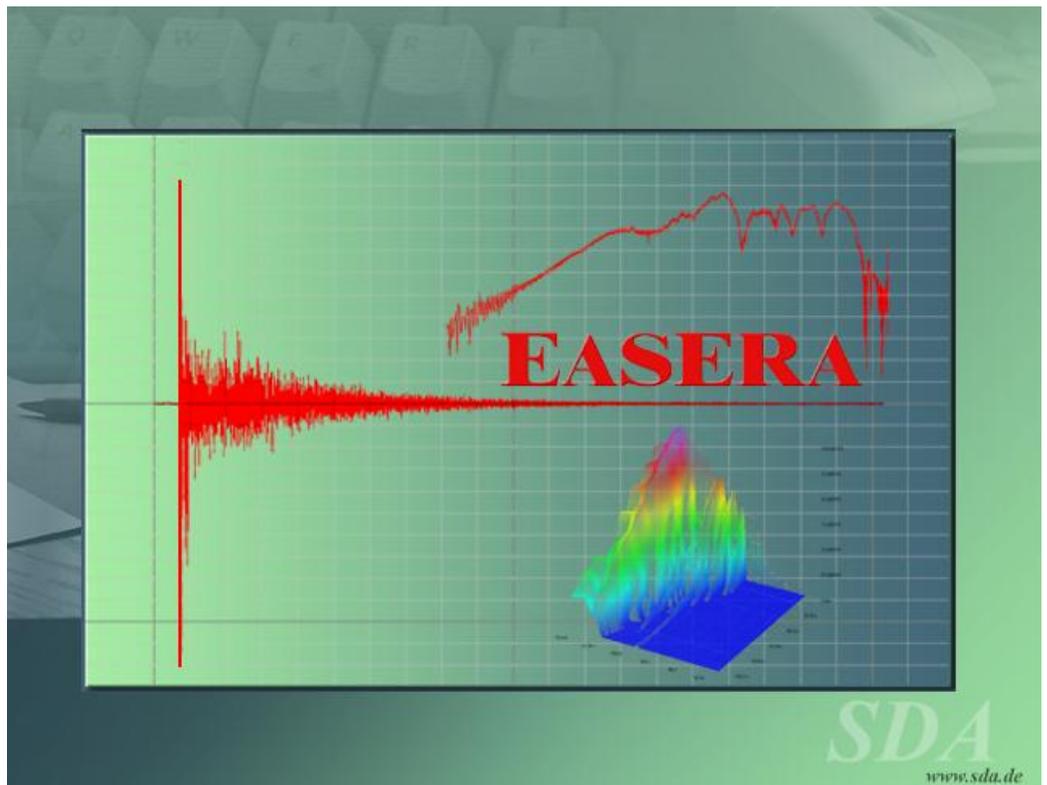


---

EASERA 1.2

# EASERA Tutorial



von AFMG Technologies GmbH, Berlin.

Oktober 2012

# Inhalt

<b>EASERA TUTORIAL</b> .....	<b>1</b>
<b>INHALT</b> .....	<b>2</b>
<b>ÜBERSICHT</b> .....	<b>6</b>
<i>Vorwort</i> .....	6
<i>EASERA vs. EASERA Pro</i> .....	6
<b>LEKTION 1 : MESSUNG AUSWERTEN</b> .....	<b>9</b>
EASERA STARTEN .....	10
DIE SEITE VIEW & CALC .....	11
DIE IMPULSANWORT .....	12
<i>Hineinzoomen</i> .....	13
FREQUENZGANG .....	14
<i>Overlay</i> .....	16
NACHHALLZEIT .....	16
SPRACHVERSTÄNDLICHKEIT .....	17
<b>LEKTION 2 : LIVE</b> .....	<b>19</b>
SOUNDKARTE WÄHLEN .....	20
DIE SEITE LIVE .....	22
<i>Kanalauswahl</i> .....	22
<i>Diagrammauswahl</i> .....	22
<i>Bandbreite</i> .....	23
<i>Frequenzgewichtung</i> .....	23
<i>Darstellung</i> .....	24
<i>Mouse Cursor</i> .....	24
<b>LEKTION 3 : EINE MESSUNG DURCHFÜHREN</b> .....	<b>25</b>
KANAL AUSWÄHLEN UND KALIBRIEREN .....	26
<i>Mikrofon kalibrieren</i> .....	29
ANREGUNGSSIGNAL .....	31
PEGEL ÜBERPRÜFEN .....	33
<i>Regler kalibrieren</i> .....	34
DIE MESSUNG STARTEN .....	34
<i>Mittelung</i> .....	35
<b>LEKTION 4 : WAS IST EINE IMPULSANTWORT?</b> .....	<b>36</b>
WAS IST EIN DIRAC? .....	37
<i>Was nutzt der Dirac-Impuls?</i> .....	39
DIE IMPULSANTWORT IN DER RAUMAKUSTIK .....	40
IMPULSANTWORT BEI LAUTSPRECHERN .....	44
<i>Signale addieren</i> .....	46
<i>Trennfrequenz bei 1kHz</i> .....	48
<i>Impulsantwort in der Praxis</i> .....	49
<b>LEKTION 5: MESSUNGEN MITTELN UND ADDIEREN</b> .....	<b>51</b>
ADDITION VON DATEN .....	52
<i>Frequenzauflösung und Phasenverhalten</i> .....	53
<i>Complex Vector</i> .....	53
<i>Wann verwenden wir welche Option</i> .....	55
MITTELUNG VON DATEN .....	55
<i>Sprachverständlichkeit</i> .....	55

Andere akustische Größen.....	56
Frequenzgang.....	56
<b>LEKTION 6: FILTERN UND FENSTERN .....</b>	<b>57</b>
OKTAV- UND TERZSPEKTREN.....	58
Terzspektren .....	60
FENSTERN .....	60
Verschieben der Kurve .....	60
Setzen des Fensters.....	61
Filtern.....	63
FENSTERN DER ANSICHT.....	63
Fenster-Typen.....	64
<b>LEKTION 7: ERGEBNISSE DARSTELLEN .....</b>	<b>66</b>
OVERLAYS ERSTELLEN .....	67
Die Navigator-Seite Overlay .....	69
Die Funktion Select Overlay.....	69
Add To Overlay .....	70
Display Active Only.....	71
CURSOR .....	71
Die Liste der Cursor.....	72
DIAGRAMMAUSSCHNITT .....	73
Full .....	73
Zoomen.....	74
View Limits.....	74
EXPORTIEREN VON DIAGRAMMEN .....	76
LEGENDE BEARBEITEN .....	76
<b>LEKTION 8: PROCESSING.....</b>	<b>78</b>
MATHEMATISCHE OPERATIONEN.....	79
Relative Berechnungswerte .....	80
Remove DC.....	82
VERSCHIEBUNGEN .....	82
Move Arrival to Zero .....	85
EDITING SEQUENCE .....	85
Processing für jede neue Messung .....	87
<b>LEKTION 9: MESSUNGEN AN VERSCHIEDENEN RAUMPOSITIONEN.....</b>	<b>88</b>
FRAUENKIRCHE DRESDEN.....	89
Durchführung der Messungen.....	89
AUSWERTUNG DER MESSUNGEN.....	89
Die Reflektionen .....	89
Echokriterium.....	90
Die Nachhallzeit.....	91
Frequenzgang.....	93
Einige akustische Maße.....	94
Sprachverständlichkeit .....	94
DIE BESCHALLUNGSANLAGE .....	95
Kurven mitteln.....	96
<b>LEKTION 10: WASSERFALLDIAGRAMME.....</b>	<b>98</b>
EIN WASSERFALLDIAGRAMM ERSTELLEN .....	99
Positionierung des Diagramms .....	99
Pegelspitzen am Diagrammende .....	100
Zweidimensionale Ansicht.....	100
FEINEINSTELLUNG DER DARSTELLUNG.....	100
Frequenzbereich und Glättung.....	101
Zeitbereich.....	101

<i>Pegelbereich</i> .....	102
<i>Scheiben oder Grid</i> .....	102
DETAILUNTERSUCHUNGEN MIT WASSERFALLDISPLAY .....	103
SPEKTROGRAMM.....	105
<b>LEKTION 11: SPRACHVERSTÄNDLICHKEIT .....</b>	<b>106</b>
DIE MODULATIONSÜBERTRAGUNGSFUNKTIONEN.....	107
DIE REGISTERSEITE RESULTS .....	108
BERÜCKSICHTIGUNG VOM UMGEBUNGSGERÄUSCHEN.....	109
<i>Berücksichtigung von Maskierungseffekten</i> .....	110
EIGENE FREQUENZGEWICHTUNG .....	110
DER MODULATIONSTRANSFERINDEX (MTI).....	111
<b>LEKTION 12 : ERLÄUTERUNG WEITERER MEßGRÖßEN .....</b>	<b>112</b>
DIAGRAMME DER ZEITEBENE .....	113
<i>Impulsantwort</i> .....	113
<i>ETC (Log-Squared und Envelope)</i> .....	113
<i>Schröder-Integral</i> .....	114
<i>Step Response</i> .....	114
<i>Energy Sum</i> .....	115
<i>Weighted Energy</i> .....	115
<i>Echogram</i> .....	116
<i>Echo (Speech und Music)</i> .....	116
DIAGRAMME DER FREQUENZEBENE.....	118
<i>Magnitude</i> .....	118
<i>Smoothed</i> .....	119
<i>Phase</i> .....	119
<i>Summe und Durchschnitt</i> .....	120
<i>Gruppenlaufzeit</i> .....	121
<i>Real- und Imaginäranteil</i> .....	122
BERECHNETE WERTE UND DIAGRAMME.....	122
<i>Arrival, C50, D/R, S/N</i> .....	122
<i>Schroeder RT</i> .....	126
<i>STI, STIPa, RaSTI, MTI</i> .....	126
<i>EDT, RT</i> .....	126
<i>C<sub>50</sub>, C<sub>80</sub></i> .....	127
<b>LEKTION 13: IN-SITU-MESSUNGEN .....</b>	<b>131</b>
DAS MEßVERFAHREN.....	132
DURCHFÜHRUNG DER MESSUNG.....	132
<i>Messung in Richtung auf die zu untersuchende Fläche</i> .....	133
<i>Messung des Freifeldes</i> .....	134
BERECHNUNG DES ÜBERTRAGungsverHALTENS.....	135
<i>Genauigkeit des Verfahrens</i> .....	136
<b>LEKTION 14 : BINAURALE MESSUNGEN.....</b>	<b>138</b>
ZWEIKANALIG MESSEN .....	139
INTERAURALE KREUZKORRELATION.....	140
<i>Messung in der Dresdener Frauenkirche</i> .....	140
<i>Ermittlung der interauralen Kreuzkorrelation</i> .....	141
<b>LEKTION 15: MESSUNG AN ELEKTRONISCHEN SCHALTUNGEN.....</b>	<b>143</b>
HARDWARE-REFERENZ.....	144
<i>Eine Hardware-Referenz erstellen</i> .....	144
<i>Eine Hardware-Referenz verwenden</i> .....	147
MESSUNG AM OBJEKT.....	148
<i>1 kHz voll abgesenkt</i> .....	149
<i>1 kHz voll angehoben</i> .....	150

---

<i>Gain bei -12 dB</i> .....	152
<b>LEKTION 16: SYSTEM- KALIBRIERUNG .....</b>	<b>155</b>
ALLGEMEINE VORBEMERKUNGEN .....	156
<i>Was ist eine Kalibrierung?</i> .....	156
VOLLSTÄNDIGE SYSTEMKALIBRIERUNG .....	157
<i>Kalibrierung des Ausgangs</i> .....	157
<i>Kalibrierung des Eingangs</i> .....	158
KALIBRIERUNG DER WINDOWS-MIXER.....	160
KALIBRIERUNG AUF DEN ABSOLUTEN MEß-PEGEL.....	161
<i>Gezielte Fehlkalibrierung</i> .....	162
<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>164</b>

# Übersicht

## Vorwort

Dieses Handbuch macht es sich zur Aufgabe, Ihnen ausreichende Grundkenntnisse über das Programm und seine vielen Funktionen und Fähigkeiten zu vermitteln. Der folgende Einführungskurs wird Sie durch die wichtigen Funktionen von EASERA / EASERA Pro führen, einschließlich der Durchführung von Messungen und des Auswertens von Messdaten.

**Anmerkung: Bitte überspringen Sie keinen Teil dieses Kurses. Die Zeit, die Sie beim Arbeiten mit den verschiedenen Übungen des Kurses investieren, wird Ihnen später Stunden über Stunden ersparen. Selbst nachdem Sie den Einführungskurs beendet haben, werden Sie es nützlich finden, von Zeit zu Zeit auf ihn zurückzukommen. Er enthält eine Fülle von nützlichen Hinweisen und zeitsparenden Kurzbefehlen. Sofern Sie jetzt keine Zeit haben, die Übungen des Einführungskurses auszuführen, gehen Sie den Kursus zumindest kurz Punkt für Punkt durch, um alle Funktionen von EASERA kennen zu lernen. Benutzen Sie dann das Handbuch als Nachschlagewerk, wenn Sie zur Lösung spezifischer Aufgaben eine Anleitung benötigen.**

Bei weiteren Fragen nutzen Sie bitte die EASERA / EASERA Pro Hilfedateien, das Dokument EASERAAppendix.pdf und die am Ende aufgeführten Fachbücher und Veröffentlichungen. Besuchen sie auch die EASERA Homepage <http://easera.afmg.eu> und das AFMG Internet Forum <http://www.afmg-network.com/>, sowie die Web-Seiten Ihres EASERA Händlers:

- Weltweiter Vertrieb durch AFMG Technologies GmbH: <http://www.afmg.eu>
- Universitätslizenzen über AFMG Foundation gGmbH: <http://www.afmg-foundation.de/>

## EASERA vs. EASERA Pro

EASERA ist in zwei Versionen verfügbar, als Standardversion EASERA und als Professional-Version EASERA Pro. Im Vergleich zur Standardversion besitzt die Professional-Version einen erweiterten Funktionsumfang, der die Auswertung komplexerer Messungen vereinfacht und die Anwendung fortgeschrittener Messmethoden erlaubt.

Sowohl EASERA als auch EASERA Pro können modular erweitert werden. Das *TDS* Modul ermöglicht Time Delay Spectrometry-Messungen und -Auswertungen, das *MLS* Modul Maximallängensequenz-Messungen und das *Polars* Modul automatisiertes Messen. (EASERA Pro beinhaltet auch das MLS-Modul.)

**Anmerkung; Der folgende Einführungskurs wurde sowohl für EASERA als auch für EASERA Pro Nutzer geschrieben. Allerdings sind einige der beschriebenen Funktionen nur in EASERA Pro verfügbar. Auch wenn Sie kein EASERA Pro besitzen, empfehlen wir diese Kapitel zum besseren Verständnis zu lesen. Sollte der Funktionsumfang von EASERA Ihren Anforderungen nicht genügen, sollten Sie gegebenenfalls den Erwerb einer EASERA Pro Lizenz in Betracht ziehen.**

Die folgende Liste gibt einen Überblick über den erweiterten Funktionsumfang von EASERA Pro und der Zusatzmodule verglichen mit der Standardversion. (Die Liste basiert auf der Software-Version 1.2 und kann sich zukünftig ändern.)

## **Messfunktionen**

EASERA Pro bietet zusätzlich:

- Abtastraten höher als 48 kHz
- Messkonfigurationen mit mehr als 2 Kanälen
- Erzeugung und Nutzung eigener Anregungssignale
- Erzeugung und Nutzung von Makros für die automatisierte Nachbearbeitung von Messungen

Das TDS-Modul bietet zusätzlich:

- TDS Sweep-Signale und Messungen

EASERA Pro und MLS-Modul bieten zusätzlich:

- MLS-Anregungssignale, MLS-Messungen und Hadamar-Transformationen

Das Polars-Modul bietet zusätzlich:

- Automatisierung für sequenzielle und Balloon-Messungen
- Fernsteuerung externer Geräte, wie z.B. Messroboter oder Drehteller

## **Echtzeit-Analyse (Live)**

EASERA Pro bietet zusätzlich:

- Toleranzmodus für die Ereigniserkennung und -protokollierung
- Abtastraten höher als 48 kHz

## **Post-Processing (View & Calc)**

EASERA Pro bietet zusätzlich:

- Editierfunktionen, wie
  - Gleichanteil Entfernen, Wert setzen auf
  - Wert Addieren, Subtrahieren, Multiplizieren mit Wert, Dividieren durch Wert, Skalieren
  - Quadrieren, Quadratwurzel, Kehrwert, Potenzieren
  - Glätten, Vergrößern/Verkleinern, Ändern von Längen
  - Dividieren, Subtrahieren, Multiplizieren von Messdateien
  - Entfernen der Luftdämpfung, Ändern der Sample Rate
- Nichtlinearitätsanalyse
  - Harmonische
  - Relative Spektren (K2 bis K7)

- THD

Das TDS-Modul bietet zusätzlich:

- Software-basiertes TDS Post-Processing und Frequenzanalyse

Anmerkung:

Die folgenden Editierfunktionen sind in der EASERA Standardversion verfügbar:

- Filterung
- Fensterung
- Mitteln von Messdateien
- Addieren von Messdateien
- Zyklisches Verschieben
- Rückgängig machen / Wiederholen
- Kopieren / Einfügen

# Lektion 1: Messung auswerten

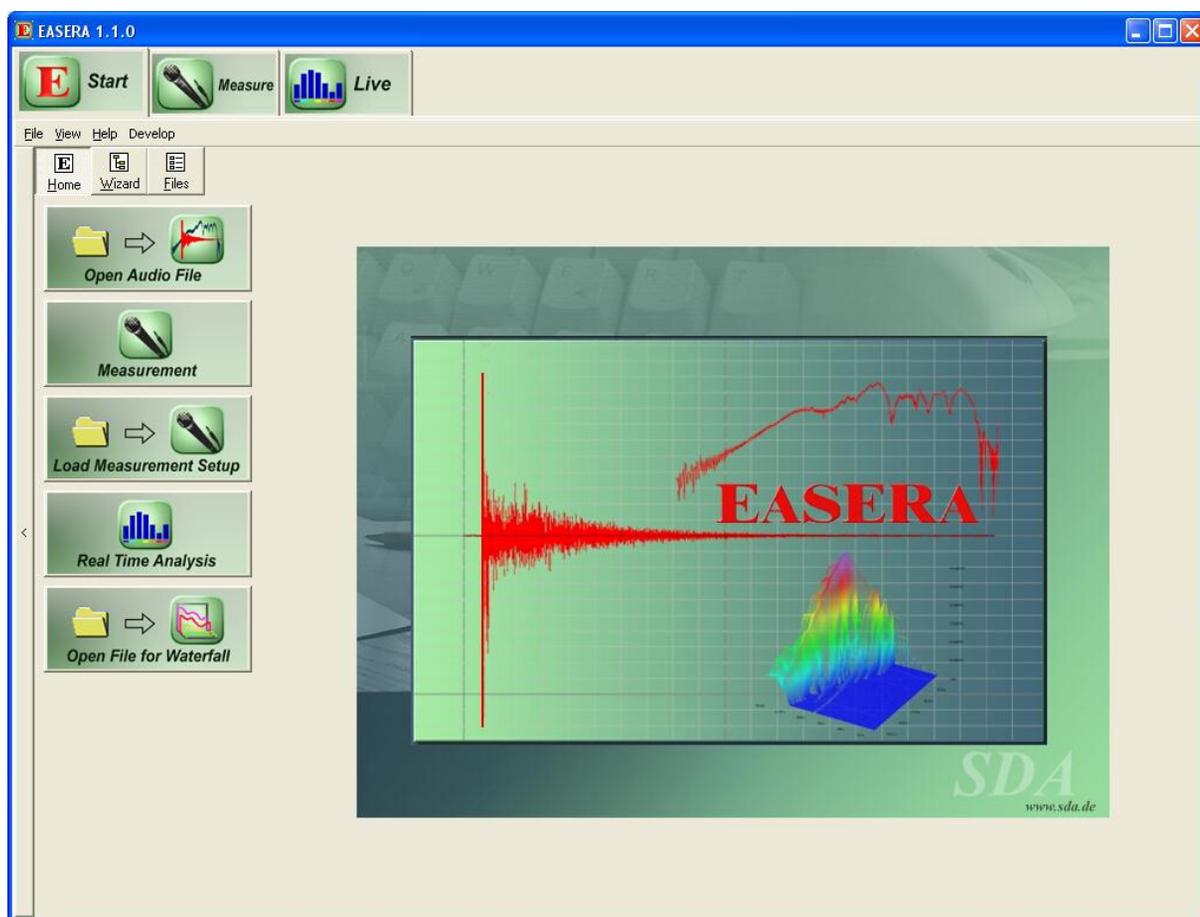
In unserer ersten Lektion werden wir eine bestehende Datei öffnen und damit einige Auswertungen machen.

## EASERA starten

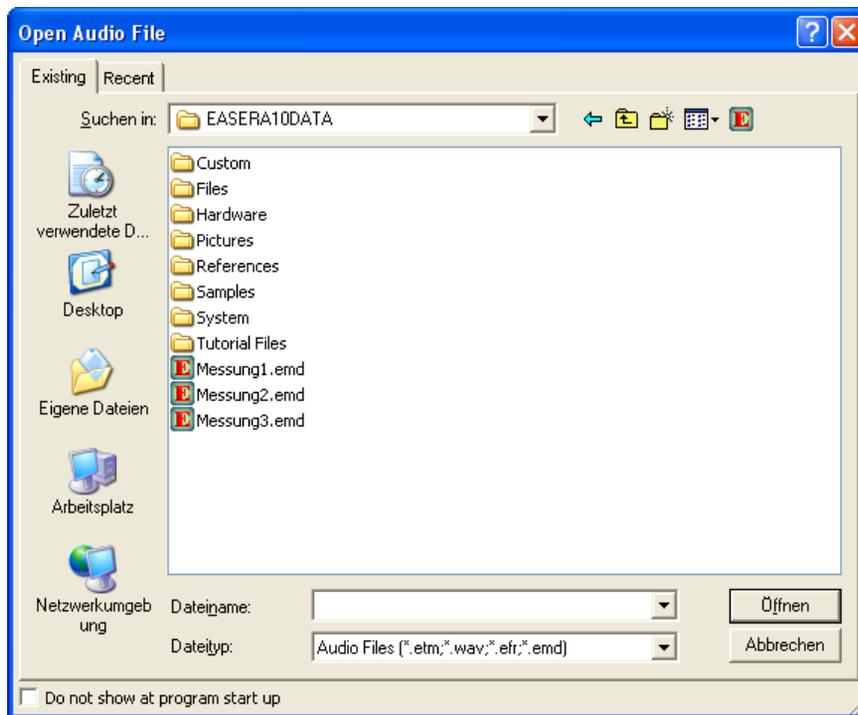
Nach der Installation von EASERA sollten Sie folgendes Symbol auf dem Desktop haben:



Starten Sie EASERA mit einem Doppelklick auf dieses Symbol (alternativ Alle Programme|AFMG|EASERA|EASERA). Sie gelangen damit auf die Seite *Start*.



Auf diesem Startbildschirm finden Sie links fünf große Buttons, von denen der oberste mit *Open Audio File* beschriftet ist. Mit einem Linksklick auf diesen Button gelangen Sie in den Dialog zum Öffnen einer Datei.



Dieser Dialog hat zwei Seiten:

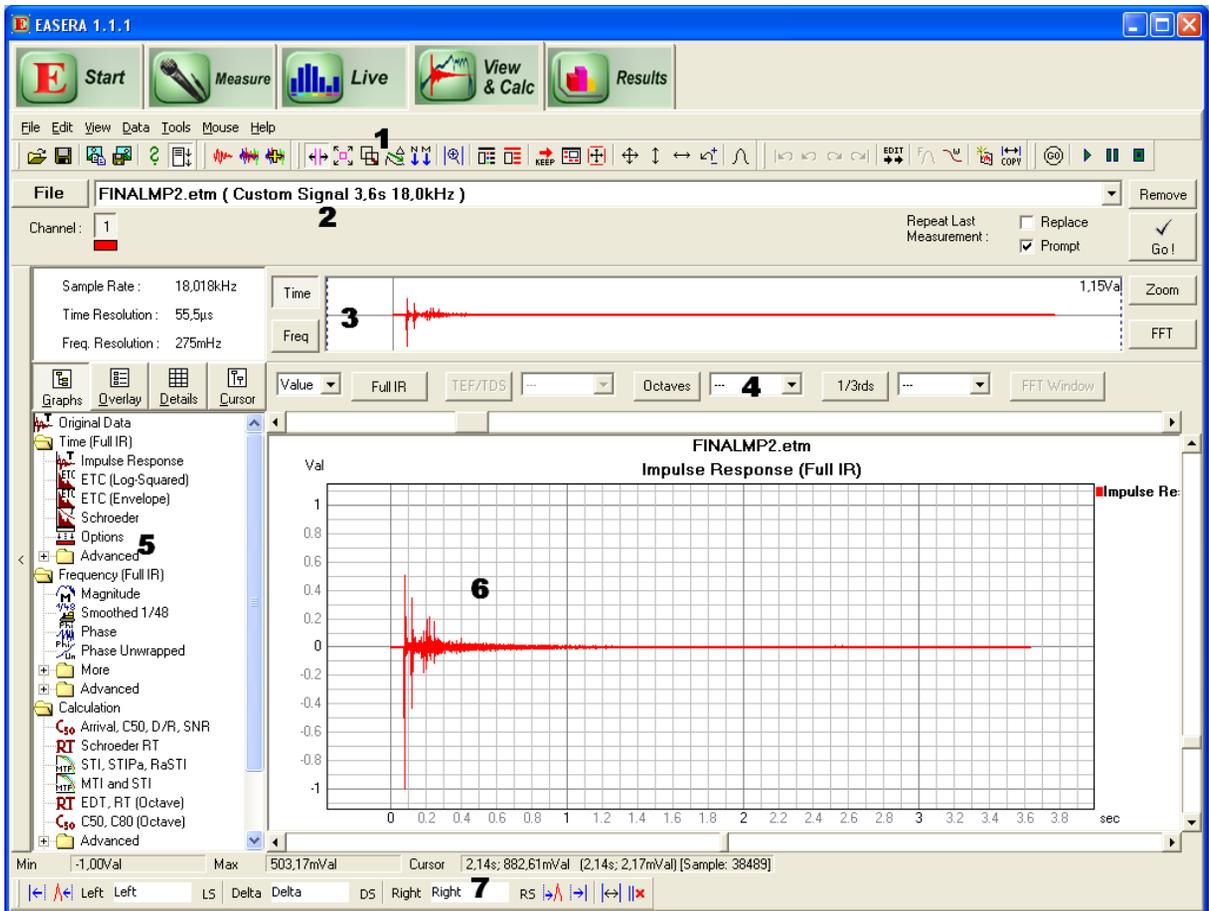
- Unter *Open Audio File* finden Sie eine Baumansicht Ihrer Festplatte, ähnlich dem Explorer von Windows.
- Eine Liste der Dateien, mit denen Sie zuletzt gearbeitet haben, finden Sie unter *Recent Files*.

Wählen Sie unter `..\EASERA10DATA\Tutorial Files` die Datei `FINALMP2.etm` und klicken dann auf *Öffnen*.

Bei der Datei `FINALMP2.etm` handelt es sich um eine Impulsantwort, die in einem Foyer der Messe Berlin mit dem DOS-Messsystem MLSSA seiner Zeit gemessen wurde. Daraus erklärt sich auch die Samplerate von nur 18 kHz, wie wir später sehen werden.

## Die Seite View & Calc

Mit dem Öffnen der Datei wechseln Sie auf die Seite View & Calc. Auf dieser Seite finden Sie sehr viele Optionen, so dass man auf den ersten Blick vielleicht den Überblick verlieren könnte. Es ist aber alles sehr logisch aufgebaut, so dass Sie sich schnell zurechtfinden werden:



- (1) Ganz oben haben Sie – wie in den meisten Windows-Programmen - eine Menü- und eine Buttonzeile
- (2) Darunter finden Sie den Dateibereich: Hier können Sie zwischen den vorhandenen Dateien wählen, neue Dateien hinzufügen oder einer erneute Messung veranlassen.
- (3) Darunter schließt sich der Übersichtsbereich an: Hier wird die gewählte Datei entweder als Zeit- oder als Frequenz-Diagramm angezeigt.
- (4) Im Filterbereich können Oktav- oder Terzfilter sowie eine Fensterung der Daten gewählt werden.
- (5&6) Der größte Platz ist dem Auswertungsbereich vorbehalten: (5)Links kann in der Navigator-Seite *Graphs* gewählt werden, welches Diagramm (6) rechts dargestellt werden soll.
- (7) In den Fußzeilen werden noch einige Informationen angezeigt, sowie einige Marker-Funktionen zur Verfügung gestellt.

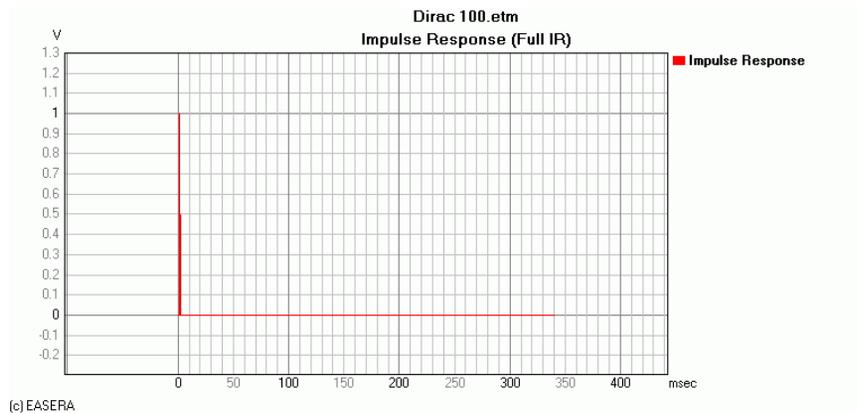
Wir wollen uns nun einige Funktionen dieser Bereiche ansehen.

## Die Impulsantwort

Als erstes Diagramm wird die Impulsantwort angezeigt. Eine Impulsantwort ist das Systemverhalten, das aus einem minimal kurzen Anregungsimpuls (Dirac) resultiert. Mit einer solchen Impulsantwort ist das Systemverhalten eines linearen Systems vollständig beschrieben, alle anderen Auswertungen können davon abgeleitet werden.

Reale Systeme haben kein ideal lineares Systemverhalten: Durch thermisches Rauschen, durch Einstreuungen von Störquellen, durch Verzerrungen und durch andere Einflüsse weicht ihr reales Verhalten vom idealen Systemverhalten ab. Diese Abweichungen werden durch die Impulsantwort nicht beschrieben.

Ein minimal kurzer Anregungsimpuls würde wie folgt aussehen:



In EASERA wird zur Anregung kein solcher Impuls verwendet, sondern die Impulsantwort aus geeigneteren Anregungssignalen gewonnen. Wir werden uns das später noch ansehen.

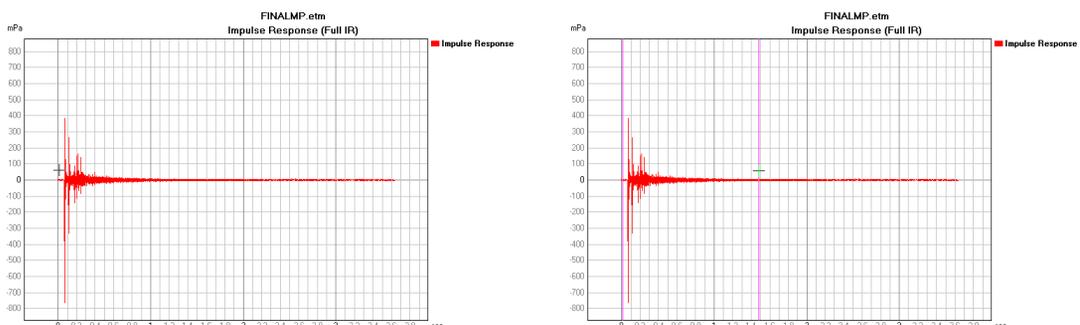
Wenn wir uns die Impulsantwort (englisch Impulse Response, IR) von FINALMP2.etm ansehen, dann stellen wir fest, dass der erste Impuls der IR nach unten ausschlägt (bei der MLSSA-Messung wurde nicht auf die Standardpolung der Messkette geachtet), und dass er mit einigen Raumreflexionen und einem gewissen Nachhall “ausklingt” (so wie das für eine raumakustische Messung typisch ist).

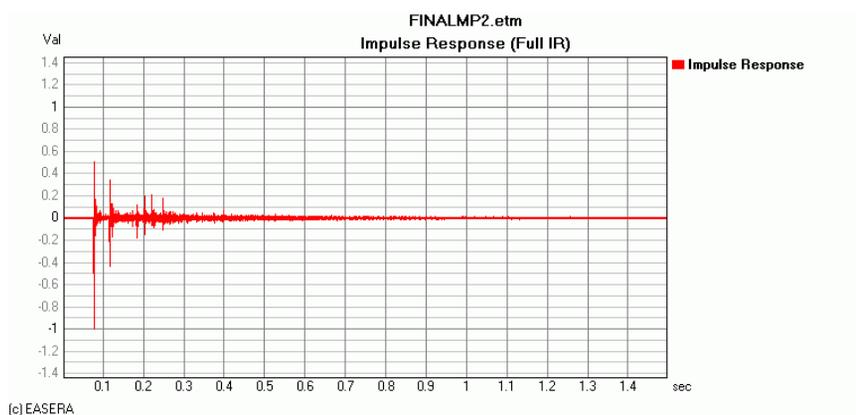
## Hineinzoomen

Der interessante Teil dieser Impulsantwort spielt sich in den ersten 1,5 s ab, und in diese wollen wir nun mal hineinzoomen. Dazu stellen wir sicher, dass wir uns im Zoom-X-Modus befinden:



Dann ziehen wir mit der Maus auf dem Diagramm den Bereich von 0s bis 1,5 s auf. (Wir bewegen die Maus an die X-Position von 0, klicken mit der linken Maustaste und halten diese unten, ziehen die Maus an die X-Position von 1,5 s und lassen die Maustaste wieder los.)



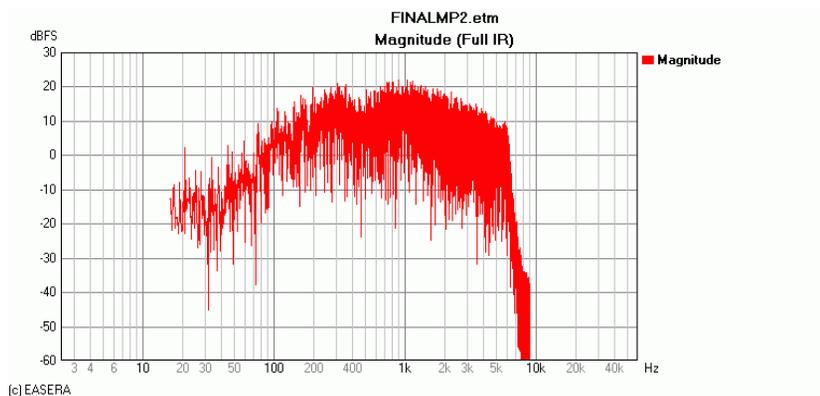


Wir sehen hier nun deutlich den Hauptimpuls, nach etwa 40 ms eine ausgeprägte erste Reflexion, vier weitere deutliche Reflexionen sowie einen ausklingenden Nachhall.

Man könnte nun in das Diagramm weiter hineinzuzoomen, indem man entsprechende Bereiche mit der Maus aufzieht. Um wieder die vollständige Impulsantwort anzuzeigen, führen Sie einfach einen Doppelklick auf das Diagramm aus. (Alternativ wählen Sie den Menüpunkt View|Full oder den entsprechenden Button auf der Buttonleiste.)

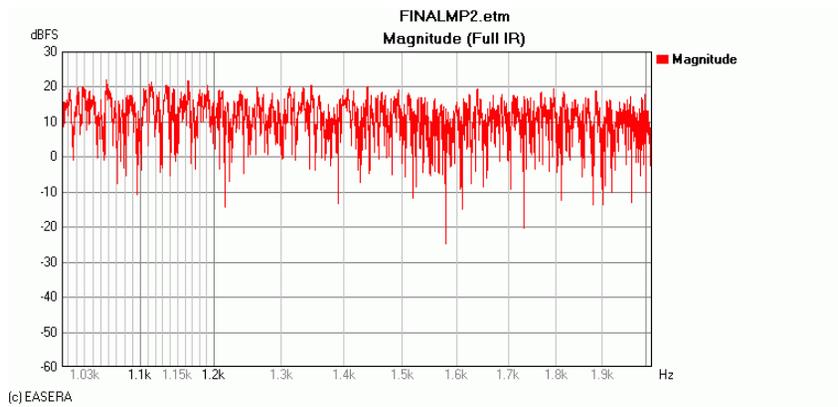
## Frequenzgang

Nun wollen wir uns den Frequenzgang dieses Raumes an der Mikrofonposition ansehen. Dazu klicken wir in der Navigator-Seite *Graphs* auf den Eintrag *Magnitude*.



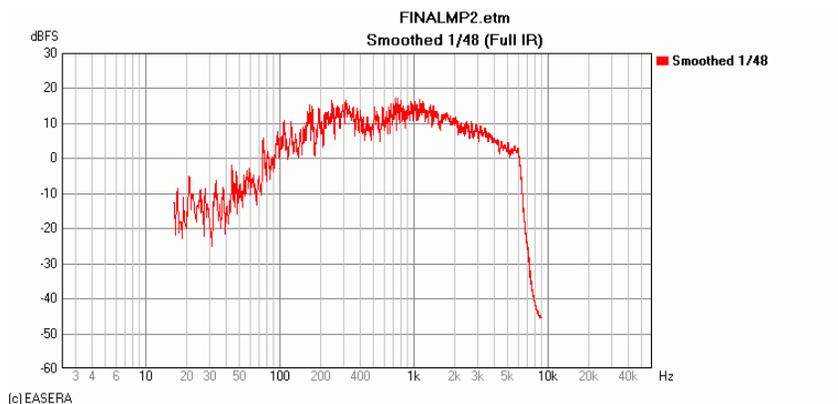
Zunächst fällt auf, dass der Frequenzgang zwischen 6 und 9 kHz um etwa 70 dB abfällt. Links oben im Übersichtsbereich ist eine *Sample Rate* von 18 kHz angegeben – oberhalb von 9 kHz enthält die Messung keine Daten mehr.

Des Weiteren fällt auf, dass mit steigender Frequenz die Kurve zunehmend sehr „flächig“ wird. Die Ursache wird klar, wenn wir in den Bereich zwischen 1 kHz und 2 kHz hineinzuzoomen (entsprechenden Bereich mit der linken Maustaste aufziehen):

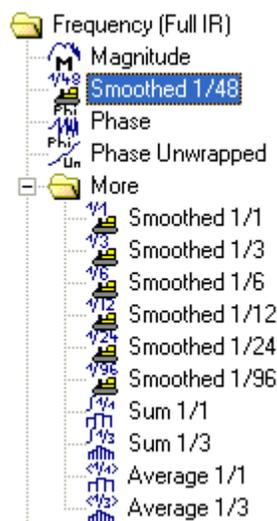


Wir haben hier einen Frequenzgang der “kammfilterartig” aussieht, also eine Folge von sehr schmalen Einbrüchen im Frequenzgang darstellt, die durch Interferenzen der vielen Raumreflexionen entstehen. Mit einem Doppelklick auf das Diagramm kehren wir zurück zum vollständigen Frequenzgang.

Nun ist es schwer, aus solchen dichten Darstellungen sinnvolle Informationen herauszulesen. Deswegen werden Frequenzgänge üblicherweise geglättet. Klicken Sie in der Navigator-Seite *Graphs* auf *Smoothed 1/48*, um eine Glättung auf 1/48 Oktave anzuwenden.



Das sieht nun schon übersichtlicher aus, könnte aber immer noch zu detailliert sein, wenn Sie diesen Frequenzgang mit einem Equalizer linearisieren wollten. Im Ordner *More* finden Sie deshalb eine Reihe von weiteren Glättungsintervallen:

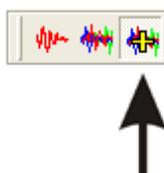


Wenn Sie mit einem Terzband-Equalizer arbeiten, könnte eine Glättung auf eine Terz, also  $1/3$  Oktave sinnvoll sein. Allgemein genügt diese Glättung, da sie uns zeigt, wo vielleicht noch Einbrüche oder Überhöhungen im Frequenzgang vorhanden sind, die man erfahrungsgemäß dann auch hört. Eine Glättung auf einen Halbton würde  $1/12$  Oktave entsprechen.

## Overlay

Wir wollen nun ein Overlay (auf Deutsch “Überlagerung”) erstellen, also mehrere Kurven in einem gemeinsamen Diagramm anzeigen. Dazu wählen wir zunächst den Frequenzgang mit einer Glättung auf eine zwölftel Oktave (*Smoothed 1/12*).

Dann aktivieren wir die Funktion *Add To Overlay*:



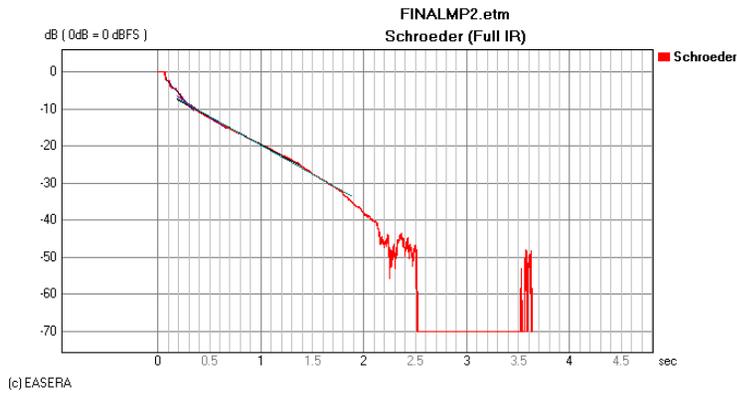
Nun fügen wir die Darstellung des durchschnittlichen Pegels in jedem Terzband hinzu (*Average 1/3*) und erhalten das folgende Diagramm:



Deaktivieren Sie die Funktion *Add To Overlay* nun wieder.

## Nachhallzeit

Weiter wollen wir die Nachhallzeit bestimmen und klicken in der Navigator-Seite *Graphs* auf *Schroeder RT* (unten im Bereich *Calculation*). Als Diagramm wird nun der Schröder-Plot der Impulsantwort dargestellt, also die vorhandene Energie der IR vom Ende her aufintegriert (Backward-Integration):



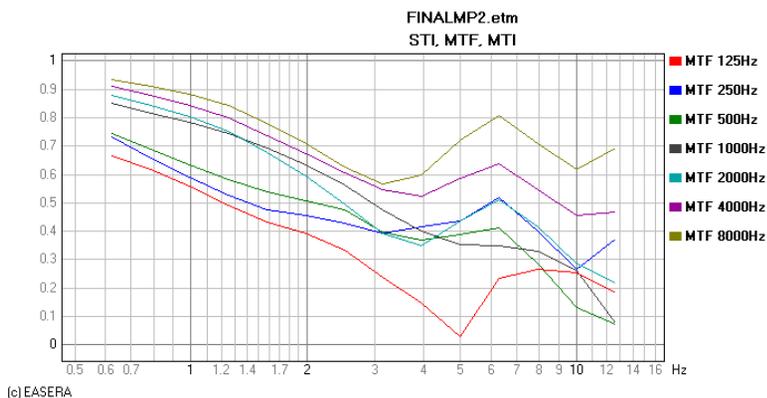
Gleichzeitig wird im Navigator auf die Seite Details gewechselt, dort werden die verschiedenen Werte für die breitbandige Nachhallzeit angezeigt:

	RT	
EDT	1,92 s	
T10	3,23 s	
T20	4,00 s	
T30	3,83 s	
Time From	0 s	
Time To	0 s	
Noise Comp.:	<input type="checkbox"/> ON	

Die Unterschiede zwischen EDT, T10, T20 und T30 wollen wir uns später ansehen, ebenfalls die anderen Besonderheiten der Nachhallzeit (Geräuschkompensation, Oktavband-Nachhallzeiten...).

## Sprachverständlichkeit

Um die Sprachverständlichkeit zu ermitteln, klicken wir auf der Navigator-Seite *Graphs* auf den Eintrag *STI, STIPa, RaSTI*. Als Diagramm werden hier die Modulationsübertragungsfunktionen angezeigt:



Und auf der Navigator-Seite *Details* finden wir die berechneten Werte:

STI	0,529
AlCons [%]	9,687
STI (Male)	0,539
STI (Female)	0,554
RaSTI	0,505
Equiv. STIPa (Male)	0,554
Equiv. STIPa (Female)	0,566

Auch des Themas *Sprachverständlichkeit* wollen wir uns noch ausführlich annehmen, aber nicht gleich in der ersten Lektion.

# Lektion 2: Live

EASERA führt Messungen für gewöhnlich so durch, dass ein Anregungssignal ausgegeben wird, die Antwort des Messobjektes aufgezeichnet und daraus eine Impulsantwort berechnet wird, aus der dann alle anderen Größen abgeleitet werden. Wir werden uns das noch ausführlich ansehen.

Bisweilen braucht man jedoch eine permanent aktualisierte Darstellung des Frequenzgangs, so wie man sie von alten Realtime-Analysern (RTA) her kennt. Mit einer solchen Darstellung kann man beispielsweise die Signalkette vor einer Messung überprüfen oder den Energiegehalt und die spektrale Zusammensetzung von Nebengeräuschen untersuchen.

Diese Echtzeit-Frequenzanalyse wird auf der Seite *Live* durchgeführt.

## Soundkarte wählen

Bevor wir auf die Seite *Live* wechseln, wollen wir zunächst sicherstellen, dass die richtige Soundkarte gewählt ist und gegebenenfalls eine andere einstellen.

Mit Hilfe des Buttons *Measure* am oberen Rand wechseln wir auf die Seite *Measure*.



Dort wählen wir den Abschnitt *Select Measurement Setup*:

**Select Measurement Setup**

Measurement Setup

Single Channel Select Setup Load Save

**1** Input **2** **1** Output **2**

EASERA GATEWAY ASIO Driver Select EASERA GATEWAY ASIO Driver Select

Channel #1 Output

HW Input 1: Mic/InstIn 1 Config HW Output 1: MainOut 1L Config

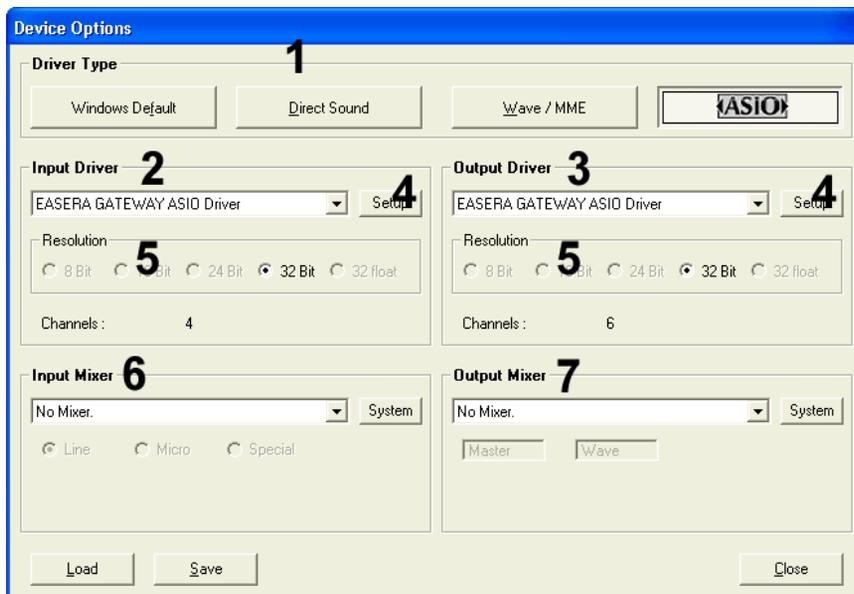
Calibrate  Calibrate

Microphone ECM-40 an EG 12h Edit System in Use Default Lspk Edit

No Second Input No Second Output

In diesem Abschnitt finden Sie viele Einstellmöglichkeiten, die im Moment noch nicht interessieren sollen. Direkt unter der Überschrift *Input* beziehungsweise *Output* finden wir den aktuell gewählten Treiber (1), hier im Beispiel *EASERA GATEWAY ASIO Driver*. Aus dem Treiber der Soundkarte ergibt sich auch die verwendete Soundkarte, in diesem Fall das *EASERA GATEWAY*.

Sollte die falsche Soundkarte gewählt sein, dann klicken Sie auf den Button *Select* (2). Sie öffnen damit den Dialog *Device Options*:



Oben im Dialogfenster sehen Sie vier Buttons (1) für die verschiedenen Treibertypen, die EASERA unterstützt:

- Sofern die verwendete Soundkarte einen ASIO-Treiber zur Verfügung stellt, sollten Sie diesen verwenden. Sie haben damit die Möglichkeit, mehr als zwei Eingangskanäle zu verwenden.
- Wenn kein ASIO-Treiber zur Verfügung steht, dann sollten Sie *Direct Sound* verwenden.
- Steht auch das nicht zur Verfügung (oder arbeitet nicht stabil), nehmen Sie *Wave/MMW*.
- Wenn mit all diesen Einstellungen EASERA nicht sofort arbeitet, dann verwenden Sie *Windows Default*. Dann arbeitet EASERA mit den Windows-API-Funktionen und der Soundkarte, die in der Windows-Systemsteuerung eingestellt ist.

Je nach dem, welchen Treibertypen Sie gewählt haben, stehen dann die entsprechend installierten Treiber in den Auswahllisten unter *Input Driver* (2) und *Output Driver* (3) zur Verfügung.

Mit einem Mausklick auf den Button *Setup* (4) öffnen Sie den entsprechenden Dialog des Soundkartentreibers, um dort Einstellungen vorzunehmen, beispielsweise die Sample-Rate.

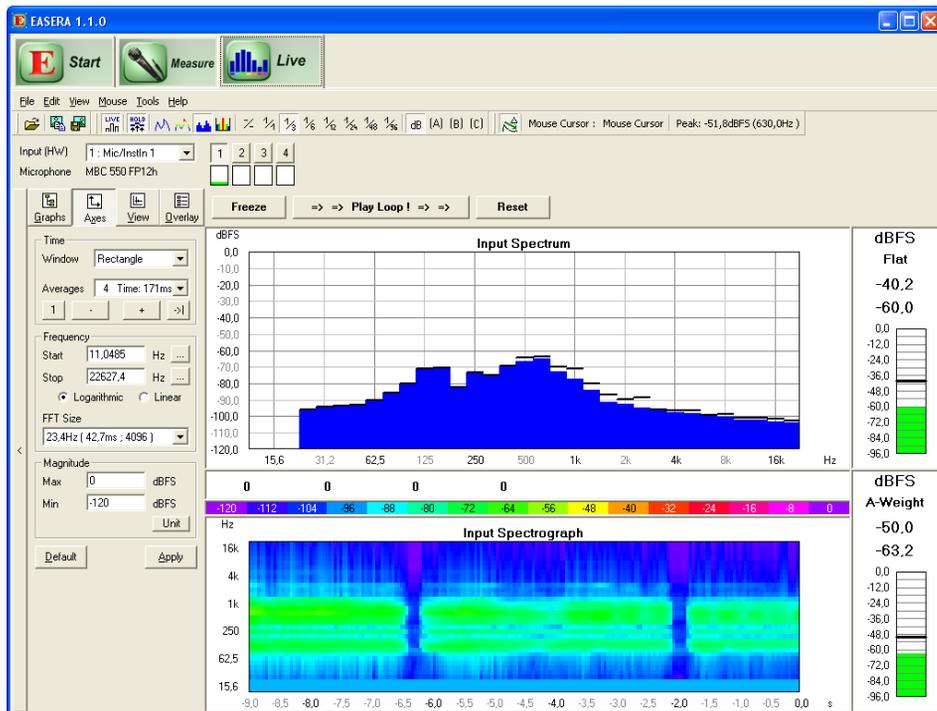
Unter *Resolution* (5) können Sie die Bit-Auflösung einstellen, sofern der Treiber mehrere Möglichkeiten zulässt.

Unter *Input Mixer* (6) und *Output Mixer* (7) können Sie auswählen, ob und wenn ja, welche Mischer verwendet werden sollen. Das werden wir uns später noch mal genauer ansehen.

Mit *Close* schließen Sie den Dialog und übernehmen die Einstellungen.

## Die Seite Live

Wechseln wir nun auf die Seite *Live*:



Unter dem Menü und der Buttonleiste ist diese Seite in drei Segmente geteilt:

### Kanalauswahl

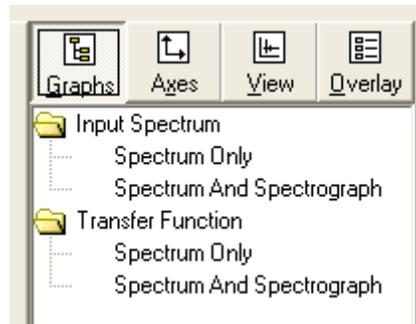
Ganz oben befindet sich die Kanalauswahl. Hier können Sie den Kanal wählen, der angezeigt werden soll:



Unterhalb der Buttons sind kleine Aussteuerungsanzeigen, so dass Sie sehr schnell sehen, auf welchen Kanälen Signale anliegen. Je nach ausgewählter Hardware sind bis 32 Kanäle von der EASERA Pro Version, ansonsten 4 Kanäle vom EASERA Gateway oder 8 Kanäle beim AUBION X.8 sofort verarbeitbar. Für gewöhnlich haben diese Aussteuerungsanzeigen die Farbe grün. Nähert sich der Pegel der Clipping-Grenze, dann wechselt die Farbe nach gelb. Wird die Aussteuerungsanzeige rot, dann hat der Pegel die Clipping-Grenze erreicht, und Sie sollten den Pegel zurücknehmen, da andernfalls Verzerrungsprodukte die Messung verfälschen.

### Diagrammauswahl

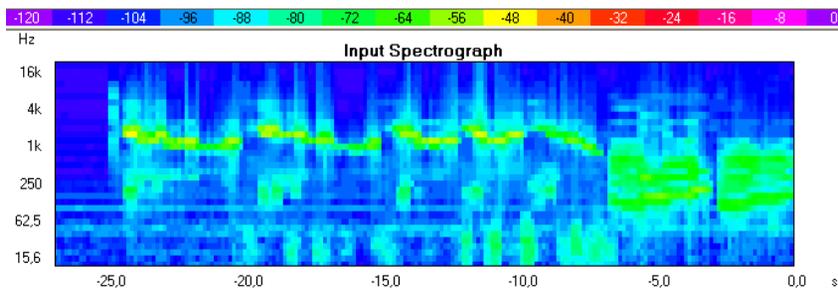
Auf der Navigatorseite *Graphs* können Sie wählen, welches Diagramm Ihnen angezeigt werden soll. Zur Verfügung stehen *Input Spectrum* und *Transfer Function*, jeweils in den Varianten *Spectrum Only* und *Spectrum And Spectrograph*.



Bei *Input Spectrum* wird das Signal des gewählten Kanals einer Frequenzanalyse unterzogen. Bei *Transfer Function* wird das Verhältnis der Signale von einem Kanal zu einem anderen gebildet, und dieser Quotient (auf der logarithmischen dB-Skala als Differenz) einer Frequenzanalyse unterzogen. Dazu muss natürlich stets auch ein Referenzkanal gewählt werden:

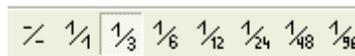


Das Frequenzspektrum, also der Pegel über der Frequenz, wird stets angezeigt. Optional ist die Anzeige des Spektrogramms, bei dem der Verlauf des Spektrums über der Zeit dargestellt wird. Der Pegel wird dabei durch die Farbe visualisiert:



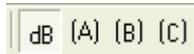
## Bandbreite

Wenn Sie mit EASERA einen Terzband-Equalizer einstellen wollen, dann werden Sie zweckmäßigerweise mit einer Bandbreite von  $1/3$  Oktave arbeiten. EASERA erlaubt aber auch andere Bandbreiten:



## Frequenzgewichtung

Das gemessene Signal kann linear dargestellt werden (Einstellung *dB*), oder mit der Frequenzgewichtung A, B oder C nach DIN IEC 651.



Die gewählte Frequenzgewichtung wird auch für die gewichtete Aussteuerungsanzeige auf der rechten Seite verwendet.

## Darstellung

Mit den folgenden Buttons kann spezifiziert werden, wie EASERA das Frequenzspektrum anzeigt:



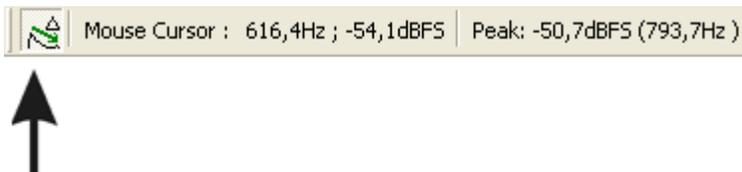
Mit dem ersten Button (*Live*) kann die Echtzeit-Analyse ein- und ausgeschaltet werden, mit dem zweiten Button (*Hold*) die Peak-Hold-Darstellung. Die Peak-Hold-Darstellung zeigt das Maximum des Spitzenpegels statt den Mittelungswert des Momentanpegels an. Dieses Maximum wird dann 1 Sekunde lange gehalten, so dass leicht zu erkennen ist, wo der maximale Spitzenpegel liegt.

Mit den nächsten drei Buttons kann dargestellt werden, wie die Echtzeitanalyse dargestellt wird:

- Einfarbige Kurve
- Mehrfarbige Kurve
- Einfarbige Balken
- Mehrfarbige Balken

## Mouse Cursor

Am Ende der Buttonleiste wird die Position des Mauszeigers angezeigt, umgerechnet in die Einheiten der Achsenskalen.



Mit dem Button *Peak* kann eingestellt werden, ob der tatsächliche Pegel der y-Mausposition angezeigt wird oder der Pegel des Frequenzbandes, das sich an der x-Position des Mauszeigers befindet. Als Peak wird der maximale Pegel aller Frequenzbänder angezeigt.

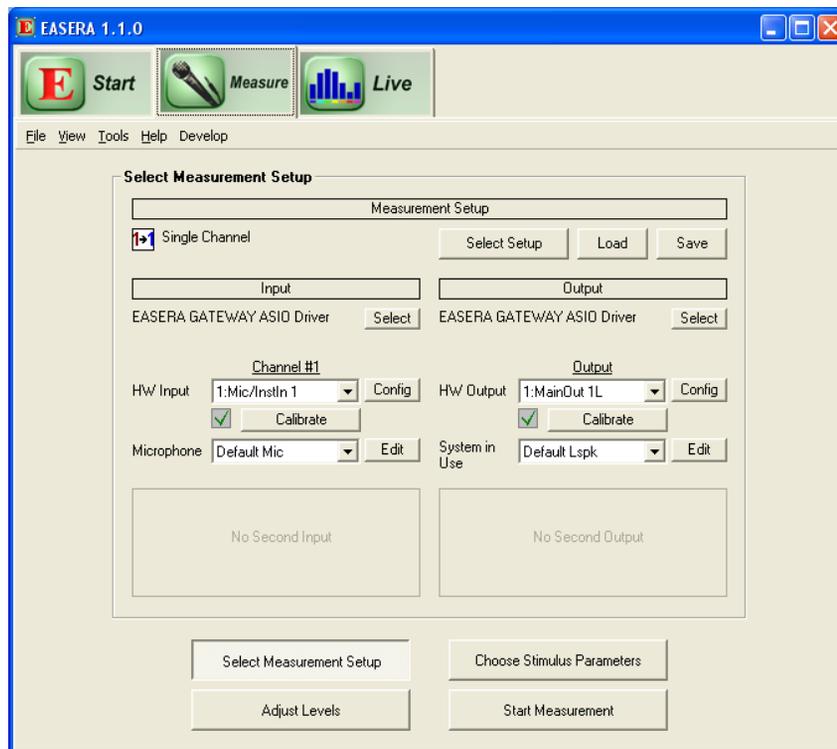
# Lektion 3: Eine Messung durchführen

Wir werden uns nun ansehen, wie man eine Messung durchführt. Es wird dabei vorausgesetzt, dass die Soundkarte bereits korrekt eingestellt ist, siehe Lektion 2.

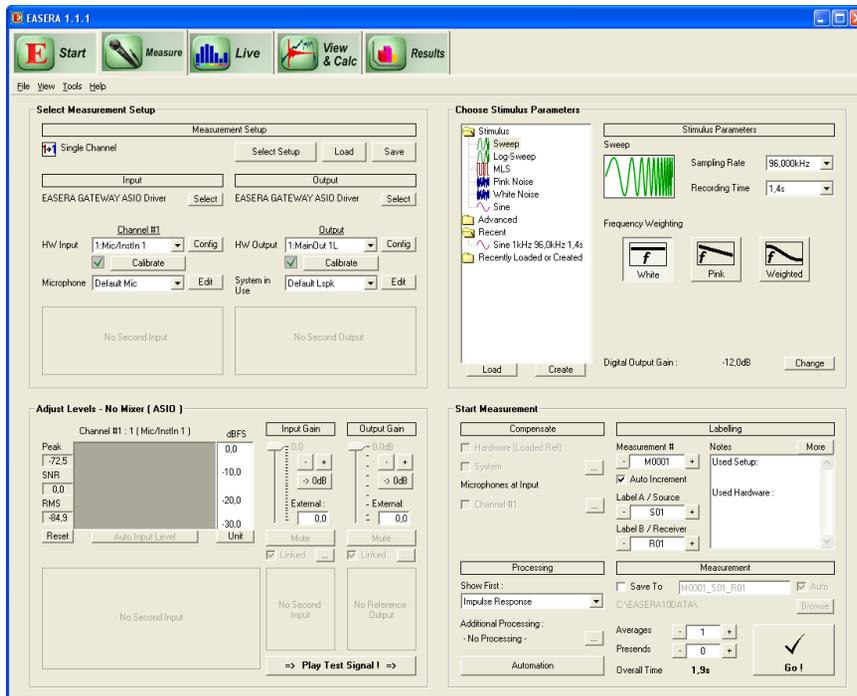
Die erste Messung soll lediglich eine Art "Trockenübung" sein: Schließen Sie ein Mikrofon an den Eingang der Soundkarte an und einen Lautsprecher an den Ausgang. Stellen Sie das Mikrofon vor den Lautsprecher. Dann gehen Sie auf die Seite *Measure*.

## Kanal auswählen und kalibrieren

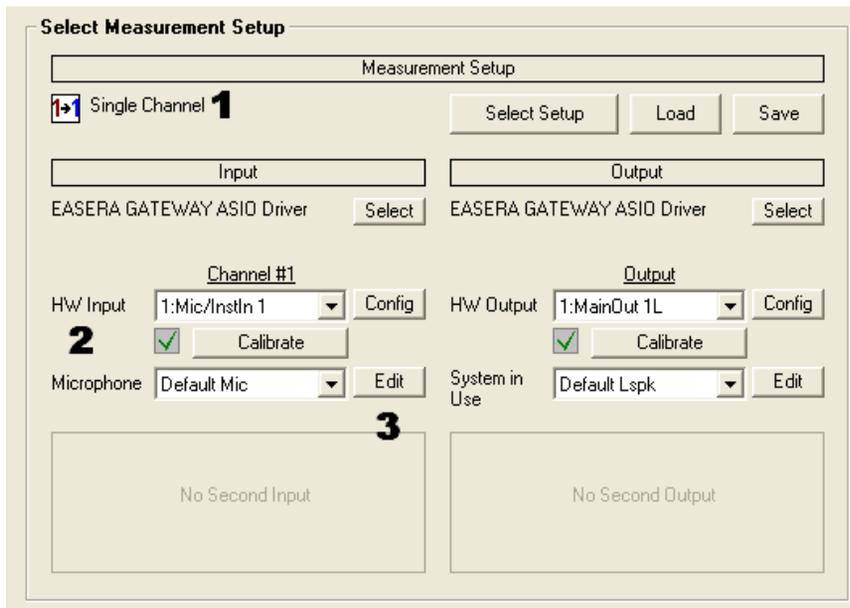
Auf der Seite *Measure* gibt es vier Registerseiten, die mit den darunter liegenden Buttons angewählt werden können:



Wenn die Bildschirmauflösung es erlaubt, dass das Fenster groß genug angezeigt wird, dann ist es möglich, dass alle vier Registerreiter gleichzeitig angezeigt werden – dazu muss *View/Full View* ausgewählt sein. (Um das zu erreichen muss z.B. bei der noch sehr üblichen Auflösung 1024x768 Pixel unter Options (F9)/Miscellaneous/Appearance der Minimize Controls Button bedient werden.)



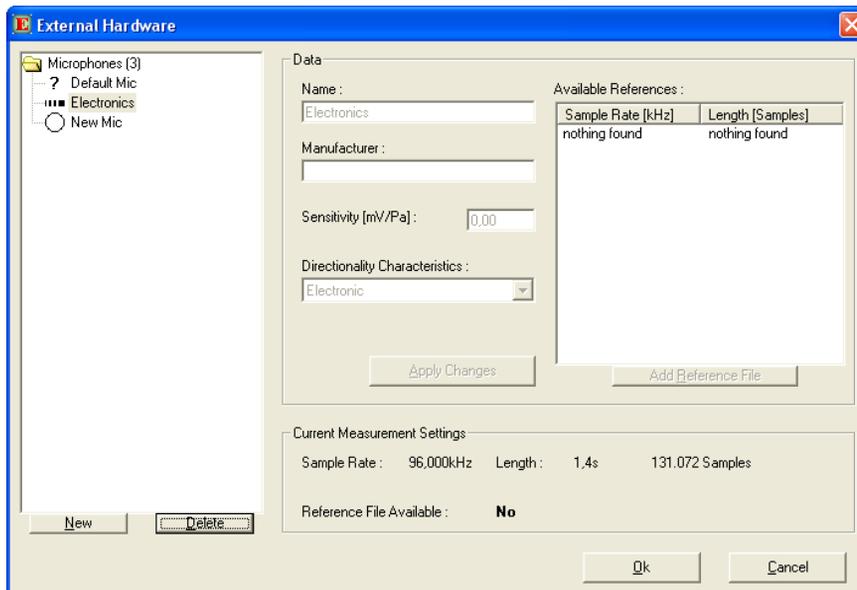
Beginnen wir mit der Auswahl des Kanals. Zunächst gehen wir auf die Seite *Select Measurement Setup*, auf der wir bereits die Soundkarte eingestellt haben:



Zunächst wählen wir das *Measurement Setup*: Hier im Beispiel wollen wir den Frequenzgang mit einem Mikrophon messen, die Zahl der Eingangskanäle ist also eins, somit verwenden wir *Single Channel* (1). EASERA erlaubt die Verwendung von bis zu 32 Eingangskanälen, meist unterstützt die Wandler-Hardware jedoch weniger.

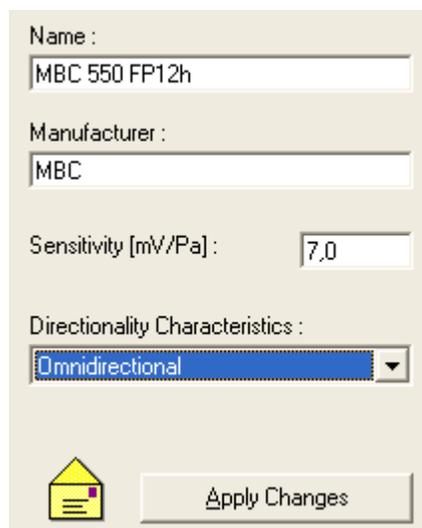
Im Abschnitt *Input* können wir nicht nur den verwendeten AD/DA-Wandler wählen (das haben wir bereits in Lektion 2 gelernt), sondern auch Hardware-Zuordnungen vornehmen und Mikrofone kalibrieren. Sie können die Kalibrierungsdaten für verschiedene Mikrofone im System hinterlegen, so dass Sie diese bei Bedarf nur auswählen müssen (2).

Wir wollen hier ein MBC 550 verwenden und das im System neu anlegen. Dieses Mikrofon ist an Kanal 1 der Soundkarte angeschlossen. Wählen wir unter *Channel #1* aus der Auswahlliste *HW Input* den Kanal 1. Anschließend wollen wir ein neues Mikrofon anlegen. Dazu verwenden Sie den Button *Edit* (3):



Klicken Sie hier auf den Button *New* und legen damit einen neuen Eintrag an. Zunächst ändern wir den Namen von *New Mic* in *MBC 550 EG12h*. Dies soll bedeuten, dass es sich um ein MBC 550 handelt, das am EASERA GATEWAY angeschlossen ist, dessen Regler auf 12:00 Uhr steht.

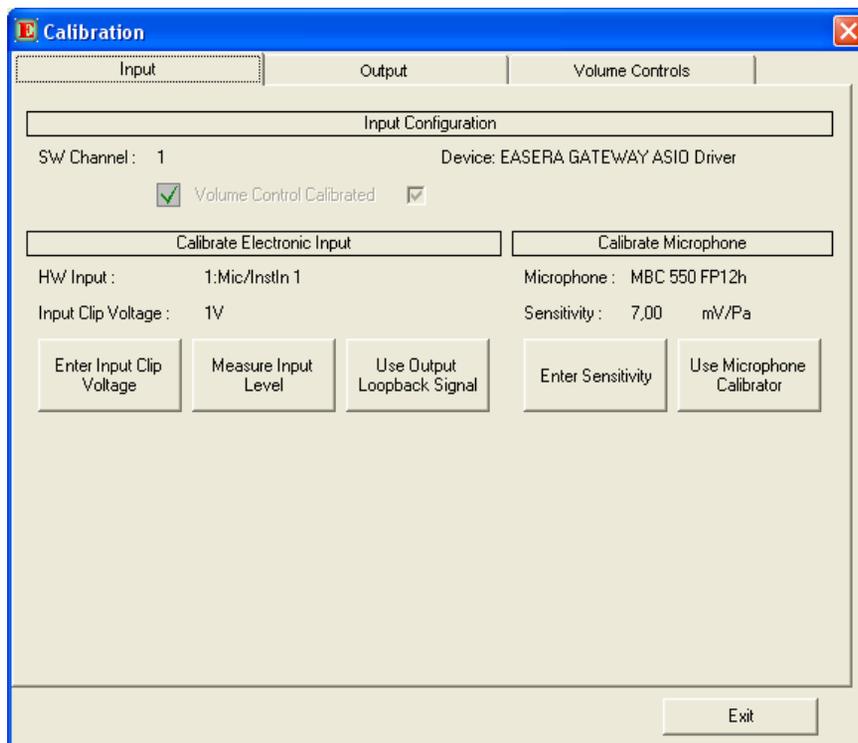
Als *Manufacturer* geben wir MBC ein, aus dem Kalibrierungsdiagramm entnehmen wir eine Empfindlichkeit von 7,0 mV/Pa.



Sobald Sie Änderungen vornehmen, wird neben dem Button *Apply Changes* ein Briefumschlag angezeigt, der Sie daran erinnert, dass die Daten noch nicht gespeichert sind. Klicken Sie auf *Apply Changes*, dann werden die Daten gespeichert und der Briefumschlag verschwindet wieder. Dieses Symbol finden Sie an vielen Stellen in EASERA. Wählen Sie nun das neu angelegte Mikrofon aus und schließen den Dialog mit *Ok*.

## Mikrofon kalibrieren

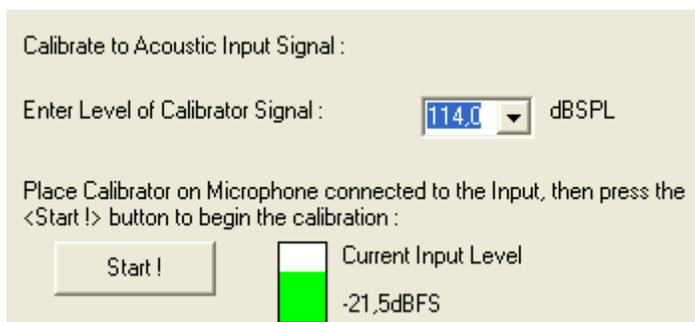
Nun soll das Mikrofon kalibriert werden. Stellen Sie sicher, dass unter *Microphone* das neu angelegte Mikrofon ausgewählt ist und klicken Sie auf den Button *Calibrate*.



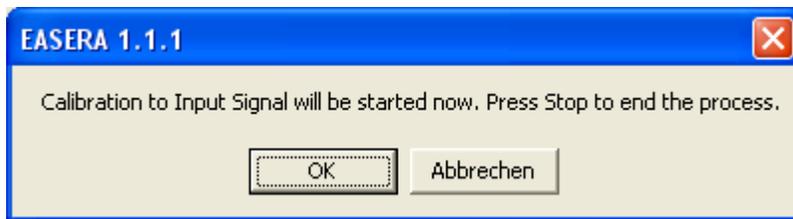
Wir wollen hier das Mikrofon kalibrieren (*Calibrate Microphone*) und dazu einen Schallpegelkalibrator verwenden (*Use Microphone Calibrator*) (1). Liegt ein solches Gerät nicht vor, dann kann auch die Empfindlichkeit eingegeben werden, sofern sie bekannt ist.

Als "Notbehelf" können Sie mit einer Handbreit Abstand bei mittlerer Lautstärke einen Ton in das Messmikrofon pfeifen. Damit liegen Sie bei etwa 100 dB SPL +/- 20 dB. (Das ist zwar nicht besonders genau, aber immer noch besser, als wenn Sie nachher Schalldruckpegel von 250 dB SPL angezeigt bekommen. Das hätte zwar keinen Einfluss auf den qualitativen Verlauf des Frequenzgangs oder auf raumakustische Größen wie beispielsweise die Nachhallzeit, verwirrt aber jeden Fachmann erst einmal.)

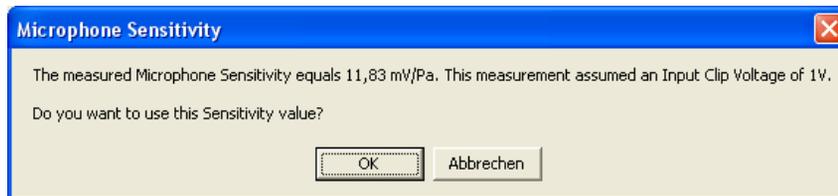
Wenn Sie auf den Button *Use Microphone Calibrator* klicken, dann erhalten Sie die folgende Ansicht:



Wählen Sie hier den Schalldruck des Kalibrators aus und klicken auf *Start*.

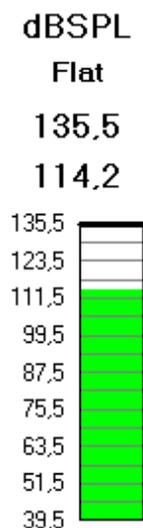


Schalten Sie nun den Kalibrator ein, verbinden ihn mit dem Mikrofon und klicken dann auf *OK*. Sobald die Anzeige stabil ist, beenden Sie mit einem Mausklick auf *Stop* die Messung.



EASERA präsentiert Ihnen nun das Ergebnis der Messung. Wenn das plausibel ist, dann nehmen Sie es mit *OK* an.

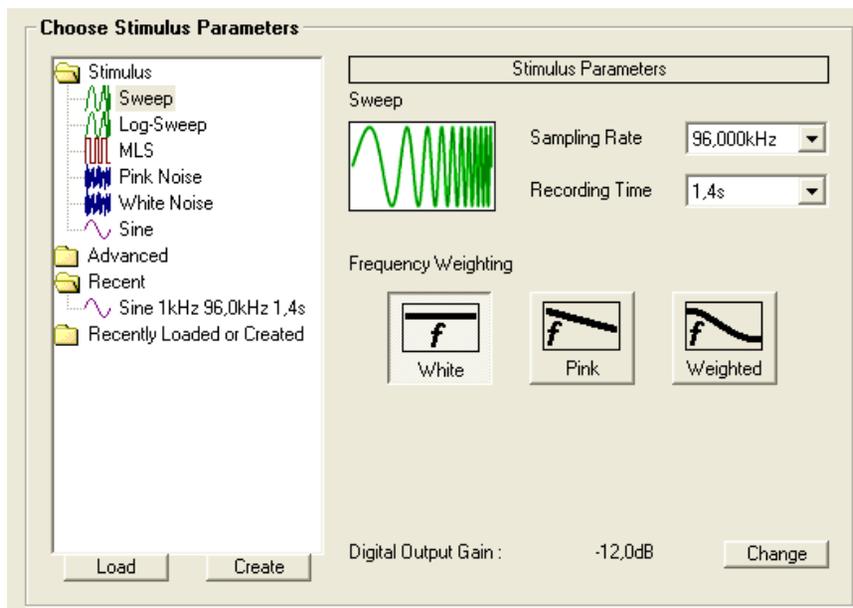
Da wir ein gesundes Misstrauen gegenüber einem Messsystem entwickeln sollten, mit dem wir noch nicht völlig vertraut sind, gehen wir auf die Seite *Live*, und schauen uns an, was wir hier mit dem Kalibrator für Pegel erhalten.



Wir sehen hier einen Peak-Pegel von 135,5 dB sowie einen Momentanpegel von 114,2 dB. Abweichungen von wenigen zehntel dB sind nichts ungewöhnliches, wenn wir unter dem Einfluss von Umgebungsgeräuschen kalibrieren. Unsere Mikrofonkalibrierung ist also akzeptabel, die Kalibrierung des Ausgangs soll hier erst einmal zurückgestellt werden.

## Anregungssignal

Nun wollen wir uns mit dem Anregungssignal beschäftigen und wählen dazu die Registerseite *Choose Stimulus Parameters*:



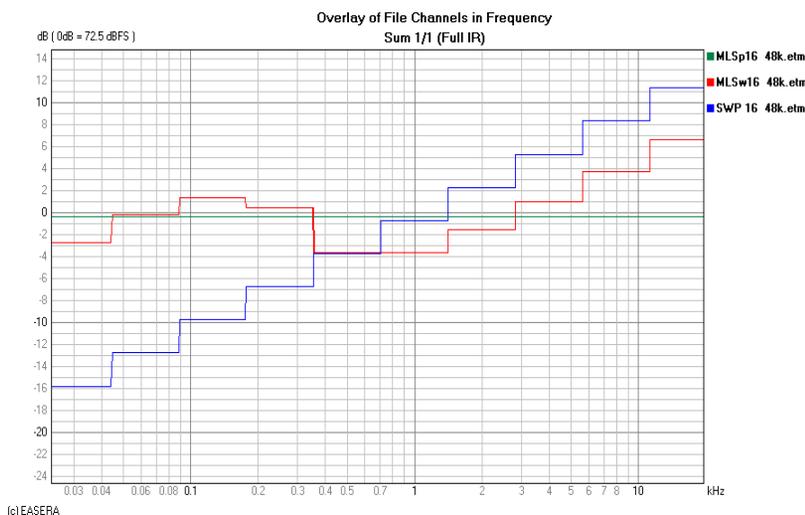
Um das geeignetste Anregungssignal wird unter Fachleuten oft gestritten. Wir wollen noch nicht die Für und Wider der einzelnen Signale diskutieren, sondern uns erst einmal ansehen, was alles an Anregungssignalen zur Verfügung steht:

- Sweep, also ein Gleitsinus-Signal
- MLS (Maximum Length Sequence, Maximallängensequenz)
- Noise, also Rauschen
- Sine (Einzelsinustöne)

Für die Aufnahme einer Impulsantwort und somit eines Frequenzgangs hilft der Einzelsinus natürlich nicht weiter. Bleiben die drei erstgenannten. Diese sind in drei Frequenzgewichtungen verfügbar: *White*, *Pink* und *Weighted*:



*White* ist eine lineare Frequenzgewichtung, der Pegel ist bei allen Frequenzen derselbe (siehe blaue Kurve). Dies ist etwas ungünstig, wenn das Anregungssignal von einer Mehrwegbox wiedergegeben werden soll: Würde man sich an der Belastbarkeit des Tieftöners orientieren, dann würde man den Hochtöner überlasten. Würde man sich dagegen an der Belastbarkeit des Hochtöners orientieren, dann wäre der Geräuschabstand im Tieftonbereich unnötig schlecht. All das ist dennoch für den Praktiker nur schwer aus obiger Darstellung abzuleiten. In der Praxis sind wir es gewöhnt, die Pegelverhältnisse in Frequenzbändern zu betrachten. Diese Darstellung zeigt das nächste Bild. Hier erkennt man, dass weißes Rauschen (wieder blauer Verlauf) viel mehr Energie in den oberen Frequenzbändern enthält als in den unteren.



Bei *Pink* nimmt in der linearen Frequenzdarstellung der Signalpegel zu hohen Frequenzen mit  $1/f$  ab, und zwar mit einem Abfall von 3 dB pro Oktave. Dies ist mit der grünen Kurve in beiden Bildern dargestellt. In der linearen Darstellung ist dieser Abfall deutlich zu erkennen. In der Darstellung in Bändern hebt sich dagegen der  $1/f$  Abfall mit der frequenzproportionalen Aufsummierung der Bandenergien gerade auf, so dass ein frequenzbandunabhängiger Verlauf entsteht, der in der Audiomesstechnik eine hohe Bedeutung

hat. Somit erhält man mit einem rosa-gewichteten Anregungssignal vergleichbare Pegel im Tiefton- wie im Hochtonbereich. Der Geräuschabstand zu den hohen Frequenzen hin verringert sich natürlich.

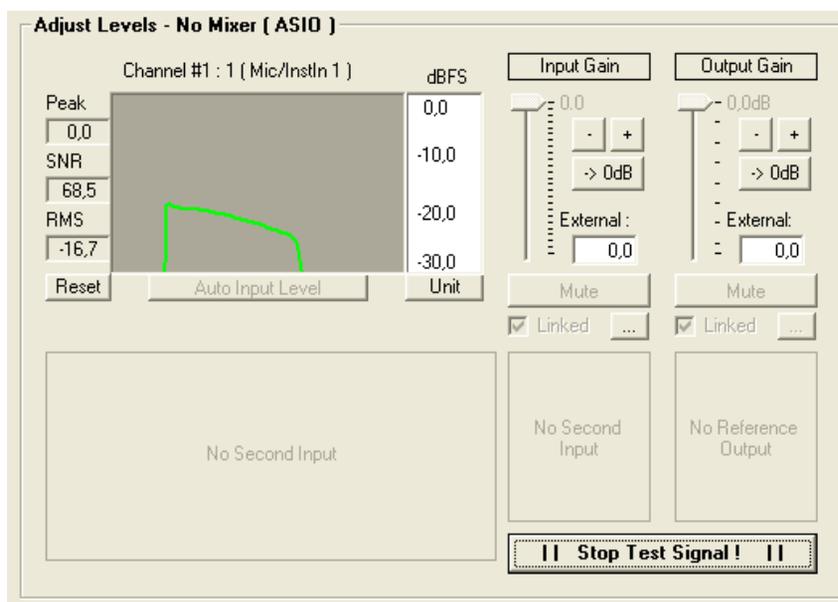
Um das Pink-Verhalten zu nutzen, aber dabei den Geräuschabstand zu verbessern, gibt es nun noch die Wichtung *Weighted*. Hier beträgt der Unterschied zwischen tiefen und hohen Frequenzen in der linearen Darstellung zwischen 20 Hz und 20 kHz nur noch 18 dB, in der Banddarstellung nur noch 10 dB, der meist pegelstarke Mittenbereich wird dabei sogar etwas abgesenkt (5 dB).

Für die meisten akustischen Anwendungsfälle dürfte somit *Weighted* die sinnvollste Frequenzgewichtung sein. Lediglich dann, wenn Verzerrungen ermittelt werden sollen, muss zwingend ein *Pink Sweep* verwendet werden.

Wir wollen nun für die Messung einen *Weighted Sweep* einstellen.

## Pegel überprüfen

Nun wechseln wir auf die Registerseite *Adjust Levels*. Mit *Play Test Signal* kann man hier die Ausgabe des Signals starten. Vorher sollten jedoch die Ausgangsregler auf *Null* gestellt werden, damit nicht ein zu hohes Signal die Lautsprecher und/oder die Ohren schädigt. Gibt es – wie hier beim EASERA-Interface – keine Windowsmischer, so muss dies im mitgelieferten Mixer oder direkt an der Hardware geschehen.



Wir sehen nun, welchen Eingangspegel die Sweeps erzeugen, hier in der Spitze etwa  $-20$  dB unterhalb der Clippinggrenze (FS, full scale). Wir hätten also noch ein wenig Reserve. Prinzipiell ist empfohlen, nicht weiter als  $-10$  dBFS auszusteuern, ab dann würde die Kurve auch gelb dargestellt (ab Erreichen der Clipping-Grenze rot).

Wenn der Pegel zu hoch wäre, dann könnten *Input Gain* und/oder *Output Gain* heruntergeregelt werden. Die Regler auf dieser Seite greifen direkt auf die Soundkarten-Mischer zu. Haben wir jedoch keinen Soundkarten-Mischer in der Softwareebene (wie beim EASERA-Gateway), so lassen sich die Regler auch nicht bewegen, hier muss dann an den externen Software-Mischer-Reglern oder an den Hardwarereglern reguliert werden.

Man könnte jedoch unter *Choose Stimulus Parameters* den Digital Output Gain verändern. Hier empfiehlt sich ein Wert  $\leq -3$  dB.

## Regler kalibrieren

Ein kleiner Exkurs: Wenn wir hier einen Soundkarten-Mischer zur Verfügung hätten und den Eingangspegel herunterziehen würden, dann würde die Kalibrierung verloren gehen. Da dies ärgerlich wäre (insbesondere, wenn es häufiger vorkommen würde), bietet EASERA die Möglichkeit, im Rahmen einer vollständigen Kalibrierung auch die Soundkarten-Mischer zu kalibrieren. Dann können Sie auch die Regler bewegen, ohne dass die Kalibrierung verloren geht.

Solange wir die Soundkarten-Mischer nicht kalibriert haben, sollten wir die Finger von allen Reglern lassen, oder wir müssen anschließend neu kalibrieren.

## Die Messung starten

Nun wechseln wir auf die Registerseite *Start Measurement*:

Hier können wir einige Feinheiten einstellen.

Links oben im Abschnitt *Compensate* können Referenzdateien ausgewählt werden, mit deren Hilfe die Frequenzgänge der beteiligten Geräte kompensiert werden können. Wenn beispielsweise eine raumakustische Messung mit einem Lautsprecher durchgeführt wird, dann könnte man zunächst der Frequenzgang dieses Lautsprechers ermitteln und diesen bei den folgenden Messungen berücksichtigen. Ebenso könnte man die Referenzdatei eines Mikrofons verwenden.

Rechts oben im Abschnitt *Labelling* kann die Messung beschriftet werden, und es können Anmerkungen dazu eingegeben werden. Indem die Option *Auto Increment* aktiviert ist, bekommt jede Messung eine fortlaufende Nummer, das soll uns im Moment schon ausreichen.

Nach der Messung wird automatisch auf die Seite *View & Calc* gewechselt. Links unten im Abschnitt *Processing* kann unter *Show First* eingestellt werden, welches Diagramm hier zunächst angezeigt wird. Was es mit *Additional Processing* auf sich hat, klären wir, wenn wir wissen, was man unter *Processing* versteht. Hinter dem Button *Automation* steckt die Funktionalität zur Aufnahme von Ballondaten (Abstrahlverhalten eines Lautsprechers).

Mit *Save To* im Abschnitt *Measurement* kann die Messung unter dem angegebenen Dateinamen automatisch gespeichert werden.

## Mittelung

Messungen finden selten unter optimalen Bedingungen statt. Oft hat man erhebliche Nebengeräusche durch Verkehrslärm und/oder andere Arbeiten im Gebäude. Um hier Ergebnisse mit erträglicher Genauigkeit zu erhalten, greift man auf die Mittelung zurück: Unter *Averages* stellt man die Zahl der Messungen ein, die durchgeführt werden sollen. EASERA bildet dann automatisch den Mittelwert dieser Messungen. Pro Verdopplung der Anzahl der Messungen erhöht sich der Geräuschabstand theoretisch um 3 dB. Wir wollen *Averages* hier auf den Wert vier einstellen.

Bei Messungen mit Rauschen oder MLS muss der Raum vorher angeregt werden. Es wird also mindestens einmal das Anregungssignal gesendet, ohne dass dabei eine Messung erfolgt. Die Anzahl dieser Anregungen wird mit *Presends* eingestellt, in der Regel reicht ein Wert von eins.

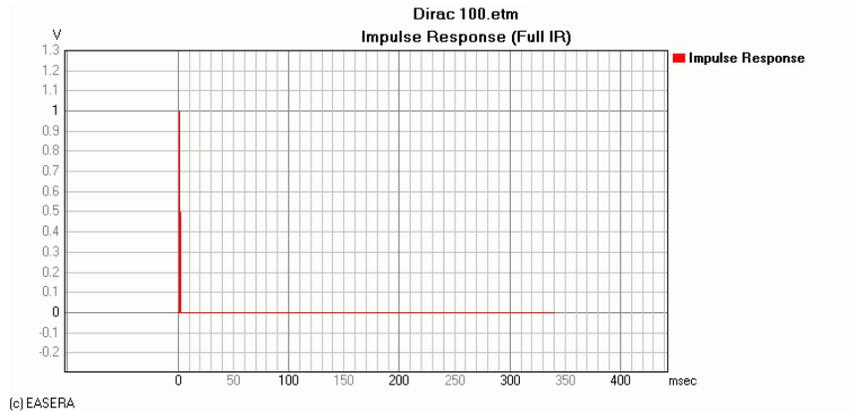
Anschließend wird mit dem Button *Go* die Messung gestartet.

# **Lektion 4: Was ist eine Impulsantwort?**

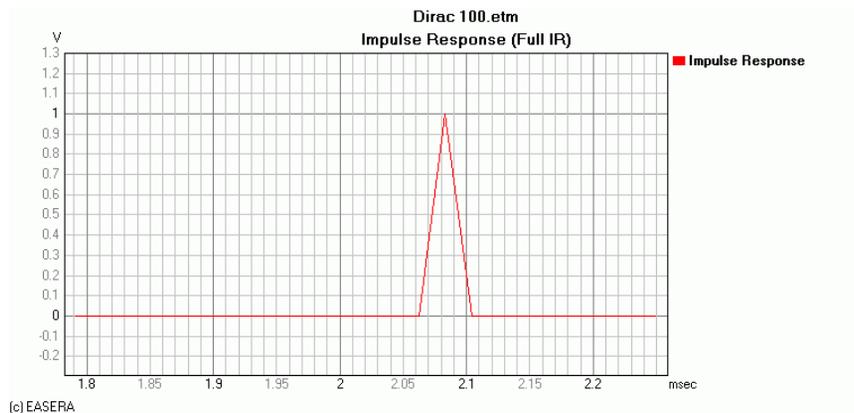
Grundlage aller Berechnungen von EASERA ist die Impulsantwort, die Antwort eines Systems auf einen Dirac-Impuls. Dies wollen wir uns in diesem Kapitel näher ansehen.

## Was ist ein Dirac?

Im Verzeichnis ...\*EASERA10DATA*\Tutorial Files findet sich die Datei *Dirac 100.etm*, die wir im View & Calc-Fenster öffnen wollen:



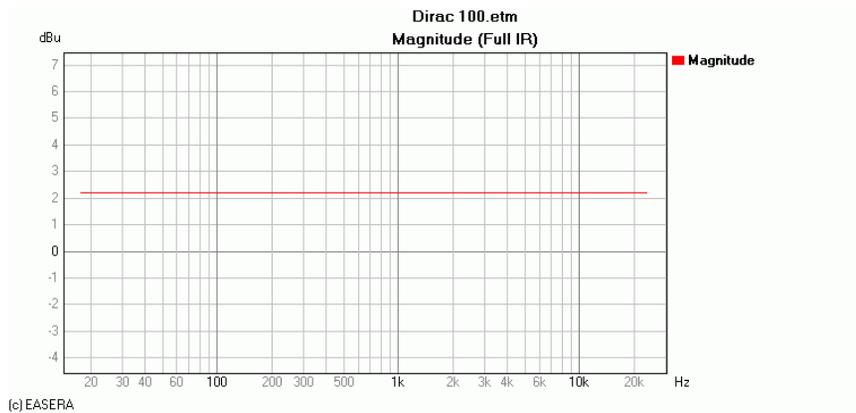
Als Impulsantwort erhalten wir einen sehr schmalen Impuls.



Wenn wir auf der Zeitachse hineinzoomen, dann stellen wir fest, dass dieser Impuls exakt ein Sample breit ist. Es ist somit der zeitlich kürzeste Impuls, der überhaupt noch vom System erfasst werden kann. Einen solchen Impuls nennen die Mathematiker *Dirac*.

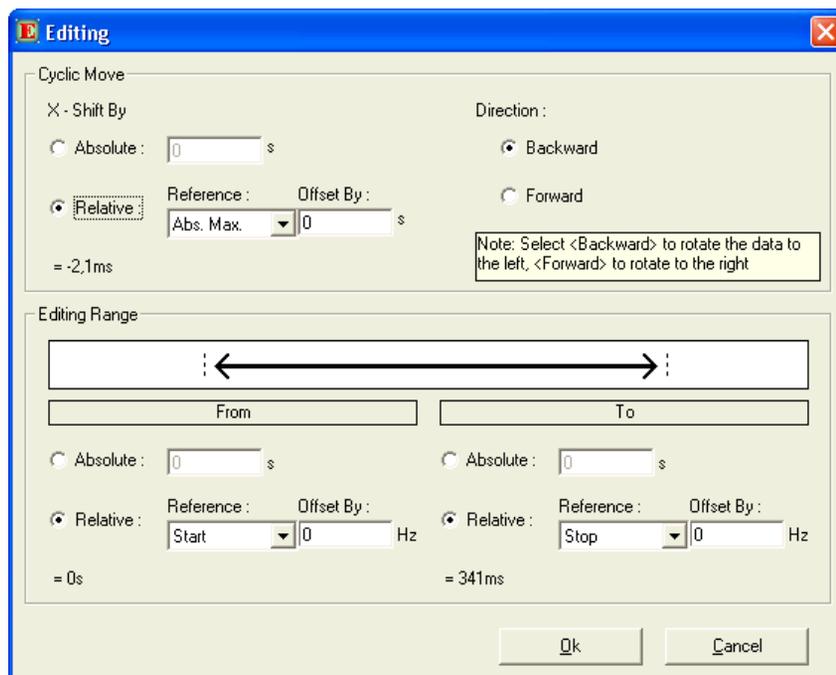
Der Dirac-Impuls ist eigentlich analytisch definiert als Puls mit unendlich großer Energie und Länge Null, was praktisch allerdings nicht möglich ist, auch nicht im digitalen Bereich. In EASERA handelt es sich um das zeitdiskrete Äquivalent, hierbei besteht das Signal aus einem Sample mit dem Wert Eins und alle anderen Samples haben den Wert Null. Die Fouriertransformierte dieses Dirac-Pulses ist ein Frequenzgang, der eine konstante Amplitude und definierte Phase für alle Frequenzen von Null bis zur Nyquistfrequenz (der halben Abtastrate) besitzt.

Wenn wir uns den Frequenzgang dieses Dirac-Impulses ansehen, dann stellen wir fest, dass dieser ideal linear ist.



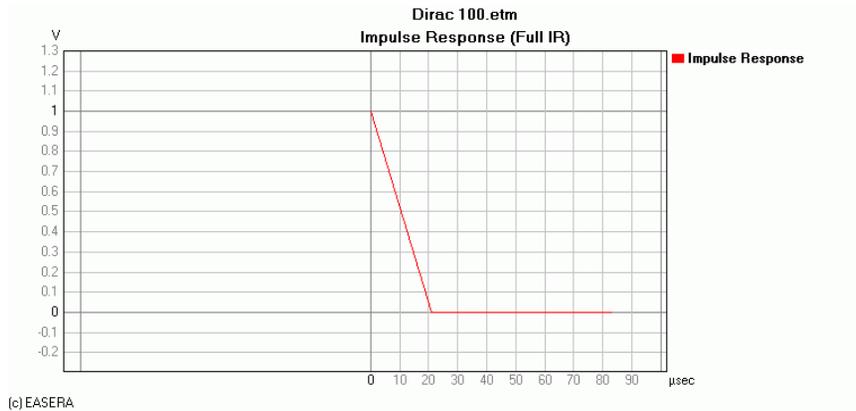
Wenn wir uns den Phasengang ansehen würden, dann wäre der nicht ideal linear. Dies liegt allerdings daran, dass die Impulsspitze bei 2,08 ms liegt und nicht am Anfang, so dass zusätzlich eine entsprechende Laufzeitphase auftritt.

Wir wollen nun diesen Impuls an den Anfang verschieben. Dazu gehen wir auf die Impulsantwort und wählen *Edit/Cyclic Move/Move Abs Max to Zero*. Wir werden daraufhin mit dem folgenden Dialog konfrontiert:

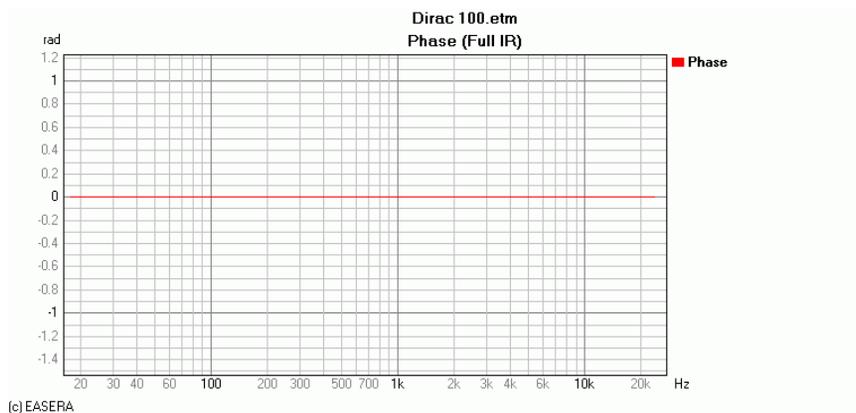


Hier könnte man nicht nur einstellen, um welche Zeit die Daten zyklisch verschoben werden sollen, sondern auch, in welchem Bereich der Daten dies getan werden soll. Da hier alles bereits korrekt eingestellt ist, bestätigen wir den Dialog mit Ok.

Ein zyklisches Verschieben ist ein Verschieben der Daten auf der X-Achse, bei dem alle Daten, die über den Anfang oder das Ende der Daten hinausgeschoben werden, auf der jeweils anderen Seite wieder eingefügt werden.



Wenn wir uns nun die Impulsantwort ansehen, dann ist der Impuls ganz am Anfang. Nun schauen wir uns den Phasengang an und stellen fest, dass auch dieser ideal linear ist.



Somit können wir auch beantworten, was der Dirac-Impuls für ein Signal ist: Es ist ein Signal mit ideal linearem Frequenz- und Phasenverhalten.

## Was nutzt der Dirac-Impuls?

Mit einem solchen Dirac-Impuls kann man nun die Impulsantwort eines Systems bestimmen. Bei der Impulsantwort handelt es sich um das Ausgangssignal eines Systems, das mit dem Dirac-Impuls angeregt wird.

Wenn es sich um ein ideal lineares System handelt (näherungsweise: ein Stück Leitung), dann wird auch das Ausgangssignal ein Dirac-Impuls sein. Bei allen anderen Systemen wird es mehr oder weniger große Abweichungen vom Impuls geben.

Wir machen einen kleinen Ausflug in die Systemtheorie: Wird ein beliebiges System mit einem Signal  $u(r)$  angeregt, dann ist die Systemantwort  $y(t)$  in der Zeit das Faltungsintegral aus dem Anregungssignal und der Impulsantwort  $h(t)$ :

$$y(t) = \int_0^{+\infty} u(r) \cdot h(t-r) dr$$

(In der Frequenzebene ist das Faltungsintegral durch ein Produkt zu ersetzen)

Ein (lineares, zeitinvariantes) System ist also durch seine Impulsantwort vollständig beschrieben, alle anderen Eigenschaften können daraus abgeleitet werden.

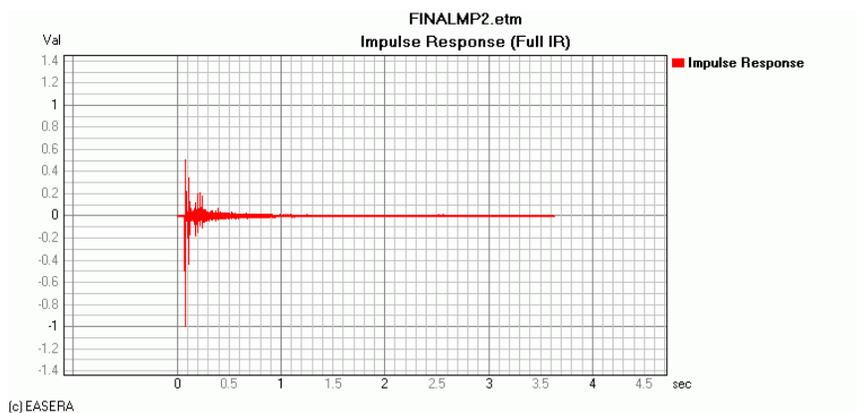
Nun ist der Dirac-Impuls reichlich ungeeignet, um in der Praxis Messungen durchzuführen: Da man nicht beliebig große Impulse verwenden kann, ohne an die Amplitudengrenze zu stoßen, muss man mit viel zu kleinen Amplituden messen, dabei aber noch einen vernünftigen Störabstand halten. Trotzdem wird es für erste Anhaltspunkte gemacht, z.B. durch ein Händeklatschen oder einen platzenden Ballon (früher mit Impulsgenerator als Anregungsquelle im Impulsschalltest), die den Dirac-Impuls näherungsweise abbilden.

Aus diesem Grund misst man mit einem anderen Signal (Sweep, MLS, Rauschen...) und rechnet das Ergebnis zurück in eine Impulsantwort.

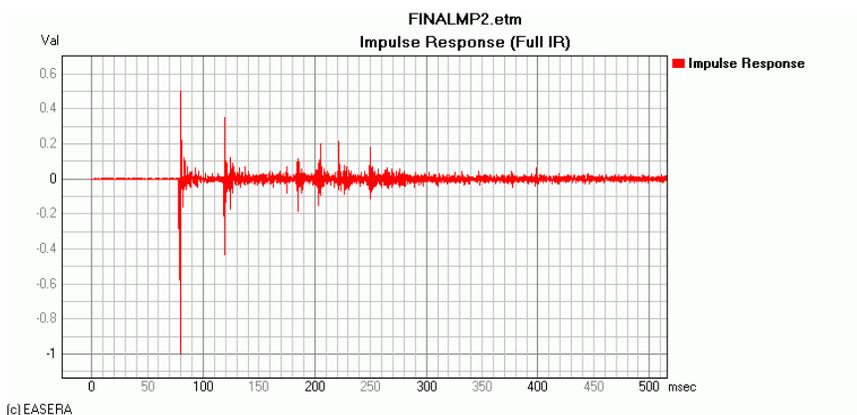
## Die Impulsantwort in der Raumakustik

Da mit der Impulsantwort das Systemverhalten vollständig beschrieben ist, kann man daraus alle anderen Größen ableiten (was EASERA auch tut). Mit etwas Erfahrung kann man aber auch schon direkt aus der Impulsantwort zumindest einen Teil des Systemverhaltens ablesen.

In der Raumakustik kann die Impulsantwort dazu verwendet werden, um das Reflexionsverhalten eines Raumes zu erfassen.

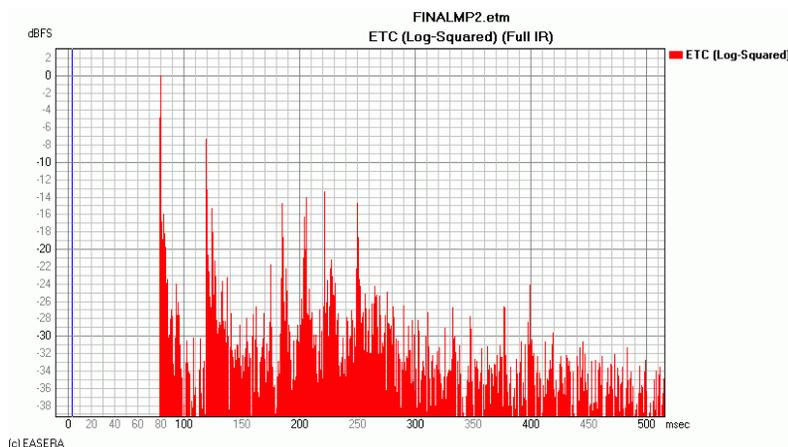


Obenstehende Abbildung zeigt die Impulsantwort eines Raumes. Zunächst fällt auf, dass der Impuls nach unten zeigt. Dies resultiert aus einer Phasendrehung irgendwo im Gesamtsystem, beispielsweise durch einen phasenunrichtigen Anschluss des Lautsprechers oder durch eine Verpolung der Mikrofonleitung. Für die weitere Auswertung spielt das keine Rolle.



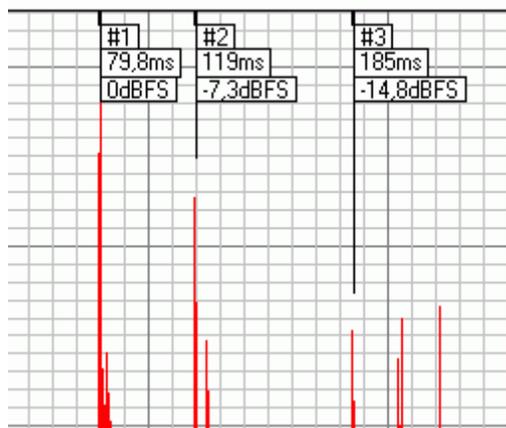
Wenn wir in diese Impulsantwort hineinzoomen, dann stellen wir eine erste ausgeprägte Reflexion fest, die etwa 40 ms nach dem Direktschall auftritt. Die kleineren Impulse, die direkt auf den Direktschall folgen, sind Reflexionen am Lautsprecher oder durch dessen Ausschwingverhalten bestimmt.

Um die einzelnen Reflexionen zu untersuchen, eignet sich auch das ETC-Diagramm sehr gut. Rufen Sie diese Funktion auf (es ist hier egal, ob *ETC (Log-Squared)* oder *ETC (Envelope)*) und zoomen Sie entsprechend in das Diagramm.



Der Vorteil des ETC-Diagramms liegt vor allem in der logarithmischen dB-Skalierung der Pegelachse.

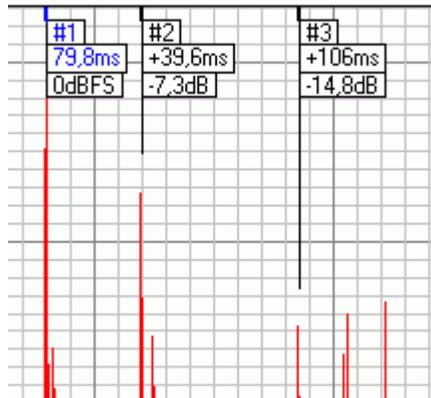
Wenn Sie die Funktion *Mouse/Peek* wählen, dann können Sie mit der rechten Maustaste sogenannte Cursors in das Diagramm setzen. Diese zeigen hier die Zeit- und Pegelwerte der so bezeichneten Stellen an:



Es besteht darüber hinaus die Möglichkeit, einen der Marker als Basispunkt für eine relative Anzeige der anderen Cursor zu setzen. Üblicherweise wählt man den ersten Impuls als Basispunkt und setzt alle Reflexionen in Bezug dazu. Um einen Basispunkt zu setzen, klickt man auf der Navigator-Seite *Cursor* in die Spalte R des entsprechenden Eintrags, der daraufhin mit einem blauen Kästchen gekennzeichnet wird.

C	A	R	V	Time	Label
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	79.8ms	#1
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	119ms	#2
<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	185ms	#3

Daraufhin beziehen sich die Zeit- und Pegelwerte der anderen Cursors auf diesen Basispunkt:

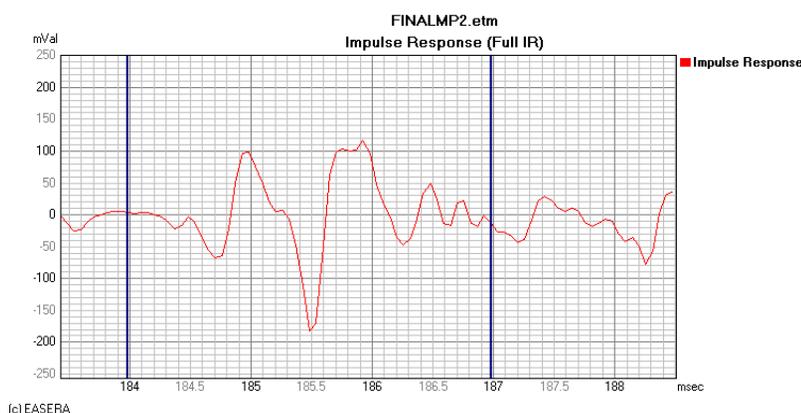


Etwa 106 ms nach dem Direktschall folgen im Abstand von etwa 40 ms vier kleinere, aber noch deutlich herausstechende Reflexionen. Wir wollen nun abschätzen, ob man die Sprachverständlichkeit verbessern könnte, wenn man diese Reflexionen – beispielsweise durch entsprechendes Dämm-Material – beseitigen würde. (Natürlich würde man durch solche Maßnahmen auch das gesamte Nachhall-Verhalten beeinflussen. Die Genauigkeit dieser Abschätzung ist somit recht limitiert.)

Um einen entsprechenden Vergleich zu haben, berechnen wir zunächst einmal die Sprachverständlichkeit:

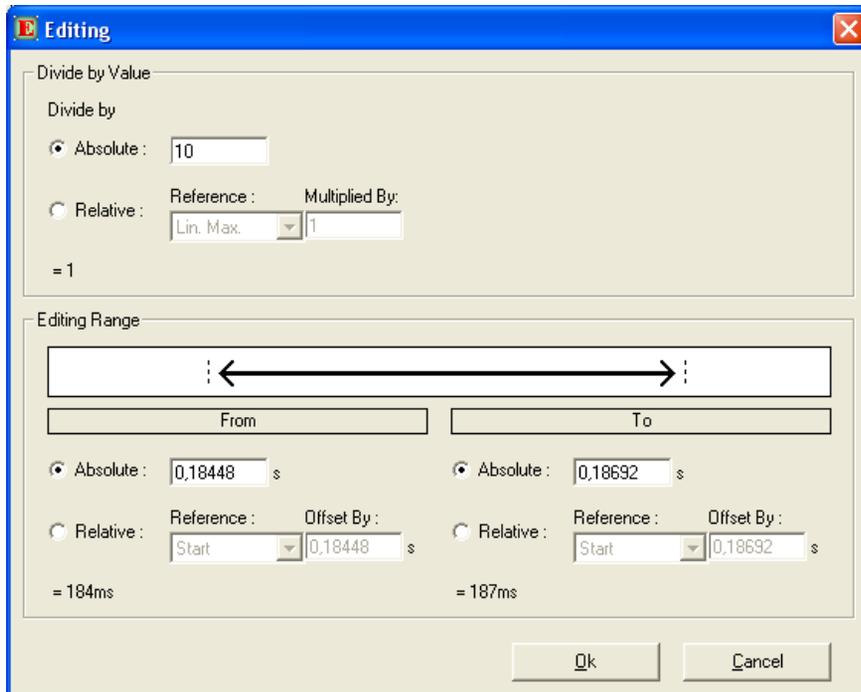
STI	0,529
AlCons [%]	9,687
STI (Male)	0,539
STI (Female)	0,554
RaSTI	0,505
Equiv. STIPa (Male)	0,554
Equiv. STIPa (Female)	0,566

Nun gehen wir zurück zur Impulsantwort und zoomen diese so groß, dass wir den ersten dieser vier Reflexionen einzeln haben:

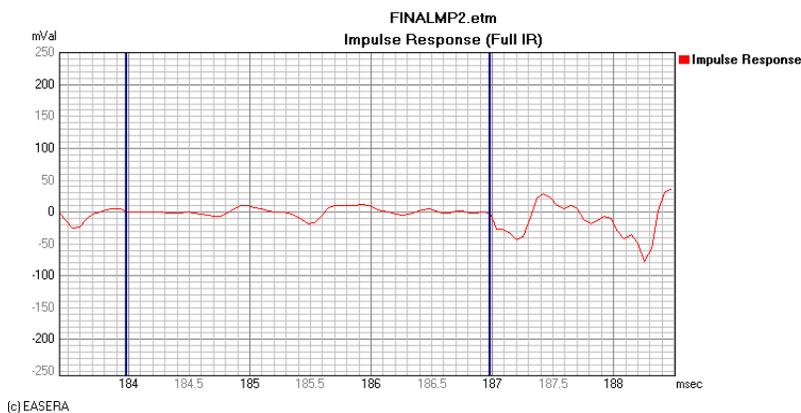


Vor und nach diesem Impuls setzen wir Marker (mit der linken bzw. rechten Maustaste, während die Ctrl-Taste gehalten wird), und zwar so, dass sie im Nulldurchgang liegen.

Man könnte nun alle Werte zwischen diesen Markern auf 0 setzen (*Edit/Set To/Zero*), das würde aber nicht dem Verlauf des übrigen Nachhalls entsprechen. Deswegen sollen diese Werte einfach um 20 dB verringert, also durch 10 dividiert werden. Dazu wählen wir *Edit/Multiply* and *Divide/Divide By Value* und werden mit dem folgenden Dialog konfrontiert, in dem wir 10 als Divisor eingeben:

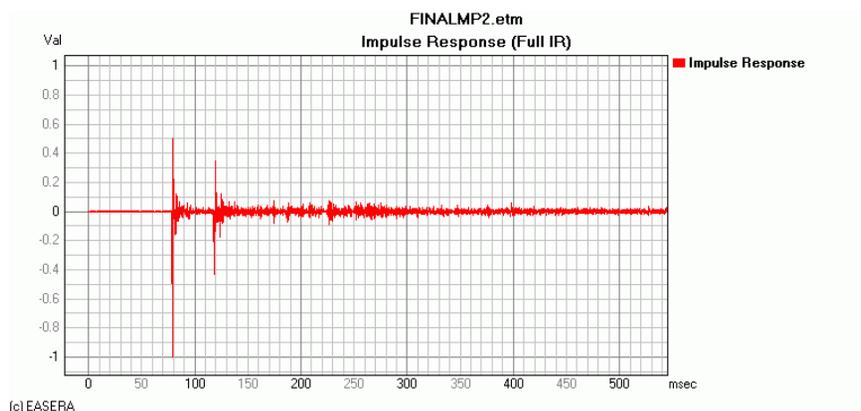


Als Ergebnis erhalten wir nun zwischen den beiden Markern einen entsprechend reduzierten Pegel:



(c) EASERA

Nach diesem Muster entfernen wir nun auch noch die anderen drei Reflexionen:



(c) EASERA

Natürlich könnte man diese 4 Pegelreduzierungen auch in einem Durchgang machen, indem man den Editierbereich von Anfang an entsprechend wählt.

Als Folge hätten wir eine etwas verbesserte Sprachverständlichkeit:

STI	0,531
AICons [%]	9,590
STI (Male)	0,541
STI (Female)	0,556
RaSTI	0,507
Equiv. STIPa (Male)	0,554
Equiv. STIPa (Female)	0,568

Man erkennt eine signifikante Steigerung der STI-Werte. (Im Beispiel lassen sich diese Werte mglw. nicht exakt reproduzieren, da sie abhängig davon sind, in welchen Bereichen genau die IR korrigiert wurde. Die Tendenz ist aber eindeutig.)

Man beachte, dass durch einen solchen Eingriff in die Impulsantwort stets auch der Frequenzgang geändert wird.

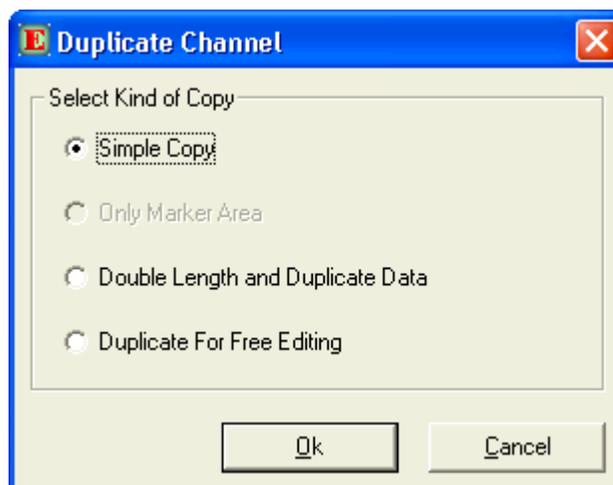
## Impulsantwort bei Lautsprechern

Auch bei der Beurteilung von Lautsprechern ist eine Impulsantwort nicht uninteressant. Um sie jedoch richtig interpretieren zu können, ist einige Erfahrung nötig – den Anfang wollen wir uns hier erarbeiten.

Dazu benötigen wir wieder den Dirac-Impuls, und zwar nicht zum Anfang verschoben.

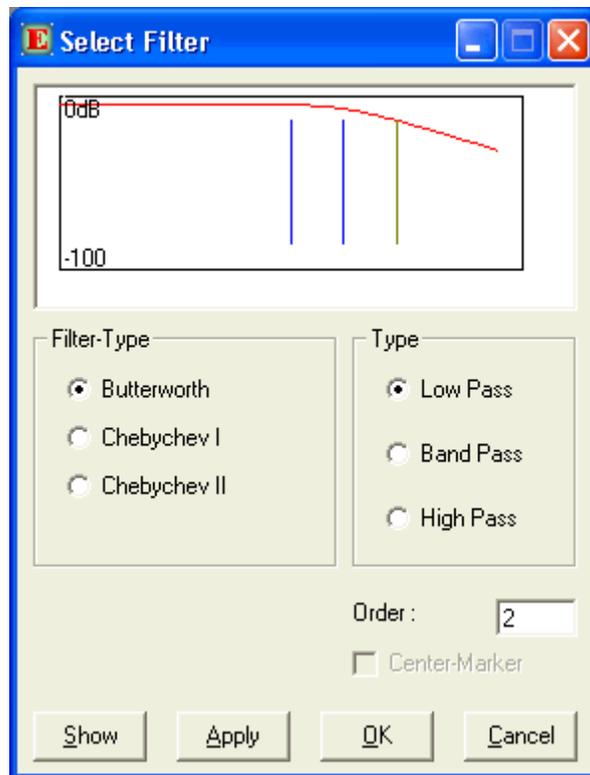
Mittels eines Hoch- und eines Tiefpasses wollen wir nun das Signal in zwei Teile aufteilen. Bei einer Sampling-Rate von 48 kHz geht das Signal bis 24 kHz, die Hälfte davon wäre 12 kHz.

Damit wir Filter setzen können, müssen wir den Dirac-Impuls erst kopieren (*Edit/Duplicate File* und dann *Simple Copy*).



Anschließend setzen wir den rechten Marker auf 12 kHz. Dazu zoomen wir in den Bereich dieser Frequenz hinein und markieren mit *Ctrl+R MB*, oder wir geben in der Marker-Zeile am unteren Rand des EASERA-Fensters den Wert numerisch ein.

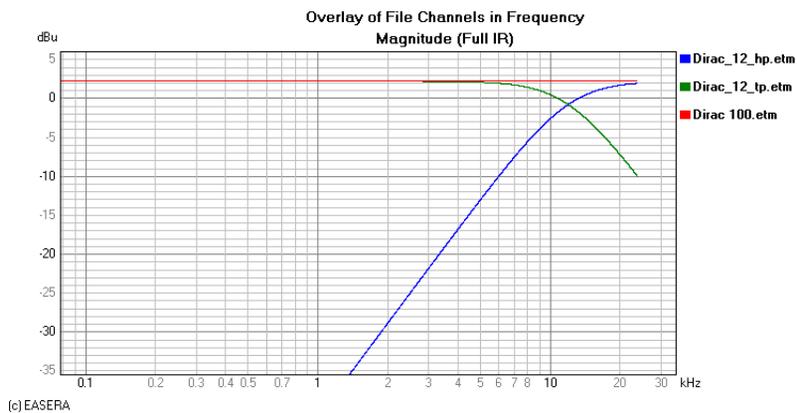
Anschließend wählen wir *Edit/Filter*:



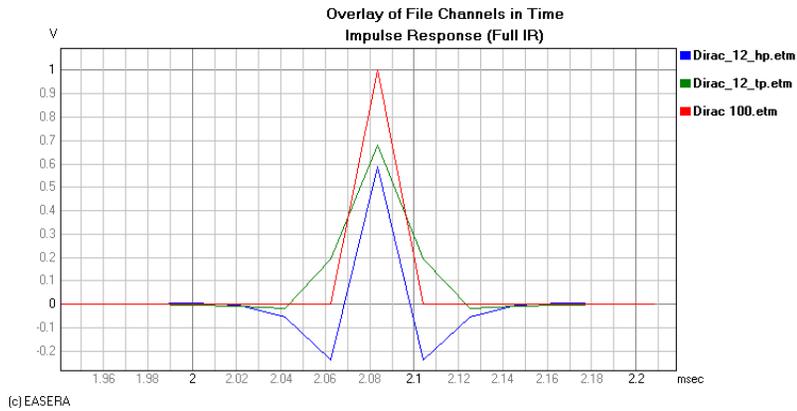
Wir verwenden einen Butterworth-Tiefpass 2. Ordnung und bestätigen mit *OK*.

Nun fertigen wir eine zweite Kopie des Diracs an und filtern Sie ebenfalls bei 12 kHz, nun aber mit einem Hochpass.

Schauen wir uns die beiden Kurven zunächst als Frequenzgang an:

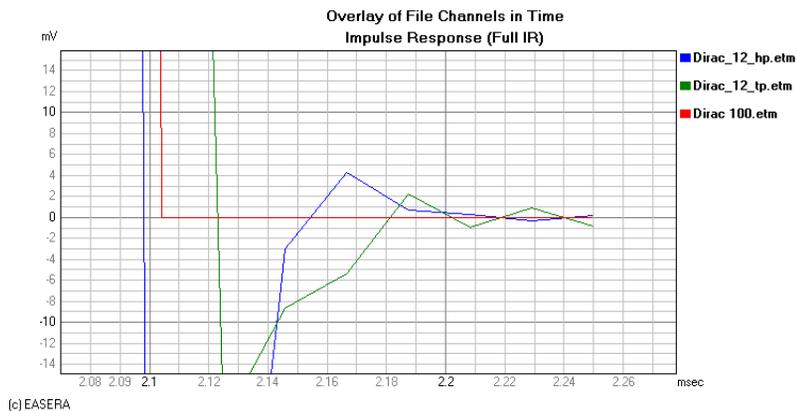


Das sieht so aus, wie es aussehen soll, also wechseln wir zur Impulsantwort:



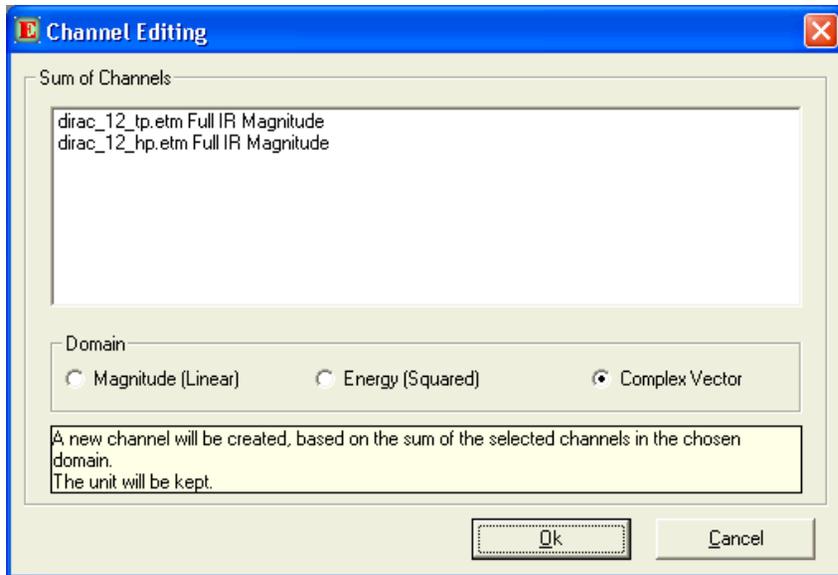
Zum Vergleich haben wir hier dann auch noch den Original-Dirac. Das Signal mit dem Tiefpass weitet das Signal gegenüber dem Dirac auf, das Signal mit dem Hochpass sorgt für ein Überschwingen nach unten.

Eine Vergrößerung des Ausschnittes zeigt weitere, kleinere Ein- bzw. Ausschwingvorgänge:

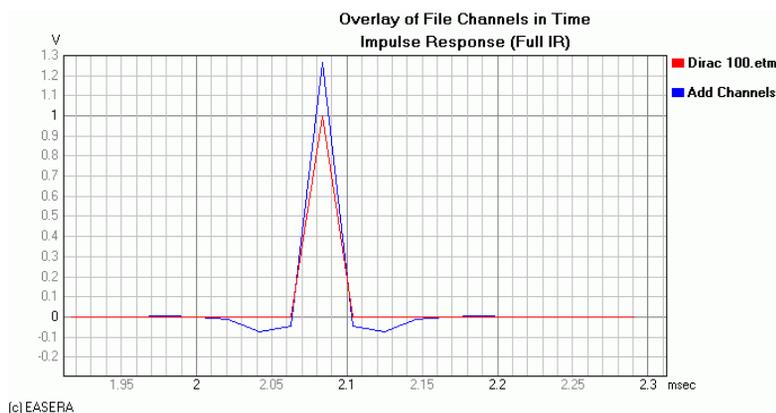


## Signale addieren

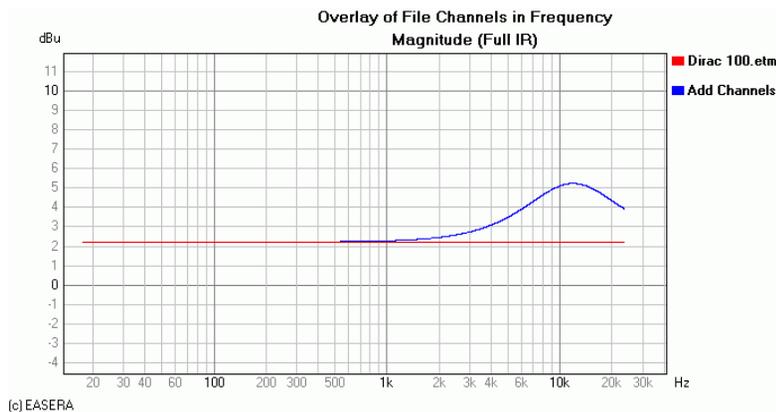
Nun wollen wir die beiden gefilterten Impulsantworten wieder zusammenaddieren. Wir erstellen ein Overlay (in der Frequenz!), in dem ausschließlich diese beiden Dateien enthalten sind und wählen dann *Edit/More/Add Channels*:



Wir können nun entscheiden, wie wir diese Signale summieren wollen und entscheiden uns für *Complex Vector*, also für eine Addition unter Berücksichtigung der Phasenlage.



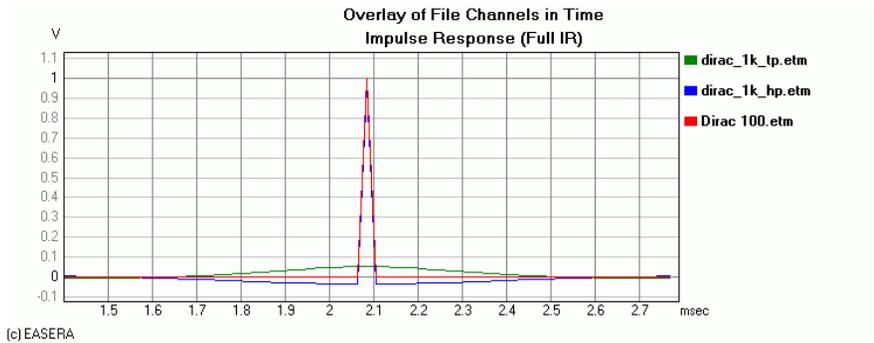
Wenn wir uns die Impulsantwort ansehen, dann stellen wir fest, dass die Summe der beiden Teile eine höhere Amplitude hat als das Original, dazu auch ein Überschwingen nach unten. Ein Blick in den Frequenzgang klärt das:



Bis auf Linkwitz-Riley-Filter addieren sich alle Filter-Typen mit einem 3 dB Peak an der Trennfrequenz. Das führt natürlich zu einer erhöhten Amplitude und zu einem leichten Hochpass-Verhalten.

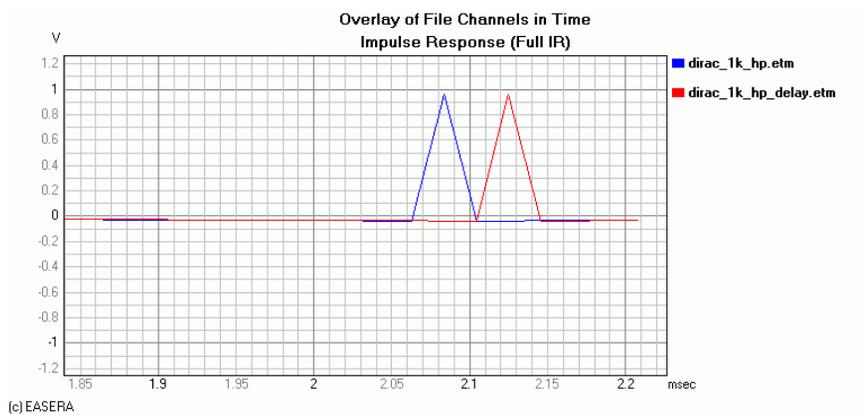
## Trennfrequenz bei 1 kHz

Wir wollen nun das Verhalten einer 2-Wege-Box simulieren. Hier wäre es allerdings recht unüblich, dass die Trennfrequenz bei 12 kHz liegt. Von daher erstellen wir wieder zwei Dirac-Kopien und trennen diese bei 1 kHz.



Im Vergleich zur Trennung bei 12 kHz hat nun der Tiefton-Anteil eine deutlich kleinere Amplitude – er erhält ja auch nur noch rund 4% der Leistung. Wenn Sie in einer Impulsantwort scharfe Zacken (von Sample zu Sample) sehen, dann können Sie davon ausgehen, dass es sich um Hochton-Anteile handelt.

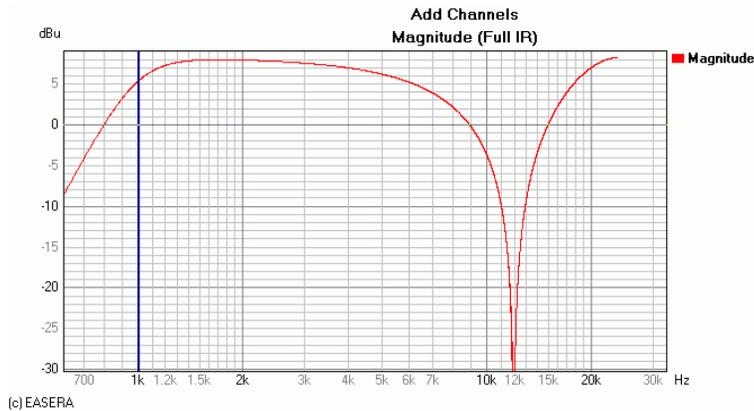
Wir wollen nun den Hochteil-Anteil wiederum duplizieren, und das Duplikat um 50  $\mu$ s (also 0,00005 s) nach hinten verschieben. Im Overlay betrachtet sieht das nun wie folgt aus:



Wenn wir nun beide Kanäle addieren, dann erhalten wir – nicht ganz unerwartet – in der Impulsantwort das folgende Ergebnis:



Nun schauen wir uns den Frequenzgang dazu an:

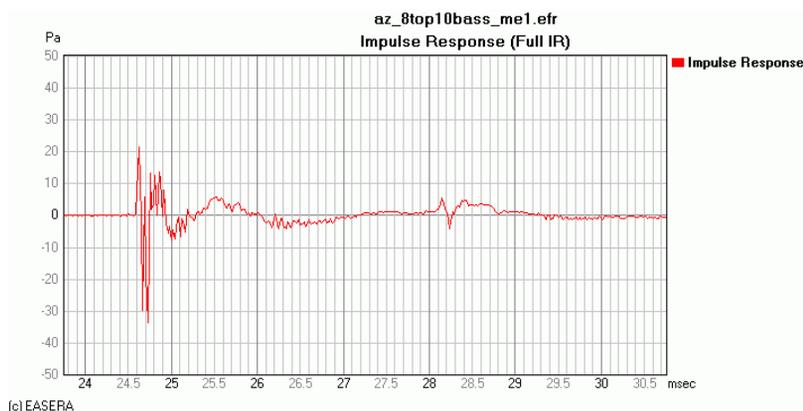


Der Abfall unter 1 kHz ist zu erwarten, da wir ja für beide Signale ein Hochpass gesetzt wurde. Dass zeitverzögerte Signale eine Interferenz bilden, ist ebenfalls nicht ungewöhnlich. Solche Interferenzen entstehen immer dann, wenn zwei Signale gleicher Frequenz und gleichen (oder zumindest ähnlichen) Pegels addiert werden. Bei einer Zeitverschiebung  $\Delta t$  tritt eine solche erste Interferenz bei einer Frequenz von  $1/(2\Delta t)$  auf, die weiteren bei  $n/(\Delta t)$  mit  $n=1,2,3,\dots$ . Bei einer Zeitverschiebung von  $50 \mu\text{s}$  läge die erste Interferenz also bei einer Periodendauer von  $100 \mu\text{s}$  und somit einer Frequenz von  $10 \text{ kHz}$ . Das erste Interferenz-Minimum tritt hier jedoch sehr deutlich bei  $12 \text{ kHz}$  auf.

Des Rätsels Lösung liegt hier in einer Sample Rate von  $48 \text{ kHz}$ , was zu einer Zeitauflösung von  $20,8 \mu\text{s}$  führt. Die  $50 \mu\text{s}$ , die wir als Delay-Zeit eingegeben haben, werden zum nächsten Wert gerundet, und  $(2 \times 20,8 =) 41,6 \mu\text{s}$  sind hier näher als  $(3 \times 20,8 =) 62,4 \mu\text{s}$ . Zum selben Ergebnis kommen wir auch, wenn wir den Abstand der beiden Impulsspitzen ausmessen. Wenn wir  $41,8 \mu\text{s}$  auf eine halbe Wellenlänge umrechnen, dann kommen wir zu der Frequenz von  $12 \text{ kHz}$ .

## Impulsantwort in der Praxis

In der Praxis haben wir natürlich nicht so schöne Impulsantworten, sondern eher etwas in dieser Qualität:



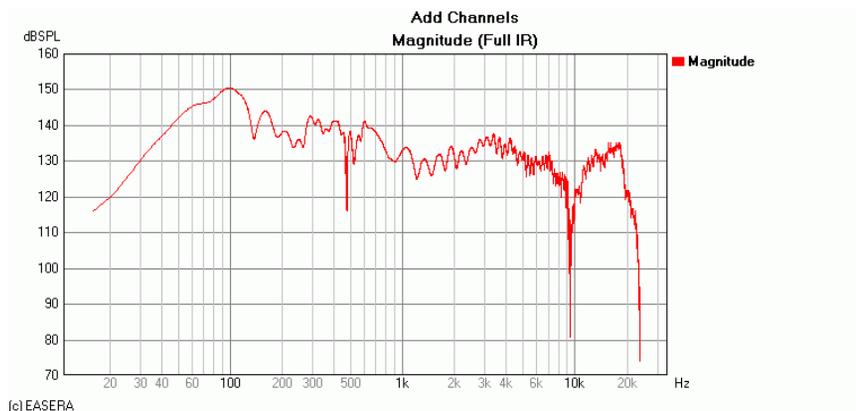
Der Impuls, den wir bei  $28,15 \text{ ms}$  sehen, hat einen Abstand von  $3,52 \text{ ms}$  zum Direktschall, das würde einem Abstand von etwa  $1,20 \text{ m}$  entsprechen. Es handelt sich also um die erste Reflexion auf dem schallharten Boden.

Da wir uns nur für den Frequenzgang der Lautsprecheranordnung (hier zwei Einzelsysteme mit je einem  $2 \times 8''$  und einem  $1''$ -Horn sowie je zwei  $4 \times 10''$ -Basshörner) interessieren, zoomen wir noch näher heran:



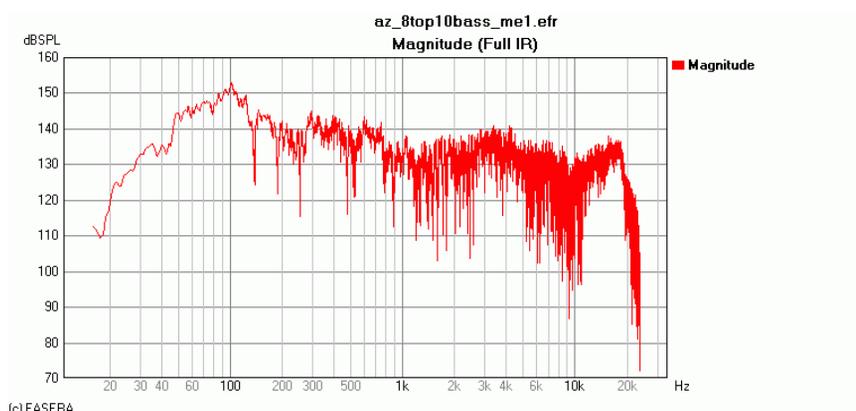
(c) EASERA

Was wir sehen, ist eine negative Doppel-Spitze, vermutlich dadurch hervorgerufen, dass die beiden Lautsprecher nicht exakt gleich weit vom Messmikrofon entfernt stehen. Mit dem eben Gelernten können wir auch gleich vorhersagen, wie sich das auf den Frequenzgang auswirken wird: Es wird einen Interferenz-Einbruch etwas unter 10 kHz geben. Der Blick in den Frequenzgang enttäuscht uns nicht:



(c) EASERA

Am Rande: Der Frequenzgang ist nur deswegen so glatt, weil mittels zweier Fenster die Reflexionen entfernt wurden. Ohne die Verwendung eines Fensters und ungeglättet würde er wie folgt aussehen:



(c) EASERA

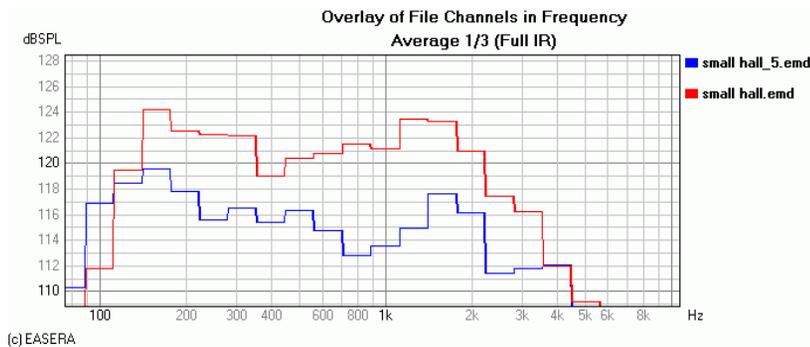
# Lektion 5: Messungen mitteln und addieren

Wir wollen uns nun ansehen, wie EASERA mehrere Datensätze durch Mittelung oder Addition zusammenfügt. Dazu verwenden wir zwei Messdatensätze aus einer Messung in einem mittelgroßen Saal in Berlin.

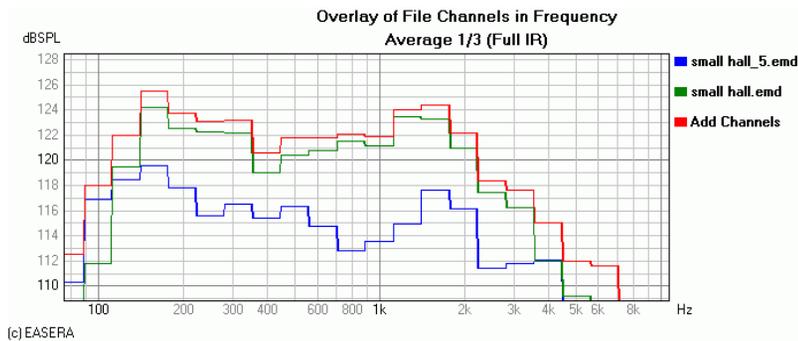
Die beiden Datensätze sind beide an der gleichen Position aufgenommen worden. Der eine Datensatz betrifft Messungen mit einem Intellivox-Lautsprecher (small hall.emd), der andere mit einem Lautsprecher, der als Punktquelle den Redner simuliert (small hall\_5.emd).

## Addition von Daten

Zunächst sollen beide Datensätze addiert werden. Wir stellen sie dazu in der Terz-Ansicht als Overlay dar.

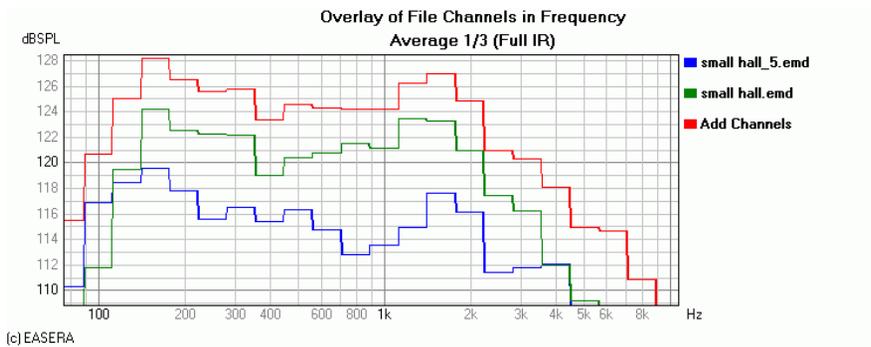


Dann wählen wir *Edit/More/Add Channels*. EASERA bietet uns drei Möglichkeiten, die beiden Kurven zu addieren, wir wählen zunächst *Energy(Squared)*. Anschließend zoomen wir in die entstandene Kurve und fügen die beiden Summanden als Overlay hinzu:



Die beiden Kurven addieren sich so, wie sich unkorrelierte Signale energetisch aufsummieren würden. Dort, wo die Pegel gleich sind (hier bei 4 kHz), liegt der Additionspegel um 3 dB höher.

Nun addieren wir wieder beide Kurven, von denen wir annehmen, dass sie Feldgrößen darstellen. Dann wählen aber diesmal *Magnitude* statt *Energy*:



Hier werden nun Feld- statt Leistungsgrößen addiert. Dort, wo die Pegel gleich sind (hier bei 4 kHz), liegt der Additionspegel um 6 dB höher.

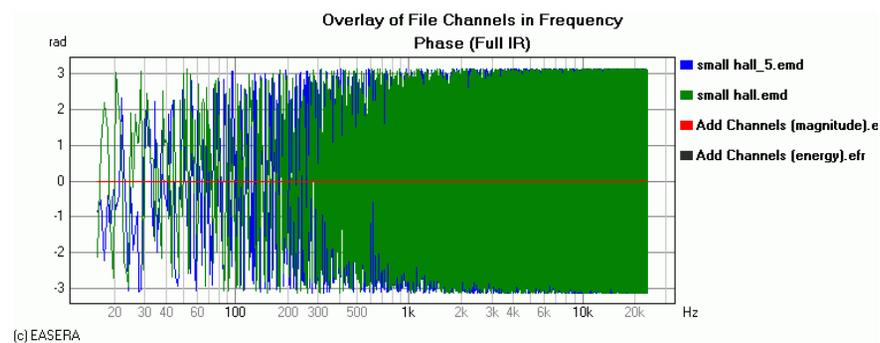
## Frequenzauflösung und Phasenverhalten

Bevor wir uns nun die dritte Möglichkeit (*Complex Vector*) ansehen, wollen wir zunächst die Frequenzauflösung und das Phasenverhalten betrachten. Wenn Sie bei einer der beiden Summenkurven den ungeglätteten Frequenzgang (*Magnitude*) betrachten, dann werden Sie feststellen, dass dieser sauber den Terzbändern folgt – zwischen *Magnitude* und *Average 1/3* besteht also keinerlei Unterschied.

Die Ursache liegt darin, dass hier keine Addition der Rohdaten erfolgt, sondern eine Addition in der Glättung, die aktuell dargestellt wird: Werden Terzbänder addiert, so folgt auch das ungeglättete Additionsergebnis diesen Terzbändern – eine höhere Auflösung kann auch später nicht mehr eingestellt werden.

Üblicherweise möchte man seine Rohdaten möglichst ungeglättet haben – eine geglättete Darstellung ist später ja jederzeit möglich. Von daher sollte eine Addition (und nachher auch eine Mittelwertbildung) mit ungeglätteten Daten (Eintrag *Magnitude* auf der Navigator-Seite *Graphs*) erfolgen.

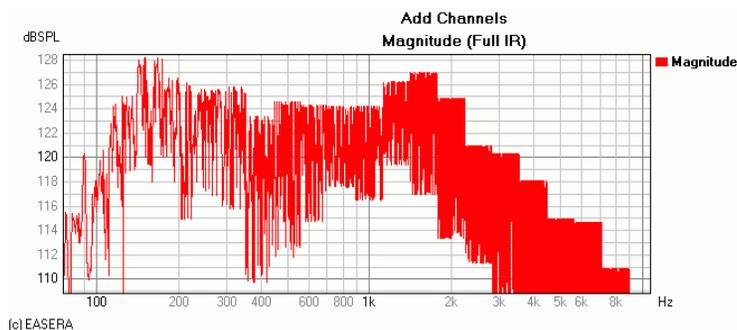
Als nächstes betrachten wir das Phasenverhalten der Summenkurven:



Sowohl bei *Magnitude* als auch bei *Energy* erhält jeder Ergebniswert die Phase 0 – die Summenbildung erfolgt hier also unter Verlust der Phaseninformation. Genau betrachtet geht die Phaseninformation nicht nur verloren, sie bleibt auch bei der Addition gänzlich unberücksichtigt. Zwischen den beteiligten Kanälen können also keine destruktiven Interferenzerscheinungen auftreten.

## Complex Vector

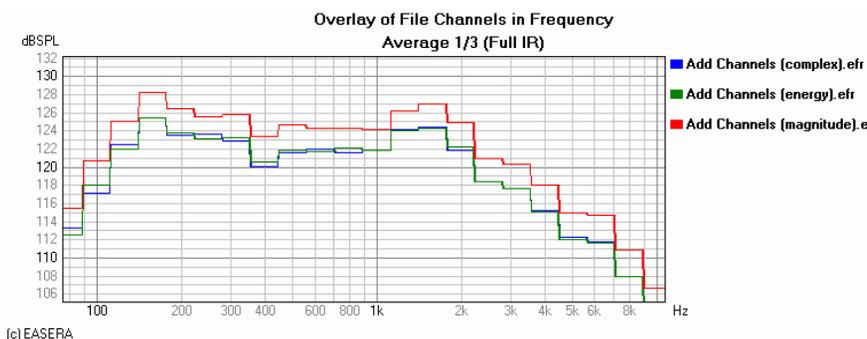
Nun sollen die beiden Kurven mit der Option *Complex Vector* addiert werden. Dabei wird neben der Amplituden- auch die Phasen-Information berücksichtigt:



Das Ergebnis sind zunächst einmal heftige Interferenzen und die daraus resultierenden Einbrüche im Frequenzgang. Bei einer vektoriellen Addition bleibt neben einer Betrags- auch die Phaseninformation erhalten.

Es stellt sich ohnehin die Frage, ob die vektorielle Addition von Oktav- und Terzspektren sinnvoll ist: Der Frequenzgang ist dabei für das jeweilige Oktav- oder Terzband gemittelt, der Phasengang jedoch nicht. Wird das Ergebnis einer solchen Addition dann als Frequenzgang dargestellt, dann lassen sich daraus keine sinnvollen Ergebnisse ablesen.

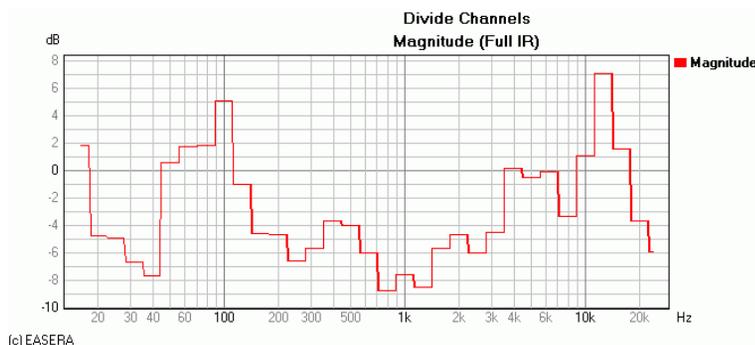
Wie die folgende Abbildung zeigt, würde die Darstellung dieser Kurve als Terzspektrum zu einem praxisrelevanten Diagramm führen, das sich jedoch weitestgehend mit der *energy*-Addition deckt:



Dasselbe Ergebnis wäre zu erwarten, wenn die Frequenzgänge komplex addiert und dann als Terzspektren angezeigt würden.

Wenn in der Realität Spannungen (Mischpult) oder Schalldrücke (zwei Schallquellen im selben Raum) addiert werden, dann geschieht das stets vektoriell, also unter Berücksichtigung der Phase. Dies kann in EASERA nachgebildet werden, indem Impulsantworten addiert werden, oder indem ungeglättete Frequenzgänge mit der Option *complex vector* addiert werden. Beides führt zum selben Ergebnis.

Neben der Addition von Kurven sind auch andere mathematische Operationen möglich. Bei der Subtraktion von Daten sind auch die Optionen *Magnitude*, *Energy* und *Complex Vector* verfügbar, während bei Multiplikation und Division die Berechnung stets vektoriell durchgeführt wird. Die Multiplikation entspricht einer sogenannten Faltung, mit ihr kann beispielsweise eine Kurve gefiltert werden. Die Division entspricht dann einer Entfaltung oder Normierung.



(Bei Pegeln handelt es sich ja um eine logarithmische Darstellung, so dass für eine Differenzbildung von Pegeln tatsächlich eine Division erforderlich ist.)

## Wann verwenden wir welche Option

Für den Einsteiger ist nicht immer klar, welche Option zur Addition (Subtraktion, Mittelung...) von Daten verwendet werden soll. Dazu folgende Richtlinien:

- Handelt es sich um unkorrelierte Signale (Nutzschall und Störspektrum) oder – was wohl der häufigste Anwendungsfall sein dürfte – um die Mittelung von Frequenzgängen über mehrere Raumpositionen, dann wird die Option *energy* verwendet.
- Handelt es sich um korrelierte Signale, dann wird die Option *Complex Vector* verwendet. Wenn beispielsweise bei einer Stereo-Beschallung an einer bestimmten Raumposition zunächst der links und dann der rechte Signalweg gemessen wird, dann kann mittels der Option *Complex Vector* ermittelt werden, welchen Frequenzgang diese Beschallungsanlage hat.
- Wenn zwei Feldgrößen (Signale wie Schalldruck oder Spannungen) addiert werden sollen, deren Phasenlage in der praktischen Anwendung vernachlässigt werden soll, dann kann die Option *Magnitude* verwendet werden.

Sollen Oktav- oder Terzspektren addiert (subtrahiert, gemittelt...) werden, dann sollte *Energy*, in wenigen Fällen auch *Magnitude*, nicht aber *Complex Vector* verwendet werden.

## Mittelung von Daten

Bei der Mittelung von Daten wird zunächst eine Summe gebildet, die dann durch die Anzahl der beteiligten Kanäle dividiert wird. Bezüglich der Optionen *Magnitude*, *Energy* und *Complex Vector* gilt dasselbe wie bei der Addition.

## Sprachverständlichkeit

Am Beispiel der Sprachverständlichkeit wollen wir uns nun ansehen, welchen Einfluss die Mittelung auf akustische Größen hat. Zu diesem Zweck verwenden wir zwei Messungen *small hall3.emd* und *small hall4.emd*, die mit denselben Lautsprechern (Intellivox) durchgeführt wurden, jedoch an unterschiedlichen Positionen.

An den Messpositionen erhalten wir in beiden Fällen denselben Sprachverständlichkeitswert STI von 0,587. Bei dem *speech transmission index* handelt es sich um einen Wert zwischen 0 und 1, je höher der Wert, desto besser die Sprachverständlichkeit. Würde von diesen beiden Sprachübertragungsindex-Werten das arithmetische (oder auch das geometrische) Mittel gebildet, dann wäre das Ergebnis wiederum 0,587.

Nun bilden wir die drei möglichen Mittelwerte (*Magnitude*, *Energy* und *Complex Vector*), lassen uns von diesen die Sprachverständlichkeit anzeigen und erhalten dabei die folgenden Werte:

- Magnitude: 0,754
- Energy: 0,757
- Complex Vector: 0,573

Dass bei Magnitude und Energy besonders gute Werte ermittelt werden, braucht nicht weiter zu verwundern: Durch die Durchschnittsbildung werden die Frequenzgänge glatter (Interferenzen aufgrund unterschiedlicher Phasen treten hier ja nicht auf), und der exakt glatte Phasengang verbessert das Ergebnis in der Regel weiter. Anders sieht das aus, wenn mit der Option *Complex Vector* gemittelt wird. Durch Interferenzen zwischen den beteiligten Messungen wird der Frequenzgang üblicherweise ungleichmäßiger, was den STI etwas verschlechtert.

Als Resultat halten wir fest, dass man der Versuchung widerstehen sollte, aus gemittelten Impulsantworten oder Frequenzgängen Zeit-basierte raumakustische Größen wie beispielsweise eine Sprachverständlichkeit oder eine Nachhallzeit zu ermitteln.

Eine Durchschnittsbildung von Sprachverständlichkeitswerten basierend auf gemittelten Impulsantworten oder Frequenzgängen sollte somit nie durchgeführt werden, weder mit EASERA noch mit anderen Messtools. Man kann und sollte höchstens einen repräsentativen STI-Wert, als Mittelwert mehrerer STI-Werte, sowie den Bereich, in dem der STI schwankt, angeben.

Sprachverständlichkeitswerte müssen stets von Einzelmessungen gebildet werden. Keine der drei Optionen führt zuverlässig zu wenigstens näherungsweise richtigen Ergebnissen: Bei *Magnitude* und *Energy* geht im Rahmen der Mittelwertbildung die Phaseninformation verloren, was die Sprachverständlichkeitswerte wider die Realität verbessert. Bei *Complex Vector* entstehen bei der Mittelwertbildung Interferenzen zwischen den einzelnen Positionen, was die Werte realitätswidrig verschlechtert.

## Andere akustische Größen

Was hier am Beispiel der Sprachverständlichkeit gezeigt wurde, gilt sinngemäß auch für andere akustische Größen: Die Mittelung von Impulsantworten führt nicht zu einer "repräsentativen Impulsantwort", deren akustische Größen dem Durchschnitt dieser aus den Einzelmessungen gebildeten Größen entsprechen.

Sind die Impulsantworten zumindest ähnlich, dann kann das Ergebnis eine Näherung eines Mittelwertes sein. Bei unähnlichen Impulsantworten wird man jedoch keine sinnvollen Ergebnisse erhalten.

## Frequenzgang

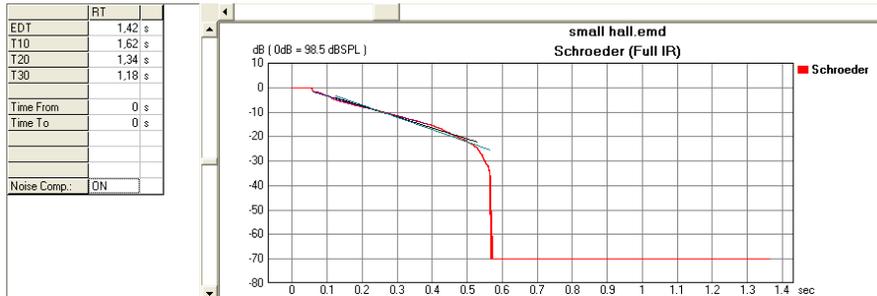
Der primäre Einsatzbereich der Mittelung ist die Bildung von Frequenzgängen über mehrere Mikrofonpositionen. Soll beispielsweise eine Beschallungsanlage mit einem Equalizer entzerrt werden, dann soll sie nicht für eine einzelne Mikrofonposition optimiert werden, sondern für die gesamte Publikumsfläche.

Man könnte auf dieser Publikumsfläche nun mehrere Messmikrofone verteilen. Würden deren Signale mittels eines Mischpults (oder analog in EASERA mit der Option *Complex Vector*) aufsummiert, dann würden zwischen diesen Signalen heftige Interferenzen entstehen. Richtig ist es demnach, die Kanäle einzeln aufzunehmen (EASERA erlaubt bis zu 32 Eingangskanäle) und dann energetisch den Summenfrequenzgang durch Averaging zu ermitteln.

# Lektion 6: Filtern und Fenstern

Filtern und Fenstern sind wesentliche Elemente bei der Aufbereitung der Daten für die Darstellung. Während Filtern im Frequenzbereich geschieht, erfolgt das Fenstern im Zeitbereich. Wir wollen uns hier die vielfältigen Möglichkeiten ansehen, die uns EASERA bietet.

Dazu verwenden wir die mitgelieferte Datei *small hall.emd* und wählen den Graph *Calculation/Schroeder RT*. Hier erhalten wir im Diagrammbereich den sogenannten Schröder-Plot, d.h. die von hinten aufintegrierte Energie, an der die Regressionsgeraden für die einzelnen Nachhallzeitgrößen angelegt sind. Die berechneten Werte für die Nachhallzeit werden auf der Navigatorseite *Details* angezeigt.



Das Schröder-Integral wird hier aus der kompletten Impulsantwort (Full IR) gebildet, es handelt sich also um die breitbandige Nachhallzeit.

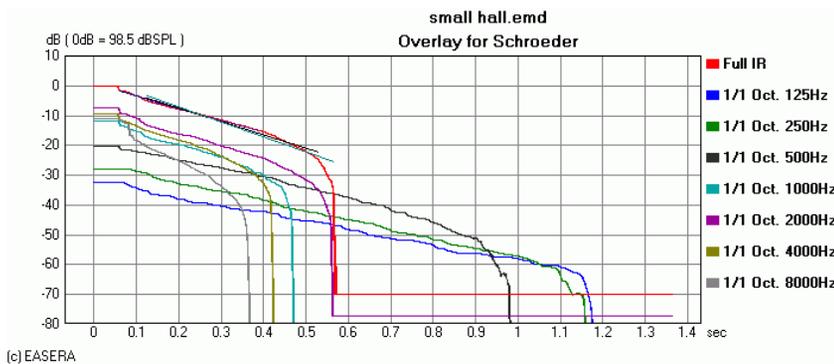
Üblicherweise ist die Nachhallzeit stark frequenzabhängig: Durch die Luftdämpfung und die meist höhere Absorption der Wandmaterialien bei hohen Frequenzen liegt die Nachhallzeit bei tiefen Frequenzen meist deutlich höher als bei hohen Frequenzen. In der Praxis ist deshalb die breitbandige Nachhallzeit von beschränkter Aussagekraft.

## Oktav- und Terzspektren

Um die Nachhallzeit für die einzelnen Oktavbänder zu bestimmen, klicken wir im Filterbereich auf den Button *Octaves*.



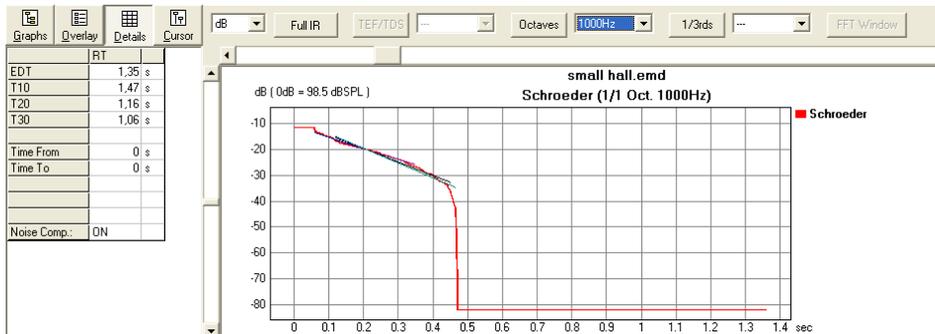
Damit zerlegt EASERA die Impulsantwort (und damit auch den davon abgeleiteten Schröder-Plot) in Oktavbänder.



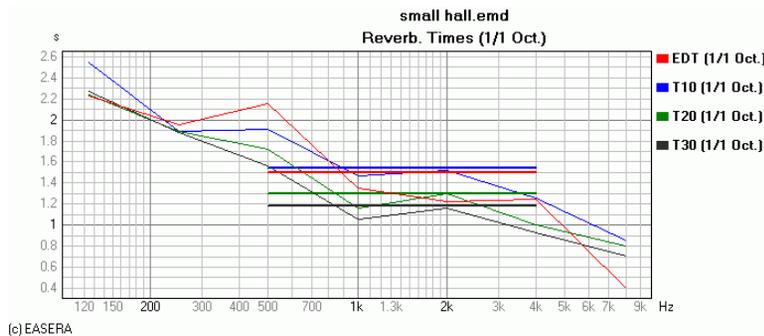
Wie hier schön zu sehen ist, sind die Kurven bei den tiefen Frequenzen flacher als bei den hohen, dementsprechend ist dort auch die Nachhallzeit länger.

Um die Werte in einem bestimmten Oktavband numerisch zu erhalten, wird in der Auswahlliste direkt rechts neben dem Button *Octaves* das entsprechende Frequenzband ausgewählt. Im Diagrammbereich

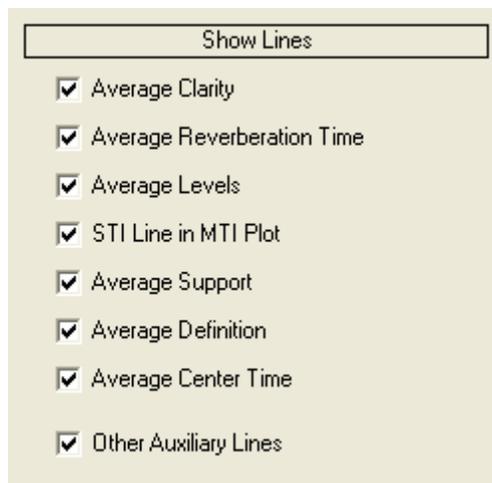
wird dann nur noch das Schröder-Integral zum betreffenden Oktavband angezeigt, während auf der Navigator-Seite *Details* die dazugehörigen Werte ausgegeben werden. Beachten Sie auch, dass in der Überschrift des Diagramms nun nicht mehr *Full IR* steht, sondern die Frequenz des gewählten Oktavbands angezeigt wird.



Es wäre jedoch nicht besonders effektiv, sich den oktavgemittelten Frequenzgang der Nachhallzeit über entsprechend viele Filtervorgänge „zusammen zu sammeln“ – EASERA bietet unter *Calculation/EDT, RT (Octave)* ein entsprechendes Diagramm an:



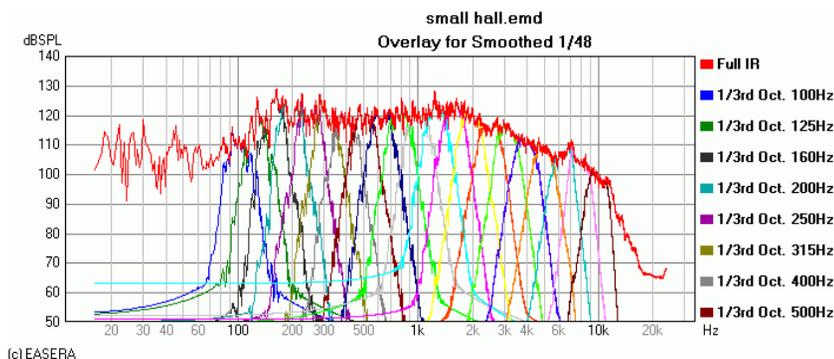
(Für die Darstellung in Terzen wäre es die Funktion *Calculation/Advanced/EDT, RT (1/3rd)*). Die waagerechten Linien im letzten Diagramm sind Mittelwerte über den angezeigten Frequenzbereich 500-4000 Hz. Diese Anzeige kann auch unter Optionen (F9) siehe *View&Calc/Options/Show Lines* ausgeschaltet werden.



## Terzspektren

Neben den Oktavspektren kann EASERA auch in Terzspektren zerlegen. Dazu wird im Filterbereich auf den Button *1/3rds* geklickt. Und auch hier lässt sich jedes Band einzeln betrachten.

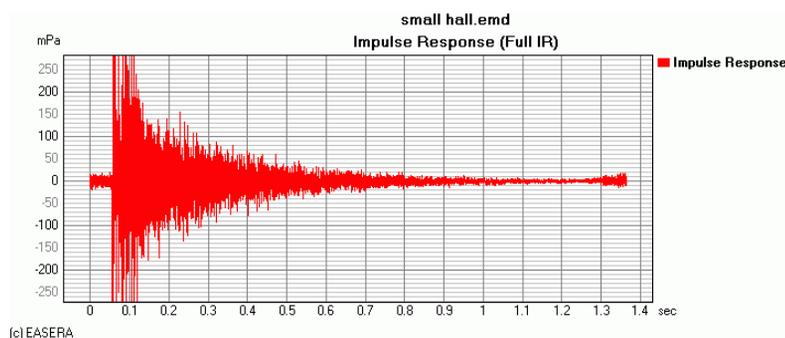
Sowohl mit den Oktav- als auch den Terzspektren können alle gängigen Diagramme dargestellt werden, hier als Beispiel ein Frequenzgang mit den Terzspektren im Overlay:



Neben den Oktav- und Terzfiltern bietet EASERA die Möglichkeit, beliebige Hoch-, Tief- und Bandpässe zu setzen. Dies wurde bereits in Kapitel 4 beschrieben.

## Fenster

Wie bereits im letzten Kapitel dargelegt, erscheinen die Verzerrungsanteile bei der Messung mit Sweeps (White Sweep, Pink Sweep, Weighted Sweep) in der Impulsantwort zeitlich vor dem Hauptimpuls. Da der Hauptimpuls bei der Zeitkorrektur durch zyklische Verschiebung nach vorne verschoben wird, sind die Verzerrungsanteile häufig am Ende der Impulsantwort angeordnet.

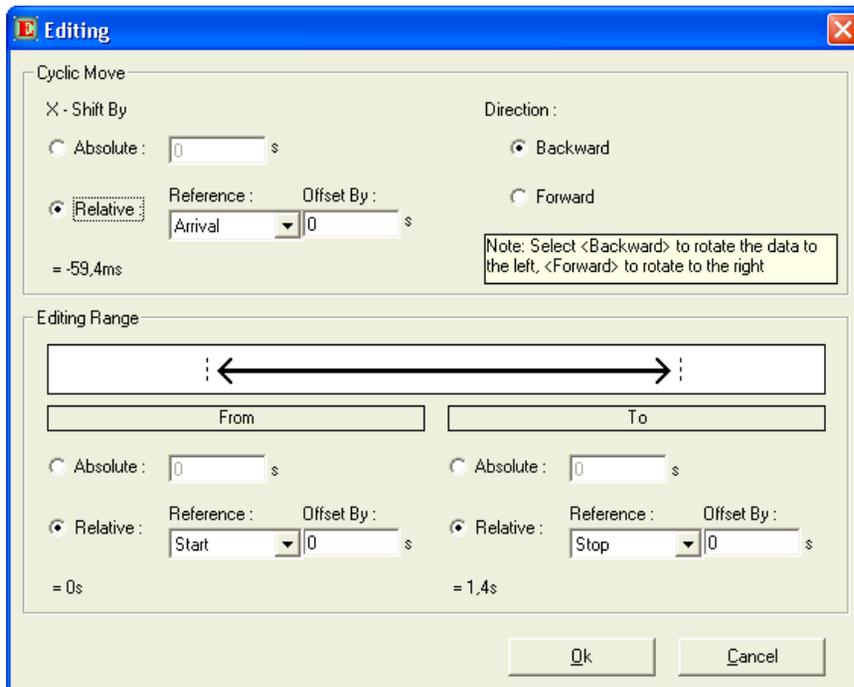


Nun mögen Verzerrungsanteile für Messungen an elektrischen Geräten und vor allem an Lautsprechern höchst interessant sein, sollen jedoch Auswertungen aus dem zeitlichen Verlauf gebildet werden (ETC, Nachhallzeit,...), dann verfälschen sie für gewöhnlich nur das Ergebnis. Mit Hilfe eines Fensters wollen wir uns nun von diesen Anteilen trennen.

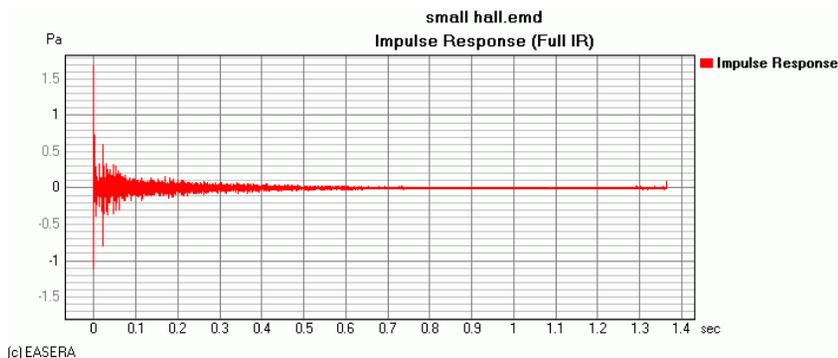
## Verschieben der Kurve

Bei genauer Betrachtung der Kurve stellen wir fest, dass der Impuls erst bei knapp 60 ms beginnt, was davor passiert, gehört schon zu den Verzerrungsanteilen. Im ersten Schritt wollen wir nun das Eintreffen des ersten Impulses auf 0 ms verschieben.

Wenn der Impuls – so wie hier – sich in der Darstellung klar vom davorliegenden Signal abhebt, dann führt der Aufruf von *Edit/Move Arrival to Zero* bereits zum gewünschten Ergebnis.



Im sich dadurch öffnenden Dialog ist freundlicherweise auch schon alles passend eingestellt: Wir verschieben um 0 s relativ zu *Arrival*, das hier bei 59,4 ms detektiert wurde (insgesamt verschieben wir also um 59,4 ms) nach links, also *backward*, und wir verschieben den ganzen Bereich, also von 0 s bis 1,4 s. Der Dialog kann also unter Beibehaltung der voreingestellten Werte mit *Ok* geschlossen werden.

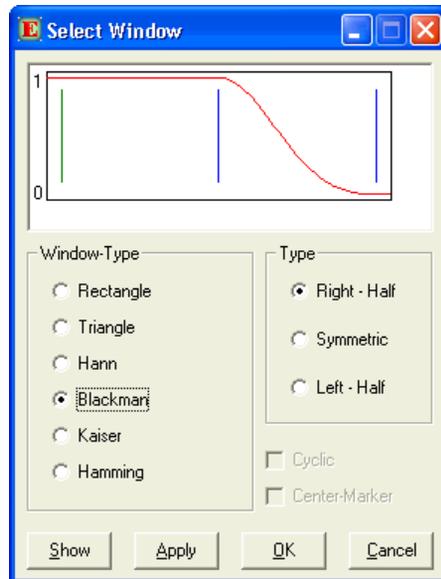


Der Impuls liegt nun „sauber“ bei 0 s.

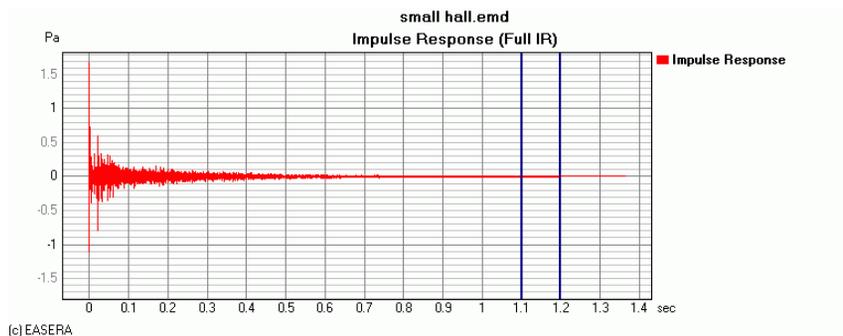
## Setzen des Fensters

Die Grenzen des Fensters sollen bei etwa 1,1 s und 1,2 s liegen, so dass alles nach 1,2 s entfernt wird. Diese Grenzen werden mit den beiden Markern gesetzt. Dazu wählt man entweder mit *Mouse/Set Marker* den entsprechenden Modus oder verwendet während des Setzens die Strg-Taste. Um den linken Marker zu setzen, klickt man mit der linken Maustaste auf das Diagramm an der Position 1,1 s, der rechts Marker wird analog dazu mit der rechten Maustaste bei 1,2 s gesetzt.

Anschließend wählen wir die Funktion *Edit/Window*.

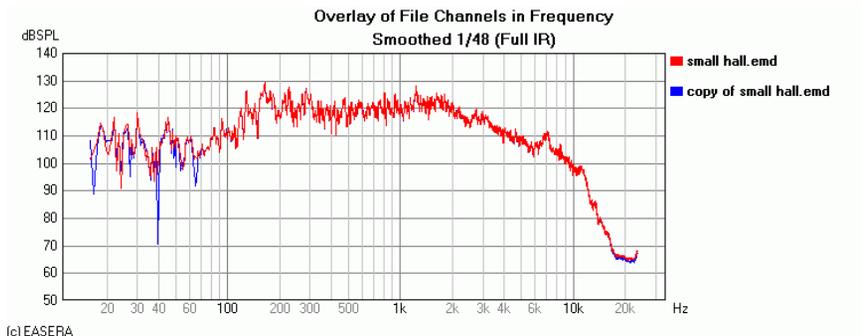


Essentiell ist die Auswahl des Typs *Right-Half*, damit wird dafür gesorgt, dass die Signalanteile rechts der Marker durch das Fenster entfernt werden. Über die Frage, wie das Signal innerhalb der Fenstergrenzen an welcher Position genau wie gedämpft werden soll, dafür gibt es unterschiedliche Modelle, die hier mit *Window-Type* ausgewählt werden können. Da wir in einem Bereich fenstern, in dem der Pegel ohnehin recht gering ist, ist der verwendete Fenster-Typ von stark untergeordneter Bedeutung. (*Blackman* ist immer eine gute erste Wahl.) Wir schließen dann den Dialog mit *OK* und führen damit die Fensterung durch.



Wie schön zu sehen ist, ist ab 1,2 s kein Signal mehr vorhanden.

Es wurde bereits erwähnt, dass sich eine Änderung der Impulsantwort immer auch auf den Frequenzgang auswirkt – das „Ausfenstern“ der Verzerrungsanteile bildet da keine Ausnahme. Wie die folgende Abbildung zeigt, sind die Abweichungen gering – was auch nicht verwundert, da auch die Energie der Verzerrungsanteile recht klein ist.



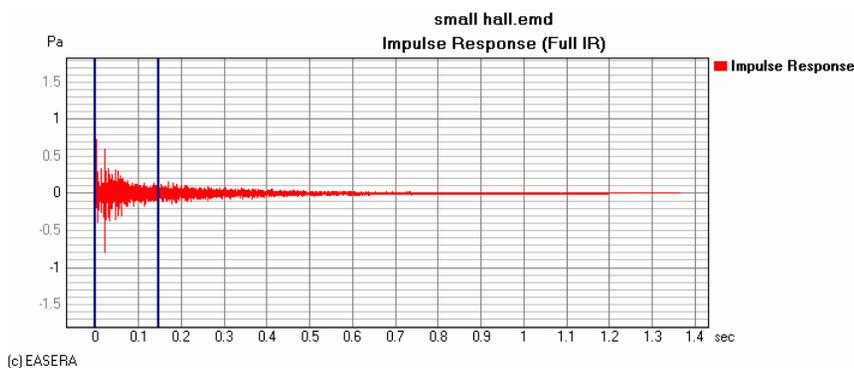
## Filtern

Analog dazu wird beim Filtern der Daten vorgegangen. Während beim Fenstern im Zeitbereich gearbeitet wird, passiert das Filtern im Frequenzbereich. Auch dort werden die Grenzen mit Markern gesetzt, danach erfolgt der Aufruf von *Edit/Filter* – wir haben das ja schon in Kapitel 4 durchgeführt.

## Fenstern der Ansicht

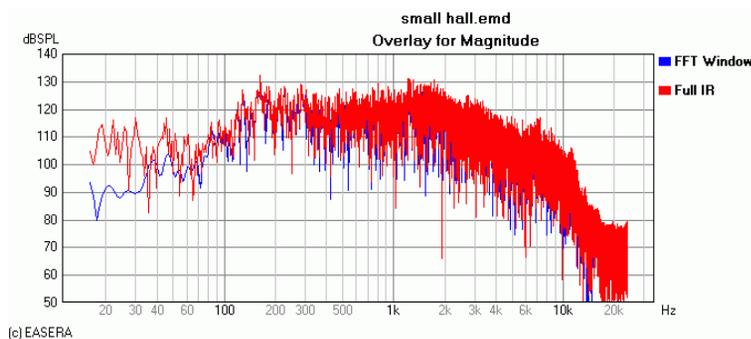
Das Fenstern lässt sich zwar wie alle Operationen in EASERA mit der Undo-Funktion rückgängig machen, so dass darüber ein Vergleich von gefensterten und ungefensterten Daten möglich ist. Wollte man beide in einem Overlay gegenüberstellen, dann würde dies jedoch nur mittels einer Kopie gehen.

Deshalb besteht die Möglichkeit, eine Fensterung nur für die Ansicht vorzunehmen. Auch hier werden die Fenstergrenzen mit den Markern gesetzt, da aber hier stets symmetrische Fenster verwendet werden (alles außerhalb der Marker wird ausgeblendet), setzen wir den linken Marker auf 0 s (am einfachsten mit dem Button *Left Marker to Left End*). Damit der Unterschied deutlicher hervortritt, soll der rechte Marker auf etwa 0,15 s gesetzt werden:



Anschließend klicken wir im Übersichtsbereich auf den Button *FFT* (auf der rechten Seite, unter *Zoom*). EASERA führt die Fensterung durch und wechselt dann gleich in den ungeglätteten Frequenzgang.

Nun wählen wir die Funktion *Add to Overlay* und klicken dann im Filter-Bereich auf den Button *Full IR*.

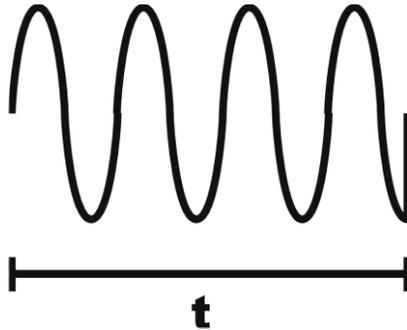


Dadurch wurde ein Overlay der Originaldaten und der gefensterten Daten erstellt. Die gefensterten Daten stehen nun ähnlich einem Oktav- oder Terzband zur Verfügung und werden im Filterbereich mit dem Button *FFT Window* aufgerufen. (Bei dieser Möglichkeit zu fenstern wird stets der Fenster-Typ *Rechteck* verwendet. Sollen andere Fenster-Typen verwendet werden (Blackman, Kaiser, Hamming), dann muss auf die vorhin gezeigte Weise gefenstert werden.)

## Fenster-Typen

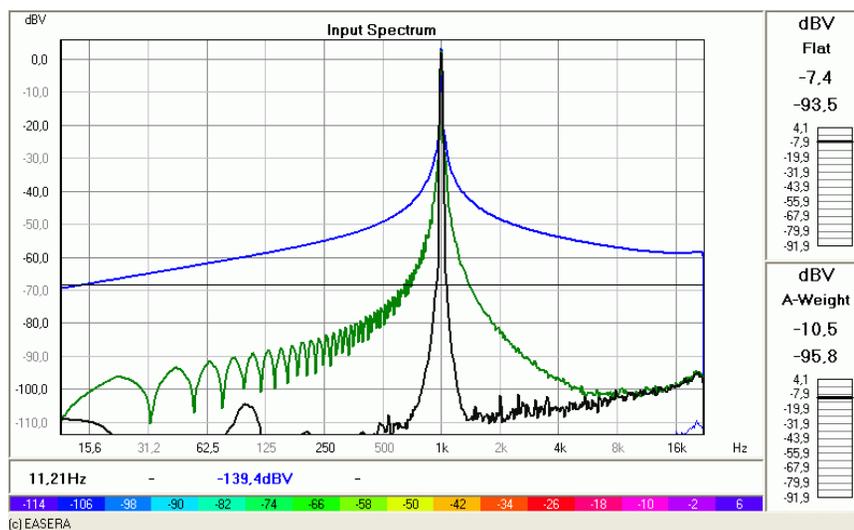
Nehmen wir an, wir unterziehen einen Sinus-Dauerton von 1 kHz einer FFT-Analyse. Eigentlich sollte dabei nur ein Ergebnis entstehen, eben an der Frequenz 1 kHz. Dem ist leider nicht so.

Eine FFT-Analyse wertet einen bestimmten Zeitraum aus, dieser ergibt sich aus der Sample-Rate und der Anzahl der Zeitsamples, welche immer eine Potenz zur Basis 2 sind (also beispielsweise 256, 2048 oder 32768). Wenn dieser Auswertungszeitraum nicht in einem ganzzahligen Verhältnis zur Periodendauer steht, wird die letzte Halbwellen angechnitten:



An dieser Stelle entstehen nun entsprechend Oberwellen.

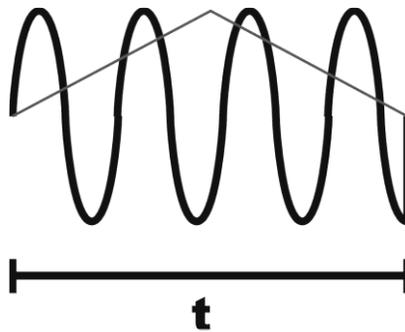
Wenn wir uns das 1 kHz-Signal im Live-Fenster ansehen, dann erhalten wir ohne weitere Maßnahmen das folgende Spektrum (Rechteckfenster: blaue Kurve):



Bei der doppelten oder halben Frequenz (2 kHz und 500 Hz) liegen wir also etwa 50 dB unter dem Nutzsignal. Dieser Wert hängt jedoch stark davon ab, wie stark der Anchnitt an den Rändern des Auswertungszeitraums ist. Zudem könnte man bei einem reinen Sinuston durch Triggerung einen Anchnitt am Beginn des Auswertungszeitraums vermeiden, nicht jedoch bei einem praxisüblichen Signal.

Bei einigen Auswertungen – beispielsweise bei der Ermittlung der Klirrfaktoren – möchte man recht genau wissen, bei welcher Frequenz welcher Pegel herrscht. Einflüsse durch fehlende Fensterung kann man dabei nicht gebrauchen.

Deshalb wird das Signal über den Auswertungszeitraum unterschiedlich stark gewichtet. Diese Gewichtung nennt man Fenster. Im einfachsten Fall haben wir einen linearen Anstieg bis zur Hälfte des Auswertungszeitraums und danach einen linearen Abfall. Diesen Fenstertyp nennt man *Dreieck*.



Das Verhalten des Dreieck-Fensters wird in obigem Diagramm mit der grünen Kurve dargestellt. Gegenüber dem Rechteckfenster kann hiermit bereits eine klare Verbesserung um ca. 30 dB erreicht werden, wenn auch mit vielen Sidelobes. Einige Mathematiker haben Fenster entworfen, die noch weniger das Ergebnis verfälschen, als Beispiel wurde im Diagramm das Blackman-Fenster verwendet (schwarze Kurve). Diese Fenstertypen leiten sich aus trigonometrischen Funktionen ab und sind in der Regel stetiger als das Dreieck.

Verfälschungen eines Sinustones können allerdings nur dann völlig vermieden werden, wenn der Wellenzug genau auf die FFT-Länge passt, d.h. der Übergang vom letzten auf das erste Sample ohne Stufe erfolgt. Dazu muss der Auswertungszeitraum exakt ein ganzzahliges Vielfaches der Periodenlänge sein. In diesem speziellen Fall ist dann auch kein Fenster zur Abschwächung der Randeffekte nötig.

# Lektion 7: Ergebnisse darstellen

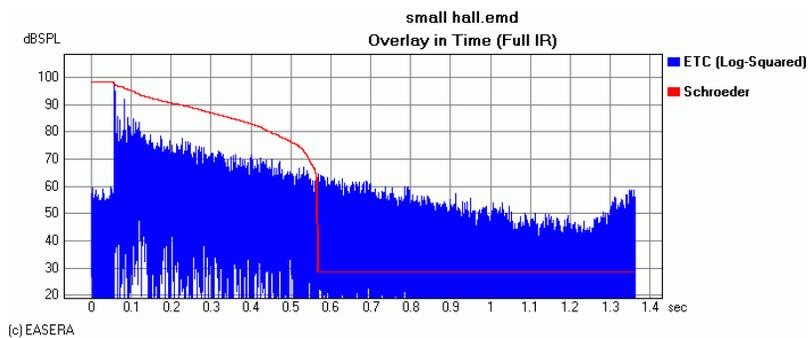
Messungen müssen oft in Dokumentationen eingearbeitet werden. Auch dafür bietet EASERA geeignete Funktionen.

## Overlays erstellen

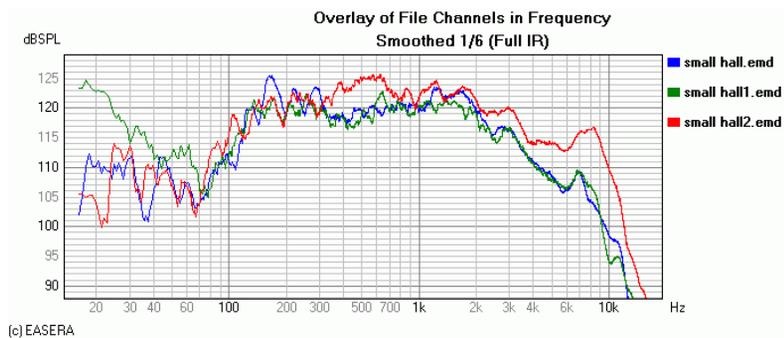
Ein Overlay ist die Darstellung mehrerer Kurven im selben Diagramm. Um ein Overlay zu erstellen, aktivieren Sie einfach die Funktion *View/Add to Overlay* und rufen die hinzuzufügenden Kurven nacheinander auf.

EASERA erlaubt mehrere Arten von Overlays:

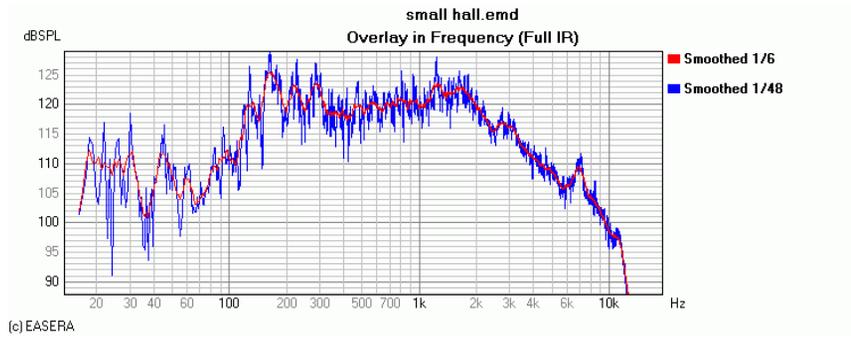
- Verschiedene Kurven im selben Diagramm, hier im Beispiel ETC und Schröder-Plot. Beachten Sie, dass Sie nur Kurven mit denselben Achsen zu einem Overlay zusammenfassen können – ein gemeinsames Overlay von Frequenzgang und Impulsantwort wäre beispielsweise nicht möglich.



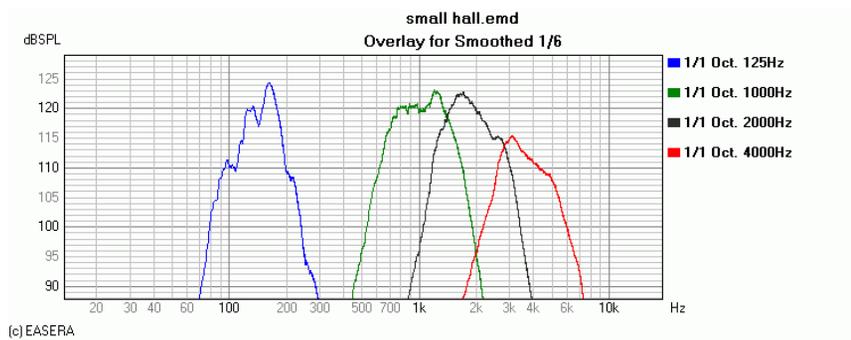
- Unterschiedliche Messungen



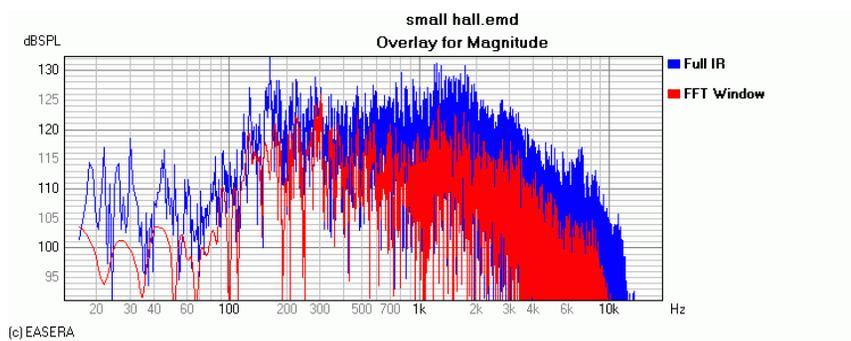
- Unterschiedliche Glättungen



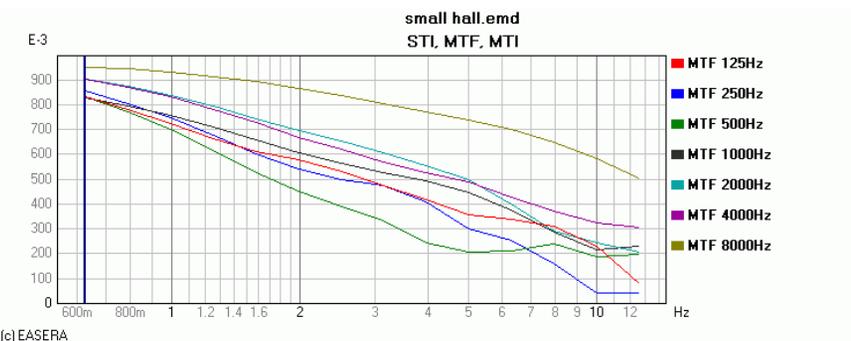
- Unterschiedliche Terz- oder Oktavbänder



- Gefensterte und ungefensterte Darstellung



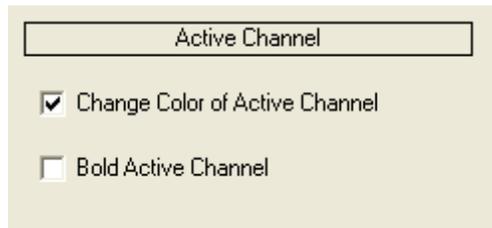
- Bei einigen Kurven aus dem Bereich *Calculation* wird automatisch ein Overlay erstellt, hier im Beispiel werden bei der Sprachverständlichkeit die Modulationsübertragungsfunktionen als Overlay dargestellt.



## Die Navigator-Seite Overlay

Auf der Navigator-Seite *Overlay* ist eine Liste aller Kurven zu finden, die am Overlay beteiligt sind. Sie haben dort folgende Möglichkeiten:

- Sie können die aktive Kurve setzen. Diese wird stets mit der Farbe rot angezeigt, und alle nun durchgeführten Berechnungen werden nur mit der aktiven Kurve durchgeführt. (Die Farbe der aktiven Kurve lässt sich im Optionen-Fenster (F9) unter *General/Colors* im Bereich *Color Scheme/Active Channel* einstellen.)



Um die aktive Kurve zu setzen, klicken Sie mit der linken Maustaste in die Spalte *A* (=Active) der zu aktivierenden Zeile.

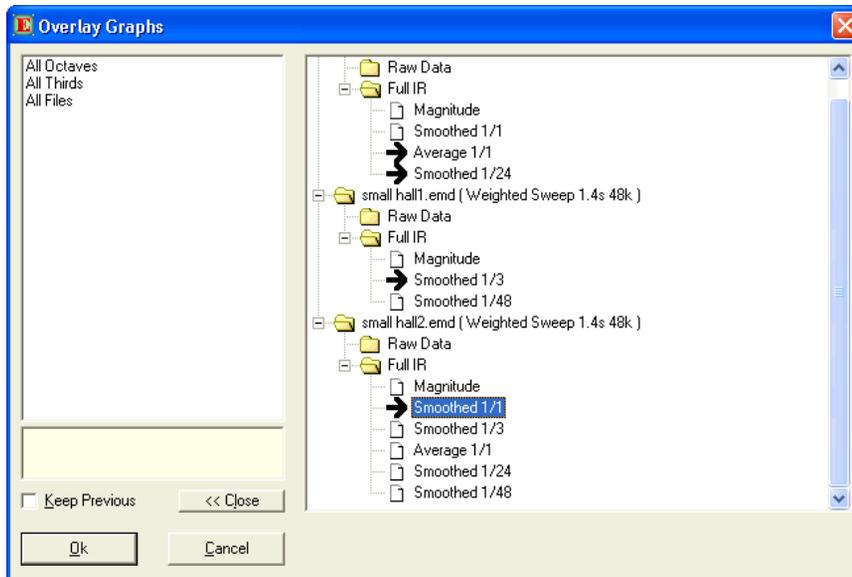
- Sie können Kurven ein- und ausblenden, dazu klicken Sie mit der linken Maustaste in die Spalte *V* (=Visible) der entsprechenden Zeile.



- Sie können Kurven aus dem Overlay entfernen. Dazu klicken Sie mit der rechten Maustaste in die entsprechende Zeile.

## Die Funktion Select Overlay

Mit der Funktion *View/Select Overlay* öffnen Sie ein Fenster, mit dessen Hilfe Sie aus den bestehenden Overlays eines zur Anzeige auswählen können. Sie können auch aus den bereits erstellten Kurven der vorhandenen Datensätze diejenigen auswählen, die Sie zu einem Overlay kombinieren möchten.



Vorhanden sind in dieser Darstellung alle Datensätze, die seit dem Laden der Datei oder der Messung explizit erstellt worden sind.

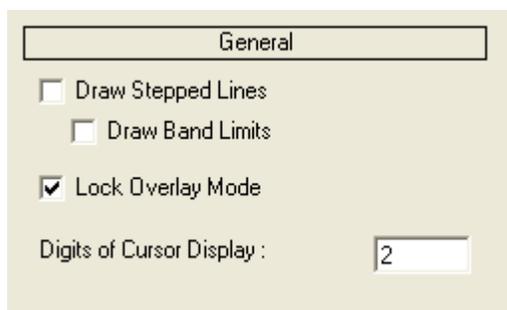
Die Funktion *Select Overlay* lässt sich auch mit dem folgenden Button aufrufen:



## Add To Overlay

Sie können einstellen, ob die Funktion *Add To Overlay* für jede Kurve neu aktiviert werden muss, oder ob sie solange aktiviert bleibt, bis sie explizit wieder deaktiviert wird.

Dazu verwenden Sie in den Optionen (F9) auf der Seite *View & Calc/Options* im Abschnitt *General* die Option *Lock Overlay Mode*. Ist diese Option aktiviert, dann bleibt *Add To Overlay* solange aktiviert, bis es durch erneuten Aufruf dieser Funktion deaktiviert wird.



Die Funktion *Add To Overlay* lässt sich auch mit dem folgenden Tool-Button aufrufen:



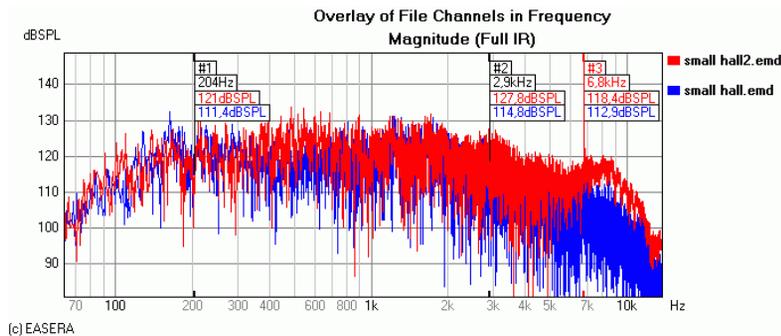
## Display Active Only

Sollen alle Kurven des Overlays mit Ausnahme der aktiven Kurve ausgeblendet werden, dann kann dafür die Funktion *View/Display Active Only* verwendet werden. Auch diese Funktion lässt sich mit Hilfe eines Tool-Buttons aufrufen:



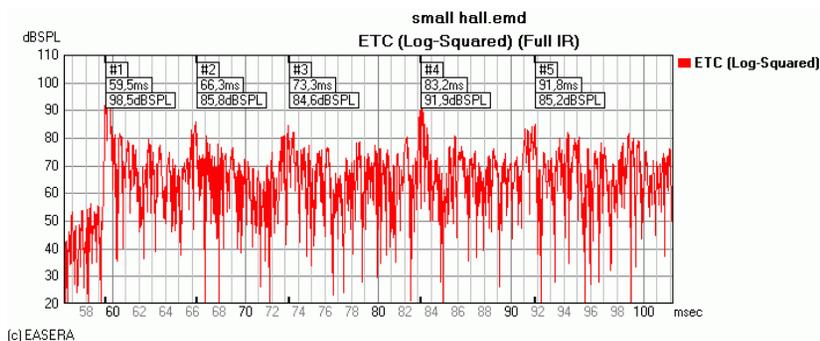
## Cursor

Um bestimmte Stellen in einem Diagramm hervorzuheben, kann man Cursor setzen. Zu diesem Zweck wählt man entweder *Mouse/Peek* oder man hält die Umschalt-Taste gedrückt, während man mit der rechten Maustaste auf die entsprechende Position klickt.

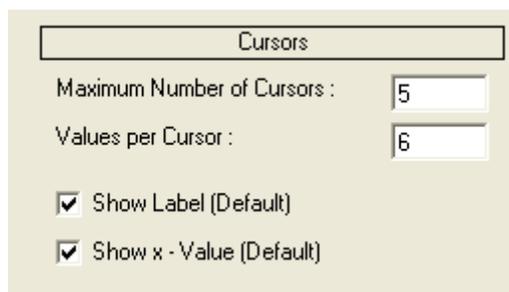


An den Cursor-Positionen werden nun der betreffende Wert der X-Achse (hier im Beispiel die Frequenz) sowie die Y-Werte (hier Pegel) der Kurven im Overlay dargestellt.

Cursor werden auch gerne verwendet, um im ETC-Diagramm die einzelnen Reflexionen zu kennzeichnen:



Die maximale Anzahl der Cursor lässt sich im Optionsfenster (F9) unter *View & Calc/Options* im Bereich *Cursors/Maximum Number of Cursors* einstellen. Ist die maximale Anzahl der Cursor erreicht, werden mit einem Rechtsklick keine neuen Cursor mehr erstellt, sondern es wird der aktive Cursor umgesetzt.

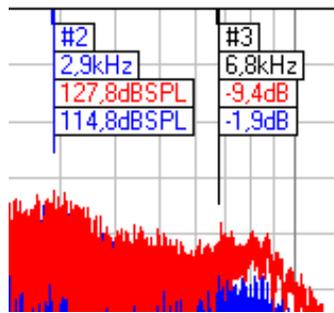


## Die Liste der Cursor

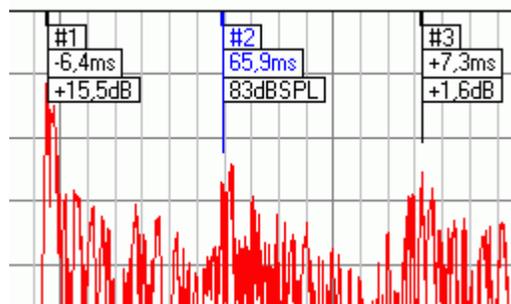
Auf der Navigator-Seite *Cursor* finden Sie eine Liste der Cursor. Sie können hier unter anderem folgende Aktionen ausführen:

C	A	R	V	Freq.	Label	
■			X	204Hz	X #1	X
■		■	X	2,9kHz	X #2	X
■			X	6,8kHz	X #3	X

- Um den ganzen Cursor aus- oder einzublenden, klicken Sie auf die Spalte *V (=Visible)* in der entsprechenden Zeile.
- Um die Frequenzanzeige aus- oder einzublenden, klicken Sie auf die Spalte hinter der Spalte *Frequency* in der entsprechenden Zeile
- Um die Beschriftung aus- oder einzublenden, klicken Sie auf die Spalte hinter der Spalte *Label* in der entsprechenden Zeile.
- Sie können die Werte der Y-Achse relativ zu den Werten eines ausgewählten Cursors anzeigen lassen. Wählen Sie dazu einen Cursor mit einem Mausklick in die Spalte *R (=Relativ)* aus.



Die Frequenz und die Beschriftung des gewählten Cursors wird im Diagramm nun blau dargestellt, die Y-Werte der anderen Cursor werden dann relativ zum gewählten Cursor angezeigt. Im Zeitbereich werden auch die Zeitangaben relativ zum gewählten Cursor angezeigt:



- Um einen Cursor zu entfernen, wird ein Rechtsklick in die entsprechende Zeile ausgeführt. Um alle Cursor zu entfernen, wird am unteren Rand *Remove All* angeklickt.
- In den Modi *Sample* und *Mouse* wird der Cursor an die Stelle gesetzt, an die mit der rechten Maustaste geklickt wird. Wird der Modus *Snap* gewählt, dann wird der Cursor auf das Maximum in einem Bereich von +/- 3 Pixel zur Mausposition gesetzt.

## Diagrammausschnitt

Um den gewünschten Diagrammausschnitt zu wählen, gibt es eine ganze Reihe von Funktionen:

### Full

Mit der Funktion *View/Full* wird das ganze Diagramm angezeigt. Mit den Funktionen *Full Y* und *Full X* kann man erreichen, dass der volle Bereich der Y-Achse beziehungsweise der volle Bereich der X-Achse angezeigt wird. Es lassen sich dafür auch die folgenden Tool-Buttons verwenden:



Im Fenster Optionen (F9) kann man unter *View & Calc/Options* sowie unter *View & Calc/Full View* einstellen, was unter einer vollständigen Darstellung zu verstehen ist.

Bei einer Zeitachse wird prinzipiell der gesamte Zeitraum der Messung angezeigt, bei einer Frequenzachse bis hin zur halben Samplingfrequenz – die untere Frequenz lässt sich in den Optionen (F9) unter *View & Calc/Options* im Bereich *Lowest Frequency to Draw* einstellen.

Lowest Frequency to Draw

0 Hz - Full Range

8 Hz                       32 Hz

16 Hz                       63 Hz

Im Bereich der Y-Achse sind unterschiedliche Einstellungen für lineare und logarithmische (dB-Skala) Werte möglich:

Full View

<p><b>1</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Linear Data</span></p> <p><input type="radio"/> Min. to Max. (asymmetric)</p> <p><input checked="" type="radio"/> Symmetric with Abs. Max.</p> <p><b>2</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Positive Linear Data</span></p> <p><input checked="" type="radio"/> Min. to Max.</p> <p><input type="radio"/> Keep Zero Visible</p> <p><b>3</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Logarithmic Data</span></p> <p>Maximum :</p> <p><input type="radio"/> Round 1dB</p> <p><input type="radio"/> Round 5dB</p> <p><input checked="" type="radio"/> Round 10dB</p> <p><input type="radio"/> Relative Border</p>	<p><b>4</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Relative Border</span></p> <p>Horizontal [%] : <input style="width: 50px;" type="text" value="5.0"/></p> <p>Vertical [%] : <input style="width: 50px;" type="text" value="5.0"/></p>	<p><b>5</b> <span style="border: 1px solid black; padding: 2px;">Result Data</span></p> <p>Use Relative Border :</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Reverberation Time RT</p> <p><input type="checkbox"/> Clarity C</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Definition D</p> <p><input type="checkbox"/> MTF/MTI</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Center Time</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Support ST</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Sound Strength G</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> IACC</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Lateral Fraction LF/LFC</p>
--	---	---

Im Bereich der linearen Daten (1) lässt sich einstellen, ob der Skalenbereich vom Minimum zum Maximum geht, oder ob er symmetrisch zur 0-Achse angelegt wird.

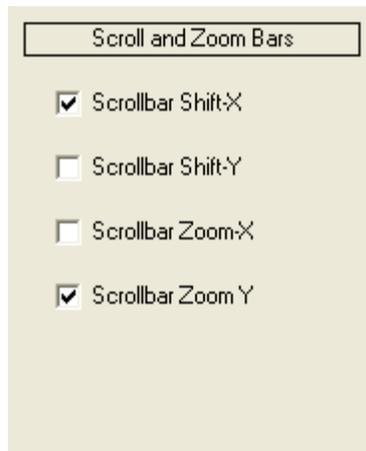
Sind nur positive lineare Daten möglich (2), dann kann eingestellt werden, ob in jedem Fall auch die 0-Achse angezeigt wird oder nicht.

Bei logarithmischen Daten (3) geht die Skala stets über das Maximum hinaus auf den nächsten gerundeten Wert. Es kann hier eingestellt werden, ob dabei auf 1 dB, 5 dB oder 10 dB gerundet wird. Das Minimum liegt dann einen eingestellten Differenzwert unter dem Maximum.

Bei Diagrammen, bei denen solche Einstellungen unwirksam sind, lässt sich mit *Relative Border* eine Art Rand um die angezeigten Kurven ziehen (4), der eingegebene Wert gibt die Größe des Randes in Prozent der Diagrammbreite beziehungsweise -höhe an. Unter *Result Data* (5) kann eingestellt werden, für welche Diagramme dieser Rand verwendet werden soll.

## Zoomen

Um in ein Diagramm hineinzuzoomen, gibt es mehrere Möglichkeiten. Zunächst einmal sind um das Diagramm herum bis zu vier Scrollbalken angebracht. Mit dem oberen und dem rechten Scrollbalken kann man die Darstellung in der betreffenden Dimension skalieren, während sie mit dem linken und dem unteren Scrollbalken verschoben werden kann. Welche Scrollbalken sichtbar sind, lässt sich in den Optionen unter *View&Calc/Layout/Scroll and Zoom Bars* einstellen.

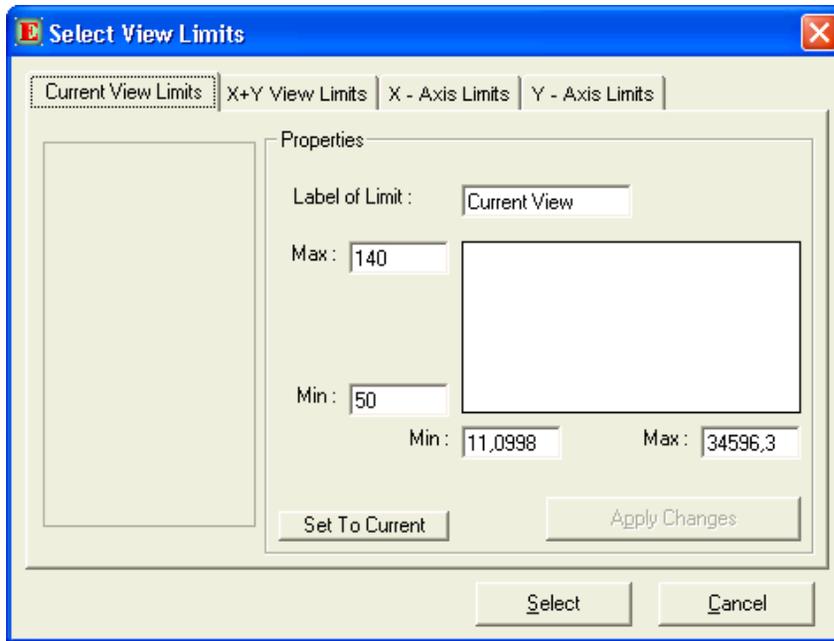


Des Weiteren kann auch dadurch gezoomt werden, dass mit der Maus ein entsprechender Bereich aufgezoogen wird. Dafür gibt es zwei Modi: Mit *Mouse/Zoom X / Zoom Y* kann man jeweils nur in einer Dimension den anzuzeigenden Ausschnitt wählen: Für die X-Achse zieht man einen Bereich mit der linken Maustaste auf, für die Y-Achse mit der rechten Maustaste.

Wählt man den Modus *Mouse/Zoom*, dann wird die Anzeige auf exakt den Rahmen vergrößert, den man dann aufzieht. Um nicht ständig den Maus-Modus umschalten zu müssen, sind alle verfügbaren Mausmodi auch als Kombination mit den Steuerungstasten verfügbar: Die Funktion *Zoom X/Zoom Y* wird auch bei gleichzeitigem Halten der Strg- und Alt-Taste verwendet, die Funktion *Zoom* bei gleichzeitigem Halten der Shift-, Strg- und Alt-Taste.

## View Limits

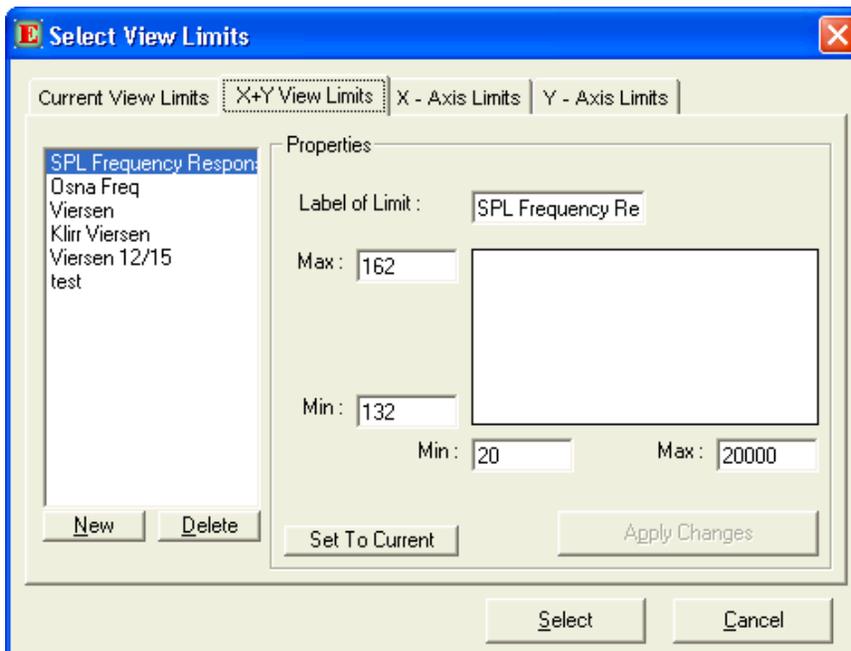
Gerade dann, wenn man Diagramme für Dokumentationen verwendet, möchte man üblicherweise für alle Diagramme gleiche Ausschnitte verwenden. Auch das lässt sich in EASERA einfach bewerkstelligen: Mit einem Mausklick auf eine der beiden Skalen öffnet man das Fenster *Select View Limits*.



Hier stehen nun mehrere Registerseiten zur Verfügung:

Auf der Seite *Current View Limits* werden die aktuellen Diagrammgrenzen angezeigt. Sie lassen sich durch andere Werte überschreiben, diese werden aber nicht gespeichert.

Möchte man wiederholt dieselben Grenzen zuweisen, dann sollte man auf die Registerseite *X+Y View Limits* wechseln:



Hier lassen sich mit dem Button *New* neue Datensätze anlegen, deren Name man im Feld *Label of Limit* ändert und deren Grenzwerte jeweils in den Feldern *Min* und *Max*. Anschließend werden diese Daten mit *Apply Changes* gespeichert und stehen ab dann zur Verfügung.

Um solche gespeicherten Grenzen anzuwenden, werden sie dann nur noch in der Liste ausgewählt und der Dialog mit dem Button *Select* geschlossen. Auf den beiden anderen Registerseiten können gespeicherte Grenzen nur für die X-Achse beziehungsweise nur für die Y-Achse erstellt und ausgewählt werden.

### Und das Ganze noch einfacher

Mit *View/Store Current View Limits* kann man einen einzelnen Satz von Grenzwerten speichern, den man dann mit *View/Recall View Limits* wieder aufrufen kann. Diese Punkte sind nicht nur über das Menü aufrufbar, sondern auch – wie viele andere Menüpunkte – über die Buttonleiste.

Um zum letzten gewählten Zoom-Ausschnitt zurückzukehren, kann man auch *View/Last Zoom* verwenden.

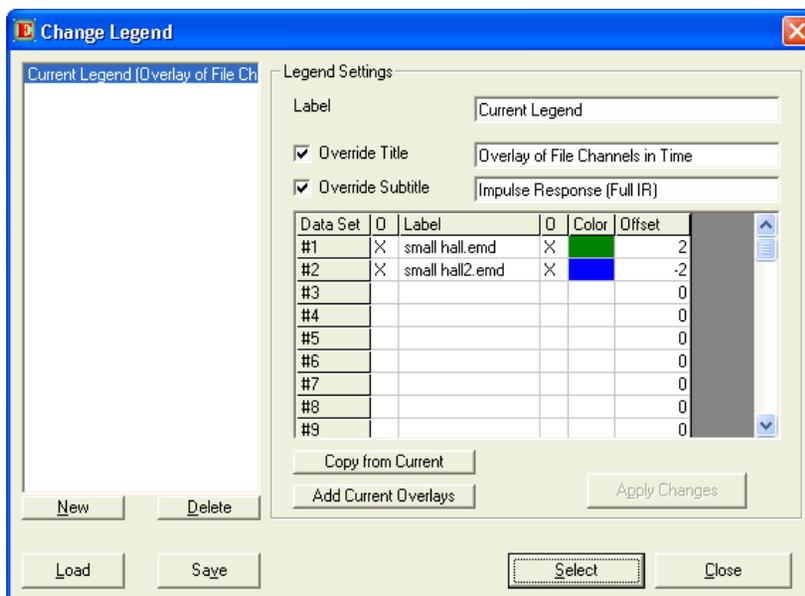
## Exportieren von Diagrammen

Um Diagramme zu exportieren, gibt es prinzipiell zwei Wege:

- Mit *File/Send Picture To/Clipboard* werden sie als Bitmap in die Windows-Zwischenablage gespeichert.
- Mit *File/Send Picture To/File* werden sie im gewählten Graphik-Format abgespeichert, EASERA unterstützt dabei alle gängigen Pixelgraphik-Formate (bmp, jpeg, gif, tif, lwf, pcx, ico, emf, tga).

## Legende bearbeiten

Unter *View/Change Legend* (Button ) sind weitere Optionen zur Darstellung eines Diagramms zusammengefasst:

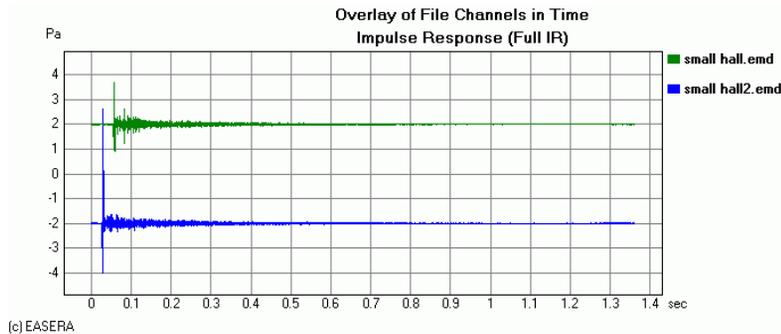


Sie können hier mehrere Legenden-Vorlagen erstellen, die sie dann dem jeweiligen Diagramm zuweisen können. Diese lassen sich auch abspeichern und somit auf einen anderen Rechner übertragen.

Das *Label* einer Legende ist lediglich der Name für die Verwendung in diesem Fenster, er wird an anderer Stelle nicht angezeigt. Die nächsten beiden Zeilen betreffen den Titel und den Untertitel der Legende, es lässt sich dabei auch einstellen, ob die von EASERA generierten Titel überschrieben werden sollen oder nicht.

Für jeden einzelnen der bis zu 32 darstellbaren Kanäle kann die Legende (*Label*) und die Farbe (*Color*) eingestellt werden. Die Spalte *O* jeweils davor spezifiziert, ob mit der Legenden-Einstellung die von EASERA generierten Einstellungen überschrieben werden sollen.

Darüber hinaus lässt sich ein *Offset* eingeben, mit dem die Kurve vertikal verschoben werden kann. Dies eignet sich beispielsweise dafür, um ohne größeres Processing Impulsantworten untereinander darzustellen:



Die Legenden-Einstellungen gelten nur für das aktuelle Diagramm. Sie werden verworfen, wenn ein anderes Diagramm dargestellt wird, und sie werden auch nicht wieder hergestellt, wenn zum ursprünglichen Diagramm zurückgekehrt wird. Mit dem Menüpunkt *View/Apply Last Legend* (es gibt auch einen entsprechenden Button  auf der Buttonleiste) kann jedoch die letzte Legenden-Einstellung sehr schnell wieder aufgerufen werden.

# Lektion 8: Processing

Messungen erfassen nicht immer nur die gewünschten Größen, sondern unterliegen oft auch dem Einfluss von Störgrößen. Um diesen Einfluss zu minimieren, erlaubt EASERA Nachbearbeitung in vielfältiger Weise.

Diese Nachbearbeitung erlaubt nicht nur die Minimierung von Störgrößen, sondern eröffnet einen breiten Gestaltungsspielraum: Von Filtern und Fenstern (dies war bereits Thema in Lektion 6) über die mathematischen Operationen bis hin zu zeitlichen Verschiebungen erlaubt EASERA alle in der Praxis benötigten Manipulationsmöglichkeiten. Diese werden unter dem Begriff *Processing* zusammengefasst.

Im Regelfall sollen ähnliche Messungen in gleicher Weise nachbearbeitet werden. Hier erlaubt es EASERA, das Processing von anderen Daten zu übernehmen.

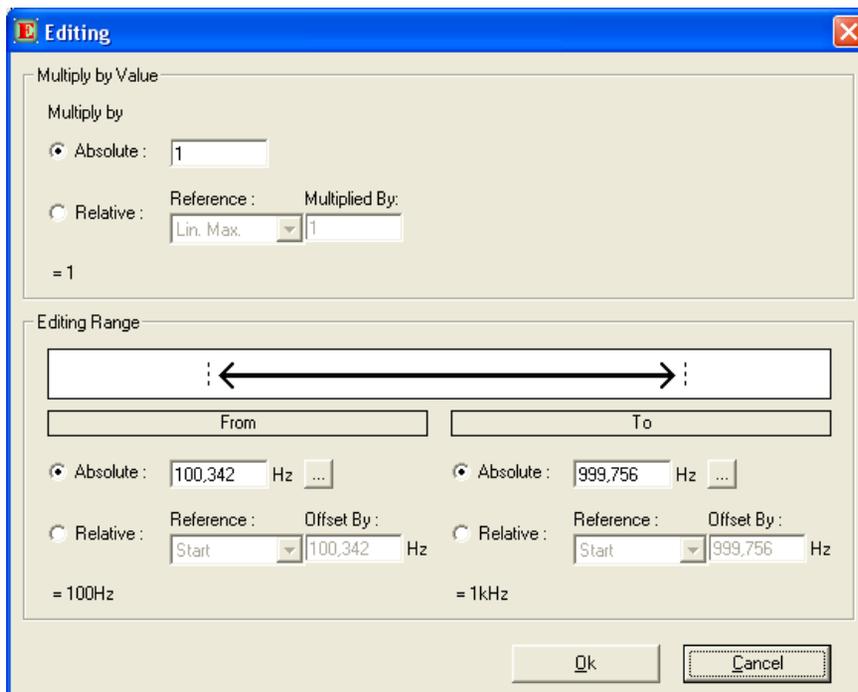
## Mathematische Operationen

Als mathematische Operationen stehen folgende zur Verfügung:

- Auf einen festen Wert setzen
- Addition und Subtraktion
- Multiplikation und Division
- Potenzrechnung

Daneben gibt es Menüpunkte, die im Prinzip eine dieser Operationen einleiten, dabei aber bereits Parameter in bestimmter Weise setzen. Alle Operationen arbeiten mit linearen Daten.

Soll eine dieser Operationen ausgeführt werden, dann öffnet der entsprechende Menüpunkt einen Dialog, der so oder ähnlich wie der folgende aussieht:



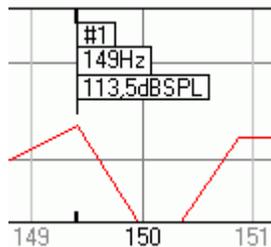
Dieser Dialog wurde aus einem ungeglätteten Frequenzgang heraus mit dem Menüpunkt *Edit/Multiply and Divide/Multiply by Factor* aufgerufen, dabei waren die Marker auf 100 Hz und 1 kHz gesetzt.

Es stellt sich nun die Frage, warum hier nicht die eingegeben 100 Hz und 1 kHz verwendet werden. Dazu muss ein wenig weiter ausgeholt werden:

Die hier verwendeten Daten wurden mit einer Sample Rate von 48 kHz aufgenommen und haben eine Länge von 1,365 s. Es gibt also 65536 Zeitsamples (die von 0 bis 65535 durchnummeriert werden). Wird mit diesen Daten eine FFT-Analyse durchgeführt, so erhält man  $x/2 + 1$  Frequenzsamples (die von 0 bis 32768 durchnummeriert werden). Diese Frequenzsamples sind gleichverteilt von 0 Hz bis zur halben Sample Rate, also 24 kHz. Die Frequenzauflösung beträgt somit 0,732421875 Hz (in EASERA gerundet angezeigt mit 732 mHz).

100Hz geteilt durch 0,732421875 Hz würde 136,53 ergeben, es gibt aber nur ganzzahlige Samples. EASERA muss also runden und rundet auf 137, somit ergibt sich eine Frequenz von 100,3417969 Hz, was auf 100,342 gerundet wird. 1 kHz geteilt durch 0,732421875 Hz würde 1365,3 ergeben, das wird auf 1365 abgerundet, somit ist die tatsächliche Frequenz 999,7558594 Hz was auf 999,756 Hz gerundet wird.

Auch Cursor-Positionen liegen auf solchen angepassten Frequenzen, auch wenn ihre Frequenzangabe entsprechend gerundet ist:



Solange nichts anderes vorgegeben, sind die Angaben absolute Werte. Sie können Ihre Eingaben aber auch auf andere Punkte beziehen: In der nächsten Abbildung sind die Frequenzeingaben auf *Abs. Max* bezogen, das hier bei 908 Hz liegen. Bearbeitet würde hier in einem Bereich  $\pm 50$  Hz zu dieser Frequenz.

Editing Range

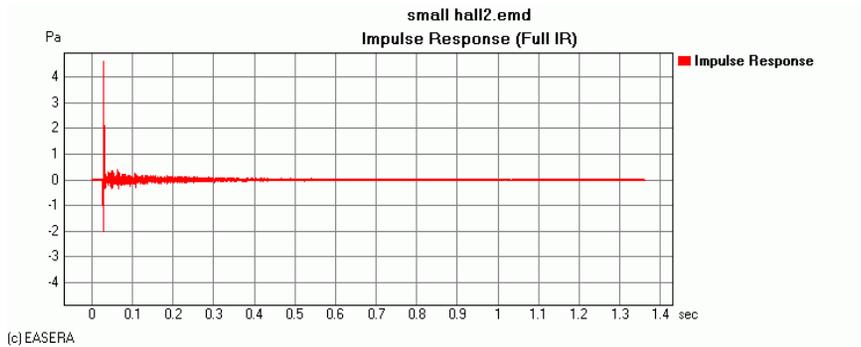
From: -50 Hz (Relative to Abs. Max. = 858 Hz)

To: 50 Hz (Relative to Abs. Max. = 958 Hz)

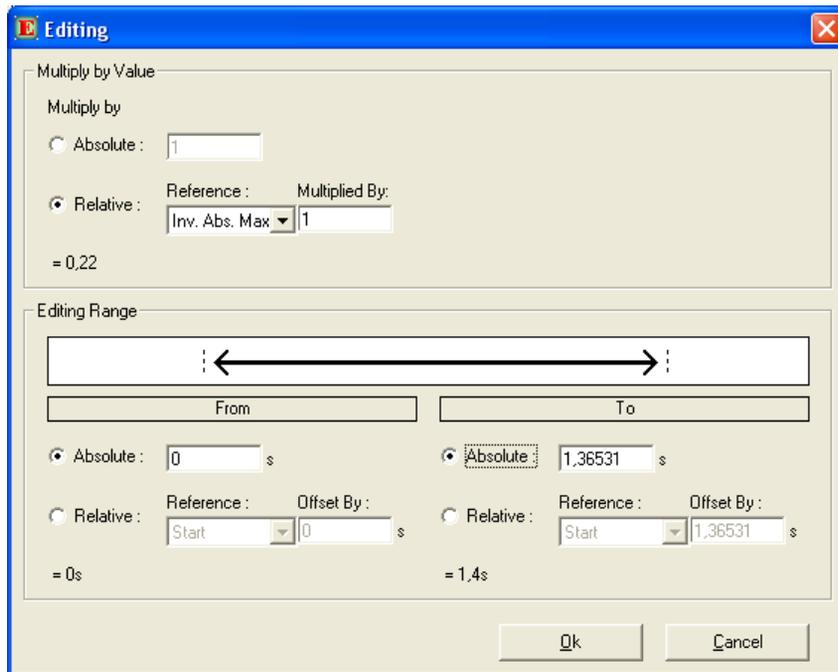
Ähnlich sieht es mit dem Wert aus, mit dem multipliziert werden soll: Sollen die Werte um 6 dB “verstärkt” werden, dann wird im Feld *Multiply By* der Wert 2 eingegeben. (Wir sind hier bei Spannungen und somit bei Feld- nicht bei Leistungsgrößen: Eine Verdopplung entspricht somit 6 dB und nicht 3 dB.)

## Relative Berechnungswerte

Wir können den Multiplikationsfaktor jedoch auch relativ zu einem Wert setzen. Nehmen wir an, wir wollen die folgende Impulsantwort auf 1 Pa normieren (d.h. das Maximum soll also 1 Pa betragen):

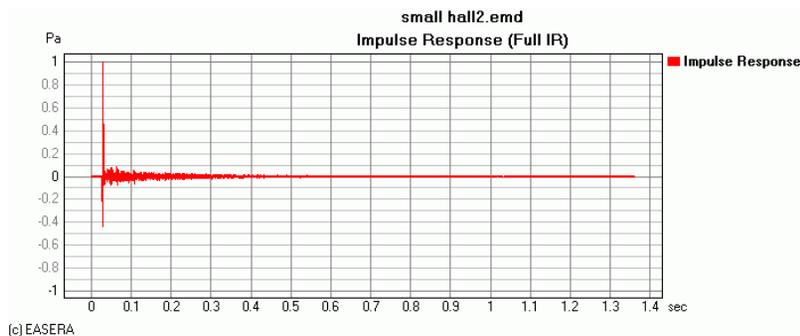


Dazu rufen wir der Einfachheit halber gleich Edit|Multiply and Divide|Scale Abs Max to Value (by Multiplying) auf:



Zunächst zu *Range*: Immer dann, wenn wir im Zeitbereich arbeiten und keine Marker gesetzt sind, verwendet EASERA für die Bearbeitung alle Daten. Dabei wird *From* auf 0 unter *Absolute* und *To* automatisch auf *Maximum* gesetzt, was hier das zeitliche Ende des Datenbereichs ergibt.

Multipliziert wird mit dem Wert 1, der aber relativ zum Kehrwert des absoluten Maximums (*Inv. Abs. Max.*) gesetzt wird. Bei einem Maximum von 4,6 berechnet sich ein Kehrwert von 0,2173913, der hier gerundet angezeigt wird. Nach dem Schließen des Dialogs ist die Impulsantwort auf 1 normiert.



## Remove DC

In manchen Konstellationen kann es passieren, dass eine Impulsantwort auf der Y-Achse verschoben ist. Im Bereich der analogen Schaltungstechnik würde man einen Gleichspannungs-Offset (DC-Offset) vermuten. Hier bietet EASERA eine einfache Möglichkeit der Korrektur: Mit *Edit/Add and Subtract/Remove DC* wird der Subtraktionsdialog so eingestellt, dass ein Gleichanteil eliminiert wird:

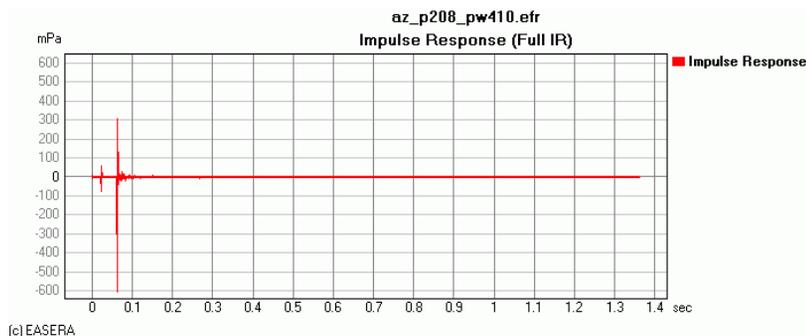
EASERA berechnet hier den Durchschnitt aller Werte (der bei einem reinen AC-Signal 0 sein müsste) und bietet an, diesen Durchschnittswert von allen Werten jeweils zu subtrahieren. (Bei einer erneuten Durchschnittsbildung wäre das Ergebnis dann 0.)

## Verschiebungen

Werden an Punkten, die unterschiedlich weit von der Schallquelle entfernt sind, Messungen durchgeführt, dann trifft der Impuls zu unterschiedlichen Zeiten ein. Aus diesen Unterschieden lassen sich mit einiger Genauigkeit die Entfernungsunterschiede ermitteln. Wo jedoch Auswertungen im Zeitbereich miteinander verglichen werden sollen, sind diese Unterschiede recht unerwünscht. Zudem müssen solche Laufzeiteinflüsse entfernt werden, wenn ein Phasengang erstellt werden soll, weil das Ergebnis sonst von einer Laufzeitphase überlagert wäre.

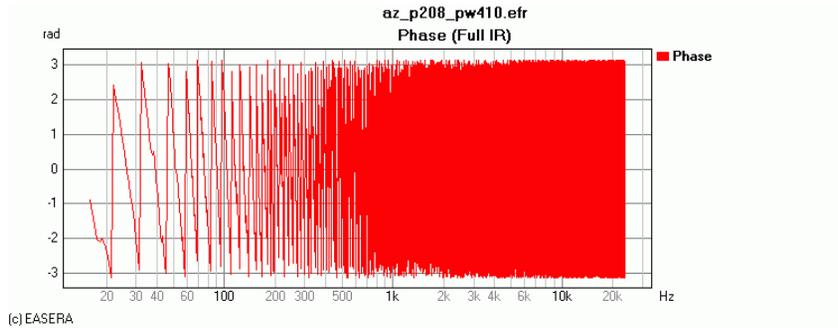
Verschiebungen sind auf der Zeitachse stets zyklische Verschiebungen: Das, was am einen Ende des Diagramms "herausgeschoben" wird, wird am anderen Ende wieder eingefügt. Sollte dies unerwünscht sein, müssen die am anderen Ende hereingeschobenen Teile mit *Edit/Set To/Zero* oder mit einem entsprechenden Fenster entfernt werden.

Die folgende Abbildung zeigt die Impulsantwort eines Drei-Wege-Systems in etwa 20 m Abstand (Es handelt sich dabei um eine orientierende Messung in einer halboffenen Halle mit einem Mikrofon MBC-550 auf einem Stativ in etwa Ohrhöhe, die Lautsprecher p208 und pw410 übereinander gestellt):



Dass der Impuls nach unten zeigt, liegt an der Polung von Lautsprecher und/oder Messmikrofon, dem braucht keine Bedeutung zugemessen werden. Vor dem eigentlichen Impuls finden wir zwei weitere, einen ganz kleinen und einen mit etwa -74 mPa – es handelt sich dabei um Klirrranteile, wir werden uns mit diesem Thema noch eingehender beschäftigen.

Wenn wir uns nun mit der Funktion *Phase* den Phasengang erstellen lassen, dann ist dieser vor allem durch die Verzögerung bis zum Eintreffen des Hauptimpulses bestimmt:



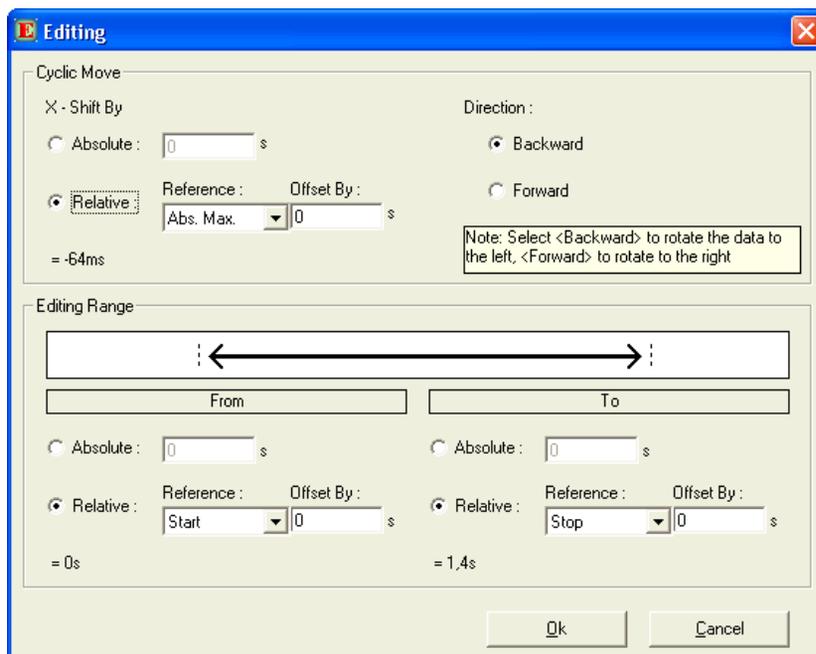
(c) EASERA

Deutlicher wird dies, wenn wir *Phase Unwrapped* verwenden:

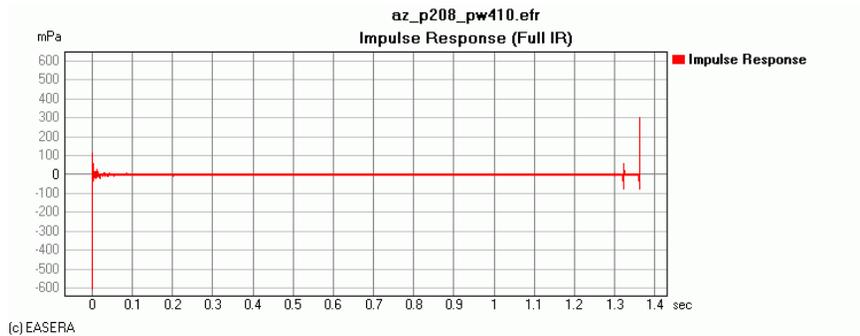


(c) EASERA

Aus diesem Diagramm sind eigentlich überhaupt keine Informationen über das Phasenverhalten dieses Beschallungssystems herauslesbar. Deshalb rufen wir nun (aus der Impulsantwort heraus) den Menüpunkt *Edit/Cyclic Move/Move Abs Max to Zero* auf:



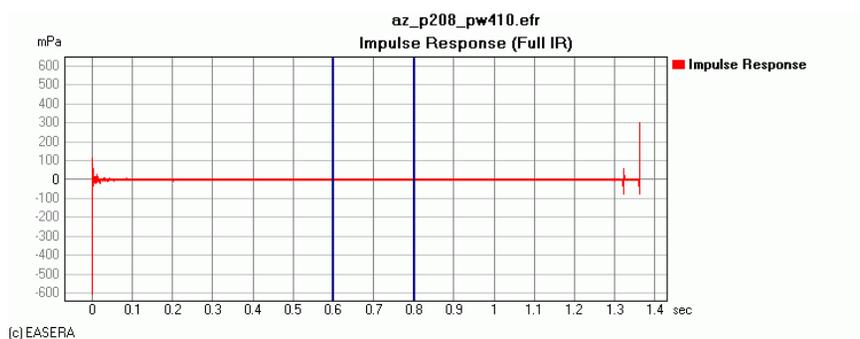
Der Dialog ist so voreingestellt, dass mit ihm das absolute Maximum – das im Moment noch bei 64,05 ms liegt – auf den Zeitpunkt 0 verschoben wird. Wir brauchen also nur noch mit *Ok* zu bestätigen.



Da der Hauptimpuls ein paar Samples breit ist, haben wir einen Teil davon nun am Ende der Impulsantwort, davor dann wieder klar erkennbar die 2. Harmonischen.



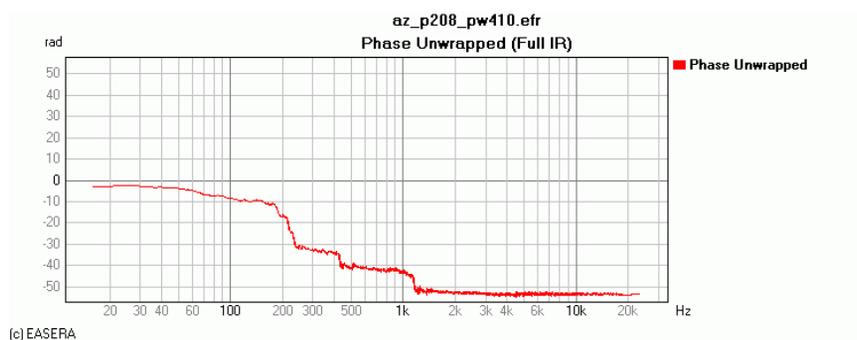
Der Phasengang sieht nun etwas linearer aus, steigt aber kurz nach 20 kHz steil an. Auch dieser Sache wollen wir nachgehen und setzen dazu die Marker in der Impulsantwort bei etwa 0,6 und 0,8 s.



Anschließend fenstern wir mit *Edit/Window (Type Right-Half)* das Ende der Impulsantwort aus. Zunächst der Phasengang mit derselben Achsenskalierung:



Das sieht doch gleich viel linearer aus. Auf *Full Scale* vergrößert haben wir immer noch einen recht unspektakulären Verlauf:



Wir erkennen hier beispielsweise recht schön die beiden Frequenzen, an denen die Frequenzweiche trennt: 220 Hz und 1,2 kHz.

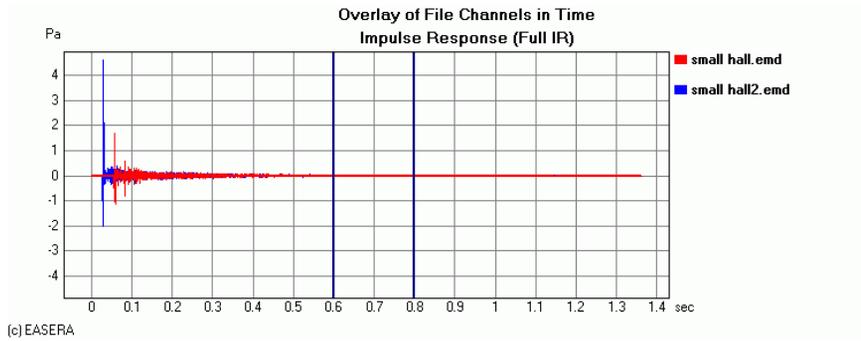
Um bei einem Lautsprecher oder Lautsprechersystem Aussagen über den Phasengang machen zu können, muss somit zunächst einmal die Laufzeitphase entfernt werden, weil sonst das Diagramm komplett von dieser dominiert wird.

## Move Arrival to Zero

Während das absolute Maximum meist dann auf 0 verschoben werden soll, wenn Phasengänge erstellt werden, interessiert bei raumakustischen Messungen meist das *Arrival*, also die erste nennenswerte Amplitude. Statt *Move Abs Max to Zero* verwenden wir hier *Move Arrival to Zero*. Dadurch wird dann vermieden, dass nennenswerte Anteile des Hauptimpulses an das Ende verschoben werden und dort die Auswertungen verfälschen. Insbesondere bei Berechnung der Nachhallzeit wird das Ergebnis sehr fehlerhaft, wenn *Move Abs Max to Zero* verwendet wird.

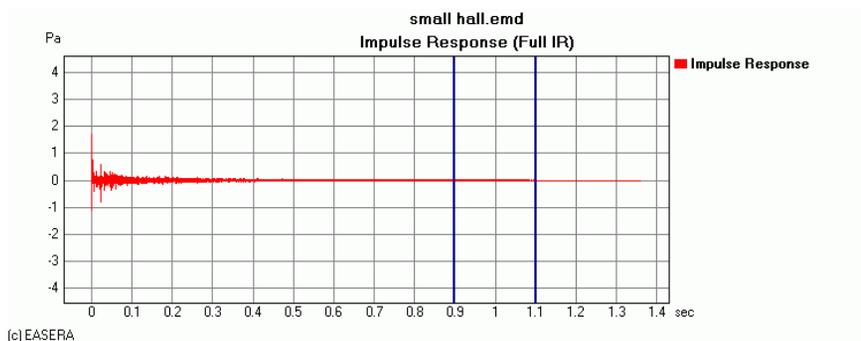
## Editing Sequence

In der folgenden Abbildung haben wir ein Overlay zweier Messungen:

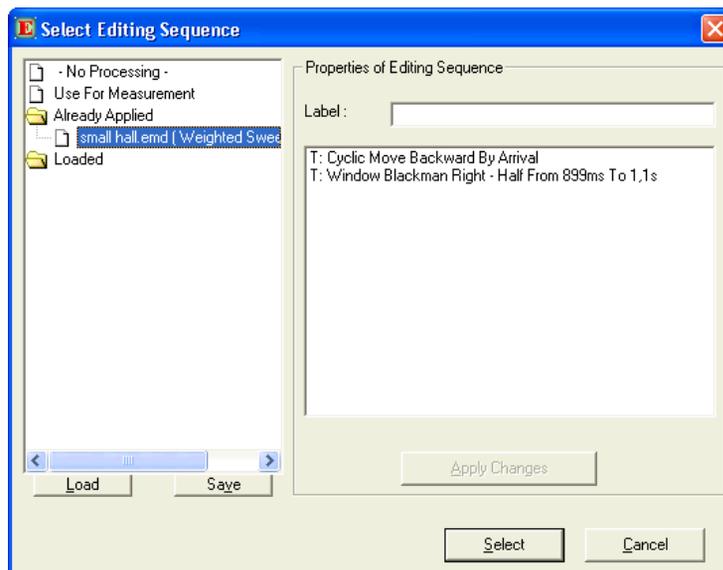


Wir nehmen nun eine der beiden Kurven und führen folgende Bearbeitungen durch:

- Mit *Edit/Move Arrival to Zero* wird die Kurve “nach vorne” geschoben
- Um einen Einfluss der Verzerrungsanteile zu vermeiden, werden die Marker auf 0,9 und 1,1 s gesetzt, anschließend wird der Rest der Kurve ausgefenstert (Menüpunkt *Edit/Window*, Type *Right-Half*, Window Type ist hier nebensächlich).



Nun wollen wir diese beiden Bearbeitungsschritte auch auf die andere Kurve anwenden. Dazu wählen wir diese Kurve aus und wählen dann den Menüpunkt *Edit/Editing Sequence*.



Hier finden wir unter *Already Applied* alle Bearbeitungs-Sequenzen, die auf bestehende Kurven angewandt wurden – in diesem Fall nur eine. Wenn wir diese auswählen, dann bekommen wir auf der rechten Seite alle Bearbeitungsschritte angezeigt. In diesem Fall die Verschiebung des “Arrivals” und das

gesetzte Fenster. Mit dem Button *Select* können wir nun die Bearbeitungs-Sequenz auf die aktive Kurve anwenden.

Eine solche Bearbeitungs-Sequenz kann auch mit dem Button *Save* gespeichert (und dann mit *Load* wieder geladen) werden und so die Beendigung des Programms überdauern. (Davor kann der Sequenz auch im Feld *Label* ein Name zugewiesen werden, der dann mit *Apply Changes* bestätigt wird.)

## Processing für jede neue Messung

Soll für jede neue Messung immer dasselbe Processing verwendet werden, dann ist es zwar schon eine große Hilfe, die Bearbeitungsschritte nicht jeweils einzeln ausführen zu müssen, sondern über eine Bearbeitungs-Sequenz zuzuweisen. Dennoch ist auch das auf die Dauer lästig – insbesondere dann, wenn es sich um recht viele Messungen handelt. Deshalb bietet EASERA die Möglichkeit, allen neuen Messungen gleich eine Bearbeitungs-Sequenz zuzuweisen.

Dazu wird auf der Registerseite *Measure* auf der Seite *Start Measurement* im Abschnitt *Processing* auf den Button mit den drei Punkten geklickt und damit der eben verwendete Dialog geöffnet.

The screenshot shows the 'Start Measurement' dialog box with the following details:

- Compensate:**
  - Hardware (Loaded Ref)
  - System
  - Microphones at Input
  - Channel #1
- Labeling:**
  - Measurement #: M0001
  - Auto Increment
  - Label A / Source: S01
  - Label B / Receiver: R01
  - Notes: Used Setup: (empty), Used Hardware: (empty)
- Processing:**
  - Show First: Impulse Response
  - Additional Processing: - No Processing -
- Measurement:**
  - Save To: M0001\_S01\_R01
  - Auto
  - C:\EASERA10\DATA\
  - Averages: 1
  - Presends: 0
  - Overall Time: 3,2s
  - Go! button with a checkmark

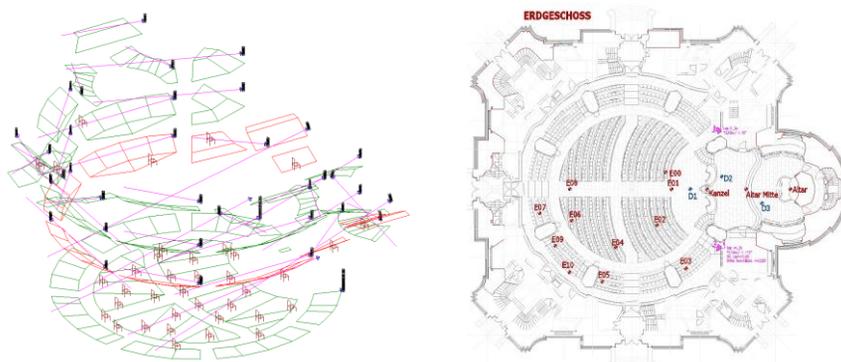
Auch wenn das Processing gleich nach der Messung zugewiesen wird, bleiben doch die Originaldaten vorhanden und das Processing lässt sich auch dann jederzeit wieder entfernen. Auch Undo/Redo bleiben verfügbar!

# Lektion 9: Messungen an verschiedenen Raumpositionen

In dieser Lektion wollen wir uns ansehen, wie man (raum-)akustische Messungen durchführt und auswertet.

## Frauenkirche Dresden

Als Messobjekt soll uns hier der Kirchenraum der Frauenkirche in Dresden (Deutschland) dienen. Die folgende Abbildung zeigt ein Drahtmodell aus dem Simulationsprogramm EASE und die Anordnung der Mess- und Sendeplätze im Parkett:



Der raumakustische Teil der Messungen wurde mit einem Dodekaeder als Sender und mit Kunstkopfaufzeichnungen (zweikanalig) durchgeführt, anschließend wurde die Beschallungsanlage eingemessen. Dabei wurde sowohl wieder mit dem Kunstkopf als auch mit einem ungerichteten Messmikrofon aufgenommen. Die Messungen wurden an repräsentativen Hörerpositionen durchgeführt. Zur besseren Übersicht sind oben die Messpositionen im Parkett des Kirchenschiffes in der Aufsicht dargestellt.

## Durchführung der Messungen

Akustische Messungen werden durchgeführt, um die üblichen raumakustischen Größen (Reflexionen, Nachhallzeiten, Durchsichtigkeitswerte, Sprachverständlichkeit) zu erfassen. Diese Werte sind unabhängig von der absoluten Höhe des Pegels (vorausgesetzt der Störpegel ist niedrig genug). Eine Kalibrierung ist somit empfohlen, aber nicht zwingend.

Die erwähnten Größen wurden im Parkett an 14 ausgewählten Positionen erfasst. Wenn die verwendete Soundkarte ausreichend Eingangskanäle hat und auch genügend Messmikrofone zur Verfügung stehen, dann könnte man an diesen Positionen jeweils ein Mikrofon aufstellen und alles gemeinsam messen.

Besteht diese Möglichkeit nicht (und das war während der Messungen in der Kirche der Fall), dann werden alle Punkte nacheinander gemessen.

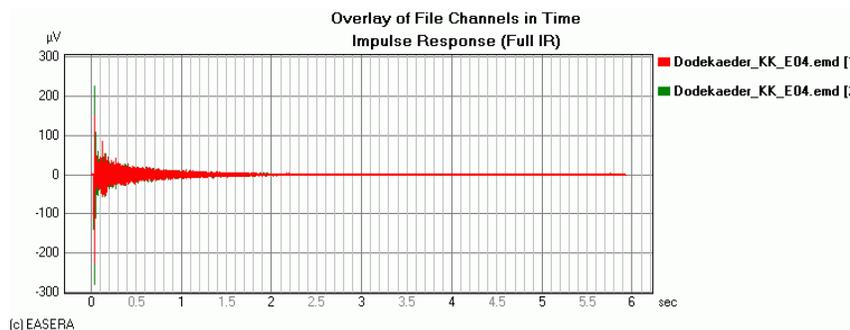
Als Anregungssignal wurde ein Weighted Sweep von 5,9 s Dauer verwendet. Da keine größeren Störgeräusche zu erwarten waren, mittelten wir über nur zwei Messungen.

## Auswertung der Messungen

Wir wollen uns nun die Dodekaeder-Messung mit dem Kunstkopf an der ausgewählten Position E04 näher ansehen, vgl. Bild oben. Der Dodekaeder war in Kanzelnähe aufgestellt.

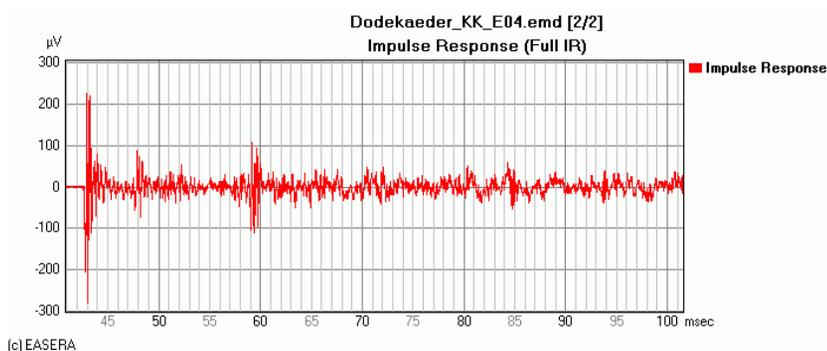
## Die Reflexionen

Unser erster Blick gilt der Impulsantwort:



In voller Länge betrachtet gibt es hier keine Besonderheiten. Man hüte sich davor, daraus die Nachhallzeit abzulesen zu wollen, dazu löst der Bildschirm viel zu grob auf. Die weiteren Betrachtungen führen wir mit der Impulsantwort des rechten Ohres aus.

Wir wollen nun sehen, ob es einzelne, signifikante Reflexionen gibt und vergrößern den Bereich von 40 ms bis 100 ms. Zum Vergrößern wird die Maus in den Modus *Zoom X / Zoom Y* geschaltet und dann mit der linken Maustaste der entsprechende Bereich auf der Zeitachse aufgezoogen.



Der erste Peak liegt bei ca. 43 ms, mit der Schallgeschwindigkeit multipliziert würde das 14,62 m ergeben, das ist der Abstand zwischen Schallquelle und Kunstkopf.

Die erste Reflexion liegt bei 48 ms. Mit dem Maus-Modus *Peek* (oder der Shift-Taste) können wir auch leicht die Zeitdifferenz zum Direktschall ausmessen, sie beträgt hier 5 ms, was 1,7 m entspricht. Dabei könnte es sich um eine Reflexion von einer Säule handeln.

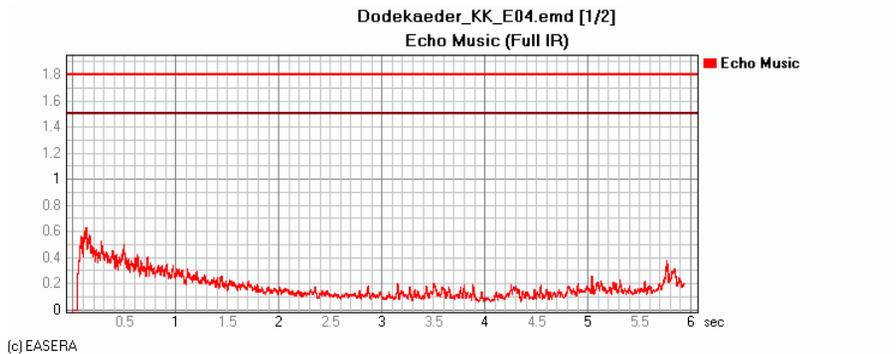
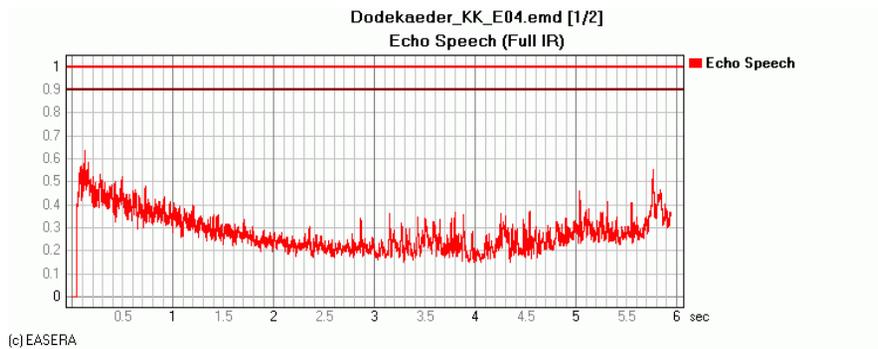
Die nächste deutliche Reflexion liegt bei 59 ms, was eine Differenz von 16 ms zum Direktschall bedeutet – umgerechnet 5,44 m. Mit Hilfe von trigonometrischen Funktionen konnte hier als Reflexionsfläche eine weitere Säule hinter dem Empfangsplatz ausgemacht werden. Man kann auch während der Messungen die Lage etwaiger Reflexionsflächen dadurch lokalisieren, dass man mit einem mobilen Absorberstück (Kunststoffpaneel oder auch größeres Kleidungsstück) richtungsabhängige akustische Abschattungen durchführt. Dann kann durch die sichtbar werdende Pegelschwächung die störende Reflexionsfläche leicht lokalisiert werden.

Bei all solchen Messungen wird die Raumtemperatur nur selten erfasst, somit herrscht über die tatsächliche Schallgeschwindigkeit leichte Unklarheit. Da bei der Positionierung von Lautsprecher und Mikrofon jedoch auch leichte Ungenauigkeiten auftreten, lässt sich die Schallgeschwindigkeit auch nicht direkt aus dem Zeitpunkt der Reflexionen zurückrechnen.

## Echokriterium

Auch wenn die erste Reflexion einen recht deutlichen Peak ausbildet: Ein erkennbares Echo ist nicht zu erwarten, dazu folgt sie viel zu dicht dem Direktschall.

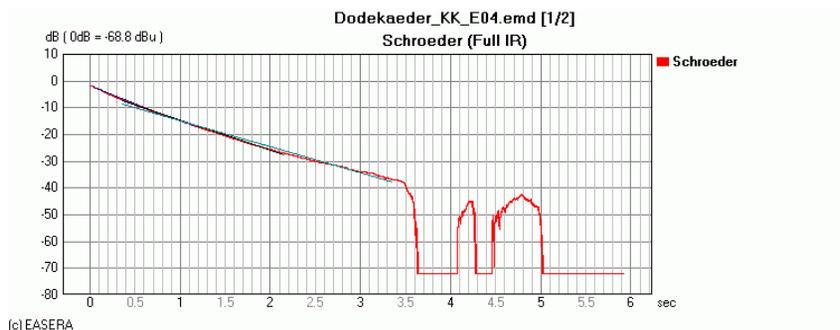
Der Vollständigkeit halber schauen wir uns die Echokriterien für Sprache und Musik an:



Solange wir unterhalb der braunen Linie sind, sind selbst für geübte Ohren keine Echos zu erkennen (die rote Linie würde für ungeübte Ohren gelten), und da sind wir weit darunter.

## Die Nachhallzeit

Als nächstes wollen wir uns die Nachhallzeit ansehen. Dazu wählen wir auf der Navigator-Seite *Graphs* im Abschnitt *Calculation* den Punkt *Schroeder RT*.



Die breitbandige Nachhallzeit wird aus dem sogenannten Schröder-Diagramm ermittelt. In diesem Diagramm wird die Energie über die gesamte Messdauer rückwärts aufsummiert.

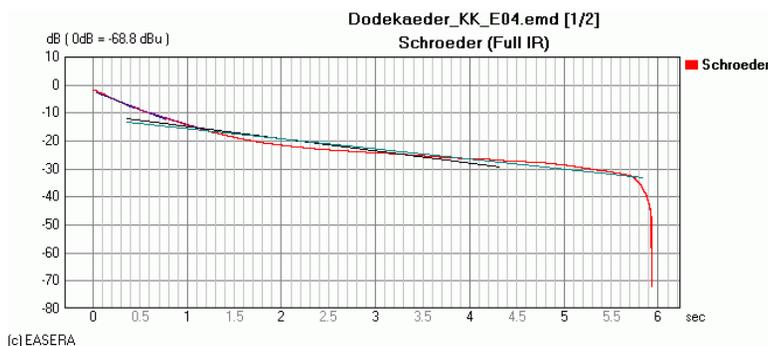
An dieses Integral werden nun vier verschiedene Tangenten angelegt. Diese Tangenten werden auf  $-60$  dB extrapoliert, so dass damit abgeschätzt wird, wann das diffuse Schallfeld um 60 dB abgefallen ist.

	RT	
EDT	4,38 s	
T10	5,00 s	
T20	5,36 s	
T30	6,13 s	
Time From	0 s	
Time To	0 s	
Noise Comp.:	<input type="checkbox"/> ON	

Die EDT (“Early Decay Time”) wird aus den ersten 10 dB Pegelabfall ermittelt, T10 aus dem Pegelabfall zwischen –5 dB und –15 dB, T20 aus dem Pegelabfall zwischen –5 dB und –25 dB und T30 aus dem Pegelabfall zwischen –5 dB und –35 dB.

Wenn Sie sich das Diagramm ansehen, dann könnten Sie erst einmal verwirrt sein: Wenn die Energie von hinten nach vorne aufsummiert wird, dann müsste sie von hinten nach vorne stetig ansteigen – weniger darf es nicht werden, weil die Energie ja stets positiv ist. Im Bereich größer als 3,5 s ist aber dieser stete Verlauf nicht festzustellen. Der Grund dafür liegt in der *Noise Compensation*, welche aus dem Signal das Rauschen und die Geräusche ermittelt und diese aus dem Signal herausrechnet. Dieser abzuziehende Geräuschanteil ist ein statistisches Mittel aus den tatsächlich auftretenden Geräuschen und kann auch schon mal stärker sein als das gemessene Signal selbst. Wenn dies der Fall ist, dann haben wir solche “ausgelöschten” Stellen im Schroeder-Diagramm, die aber die ermittelten Nachhallzeiten nicht beeinflussen – im Gegenteil: Würde das Rauschen nicht kompensiert, dann würde sich dadurch ein Messfehler ergeben, da die aufintegrierte Energie wegen des Geräuschpegels zu groß werden würde.

Wir wollen deshalb testweise die Noise Compensation abschalten und gehen dazu in die Measurement File Properties (F4): Auf der Seite *General Processing* finden wir im Abschnitt *Schroeder Integral* die entsprechende Option. Nun steigt das Integral wirklich von hinten nach vorne stetig an:

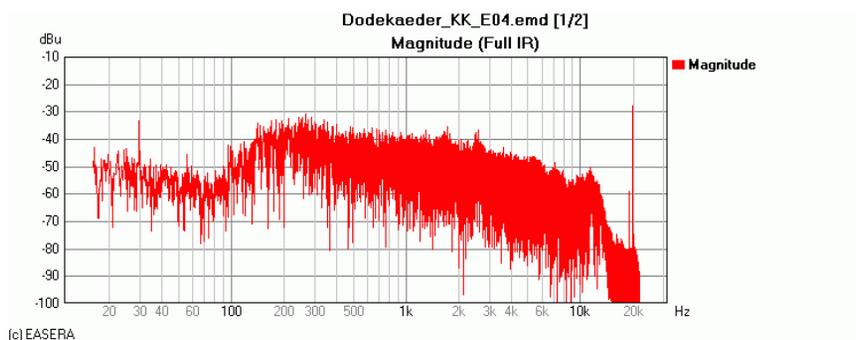


Verständlicherweise ergeben sich nun auch starke Abweichungen bei den ermittelten Nachhallzeiten, die also falsch sind:

	RT	
EDT	4,57	s
T10	5,56	s
T20	13,60	s
T30	16,30	s
Time From	0	s
Time To	0	s
Noise Comp.:	OFF	

## Frequenzgang

En passant schauen wir uns auch den Frequenzgang (*Magnitude*) an. Da wir keine Kompensation für den Frequenzgang des Lautsprechers durchgeführt haben, wollen wir ihm keine größere Bedeutung beimessen:



Da wir auch die Eingänge nicht kalibriert haben, lassen sich auch keine Aussagen über den Pegel machen, mit dem die Messung erfolgt ist.

## Einige akustische Maße

Wenn wir auf der Navigator-Seite *Graphs* im Abschnitt *Calculation* den Punkt *Arrival*, *C50*, *D/R*, *S/N* wählen, dann werden ein paar grundlegende raumakustische Größen berechnet und angezeigt:

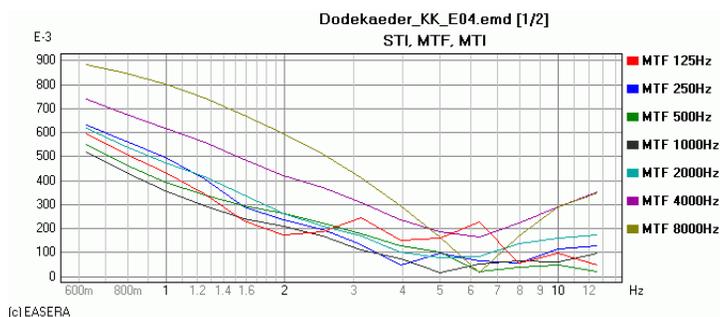
Data		
Arrival	42,83	ms
Distance	14,72	m
C50	-6,1	dB
C80	-4,4	dB
Ltotal	67,1	dB SPL
Center Time	316,93	ms
Noise	8,4	$\mu$ Pa
Abs. Max	5,57	mPa
SNR	20,4	dB
Section		
From	0	s
To	5,9	s
Abs. Max	5,57	mPa
SNR	20,4	dB
D/R Ratio	Markers?	
Split Time	35	ms

Unter anderem haben wir hier das Deutlichkeitsmaß nach Ahnert (C50), das Klarheitsmaß nach Abdel Alim (C80) und der ermittelte Geräuschanteil. Die Details dieser Größen sind im Handbuch beschrieben.

## Sprachverständlichkeit

Wird Sprachverständlichkeit für Alarmierungsanlagen und ähnliche Zwecke gemessen, dann spielt die Höhe des Pegels und die Höhe der zu erwartenden Nebengeräusche eine ganz zentrale Rolle.

Im folgenden Beispiel geht es eher darum, wie gut man bei prinzipiell ruhiger Gemeinde einer Predigt folgen könnte. Dazu wählen wir in den *Measurement File Properties* (F4) auf der Seite *STI* einen Signalpegel von durchgängig 70 dB und ein S/N von 30 dB. *Signal Masking* und *Noise Levels* sollen berücksichtigt werden. Dann wählen wir im Abschnitt *Calculation* den Punkt *STI*, *STIPa*, *RaSTI*.



Das Diagramm zeigt die Modulationsübertragungsfunktionen an: Schlechte MTF-Werte erhalten wir vor allem dann, wenn tiefe Frequenzen schnell moduliert werden sollen.

Auf der Registerseite werden uns die Ergebnisse numerisch angezeigt:

STI	0,354
AlCons [%]	25,097
STI (Male)	0,346
STI (Female)	0,361
RaSTI	0,301
Equiv. STIPa (Male)	0,360
Equiv. STIPa (Female)	0,373

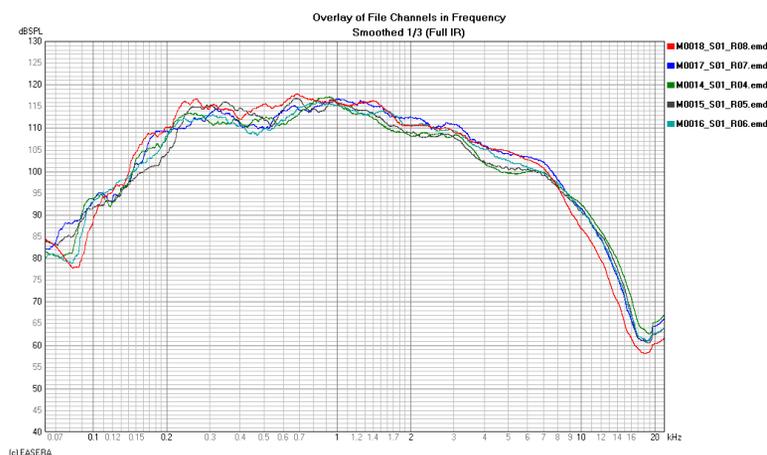
Wir erkennen einen STI-Wert unter 0,4, was uns bestätigt, dass eine Predigt ohne Beschallungsanlage nicht zu verstehen sein wird.

Da die Modulationsübertragungsfunktionen bei den tiefen Frequenzen schlechter sind, wundert es auch nicht, dass Männerstimmen etwas schlechtere Sprachverständlichkeitswerte haben als Frauenstimmen.

## Die Beschallungsanlage

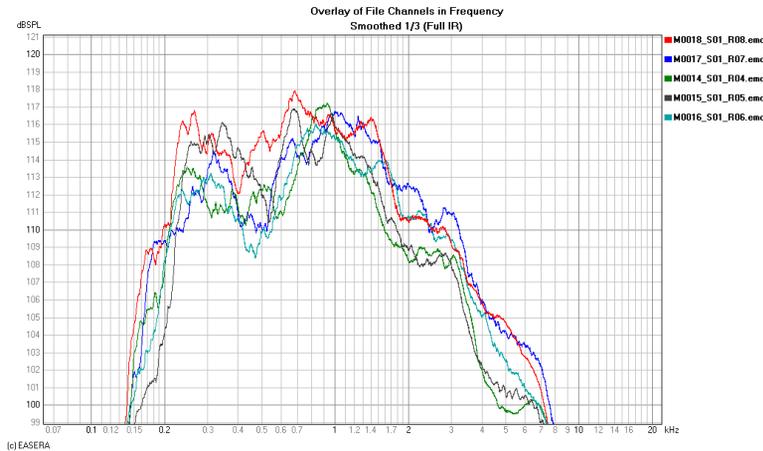
Zum Schluss wollen wir uns noch ansehen, ob die Beschallungsanlage (anders) entzerrt werden muss. Dabei macht es keinen Sinn, für eine Mikrofonposition ein optimales Ergebnis anzustreben – Ziel muss es vielmehr sein, im ganzen Raum einen möglichst ausgeglichenen Frequenzgang zu erhalten.

Zunächst wollen wir uns die Frequenzgänge von fünf Positionen im Parkett (nur Parkettbeschallung – S01 und Messplätze R08 = E08 usw.) der Kirche im Overlay ansehen. Dazu wählen wir die erste Messung aus und wählen dann auf der Navigator-Seite *Graphs* im Abschnitt *Frequency/More* den Punkt *Smoothed 1/3*. Anschließend wählen wir die Funktion *Add To Overlay* und fügen die anderen Messungen auch hinzu.



Wie zu erkennen, ähneln sich alle Übertragungskurven im betrachteten Frequenzbereich.

Wenn die Frequenzgänge hier sehr glatt aussehen, dann liegt das vor allem an dem großen Diagrammbereich von mehr als 60 dB. Stellen wir sicher, dass die Maus-Funktion *Zoom X / Zoom Y* gewählt ist und ziehen dann mit der rechten Maustaste einen Bereich von 100 dB bis 120 dB auf:

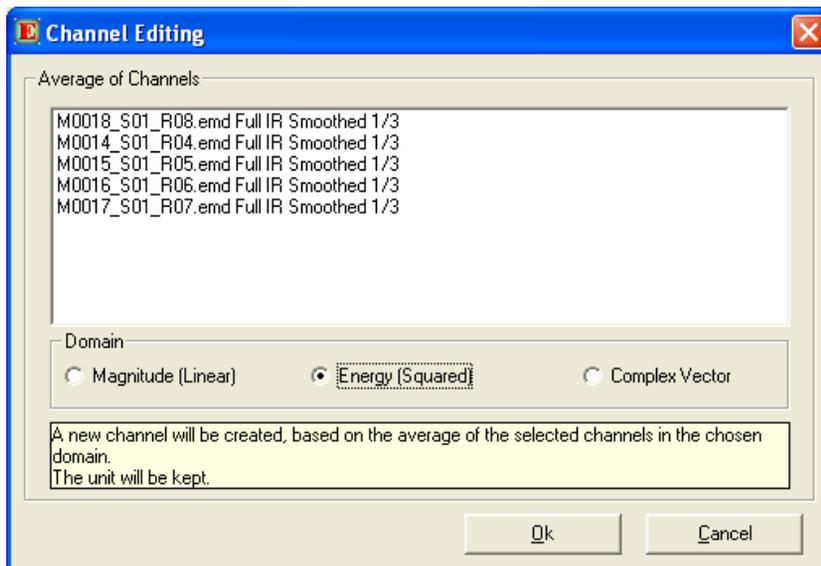


Hier stellen wir fest, dass die Frequenzgänge doch nicht so besonders ausgeglichen sind (zur Erinnerung: sie sind bereits auf 1/3 Oktave geglättet). Zusätzlich gibt es im Bereich zwischen 300 Hz und 600 Hz einen starken Pegelabfall von ca. 5 dB, der ausgeglichen werden sollte.

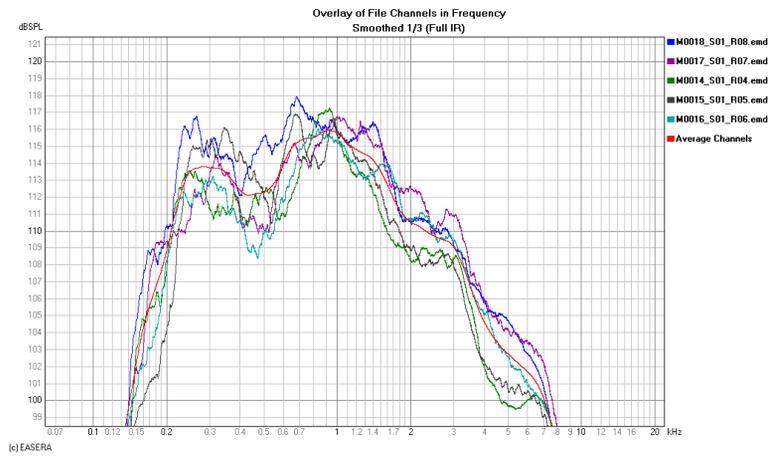
Zu den Rändern des eigentlichen Übertragungsbereichs hin haben wir starke Pegelabfälle. Hier sollte man auch nicht entzerren, weil man keinem Lautsprecher per EQ etwas abverlangen sollte, was er eigentlich nicht zu liefern vermag.

## Kurven mitteln

Der Vollständigkeit halber wollen wir die fünf Kurven mitteln. Dazu wählen wir den Menüpunkt *Edit/Average Channels*:



Die fünf Kurven sollen energetisch gemittelt werden (Details zur Mittelung siehe Lektion 5). Die neue Kurve nehmen wir dann in unser Overlay auf:



Wie wir sehen, haben wir im Bereich von 300 Hz bis 1 kHz eine Schwankung von lediglich  $\pm 2$  dB. Das ist sicher zu wenig, um unbedingt den Einsatz eines Equalizers zu rechtfertigen. Wie man hier sieht, ist der gemittelte Frequenzgang ein guter Anhaltspunkt für die auftretenden Variationen und die daraus folgenden Schlussfolgerungen für ein eventuelles Equalisieren.

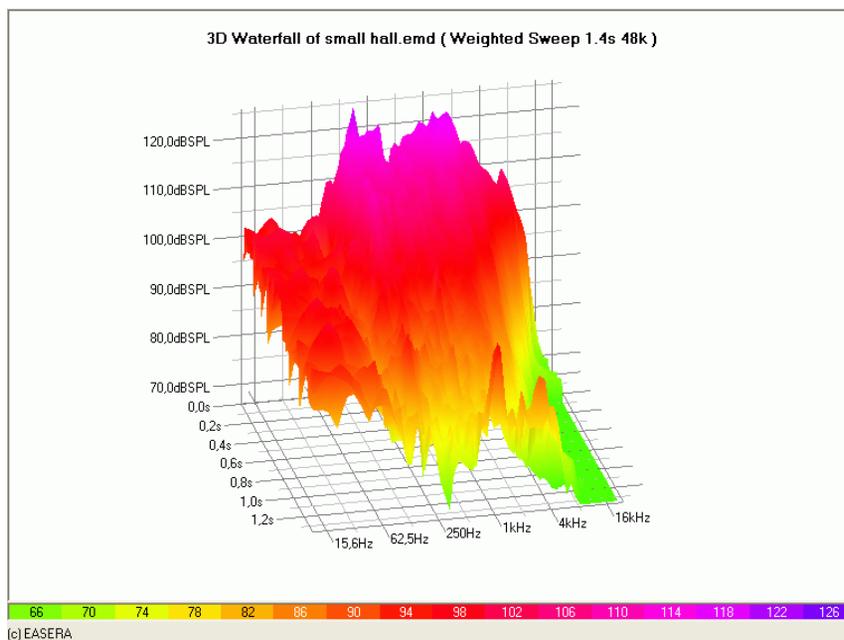
# Lektion 10: Wasserfalldiagramme

Im *View&Calc*-Fenster lassen sich lediglich zweidimensionale Diagramme darstellen. Häufig wird dabei der Pegel über die Zeit (ETC) oder der Pegel über die Frequenz (Frequenzgang) dargestellt. Mittels einer dreidimensionalen Darstellung kann man den Pegel über Zeit und Frequenz gleichzeitig darstellen. Ein solches Diagramm nimmt oft das Aussehen eines Wasserfalls an und wird daher Wasserfalldiagramm genannt.

Wasserfalldiagramme haben den "Vorteil", dass sie spektakulär und (bei farbiger Darstellung) auch recht bunt aussehen. Aus ihnen verwertbare Aussagen zu erhalten, erfordert jedoch Erfahrung.

## Ein Wasserfalldiagramm erstellen

Wir verwenden hier die Datei *small hall.emd* aus der Brandenburgischen Akademie der Künste in Berlin. Im Fenster *View & Calc* klicken wir auf der Navigator-Seite *Graphs* auf *Calculation/Waterfall* (der zweite Punkt von unten). EASERA wechselt auf eine neue Registerseite (*Waterfall*), und wir erhalten ein Diagramm, das je nach Einstellungen in etwa wie folgt aussieht:



Ein Wasserfalldiagramm ist ein dreidimensionales Diagramm, in dem der Pegel in Abhängigkeit von Zeit und (!) Frequenz dargestellt wird. Man bekommt also das Zeitverhalten (meist Ausschwingverhalten) des Systems bei jeder einzelnen Frequenz angezeigt, oder – wenn man es anders betrachten möchte – die Entwicklung des Frequenzgangs über der Zeit. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass Zeit und Frequenz nicht gleichzeitig beliebig hoch aufgelöst werden können. Eine feine Zeitauflösung erlaubt immer nur eine grobe Frequenzauflösung und umgekehrt:  $\Delta t \sim 1/\Delta f$ . (Das ist die Unschärferelation der Akustik.) Die Höhe des Pegels wird nicht nur durch eine entsprechende Position im Diagramm visualisiert, sondern auch über die Farbe.

## Positionierung des Diagramms

Unterhalb des Diagramms findet man einen Scrollbalken, mit dem man das Diagramm drehen kann. Auf der Navigator-Seite *View* gibt es das Feld *Hor Angle* [°], mit dem man den Drehwinkel auch numerisch vorgeben kann.

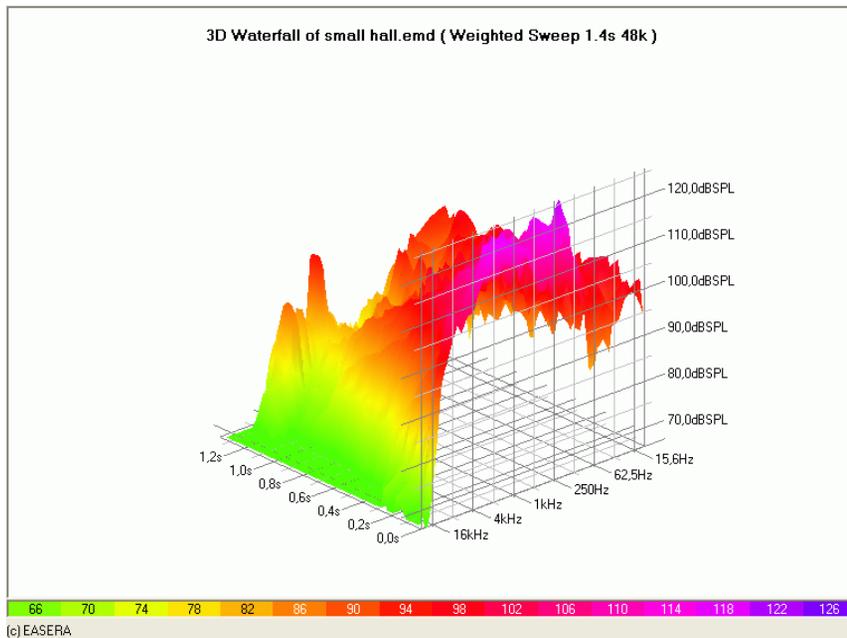
Um das Diagramm zu schwenken, gibt es den Scrollbalken rechts neben dem Diagramm, der Neigungswinkel ließe sich auch im Feld *Ver Angle* [°] vorgeben.

Das Diagramm kann vergrößert oder verkleinert werden, entweder mit dem Scroll-Balken links vom Diagramm oder durch Eingabe des Zoom-Faktors im Feld Zoom [%].

Eine besonders schöne Animation verbirgt sich hinter dem Menüpunkt *View/Spin*: Damit lässt sich das Diagramm in permanente Drehung versetzen.

## Pegelspitzen am Diagrammende

Wenn wir das Diagramm entsprechend positionieren (in etwa *Hor Angle* [°] auf 222, *Ver Angle* [°] auf 16, *Zoom* [%] auf 136), dann stellen wir Pegelspitzen am Ende des Diagramms fest:



Man könnte nun versucht sein, hier Raumreflexionen bei bestimmten Frequenzen entdeckt haben zu wollen. Die Ursache dieser Spitzen ist jedoch eine andere: Technisch bedingt sammeln sich bei einem Sweep die Verzerrungsprodukte (Oberwellen) vor dem eigentlichen Impuls an, von dieser Stelle werden sie durch die zyklische Verschiebung an das Ende der Impulsantwort verschoben.

Es handelt sich also um keine Raumreflexionen, sondern um Verzerrungsprodukte.

## Zweidimensionale Ansicht

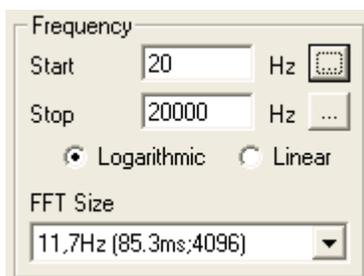
Mit den Menüpunkten *View/Side View*, *View/End View* und *View/Plan View* lässt sich das Diagramm so drehen und schwenken, dass jeweils eine zweidimensionale Ansicht entsteht. Zu beachten ist, dass die Anordnung der Skalen nicht den Erwartungen entsprechen muss, beispielsweise können bei *Side View* die tiefen Frequenzen rechts und die hohen links liegen. Mit einem erneuten Aufruf der Funktion lässt sich das jedoch umkehren.

## Feineinstellung der Darstellung

Wie sich das Diagramm drehen und schwenken lässt, haben wir uns ja bereits angesehen. EASERA kennt darüber hinaus eine Fülle von weiteren Einstellmöglichkeiten:

## Frequenzbereich und Glättung

Auf der Navigatorseite *Axes* können im Abschnitt *Frequency* Anfangs- und Endfrequenz eingestellt werden.



Frequency

Start  Hz

Stop  Hz

Logarithmic  Linear

FFT Size

▾

Man kann diese numerisch angeben, über die danebenliegenden Buttons lässt sich auch eine Auswahlliste aufrufen, mit der die ISO-Frequenzen nachgeschlagen und ausgewählt werden können.

Darunter lässt sich einstellen, ob die Frequenzachse linear oder logarithmisch geteilt werden soll, zuletzt lässt sich auch noch die FFT-Größe einstellen. Bei der hier verwendeten Sample-Frequenz von 48 kHz führt eine FFT-Größe von 4096 Punkten zu einer Frequenzauflösung von 11,7 Hz. Bei der Betrachtung des gesamten Spektrums ist die sicherlich ausreichend, bei Auswertungen im Subbass-Bereich wird man zu höheren FFT-Größen greifen müssen.

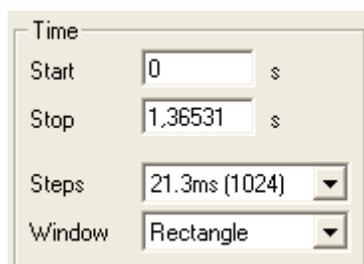


- Magnitude
- 1/1 Octave
- 1/3rd Octave
- 1/6th Octave
- 1/12th Octave
- 1/24th Octave
- 1/48th Octave
- 1/96th Octave

Um die Darstellung nicht mit feinsten Details unauswertbar zu machen, sollte im Frequenzbereich angemessen gemittelt werden. Die entsprechenden Menüpunkte finden sich im Menü *Graphs* (und wie alle anderen Menüpunkte auch noch auf der Buttonleiste), alternativ dazu auch auf der Navigatorseite *View* als Nachschlageliste *Average*.

## Zeitbereich

Auf der Navigatorseite *Axes* können im Abschnitt *Time* Anfangs- und Endzeit der Darstellung eingestellt werden. Mit *Steps* wird spezifiziert, wie fein im Zeitbereich dargestellt wird, mit *Window* wird das Fenster eingestellt, das für die FFT-Analyse verwendet wird (Näheres zu den einzelnen Fenstertypen am Ende von Lektion 6).



Time

Start  s

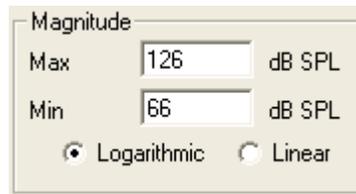
Stop  s

Steps  ▾

Window  ▾

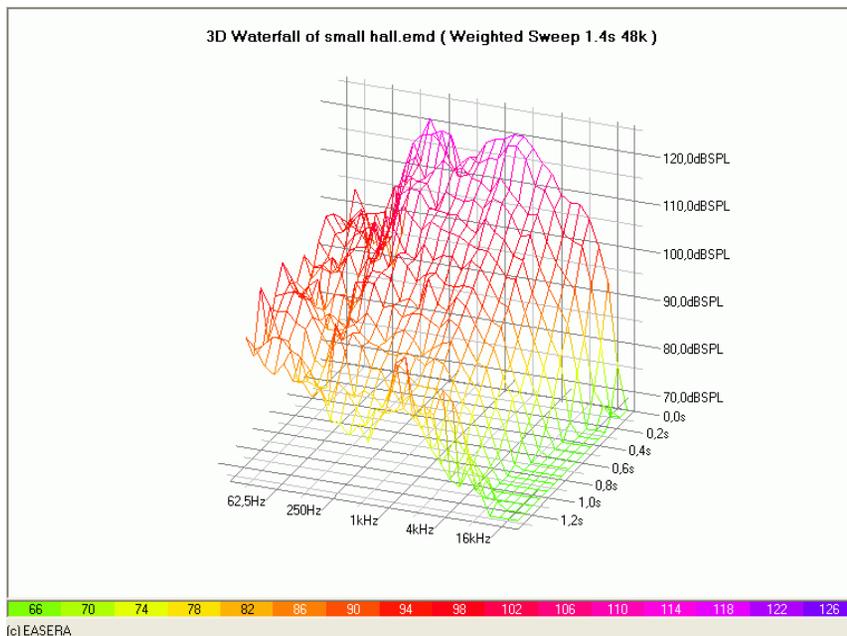
## Pegelbereich

Auf der Navigatorseite *Axes* kann im Abschnitt *Magnitude* eingestellt werden, in welchem Pegel-Bereich die Darstellung erfolgt, und ob hier eine lineare oder logarithmische Skalierung verwendet werden soll.

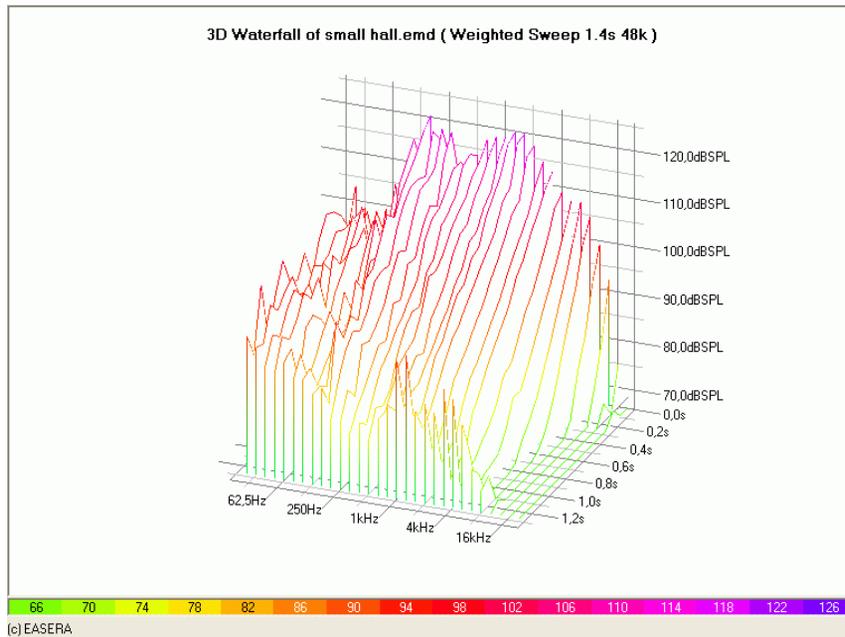


## Scheiben oder Grid

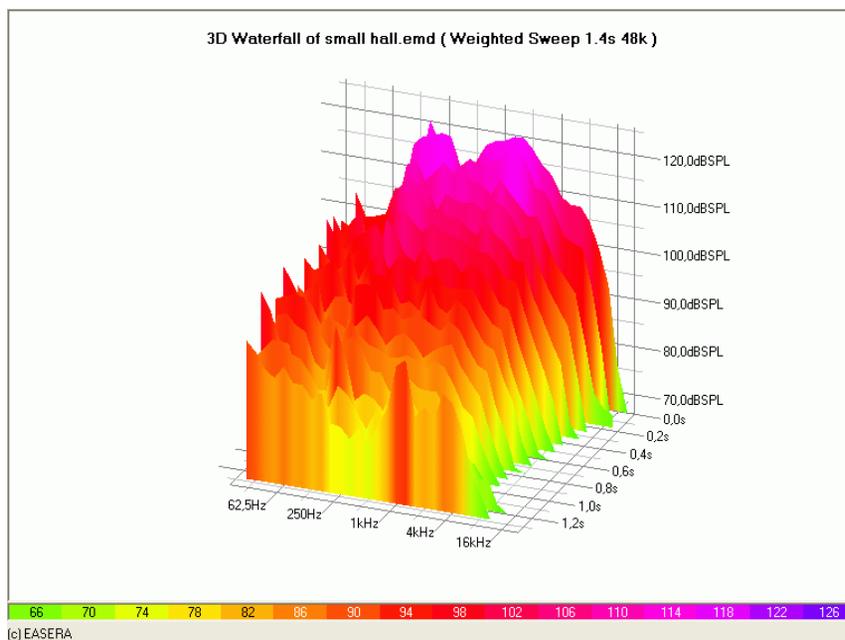
Um das Diagramm als Gitter anzuzeigen, wird *View/Grid* verwendet (hier in der Abbildung ein ungefülltes Gitter):



Das Diagramm lässt sich auch als Scheiben für die einzelnen Frequenzen anzeigen, dazu wird *View/Frequency Slices* gewählt (hier in der Abbildung als ungefüllte Scheiben):



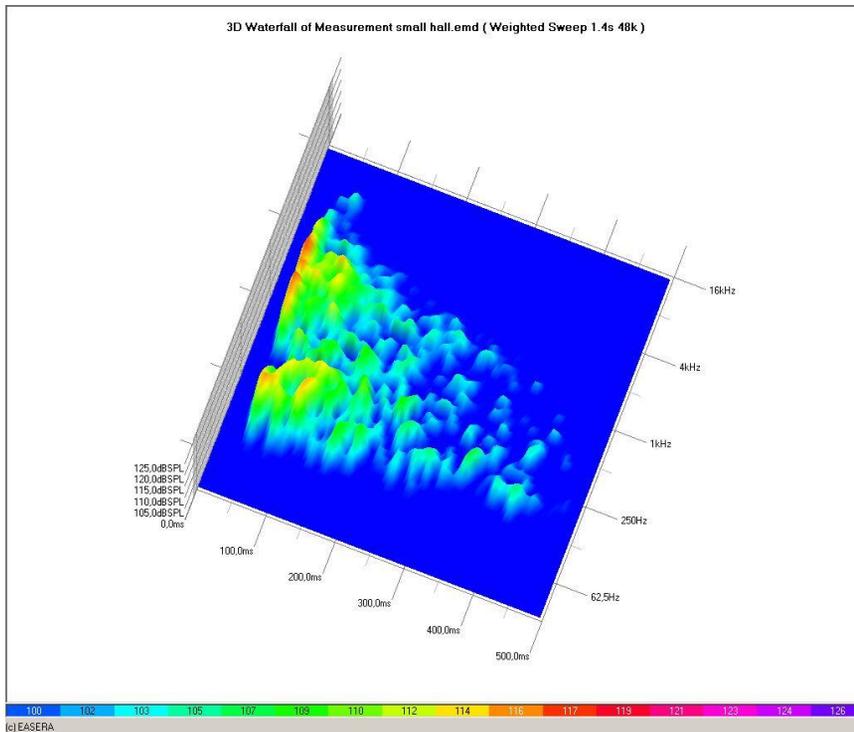
Alternativ dazu sind auch Scheiben für einzelne Zeitpunkte möglich, dazu wird *View/Time Slices* gewählt (hier in der Abbildung als gefüllte Scheiben):



Zwischen ungefüllter und gefüllter Darstellung wird mit dem Menüpunkt *View/Fill* umgeschaltet. Alle diese Einstellungen lassen sich auch auf der Navigatorseite *View* vornehmen.

## Detailuntersuchungen mit Wasserfalldisplay

Oft wird gewünscht, das Frequenzverhalten des Direktschalls und einzelner kräftiger Reflexionen dezidiert darzustellen. Durch geeignete Parameterwahl ist das leicht möglich.



Diese Darstellung erlaubt es, Details im obigen Wasserfalldisplay zu zeigen. Dazu sind aber folgende Parameter zu setzen:

**Time**

Start:  s

Stop:  s

Steps:  ▾

Window:  ▾

---

**Frequency**

Start:  Hz ...

Stop:  Hz ...

Logarithmic  Linear

FFT Size:  ▾

---

**Magnitude**

Max:  dB SPL

Min:  dB SPL

Logarithmic  Linear

**Legend Colors**

for  Units

for  Units

Colors Locked

Man erkennt den herausgezoomten Pegelbereich, die hohe Auflösung in der Zeitebene (kleine Schritte) und die angepasste Frequenzauflösung, deren Wert je nach aktueller Messung etwas schwanken kann

(FFT Size hier 23,4 Hz). Auch die Farbdarstellung wurde angepasst über die Sektion *Legend Colors* auf der Seite GENERAL | COLORS in den Optionen (F9).

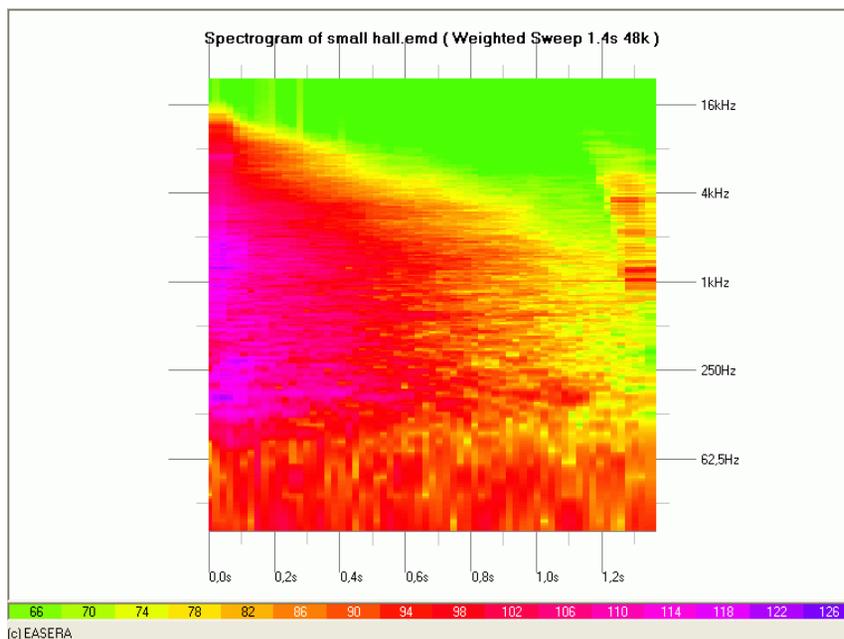
Mit dieser Darstellung ist deutlich zu erkennen, dass höhere Pegel um 1...2 kHz im Bereich des Direktschalls und der ersten Reflexionen vorliegen. Zwischen 100 und 250 Hz sind ebenfalls pegelstärkere Kurzzeitreflexionen zu erkennen.

Solche Aussagen sind bei raumakustischen Untersuchungen sehr willkommen. Für elektroakustische Untersuchungen werden in der Regel andere Auflösungseinstellungen nötig sein, da die interessanten Ereignisse sich in einem anderen Frequenz- und Zeitrahmen abspielen. Typischerweise wird man hier die FFT-Blöcke recht lang wählen, um z.B. bei Lautsprechern die Resonanzen genau aufzulösen. Das Zeitverhalten eines Lautsprechers ist dagegen im Vergleich zu Raumantworten meist einfach, da es sich nur um einen (frequenzabhängigen) Ausschwingvorgang handelt. Bei genügend kleiner Schrittweite *Steps* kann dieser gut verfolgt werden, ohne die FFT-Blockgröße verkleinern zu müssen.

Bei allen Varianten ist aber stets zu beachten, dass sich der Pegelverlauf (Direktschall, Reflexionen) in der Wasserfalldarstellung zeitlich um einen konstanten Wert verschieben kann. Dies ist durch das Verfahren sukzessiver FFT-Blöcke bedingt, die Verschiebung kann dabei bis zu einer halben FFT-Blocklänge betragen.

## Spektrogramm

Die Darstellung kann nicht nur als Wasserfalldiagramm, sondern auch als Spektrogramm erfolgen. Ein Spektrogramm ist im Prinzip ein von oben betrachtetes Wasserfalldiagramm: Die Höhe des Pegels ist nicht mehr durch die Höhe im Diagramm erkennbar, sondern nur noch über die Farbe. Dafür verdecken die "Berge" auch keine "Täler" mehr, so dass feine Details viel eher erkennbar sind.



Hier sehr schön zu erkennen ist das schnellere Ausschwingen im Höhenbereich (der grüne Keil auf der rechten Seite), was dem Dämpfungsverhalten der Wandmaterialien bei hohen Frequenzen und der Luftdämpfung geschuldet ist.

# **Lektion 11: Sprachverständlichkeit**

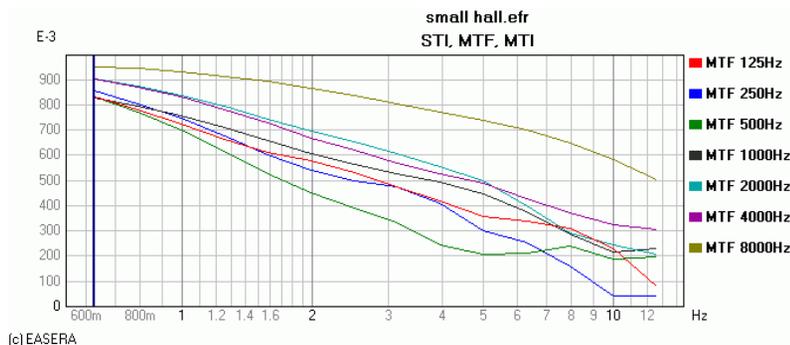
Bei der Bewertung der akustischen Eigenschaften von Räumen spielt die Sprachverständlichkeit eine bedeutende Rolle. EASERA bietet hier umfangreiche Funktionalität.

## Die Modulationsübertragungsfunktionen

Das gängige Sprachübertragungsmaß ist der STI, der *Speech Transmission Index*. Das Ermittlungsprinzip des STI stammt aus der Ära der analogen Messgeräte: Dort werden zur Berechnung des STI die Signale der Frequenzen 125 Hz, 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4kHz und 8 kHz mit Frequenzen zwischen 0,63 Hz und 12,5 Hz moduliert (die Signalintensität schwankt dabei zwischen 0% und 100%). Durch Nachhall, Echos oder Geräusche tritt dabei ein Modulationsverlust auf (die Signalintensität am Empfangsort schwankt dann zwischen x% und 100%, weil in den "Ruhepausen" auch Signale auftreten). Das Verhältnis von Modulationsgrad am Hörerplatz zum Modulationsgrad des anregenden Signals ergibt dann die Modulations-Übertragungsfunktion.

In EASERA werden jedoch nach SCHRÖDER alle Modulationsgrade aus der Impulsantwort abgeleitet. Es sind somit nicht – wie in der Analogtechnik – 98 Messvorgänge nötig, sondern nur ein einzelner. Beide Verfahren (sowohl das analoge Verfahren als auch die Ableitung aus der Impulsantwort) sind in der DIN EN 60268-16 (2003) beschrieben. Dort sind auch die einzelnen Größen definiert.

Um aus einer Messung den STI zu ermitteln, klicken Sie auf der Navigator-Seite *Graphs* auf den Eintrag *Calculation/STI, STIPa, RaSTI*. Im Diagramm werden dann die Modulationsübertragungsfunktionen dargestellt:



Modulationsübertragungswerte liegen zwingend zwischen 0 und 1 (entsprechend 0% und 100%), die Y-Achse wird hier in 1/1000-Teilen skaliert. Für die einzelnen Oktavbänder werden einzelne Kurven per Overlay zusammengefasst, auf der X-Achse ist die Modulationsfrequenz zu finden.

Im Navigator wird dabei auf die Seite *Details* gewechselt und dort die berechneten Werte numerisch angezeigt:

STI (Mask.)	0,550
AlCons [%]	8,661
STI (Male)	0,559
STI (Female)	0,567
RaSTI	0,506
<hr/>	
Equiv. STIPa (Male)	0,562
Equiv. STIPa (Female)	0,573

Im Detail handelt es sich um die folgenden Größen:

- **STI:** *Speech Transmission Index*, Ergebniswert der Modulations-Übertragungsfunktionen aller Frequenzen und Modulationsfrequenzen. Dem Zusatz (*Mask*) werden wir noch nachgehen.
- **AICons (%):** Aus dem *Speech Transmission Index* (STI) berechneter zu erwartender Konsonantenverlust (nach Farrell-Becker).
- **STI (Male) und STI (Female):** Ergebniswert der Modulations-Übertragungsfunktionen aller Frequenzen und Modulationsfrequenzen, wobei die einzelnen Werte gemäß DIN EN 60268-16 (2003) für die männliche Stimme (*Male*) beziehungsweise weibliche Stimme (*Female*) gewichtet werden.
- **RaSTI:** Beim RaSTI-Verfahren werden nur die Oktavbänder 500 Hz und 2 kHz verwendet. Das 500 Hz-Band wird mit den Frequenzen 1 Hz, 2 Hz, 4 Hz und 8 Hz moduliert, das 2 kHz-Band mit den Frequenzen 0,7 Hz, 1,4 Hz, 2,8 Hz, 5,6 Hz und 11,2 Hz. Durch die geringere Anzahl der Oktavbänder und Modulationsfrequenzen reduziert sich bei einer diskreten Messung der Aufwand ganz erheblich. Da in EASERA alle Werte aus der Impulsantwort abgeleitet werden, besteht hier kein Vorteil mehr gegenüber dem STI. Tendenziell wird RaSTI wegen der begrenzten Aussage über nur zwei Frequenzbänder immer weniger verwendet.
- **Equiv. STIPa (Male) und Equiv. STIPa (Female):** Bei STIPa-Verfahren werden für alle Oktavbänder jeweils nur 2 statt 14 Modulationsfrequenzen verwendet, was den Aufwand bei diskreten Messungen entsprechend reduziert (da bei EASERA alle Werte aus der Impulsantwort abgeleitet werden, besteht hier kein Vorteil gegenüber dem STI). Da das Verfahren aber eine externe Signalanregung voraussetzt, sind die über die Impulsantwort ermittelten STIPa-Werte nur als Äquivalenzwerte angegeben. Bei *STIPa (Male)* werden die Gewichtungsfaktoren für die männliche Stimme verwendet, bei *STIPa (Female)* die für die weibliche Stimme.

## Die Registerseite Results

Bei manchen Auswertungen wird in EASERA eine Registerseite *Results* zugänglich, auf der weitere Informationen zu finden sind – so auch hier.

	MTF 125Hz	MTF 250Hz	MTF 500Hz	MTF 1000Hz	MTF 2000Hz	MTF 4000Hz
0.63 Hz	0.532	0.656	0.634	0.865	0.903	0.90
0.8 Hz	0.719	0.695	0.773	0.850	0.873	0.87
1 Hz	0.724	0.747	0.701	0.806	0.838	0.83
1.25 Hz	0.666	0.679	0.618	0.756	0.796	0.78
1.6 Hz	0.612	0.601	0.524	0.702	0.746	0.72
2 Hz	0.576	0.540	0.450	0.648	0.697	0.66
2.5 Hz	0.532	0.498	0.392	0.604	0.652	0.61
3.15 Hz	0.476	0.475	0.332	0.563	0.606	0.57
4 Hz	0.418	0.411	0.242	0.526	0.556	0.52
5 Hz	0.359	0.301	0.208	0.477	0.497	0.48
6.3 Hz	0.337	0.252	0.209	0.403	0.402	0.42
8 Hz	0.310	0.161	0.241	0.305	0.292	0.37
10 Hz	0.229	0.040	0.186	0.232	0.245	0.32
12.5 Hz	0.080	0.041	0.196	0.246	0.206	0.30
MTI	0.492	0.451	0.449	0.551	0.568	0.57
STI (Mask)	0.590					
AICons [%]	8.661					
STI (Male)	0.599					
STI (Female)	0.567					
RaSTI	0.506					
Equiv. STIPa (Male)	0.562					
Equiv. STIPa (Female)	0.573					
STI (Modified)	0.540					
STI (Unweighted)	0.545					
STI (Custom)	0.567					
RaSTI (Weighted)	0.513					
STIPa (Modified)	0.562					
STIPa (Unweighted)	0.564					

Hier werden alle 98 Modulationsübertragungswerte (MTF) numerisch dargestellt, sowie die Modulationsübertragungsindizes (MTI).

Auf der linken Seite findet sich eine Liste, der man die aktuelle Ergebnismenge hinzufügen kann. Klicken Sie dazu in der letzten Zeile (*[Empty]*) auf die Spalte *Add/Set*. Um einen Datensatz im Ergebnisspeicher zu überschreiben, klicken Sie auf dieselbe Spalte, aber in der betreffenden Zeile.

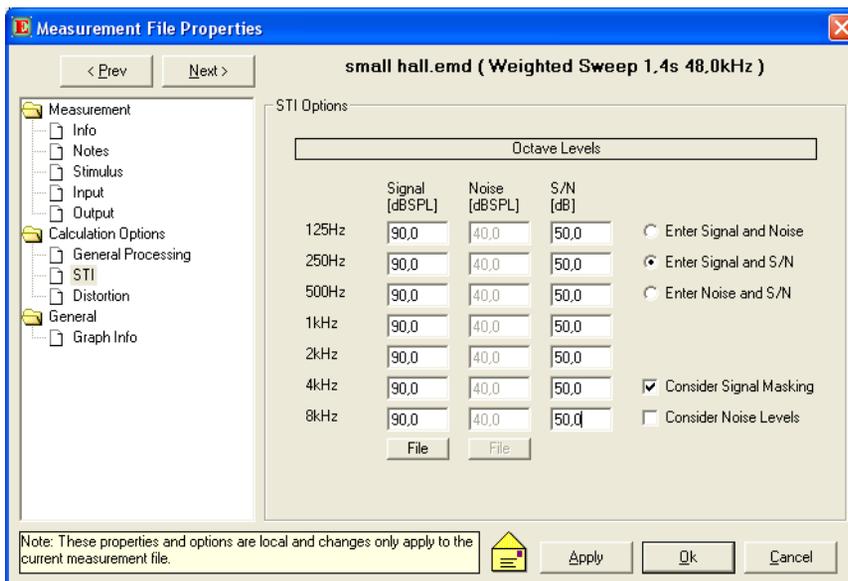
V	Table	Add/Set
	STI, MTF, MTI	<< <<
	STI, MTF, MTI	<< <<
X	STI, MTF, MTI	<< <<
	[ Empty ]	<< <<

Mit *File/Set Table To/Clipboard* kann die Tabelle in die Zwischenablage kopiert werden, mit *File/Set Table To/File* wird die Tabelle in eine Datei gespeichert, in beiden Fällen werden die einzelnen Spalten dann mit Tabulatoren getrennt.

## Berücksichtigung vom Umgebungsgeräuschen

Umgebungsgeräusche verschlechtern grundsätzlich die Sprachverständlichkeit. Das Maß, mit dem sie das tun, hängt jedoch nicht nur von ihrem Pegel ab, sondern auch von ihrer spektralen Zusammensetzung und deren Verhältnis zum Nutzsignal.

Um auch die Sprachverständlichkeit unter Berücksichtigung von Umgebungsgeräuschen ermitteln zu können, erlaubt es EASERA, S/N-Werte vorzugeben. Dazu wird in *Measurement File Properties (F4)* die Seite *Calculation Options/STI* aufgerufen. (Die Einstellungen im Fenster *Measurement File Properties (F4)* gelten nur für die jeweilige Datei. Sollten Vorgaben für alle künftigen Messungen vorgenommen werden, dann sind diese im Fenster *Options (F9)* unter *Processing/STI Options* vorzunehmen.)



Hier kann man frei wählen, welche Kombination von Größen man eingibt. Üblicherweise würde man in der Praxis zunächst das Nutzsignal messen (beispielsweise mit dem Live-Modul von EASERA) und dann das Störsignal. Auf der rechten Seite würde man dann also *Enter Signal and Noise* auswählen und dann die Werte der einzelnen Oktavbänder in den Spalten *Signal [dB SPL]* (Nutzsignal) und *Noise [dB SPL]* (Störgeräusche) eintragen. Für die Oktavspektren *Signal* und *Noise* lassen sich mit *File* auch Oktavspektren im \*.els-Format laden. Diese können mit dem Live-Modul von EASERA erstellt werden.

Anschließend wird noch die Option *Consider Noise Levels* aktiviert, danach berechnet EASERA den STI unter Berücksichtigung der Umgebungsgeräusche.

STI +N (Mask.)	0,534
AICons [%]	9,426
STI (Male)	0,543
STI (Female)	0,551
RaSTI	0,493
Equiv. STIPa (Male)	0,547
Equiv. STIPa (Female)	0,557

In den Details wird statt *STI* nun *STI +N* angezeigt (im gezeigten Beispiel für S/N Werte von 15 dB). Beachten Sie, dass die Fremdgeräuschabstände schon unter 10 dB liegen müssen, um die Sprachverständlichkeit deutlich zu verschlechtern.

## Berücksichtigung von Maskierungseffekten

Solange die Option *Consider Signal Masking* aktiviert ist, werden Maskierungseffekte berücksichtigt, die Verdeckung der Signalanteile mit geringem Pegel durch solche hohen Pegels und benachbarter Frequenzen wird also berücksichtigt.

Soll dies nicht erfolgen, dann muss diese Option deaktiviert werden, in der STI-Zeile steht dann (*No Mask*).

## Eigene Frequenzgewichtung

Nicht alle Oktavbänder werden bei der Berechnung des STIs in gleicher Weise gewichtet – schon beim Standard-STI nicht, erst recht nicht bei *Male* und *Female*.

Um hier auch Gewichtungen zu ermöglichen, die noch nicht genormt sind, bietet EASERA die Möglichkeit, eigene Frequenzgewichtungen einzugeben. Dazu wird in den Optionen (F9) die Seite *Processing/Custom STI* aufgerufen.

Custom STI Parameters			
	Octave Weight		Redundance Weight
125	<input type="text" value="0.130"/>	125	<input type="text" value="0.000"/>
250	<input type="text" value="0.140"/>	250	<input type="text" value="0.000"/>
500	<input type="text" value="0.110"/>	500	<input type="text" value="0.000"/>
1000	<input type="text" value="0.120"/>	1000	<input type="text" value="0.000"/>
2000	<input type="text" value="0.190"/>	2000	<input type="text" value="0.000"/>
4000	<input type="text" value="0.170"/>	4000	<input type="text" value="0.000"/>
8000	<input type="text" value="0.140"/>		
<input type="button" value="Standard"/> <input type="button" value="Male"/> <input type="button" value="Female"/>			

Im Abschnitt *Custom STI Parameters* können die Gewichtungen der einzelnen Oktavbänder eingegeben werden, in *Redundance Weight* die sogenannten Redundanz-Korrekturfaktoren, die den Einfluss benachbarter Oktavbänder gewichten (Details siehe DIN EN 60268-16 (2003) A.2.3). Mit Hilfe der

Buttons *Standard*, *Male* und *Female* können die einzelnen Felder mit den Werten aus der Norm vorbelegt werden (hier im Beispiel wäre *Standard* eingestellt).

Damit die mit diesen Gewichtungsfaktoren berechneten Werte überhaupt angezeigt werden, muss die Option *Show Non-Standard STI Values* aktiviert werden. Diese Einstellung ist in den Optionen (F9) auf der Seite *STI Options* zu finden.

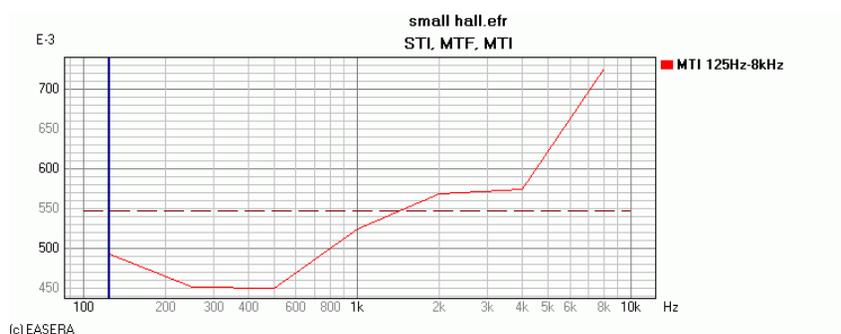
STI +N (Mask.)	0,534
AICons [%]	9,426
STI (Male)	0,543
STI (Female)	0,551
RaSTI	0,493
Equiv. STIPa (Male)	0,547
Equiv. STIPa (Female)	0,557
STI (Modified)	0,526
STI (Unweighted)	0,529
STI (Custom)	0,551
RaSTI (Weighted)	0,500
STIPa (Modified)	0,547
STIPa (Unweighted)	0,549

Des weiteren können auf der Seite *STI Options* dieselben Einstellungen vorgenommen werden wie im Dialog *Measurement File Properties (F4)* (Signal, Noise, S/N...). Die dort gemachten Einstellungen wirken als Voreinstellungen für neu durchzuführende Messungen.

## Der Modulationstransferindex (MTI)

Die Modulation Transfer Indizes werden in den einzelnen Oktavbändern zwischen 125 Hz und 8 kHz aus der Impulsantwort berechnet, die Modulationsfrequenzen liegen zwischen 0,63 Hz und 12,5 Hz. Das genaue Verfahren ist in DIN EN 60268-16 (2003) beschrieben. Aus den einzelnen MTI's wird wiederum der STI als gewichtetes Mittel bestimmt.

Um den MTI anzuzeigen, wird auf der Navigator-Seite *Graphs* die Funktion *Calculation/MTI and STI* gewählt.



Zum Vergleich wird der STI als gestrichelte Linie dargestellt.

In diesem Diagramm kann man gut die relative Übertragungsqualität der „Oktavkanäle“ erkennen.

# Lektion 12: Erläuterung weiterer Messgrößen

Einen Teil der Messgrößen, die EASERA berechnet, und der Diagramme, die EASERA anzeigt, haben wir bereits besprochen. Nun wollen wir uns die übrigen Größen ansehen.

## Diagramme der Zeitebene

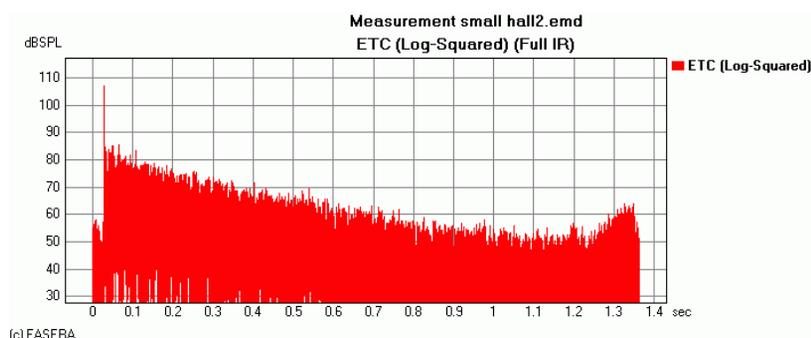
Die Diagramme der Zeitebene finden sich auf der Navigator-Seite *Graphs* alle im Abschnitt *Time*. Diese Diagramme können entweder für die ungefilterten und ungefensterten Daten (Full IR) angezeigt werden, jedoch auch für einzelne Terz- oder Oktavbänder sowie für gefensterte und nachbearbeitete Daten.

### Impulsantwort

Die Impulsantwort wurde bereits ausführlich in Kapitel 4 beschrieben.

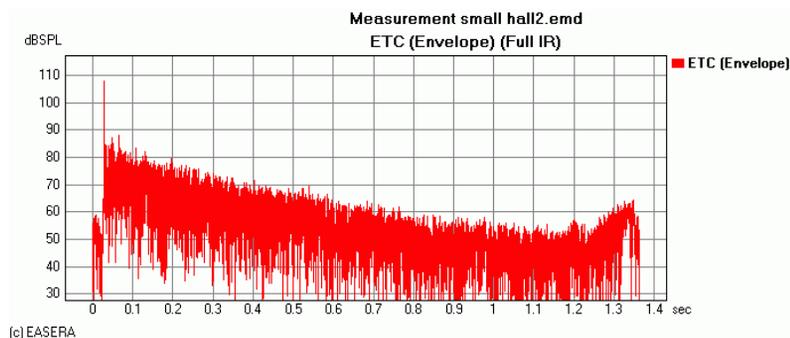
### ETC (Log-Squared und Envelope)

Das Energie-Zeit-Diagramm (energy time curve = ETC) zeigt den Energieabfall über die Zeit. Da die Schalleistung sich aus dem Quadrat des Schalldrucks berechnet, werden zu diesem Zweck die Werte der Impulsantwort quadriert. Das Ergebnis wird auf einer logarithmischen Skala angezeigt:



Das Quadrat einer Zahl ist stets positiv – negative Energiewerte gibt es nicht. An den Stellen jedoch, an denen die Impulsantwort die Nulllinie kreuzt, ist auch das Quadrat gleich null. Dementsprechend häufig geht in der Log-Squared-ETC-Kurve die Energie auf null zurück. Dies ist physikalisch korrekt, aber nicht unbedingt hilfreich für die Auswertung.

Deshalb bietet EASERA auch die Envelope-ETC-Kurve an: Hier wird aus der Impulsantwort mittels einer Hilbert-Transformation (hier durch eine komplexe Ergänzung im Zeitbereich) eine sogenannte analytische Funktion gebildet. Anschließend wird daraus die Energie berechnet und letztendlich als Hüllkurve, also als geglättetes quadriertes ETC dargestellt:



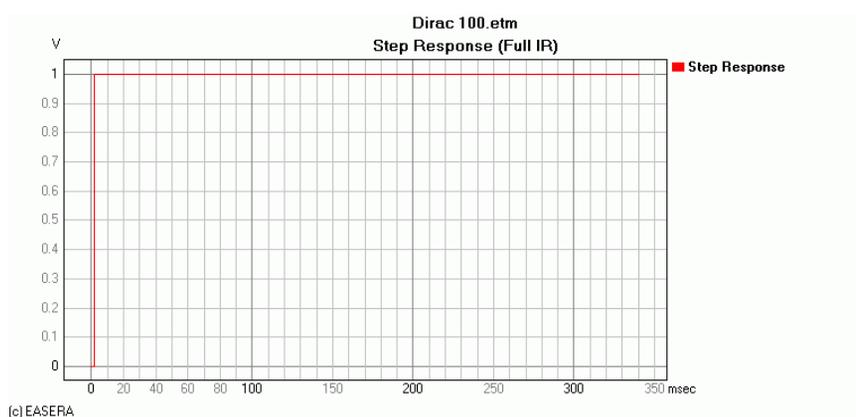
Energie-Zeit-Diagramme werden vor allem dazu verwendet, auffällige Reflexionen (hauptsächlich in Räumen aber auch in anderen Medien) zu lokalisieren. Wenn die Energie am Ende des Diagramms ein wenig ansteigt, dann liegt das üblicherweise daran, dass die Verzerrungsanteile bei Messungen per Sweep dort angesiedelt werden – mit einer Reflexion hat das nichts zu tun. (Besser wäre es, die Messung möglichst störungsfrei vorzunehmen oder hinten zu fenstern.)

## Schröder-Integral

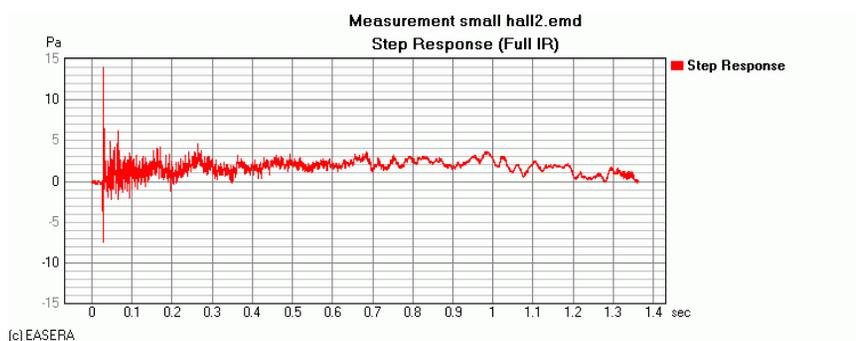
Das Schröder-Integral wurde bereits ausführlich in Kapitel 9 besprochen.

## Step Response

Die Sprungantwort ist die Reaktion des Raums auf eine Sprungfunktion. Die Sprungfunktion würde wie folgt aussehen:

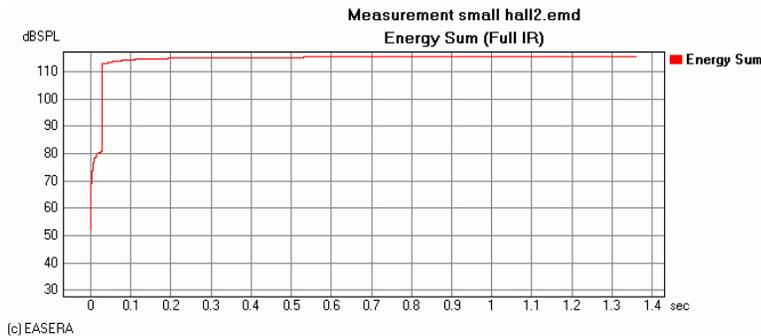


Die Sprungantwort einer raumakustischen Messung könnte nun wie folgt aussehen:



Die Sprungantwort wird bei raumakustischen Messungen kaum verwendet, sehr häufig jedoch zur Darstellung des Ein- und Ausschwingverhaltens von Lautsprechern. Mit den entsprechenden Darstellungen werden Qualitätsmerkmale für Lautsprecher verknüpft.

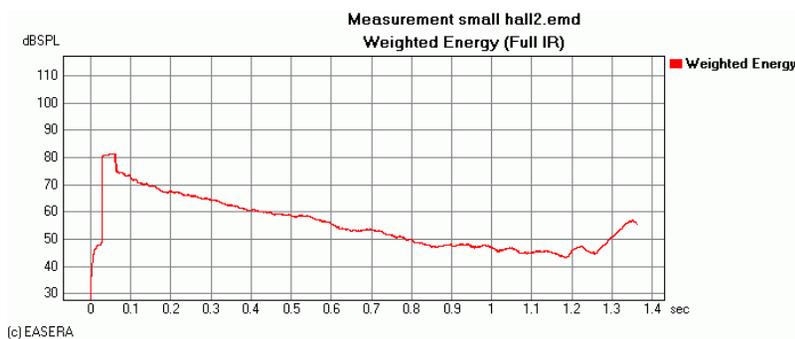
## Energy Sum



Die aufsummierte Energie ist das Vorwärtsintegral des quadrierten Signals, dargestellt auf einer logarithmischen Skala. Üblicherweise findet man bei diesem Diagramm einen starken Anstieg zum Zeitpunkt des Hauptimpulses der Impulsantwort und dann einen schnell flach werdenden Verlauf. Dort, wo bei Messungen mit Sweeps die Verzerrungsanteile liegen, ist dann noch mit einem leichten Anstieg zu rechnen.

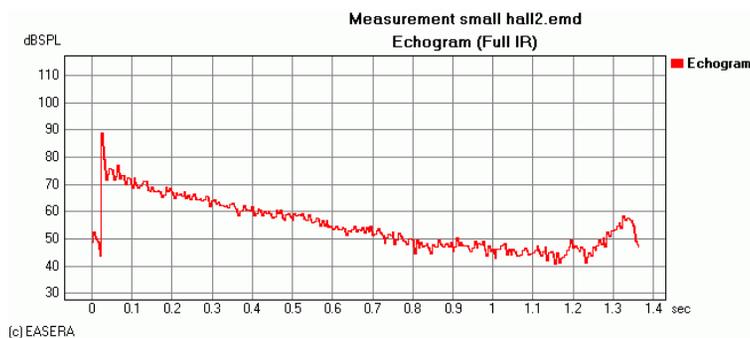
In der raumakustischen Beurteilung wird dieser Verlauf der ersten 200 ms zur Charakterisierung des Einschwingverhaltens von Räumen verwendet. Ist der Verlauf so wie im Bild oben, so spricht man von hartem Klangeinsatz, der jeweilige Raum ist sehr für Sprachübertragungen geeignet. Weicher Klangeinsatz ist durch einen steten Verlauf der aufsummierten Energie gekennzeichnet. Diese Räume werden bei Musikdarbietungen bevorzugt.

## Weighted Energy



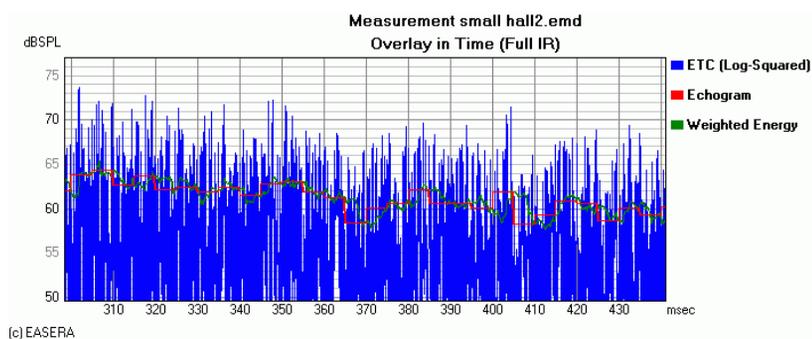
Die gewichtete Energie ist das Kurzzeitintegral der Energie über den mitlaufenden Zeitabschnitt der Größe  $\Delta t$ . Der Integrationszeitraum  $\Delta t$  kann in den Optionen (F4/Calculation Options/General Processing/Weighted Energy) eingestellt werden. Per Voreinstellung beträgt er 35 ms. Diese 35 ms entsprechen der Ohrträgheit. Somit lässt sich hierüber gut analysieren, wie wir die Strukturen zeitlich überhaupt auflösen.

## Echogramm



Für ein Echogramm wird die Teilsummenenergie für Zeitabschnitte der Länge  $\Delta t$  ermittelt. Der Integrationszeitraum  $\Delta t$  kann in den Optionen (F4/Calculation Options/General Processing/Echogramm) eingestellt werden. Per Voreinstellung beträgt er 5ms.

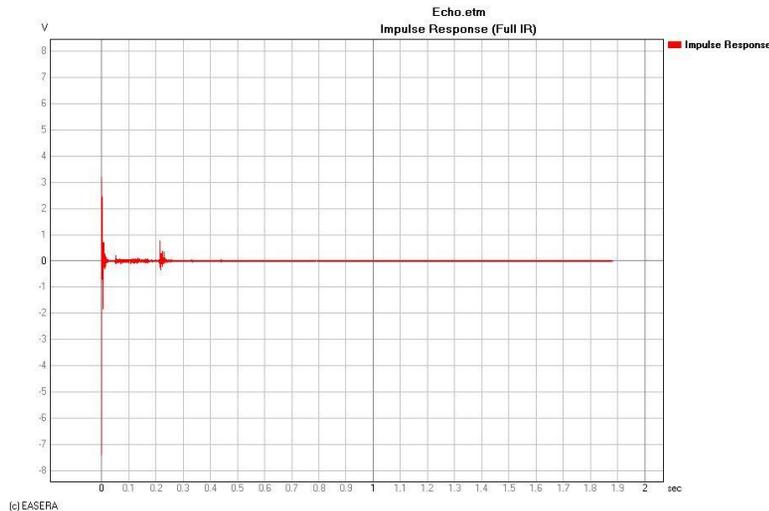
Im Unterschied zu *Weighted Energy* ist hier die Berechnung und Darstellung nicht gleitend, sondern in Stufen (im Bild sind beide Integrationszeiträume auf den gleichen Wert von 5 ms gesetzt worden):



Beide Energiedarstellungen können wie das ETC-Envelope als Hüllkurven zur schnell oszillierenden Impulsantwort aufgefasst werden und somit zur Analyse des Abklingvorgangs der enthaltenen Energie verwendet werden.

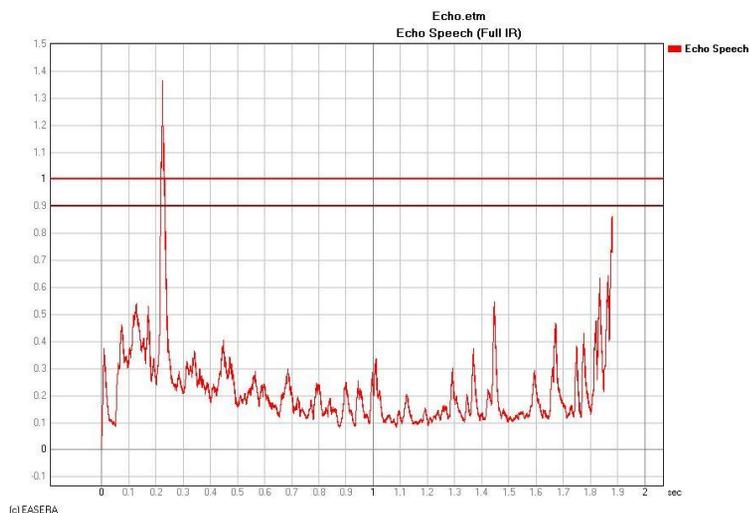
## Echo (Speech und Music)

Das nächste Bild zeigt eine in einem Theater gemessene Impulsantwort mit einer stark verzögerten Reflexion, die von der Mehrzahl der Hörer als Echo wahrgenommen wird.



Die Funktion *Echo Speech* erlaubt in EASERA diesen Umstand des Doppelhörens auch objektiv zu bestätigen. Mit *Echo Speech* wird das Echokriterium nach Dietsch und Kraak für Sprache erstellt. Übersteigt der Verlauf der Kurve den Wert 1 (bei einem trainierten Gehör 0,9), so werden diese Reflexionen als (störendes) Echo wahrgenommen.

Wenn die Messung unter dem Einfluss größerer Störgeräusche gemacht wird, dann erscheinen bisweilen heftig verzögerte Artefakte im Diagramm, die nichts mit real existierenden Echos zu tun haben.

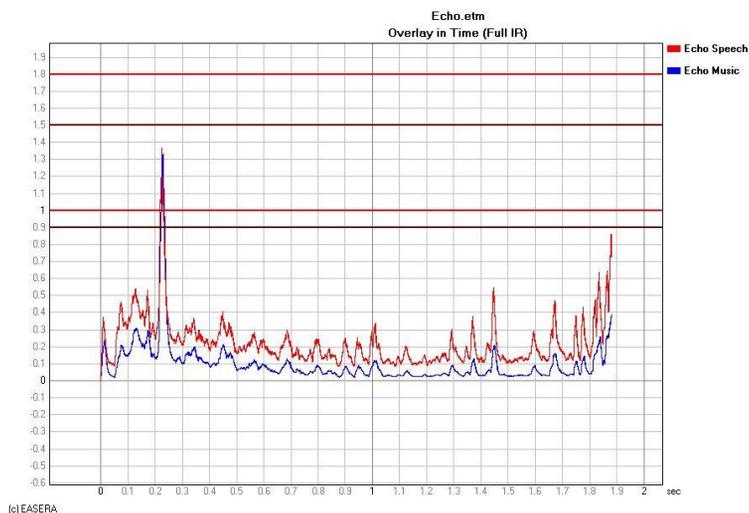


Das allgemein gehörte Echo ist damit auch objektiv bestätigt und sollte von jeder Testperson und nicht nur geschulten Hörern wahrgenommen werden.

Mit der Funktion *Echo Music* wird das Echokriterium nach Dietsch für Musik erstellt. Übersteigt der Verlauf der Kurve den Wert 1,8 (bei einem trainierten Gehör 1,5), so werden bei entsprechend kritischer Musik diese Reflexionen als (störendes) Echo wahrgenommen.

Der Wert 1,8 gilt für “filigrane” Musik (beispielsweise Mozart), bei “getragener” Musik (beispielsweise Wagner) liegt der Wert deutlich höher.

Das Overlay beider Kurven zeigt, dass deren Verlauf qualitativ ähnlich, aber nicht identisch ist. Für die Sprachwiedergabe gelten dabei deutlich schärfere Grenzwerte. Der Peak bei 1,85 s ist hier den Verzerrungsanteilen zuzurechnen und würde natürlich nicht als Echo wahrgenommen. Bitte beachten Sie, dass der Unterschied zwischen *Echo Speech* und *Echo Music* nicht nur in unterschiedlichen Wahrnehmbarkeitsgrenzen, sondern auch in unterschiedlichen Gewichtungen bei der Berechnung liegt.

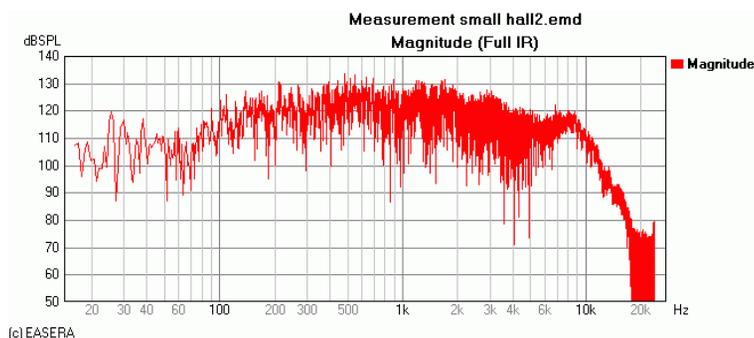


## Diagramme der Frequenzebene

Die Diagramme der Frequenzebene finden sich auf der Navigator-Seite *Graphs* alle im Abschnitt *Frequency*. Diese Diagramme können entweder für die ungefilterten und ungefensterten Daten (Full IR) angezeigt werden, jedoch auch für einzelne Terz- oder Oktavbänder (was im Regelfall nicht sinnvoll ist) sowie für gefensterte Daten.

## Magnitude

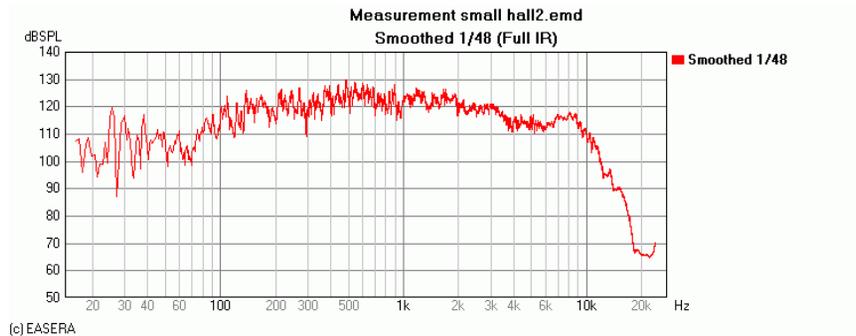
Mit der Funktion *Magnitude* wird der ungeglättete Frequenzgang angezeigt. Die Ergebnismenge einer FFT-Analyse ist über die Frequenz linear gleich verteilt, der Frequenzgang wird jedoch stets über eine logarithmische Skalenteilung angezeigt. Somit werden bei den tiefen Frequenzen weniger Punkte pro Oktave angezeigt als bei den hohen Frequenzen.



## Smoothed

Mit Smoothed wird der geglättete Frequenzgang angezeigt. EASERA erlaubt Glättungen von einer Oktave (*Smoothed 1/1*) über eine Terz (*Smoothed 1/3*), einer großen Sekunde (*Smoothed 1/6*) einer kleinen Sekunde (*Smoothed 1/12*) bis hin zu einer 96. Oktave (*Smoothed 1/96*).

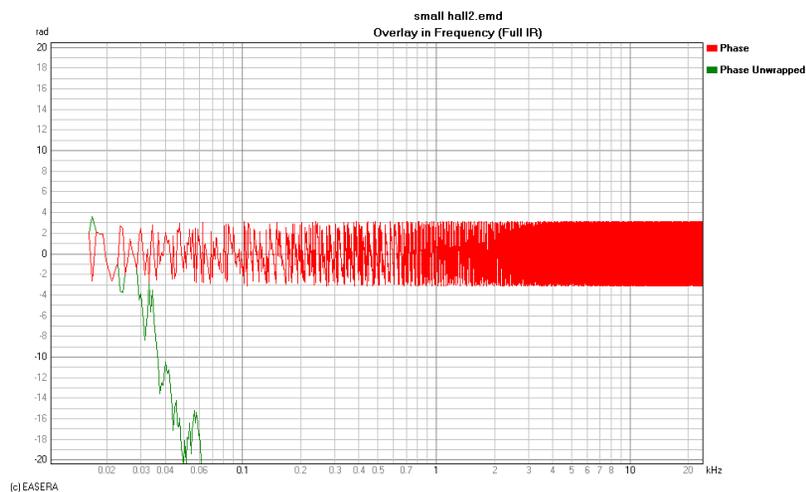
Für die Anzeige des Frequenzgangs eignet sich die Glättung auf einer 48. Oktave (*Smoothed 1/48*), oft wird aber die Terzglättung verwendet, da hier kleine Einbrüche im Verlauf verschwinden, die man mit aller Wahrscheinlichkeit eher nicht hört.



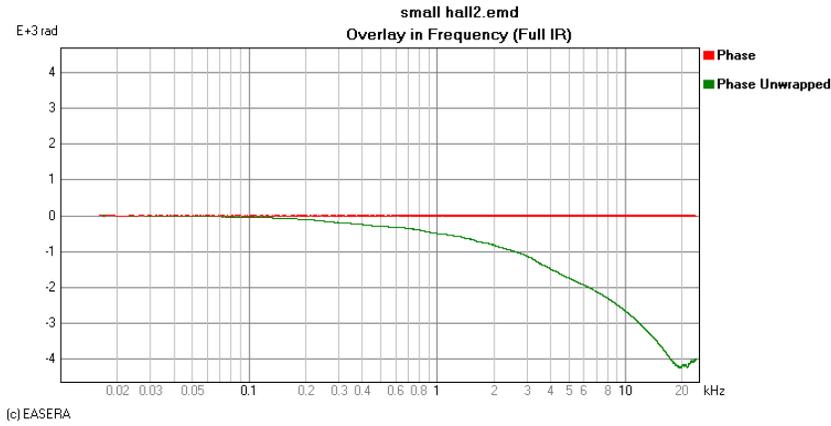
## Phase

Die Phase wird in Radiant dargestellt.  $\pi$  – also ca. 3,1415927 – entspricht dabei  $180^\circ$ . Üblicherweise wird die Phase *wrapped*, also umgebrochen angezeigt: Der Wert bewegt sich stets im Bereich  $\pm\pi$ .

Grundsätzlich ist das Phasenverhalten immer die Überlagerung einer Laufzeitphase und des eigentlichen Phasenganges des Quellsignals. Dabei wird die Laufzeitphase meist durch eine konstante Verzögerung verursacht, die auf der Entfernung zwischen Quelle und Empfänger basiert.



Die Phase kann jedoch auch *unwrapped* angezeigt werden, dann wird der absolute Phasenverlauf dargestellt:



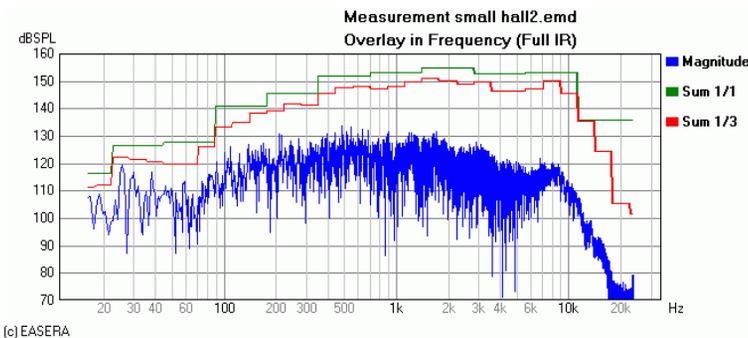
Die rote Kurve zeigt die gewrappte Darstellung mit einer Amplitude von  $\pm\pi$  rad, dagegen zeigt die unwrapped phase negative Werte von mehr als 4000 rad ( $\Phi = 2 * \pi * t$ ). Dadurch sieht die wrapped phase Kurve wie ein waagerechter Verlauf aus.

Das Phasenverhalten hängt ganz maßgeblich davon ab, an welcher Position der Hauptimpuls in der Impulsantwort zu finden ist. Das folgende Diagramm zeigt denselben Phasengang, dabei wurde aber vorher *Edit/Cyclic Move/Move Abs Max to Zero* aufgerufen.



## Summe und Durchschnitt

Mit *Sum 1/1* und *Sum 1/3* lässt sich die Summe der Signalanteile für die einzelnen Oktav-beziehungswise Terzbänder darstellen.

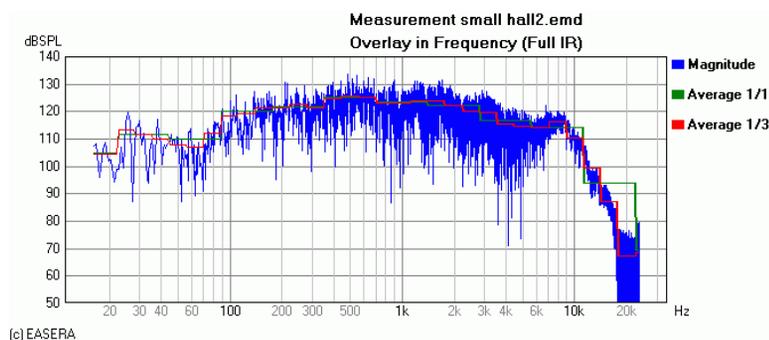


Die Summe in einem Oktavband liegt stets höher als die in den einzelnen beteiligten Terzbändern, die wiederum höher liegt als die einzelnen Werte im Frequenzgang.

Wie bereits erwähnt, ist das Ergebnis einer FFT-Analyse über die Frequenz linear verteilt, das heißt, dass für eine konstante Funktion jeder Frequenzbereich (1 – 2 kHz, 2 – 3 kHz, 3 – 4 kHz) dieselbe Energie enthält. Wird diese Energie nun aufsummiert und auf Terz- oder Oktavbänder gleichmäßig aufgeteilt, dann steigt die Bandenergie linear mit der Frequenz des Oktavbands (1 – 2 kHz, 2 – 4 kHz, 4 – 8 kHz) an. Somit führt die Summierung einer konstanten Funktion in logarithmisch größer werdenden Frequenzbändern zu einem Anstieg über der Frequenz.



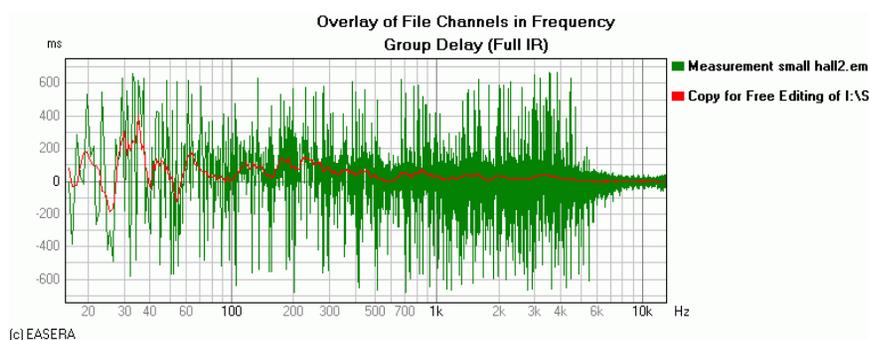
Anders sieht dies beim Durchschnitt (*Average 1/1* beziehungsweise *Average 1/3*) aus:



Der Frequenzgang eines Dirac-Impulses sowie der Durchschnitt (sowohl in Terz- als auch in Oktavbändern) würden hier eine gemeinsame Kurve bilden.

## Gruppenlaufzeit

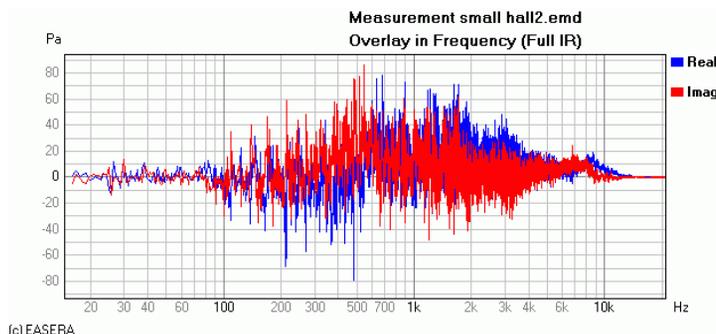
Die Gruppenlaufzeit (*Group Delay*) stellt die Laufzeit des Signals in Abhängigkeit von der Frequenz dar.



Bei akustischen Messungen wird man meist erheblich glätten müssen, um hier verwertbare Aussagen zu erhalten. Diese Glättung wird in EASERA erst dann möglich, nachdem eine Kopie der aktuellen Frequenzantwort für die „freie Bearbeitung“ erstellt wurde. Dies kann mittels des Befehls *Edit/Duplicate File* und der Auswahl *Duplicate For Free Editing* geschehen. Um die Daten zu glätten, kann anschließend *Edit/Smooth* mit den Einstellungen *Standard Logarithmic* und *1/3rd Oct* verwendet werden.

## Real- und Imaginäranteil

Aus einer Impulsantwort lässt sich per FFT-Analyse ein komplexer Frequenzgang erstellen. Üblicherweise wird dieser als Betrags- (Frequenzgang) und Phaseninformation dargestellt. Es besteht jedoch auch die Möglichkeit, diesen als Real- und Imaginärteil zu visualisieren.



## Berechnete Werte und Diagramme

EASERA kann alle relevanten akustischen Größen aus der Impulsantwort ableiten und entweder numerisch oder als Diagramm darstellen. Diese berechneten Funktionen sind im Ordner *Calculation* zusammengefasst.

### Arrival, C50, D/R, S/N

Unter dem Titel *Arrival, C50, D/R, S/N* sind die Ergebnisse zusammengefasst, die sich nur numerisch ausgeben lassen. Diese werden auf der Navigator-Seite *Details* angezeigt, im Diagramm-Bereich wird die aktive Kurve auf der Zeitachse (Impulsantwort, ETC...) gezeigt. Um zu spezifizieren, welche Informationen im Einzelnen unter *Details* angezeigt werden sollen, verwenden Sie die Einstellmöglichkeiten im Abschnitt *Details Table* im Optionen-Dialog (F9/VIEW & CALC|LAYOUT).

Data		
Arrival	28,73	ms
Distance	9,87	m
C50	4,5	dB
C80	6,2	dB
C35	3,3	dB
D	0,740	
L7	113,1	dB SPL
L50	114,1	dB SPL
L80	114,5	dB SPL
L35	113,7	dB SPL
Ltotal	115,4	dB SPL
Center Time	57,23	ms
Noise	7,07	mPa
Noise DC	225,45	µPa
Mean (DC)	0	aPa
Abs. Max	4,6	Pa
RMS	46,01	mPa
SNR	16,3	dB
Crest	40	dB
Section		
From	0	s
To	1,4	s
Mean (DC)	0	aPa
Abs. Max	4,6	Pa
RMS	46,01	mPa
SNR	16,3	dB
Crest	40	dB
D/R Ratio	Markers?	
Split Time	35	ms

Die meisten Werte werden auch auf der Seite *Results* angezeigt.

### **Arrival & Distance**

Arrival ist die Zeit zwischen Messbeginn und dem Eintreffen des Signals in Millisekunden. Das Eintreffen des Signals wird angenommen, wenn das Signal um einen bestimmten Pegel über dem Rauschen liegt. Dieser Pegel kann unter *F9/Options/Processing/Processing* im Abschnitt *Arrival Time* eingestellt werden und liegt per Voreinstellung bei 35 dB. Die aus der *Ankunftszeit* berechnete Entfernung (bei einer Temperatur von 20° C) wird als *Distance* angezeigt.

### **C<sub>50</sub>, C<sub>80</sub>, C<sub>7</sub>, C<sub>35</sub>, C<sub>split</sub>**

Die Größe C<sub>50</sub> (Deutlichkeitsmaß nach Ahnert) beschreibt das Verhältnis zur Energie, die in den ersten 50ms nach *Arrival* eintrifft, zur Energie, die danach eintrifft.

$$C_{50} = 10 \log \left( \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) \cdot dt}{\int_{50 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) \cdot dt} \right) \text{ dB}$$

Die Größe  $C_{80}$  (Klarheitsmaß nach Abdel Alim) beschreibt das Verhältnis zur Energie, die in den ersten 80 ms nach *Arrival* eintrifft, zur Energie, die danach eintrifft.

$$C_{80} = 10 \log \left( \frac{\int_0^{80 \text{ ms}} p^2(t) \cdot dt}{\int_{80 \text{ ms}}^{\infty} p^2(t) \cdot dt} \right) \text{ dB}$$

Je höher dieser Wert, desto höher ist die Verständlichkeit.  $C_{50}$  wird für Sprache verwendet,  $C_{80}$  für Musik.

$C_7$  wird auch Direktschallmaß genannt und beschreibt das Verhältnis der Energie in den ersten 7 ms zur Energie danach. Dieser Wert ist häufig negativ und liegt normalerweise zwischen  $-10$  und  $-15$  dB in typischen Räumen.

Die Größe  $C_{\text{Split}}$  beschreibt das Verhältnis zur Energie, die in der ersten Zeit nach *Arrival* eintrifft, zur Energie, die danach eintrifft. Die sogenannte Split-Zeit kann in den Optionen eingestellt werden und beträgt in der Voreinstellung 35 ms – somit würde als Größe  $C_{35}$  verwendet.

## D

Die Größe D (Deutlichkeit nach Thiele) beschreibt das Verhältnis zur Energie, die in den ersten 50 ms nach *Arrival* eintrifft, zur Gesamtenergie. Aus diesen in den 1950er Jahren abgeleiteten Maß wurde  $C_{50}$  entwickelt:

$$D_{50} = \frac{\int_0^{50 \text{ ms}} p^2(t) \cdot dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) \cdot dt}$$

## $L_7, L_{50}, L_{80}, L_{35} / L_{\text{Split}}$

$L_7$  ist der Pegel innerhalb der ersten 7ms.  $L_{50}$  und  $L_{80}$  der Pegel innerhalb der ersten 50 oder 80 ms.  $L_{\text{Split}}$  ist der Pegel innerhalb der Splitzeit – nach den Voreinstellungen 35 ms.

## Total SPL

Der aufintegrierte Gesamtpegel in dB.

## Center Time

Die *Center Time* (nach Kürer) ist die Schwerpunktzeit der aufintegrierten Energie (“Schwerpunkt des ETC-Dreiecks”), sie wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) \cdot dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) \cdot dt}$$

### **D/R Ratio**

Berechnet das Verhältnis von der direkten Schallenergie zur reflektieren Schallenergie. Setzen Sie dazu die Marker auf den Beginn und das Ende der Reflexionen in der Impulsantwort (Die Marker legen den Reverb-Anteil fest, der dann mit dem Direktanteil ins Verhältnis gesetzt wird. Setzt man also den linken Marker auf Anfangszeit + 50 ms und den rechten auf das Ende der IR, so sollte ca.  $C_{50}$  herauskommen).

### **Early und Reverb**

*Early* berechnet den Schalldruck bis zum linken Marker, bei entsprechend gesetzten Markern den Direktschallanteil. *Reverb* berechnet den Schalldruck im Bereich zwischen beiden Markern, bei entsprechend gesetzten Markern den Nachhall-Anteil.

### **Noise**

*Noise* ist die Größe des Grundrauschens. Dieser Wert wird automatisch ermittelt durch Vergleich des späten Teils der Impulsantwort mit dem sehr frühen Anteil vor dem Signal-Peak. Zu diesem Zweck werden mehrere Zeitabschnitte von ungefähr konstanter Amplitude festgelegt, die dann miteinander verglichen werden. Der Abschnitt mit dem geringsten Signal wird dann als Grundrauschen identifiziert. (Es liegt in der Natur dieses Algorithmus, dass manchmal falsche Abschätzungen erfolgen können, z. B. wenn die Raumantwort nicht vollständig ausklingt in dem Zeitraum, über den die Impulsantwort gemessen wurde. Wird ein solcher Zustand durch das Programm detektiert, so wird das Rauschen typischerweise auf Null gesetzt.)

### **DC (Noise) und Mean / DC**

*DC (Noise)* ist der Gleichanteil des Grundrauschens, *Mean / DC* der Gleichanteil des gesamten Signals

### **Abs. Max und RMS**

*Abs. Max* ist die Größe der Signalspitze, bei normierten Impulsantworten 1,00 Val, *RMS* der Effektivwert des Signals

### **INR und SNR**

*INR* ist der Impulsspitzen-Rausch-Abstand in dB, *SNR* der Signal-Rausch-Abstand in dB

### **Crest**

Verhältnis von Spitzen- zu Effektivwert, in dB.

### **Section**

Section gibt Informationen zum Signal bei setzen der beiden Marker:

### **Section From**

Position des linken Markers in ms

### Section To

Position des rechten Markers in ms

### Section Mean (DC)

Der Gleichanteil des Signals zwischen beiden Markern

### Section RMS

Effektivwert innerhalb der Marker

### Section SNR

Signal-Rausch-Abstand innerhalb der Marker

### Section Crest

Verhältnis von Spitzen- zu Effektivwert, in dB, berechnet zwischen den beiden Markern.

### Split Time

Wird im Properties-Fenster des Datensatzes (*Calculation Options/General Processing/Weighted Energy*) eingestellt und dient als Grundlage für  $L_{split}$  und  $C_{split}$ . Dieser Wert wird hier informativ dargestellt.

### Schroeder RT

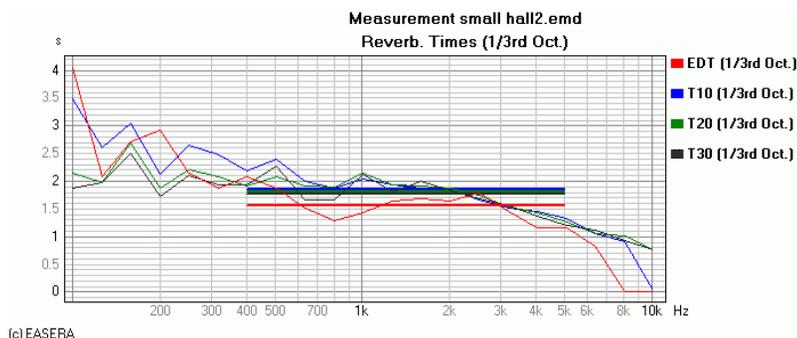
Die Funktion *Schroeder RT* wurde bereits in Kapitel 9 beschrieben.

### STI, STIPa, RaSTI, MTI

Die Sprachverständlichkeitsfunktionen wurden bereits in Kapitel 11 beschrieben.

### EDT, RT

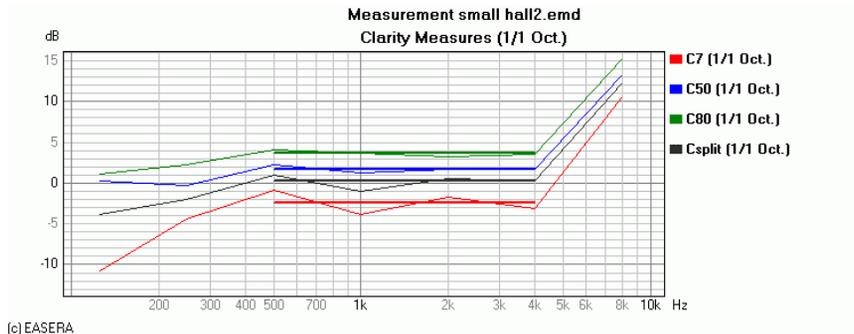
Die Nachhallzeiten  $T10$ ,  $T20$  und  $T30$  sowie die Anfangsnachhallzeit (early decay time, *EDT*) lassen sich breitbandig darstellen, aber auch für jedes Oktav- oder Terzband (*EDT, RT (Octaves)* oder *EDT, RT (1/3rd)*)



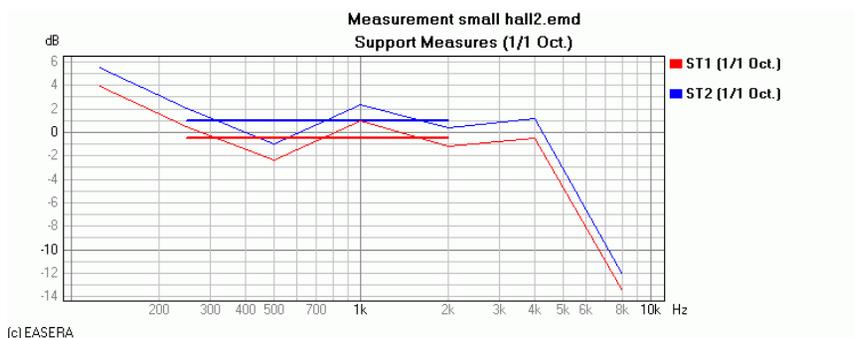
Die breitbandigen Werte können als waagerechte Linien ein- aber auch ausgeblendet werden. (Im Optionsfenster *F9/View & Calc/Options/Show Lines*)

## $C_{50}$ , $C_{80}$

Mit der Funktion  $C_{50}$ ,  $C_{80}$  lassen sich die Clarity-Maße ( $C_7$ , Deutlichkeitsmaß nach Ahnert  $C_{50}$ , Klarheitsmaß nach Abdel Alim  $C_{80}$ ,  $C_{split}$ ) für die Oktavbänder ( $C_{50}$ ,  $C_{80}$  (Octave)) beziehungsweise die Terzbänder ( $C_{50}$ ,  $C_{80}$  (1/3rd)) graphisch darstellen.



## Support ST



Support ST (nach Gade) ist ein Maß für die akustische Unterstützung im Bühnenbereich durch den umgebenden Raum.  $ST_1$  ist dabei ein Maß für das gegenseitige Hören auf der Bühne,  $ST_2$  ein Maß, inwieweit der Raum die Musiker durch Reflexionen unterstützt (Raumantwort). Diese Maße werden auf der Bühne gemessen, der Abstand des Mikrofons zur Schallquelle beträgt dabei 1m. Übliche Werte liegen in einem Konzertsaal bei  $-15$  dB bis  $-12$  dB.

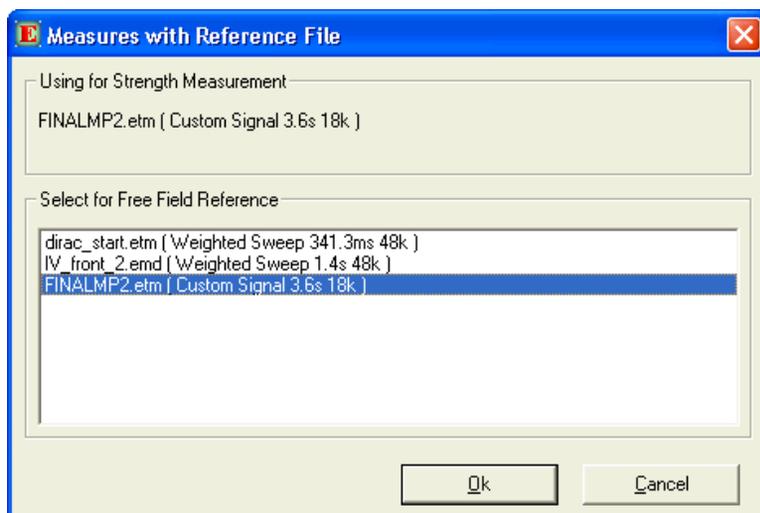
Der Support lässt sich von EASERA in sowohl in Oktav- als auch in Terzbändern anzeigen.

## Strength G



Das Stärkemaß  $G$  (nach P. Lehmann) ist das Verhältnis der Schallenergie am Messort im Verhältnis zu einer anzugebenden Referenz (nach DIN ISO 3382 im Abstand von 10 m zur Schallquelle im Freifeld gemessen). Im Allgemeinen wird  $G$  somit als Maß für die Gesamtverstärkung des abgegebenen Schalls durch den umgebenden Raum im Vergleich zum Freifeld verstanden.

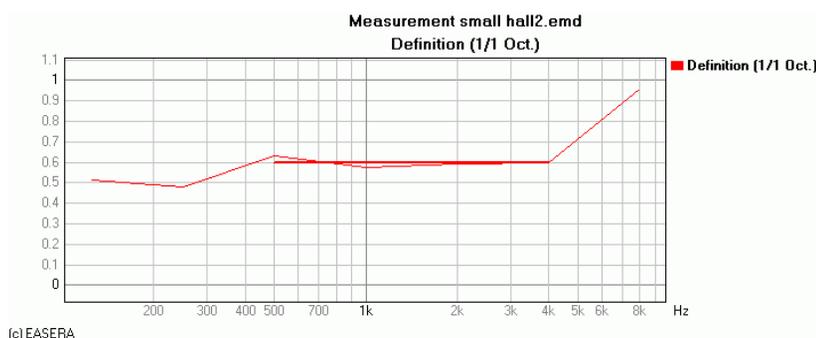
Beim erstmaligen Aufruf dieser Funktion für einen Datensatz muss ein zweiter Datensatz als Referenz angegeben werden.



Soll später eine andere Datei als Referenz verwendet werden, dann muss die vorhandene Referenz im *Measurement File Properties*-Fenster (F4) unter *Calculate Options/General Processing* im Abschnitt *Measures with Reference File* entfernt werden. Diese Werte werden auch auf der Seite *Results* angezeigt.

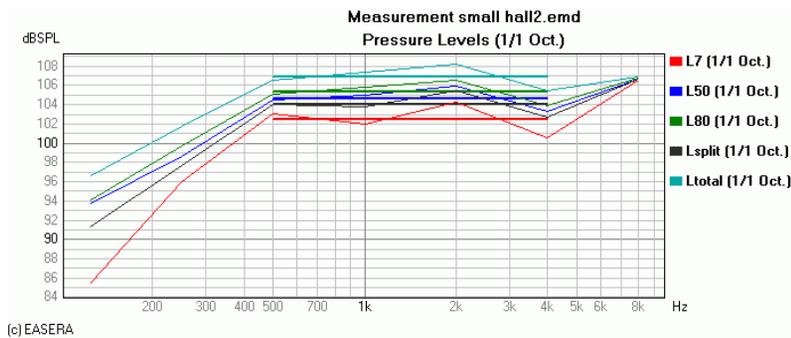
Im mittleren Frequenzbereich (500 Hz bis 1 kHz) sollte  $G$  über 0 dB liegen. Die Größe *Strength* lässt sich von EASERA in sowohl in Oktav- als auch in Terzbändern anzeigen.

### Definition



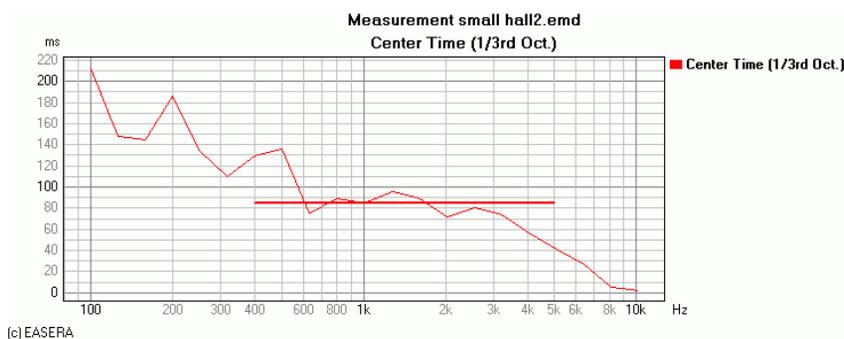
Die Deutlichkeit  $D$  (auch  $D_{50}$ ) nach Thiele ist das Verhältnis der Energie in den ersten 50 ms im Verhältnis zur Gesamtenergie. Für eine gute Sprachverständlichkeit sollte der Wert von  $D$  bei allen Frequenzen über 0.5 liegen.

Die Größe *Definition* lässt sich von EASERA sowohl in Oktav- als auch in Terzbändern anzeigen.

**$L_{50}$ ,  $L_{80}$** 

Mit Hilfe der Level-Funktionen können die Schalldruckpegel aus einer Impulsantwort berechnet werden. Es werden dabei – in Oktav- oder Terzbändern – angezeigt:

- Pegel innerhalb der ersten 7ms ( $L_7$ ).
- Pegel innerhalb der ersten 50ms ( $L_{50}$ ).
- Pegel innerhalb der ersten 80ms ( $L_{80}$ )
- Pegel innerhalb der Split-Zeit ( $L_{split}$ )
- Gesamtpegel (Total SPL)

**Center Time**

Die *Center Time* (nach Kürer) ist der Schwerpunkt der aufintegrierten Energie. Dieser Zeitpunkt markiert die Zeit, zu der die bereits angekommene Energie der noch nachfolgend eintreffenden Energie entspricht. Sie wird nach der folgenden Formel berechnet:

$$T_s = \frac{\int_0^{\infty} t \cdot p^2(t) \cdot dt}{\int_0^{\infty} p^2(t) \cdot dt}$$

Hier wird sie für die einzelnen Oktavbänder angezeigt, EASERA kann sie auch für Terzbänder darstellen. Für eine zufriedenstellende Sprachverständlichkeit sollte sie unter 130 ms liegen.

Die Aussage der Schwerpunktzeit korrespondiert natürlich auch mit anderen akustischen Maßen, z.B. mit der oben erläuterten Energy Sum, deren Anstieg im Prinzip mit der Lage der Center Time korreliert. Beide sind ein Indikator dafür, ob die Energie zeitlich „breit verschmiert“, d.h. teilweise verzögert

eintrifft, was bei Musik eher akzeptabel oder sogar erwünscht ist (weicher Klangeinsatz), während bei Sprache eine stärkere zeitliche Konzentration vorteilhaft ist (harter Klangeinsatz).

# Lektion 13: In-Situ-Messungen

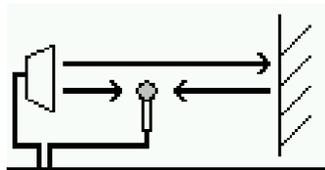
Für raumakustische Simulationen ist die Kenntnis des Reflexionsverhaltens aller größeren Flächen essentiell. Gerade bei bestehenden Gebäuden liegen entsprechende Informationen jedoch häufig nicht vor, meist lässt sich auch keine ausreichend große Materialprobe entnehmen, um hier eigene Labor-Untersuchungen anzustellen. In solchen Fällen hilft EASERA mit der Möglichkeit weiter, am "lebenden Objekt" die Reflexionskoeffizienten zu bestimmen.

---

## Das Messverfahren

Die Reflexionskoeffizienten werden im Post-Processing aus zwei Messungen bestimmt: Der Messung der Impulsantwort vor dem Prüfobjekt und der Messung der Impulsantwort im Freifeld.

Bei der Messung vor dem Prüfobjekt wird ein Lautsprecher senkrecht auf die betreffende Fläche gerichtet, zwischen Lautsprecher und Fläche wird das Messmikrofon platziert.



Auf diese Weise erhält man eine Impulsantwort mit zwei signifikanten Impulsen: Ein Impuls rührt vom Direktschall und der andere vom Reflexionsschall.

Das folgende Foto zeigt den tatsächlichen Aufbau einer Messung, hier durchgeführt in der VW-Bibliothek der TU/UdK Berlin.



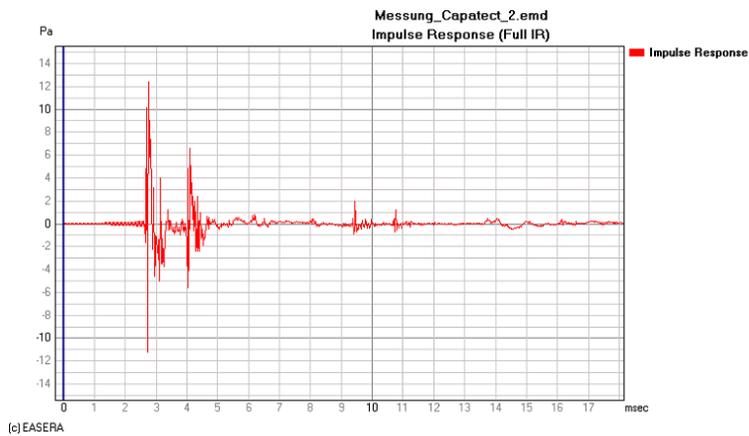
Die zu prüfende Fläche muss plan sein, außerdem soll sie möglichst groß sein, um auch bei tiefen Frequenzen realistische Werte zu erhalten.

---

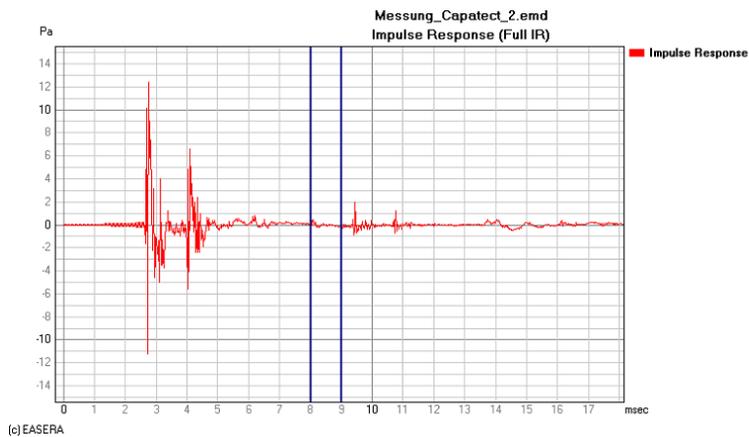
## Durchführung der Messung

Bei der ersten Messung wird die Lautsprecher-Mikrofon-Kombination auf die zu untersuchende Fläche gerichtet, dann wird wie gewohnt eine Messung durchgeführt.

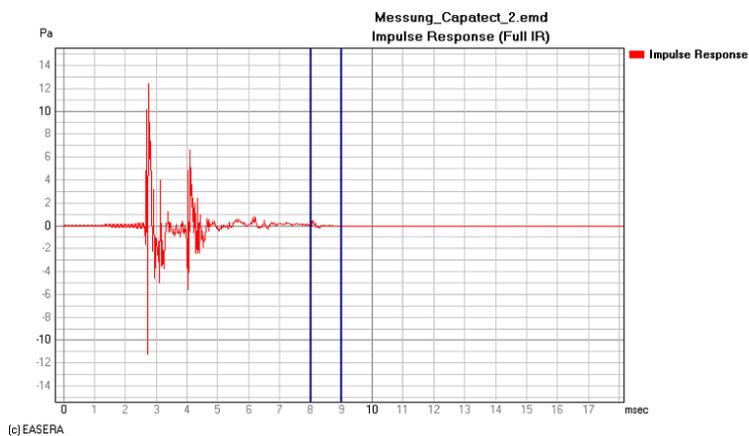
## Messung in Richtung auf die zu untersuchende Fläche



Deutlich zu sehen sind hier die beiden Impulse, der erste aus dem Direktschall, der zweite aus der Reflexion. Es folgen Reflexionen an anderen Flächen, die hier unerwünscht sind und deshalb ausgefenstert werden sollen.



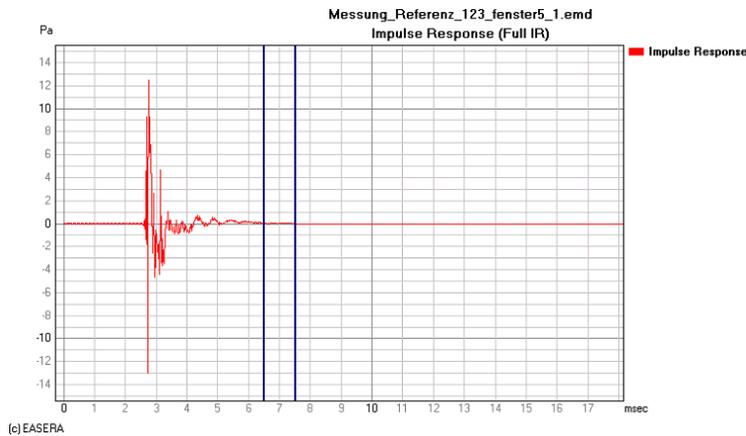
Die Marker werden so gesetzt, dass sie den auszuwertenden Bereich bis direkt vor die erste deutliche Störreflexion begrenzen.



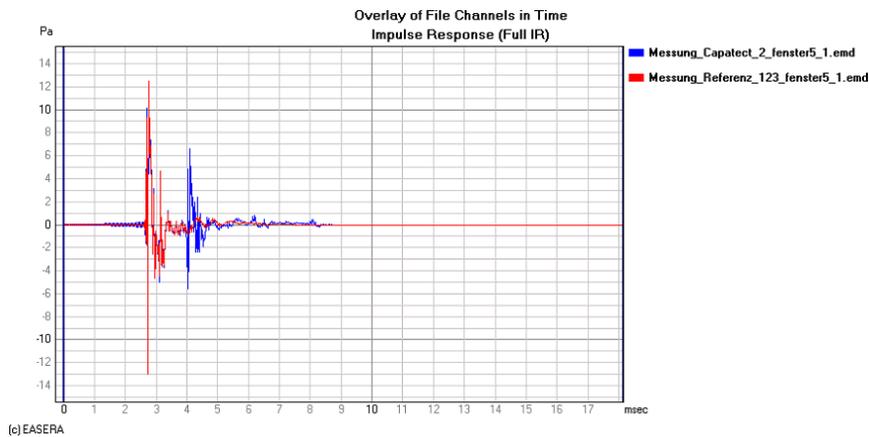
Die gefensterte Impulsantwort hat eine Länge von gut 5 ms, als untere Grenzfrequenz ist ein Wert um 200 Hz zu erwarten.

## Messung des Freifeldes

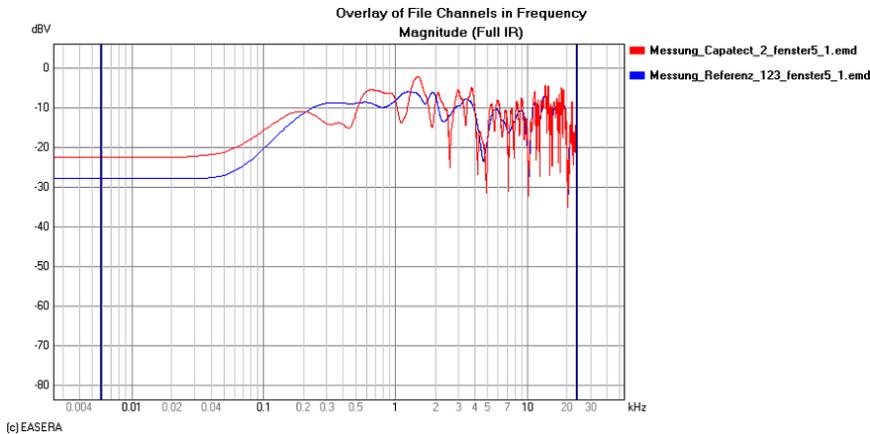
Nun wird die Messanordnung von der Wand weg (z. B. in den Raum) gedreht, so dass die in Richtung Mikrofon liegenden nächsten Flächen möglichst weit entfernt sind. Dann wird eine Messung durchgeführt, die auch hier entsprechend gefenstert wird.



Vergleichen wir kurz beide Messungen in einem Overlay der Impulsantwort. Dass bei beiden Messungen der erste Impuls an exakt derselben Stelle zu finden ist, verwundert wenig, wenn man sich in Erinnerung ruft, dass Lautsprecher und Mikrofon auf einer Schiene fest miteinander verbunden sind.

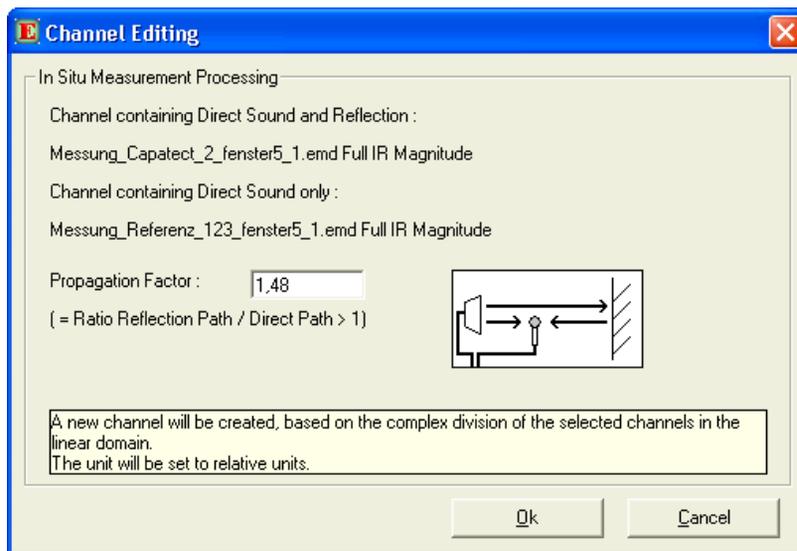


Dasselbe auch noch im Frequenzgang. Nicht ganz unerwartet zeigen zwei Impulse mehr und schärfere Interferenzeinbrüche im Vergleich zu einem Impuls bei der Freifeldmessung.



## Berechnung des Übertragungsverhaltens

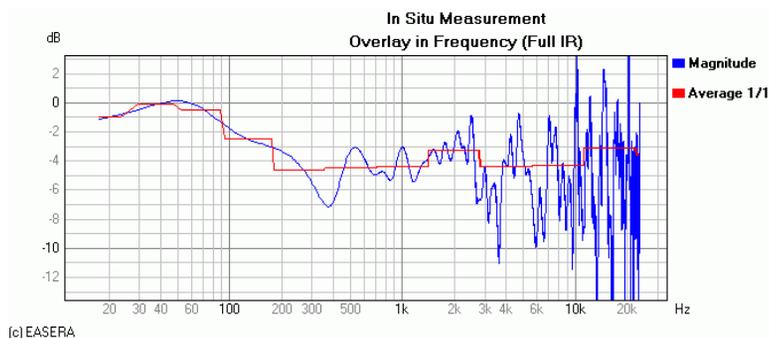
EASERA berechnet aus den beiden Messungen die komplexe Übertragungsfunktion der untersuchten Fläche. Zu diesem Zweck erstellen Sie ein Overlay beider Messungen und sorgen dafür, dass die Messung zur Wand hin die aktive Messung ist. Dann rufen Sie *Edit/More/In Situ Measurement Processing* auf.



Kontrollieren Sie hier, ob die Messungen korrekt gewählt wurden und geben Sie den *Propagation Factor* ein – dieser ist der Quotient der beiden Wegstrecken vom Lautsprecher zum Mikrofon, über die reflektierende Strecke (Reflection Path) als Dividend, Direct Path als Divisor.

Die Impulse können wir bei 2,735 ms und 4,05 ms lokalisieren. Da beim Propagation Factor nur das Verhältnis der Wegstrecken interessiert, kann eine Umrechnung der Zeiten in die entsprechende Wegstrecke entfallen, die Quotient kann gleich mit den Zeiten gebildet werden.

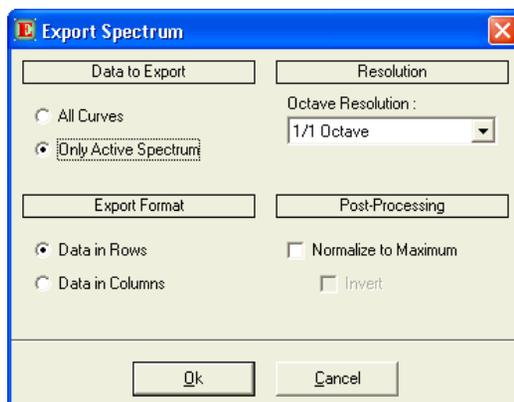
Als Ergebnis erhalten wir den Reflexionsgrad in dB.



In der ungeglätteten Darstellung erhalten wir bei einzelnen Frequenzen Werte über 0 dB. Da eine Wand nicht mehr Energie reflektieren kann, als auf sie abgestrahlt wird, sind diese Ergebnisse nicht als real zu betrachten. Sie entstehen durch Interferenzen und den damit zusammenhängenden schmalen Pegel einbrüchen beim Direktschall.

Sinnvoller ist die Darstellung des Reflexionsgrades  $r$  in Oktaven IR oder Terzen, weil sie hier solche Fehler ausmitteln. Der Absorptionsgrad lässt sich aus dem Reflexionsgrad mittels der Formel  $\alpha = 1 - |r|^2$  berechnen.

Zu diesem Zweck lässt sich das Spektrum mit *File/Export Spektrum* exportieren, so dass die Weiterverarbeitung beispielsweise mit einem Tabellenkalkulationsprogramm (Excel o.ä.) erfolgen kann:



## Genauigkeit des Verfahrens

Absorptionsgrade werden für gewöhnlich im Hallraum oder im Kundt'schen Rohr gemessen. Die Bestimmung von Absorptionsgraden mit dem In-Situ-Verfahren führt nicht zu exakt identischen Werten.

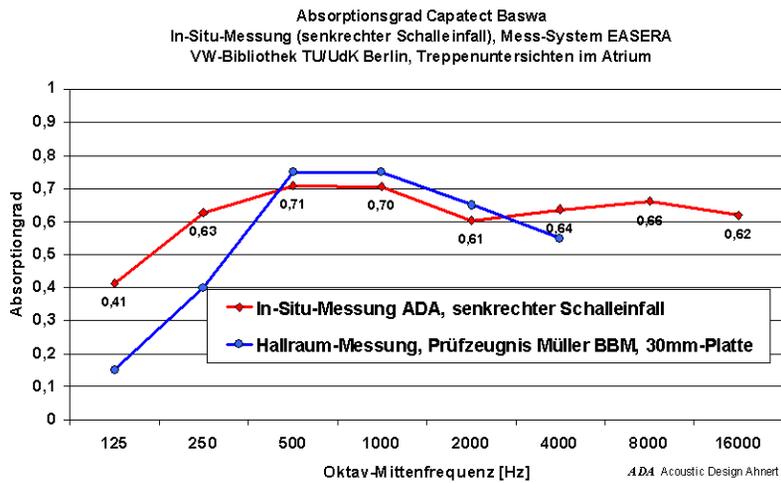
Zunächst einmal wird hier prinzipbedingt der Absorptionsgrad für einen ebenen Schalleinfall senkrecht zur Fläche bestimmt, während im Hallraum ein diffuser Schalleinfall vorherrscht.

Die Oberfläche des zu prüfenden Objektes muss plan sein, und ein senkrechter Schalleinfall muss gewährleistet werden. Des Weiteren müssen Reflexionen von anderen Körpern entweder ausreichend klein sein, oder so spät eintreffen, dass sie ausgefenstert werden können.

Die untere Grenzfrequenz bestimmt sich einerseits aus der Größe der Fläche (sollte größer sein als die Wellenlänge), andererseits aus der Position des Fensters. Bei tiefen Frequenzen nehmen die Ungenauigkeiten zu.

Die folgende Abbildung vergleicht eine In-Situ-Messung mit einer Hallraum-Messung. Wie unschwer zu erkennen ist, liegen die Abweichungen bei höheren Frequenzen unter 10% und sind somit tolerabel. Bei

den tiefen Frequenzen sind die Abweichungen jedoch erheblich, die von uns für diesen Fall abgeschätzte untere Grenze von ca. 200 Hz wird hier deutlich.



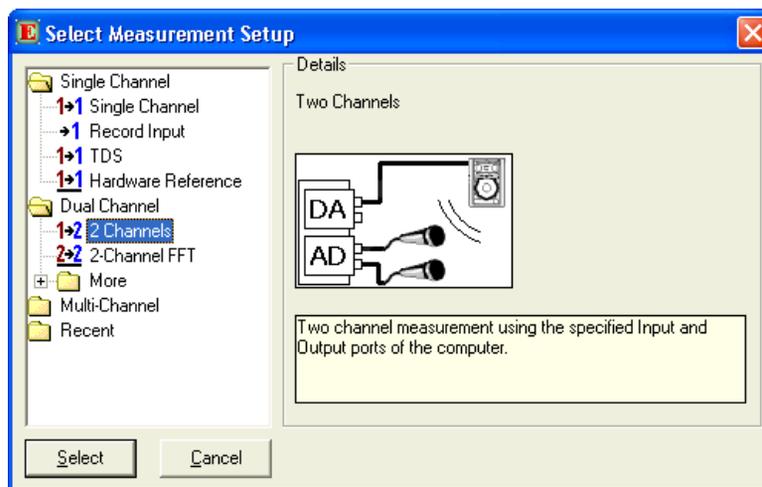
# Lektion 14: Binaurale Messungen

Die bisherigen Messungen wurden meist mit einem einzelnen Mikrofon durchgeführt. Dass der Mensch mit zwei Ohren hört, wurde dabei vernachlässigt, es spielt bei Größen wie Nachhallzeit oder Frequenzgang auch keine Rolle. EASERA erlaubt jedoch auch Messungen, die das räumliche Hören objektivieren.

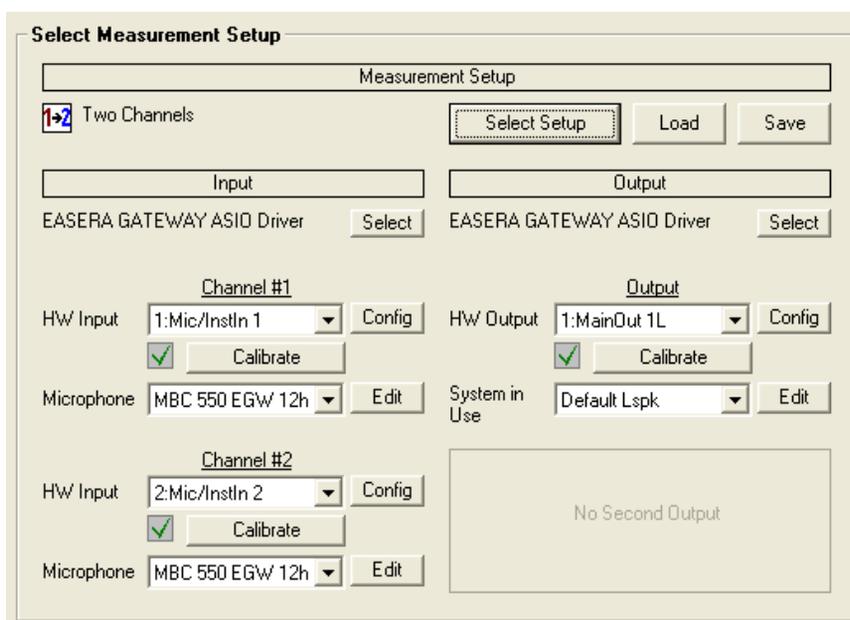
## Zweikanalig messen

Funktionen wie die *Interaurale Kreuzkorrelation (IACC)* oder die *Lateral Fraction* setzen zwei Impulsantworten ins Verhältnis, bei der interauralen Kreuzkorrelation den linken und den rechten Kanal eines Kunstkopfes. Es ist keine gute Idee, diese beiden Kanäle nacheinander zu messen, da man schon durch einen leichten Zeitversatz zu Ergebnissen gelangen würde, die fern jeder Realität liegen.

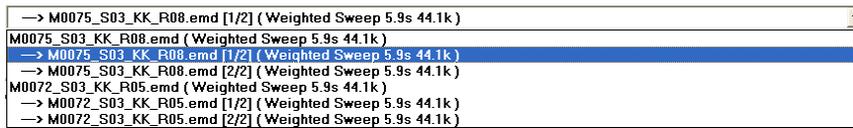
Um eine zweikanalige Messung durchzuführen, gehen wir auf die Seite *Measure/Select Measurement Setup* und wähle dort *Select Setup*. Hier können wir dann die Option *2 Channels* auswählen.



Wir können nun für zwei Kanäle individuell die Hardware auswählen und natürlich auch zwei Kanäle einzeln kalibrieren:



Wenn wir nun eine Messung durchführen, dann erscheint in der Dateiliste der View&Calc-Seite eine Ergebnisdatei, die zwei (und mehr) Kanäle enthält:



Diese einzelnen Kanäle lassen sich individuell anzeigen und auch zu Overlays kombinieren.

## Interaurale Kreuzkorrelation

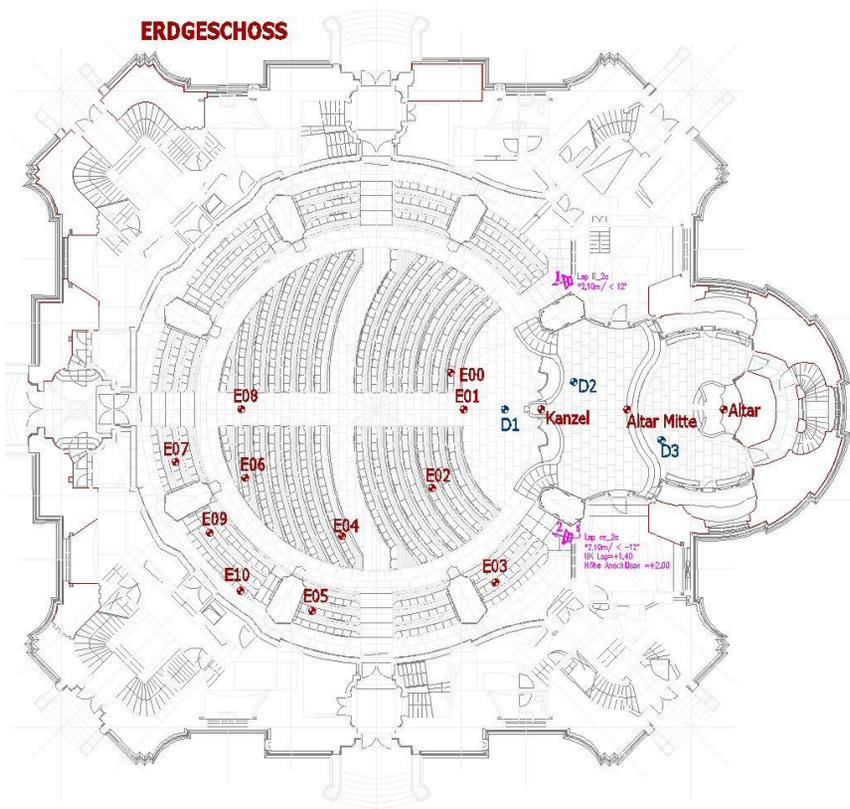
Die interaurale Kreuzkorrelation wird mit einem Kunstkopf gemessen und vergleicht die Phasenlage des linken und rechten Kanals (ähnlich eines Korrelationsgradmessers in der Studioteknik). Bei einem Korrelationsgrad von 1 liegt eine vollständige Korrelation der Signale vor, bei einem Korrelationsgrad von 0 keine.

Die interaurale Kreuzkorrelation nach ISO 3382 wird für die einzelnen Oktavbänder ermittelt, und zwar für die ersten 80 ms der Impulsantwort (“Early”,  $IACC_E$ ), für den Teil der Impulsantwort nach 80ms (“Late”,  $IACC_L$ ) sowie für die gesamte Impulsantwort (“Full”).

Nach Beranek korrespondiert der Wert  $1 - IACC_E$  mit der empfundenen Weite des Höreindrucks, während der Wert  $1 - IACC_L$  mit der empfundenen “Einhüllung” korreliert. Als maßgebende Größen werden die Oktavbänder 500 Hz, 1000 Hz und 2000 Hz angesehen. Als exzellent bis überragend werden  $IACC_E$ -Werte zwischen 0,28 und 0,38 angesehen, als gut bis exzellent  $IACC_E$ -Werte zwischen 0,39 und 0,54, als akzeptabel  $IACC_E$ -Werte zwischen 0,55 und 0,59.

## Messung in der Dresdener Frauenkirche

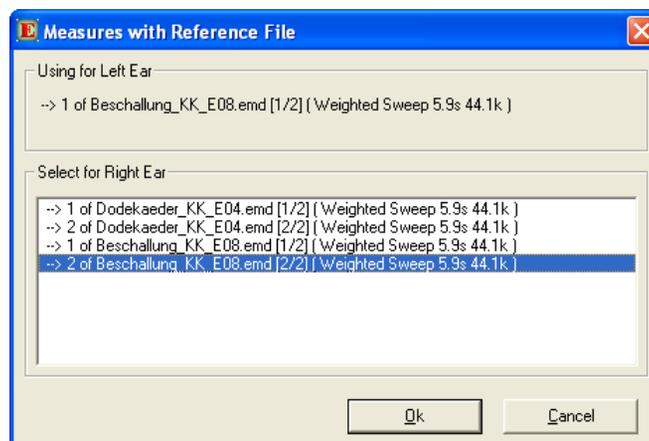
Die folgende Abbildung zeigt den Grundriss des Parketts der Dresdener Frauenkirche. Die Kirche entstand zwischen 1726 und 1742 als erster barocker Kirchenbau in Rundform. Dieses berühmte Bauwerk von George Bähr wurde 1945 vollständig zerstört und zwischen 1992 und 2005 originalgetreu wieder aufgebaut.



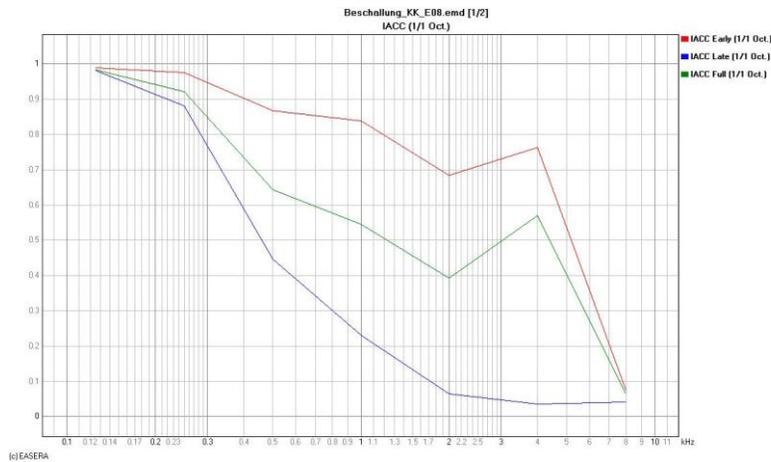
Bei der hier vorgestellten Dodekaeder-Messung befand sich die Schallquelle an Position D1 vor der Kanzel und der Kunstkopf war an Position E04. Bei der Messung mit Beschallungsanlage war das Sprechermikrofon im Altarbereich an Position D2 und der Kunstkopf am Platz E08.

## Ermittlung der interauralen Kreuzkorrelation

Um die interaurale Kreuzkorrelation zu ermitteln, wird zunächst Kanal 1 dieser Messung ausgewählt, anschließend die Funktion *IACC (Octave)*. EASERA präsentiert darauf einen Dialog zur Auswahl des zweiten Kanals:

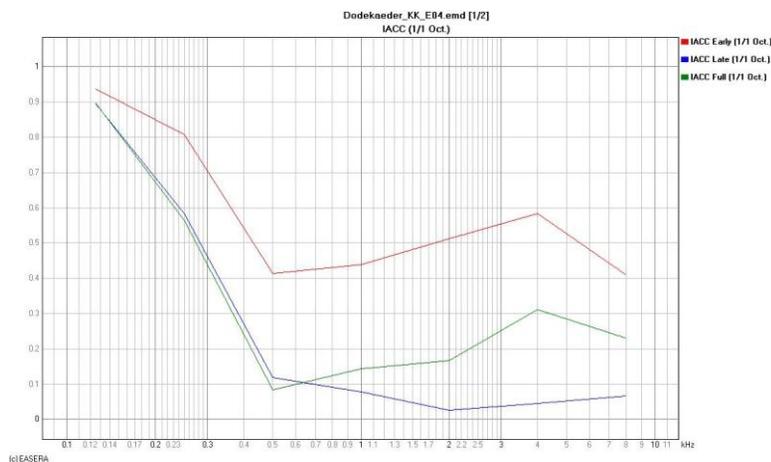


Die Berechnung dauert ein paar Sekunden, dann zeigt uns EASERA das Ergebnis an:



Mit der Beschallungsanlage (viele Quellen!) haben wir hohe  $IACC_E$ -Werte, was auf eine hohe Korrelation der beiden Ohrsignale (E08 ist ein Platz in der Mitte der Kirche) in den ersten 80 ms zeigt. Die hohe Korrelation ist sicher auf die symmetrisch angeordneten beiden Line Arrays im Parkett zurückzuführen, die beim Anfangsschall im Parkett dominieren. Erst bei Eintreffen verzögerter Schallfeldanteile aus den Emporen sinkt die Korrelation ( $IACC_{Late}$ -Werte sind niedriger).

Zum Vergleich auch noch die Kurve für die Dodekaedermessung an Position E04:



$IACC_E$  zeigt hier gute Werte, während für die späteren Signalanteile die Korrelation zu gering ist, was in Kirchen mit hohem Nachhall zu erwarten ist.

# Lektion 15: Messung an elektronischen Schaltungen

Mit EASERA sind nicht nur akustische Messungen möglich, sondern auch Messungen an elektronischen und elektroakustischen Geräten. Wir wollen in dieser Lektion einen Stereo-Equalizer (den BSS Varicurve) vermessen.

## Hardware-Referenz

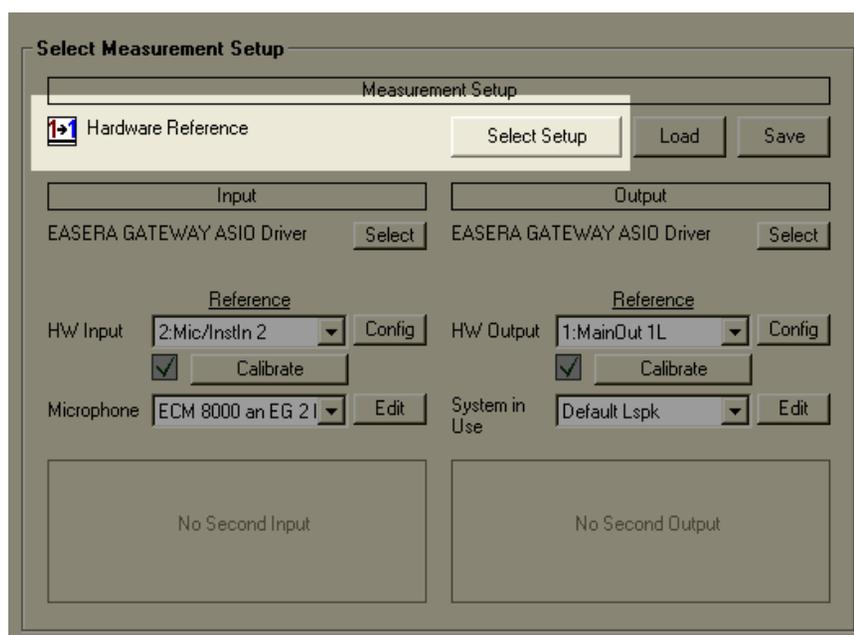
Wenn raumakustische Messungen oder Messungen an Lautsprechern durchgeführt werden, dann sind die Übertragungseigenschaften der verwendeten Soundkarte üblicherweise mindestens eine Größenordnung besser als die des zu messenden Objektes. Unzulänglichkeiten der Soundkarte (Frequenzgang, Klirrfaktor, Rauschen) können somit vernachlässigt werden.

Bei Messungen an elektronischen Geräten gilt das jedoch nicht: Hier könnten die Eigenschaften der Soundkarte die Messung maßgeblich verfälschen. Verbinden Sie mal mit einem einfachen, kurzen Kabel den Ausgang der Soundkarte mit dem Eingang und führen Sie eine Messung durch. Das Ergebnis könnte ernüchternd sein.

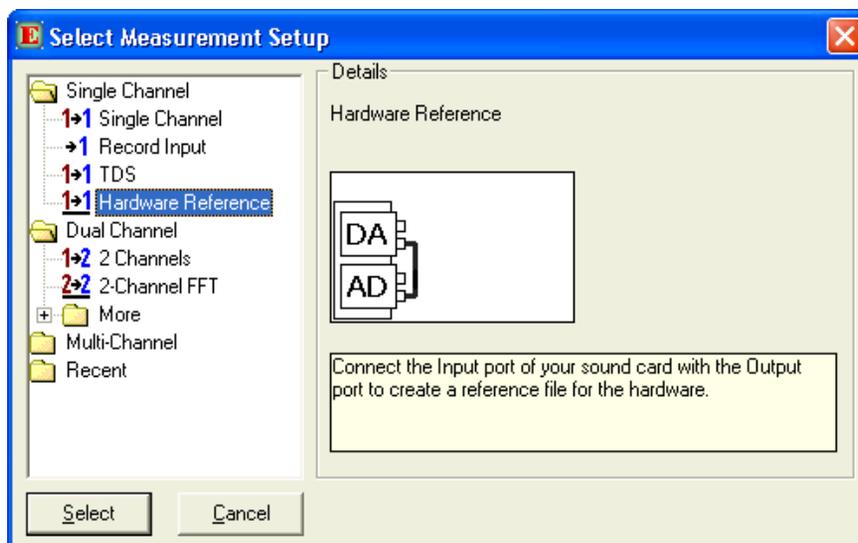
Um solche Verfälschungen des Messergebnisses zu minimieren, lässt sich mit EASERA eine Hardware-Referenz verwenden: Dazu wird die Soundkarte kurzgeschlossen und eine Messung durchgeführt. Die dabei festgestellten Abweichungen von der idealen Übertragung können dann bei den folgenden Messungen automatisch kompensiert werden.

### Eine Hardware-Referenz erstellen

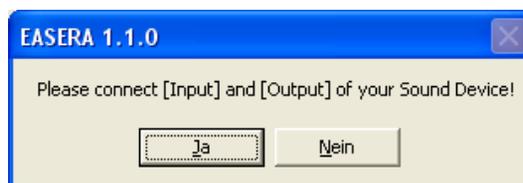
Um eine Hardware-Referenz zu erstellen, gehen Sie auf die Seite *Measure*, dort in den Abschnitt *Select Measurement Setup* und klicken auf *Select Setup*.



Dort wählen Sie unter *Single Channel* den Punkt *Hardware Reference*:

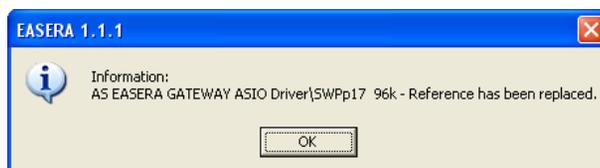


Weil Referenzmessungen genau für das verwendete Signal erzeugt und verwendet werden, stellen Sie nun zuerst das Signal (Signaltyp, Samplerate und die Signallänge, z.B. einen *Log-Sweep* mit 96 kHz und 1,4 s) ein, mit dem Sie die spätere Messung ausführen wollen. Sorgen Sie auch hier dafür, dass die Pegel korrekt eingestellt sind (also, dass vor allem kein Übersteuern auftritt), und starten Sie dann eine Messung.

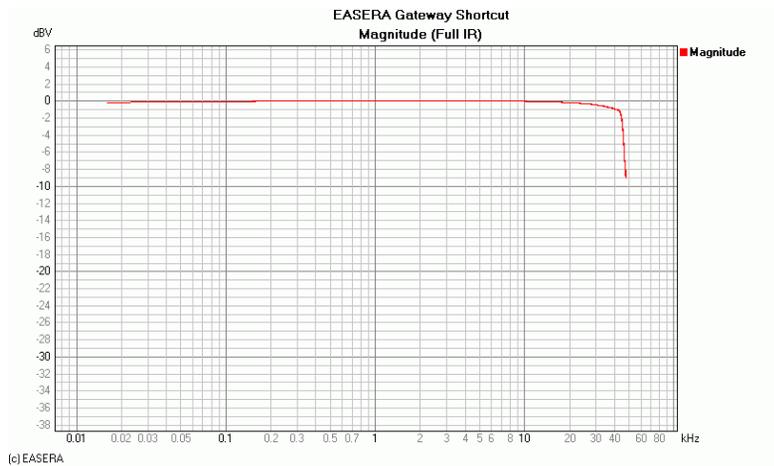


EASERA weist Sie darauf hin, den Eingang mit dem Ausgang zu verbinden. Holen Sie dies gegebenenfalls nach und klicken Sie dann auf *Ja*.

Es wird dann eine Messung durchgeführt, und Sie werden gegebenenfalls darauf hingewiesen, dass frühere Referenzdateien ersetzt wurden.

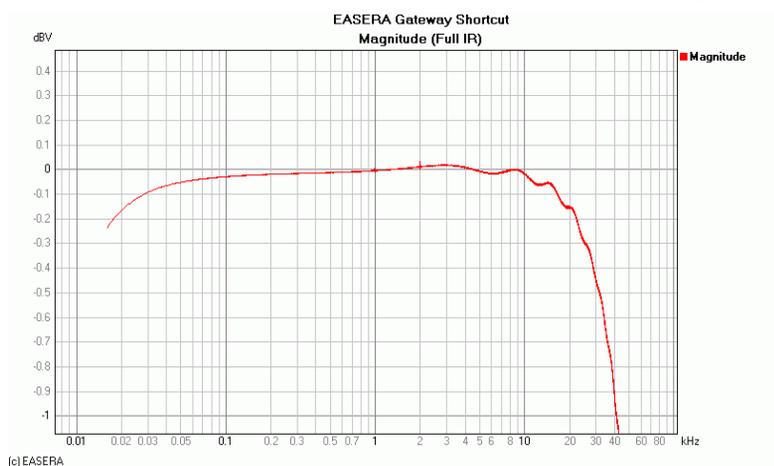


Schauen wir uns das Ergebnis dieser Hardware-Referenz an. Zunächst der Frequenzgang: Im Audio-Bereich ist hier alles linear, bei 48 kHz dann ein steiler Abfall, der bei einer Abtastrate von 96 kHz auch so zu erwarten ist.

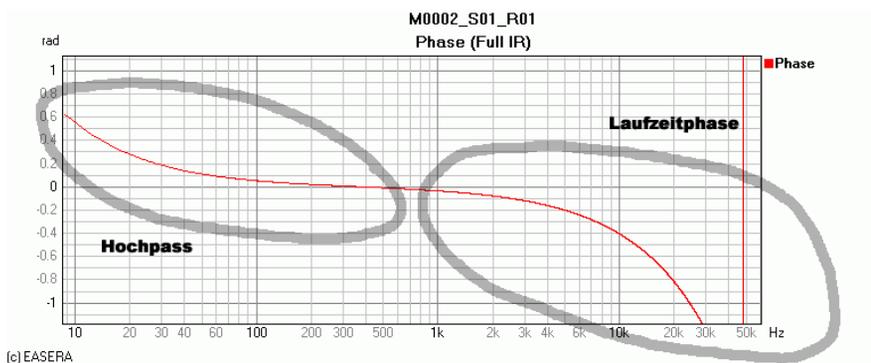


Betrachten wir diese Linearität einmal aus der Nähe: Ganz so beeindruckend ist die Sache nun nicht mehr. Zum Tieftonbereich fällt die Kurve um ein paar Zehntel dB ab, im Hochtonbereich gibt sie auch ein wenig nach.

(Am Rande: Wenn Sie bei einem EASERA Interface Unsauberkeiten bei den Vielfachen der Netzfrequenz (in Europa 50 Hz) erkennen, dann sollten Sie es mal mit einem Gleichspannungsnetzteil versuchen.)



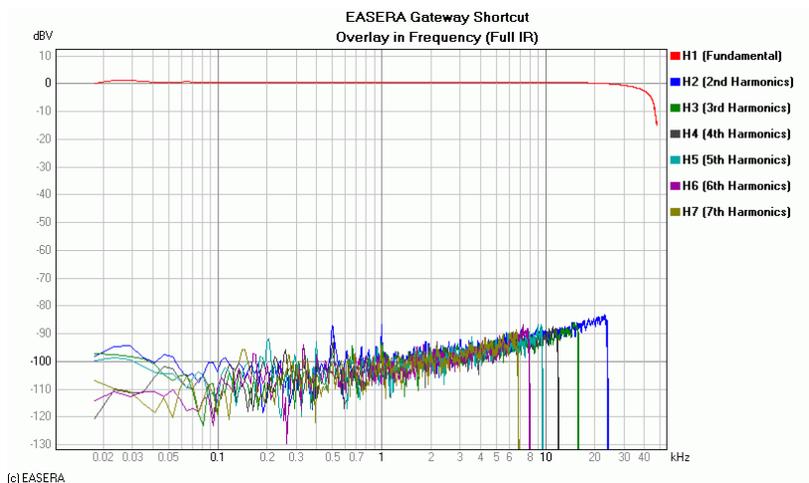
Der nächste Blick gilt dem Phasengang.



Der erfahrene Anwender würde hier erkennen, dass die Abweichung von einem idealen Phasenverhalten zwei Ursachen hat: Bei den tiefen Frequenzen haben wir ein Hochpassverhalten, ohne die zweite Ursache wäre hier die Phase bei allen Frequenzen über 500 Hz gleich null. Die zweite Ursache ist eine

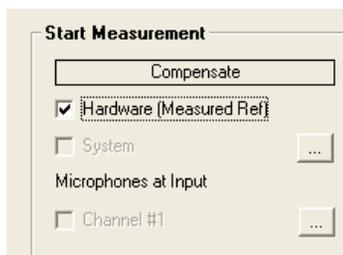
Laufzeitphase, da die Spitze des Impulses der Impulsantwort nicht auf dem ersten Zeitsample (Zeitpunkt 0) liegt, sondern auf dem zweiten Zeitsample (Zeitpunkt 10,4  $\mu$ s, 96 kHz Samplerate!).

Zuletzt noch einen Blick auf die Verzerrungsspektren: Als kleiner Anhaltswert: - 80 dB würde einem Klirrfaktor von 0,01% entsprechen.

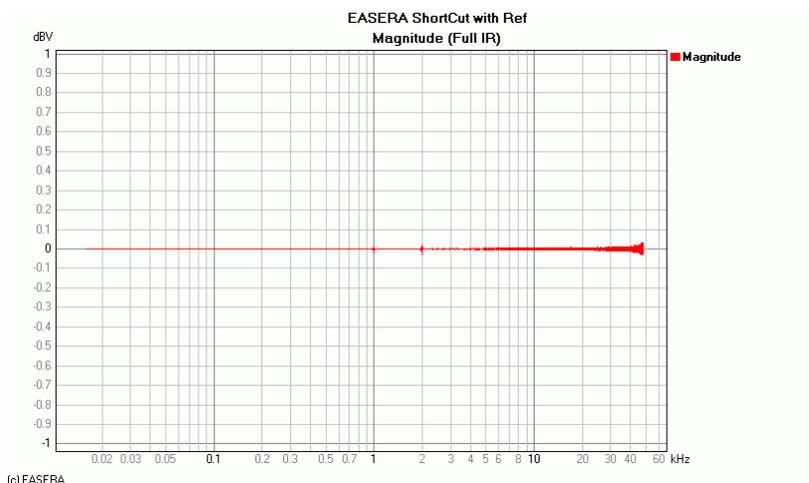


### Eine Hardware-Referenz verwenden

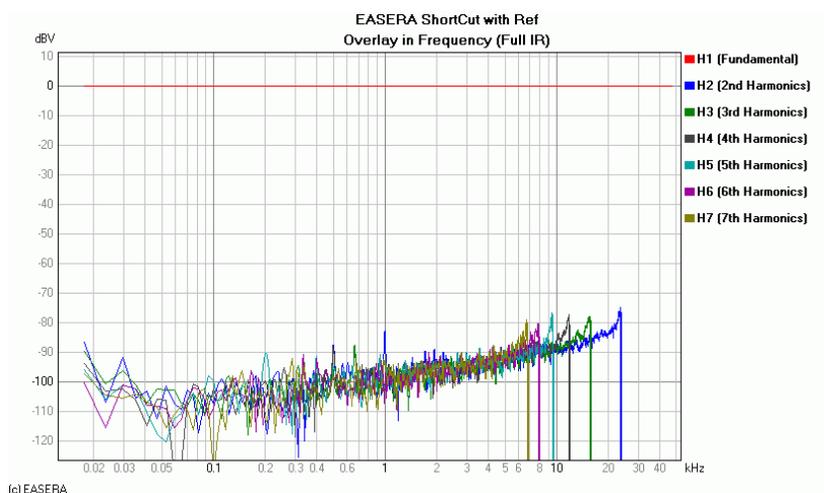
Wir lassen das Kabel, mit dem wir die Soundkarte kurzgeschlossen haben, an seinem Platz, um damit eine weitere Messung durchzuführen. Zuvor wird aber auf der Seite *Measure* im Abschnitt *Start Measurement* die Option *Hardware (Measured Ref)* aktiviert.



Wenn wir uns nun den Frequenzgang ansehen, dann sieht das alles sehr linear aus – was ja weiter kein Wunder ist, weil wir ja gerade auf exakt diese Hardware kompensiert haben. Das Phasenverhalten wäre ähnlich linear.



Schauen wir uns nun die Verzerrungen an:

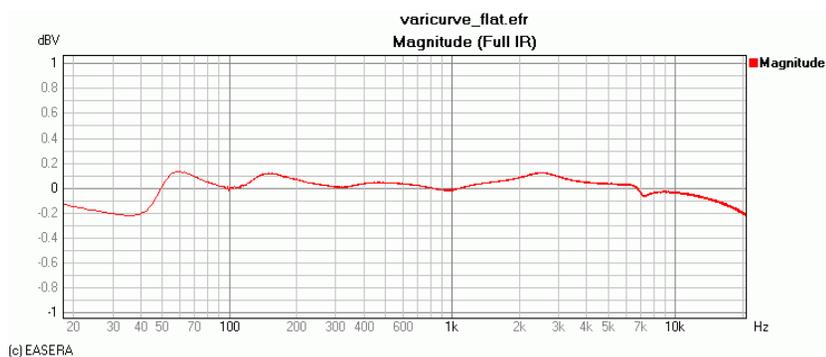


Wie zu erkennen ist, hat die Kompensation hier wenig Einfluss auf die Verzerrungen. Die zunehmenden Nichtlinearitäten bei höheren Frequenzen sind typisch und liegen hier in dem für uns relevanten Bereich durchgängig niedrig bei max.  $-80$  dB.

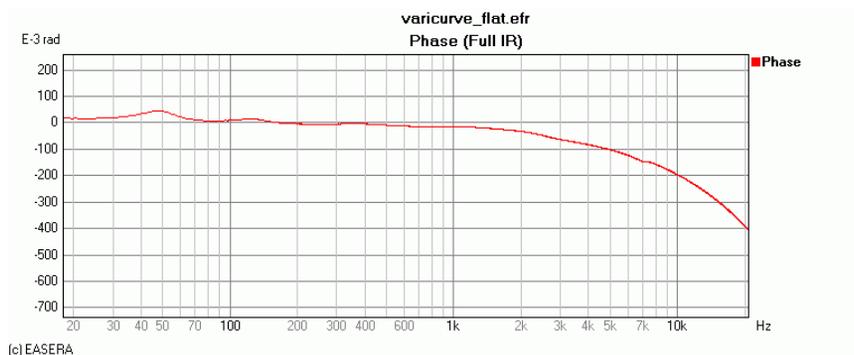
## Messung am Objekt

Der BSS Varicurve ist ein digital gesteuerter Analog-Stereo-Equalizer, von dem wir nun einen Kanal in den Signalweg schleifen wollen. Wir stellen ihn zunächst auf linear.

Danach führen wir eine weitere Messung durch und betrachten zunächst den Frequenzgang:



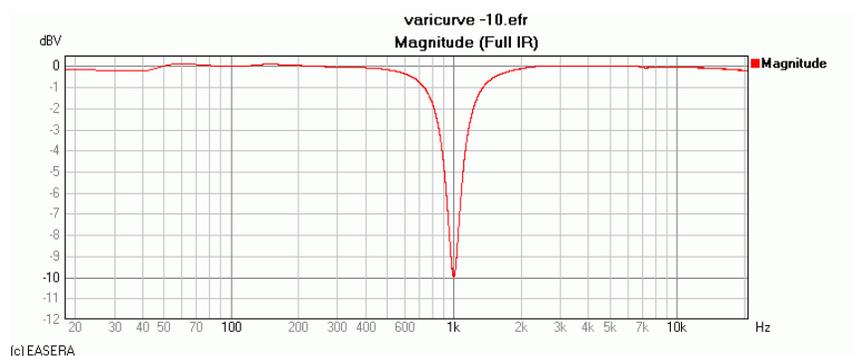
Wir sehen hier eine Welligkeit von  $\pm 0,2$  dB, das ist sehr brauchbar. Ebenso mustergültig ist der Phasengang:



Die Klirranteile für die Messungen mit Equalizer unterscheiden sich nicht von der Messung ohne EQ, so dass wir hier auf eine Diagrammdarstellung verzichten.

## 1 kHz voll abgesenkt

Die bisherigen Messungen wurden bei einer neutralen EQ-Einstellung durchgeführt. Nun setzen wir ein Filter von  $-10$  dB bei einer Frequenz von 1 kHz und einer Bandbreite von 0,5 Okt:

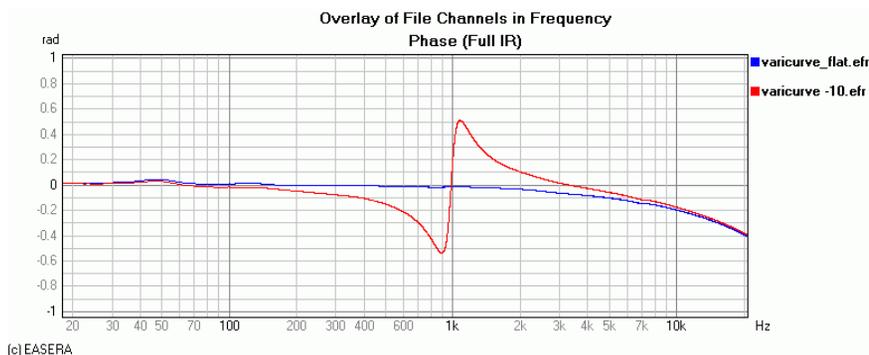


Nun wollen wir überprüfen, wie genau die Mittenfrequenz eingehalten wird. Dazu zoomen wir kräftig in die Spitze:

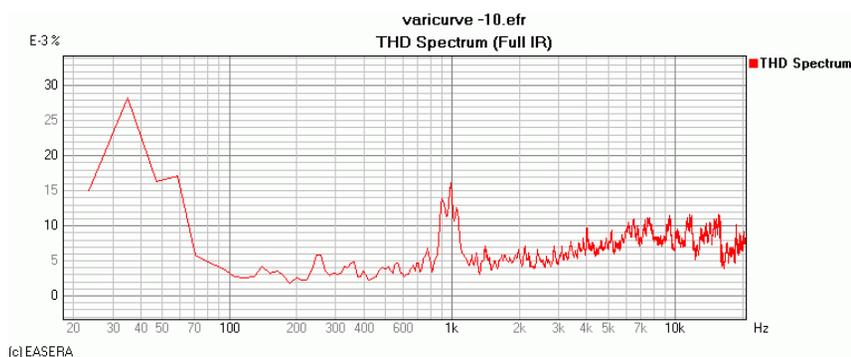


Für einen analogen (wenn auch digital gesteuerten) parametrischen Equalizer ist das hervorragend.

Der nächste Blick geht zum Phasengang, zum Vergleich als Overlay mit dem Phasengang der linearen Einstellung. Wir sehen, dass ein Equalizer – das ist kein Spezifikum dieses Modells – den Phasengang über weite Teile des Frequenzbereiches beeinflusst.



Nun schauen wir uns noch den Klirrfaktor an:

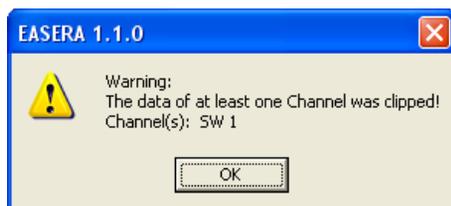


Zunächst vergegenwärtigen wir uns, dass die Skalenbeschriftung der Y-Achse durch tausend zu dividieren ist. Der maximale angezeigte Klirrfaktor liegt also bei etwa 0,028 %. Nun sind die unter 100 Hz gemessenen Werte ohnehin mit Vorsicht zu betrachten. Klirrfaktoren sind Vielfache der Grundfrequenz, bei einer Grundfrequenz von 1 kHz beispielsweise liegt H3 bei 3 kHz. Wenn nun der höchste Klirrfaktor bei 34,87 Hz liegen soll, dann wäre die Grundfrequenz für H2 schon unter 20 Hz. Da die Linearität von Soundkarten außerhalb des Audibereichs limitiert ist, lässt sich nicht mehr zuverlässig sagen, welcher Anteil eines solchen Wertes der Soundkarte und welcher dem Gerät zuzuordnen ist. Es kann durchaus vorkommen, dass der Klirrfaktor eines Kabels höher liegt.

Ein weiterer Anstieg des Klirrfaktors ist bei 1 kHz zu beobachten. Dieser liegt jedoch nicht daran, dass das Filter besonders verzerren würde, sondern dass der Klirrfaktor aus Verzerrungsprodukte geteilt durch Grundsignal gebildet wird. Wird nun das Grundsignal 10 dB abgesenkt, dann führen unveränderte Verzerrungsprodukte zu einem höheren Klirrfaktor.

## 1 kHz voll angehoben

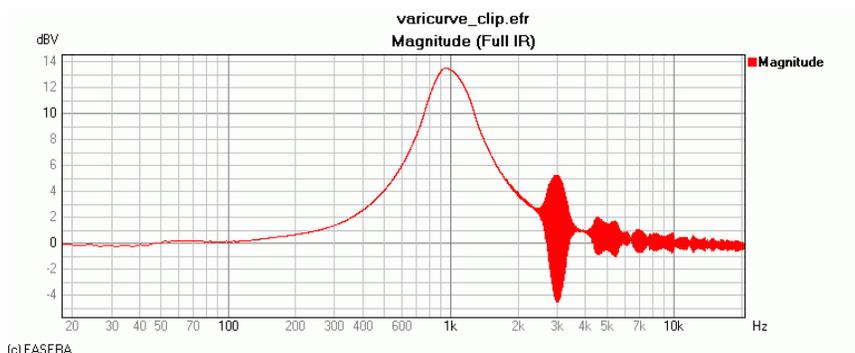
Für die nächste Messung heben wir nun 1 kHz voll an, das sind beim Varicurve +15 dB. Hier warnt uns EASERA, dass wir in die Übersteuerung des Eingangs geraten sind:



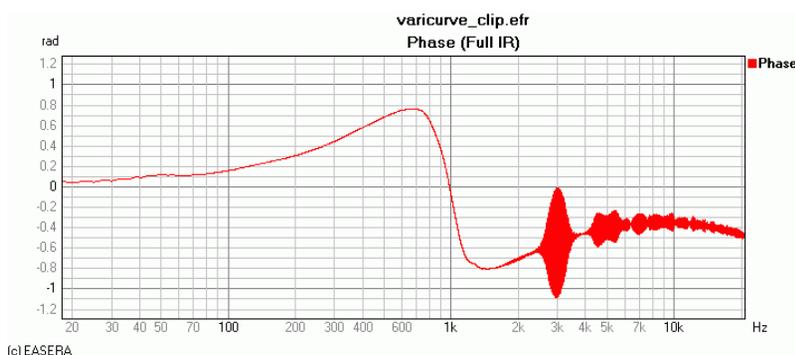
Was wir nun gemessen haben, ist weniger das Verhalten des Equalizers, sondern mehr das Verhalten eines übersteuerten und somit nicht mehr linear arbeitenden AD-Wandlers. Wir wollen uns das trotzdem

genauer ansehen. Wird nämlich nicht der AD-Wandler, sondern ein anderes Teil in der Übertragungskette übersteuert, dann sehen die Diagramme ähnlich aus, aber EASERA kann keine Warnung anbringen, da ja nicht der AD-Wandler übersteuert wird.

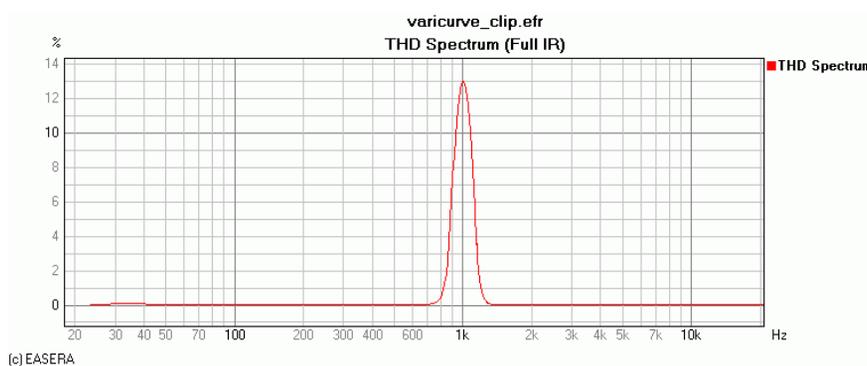
In einem solchen Fall muss der Anwender anhand des Aussehens der Diagramme erkennen, dass eine Übersteuerung vorliegt und EASERA keine verwendbare Übertragungsfunktion ermitteln kann, weil das Messobjekt außerhalb des linearen Bereichs arbeitet.



Auch der Phasengang zeigt die charakteristischen Muster:



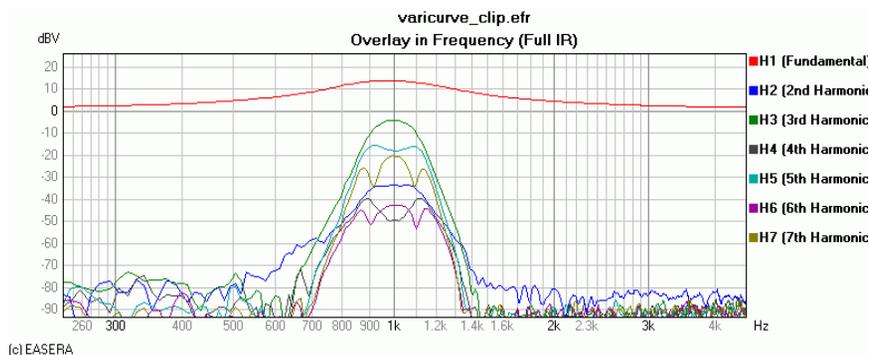
Und der Klirrfaktor steigt bei 1 kHz massiv an:



Es mag zunächst verwundern, dass der Klirrfaktor gerade bei 1 kHz so hoch ist und nicht bei den Frequenzen, an denen die Artefakte im Frequenz- und Phasengang zu erkennen sind. Vergewährtigen wir uns noch mal die Zusammenhänge: Wenn das Signal bei einer Frequenz in die Übersteuerung gerät, dann bilden sich Oberwellen, insbesondere die ungeradzahligen. Eine Übersteuerung bei 1 kHz erzeugt also Oberwellen bei 3 kHz (H3), bei 5 kHz (H5), bei 7 kHz (H7) und so weiter. (In dem Maße, in dem das Signal unsymmetrisch verzerrt – weil beispielsweise die positive Versorgungsspannung einer Schaltung größer ist als die negative – entstehen auch geradzahlige Oberwellen, also H2, H4, H6...)

Wir haben hier eine schmalbandige Anhebung bei 1 kHz. Diese verursacht die Oberwellen, also steigt hier – und nur hier – der Klirrfaktor massiv an. Die Oberwellen jedoch, die wir in Frequenz- und Phasengang erkennen können, liegen jedoch nicht bei 1 kHz, sondern bei den ungeradzahigen Vielfachen davon, also bei 3 kHz, bei 5 kHz und so weiter.

In den Spektren würde das wie folgt aussehen:



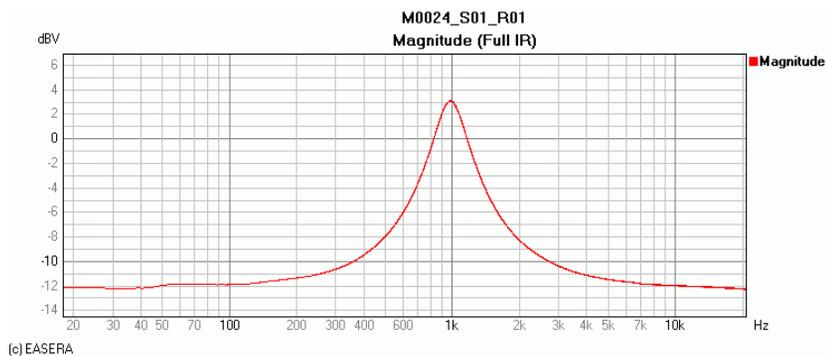
Wie schön zu erkennen ist, sind die ungeradzahigen Verzerrungen deutlich kräftiger als die geradzahigen. Deshalb ist auch bei 2 kHz im Frequenzgang nichts zu finden.

Was lernen wir daraus: Wenn es „ulkige“ Muster im Frequenz- und Phasengang gibt, dann ist vermutlich eine Übersteuerung die Ursache.

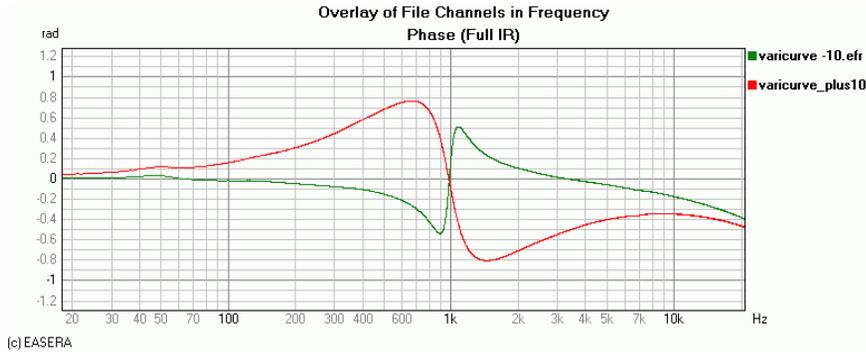
### Gain bei -12 dB

Erfreulicherweise haben die meisten Equalizer einen Gain-Regler, mit dem man solche Übersteuerungen vermeiden kann. Der Regelungsbereich geht beim Varicurve nur bis -12 dB, das reicht hier jedoch aus, um eine Übersteuerung zu vermeiden.

Im Frequenzgang ist zu erkennen, dass bei den nicht durch das Filter beeinflussten Frequenzen der Pegel bei -12 dBV liegt. Dort, wo um 15 dB angehoben wurde, liegt er bei +3 dBV.

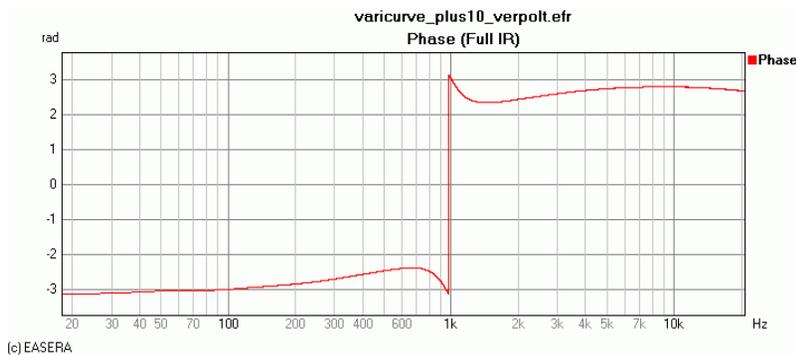


Schauen wir uns den Phasengang gleich im Vergleich zur 10 dB-Absenkung an:



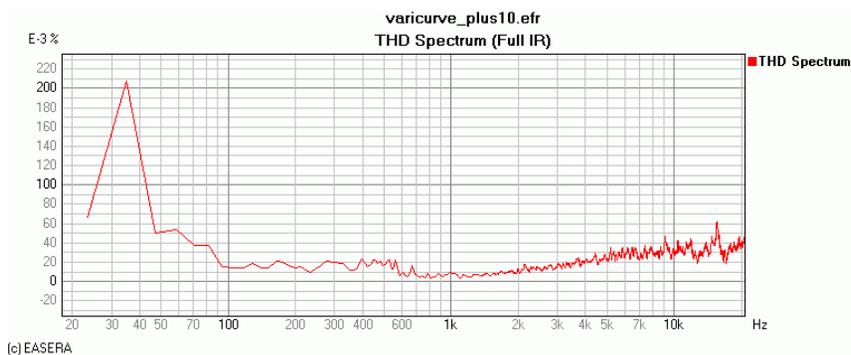
Aus dem qualitativen Verlauf des Phasengangs kann man also erkennen, ob eine Anhebung oder eine Absenkung vorliegt: Bei einer Anhebung schneidet der Phasengang bei der Mittenfrequenz die Nulllinie von oben nach unten, bei einer Absenkung von unten nach oben.

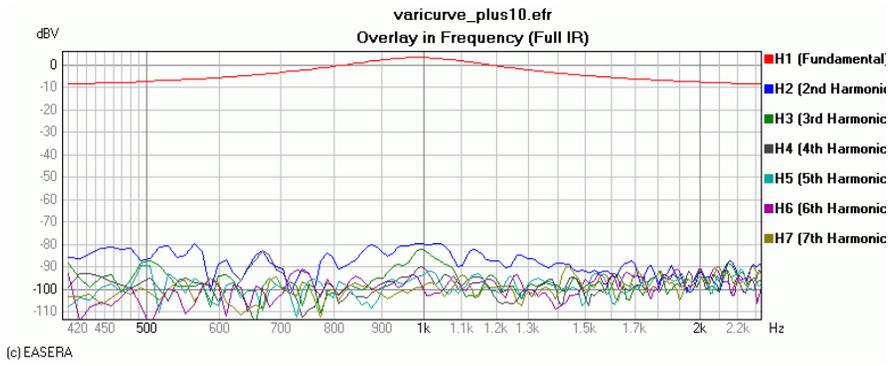
Diese Charakteristik wird auch beibehalten, wenn eine Phasendrehung vorliegt, nur dass dann nicht mehr die Nulllinie, sondern die 180°-Linie (also 3,14 rad) maßgebend ist.



Wenn wir den Phasengang bei Anhebung und Absenkung nochmals vergleichen, dann stellen wir auch fest, dass die Anhebung den Phasengang stärker beeinflusst. Das liegt aber lediglich daran, dass wir um 15 dB angehoben, aber nur um 10 dB abgesenkt haben. Daraus folgern wir: Je stärker die Anhebung oder Absenkung eines Filters, desto stärker beeinflusst es den Phasengang.

Zuletzt noch ein Blick auf die Klirrfaktoren: Eine Anhebung um 15 dB vermindert naturgemäß nicht die harmonischen Anteile. Wie ein Blick in das Spektrum zeigt, steigt beispielsweise H3 um etwa 10 dB. Allerdings steigt die Grundwelle um 15 dB (um so viel haben wir ja angehoben), so dass das Verhältnis von Verzerrungen zu Grundwelle günstiger wird und der Klirrfaktor sogar leicht sinkt.





# Lektion 16: System- kalibrierung

## Allgemeine Vorbemerkungen

In der Raumakustik ist die Mehrzahl der Messungen unabhängig von der absoluten Höhe des Pegels – die Nachhallzeit beispielsweise ändert sich nicht, wenn das Signal von 80 dB statt von 110 dB abfällt. Dementsprechend ist hier die Kalibrierung des Systems auch von untergeordneter Bedeutung und man kann sofort ohne Kalibrierung in EASERA Messungen durchführen.

Falls man spezielle Messungen etwa für die Berechnung des STI mit Verdeckung machen möchte oder z.B. einen Lautsprecher vermessen will, so sind die absoluten Pegel wichtig und man kommt um eine Kalibrierung des Ein- und Ausgangs nicht herum. Eine vollständige Kalibrierung kann einige Minuten in Anspruch nehmen. Sie muss jedoch für eine bestimmte Hardware-Konfiguration jeweils nur einmal durchgeführt werden.

### Was ist eine Kalibrierung?

EASERA bekommt seine Daten von der Soundkarte als digitale Werte (beispielsweise von  $-32768$  bis  $32767$ ). Ohne Kalibrierung wäre unklar, welcher digitale Wert welcher Spannung oder welchem Schalldruck am Eingang entspricht. Das Gleiche gilt für den Ausgang.

Bei der Kalibrierung eines Eingangs wird ein konstantes Signal an den Eingang angelegt, dessen Größe bekannt ist oder durch den Nutzer gemessen wurde und EASERA mitgeteilt wird. EASERA ermittelt den digitalen Wert dieses Signals und ordnet ihm die tatsächliche physikalische Größe zu. Die physikalische Größe aller anderen digitalen Werte können davon abgeleitet werden. (Für Interessierte: EASERA speichert die Spannungsgröße für *full scale*, also die digitale Vollaussteuerung.)

Bei der Kalibrierung des Ausgangs gibt EASERA ein konstantes Signal aus, dessen Spannung gemessen und in EASERA angezeigt wird.

EASERA kann sich zur Hälfte selbst kalibrieren, indem man Eingang und Ausgang verbindet. Ist bereits der Eingang kalibriert, kann damit der Ausgang kalibriert werden, ist bereits der Ausgang kalibriert, dann kann damit der Eingang kalibriert werden. Solche Selbstkalibrierungen werden ohne Rundungs- und Ableseungenauigkeiten externer Messgeräte vorgenommen und sind deshalb besonders präzise.

Bei der Kalibrierung eines Mikrofons wird dieses einem definierten Schallpegel ausgesetzt (es gibt entsprechende Geräte, die Schallpegelkalibratoren oder auch Pistonfons heißen). Dessen Schallpegel wird EASERA mitgeteilt, so dass es das Eingangssignal einem Schallpegel zuordnen kann und alle anderen Werte werden davon abgeleitet.

### Kalibrierung im View & Calc

Manche Anwender können davon irritiert sein, dass im View & Calc-Modul andere Werte angezeigt werden als im Live-Modul. Während im Live-Modul die tatsächlich anliegenden Eingangsgrößen (Volt oder Pascal, beziehungsweise ein entsprechender Pegel in dB SPL) dargestellt werden, sehen wir im View&Calc-Modul eine sogenannte Übertragungsfunktion, die auf eine Ausgangsspannung von 1 V normiert ist.

Es wird also das dargestellt, was vorliegen würde, läge – unter der Annahme linearen Systemverhaltens - eine Ausgangsspannung von 1 V vor. Liegt eine Ausgangsspannung von 1 V vor, besteht somit zum Live-Modul kein Unterschied. Wäre die Ausgangsspannung jedoch nur 0,1 V, wären alle Pegel 20 dB höher. (Wir bemerken am Rand, dass sich die Normierung auf 1 V Peak bezieht und somit nicht vom Signal abhängt.)

## Kalibrierung der Mixer

Einige Soundkarten verwenden sogenannte Windows-Mixer, über Schieberegler lässt sich dann die Empfindlichkeit der Soundkarte ändern. Eine Veränderung dieser Mixer-Einstellung für den Eingang oder Ausgang führt dazu, dass die zugehörige Kalibrierung ungültig wird. (Dasselbe gilt für die Veränderung externer Verstärkereinstellungen.)

Es besteht jedoch die Möglichkeit in EASERA, auch die Windows-Mixer zu kalibrieren. Dabei wird ermittelt, welche Reglerstellung welcher Verstärkung entspricht. Veränderungen der Mixer-Einstellungen können dann von EASERA nicht nur erkannt, sondern auch in ihrer Größe ermittelt und somit aus dem Ergebnis herausgerechnet werden. Mit kalibriertem Windows-Mixer bleibt die Kalibrierung erhalten, auch wenn die Einstellungen dieser Mixer verändert werden.

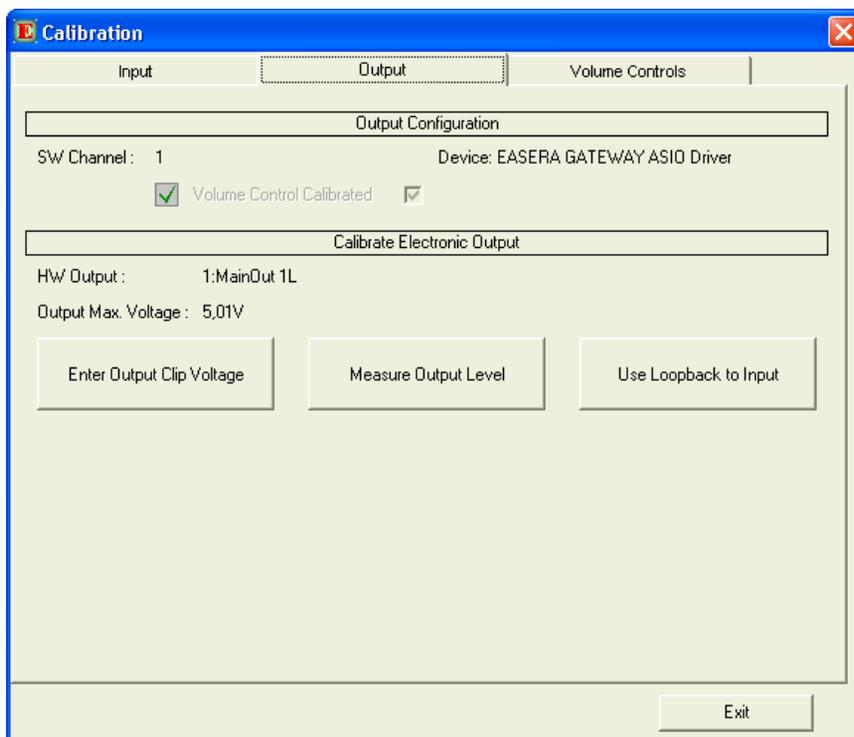
## Vollständige Systemkalibrierung

EASERA kann sich teilweise selbst kalibrieren: Sobald ein Ausgang kalibriert ist, kann mit Hilfe eines Loopbacks – einer Verbindung von Ausgang und Eingang – eine Kalibrierung des Eingangs vorgenommen werden. Umgekehrt kann man auch mit einem kalibrierten Eingang den Ausgang kalibrieren.

Üblicherweise steht eher ein Voltmeter zur Verfügung als ein Signalgenerator mit definiertem Ausgangssignal. Somit wird man zunächst einen Ausgang kalibrieren. Auch wir wollen hier so vorgehen.

## Kalibrierung des Ausgangs

Für die Kalibrierung wechseln wir nach *Measure* und dort nach *Select Measurement Setup*. Mit einem Mausklick auf einen der beiden Buttons *Calibrate* rufen wir das Kalibrierungsfenster auf:



Hier interessiert uns nun der Registerreiter *Output*. Prinzipiell haben wir drei Möglichkeiten, den Ausgang zu kalibrieren:

- Mit *Enter Output Clip Voltage* wird die maximale Ausgangsspannung eingegeben, sofern sie bekannt ist. Diese Spannung wird bisweilen vom Hersteller in der Dokumentation angegeben. Sofern die Soundkarte Regler besitzt, bezieht sich die Angabe üblicherweise auf maximal aufgezogenen Regler.
- Mit *Measure Output Level* wird die Ausgangsspannung gemessen und dann eingegeben.
- Ist ein Eingang bereits kalibriert, kann mit *Use Loopback to Input* darüber der Ausgang kalibriert werden.

Wir wollen hier die Ausgangsspannung messen und klicken somit auf *Measure Output Level*:

Mit einem Mausklick auf *Start* geben Sie das Signal (einen Sinuston) aus, mit einem weiteren Mausklick auf den Button beenden Sie die Ausgabe wieder. Die zwischenzeitlich gemessene Spannung geben Sie unter *Enter Voltage (RMS) measured at Output* ein. Beachten Sie bitte, dass EASERA einen Effektivwert erwartet. Anschließend klicken Sie auf *Apply*, um den eingegebenen Wert zu übernehmen. EASERA informiert Sie dann mit einer Meldung, welche Clip-Spannung damit berechnet wurde.

## Kalibrierung des Eingangs

Nun wollen wir den Eingang kalibrieren. Dazu stellen wir sicher, dass die Phantomspeisung (wenn vorhanden) ausgeschaltet ist und verbinden dann den Ausgang mit dem Eingang. Anschließend wechseln wir auf die Registerseite *Input*.

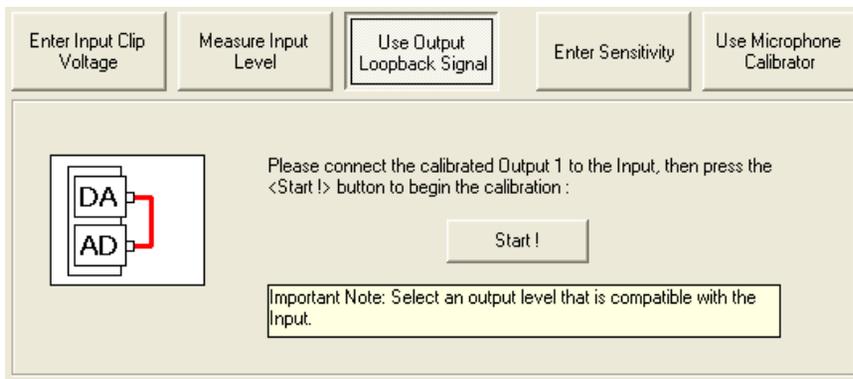
Der Eingang kann einerseits elektrisch kalibriert werden, andererseits kann das verwendete Mikrofon akustisch kalibriert werden.

### **Elektrische Kalibrierung**

Wir beginnen mit der elektrischen Kalibrierung. Auch dafür haben wir prinzipiell wieder drei Möglichkeiten:

- Aus den Herstellerangaben kann die Clip-Spannung des Eingangs entnommen werden, diese kann unter *Enter Input Clip Voltage* eingegeben werden.
- Wenn ein definiertes Eingangssignal zur Verfügung gestellt werden kann (und sei es, dass die Spannung eines Signalgenerators gemessen wird und dadurch dann bekannt ist), dann lässt sich das System unter *Measure Input Level* kalibrieren.
- Sofern bereits ein Ausgang kalibriert ist, kann man *Use Output Loopback Signal* verwenden.

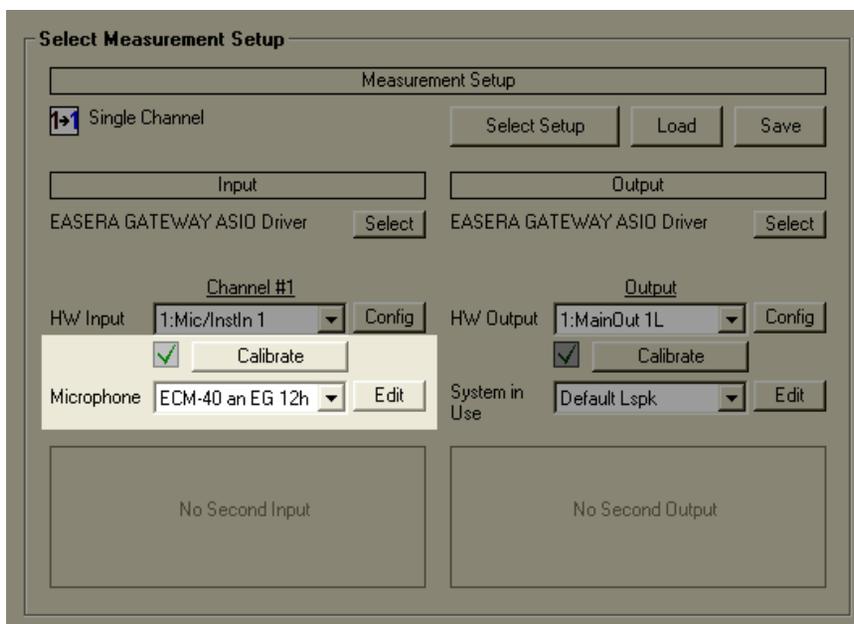
Wir haben eben den Ausgang kalibriert und verwenden nun die Loopback-Methode:



Dazu muss - nachdem der Eingang mit dem Ausgang verbunden wurde - lediglich noch auf den Button *Start* geklickt werden, anschließend warten Sie ein paar Sekunden (bis die Sanduhr wieder verschwindet) und dann ist auch der Eingang elektrisch kalibriert.

### Akustische Kalibrierung

Üblicherweise arbeitet man mit verschiedenen Messmikrofonen, diesen können dann eigene Kalibrierungen zugeordnet werden. Wir wollen nun ein neues Mikrofon anlegen und schließen dazu zunächst den Kalibrierungsdialog. Unter *Select Measurement Setup* gibt es den Bereich *Microphone*, dort klicken wir auf den Button *Edit*.

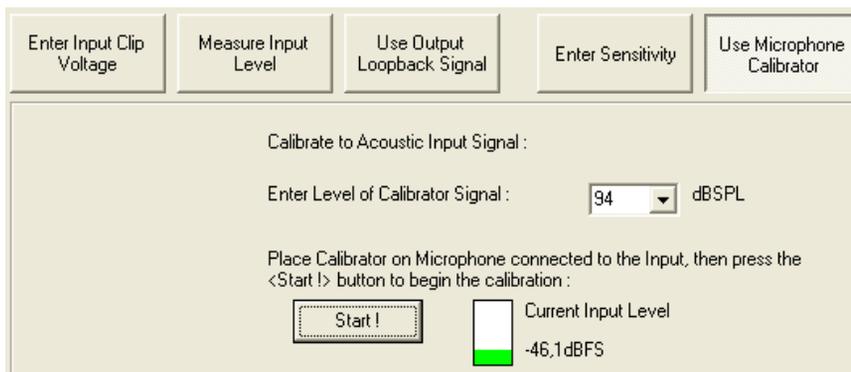


Wir klicken zunächst auf den Button *New* und legen damit ein neues Mikrofon an, dessen *Name* wir dann eingeben. *Manufacturer* und *Directionality Characteristics* sind optionale Angaben. Die Eingaben bestätigen wir mit *Apply Changes* und schließen den Dialog mit *Ok*.

Anschließend rufen wir wieder den Kalibrierungsdialog auf. Zur Kalibrierung eines Mikrofons stehen uns prinzipiell zwei Möglichkeiten zur Verfügung:

- Wenn ein Schallpegelkalibrator zur Verfügung steht, dann wählt man *Use Microphone Calibrator*.
- Wenn dies nicht der Fall ist, dann gibt man die Herstellerangabe bezüglich der Empfindlichkeit unter *Enter Sensitivity* ein.

Wir wollen hier einen Kalibrator verwenden. Dazu verbinden wir das Messmikrofon mit dem Eingang (Phantomspannung ist jetzt in der Regel erforderlich) und klicken auf den entsprechenden Button:



Unter *Enter Level of Calibrator Signal* wird der Schallpegel des Kalibrators eingegeben, dieser Kalibrator wird dann mit dem Mikrofon verbunden und angeschaltet. Anschließend klickt man auf *Start*, wartet, bis das Signal stabil ist und klickt dann wieder auf *Stop*. EASERA informiert Sie dann über die Mikrofonempfindlichkeit und über die Clip-Spannung und fragt Sie, ob diese Werte übernommen werden sollen. Mit der Bejahung dieser Frage ist die Systemkalibrierung dann komplett.

Hier möchten wir auf den Umstand hinweisen, dass die Kalibrierung selbstverständlich bei den Eingangs- und Ausgangsverstärkungen durchzuführen sind, die dann für die nachfolgenden Messungen verwendet werden können. Wenn man aber einen Kalibrator mit hohem Ausgangspegel (z.B. 114 dB SPL) verwendet, kann man ein Klippen am Eingang oft nur verhindern, wenn man die Eingangsempfindlichkeit herunterregelt. Diese hohe Eingangsklippspannung ist aber dann für die nachfolgende Messung möglicherweise ungünstig.

Dieses Problem kann man über verschiedene Methoden umgehen. Hierzu muss die für die Messung nötige Erhöhung der Eingangsempfindlichkeit definiert werden. Beim EASERA Gateway kann man die feste Zusatzverstärkung von +12 dB einschalten. (Dann sollte diese Verstärkung bei dem betroffenen Eingangskanal mit +12 dB als *External*: eingetragen werden.) Falls man alternativ vorher einen Windows-Eingangs-Mixer kalibriert hat, so bleibt die Kalibrierung auch erhalten, wenn man hierüber die Verstärkung erhöht. Ist beides nicht möglich, so kann auch der Kalibrator nur für die Bestimmung der Mikrofonempfindlichkeit benutzt werden und die Klippspannungen bei den Messverstärkungen müssen dann über andere Methoden, z.B. über ein Voltmeter oder einen Signalgeber bestimmt werden. Sie können auch die Rückführung vom Ausgang auf den Eingang nutzen und die Pegel im *Live* Modul vergleichen bei Anlegen eines Sinussignals vor und nach der Reglereinstellung. Danach ist diese Differenz für den Eingangskanal als positiver Wert in das Textfeld für *External* einzutragen.

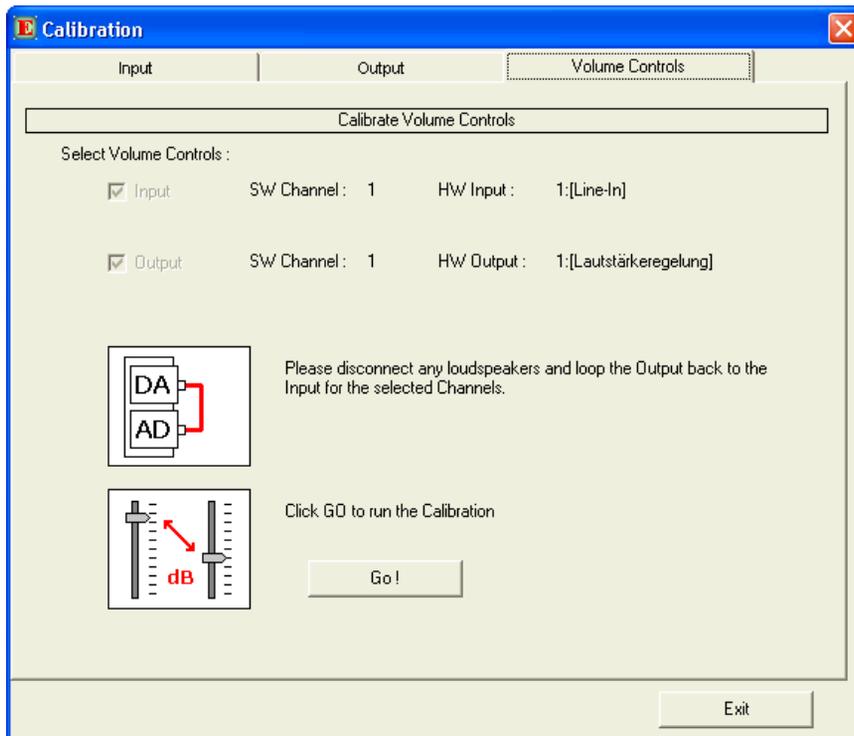
## Kalibrierung der Windows-Mixer

Das EASERA GATEWAY und das AUBION X.8 verfügen über einen, für die Messungen empfohlenen ASIO-Treiber, für die es keine internen Windows-Mixer gibt. Benutzt man aber aus anderen Gründen den Wave- oder Direct Sound Treiber, so steht einem der Lautstärkeregler für den Ausgang über den zugehörigen Windows-Mixer zur Verfügung. EASERA arbeitet aber natürlich auch mit allen anderen Windows-Soundkarten zusammen, die zumindest für die Direct Sound und Wave Treiber meistens Eingangs- und Ausgangs-Mixer haben, also Regler für die Empfindlichkeit der Ein- und Ausgänge.

Die einfache Kalibrierung des Systems, wie sie weiter oben durchgeführt wurde, kann von EASERA nur solange aufrechterhalten werden, bis von außen eine Eingangs- oder Ausgangsempfindlichkeit (Klippspannung) verändert wird. Diese Änderung kann z.B. durch die Regler am Gerät oder aber auch durch die Justierung der Mixer-Regler hervorgerufen werden.

Bei Änderungen der externen Regler oder Vorverstärker muss immer - falls bekannt - die zugehörige Verstärkung unter *External* eingetragen werden. Ist diese Verstärkung nicht hinreichend genau bekannt (z.B. bei stufenlosen Reglern), ist die zugehörige Klippspannung neu zu bestimmen.

Im Gegensatz dazu können die internen Windows Regler ebenfalls kalibriert werden. Danach kann eine Anpassung der Ausgangs- oder Eingangsempfindlichkeit an die Messbedingungen erfolgen, ohne dass der kalibrierte Zustand des Systems verloren geht.



Um die Kalibrierung durchzuführen, verbinden Sie den Ausgang mit dem Eingang, klicken auf den Button *Go* und fassen sich dann in Geduld. Die Kalibrierung der Mixereinstellungen kann mehrere Minuten dauern, die genaue Zeitdauer hängt davon ab, wie viele Positionen am Eingangs- und Ausgangsregler einstellbar sind und wie hochwertig die Soundkarte ist (Bei überdurchschnittlich starken Verzerrungen oder Rauschanteilen braucht EASERA länger).

## Kalibrierung auf den absoluten Mess-Pegel

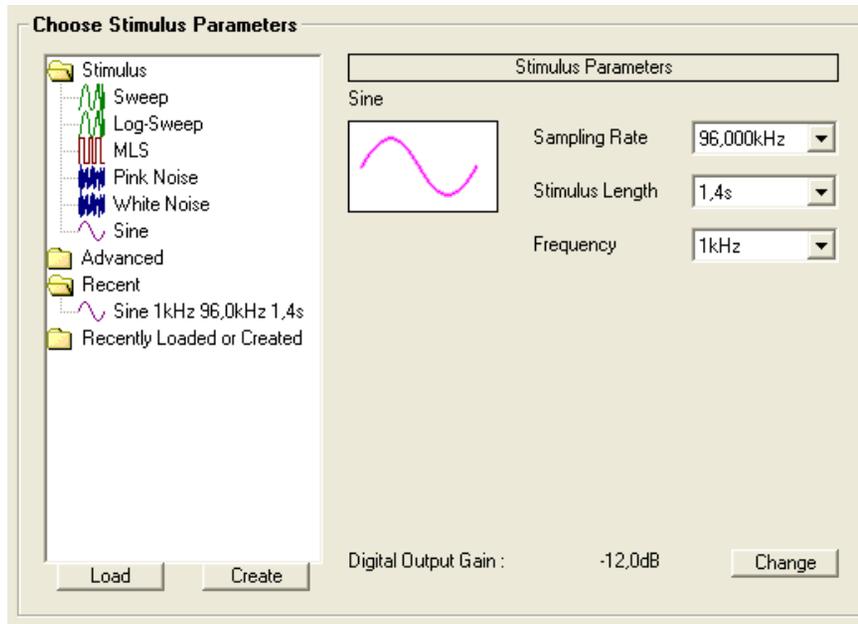
Ist die Messapparatur nun kalibriert, können die Übertragungseigenschaften des zu testenden Systems unabhängig von der Stärke des verwendeten Messsignals ermittelt werden. Dies wird dadurch möglich, dass EASERA jetzt unter Kenntnis der gesamten Messkette (vom Ausgang zum Eingang) die jeweilige Messung auf 1 Volt normieren kann.

Wurden die Ein- und Ausgänge elektrisch richtig kalibriert, dann kann man zur Kontrolle eine Kurzschlussmessung durchführen. Bei der Kalibrierungsfrequenz von 1 kHz sollte der Frequenzgang dann einen Wert von 1 V (bzw. 0 dBV) aufweisen.

Sind diese Voraussetzungen gegeben, so können wir nun eine Beziehung zwischen den Pegelanzeigen im *Live*-Bereich und den bereits normiert gemessenen Übertragungsfunktionen in *View & Calc* herstellen. Wir wollen dazu den Ausgang so justieren, dass wir unter *Live* mit einem Sinussignal für eine definierte Frequenz die Übertragungsfunktion exakt wiederholen können. Um diese Übereinstimmung zu erreichen,

muss die Ausgangsspannung 1 V (rms) betragen. Dies wollen wir nachfolgend so einstellen (wobei die Kalibrierung des Ausganges verloren geht).

Hierzu gehen wir zunächst auf die Registerseite *Measure* und dort auf *Choose Stimulus Parameters* und wählen einen Sinuston der zu überprüfenden Frequenz, z.B. 1 kHz. Der *Digital Output Gain* sollte bei etwa  $-12$  dB liegen.



Nun schaltet man mit *Play Test Signal* das Ausgangssignal an. Mit einem ausreichend genauen Messgerät messen wir nun die Signalspannung am Ausgang. Anschließend stellen wir den Ausgangsregler so ein, dass die angezeigte Spannung genau 1 V beträgt.

Da das EASERA-Gateway gerasterte Regler hat, wird sich die gewünschte Spannung meist nicht ganz exakt einstellen lassen. Die sich daraus ergebenden Abweichungen liegen jedoch meist in der Größenordnung der Ungenauigkeit des Messgeräts und können somit vernachlässigt werden.

Mit dieser speziell geregelten Ausgangsspannung stimmt der anliegende Pegel in *Live* mit dem Pegel der gemessenen Frequenzantworten in *View & Calc* überein.

## Gezielte Fehlkalibrierung

Es gibt Situationen, in denen eine auf 1V eingestellte Ausgangsspannung nicht praktikabel ist. Manche Notebooks sind beispielsweise nicht in der Lage, diese Spannung am Kopfhörerausgang ausreichend verzerrungsarm zur Verfügung zu stellen.

Sollen also die Übertragungsfunktionen in *View & Calc* auf eine andere Spannung als 1V normiert werden, dann kann man sich mit einer gezielten Fehlkalibrierung behelfen:

Von der Vorgehensweise ist dies eine Kalibrierung des Ausganges, so wie es bei *vollständiger Systemkalibrierung* beschrieben wurde. Man gibt dazu ein Signal von beispielsweise  $-14$ dB aus und behauptet dann – unabhängig von der Realität – es würde hier ein Signal von 1V vorliegen. Immer dann, wenn nun ein Signal von  $-14$ dB ausgegeben wird (das lässt sich unter *Choose Stimulus Parameters* einstellen), unterstellt EASERA einen Ausgangspegel von 1V und verneint einen Normierungsbedarf.

Alternativ kann das System auch vollständig korrekt kalibriert worden sein, wie eingangs beschrieben. Der Bezug der Übertragungsfunktionen in *View & Calc* auf eine andere Ausgangsspannung lässt sich

dann einfach durch Eingabe der entsprechenden Verstärkung in das Feld *External Gain* vor der Messung herstellen. (Dazu muss dieser Korrekturfaktor natürlich gemessen worden oder bekannt sein.)

# Bibliographie

- [1] THIELE, R. Die Richtungsverteilung und Zeitfolge der Schallrückwürfe in Räumen (Directional distribution and time sequence of sound reflections in rooms) *Acustica*, Vol. 1 (1956); p. 31
- [2] KÜRER, R.: Einfaches Messverfahren zur Bestimmung der „Schwerpunktzeit“ raumakustischer Impulsantworten (A simple measuring procedure for determining the "center time" of room acoustical impulse responses) 7th Intern. Congress on Acoustics, Budapest 1971
- [3] AHNERT, W.; SCHMIDT, W.: Akustik in Kulturbauten (Acoustics in cultural buildings) Institut für Kulturbauten, Berlin 1980
- [4] STEENEKEN, H.J.M., HOUTGAST, T. A physical Method for measuring Speech Transmission Quality *J. Acoust. Soc. Am.* Vol. 19 (1980),
- [5] HOUTGAST, T., STEENEKEN, H.J.M.: A review of the MTF concept in room acoustics and its use for estimating speech intelligibility in auditoria *J. Acoust. Soc. Amer.* 77 (1985), pp. 1060-1077
- [6] PEUTZ, V.M.A. Articulation Loss of Consonants as a Criterion for Speech Transmission in a Room *J. Audio Eng. Soc.* Vol 19, pp. 915 - 919
- [7] PEUTZ, V.M.A. KLEIN, W. Articulation Loss of Consonants influenced by Noise, Reverberation and Echo *Acust. Soc. Netherlands*, Vol 28, pp. 11 – 18
- [8] DIETSCH, L. KRAAK, W.: Ein objektives Kriterium zur Erfassung von Echostörungen bei Musik- und Sprachdarbietungen (An objective criterion for capturing echo disturbances with music and speech performances) *Acustica* 60 (1986), p 205
- [9] ABDEL ALIM, O.: Abhängigkeit der Zeit- und Registerdurchsichtigkeit von raumakustischen Parametern bei Musikdarbietungen (Dependence of time and register definition of room acoustical parameters with music performances) Dissertation, TU Dresden 1973

- [10] de V. KEET, W.: The influence of early reflections on the Spatial Impression  
6. ICA-Kongreß, Tokyo 1968, E 2 - 4
- [11] LEHMANN, P.: Über die Ermittlung raumakustischer Kriterien und deren Zusammenhang mit subjektiven Beurteilungen der Hörsamkeit (On the ascertainment of room acoustical criteria and correlation of the same with subjective assessments of the acoustic overall impression)  
Dissertation TU Berlin, 1976
- [12] BLAUERT, J.: Räumliches Hören (Spatial hearing).  
The MIT Press, Cambridge, Massachusetts and London/England 1983
- [13] BLAUERT, J.: Nachschrift zu "Räumliches Hören"  
Neue Ergebnisse und Trends seit 1972  
Postscript to "Spatial hearing" New results and trends since 1972  
Bochum 1982
- [14] TENNHARDT, H.P. Modellmessverfahren für Balanceuntersuchungen am Beispiel der Projektierung des Großen Saales im Neuen Gewandhaus Leipzig (Model measuring procedures for balance investigations by the example of the great hall in the Neues Gewandhaus Leipzig)  
Acustica 50 (1984), 127
- [15] SCHMIDT, W.: Raumakustische Kriterien für Musik und Sprache (Room acoustical criteria for music and speech)  
Chapter 9.1 in Taschenbuch Akustik  
Verlag Technik Berlin 1984
- [16] BERANEK, L. L., SCHULTZ, T. J.: Some recent experiences in the design and testing of concert halls with suspended panel arrays  
Acustica 15 (1965), 307
- [17] DANILENKO, L.: Binaurales Hören im nichtstationären diffusen Schallfeld (Binaural hearing in the non-stationary diffuse sound field)  
Dissertation TH Aachen 1967
- [18] JORDAN, V. L.: Acoustical design of concert halls and theaters  
Applied Science Publishers Ltd. 1980

- [19] KÜRER, R.  
KURZE, A.: Integrationsverfahren zur Nachhallauswertung  
(Integration procedure for evaluating reverberation)  
Acustica 19 (1967/68), p. 313
- [20] BARRON, M.: Auditorium Acoustics and Architectural Design  
Verlag E & FN SPON London 1993
- [21] GADE, A.C.: Investigations of musicians' room-acoustic conditions  
in concert halls.  
Part I: Methods and laboratory experiments  
Acustica 69 (1989), p 193
- [22] GADE, A.C.: Investigations of musicians' room-acoustic conditions  
in concert halls.  
Part II: Field experiments and synthesis of results  
Acustica 69 (1989), S. 249
- [23] GADE, A.C.: Acoustical survey of eleven European concert halls  
The Acoustics Laboratory,  
Technical University of Denmark  
Report No. 44, 1989
- [24] HOFFMEIER, J.: Untersuchungen zum Einfluß von Raumklang-  
färbungen auf die Deutlichkeit von Sprache  
(Investigations on the influence of room timbres on  
speech definition)  
Technical University of Denmark  
Thesis for a degree at the TU Dresden, 1996
- [25] SCHROEDER, M.R.: New method of measuring reverberation time  
JASA 38 (1965), S. 329 and 40, S. 549
- [26] ISO 3382 „Measurement of the Reverberation Time of  
Rooms with Reference to other acoustical  
Parameters“, Annex B: „Binaural Auditorium  
Measures derived from Impulse Responses“
- [27] KUHL, W.: In der Raumakustik benutzte hörakustische Termini  
(Audio acoustical terms used in room-acoustics)  
Acustica 39 (1977), S. 57
- [28] KUHL, W.: Räumlichkeit als Komponente des Raumeindrucks  
(Spaciousness as a component of spatial  
impression) Acustica 40 (1978) pp. 167 ff.
- [29] BERANEK, L. L.: Music, Acoustics and Architecture  
John Wiley and Sons New York, London 1962

- [30] BERANEK, L. L.: Concert and Opera Halls -How they Sound-  
Acoustical Society of America 1996
- [31] GOTTLLOB, D.: Vergleich objektiver akustischer Parameter  
An Konzertsälen mit Ergebnissen subjektiver  
Untersuchungen (Comparison of objective acoustic  
parameters in concert halls with the results of  
subjective investigations)  
Dissertation A, Göttingen 1973
- [32] AHNERT, W.  
TENNHARDT, H.-P.: Acoustics for Auditoriums and Concert Halls, in  
Glen Ballou, Handbook for SOUND ENGINEERS,  
Focal Press Boston 2002
- [33] Bruel & Kjaer: RASTI-Sprachübertragungsmesser Typ 3361  
(RASTI speech transmission meter type 361)  
Specification Sheet Fa. Brüel & Kjær
- [34] KLEINER, M.: A New Way of Measuring Lateral Energy Fractions  
App. Acoust., Vol. 27, 321 ff (1989).
- [35] BARRON, M.  
MARSHALL: Spatial impression due to early lateral reflections in  
concert halls: The derivation of a physical measure  
Journal of Sound and Vibration 1981 77(2), 211-231
- [36] AHNERT, W.  
REICHARDT, W.: Grundlagen der Beschallungstechnik,  
S. Hirzel Verlag Stuttgart 1981
- [37] KUTTRUFF, H.: Room Acoustics, E&FN SPON, London, 2000
- [38] MEYER: J.: Akustik und musikalische Aufführungspraxis.  
Verlag Erwin Bochinsky Frankfurt am Main, 1999.
- [39] AHNERT, W.,  
STEFFEN, F.: Sound Reinforcement Engineering, Fundamentals  
and Practice, E&FN SPON, London, 2000