

Förderpreis 2014

Untersuchung neuer Messsignale zur Bestimmung des maximalen Ausgangsschalldruckpegels im Hörgerät mittels der Perzentilanalyse

Bachelorarbeit

Verfasser: Maren Wellnitz
1. Betreuer: Dipl.-Ing. Reimer Rohweder
2. Betreuer: Prof. Dr. Jürgen Tchorz
Datum der Abgabe: 16.03.2014

E UHA

Europäische Union der
Hörgeräteakustiker e.V.

Herausgeber: Europäische Union der Hörgeräteakustiker e.V.
Neubrunnenstraße 3, 55116 Mainz, Deutschland
Tel. +49 (0)6131 28 30-0
Fax +49 (0)6131 28 30-30
E-Mail: info@euha.org
Internet: www.euha.org

Alle hier vorhandenen Daten, Texte und Grafiken sind urheberrechtlich geschützt. Eine Verwertung über den eigenen privaten Bereich hinaus ist grundsätzlich genehmigungspflichtig.

© EUHA 2014

Danksagung

Ich möchte Herrn Rohweder und Frau Bäuml vom Deutschen Hörgeräte Institut ganz herzlich für die große Unterstützung danken, die ich während meiner Bachelorarbeitszeit bekommen habe.

Der Dank gilt auch dem gesamten Acousticon-Team, besonders Harald Bonsel für seine Hilfestellungen und Theresa Bonsel für ihren freundlichen Telefon-Support.

Außerdem möchte ich mich herzlich bei Prof. Dr. Jürgen Tchorz bedanken, der im Studium immer einen Rat wusste und bei dem ich in den Vorlesungen sehr viel über Psychoakustik, Matlab, Statistik und Hörgerätetechnologie lernen durfte.

Am Schluss möchte ich mich bei meiner Mutter, meinem Freund Tillmann Harries und bei Auris Hörakustik bedanken, die mir das Studium mit ermöglicht haben und mich ebenfalls immer unterstützten.

Motivation

Bei der Durchführung des Hörprojekts zur Überprüfung der Praxistauglichkeit des EUHA-Perzentilleitfadens und aufgrund von Untersuchungen des EUHA-Arbeitskreises Perzentile stellte sich heraus, dass das International Speech Test Signal (ISTS) bei Messungen des maximalen Ausgangsschalldruckpegels (L_{Amax}) eines Hörgerätes nicht optimal geeignet ist. Gründe dafür sind der im Hochtonbereich abfallende Frequenzgang, die Messdauer und eine fehlende Ähnlichkeit mit echten impulshaften Störgeräuschen. Der Arbeitskreis Perzentile, aber auch die Firma Acousticon, federführend Harald Bonsel, und Reimer Rohweder vom Deutschen Hörgeräte Institut, beschäftigten sich mit der Entwicklung neuer geeigneter Signale zur Messung des maximalen Ausgangsschalldruckpegels mittels der Perzentilanalyse. Erste Untersuchungen ergaben, dass diese neuen Signale mit den herkömmlichen Sinusmessungen vergleichbar sind. Allerdings ist dies bisher nicht in einem ausreichenden Umfang untersucht worden.

Folglich stellten sich verschiedene Fragen in Bezug auf die neuen Signale:

1. Sind die Messungen unter gleichbleibenden akustischen Bedingungen in der Messbox mit den neuen Signalen reproduzierbar? Welche Auswirkung haben die Hörgerätefeatures auf die Reproduzierbarkeit? (Kapitel 3.1)
2. Welche Begrenzungsart erreichen die neuen Signale in Trageeinstellung? Hierbei ist es wichtig zu analysieren, ob der Ausgang durch die Automatic Gain Control output (AGCo) oder durch die eingeschwungene Automatic Gain Control input (AGCi) begrenzt wird. (Kapitel 3.2)
3. Wie gut ist die Übereinstimmung der neuen MPO-Signale mit dem Sinussweep? Welche Auswirkung haben die Hörgerätefeatures auf die Signale? (Kapitel 3.3)

4. Erreichen die neu entwickelten Signale in der Messbox, genau wie bisher der Sinus-sweep, den Sättigungsschalldruckpegel der Hörgeräte? (Kapitel 3.4)
5. Wie gut eignen sich die neuen Signale in Bezug auf Anwendbarkeit und subjektive Akzeptanz für klassische In-situ-Messungen mit Hilfe des EUHA-Perzentil-Leitfaden?¹ (Kapitel 4)

Ziel der Bachelorarbeit ist die Analyse der neuen Signale im Hinblick auf ihre Eigenschaften sowie die Untersuchung ihrer Praxistauglichkeit. Mit Blick auf die oben genannten Fragestellungen werden diese Signale mit fünf Hörgeräten von verschiedenen Herstellern in der Messbox untersucht. Außerdem werden die Ergebnisse einer Probandenstudie über die subjektive Akzeptanz und In-situ-Tauglichkeit der neuen Signale ausgewertet.

¹ <http://www.euha.org/informationen/arbeitskreis-perzentile/>

Zusammenfassung

Ziel dieser Arbeit ist die Untersuchung neuer MPO-Signale zur Bestimmung des maximalen Ausgangsschalldruckpegels (L_{Amax}) in Hörgeräten unter Anwendung der Perzentilanalyse. Zunächst werden die Ergebnisse der technischen Signalüberprüfung in der Messbox mit fünf verschiedenen Hörgeräten unterschiedlicher Hersteller erläutert. Die Schwerpunkte sind hier der Vergleich zweier MPO-Signale untereinander und der Vergleich dieser Signale mit dem Sinussweep. Ein wichtiger Aspekt ist die Überprüfung einer eventuellen Beeinflussung der neuen Signale durch aktivierte Hörgerätefeatures. Es zeigt sich, dass diese Signale gut mit aktivierten Features verwendet werden können. Die Messungen der beiden neuen MPO-Signale mit und ohne Features weichen bei allen fünf Hörgeräten kaum voneinander ab. Auch im Vergleich zum Sinussweep liefern die neuen Signale eine gute Übereinstimmung. Teilweise gibt es geringfügige Beeinflussungen des Sinussweeps durch die Signalverarbeitung. In der Full-On-Gain-Einstellung wird die Sättigung der neuen Signalen erreicht. Dies bestätigt die Tauglichkeit der Signale. Es zeigt sich allerdings, dass die Einstellung des MPO-Stellers in Kundentrageeinstellung bei den untersuchten Hörgeräten mit den neuen MPO-Signalen wie auch mit dem Sinussweep nicht voll umfassend möglich ist. Durch geringe Verstärkungen, sehr schnell regelnde Dynamikkompressionen (AGCi) und hohe Kompressionsverhältnisse werden die Regelschwellen der MPO (AGCo) im First Fit nicht erreicht. Ein kritischer Blick, ob der gemessene L_{Amax} in Trageeinstellung zu der MPO-Begrenzung in der Software passt, ist daher ratsam.

Der zweite Schwerpunkt dieser Arbeit ist die Anwendung der neuen Signale unter In-situ-Bedingungen und die subjektive Bewertung der Signale durch Probanden. Hierfür wurde ein Fragebogen entworfen, der die Dauer, die Lautstärke und den Gesamteindruck der einzelnen Signale erfragt. In diese Untersuchungen fließt auch das International Speech Test Signal (ISTS) als Vergleichssignal ein, welches bisher zur Einstellung des maximalen Ausgangsschalldruckpegels in der Perzentilanalyse diente. Die Untersuchungen machen deutlich, dass das ISTS messtechnisch sowie auch subjektiv nicht optimal geeignet ist. Die beiden neuen MPO-Signale hingegen liefern verwertbare In-situ-Messergebnisse und wurden von den Probanden als positiv bewertet.

Mit den neuen EUHA-MPO-Signalen sind sehr geeignete Signale für die Perzentilanalyse entwickelt worden. Sie sind sowohl in der Messbox als auch bei In-situ-Messungen einsetzbar. Die Eigenschaften sind vergleichbar mit dem Sinussweep, jedoch mit dem großen Vorteil, dass der maximale Ausgangsschalldruckpegel im Hörgerät mit eingeschalteten Features während der Perzentilanpassung gemessen werden kann. Dadurch kann auch in situ kontrolliert werden, ob der aktuelle L_{Amax} die individuelle Unbehaglichkeitsgrenze überschreitet.

Inhaltsverzeichnis

| | |
|---|-----------|
| Impressum | i |
| Danksagung | ii |
| Motivation | ii |
| Zusammenfassung | iv |
| Inhaltsverzeichnis | v |
| 1. Theoretische Grundlagen | 1 |
| 1.1 Einleitung | 1 |
| 1.2 Begrenzungsarten digitaler Hörgeräte | 1 |
| 1.3 Perzentilanalyse und Beschreibung der Norm DIN EN 60118-15 | 3 |
| 2. Messaufbau und Messsignale | 5 |
| 2.1 Setup für die Messboxmessungen in der ACAM 5 | 6 |
| 2.2 Die Voreinstellung der Hörsysteme auf Basis von NAL-NL2 | 7 |
| 2.3 Der Sinussweep | 9 |
| 2.4 ISTS – International Speech Test Signal | 10 |
| 2.5 Das EUHA-MPO-Signal | 11 |
| 2.5.1 Vergleich ISTS und EUHA-MPO-Signal | 13 |
| 2.6 Das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS | 14 |
| 2.7 Das alte ACAM-MPO-Signal | 16 |
| 2.8 Das neue ACAM-MPO-Signal | 17 |
| 3. Untersuchungen und Ergebnisse | 18 |
| 3.1 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse | 18 |
| 3.2 Betrachtung der Auswirkungen der Dynamikkompression (AGCi) im Zusammenhang mit den neuen MPO-Signalen | 22 |
| 3.3 Messungen der neuen MPO-Signale in der First Fit-Einstellung NAL-NL2 | 25 |
| 3.3.1 Siemens Motion 501 DM VC | 26 |
| 3.3.2 Phonak Bolero Q70-M13 | 28 |
| 3.3.3 Widex Clear 220 c9 | 30 |
| 3.3.4 Oticon Alta Pro | 32 |
| 3.3.5 ReSound Verso 7 | 34 |
| 3.4 Messungen der neuen MPO-Signale in der FOG-Einstellung | 36 |
| 3.4.1 Siemens Motion 501 DM VC | 37 |
| 3.4.2 Phonak Bolero Q70-M13 | 39 |
| 3.4.3 Widex Clear 220 c9 | 41 |
| 3.4.4 Oticon Alta Pro | 43 |
| 3.4.5 ReSound Verso 7 | 45 |
| 4. Versuchsdesign In-situ-Messungen | 47 |
| 4.1 Planung der Probandenstudie | 47 |
| 4.2 Kalibrierung und Überprüfung der Messanordnung | 47 |
| 4.3 Entwicklung des Fragebogens | 49 |
| 4.4 Das Anforderungsprofil an Hörsystem und Proband | 51 |
| 4.5 Durchführung der Messung | 53 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 4.6 | Der EUHA-Perzentilleitfaden und die Integration des neuen MPO-Signals | 53 |
| 4.7 | In-situ-Kontrollmessungen nach dem EUHA-Perzentilleitfaden inklusive der neuen MPO-Signale | 54 |
| 4.7.1 | Beispiel für ein gutes Ergebnis | 55 |
| 4.7.2 | Beispiel für ein fehlerbehaftetes Ergebnis | 56 |
| 4.8 | Auswertung der subjektiven Bewertung durch den Fragebogen | 57 |
| 5. | Diskussion | 58 |
| 6. | Fazit | 59 |
| 7. | Verzeichnisse | 60 |
| 7.1 | Abkürzungsverzeichnis | 60 |
| 7.2 | Abbildungsverzeichnis | 61 |
| 7.3 | Literaturverzeichnis | 64 |
| 8. | Anhang | 65 |
| 8.1 | Verwendete Software | 65 |
| 8.2 | Screenshots Herstellersoftware | 65 |
| 8.3 | Ergebnisse der Fragebogenbewertung | 68 |

1. Theoretische Grundlagen

1.1 Einleitung

Warum wird in der Perzentilanalyse ein neues Signal für die Messung des maximalen Ausgangsschalldruckpegels benötigt?

In der Perzentilanalyse liegt der Schwerpunkt auf der Auswertung von dynamischen Signalen, wie z. B. dem sprachähnlichen ISTS. Es ist aber auch möglich, jedes beliebige andere Signal mittels der Perzentilanalyse zu untersuchen. Deshalb stellt sich die Frage, ob ein Sprachsignal wie das ISTS für eine Messung der maximalen Begrenzung im Hörgerät geeignet ist. Zum Beispiel sind u. a. Straßenlärm, ein Knall oder eine Krankenwagensirene sehr laute Ereignisse im Alltag. Dieses „Worst-Case-Szenario“ mit kurzen und sehr lauten Signalen muss vom Hörgerät sicher begrenzt werden, denn nach einer Studie von Sergei Kochkin („Why my hearing aids are in the drawer?“)² ist eine zu laute Hörgeräte-Übertragung der zweithäufigste Grund, warum ein Hörgerät letztlich nicht getragen wird. Oft nutzen Schwerhörige einen Lautstärkereglер (Poti), um sehr laute Situationen zu vermeiden. Dies hat zur Folge, dass das Hörgerät insgesamt leiser wird und sich damit die Verständlichkeit von Sprache reduziert. Andererseits hat der Hörgeräteträger auch die Möglichkeit, lauter zu stellen. Das birgt die Gefahr, dass der maximale Schalldruckpegel bei nicht individuell angepasster Ausgangsbegrenzung zusammen mit der Gesamtverstärkung angehoben wird. Um dieses Szenario und die daraus resultierenden gesundheitlichen Risiken zu vermeiden, muss der Hörgeräteakustiker eine frequenzspezifische Unbehaglichkeitsgrenze (UG) bestimmen und anschließend mit Hilfe der Messtechnik eine Ausgangspegelbegrenzung (MPO) im Hörgerät einstellen. Um mit der Messtechnik eine korrekte, möglichst genaue Messung zu erhalten, müssen ähnlich laute, impulshafte und frequenzspezifische Signale verwendet werden. Diese neuen Signale für die Perzentilanalyse sind jetzt in der Entwicklung und werden im Folgenden untersucht.

1.2 Begrenzungsarten digitaler Hörgeräte

Der L_{Amax} wird in modernen Hörgeräten über eine digitale AGCo begrenzt. Dieses zeitlich regelnde System begrenzt das Hörgerät mit einem unendlich hohen Kompressionsverhältnis. Abbildung 1 zeigt, dass bei der AGCo der L_{Amax} bei veränderter Verstärkung konstant bleibt.

Die AGCo hat das früher genutzte zeitlose Peak Clipping (PC) ersetzt. Das PC führte durch das Abschneiden von Signalspitzen zu unerwünschten Verzerrungen. Bei der AGCo wird der Pegel ohne Verzerrung abgesenkt. Hier können durch die zeitliche Regelung kurze Einschwingspitzen entstehen.³ Durch die ständige Weiterentwicklung und Erhöhung der

² <http://www.clas.ufl.edu/users/mcolburn/Web-links/Nursing%20Lecture/ITD%20HA.PDF>

³ http://www.dhi-online.de/DhiNeu/11_Lexika/hglex/HgLex_P/PC_05f.html

Verarbeitungsgeschwindigkeit sind Einschwingspitzen der AGCo mittlerweile nicht mehr relevant. Beide Funktionselemente werden als MPO bezeichnet. Der Begriff ist unscharf definiert und wird teilweise auch als L_{Amax} beschrieben. Es hat sich jedoch überwiegend durchgesetzt, dass MPO gleichbedeutend mit einer AGCo ist.⁴

Digitale Hörsysteme verfügen zusätzlich auch über einen High Level Compressor (HLC). Dieser wird verwendet, um Hörgeräte vor Übersteuerung des Eingangs zu schützen. Der HLC liegt direkt hinter dem Mikrofon und begrenzt das Eingangssignal mit einem hohen CV ab Pegeln von ca. 90 dB. Der HLC gehört damit zu einer AGCi-Schaltung. Bei der Einführung digitaler automatischer Hörsysteme Ende der neunziger Jahre war auch eine Begrenzung des L_{Amax} nur über den HLC im Gespräch. Wichtig dabei war, dass solche Geräte kein Poti haben durften. Denn im Gegensatz zur AGCo wird der Ausgangsschalldruck bei der AGCi, wie in Abbildung 2 erkennbar ist, oberhalb der Regelschwelle immer im gleichen Maße wie die Verstärkungsänderung verschoben.⁵ Eine echte, unabhängige Begrenzung des maximalen Ausgangsschalldruckpegels findet nicht statt. Heutzutage haben Hörgeräte deshalb immer eine eingangspegelunabhängige Begrenzung wie eine AGCo. Es ist daher wichtig, AGCi und AGCo klar voneinander zu trennen, auch wenn eine AGCi messtechnisch ein AGCo-ähnliches Ergebnis zur Folge haben kann.⁶

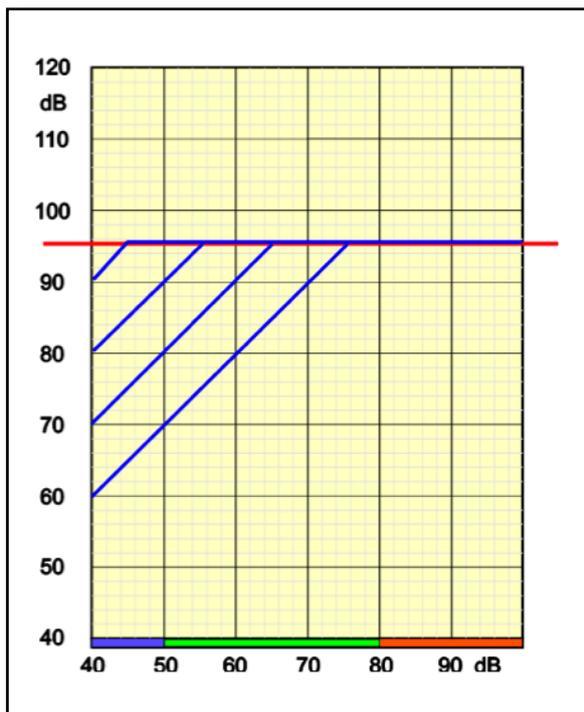


Abbildung 1: Ausgangsbegrenzung der MPO (AGCo) beim LE/LA-Diagramm

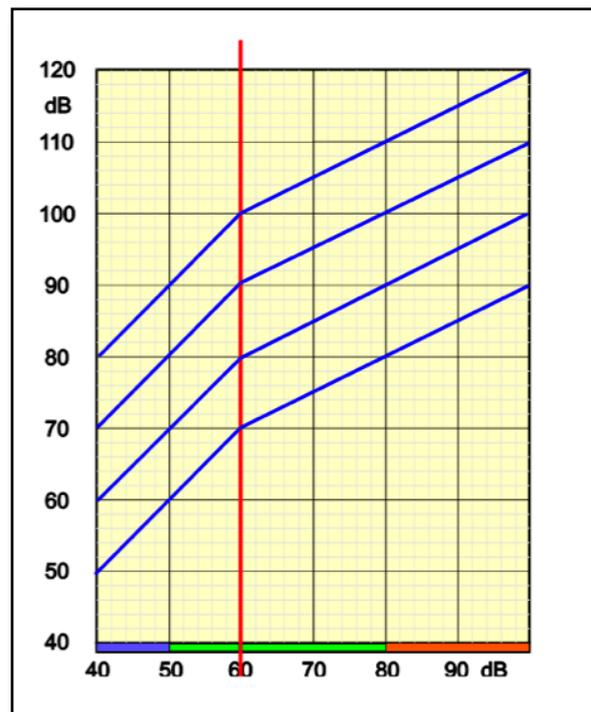


Abbildung 2: Verhalten einer Dynamikkompression (AGCi) im LE/LA-Diagramm

⁴ http://www.dhi-online.de/DhiNeu/11_Lexika/hglex/HgLex_M/MPO/MPO_01.html

⁵ http://www.dhi-online.de/DhiNeu/11_Lexika/hglex/HgLex_A/AGC04.html#Anker449039

⁶ http://www.dhi-online.de/DhiNeu/08_Berichte/05_tbkamp/Kamp_04.html

1.3 Perzentilanalyse und Beschreibung der Norm DIN EN 60118-15

Seit einigen Jahren wird verstärkt das Verfahren der Perzentilanalyse zum Messen von Hörsystemen genutzt. Bei der Messanlage ACAM 5 der Firma Acousticon wurde das Anpassverfahren mittels Perzentilen schon im Jahre 2006 integriert.⁷ Gerade bei der Einführung, aber auch jetzt kommt oft die Frage auf, „Warum brauchen wir die Perzentilanalyse neben den Messungen mit Sinus- und Rauschsignalen?“ und „Was genau ist eigentlich eine Perzentilanalyse?“. Die erste Frage kann wie folgt beantwortet werden: Die gemessenen Kurven und Perzentilbalken sind im Hinblick auf die bisherigen Messungen aussagekräftiger. Die Auswertung ermöglicht es, auch dynamische Signale zu analysieren und deren Dynamik darzustellen. Es ist ein Verfahren, bei dem jedes beliebige Messsignal analysiert und individuell dargestellt werden kann. Es ist möglich, die lauten (99. Perzentil), mittleren (65. Perzentil) und leisen (30. Perzentil) Anteile des Signals zu betrachten. Bei der ACAM 5 ist es zusätzlich möglich, das 100. Perzentil, den Scheitelwert, für die allerlautesten Signalanteile anzuzeigen. Dies ist entscheidend für die sinnvolle Auswertung der neuen MPO-Signale.

Die Perzentilanalyse ist ein statistisches Auswertungsverfahren von Verteilungen. Durch die Perzentile wird die Pegelverteilung prozentual in 100 gleich große Teile zerlegt und die Summe der Pegelhäufigkeiten ausgewertet. Die sinnvolle Analyse der Hüllkurve erfolgt mit einem Zeitfenster, welches dem zeitlichen Auflösungsvermögen für Pegelsprünge des Ohres von ca. 125 ms entspricht. Grundsätzlich sind bei der ACAM 5 auch andere Analysezeiten einstellbar. Außerdem ist die Frequenzauflösung in Terzbändern und die Pegelauswertung in 1-dB-Schritten an die audiologische Verarbeitung angelehnt.⁸

Natürlich ist es am wichtigsten, dass Sprache gemessen und ausgewertet werden kann, sodass Hörgeräte mit realistischen Signalen beim Messen beschallt werden. Es ist durch Messsignale wie dem ISTS möglich, Hörgeräte in Trageeinstellung mit eingeschalteten Features zu messen. Die Eigenschaften von Sprache werden am besten mit dem 30., 65. und 99. Perzentil repräsentiert. Diese Darstellung wird auch in der Norm DIN EN 60118-15 vorgeschlagen. Die neue Norm DIN EN 60118-15 hat verschiedene Schwerpunkte. Zunächst beschreibt sie das Messverfahren Perzentilanalyse, das zu verwendende Messsignal ISTS und den Messaufbau. Aber sie bietet auch Möglichkeiten, die Vorberechnungen von Herstellermodulen durch integrierte Musteraudiogramme miteinander zu vergleichen.

Ziel der Norm ist es, eine Messmethode zu definieren, die es ermöglicht, Hörgeräte mit einem sprachähnlichen Testsignal wie dem ISTS zu charakterisieren.⁹ Theoretisch ist die Darstellung auch mit allen hundert Perzentilwerten möglich. Oft sind jedoch die Per-

⁷ www.acousticon.eu/start/components/com_acajoom/upload/Acousticon_AudiInnovation_0109_Chronik.pdf

⁸ Zwicker, Psychoakustik (1982)

⁹ Definition aus der Norm DIN EN 60118-15

zentile aus der Norm fest vorgegeben. Bei der ACAM 5 besteht die Möglichkeit, bis zu fünf verschiedene, frei wählbare Perzentile anzeigen zu lassen. Die Perzentile werden als Säulen dargestellt. Eine Säule entspricht einem Terz-Frequenzband. In der Abbildung 3 stellen die drei rot markierten horizontalen Unterteilungen das jeweilige Perzentil dar. Die braune Kurve ist das Long Term Average Speech Spectrum, LTASS abgekürzt. Das LTASS ist der mittlere Schallpegel über die gesamte Messzeit.

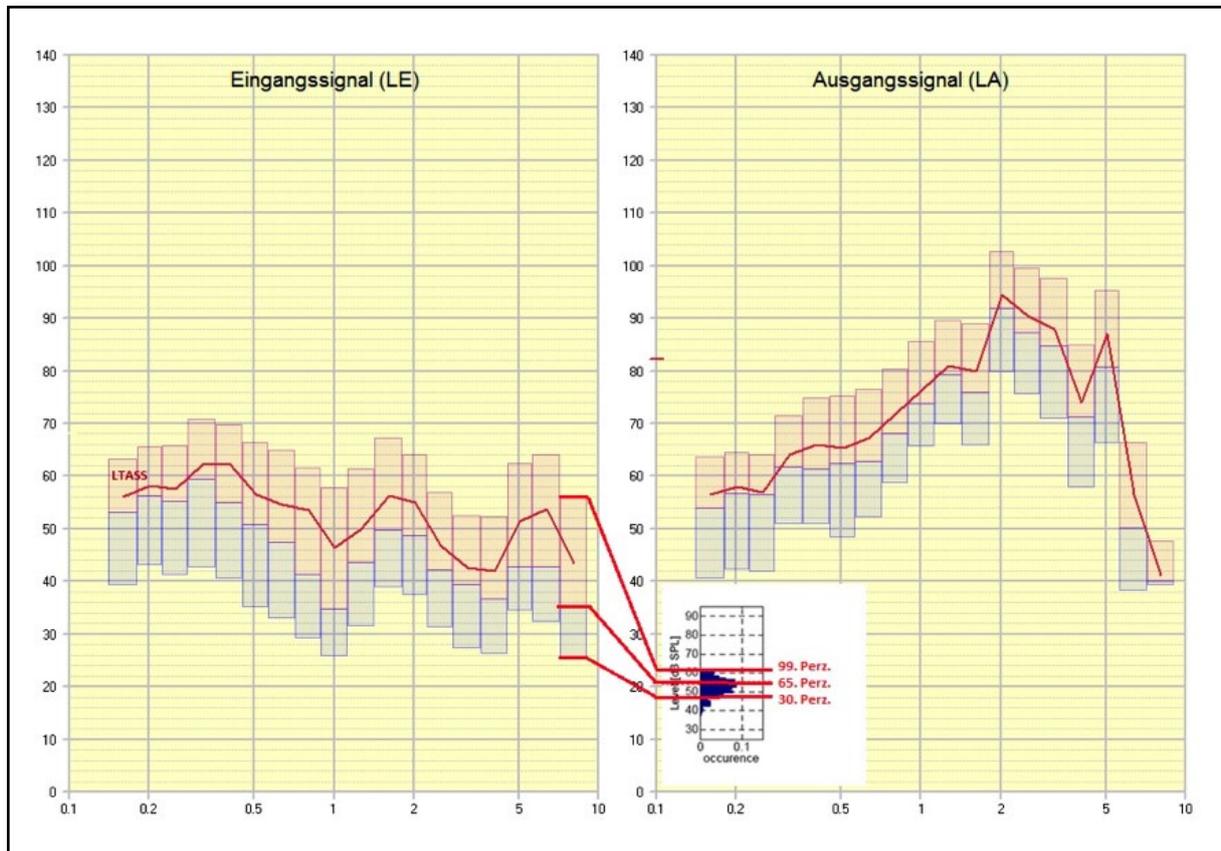


Abbildung 3: Exemplarische Erklärung der Perzentilanalyse mit einem dynamischen Messsignal¹⁰

¹⁰ Grafik: Eigene Bearbeitung mit Norm DIN EN 60118-15 und ACAM-Screenshot

2. Messaufbau und Messsignale

Der in Abbildung 4 beschriebene Messaufbau ist in der ACAM 5 implementiert.

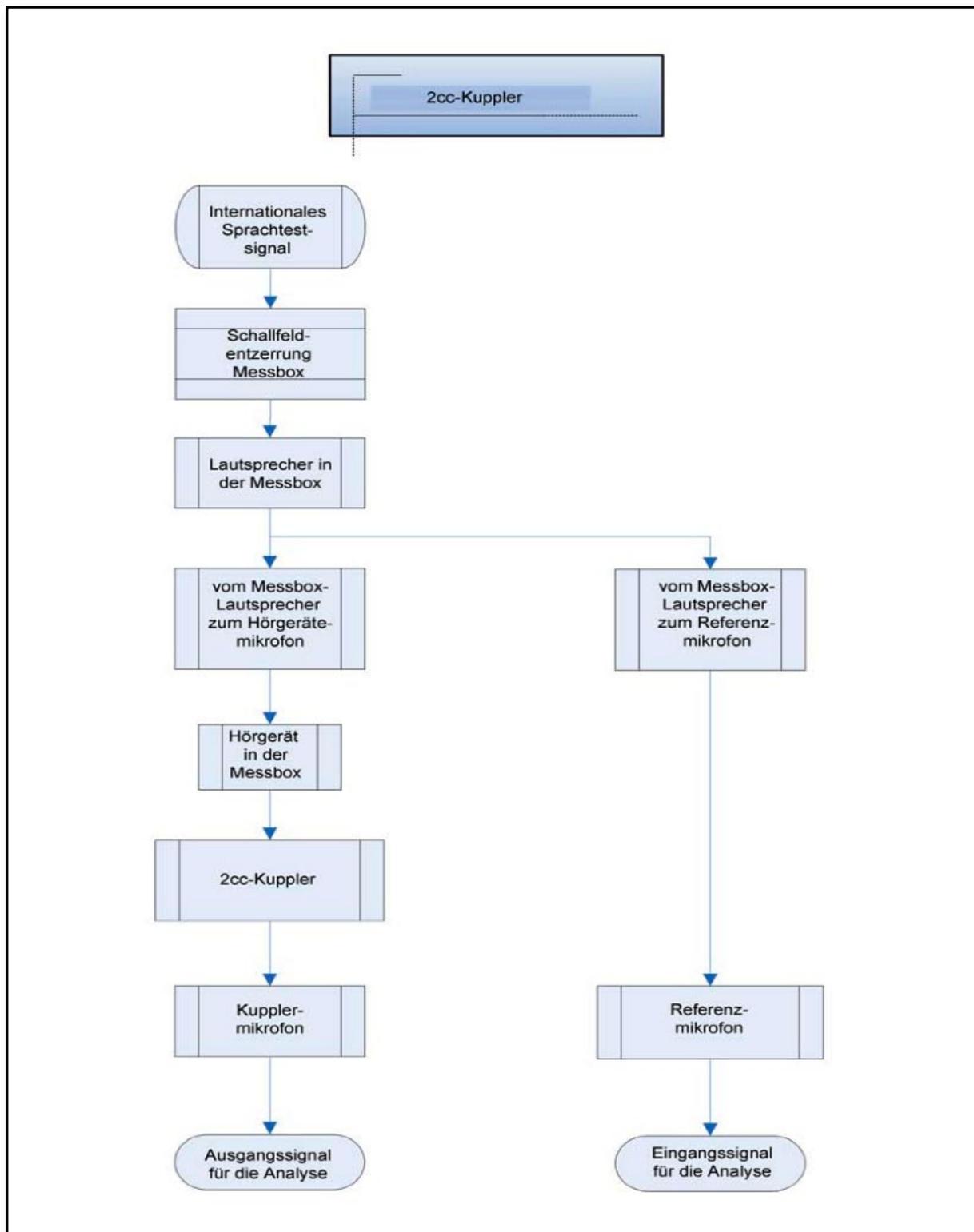


Abbildung 4: Norm-Messaufbau für Messboxmessungen¹¹

¹¹ Grafik: Norm DIN EN 60118-15

2.1 Setup für die Messboxmessungen in der ACAM 5

Bei den Messungen in der Messbox der ACAM 5 wurde eine Vorlaufzeit von fünf Sekunden gewählt, um das Hörgerät in einen stabilen Zustand für Sprache zu bringen. Die fest gewählte Messzeit betrug zehn Sekunden, damit die beiden neuen MPO-Signale mindestens zweimal analysiert werden konnten.¹² Grundsätzlich ist auch eine längere oder kürzere Messzeit möglich, dies ist je nach Signallänge und Messparameter individuell zu berücksichtigen. Ein guter Kompromiss für die Auflösung zwischen Messgenauigkeit und Messgeschwindigkeit wurde mit 100 Mittelungen erreicht. Grundsätzlich sind in der täglichen Praxis auch 60 oder 80 Mittelungen ausreichend. Je geringer die Mittelungsanzahl ist, desto schneller erfolgt die Auswertung durch eine FFT (Fast Fourier Transformation). Eine hohe Genauigkeit in der Frequenzauflösung benötigt eine hohe Mittelungsanzahl, und damit ergibt sich eine längere Messdauer. Eine weitere Setupoption, wie in Abbildung 5 markiert, ist die Mittelungszeit. Aufgrund der Ähnlichkeit mit dem Pegelunterscheidungsvermögen im auditorischen System wurde eine Mittelungszeit von 120 ms eingestellt. Bei der ACAM 5 besteht zusätzlich die Möglichkeit, einen zeitlichen Versatz zu berücksichtigen. Da der Einfluss der Durchlaufzeiten im Bereich weniger Millisekunden liegt und die Messfehler daher gering sind, wurde für die Untersuchungen kein zeitlicher Versatz gewählt.¹³ Die neuen EUHA-MPO-Signale mit und ohne ISTS sind nicht in der ACAM integriert und müssen extern eingebunden werden. Zusätzlich muss beachtet werden, dass die Kalibrierung der MPO-Signale in der Perzentilanalyse auf den Scheitelwert erfolgen muss.

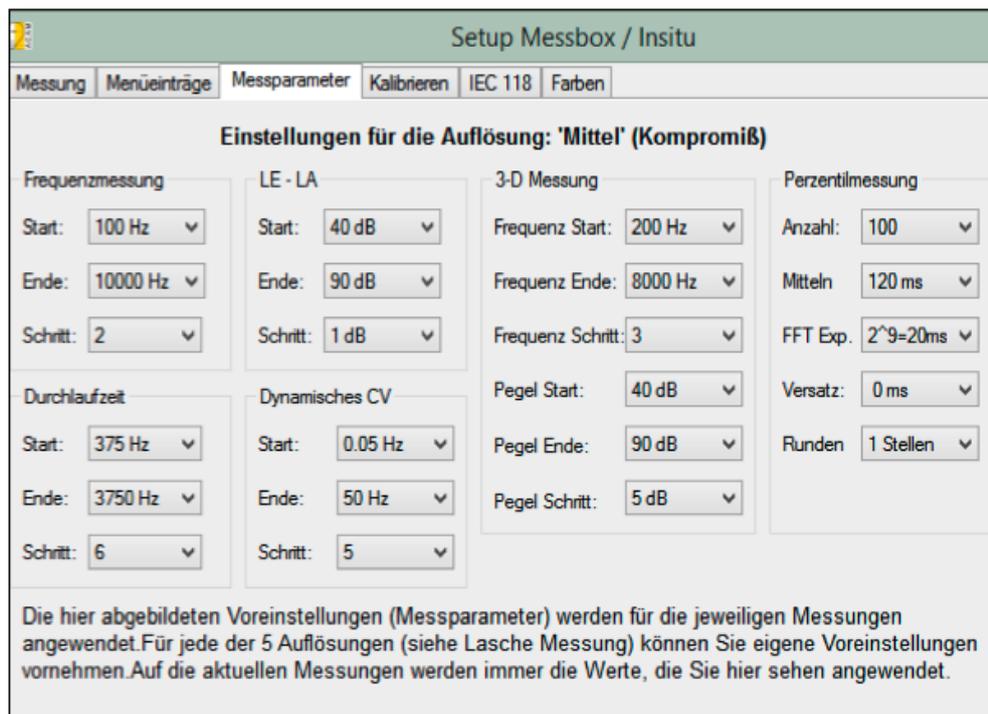


Abbildung 5:
Setup Perzentil-
messung in der
Messbox der
ACAM 5

¹² <http://www.euha.org/informationen/arbeitskreis-perzentile/>

¹³ www.dhi-online.de/DhiNeu/12_Fachtec/FtHgTec/05_Signalverarbeitung/anadig/anadighg_04.html

2.2 Die Voreinstellung der Hörsysteme auf Basis von NAL-NL2

In den Untersuchungen für diese Bachelorarbeit wurden hohe Pegel von 80 bis 90 dB eingesetzt. Deshalb ist die Anpassformel NAL-NL2 mit ihrem Schwerpunkt nach einem maximalen Sprachverstehen bei einer möglichst normalen Lautheitsempfindung favorisiert worden. Auch ihre große Bekanntheit und die Implementierung in nahezu jeder Hörgeräte-Software halfen bei der Entscheidung. NAL-NL2 ist die aktuellste nichtlineare Anpassformel von National Acoustic Laboratories aus Australien. Sie gilt als Weiterentwicklung von NAL-NL1. Der Schwerpunkt liegt wie bei NAL-NL1 auf einem maximalen Sprachverstehen, ohne dabei die Lautheit über das Maß eines Normalhörenden ansteigen zu lassen. Es werden jetzt zusätzlich neue empirische und theoretische Daten in Bezug auf Alter, Geschlecht, Erfahrung, Unterscheidung zwischen tonaler und nicht tonaler Sprache und weitere psychoakustische Faktoren, wie z. B. die absolute Lautheit nach dem Lautheitsmodell von Moore und Glasberg (2004), genutzt.¹⁴ Dies führt in der Zielverstärkung allgemein zu einem flacheren Frequenzgang mit mehr Kompression und weniger Verstärkung für mittlere und laute Pegel.¹⁵ Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit einer wissenschaftlichen Anpassformel wie NAL-NL2 wurden, soweit möglich, keine hersteller-spezifischen First Fit angewandt. Bei der Firma Widex ist eine NAL-NL2-Vorberechnung nicht möglich. Es gibt nur das herstellereigene Verfahren AISA.

Abbildung 6 zeigt die Hörschwelle des N3-Hörverlusts aus der Norm DIN EN 60118-15. Die Unbehaglichkeitsgrenze wurde pantonal auf 115 dB gesetzt. Da es hierzu keine festgeschriebenen Werte in der Norm gibt, orientieren sich die Werte an Untersuchungen des Deutschen Grünen Kreuzes.¹⁶ Die Werte sind im Schnitt ca. 5 dB lauter als die ermittelten Unbehaglichkeitsgrenzen von Pascoe.¹⁷ Bei NAL-NL2 fließt zusätzlich zum oben beschriebenen empirischen und theoretischen Wissen jedoch nur die Hörschwelle ein. Überschwellige Tests, wie die Unbehaglichkeitsgrenze, haben keinen Einfluss. Trotzdem kann es sein, dass bei den Hörgeräteherstellern die UG mit berücksichtigt wird, da viele NAL-NL2 First Fit-Berechnungen modifiziert sind. Der First Fit bezog sich bei allen Herstellern auf einen männlichen erfahrenen Hörgeräteträger. Für die Voreinstellung wurde ein kurzes Ohrpasstück ohne Zusatzbohrung mit Standardschlauch gewählt. Abbildung 7 zeigt exemplarisch einen First Fit mit NAL-NL2 unter Connexx 6. Auffällig war, dass in der Software der Hörgerätehersteller die UG und MPO-Einstellung sehr unterschiedlich berücksichtigt wurden. Dies ergaben auch Untersuchungen im Rahmen der Bachelorarbeit von Birk Schöberlein an der Hochschule Aalen aus dem Jahr 2013.¹⁸ Bei Siemens wurde die UG bei der Connexx Version 6.5.4.3452 von breitbandig 115 dB, trotz NAL-NL2, berücksichtigt. Dies hatte zur Folge, dass aufgrund der hohen UG die MPO bei Siemens unwirk-

¹⁴ www.nal.gov.au/pdf/NAL-NL2-for-Taiwan.pp

¹⁵ http://www.nal.gov.au/nal-software_tab_nal-nl-2.shtml (NAL-NL2 for ASA 2010.ppt)

¹⁶ Untersucht von G. Stange, Deutsches Grünes Kreuz (Quelle: Reimer Rohweder)

¹⁷ Pascoe, Clinical measurements of the auditory dynamic range (1988)

¹⁸ www.opus.bsz-bw.de/hsaa/volltexte/2014/71/pdf/Schoeberlein_Birk_BA.pdf

sam war. Für eine bessere Vergleichbarkeit wurde der MPO-Steller von max. (unwirksam) auf breitbandig -3 dB begrenzt, um eine höhere Übereinstimmung mit den anderen First Fit zu erhalten. Bei allen weiteren Herstellern wurde auf Modifikationen des First Fit verzichtet. Grundsätzlich musste für die Messboxmessungen die Mikrofoneinstellung auf omnidirektional geändert werden. Die genauen Einstellungen und evtl. Abweichungen aufgrund der individuellen Softwareeigenschaften sind im Anhang aufgeführt.

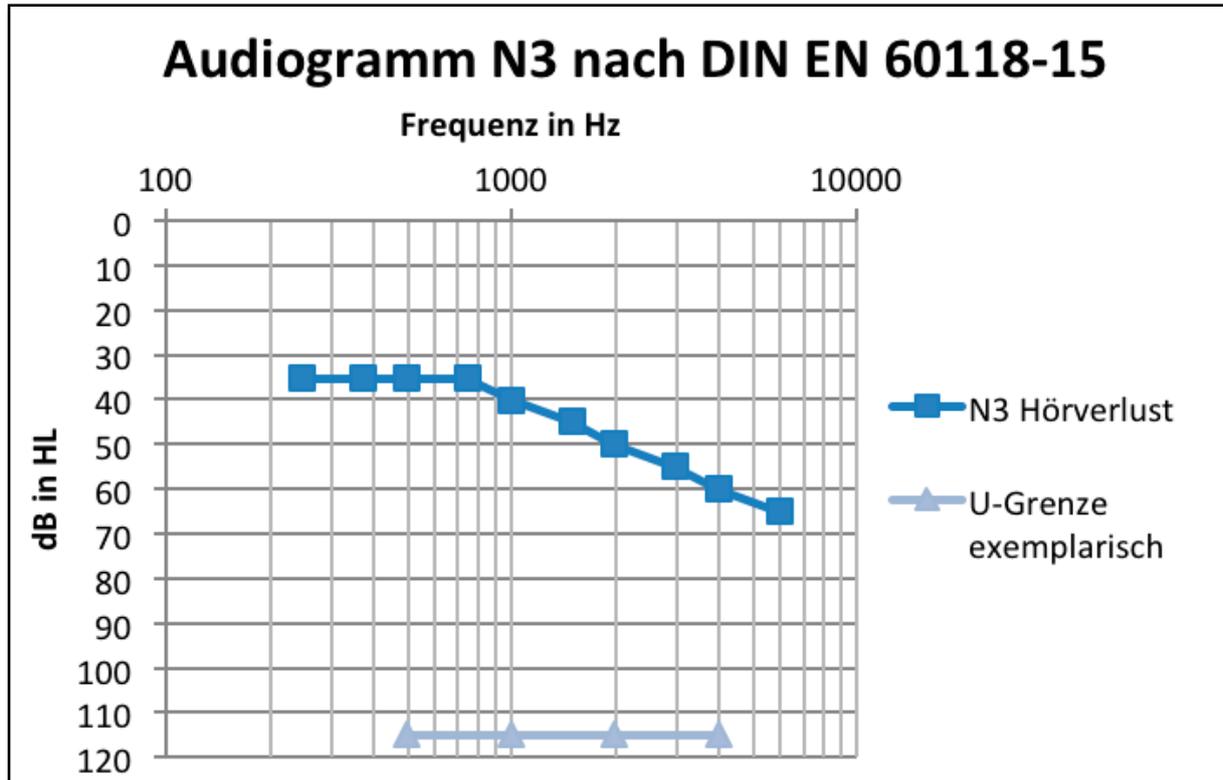


Abbildung 6: N3-Hörverlust nach Norm DIN EN 60118-15 für den First Fit

Die Voreinstellung wurde für das linke Hörsystem mit folgenden Parametern erfolgreich durchgeführt:
Learning/Logging ist aktiviert.

Anzahl Programme: 1
Fitting Formel: NAL-NL2 Erwachsener
Erfahrung: Routiniert
Sprache: Nicht tonal
Bohrung: 0.0mm (Geschlossen)
Restvolumen: kurzes Ohrpassstück
Tragehaken: Tragehaken Standard mit Dämpfer
Geschlecht: männlich
Insitu Korrekturen: nein
Messung der kritischen Verstärkung: nein
Altersabhängige Voreinstellung: nein

Frequenzgang
Kompression

<< Verstärkung anzeigen

Kompressions-Kniepunkt und -verhältnis

| | | | |
|-------|-------|-------|-------|
| 39dB | 48dB | 42dB | 45dB |
| 1.31 | 1.83 | 3.05 | 3.37 |
| Silb. | Silb. | Silb. | Silb. |

0.1 1.1 2.8 3.5 8kHz

Frequenzgang

Verstärkung

37dB

0.1 0.5 1.4 3.5 8kHz

Maximaler Ausgangspegel (MPO)

Breitband Mehrkanal

-3dB

Abbildung 7: Exemplarischer First Fit unter Connex 6 für das Motion 501 DM VC

2.3 Der Sinussweep

Der einzelne Sinuston ist ein bewährtes und einfach zu beschreibendes mathematisches Signal. Wie in der unten aufgeführten Formel erkennbar, sind die Parameter Frequenz f und Scheitelwert der Amplitude \hat{p} verantwortlich für sein Verhalten.¹⁹

Der Sinussweep hingegen besteht aus einer Vielzahl von einzelnen Sinustönen mit einer kontinuierlich ansteigenden Frequenz. Das bedeutet für die unten aufgeführte Formel des Sinustons, dass die Frequenz bei einer Sinussweep-Messung in der ACAM von 100 bis 10 000 Hz ansteigt. Somit ist es möglich, mit diesem Signal sehr präzise Messungen durchzuführen. Ein Sinussweep muss bei richtiger Kalibrierung ohne Kuppler und ohne Hörgerät eine horizontale Linie parallel zur Abszisse (Frequenzachse) bei dem Messpegel ergeben. Die hellblaue Kurve in Abbildung 8 zeigt das Übertragungsverhalten eines Hörgerätes mit deaktivierten Features bei einem Eingangspiegel von 90 dB. Problematisch wird die Messung bei den heute üblichen digitalen, nichtlinearen Hörgeräten, die zusätzlich mit komplexen Regelungen, wie z. B. Rückkopplungsunterdrückung, ausgestattet sind. Messungen mit einem Sinussweep sind deshalb nur mit ausgeschalteten Features fehlerfrei durchführbar. Dies führt zur Schlussfolgerung, dass es nicht sinnvoll ist, moderne digitale Hörsysteme mit einem Sinussweep in Trageeinstellung zu messen.

Formel für einen Sinuston:

$$p(t) = \hat{p} \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t)$$

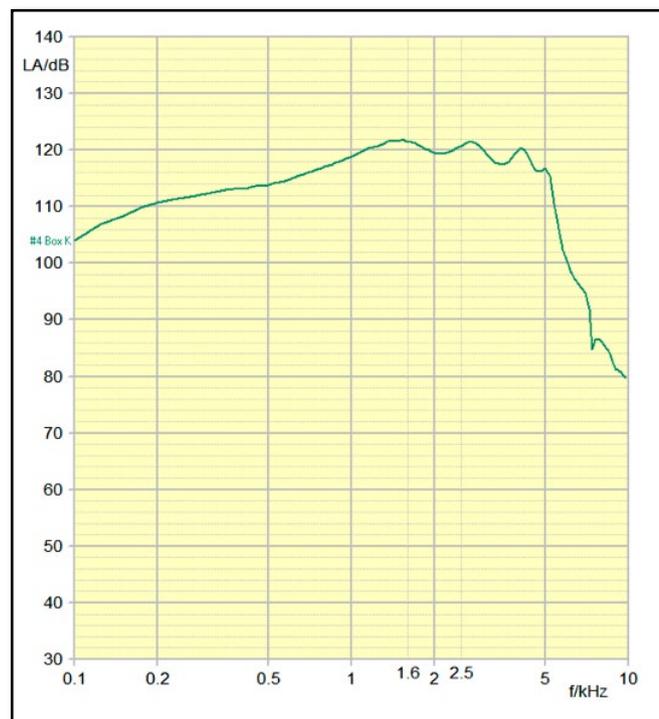


Abbildung 8: Sinussweep LE= 90 dB mit Hörgerät in der ACAM 5

¹⁹ http://www.dhi-online.de/DhiNeu/08_Berichte/09_Vortr_Chirp/Chirp_12.html

2.4 ISTS – International Speech Test Signal

Das ISTS ist ein künstlich erzeugtes Signal, welches an Sprache erinnert, aber unverständlich ist. Es wurde von der European Hearing Instrument Manufacturers Association entwickelt mit dem Hintergrund, ein möglichst neutrales sprachähnliches Signal zu erzeugen, welches sich für das Messen und Charakterisieren von Hörgeräten eignet. Natürliche Sprache hat immer grundlegende Eigenschaften, wie den Grundton, der bei Männern etwa bei 100 Hz und bei Frauen bei etwa 200 Hz liegt, und eine Formantenstruktur, die geschlechtsunabhängig je nach Vokal in bestimmten Frequenzbereichen liegt. Das Modulationsspektrum hat ein Maximum bei etwa 5 Hz und die Sprachdynamik beträgt ca. 30 dB.²⁰ Das ISTS wurde aus Aufnahmen von sechs Sprecherinnen erzeugt, die den gleichen Text „Die Sonne und der Wind“ in ihrer Muttersprache aufgesprochen haben (Amerikanisches Englisch, Arabisch, Mandarin, Französisch, Deutsch und Spanisch). Diese Aufnahmen wurden in Abschnitte von jeweils 100 bis 600 ms segmentiert und in zufälliger Reihenfolge zusammengesetzt, wobei auf jedes Segment eine andere Sprache folgte. Dabei wurde beachtet, dass die Sprünge der Grundfrequenz, von einem zum anderen Segment, nicht größer als 10 Hz waren und dass die Sprachpausen eine natürliche Länge hatten.²¹ Ein Merkmal von Sprachsignalen wie dem ISTS ist, dass nicht alle Frequenzen gleich stark vertreten sind. Es verliert an Intensität im Hochtonbereich, wie im Eingangssignal der Abbildung 9 dargestellt ist. Für eine korrekte MPO-Messung wäre ein Signal mit gleichbleibender Intensität im Hauptfrequenzbereich eines Hörgerätes sinnvoll. Zusätzlich existiert ein Effekt, der bewirkt, dass man die Grundfrequenz der Stimme beim lauten Sprechen anhebt. Dieser Effekt ist als Lombard-Effekt bekannt. Sein Entdecker Etienne Lombard beschrieb erstmals 1911 einen Mechanismus, dass der Sprecher unter Einfluss von Lärm seine Art zu sprechen in Bezug auf Lautstärke, Tonhöhe und Artikulationsdauer verändert.²² Das heißt, ein über Lautsprecher wiedergegebenes, lautes ISTS entspricht nicht einer echten lauten Stimme, weil diese bei lauter Aussprache verändert ist.

Im Folgenden soll die Abbildung 9 einen Überblick zur Darstellung des ISTS in der ACAM 5 geben. Die braune Kurve zeigt das LTASS der genormten ISTS-Values-Kurve LE = 80 dB, die in der ACAM zur Überprüfung der Kalibrierung abrufbar ist und eine optimale Messung von 45 Sekunden nach Norm repräsentiert. Die orangefarbene Kurve spiegelt eine typische Messung mit einem Hörgerät wider. Auf der Eingangsseite zeigt sich eine gute Übereinstimmung mit den Werten und somit eine genaue Kalibrierung und ausreichende Messdauer (15 Sekunden). Rechts auf der Ausgangsseite zeigt die orangefarbene Kurve die Übertragung und Verstärkung des Hörgerätes. In der ACAM 5 sind solche Kurven und Perzentilbalken ein typisches praxisnahes Bild beim Einsatz des ISTS.

²⁰ http://www.dhi-online.de/DhiNeu/12_Fachtec/FtMeTec/07_UeVer/Fthgmt_0703e.html

²¹ Norm DIN EN 60118-15

²² Christoph Meinerz, Effekte von Stress auf Stimme und Sprechen, S.34 (2010)

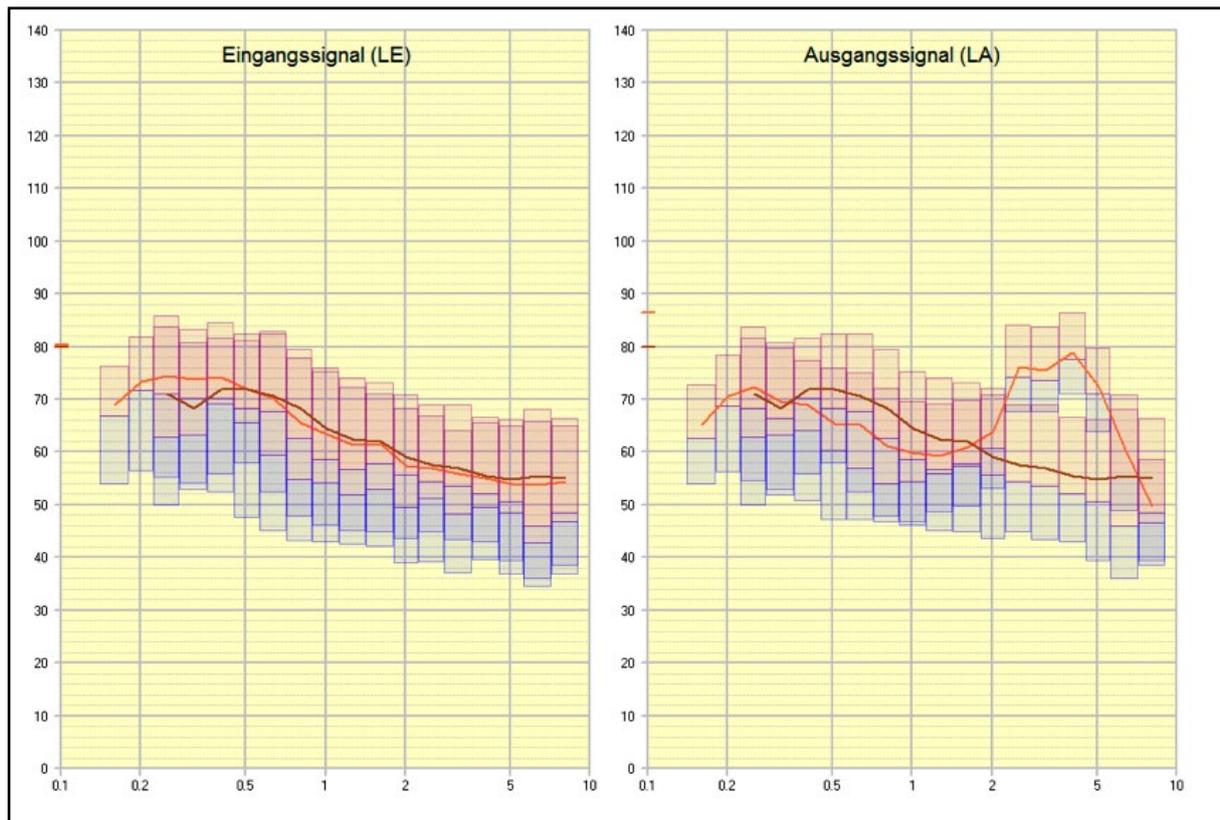


Abbildung 9: ISTS-Messung, LE= 80 dB (Perzentile und LTASS) mit Hörgerät (orange) im Vergleich zu den ISTS-Werten (braun)

2.5 Das EUHA-MPO-Signal

Das EUHA-MPO-Signal wurde entwickelt, um eine verlässliche MPO-Messung mittels Perzentilanalyse zu ermöglichen.

Das EUHA-MPO-Signal ist zusammengesetzt aus zwei Signalen. Es beginnt mit dem ISTS bei einem Pegel von 55 dB SPL. Dieses leise ISTS läuft fünf Sekunden, dann starten zusammen mit dem fortlaufenden ISTS kurze, laute aufeinanderfolgende Sinustöne, auch Bursts genannt. Die fünf Sekunden Vorlauf wurden vom Arbeitskreis Perzentile bewusst gewählt, um das Hörgerät in einen stabilen Zustand für Sprache zu bringen. Optimalerweise befindet sich das Hörgerät dann in einem Zustand, bei dem die Grundverstärkung nicht durch Komfortreglungen beeinträchtigt wird. Der Messpegel beträgt 90 dB. Die kurzen aufeinanderfolgenden Sinustöne, auch Bursts genannt, werden mit den Frequenzen 0,5, 1, 2, 3, 4 kHz abgespielt.

Die Signaldauer und die Pausen der Bursts betragen 250 ms. Da das Signal knackfrei und somit verzerrungsfrei vom Lautsprecher übertragen werden soll, besitzen die kurzen Sinustöne eine ansteigende Flanke von 25 ms. Theoretisch reicht es bei einer Scheitelwertmessung aus, wenn das Signal einmal abgespielt wird. Vom Arbeitskreis Perzentile wird eine zweimalige Darbietung empfohlen, um sicherzugehen, dass das Messsystem den lautesten Pegel erfasst hat. Die Gesamtdauer des Signals beträgt 7,75 Sekunden. In der

Abbildung 10 sieht man im Eingang die Scheitelwerte des EUHA-MPO-Signals mit $LE = 90$ dB.

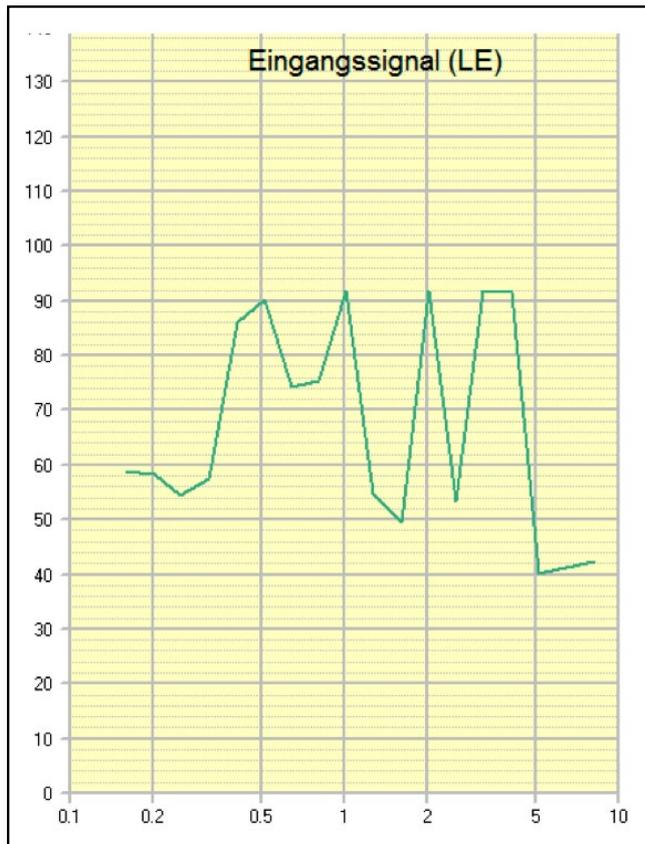


Abbildung 10: EUHA-MPO-Signal im Eingang mit 90 dB in der Perzentilanalyse als Scheitelwertdarstellung

Es ist exemplarisch ein Pegel-Zeit-Diagramm mit dem kompletten EUHA-MPO-Signal dargestellt (Abbildung 11). Hier ist das leise, dynamische ISTS in den ersten fünf Sekunden zu erkennen, gefolgt von fünf aufeinanderfolgenden Bursts. Die An- und Abstiegszeit der Signalflanke der Bursts beträgt 25 ms. Dies ist aufgrund des großen Ausschnitts nur durch den leicht schrägen An- und Abstieg der Signalflanken erkennbar.



Abbildung 11: Pegel/Zeitanalyse EUHA-MPO-Signal

Im Spektrogramm (Abbildung 12) ist auf der Abszisse die Zeit abgebildet und auf der Ordinate die Frequenz dargestellt. Je höher die Intensität wird, desto heller wird die Farbe. Man erkennt durch die dunklere Färbung, wie die Intensität des ISTS bei Frequenzen ab 2 kHz deutlich abnimmt. Nach fünf Sekunden sind die Bursts als horizontale gelbe Linien zu erkennen.

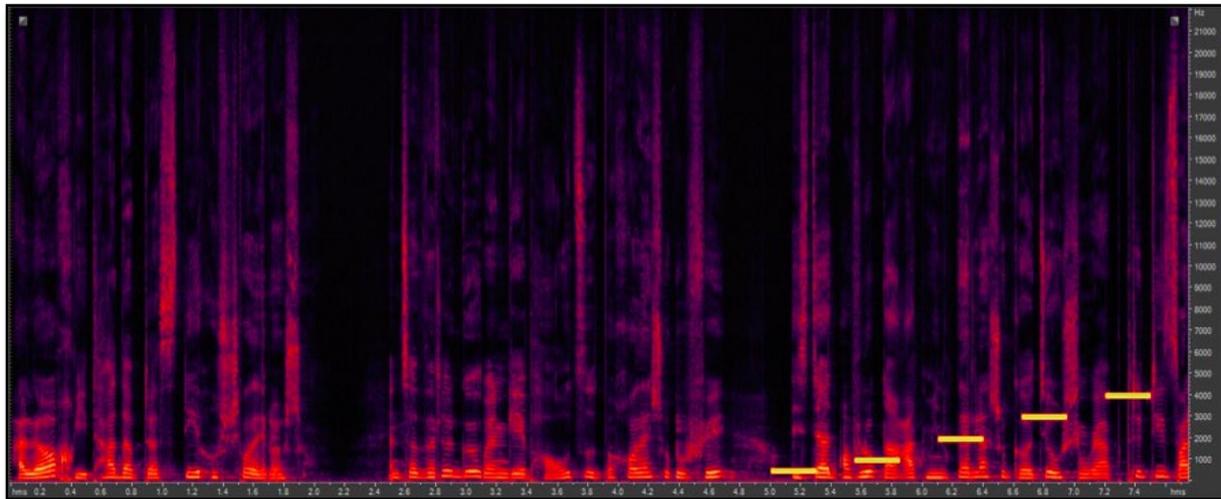


Abbildung 12: Spektrogramm EUHA-MPO-Signal

2.5.1 Vergleich ISTS und EUHA-MPO-Signal

Der Vergleich zwischen dem EUHA-MPO-Signal und dem ISTS zeigt, dass die Intensität des ISTS bei hohen Frequenzen geringer wird. Bei der Messung hat dies zur Folge, dass das Hörgerät im Hochtonbereich nicht den maximalen Ausgangsschalldruckpegel erreichen kann. In Abbildung 13 sind die Scheitelwerte des ISTS mit $LE = 80$ dB und des EUHA-MPO-Signals mit $LE = 90$ dB dargestellt. Auf der linken Seite ist das Eingangssignal, auf der rechten Seite das Ausgangssignal eines Hörgerätes abgebildet. Es fällt beim Eingangssignal auf, dass die Scheitelwerte des ISTS im Tieftonbereich über 90 dB und im Hochtonbereich unter 70 dB liegen. Beim EUHA-MPO-Signal hingegen sind die Scheitelwerte der Bursts konstant bei ca. 90 dB, sodass der maximale Ausgangsschalldruckpegel des Hörgerätes in allen Frequenzbereichen erreicht werden kann. Für das ISTS sollte kein Pegel von 90 dB gewählt werden, da dieser im Tieftonbereich zu Pegeln über 100 dB und somit zu Verzerrungen führen kann. Bei In-situ-Messungen ist solch ein hoher Messpegel ebenfalls nicht anwendbar.

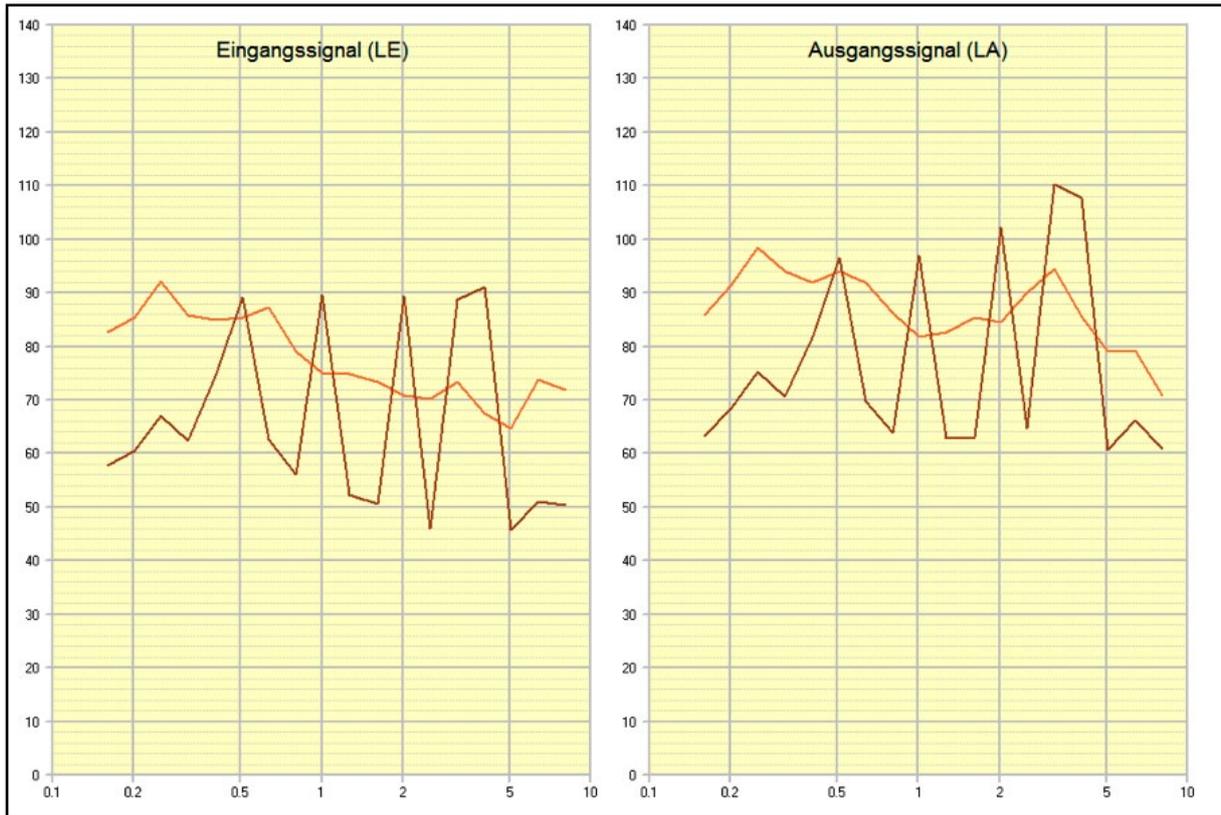


Abbildung 13: Vergleich der Scheitelwerte des ISTS 80 dB (orange) mit dem EUHA-MPO-Signal 90 dB (braun)

2.6 Das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS

Das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS enthält, wie der Name schon sagt, kein ISTS. Deshalb fehlt bei diesem Signal auch der Vorlauf des ISTS von fünf Sekunden. Grundsätzlich stimmt es in allen weiteren Punkten mit dem EUHA-MPO-Signal überein. Es ist ein Signal, welches aus fünf kurzen Sinustönen mit den Frequenzen 0,5, 1, 2, 3, 4 kHz besteht. Die Signal- und Pausenlänge beträgt jeweils 250 ms. Die Gesamtlänge des Signals ist 2,75 Sekunden. Die Abbildung 14 aus der ACAM zeigt, dass in den benachbarten Terzbändern der einzelnen Bursts aufgrund des fehlenden ISTS keine Energie vorhanden ist und die Kurve bis zum Grundrauschen des Systems abfällt.

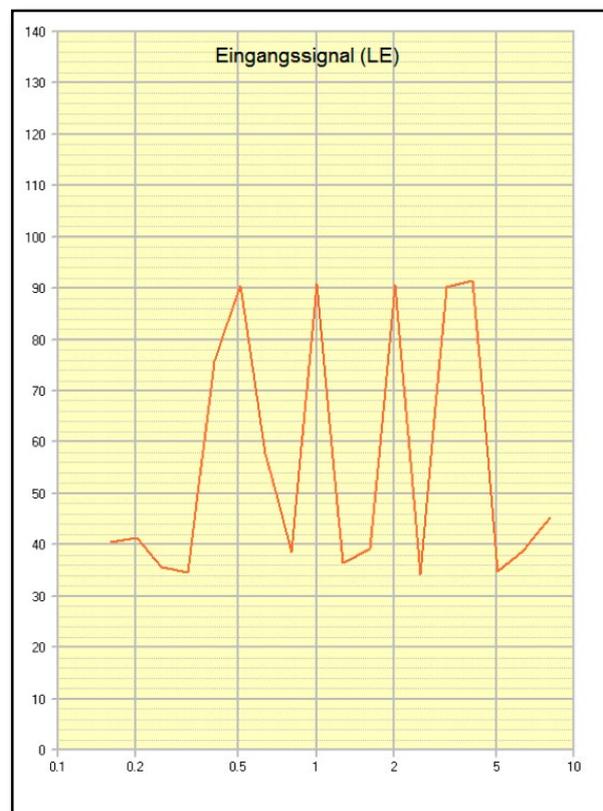


Abbildung 14: EUHA-MPO-Signal ohne ISTS in der Perzentilanalyse als Scheitelwertdarstellung

Das Pegel-Zeit Diagramm (Abbildung 15) zeigt das Verhalten des EUHA-MPO-Signals ohne ISTS im Zeitbereich. Die An- und Abstiegszeit von den Flanken der Bursts beträgt 25 ms wie beim EUHA-MPO-Signal. Es startet sofort und enthält nur zum Ende eine zusätzliche Pause von 250 ms. Signal und Zwischenpausen sind ebenfalls 250 ms lang.

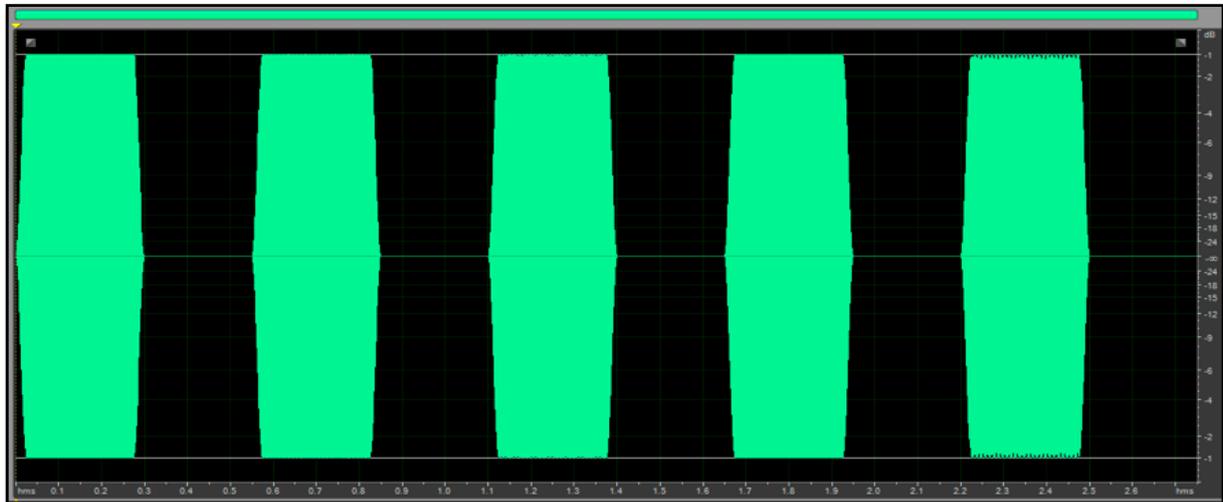


Abbildung 15: Pegel/Zeitanalyse EUHA-MPO-Signal ohne ISTS

Im Spektrogramm (Abbildung 16) ist auf der Abszisse die Zeit abgebildet und auf der Ordinate die Frequenz dargestellt. Je höher die Intensität wird, desto heller wird die Farbe. Man erkennt die Sinusbursts durch die horizontalen gelben Linien. Es sind kaum sichtbare Zusatzspektren in Form von rötlichen Linien erkennbar. Das heißt, dass die Bursts nahezu verzerrungsfrei übertragen werden.

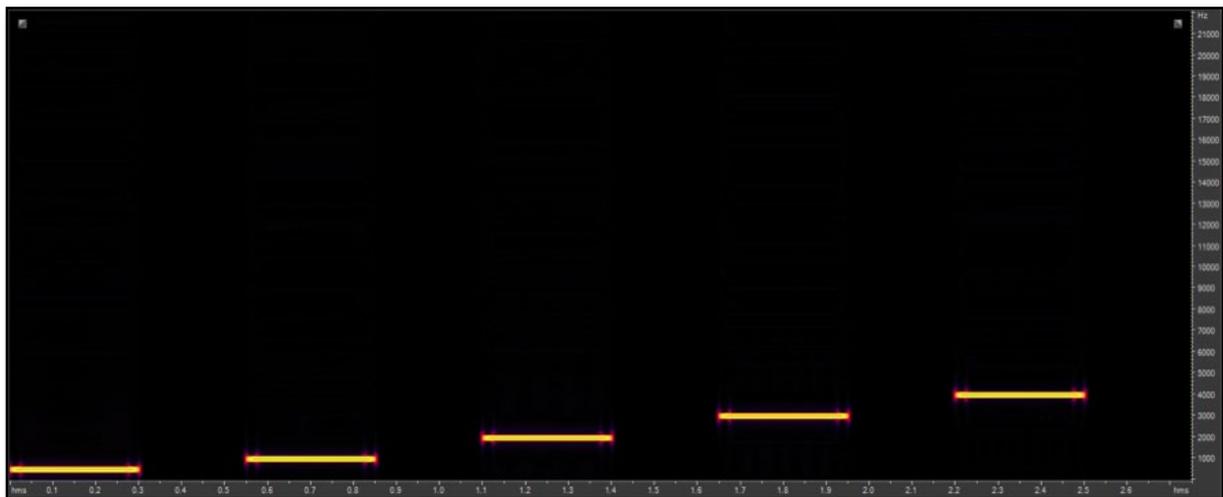


Abbildung 16: Spektrogramm EUHA-MPO-Signal ohne ISTS

2.7 Das alte ACAM-MPO-Signal

Dieses Signal war bis zur Version 5.11.4.3496 in der ACAM implementiert. Es war eines der Versuchssignale vor der endgültigen Festlegung des EUHA-MPO-Signals und soll nur kurz erwähnt werden. Grundsätzlich ähnelt es dem EUHA-MPO-Signal, insofern als es auch ein Gemisch aus ISTS und Bursts ist. Der ISTS-Pegel beträgt ebenfalls 55 dB, allerdings enthält dieses Signal keine 5 Sekunden Vorlaufpause. Die Signallänge entspricht mit 250 ms dem EUHA-MPO-Signal, die Pausendauer zwischen den Bursts beträgt 500 ms und unterscheidet sich damit vom EUHA-MPO-Signal. Auch die Frequenzen sind zahlreicher und anders gewählt. Die sieben Bursts sind bei 0,25, 0,5, 1, 1,6, 2, 2,5, 4 kHz.²³ Die Gesamtlänge des Signals beträgt 5,25 Sekunden. Aufgrund der geplanten Änderung des Signals in der ACAM 5 wurden die Messungen mit diesem internen Signal in der Bachelorarbeit nicht weiter berücksichtigt. In der Abbildung 17 sieht man im Eingang die Scheitelwerte des alten ACAM-MPO-Signals mit $LE = 90$ dB.

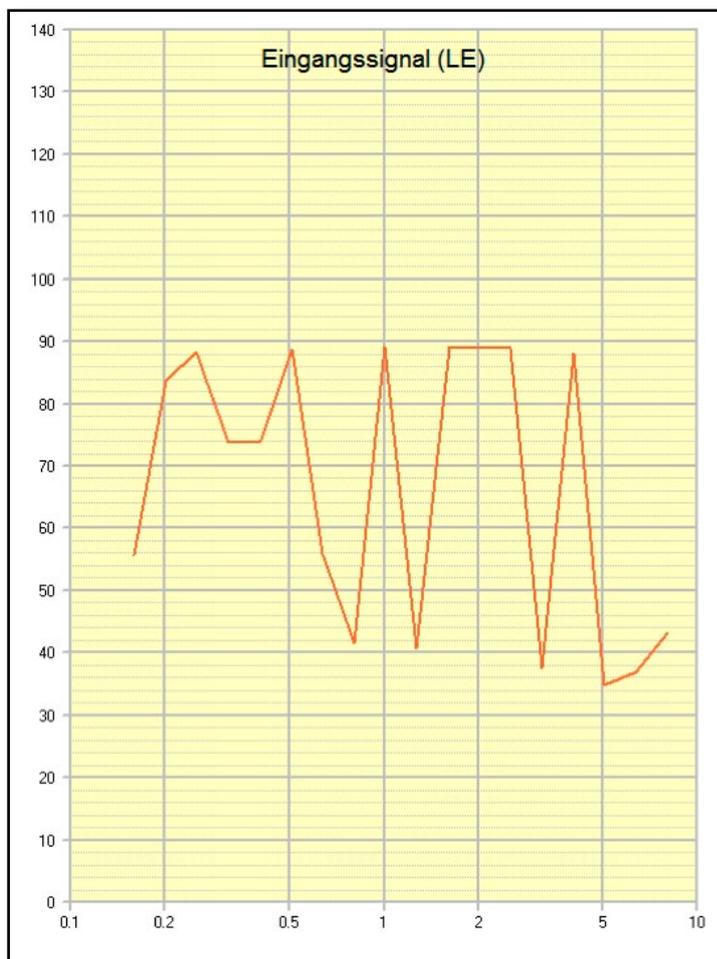


Abbildung 17: ACAM-MPO-Signal in der Perzentilanalyse als Scheitelwertdarstellung

²³ Arbeitskreis Perzentile, „Vorschlag zu Messung des MPO während der Perzentilanpassung“, Vers. 1.0
<http://www.euha.org/informationen/arbeitskreis-perzentile/>

2.8 Das neue ACAM-MPO-Signal

Das neue ACAM-MPO-Signal ersetzt ab der demnächst erscheinenden Version der ACAM 5, das oben genannte Signal. In der Beta-Version 5.11.9.3552 war es ebenfalls schon verfügbar. Es ähnelt dem EUHA-MPO-Signal in allen Punkten, jedoch entfällt die fünf Sekunden lange Vorlaufpause. Es beginnt mit dem ISTS bei einem Pegel von 55 dB SPL und einem kurzem Vorlauf von 250 ms. Dann starten die 90 dB lauten aufeinanderfolgenden Sinustöne mit den Frequenzen 0,5, 1, 2, 3, 4 kHz. Am Ende des Signals ist ebenfalls eine 250 ms Pause. Die Burst- und Pausenlänge beträgt jeweils 250 ms. Die Gesamtlänge des neuen ACAM-MPO-Signals ist damit wesentlich kürzer und beträgt nur 3 Sekunden. Erste Messungen ergaben ein mit dem EUHA-MPO-Signal identisches Verhalten. Da das Signal neu war und in den Probemessungen keine Unterschiede in den Scheitelwerten aufwies, wurde es in dieser Bachelorarbeit nur auf seine Reproduzierbarkeit geprüft. Wie in der Abbildung 18 deutlich wird, liegen die Scheitelwerte der beiden Signale im Eingang bei den Hauptfrequenzen deckungsgleich übereinander, welches die gute Übereinstimmung bestätigt. Dass das neue ACAM-MPO-Signal ein anderes Verhalten im Hörgerät ergibt, wird nicht vermutet, da alle Signaleigenschaften mit dem EUHA-MPO-Signal übereinstimmen.

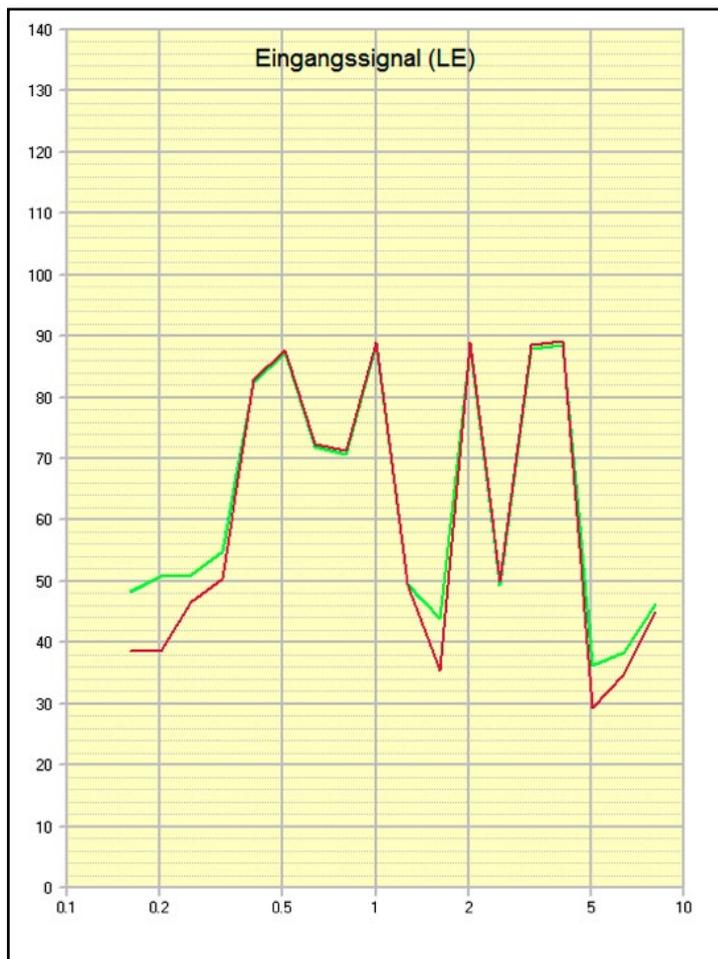


Abbildung 18: Vergleich EUHA-MPO-Signal (grün) mit dem neuen internen ACAM-MPO-Signal (rot)

3. Untersuchungen und Ergebnisse

3.1 Reproduzierbarkeit der Ergebnisse

In diesem Abschnitt wird die Reproduzierbarkeit der Messungen mit den neuen MPO-Signalen dargestellt. Für die Auswertung wurde zehnmal die gleiche Messung in der Messbox durchgeführt. Die Eingangssignale waren das EUHA-MPO-Signal, das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS und das neue ACAM-MPO-Signal aus Kapitel 2.8.

Für die Überprüfung wurden zwei verschiedene Hörgeräte genutzt, das Phonak Bolero Q70-M13 und das Siemens Motion 501 DM VC. Es wurde ermittelt, wie stark die Signale variieren und ob sich die Abweichungen zwischen den Herstellern stark unterscheiden. Die Messungen sind ebenfalls in der oben beschriebenen NAL-NL2 First Fit-Einstellung (siehe Seite 9) durchgeführt worden. In einer zweiten Messreihe wurden alle Features deaktiviert. Es sollte ausgeschlossen werden, dass eventuelle Abweichungen nur durch die adaptiven Regelungen entstehen. Die Mikrofone waren bei den Messboxmessungen auf omnidirektional gestellt. Analysiert wurde der Scheitelwert, welcher dem 100. Perzentil entspricht.

In den folgenden Diagrammen ist zu sehen, dass die Standardabweichungen für den gesamten Frequenzbereich außer bei 500 Hz unter 1 dB liegen. Es fällt auf, dass bei dem EUHA-MPO-Signal im Tieftonbereich von 500 Hz größere Abweichungen vorliegen. Diese Standardabweichungen liegen im Maximum noch bei einem Wert von 1,4 dB. Diese Auffälligkeit tritt bei beiden Herstellern im Tieftonbereich auf und ist nur bei eingeschalteten Features so stark ausgeprägt. Dies lässt die Vermutung zu, dass durch eine aktive Störgeräuschunterdrückung eine stärkere Regelung stattfand, welche die Streuung und damit die Standardabweichung vergrößerte. Bei der Auswertung des Referenzmikrofons ist zu erkennen, dass die Standardabweichung deutlich unter 0,1 dB liegt. Die Abweichungen des internen neuen ACAM-MPO-Signals ließen sich nicht ermitteln, da sie unterhalb der Rundung von zwei Kommastellen lagen. Das zeigt, dass die leicht erhöhten Standardabweichungen im Tieftonbereich der Hörgerätemessungen nicht durch Ungenauigkeiten des Messsystems entstanden sind, sondern durch die Features und die Signalverarbeitung im Hörgerät.

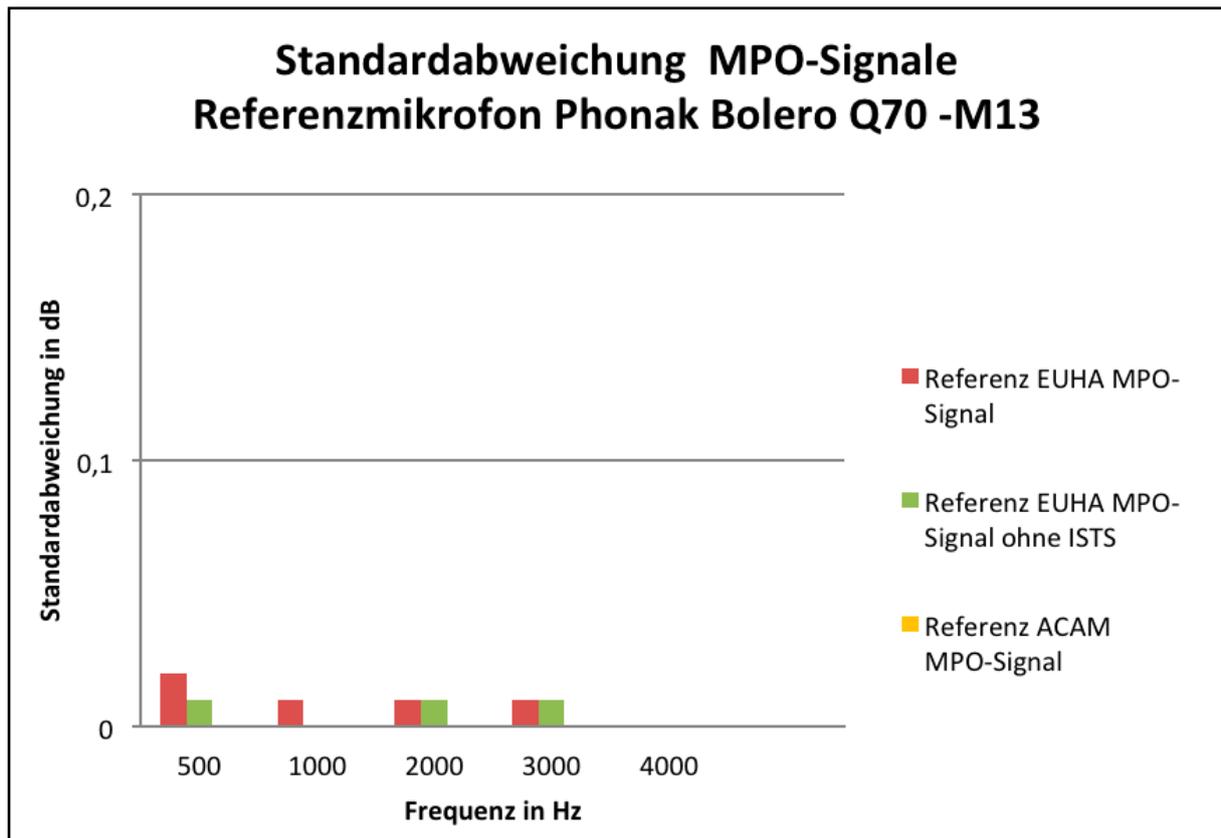


Abbildung 19: Standardabweichung Referenzmikrofon Phonak Bolero Q70-M13

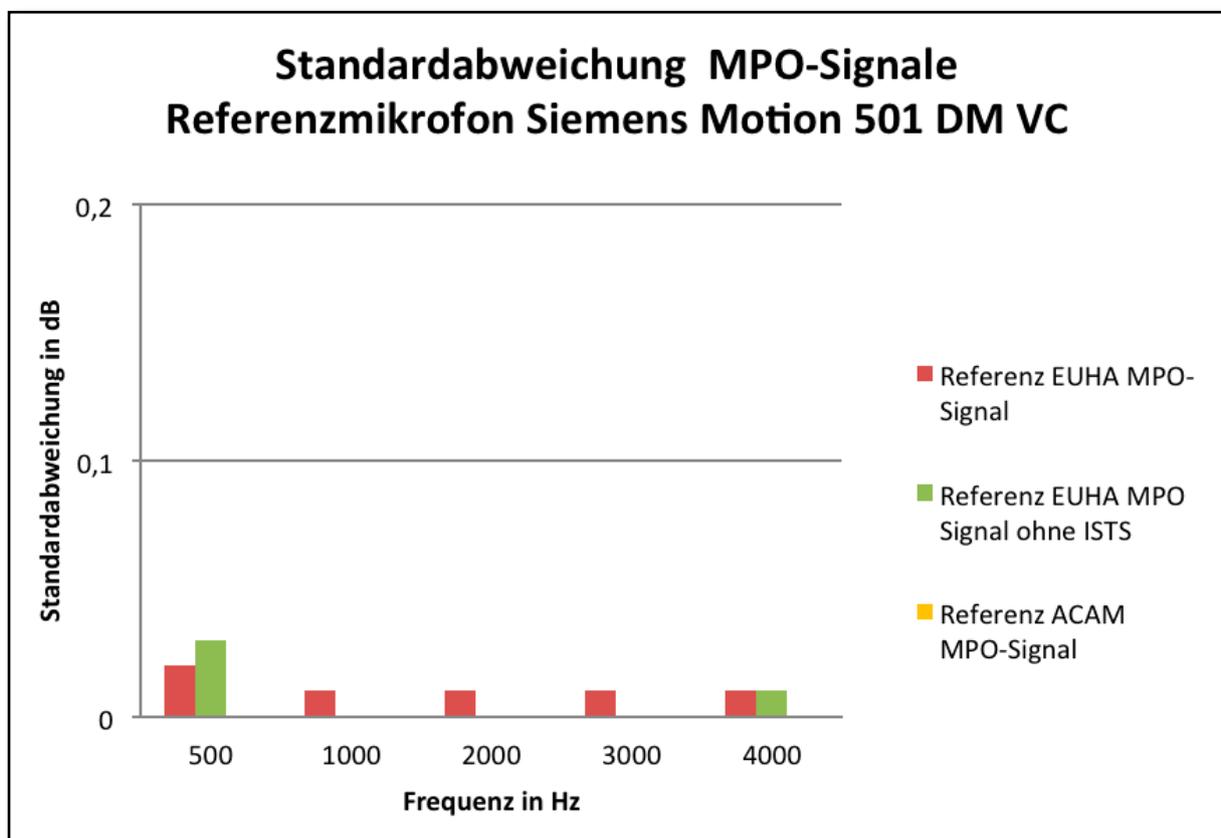


Abbildung 20: Standardabweichung Referenzmikrofon Siemens Motion 501 DM VC

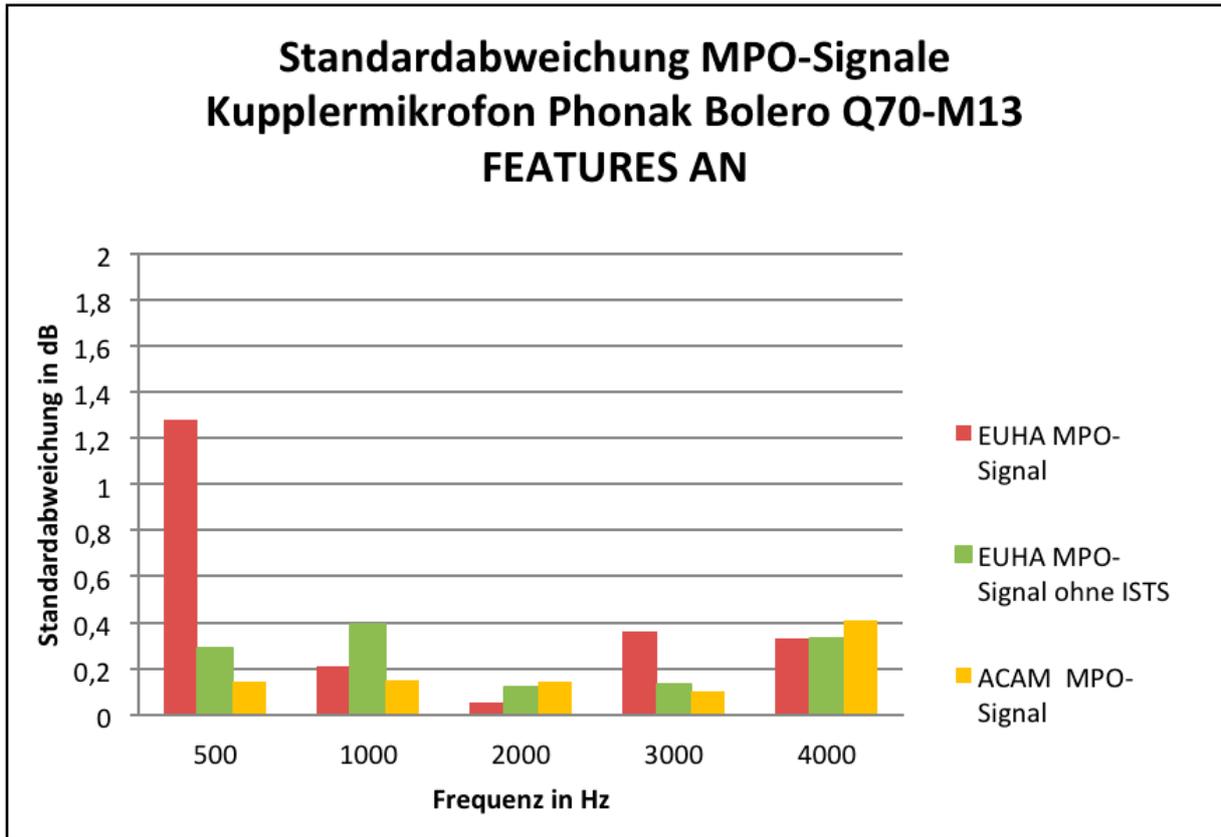


Abbildung 21: Standardabweichung im First Fit mit Features beim Phonak Bolero Q70-M13

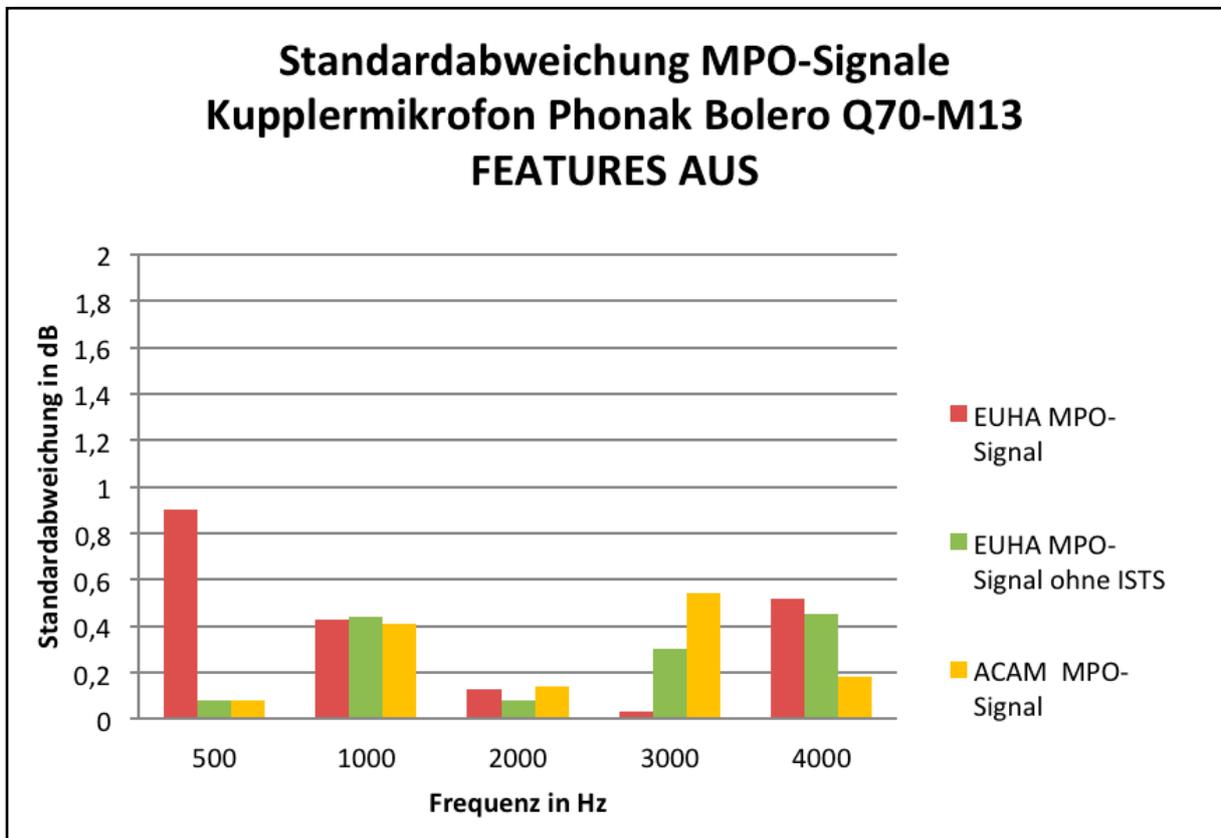


Abbildung 22: Standardabweichung im First Fit ohne Features beim Phonak Bolero Q70-M13

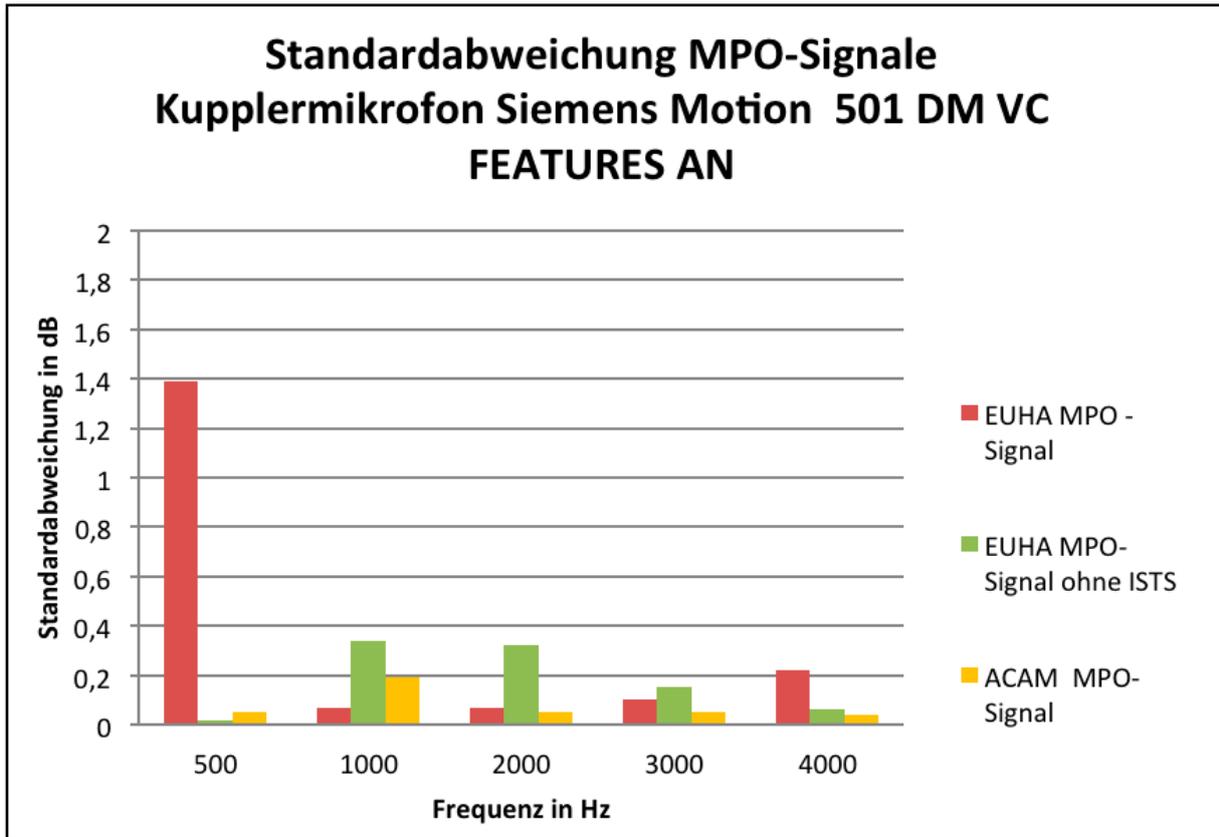


Abbildung 23: Standardabweichung im First Fit mit Features beim Siemens Motion 501 DM VC

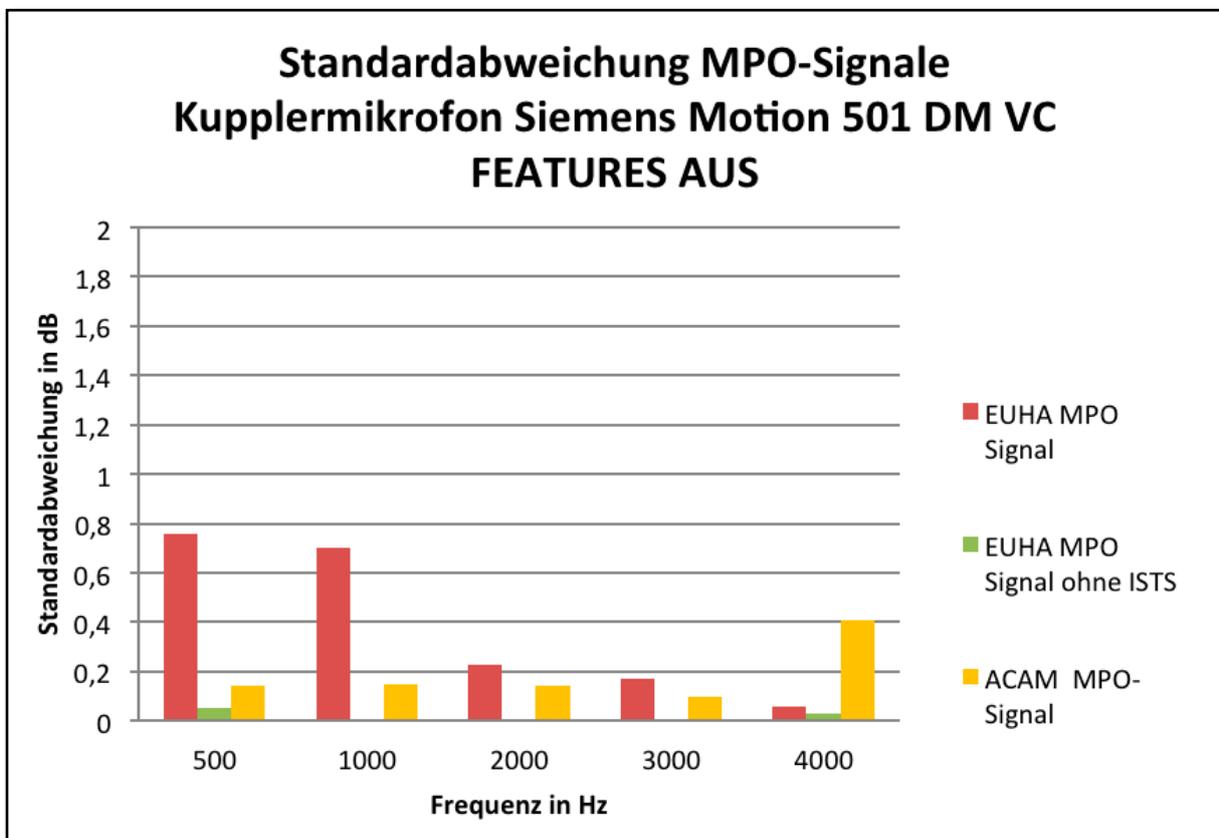


Abbildung 24: Standardabweichung im First Fit ohne Features beim Siemens Motion 501 DM VC

3.2 Betrachtung der Auswirkungen der Dynamikkompression (AGCi) im Zusammenhang mit den neuen MPO-Signalen

Es ist wichtig zu wissen, ob der maximale Ausgangsschalldruckpegel, bei einem Hörgerät im First Fit durch die AGCo oder durch die AGCi der Dynamikkompression begrenzt wird. Dieser Punkt muss für die Einstellung des MPO-Stellers beachtet werden. Wird das Signal durch ein hohes Kompressionsverhältnis und schnell regelnde Dynamikkompressionen begrenzt, lässt sich die Auswirkung der Veränderung des MPO-Stellers nicht messen. Besonders wichtig ist die korrekte Messung des L_{Amax}, wenn der Kunde die Möglichkeit hat, die Verstärkung über ein Poti oder eine Fernbedienung zu erhöhen.

Um zu überprüfen, wie die Hörgeräte in Trageeinstellung begrenzt werden, wird in dieser Untersuchung der NAL-NL2 First Fit für einen N3-Hörverlust, wie auf Seite 9 beschrieben, genutzt. Dieser First Fit wird exemplarisch für das Siemens Motion 501 DM VC gezeigt, da die Connex 6 Software sowohl eine schnelle Silbenkompression als auch eine langsamere duale Kompression bietet. Die Einstellung der unten gezeigten Messungen ist bis auf die Art der Kompression gleich. In der Abbildung 25 zeigt die grüne Kurve die Messung des EUHA-MPO-Signals in dem oben beschriebenen First Fit, aber zunächst ohne Kompression. Diese Kurve weist den höchsten Ausgangsschalldruckpegel auf. Er wird nur durch die MPO (AGCo) begrenzt. Im Tieftonbereich wird der L_{Amax} der MPO durch geringe Verstärkungsvorberechnungen nicht erreicht. Die beiden anderen Messungen zeigen

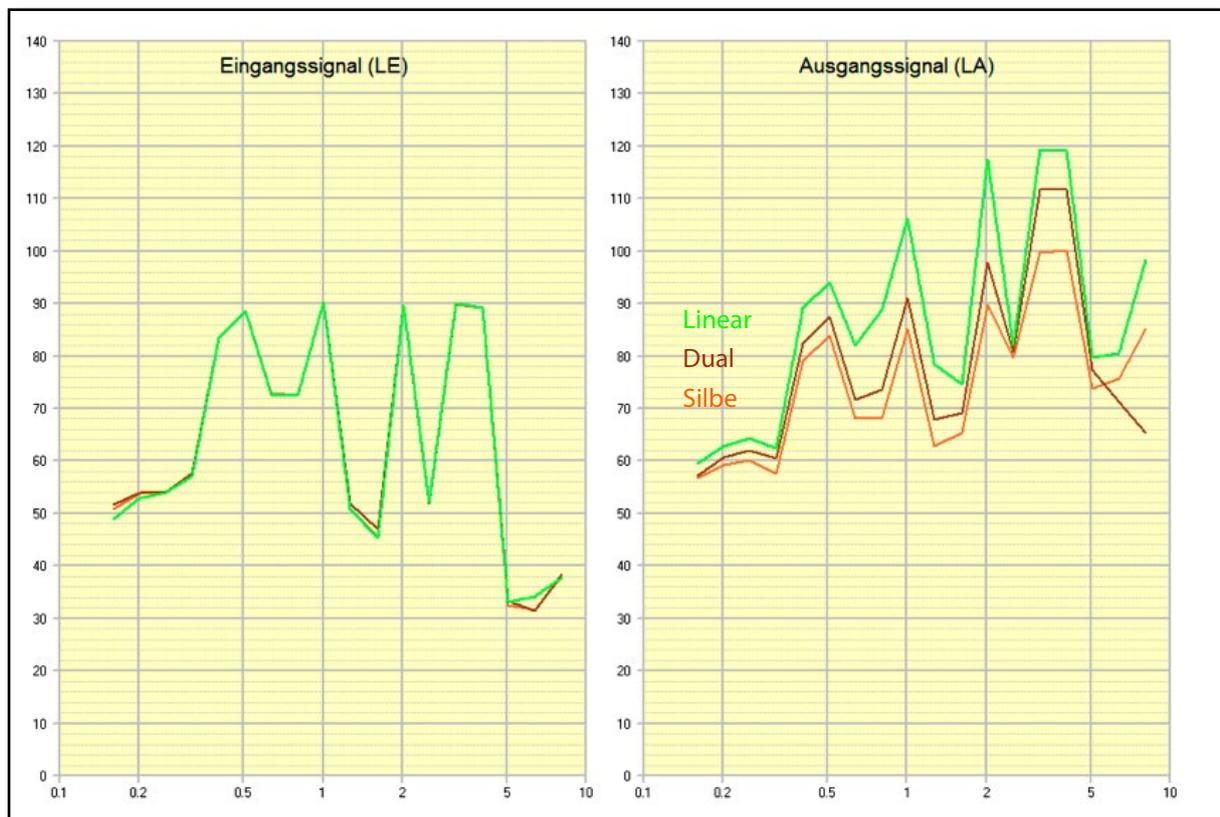


Abbildung 25: EUHA-MPO-Signal Scheitelwertdarstellung des First Fit mit Dual- und Silbenkompression im Vergleich zur linearen Einstellung

im Vergleich deutlich niedrigere Pegel, trotz gleicher MPO-Einstellung von breitbandig -3 dB. Die orangefarbene Kurve mit der Silbenkompression liegt deutlich niedriger. Dies lässt sich durch die Regelzeiten in Abbildung 26 erklären. Die Einschwingzeit der Silbenkompression (hellblaue Kurve) ist mit 17 ms sehr kurz und sogar unter der Anstiegszeit des EUHA-MPO-Signals von 25 ms. Die duale Kompression (braune Kurve) besitzt zwei Regelvorgänge. Einen sehr schnellen, der beim Pegelsprung sofort die Verstärkung reduziert, und anschließend einen zweiten, bei dem die Verstärkung um weitere 10 dB bis auf das Niveau der Silbenkompression abgesenkt wird. Die Scheitelwerte der braunen Kurve in Abbildung 25 zeigen die duale Kompression. Diese lässt aufgrund ihrer langsameren Regelzeiten höhere Pegelspitzen als die Silbenkompression (orangefarbene Kurve) durch. Für die Messung mit dem EUHA-MPO-Signal bedeutet dies, dass die Sinus-Bursts in diesen Fällen nicht die eingestellten Regelschwellen der MPO (AGCo) erreichen. Beide Kompressionsarten der AGCi bewirken eine Absenkung mit einer unterschiedlich starken Ausprägung. Die ursprünglich eingestellte MPO (AGCo) ist als maximaler Ausgang im Hörgerät nicht mehr messbar.

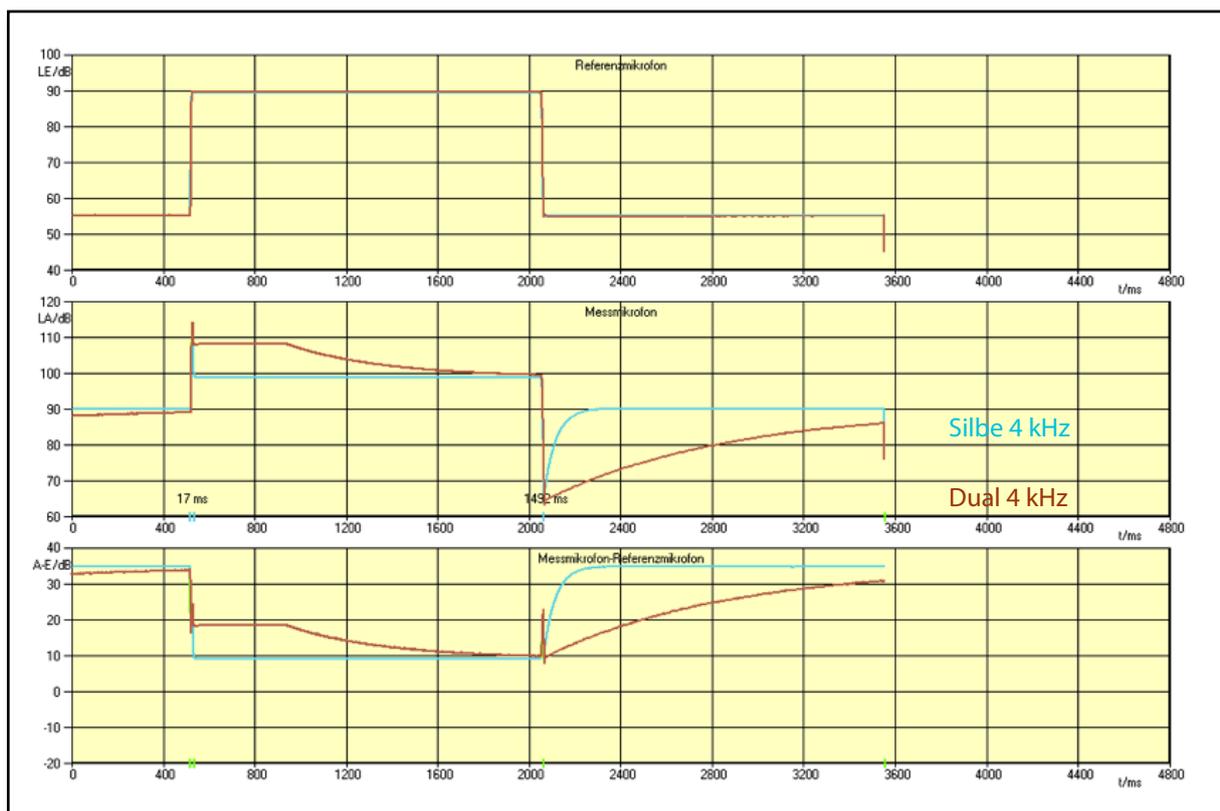


Abbildung 26: Ein- und Ausschwingzeiten mit Dual- und Silbenkompression Siemens Motion 501 DM VC

Diese Auswirkung der Dynamikkompression (AGCi) betrifft aber nicht nur die neuen Signale. Der klassische Sinussweep wird wie die neuen MPO-Signale durch die AGCi begrenzt. Allerdings lässt sich der Sinussweep zusätzlich nicht mit aktivierten Features nutzen, wie im nächsten Kapitel beschrieben wird. Auch bei anderen Messungen ist aufgefallen, dass

Änderungen am MPO-Steller aufgrund der schnell regelnden Dynamikkompressionen wenig messbare Unterschiede ergaben (Abbildung 27). Als Beispiel wurde das Oticon Alta Pro in der NAL-NL2 First Fit-Einstellung gemessen und die AGCo auf maximal wirksam (blau), mittlere Wirkung (First Fit-Werte, grün) und unwirksam (pink) eingestellt. Es ist zu erkennen, dass die Einstellungen unwirksam und mittlere Wirkung keinen Einfluss auf die Messung haben, da die beiden Kurven übereinanderliegen. Erst bei maximaler Begrenzung durch die MPO-Steller ist ein deutlicher Unterschied erkennbar. Dieses Verhalten ist abhängig von der vorberechneten Verstärkung und Kompression. Wird eine geringe Verstärkung vorberechnet, so erreicht das Hörgerät auch bei lauten Eingangspiegeln und linearer Einstellung nicht die Regelschwelle der AGCo. Wird andererseits eine stärkere Kompression eingestellt, wie hier im First Fit, kann die Regelschwelle der AGCo ebenfalls nicht erreicht werden. In Abbildung 27 wird sichtbar, dass bei der grünen und pinken Kurve nur die Begrenzung durch die AGCi gemessen und der eingestellte LMax durch die MPO (AGCo) nicht erreicht wird. Nur bei der blauen Kurve befindet sich das Gerät durch die maximale Wirkung der MPO-Steller in der Begrenzung. Somit handelt es sich hierbei um den maximal möglichen Pegel. Die genauen MPO-Werte der First Fit-Einstellung aus der Genie-Software sind im Anhang aufgeführt.

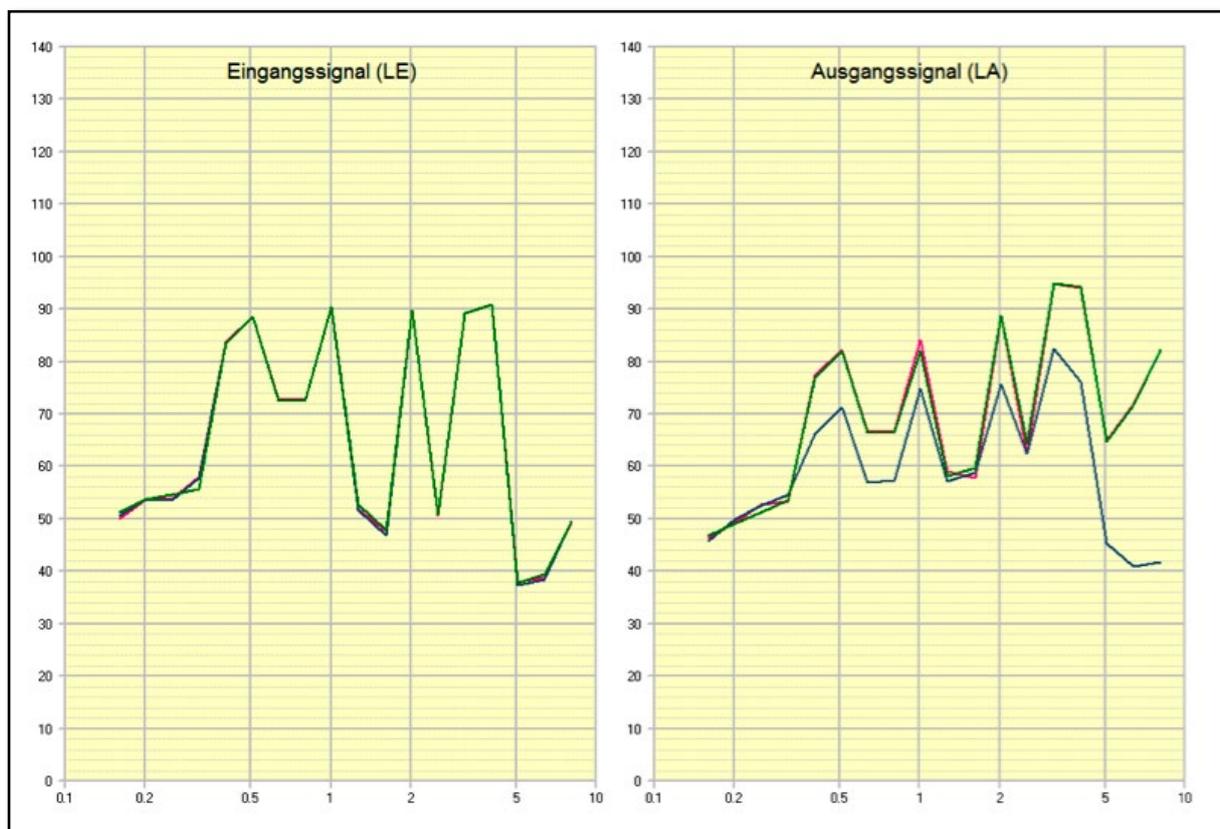


Abbildung 27: EUHA-MPO-Signal, Scheitelwertdarstellung des First Fit mit MPO maximal wirksam (blau), MPO First Fit mittlere Wirkung (grün) und unwirksam (pink) beim Oticon Alta Pro

3.3 Messungen der neuen MPO-Signale in der First Fit-Einstellung NAL-NL2

In den folgenden Excel-Diagrammen sind jeweils drei Signale mit einem $LE = 90$ dB untersucht worden, das EUHA-MPO-Signal (rot), das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS (grün) und ein Sinussweep (lila). Diese Messungen wurden bei fünf verschiedenen Hörgeräteherstellern durchgeführt, um sicherzugehen, dass die Signale zur Messung des L_{Amax} verwendbar sind. Zum Vergleich wurden die Messungen einmal mit und einmal ohne Features ausgewertet. Beim Sinussweep waren die Features, soweit möglich, immer abgeschaltet. Die folgenden Ergebnisse sollen zeigen, ob die neuen MPO-Signale in Trageeinstellung von den Features beeinflusst werden. Zusätzlich wird überprüft, ob eine Übereinstimmung mit dem Sinussweep und den Dynamikkennlinien vorliegt. Abbildung 28 zeigt die beiden EUHA-MPO-Signale im Eingang und im Ausgang eines Hörgerätes exemplarisch. Es ist zu erkennen, dass bei Frequenzen ab 1 kHz trotz wiederholter Kalibrierung geringe Abweichungen von 1 bis 2 dB zu höheren Pegeln hin auftraten. Diese Kalibrierungsauffälligkeit ergab sich nur bei extern eingebundenen Signalen. Da die Hörgeräte im First Fit jedoch bei Eingangspegeln von 90 dB oft noch nicht in der Begrenzung waren, hatten diese Pegelschwankungen im Eingangssignal auch Auswirkungen auf den Ausgangsschalldruckpegel (LE/LA-Diagramm, Abbildung 29). Somit können die im Folgenden etwas lautereren MPO-Signale im Vergleich zum Sinussweep auf diese Kalibrierprobleme zurückgeführt werden.

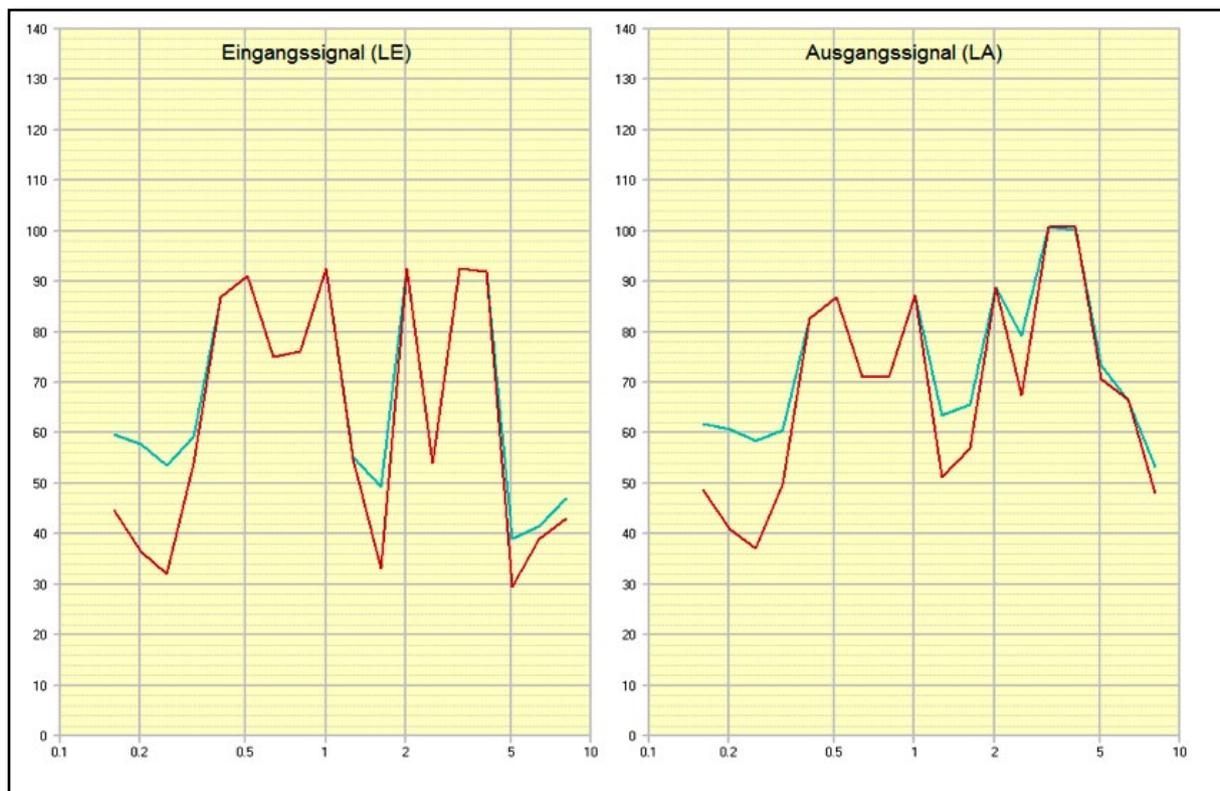


Abbildung 28: EUHA-MPO-Signal mit (blau) und ohne ISTS (rot) im First Fit exemplarisch in der ACAM

3.3.1 Siemens Motion 501 DM VC

Die Dynamikkennlinien der Abbildung 29 zeigen, dass die Begrenzung durch die AGCo bei 90 dB in allen Frequenzbereichen noch nicht erreicht wurde. Die Abbildungen 30 und 31 zeigen die beiden EUHA-MPO-Signale und den Sinussweep. Es ist zu sehen, dass die MPO-Signale bei den einzelnen Frequenzen miteinander deckungsgleich sind. Bei dem Vergleich der Messungen des Sinussweeps mit den EUHA-MPO-Signalen fällt eine gute Übereinstimmung auf. Insgesamt ist der Sinussweep ca. 1 bis 2 dB leiser, was auf die zu laute Kalibrierung der EUHA-MPO-Signale zurückzuführen ist. Die Features haben bei diesem Hörgerät keinen Einfluss auf die neuen MPO-Signale, da sich die Kurven der beiden Signale in den Abbildungen 30 und 31 kaum unterscheiden. Dies ist positiv zu bewerten, da diese Messung wie vorgesehen mit aktivierten Features durchgeführt werden kann.

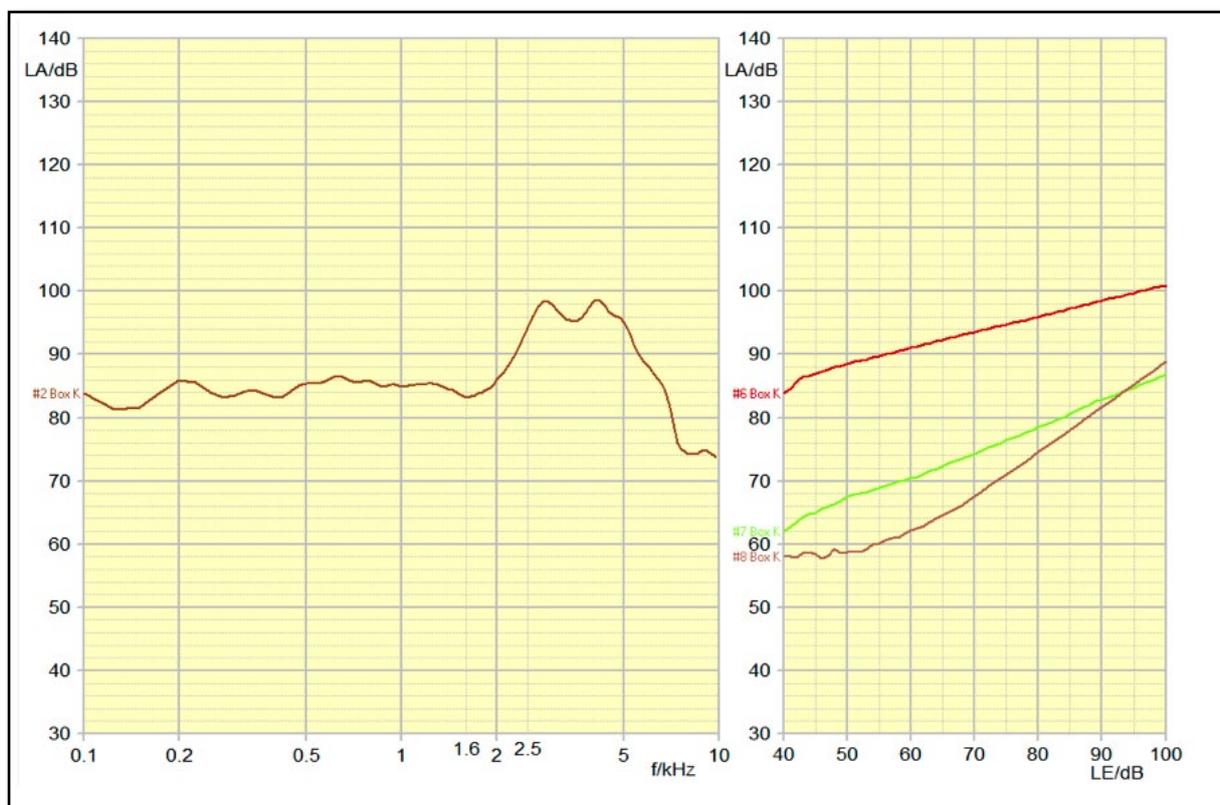


Abbildung 29: Siemens First Fit, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (braun), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (rot)

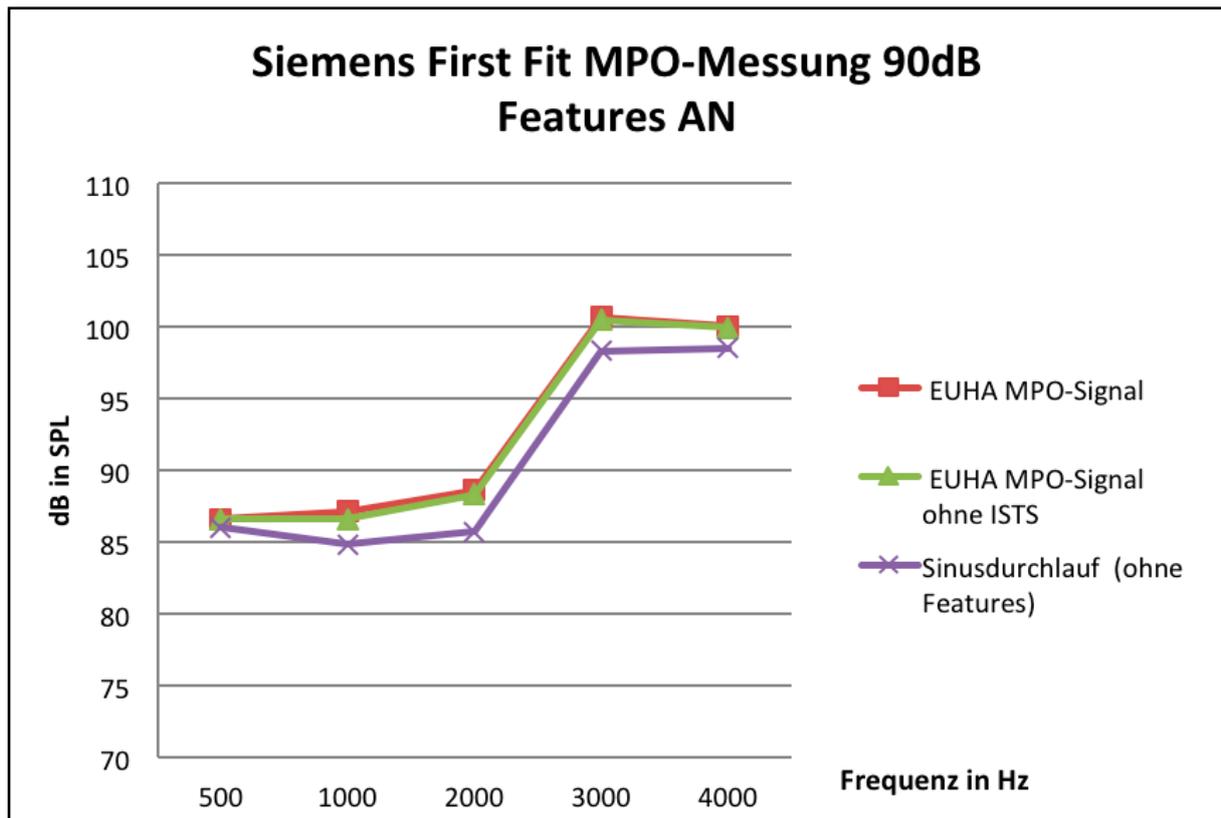


Abbildung 30: Scheitelwertauswertung Siemens im First Fit mit Features, LE = 90 dB

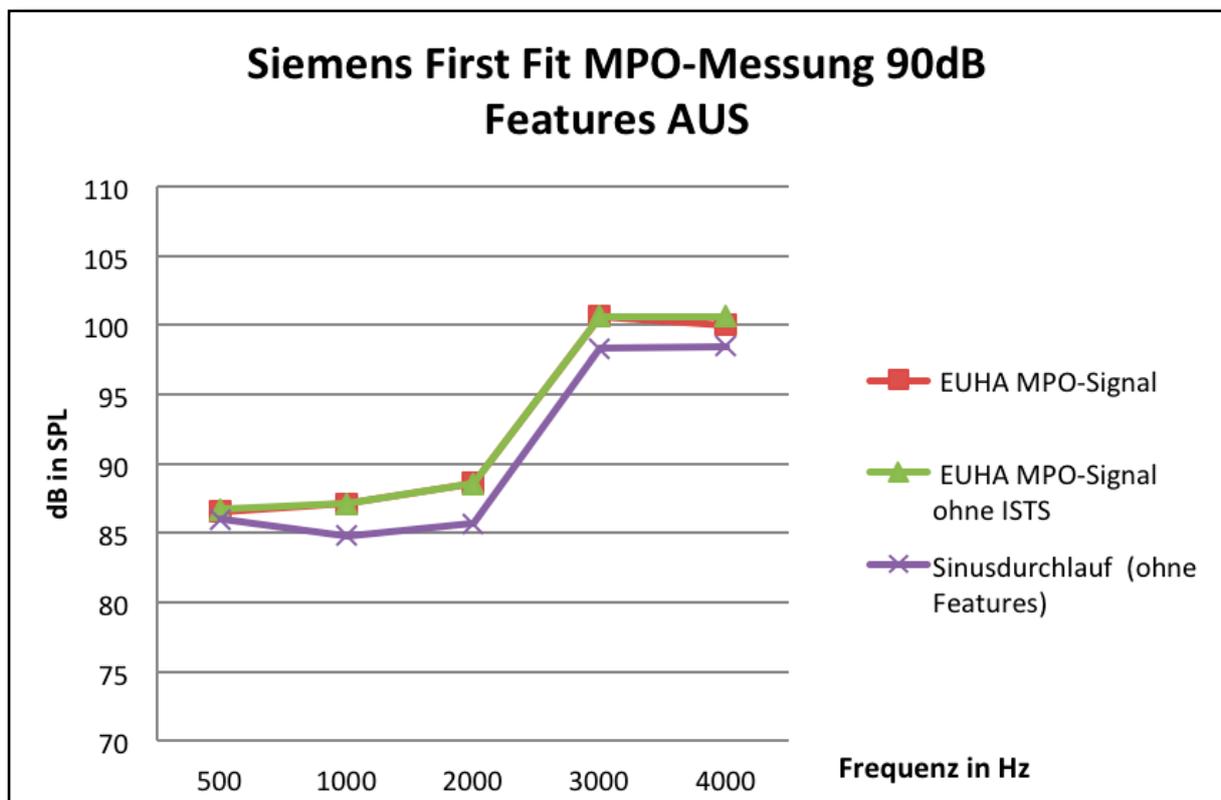


Abbildung 31: Scheitelwertauswertung Siemens im First Fit ohne Features, LE = 90 dB

3.3.2 Phonak Bolero Q70-M13

Die Dynamikkennlinien der Abbildung 32 zeigen, dass die Begrenzung im First Fit durch die AGCo bei 90 dB in allen Frequenzbereichen noch nicht erreicht wurde. Die Abbildungen 33 und 34 zeigen die beiden EUHA-MPO-Signale und den Sinussweep. Es ist zu sehen, dass die EUHA-MPO-Signale bei den einzelnen Frequenzen nahezu deckungsgleich miteinander sind. Bei dem Vergleich der Messungen des Sinussweeps mit den EUHA-MPO-Signalen fällt eine gute Übereinstimmung auf. Insgesamt sind die EUHA-MPO-Signale ca. 1 bis 3 dB lauter als der Sinussweep, was auf die Kalibrierung dieser Signale zurückgeführt werden kann. Die Features üben bei Phonak im First Fit einen sehr geringen Einfluss auf die neuen MPO-Signale aus. Es wird vor allem das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS im Hochtonbereich um etwa 2 dB abgeschwächt. Dies deutet darauf hin, dass durch die Unterlegung des EUHA-MPO-Signals mit dem ISTS weniger Komfortregelungen aktiv werden. Damit können auch bei Phonak die Messungen mit aktivierten Features durchgeführt werden.

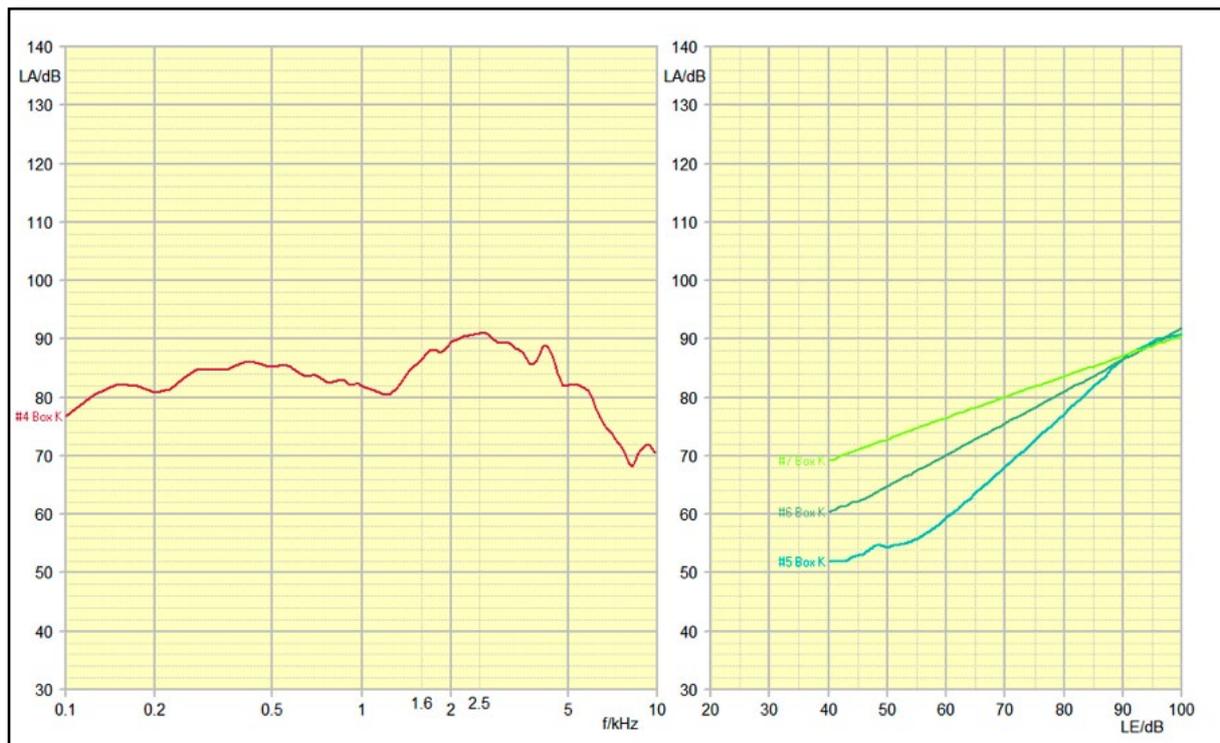


Abbildung 32: Phonak First Fit, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grau), 4000 Hz (grün)

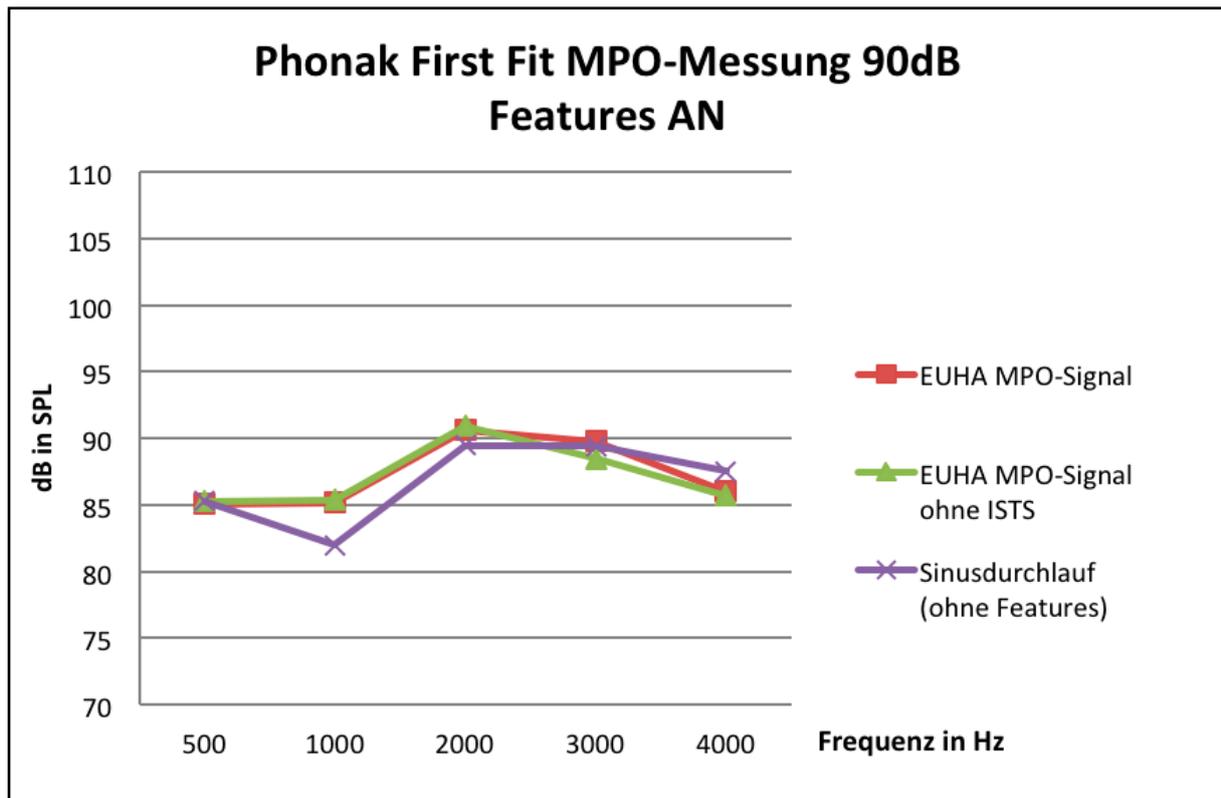


Abbildung 33: Scheitelwertauswertung Phonak im First Fit mit Features, LE = 90 dB

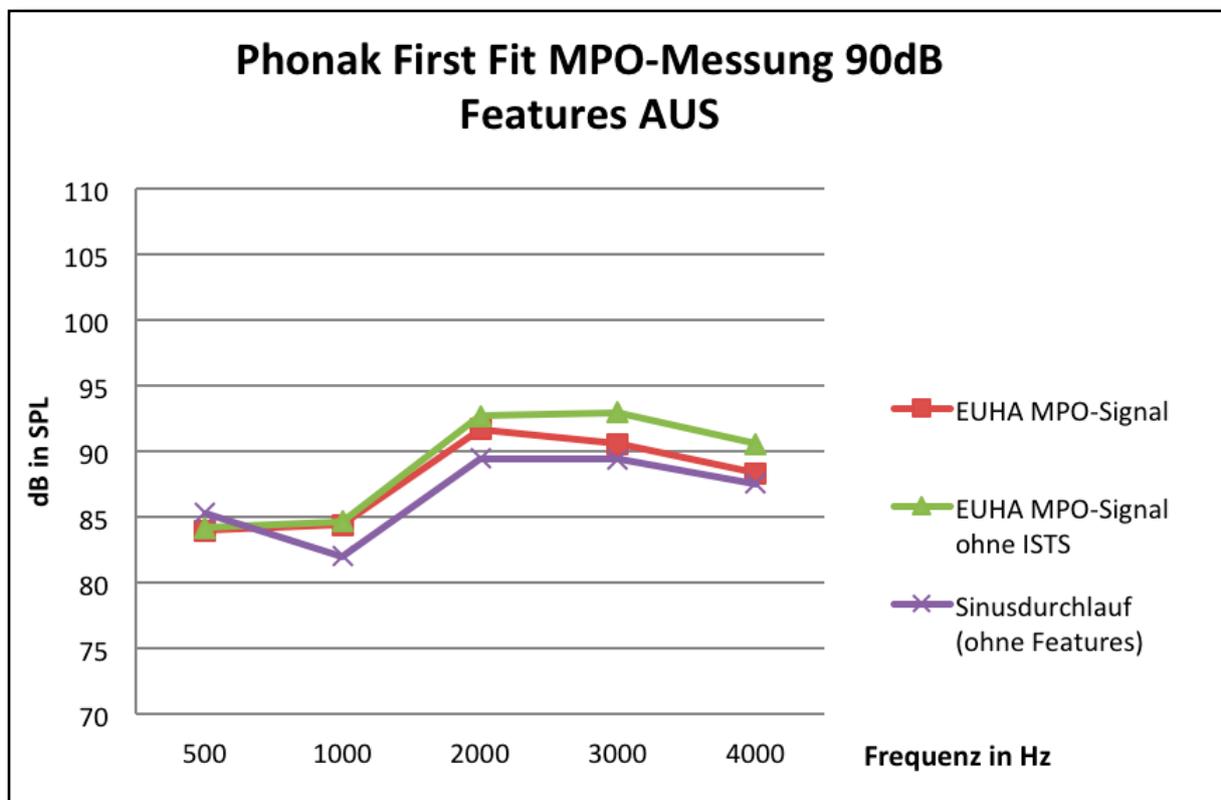


Abbildung 34: Scheitelwertauswertung Phonak im First Fit ohne Features, LE = 90 dB

3.3.3 Widex Clear 220 c9

Die Dynamikkennlinien der Abbildung 35 zeigen bei dem First Fit, dass die Begrenzung durch die AGCo bei 90 dB ebenfalls in allen Frequenzbereichen noch nicht erreicht wurde. Die Abbildungen 36 und 37 zeigen die beiden EUHA-MPO-Signale und den Sinussweep. Die beiden EUHA-MPO-Signale sind fast deckungsgleich miteinander. Bei 1000 und 2000 Hz ist das MPO-Signal ohne ISTS bei eingeschalteten Features etwa 2 dB leiser. Die Features haben bei Widex, ähnlich wie bei Phonak, nur Einfluss auf das MPO-Signal ohne ISTS. Die beiden Signale haben unabhängig von den Features einen 2 bis 5 dB lauteren Pegel als der Sinussweep bewirkt. Die stärkere Abweichung des Sinussweeps von bis zu 5 dB kann nicht nur mit den oben genannten Kalibrierungsungenauigkeiten erklärt werden. Eventuell wurde der Sinussweep trotz ausgeschalteter Features von der Signalverarbeitung beeinflusst. Insgesamt ist die Wirkung der Features bei den EUHA-MPO-Signalen sehr gering. Auch bei Widex bestätigt sich somit die Tauglichkeit der neuen MPO-Signale. Stabiler verhält sich jedoch das EUHA-MPO-Signal.

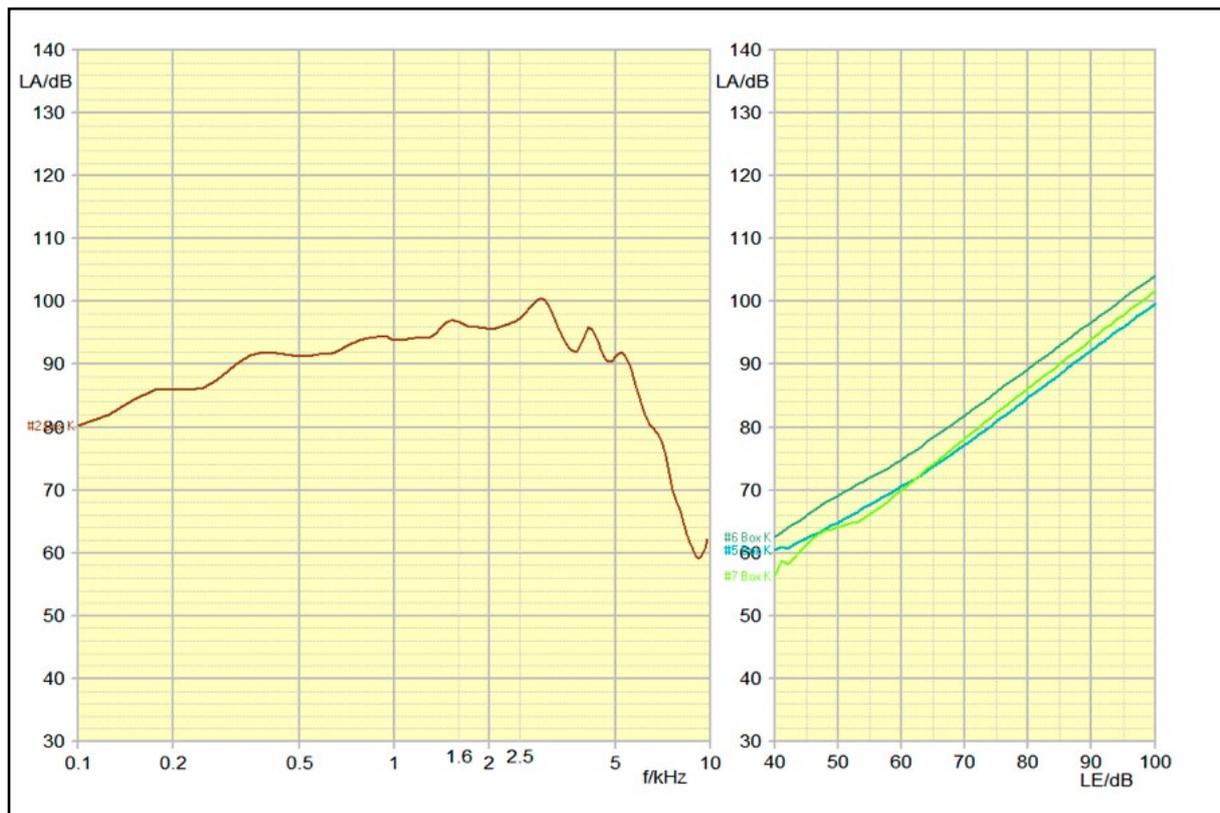


Abbildung 35: Widex First Fit, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grau), 4000 Hz (grün)

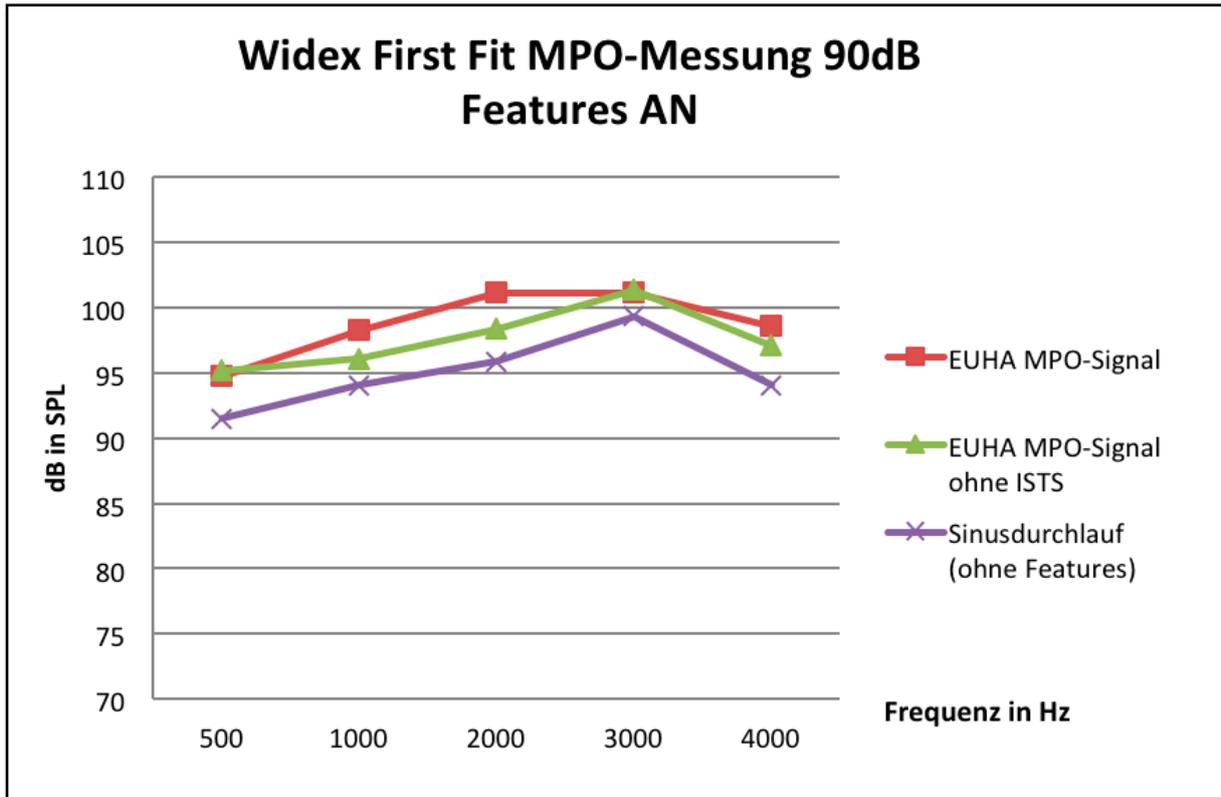


Abbildung 36: Scheitelwertauswertung Widex im First Fit mit Features, LE = 90 dB

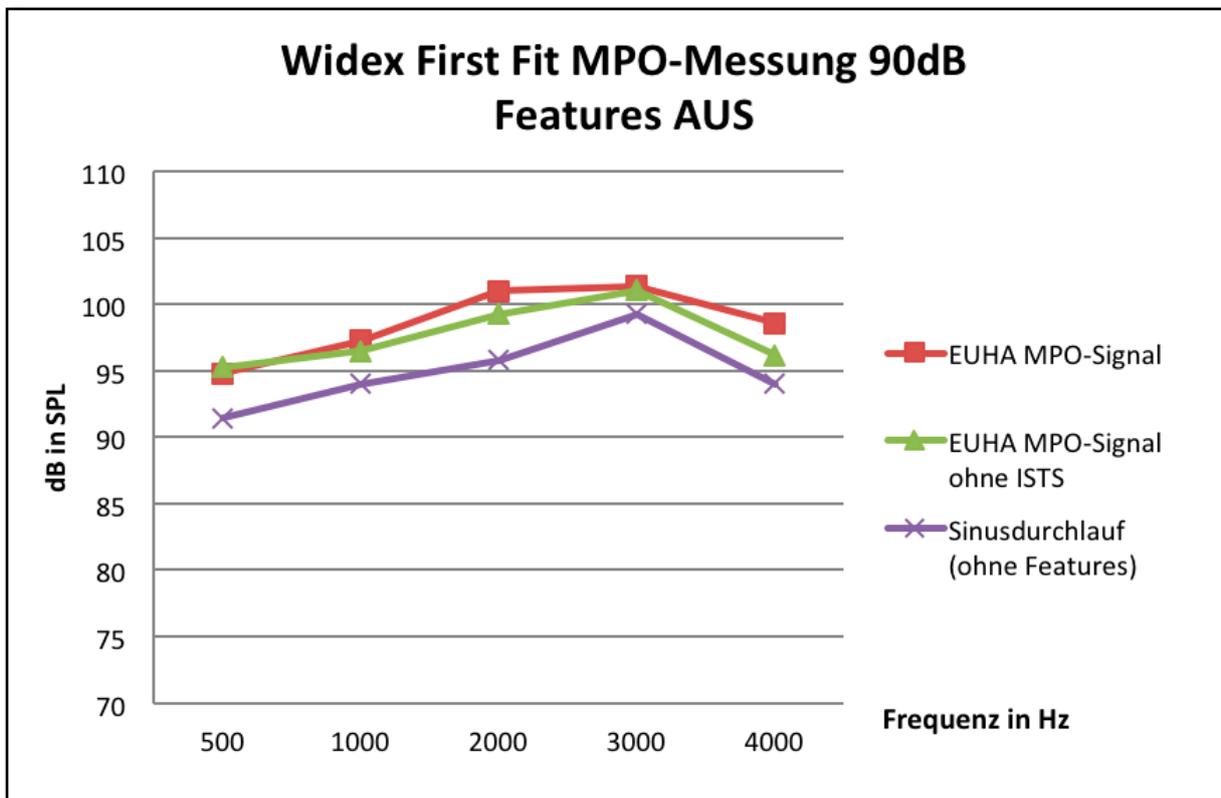


Abbildung 37: Scheitelwertauswertung Widex im First Fit ohne Features, LE = 90 dB

3.3.4 Oticon Alta Pro

Die Dynamikkennlinien der Abbildung 38 zeigen bei dem First Fit, dass die Begrenzung durch die AGCo bei 90 dB in allen Frequenzbereichen noch nicht erreicht wurde. Die Abbildungen 39 und 40 zeigen die beiden EUHA-MPO-Signale und den Sinussweep. Die beiden EUHA-MPO-Signale sind miteinander deckungsgleich. Bei 4 kHz fällt auf, dass die MPO-Signale lauter als der Sinussweep sind. Das ist wahrscheinlich auf die 2 dB Kalibrierungsungenauigkeit zurückzuführen. Es ist aber auch möglich, dass der Sinussweep, trotz ausgeschalteter Features, von der Signalverarbeitung des Hörgerätes beeinflusst wurde. Eine Wirkung der Features auf die MPO-Signale ist mit 1 bis 2 dB Schwankungen minimal, damit ist die Tauglichkeit mit aktivierten Features auch hier bestätigt.

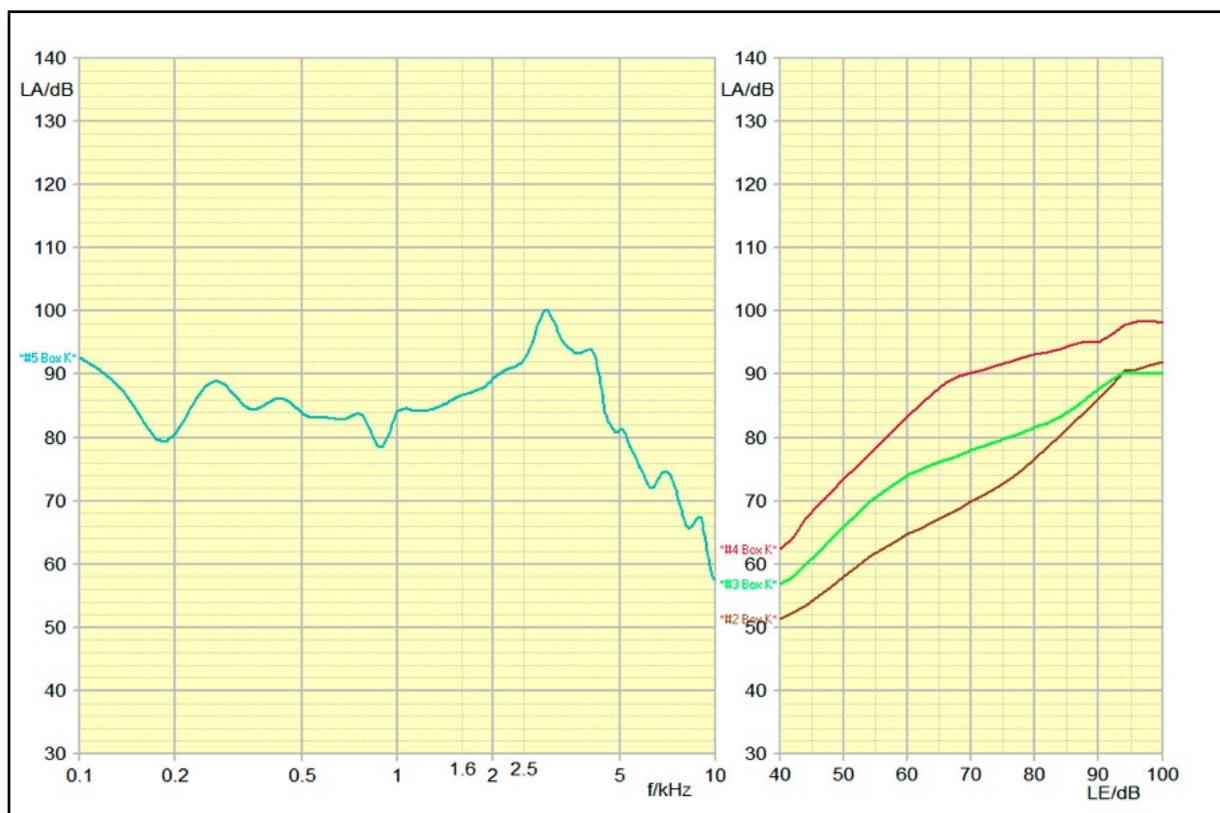


Abbildung 38: Oticon First Fit, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (braun), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (rot)

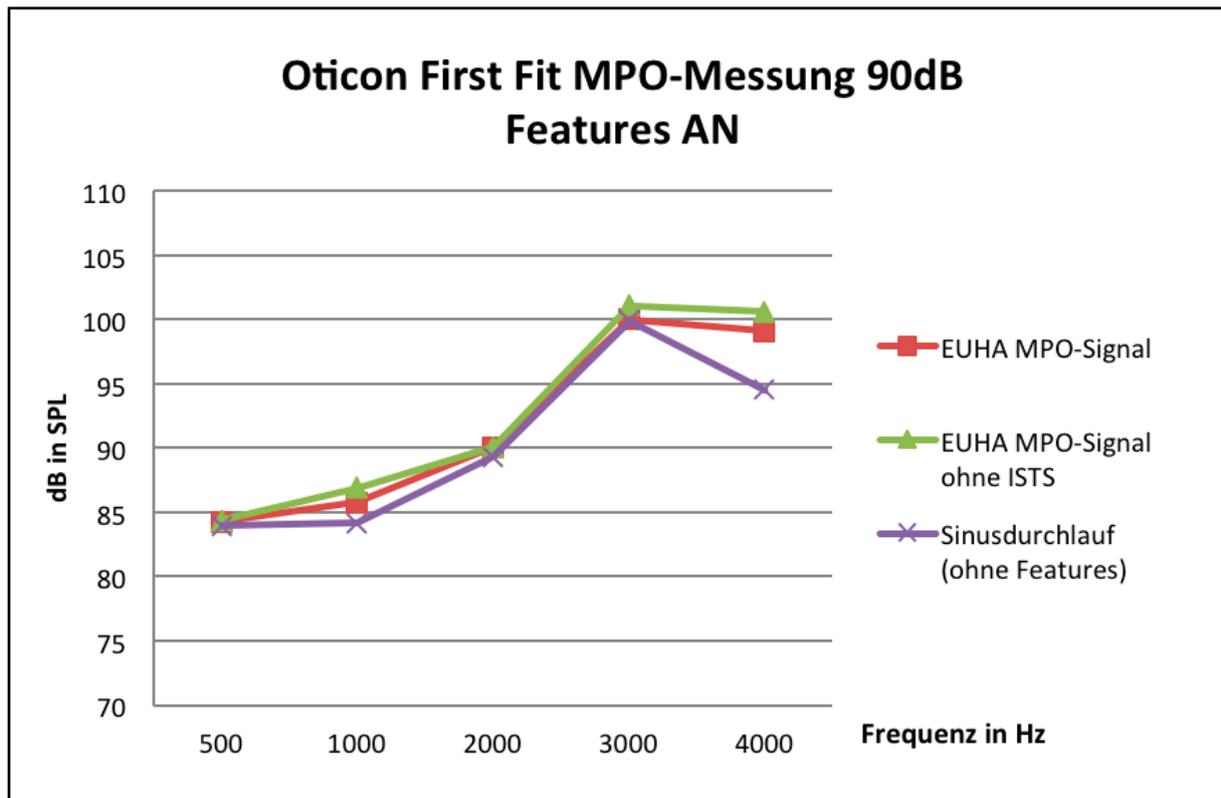


Abbildung 39: Scheitelwertauswertung Oticon im First Fit mit Features, LE = 90 dB

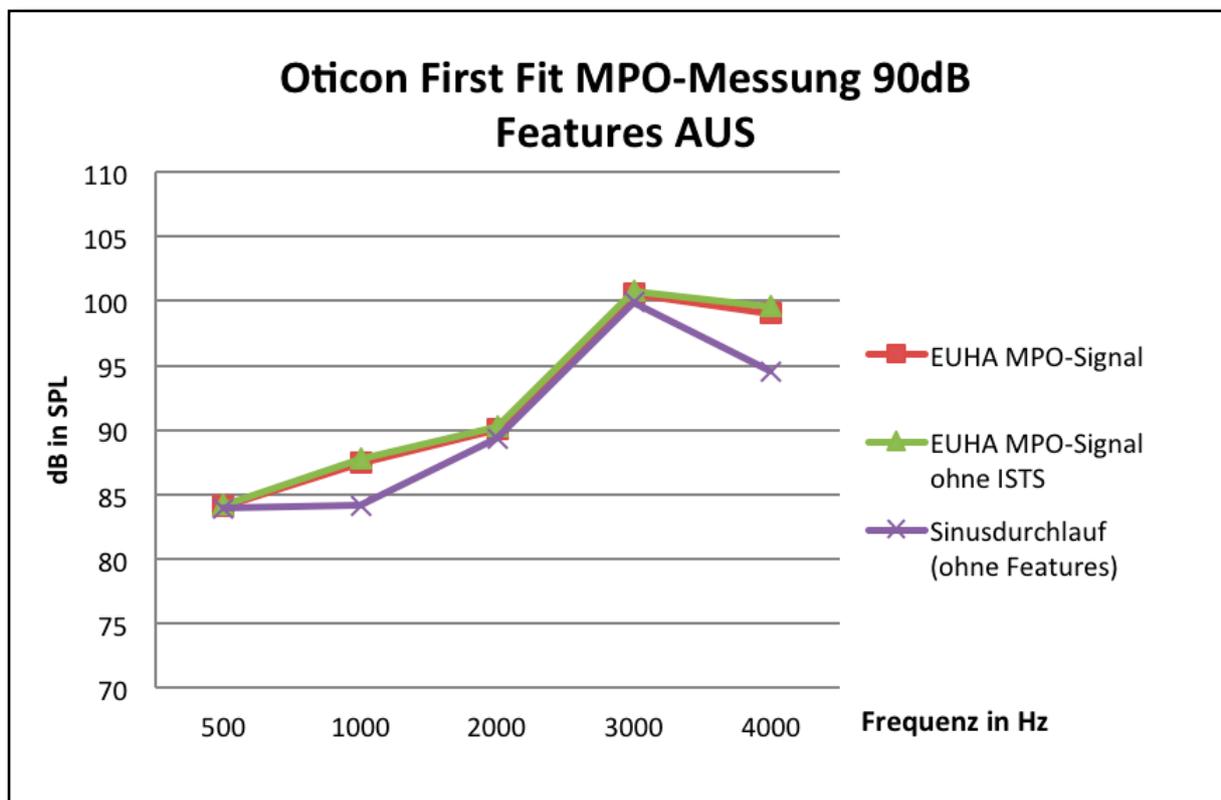


Abbildung 40: Scheitelwertauswertung Oticon im First Fit ohne Features, LE = 90 dB

3.3.5 ReSound Verso 7

Die Dynamikkennlinien der Abbildung 41 zeigen bei dem First Fit, dass die Begrenzung durch die AGCo bei 90 dB in allen Frequenzbereichen noch nicht erreicht wurde. Die Abbildungen 42 und 43 zeigen die beiden EUHA-MPO-Signale und den Sinussweep. Das EUHA-MPO-Signal ist deckungsgleich mit dem EUHA-MPO-Signal ohne ISTS. Insgesamt ist der Sinussweep ca. 2 bis 5 dB leiser. Die stärkere Abweichung des Sinussweeps von bis zu 5 dB kann nicht nur mit den oben genannten Kalibrierungsungenauigkeiten erklärt werden. Eventuell wurde der Sinussweep, trotz ausgeschalteter Features, von der Signalverarbeitung im Hörgerät beeinflusst. Bei dem Vergleich der Messungen mit und ohne Features fällt auf, dass die beiden MPO-Signale mit aktivierten Features bei 1000 Hz um ca. 2 dB reduziert werden. Da diese geringe Abweichung nur bei einer Frequenz auftritt, ist die Tauglichkeit der neuen MPO-Signale mit aktivierten Features nicht eingeschränkt.

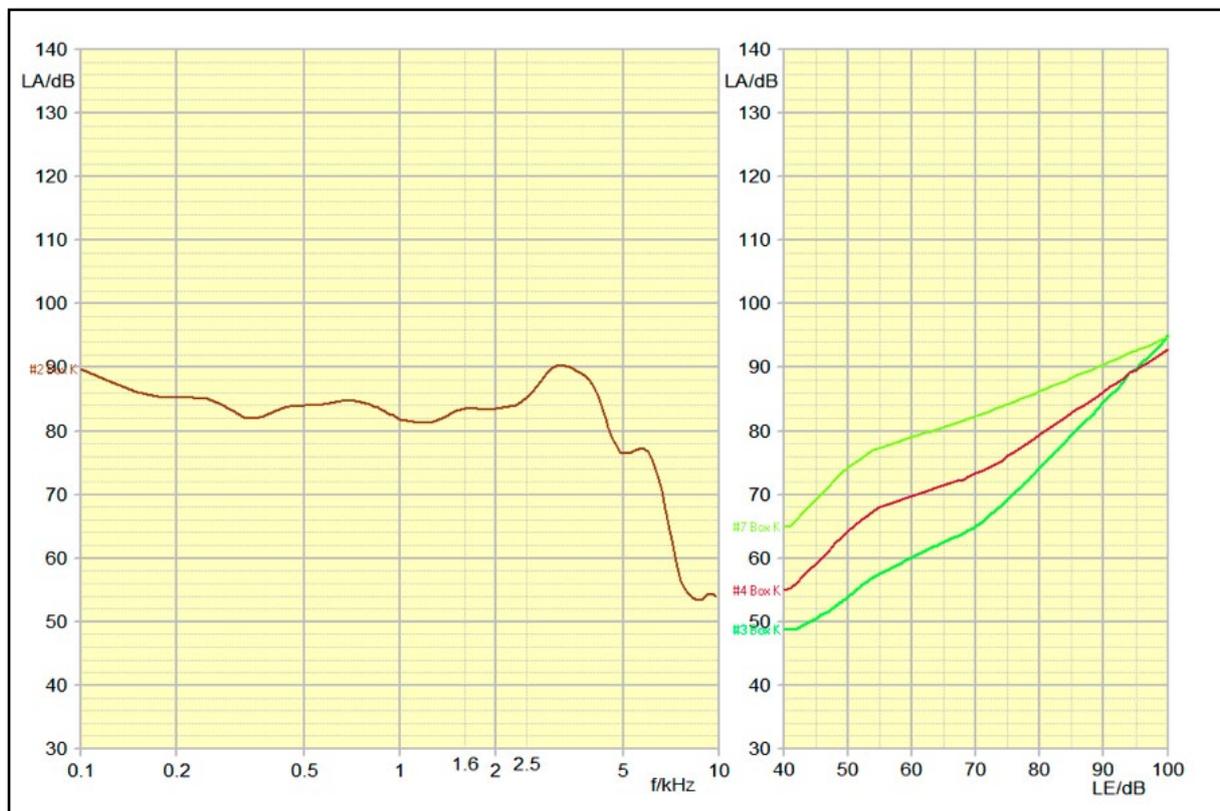


Abbildung 41: Dynamikkennlinien First Fit, 400 Hz (blau), 1600 Hz (braun), 4 kHz (violett) und First Fit Programmierung

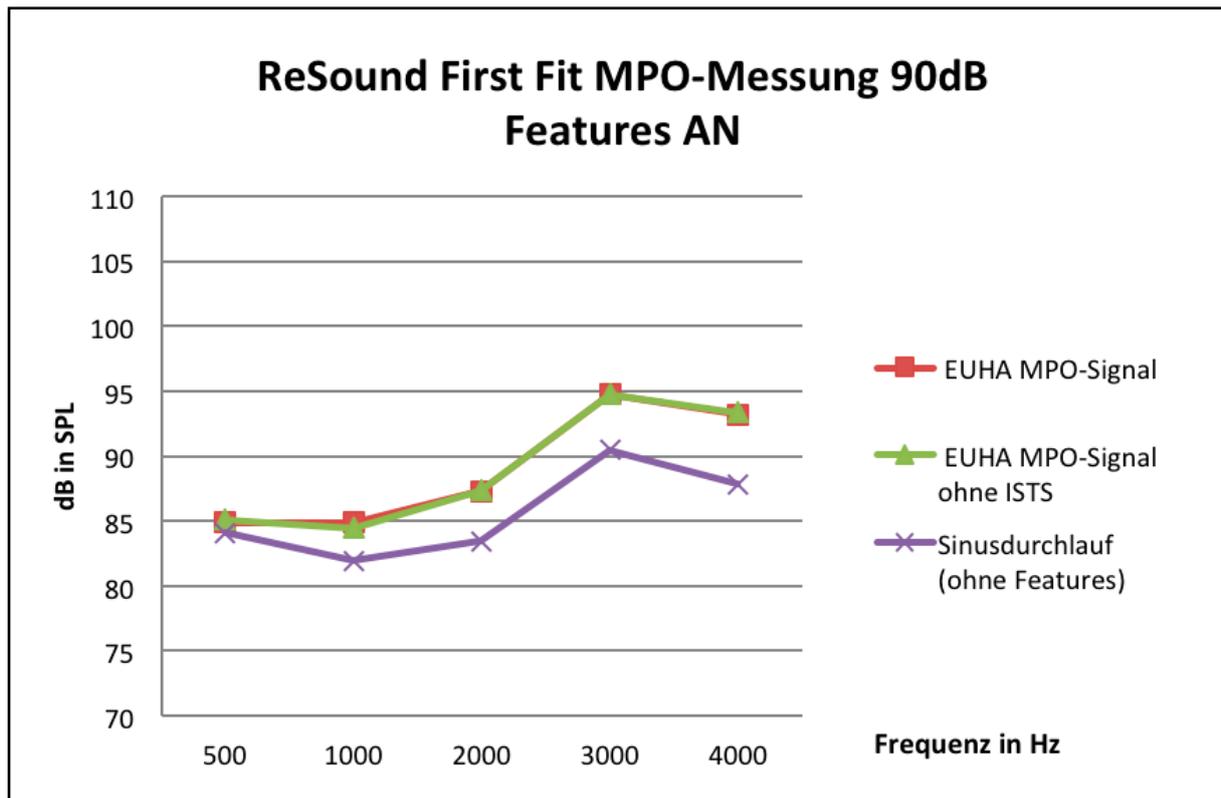


Abbildung 42: Scheitelwertauswertung ReSound im First Fit mit Features, LE = 90 dB

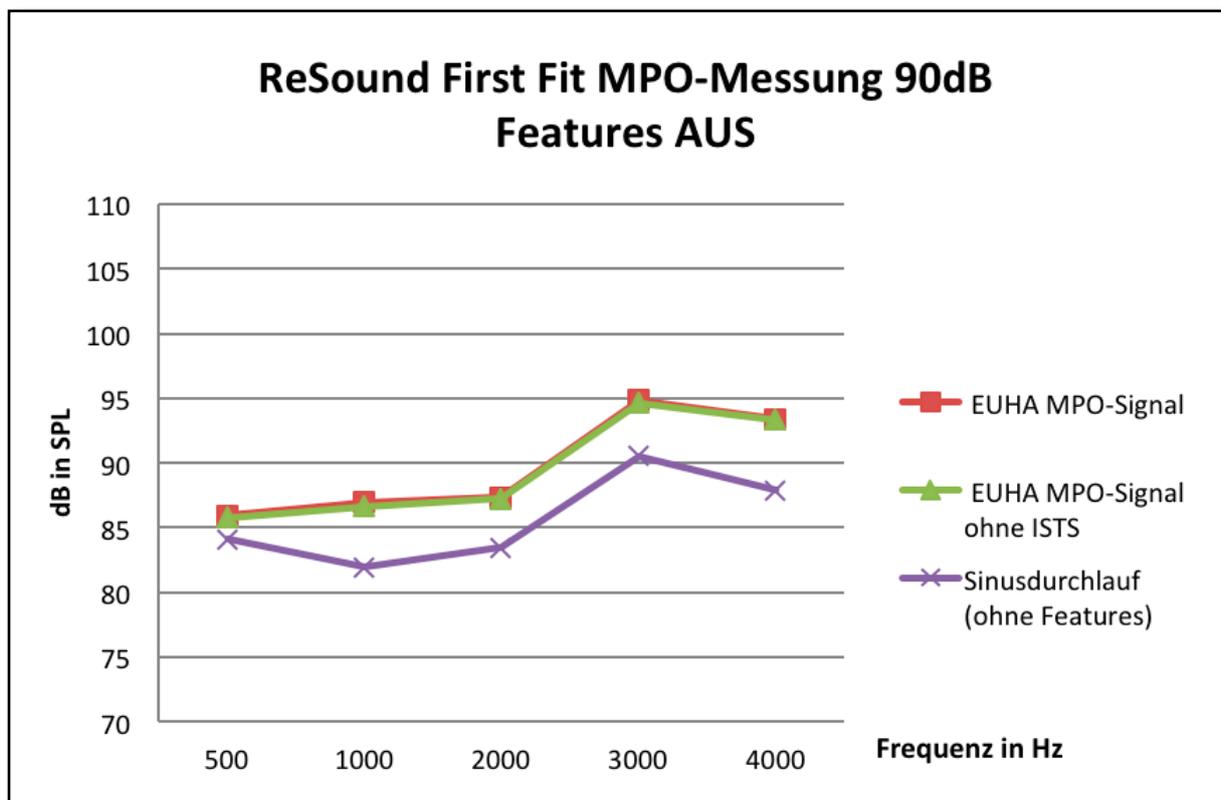


Abbildung 43: Scheitelwertauswertung ReSound im First Fit ohne Features, LE = 90 dB

3.4 Messungen der neuen MPO-Signale in der FOG-Einstellung

Abbildung 44 zeigt exemplarisch die beiden EUHA-MPO-Signale im Eingang und im Ausgang eines Hörgerätes in FOG-Einstellung (Full On Gain). Die Kalibrierungsungenauigkeiten der EUHA-MPO-Signale fallen bei diesen Messungen nicht ins Gewicht, da alle Hörgeräte bei dem Eingangspegel von 90 dB in der Sättigung waren und leichte Schwankungen des Eingangspegels keine Auswirkung auf den Sättigungsschalldruckpegel haben. In den folgenden Excel-Diagrammen sind wieder dieselben drei Signale untersucht worden. Das EUHA-MPO-Signal (rot), das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS (grün) und ein Sinussweep (lila). Diese Messungen wurden bei denselben fünf verschiedenen Hörgeräten durchgeführt, um zu prüfen, ob die neuen MPO-Signale die Sättigung erreichen. Die Messungen sind grundsätzlich einmal mit und einmal ohne Features durchgeführt worden. Die Einstellung der Features entspricht dem First Fit. Beim Sinussweep waren die Features immer ausgeschaltet. Zusätzlich wurden auch die Werte des OSPL90 aus dem Datenblatt in jedes Diagramm eingefügt, um einen Vergleich zu den Herstellerangaben zu erhalten.

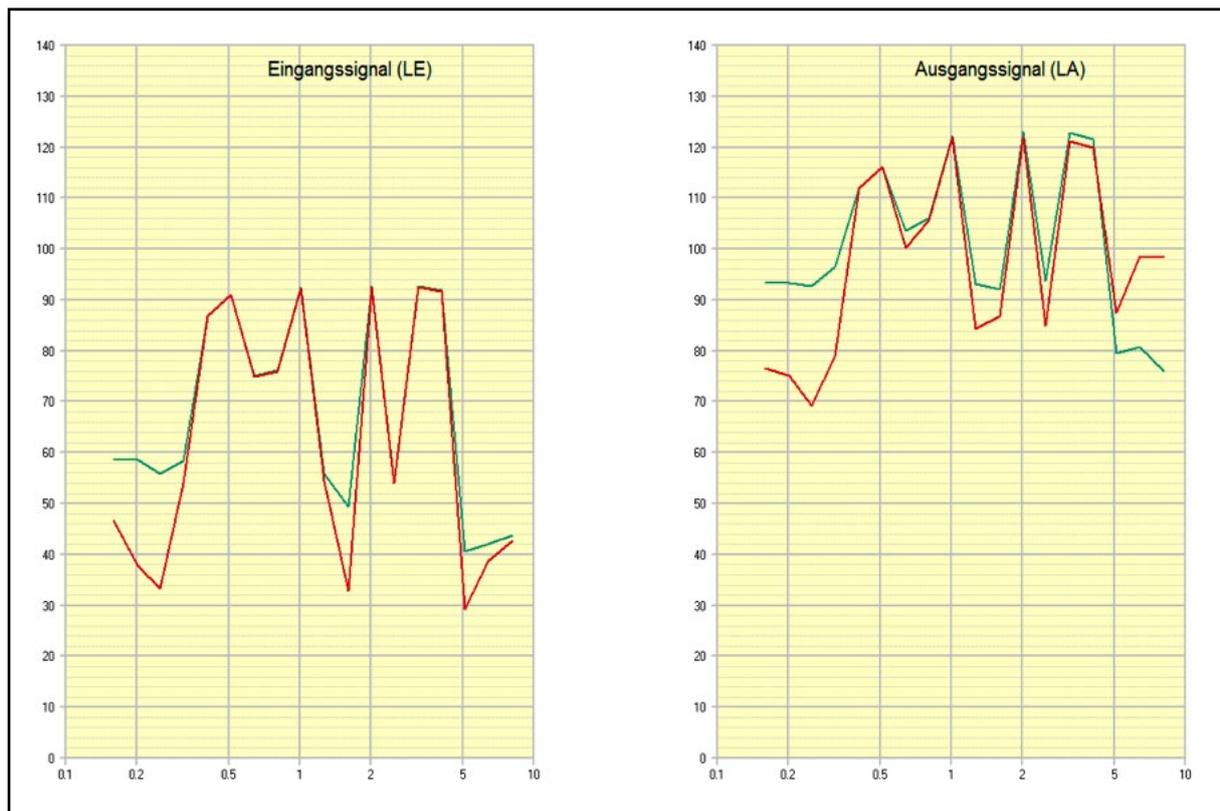


Abbildung 44: EUHA-MPO-Signal mit ISTS (blau) und ohne ISTS (rot) FOG

3.4.1 Siemens Motion 501 DM VC

In Abbildung 45 ist die FOG-Messung in der ACAM dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei allen Frequenzen bei LE = 90 dB die Sättigung erreicht wird. In den Abbildungen 46 und 47 ist zu sehen, dass die EUHA-MPO-Signale nahezu deckungsgleich miteinander sind. Beim Vergleich des Sinussweeps mit den beiden MPO-Signalen fällt eine gute Übereinstimmung auf. Allerdings liegen die Scheitelwerte der beiden MPO-Signale bei etwas höheren Pegeln. Da der Scheitelwert, also der allerhöchste Pegel, ausgewertet wird, könnte es sein, dass der etwas höhere Wert durch kurzzeitige Verzerrungen hervorgerufen wurde. Insgesamt ist zu erkennen, dass der Sättigungsschalldruckpegel des Hörgerätes von den neuen MPO-Signalen erreicht wird. Der Sinussweep stimmt mit der OSPL90-Kurve aus dem Datenblatt überein. Beim Vergleich der Messergebnisse zeigt sich auch hier, dass die Features keinen Einfluss auf die EUHA-MPO-Signale haben und die Sättigung so auch bei eingeschalteten Features erreicht wird.

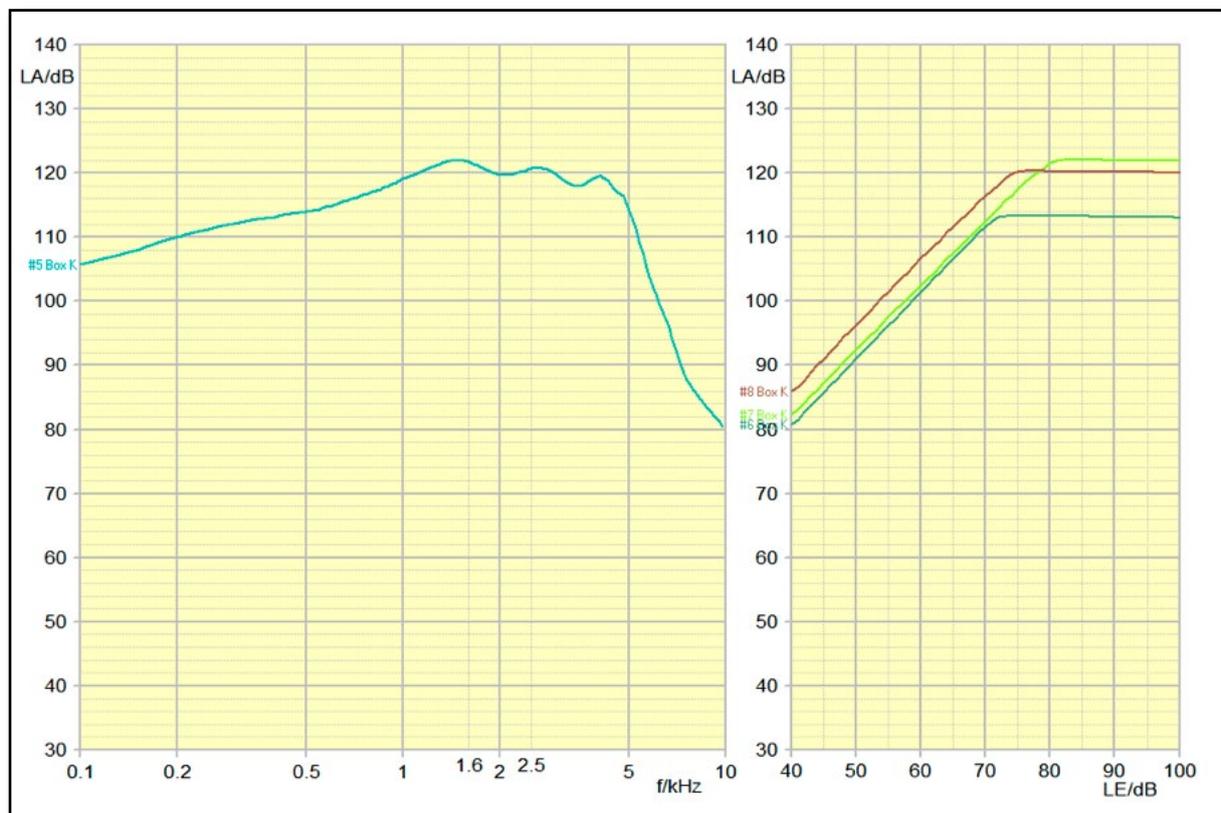


Abbildung 45: Siemens FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (blau), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (braun)

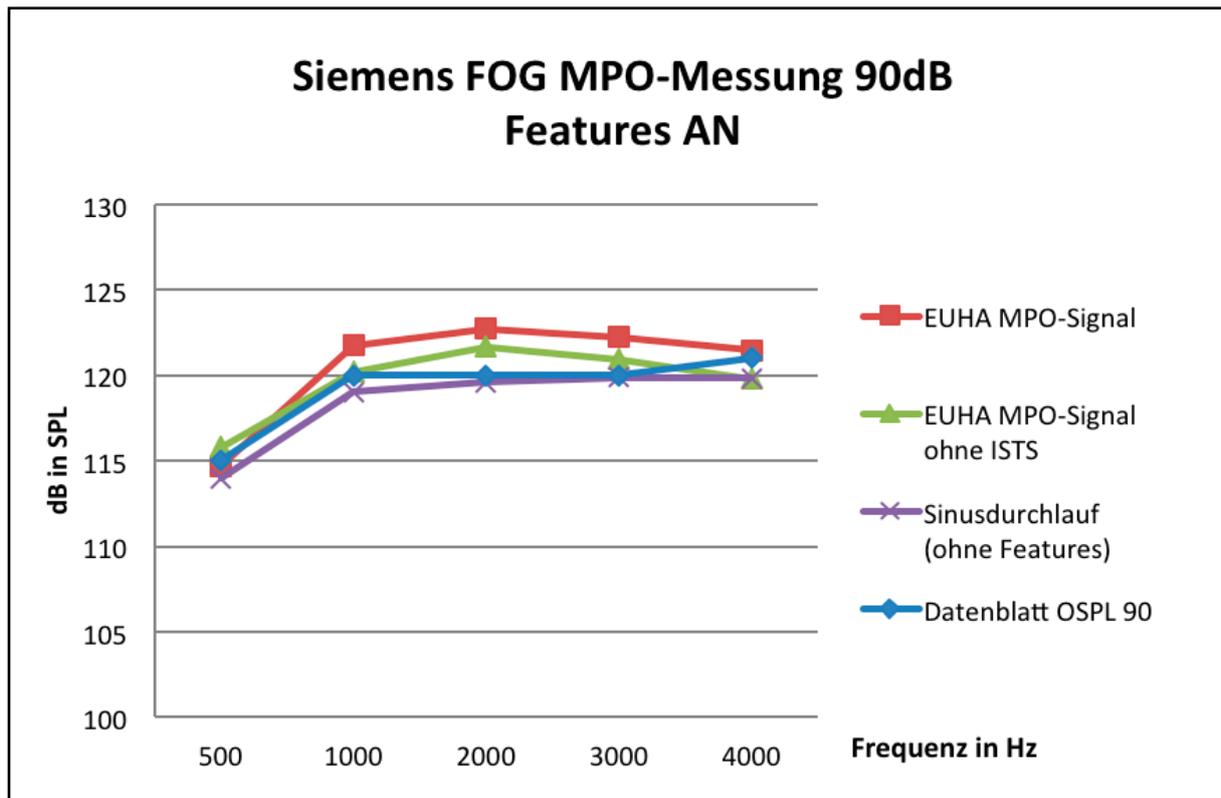


Abbildung 46: Scheitelwertauswertung Siemens in FOG mit Features, LE = 90 dB

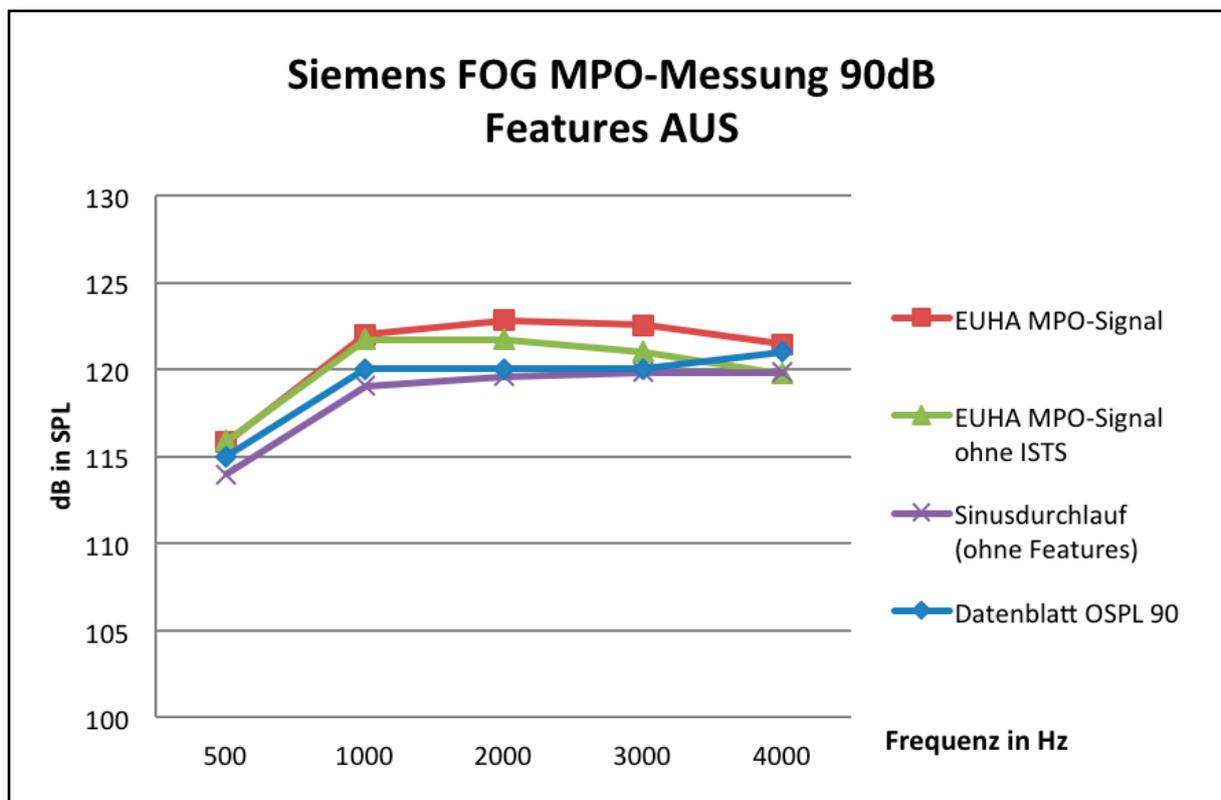


Abbildung 47: Scheitelwertauswertung Siemens in FOG ohne Features, LE = 90 dB

3.4.2 Phonak Bolero Q70-M13

In Abbildung 48 ist die FOG-Messung in der ACAM dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei allen Frequenzen bei LE = 90 dB die Sättigung erreicht wird. In den Abbildungen 49 und 50 ist zu sehen, dass die EUHA-MPO-Signale bei allen Frequenzen außer 1000 Hz deckungsgleich sind. Beim Vergleich des Sinussweeps mit den beiden MPO-Signalen fällt auf, dass die MPO-Signale ca. 2 bis 5 dB lauter sind. Da der Scheitelwert ausgewertet wird, könnte es sein, dass der etwas höhere Wert durch kurzzeitige Verzerrungen hervorgerufen wurde. Insgesamt ist zu sehen, dass der Sättigungsschalldruckpegel des Hörgerätes von den neuen MPO-Signalen erreicht wird. Der Sinussweep ist etwas niedriger als die OSPL90-Kurve aus dem Datenblatt. Dies liegt jedoch im zulässigen Toleranzbereich von ± 4 dB aus der Norm DIN EN 60118-7. Im Vergleich der Messergebnisse mit und ohne Features (Abbildungen 49 und 50) zeigt sich, dass die Features keinen nennenswerten Einfluss auf das Messergebnis haben. Die einzige leichte Wirkung der Features bei Phonak ist bei 1 kHz erkennbar. Hier wurde das EUHA-MPO-Signal um 4 dB und das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS um 2 dB abgesenkt. Die Abweichungen zum Sinus liegen jedoch unter 2 dB, somit wurde auch hier die Sättigung in Trageeinstellung erreicht.

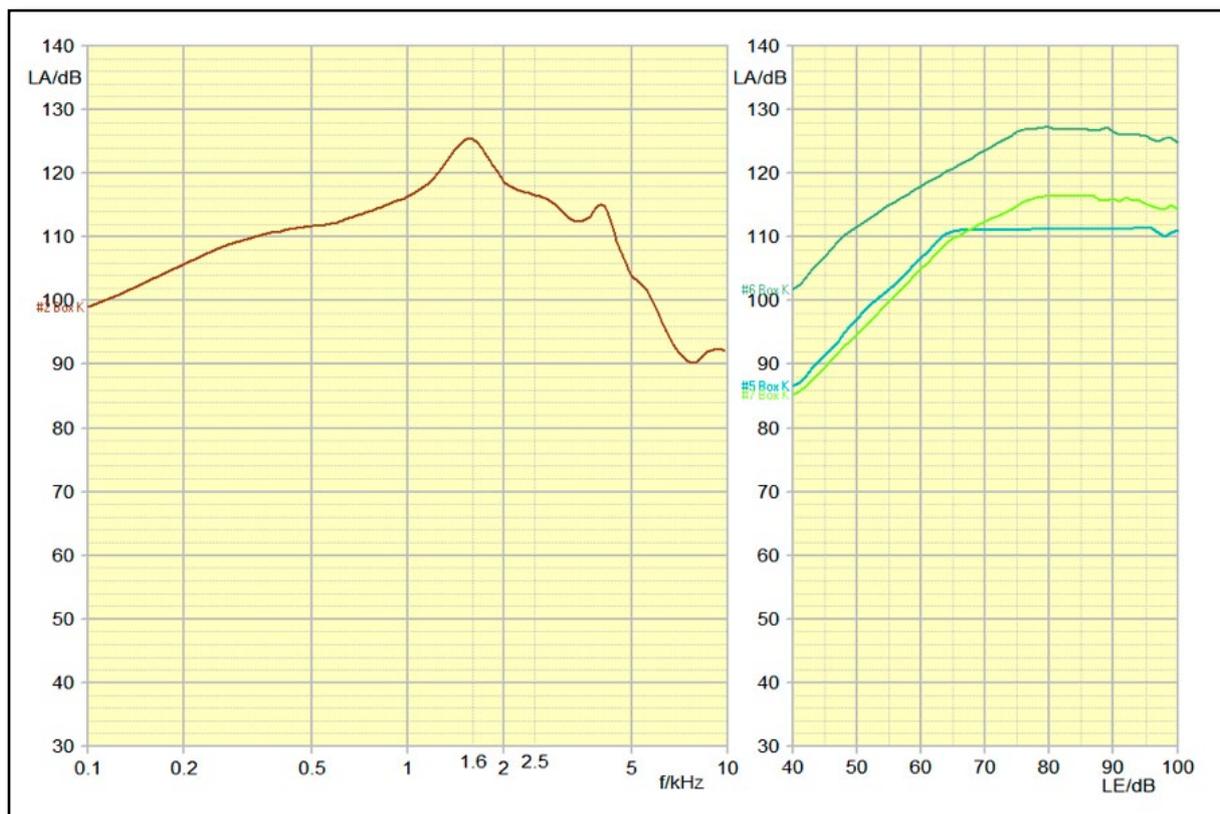


Abbildung 48: Phonak FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (grau)

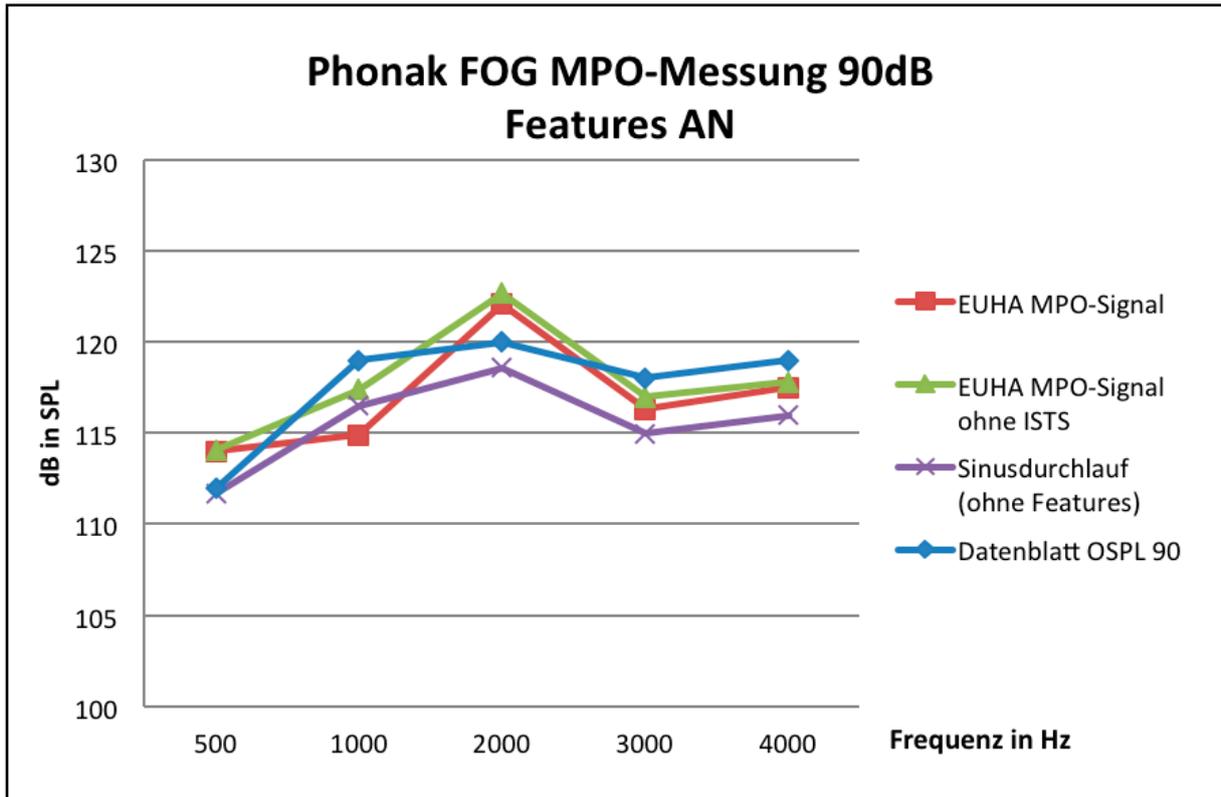


Abbildung 49: Scheitelwertauswertung Phonak in FOG mit Features, LE = 90 dB

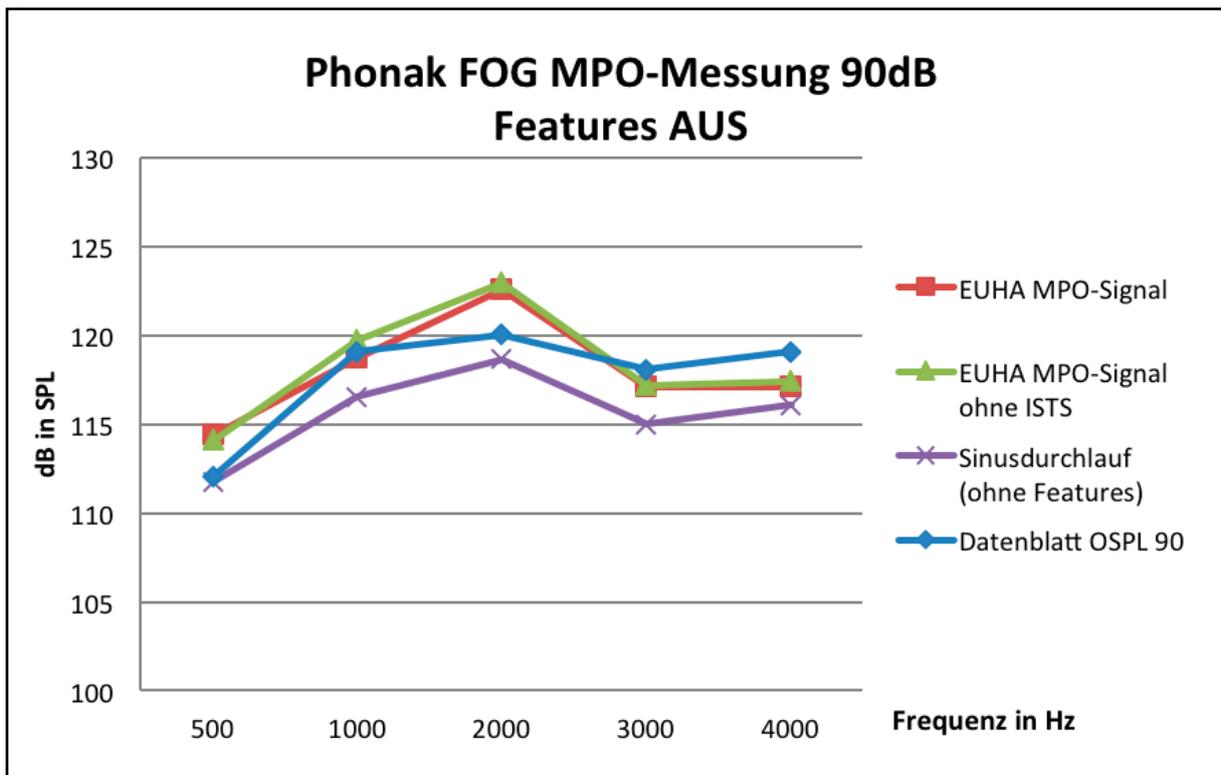


Abbildung 50: Scheitelwertauswertung Phonak in FOG ohne Features, LE = 90 dB

3.4.3 Widex Clear 220 c9

In Abbildung 51 ist die FOG-Messung in der ACAM dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei allen Frequenzen die Sättigung bei $LE = 90$ dB knapp erreicht wird. Auffällig ist, dass trotz FOG-Einstellung noch eine Kompression im LE/LA-Diagramm erkennbar ist. Das bedeutet, dass die OSPL90-Kurve, anders als hier, in einem Testmodus für Normmessungen aufgenommen werden sollte. Bei Widex kann das Kompressionsverhältnis nicht über einen Steller auf 1:1 gesetzt werden. Der Sinussweep liegt deshalb etwas niedriger als die OSPL90-Kurve aus dem Datenblatt. In Abbildung 52 ist zu sehen, dass die EUHA-MPO-Signale nahezu deckungsgleich sind. Beim Vergleich des Sinussweeps mit den beiden MPO-Signalen fällt auf, dass die neuen MPO-Signale ca. 5 dB lauter sind. Da der Scheitelwert, also der allerhöchste Pegel, ausgewertet wird, könnte es sein, dass der etwas höhere Wert durch kurzzeitige Verzerrungen hervorgerufen wurde. Insgesamt ist zu erkennen, dass der Sättigungsschalldruckpegel des Hörgerätes von den neuen MPO-Signalen erreicht wird. Im Vergleich der Messergebnisse mit und ohne Features (Abbildungen 52 und 53) zeigt sich, dass die Features keinen Einfluss auf das Messergebnis haben.

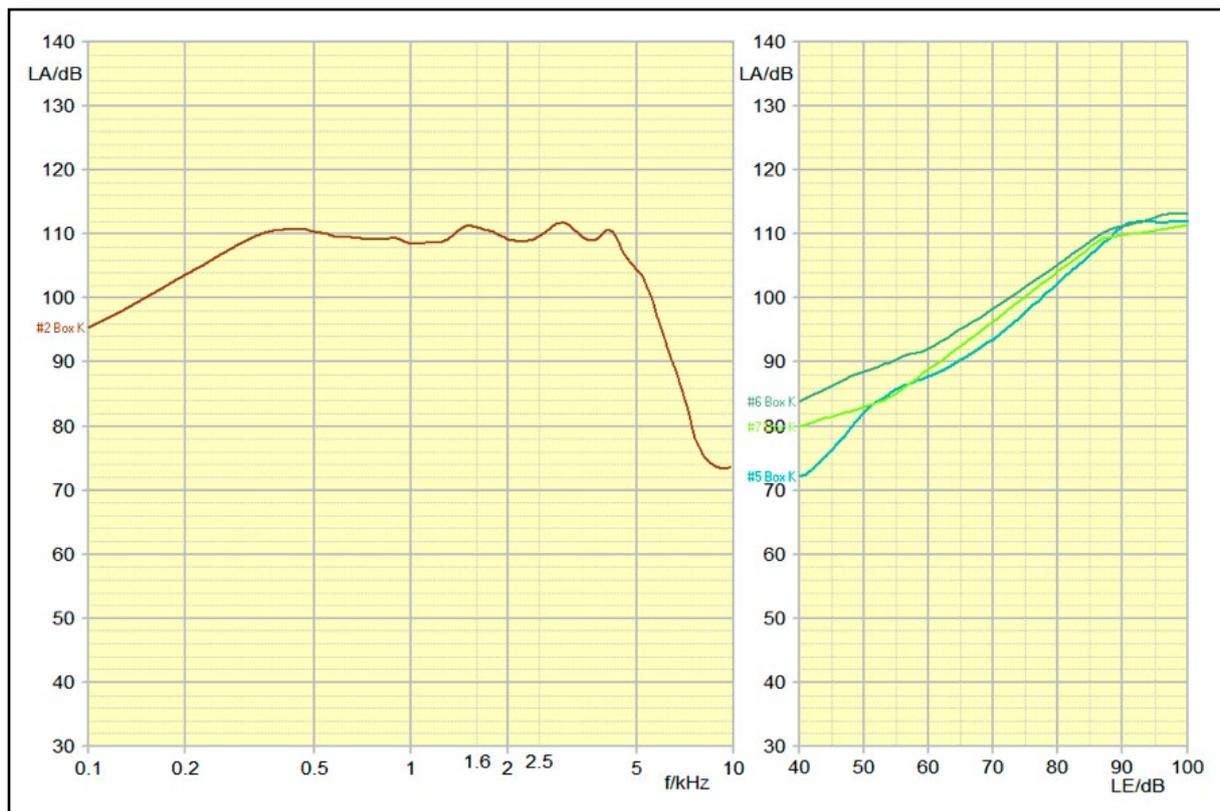


Abbildung 51: Phonak FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (grau)

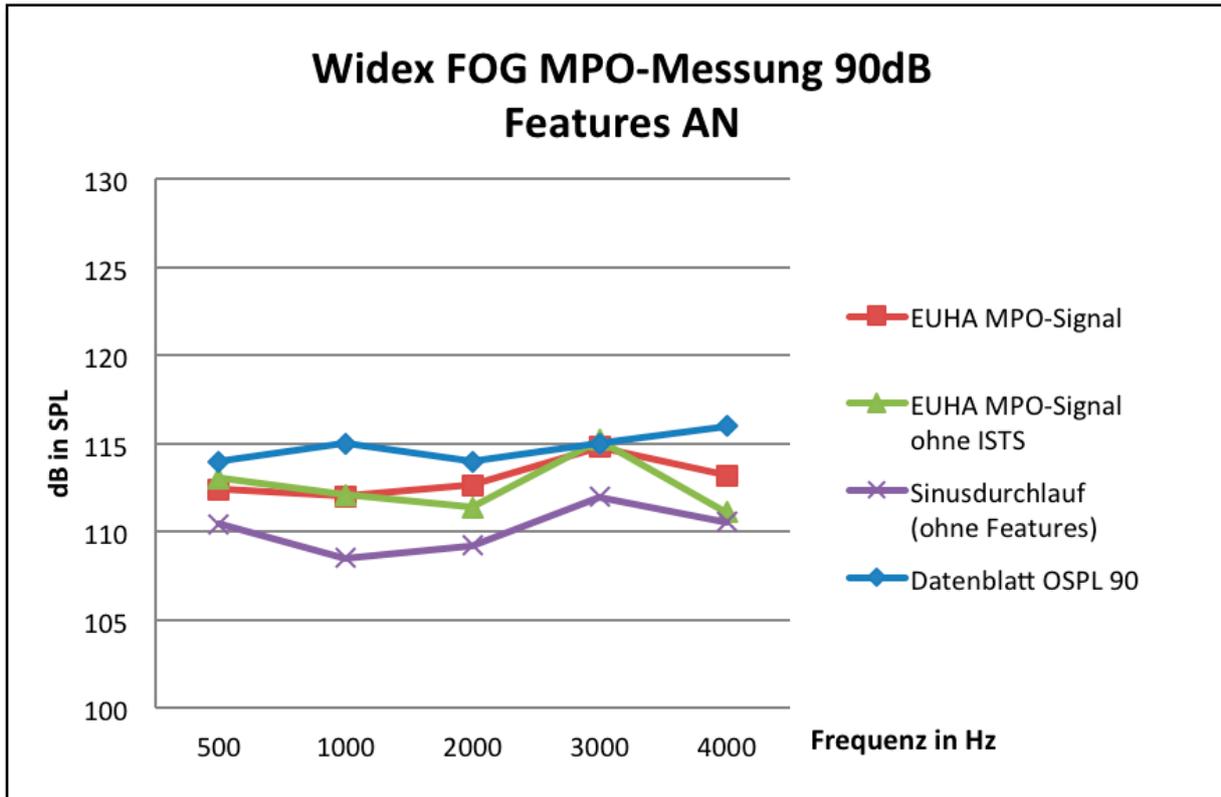


Abbildung 52: Scheitelwertauswertung Widex in FOG mit Features, LE = 90 dB

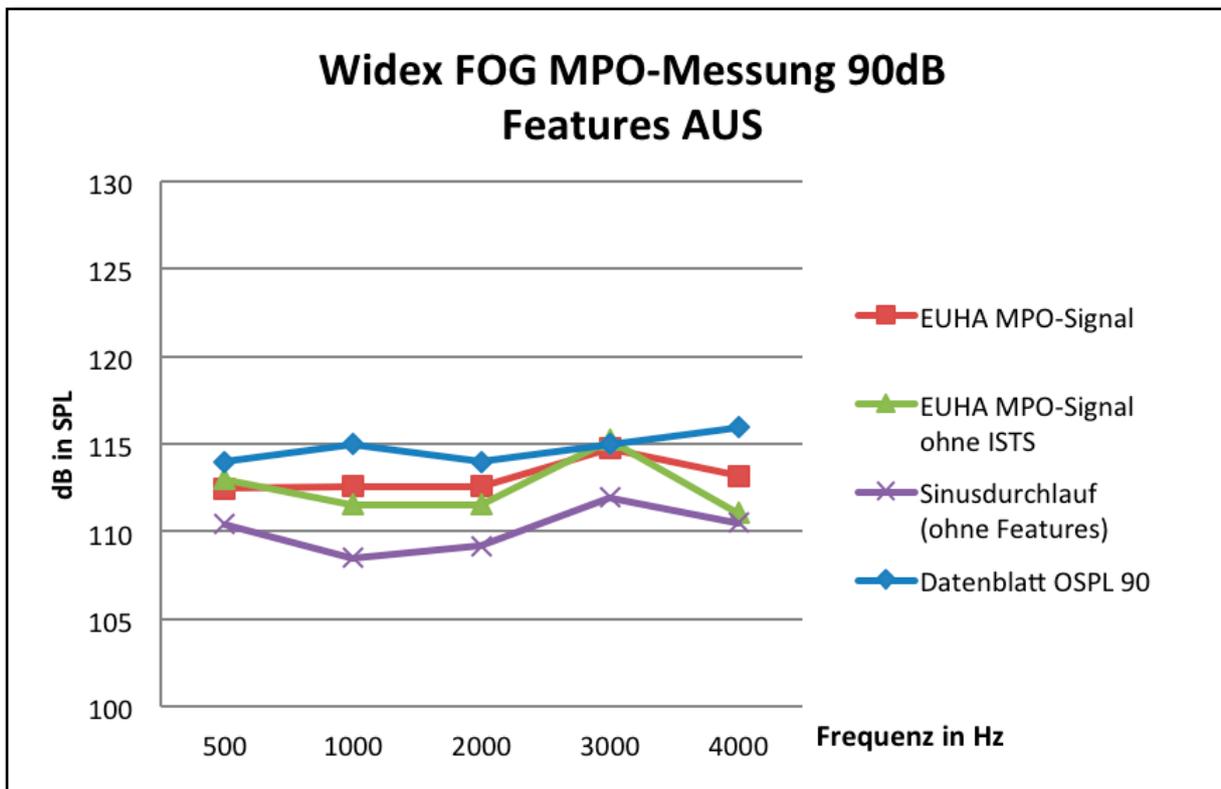


Abbildung 53: Scheitelwertauswertung Widex in FOG ohne Features, LE = 90 dB

3.4.4 Oticon Alta Pro

In Abbildung 54 ist die FOG-Messung in der ACAM dargestellt. Es ist zu erkennen, dass bei allen Frequenzen die Sättigung bei $LE = 90$ dB erreicht wird. In den Abbildungen 55 und 56 ist zu sehen, dass die EUHA-MPO-Signale bei allen Frequenzen außer 1000 Hz nahezu deckungsgleich sind. Das EUHA-MPO-Signal ist bei eingeschalteten Features bei 1000 Hz knapp 3 dB leiser. Beim Vergleich des Sinussweeps mit den beiden MPO-Signalen fällt auf, dass die MPO-Signale ca. 3 bis 4 dB lauter sind. Da der Scheitelwert, also der allerhöchste Pegel, ausgewertet wird, könnte es sein, dass der etwas höhere Wert durch kurzzeitige Verzerrungen hervorgerufen wurde. Insgesamt ist zu erkennen, dass der Sättigungsschalldruckpegel des Hörgerätes von den neuen MPO-Signalen erreicht wird. Der Sinussweep liegt etwas niedriger als die OSPL90-Kurve aus dem Datenblatt. Dies liegt jedoch im zulässigen Toleranzbereich von ± 4 dB aus der Norm DIN EN 60118-7. Im Vergleich der Messergebnisse ohne Features mit denjenigen mit Features zeigt sich, dass diese nur einen geringen Einfluss haben. Das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS wird über alle Frequenzen 2 dB abgesenkt. Auch hier wird die Sättigung wie bei der OSPL90-Kurve trotz eingeschalteter Features erreicht, im Hochtonbereich teilweise sogar noch übertroffen.

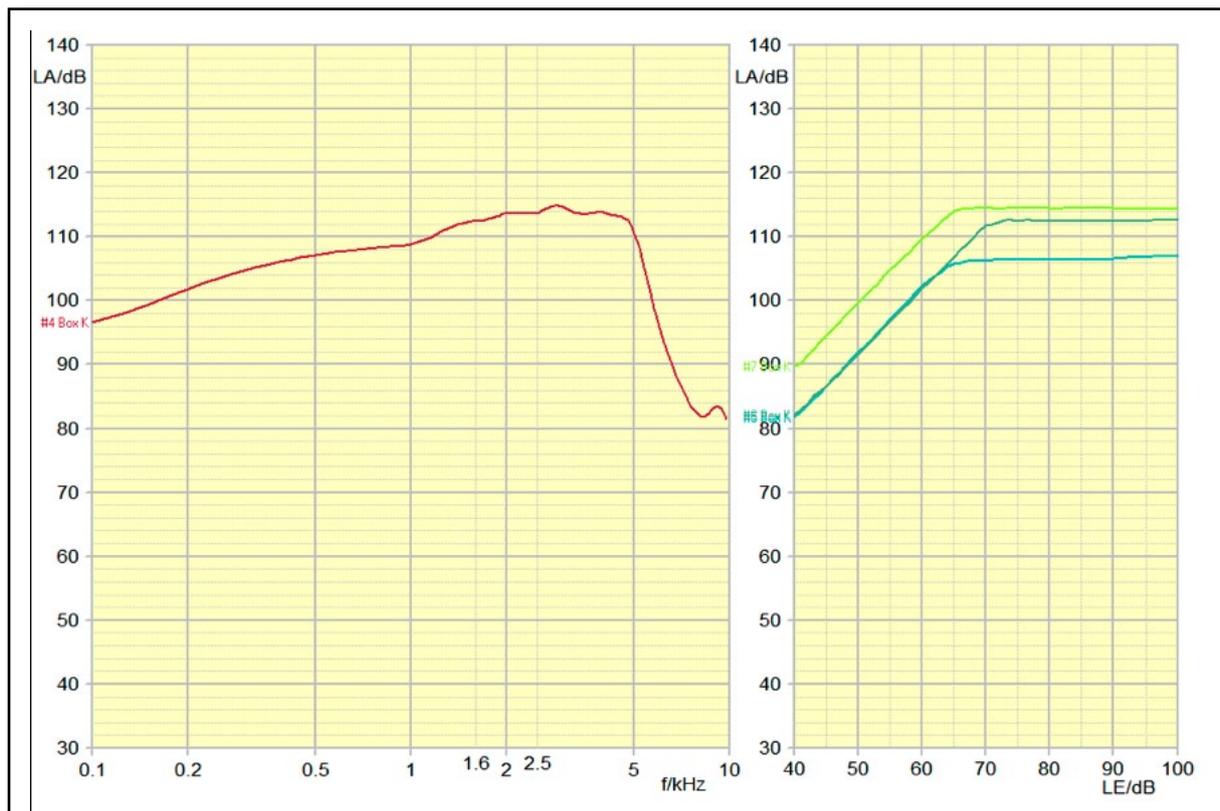


Abbildung 54: Oticon FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grau), 4000 Hz (grün)

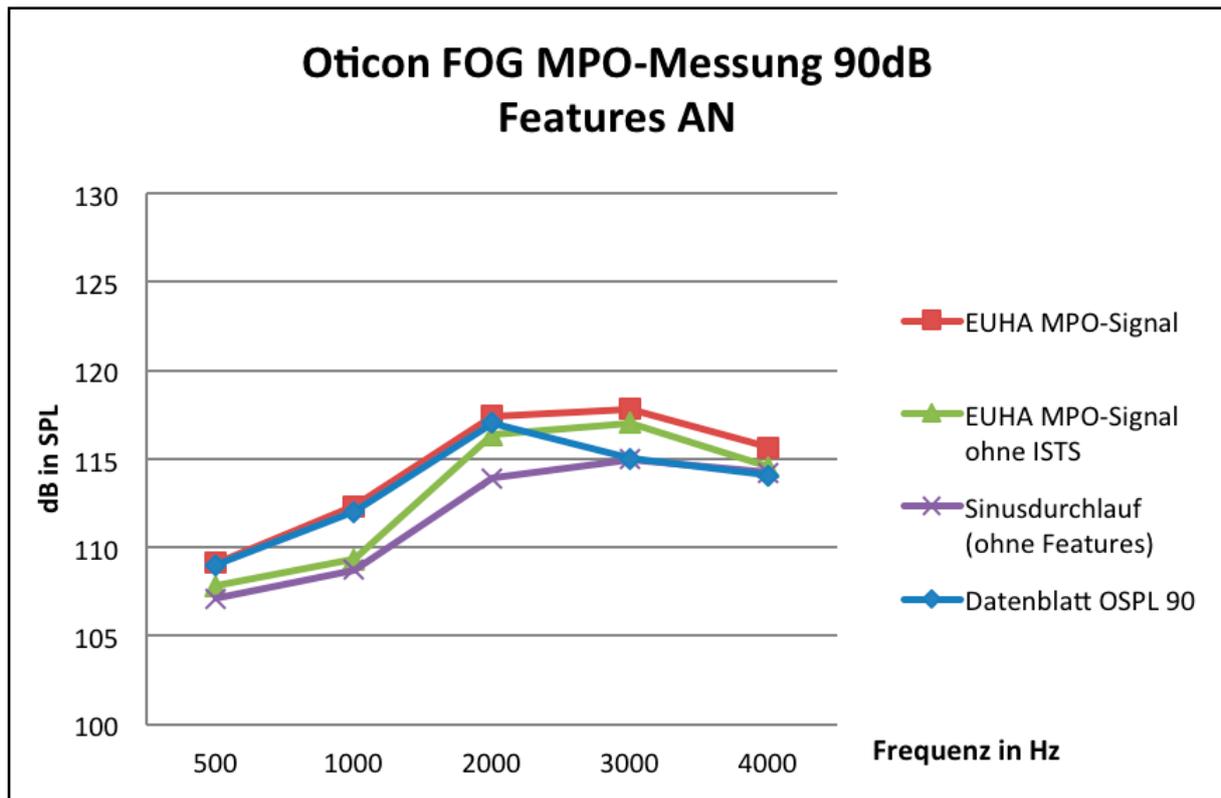


Abbildung 55: Scheitelwertauswertung Oticon in FOG mit Features, LE = 90 dB

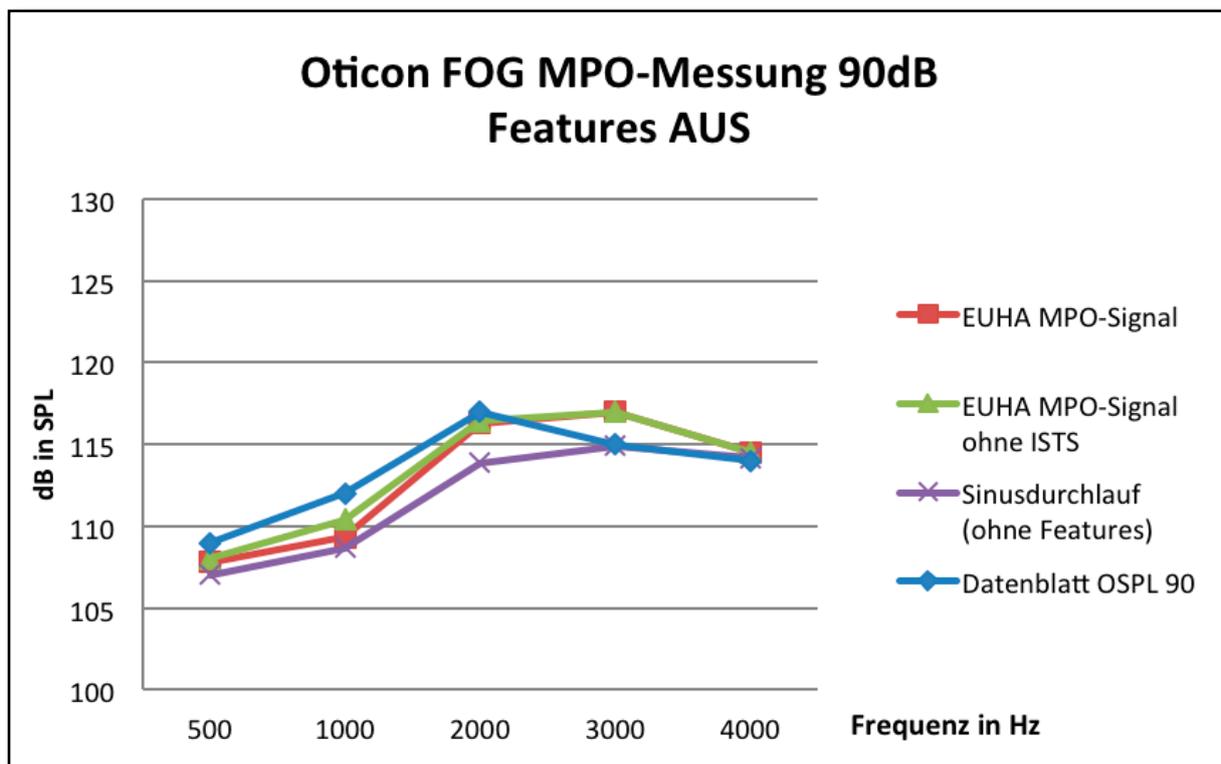


Abbildung 56: Scheitelwertauswertung Oticon in FOG ohne Features, LE = 90 dB

3.4.5 ReSound Verso 7

Im LE/LA-Diagramm in Abbildung 57 ist zu erkennen, dass bei allen Frequenzen die Sättigung bei LE = 90 dB erreicht wird. Bei ausgeschalteten Features (Abbildung 59) ist das EUHA-MPO-Signal nahezu deckungsgleich mit dem EUHA-MPO-Signal ohne ISTS. Beim Vergleich der OSPL90-Kurve aus dem Datenblatt mit den beiden MPO-Signalen und dem Sinussweep fällt eine gute Übereinstimmung auf. Der Sinussweep liegt bei 2000 Hz ca. 4 dB niedriger und ist auch leiser als die neuen MPO-Signale. Dies liegt jedoch im zulässigen Toleranzbereich von ± 4 dB aus der Norm DIN EN 60118-7. Insgesamt ist zu erkennen, dass der Sättigungsschalldruckpegel des Hörgerätes von den neuen MPO-Signalen erreicht wird. Im Vergleich der Messergebnisse mit und ohne Features (Abbildungen 58 und 59) zeigt sich, dass die Features hier einen Einfluss auf das EUHA-MPO-Signal mit ISTS haben und den Burst bei 500 Hz um ca. 4 dB absenken. Das MPO-Signal ohne ISTS bleibt stabil. Da die Abweichung nur bei einer Frequenz auftritt und noch bei 4 dB liegt, bedeutet dies, dass die neuen MPO-Signale die Sättigung trotz aktivierter Features erreichen.

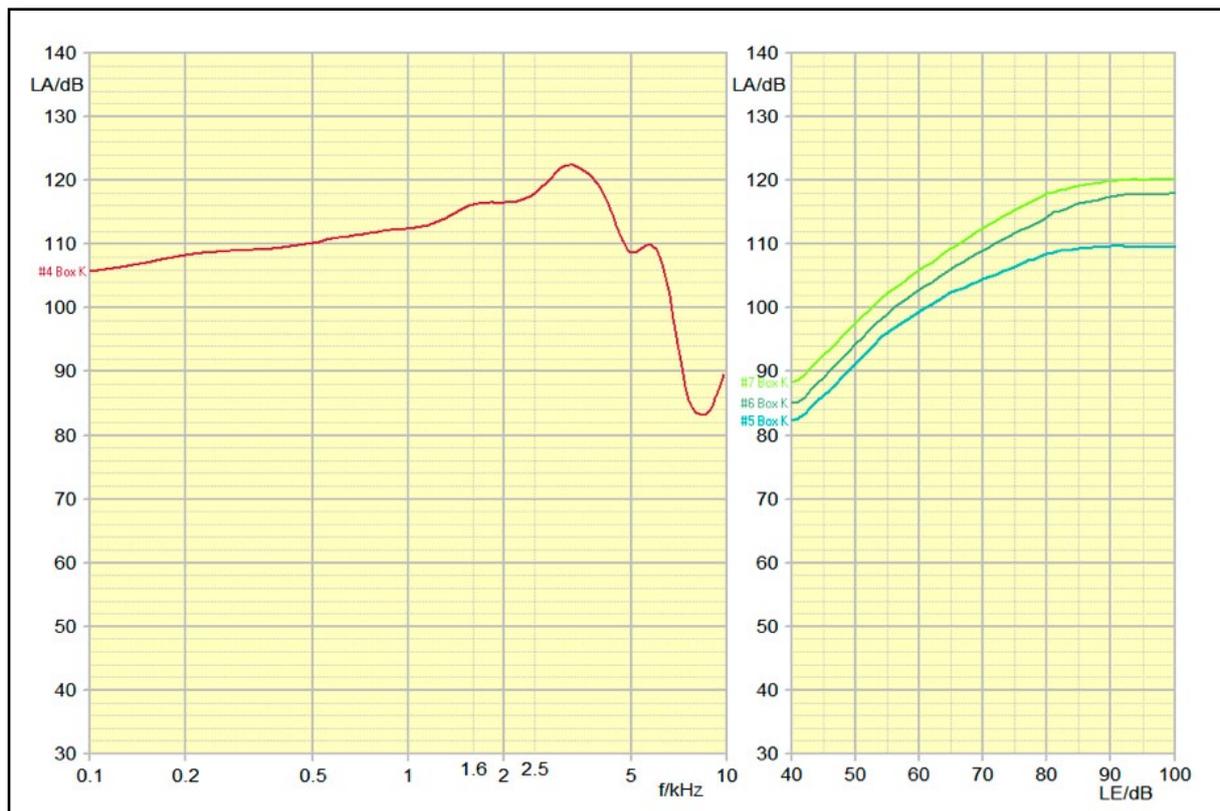


Abbildung 57: ReSound FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grau), 4000 Hz (grün)

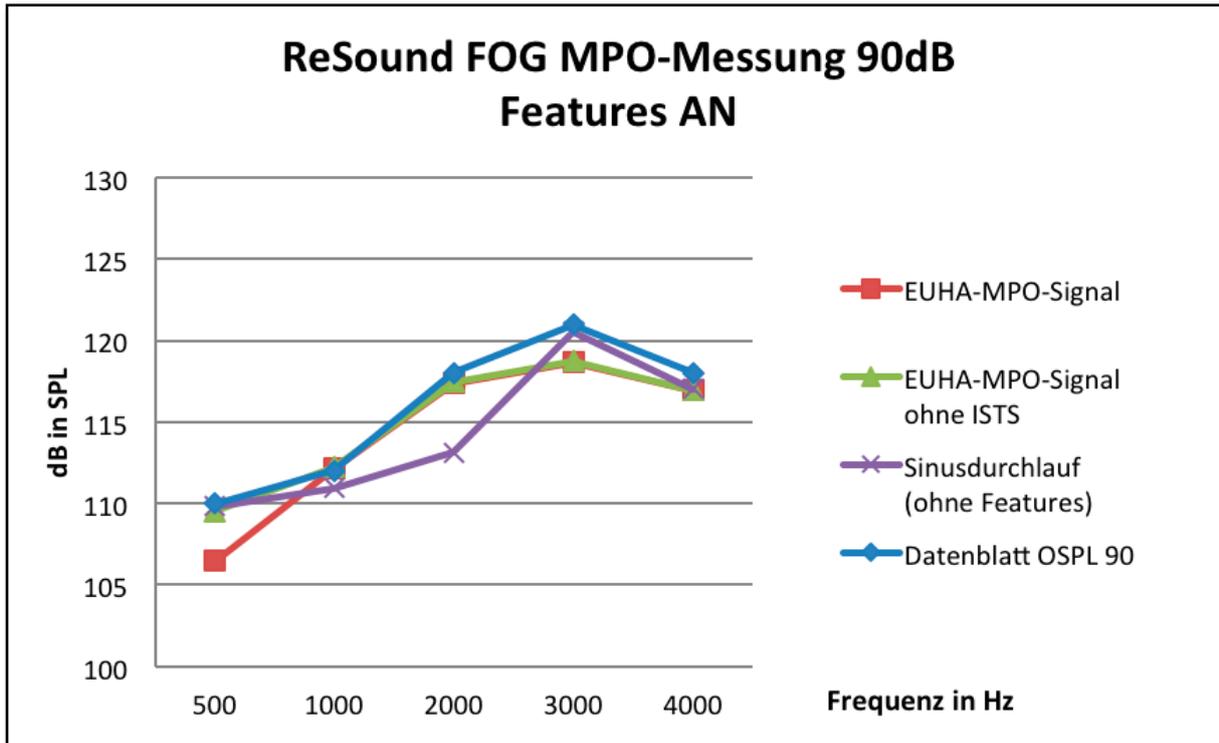


Abbildung 58: Scheitelwertauswertung ReSound in FOG mit Features, LE = 90 dB

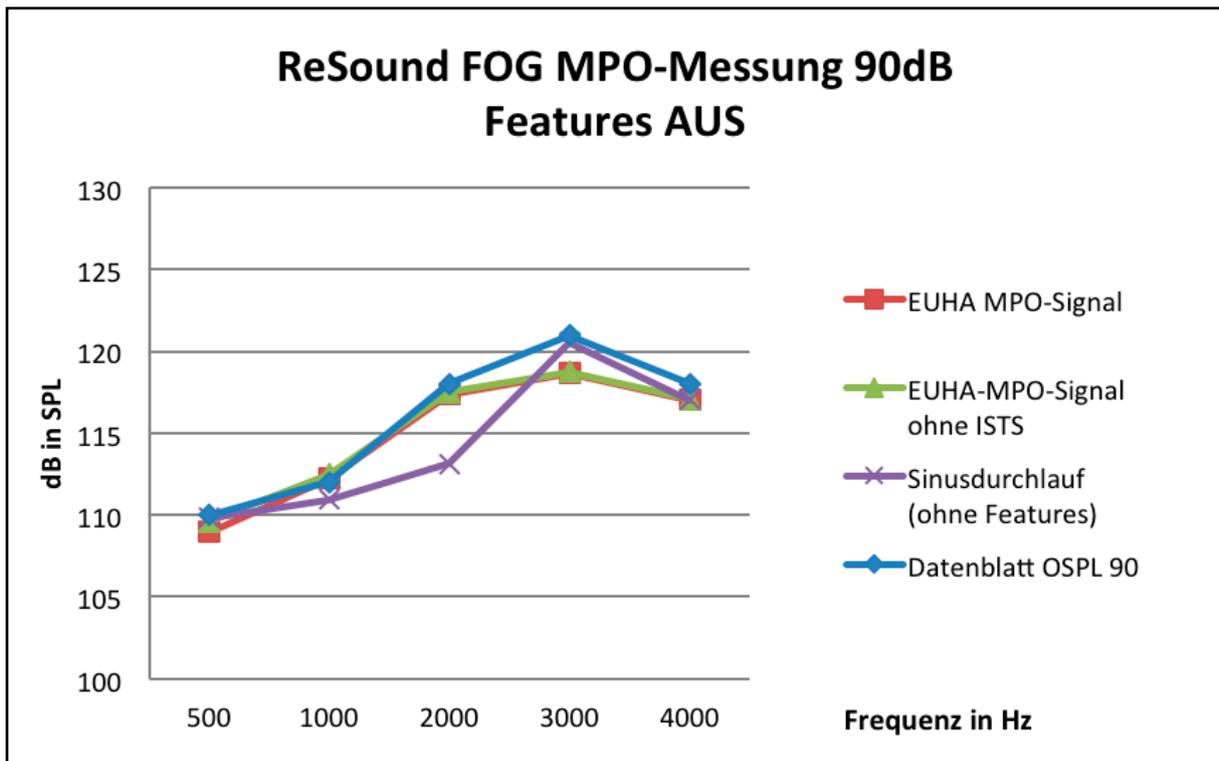


Abbildung 59: Scheitelwertauswertung ReSound in FOG ohne Features, LE = 90 dB

4. Versuchsdesign In-situ-Messungen

4.1 Planung der Probandenstudie

Ein weiterer Hauptbestandteil der Arbeit war die Durchführung einer Studie mit Probanden. Nachdem der theoretische Teil abgeschlossen war und die neuen Signale mit fünf verschiedenen Hörgeräteherstellern ausführlich in der Messbox untersucht worden waren, ging es nun darum, eine Studie mit Probanden zu planen. Folgende Fragen mussten berücksichtigt werden:

1. Lassen sich die neuen MPO-Signale im Freifeld kalibrieren? (Kapitel 4.2)
2. Welche Fragen sind für die subjektive Bewertung im Fragebogen wichtig? (Kapitel 4.3)
3. Welche Hörverluste und Hörsysteme sind geeignet? (Kapitel 4.4)
4. Welche Messdauer soll gewählt werden? (Kapitel 4.5)
5. Wie wird das neue EUHA-MPO-Signal in den EUHA-Perzentilleitfaden integriert? (Kapitel 4.6)

4.2 Kalibrierung und Überprüfung der Messanordnung

Nur bei richtiger Kalibrierung des In-situ-Schlauchs sind die gewonnenen Messdaten aussagekräftig. Deshalb muss vor jedem Probandentest der In-situ-Schlauch gewechselt und neu kalibriert werden. Je nachdem, welche Schlauchlänge bei der ACAM gewählt wird, gestaltet sich die Kalibrierung unterschiedlich (s. u.). Aufgrund einer höheren Genauigkeit wurde für die Studie ein 80 mm In-situ-Schlauch gewählt. Die Kalibrierposition sollte dort sein, wo der Proband später sitzt, da der Messpegel bei einer späteren Messung nicht mehr korrigiert wird (Substitutionsverfahren). Dies wurde mit Hilfe eines Maßbands zwischen Stuhllehne und Lautsprecher festgelegt. Die Sonden und somit auch der Proband befanden sich immer in einem Meter Abstand zum Lautsprecher. Es wurde stets auf derselben Höhe von 1,1 m kalibriert, dies entspricht bei den meisten Probanden der ungefähren Höhe des Ohres. Damit nicht bei jeder Kalibrierung die Höhe neu gemessen werden musste, wurde die Position markiert.

Die Messungen wurden mit den binauralen Sonden AS 03 von Acousticon durchgeführt, die normalerweise über einen kurzen Winkelschlauch verfügen. Dies soll den Komfort und die Handhabung erleichtern. Da der Schwerpunkt allerdings auf einer möglichst hohen Genauigkeit lag, wurde auf die neuen Winkelschläuche verzichtet. Wichtig ist, dass die Kalibrierung für die Winkelschläuche nicht der hier beschriebenen Kalibrierung entspricht. Eine genaue Beschreibung zur Winkelschlauchkalibrierung findet sich in der Hilfe-Datei der ACAM 5.

Die 80 mm In-situ-Schläuche wurden mit Typenreiniger auf Höhe des Referenzmikrofons befestigt und dann so ausgerichtet, dass das Referenzmikrofon und die Schlauchöffnung direkt zum Lautsprecher zeigen (siehe Pfeile auf der Abbildung 60).

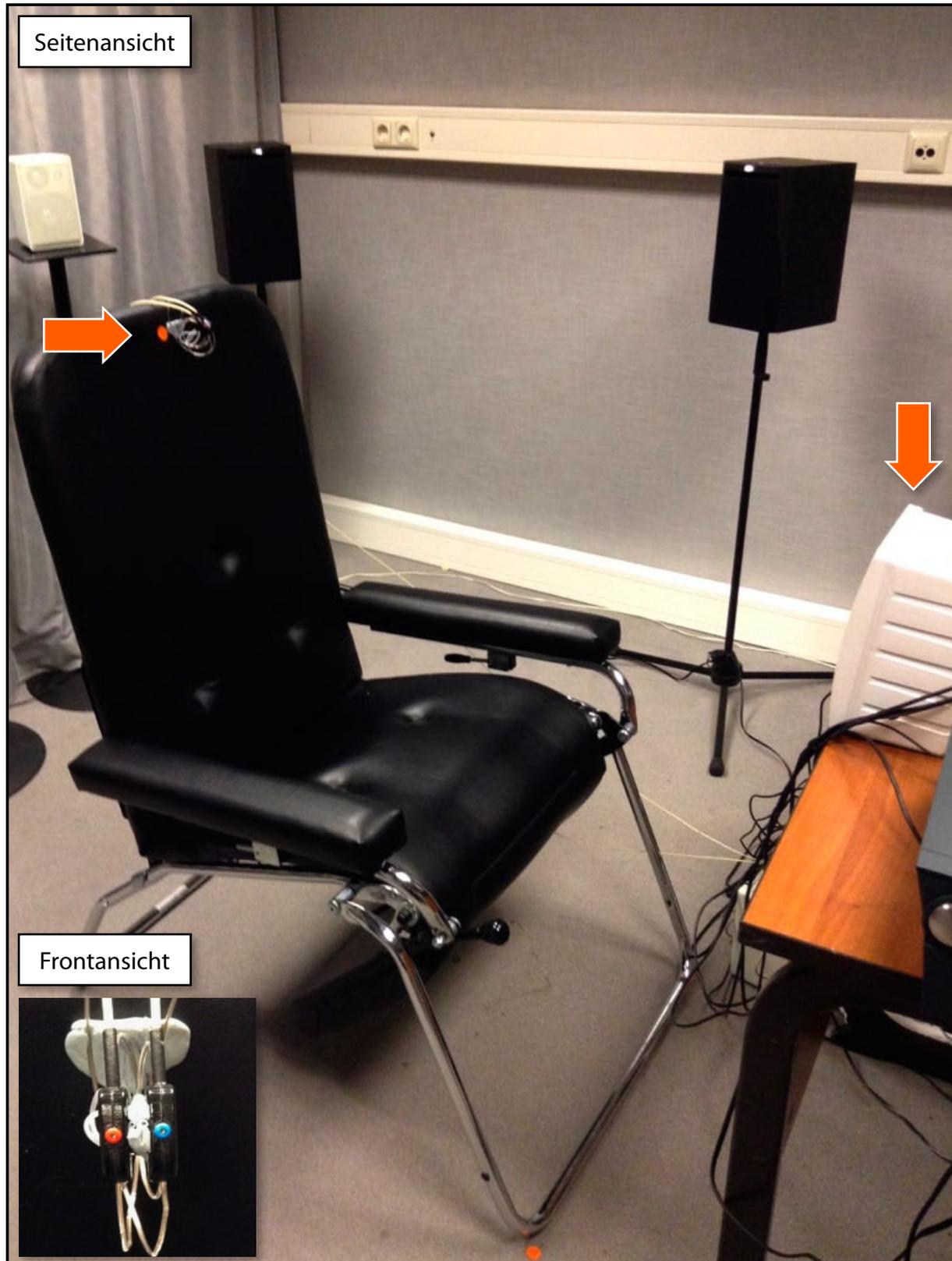


Abbildung 60: Messaufbau In-situ-Schlauchkalibrierung in der Forschungskabine

Die Kalibrierung muss aktuell immer erst unter F. (Frequenz) und für rechts und links einzeln durchgeführt werden. Anschließend erfolgt eine Überprüfung mit einem Sinus-sweep, der über alle Frequenzen den Messpegel ergeben muss. Erst dann dürfen in dem Messmodus Perz. (Perzentilanalyse) die anderen Signale kalibriert werden. Hierbei ist zu beachten, dass die neuen MPO-Signale nicht auf den Mittelwert, sondern auf den Scheitelwert kalibriert werden müssen. Bei dem internen ACAM-MPO-Signal ist diese Kalibrieremethode bereits voreingestellt, aber bei extern eingefügten Signalen, wie z. B. dem EUHA-MPO-Signal, muss darauf geachtet werden.

Es kann vorkommen, dass die Kalibrierung unter F. (Frequenz) abbricht. Dies passiert, wenn zu viele Störgeräusche vorhanden sind, aber auch, wenn das Referenzmikrofon vom Messmikrofon durch vorherige Fehlkalibrierungen zu stark abweicht. Dieses Problem lässt sich nur über eine Optimierung der Systemkalibrierung lösen. Es empfiehlt sich, einen Schallpegelmesser bei der Systemkalibrierung zur Hand zu haben, und diese nur mit Hilfe der Acousticon-Fernwartung durchzuführen.

4.3 Entwicklung des Fragebogens

Bei der Entwicklung des Fragebogens war es wichtig, ihn so übersichtlich und einfach wie möglich zu gestalten. Insgesamt wurden drei Signale für die Fragebogenbewertung herangezogen, das ISTS, das EUHA-MPO-Signal und das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS. Die Fragebögen waren anonym und begannen mit einer Erläuterung zu den Signalen und zur Art der Bewertung. Die Beurteilung erfolgte durch die Schulnoten eins bis sechs. Es mussten alle wichtigen Eigenschaften erfragt werden, die für eine subjektive Bewertung nötig sind. Es stellte sich heraus, dass besonders die Lautstärke und die Dauer des Signals halfen, eine Gesamtbewertung zu erteilen. Deshalb wurde jedes Signal mit drei Fragen versehen, jeweils zur Lautstärke, Dauer und zum Gesamteindruck. Die Bewertung erfolgte direkt nach der Präsentation des Signals. Der Befragte durfte in einem Kästchen ein Kreuz für die gewünschte Note machen. Zum Abschluss, nachdem der Proband alle Signale gehört hatte, durfte er die Signale noch wie bei einer Siegerehrung in einer Rangliste bewerten, von Platz eins (der Sieger) bis Platz drei (das Schlusslicht). Diese Rangliste soll zeigen, ob die Siegerehrung mit der Note für den Gesamteindruck übereinstimmt. Der verwendete Fragebogen ist in der folgenden Abbildung 61 abgebildet.

Fragebogen zur Messung des maximalen Ausgangsschalldruckpegels mit neuen Messsignalen in der Perzentilanalyse

Die nachfolgenden Fragen betreffen die soeben abgespielten Messsignale.
 Die neuen Signale dienen dazu, einen maximalen Ausgangspegel einzustellen, um das Hörgerät präzise zu begrenzen und das Gehör zu schützen. Bitte bewerten Sie die Signale nach Ihrem subjektiven Eindruck.
Die Bewertung entspricht Schulnoten. Für jede Frage kreuzen Sie bitte eine Antwortmöglichkeit (Kästchen) an.
 Vielen Dank!

| Beurteilung | sehr gut | gut | akzeptabel | noch akzeptabel | schlecht | sehr schlecht |
|--|----------|--------|------------|-----------------|----------|---------------|
| | Note 1 | Note 2 | Note 3 | Note 4 | Note 5 | Note 6 |
| Erstes 1. Signal | | | | | | |
| 1.1 Wie empfinden Sie die Lautstärke des 1. Signals? | | | | | | |
| 1.2 Wie beurteilen Sie die Dauer des 1. Signals? | | | | | | |
| 1.3 Welche Gesamtnote würden Sie dem 1. Signal geben? | | | | | | |
| Zweites 2. Signal | | | | | | |
| 2.1 Wie empfinden Sie die Lautstärke des 2. Signals? | | | | | | |
| 2.2 Wie beurteilen Sie die Dauer des 2. Signals? | | | | | | |
| 2.3 Welche Gesamtnote würden Sie dem 2. Signal geben? | | | | | | |
| Drittes 3. Signal | | | | | | |
| 3.1 Wie empfinden Sie die Lautstärke des 3. Signals? | | | | | | |
| 3.2 Wie beurteilen Sie die Dauer des 3. Signals? | | | | | | |
| 3.3 Welche Gesamtnote würden Sie dem 3. Signal geben? | | | | | | |
| Bitte geben Sie insgesamt eine Abschlussbewertung | | | | | | |
| Bewerten Sie die drei Signale, indem sie nach Vorgabe von gut bis schlecht bewerten. Am besten ist Signal ... Als ebenfalls gut empfand ich Signal ... Das Schlusslicht ist Signal ... | | | | | | |

Abbildung 61: Fragebogen für die subjektive Bewertung der neuen MPO-Signale

4.4 Das Anforderungsprofil an Hörsystem und Proband

Als Hörsystem kam das Phonak Bolero Q70-M13 zum Einsatz. Es zeigte in den Messboxmessungen in der First Fit-Einstellung mit eingeschalteten Features eine gute Übereinstimmung mit dem Sinussweep. Bei der Auswahl der Probanden war es wichtig, dass der Hörverlust ungefähr dem N3-Hörverlust aus der Norm DIN EN 60118-15 entspricht. Außerdem sollte der Hörverlust binaural sein, damit auf beiden Seiten ein Hörgerät angepasst werden konnte. Ein weiteres Kriterium war, dass die Probanden keine zu niedrige Unbehaglichkeitsgrenze besitzen, da alle Pegel für den Fragebogen 80 oder 90 dB laut waren. Zusätzlich war es wichtig, dass der Hörgeräteträger an das Tragen von Hörsystemen gewöhnt war. Aufgrund dieser eingrenzenden Kriterien wurde die Studie mit Hilfe von zehn Probanden der Akademie für Hörgeräte-Akustik durchgeführt. In den Abbildungen 63 und 64 sind die gemittelten Hörschwellen und U-Grenzen mit Standardabweichung dargestellt. Hier zeigten sich eine gute Übereinstimmung mit dem N3-Hörverlust sowie eine Ähnlichkeit mit den empirisch ermittelten Unbehaglichkeitswerten von Pascoe und Stange. Aufgrund der ähnlichen Hörverluste blieb die Standardabweichung gering. Das ermittelte Durchschnittsalter der zehn Probanden lag bei 66 Jahren, die genaue Altersverteilung zeigt die Abbildung 62. Für die Geschlechterverteilung ergab sich ein Ungleichgewicht von sieben Männern zu drei Frauen, was allerdings für diese Untersuchung unerheblich war.

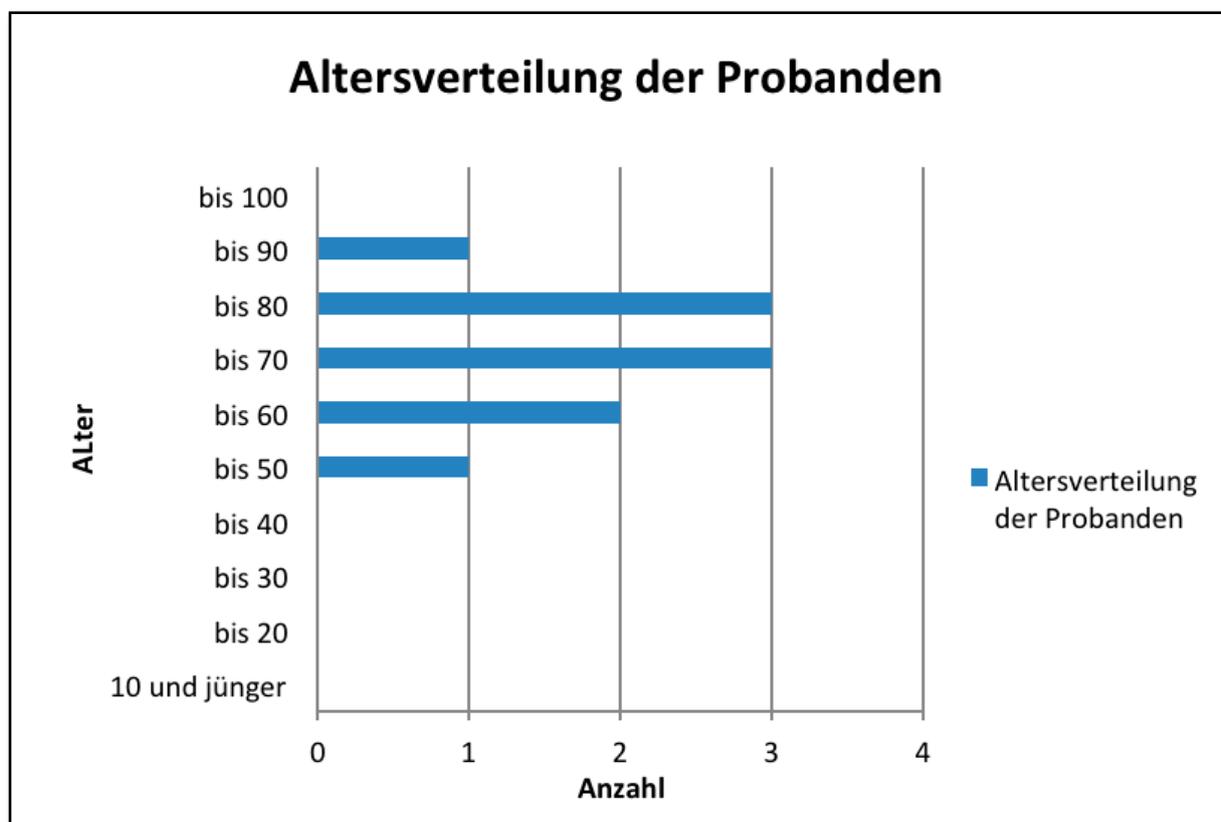


Abbildung 62: Altersverteilung der zehn Probanden

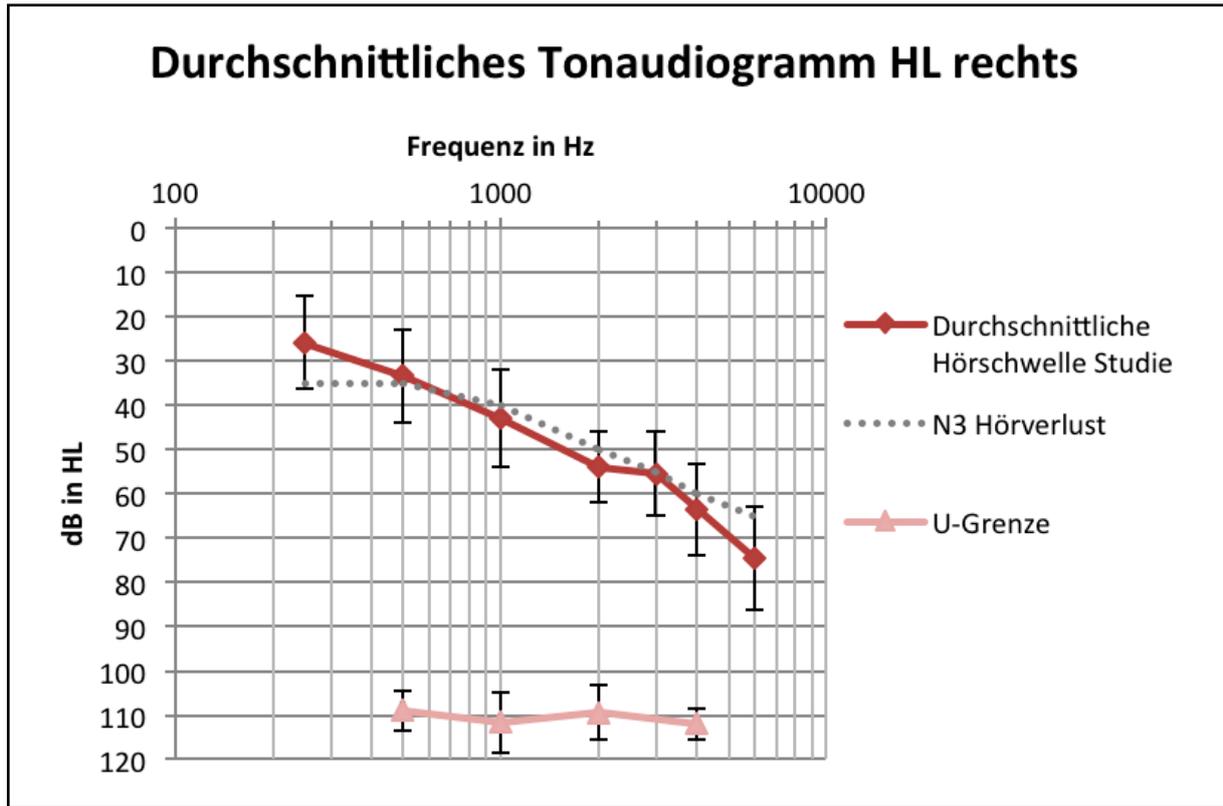


Abbildung 63: Durchschnittliche Hörschwelle und U-Grenze mit Standardabweichung rechts

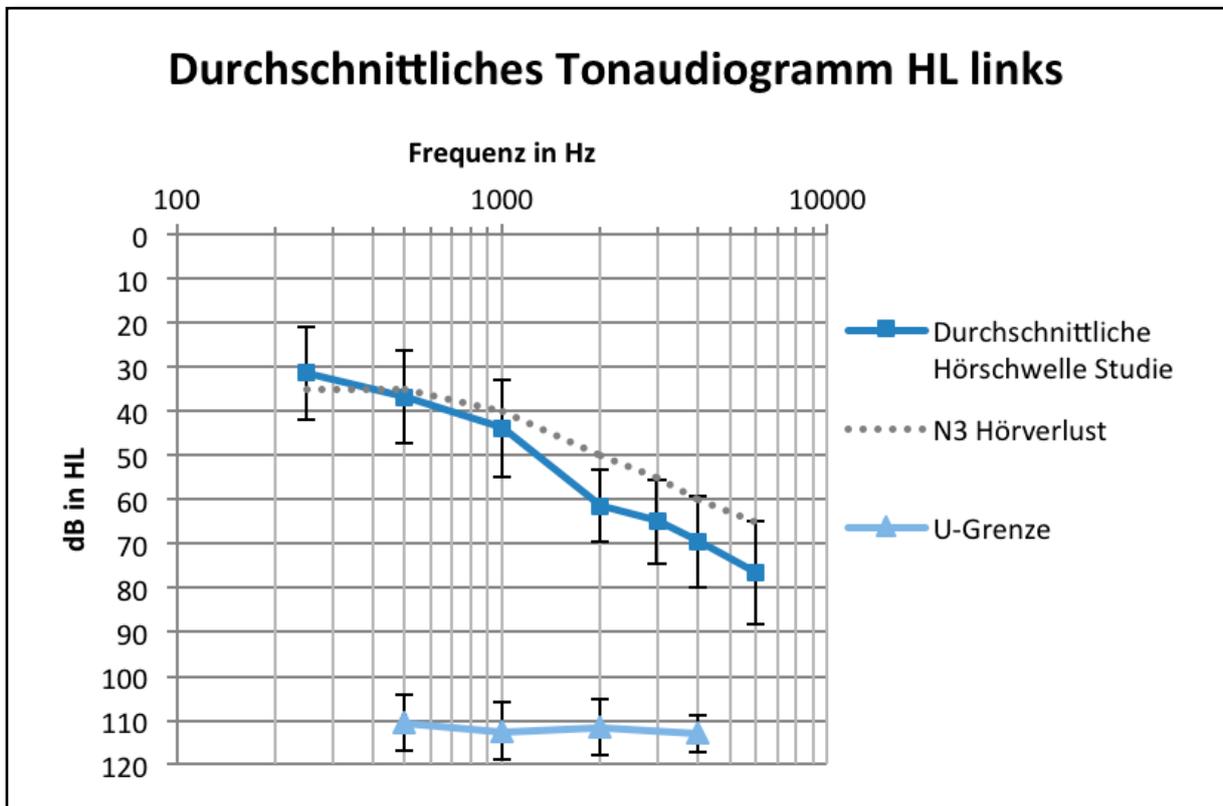


Abbildung 64: Durchschnittliche Hörschwelle und U-Grenze mit Standardabweichung links

4.5 Durchführung der Messung

Zu Beginn wurde jeder Proband eingewiesen, welche Messungen gemacht werden und dass anschließend eine Bewertung mit Hilfe eines Fragebogens stattfindet. Vor jedem Messablauf wurde der Proband otoskopiert, um zu prüfen, ob eine In-situ-Messung möglich war. Obwohl audiologische Messdaten vorlagen, sind die Hörschwelle und die Unbehaglichkeitsgrenze neu gemessen worden. Anschließend wurden die In-situ-Schläuche gesetzt und die Verstärkung des offenen Ohres (REUG) aufgenommen. Die Hörgeräte wurden durch Schaumstoffstöpsel ohne Zusatzbohrung an die Ohren angekoppelt. Zusätzlich wurden die Schaumstoffstöpsel mit Abformmasse fixiert. Das Hörgerät wurde mit einem First Fit für erfahrene Anwender mit der Formel NAL-NL2 voreingestellt. Wenn das Hörgerät zu leise oder zu laut war, bestand die Möglichkeit, es auf 90 % oder 110 % Gesamtverstärkung zu stellen. Nur zwei der Probanden äußerten den Wunsch, das Hörgerät lauter zu stellen. Diese waren dann mit der 110 % Einstellung zufrieden. Der Wunsch nach einer leiseren Einstellung wurde nicht geäußert. Um die Messung möglichst vergleichbar zu machen, wurden keine weiteren Parameter verändert, und das Gerät blieb in der Trageeinstellung mit angeschalteten Features. Nachdem die Einstellung im Hörsystem abgespeichert worden war, wurden zur Kontrolle In-situ-Messungen aufgenommen. Das Hörsystem wurde mit 50 dB und 65 dB ISTS beschallt. Wenn keine Fehler oder Messauffälligkeiten auftraten, erfolgte die genaue Einweisung in den Fragebogen. Das erste Messsignal war das ISTS mit einer Dauer von 15 Sekunden und einem Pegel von 80 dB, das zweite war das EUHA-MPO-Signal mit einer Dauer von 8 Sekunden, aber mit einem Pegel von 90 dB, und das dritte war das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS. Dieses Signal hatte den gleichen Pegel, allerdings wurde es wegen seiner geringen Dauer von 2,75 Sekunden nur mit einer angepassten kurzen Messzeit von drei Sekunden präsentiert. Die Messung erfolgte im Messmodus „Einmalige Messung“.

4.6 Der EUHA-Perzentilleitfaden und die Integration des neuen MPO-Signals

Der EUHA-Perzentilleitfaden ist ein Dokument, welches dazu dient, die Anwendung der Perzentilanalyse in der Praxis so einfach und effizient wie möglich zu gestalten. Der Leitfaden erläutert den Ablauf und die Zusammenhänge der Messungen und eine dazugehörige Begriffserklärung. In der aktuellen Version 2.0 wurde auch das neue EUHA-MPO-Signal in den Leitfaden integriert. Im EUHA-Perzentilleitfaden werden vier Messungen in folgender Reihenfolge vorgeschlagen:

1. EUHA-MPO-Signal 90 dB
2. ISTS mit 65 dB
3. ISTS mit 80 dB
4. ISTS mit 50 dB

Auch andere Reihenfolgen sind je nach Herstellermodul möglich.

Aktuelle Information und der vollständige Leitfaden ist unter der Internetadresse www.euha.org herunterladbar.

4.7 In-situ-Kontrollmessungen nach dem EUHA-Perzentilleitfaden inklusive der neuen MPO-Signale

Im Folgenden werden die In-situ-Messergebnisse anhand eines positiven und eines negativen Beispiels veranschaulicht. Die unten gezeigten Messungen entsprechen dem Vorschlag des EUHA-Perzentilleitfadens. Es musste jedoch aufgrund der Fragebogenauswertung eine andere Reihenfolge gewählt werden. Zusätzlich wurde wegen des Fragebogens nach der Präsentation des EUHA-MPO-Signals noch das kurze EUHA-MPO-Signal ohne ISTS dargeboten. Die modifizierte Reihenfolge war 50 dB, 65 dB, 80 dB ISTS und dann nacheinander erst das EUHA-MPO-Signal mit 90 dB und anschließend das Signal ohne ISTS mit 90 dB. Die Auswirkung der zusätzlichen Messung auf die Gesamtdauer war aufgrund ihrer Kürze von drei Sekunden sehr gering. Es erfolgte keine Zielkurvenanpassung. Dieser Ablauf diente nur dazu, den First Fit zu überprüfen und bei Problemen, wie z. B. dem Überschreiten der individuellen U-Grenze, den First Fit zu optimieren. Deshalb lag die Dauer vom Schlauchsetzen bis zum Abschluss der Messungen trotz des zweiten MPO-Signals oft unter 15 Minuten. Abbildung 65 zeigt mit dem dicken schwarzen Balken, dass der Median bei 14 Minuten lag. Da die Verifizierung je nach Proband unterschiedlich viel Zeit in Anspruch nahm und auch kleine Ausreißer dabei waren, wurde die zeitliche Verteilung als Boxplot dargestellt. Die kürzeste Anpassung lag bei 10 Minuten und die längste bei 21 Minuten. Dies wird durch die Whiskers dargestellt.

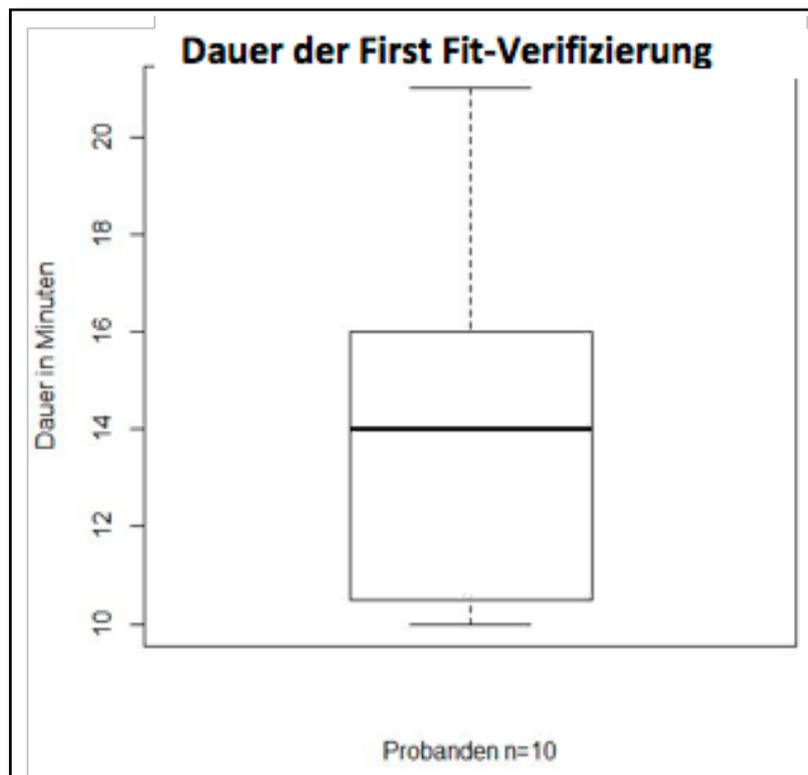


Abbildung 65: Boxplot, Dauer der In-situ-Verifizierung des First Fit nach dem EUHA-Perzentilleitfaden

4.7.1 Beispiel für ein gutes Ergebnis

In der folgenden Abbildung 66 ist ein Beispiel für ein gutes Ergebnis einer First Fit-Einstellung nach NAL-NL 2 zu sehen. Der erste kritische Blick sollte immer auf dem Eingangssignal liegen, um auszuschließen, dass das Signal falsch kalibriert wurde oder die Sitzposition des Probanden von der Kalibrierposition abwich. Abweichungen von 2 bis 3 dB vom Sollwert sind bei Freifeldmessungen nicht zu vermeiden. Es ist zu erkennen, dass alle EUHA-MPO-Signale mit ihrem Scheitelwert den Pegel von 90 dB erreichen und somit bestätigen, dass der Lautsprecher (Tannoy) ein ausreichend gutes Übertragungsverhalten besitzt. Aufgrund von Reflexionen kann es trotz korrekter Kalibrierung zu kleinen Pegelschwankungen kommen, wie hier bei dem Scheitelwert für 2 kHz zu sehen ist. Auch das ISTS mit einem Pegel von 80 dB sollte geprüft werden. Die Überprüfung funktioniert am besten, wenn die ISTS-Werte für 80 dB eingeblendet werden, da das Signal aufgrund seiner Dynamik sonst optisch schwer auf seinen Pegel überprüfbar ist. In Abbildung 66 sind die Scheitelwerte des ISTS mit 80 dB (grün), des EUHA-MPO-Signals (rot) und des EUHA-MPO-Signals ohne ISTS (blau) dargestellt. Zusätzlich werden die „Diagrammzielwerte“ (rote Kurven) dargestellt. Beim Eingangssignal zeigt die rote Kurvenschar das Hörfeld eines Normalhörenden. Auf der rechten Seite, beim Ausgangssignal, sind diese Werte für den eingegebenen Hörverlust umgerechnet worden. Die untere Kurve stellt die Hörschwelle dar, die mittlere die MCL, die obere die Unbehaglichkeitsgrenze. Bei diesem grundsätzlich guten Beispiel einer First Fit-Einstellung fällt auf, dass die vorhandene Dynamik des Restgehörs besser genutzt werden kann. Hier sind die MPO oder auch eine Kombination aus MPO und Kompression zu stark eingestellt. Die Scheitelwerte sollten in der Nähe des Diagrammzielwerts für die Unbehaglichkeitsgrenze liegen.

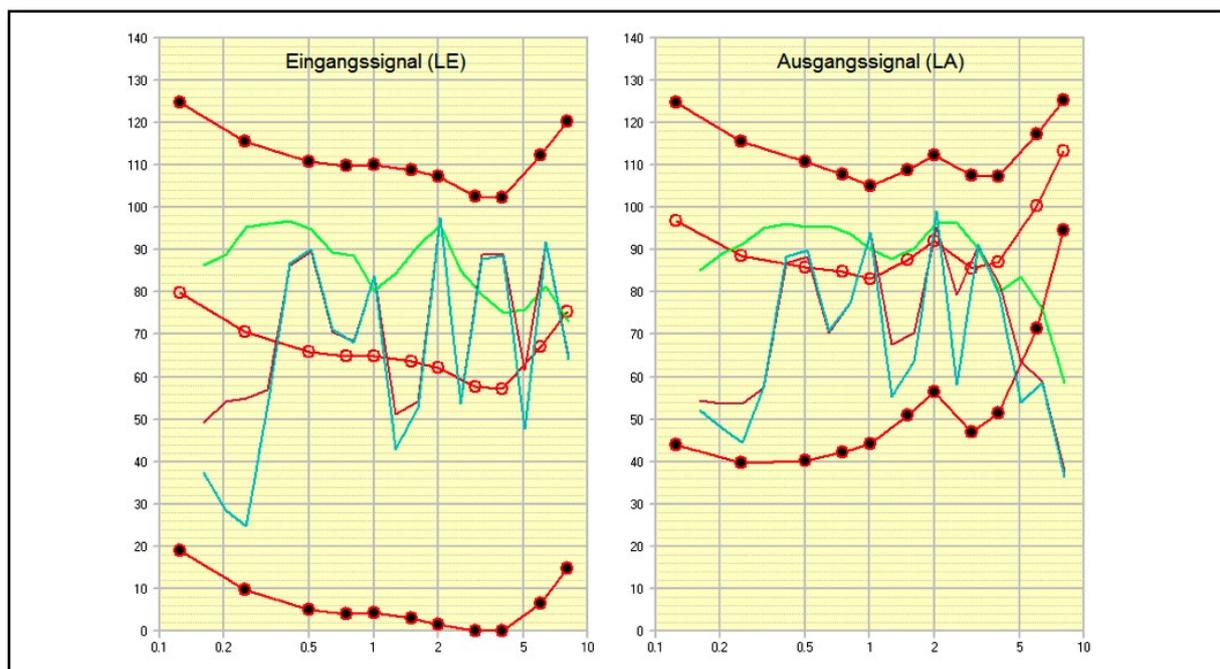


Abbildung 66: Beispiel einer korrekten In-situ-Messung mit den neuen MPO-Signalen, LE = 90 dB und dem ISTS LE = 80 dB

4.7.2 Beispiel für ein fehlerbehaftetes Ergebnis

In der folgenden Abbildung 67 sind gleich zwei Fehler auffällig. Zum einen sind beide EUHA-MPO-Signale bei 4 kHz im Eingang zu laut und bei anderen Frequenzen wie 1 kHz deutlich zu leise. Diese starken Abweichungen deuten auf eine Fehlkalibrierung hin. Wenn der Scheitelwert nur gering abweicht, und das möglichst auch nur bei wenigen Frequenzen, könnte es sich um Reflexionen handeln. Die Pegelschwankungen des ISTS sind ebenfalls nicht optimal und können durch eine erneute Kalibrierung verbessert werden. Bei zu großen Abweichungen zwischen Referenz und Messmikrofon kann es dazu führen, dass trotz mehrfacher Kalibrierung keine Besserung eintritt.

In diesem Fall muss die Systemkalibrierung mit Hilfe einer Fernwartung überprüft werden. Weiterhin fällt auf, dass die MPO-Signale im Hochtonbereich beim Ausgangssignal den Wert der in SPL umgerechneten Unbehaglichkeitsgrenze überschreiten. Bei einem solchen Ergebnis muss die Ausgangsbegrenzung der Hörsystemeinstellung durch die MPO-Steller stärker begrenzt werden.

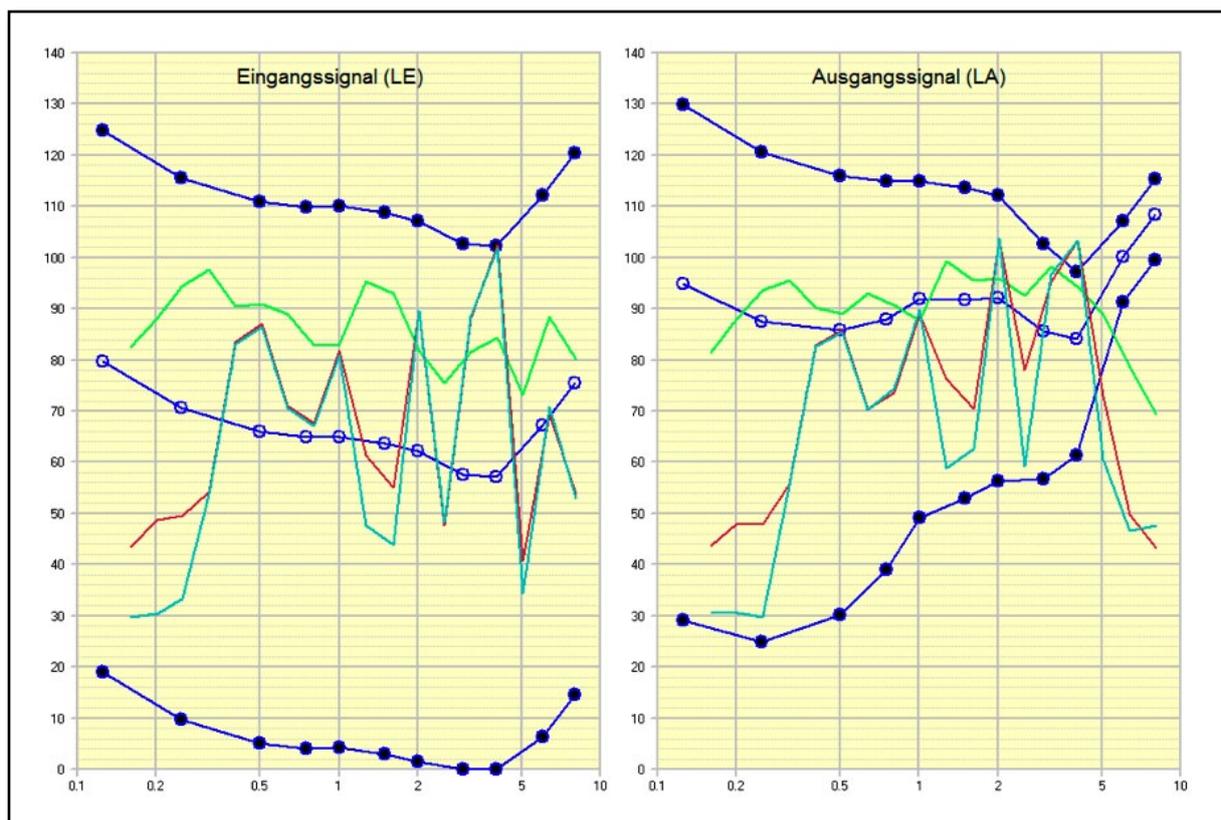


Abbildung 67: Beispiel einer fehlerbehafteten In-situ-Messung mit den neuen MPO-Signalen LE= 90 dB und dem ISTS LE= 80 dB

4.8 Auswertung der subjektiven Bewertung durch den Fragebogen

In Abbildung 68 ist die Notenverteilung aller Signale dargestellt. Die Verteilung der Noten erfolgte ohne große Ausreißer und ähnelt einer Normalverteilung mit der häufigsten Note 3. Die Auswertung der Durchschnittsnoten erfolgte über die Bildung des Mittelwertes. Die Note 6 wurde nicht vergeben.

Bei der Fragebogenauswertung wurden Noten für die Dauer, die Lautstärke und für den subjektiven Gesamteindruck (Gesamtnote) vergeben. In Abbildung 69 ist die Auswertung des Fragebogens mit den durchschnittlichen Schulnoten für alle drei Signale zu sehen. Auf den ersten Blick fällt auf, dass das ISTS mit der Note 3 und schlechter in allen Punkten weniger gut als die neuen MPO-Signale abschnitt und dies trotz des 10 dB leiseren Pegels von $LE = 80$ dB. Die Frage, ob das ISTS noch lauter sein dürfte, verneinten alle Probanden. Beim Vergleich der Dauer von den MPO-Signalen fällt auf, dass das EUHA-MPO-Signal trotz seiner längeren Dauer (8 s) gegenüber dem MPO-Signal ohne ISTS (3 s) nicht viel schlechter abschnitt. Bei der Dauer gewinnt das kurze EUHA-MPO-Signal ohne ISTS knapp mit der Note 2,4 vor dem EUHA-MPO-Signal mit der Note 2,5. Die kurze Dauer des EUHA-MPO-Signals wirkte sich auch positiv auf die Lautstärkebewertung aus. Hier schnitt das kurze Signal mit der Note 2,2 ab, obwohl es nicht leiser war. Trotz der etwas schlechteren Bewertung in Dauer und Lautstärke schnitt das EUHA-MPO-Signal bei der Bewertung des Gesamteindrucks mit der Note 2,4 am besten ab.

Bei der abschließenden Siegerehrung erhielt das EUHA-MPO-Signal die meisten Stimmen für den ersten Platz und bestätigt damit das Ergebnis des Gesamteindrucks. Den zweiten Platz belegt das EUHA-MPO-Signal ohne ISTS. Auf den dritten Platz wurde das ISTS gewählt. Zur genauen Übersicht befinden sich alle Abstimmungsergebnisse im Anhang 8.3.

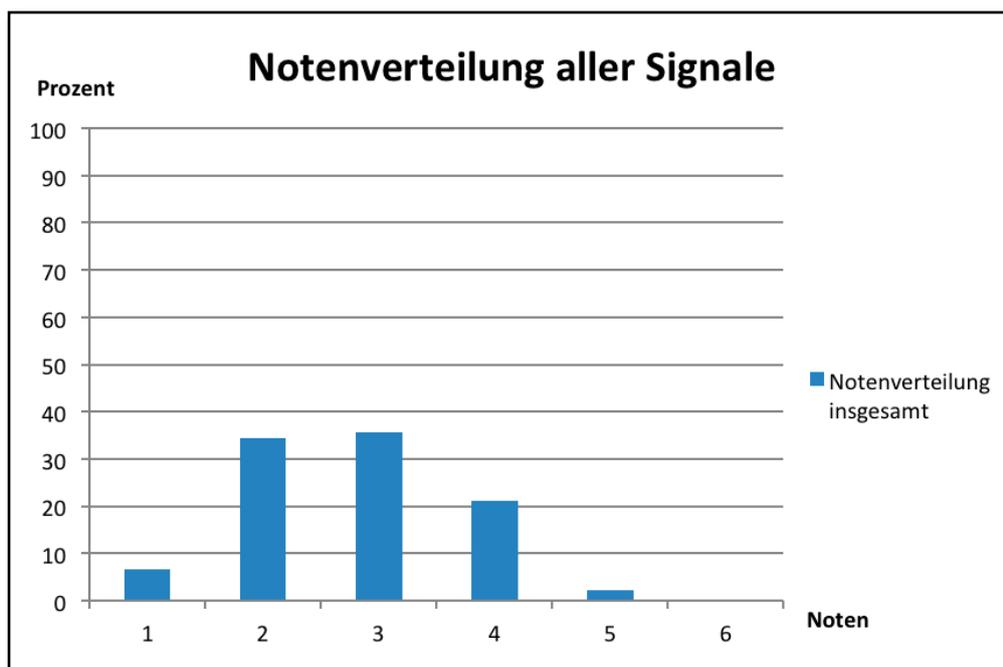


Abbildung 68:
Notenverteilung
der drei Signale

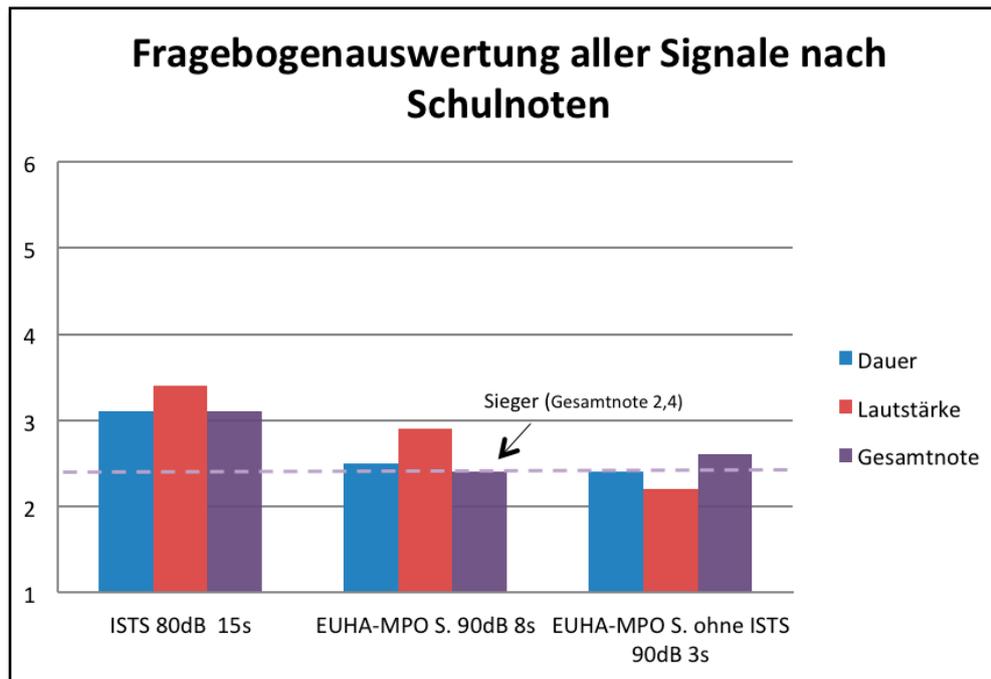


Abbildung 69:
Benotung der
einzelnen Signale

5. Diskussion

Die Untersuchung der neuen EUHA-MPO-Signale (Kapitel 3.3/3.4) zeigt, dass die Signale für die Messung des L_{Amax} in der Perzentilanalyse geeignet sind. Der entscheidende Unterschied im Vergleich zu einem Sinussweep ist, dass die neuen MPO-Signale auch bei eingeschalteten Features verwertbare Messergebnisse liefern. Die Abweichungen durch die Features sind sehr gering und betragen zwischen 2 bis maximal 4 dB. Sie liegen jedoch im zulässigen Toleranzbereich von ± 4 dB aus der Norm DIN EN 60118-7. Diese leichten Schwankungen traten vorwiegend im Tieftonbereich auf. Dies lässt auf einen minimalen Einfluss der Störgeräuschunterdrückung schließen.

In einer Vorabbetrachtung (Kapitel 3.2) wurde auf die Auswirkung des heutzutage üblichen kombinierten Einsatzes von AGCi und AGCo eingegangen. Dabei konnte festgestellt werden, dass eine Beeinflussung des L_{Amax} im First Fit durch die AGCi auftrat. Selbst bei einem langsameren Regelalgorithmus, wie der dualen Kompression, wird die Begrenzung durch die MPO (AGCo) nicht vollständig erreicht. Jedoch liegt der Ausgangsschalldruckpegel dichter an der Regelschwelle der AGCo als bei Verwendung einer Silbenkompression. Bei automatischen Hörgeräten ist eine Ausgangsbegrenzung durch eine AGCi-Regelung grundsätzlich auch gegeben, aber jeder Hörgeräteakustiker muss sich bewusst sein, dass der L_{Amax} bei einer Verstärkungserhöhung, sei es durch eine Feinanpassung, Fernbedienung oder ein Poti, um das gleiche Verhältnis mit erhöht wird. Somit besteht die Gefahr einer Überschreitung der individuellen Unbehaglichkeitsgrenze.

Dieser Umstand ist schon lange bekannt. Er führte auch bisher dazu, dass das Hörgerät bei der Einstellung des MPO-Stellers mit einem Sinussweep in der Messbox in einen linearen

Zustand gebracht und die Verstärkung so weit erhöht werden musste, dass mit einem $LE = 90$ dB die Begrenzung durch die MPO erreicht wurde. Ein Lösungsvorschlag für die Verwendung der neuen EUHA-MPO-Signale ist, diesen Weg ebenfalls anzuwenden. Die 25 ms Anstiegszeit der Sinus-Bursts, reicht bei den fünf untersuchten Hörgeräten nicht aus, um die Einschwingzeiten der AGCi zu unterschreiten und somit die Begrenzung durch die MPO (PC oder AGCo) in Trageeinstellung direkt messen zu können.

Der zweite Schwerpunkt dieser Arbeit (Kapitel 4) beschäftigt sich mit der Anwendung der neuen Signale unter In-situ-Bedingungen und der Akzeptanz der Signale durch die Probanden. Hierfür wurde ein Fragebogen entworfen, der die Dauer, die Lautstärke und den Gesamteindruck der einzelnen Signale erfragt. In diese Untersuchung floss auch das ISTS als Vergleichssignal ein, welches bisher für die Einstellung des maximalen Ausgangsschalldruckpegels in der Perzentilanalyse diente. Es wurde klar, dass das ISTS messtechnisch sowie auch subjektiv nicht optimal für MPO-Messung geeignet ist. Die beiden EUHA-MPO-Signale hingegen lieferten auch bei den In-situ-Messungen gute Ergebnisse und wurden von den Probanden insgesamt als positiv bewertet. Dabei schnitten beiden MPO-Signale in der Fragebogenauswertung sehr ähnlich ab.

Daher sind beide EUHA-MPO-Signale nutzbar. Ein Vorteil des EUHA-MPO-Signals ohne ISTS ist die kurze Messdauer, die im Minimum 3 Sekunden betragen muss. Das EUHA-MPO-Signal benötigt mindestens 8 Sekunden, allerdings wird während fünf Sekunden dieser Zeit das 55 dB leise ISTS dargeboten. Es wird grundsätzlich empfohlen, die Signale zweimal abzuspielen, es konnten jedoch in den In-situ-Untersuchungen mit der ACAM 5 für diese Bachelorarbeit keine Nachteile bei einmaliger Präsentation festgestellt werden. Da es aber viele verschiedene Messsysteme und Einstellmöglichkeiten gibt, sollte an der Empfehlung des Arbeitskreis Perzentile festgehalten werden.

6. Fazit

Mit den neuen EUHA-MPO-Signalen sind sehr geeignete Signale für die Perzentilanalyse entwickelt worden. Sie sind sowohl in der Messbox als auch bei In-situ-Messungen einsetzbar. Die Eigenschaften sind vergleichbar mit dem Sinussweep, jedoch mit dem großen Vorteil, dass der maximale Ausgangsschalldruckpegel im Hörgerät mit eingeschalteten Features während der Perzentilanpassung gemessen werden kann. Dadurch kann kontrolliert werden, ob der aktuelle L_{Amax} die in SPL umgerechnete Unbehaglichkeitsgrenze überschreitet. Ein kritischer Blick, ob der gemessene L_{Amax} in Trageeinstellung zu der MPO-Begrenzung in der Software passt, ist ratsam. Eine starke Dynamikkompression (AGCi) oder eine geringe Verstärkung bewirken einen niedrigeren L_{Amax} und können deshalb mit einer Begrenzung durch die MPO (AGCo) verwechselt werden.

7. Verzeichnisse

7.1 Abkürzungsverzeichnis

| | |
|-------------------|--|
| AGCi | Automatic Gain Control input |
| AGCo | Automatic Gain Control output |
| FFT | Fast Fourier Transformation |
| FOG | Full On Gain |
| ISTS | International Speech Test Signal |
| LA | Ausgangssignal |
| LAm _{ax} | maximaler Ausgangsschalldruckpegel im Hörgerät |
| LE | Eingangssignal |
| LTASS | Long Term Average Speech Spectrum |
| MPO | Maximum Power Output |
| NAL | National Acoustics Laboratories |
| PC | Peak Clipping |
| Poti | Potentiometer/Lautstärkeregler |
| REUG | Real Ear Unaided Gain |
| SPL | Sound Pressure Level |
| UG | Unbehaglichkeitsgrenze |

7.2 Abbildungsverzeichnis

| | |
|---|----|
| Abbildung 1: Ausgangsbegrenzung der MPO (AGCo) beim LE/LA-Diagramm | 2 |
| Abbildung 2: Verhalten einer Dynamikkompression (AGCi) im LE/LA-Diagramm | 2 |
| Abbildung 3: Exemplarische Erklärung der Perzentilanalyse mit einem dynamischen Messsignal | 4 |
| Abbildung 4: Norm-Messaufbau für Messboxmessungen | 5 |
| Abbildung 5: Setup Perzentilmessung in der Messbox der ACAM 5 | 6 |
| Abbildung 6: N3-Hörverlust nach Norm DIN EN 60118-15 für den First Fit | 8 |
| Abbildung 7: Exemplarischer First Fit unter Connexx 6 für das Motion 501 DM VC | 8 |
| Abbildung 8: Sinussweep LE= 90 dB mit Hörgerät in der ACAM 5 | 9 |
| Abbildung 9: ISTS-Messung, LE= 80 dB (Perzentile und LTASS) mit Hörgerät (orange) im Vergleich zu den ISTS-Werten (braun) | 11 |
| Abbildung 10: EUHA-MPO-Signal im Eingang mit 90 dB in der Perzentilanalyse als Scheitelwertdarstellung | 12 |
| Abbildung 11: Pegel/Zeitanalyse EUHA-MPO-Signal | 12 |
| Abbildung 12: Spektrogramm EUHA-MPO-Signal | 13 |
| Abbildung 13: Vergleich der Scheitelwerte des ISTS 80 dB (orange) mit dem EUHA-MPO-Signal 90 dB (braun) | 14 |
| Abbildung 14: EUHA-MPO-Signal ohne ISTS in der Perzentilanalyse als Scheitelwertdarstellung | 14 |
| Abbildung 15: Pegel/Zeitanalyse EUHA-MPO-Signal ohne ISTS | 15 |
| Abbildung 16: Spektrogramm EUHA-MPO-Signal ohne ISTS | 15 |
| Abbildung 17: ACAM-MPO-Signal in der Perzentilanalyse als Scheitelwertdarstellung | 16 |
| Abbildung 18: Vergleich EUHA-MPO-Signal (grün) mit dem neuen internen ACAM-MPO-Signal (rot) | 17 |
| Abbildung 19: Standardabweichung Referenzmikrofon Phonak Bolero Q70-M13 | 19 |
| Abbildung 20: Standardabweichung Referenzmikrofon Siemens Motion 501 DM VC | 19 |
| Abbildung 21: Standardabweichung im First Fit mit Features beim Phonak Bolero Q70-M13 | 20 |
| Abbildung 22: Standardabweichung im First Fit ohne Features beim Phonak Bolero Q70-M13 | 20 |
| Abbildung 23: Standardabweichung im First Fit mit Features beim Siemens Motion 501 DM VC | 21 |
| Abbildung 24: Standardabweichung im First Fit ohne Features beim Siemens Motion 501 DM VC | 21 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 25: EUHA-MPO-Signal Scheitelwertdarstellung des First Fit mit Dual- und Silbenkompression im Vergleich zur linearen Einstellung | 22 |
| Abbildung 26: Ein- und Ausschwingzeiten mit Dual- und Silbenkompression Siemens Motion 501 DM VC | 23 |
| Abbildung 27: EUHA-MPO-Signal, Scheitelwertdarstellung des First Fit mit MPO maximal wirksam (blau), MPO First Fit mittlere Wirkung (grün) und unwirksam (pink) beim Oticon Alta Pro | 24 |
| Abbildung 28: EUHA-MPO-Signal mit (blau) und ohne ISTS (rot) im First Fit exemplarisch in der ACAM | 25 |
| Abbildung 29: Siemens First Fit, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (braun), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (rot) | 26 |
| Abbildung 30: Scheitelwertauswertung Siemens im First Fit mit Features, LE = 90 dB | 27 |
| Abbildung 31: Scheitelwertauswertung Siemens im First Fit ohne Features, LE = 90 dB | 27 |
| Abbildung 32: Phonak First Fit, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grau), 4000 Hz (grün) | 28 |
| Abbildung 33: Scheitelwertauswertung Phonak im First Fit mit Features, LE = 90 dB | 29 |
| Abbildung 34: Scheitelwertauswertung Phonak im First Fit ohne Features, LE = 90 dB | 29 |
| Abbildung 35: Widex First Fit, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grau), 4000 Hz (grün) | 30 |
| Abbildung 36: Scheitelwertauswertung Widex im First Fit mit Features, LE = 90 dB | 31 |
| Abbildung 37: Scheitelwertauswertung Widex im First Fit ohne Features, LE = 90 dB | 31 |
| Abbildung 38: Oticon First Fit, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (braun), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (rot) | 32 |
| Abbildung 39: Scheitelwertauswertung Oticon im First Fit mit Features, LE = 90 dB | 33 |
| Abbildung 40: Scheitelwertauswertung Oticon im First Fit ohne Features, LE = 90 dB | 33 |
| Abbildung 41: Dynamikkennlinien First Fit, 400 Hz (blau), 1600 Hz (braun), 4 kHz (violett) und First Fit Programmierung | 34 |
| Abbildung 42: Scheitelwertauswertung ReSound im First Fit mit Features, LE = 90 dB | 35 |
| Abbildung 43: Scheitelwertauswertung ReSound im First Fit ohne Features, LE = 90 dB | 35 |
| Abbildung 44: EUHA-MPO-Signal mit ISTS (blau) und ohne ISTS (rot) FOG | 36 |
| Abbildung 45: Siemens FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (blau), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (braun) | 37 |
| Abbildung 46: Scheitelwertauswertung Siemens in FOG mit Features, LE = 90 dB | 38 |
| Abbildung 47: Scheitelwertauswertung Siemens in FOG ohne Features, LE = 90 dB | 38 |
| Abbildung 48: Phonak FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (grau) | 39 |

| | |
|--|----|
| Abbildung 49: Scheitelwertauswertung Phonak in FOG mit Features, LE = 90 dB | 40 |
| Abbildung 50: Scheitelwertauswertung Phonak in FOG ohne Features, LE = 90 dB | 40 |
| Abbildung 51: Phonak FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grün), 4000 Hz (grau) | 41 |
| Abbildung 52: Scheitelwertauswertung Widex in FOG mit Features, LE = 90 dB | 42 |
| Abbildung 53: Scheitelwertauswertung Widex in FOG ohne Features, LE = 90 dB | 42 |
| Abbildung 54: Oticon FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grau), 4000 Hz (grün) | 43 |
| Abbildung 55: Scheitelwertauswertung Oticon in FOG mit Features, LE = 90 dB | 44 |
| Abbildung 56: Scheitelwertauswertung Oticon in FOG ohne Features, LE = 90 dB | 44 |
| Abbildung 57: ReSound FOG, Sinussweep 90 dB und Dynamikkennlinien, 400 Hz (türkis), 1600 Hz (grau), 4000 Hz (grün) | 45 |
| Abbildung 58: Scheitelwertauswertung ReSound in FOG mit Features, LE = 90 dB | 46 |
| Abbildung 59: Scheitelwertauswertung ReSound in FOG ohne Features, LE = 90 dB | 46 |
| Abbildung 60: Messaufbau In-situ-Schlauchkalibrierung in der Forschungskabine | 48 |
| Abbildung 61: Fragbogen für die subjektive Bewertung der neuen MPO-Signale | 50 |
| Abbildung 62: Altersverteilung der zehn Probanden | 51 |
| Abbildung 63: Durchschnittliche Hörschwelle und U-Grenze mit Standardabweichung rechts | 52 |
| Abbildung 64: Durchschnittliche Hörschwelle und U-Grenze mit Standardabweichung links | 52 |
| Abbildung 65: Boxplot, Dauer der In-situ-Verifizierung des First Fit nach dem EUHA-Perzentilleitfaden | 54 |
| Abbildung 66: Beispiel einer korrekten In-situ-Messung mit den neuen MPO-Signalen, LE = 90 dB und dem ISTS LE = 80 dB | 55 |
| Abbildung 67: Beispiel einer fehlerbehafteten In-situ-Messung mit den neuen MPO-Signalen LE= 90 dB und dem ISTS LE= 80 dB | 56 |
| Abbildung 68: Notenverteilung der drei Signale | 57 |
| Abbildung 69: Benotung der einzelnen Signale | 58 |
| Abbildung 70: Siemens Connex 6.5.4.3452, First Fit Motion 501 DM VC (First Fit-MPO von max. auf -3 dB modifiziert) | 65 |
| Abbildung 71: Phonak Target 3.2.03035, First Fit Bolero Q70 M13 | 66 |
| Abbildung 72: Widex COMPASS 5.7.0 (5716), First Fit clear 220 c9 | 66 |
| Abbildung 73: Oticon Genie 2013.2, First Fit Alta Pro HdO (13) | 67 |
| Abbildung 74: ReSound Aventa 3.5.0.224, First Fit Verso 767 | 67 |

7.3 Literaturverzeichnis

Internet:

„Why my hearing aids are in the drawer?“ Sergei Kochkin

<http://www.clas.ufl.edu/users/mcolburn/Web-links/Nursing%20Lecture/ITD%20HA.PDF>

„Hörsystemanpassung mittels Perzentile 2.0“

<http://www.euha.org/assets/Uploads/Arbeitskreis-Perzentile/EUHA-AkP-Horsystemanpassung-mittels-Perzentilanalyse.pdf>

www.dhi-online.de (Diverse, siehe Fußnoten)

„NAL-NL2 Präsentation“ Dr. H. Dillon

http://www.nal.gov.au/nal-software_tab_nal-nl-2.shtml

„Perzentile in der Hörakustik“ S. Heidel

http://www.acousticon.eu/uploads/media/Acousticon_Fachinfo_Einfuehrung-Perzentile_2013_01.pdf

„Clinical-Measurements-Of-The-Auditory-Dynamic-Range“ D. Pascoe

<http://www.blog-audioprothesiste.fr/wp-content/uploads/2011/02/129-52-Pascoe-CLINICAL-MEASUREMENTS-OF-THE-AUDITORY-DYNAMIC-RANGE.pdf>

„How loud is too loud?“ G. Mueller

<http://www.audiologyonline.com/articles/loud-too-using-loudness-discomfort-824>

Bücher:

Praxis der Audiometrie, Lehnhardt, Lazig, Thieme Verlag, 2000

Psychoakustik, Zwicker, 1982

Artikel:

Perzentil Special, Median Verlag, 2011

Perzentilanalyse in der ACAM-Hilfe, Vers. 5.11.9.3552, 2013

„Neue Verfahren zur Messung des Dynamikverhaltens von Hörgeräten“

Harald Bonsel, Median Verlag Hörakustik, 06/2006

Normen:

DIN EN 60118-15

DIN EN 60118-7

Die letzte Überprüfung der Internetquellen erfolgte am 09.03.2014.

8. Anhang

8.1 Verwendete Software

| | |
|----------------------|--|
| Messsystem-Software: | ACAM 5 Vers. 5.11.4.3496 für die Messboxmessungen Vers. 5.11.9.3552 (Beta-Version) für die In-situ-Messungen |
| Hörgeräte-Software: | Siemens Connexx 6.5.4.3452 Phonak Target 3.2.03035 Widex COMPASS 5.7.0 (5716) Oticon Genie 2013.2 ReSound Aventa 3.5.0.224 |
| Weitere Software: | Microsoft Word 2007 Microsoft Excel 2007 Adobe Audition 3.0 R-2.15.1 Windows Paint und Snipping Tool |

8.2 Screenshots Herstellersoftware

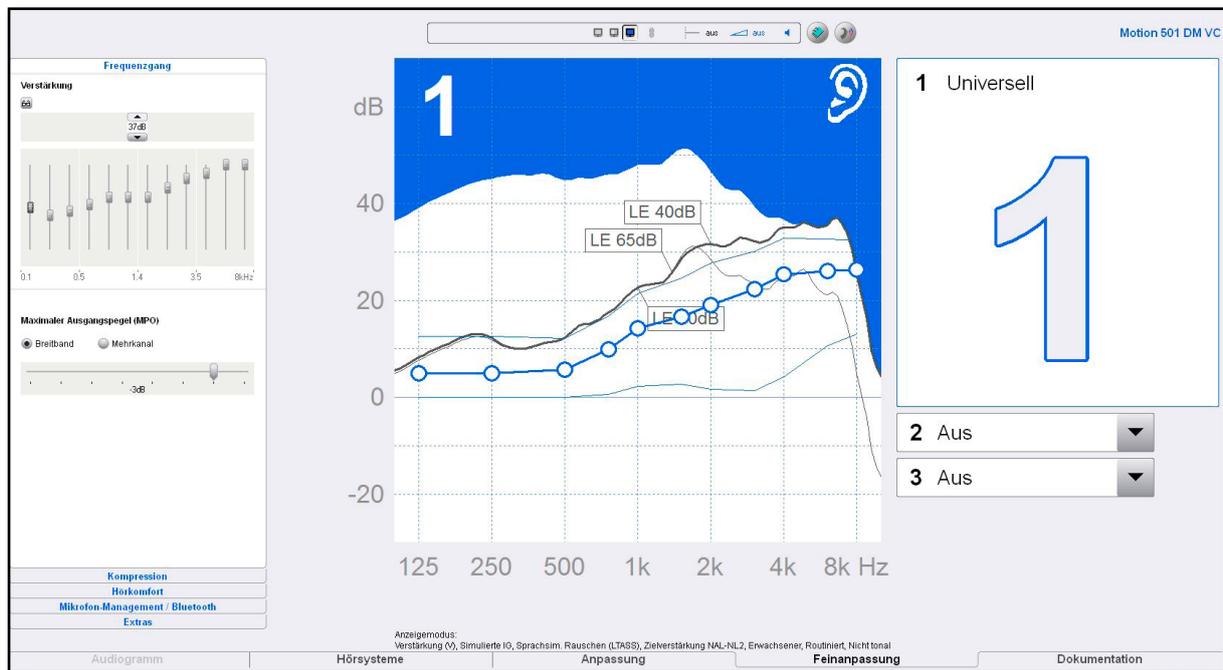


Abbildung 70: Siemens Connexx 6.5.4.3452, First Fit Motion 501 DM VC
(First Fit-MPO von max. auf -3 dB modifiziert)

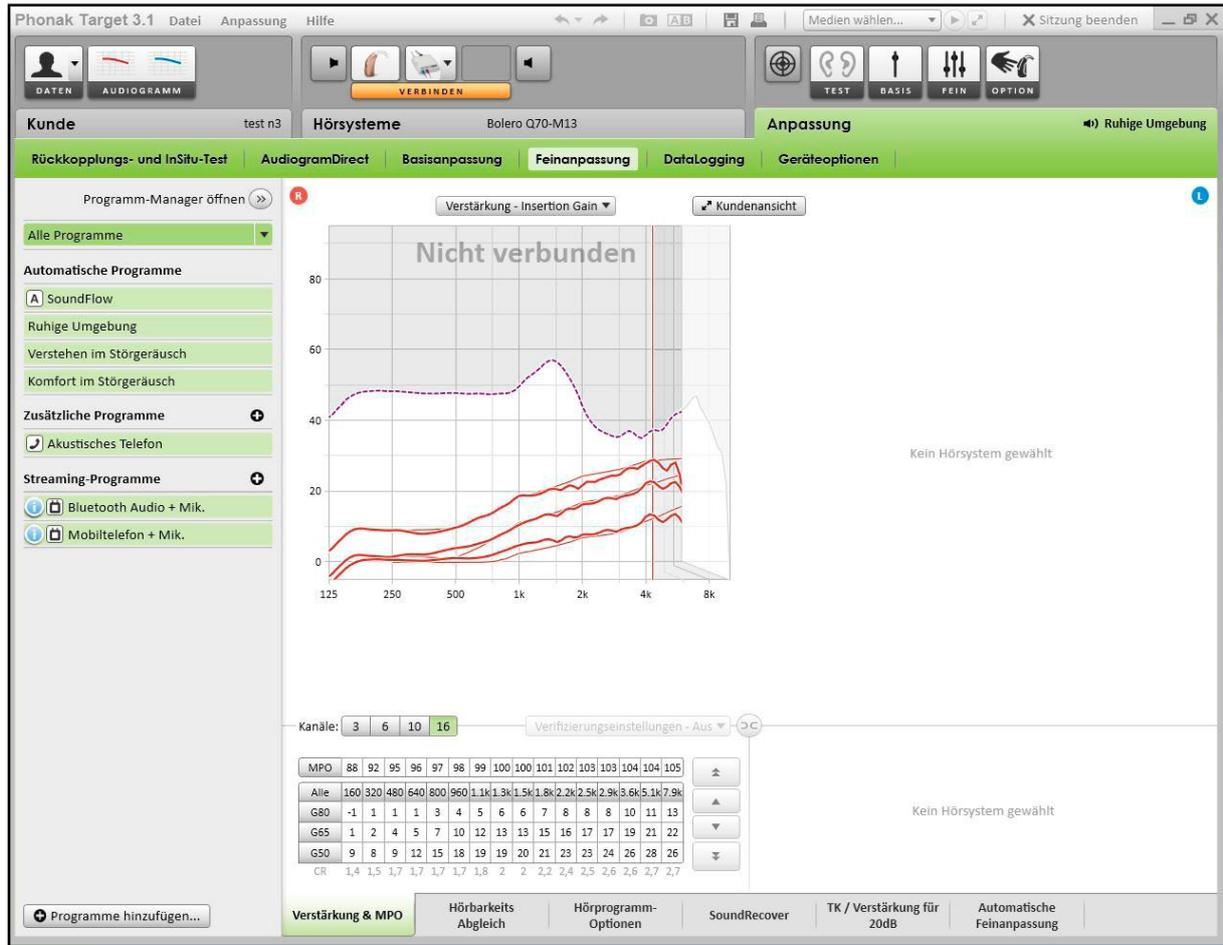


Abbildung 71: Phonak Target 3.2.03035, First Fit Bolero Q70 M13

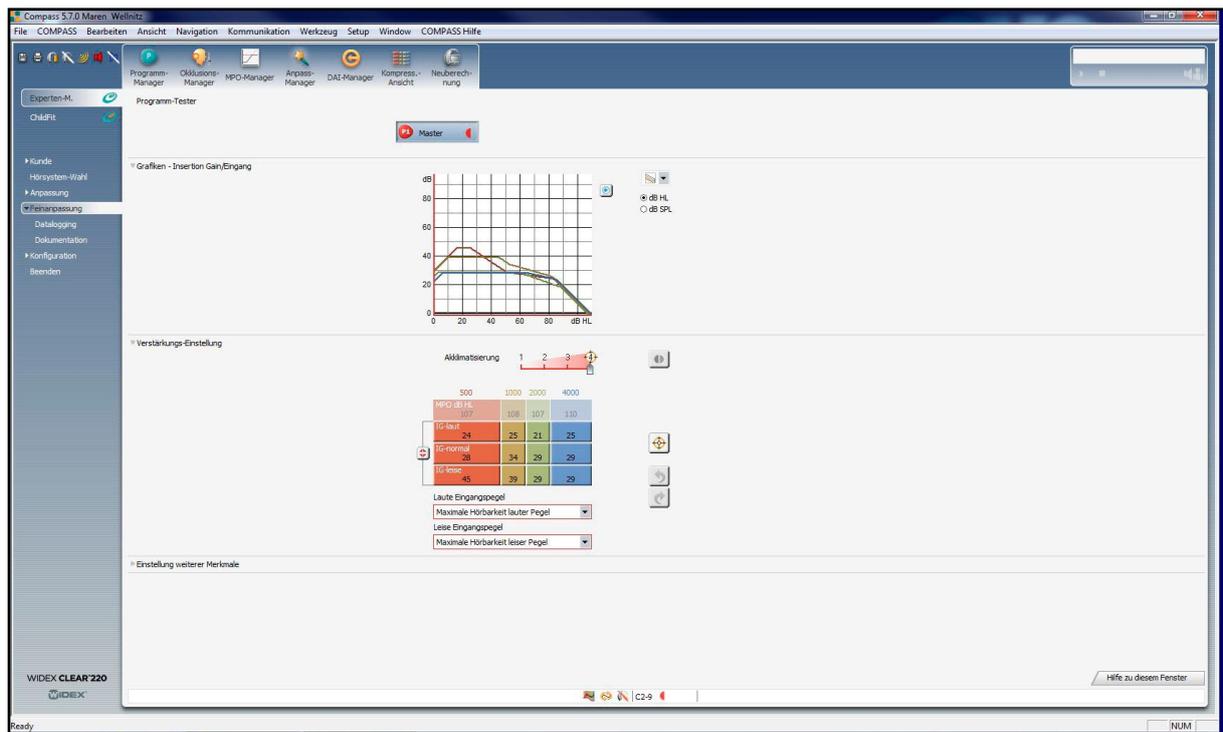


Abbildung 72: Widex COMPASS 5.7.0 (5716), First Fit clear 220 c9

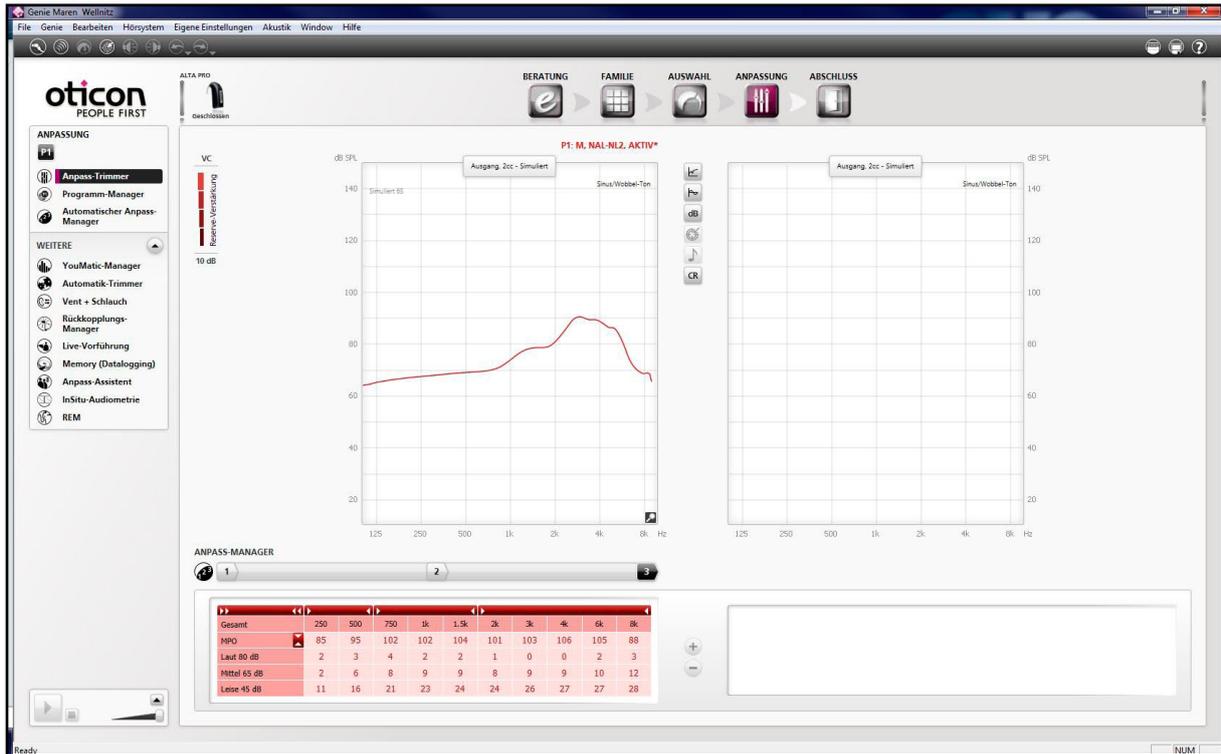


Abbildung 73: Oticon Genie 2013.2, First Fit Alta Pro HdO (13)

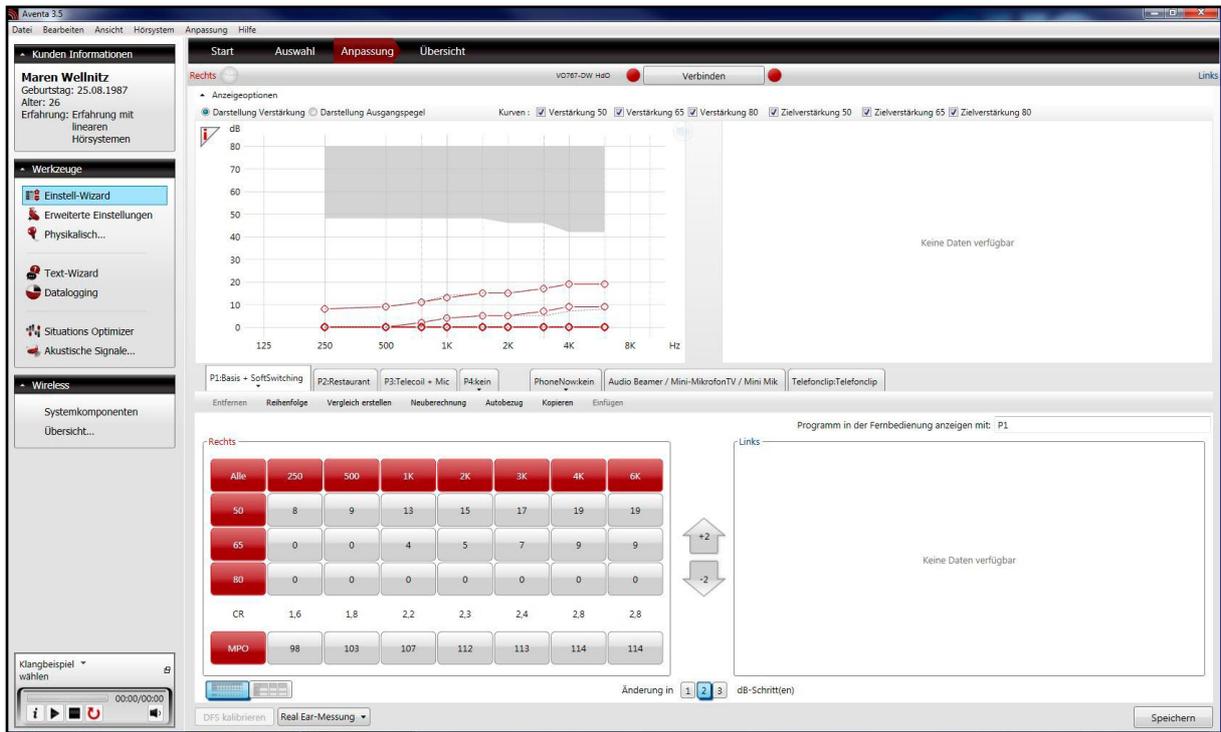


Abbildung 74: ReSound Aventa 3.5.0.224, First Fit Verso 767

8.3 Ergebnisse der Fragebogenbewertung

Teil 1: Notenverteilung für Dauer, Lautstärke und Gesamteindruck.

| | sehr gut Note 1 | gut Note 2 | akzeptabel Note 3 | noch akzeptabel Note 4 | schlecht Note 5 | sehr schlecht Note 6 |
|------------------------|---------------------------|----------------------|-----------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Signal 1 Lautstärke | 1 | 1 | 4 | 4 | 0 | 0 |
| Signal 2 Lautstärke | 1 | 5 | 3 | 0 | 1 | 0 |
| Signal 3 Lautstärke | 0 | 7 | 2 | 1 | 0 | 0 |
| Signal 1 Dauer | 0 | 1 | 4 | 5 | 0 | 0 |
| Signal 2 Dauer | 1 | 3 | 2 | 4 | 0 | 0 |
| Signal 3 Dauer | 2 | 4 | 4 | 0 | 0 | 0 |
| Signal 1 Gesamt | 0 | 2 | 5 | 3 | 0 | 0 |
| Signal 2 Gesamt | 1 | 3 | 4 | 1 | 1 | 0 |
| Signal 3 Gesamt | 0 | 5 | 4 | 1 | 0 | 0 |

Info: Signal 1= ISTS, Signal 2= EUHA-MPO-Signal, Signal 3= EUHA-MPO-Signal ohne ISTS

Teil 2: Abschließende Bewertung durch die Rangliste (Siegerehrung).

| Signal | ISTS | EUHA-MPO-S. | EUHA-MPO-S. ohne ISTS |
|----------------|-------------|--------------------|------------------------------|
| Platz 1 | 1 | 5 | 4 |
| Platz 2 | 1 | 4 | 5 |
| Platz 3 | 8 | 1 | 1 |