

## Über dieses Dokument

### Inhalt

Das vorliegende Dokument ist die erste von drei Application Notes über räumliches Hören und binaurale Messtechnik. Diese Application Note erläutert, wann eine Aufnahmeentzerrung für binaurale Aufnahmen notwendig ist, und stellt die verschiedenen Entzerrungsarten vor.

1. Kompatibilität durch Aufnahmeentzerrung \_\_\_\_\_ 2
2. Die verschiedenen Entzerrungsarten \_\_\_\_\_ 3
3. Auswahl der Aufnahmeentzerrung \_\_\_\_\_ 5

### Zielgruppe

Der nachfolgende Text richtet sich an Akustiker<sup>1</sup>, die sich für die gehörrichtige Aufnahme von Schallsignalen interessieren. Insbesondere Anwender, die mehr über die Aufnahmeentzerrung von binauralen Aufnahmen wissen möchten, können von den zur Verfügung gestellten Informationen profitieren.

### Fragen?

Sie haben Fragen? Wir freuen uns über Ihre Rückmeldungen!

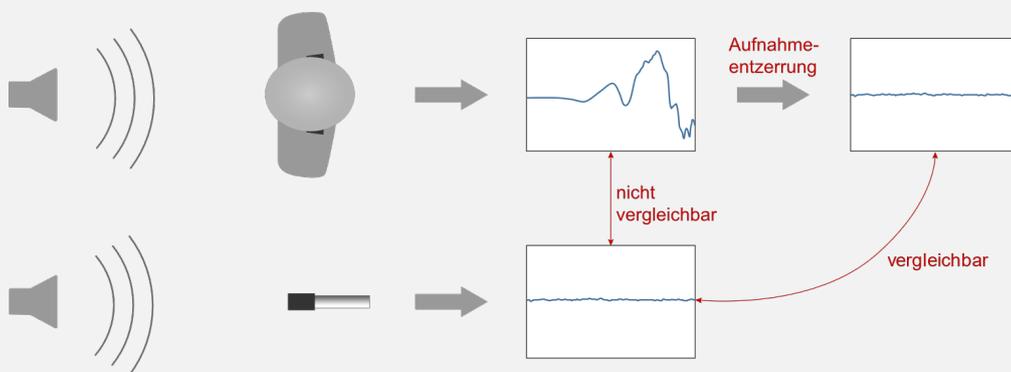
Fragen zum Inhalt dieses Dokument: [Imke.Hauswirth@head-acoustics.com](mailto:Imke.Hauswirth@head-acoustics.com)

Technische Fragen zu unseren Produkten: [SVP-Support@head-acoustics.com](mailto:SVP-Support@head-acoustics.com)

## Kunstkopfaufnahmen entzerren

### Einleitung

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<sup>2</sup>. 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.



Eine Aufnahmeentzerrung ist ein Filter, das bei der Aufnahme auf das aufgenommene Signal angewendet wird. Dieses Filter heißt Entzerrungsfilter, weil der zuvor durch den Kunstkopf veränderte (verzerrte) Schall durch dieses

<sup>1</sup> 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.

<sup>2</sup> Die Vorteile der binauralen Aufnahmetechnik sind im zweiten Kapitel der Application Note „[Binaural aufnehmen mit einem Kunstkopf](#)“ zusammengestellt.

Filter wieder entzerrt wird. Und so mit konventionellen Messmikrofonaufnahme vergleichbar gemacht werden kann.

## 1. Kompatibilität durch Aufnahmeentzerrung

### Schallfeldveränderungen

Während bei einem Messmikrofon die Empfindlichkeit der Schallaufnahme unabhängig von der Schalleinfallrichtung ist, verändert ein Kunstkopf mit seiner der menschlichen Anatomie nachempfundenen Geometrie das Schallfeld. Diese spektralen und pegelmäßigen Veränderungen, die sowohl richtungsabhängig und richtungsunabhängig auftreten, sind keine Fehler, sondern erwünscht. Durch sie ist eine gehörrichtige Wiedergabe möglich, die es dem Menschen erlaubt, die Geräusche so anzuhören, als wäre er selbst im originalen Schallfeld. Abbildung 1 zeigt die richtungsabhängigen und richtungsunabhängigen Schallfeldveränderungen, die durch den Kunstkopf verursacht werden.

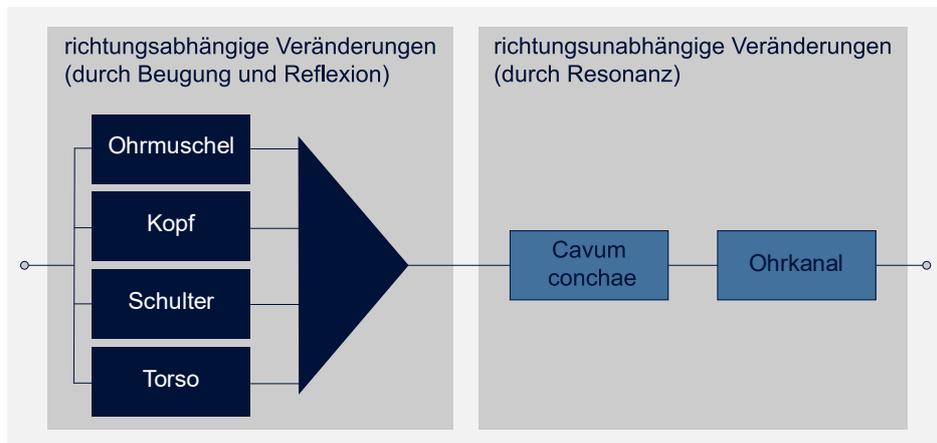


Abbildung 1: Richtungsabhängige und richtungsunabhängige Schallfeldänderungen

### Kompatibilität zum Messmikrofon

Durch die linearen Verzerrungen, die durch die Außenohrübertragungsfunktion des Kunstkopfes hervorgerufen werden, sind die Kunstkopfsignale aber nicht kompatibel zu konventionellen Messmikrofonen. Das bedeutet, mit einem nicht-entzerrten Kunstkopf-Messsystem kann z. B. der A-bewertete Schalldruckpegel nicht sinnvoll gemessen werden. Eine einfache Spektralanalyse ist ebenfalls nicht aussagekräftig und bewährte psychoakustische Analysen, wie die Lautheitsberechnung nach Zwicker, gehen von einer Aufnahme aus, die mit einem Messmikrofon vergleichbar ist.

Für die Analyse müssen also die richtungsabhängigen und/oder richtungsunabhängigen Veränderungen aus der Kunstkopfaufnahme herausgerechnet (entzerrt) werden, so dass ein zu einem konventionellen Messmikrofon vergleichbares Übertragungsmaß besteht und die Kompatibilität zwischen Kunstkopfaufnahmen und konventionellen Aufnahmen erreicht wird.

### Schnittstelle für Lautsprecher-Wiedergabe

Außerdem wird durch die Entzerrung eine Schnittstelle geschaffen, die dem Anwender die klangfarbenneutrale Wiedergabe nicht nur über Kopfhörer, sondern z. B. auch über ein Stereo-Lautsprechersystem erlaubt.

## 2. Die verschiedenen Entzerrungsarten

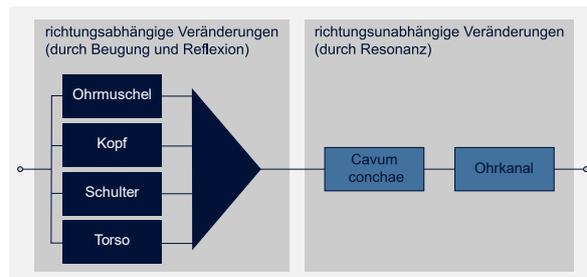
### Drei Aufnahme-entzerrungen

Der Verlauf der Filterkurve, die nötig ist, um eine Kunstkopfaufnahme mit einer Mikrofonaufnahme vergleichbar zu machen, unterscheidet sich je nach Beschallungsrichtung. Zum Beispiel ist bei Schalleinfall direkt von vorn ein anderes Filter nötig als bei Schalleinfall von allen Seiten. HEAD acoustics bietet für das Kunstkopf-Messsystem drei verschiedene Aufnahmeentzerrungen an:

- **Freifeld (FF):** Schalleinfall von vorn in reflexionsarmer Umgebung, die Schallquelle befindet sich auf der Höhe der Kunstkopfhoren mindestens 3 m vom Kunstkopf entfernt. Die Aufnahmeentzerrung für diese Schallsituation kann messtechnisch mit einem entsprechenden Messaufbau im Freifeld bestimmt werden.
- **Diffusfeld (DF):** Schalleinfall aus allen Richtungen mit gleichem Spektrum. Die Aufnahmeentzerrung für diese Schallsituation kann messtechnisch mit einem entsprechenden Messaufbau im Diffusfeld bestimmt werden.
- **Independent of Direction (ID):** Entzerrung der richtungsunabhängigen Resonanzen von Cavum conchae und Ohrkanaleingang. Diese Aufnahmeentzerrung kann nur mathematisch bestimmt werden.

### Freifeld- und Diffusfeldentzerrung

Ein FF-entzerrter Kunstkopf weist bei Freifeldbedingungen und Schalleinfall von vorn eine frequenzunabhängige Übertragungsfunktion auf. Ein DF-entzerrter Kunstkopf weist bei Beschallung im diffusen Schallfeld eine frequenzunabhängige Übertragungsfunktion auf. Beide Beschallungssituationen berücksichtigen die richtungsunabhängigen Übertragungseigenschaften des Kunstkopfes. Bei der FF-Entzerrung werden außerdem die richtungsabhängigen Übertragungseigenschaften für Schalleinfall von vorn entzerrt, bei der DF-Entzerrung erfolgt zusätzlich die Filterung mit der komplexen Überlagerung von allen richtungsabhängigen Parametern. Beide Entzerrungen beinhalten demnach neben den richtungsunabhängigen auch richtungsabhängige Parameter – die FF-Entzerrung für exakt eine Schalleinfallrichtung, die DF-Entzerrung als Integral über alle Schalleinfallrichtungen.



### ID-Entzerrung

Diesen beiden Entzerrungsarten lässt sich eine weitere gegenüberstellen, eine richtungsneutrale, vom Schallfeld unabhängige Entzerrung. Sie beinhaltet ausgehend von einer systemtheoretischen Beschreibung des Kunstkopf-Außenohres ausschließlich die Korrektur der richtungsunabhängigen Parameter, d. h. die von der Cavum-conchae-Höhlung und dem Ohrkanaleingang erzeugten Resonanzen. Da diese Entzerrung nur die richtungsunabhängigen Veränderungen korrigiert, wird sie ID-Entzerrung (Independent of Direction) genannt.

### Vergleich der Entzerrungsarten

Die Unterschiede zwischen den drei Entzerrungsarten sind nicht groß. Die Unterschiede zwischen den Außenohrübertragungsfunktionen individueller Personen sind mitunter deutlich größer als die durch die verschiedenen Entzerrungsarten

hervorgerufenen Unterschiede. In Abbildung 2 sind die individuellen Entzerrungen eines HMS IV dargestellt.

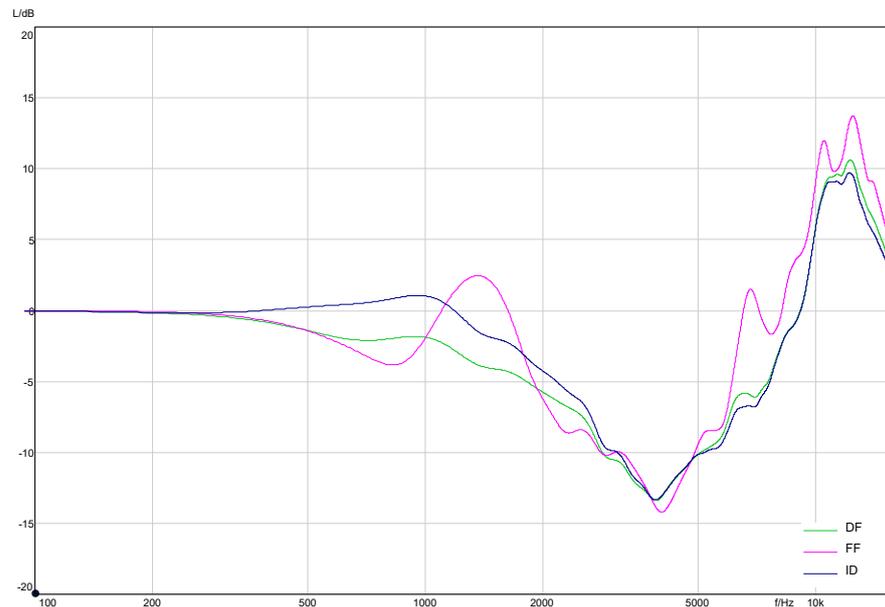


Abbildung 2: Individuelle Entzerrungen eines HMS IV

Der Hauptbeitrag bei allen drei Entzerrungsarten entsteht durch die Entzerrung der Resonanzen im Cavum conchae und Ohrkanaleingang. Diese Resonanzen verstärken den Schalleindruck richtungsunabhängig im Spektralbereich über 3 kHz und müssen von allen Entzerrungsarten durch entsprechende Filter mit genau inversen Übertragungsfunktionen korrigiert werden. Dies bewirkt, dass die Kurven der drei Entzerrungsarten grundsätzlich recht ähnlich sind.

Unterschiede bei der FF-Entzerrung werden dadurch verursacht, dass bei dieser Entzerrung Anteile entzerrt werden, die speziell bei Schalleinfall exakt von vorn im Freifeld durch Beugung und Reflexion an Oberkörper, Schulter, Kopf und Ohrmuschel entstehen. Dies führt zu einigen scharfen Einbrüchen und Erhebungen der FF-Aufnahmeentzerrung.

#### Unterschied DF- / ID-Entzerrung

Bei der DF-Entzerrung werden die durch Beugung und Reflexionen entstandenen Anteile über alle Schalleinfallrichtungen gemittelt entzerrt. Die scharfen Einbrüche wie bei der FF-Entzerrung durch einzelne Reflexionen sind hier nicht mehr vorhanden. Dies gilt auch für die ID-Entzerrung, die ausschließlich die richtungsunabhängigen Einflüsse entzerrt. Die DF-Entzerrung ist daher der ID-Entzerrung sehr ähnlich. Der Hauptunterschied zwischen DF-Entzerrung und ID-Entzerrung liegt in der breiten Anhebung um ca. 3 dB im Frequenzbereich um 1 kHz (siehe Abbildung 3), d. h. bei einem DF-entzerrten Kunstkopf wird dieser Bereich stärker abgesenkt als bei einem ID-entzerrten Kunstkopf.

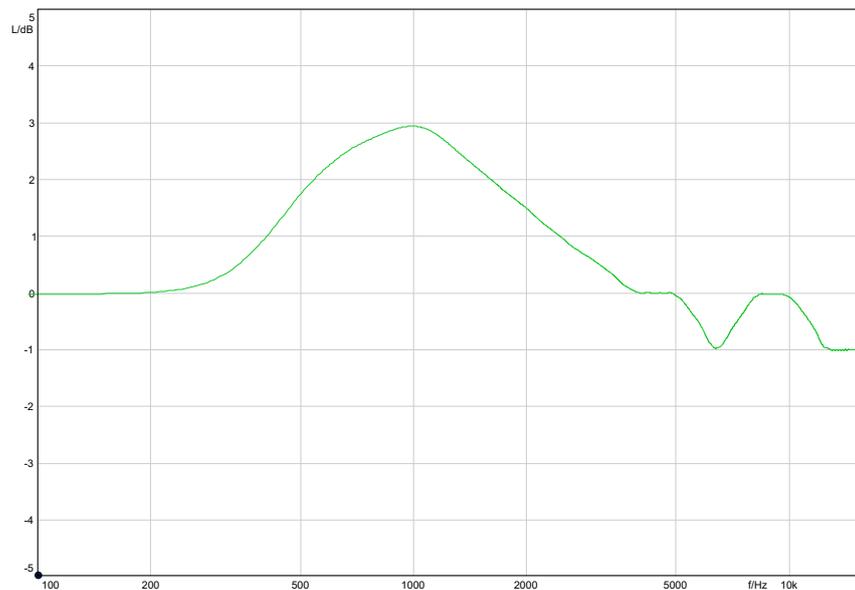


Abbildung 3: Differenzkurve zwischen ID- und DF-Entzerrung

### 3. Auswahl der Aufnahmeentzerrung

#### Grundsätzliche Regel

Die Vergleichbarkeit zur Messmikrofonaufnahme ist jeweils nur dann gegeben, wenn die für die Schallsituation richtige Entzerrung verwendet wird. Grundsätzlich gilt also, dass für die adäquate Wahl der Entzerrung immer die bei der Messung vorliegende Schallfeldsituation berücksichtigt werden muss.

#### Nutzung der FF-Entzerrung

Bei der FF-Entzerrung ist eine exakte messtechnische Angabe möglich und die Reproduzierbarkeit und Wiederholgenauigkeit von Freifeldmessungen sind sehr hoch. Bei Messungen mit einem Kunstkopf bei Beschallung exakt von vorn tritt durch eine Reflexion im Cavum conchae ein signifikanter Einbruch auf. Eine FF-Entzerrung für ein Kunstkopfmikrofon erfordert demnach eine entsprechende Verstärkung dieses Frequenzbereiches. Diese Reflexion wird allerdings bereits bei einer geringen Änderung der Schalleinfallrichtung stark reduziert. Abbildung 23 verdeutlicht dies am Beispiel der Änderung der Außenohrübertragungsfunktion einer individuellen Versuchsperson bei der Auslenkung der Schallquelle um  $2^\circ$  aus der Medianebene.

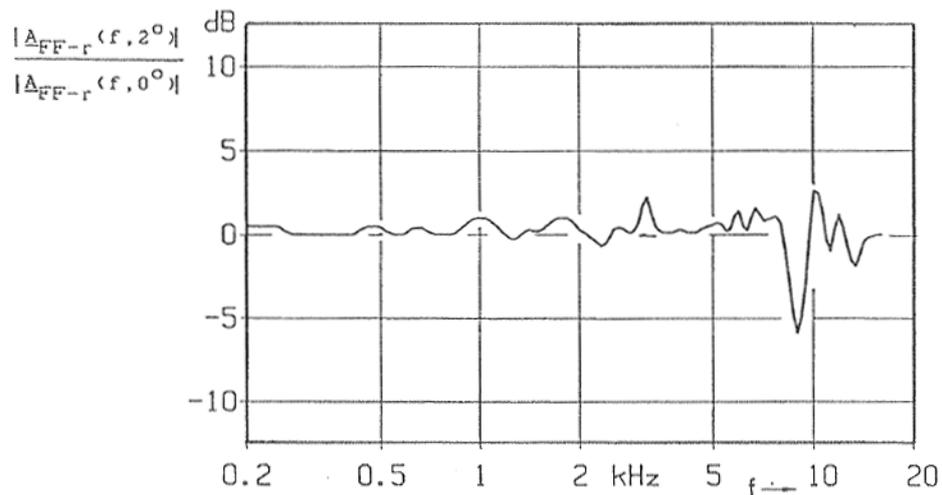


Abbildung 4: Änderung des Betrages der Außenohrübertragungsfunktion einer individuell gemessenen Versuchsperson bei Auslenkung der Schallquelle um  $2^\circ$  aus der Medianebene (Genuit: Ein Modell zur Beschreibung von Außenohrübertragungseigenschaften, Dissertationsschrift, 1984)

Bei FF-entzerrten Aufnahmen von Schallquellen, die sich zwar im Freifeld aber nicht exakt vor dem Kunstkopf befinden, kommt es bei der messtechnischen Auswertung in der Regel zu einer unnatürlichen Anhebung des verstärkten Frequenzbereiches. Dies gilt z. B. auch für eine Vorbeifahrtmessung im Freien. Die FF-Entzerrung wäre nur für den Augenblick korrekt, in dem das Auto genau vor dem Kopf ist. Dies ist jedoch aufgrund der Abmessung des Fahrzeuges nicht möglich.

### Nutzung der DF-Entzerrung

Mit der DF-Entzerrung könnte dieser Fehler umgangen werden. Allerdings ist das Diffusfeld im Vergleich zum Freifeld schlecht reproduzierbar. Außerdem sind wirkliche Diffusfelder in der Praxis schwer zu realisieren und kommen nur sehr selten vor.

### Nutzung der ID-Entzerrung

Zusammenfassend kann folgende Empfehlung für die Wahl der Entzerrung gegeben werden: Die FF-Entzerrung kann für Messungen im reflexionsarmen Raum (Schallquelle mit geringer Ausdehnung direkt vor dem Kunstkopf mit mindestens 3 m Abstand) verwendet werden. Die DF-Entzerrung kann für Messungen in einem diffusen Schallfeld genutzt werden, wie es eventuell in einem Konzertsaal auftritt. Für andere Schallfeldsituationen (z. B. Messungen im Straßenverkehr oder im Fahrzeuginnenraum) kann die ID-Entzerrung verwendet werden, da diese Schallfelder weder dem Freifeld noch dem Diffusfeld wirklich entsprechen.