors im HEAD Sensor Explorer im Feld „Filter File“ berücksichtigt (siehe Abbildung 3). Dieses individuelle Entzerrungsfiler befindet sich auf der im Lieferumfang des BHM enthaltenen Entzerrungs-CD und muss jeweils für den linken und rechten Kanal bei der Sensorkonfiguration in das entsprechende Feld eingetragen werden. Die Filter der Entzerrungs-CD beinhalten alle notwendigen Informationen für die korrekte Entzerrung. Bei einer Aufnahme mit der Recordersoftware HEAD Recorder wird dann automatisch dieses individuelle Filter mit der ID-Entzerrung für die BHM-Kanäle verwendet. Eine zusätzlich im Feld „Equalization“ aktivierte Entzerrung würde eine doppelte Filterung bewirken und das aufgenommene Signal verfälschen. Um dies zu verhindern, wird dieses Feld automatisch ausgegraut, sobald ein Entzerrungsfiler im Feld „Filter File“ eingetragen wurde.

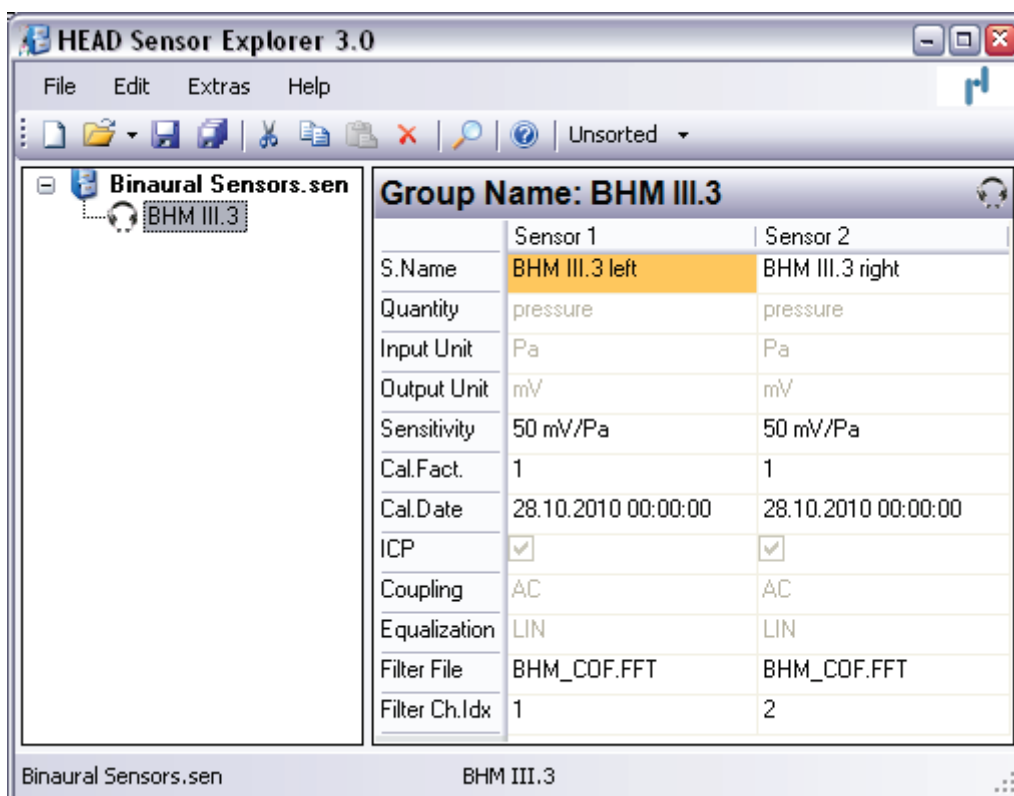


Abbildung 3: Definition eines BHM-Sensors im Sensor Explorer

3. Falls die Entzerrung nicht bereits während der Aufnahme durchgeführt wurde, kann das Signal auch nachträglich noch in der Analyse-Software ArtemiS mit dem individuellen Entzerrungsfilter gefiltert werden. Eine nachträgliche Entzerrung sollte aber nur in Ausnahmefällen durchgeführt werden. Während der Aufnahme ohne Entzerrung wird unter Umständen eine falsche Aussteuerung gewählt. Ein zu niedriger Aussteuerungsbereich führt dazu, dass die nachträgliche Entzerrung eine Übersteuerung der Aufnahme bewirkt. Durch einen zu hohen Aussteuerungsbereich wird der Dynamikbereich nicht optimal ausgenutzt. Zum anderen kann bei der nachträglichen Entzerrung von Aufnahmen im 16-Bit-Format das Grundrauschen erhöht werden. Auf Grund der Verstärkung im Bereich zwischen 10 und 12 kHz durch das ID-Entzerrungsfilter wird nicht nur das Nutzsignal angehoben, sondern auch das unerwünschte Quantisierungsrauschen, das bei einer Aufnahme im 16-Bit-Format höher ist als z.B. bei Aufnahmen im 24-Bit-Format. Bei der Aufzeichnung von leisen Signalen fällt das verstärkte Rauschen dann u.U. ins Gewicht. Besonders bei der Aufnahme von leisen Geräuschen empfiehlt es sich daher, das 24-Bit-Format zu wählen und bereits bei der Aufzeichnung das Signal zu entzerren.

Bei allen beschriebenen Entzerrungsvarianten muss darauf geachtet werden, dass das für das individuelle BHM passende Entzerrungsfilter verwendet wird. Nur so ist eine korrekte Entzerrung sichergestellt. Und nur so ist die Messung mit einer ID-entzerrten Kunstkopf-Messung bzw. mit einer Aufnahme von einem Messmikrofon vergleichbar.

Um die Vergleichbarkeit einer ID-entzerrten Kunstkopf-Aufnahme und einer ID-entzerrten BHM-Aufnahme zu überprüfen, muss sehr genau auf die Positionierung der Sensoren geachtet wer-

den. Die Mikrofone des Kunstkopfes bzw. die Öffnungen des BHM sollten an derselben Stelle positioniert werden².

Individuellen Entzerrungskurven

Einige Beispiele für individuelle Entzerrungskurven von vier verschiedenen BHMs sind in Abbildung 4 dargestellt.

In diesem Diagramm ist deutlich zu erkennen, dass die Aufnahmen mit einem BHM durch die Entzerrungsfiler bei ca. 11 kHz deutlich angehoben werden. Diese Anhebung wird durch physikalische Eigenschaften des BHM, wie die verwendeten Röhren und Mikrofone, bestimmt.

Je nach BHM ist diese Anhebung unter Umständen sehr stark ausgeprägt, wie z.B. in Abbildung 4 bei der roten Kurve zu sehen ist (beim rechten Kanal mehr als 15 dB bei 10,5 kHz).

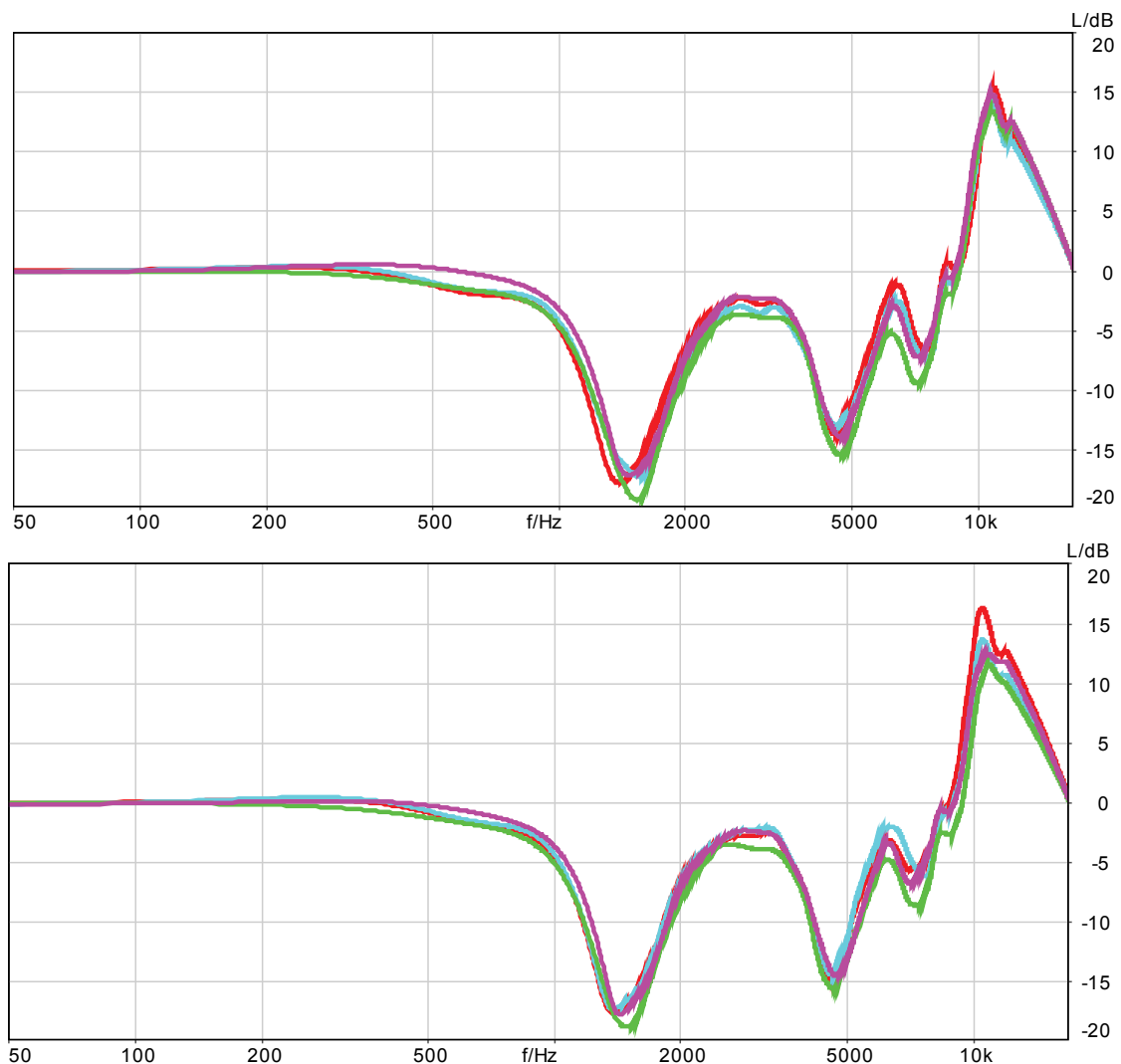


Abbildung 4: Individuelle Entzerrungskurven von vier verschiedenen BHMs

² Die BHM-Entzerrung wurde so entwickelt, dass sie ein von einer erwachsenen Person getragenes BHM richtig entzerrt und nicht eines, das ein Kunstkopf trägt. Daher muss für eine Vergleichsmessung das BHM von einer Person getragen werden und darf nicht dem Kunstkopf aufgesetzt werden.

Verwendung der Entzerrungskurven

Diese starke Anhebung ist notwendig, um die korrekte Entzerrung der BHM-Aufnahme und die Vergleichbarkeit von Messungen zu gewährleisten und führt bei den meisten Anwendungsfällen nicht zu einer Beeinträchtigung der Signalqualität.

Allerdings kann diese starke Anhebung bei bestimmten Signalarten zu unerwünschten Nebeneffekten führen. Dies ist immer dann der Fall, wenn mit einem sehr hohen Aufnahmerange ein sehr leises Signal aufgezeichnet wird. In diesem Zusammenhang wird das durch den hohen Aufnahmerange bedingte, höhere Grundrauschen, durch die starke Anhebung bei 11 kHz punktuell so verstärkt, dass das Rauschen beim späteren Abhören deutlich hörbar ist und als störende Geräuschkomponente wahrgenommen wird.

Dieser Effekt kann durch geeignete Maßnahmen reduziert werden. Da bei der Aufnahme von Schallsignalen bedingt durch die physikalischen Eigenschaften der Mikrofone, der Messkette und der Digitalisierung der Signale immer Rauschanteile mit aufgezeichnet werden, kann dieser Effekt aber nicht völlig verhindert werden. Die nötigen Maßnahmen, die im Folgenden beschrieben werden, entsprechen denen zur Verbesserung der Signalqualität bei nachträglicher Entzerrung (Seite 4, Punkt 3).

Um die Rauschanteile so gering wie möglich zu halten, muss darauf geachtet werden, bei der Aufnahme den korrekten Aussteuerungsbereich zu wählen. Ein zu niedriger Aussteuerungsbereich führt zu einer Übersteuerung der Aufnahme. Durch einen zu hohen Aussteuerungsbereich wird der zur Verfügung stehende Dynamikbereich nicht optimal ausgenutzt und so das Grundrauschen unnötigerweise angehoben. Auf diese Weise verschwinden leise Geräuschanteile im Rauschteppich der Aufnahme und das Rauschen wird durch den Entzerrungsfilter in bestimmten Frequenzbändern verstärkt.

Das unerwünschte Quantisierungsrauschen ist bei einer Aufnahme im 16-Bit-Format höher als z.B. bei Aufnahmen im 24-Bit-Format. Bei der Aufzeichnung von leisen Signalen fällt das verstärkte Rauschen u.U. ins Gewicht. Deshalb empfiehlt es sich besonders bei der Aufnahme von leisen Geräuschen, das 24-Bit-Format zu wählen.

Nachbearbeitung in ArtemiS

Wenn die Aufnahmesituation die Verwendung eines hohen Aufnahmeranges auch bei der Aufnahme von sehr leisen Geräuschen verlangt (z.B. bei Aufnahme von schnell aufeinanderfolgenden Signalen mit sehr hohen und sehr niedrigen Pegeln) und der oben beschriebene Effekt auftritt, sollte mit der Online-Filterung in ArtemiS gearbeitet werden. Bei der Verwendung eines entsprechenden Filters können die störenden Signalanteile kontrolliert eliminiert werden. So erhält der Hörer die Möglichkeit, sich auf das Nutzsignal zu konzentrieren.

In ArtemiS steht die Online-Filterung z.B. im Marken-Analysator zu Verfügung. Nachdem das Signal in einem Marken-Analysator mit den gewünschten Analysen dargestellt ist, kann der Filtereditor geöffnet werden und das gewünschte Filter ausgewählt werden. Hierbei besteht die Wahl zwischen dem Bandstop und dem parametrischen Bandpass³. Mit Hilfe des Bandstops können die störenden Signalanteile vollständig herausgefiltert werden. Besitzt das Signal aber auch im Nutzsignal Anteile um 11 kHz wird durch ein solches Filter auch das eigentliche Nutzsignal stark verändert. Dies kann durch die Verwendung eines parametrischen Bandpass, bei dem die Dämpfung einstellbar ist, verhindert werden. Mit Hilfe eines solchen Filters kann die

³ Für die Verwendung eines parametrischen Bandpass benötigen Sie ATP 09.

Dämpfung z.B. auf 6 dB eingestellt werden, so dass die Auswirkung auf das Nutzsignal reduziert wird.



Abbildung 5: Bandstop parametrischen Bandpass

Natürlich kann ein Signal auch dauerhaft gefiltert werden und in einer neuen Datei abgespeichert werden. Dazu wird der mit Hilfe der Online-Filterung konfigurierte Filter in den Filter-Pool kopiert. Danach kann das Zeitsignal mit aktiviertem Filter z.B. durch den File-Export oder den Wave-Export in einer neuen Datei abgelegt werden. So steht ein gefiltertes Zeitsignal zum Einbinden in eine PowerPoint®-Präsentation o.ä. zur Verfügung.

Abhören einer BHM-Aufnahme

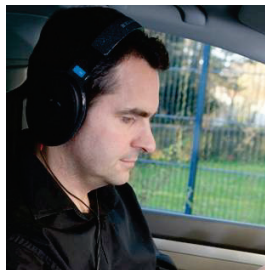
Beim Abhören einer BHM-Aufnahme muss eine Wiedergabe-Entzerrung verwendet werden. Diese gewährleistet, dass Sie beim Abhören des Signals über Kopfhörer den gleichen Höreindruck erleben, als wären Sie im Original-Schallfeld.

BHM-Aufnahme im Fahrzeug



+

Wiedergabe über PEQ und Kopfhörer



≙

(bei Verwendung der korrekten Entzerrungen für Aufnahme und Wiedergabe)

Schalleindruck im Original-Schallfeld



Abbildung 6: Aufnahme und Wiedergabe einer BHM-Aufnahme

HEAD acoustics bietet für die Wiedergabe von BHM-Aufnahmen einen programmierbaren Equalizer (PEQ) an. Die PEQ ist mit dem nötigen ID-Filter programmiert, so dass die BHM-Aufnahme richtig entzerrt wiedergegeben werden kann und ein zum Original-Schallfeld vergleichbarer Geräuscheindruck entsteht. Die Wiedergabe einer BHM-Aufnahme erfolgt am einfachsten über die Analysesoftware ArtemiS bzw. das HEAD Data Portal, eine PEQ und einen Kopfhörer.

Die Einstellung des Pegels an der PEQ muss dem Aussteuerungsbereich der Aufnahme entsprechen. Dies kann automatisch oder manuell erfolgen. Falls die beiden Kanäle der BHM-Messung unterschiedliche Aussteuerungsbereiche besitzen, muss die PEQ bei der manuellen Einstellung 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. Eine ausführliche Beschreibung zur richtigen Einstellung einer PEQ IV und PEQ V finden Sie im folgenden Kapitel.

Anwendungsbeispiel: BHM-Aufnahme im Fahrzeuginnenraum⁴

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 7 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 Kanal stärker als im rechten.

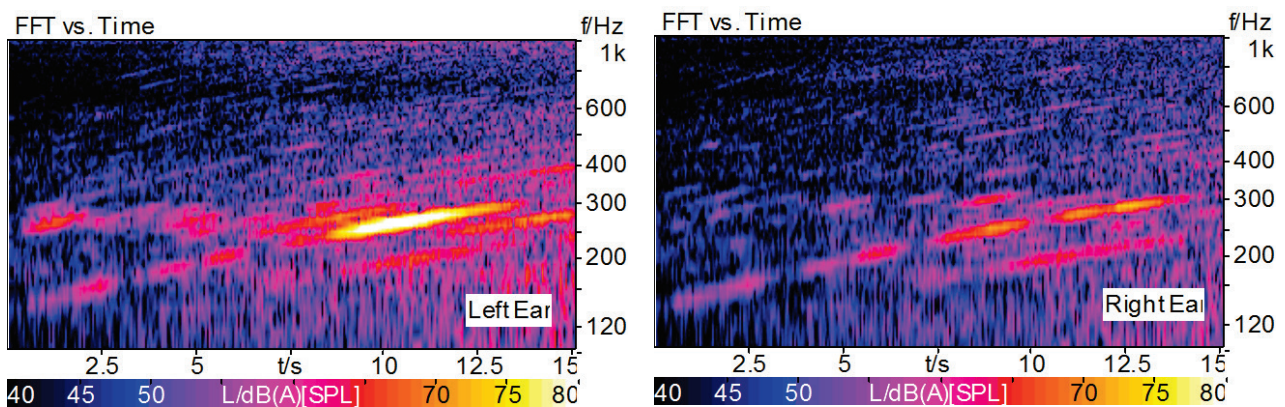


Abbildung 7: FFT-vs-time-Analyse eines Fahrzeuginnenraumgeräusches

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 8).⁵

⁴ Dieses Kapitel ist ein Auszug aus der Application Note „Binaural Messen, Auswerten und Wiedergeben“ und wird hier zur Ergänzung und zur Verdeutlichung der Angaben zum BHM aufgeführt.

⁵ Um den gezeigten Dialog aufzurufen, müssen Sie beim Drücken des „Dataset Info“-Button auf der Eigenschaften-Seite des Zeitsignals die [Umschalt]-Taste gedrückt halten.

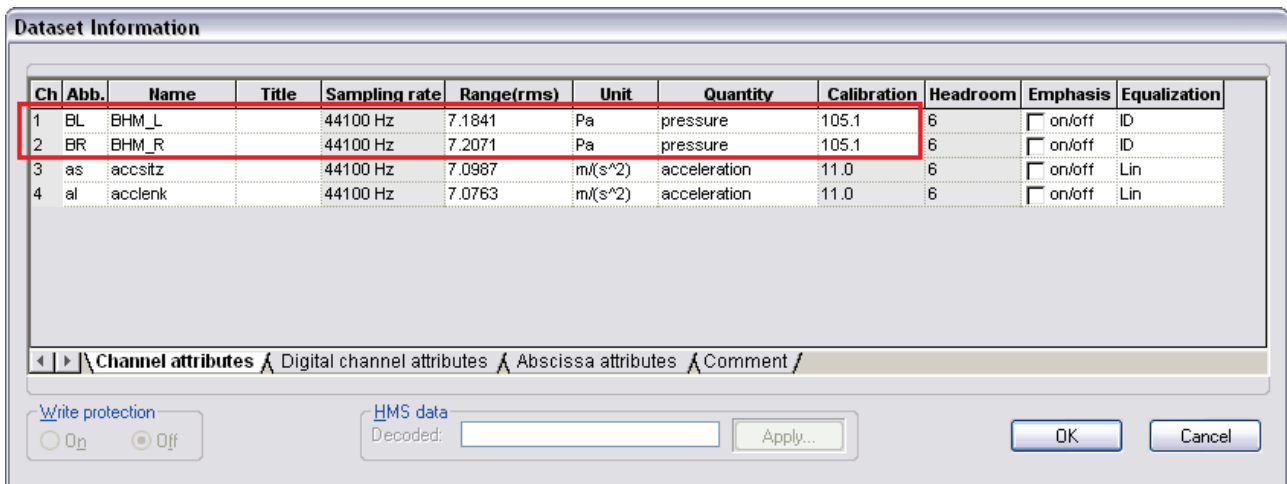


Abbildung 8: Datensatz-Information der BHM-Aufnahme

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!