
Messung von Hörgeräten mit den Audio Analysatoren UPL oder UPD

Application Note 1GA34_1D

Tilman Betz, 7/96
Neufassung 9/96

Änderungen vorbehalten

Produkte:

Audio Analyzer UPL

Audio Analyzer UPD

Inhalt:

1. Zusammenfassung

2. Einleitung

3. Vorbereitung und Start der Applikations-Software

- 3.1 Erforderliche Geräte und Hilfsmittel
- 3.2 Meßanordnung
- 3.3 Installation der Software
- 3.4 Starten der Applikations-Software
- 3.5 Konfiguration der Applikation
- 3.6 Setup Konvertierung bei Firmware-Updates

4. Bedienung

- 4.1 Kalibrieren der Mikrofone und der Meßkammer
- 4.2 Einstellen der Meßbedingungen
- 4.3 Angaben zum Meßobjekt für den Protokollausdruck

5. Durchführen der Messungen

- 5.1 Allgemeines
- 5.2 Frequenzgangmessung
- 5.3 Messen der Übertragungskennlinien
- 5.4 Klirrfaktormessung
- 5.5 Messen des äquivalenten Eingangsräuschens
- 5.6 Messen der Einschwing- und Ausschwingzeit der automatischen Verstärkungsregelung

6. Protokollierung

7. Beendigung der Applikation

1. Zusammenfassung

Bei vielen Menschen ist das Gehör in seiner Leistungsfähigkeit beeinträchtigt. Um diese Hördefekte auszugleichen, werden Hörgeräte verwendet, deren akustische Verstärkung individuell eingestellt werden muß und deren Regelverhalten meist sehr komplex ist. Aufwendige Messungen sind zur optimalen Anpassung an das Hörproblem des Patienten erforderlich, wobei die Meßverfahren in nationalen und internationalen Normen festgelegt sind. Die vorliegende Applikationsschrift beschreibt die notwendigen Messungen und stellt ein Testprogramm für die automatische Durchführung gesamter Meßsequenzen vor.

2. Einleitung

Das menschliche Gehör ist vielfältigen Einflüssen ausgesetzt und kann durch verschiedene Ereignisse wie z.B. Krankheit, übermäßige Beanspruchung durch Lärm usw. in seinem Leistungsvermögen beeinträchtigt werden. Mit der modernen Technik von Hörgeräten ist es in vielen Fällen möglich, eventuelle Defekte nahezu zu kompensieren und damit das normale Hörvermögen weitgehend wieder herzustellen. Da Hördefekte sich in der unterschiedlichsten Art und Weise äußern können, müssen Hörgeräte in der Lage sein, individuell an die jeweilige Situation angepaßt zu werden. Dazu muß sowohl der Hördefekt selbst durch audiometrische Messungen erfaßt werden, als auch die akustische Verstärkung des Hörgerätes diesem Verhalten angepaßt werden - vereinfacht ausgedrückt muß z.B. das Hörgerät etwa die umgekehrte Funktion des Hördefektes nachbilden. Da solche Hörbeeinträchtigungen je nach Schwere die unterschiedlichsten Formen annehmen können und beispielsweise selektiv in bestimmten Frequenzbereichen eine starke Kompensation benötigen und gegebenenfalls zusätzlich die gesamte Hörkennlinie sowohl statisch als auch dynamisch anpassen muß, ist das Verhalten eines Hörgerätes meist sehr komplex und erfordert aufwendige Messungen zur optimalen Anpassung an das Hörproblem des Patienten.

Für die Messung von Hörgeräten gibt es mehrere nationale und internationale Normen, die die Meßverfahren und die Darstellung der Ergebnisse beschreiben. Die wichtigsten Normen in Europa sind derzeit die Norm IEC 118 Teile 0 bis 12, "Hearing Aids" - und der American National Standard ANSI S3.22, "Specification of Hearing Aid Characteristics". Die vorliegende Applikation mißt wahlweise nach beiden Spezifikationen und erfüllt damit den größten Teil der notwendigen Messungen, eine Modifikation des Programmes für andere nationale Standards ist möglich.

Es gibt Vorschläge zum Messen von Hörgeräten mit breitbandigem Rauschen, ein entsprechender Normvorschlag ist z.B. ANSI S3.42. Solche Messungen sollen das Verhalten von Hörgeräten bei normalen Hörbedingungen auch unter Umgebungsgeräusch besser simulieren. Mit dem Audio Analyzer UPD, ausgestattet mit der High-Speed-Option UPD-B3, ist es bereits heute möglich, sowohl das vorgeschlagene Testsignal zu erzeugen, als auch alle Messungen einschließlich der Kohärenz- und der Transferfunktionen durchzuführen. Diese Messungen werden möglicherweise künftig zunehmend mehr Gewicht erhalten, wurden aber bislang kaum durchgeführt, da der Meßgeräteaufwand zu hoch war. Mit dem Audio Analyzer UPD steht nun ein Meßgerät zur Verfügung, das heute bereits nach den Normen von Morgen messen kann.

3. Vorbereitung und Start der Applikations-Software

3.1 Erforderliche Geräte und Hilfsmittel

Die für den automatischen Ablauf erforderlichen BASIC-Programme und Setups befinden sich auf einer Diskette, die Sie bei Ihrer örtlichen Rohde & Schwarz-Niederlassung erhalten können.

Folgende Software-Voraussetzungen müssen vom UPD bzw. UPL erfüllt sein:

- UPD-Firmware Version 3.0 oder höher,
- UPL-Firmware Version 1.0 oder höher,
- Selbststeueroption UPD-K1 bzw. UPL-B10 installiert,
- externes Keyboard angeschlossen
- die Selbststeuerung ist für 64 kByte Programm- und 32 kByte Datenspeicher konfiguriert (mittels Konfigurationstool UPDSET bzw. UPLSET Einstellung 3 wählen).

Zur Messung wird eine Meßkammer gebraucht, die entweder ein schalltoter Raum oder auch eine kleinere Meßbox sein kann, wie z.B. das sogenannte "Ei" von Brüel & Kjaer. Außerdem benötigt man einen Schallpegelkalibrator wie z.B. Brüel & Kjaer 4231 ggf. mit Adapterstücken zur Absolutkalibrierung der Mikrofonempfindlichkeit.

Es können handelsübliche Meßmikrofone wie z.B. von Brüel & Kjaer, Microtech Gefell oder auch Sennheiser angeschlossen werden, eventuelle Stromversorgungen oder Vorverstärker müssen passend zu den Mikrofonen vorhanden sein. In der Minimalausstattung genügt ein einziges Meßmikrofon, das dann sowohl an den Meßkuppler angeschlossen wird als auch ohne Kuppler zum Kalibrieren der Meßkammer verwendet wird. Für diese Minimalkonfiguration eignet sich beispielsweise das preiswerte Mikrofon aus der Reihe MKE2 von Sennheiser mit einem dazu passenden Kuppler. Die Langzeitstabilität solcher Mikrofone ist natürlich nicht so gut wie bei ausgesprochenen Meßmikrofonen, da aber ohnehin eine Absolutkalibration des Mikrofones mit einem Schallpegelkalibrator durchgeführt werden muß, spielt das keine so große Rolle, der Frequenzgang ist durch die kleinen Membranabmessung hinreichend gut. Es sollte aber bei der Verwendung solcher Mikrofone ggf. öfter die Kalibrierung wiederholt werden.

Je nach Hörgerätetyp- und Ausführung wird zur Messung ein sogenannter 2 cm^3 -Kuppler nach IEC 126 oder ein Ohrsimulator nach IEC 118 bzw. IEC 711 verwendet, der für die Aufnahme des Meßmikrofones geeignet ist.

3.2. Meßanordnung

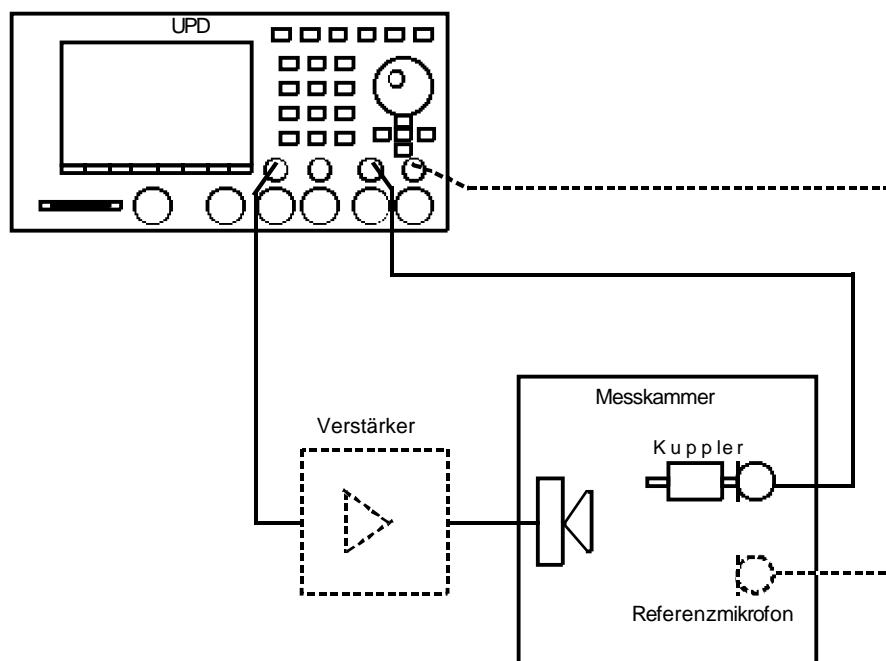


Bild 1: Meßanordnung mit Audio Analyzer, Meßkammer, einem oder zwei Meßmikrofonen und ggf. Verstärker zum Treiben des Lautsprechers der Meßkammer.

Bei dem Audio Analyzer UPD werden die unsymmetrischen Ein- und Ausgänge (BNC) benützt, beim Audio Analyzer UPL müssen entweder Kabel mit XLR-Steckern verwendet werden oder es muß mit Hilfe des Adaptersatzes UPL-Z1 auf BNC Ein- und Ausgänge adaptiert werden.

3.3. Installation der Software

Die Installation der Applikations-Software erfolgt mit Hilfe des Installationsprogramms HEARINST.BAT, das sich ebenfalls auf der Applikationsdiskette befindet, dazu geht man folgendermaßen vor:

- Verlassen der UPD- bzw. UPL-Software mit der Taste "SYSTEM" oder Ctrl F9 auf der Tastatur
- Applikationsdiskette einlegen
- Umschalten auf Diskettenlaufwerk (Eingabe A:)
- Aufrufen des Installationsprogrammes (Eingabe HEARINST)
- Rückkehr zum UPD- oder UPL-Programm (Eingabe UPD bzw. UPL)

Das Programm HEARINST erzeugt auf dem UPD bzw. UPL die Directory C:\HEARING (falls diese noch nicht vorhanden ist), und kopiert die BASIC-Programme sowie die für die Applikation notwendigen Setups in dieses Verzeichnis.

3.4. Starten der Applikations-Software

Das Applikationsprogramm wird unter der UPD- oder UPL-Selbststeuerung ausgeführt. Nach Starten des Analyzers wird mittels der Taste F3 (auf dem externen Keyboard) auf die Selbststeuerung umgeschaltet.

Hierbei ist zu beachten, daß die Logging-Funktion abgeschaltet ist, wie man am Schriftzug "logging off" erkennen kann, der am rechten unteren Rand des Bildschirms eingeblendet wird. Bei eingeschalteter Logging-Funktion würden im Handbetrieb eingegebene Befehle an das Programm angehängt und so unnötig Speicherplatz beanspruchen. Das Ein- bzw. Ausschalten des Logging-Modus geschieht im UPD- bzw. UPL- Modus mit der Taste F2 auf der externen Tastatur.

Das Applikationsprogramm muß aus dem Pfad C:\HEARING aufgerufen werden, da alle Programmodule und Setups in diesem Pfad gesucht werden. Der Pfad kann auf eine der folgenden Arten umgestellt werden:

- auf UPD- bzw. UPL-Ebene mit dem Befehl "Working Dir" im FILE-Panel
- durch Aufruf eines der für die Hörgerätemessungen benötigten Setups
- auf UPD-K1- bzw. UPL-B10-Ebene durch die BASIC-Befehlszeile
UPD OUT "MMEM:CDIR 'C:\HEARING' "
- über die SHELL der UPD-K1 mittels Eingabe von CD C:\HEARING und anschließendem EXIT

Die Programmdiskette enthält das BASIC-Programm HEARTST.BAS für die Messung. Es wird geladen und gestartet durch Eingabe von:

- LOAD"HEARTST"
- RUN

Hierzu können natürlich auch die entsprechenden Softkeys verwendet werden, die beim Aufruf der UPD-K1 bzw. UPL-B10 am unteren Bildschirmrand eingeblendet werden.

3.5. Konfiguration der Applikation (Drucker)

Zur Durchführung der Messungen werden eine Reihe von Setups verwendet, die ebenfalls auf der Applikations-Diskette enthalten sind.

Bei Auslieferung sind die Setups mit einem sogenannten Default-Printer konfiguriert d.h. die Druckereinstellung wird nicht durch das Setup bestimmt sondern es wird die vorher benutzte Druckerkonfiguration übernommen, damit paßt sich die Druckerkonfiguration automatisch der vorhandenen Hardware an. Lediglich die im Menü wählbare Ausgabe als Laserjet-Ausdruck ist nur auf

einem Drucker der Laserjetfamilie möglich, der über ausreichende Speicherkapazität für eine Ganzseitendarstellung in HPGL verfügt, Ausdruckversuche auf andere Drucker in diesem Modus führen zu keinem brauchbaren Ergebnis. Zur Ausgabe in HPGL auf einen Laserjetdrucker muß keine Einstellung in den Setups geändert werden, da der Drucker direkt aus dem Basic-Programm heraus gesteuert wird.

3.6. Setup Konvertierung bei Firmware-Updates

Bei einem Firmware-Update des UPD bzw. UPL müssen die Setups möglicherweise konvertiert werden, da eventuelle neue Features der Firmware berücksichtigt werden müssen. Beim Laden der Setups geschieht dies automatisch mit kaum merklicher Verzögerung, die Setups können aber auch konvertiert und dann neu abgespeichert werden. Hierfür gibt es zwei Möglichkeiten:

- auf DOS-Ebene durch Aufruf des Konverterprogramms:
DO_CONV \HEARING
hierbei werden alle Setups in der Directory HEARING konvertiert
- auf UPD-bzw. UPL-Ebene durch Laden jedes Setups und anschließendem Speichern

WICHTIG: bei auf READ ONLY gesetzten Setups muß zuerst das "r"-Attribut gelöscht werden (auf der DOS-Ebene mit dem Befehl ATTRIB -r).

4. Bedienung

Das Programm ermöglicht das Messen der Eigenschaften von Hörgeräten wahlweise nach den Normen IEC 118 oder ANSI S3.22.

Das Programm erlaubt die Messung von:

- Sättigungsschalldruckpegel bei 90 dBSPL Eingangsschalldruck
- Frequenzgang bei Referenzbedingungen mit wählbarer Darstellung als Ausgangsschallpegel oder Verstärkung
- Übertragungskennlinien bei wählbaren Frequenzen
- Verstärkungskurven des Hörgerätes abhängig vom Eingangsschalldruck
- Kompression der Verstärkungskurven abhängig vom Eingangsschalldruck
- Kurven der Verzerrungsprodukte K2 und K3 über der Frequenz
- Bestimmung des äquivalenten Eingangsräuschens
- Messung der Einschwing- und Ausschwingzeit der automatischen Verstärkungsregelung

Die Bedienung des Programmes erfolgt größtenteils über die Softkeys am Bildschirm bzw. über die entsprechenden Funktionstasten F5 bis F12 auf der externen Tastatur.

Nach dem Starten des Programms mit RUN erscheint zunächst die Auswahl der gewünschten Norm, die Bestätigung mit der entsprechenden Funktionstaste führt zu dem Auswahlmönü:

CONFIG	DUT	FRQ-RESP	IN-OUT	DIST	NOISE	ATTACK	CALIB
--------	-----	----------	--------	------	-------	--------	-------

4.1. Kalibrieren der Mikrofone und der Meßkammer

Vor einer ersten Messung müssen die Mikrofone und die Messkammer kalibriert werden, es ist dazu notwendig, die Mikrofone an einen Schallpegelkalibrator wie z.B. Brüel & Kjaer 4231 oder ein Pistonfon anzuschließen. Der tatsächliche Kalibrierschallpegel wie z.B. 124 dB muß in dB SPL eingegeben werden. Je nach Mikrofon müssen ggf. geeignete Adapter für den Schallpegelkalibrator verwendet werden.

Nach der Absolutkalibrierung der / des Mikrofones wird die Meßkammer kalibriert und der gemessene Frequenzgang der Kammer wird automatisch als Equalization-File für den Generator abgespeichert.

Wird nur ein einziges Mikrofon verwendet, so muß für die Kalibration der Meßkammer das Mikrofon vom Kuppler gelöst werden und an der Referenzposition in der Meßkammer plaziert werden, bei einer Anordnung mit 2 Mikrofonen wird das zweite Mikrofon zum Kalibrieren der Kammer verwendet und muß an der Referenzposition plaziert werden.

Es ist unbedingt darauf zu achten, daß die Kalibrierung der Meßkammer und die spätere Messung an der gleichen Position in der Meßkammer vorgenommen wird, eine Verschiebung um einige Millimeter kann bei einer kleinen Kammer bereits zu einer deutlichen Veränderung des Frequenzganges führen. Wird die Messung in einem größeren schalltoten Raum durchgeführt, ist die Lageabweichung etwas unkritischer. Bei handelsüblichen Meßkammern hilft ein aufgedrucktes Fadenkreuz, die Position für das Kalibriermikrofon und das spätere Meßobjekt leicht wieder herzustellen.

Bei allen folgenden Messungen wird das so gewonnene Equalization-File verwendet, damit ist der Schalldruckpegel in der Meßkammer bei jeder Frequenz präzise einstellbar.

Die Kalibrierdaten und das Equalization-File werden abgespeichert und automatisch bei jedem Neustart wieder verwendet, eine Kalibration ist also nur bei der ersten Inbetriebnahme und in gewissen Abständen zur Sicherung der Meßgenauigkeit durch eventuelle Veränderungen der Mikrofonempfindlichkeit oder des Lautsprechers notwendig, bzw. bei Veränderungen am Meßaufbau oder der Meßkammer.

Bei jeder Kalibration werden die Mikrofondaten an ein History-File MICRO.HST angehängt, dieses File kann als Nachweis der Stabilität der Mikrofondaten ausgewertet werden. Bei einer ersten Inbetriebnahme kann es sinnvoll sein, das vorhandene File zunächst zu löschen um keine alten Daten im History-File zu haben.

4.2. Einstellen der Meßbedingungen

Mit dem Menüpunkt CONFIG werden Meßbedingungen gewählt, wie z.B. maximaler Y-Wert bei der Frequenzgangmessung, Auswahl ob Frequenzgang breitbandig oder selektiv gemessen werden soll usw.

Die eingegebenen Meßbedingungen werden getrennt für die Messung nach ANSI oder IEC 118 jeweils in einem File ANSI322.INI bzw. IEC118.INI abgespeichert, dies geschieht auf Tastendruck mit der Taste F12. Die Daten werden damit dauerhaft gespeichert und bei folgenden Messungen, auch nach einem Neustart, wieder verwendet.

Es ist damit beispielsweise auch möglich, sich für verschiedene Messungen unterschiedliche INI-Files anzulegen und vor dem Start des Programmes das gewünschte File in das ANSI322.INI bzw. IEC118.INI zu kopieren.

Folgende Einstellungen können für die verschiedenen Messungen gewählt werden:

HFA-REF:

- Hier wird definiert, mit welchen Meßfrequenzen die Einstellung des Hörgerätes auf die Referenzverstärkung vorgenommen werden soll. Bei der Norm ANSI S3.22 wird der Mittelwert aus der Messung bei 3 Frequenzen berechnet, laut Norm sind dies 1000 Hz, 1600 Hz und 2500 Hz. Es können selbstverständlich für von der Norm abweichende Messungen auch andere Frequenzen vorgegeben werden.

- Wurde als Norm IEC 118 gewählt, wird nur eine Frequenz abgefragt, bei der die Referenzverstärkung eingestellt werden soll, normgemäß ist das 1600 Hz.

FRQ-RESP:

- Für die Frequenzgangmessung können mehrere Vorgaben definiert werden. Es wird zunächst der Maximalwert für die Skalierung der Y-Achse abgefragt, dieser Wert wird auch für die Darstellung der Übertragungskurven verwendet. Die Y-Achse kann nach der Messung aber noch mit den Funktionstasten umskaliert werden.
- Es kann hier definiert werden, ob ein eventuell vorhandenes zweites Mikrofon als mitlaufende Referenz bei der Frequenzgangmessung benutzt werden soll. Mit dieser Methode kann u.U. eine noch größere Genauigkeit des Meßschallpegels erreicht werden, da bei jeder Meßfrequenz eine eventuell vorhandene geringe Restabweichung von der Kalibrierung der Meßkammer erfaßt wird und das Ergebnis entsprechend korrigiert wird. Nachteil dieser Messung ist, daß die Messung länger dauert, das Referenzmikrofon möglicherweise zusätzliches Rauschen erzeugt, und damit die Messung wieder verschlechtert. Diese Meßmethode sollte daher nur bei besonderen Einsatzfällen und genauer Betrachtung der Vor- und Nachteile verwendet werden.
- Die Abfrage, ob eine Protokollausgabe auf einen Laserjetdrucker erfolgen soll, wirkt ebenfalls sowohl bei der Frequenzgangmessung als auch bei der Messung der Übertragungskennlinien in der Darstellung Ausgangsschalldruck über Eingangsschalldruck. Wird diese Abfrage mit "Y" beantwortet, erfolgt die Ausgabe der Frequenzgangmessung und der Übertragungskurven bei Druck auf die Taste "HARDCOPY" direkt in der Sprache HPGL auf den Drucker. In dieser Darstellung wird die Grafik im Querformat auf ein DIN-A4-Blatt ausgedruckt mit der präzisen Skalierung von 20 mm pro 10 dB in der Y-Achse und 100 mm pro Dekade in der X-Achse. Diese Darstellung entspricht in der Skalierung den Vorlagen der Physikalisch Technischen Bundesanstalt PTB für Zulassungsmessungen. Es wird dann davon ausgegangen, daß ein Laserjet-Drucker angeschlossen ist, der über einen ausreichenden Speicher für eine Ganzseitendarstellung in HPGL verfügt. In diesem Falle ist es sinnvoll, auch im Option-Panel des UPD bzw. UPL als Drucker Laserjet einzustellen, damit auch evtl sonstige Ausdrücke richtig ausgedruckt werden.
- Mit der letzten Abfrage kann gewählt werden, ob die Frequenzgangmessung breitbandig oder selektiv erfolgen soll. Standardmäßig sollte die breitbandige Messung benutzt werden, da sie wesentlich schneller arbeitet als die selektive Messung. Bei Messungen mit erheblichem Umweltgeräusch oder wenn an der Empfindlichkeitsgrenze des Hörgerätes gemessen werden soll, kann die Messung auf Selektiv gestellt werden, die Meßbandbreite beträgt dann 1/12-Oktave, Störgeräusche werden entsprechend unterdrückt.

IN-OUT:

- Für die Messung der Übertragungskurven kann hier definiert werden, wieviele Kurven gemessen werden sollen (max. 5) und bei welchen Frequenzen, es entsteht dann als Messung eine Kurvenschar der Übertragungskennlinien. Die Kurven werden in der grafischen Darstellung mit Nummern markiert und die zugehörigen Frequenzen werden ausgedruckt.
- Die Messung der Übertragungskurven startet bei 40 dBSPL und stoppt bei dem einzugebenden Maximalschalldruck. Diese Eingabe dient dazu, die Messung auf die Möglichkeiten der Meßkammer abzustimmen, da nicht jede Meßkammer beispielsweise in der Lage ist, einen Schalldruck von 100 dBSPL zu erzeugen (ohne den Lautsprecher zu beschädigen!), üblicherweise werden hier 90 dBSPL eingegeben.
- Es kann dann noch gewählt werden, ob die gemessenen Kurven als Ausgangsschallpegel über Eingangsschallpegel, akustische Verstärkung des Hörgerätes oder als Darstellung des Kompressionsfaktors der Übertragungskennlinie dargestellt werden sollen. Nach der Messung kann aber durch Tastendruck zwischen den verschiedenen Darstellungsarten umgeschaltet werden.

DIST:

- Die Darstellung der Klirrfaktorkurven kann wahlweise in % oder als 20dB-Offsetkurven gewählt werden.

NOISE:

- Da es sich bei dieser Messung um das Messen von Rauschsignalen handelt, ist es notwendig, über eine gewisse Meßzeit zu integrieren, um eine stabile Anzeige zu erhalten. Es kann hier die gewünschte Integrationszeit definiert werden z.B. 1 Sekunde.
- Außerdem kann hier der Schalldruck definiert werden, bei dem die Verstärkung des Hörgerätes bestimmt wird.
- Es kann gewählt werden, ob das äquivalente Eingangsrauschen als Spektrum zusammen mit der gemessenen Verstärkungskurve dargestellt wird.

ATTACK:

Die Messung der Attack- und Release-Zeiten der automatischen Verstärkungsregelung ist mit herkömmlichen Meßmethoden schwer zu erreichen, daher wurde in den Audio Analytoren UPD und UPL eine spezielle Messung über die Zeit eingebaut, die sogenannte "Compressed Waveform"-Funktion. Mit dieser Funktion ist es möglich, innerhalb einer Periode des Meßsignales Pegel zu messen und aufzuzeichnen, die Zeitauflösung der Messung wird daher hauptsächlich von der Periode bzw. Frequenz des Meßsignales bestimmt. Für die automatische Messung wird ein Signalpegel erzeugt, der für eine definierte Zeit um eine Sprunghöhe zunimmt und dann wieder auf den Anfangspegel zurückkehrt. Geprüft wird jeweils die Zeit bis sich die Verstärkung bzw. der gemessene Ausgangsschalldruck innerhalb einer bestimmten Toleranz auf den eingeschwingenen Zustand eingestellt hat. Für diese Messung können folgende Parameter eingestellt werden:

- Der Anfangspegel des akustischen Signales in dB SPL, nach Normbedingungen 55 dB. Um das Verhalten der AGC bei unterschiedlichen Pegeln zu testen, können hier beliebige Startpegel eingegeben werden.
- Die Sprunghöhe des Burstsignales wird in dB definiert, normgemäß sind dies 25 dB. Es ist darauf zu achten, daß Anfangspegel plus Sprunghöhe noch als verarbeitbarer Schallpegel von der Meßbox erzeugt werden kann! Die Sprunghöhe sollte mindestens 10 dB betragen um eine Triggerung des Analyzers sicherzustellen.
- Die Sprungdauer des erhöhten Pegels kann eingegeben werden, sie muß so bemessen werden, daß bei der Pegelzunahme die Verstärkungsregelung einschwingen kann. Im allgemeinen reagiert die AGC in einem Hörgerät so rasch, daß 0.1 Sekunden genügen.
- Die Intervalldauer für die gesamte Messung definiert die dargestellte Meßzeit in der X-Achse, sie muß ausreichend groß sein für die - normalerweise größere - Ausschwingzeit der Verstärkungsregelung z.B. 1 Sekunde.
- Die Frequenz des Meßsignales muß definiert werden, normgemäß werden 2 kHz eingestellt. Die zeitliche Auflösung der Messung richtet sich vorzugsweise nach der Meßfrequenz, da die Messung pro Meßpunkt immer mindestens eine Signalperiode umfaßt, bei 2 kHz ergibt sich so eine Auflösung von 0.5 ms. Die maximale Punktzahl der Meßpunkte in der X-Achse beträgt ca. 7000 Punkte, wird eine Intervallzeit eingegeben, die bei der vorgegebenen Meßfrequenz mehr Meßpunkte ergeben würde, wird automatisch die Meßzeit und damit die Zeitauflösung angepaßt, beispielsweise sind bei 2 kHz Meßfrequenz bei voller Auflösung von 0.5 ms eine Intervallzeit bis zu 3.5 Sekunden möglich.
- Die Ermittlung der Attack- und Release-Zeiten erfolgt definitionsgemäß als Zeit vom Sprunganfang bzw. Sprungende bis zu dem Punkt an dem der eingeschwingene Zustand bis auf eine bestimmte Toleranz - laut Norm 2 dB - erreicht ist. Dieser Toleranzwert kann für besondere Anforderungen auch anders gewählt werden.

4.3. Angaben zum Meßobjekt für Protokollausdruck

Mit dem Menüpunkt DUT werden Daten des zu messenden Hörgerätes wie Typ, Seriennummer, Hersteller sowie der Name des Prüfers eingegeben, es wird außerdem abgefragt, ob es sich um ein AGC- oder lineares Hörgerät handelt, diese Eingabe entscheidet darüber, ob bei der Frequenzgangmessung mit 50 dB oder mit 60 dB Schalldruckpegel gemessen wird. Das aktuelle Datum und die Zeit werden von der Systemuhr übernommen.

5. Durchführen der Messungen

5.1. Allgemeines

Jede Messung wird durch die Auswahl mit der entsprechenden Funktionstaste gestartet. Während der Messung sind die Funktionstasten im allgemeinen ohne Funktion. Nach Beendigung einer Messung stehen verschiedene Auswahlmöglichkeiten über die Funktionstasten zur Verfügung. Mit der Funktionstaste "CONT" kehrt man zum Auswahlnenü der Messungen zurück, eine Ausgabe auf einen Drucker führt nach dem Ausdruck ebenfalls zum Auswahlnenü zurück.

Das Programm kann jederzeit durch die Tastenkombination CTRL BREAK abgebrochen werden, mit der Funktionstaste F3 kann man dann zur manuellen Bedienung des Audio Analyzers zurückkehren, das zuletzt gewählte Setup mit den Meßeinstellungen bleibt erhalten und kann somit auch für weitere manuelle Messungen genutzt werden. Ein Neustrat des Programmes führt zu keinem Verlust der Meßbedingungen oder Kalibrationswerte, da alle Daten in Files abgespeichert wurden und beim Neustart automatisch wieder geladen werden.

5.2. Frequenzgangmessung

Der Menüpunkt FRQ-RESP startet die Frequenzgangmessung, Anweisungen auf dem Bildschirm erläutern jeweils das Vorgehen.

Es ist darauf zu achten, daß das Mikrofon des zu messenden Hörgerätes möglichst genau auf die Referenzposition, die auch zur Kalibrierung der Meßkammer verwendet wurde, gebracht wird.

Wird ein zweites Meßmikrofon als mitlaufende Referenz benutzt (siehe Einstellen der Meßbedingungen FREQ-RESP), ist darauf zu achten, daß das Referenzmikrofon so dicht wie möglich an das Mikrofon des Hörgerätes gebracht wird, siehe hierzu auch die Angaben in den Normen.

Es wird zunächst das Hörgerät auf maximale Verstärkung eingestellt und der Ausgangsschallpegel bei dieser Einstellung mit 90 dB Schalldruck gemessen, dies ergibt die sogenannte Sättigungs-Schalldruckkurve oder OSPL90-Kurve.

Nach Ablauf dieser Messung erscheint auf dem Bildschirm eine Balkenanzeige zur Einstellung der Referenzverstärkung des Hörgerätes.

Wird nach ANSI S3.22 gemessen, muß die Referenzverstärkung auf 17 dB unter den Wert bei voller Verstärkung eingestellt werden, die Messung erfolgt mit einem 3-Ton-Signal, der gemittelte Wert wird auf einer Balkenanzeige mit Markierung des -17 dB-Wertes und 1 dB-Unterteilung dargestellt.

Die Verstärkung des Hörgerätes muß so eingestellt werden, daß die Anzeige $-17 \text{ dB} \pm 1 \text{ dB}$ beträgt. Läßt sich dieser Wert nicht erreichen, ist das Hörgerät auf maximale Verstärkung einzustellen und dies bei dem Protokoll mit zu vermerken.

Bei Wahl der Norm IEC 118 wird nur mit einer festen Frequenz gemessen und der gemessene Wert muß auf der Balkenanzeige auf -15 dB eingestellt werden, die Balkenanzeige erscheint daher bei dieser Norm mit der Markierung bei -15 dB, ansonsten erfolgt die Einstellung der Verstärkung des Hörgerätes wie bei ANSI.

Nach erfolgter Einstellung des Hörgerätes (Toleranz $\pm 1 \text{ dB}$) muß dies mit der SPACE-Taste bestätigt werden, es erfolgt dann die 2. Frequenzgangmessung bei 60 dB bzw. 50 dB Schalldruckpegel je nachdem, ob es sich um ein lineares Hörgerät oder um ein Hörgerät mit automatischer Verstärkungsregelung (AGC) handelt.

Nach Beendigung der Messung werden beide Kurven dargestellt, der maximale Ausgangsschallpegel sowie der Schallpegel bei der Bezugfrequenz und die Differenz des Ausgangsschallpegels bei der Bezugfrequenz zwischen der OSPL90-Kurve und der 60 dB- bzw. 50 dB-Kurve werden bestimmt und in der Grafik ausgedruckt.

Es besteht dann die Möglichkeit, die Y-Achse umzuskalieren, die 60 dB bzw. 50 dB-Kurve an Stelle der Ausgangsschalldruckkurve als Kurve der akustischen Verstärkung des Hörgerätes darzustellen und in dieser Darstellungsart mit der Funktion MORE weitere Kurven aufzunehmen, beispielsweise um die Wirkung von Frequenzgangstellern als Kurvenschar darzustellen.

Jeder Druck auf die MORE-Taste startet eine weitere Messung. Wird mit der Funktionstaste auf die Schallpegeldarstellung zurückgeschaltet, werden alle mit MORE aufgenommenen Kurven wieder gelöscht.

Mit dem Menüpunkt HARDCOPY erfolgt eine Ausgabe auf den Drucker (Konfiguration wie sie vom Benutzer am UPD oder UPL vorher eingestellt war). War bei der Eingabe der Meßbedingungen unter CONFIG bei der Auswahl FRQ-RESP die Ausgabe auf Laserjet mit "Y" angegeben worden, erfolgt die Frequenzgangdarstellung als HPGL-Ausdruck auf dem Laserjetdrucker in normgerechter Skalierung, eine Ausgabe auf einen anderen Drucker ist dann nicht möglich! In diesem Falle sollte auch für die normalen Ausdrücke der entsprechende Laserjetdrucker mit passender Skalierung im UPD bzw. UPL gewählt werden.

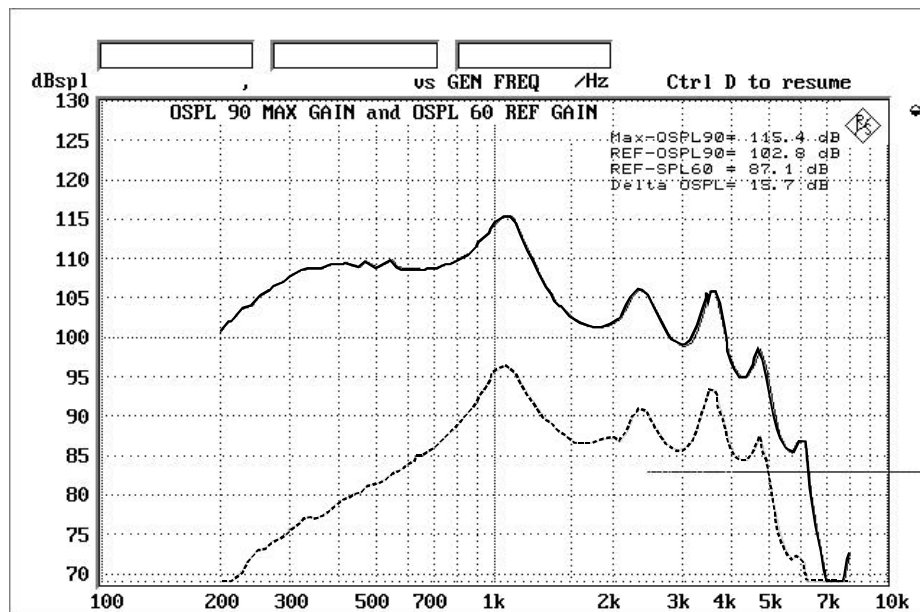


Bild 2: Beispiel einer Frequenzgangmessung mit 90 dB Schalldruck und mit 60 dB Schalldruck als Standardausdruck auf einem angeschlossenen Drucker

5.3. Messen der Übertragungskennlinien

Der Menüpunkt IN-OUT startet die Messung der Übertragungskennlinien des Prüflinges, mit der Definition der Meßbedingungen können hierzu im Menüpunkt CONFIG bis zu 5 Meßfrequenzen angegeben werden, d.h. es entstehen bis zu 5 Übertragungskurven bei wählbaren Meßfrequenzen.

Der Maximalschalldruck bei dieser Messung kann ebenfalls im Menüpunkt CONFIG angegeben werden, um eine eventuelle Überlastung des Lautsprechers der Meßkammer zu vermeiden, die Messung startet immer bei einem Schalldruck von 40 dB SPL und geht, falls die Meßkammer es erlaubt, bis maximal 100 dB SPL.

Nach der Messung werden die Kurven in der Grafik mit Nummern markiert und die entsprechenden Frequenzen aufgelistet.

Die Kurven können dann wahlweise als Schalldruckkurven, Verstärkungskurven oder als Kurven des Kompressionsfaktors dargestellt werden.

Die Verstärkung wird direkt aus der Differenz des Ausgangsschalldruckes zum Eingangsschalldruck berechnet, während die Kompression als Verhältnis der Eingangspegeländerung zur Ausgangspegeländerung berechnet wird und als dimensionslose Zahl dargestellt wird.

Bei der Darstellung als Schalldruckkurven kann die Y-Achse ebenfalls umskaliert werden und es ist auch ein Ausdruck in HPGL auf Laserjet möglich, abhängig von der Wahl Laserjet bei FRQ-RESP in CONFIG.

Die Darstellung als Übertragungskurven des Eingangsschalldruckes zum Ausgangsschalldruck eignet sich besonders gut zur Anpassung eines Hörgerätes an die veränderte Empfindlichkeitskurve eines hörgeschädigten Patienten, im Idealfall gleicht die Übertragungskurve des Hörgerätes die Empfindlichkeitskurve des Patienten so aus, daß für alle Lautstärken wieder ein natürlicher Höreindruck entsteht, d.h. die Übertragungskurve ist spiegelbildlich zur Empfindlichkeitskurve des Patienten bezogen auf die Standard-Empfindlichkeitskurve.

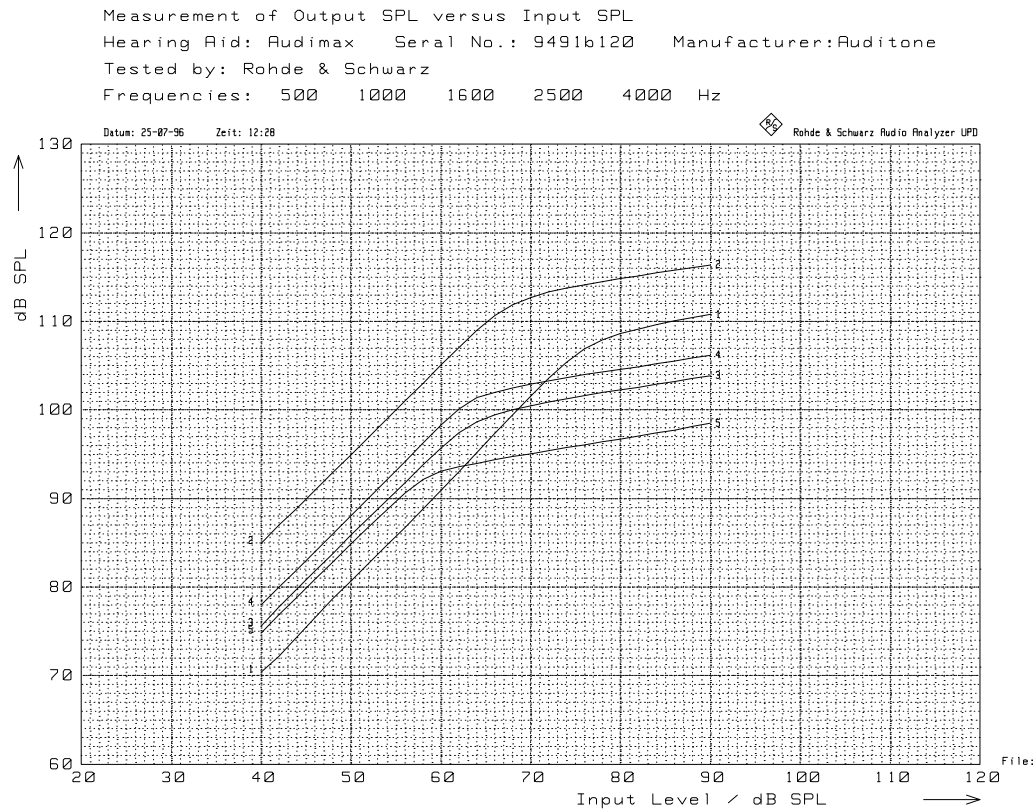


Bild 3: Beispiel eines Ausdruckes der Übertragungskennlinien auf einen Laserjetdrucker

5.4. Klirrfaktormessung

Der Menüpunkt DIST startet eine Klirrfaktormessung. Sowohl nach ANSI S3.22 als auch nach IEC 118 erfolgt die Klirrfaktormessung bei 70 dB Schalldruckpegel.

Es wird zunächst der Ausgangsschalldruck bei 70 dB Eingangsschalldruck gemessen und grafisch dargestellt. Anschließend werden die Verzerrungsprodukte 2. Ordnung (K2) und 3. Ordnung (K3) gemessen und ebenfalls als Kurven im Diagramm dargestellt mit einer zusätzlichen Skalierung am rechten Bildrand. Die Darstellung erfolgt als Klirrfaktor in %.

Bei entsprechender Auswahl in CONFIG können die Verzerrungskurven auch als Schalldruckpegel mit 20 dB Offset gezeichnet werden. Bei Klirrfaktoren kleiner als 10 % bleiben die Verzerrungskurven immer unter der normalen Ausgangsschalldruckkurve.

Die Kurven der Verzerrungsprodukte K2 und K3 können dadurch unterschieden werden, daß K2 bis zu 4 kHz und K3 bis 2.7 kHz gemessen wird, das entspricht jeweils 8 kHz obere Frequenzgrenze der Verzerrungsprodukte.

Im Gegensatz zu der in der Norm vorgesehenen Messung an nur wenigen Frequenzpunkten gibt die Darstellung als Verzerrungskurve über den ganzen Frequenzbereich eine erheblich bessere Übersicht über das Verhalten des Hörgerätes.

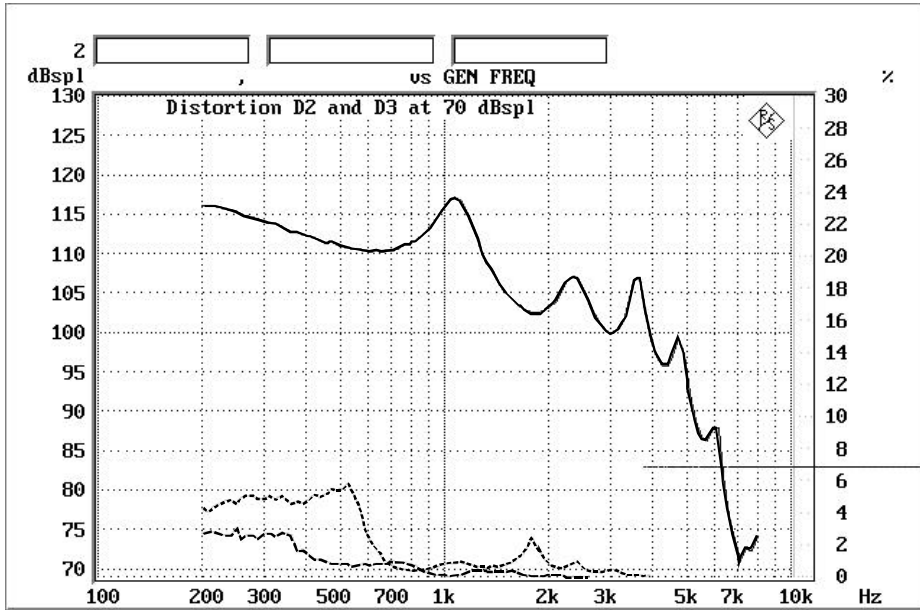


Bild 4: Messung des Klirrfaktors K2 und K3 bei 70 dB Schalldruckpegel als Klirrfaktor in %

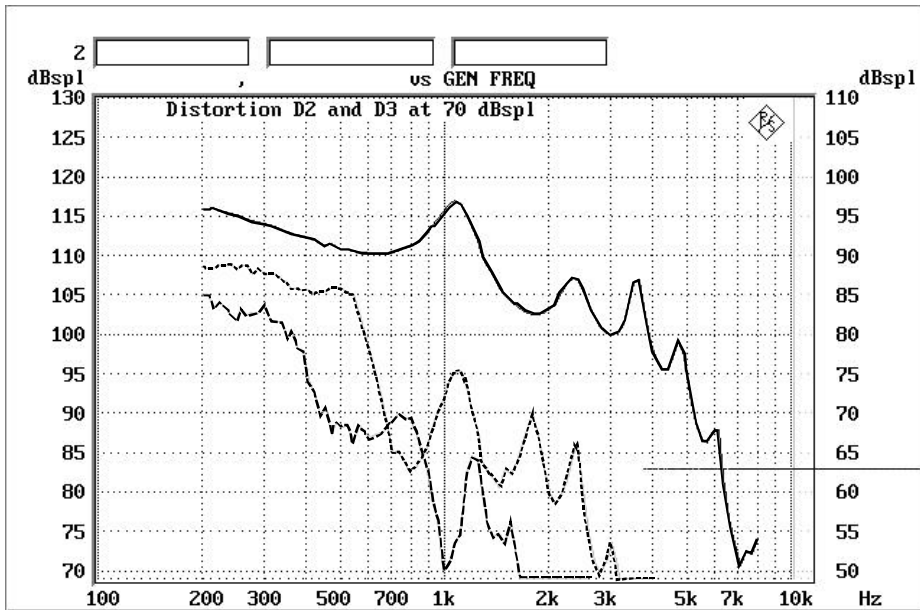


Bild 5: Messung des Klirrfaktors K2 und K3 bei 70 dB Schalldruckpegel als 20dB-Offsetkurven

5.5. Messen des äquivalenten Eingangsrauschens

Der Menüpunkt NOISE startet eine Referenzmessung bei dem in Config definierten Schalldruckpegel, berechnet daraus die akustische Verstärkung des Hörgerätes bei diesem Schalldruck und schaltet dann die Schallquelle ab.

Der dann gemessene Störschalldruck wird in Bezug zu dem gemessenen Schalldruck bei der Referenzmessung gesetzt, d.h. es wird aus dem gemessenen Ausgangsschalldruck und der Verstärkung des Hörgerätes der äquivalente Eingangs-Störschalldruck berechnet. Zusammen mit dem gemessenen Rauschwert wird die gemessene Verstärkung des Hörgerätes angezeigt.

Die Messung kann mit der Funktionstaste beliebig wiederholt werden um eventuelle kurzfristige Störungen durch Fremdschall eliminieren zu können. Sollten die Meßwerte von Messung zu Messung stark schwanken, wurde möglicherweise die Integrationszeit für die Rauschmessung zu klein gewählt, sie kann bei den Meßbedingungen unter CONFIG eingestellt werden und sollte nicht unter 1 Sekunde liegen.

Wurde im CONFIG-Menü die spektrale Darstellung des Eingangsrauschens gewählt, so wird erst die Verstärkung des Hörgerätes bei dem gewählten Schalldruck und anschließend das Eingangsrauschen mit einem Terzfilter über die Frequenz gemessen. Unter Berücksichtigung der gemessenen Verstärkung wird das Rauschspektrum als äquivalentes Eingangsrauschen dargestellt, siehe Bild 6.

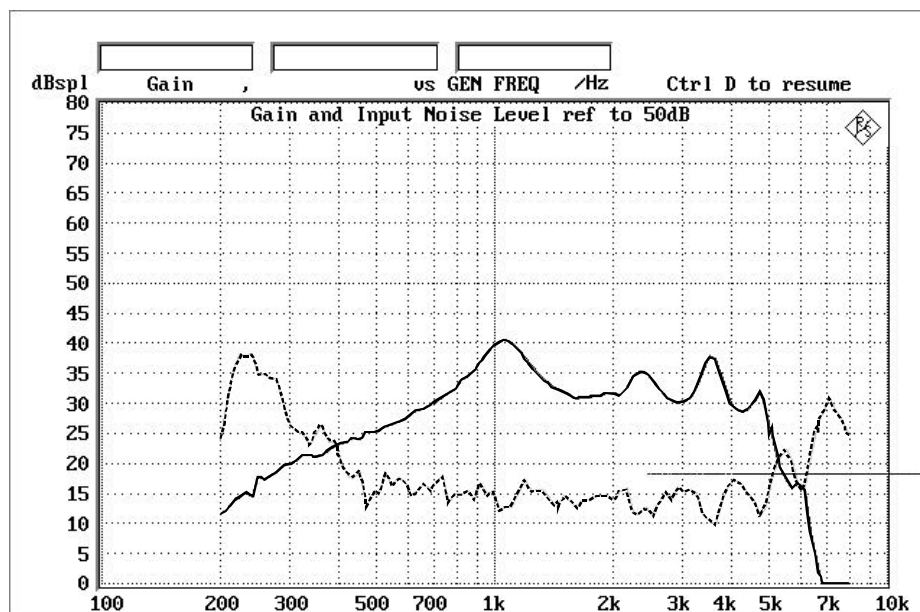


Bild 6: Messung des äquivalenten Eingangsrauschens über die Frequenz

5.6. Messen der Einschwing- und Ausschwingzeit der automatischen Verstärkungsregelung

Der Menüpunkt ATTACK startet eine automatische Messung der Attack- und Release-Zeiten für Hörgeräte mit automatischer Verstärkungsregelung (AGC).

Das dynamische Verhalten dieser Verstärkungsregelung hat entscheidenden Einfluß auf die Verständlichkeit des verstärkten Signales insbesondere bei starken Umgebungsgeräuschen. Eine Verstärkungsregelung soll sowohl den mittleren Schallpegel auf ein hörbares und verträgliches Maß bringen, als auch schnelle Lautstärkeänderungen wie z.B. in einzelnen Silben der Sprache schnell genug ausgleichen um die Schallpegelspitzen nicht zu lästig werden zu lassen.

Erreicht wird dies meist mit einer sehr schnell reagierenden Regelung, die im Millisekunden-Bereich in der Lage ist, eine Übersteuerung durch Reduzierung der Verstärkung zu vermeiden. Die Zunahme der Verstärkung bei abnehmenden Schallpegel muß erheblich langsamer erfolgen um eine zu starke Verzerrung des Eingangssignales zu vermeiden.

In modernen Geräten werden oftmals auch mehrstufige Regelungen eingesetzt, die ein entsprechend komplexes Regelverhalten erzeugen, speziell in solchen Fällen ist es auch interessant, das Verhalten der Regelung bei unterschiedlichen Schallpegeln zu prüfen.

Die Meßbedingungen wie Startpegel, Pegelsprung, Burstdauer, Intervalldauer und Toleranzprüfung können dazu bei der Eingabe der Meßbedingungen unter CONFIG definiert werden.

Die Messung wird automatisch durchgeführt und die Einschwing- und Ausschwingkurve wird vom Programm ausgewertet.

Die erzielbare Zeitauflösung hängt von der gewählten Prüffrequenz ab, da jeweils eine Periode des Prüfsignales erfaßt werden muß.

Die maximale Länge der grafischen Darstellung beträgt 7000 Meßpunkte, beträgt die gewählte Intervallzeit mehr als 7000 Perioden des Prüfsignales, wird die Zeitauflösung der Messung automatisch verringert.

Die Burstdauer und die Intervalldauer sind so zu wählen, daß die Verstärkungsregelung des Hörgerätes sowohl auf den Burst einschwingen, als auch nach dem Ende des Bursts bis zum Ende der Intervallzeit wieder ausschwingen kann.

Die grafische Darstellung der Meßkurve macht dies deutlich, das Programm prüft das Verhalten automatisch ab und gibt ggf. eine entsprechende Warnung aus. Die Messung kann ebenfalls zu Kontrollzwecken auf Tastendruck wiederholt werden.

```
Level 55 > 80 > 55dB
Frequency 2000 Hz
Burst duration 0.1 s
Interval dur. 1 s
Check to 2 dB

Attack time
18.00 ms

Release time
95.5 ms
```

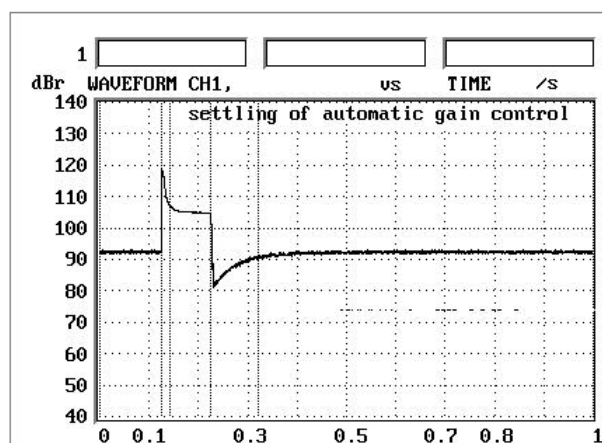


Bild 7: Beispiel einer Messung der Attack- und Release-Zeiten eines AGC-Hörgerätes

6. Protokollierung

Nach jeder Messung ist eine Ausgabe auf einen Drucker möglich.

Die Wahl des Druckers wird durch die im Audio Analyzer gewählte Einstellung bestimmt. Die Setups für die Hörgerätemessung sind alle mit der Einstellung "Default-Drucker" abgespeichert d.h. sie bestimmen nicht die Wahl des Druckers und der Druckereinstellungen. Dies hat den Vorteil, daß sich die Konfiguration automatisch den gegebenen Hardwarevoraussetzungen anpaßt und die Ausgabe so erfolgt, wie sie der Benutzer vorher schon für seinen angeschlossenen Drucker definiert hat. Es ist deshalb aber auch notwendig, daß die Druckerausgabe üblicherweise ohne Kommentar ausgedruckt wird, es wird sonst bei allen Ausdrucken der gleiche Kommentar angehängt - für Spezialfälle sicher auch u.U. ganz nützlich.

Nach dem Ausdruck der Grafik werden noch die Angaben zum Meßobjekt, dem Prüfer sowie Datum und Uhrzeit mit ausgedruckt, diese Angaben entsprechen den Eingaben bei dem Menüpunkt DUT.

Nach erfolgtem Ausdruck schaltet das Programm auf die Auswahl der Messungen zurück.

Die Protokollierung des Frequenzganges oder der Übertragungskennlinie in normgemäßer Skalierung auf einen Laserjetdrucker kann auf jeden angeschlossenen Drucker der Laserjetfamilie erfolgen, der über einen ausreichenden Speicher zum Ganzseitendruck in HPGL verfügt. Bei nicht ausreichender Speichergroße kann es vorkommen, daß nur ein Teil der Grafik ausgedruckt wird. Für diesen Ausdruck wird die gesamte Darstellung vom Programm berechnet und als direkte Ansteuerung in HPGL an den Drucker geschickt, eine Escape-Sequenz stellt automatisch den Drucker auf HPGL um und nach Beendigung des Ausdrucks wieder zurück. Eine Ausgabe auf andere Drucker ergibt keine sinnvolle Darstellung!

Ist ein Laserjetdrucker angeschlossen, so sollte auch in Audio Analyzer die Einstellung für Laserjet entsprechend dem vorhandenen Typ gewählt werden, damit auch andere Darstellungen auf dem gleichen Drucker ausgegeben werden können.

7. Beendigung der Applikation

Durch Betätigung der Escape-Taste auf der externen Tastatur bzw. der Cancel-Taste am UPD wird in die vorhergehende Menü-Ebene zurückgewechselt. Aus der obersten Menü-Ebene bewirkt die gleiche Taste die Beendigung des Programms, d.h. durch mehrmaliges Drücken kann das Programm aus jeder Menü-Ebene heraus beendet werden.

Um ein versehentliches Beenden zu verhindern, wird allerdings zuvor eine entsprechende Abfrage aktiviert.

Ein Abbruch der Software ist jederzeit über die Tastenkombination "CTRL BREAK" möglich. Die Eingabe von "CONT" setzt das Programm fort, "RUN" führt einen Neustart aus, dabei werden alle Variablen und daher auch eventuelle Meßwerte gelöscht.