



Xpert Sessions



Auf dem Prüfstand: Lautsprecher am Limit

Grundlagen, Messwerte, Interpretation

Anselm Goertz // IFAA Testlab Herzogenrath und Ebner Media Group

1. März 2023 15:30 Area 1

I. Akustische Messtechnik

II. Lautsprechertypen und Eigenschaften

III. Lineares Übertragungsverhalten

IV. Abstrahlverhalten

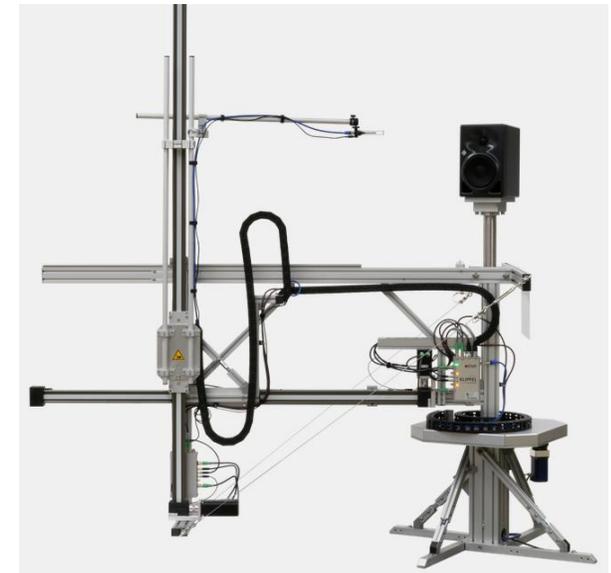
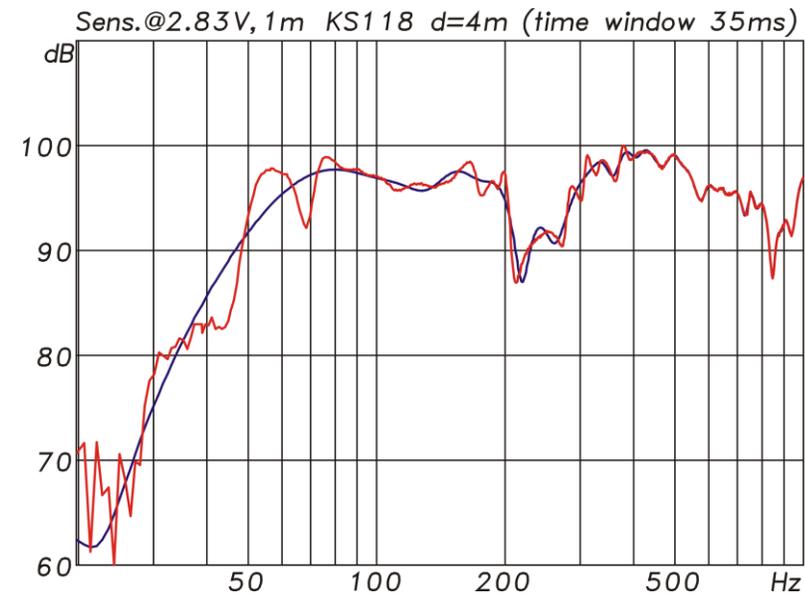
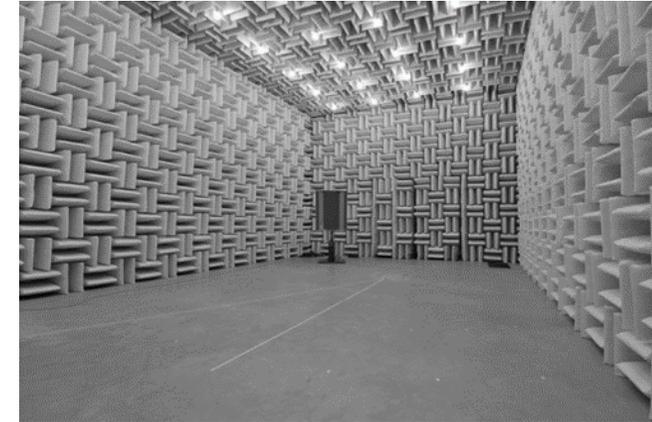
V. Verzerrungswerte und Maximalpegel

VI. Simulationsdaten

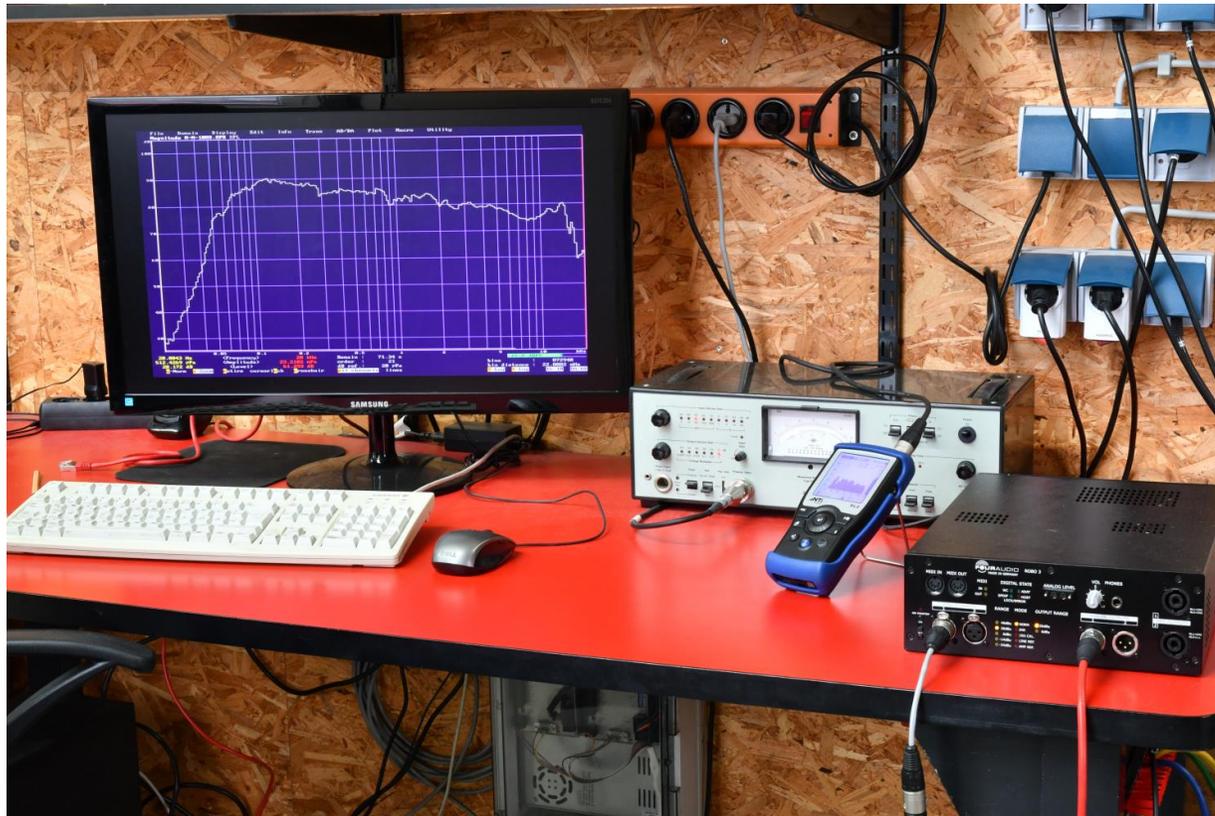
I. Akustische Messtechnik

- Umgebung
- Messgeräte und Software
- Mikrophone
- Messsignale

- Messungen im Freien
- Reflexionsarmer (Halb-)Raum
- Gefensterete Messungen
- Nahfeldmessungen
- Nahfeld Scanner



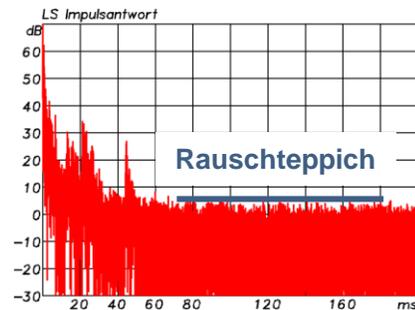
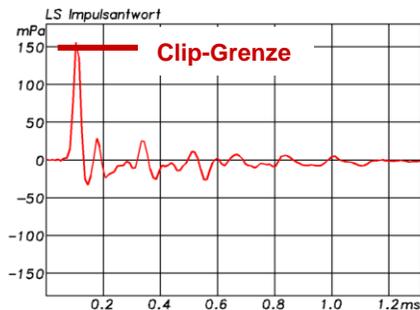
- Messmikrophone
- Kalibrator
- Messverstärker
- PC-Frontend
- Software



- Feststellung einer Übertragungsfunktion als:
 - Impulsantwort im Zeitbereich oder als
 - Frequenz- und Phasengang im Frequenzbereich



- Limitierungen:
 - Aussteuerungsgrenze des Prüflings (Clip-Grenze)
 - Störungen durch Umgebungsgeräusche, Rauschen,



- Messung mit Sweep-Signalen:
 - Bei gleicher Aussteuerung durch die lange Zeit ein höherer Energieeintrag
 - Geringer Crest-Faktor des Messsignals
 - Frequenzgewichtung über die Laufzeit
 - Unempfindlich gegenüber Zeitvarianzen
 - Auswertung von Verzerrungen
 - ...

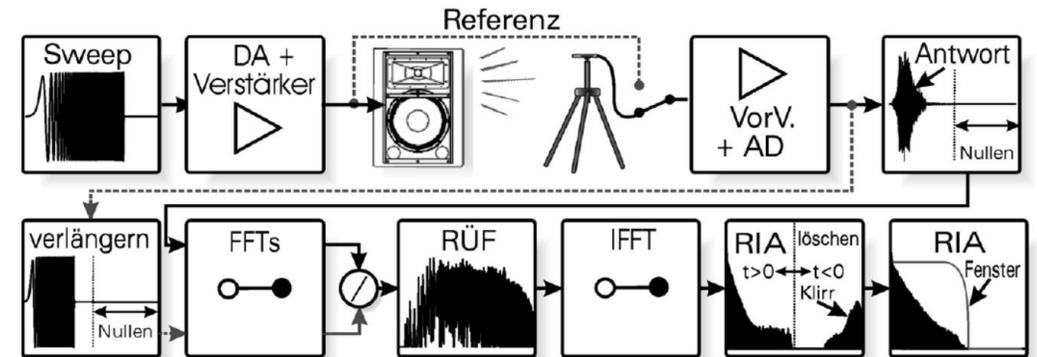


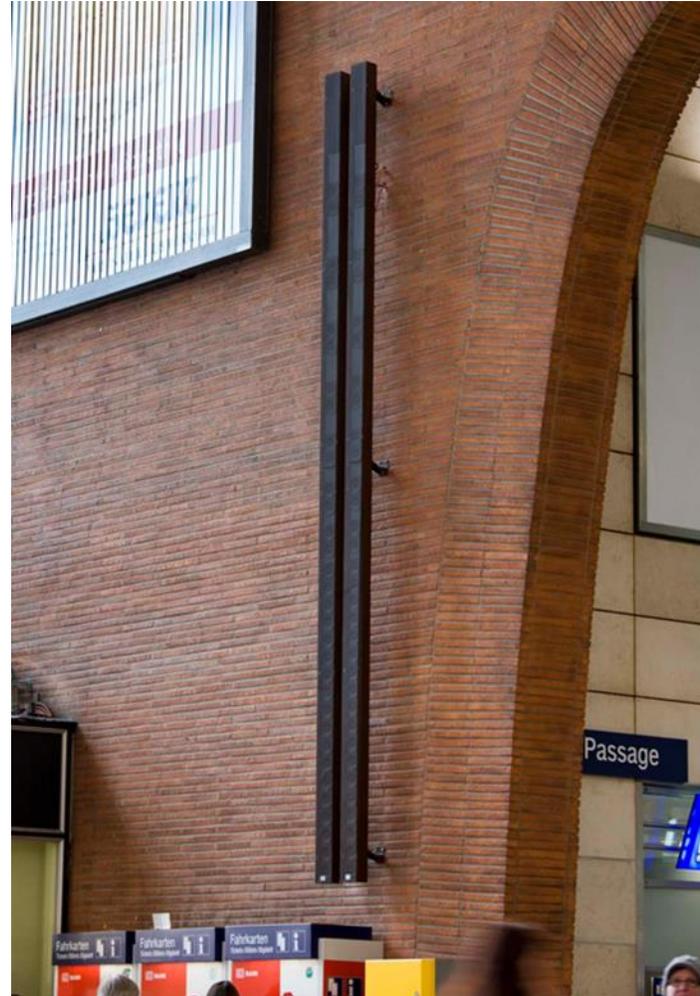
Abb. 21.18 Lineare Dekonvolution zur Messung einer Raumimpulsantwort (RIA) mit anschließender Entfernung aller harmonischen Verzerrungsprodukte

Transfer-Function Measurement with Sweeps
J.AES, 2001 June, p.443-471 Swen Müller, Paulo Massarani

- I. Akustische Messtechnik
- II. Lautsprechertypen und Eigenschaften**
- III. Lineares Übertragungsverhalten
- IV. Abstrahlverhalten
- V. Verzerrungswerte und Maximalpegel
- VI. Simulationsdaten

- II. Lautsprechertypen und Eigenschaften
 - Welcher Lautsprecher wofür?
 - ~~Gute und schlechte Lautsprecher~~
 - Auswahlkriterien

Welcher Lautsprecher ist der richtige?



■ Übertragungsbereich

- | | | |
|-------------------------------|--------------------|---|
| • Sprache einfach | 300 Hz bis 3,5 kHz | G.711 Codec (8 kHz SR, 8 Bit Quantisierung) |
| • Sprache gehoben Qualität | 300 Hz bis 7 kHz | G.722 Codec (16 kHz SR) |
| • Sprache hohe Qualität | 100 Hz bis 10 kHz | |
| • Musik einfach (Hintergrund) | 100 Hz bis 10 kHz | typischerweise MP3 Zuspielung |
| • Musik hohe Qualität | 40 Hz bis 16 kHz | 48 kHz 16 Bit |
| • Konzert, Kino, ... | 20 Hz bis 20 kHz | 96 kHz 24 Bit |
| • Studio, Highend, ... | 20 Hz bis 40 kHz | 96 kHz 24 Bit und mehr |

■ Richtverhalten

- Gezielte Beschallung der Hörerflächen !
- Möglichst wenig Schall ins restliche Umfeld, um den Nachhall eines Raumes nicht unnötig anzuregen.
- Immissionsschutz: Störungen im Umfeld. (Richtlinie Freizeitlärm, TA-Lärm, ...)

■ Maximalpegel

- Für Sprachalarm
- Für Konzertbeschallung

■ Periphere Eigenschaften

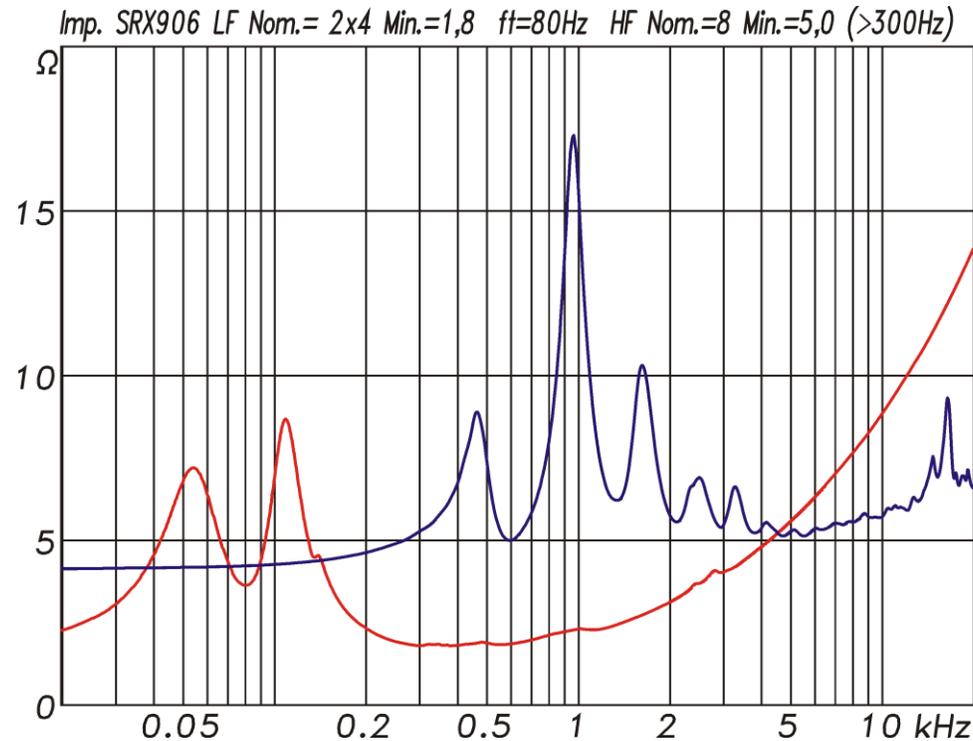
- Größe, Gewicht, Witterungsbeständigkeit, Zertifizierung (EN54-...), Ex-Schutz, Optik, Kosten, ...

- I. Akustische Messtechnik
- II. Lautsprechertypen und Eigenschaften
- III. Lineares Übertragungsverhalten**
- IV. Abstrahlverhalten
- V. Verzerrungswerte und Maximalpegel
- VI. Simulationsdaten

- III. Lineares Übertragungsverhalten**
 - Elektrische Impedanz
 - Frequenzgang
 - Phasengang
 - Spektrogramm

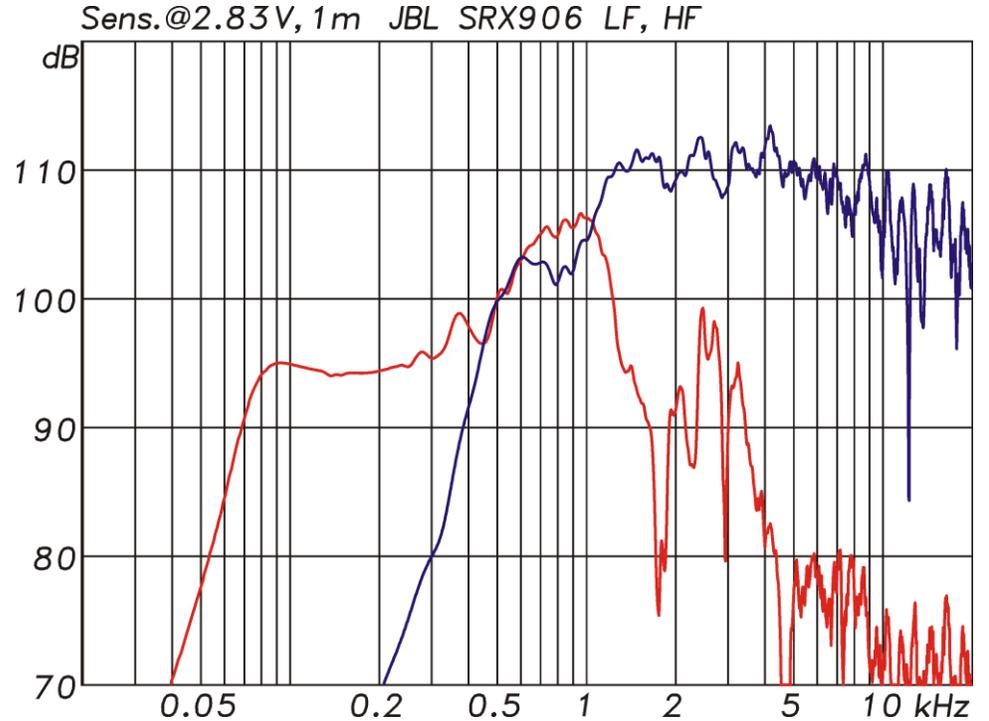
■ Impedanzkurven

- Amplitude und Phase
- Nomineller Wert, Minimum, Tuningfrequenz, ...
- Resonanzen, Fehlererkennung, ...



■ Sensitivity

- SPL-Werte bezogen auf 2,83V/1m oder auch 1W/1m

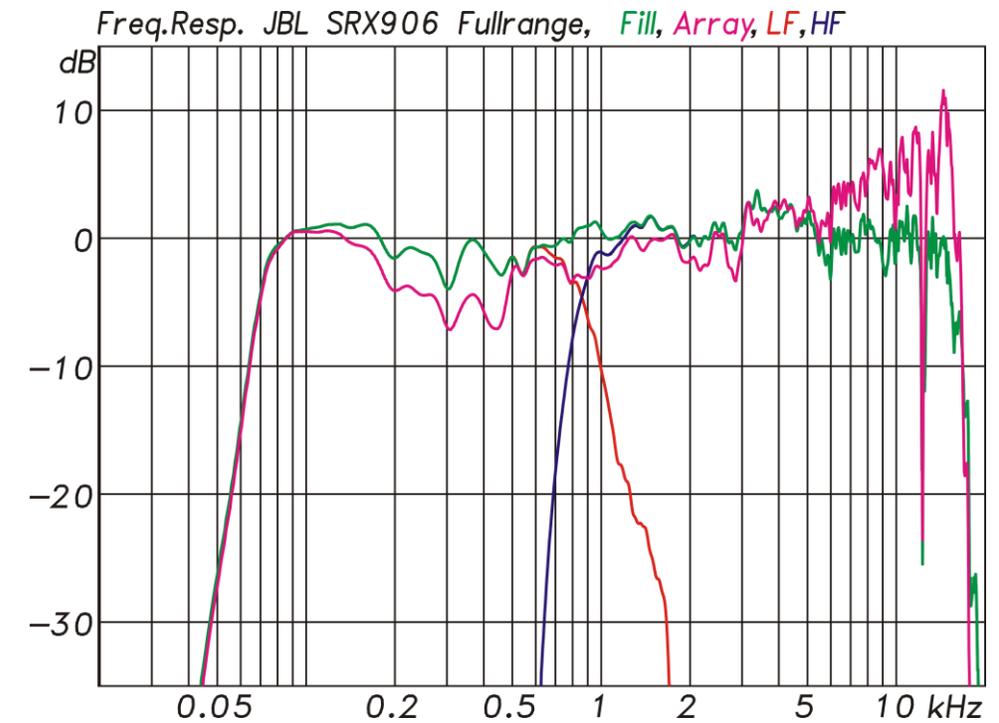
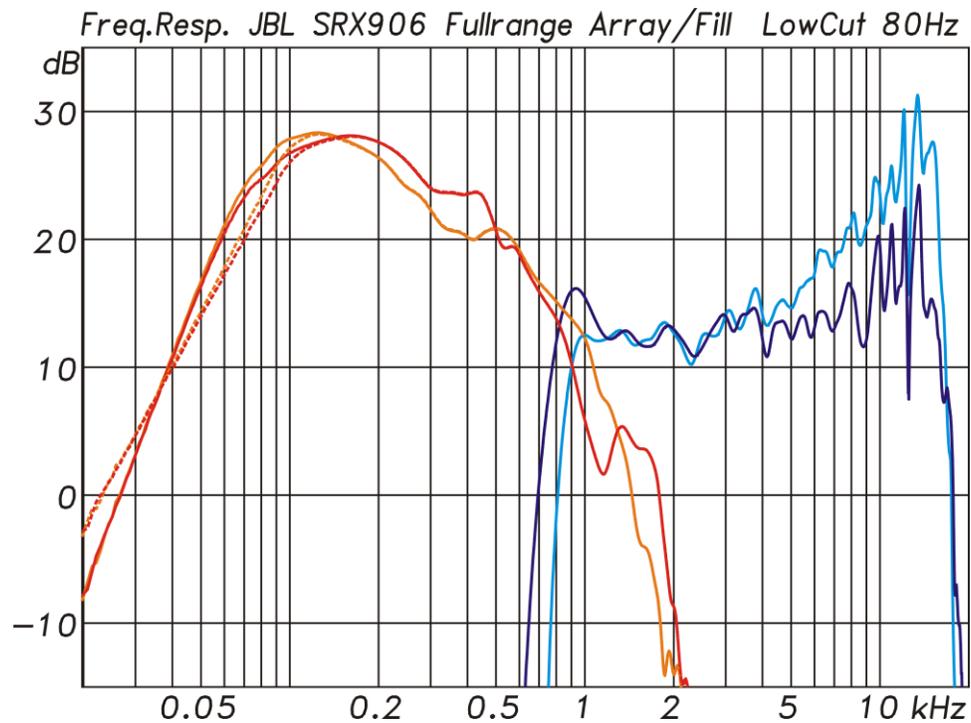


- Frequenzgang Filter

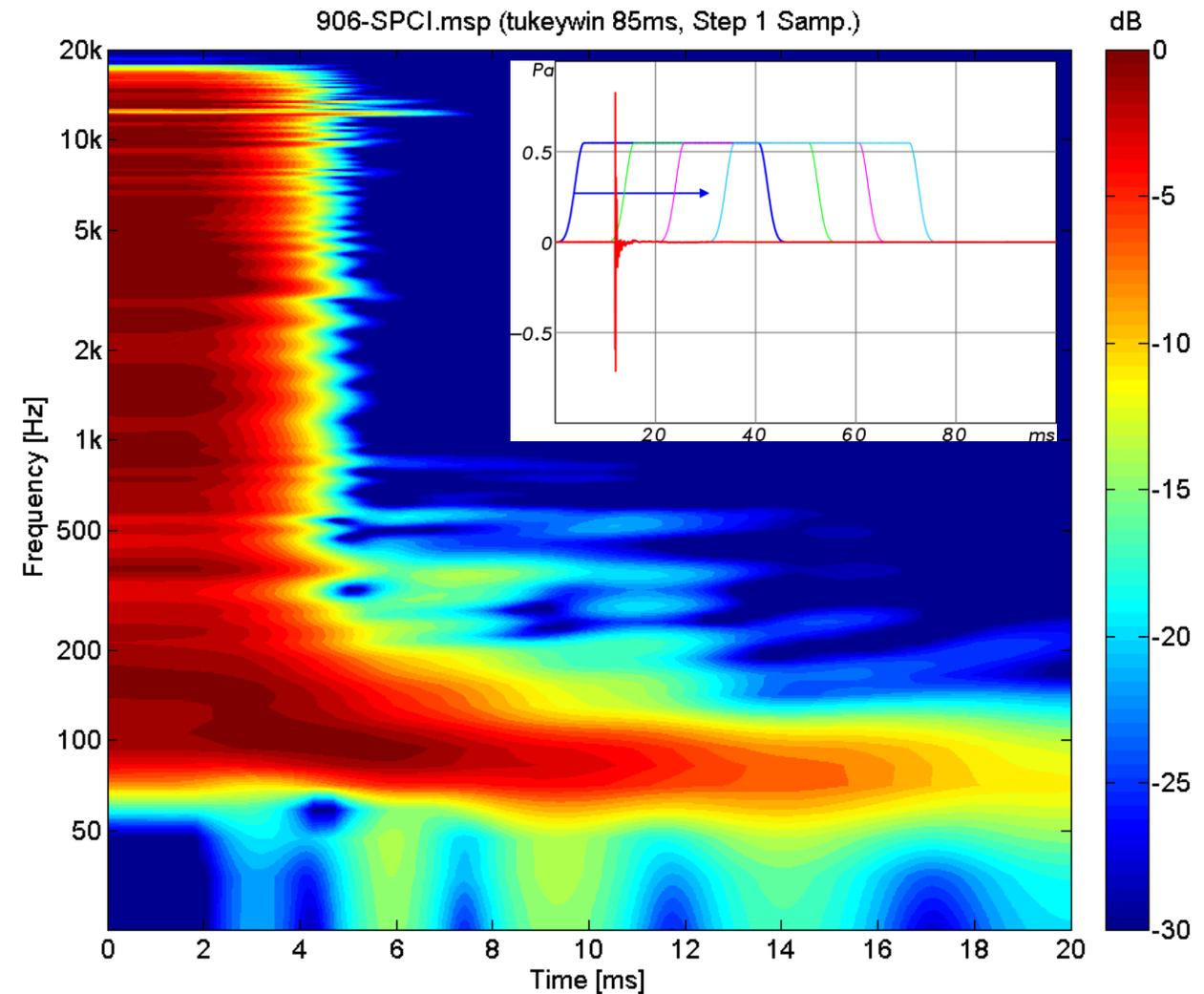
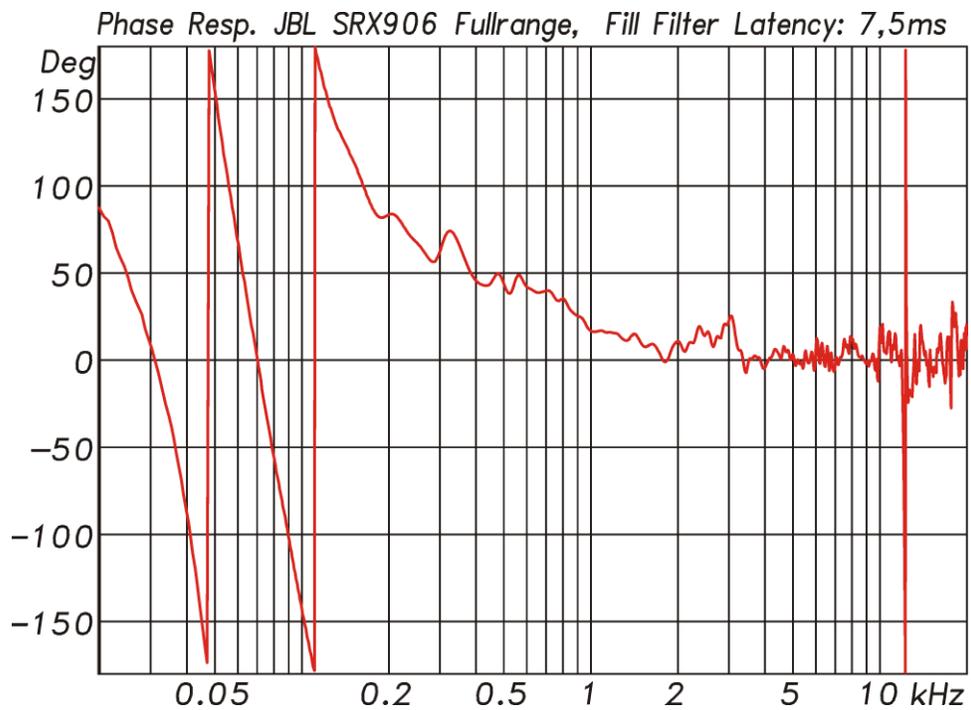
- IIR- und FIR-Filter
- Latenz beachten (hier 7,5 ms)

- Frequenzgang Gesamtsystem

- mit Filter
- ohne Bezug zur Sensitivity



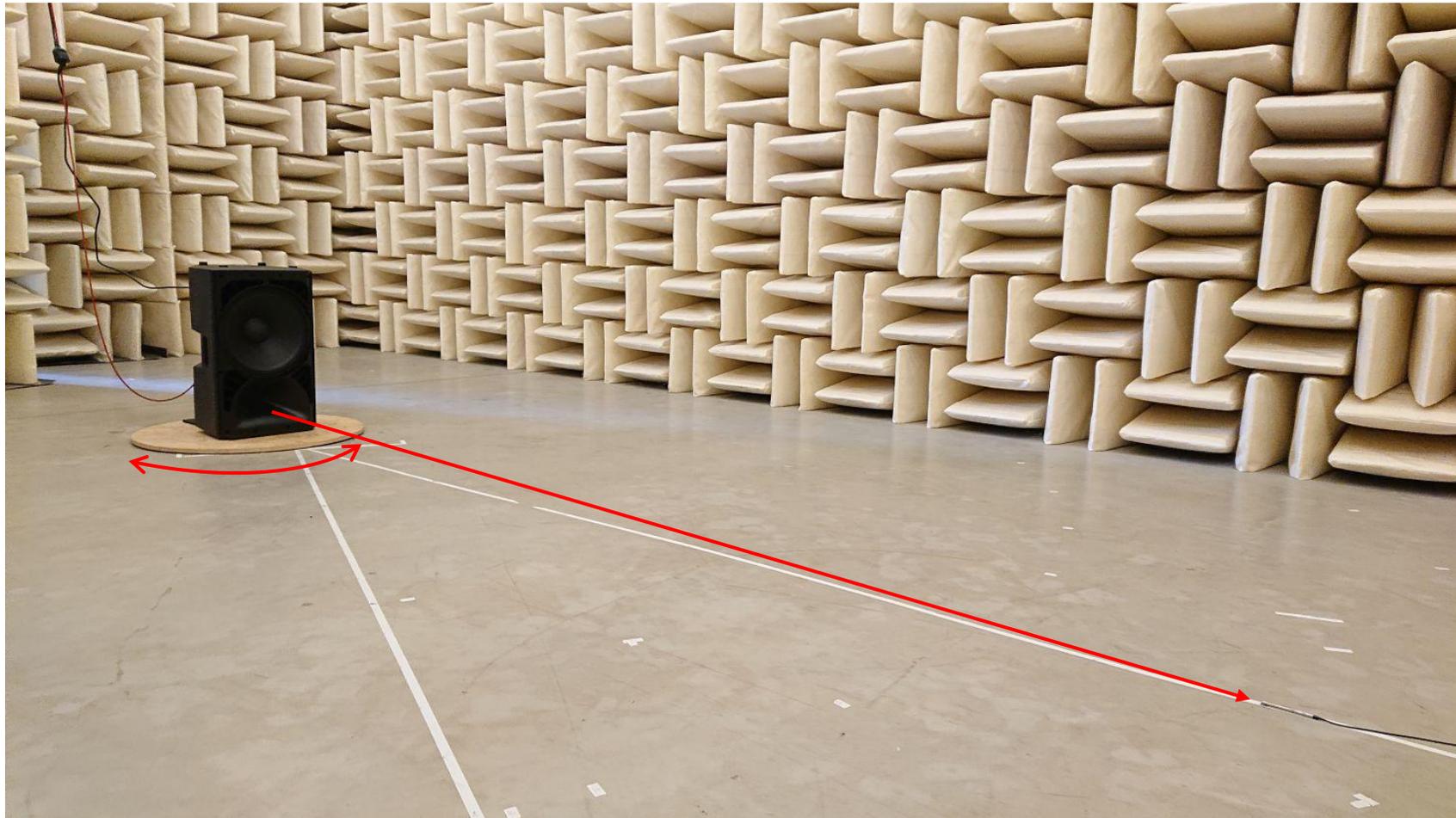
- Phasengang Gesamtsystem
 - Weitgehend linearphasig
 - bei tiefen Frequenzen minimalphasig

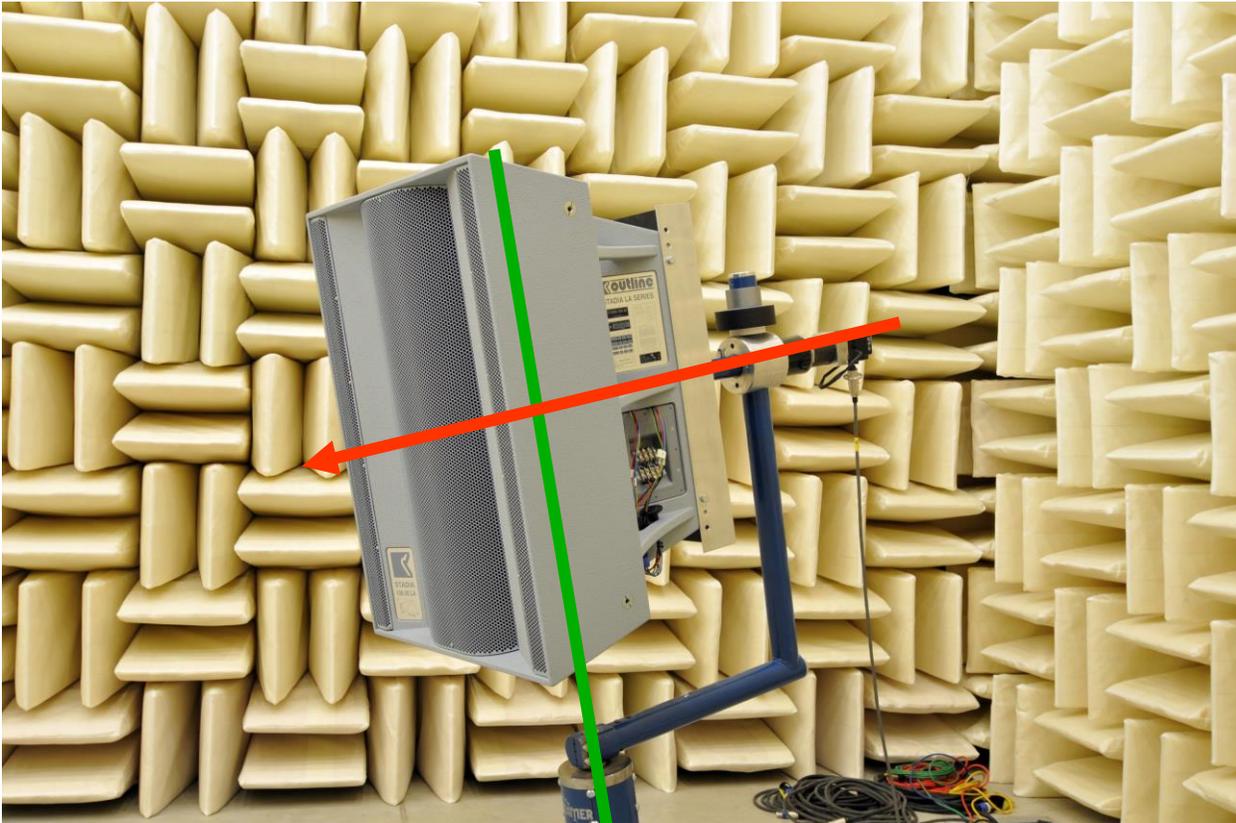


- I. Akustische Messtechnik
- II. Lautsprechertypen und Eigenschaften
- III. Lineares Übertragungsverhalten
- IV. Räumliches Abstrahlverhalten**
- V. Verzerrungswerte und Maximalpegel
- VI. Simulationsdaten

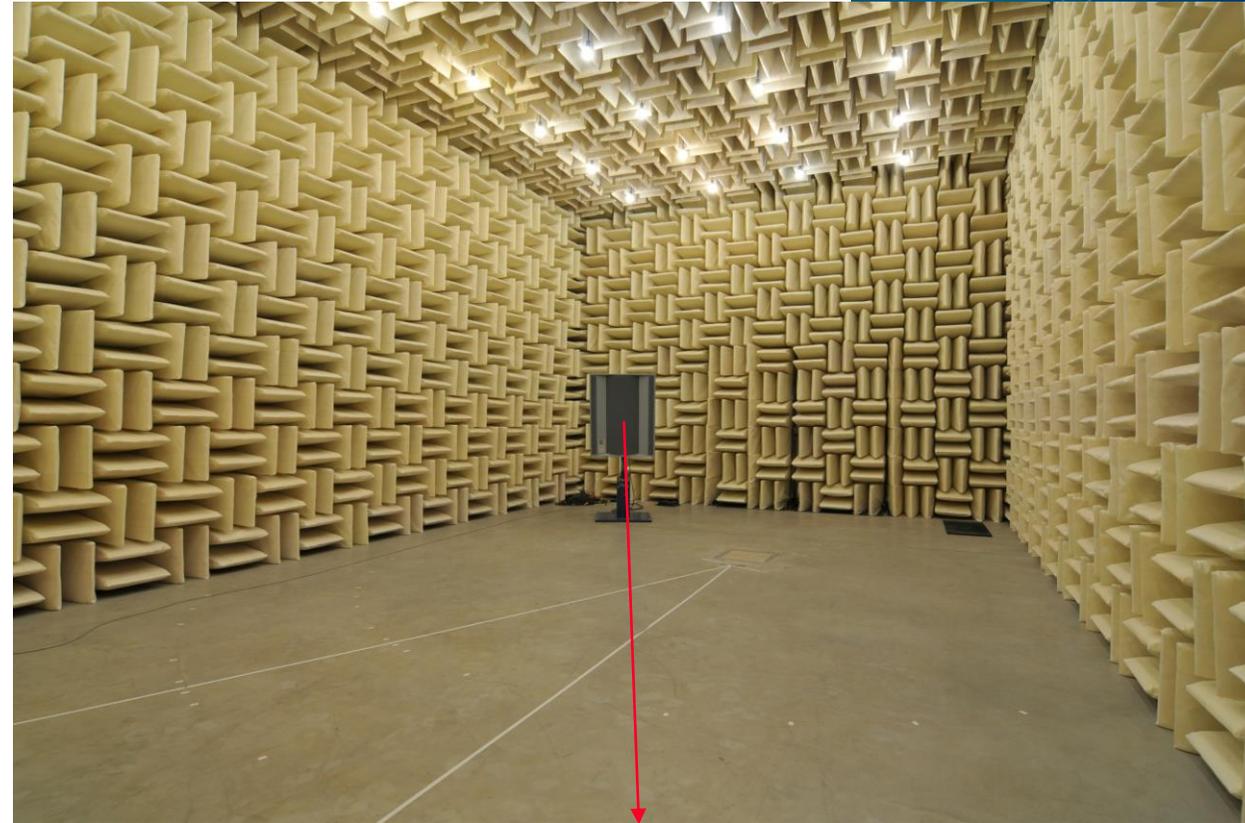
IV. Räumliches Abstrahlverhalten

- Polardiagramme
- Isobaren
- Spinorama
- Balloons

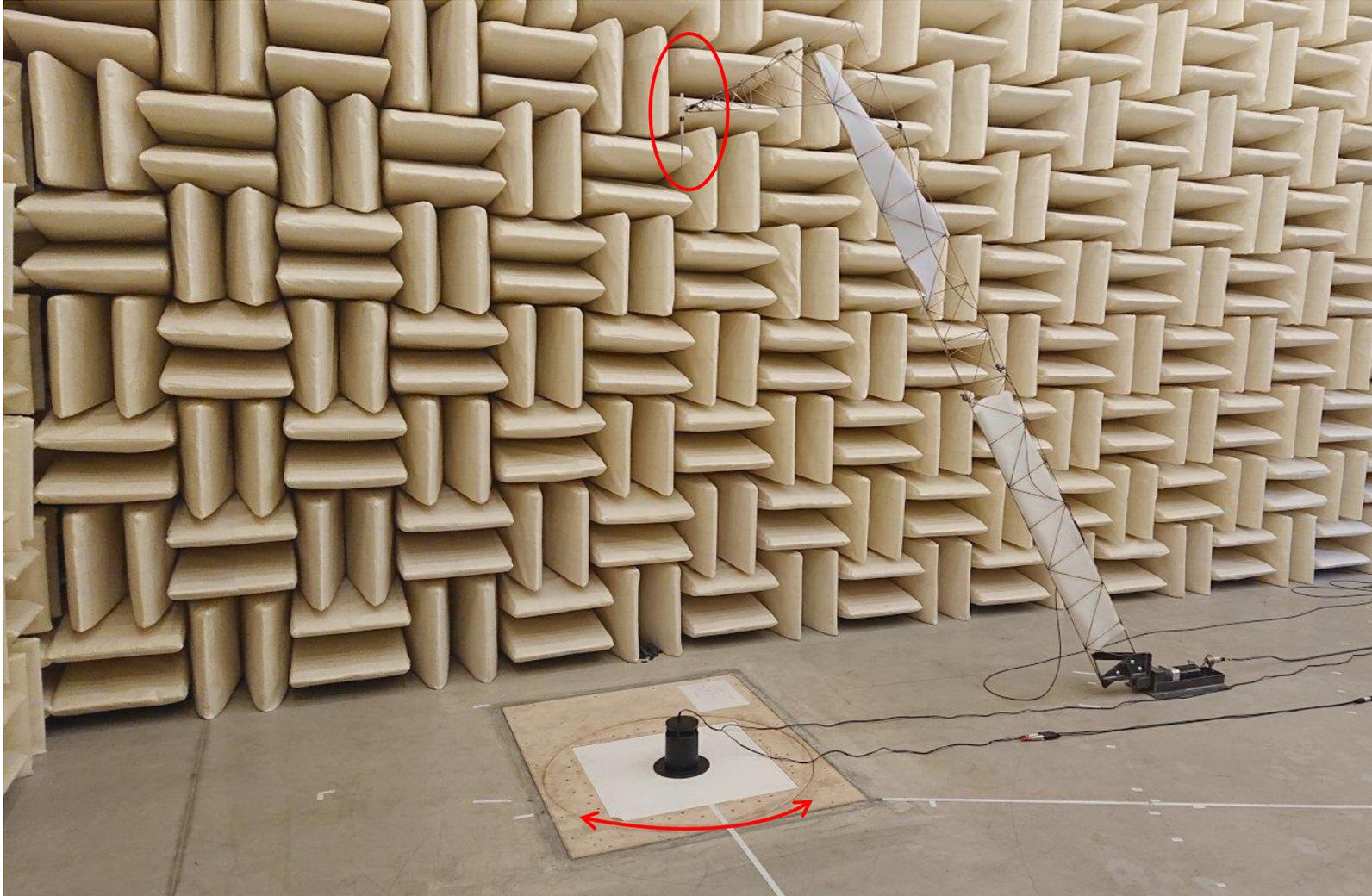




- Zwei Drehachsen mit Schrittmotoren
 - 1° Genauigkeit
 - 200 kg Traglast

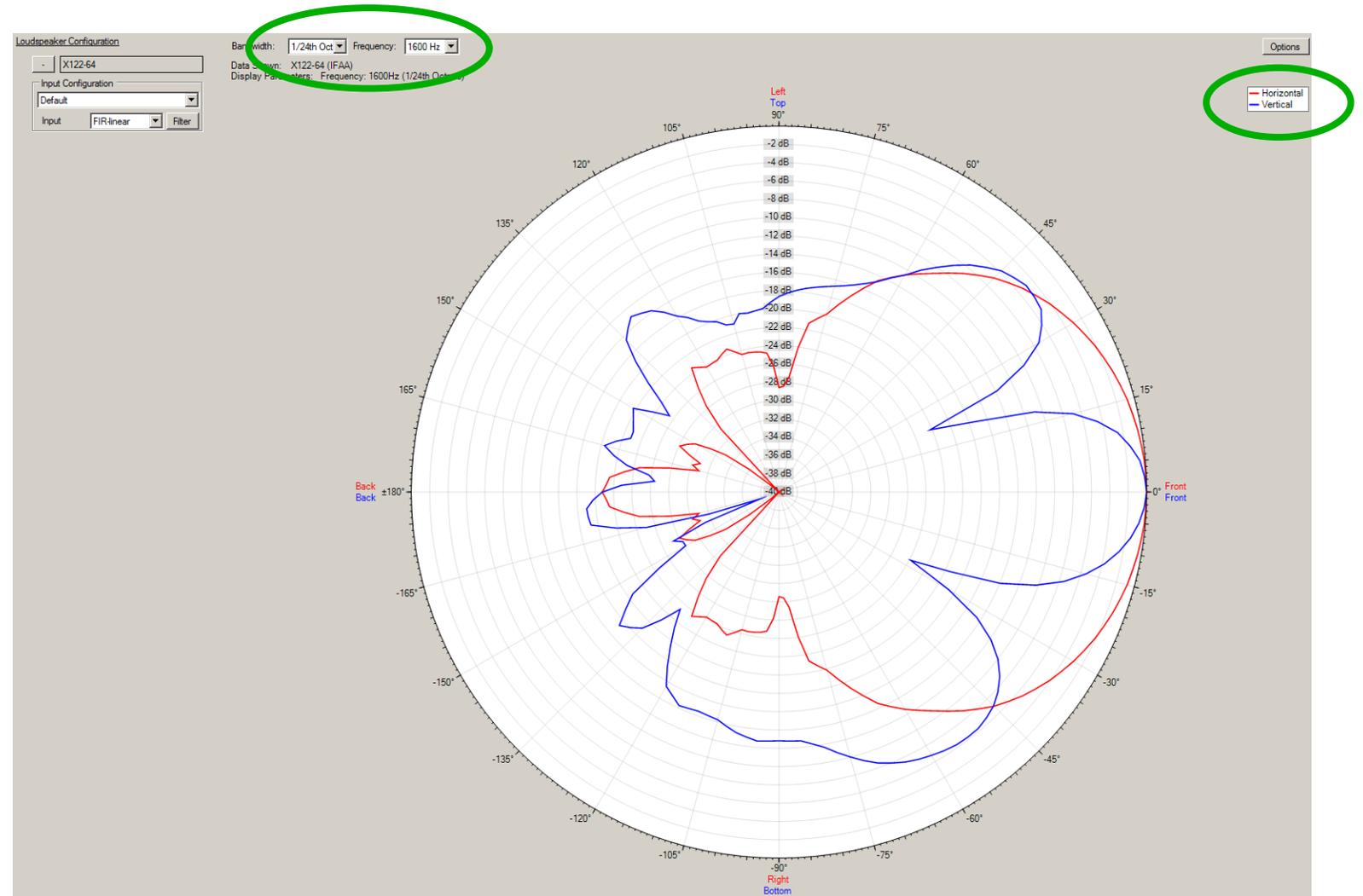


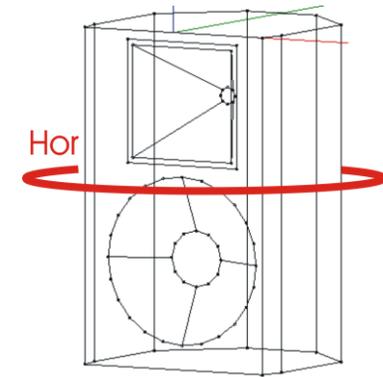
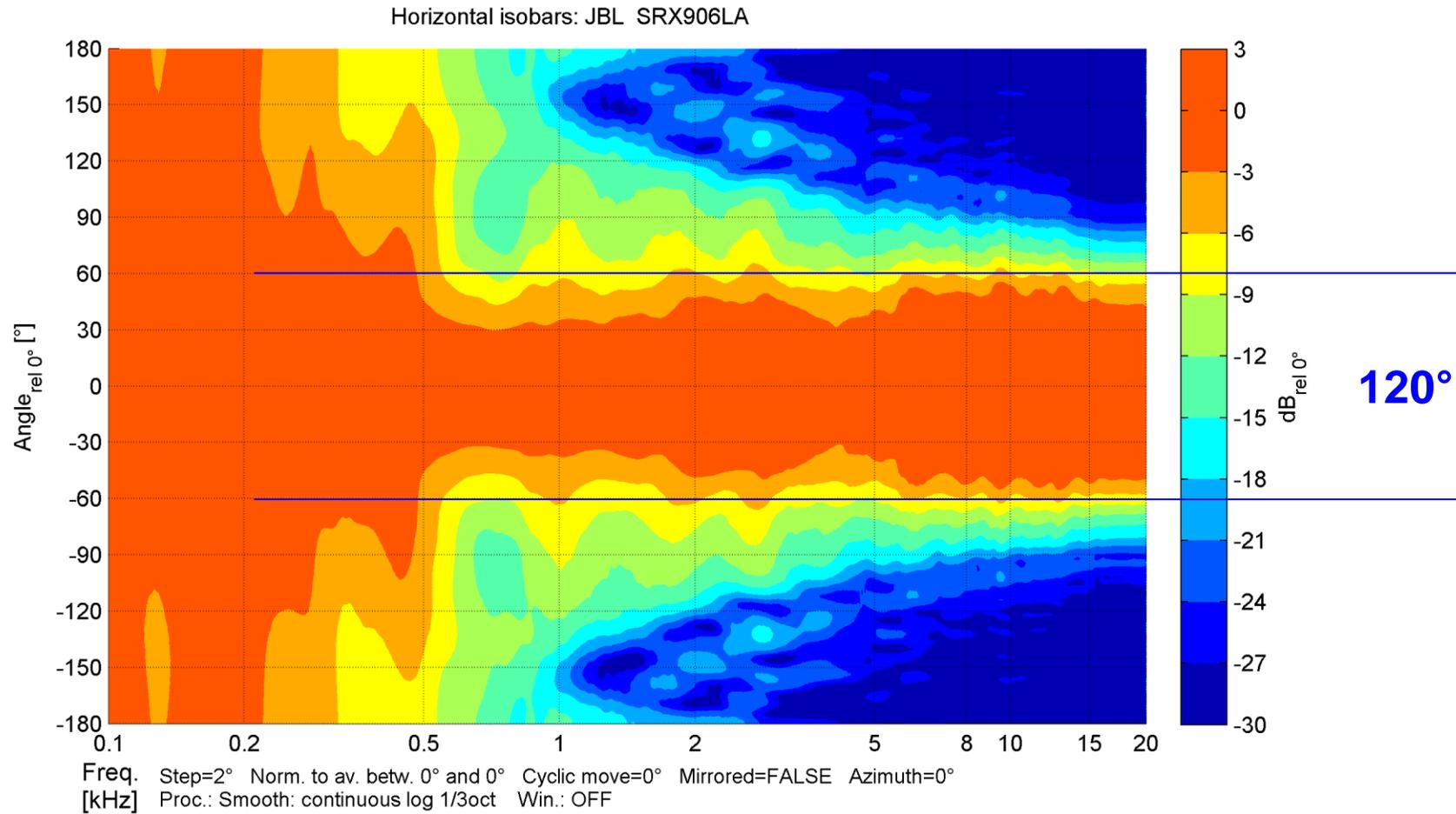
- Messentfernung 8 m
 - 1/4" Messmikrophon
 - Auf schallhartem Boden



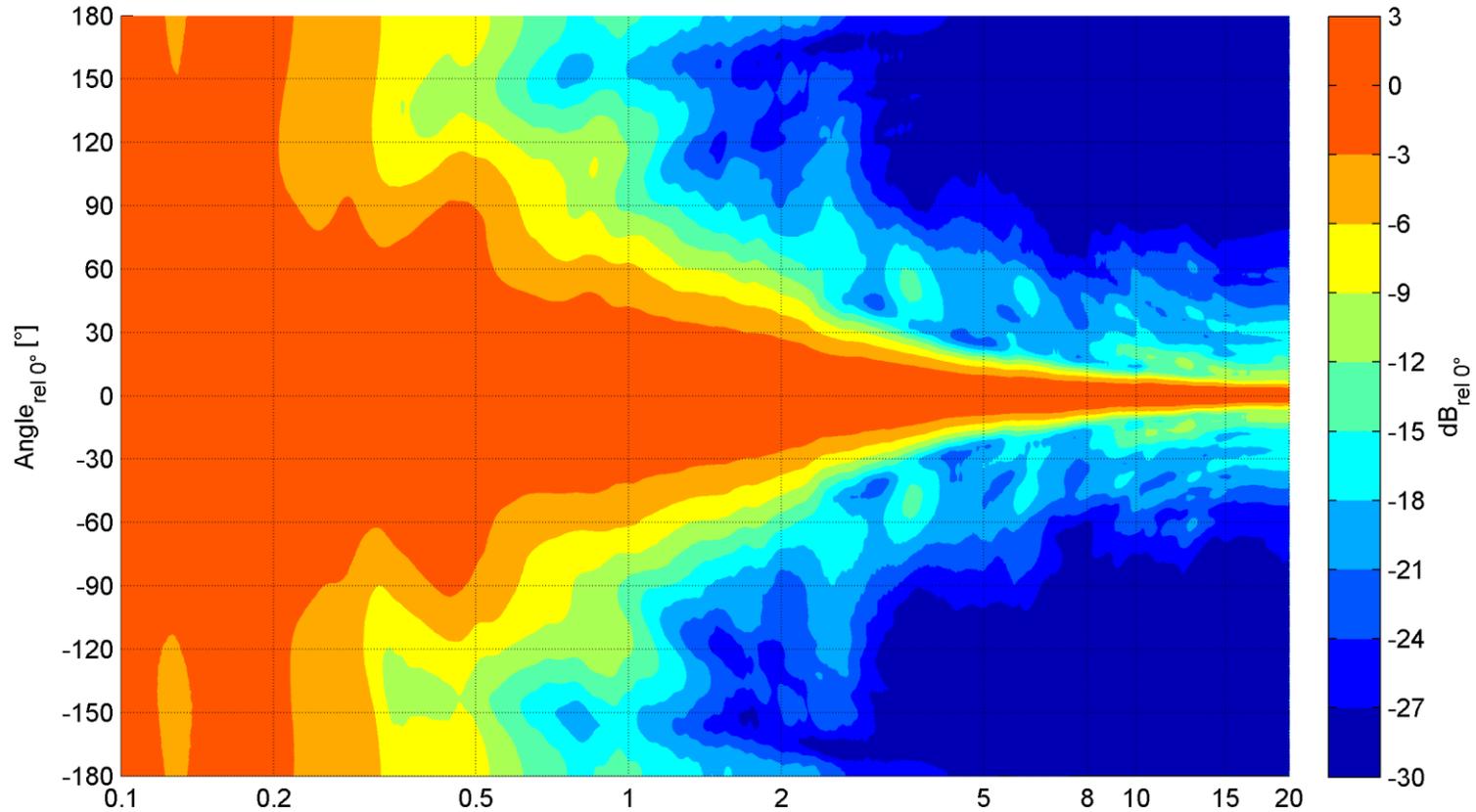
- Bodendrehteller in der Grenzfläche
- Geschlossenes Volumen auf der Rückseite
- Mikrophon am Schwenkarm
- Schwenkarm:
 - Darf nicht nachschwingen
 - Darf akustisch nicht stören
 - Muss resonanzarm sein

- Kurven für einzelne Frequenzbänder
- Horizontale und/oder vertikale Ebene
- Wovon hängt das Richtverhalten ab?
 - Wellenlänge/Frequenz
 - Größe der Strahlerfläche
 - Art der Quelle
 - Punktquelle
 - Linienquelle
 - Flächenstrahler
 - Dipol
 - Cardioid
 - Arrays
 - ...

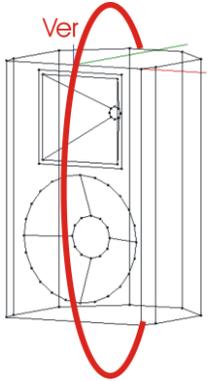




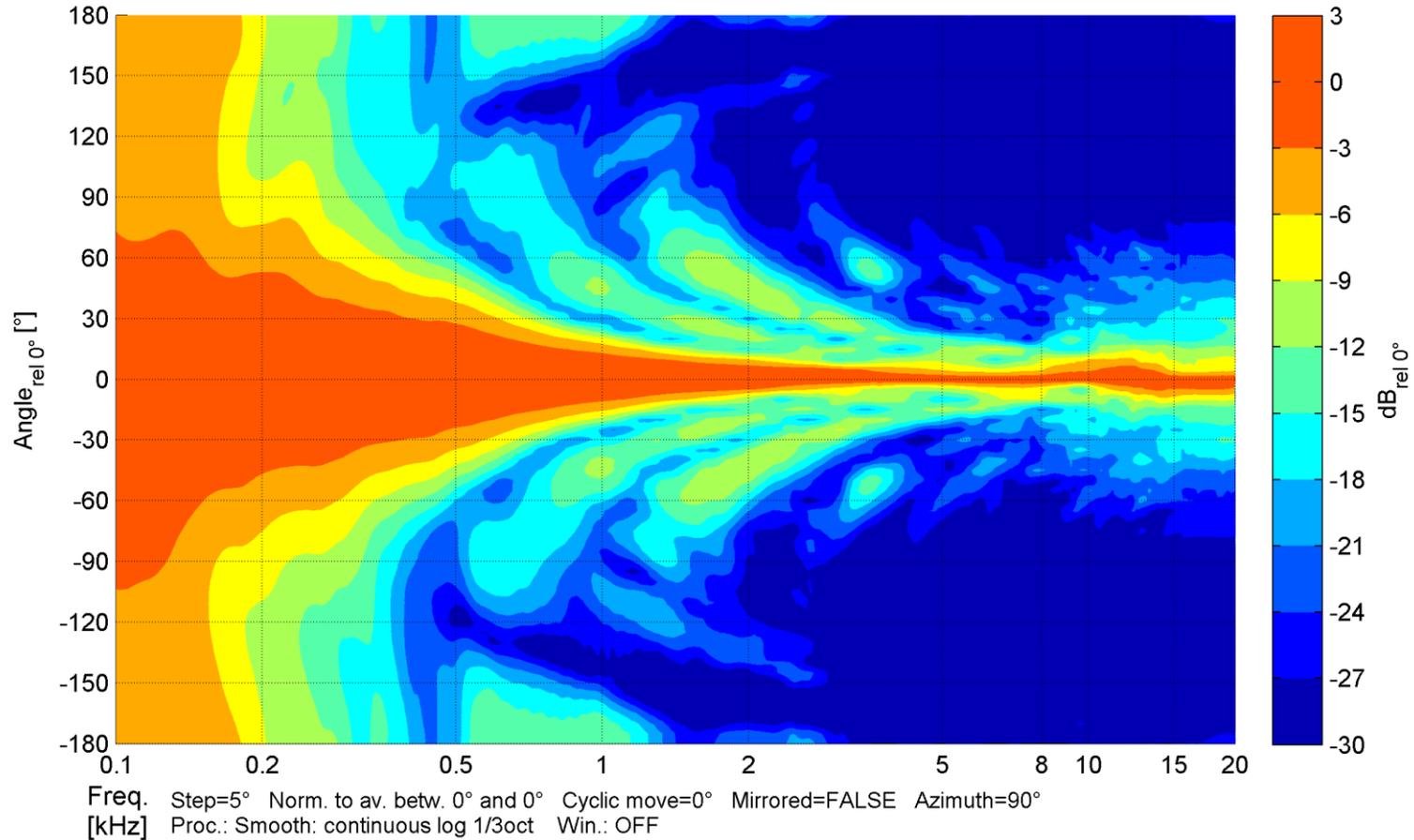
Vertical isobars: JBL SRX906LA



Freq. Step=2° Norm. to av. betw. 0° and 0° Cyclic move=0° Mirrored=FALSE Azimuth=90°
[kHz] Proc.: Smooth: continuous log 1/3oct Win.: OFF

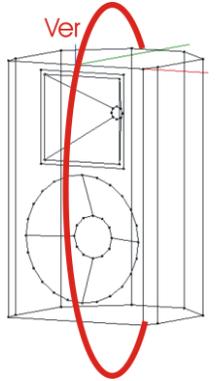


Vertical isobars: JBL SRX906LA 3x0,5

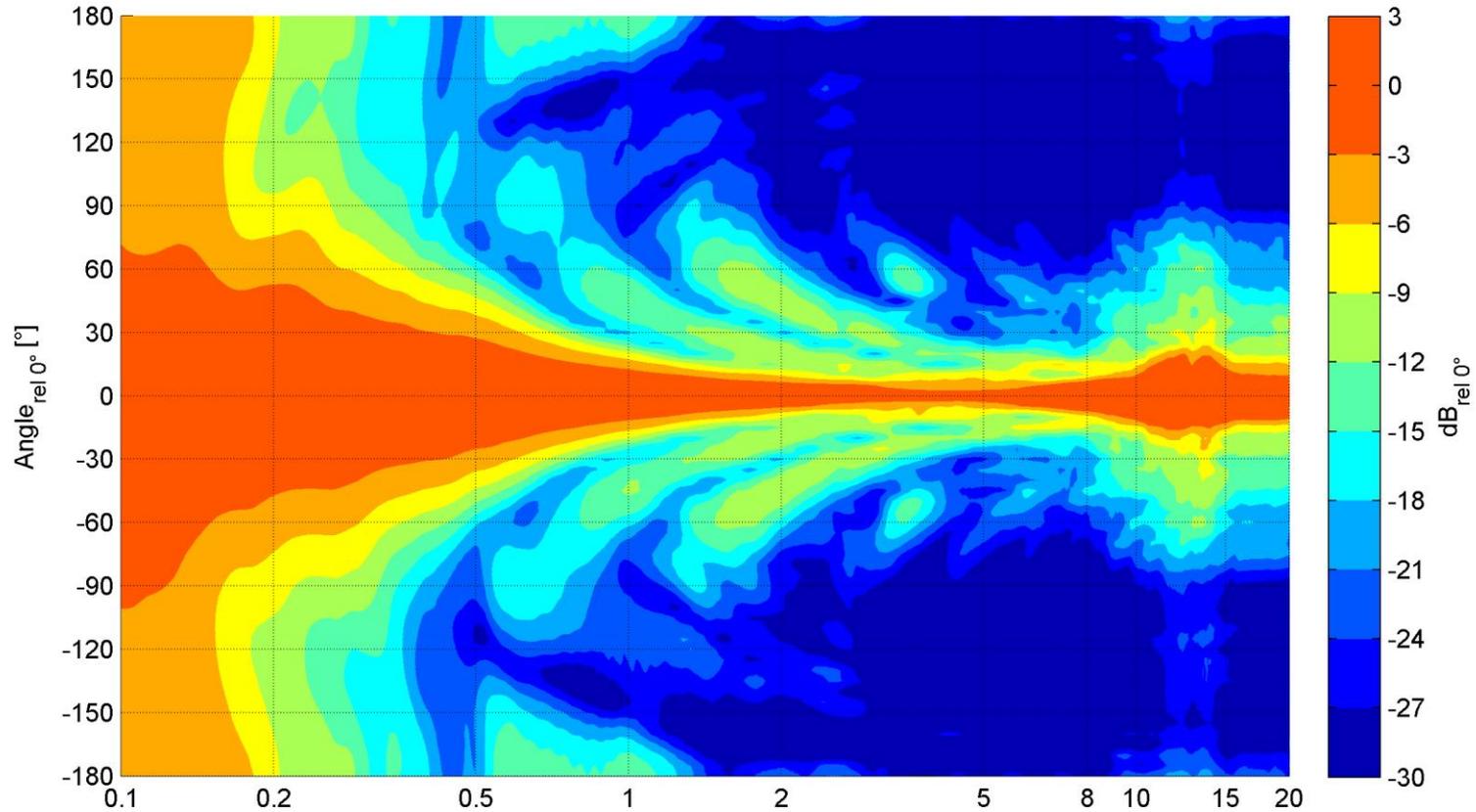


■ Array Messungen

- **3x 0,5°**
- 3x 4°
- 3x 8°
- 3x 12°

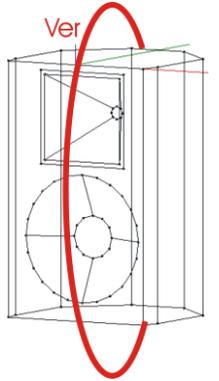


Vertical isobars: JBL SRX906LA 3x4



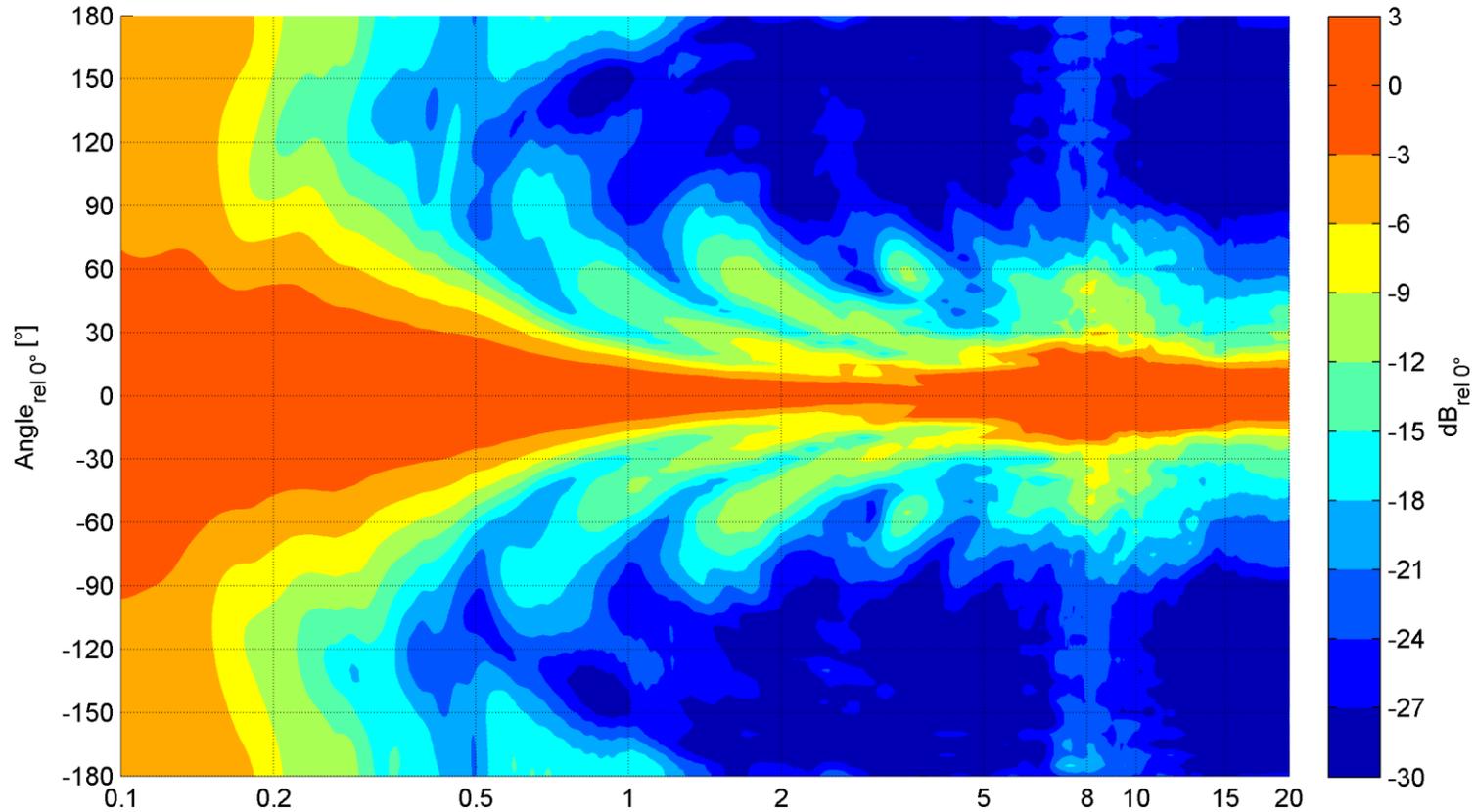
■ Array Messungen

- 3x 0,5°
- **3x 4°**
- 3x 8°
- 3x 12°



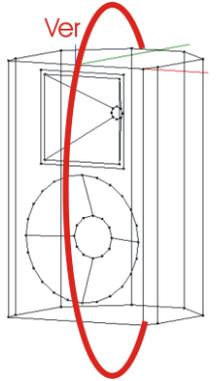
Freq. Step=5° Norm. to av. betw. 0° and 0° Cyclic move=0° Mirrored=FALSE Azimuth=90°
[kHz] Proc.: Smooth: continuous log 1/3oct Win.: OFF

Vertical isobars: JBL SRX906LA 3x8



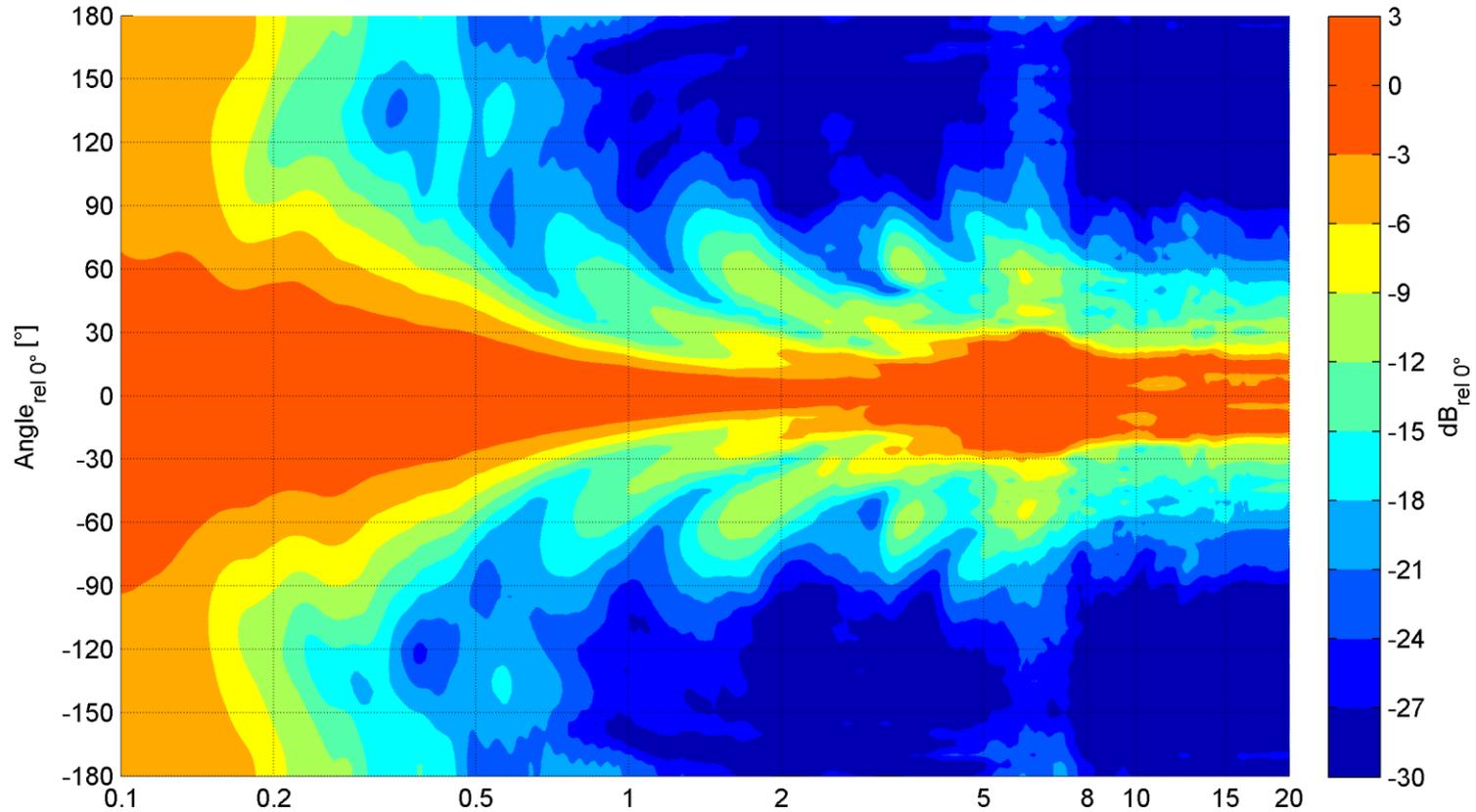
■ Array Messungen

- 3x 0,5°
- 3x 4°
- **3x 8°**
- 3x 12°



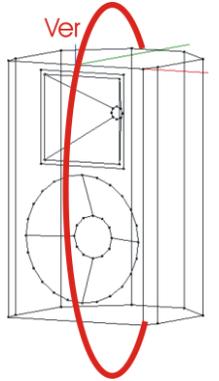
Freq. Step=5° Norm. to av. betw. 0° and 0° Cyclic move=0° Mirrored=FALSE Azimuth=90°
[kHz] Proc.: Smooth: continuous log 1/3oct Win.: OFF

Vertical isobars: JBL SRX906LA 3x12



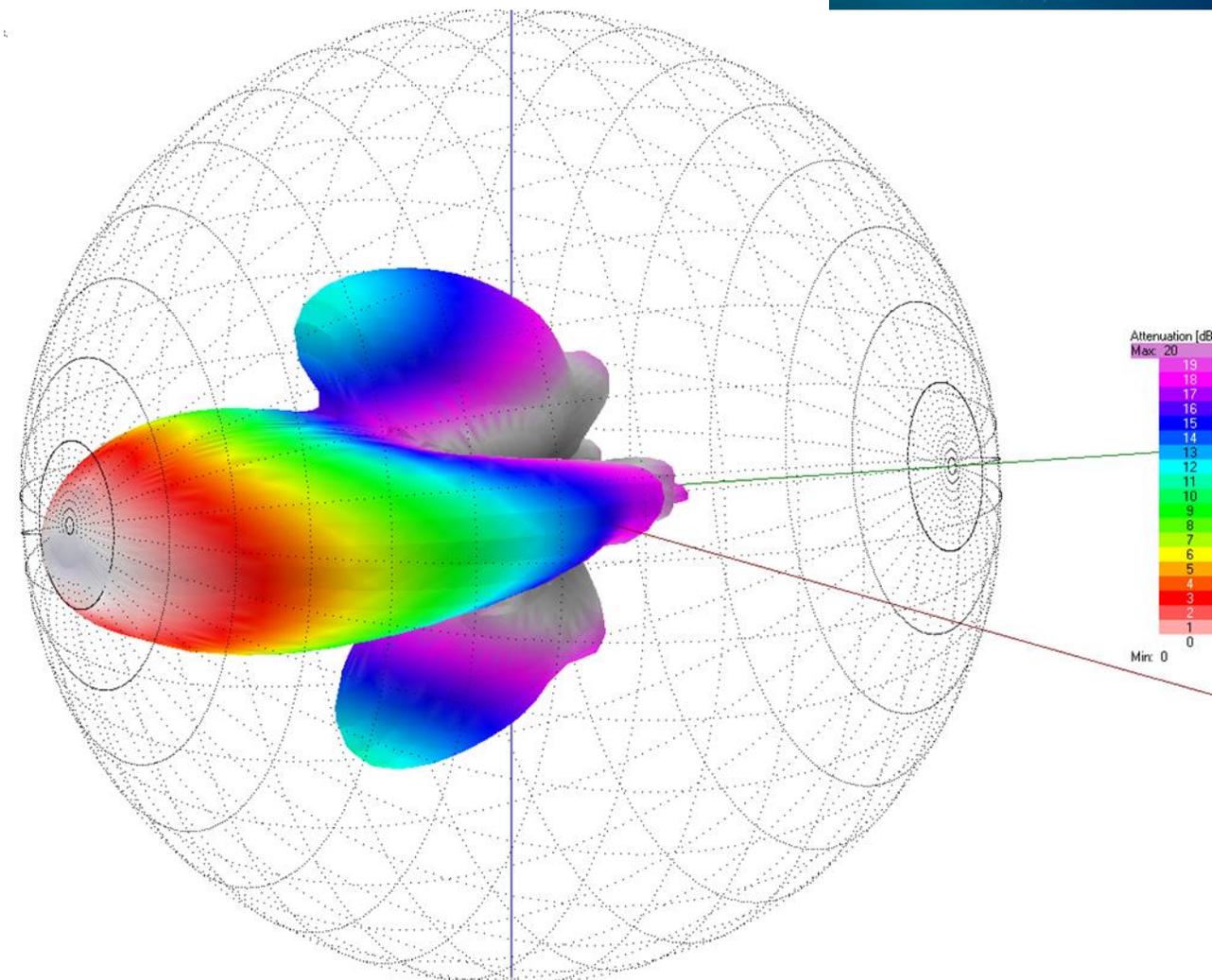
■ Array Messungen

- 3x 0,5°
- 3x 4°
- 3x 8°
- **3x 12°**



Freq. Step=5° Norm. to av. betw. 0° and 0° Cyclic move=0° Mirrored=FALSE Azimuth=90°
[kHz] Proc.: Smooth: continuous log 1/3oct Win.: OFF

- Basisdaten für Simulationen
- Die Messung muss für den gesamten Frequenzbereich im Fernfeld erfolgen!
Nur dort ist das Richtverhalten unabhängig von der Entfernung.
- Phasendaten werden auch erfasst
- Phasenkompensation wg. Temperaturdrift
- Verschachtelte Messung mehrerer Wege
- Typische Auflösungen: 10°, 5°, 2°, 1°
- Symmetrien können genutzt werden
- Finale Formate: GLL, SPK, CLF, USB, ...

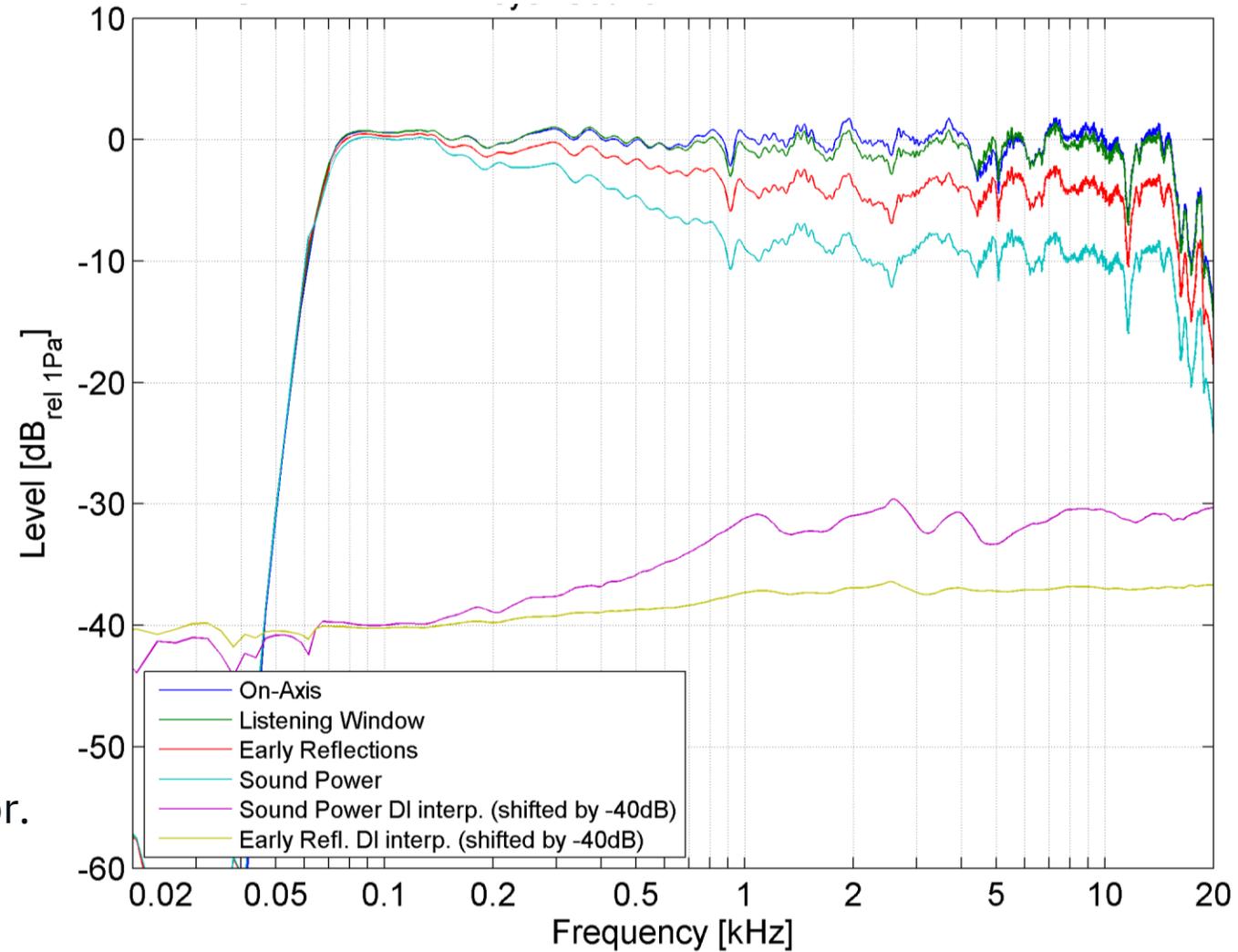


Bal. Format	Full Space	Full Space	Full Space	Full Space	Half Space
Elevation	180	180	180	180	90
Resolution °	10	5	2	1	5
no sym	360	703	2701	16471	65341
hor or ver	180	361	1369	8281	32761
hor and ver	90	190	703	4186	16471
axial	0	19	37	91	181

Frequenzgänge

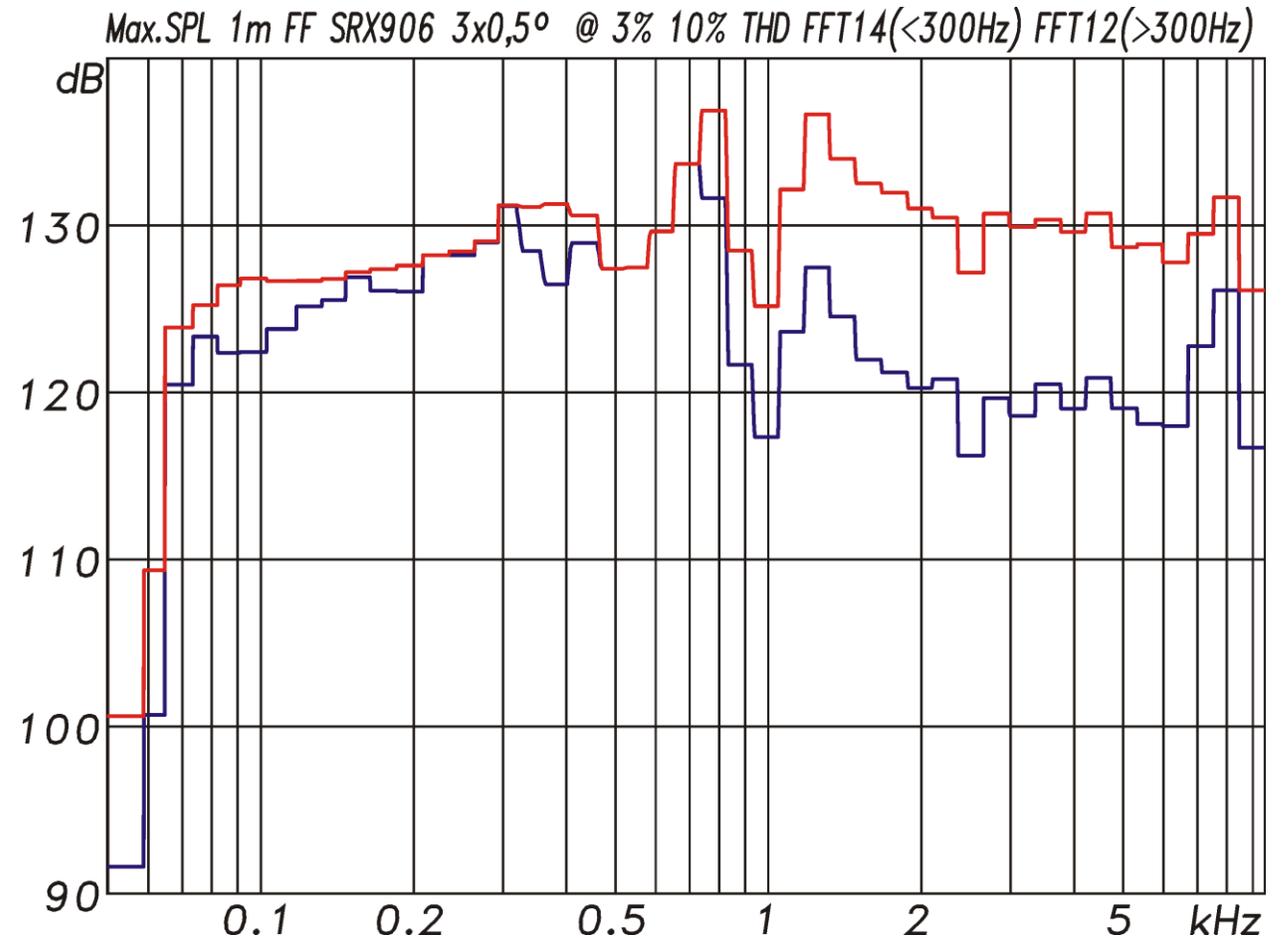
- On-axis
- Listening Window
- Early Reflections
- Sound Power

- On Axis: 0°
- Listening Window: hor. $\pm 30^\circ$ ver. $\pm 10^\circ$
- Early Reflections:
 - Floor: $-20^\circ, -30^\circ, -40^\circ$ ver.
 - Ceiling: $+40^\circ, +50^\circ, +60^\circ$ ver.
 - Front: $0^\circ, \pm 10^\circ, \pm 20^\circ, \pm 30^\circ$ hor.
 - Side: $\pm 40^\circ, \pm 50^\circ, \pm 60^\circ, \pm 70^\circ, \pm 80^\circ$ hor.
 - Rear: $90^\circ - 180^\circ, -90 -180^\circ$ 10° steps hor.
- Sound Power: 4π

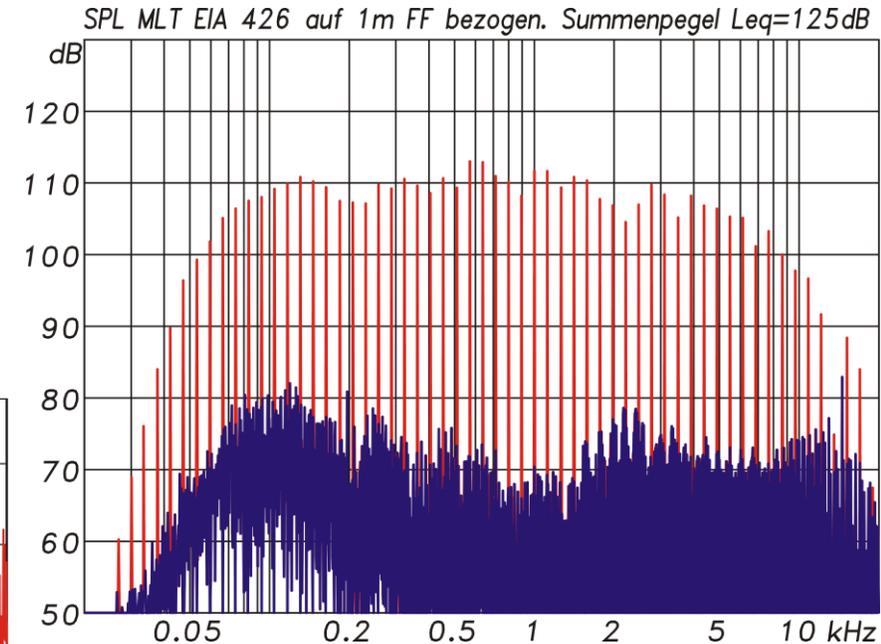
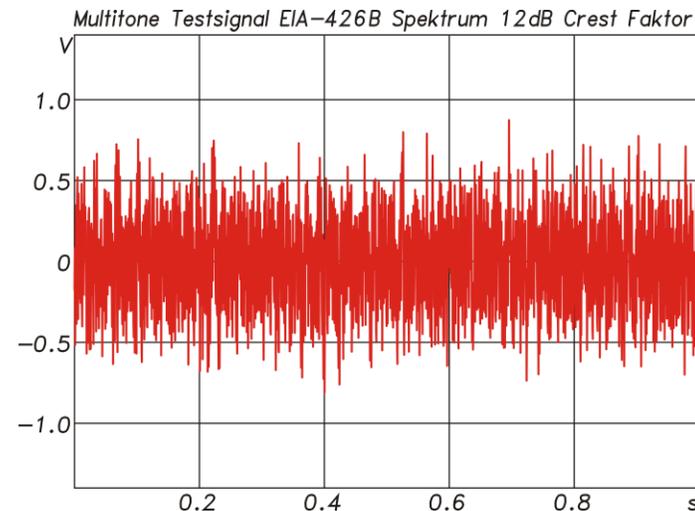
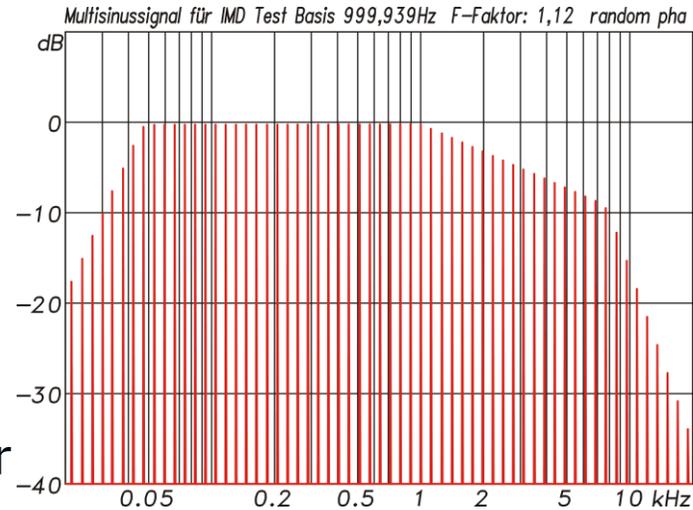


- I. Akustische Messtechnik
- II. Lautsprechertypen und Eigenschaften
- III. Lineares Übertragungsverhalten
- IV. Räumliches Abstrahlverhalten
- V. Verzerrungswerte und Maximalpegel**
 - Maximalpegel
 - Burst Messung
 - Multitonmessung
- VI. Simulationsdaten

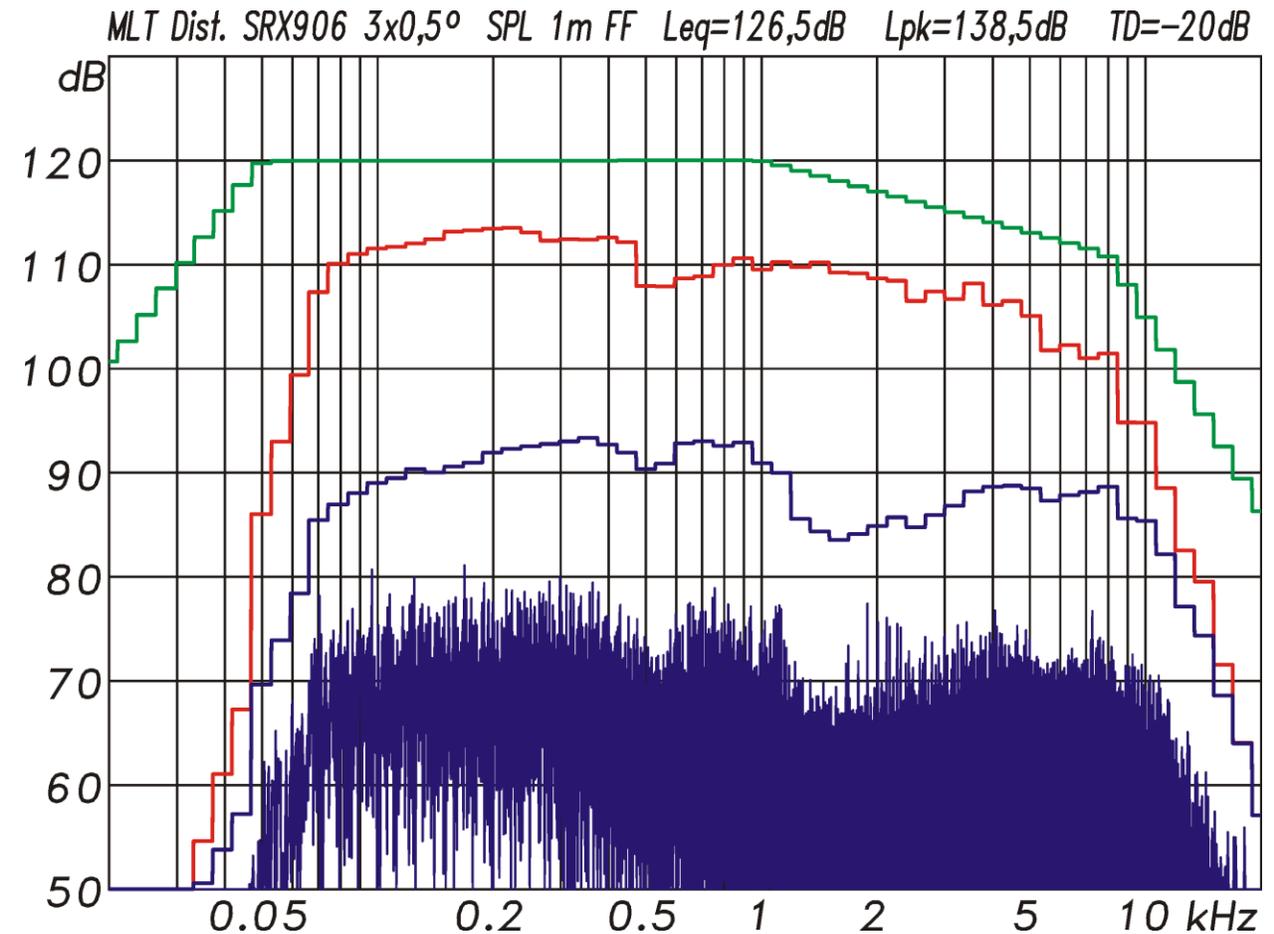
- Messung mit Sinus Burst Signal mit einer Länge von 170 ms (> 300 Hz) oder von 680 ms (< 300 Hz)
- Auswertung von THD und SPL
- Abbruchkriterien:
 - 10% THD
 - 3% THD
 - Leistungslimit (falls relevant)
- Eignet sich gut um Schwachstellen aufzudecken.



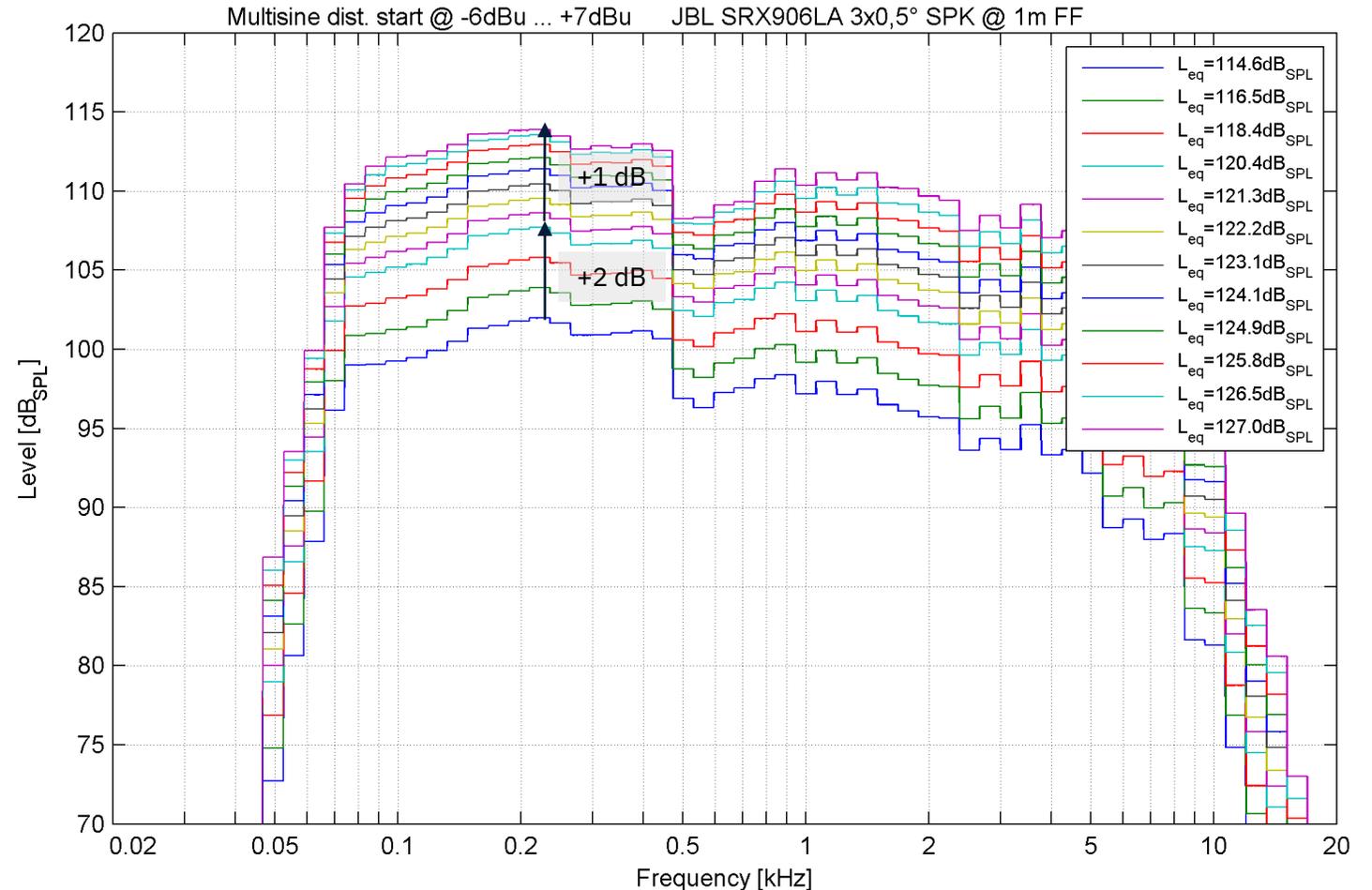
- 60 Sinussignale
- Spektrale Gewichtung möglich hier entsprechend EIA-426B
- Zufallsphase
- Zeitsignal mit einem Crest-Faktor von 4 entsprechend 12 dB ($CF = \text{Spitzenwert zu Effektivwert}$)
- Einfache Auswertung der Verzerrungen über Subtraktion der Spektrallinien des Exciters (**rot**) aus dem Anregungssignal
- Erfassung von THD und IMD = TD (Total Distortions) **blau**



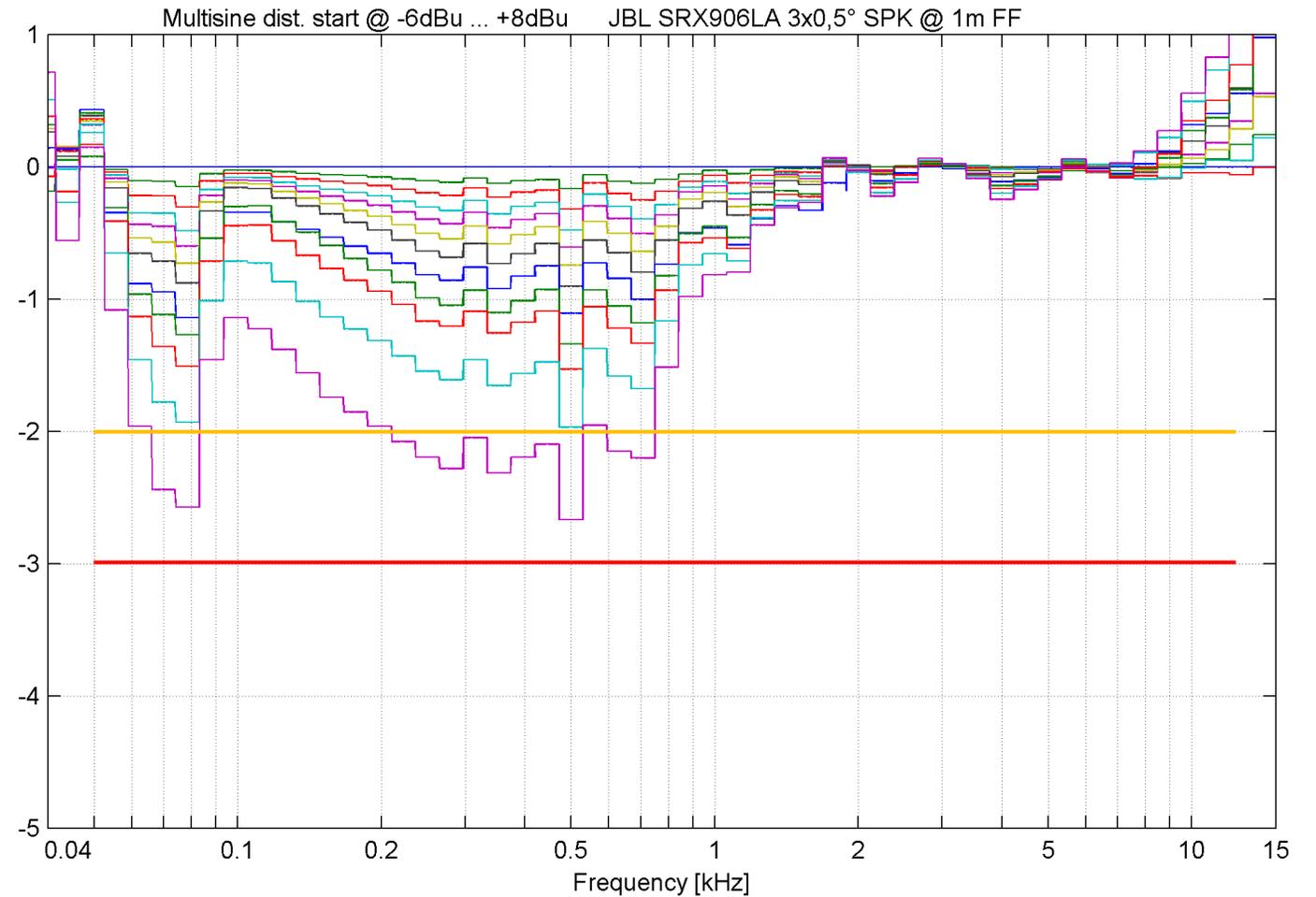
- Spektrum Exciter (grün)
- Gesamtsignal (rot)
- Verzerrungen TD (blau)
- Welche Abbruchkriterien?
- TD Grenzwert von -20 dB (10%)
- Auswertung von:
Mittelungspegel $L_{eq} = 126,5$ dB
Spitzenpegel $L_{pk} = 138,5$ dB



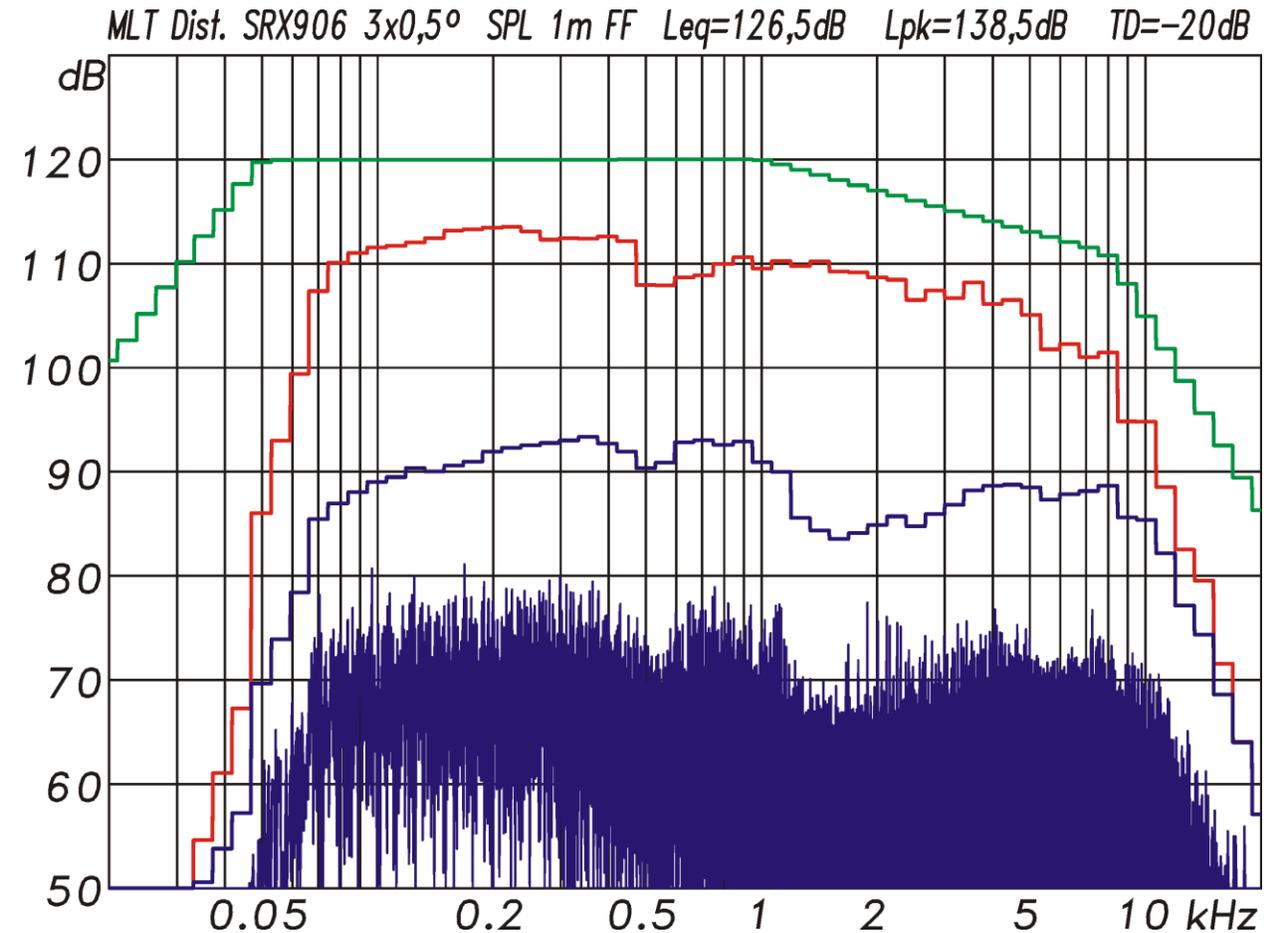
- Weitere Abbruchkriterien
- Abweichung vom linearen Pegelzuwachs
 - Start der Messung im linearen Arbeitsbereich
 - Eingangspegel wird in definierten dB Schritten erhöht
 - von -6 dBu bis 0 dBu in 2 dB Stufen
 - von 0 dBu bis +8 dBu in 1 dB Stufen
 - Startwert 114,6 dB
 - rechnerischer max. SPL 128,6 dB
 - Max. 2 dB breitbandig
 - Max. 3 dB in einzelnen Bändern



- Darstellung als Abweichung vom linearen Verhalten
 - Max. 2 dB breitbandig
 - Max. 3 dB in einzelnen Bändern



- Messung mit EIAJ-426B
Spektrum und
12 dB Crest-Faktor:
Mittelungspegel $L_{eq} = 126,5$ dB
Spitzenpegel $L_{pk} = 138,5$ dB
Rechnerisch 127,6 dB
(+7 dBu input)



- Messung mit EIAJ-426B
Spektrum und 12 dB Crestfaktor:

Mittelungspegel $L_{eq} = 126,5$ dB

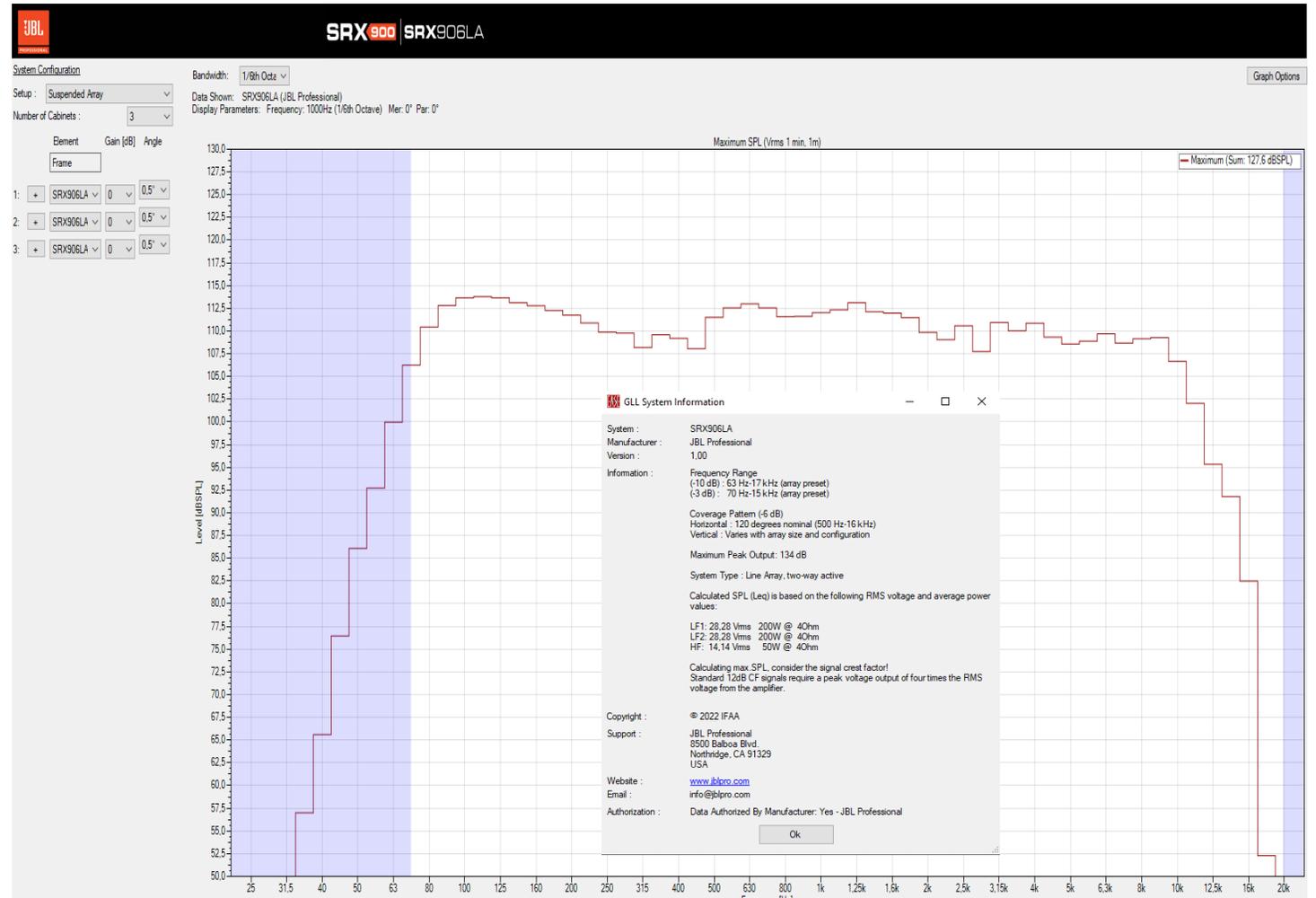
Spitzenpegel $L_{pk} = 138,5$ dB

- Simulation mit EIAJ-426B
Spektrum

- Simulation geht von linearem Verhalten aus

SPL = 127,6 dB

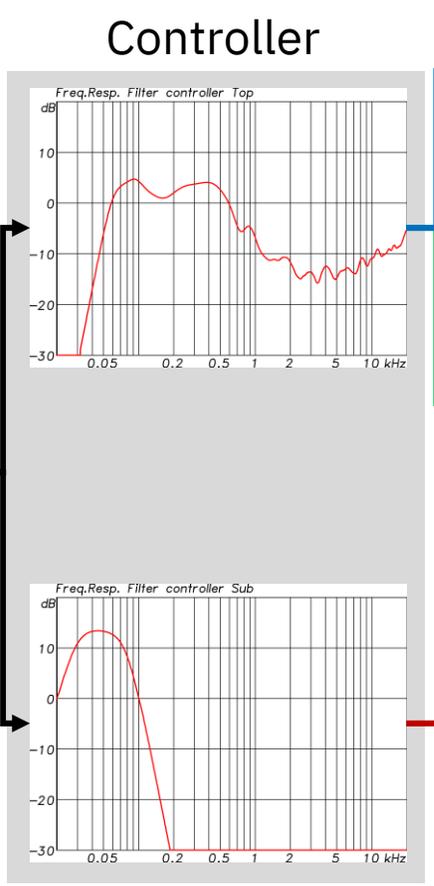
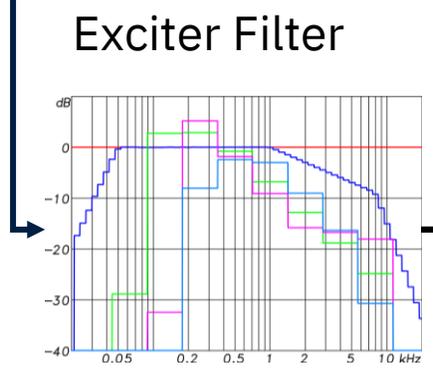
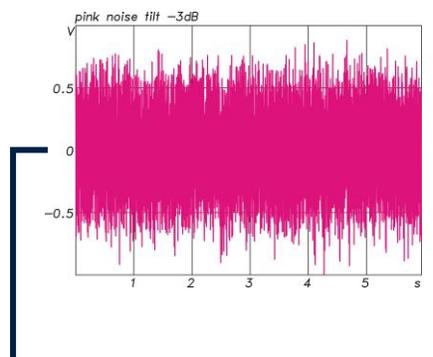
SPL Wert als L_{eq}



- I. Akustische Messtechnik
- II. Lautsprechertypen und Eigenschaften
- III. Lineares Übertragungsverhalten
- IV. Räumliches Abstrahlverhalten
- V. Verzerrungswerte und Maximalpegel
- VI. Simulationsdaten**

VI. Simulationsdaten

- Balloons
- Filter
- Leistungswerte
- Datenformate:
GLL, CLF, USB, ...

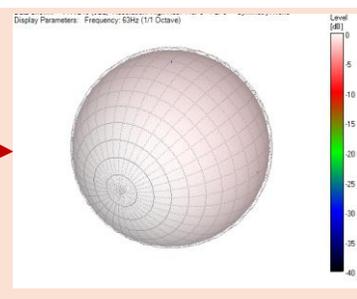
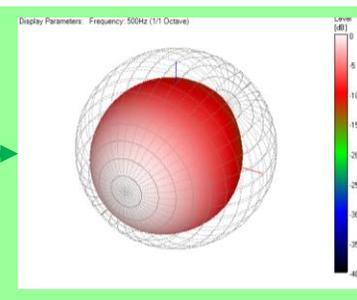
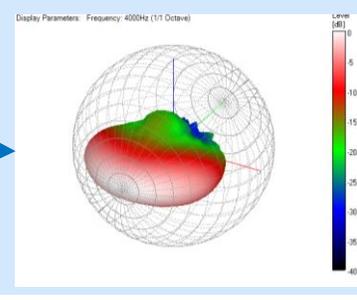
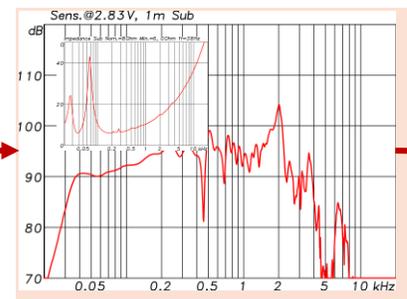
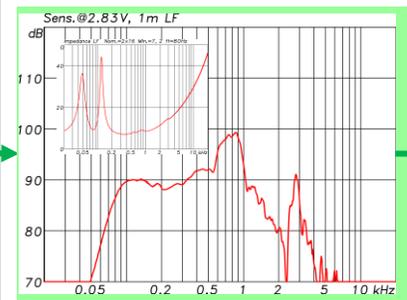
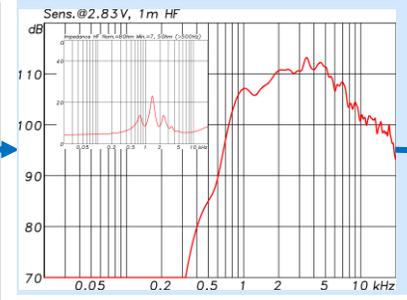


Passive X-Over

Freq. Resp. Sensitivity Impedance

Balloon Data

Maximum Voltage



AES 2h
20 V_{rms}

HF

AES 2h
55 V_{rms}

LF

AES 2h
80 V_{rms}

Sub



INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

Prof. Dr.-Ing. Alfred Schmitz &
Nicolas Sünn, B.Eng.

Heinrich-Hertz-Straße 3
41516 Grevenbroich

Tel.: 02182 83221 0

Mail: alfred.schmitz@ifaa-akustik.de
nicolas.suenn@ifaa-akustik.de

www.ifaa-akustik.de



INSTITUT FÜR AKUSTIK UND AUDIOTECHNIK

Prof. Dr.-Ing. Anselm Goertz

In der Linen 21
52134 Herzogenrath-Kohlscheid

Tel.: 02407 565111

Fax: 02407 565112

Mail: anselm.goertz@ifaa-akustik.de

www.ifaa-akustik.de