

Deinen Traumklang selbst kreieren!

Next Level DSP mit FIR Filtern

Lautsprecher zeit- und phasenrichtig aktiv entwickeln



Bidjan Tschaitschian

Vorwort: Warum „Wir“?

- „Ich“ habe dieses Dokument alleine verfasst, verwende aber sehr häufig „Wir“. Warum?
- Sehr viele Menschen haben dazu beigetragen, dass ich dieses Dokument schreiben konnte. Ich habe viel von Ihnen gelernt und viel mit Ihnen kreiert.
- Es fühlt sich wie das Ergebnis gemeinsamer Arbeit an.
- Ein besonderes Dankeschön geht an Andreas Heggendorf von Musicwonder mit dem ich den intensivsten Austausch zu diesen Themen hatte und habe.
- Ebenfalls vielen Dank an Harry Rupf, Stefan Dreyer, Guido Riedel, Markus Grelka, Thomas Schmidt und weitere HiFi-Begeisterte, die auf dem Weg hierher mitgewirkt haben.

Musik so hören, wie sie uns bewegt

- Das ist das wichtigste Ziel.
- Viele Faktoren spielen eine Rolle, z.B. die Anlage mit all ihren Komponenten, der Raum, die Aufstellung, der persönliche Geschmack, die aktuelle Verfassung.
- Wir hören nicht nur mit den Ohren, sondern mit allen Sinnen und wir selbst spüren, was uns bewegt und gefällt.
- Unser Beitrag zum Ziel
 - Teil 1: Wir entwickeln eine aktive Frequenzweiche und schaffen technisch die Grundlagen für ein emotionales Hörerlebnis.
 - Teil 2: Wir hören und tunen den Klang individuell nach unserem Geschmack.
 - Wir hören Musik so, wie sie uns bewegt.

Überblick zum Inhalt: Was kommt?

- Unser Mittel zum Zweck sind FIR Filter.
- In dieser Dokumentation beschreiben wir:
 - Vorbereitung: Hardware, Software, Einstellungen
 - Teil 1: Entwicklung aktiver Frequenzweichen
 - Workflow 1: Das Beste aus jedem Treiber rausholen
 - Workflow 2: Zusammen groß Aufspielen
 - Workflow 3: Der Raum macht die Musik
 - Workflow 4: Perfect Timing
 - Teil 2: Klangliches Finetuning
 - Workflow 5: Beim Hören meine Zielkurve einstellen
 - Workflow 6: Beim Hören meinen Traumklang finden

Abgrenzung: Was kommt nicht?

- Wie man diverse HiFi-Geräte, Kabel, sonstiges Zubehör auswählt, miteinander kombiniert und einrichtet,
- wie man seinen Raum akustisch verbessert, den besten Hörplatz findet und wo man seine Lautsprecher und Subwoofer platziert,
- wie man einen vorhandenen, passiven Lautsprecher umbaut, um ihn vollaktiv zu betreiben,
- theoretische Grundlagen der Lautsprecherentwicklung und Signalverarbeitung,
- u.v.m.

Vorbereitung Software, Hardware, Einstellungen

Vorbemerkung

- Wir haben bestimmte Hardware und Software verwendet, um das Beispielprojekt in diesem Dokument durchzuführen.
- FIR Filter Verarbeitung ist möglich mit diverser Hardware.
- FIR Filter Entwicklung ist möglich mit diverser Software.
- Für Kenner und Nutzer anderer Geräte und Tools ist es leicht möglich, die hier gemachten Angaben passend auf ihr Equipment zu übertragen.

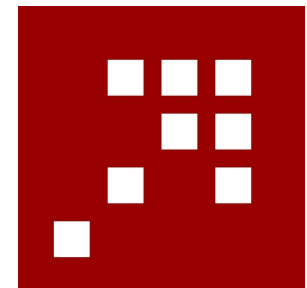
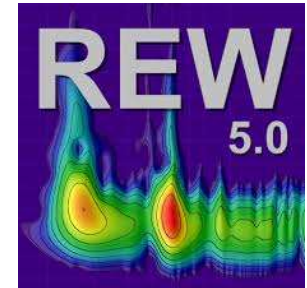
Hardware

- Windows PC
- FIR-BoxX
- Audio Interface
 - z.B. Focusrite Scarlett Solo (4th Gen)
- Messmikrofon
 - z.B. Behringer ECM8000 (kalibriert)
- Mikrofonständer
- Kabel



Software

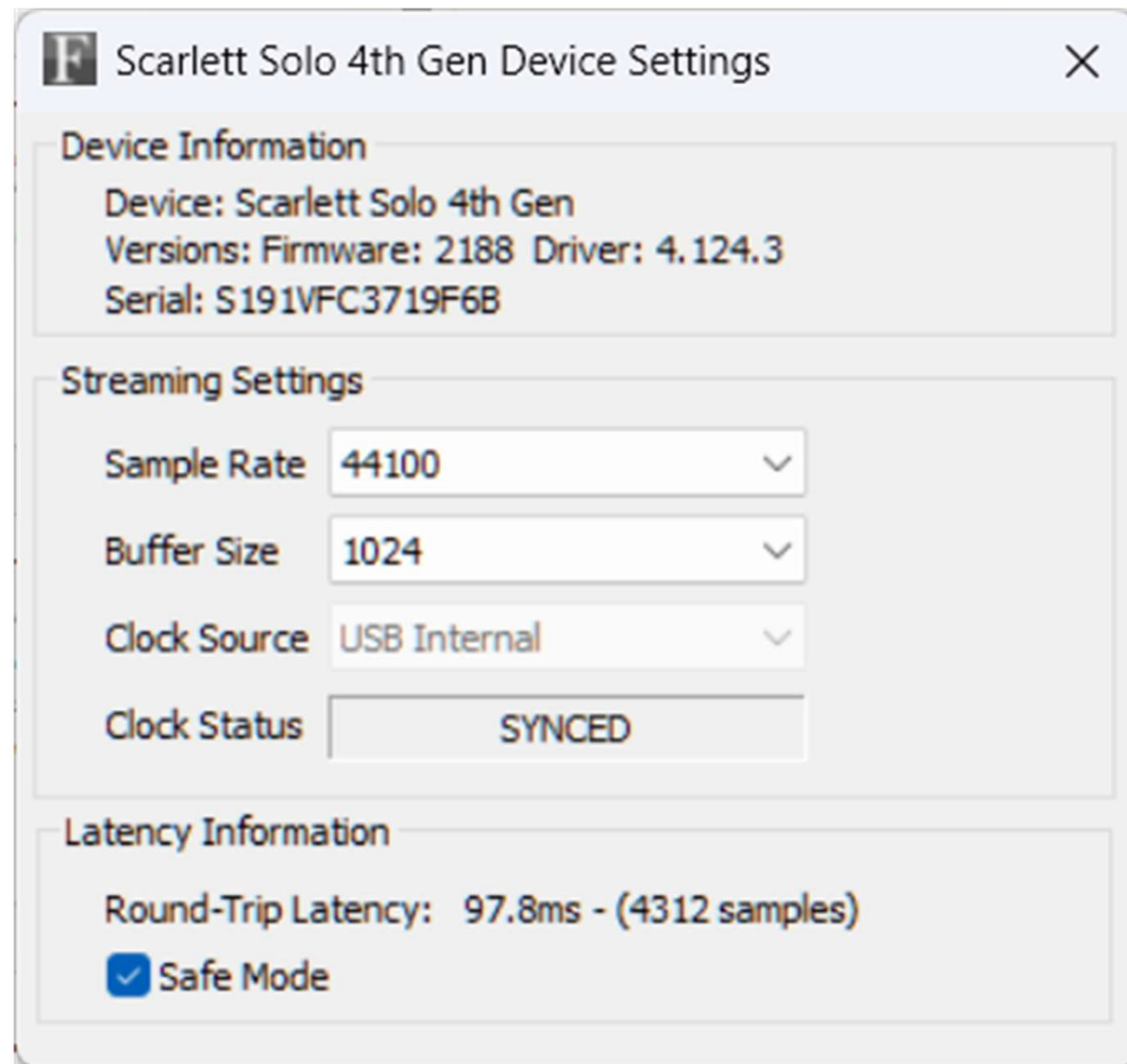
- Chrome Internetbrowser
 - <https://www.google.com/chrome/>
- Room EQ Wizard Beta (REW)
 - <https://www.avnirvana.com/threads/rew-api-beta-releases.12981/>
- rePhase
 - <https://rephase.org/>



Voreinstellungen

Windows

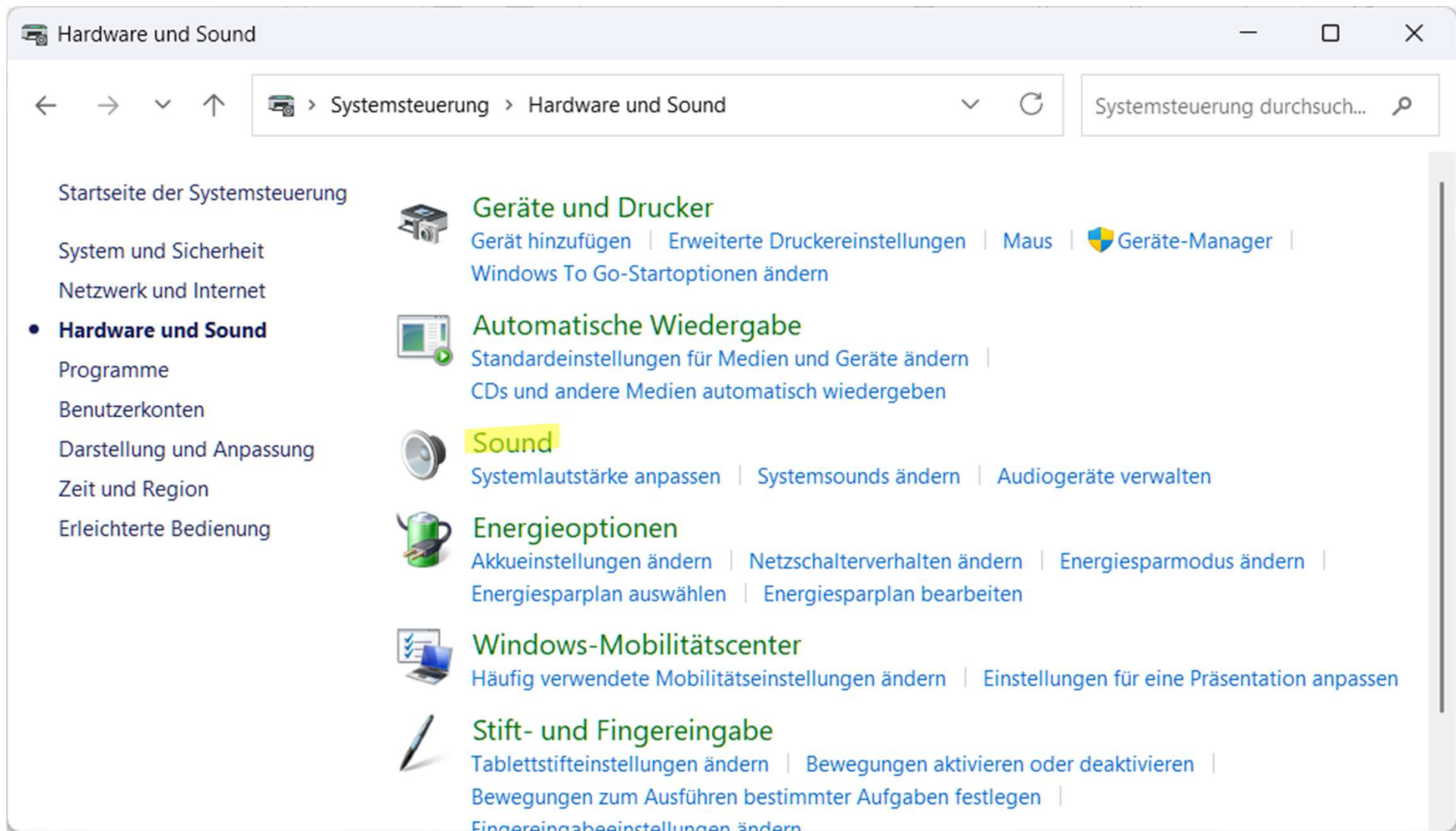
Audiointerface Sample Rate 44.100 Hz



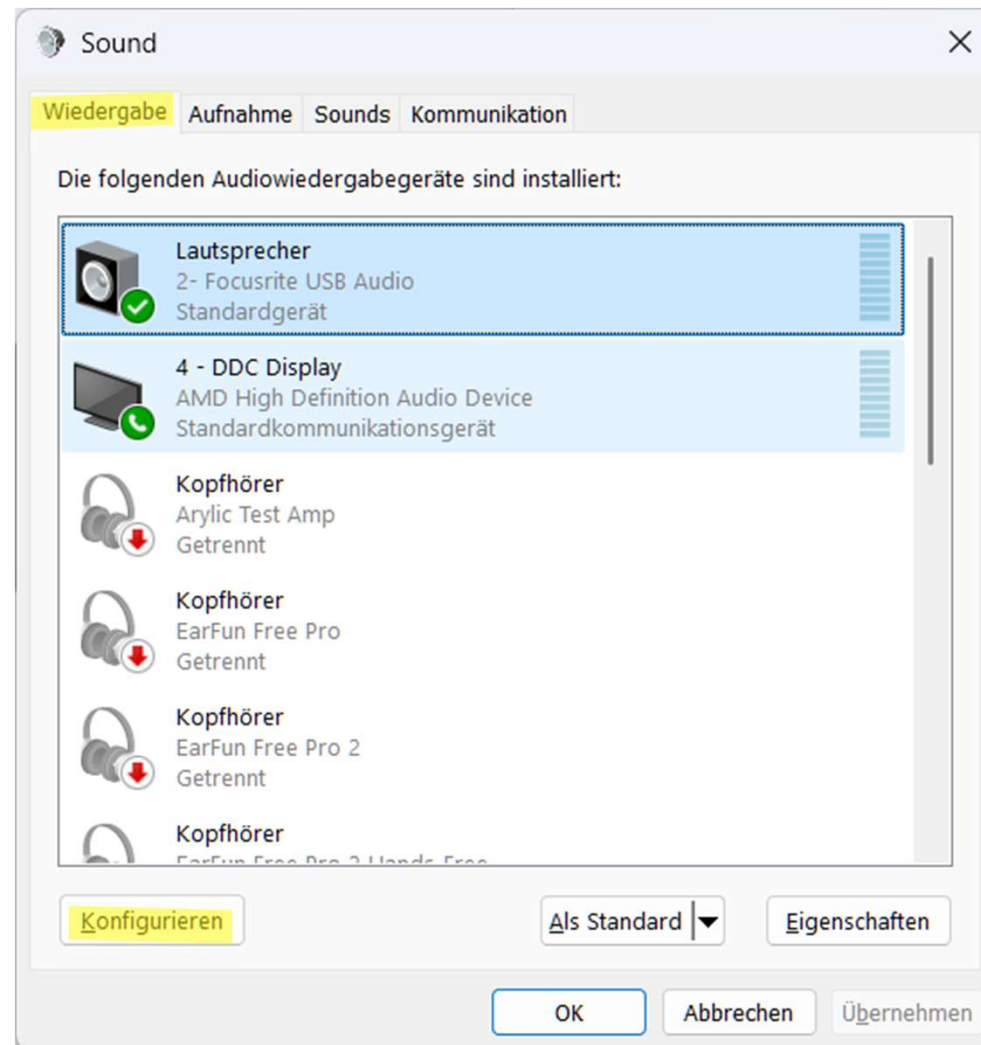
Hinweis: ASIO vs. JAVA

- Wenn möglich in REW immer ASIO Treiber verwenden. Damit erfolgt der Zugriff auf das Audiointerface direkt.
- Achtung bei der Verwendung von JAVA in REW (z.B. in Verbindung mit einem miniDSP UMIK-1 Mikrofon). Die Windows-Einstellungen für das Audiointerface sind aktiv.
- Im Folgenden werden die korrekten Windows-Einstellungen in der Windows Systemsteuerung gezeigt, die bei Verwendung von JAVA gesetzt sein sollen.
- Bei Verwendung von ASIO sind diese Einstellungen egal.

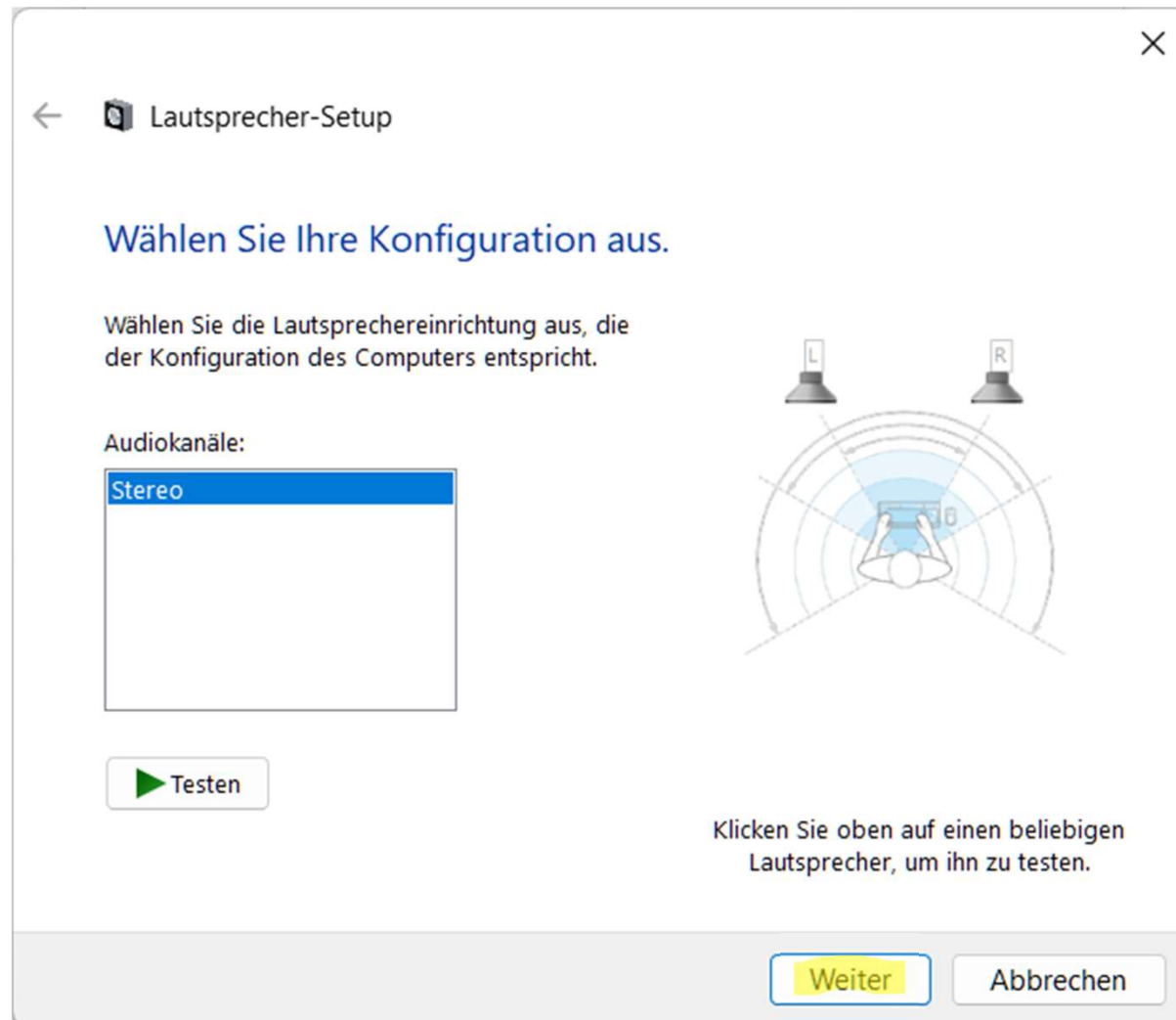
Systemsteuerung - Sound



Sound – Wiedergabe - Konfigurieren



Konfiguration 1 - Stereo - Weiter



Konfiguration 2 - Vollspektrum

← 🔊 Lautsprecher-Setup ✕

Wählen Sie Vollspektrum-Lautsprecher aus.

Satellitenlautsprecher haben meist einen begrenzten dynamischen Bereich und müssen mit einem Subwoofer verwendet werden. Wenn Ihre Konfiguration Vollspektrum-Lautsprecher umfasst, wählen Sie diese aus.

Vollspektrum-Lautsprecher:

☒ Vorne links und rechts

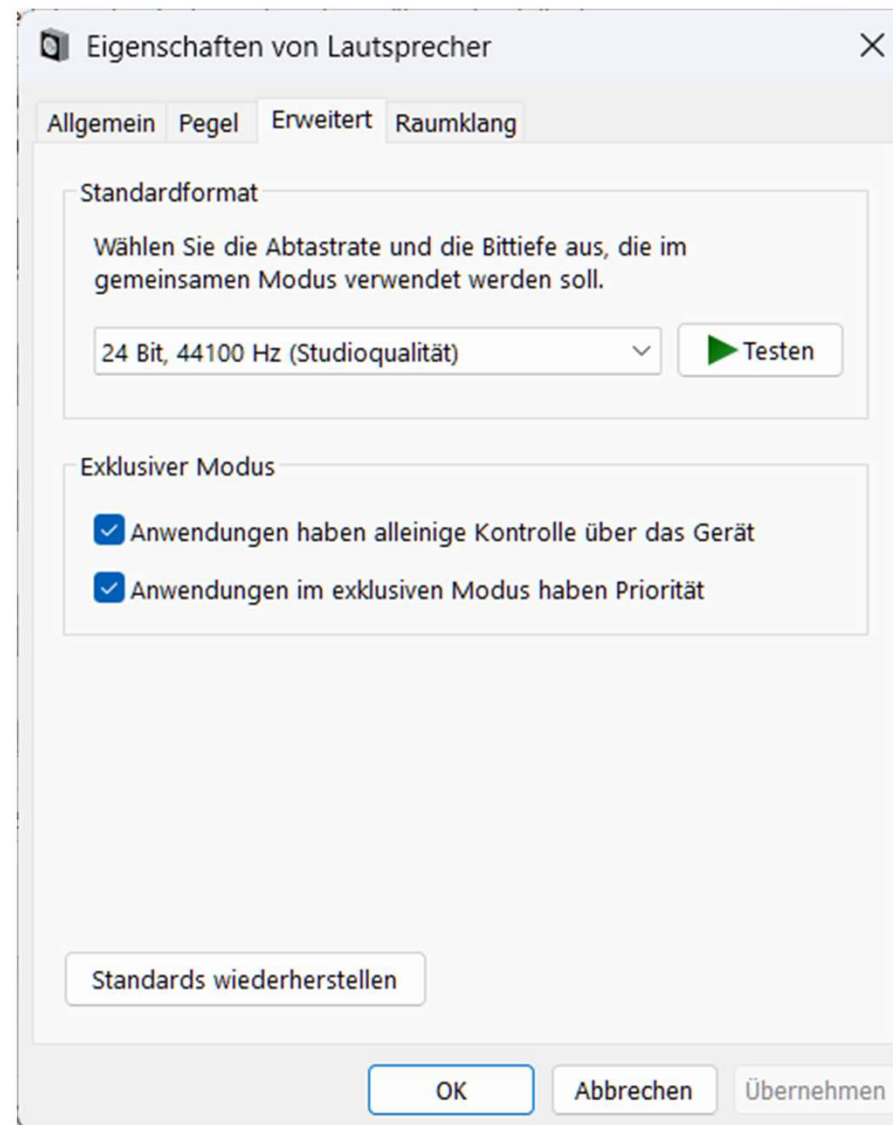
☐ Surround-Lautsprecher



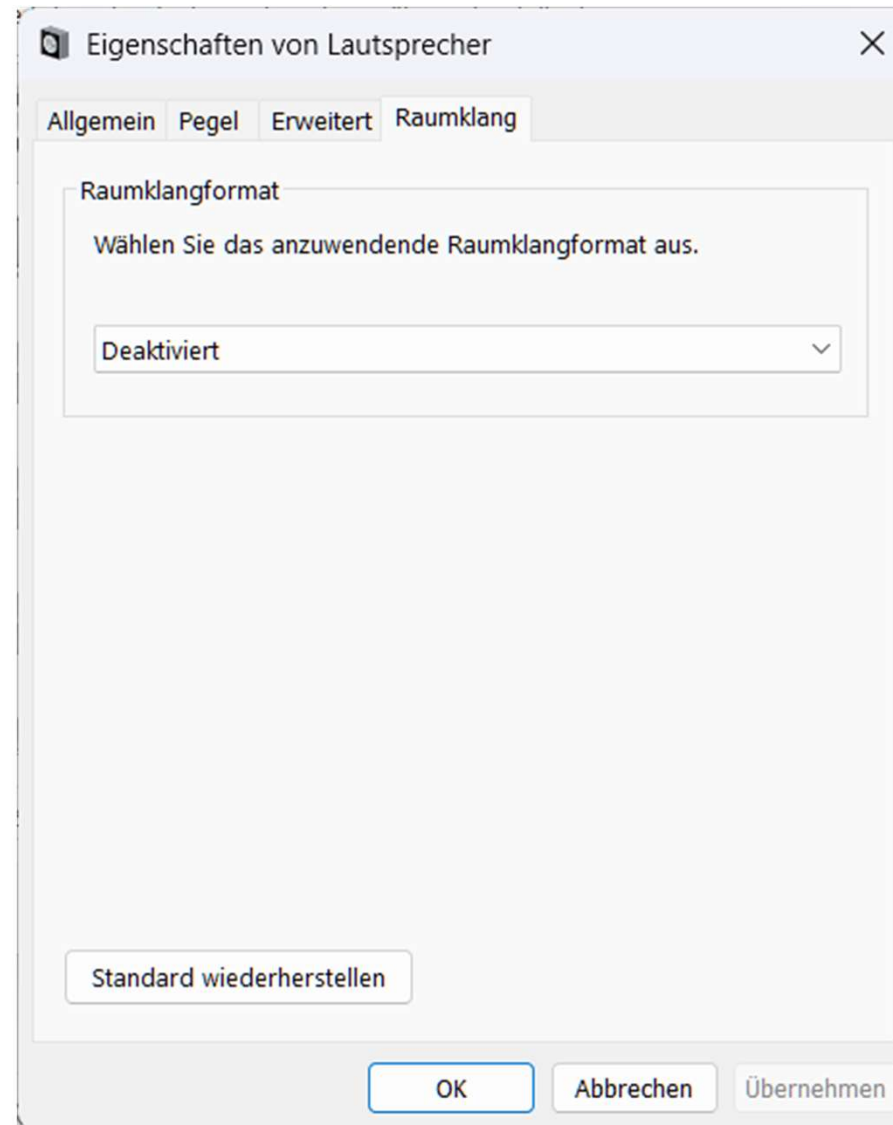
Klicken Sie zum Testen auf einen beliebigen Lautsprecher.

Weiter Abbrechen

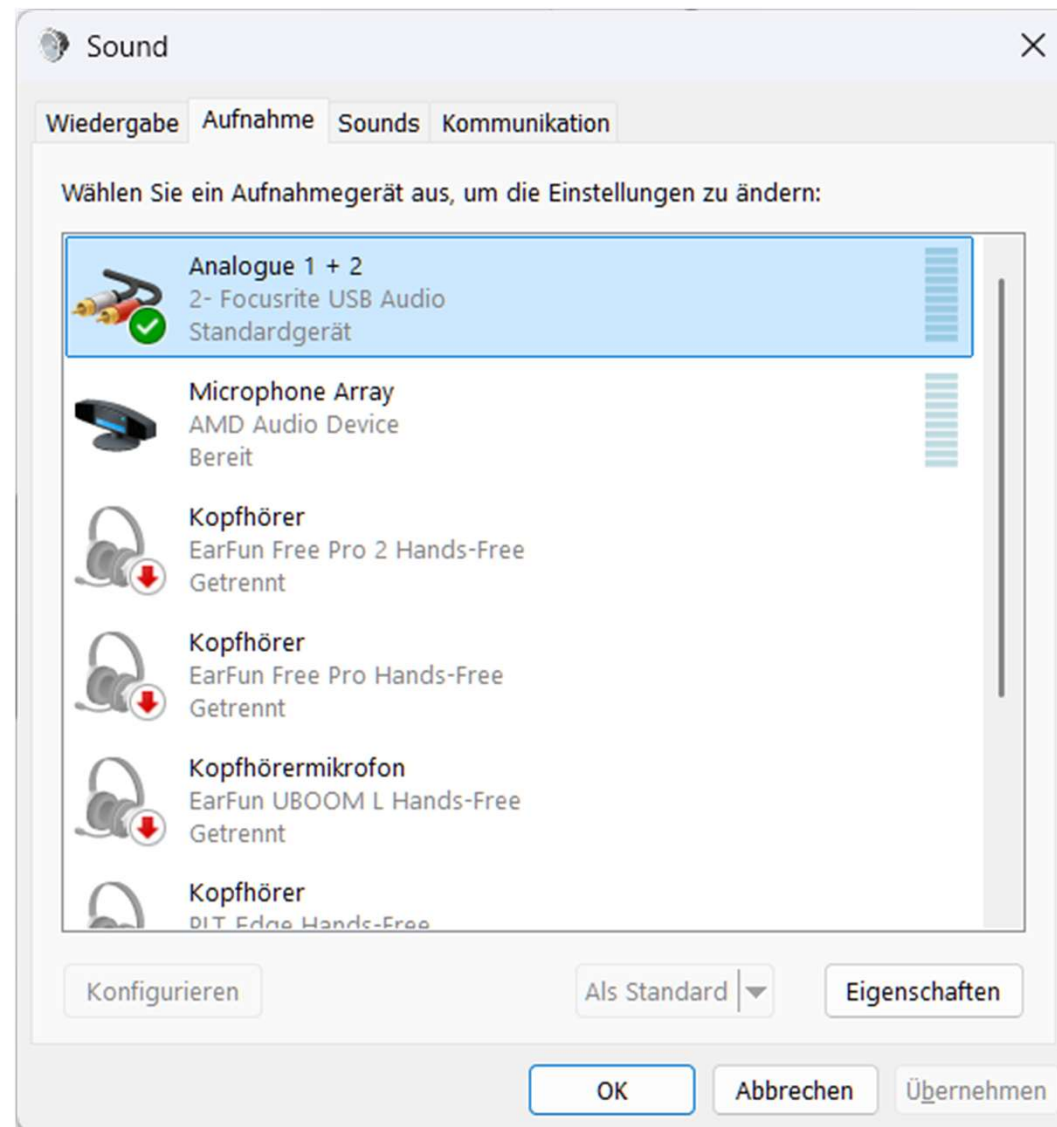
Eigenschaften - Erweitert



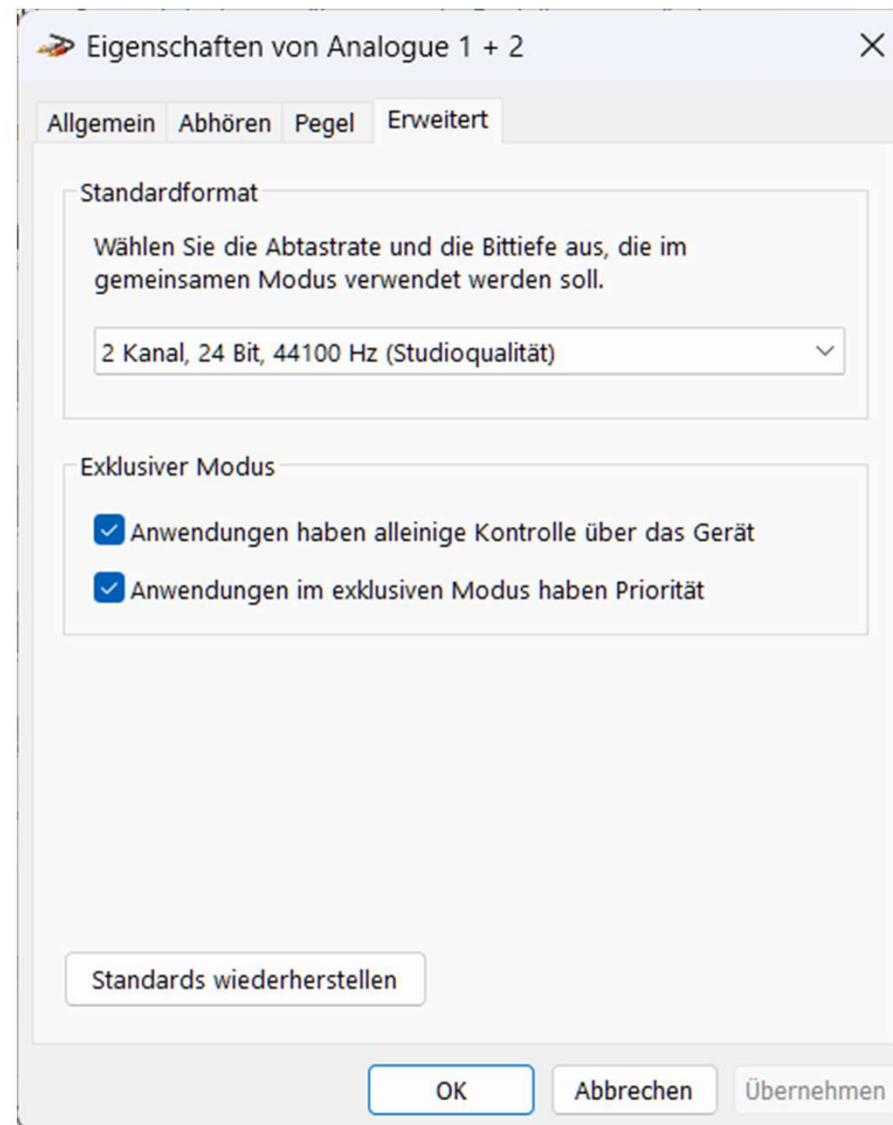
Eigenschaften - Raumklang



Sound - Aufnahme



Eigenschaften - Erweitert



Voreinstellungen

Room EQ Wizard (REW)

REW – Preferences - Soundcard

Preferences

Soundcard | Cal files | Comms | API | Analysis | Equaliser | View

Drivers

ASIO ▾

Sample rate

44.1 kHz ▾

ASIO Device

Focusrite USB ASIO ▾

ASIO Control Panel Reload

Output

1: Output 1 ▾

Secondary output

☒ 2: Output 2 ▾

Timing reference output

2: Output 2 ▾

Input options

☐ Invert

☐ High pass

☐ Treat 32-bit data as 24-bit

Sweep level: -15,0 dBFS

Input

2: Input 2 ▾

☐ Virtual balanced input Diff ▾

Loopback input

1: Input 1 ▾

Soundcard calibration

Focusrite USB ASIO at 44.1 kHz

focusrite-scarlett-solo-4thgen-44.1.cal

Calibrate soundcard...

Make cal file...

Levels

Use main speaker test signal to check levels ▾ Check levels... Generate debug file...

☐ Use pink periodic noise for level checks throughout REW

Out

0 -10 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80 -90 -100 dBFS

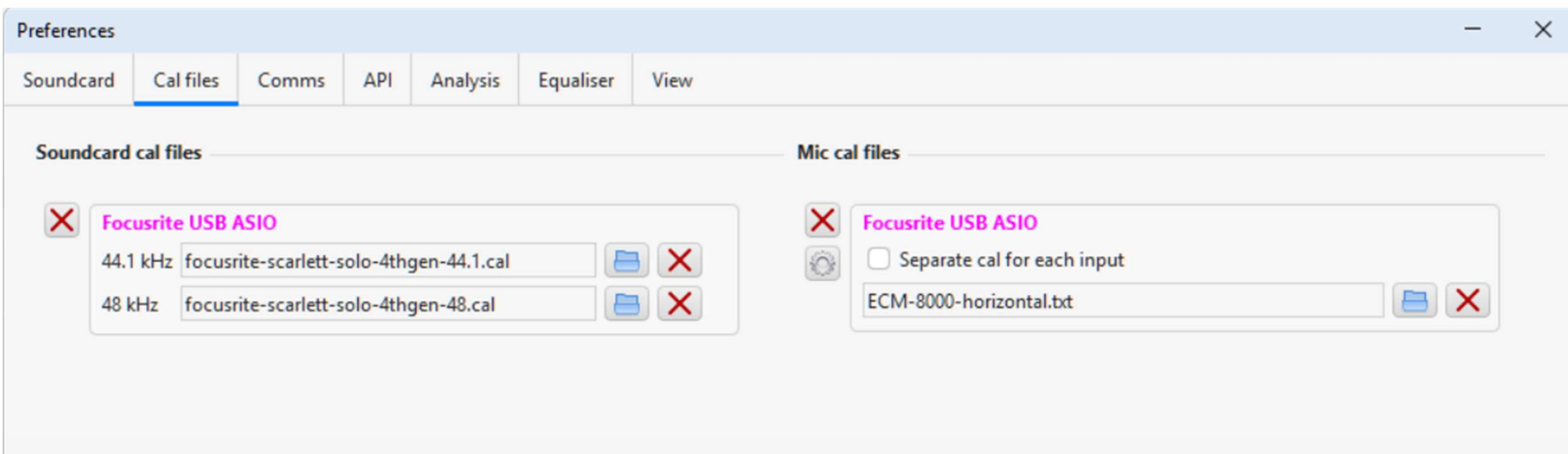
In

0 -10 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80 -90 -100 dBFS

Ref In

0 -10 -20 -30 -40 -50 -60 -70 -80 -90 -100 dBFS

REW – Preferences – Cal files



REW – Preferences – Analysis

Preferences

Soundcard Cal files Comms API **Analysis** Equaliser View

Impulse response window defaults

Left side	Right side	IR decay/waterfall left	IR decay/waterfall right
Rectangular ▼	Rectangular ▼	Hann ▼	Tukey 0.25 ▼
☐ Set window widths automatically			
Default width (ms) 500 ▴ ▾	Default width (ms) 1.000 ▴ ▾		
☐ Add frequency dependent window	15 cycles ▴ ▾		
☐ Add multi-time window	Multi-time 1.000 .. 1,1 ms ▼		

Impulse response calculation

Truncate IR after 1.7 s ▼	☐ Decimate IR
For imports set t=0 at impulse peak ▼	☒ Adjust clock with acoustic ref
IR oversampler: Windowed sinc ▼	☒ Adjust clock with loopback
☒ Loopback delay reference is IR peak	☒ Align IR peak
Set FSAF folder	☒ Align t=0 to a sampling instant

Frequency response calculation

☐ Allow 96 PPO log spacing	No smoothing ▼
☐ Show response below window limit	
☒ Use right window width for min valid frequency	
☒ Limit cal data boost to 20 dB	☐ Apply cal files to distortion

REW – Preferences – View

Preferences

Soundcard Cal files Comms API Analysis Equaliser **View**

Graph

☐ Use thick traces

☒ Use antialiasing for traces

☐ Use thicker traces for averages

☐ Show aspect ratio dB/decade

Freq axis start (Hz)

Freq axis preset 1 L

Freq axis preset 1 R

☒ Enable mousewheel zoom

☐ Limit mousewheel zoom rate

☒ Save trace colour with measurement

☐ Use large icons

Trace highlight options

☐ Show watermark text on graphs

Enter watermark text

Watermark opacity:

Default trace colours

Preset 1 aspect ratio:

Preset 2 aspect ratio:

Interface

Show/hide options

☐ Disable tooltips

☐ Opaque control panels

☒ Right press to pan graph

☐ Suppress soundcard errors

☒ Animate measurements list

☒ Full scale sine rms is 0 dBFS

☒ Mousewheel adjusts controls on hover

Window on top options

Colour scheme:

Distance units:

Speed of sound (m/s):

Tuning frequency (Hz):

Octave notation:

*Font options

*Maximum measurements:

*Max RTA inputs (Pro):

*Max level meters inputs (Pro):

☐ *Use English in the UI

Settings marked * are applied after restart

REW - Measure

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: ☐ Add number ☐ Add date/time ☒ Use as entered

Will appear as: ☒ Prefix with output ☐ Append level

☐ Add to group New group...

Notes:

☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq End Freq Hz

Level: RMS ☐ dBu ☐ dBV ☐ Volts ☒ dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN

Ready to measure...

Input:

Settings: Length Repetitions 5,9 s

Timing:

Playback: **From REW** From file

Sample rate:

Mode:

Setup:

Output:

Sec. output: ☐

Options:

☒ Capture noise floor

Input:

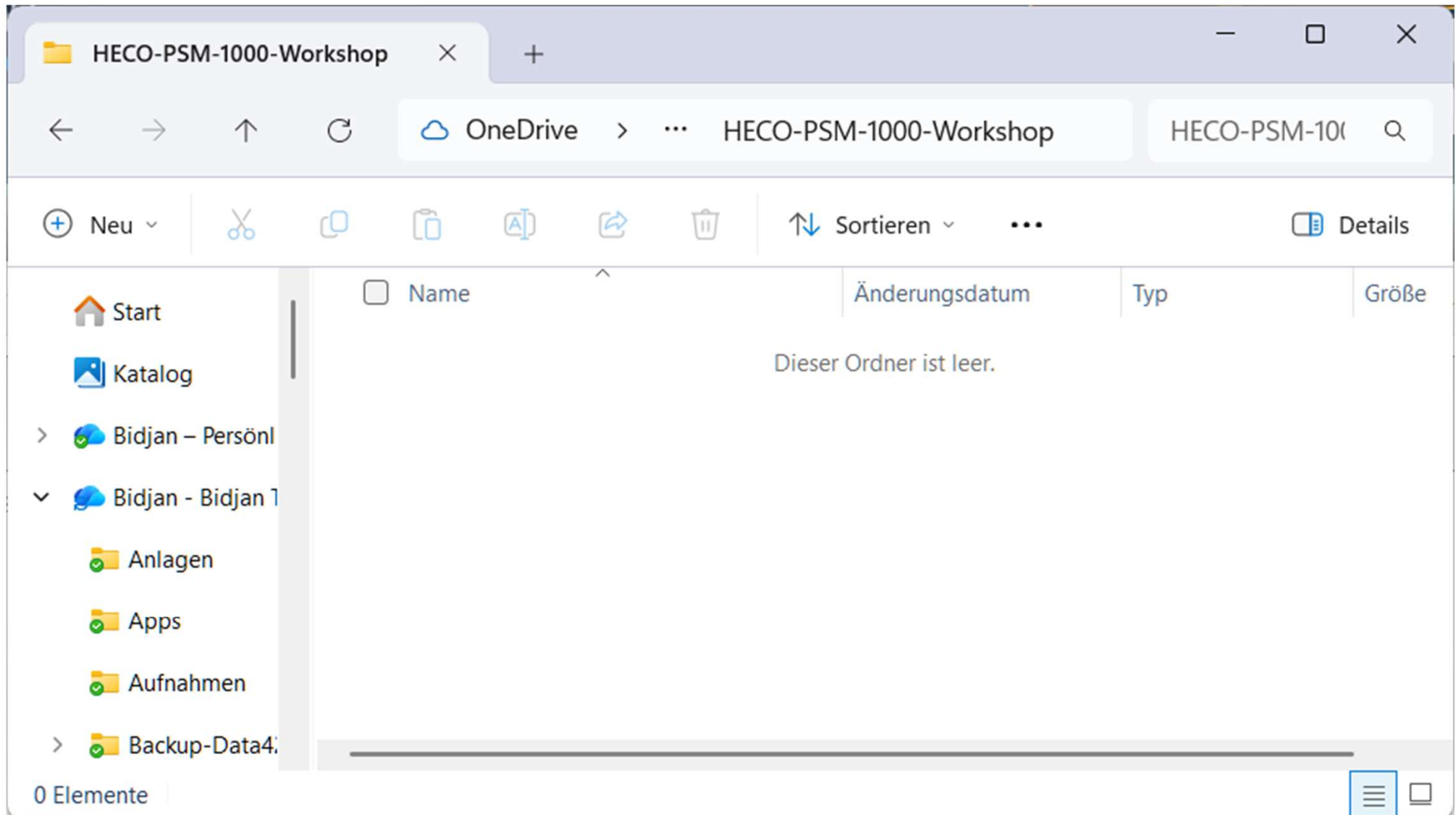
Beispielprojekt HECO PSM 1000

**Arbeitsverzeichnis und Dateien
rePhase**

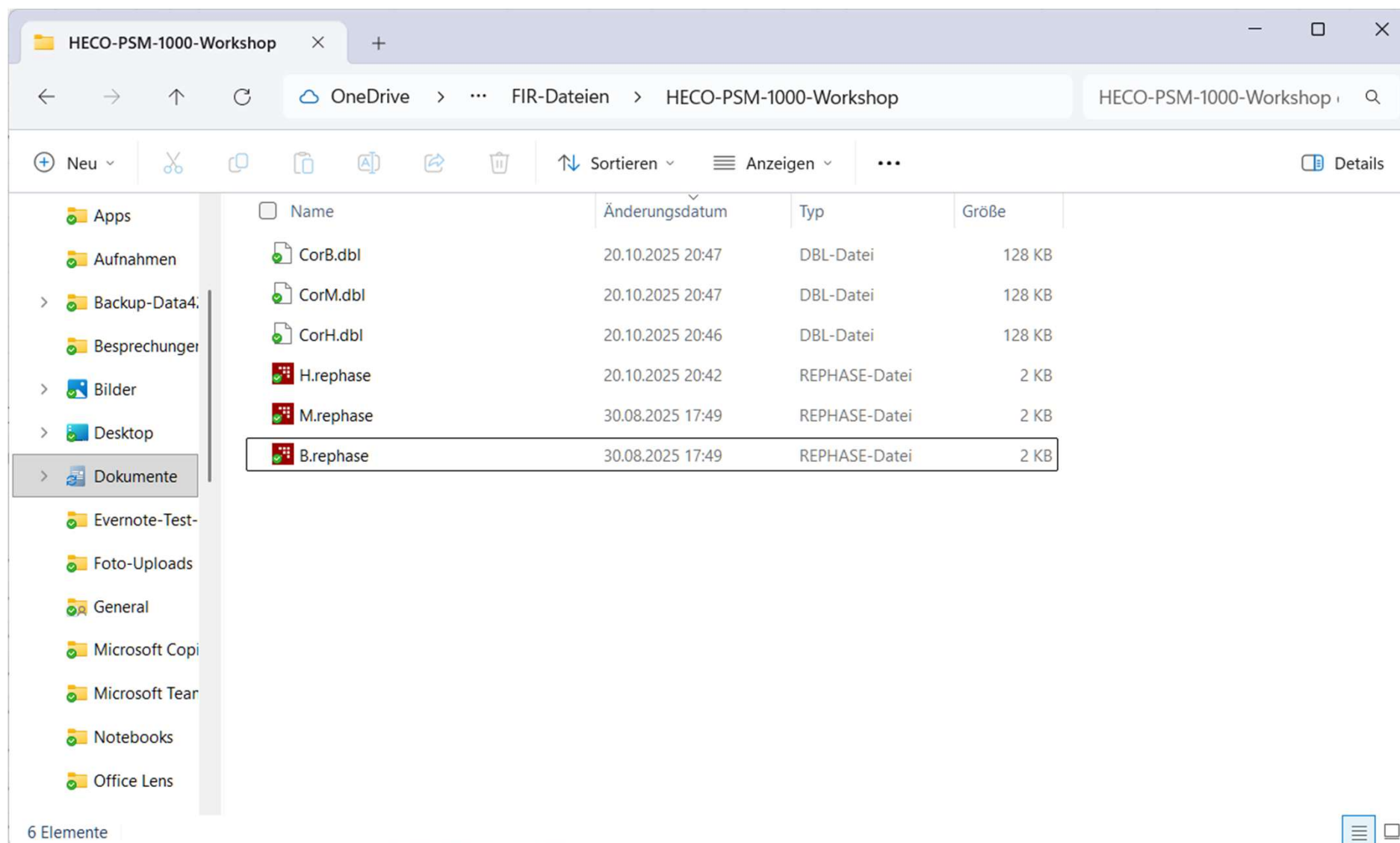
Vorbemerkung: Warum die HECO?

- Es ist ein 3-Wege System und damit nicht zu einfach.
- Die Treiber der HECO spielen unkorrigiert nicht besonders sauber. Daher sieht man die Effekte der Korrekturen gut.
- Die HECO ist nicht spiegelsymmetrisch aufgebaut. Daran kann man besondere Feinheiten der Entwicklung für Timing und Dämpfung zeigen.
- Sie ist ein schönes Beispiel für Vintage und Nachhaltigkeit
 - Baujahr 1980/1981
 - Straßenpreis zwischen 50 und 150 Euro
 - passiv absolut kein Überflieger

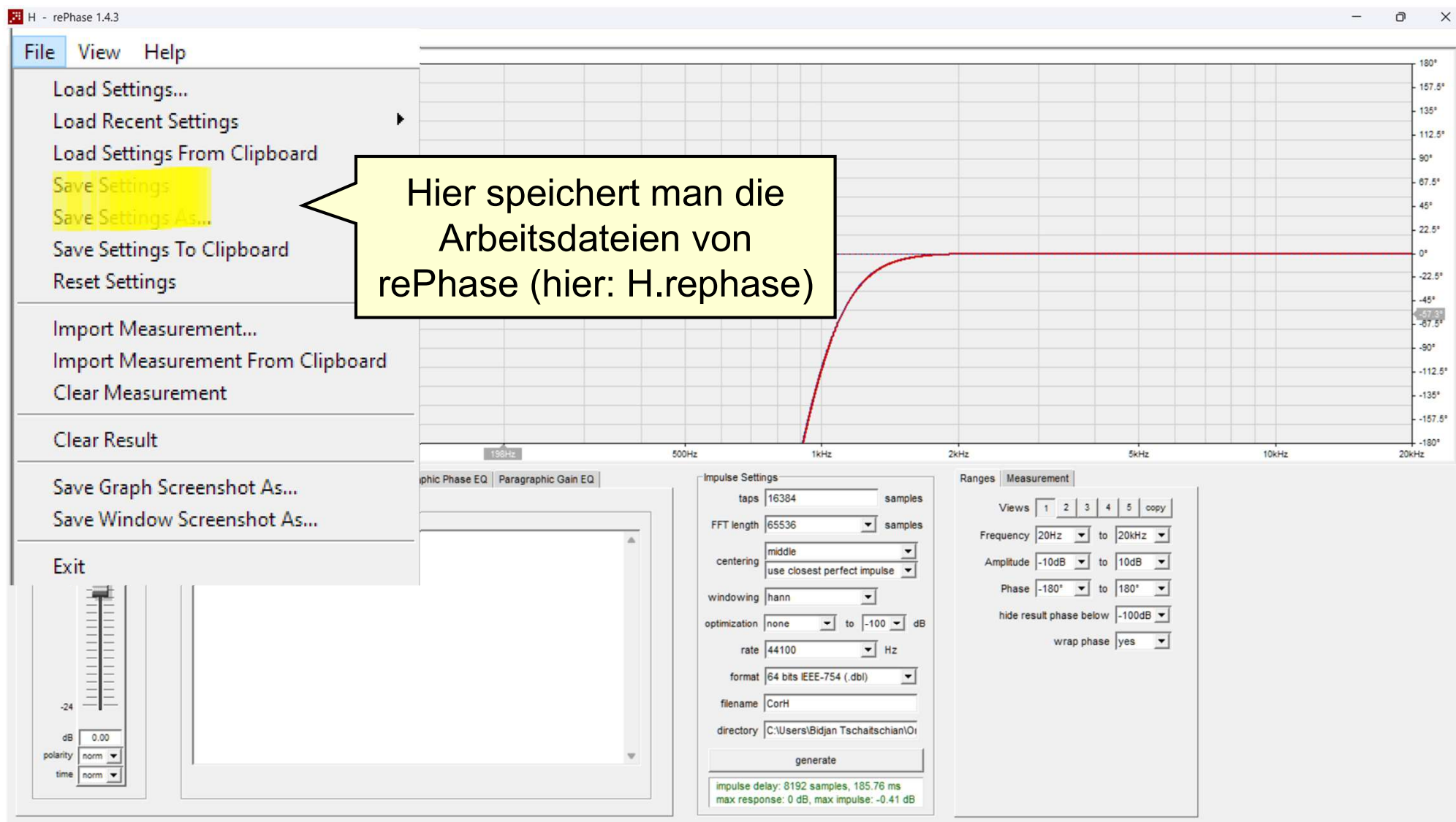
Arbeitsverzeichnis einrichten



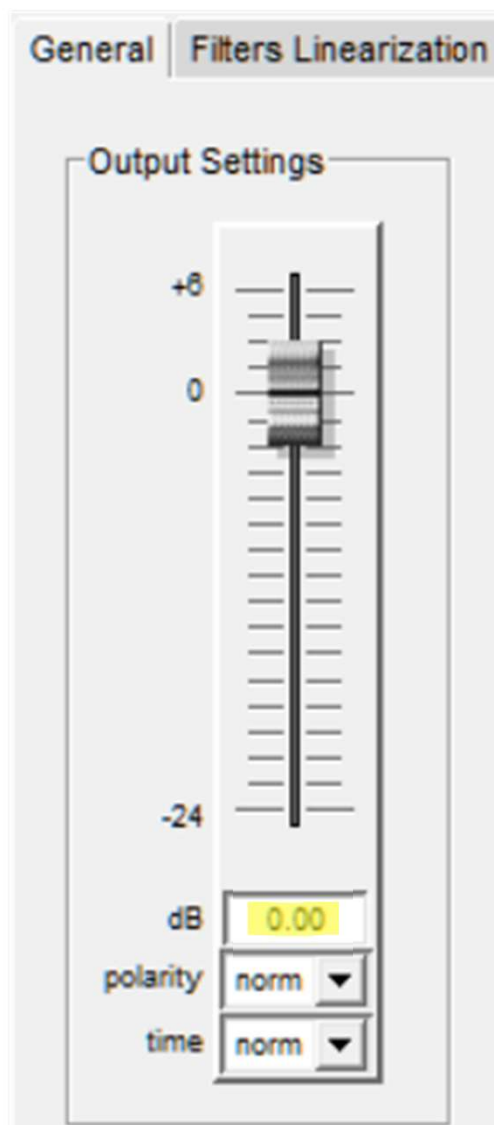
rePhase Dateien und Filter erstellen



rePhase Hochtöner - H



rePhase H – General 0.00dB



rePhase H – Linear-Phase Filters

General | Filters Linearization | **Linear-Phase Filters** | Minimum-Phase Filters | Paragraphic Phase EQ | Paragraphic Gain EQ

Linear-Phase Filters

type	shape	param	freq
high-pass ▼	Linkwitz-Riley ▼	48 dB/oct	1000 Hz
high-pass ▼			
high-pass ▼			
high-pass ▼			
high-pass ▼			
high-pass ▼			
high-pass ▼			
high-pass ▼			

high-pass setzen für
Treiber, die beim Messen
nicht mit niedrigen
Frequenzen belastet
werden sollen

Tips

Check for amplitude ripples down to your noise floor using a large range in the graph, and try different windowing (blackman or nuttall should give good results) and optimization settings.

When using Brickwall filters, make sure you use the same taps, centering and windowing settings for both sides of the crossover or complementarity will be lost.

rePhase H – Basiseinstellungen Filter

Impulse Settings

taps samples

FFT length samples

centering

windowing

optimization to dB

rate Hz

format

filename

directory

impulse delay: 8192 samples, 185.76 ms
max response: 0 dB, max impulse: -0.41 dB

Per „generate“ wird der Filter CorH.dbl erstellt und im Arbeitsverzeichnis gespeichert

Wir nutzen vorgegebene Filternamen: CorH (für M, G, B entsprechend CorM, CorG, CorB)

rePhase H – Basiseinstellungen Anzeige

Ranges | **Measurement**

Views

Frequency ▼ to ▼

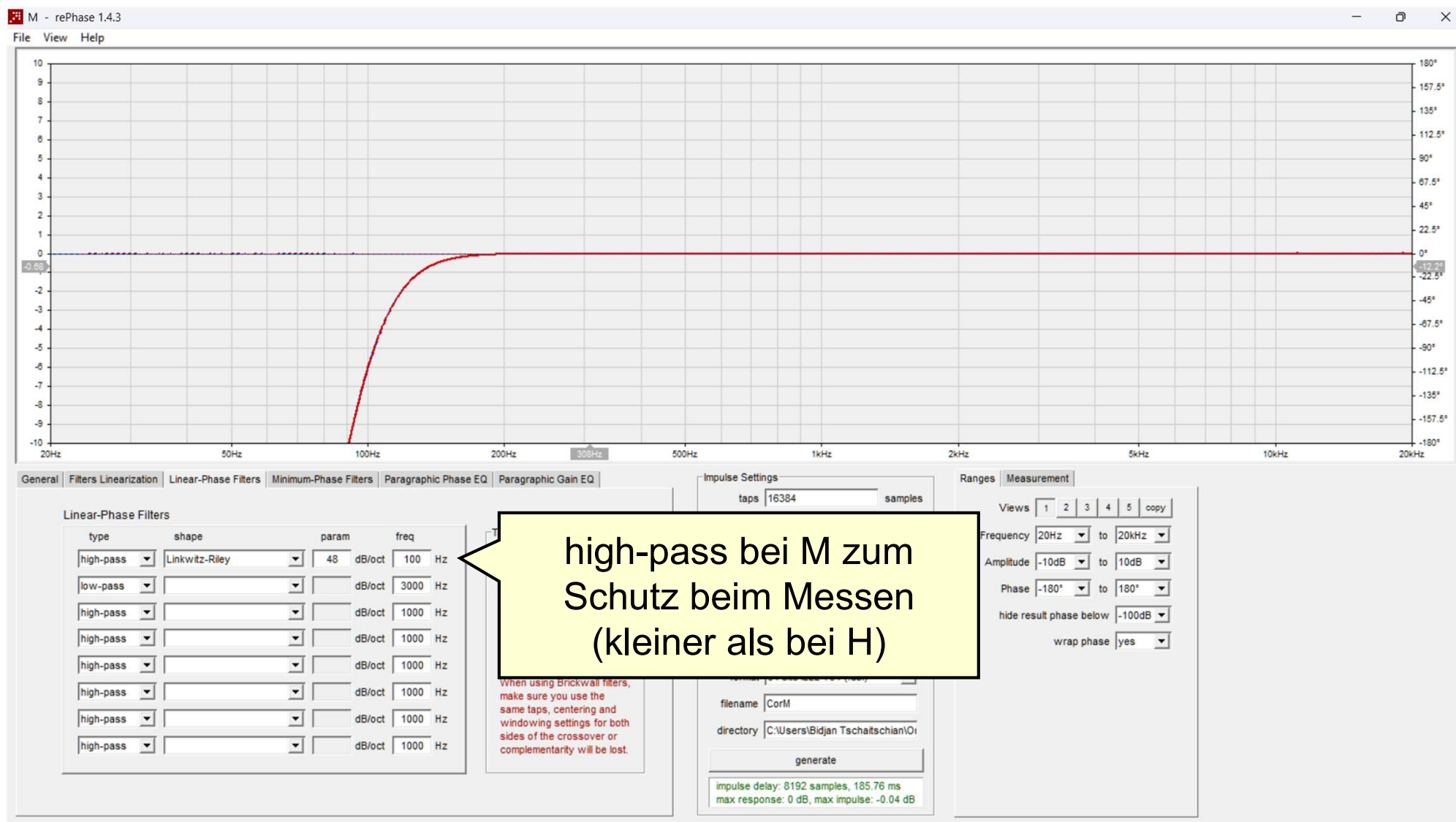
Amplitude ▼ to ▼

Phase ▼ to ▼

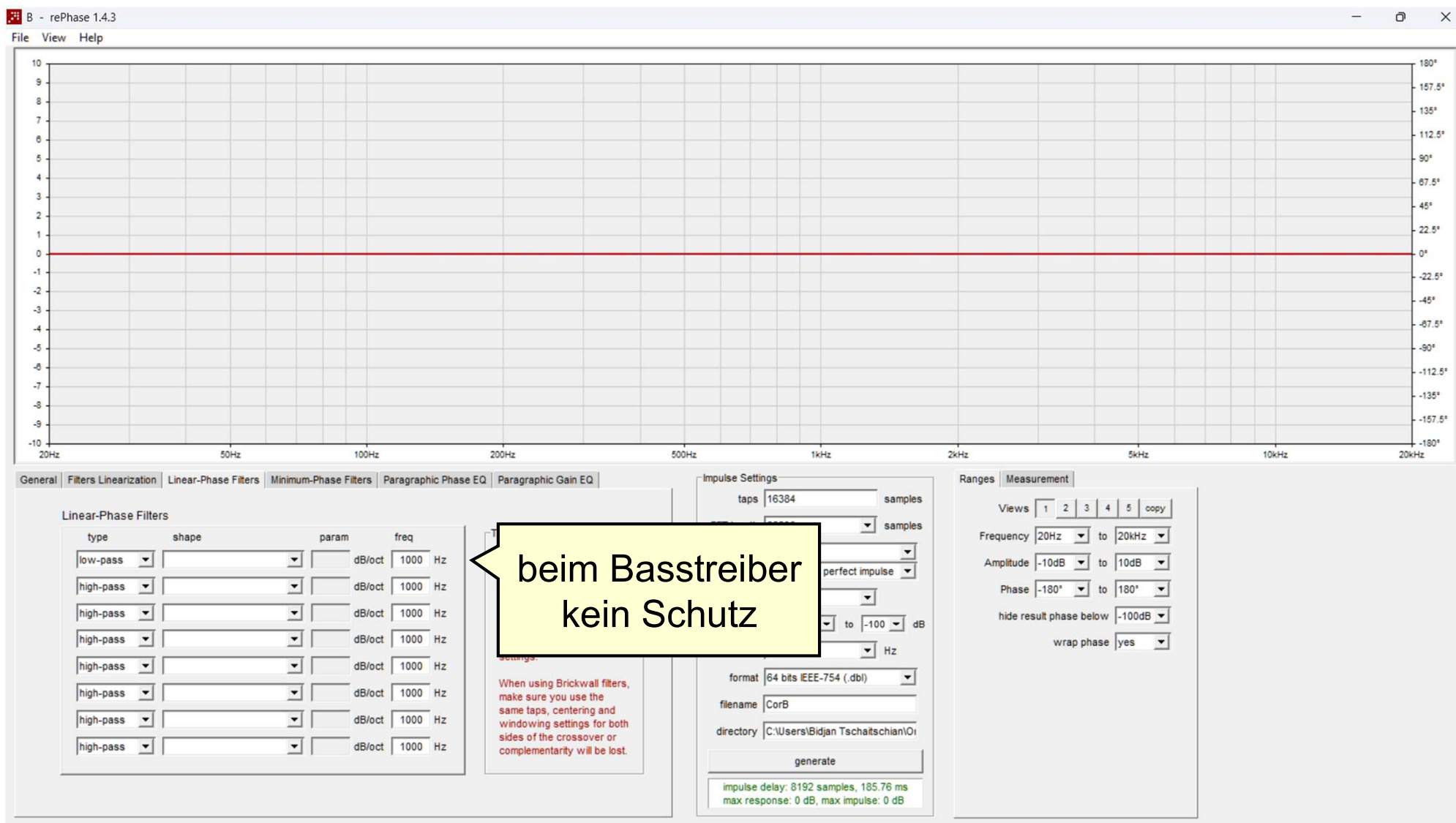
hide result phase below ▼

wrap phase ▼

rePhase Mitteltöner - M



rePhase Basstreiber - B



Beispielprojekt HECO PSM 1000

Aufstellen für die Nahfeldmessungen

Lautsprecher frei im Raum aufstellen

- Wir messen zunächst mit einem Lautsprecher,
- am besten draußen ...,
- ... oder lieber im Warmen,
- möglichst weit weg von Boden, Decke und Wänden.
- Wir wollen Raumeinflüsse durch frühe Reflexionen möglichst klein halten.

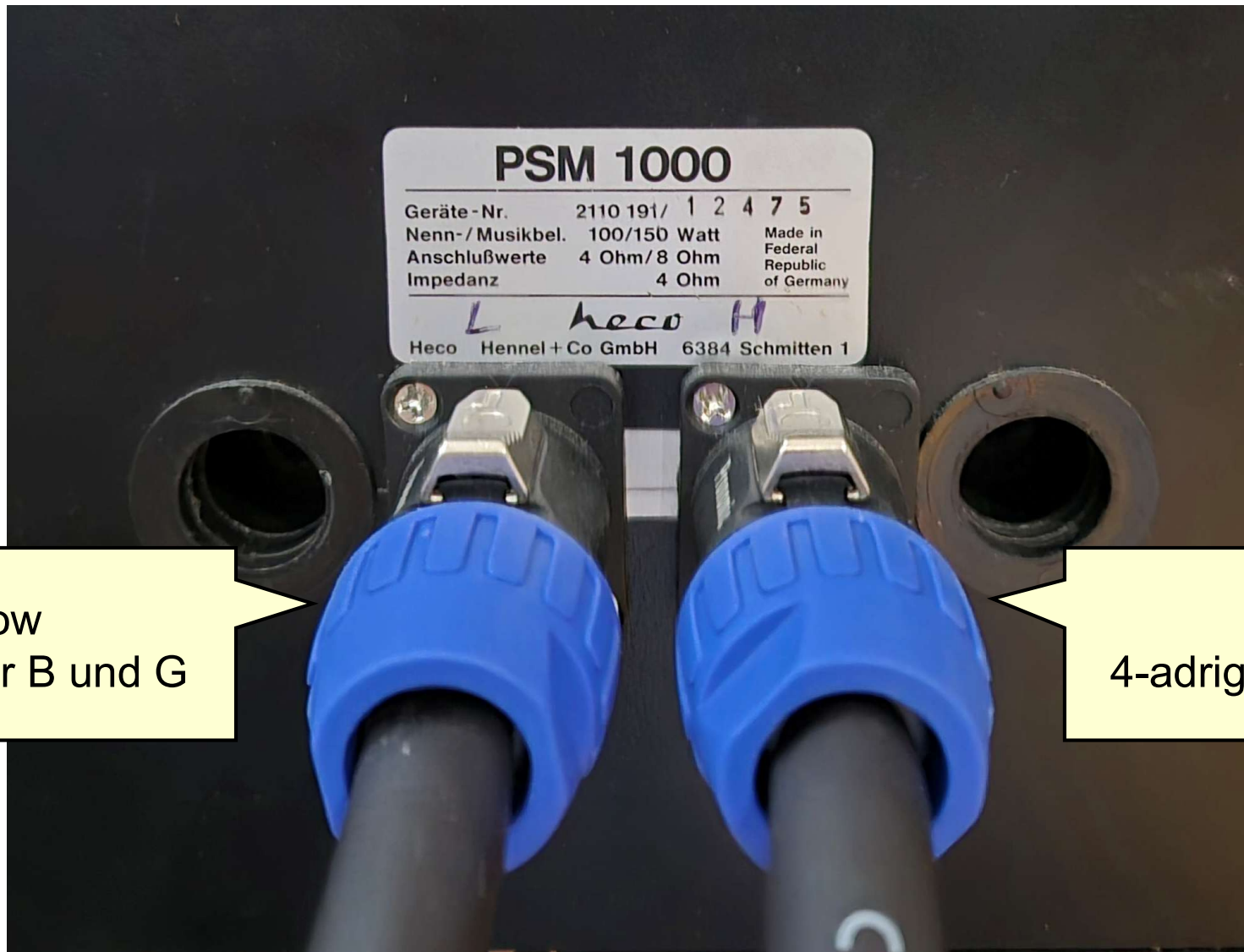
Ab auf die Werkbank mit Entkopplern



Die HECO PSM 1000 Front



Rückseite mit SpeakOns (nach Umbau)



Low
4-adrig für B und G

High
4-adrig für M und H

Kann gleich losgehen



Beispielprojekt HECO PSM 1000

**Den Lautsprecher in der
Musicwonder Software der FIR-BoxX
anlegen**

Musicwonder WebApp zur Entwicklung

- Wir arbeiten mit der WebApp von Musicwonder.
- In unserem Beispiel heißt unsere FIR-BoxX „musicwonder-3004“. Das ist der Hostname.
- Im Browser folgendes eingeben:
<http://musicwonder-3004.local/developer/>
- Es öffnet sich eine Seite mit den Bereichen Common, Settings, Speaker und Filter.

Übersicht aller Bereiche

Common

Standby ☐

Hostname

Brand

Settings

Status BruteFIR ☒

Input ☒

Allow filter bypass ☐

Volume

Startvol

Speaker

Speaker

Profile

Tuning

Voicing

Partitions

H (SpeakOn High 2) ☐

M (SpeakOn High 1) ☐

G (SpeakOn Low 2) ☐

B (SpeakOn Low 1) ☒

☐ L/R

☐ L/R

☐ L/R

☐ L/R

Filter

B ☒ att del

Os: 0.9.9.6, Fw: 2.13

Settings

Settings

Status Brutefir



Input

LINE 1



rename



Allow filter bypass



Volume



0

Startvol



40

Wir arbeiten mit dem
ersten Analogeingang

Speaker – wir legen einen neuen an

Speaker

Speaker	Default		
Profile	+ new Speaker		
	rename Speaker		
Tuning	copy Speaker		
	delete Speaker		
Voicing	Altona		
Partitions	Default		
H (SpeakOn	heco PSM 1000	☐	L/R
	Scott-176	☐	
M (SpeakOn High 1)		☐	L/R
G (SpeakOn Low 2)		☐	L/R
B (SpeakOn Low 1)		☒	L/R

Wir suchen einen passenden Namen aus

Auf musicwonder-3004.local wird Folgendes angezeigt:

Enter new speaker name:

HECO PSM 1000 DIY|

OK

Abbrechen

Wir aktivieren H, M und B (3-Wege)

Speaker

Speaker HECO PSM 1000 DI' ▾

Profile Default ▾

Tuning none ▾

Voicing none ▾

Partitions 16 ▾

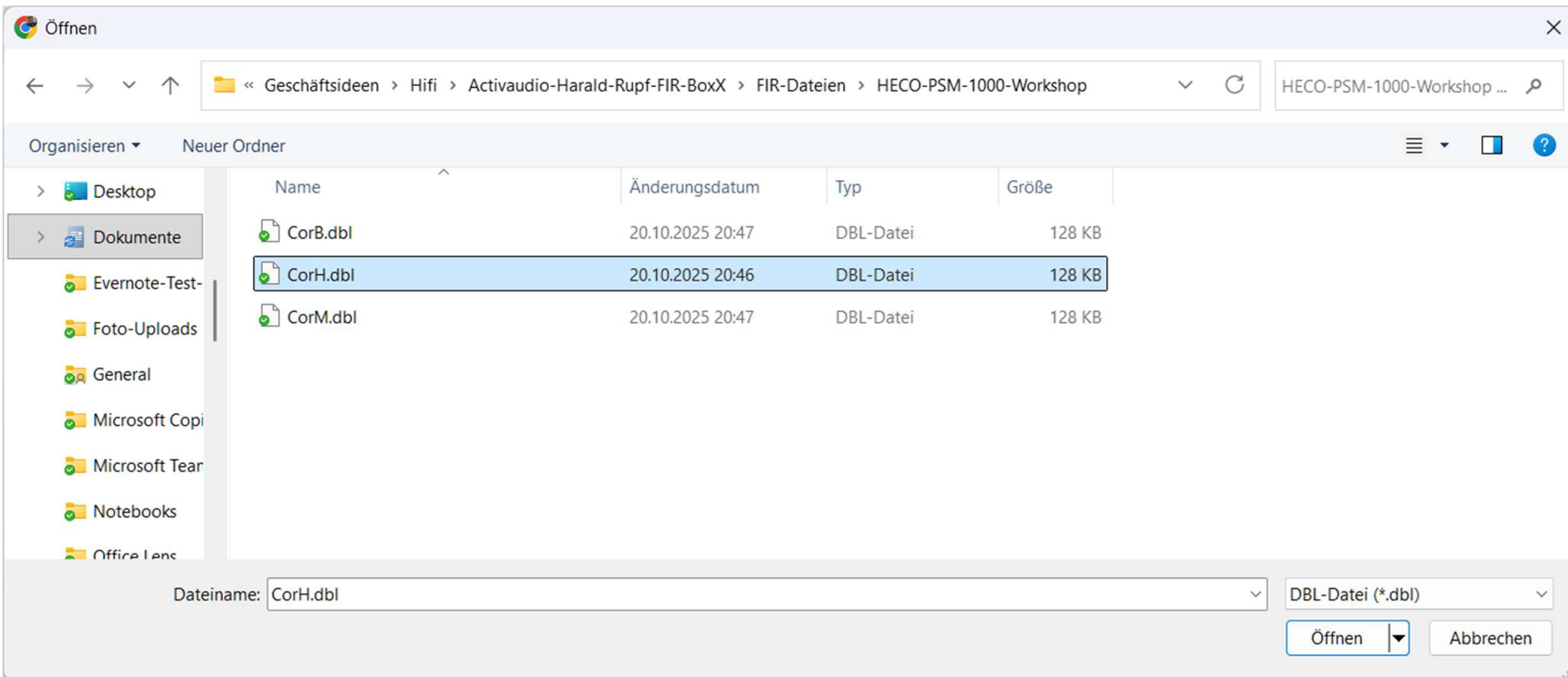
H (SpeakOn High 2)	☒	☐ L/R
M (SpeakOn High 1)	☒	☐ L/R
G (SpeakOn Low 2)	☐	☐ L/R
B (SpeakOn Low 1)	☒	☐ L/R

Wir laden unsere Basisfilter hoch

Filter

H	CorH.dbl		att 3	del 0
M	CorH.dbl		att 3	del 0
B	 delete filter		att 3	del 0
	 bypass filter			

Aus unserem Arbeitsverzeichnis



Startklar – die Filter sind aktiv

Filter

H	CorH.dbf	☒	att 3	del 0
M	CorM.dbf	☒	att 3	del 0
B	CorB.dbf	☒	att 3	del 0

Dämpfung
(Attenuation)
Default: 3 dB

Delays
Default: 0 Samples

Zwischenstand – gut vorbereitet

- Hardware und Software laufen und sind eingerichtet.
- rePhase Arbeitsdateien und erste Filter zum Messen sind erstellt.
- Die Filter sind in der FIR-BoxX geladen.
- Ein Lautsprecher und der Mikrofonständer sind geeignet aufgestellt.

Teil 1

Entwicklung aktiver Frequenzzeichen

Workflow Teil 1

Das Beste aus jedem Treiber rausholen

Messen und Linearisieren im Nahfeld

Nahfeld – WebApp

In der Musicwonder WebApp

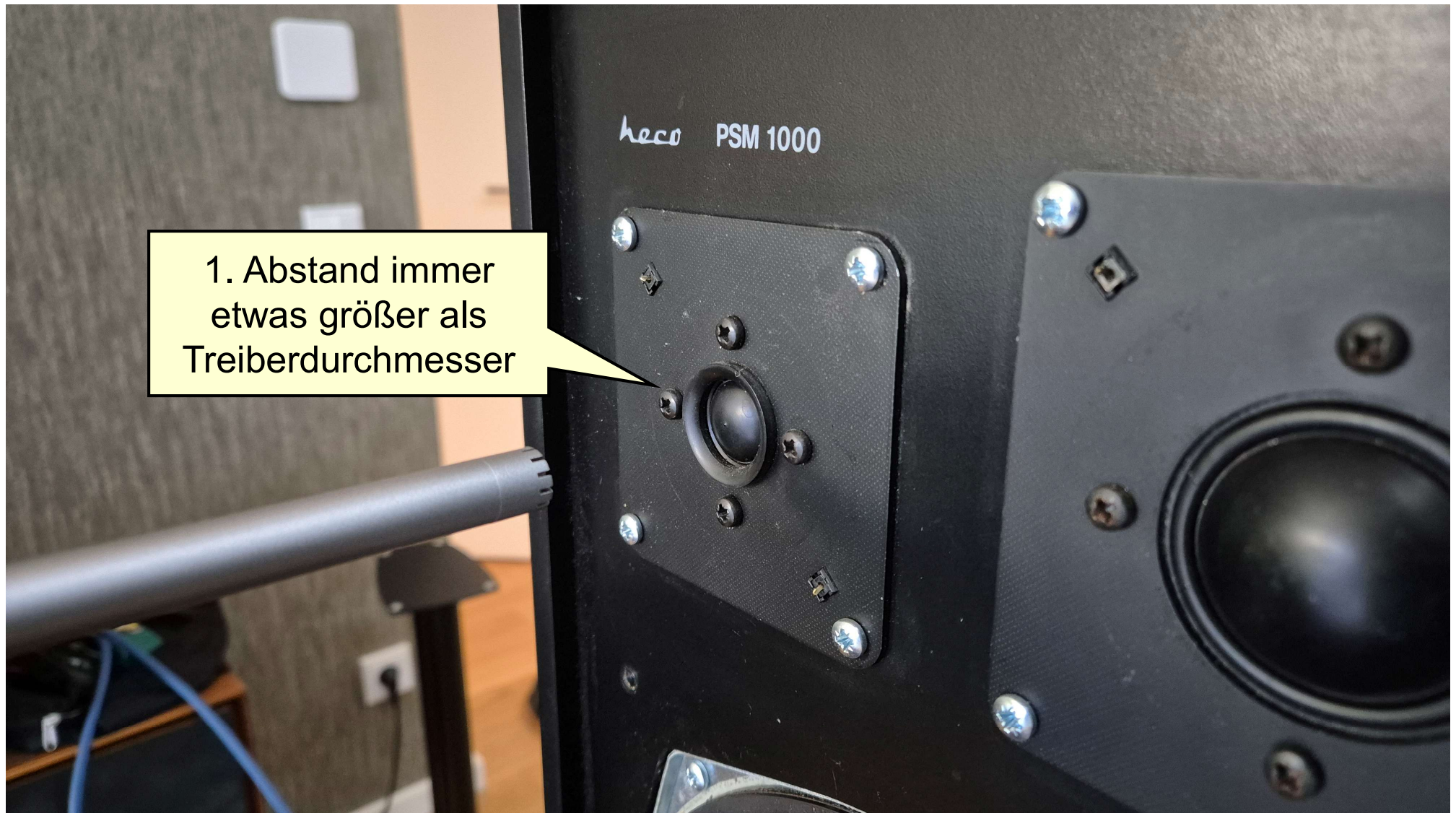
- Eingang Line 1
- Modus Endstufe, d.h. Volume auf 80 - 100%
 - Wir steuern die Lautstärke beim Arbeiten mit dem Volumeregler des Audiointerface.
- Einschalten des Treibers, der gemessen wird
- Ausschalten der Treiber, die nicht gemessen werden
- Hochladen von Filtern, wenn diese in rePhase bearbeitet wurden

Nahfeld – REW

In REW pro Treiber

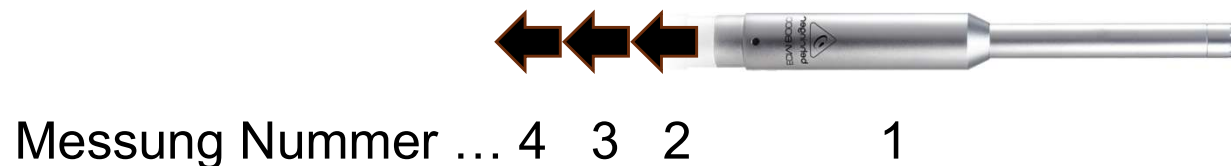
- Mehrere Messungen aus verschiedenen Abständen
- Impuls und Phase prüfen
- SPL angleichen (SPL Alignment)
- Messungen mitteln (Vector Average)
- Gemittelte Messung glätten (IR Windows, FDW)
- Messung als Referenz für den Treiber exportieren (als *.txt)

Wir starten mit H



Tipps zur Messreihe

- Startposition Mikrofon etwas größer als Treiberdurchmesser
- In REW die Anzahl der Wiederholungen angeben (3-5)
- 1 Sekunde Pause nach jeder Messung
- In der Pause Mikrofonständer um ein paar Zentimeter nach hinten ziehen



Nur den Hochtöner einschalten

Filter

H	CorH.dbl ▼	☒	att 3	del 0
M	CorM.dbl ▼	☐	att 3	del 0
B	CorB.dbl ▼	☐	att 3	del 0

Volume-Check mit SPL Meter/Generator

Pegel auf 85-90



3 Messungen – nach jeder das Mikrofon ein paar Zentimeter nach hinten ziehen

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: h ☐ Add number ☐ Add date/time ☒ Use as entered ☐ Prefix with output ☐ Append level

Will appear as: h

☐ Add to group R FIR Kombi 1 New group...

Notes:

☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq 20 End Freq 22.050 Hz

Level: -15 dBFS RMS ☐ dBu ☐ dBV ☐ Volts ☒ dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN
 No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

Input:

Settings: Length 256k Repetitions 1 5,9 s

Timing: No timing reference
 Set t=0 at IR peak

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Repeated measurements

Setup: Start delay 1 s, 3 measurements, Between delay 2

Output: 2: Output 2

Sec. output: Choose an output...

Options: None selected

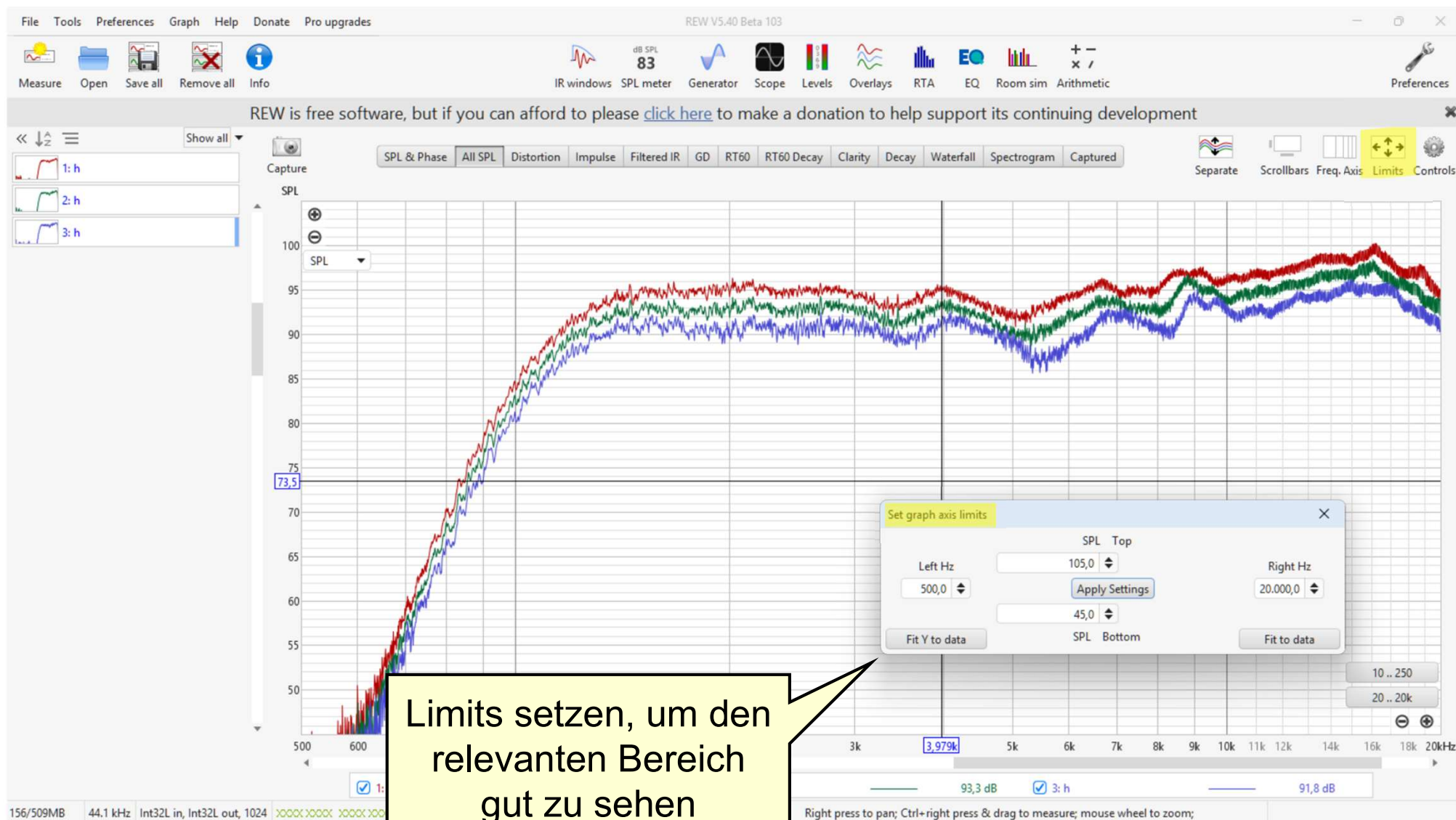
☒ Capture noise floor

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

Calibration files...

Check levels Start Abbrechen

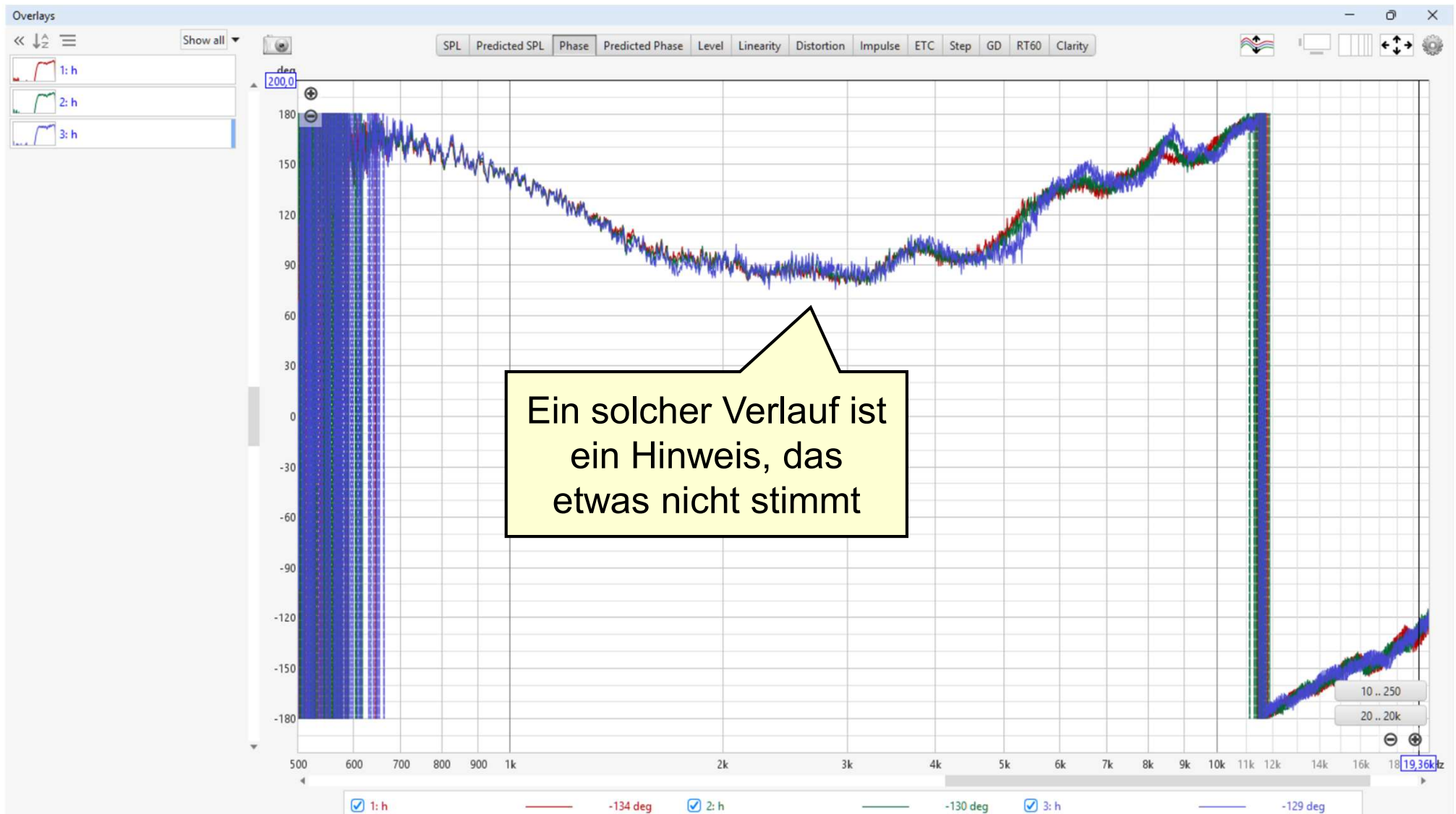
3 Messungen für den Hochtöner



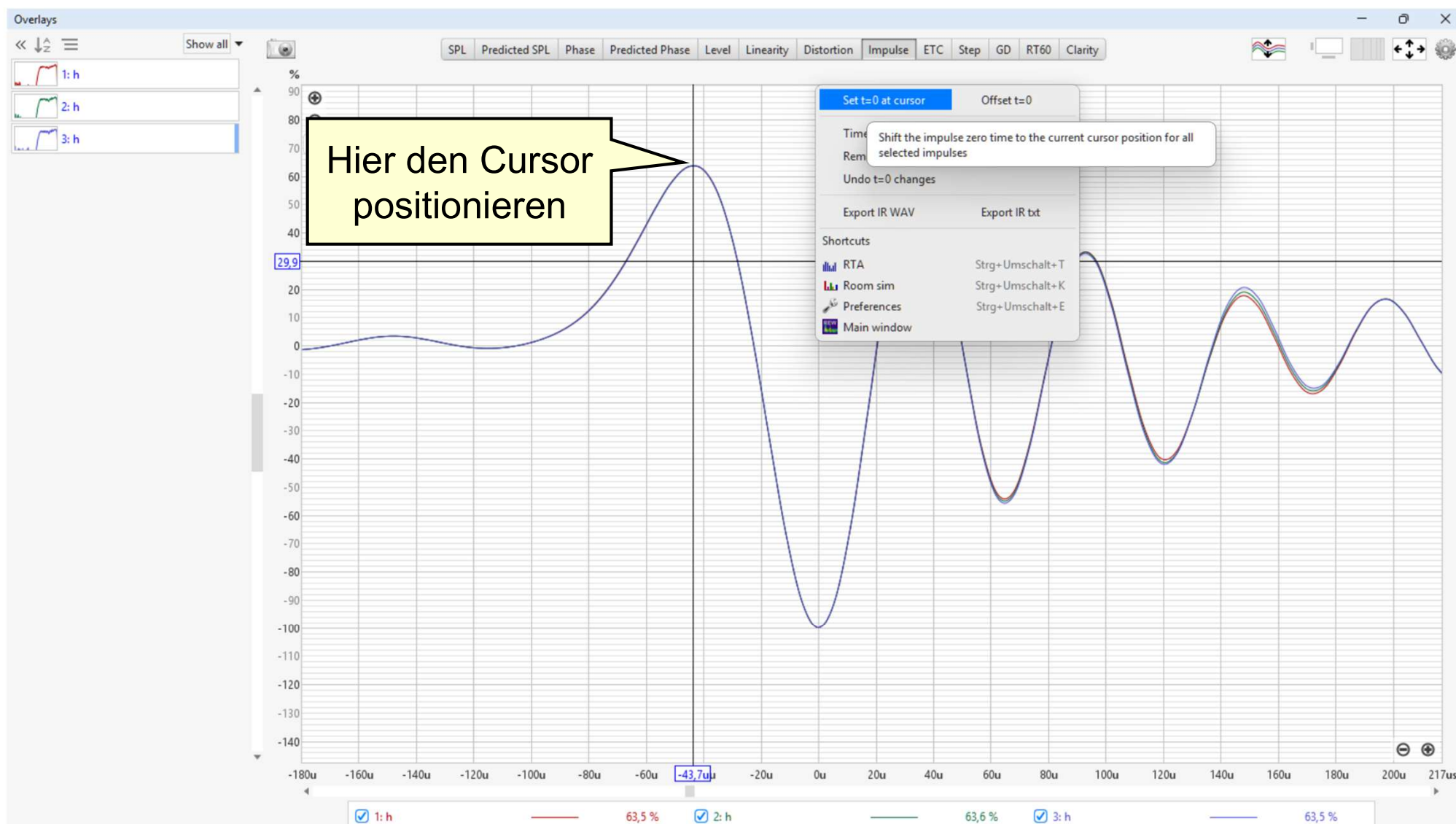
Overlay Impulse Check



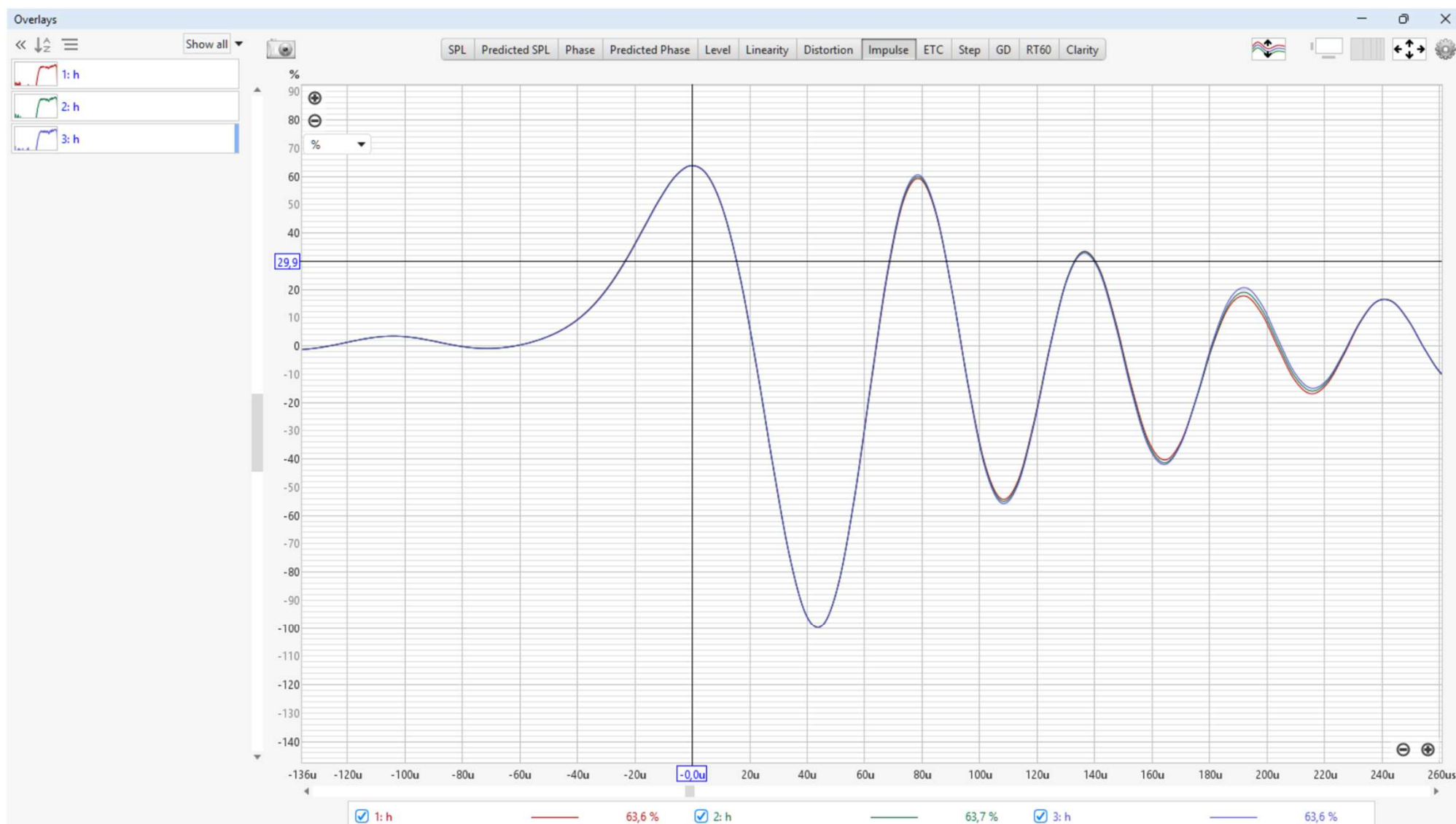
Die Phase mit $t = 0$ an der falschen Stelle



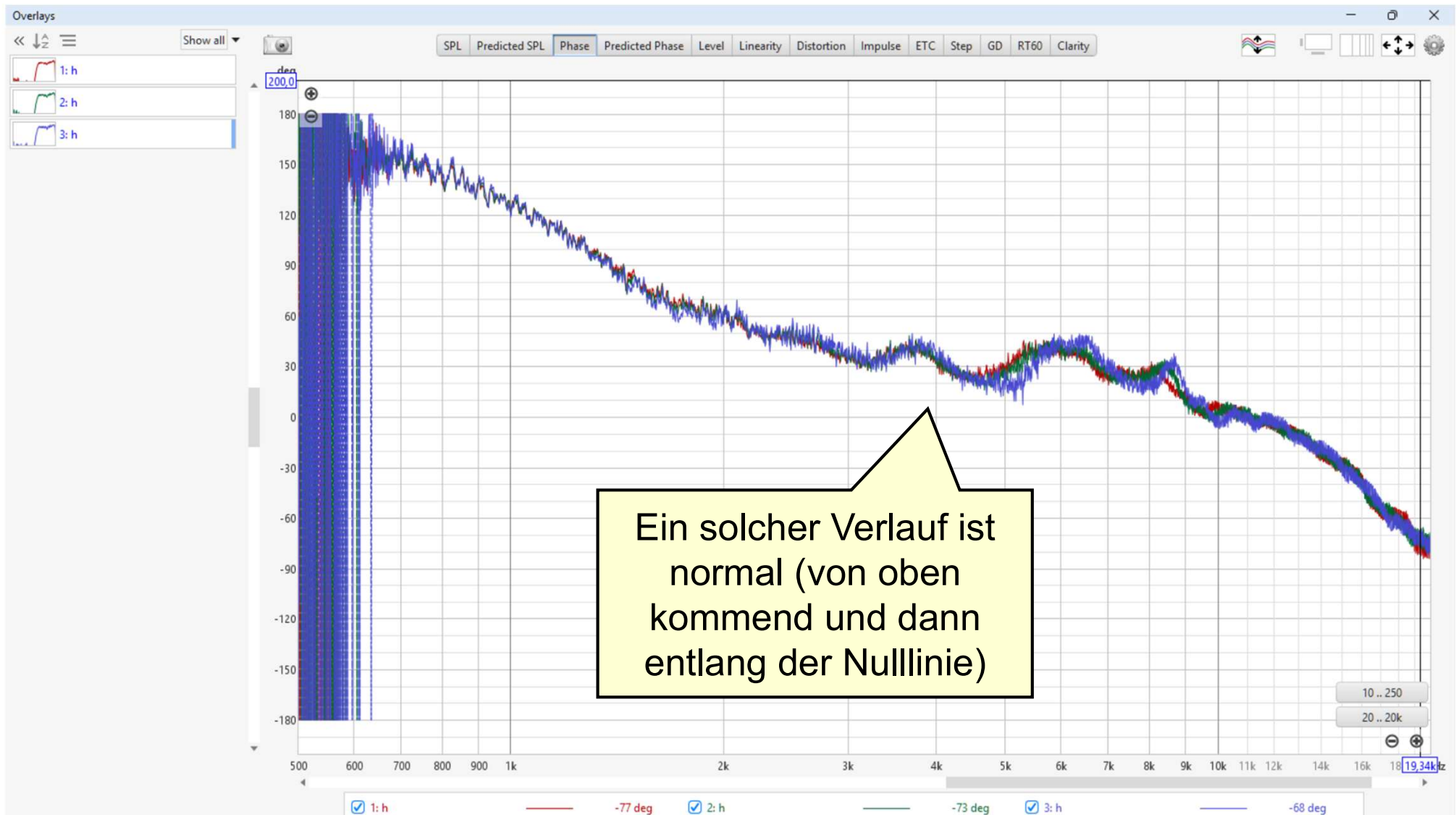
Korrektur Impuls: „Set t = 0 at cursor“



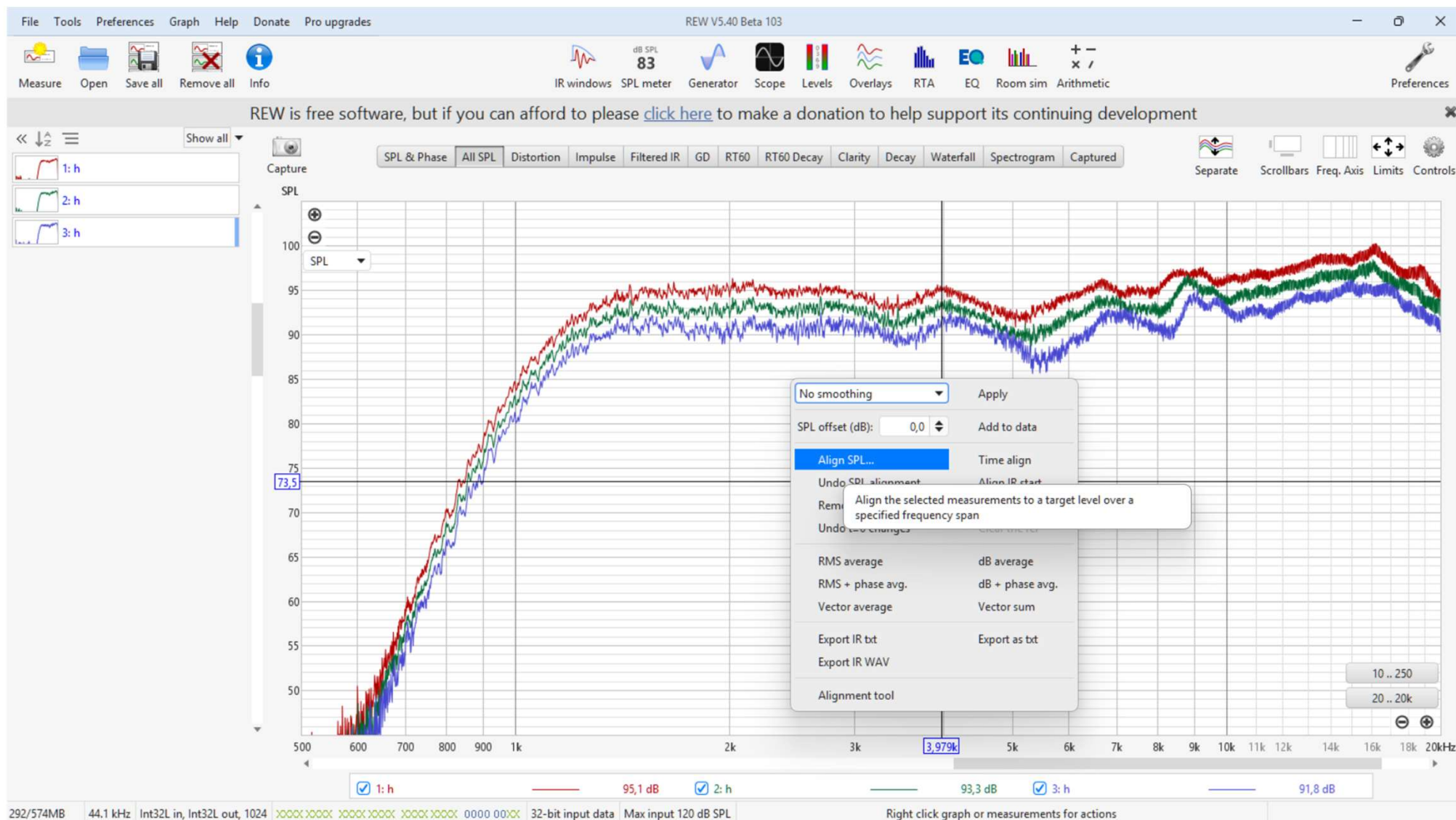
Korrigiert: Impuls bei $t = 0$



Phase mit $t = 0$ an der korrekten Stelle



Align SPL (rechte Maustaste)



Einstellungen

Align SPL ✕

☐ Use average SPL of measurements

☒ Use SPL specified below

Alignment level (dB): ↕

Available range: 20,19 Hz to 22,05 kHz

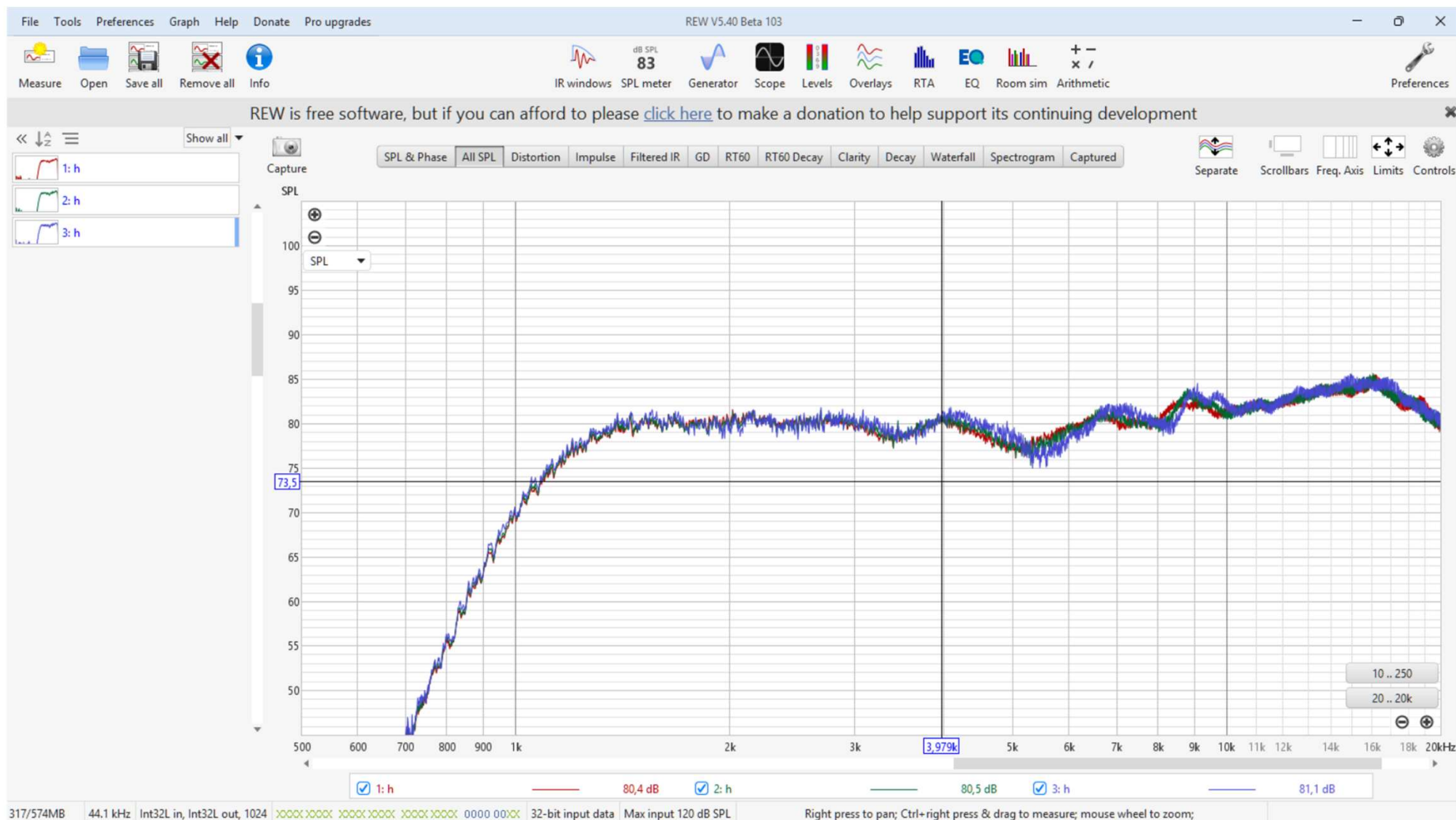
Alignment centre: ▼

Alignment span (octaves): ▼

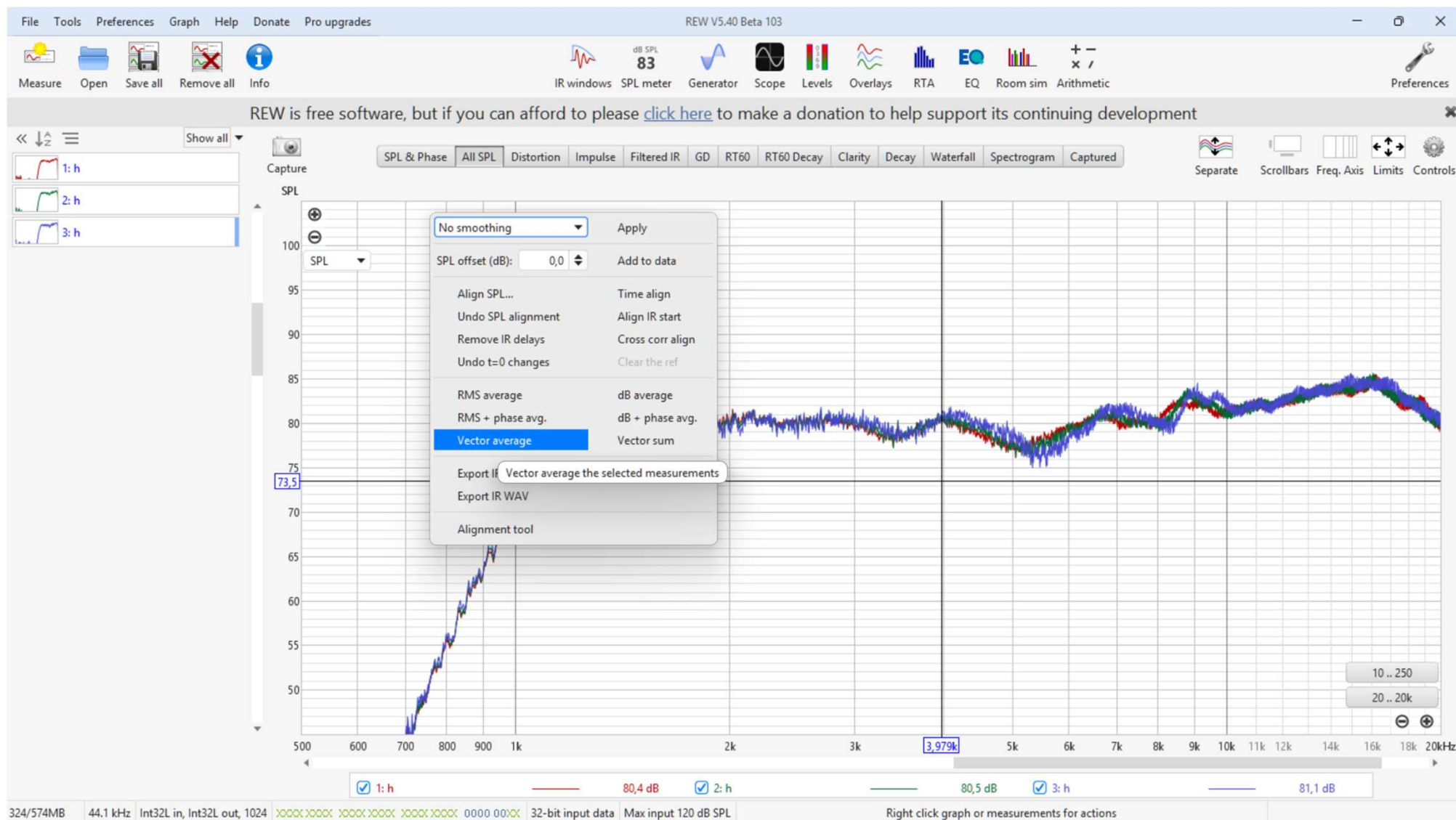
Wir ziehen die
Messungen auf 80,0
dB

Sinnvollen Wert für
den Treiber
auswählen

Die 3 Messungen im Pegel angeglichen



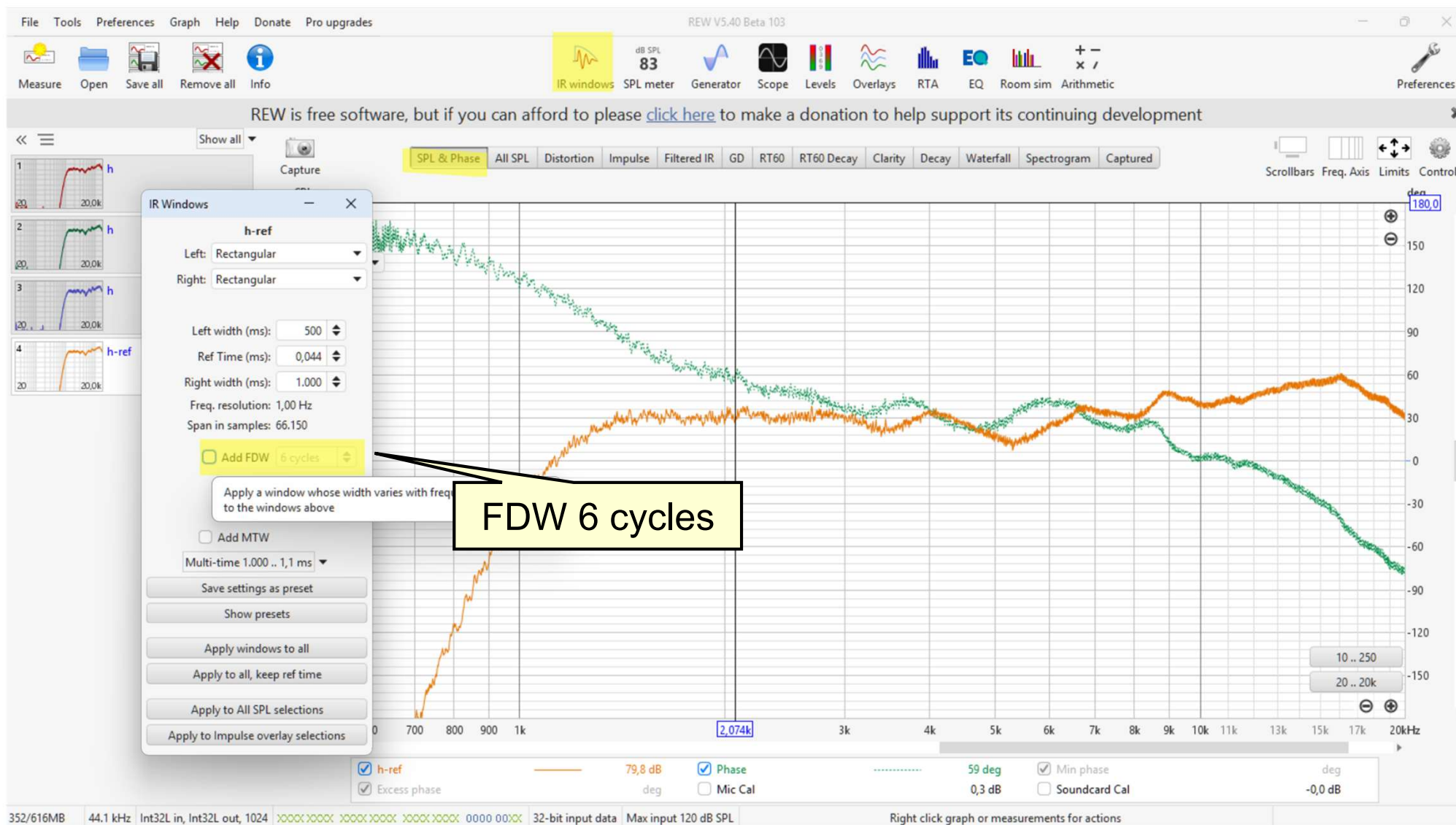
Messungen mitteln (Vector Average)



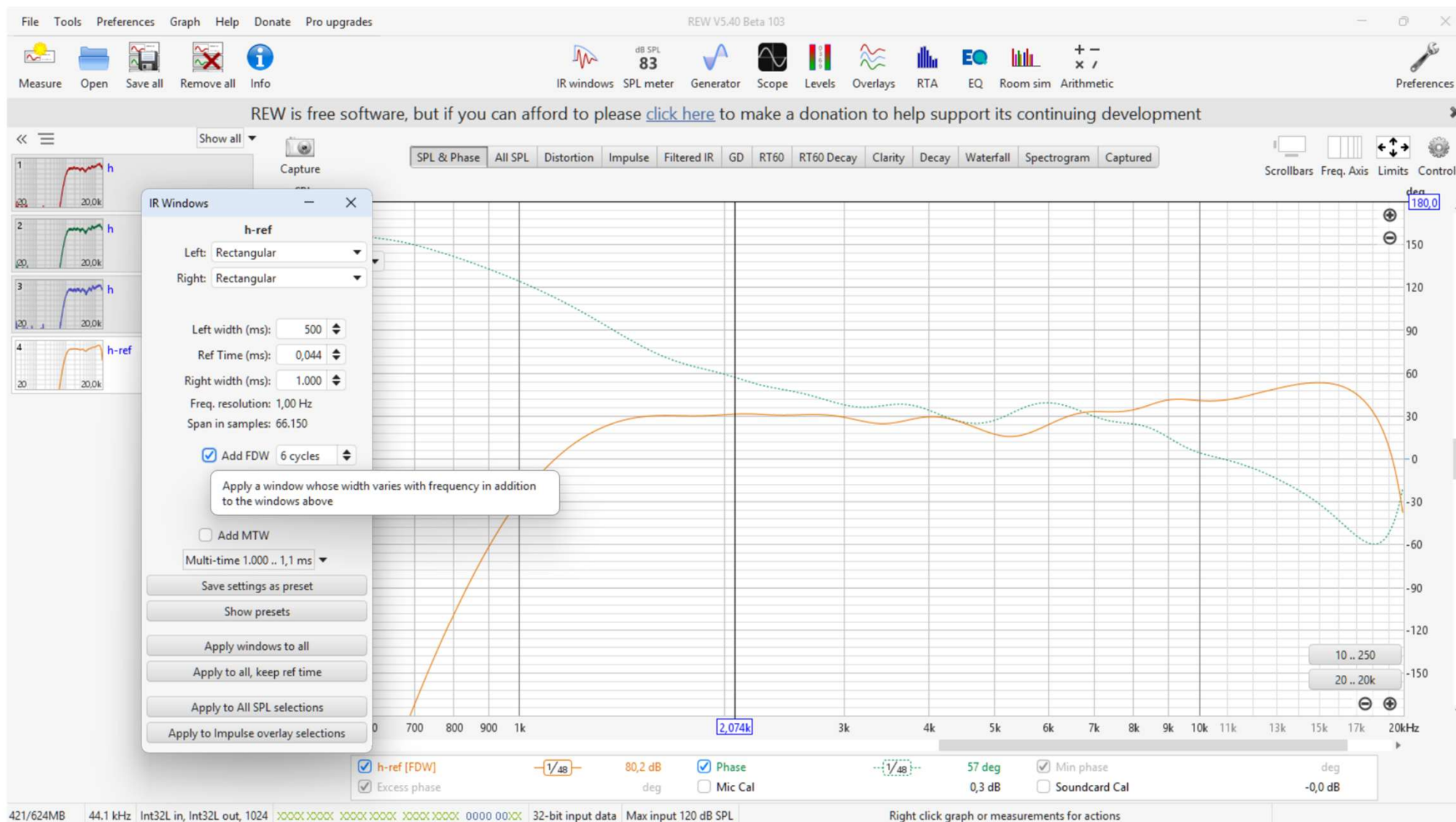
Gemittelte Messung



h-ref in REW „SPL & Phase“ smoothen



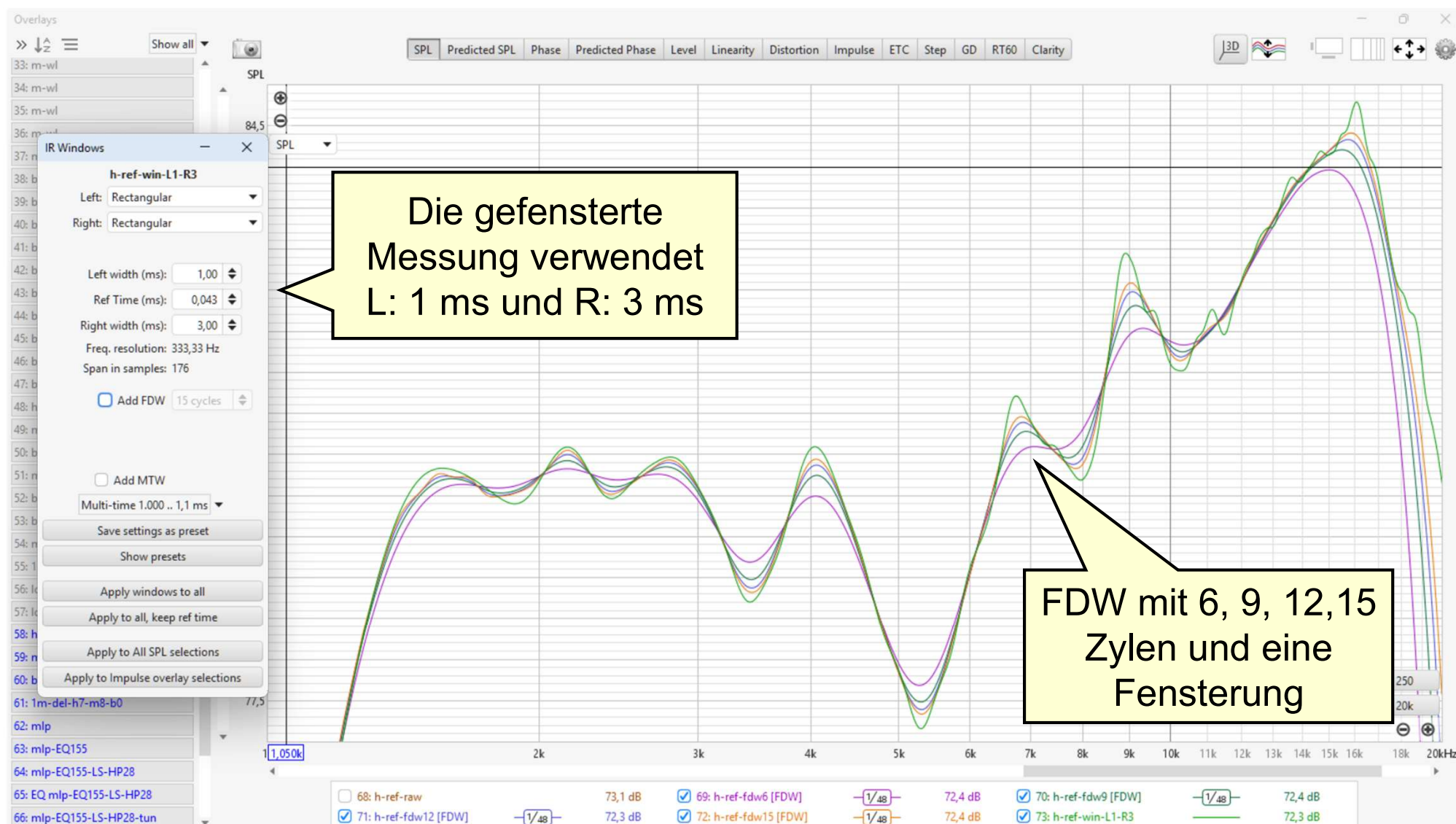
Smoothing mit FDW = 6 cycles



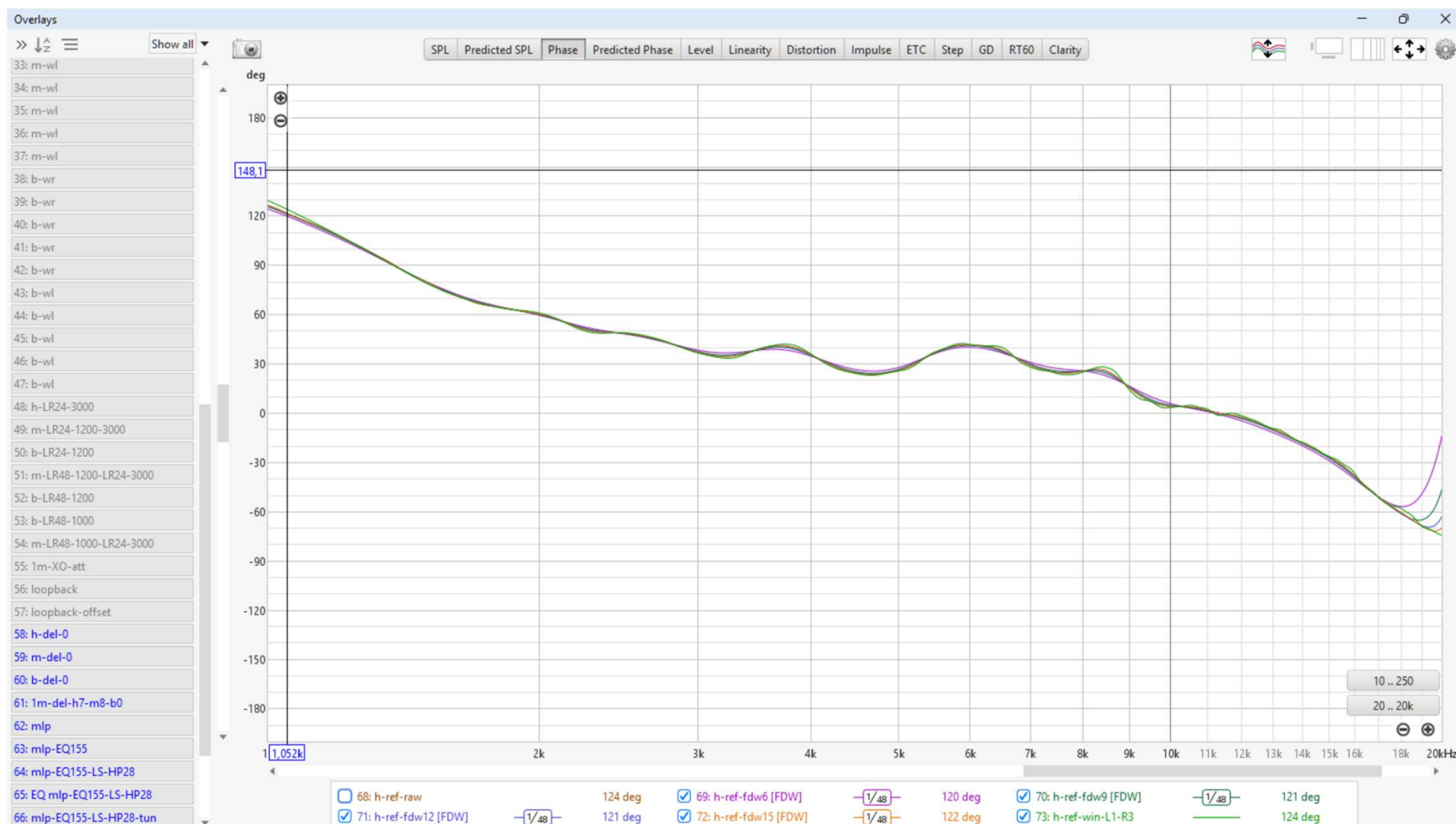
Erläuterung: Glättung und Fensterung

- Zur Erstellung der FIR Filter arbeiten wir mit einer geglätteten Messung
 - Fokus auf das Wesentliche und Vermeidung von Überkorrekturen beim Erstellen der Filter
- REW hat Funktionen für Glättung und Fensterung
 - Menü Graph: 1/1, 1/2, 1/6, 1/12, 1/24, 1/48, Var, Psychoacoustic, ERB
 - Wir nutzen ein „Frequency Dependant Window“
 - die Fenstergröße wird mit zunehmender Frequenz immer kleiner
 - je weniger Cycle, desto glatter die Messung
 - Wir wollen glätten, aber die Charakteristik des Frequenz- und Phasenverlaufs erhalten
 - 6 Cycle funktionieren in der Regel bei Nahfeldmessungen sehr gut
 - Eine klassische Fensterung, z.B. mit Left Window 1 ms und Right Window 3 ms könnte man auch nehmen.

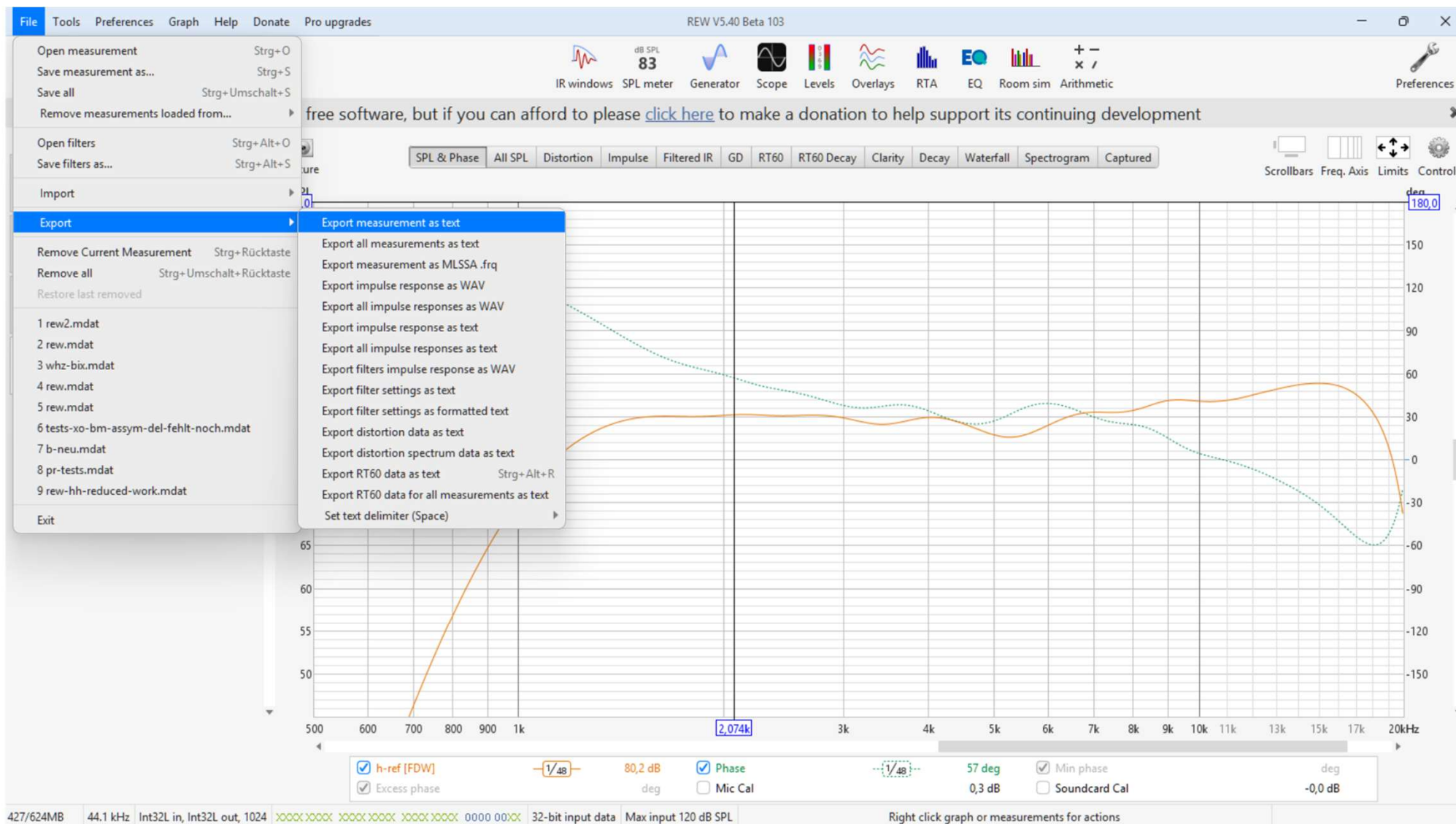
Vergleich FDW/Fensterung Frequenzgang



Vergleich FDW/Fensterung Phase



Die Messung als .txt-Datei exportieren



Einstellungen beim Export

Export settings for h-ref

Notes to include:
Vector average of h, h, h

☒ Use range of measurement: 20 to 22.050 Hz
☐ Use custom range: to Hz

☒ Use resolution of measurement: 96 PPO
☐ Use custom resolution: PPO

☒ Use smoothing of measurement: 1/48 octave
☐ Use custom smoothing:

☒ Use REW export format (recommended): 12345.6
☐ Use computer's number format: 12.345,6

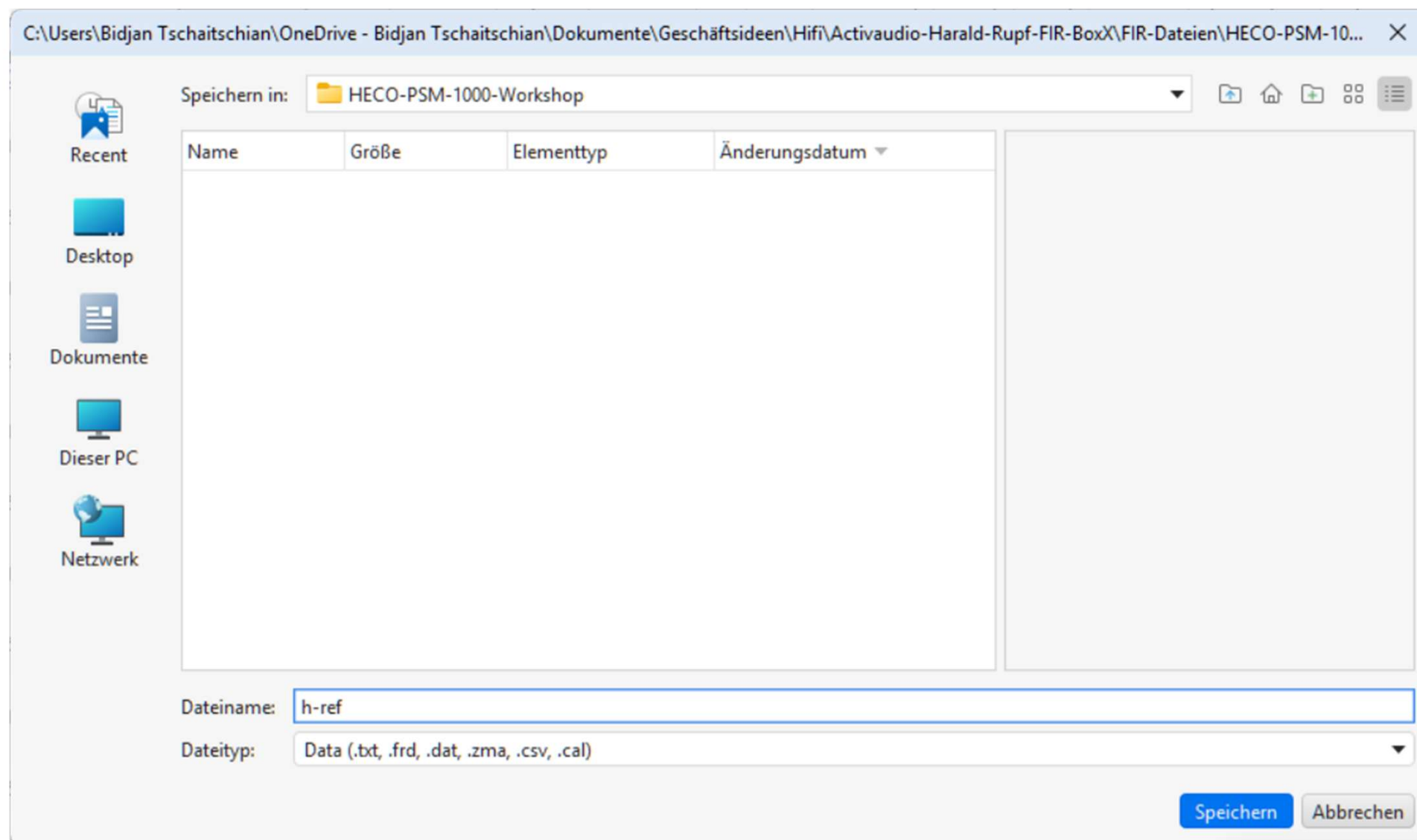
Export units:
Export text delimiter:

☐ Do not include any comments or headers in the export
☐ Do not include phase in the export
☒ Include individual input responses in multi-input capture export

Export preview:
* Measurement data measured by REW V5.40 beta 103
* Source: Vector average
* Format: Vector average
* Dated: 21.10.2025 18:00:49
* REW Settings:
* C-weighting compensation: Off
* Target level: 75.0 dB
* Note: Vector average of h, h, h
* Measurement: h-ref

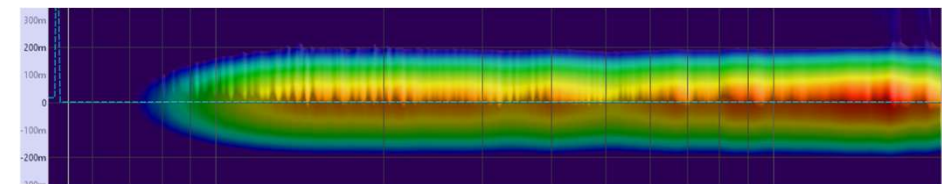
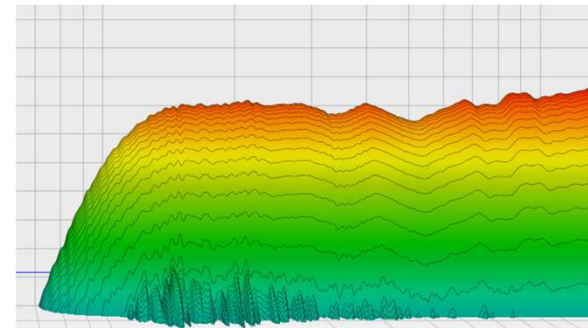
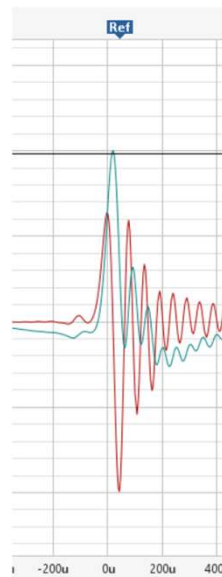
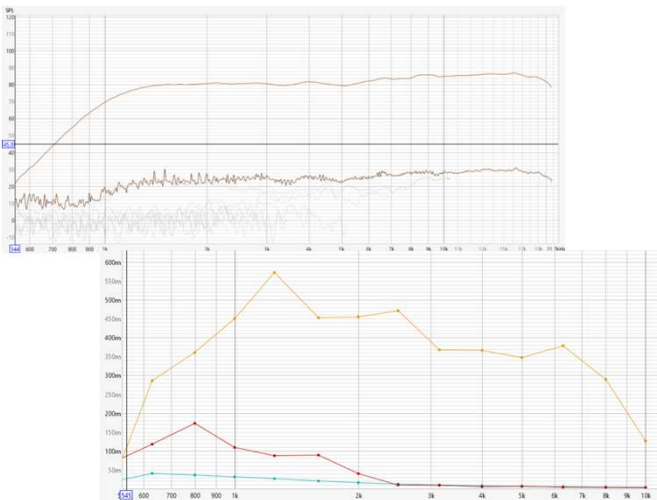
OK Abbrechen

Als h-ref exportieren



Anmerkung zu Messdaten in REW

- In REW erhält man zu jeder Messung viele, nützliche Daten.
- Diese werden hier nicht alle detailliert behandelt.
- ABER: Anhand dieser Daten kann man vieles ablesen und es macht Sinn, sich damit auseinanderzusetzen.

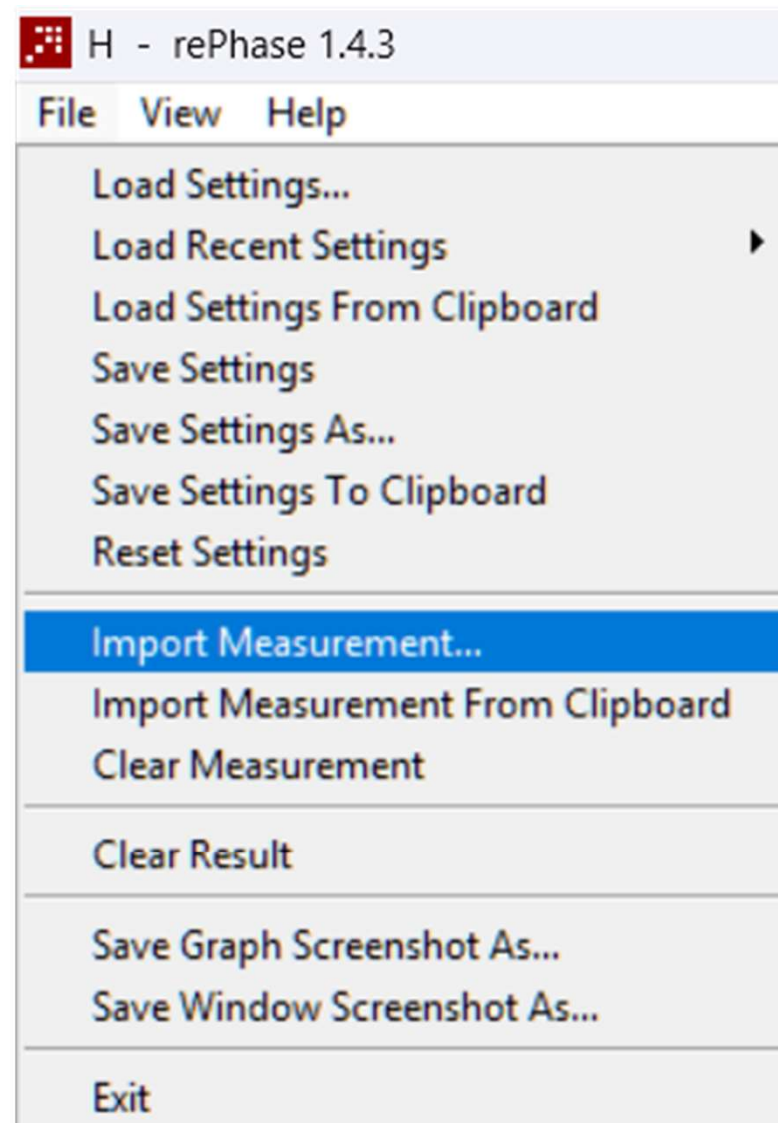


Nahfeld – rePhase

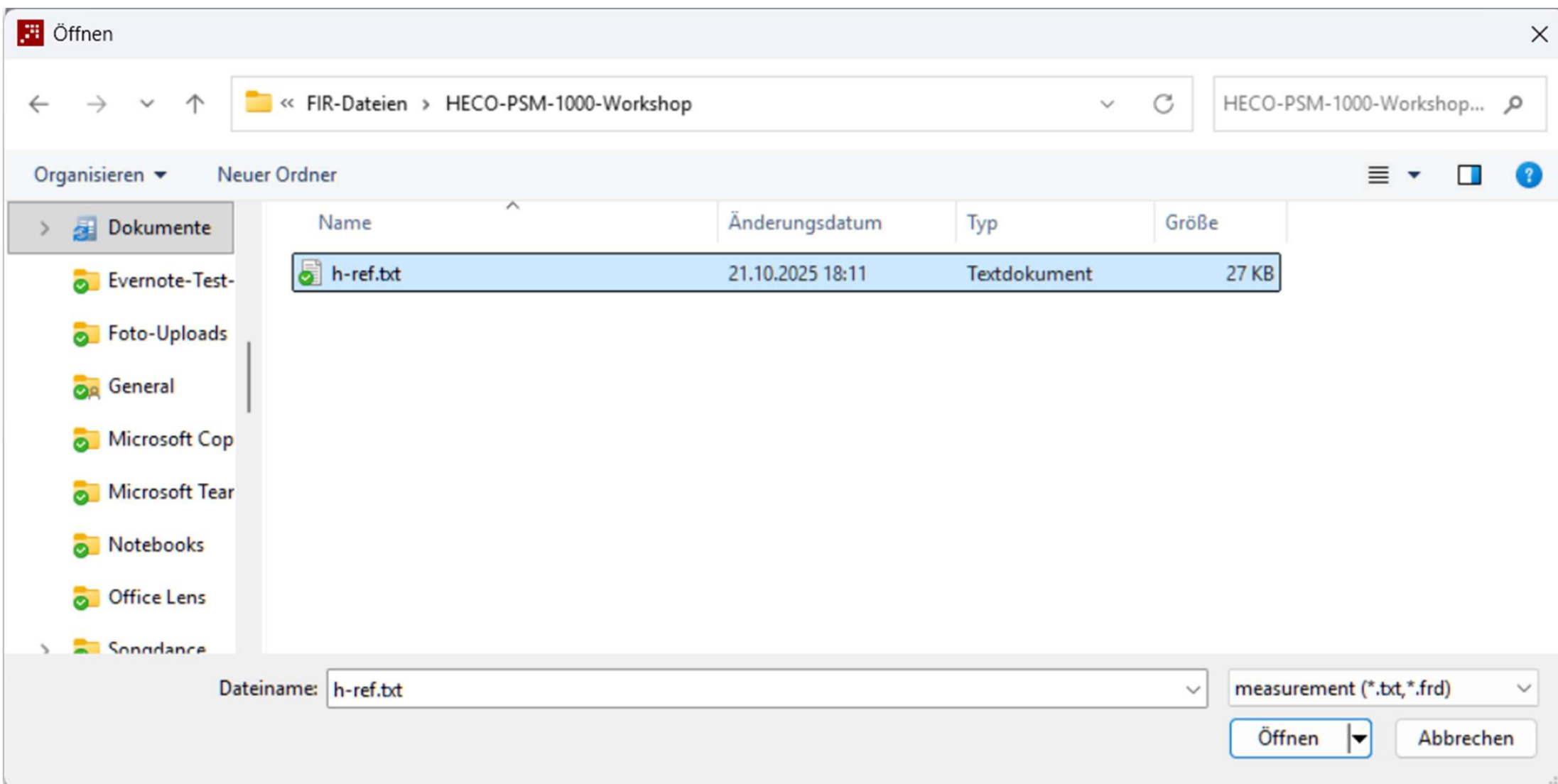
In rePhase pro Treiber

- Referenzmessung aus REW importieren
- Linearisierung Frequenzgang im Parabolic Gain EQ
- Linearisierung Phase im Parabolic Phase EQ
- Output in dB kontrollieren und ggf. anpassen (Measurement, bypass)
- Filter generieren

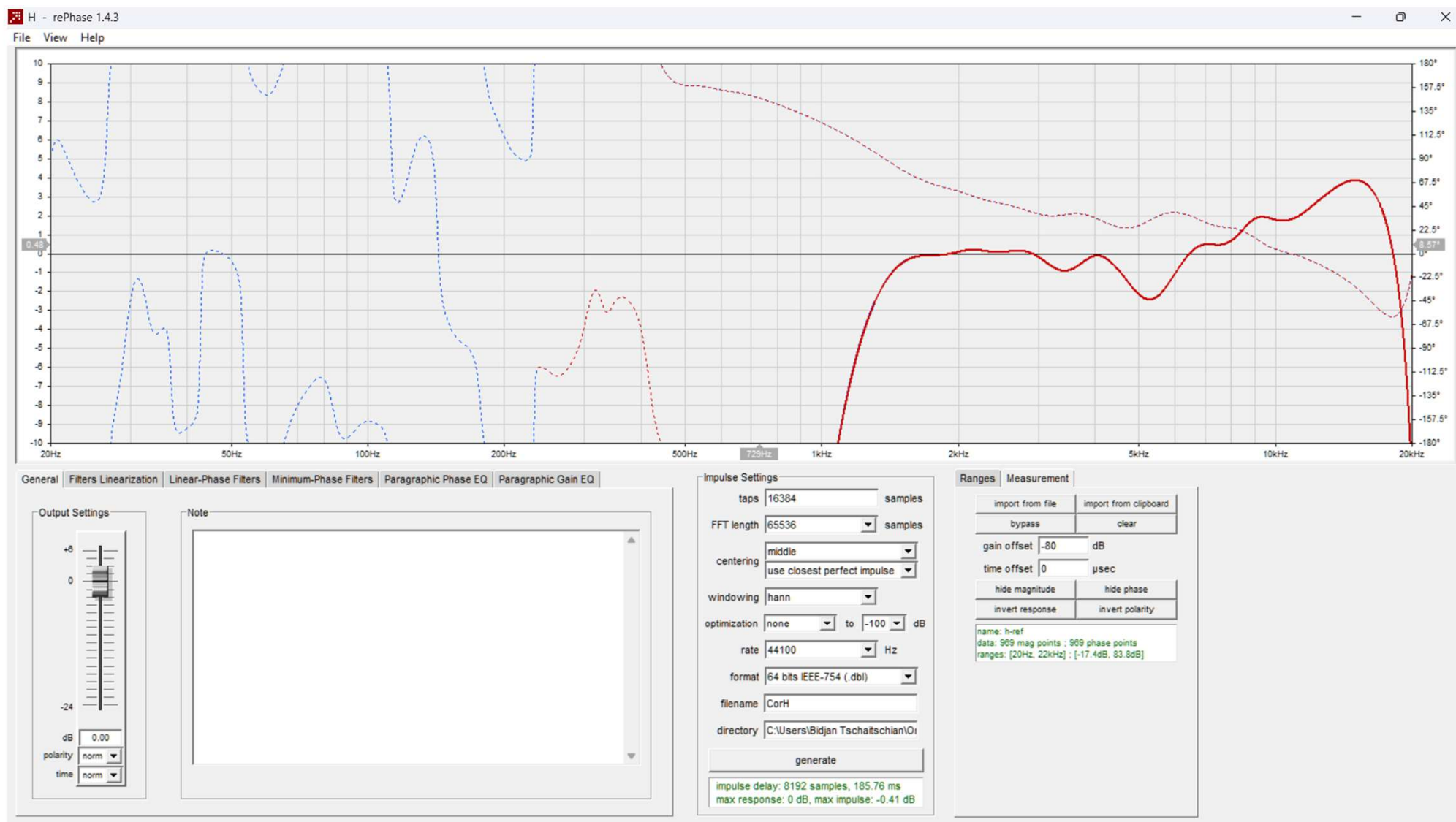
In rePhase H: Import Measurement ...



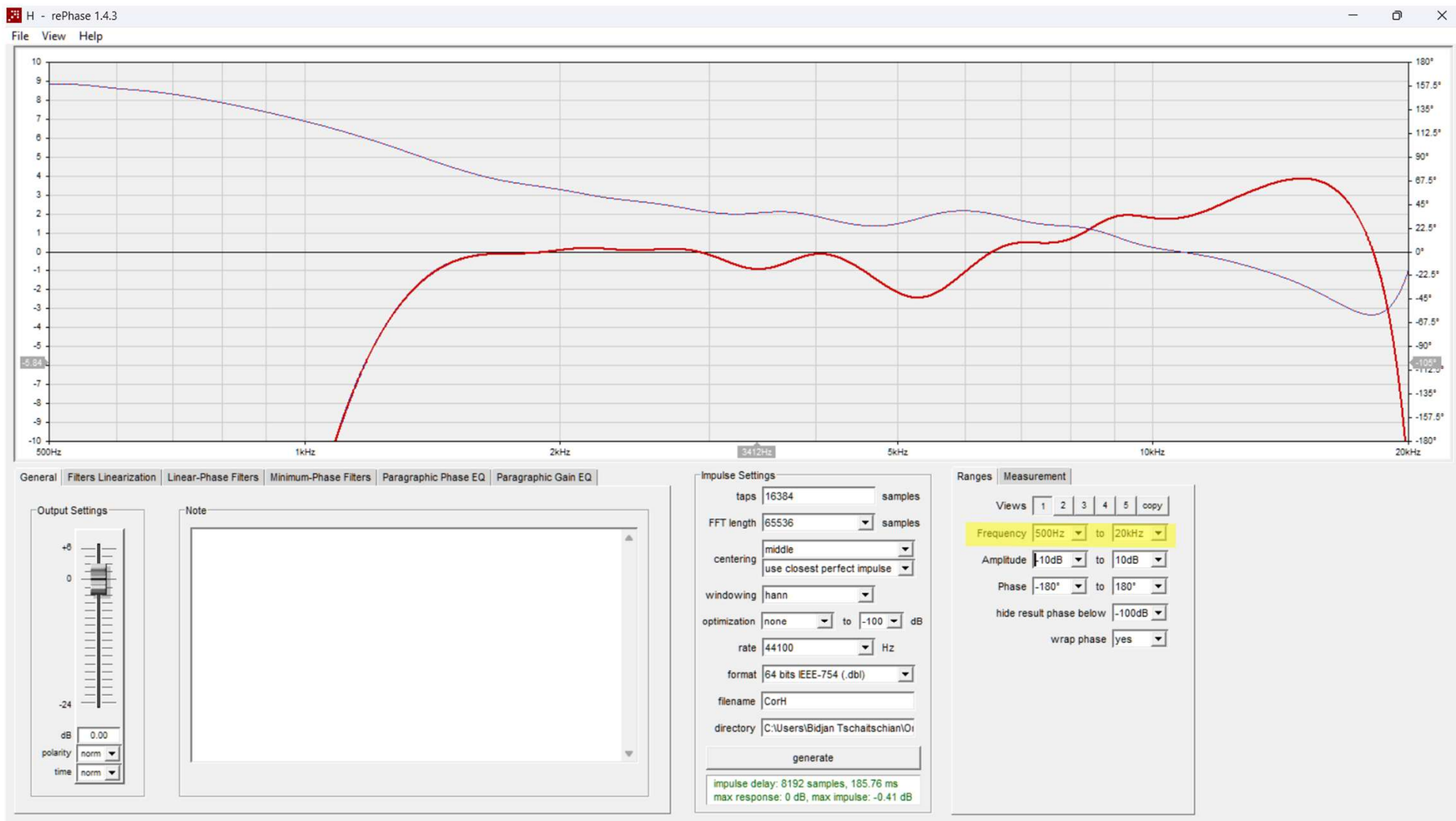
h-ref.txt importieren



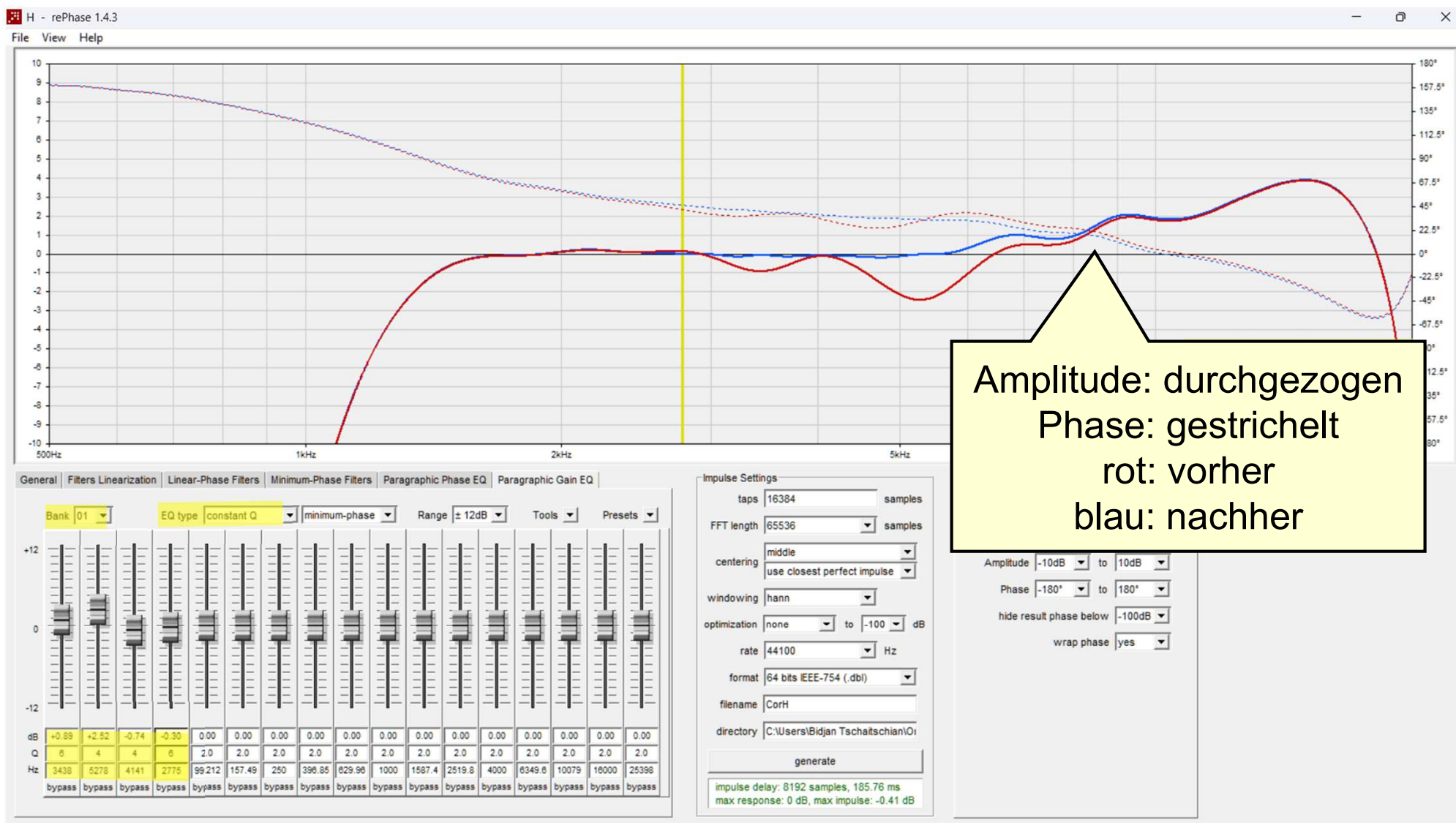
h-ref ist importiert



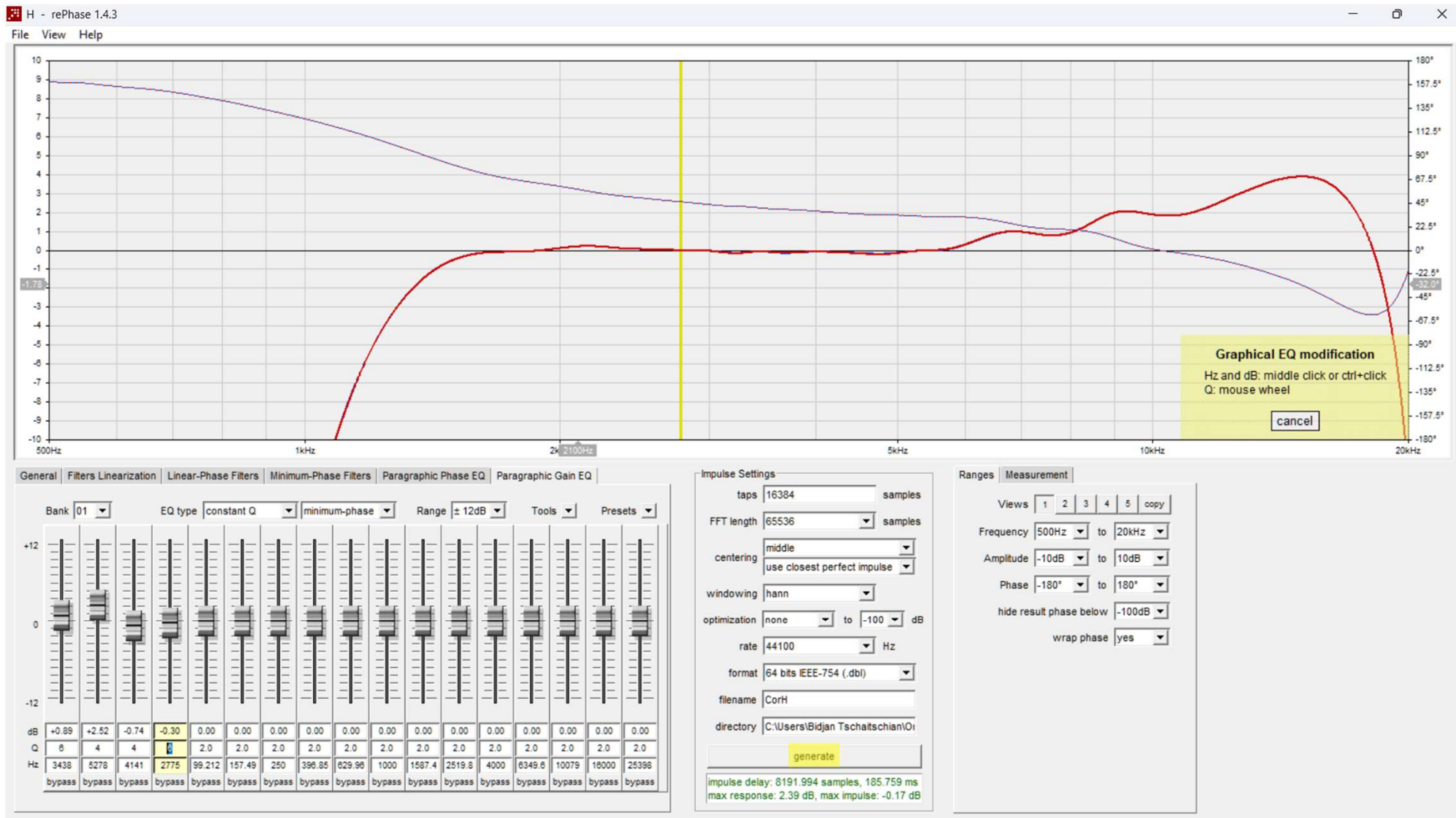
Anzeige: So lässt sich besser arbeiten



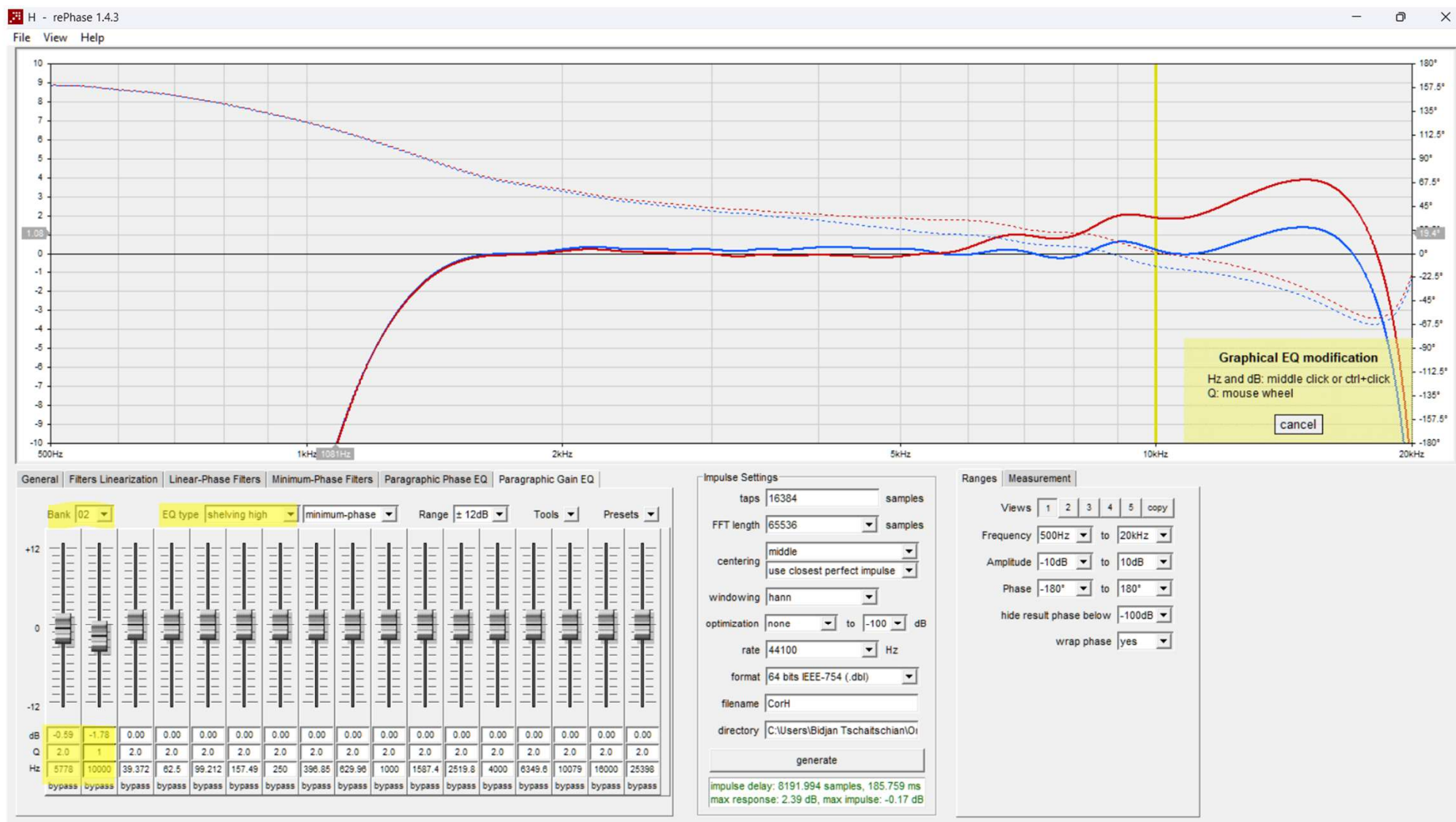
Erste PEQs im Paragraphic Gain EQ



Zwischenergebnis nach Generierung



Highshelf-Filter in Bank 02



Anmerkungen zur Hochtonenergie

- Hier im Workshop linearisieren wir den Hochtöner.
- Wir werden später sehen, dass das für die HECO im obersten Frequenzbereich nicht nötig ist.
- Verliert ein Hochtöner auf Entfernung sehr viel seiner Energie, ist eine Abstimmung mit mehr Hochtonenergie im Nahfeld ggf. besser.
- Das Verhalten kann sich zwischen Treibern stark unterscheiden und man muss am Hörplatz überprüfen, wie viel Pegel noch ankommt.
- Das Schöne: Wir können die Highshelves mit zwei Klicks zurücknehmen.

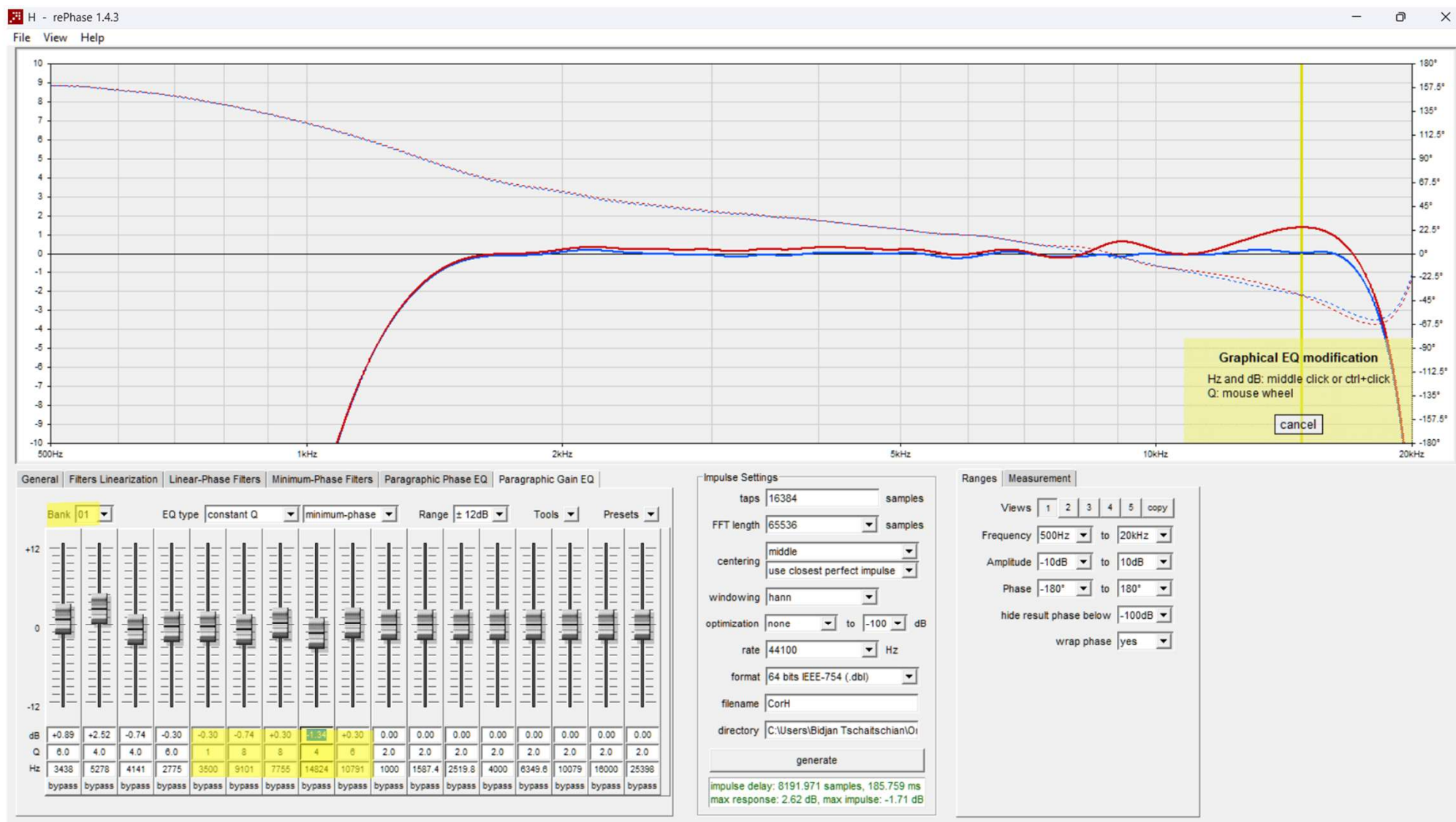
dB	-0.59	-1.78
Q	2.0	1.0
Hz	5778	10000
	bypass	bypass

Bänke in RePhase

- 17 Einstellungen pro Bank
- Nur 1 EQ Typ pro Bank möglich, z.B. PEQ (constant), Highshelf (shelving high) oder Lowshelf (shelving low)
- Im Nahfeld minimalphasig korrigieren (minimum-phase)
 - d.h. die Phase „zieht“ mit, wenn wir die Amplitude korrigieren
 - In der Regel verbessert sich der Phasenverlauf mit den Korrekturen der Amplitude im Nahfeld

Tipp: Die ersten 5 Bänke (01 – 05) für Basiskorrekturen reservieren und weiter hinten liegende Bänke für Raumkorrekturen verwenden.

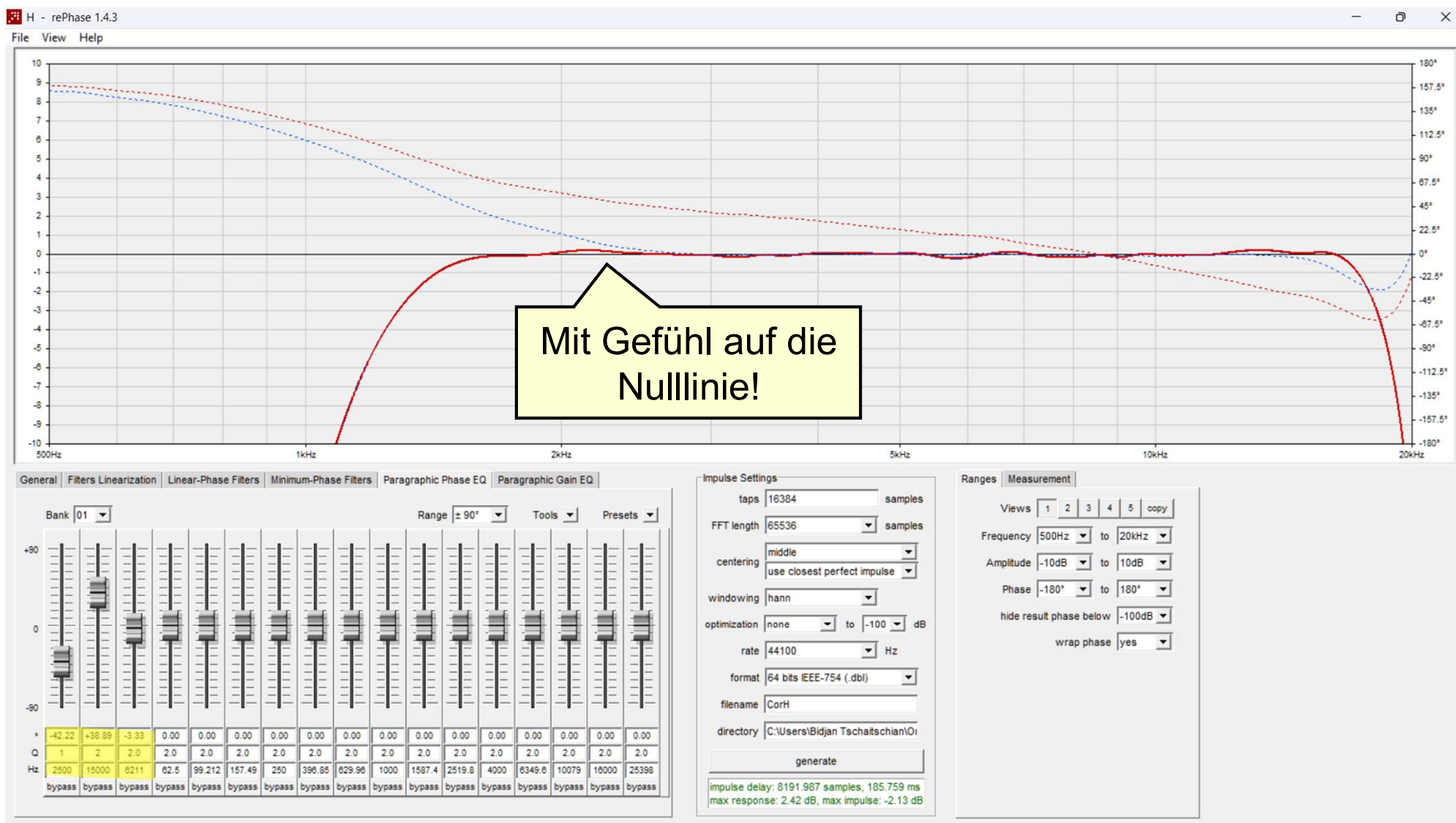
Feinschliff bei den PEQs in Bank 01



Tipps zu Parametric Gain EQ

- Mit möglichst kleinen Qs arbeiten ($Q \leq 8$)
 - produzieren eher sanfte Korrekturen in einem großen Frequenzbereich und beeinflussen die Phase wenig
- Große Qs vermeiden ($Q \geq 8$)
 - produzieren eher scharfe Korrekturen in einem kleinen Frequenzbereich und beeinflussen die Phase stark
- Nützliche Qs 0.5, 1.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0
- Keine Angst vor vielen Einstellungen
 - bei FIR wird als Filter eine Impulsdatei fest vorgegebener Größe generiert
- Gezielt Shelving Filter einsetzen

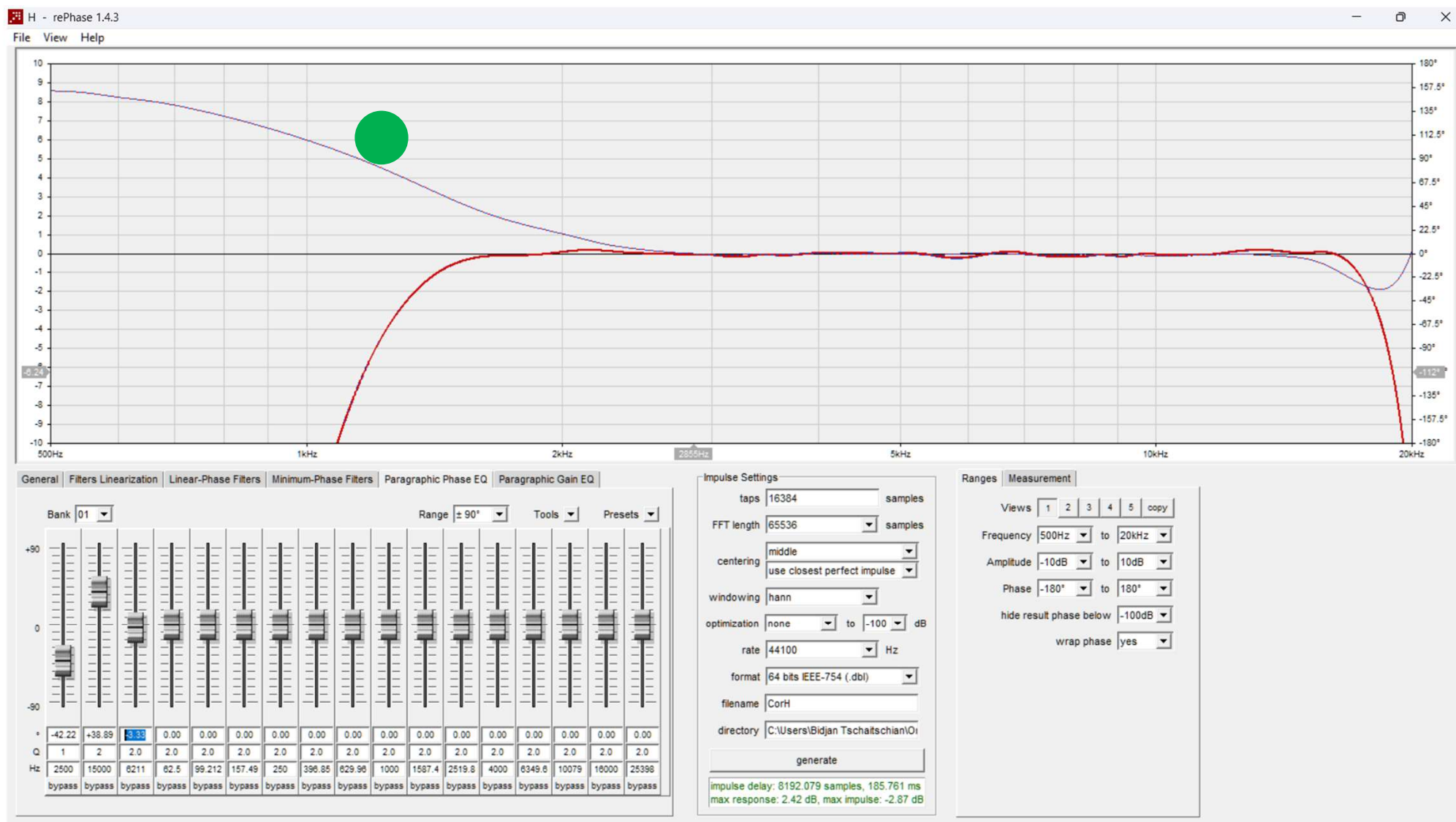
Phase korrigieren (Paragraphic Phase EQ)



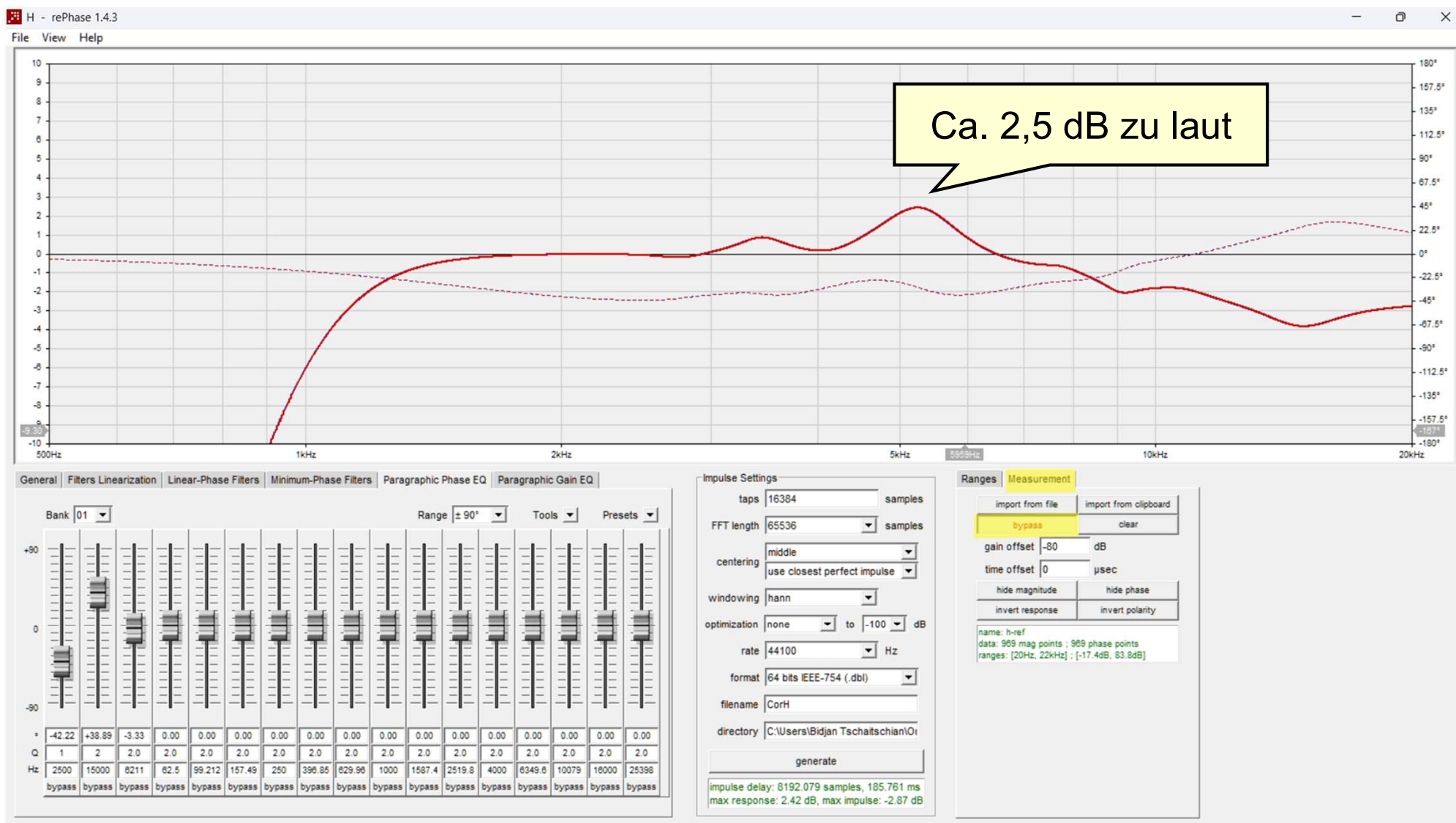
Tipps zu Paragraphic Phase EQ

- Mit möglichst kleinen Qs arbeiten ($Q \leq 2$)
 - produzieren eher sanfte Korrekturen in einem großen Frequenzbereich
- Große Qs vermeiden ($Q \geq 2$)
 - produzieren eher scharfe Korrekturen in einem kleinen Frequenzbereich
- Nützliche Qs 0.5, 1.0, 2.0
- Die „korrekte“ Phase kommt von links oben und läuft auf die Nulllinie.
- Idealerweise verläuft die Phase im hörbaren Spielbereich des Treibers entlang der Nulllinie.
- Nützliches Bild: Von links nach rechts soll eine Murmel auf der Phase entlanglaufen können, ohne zu holpern.

Das sieht sehr gut aus!



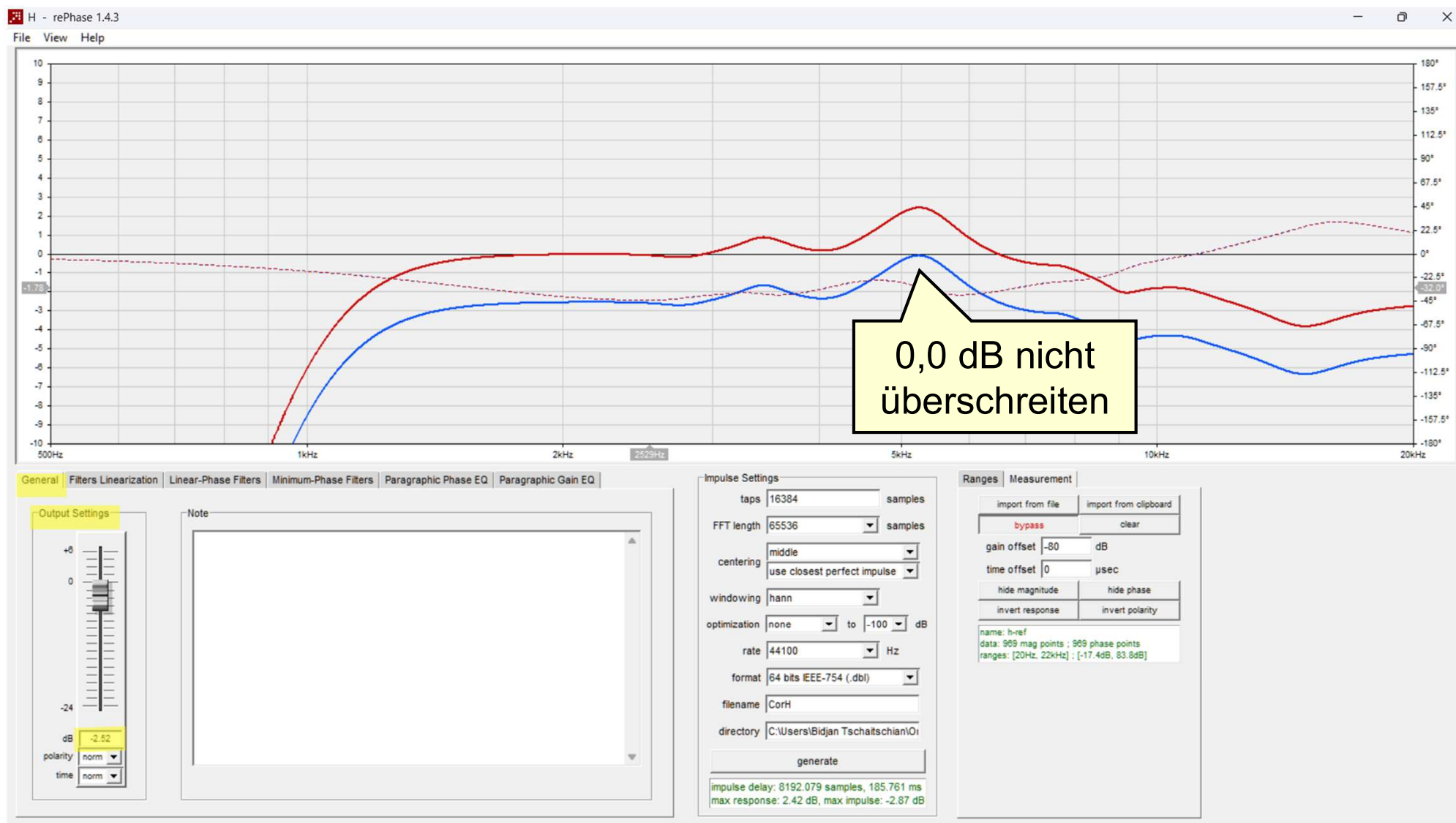
Bypass Check: Der Filter ist „zu laut“



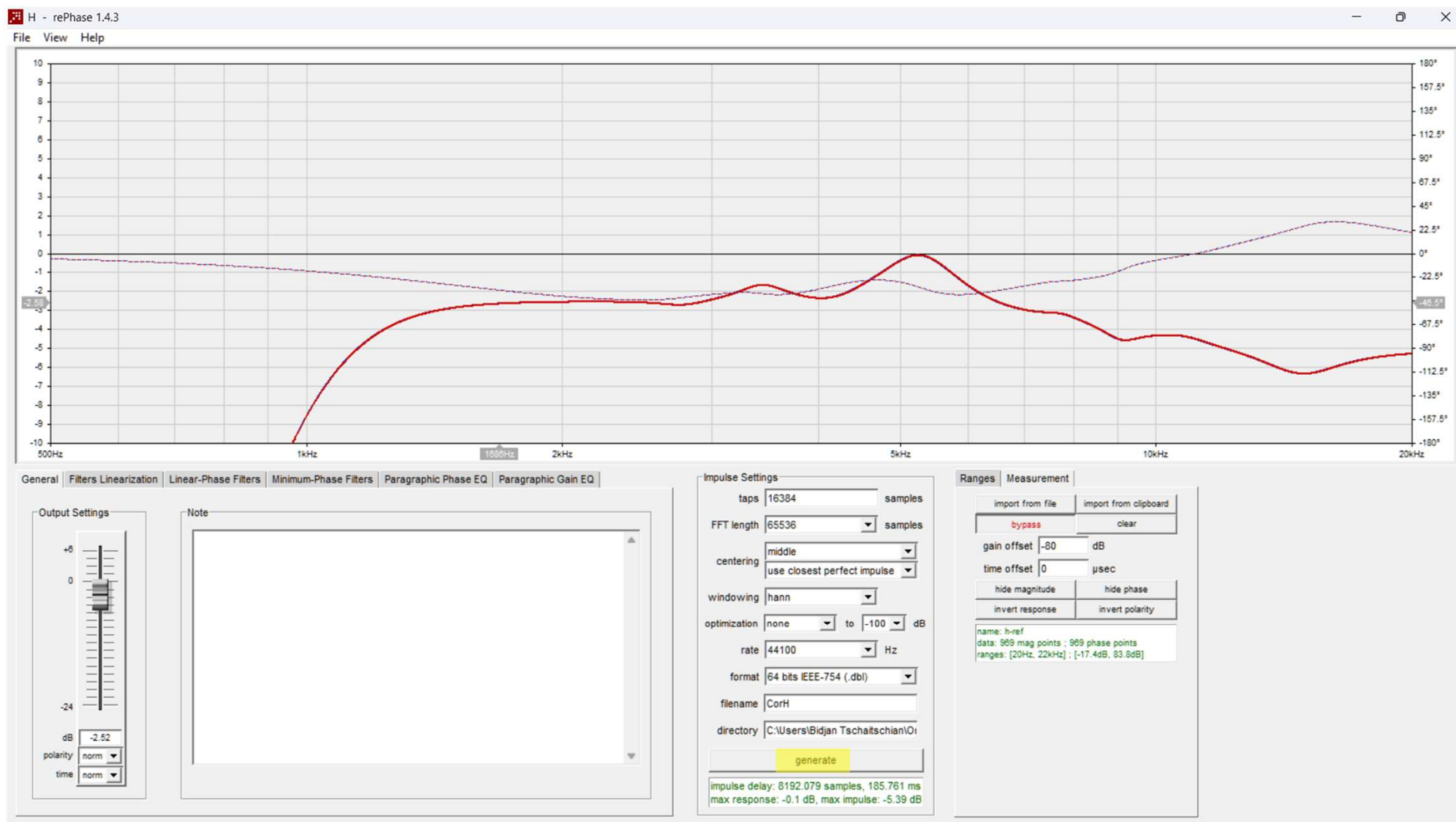
Erläuterung: Measurement bypass

- rePhase zeigt das Ergebnis nach Filterung an
 - für den zuletzt generierten Filter in rot
 - für die aktuellen Änderungen nach der letzten Filtergenerierung in blau
- Bei Auswahl von „bypass“ im Bereich Measurement wird der Filter selbst angezeigt.
 - Man erkennt, wie mit dem Filter der Frequenzgang und die Phase beeinflusst werden.
- Um Clipping zu vermeiden, soll der FIR Filter nicht „boosten“.
- Daher den Pegel so senken/anheben, dass der Filter knapp unterhalb der Nulllinie liegt.

In den Output Settings korrigieren



Generieren und fertig



Nicht vergessen: Filter in Musicwonder WebApp hochladen

Filter

H	CorH.dbl		att	3	del	0
M	CorH.dbl		att	3	del	0
B	 upload filter		att	3	del	0
	 delete filter					
	 bypass filter					

Nahfeld – REW Filter prüfen

In REW pro Treiber mit dem neuen Filter

- Korrekturmessung
- Überprüfung von Frequenzgang und Phase
- Wenn nötig: Nachkorrekturen im REW EQ vorbereiten

Diesen Vorgang später auch mit nachkorrigierten Filtern wiederholen.

1 Korrekturmessung aus letzter Position

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: h-check

Will appear as: h-check

Settings: Length: 256k Repetitions: 1 5,9 s

Timing: No timing reference

Set t=0 at IR peak

Notes:

☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq: 20 End Freq: 22.050 Hz

Level: -15 dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN

No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

Input:

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Single measurement

Setup: Start delay 1 s

Output: 2: Output 2

Sec. output: Choose an output...

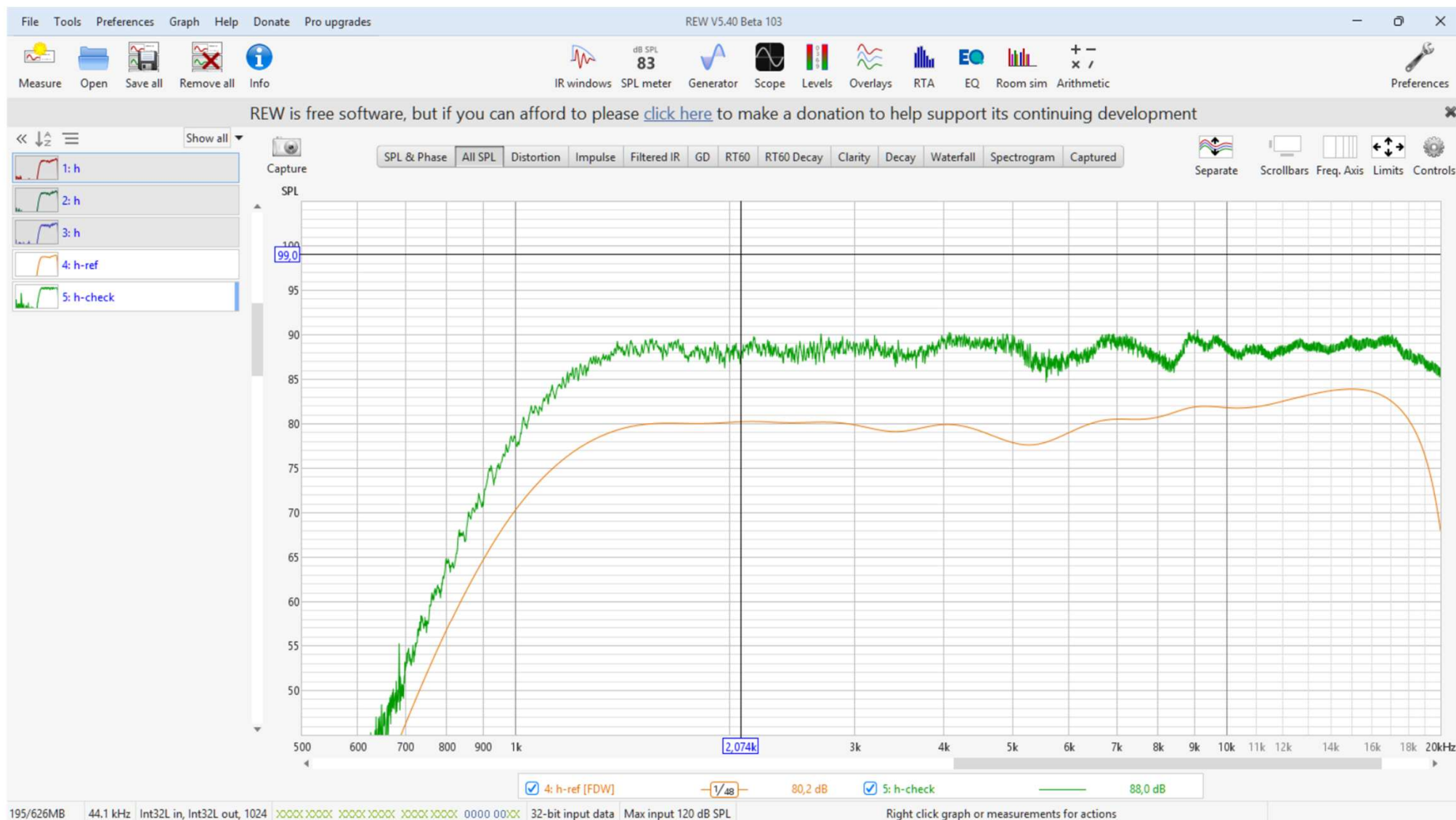
Options: None selected

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

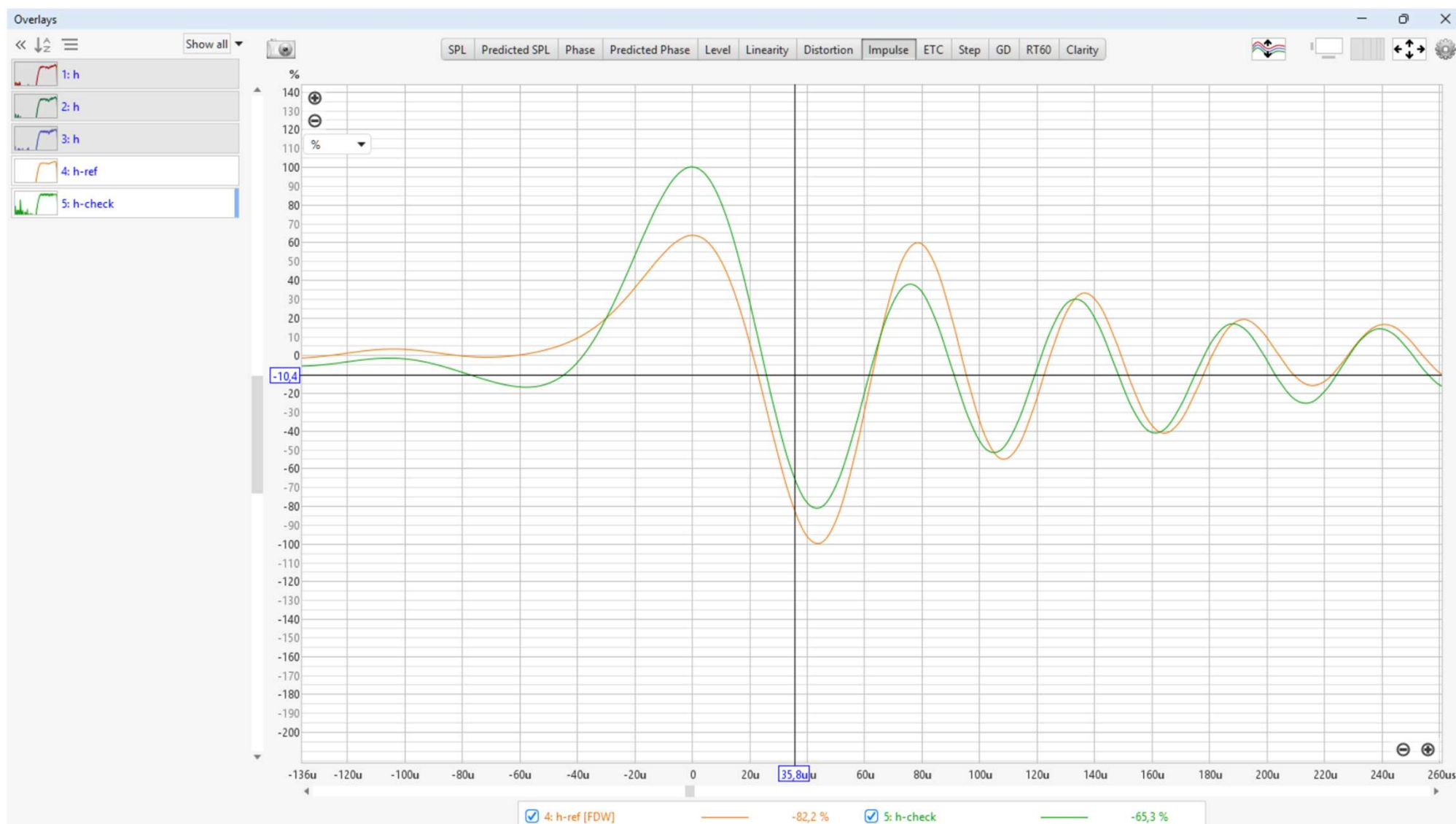
Calibration files...

Check levels Start Abbrechen

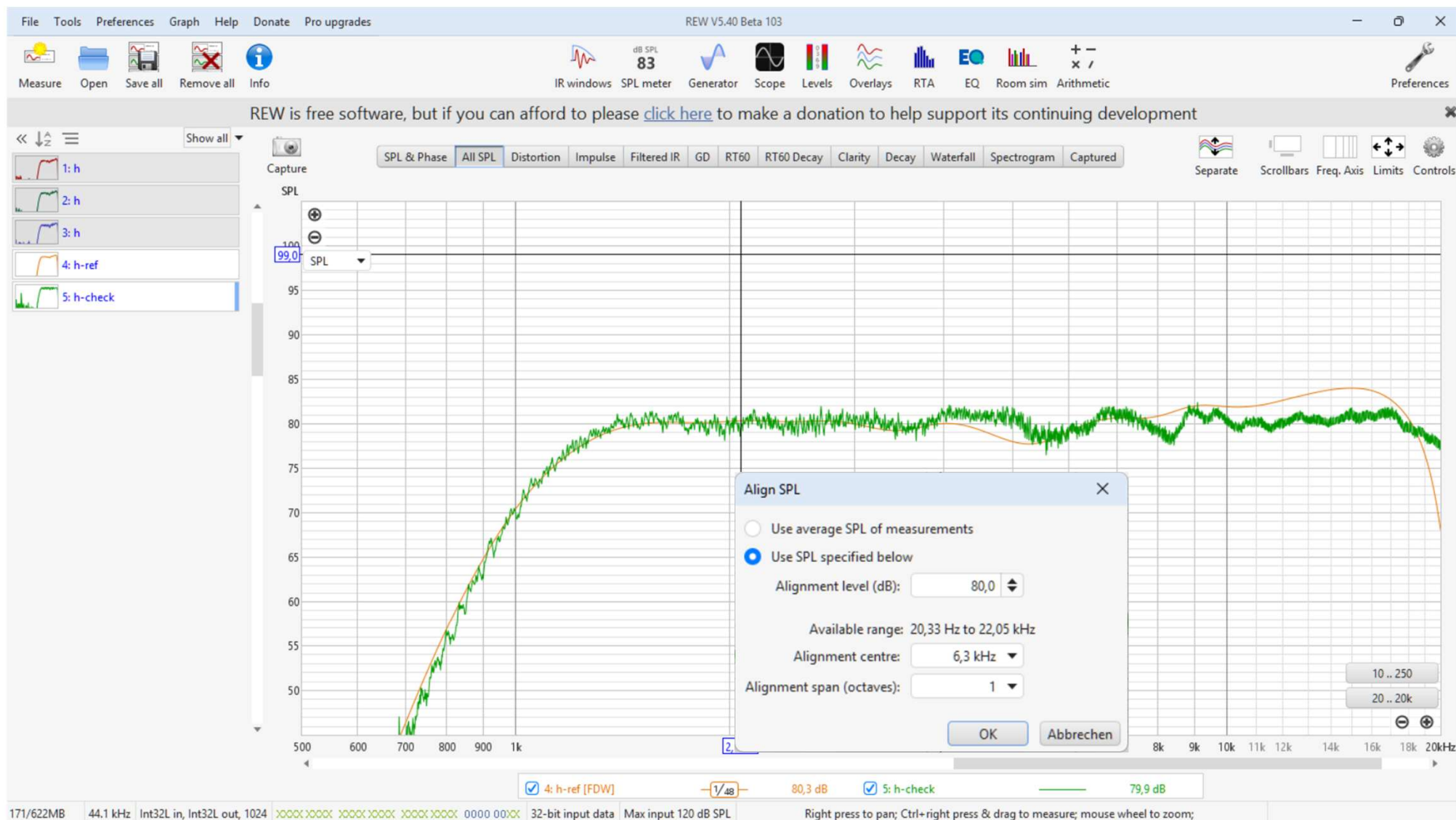
Ergebnis unbearbeitet (grüne Kurve)



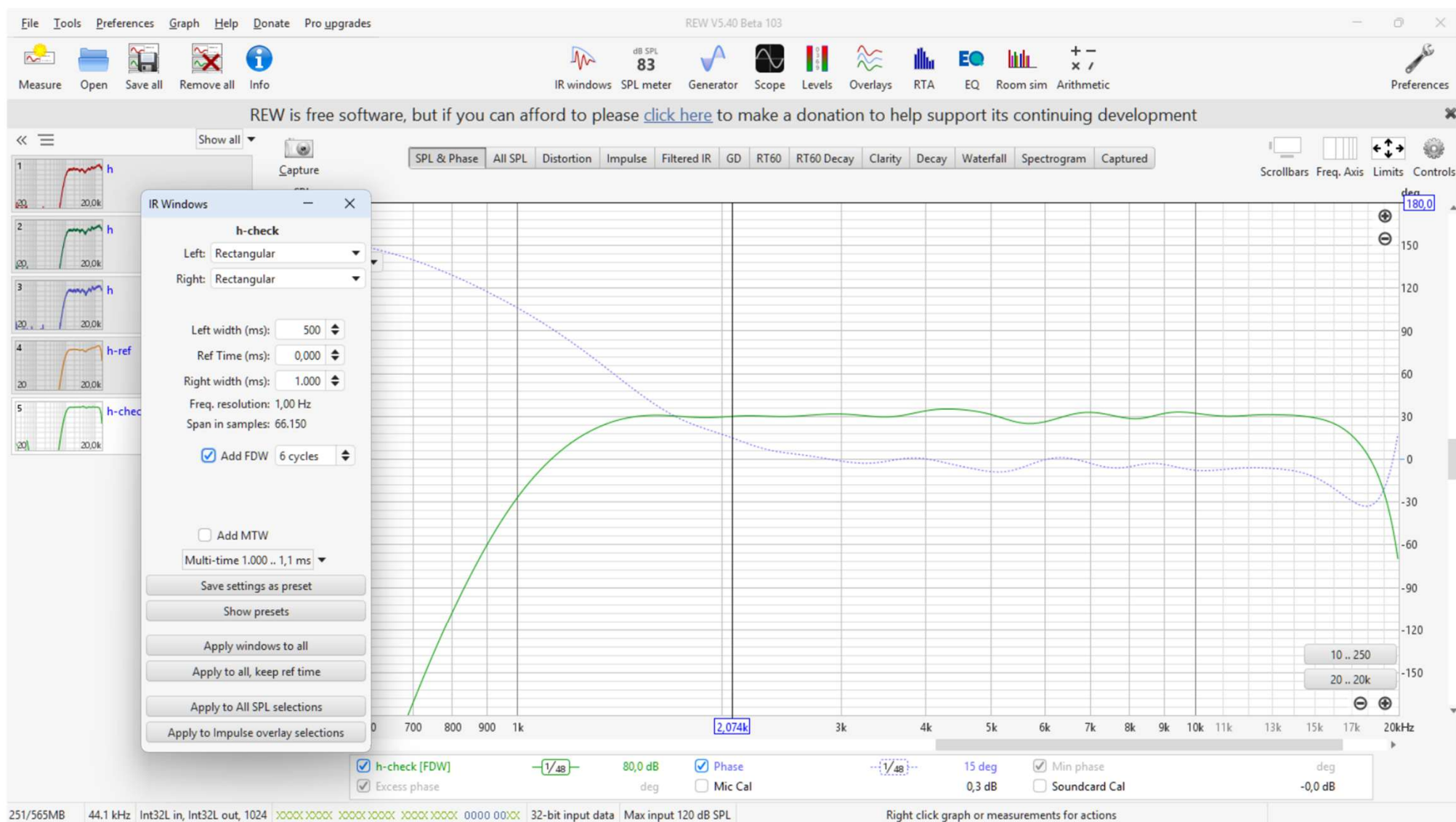
Der Impuls sitzt richtig – keine Korrektur



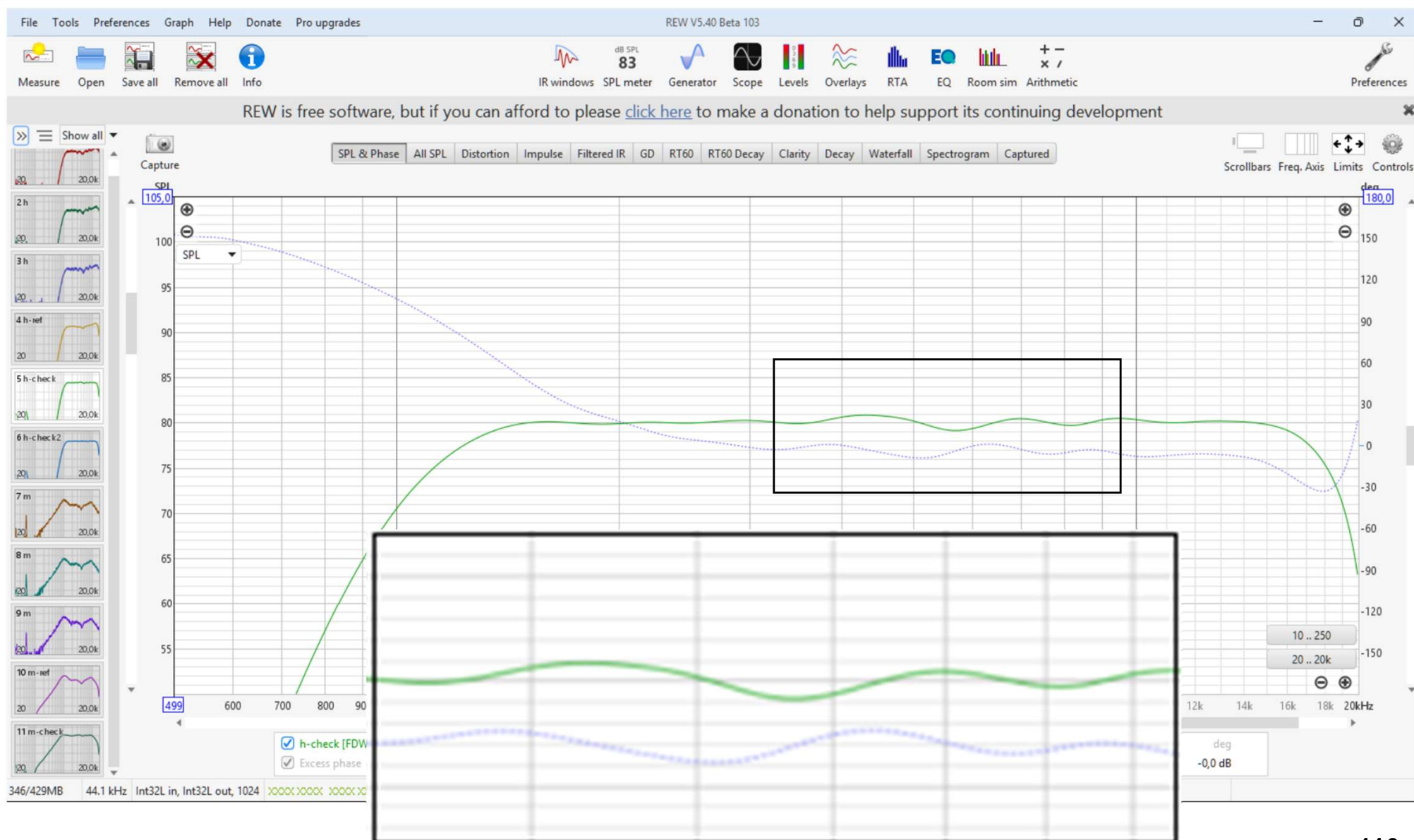
Align SPL mit den gleichen Einstellungen

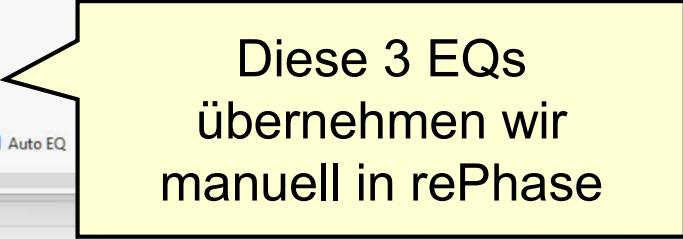


Smoothing wie vorher mit FDW = 6 cycles



Da geht noch was



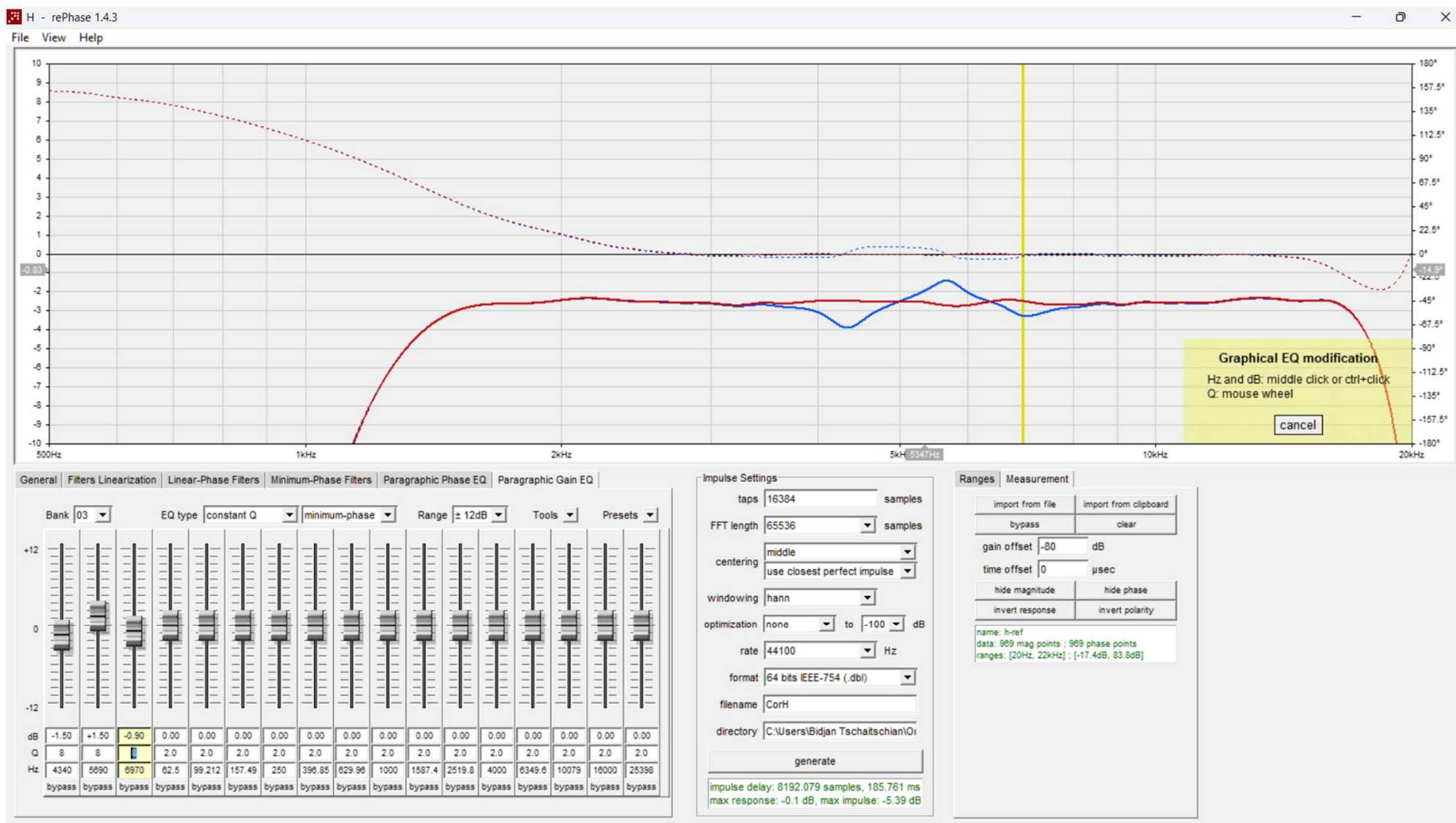


Nahfeld – rePhase Nachkorrektur

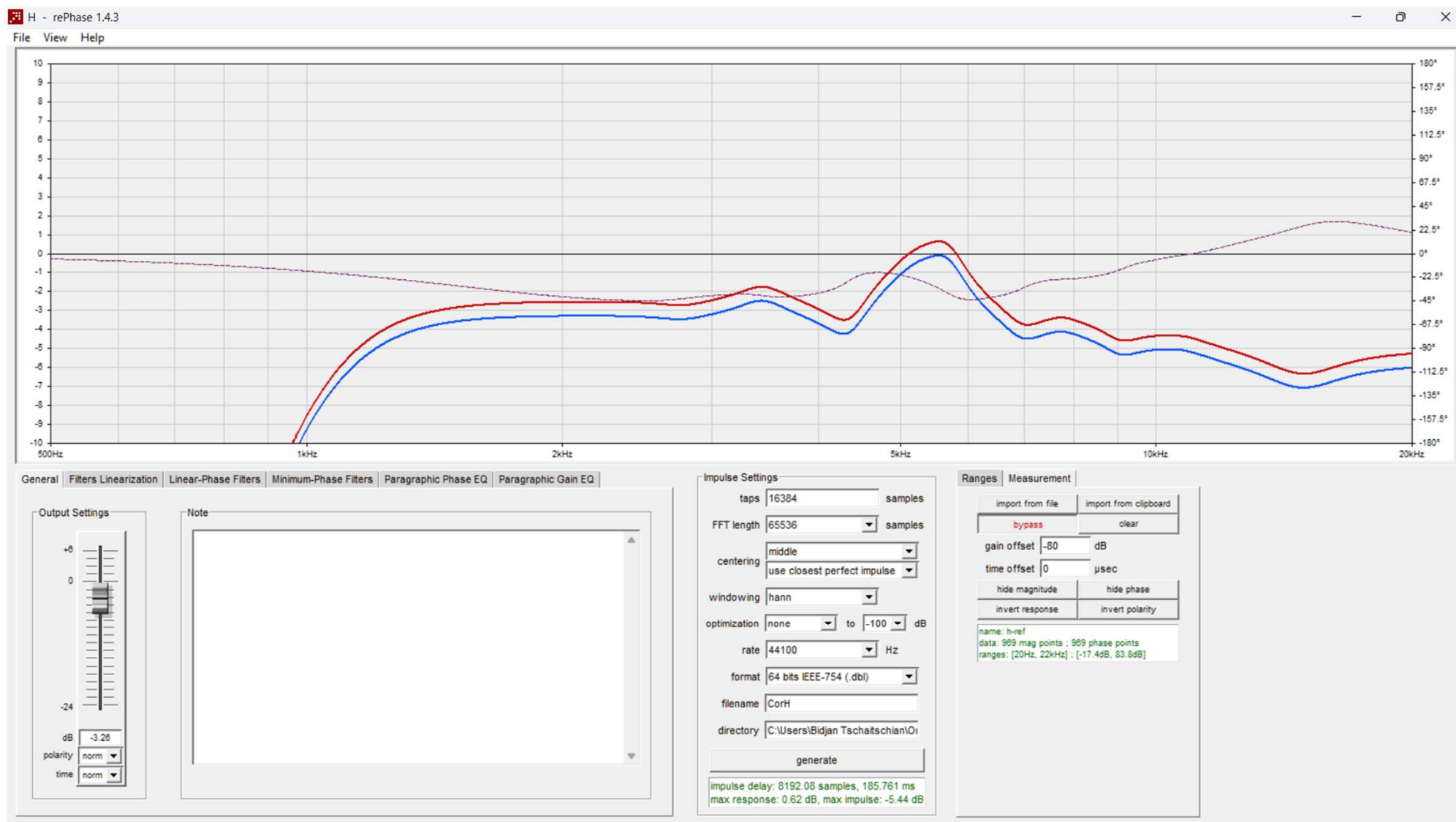
In rePhase pro Treiber

- Übertragung EQs aus REW EQ
 - im Paraphoric Gain EQ
- Bei Bedarf Phase nachkorrigieren
 - im Paraphoric Phase EQ
- Output in dB kontrollieren und ggf. anpassen (Measurement/bypass)
- Filter generieren

EQs aus REW übernommen in rePhase



Bypass Check – Korrektur erforderlich



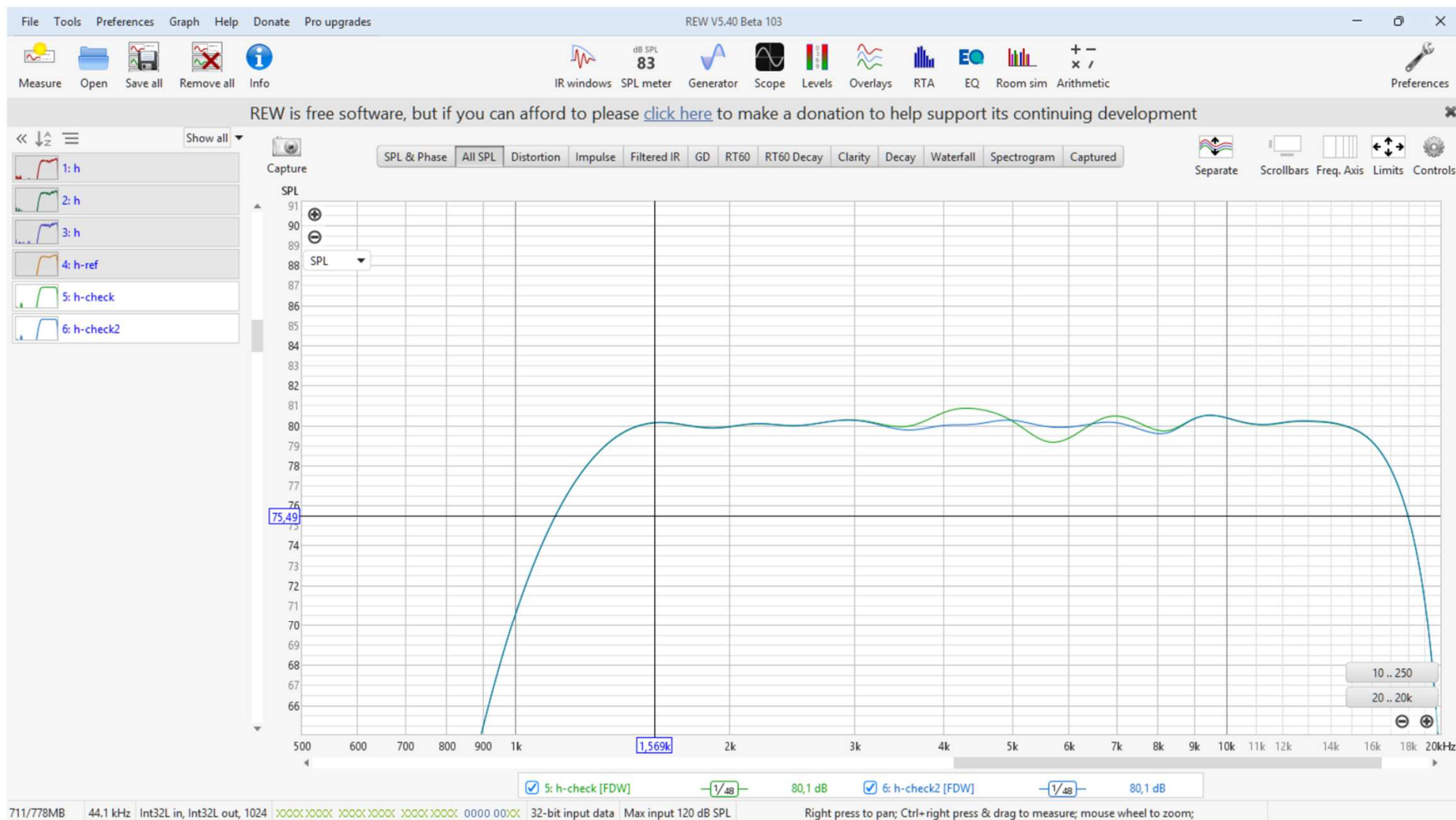
Nahfeld – REW Filter erneut prüfen

In REW pro Treiber mit dem neuen Filter

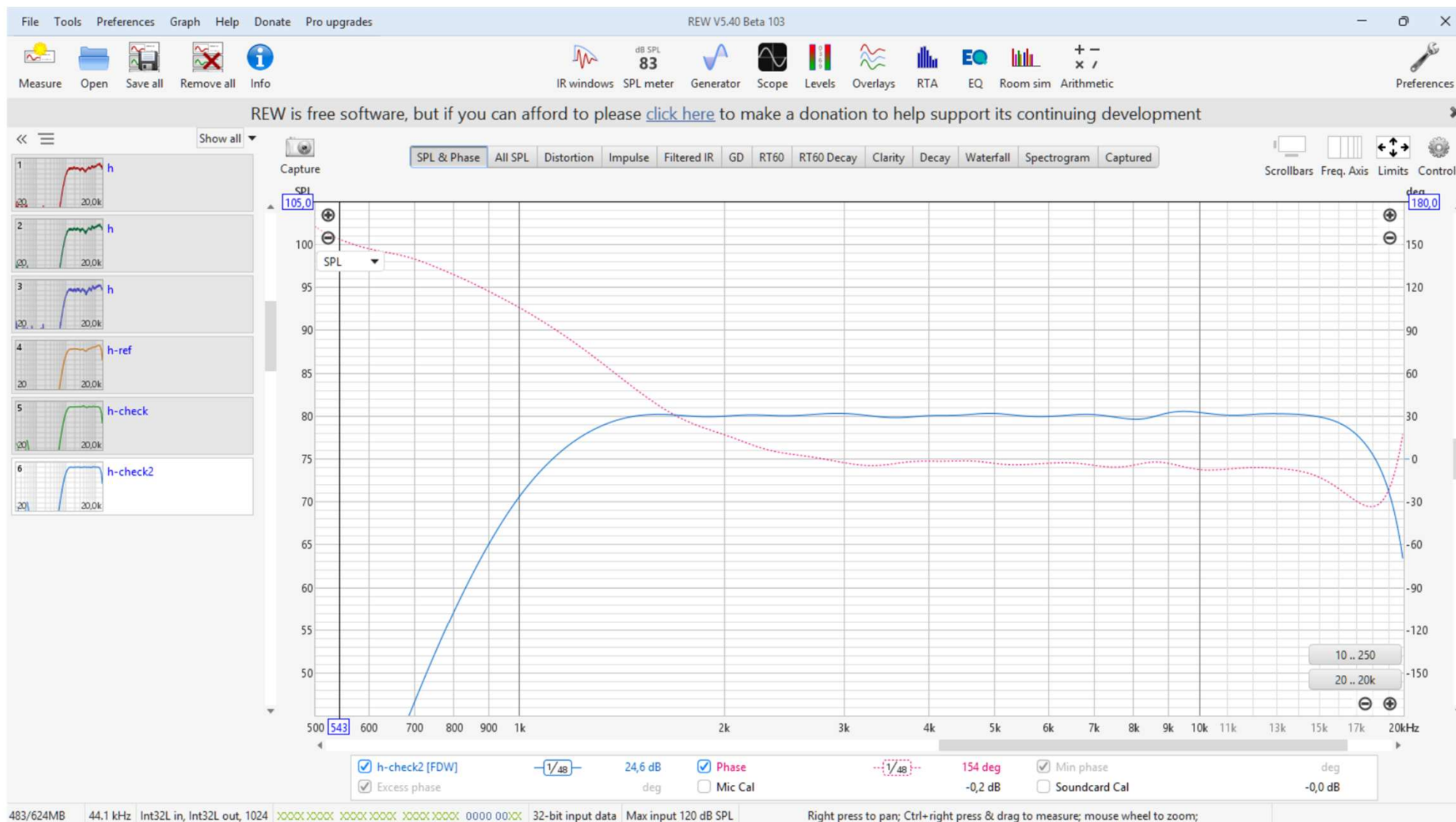
- Korrekturmessung
- Überprüfung von Frequenzgang und Phase
- Wenn nötig: Nachkorrekturen im REW EQ vorbereiten

Diesen Vorgang später auch mit nachkorrigierten Filtern wiederholen.

Kontrolle in REW: vorher/nachher



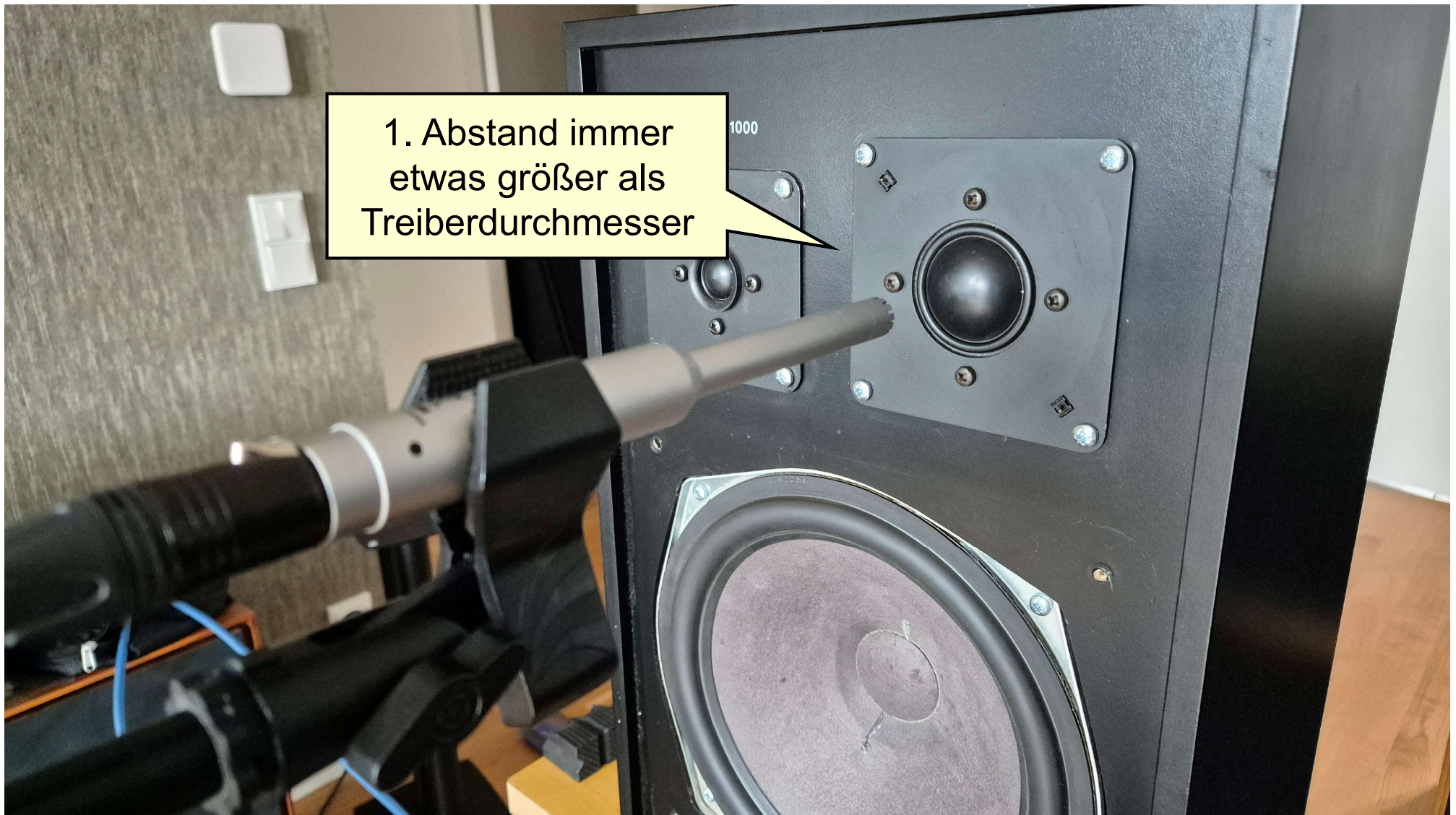
Kontrolle in REW: SPL & Phase



Zwischenstand und nächste Schritte

- H ist linearisiert: Basisfilter CorH.dbl vorhanden
- Es folgt M
 - auch ausführlich dokumentiert mit etwas weniger Details
- Die Vorgehensweise zur Linearisierung von M ist identisch wie bei H.

Weiter mit M



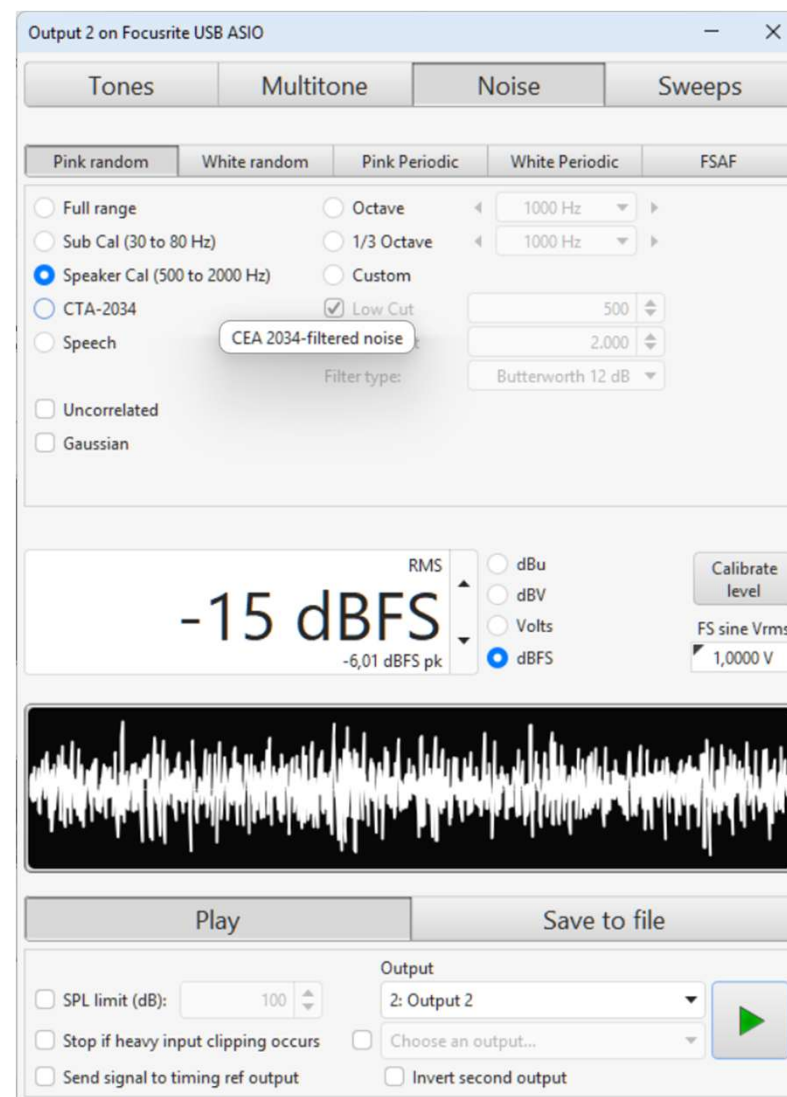
Nur den Mitteltöner einschalten

Filter

H	CorH.dbf ▼	☐	att 3	del 0
M	CorM.dbf ▼	☒	att 3	del 0
B	CorB.dbf ▼	☐	att 3	del 0

Volume-Check mit SPL Meter/Generator

Pegel auf 85-90



3 Messungen – nach jeder das Mikrofon ein paar Zentimeter nach hinten ziehen

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: m ☐ Add number ☐ Add date/time ☒ Use as entered

Will appear as: m ☐ Prefix with output ☐ Append level

☐ Add to group R FIR Kombi 1 New group...

Notes:

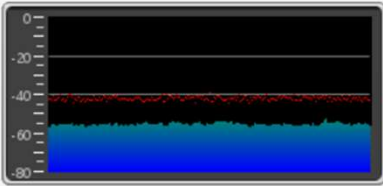
☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq 20 End Freq 22.050 Hz

Level: RMS -15 dBFS ☐ dBu ☐ dBV ☐ Volts ☒ dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN ☐ No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

Input: 

Settings: Length 256k Repetitions 1 5,9 s

Timing: No timing reference Set t=0 at IR peak

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Repeated measurements

Setup: Start delay 1 s, 3 measurements, Between delay 2

Output: 2: Output 2

Sec. output: 1: Output 1 ☐

Options: None selected

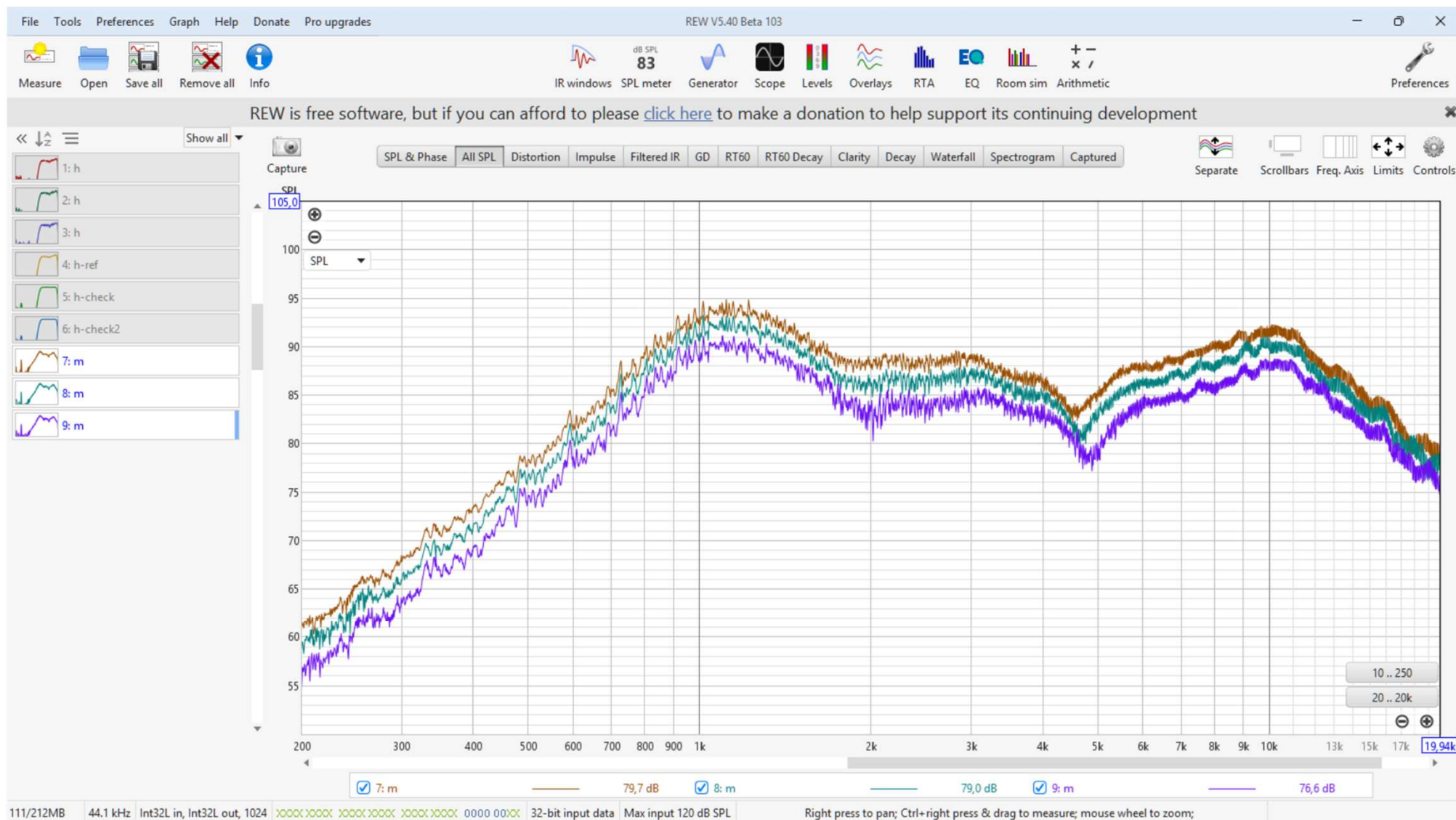
☒ Capture noise floor

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

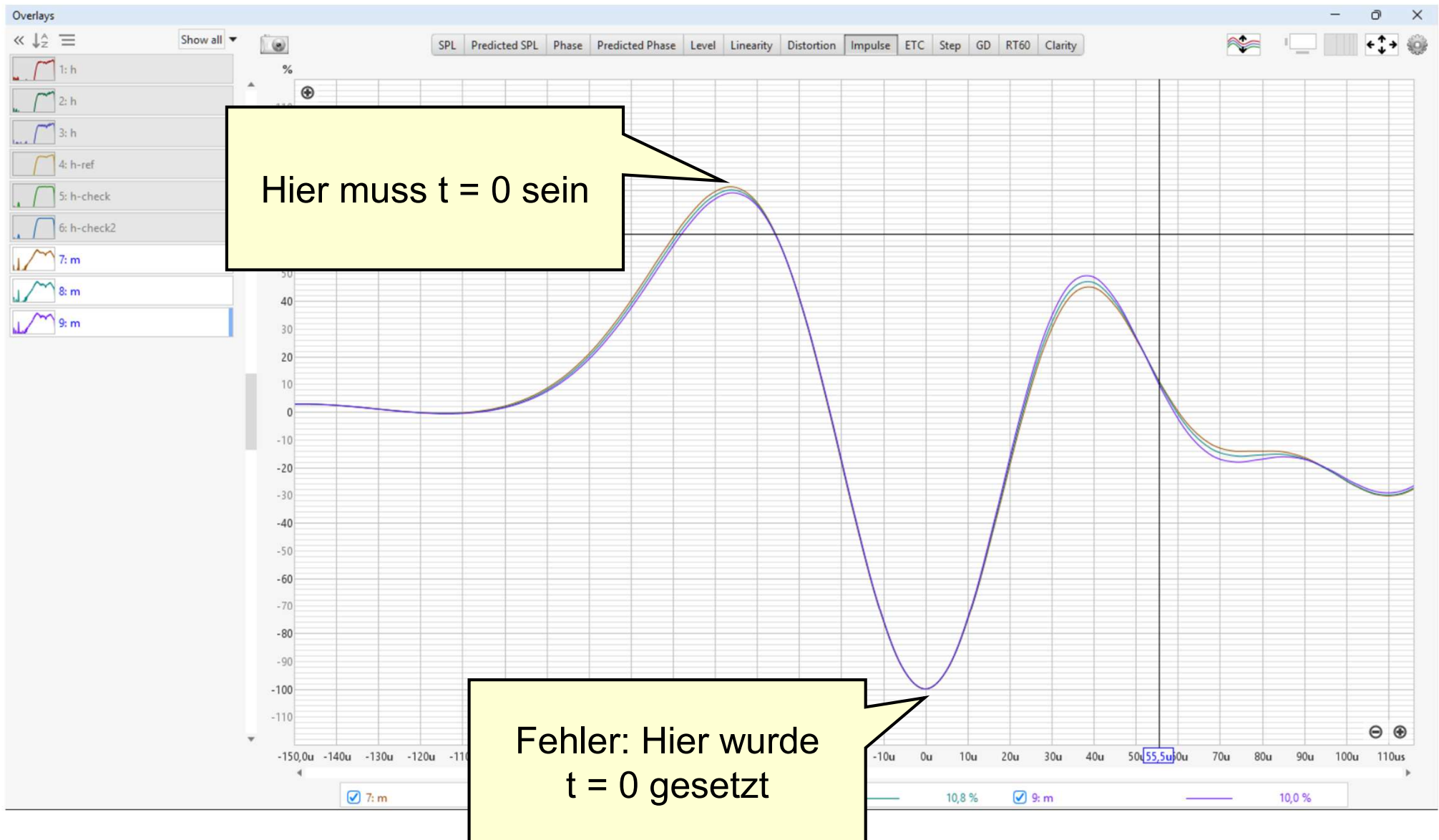
Calibration files...

Check levels Start Abbrechen

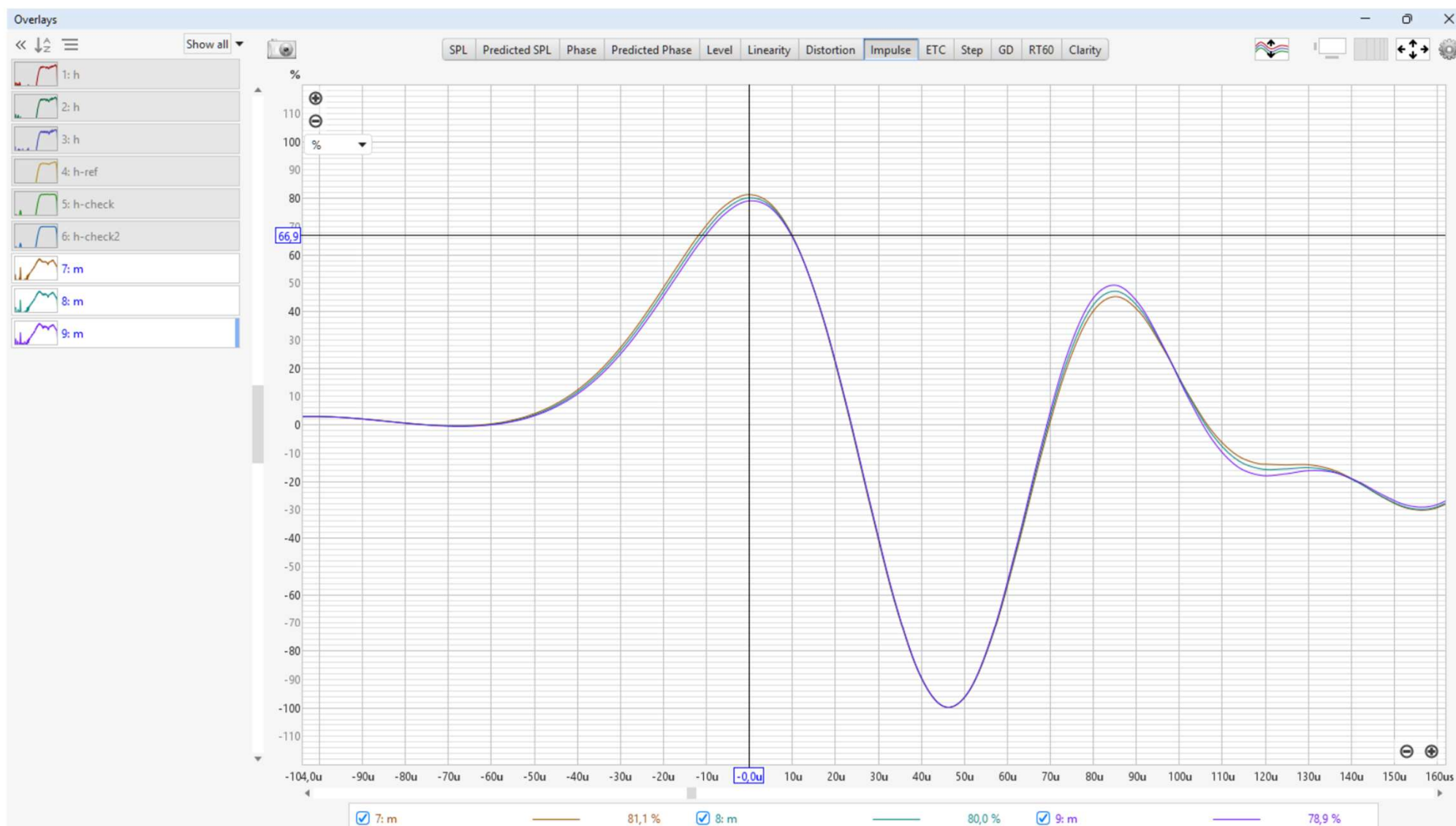
3 Messungen für den Mitteltöner



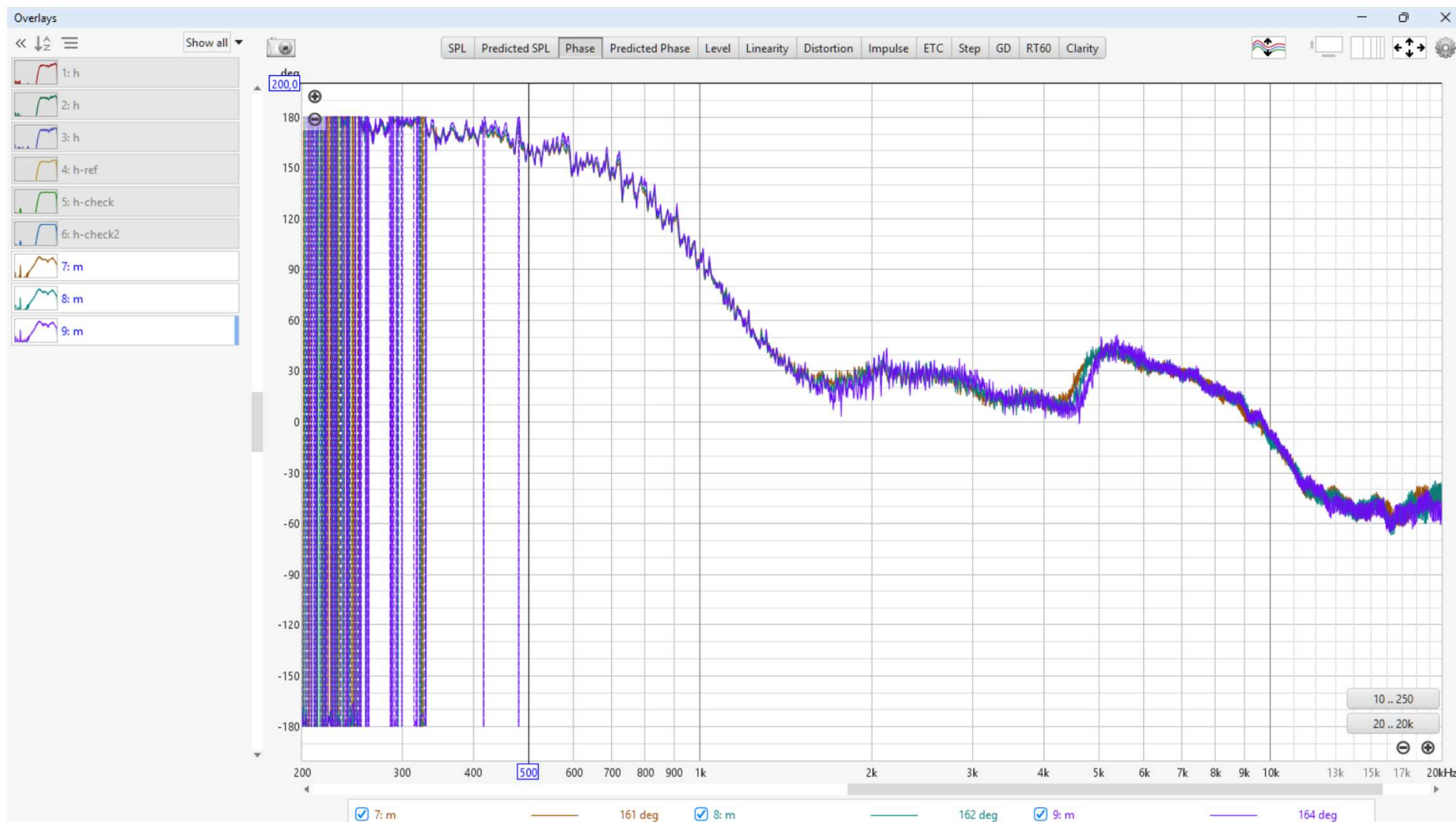
Overlay Impulse Check



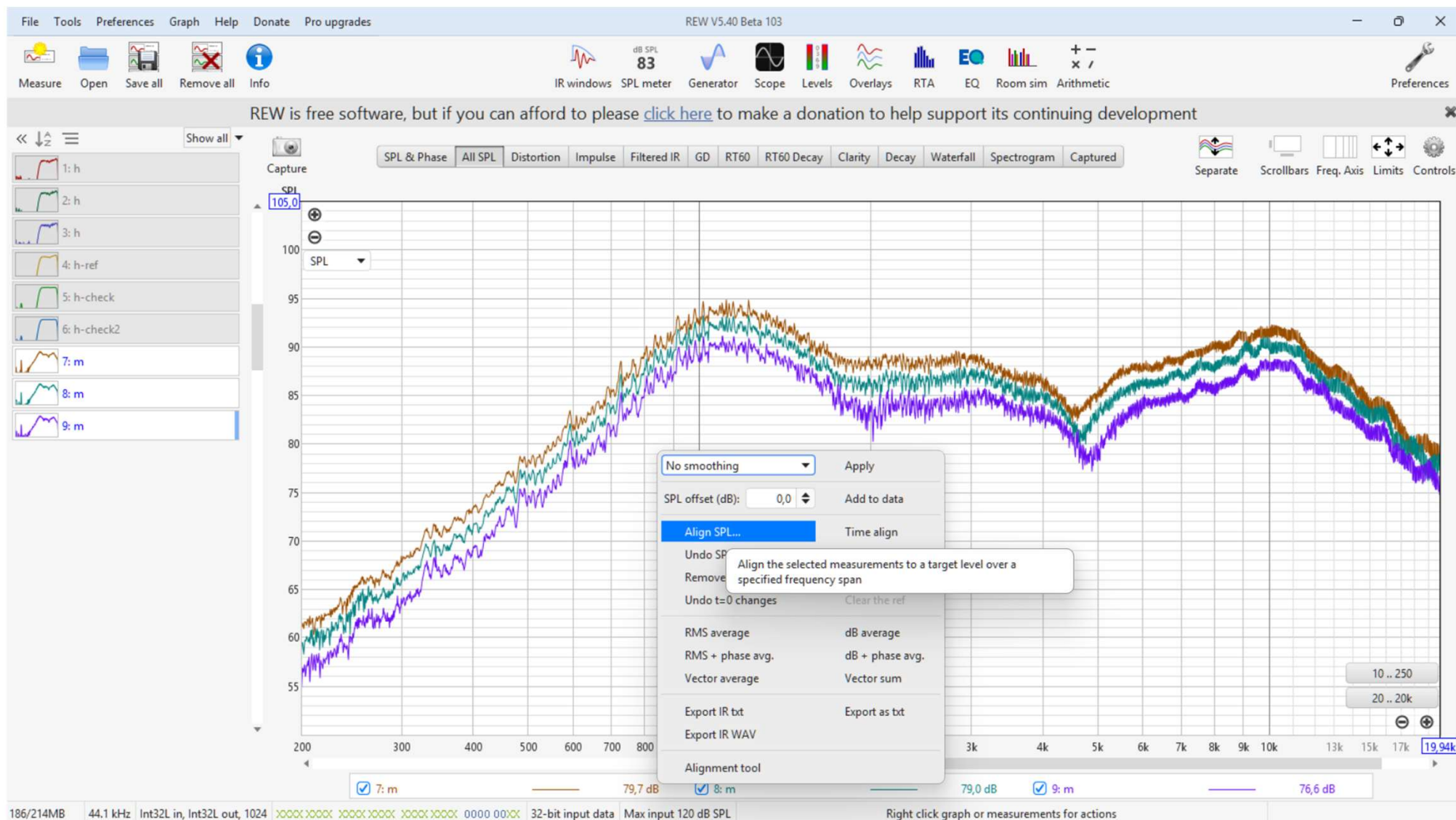
Korrigiert: Impuls bei $t = 0$



Phase mit $t = 0$ an der korrekten Stelle



Align SPL (rechte Maustaste)



Einstellungen

Align SPL ✕

☐ Use average SPL of measurements

☒ Use SPL specified below

Alignment level (dB): ↕

Available range: 20,19 Hz to 22,05 kHz

Alignment centre: ▼

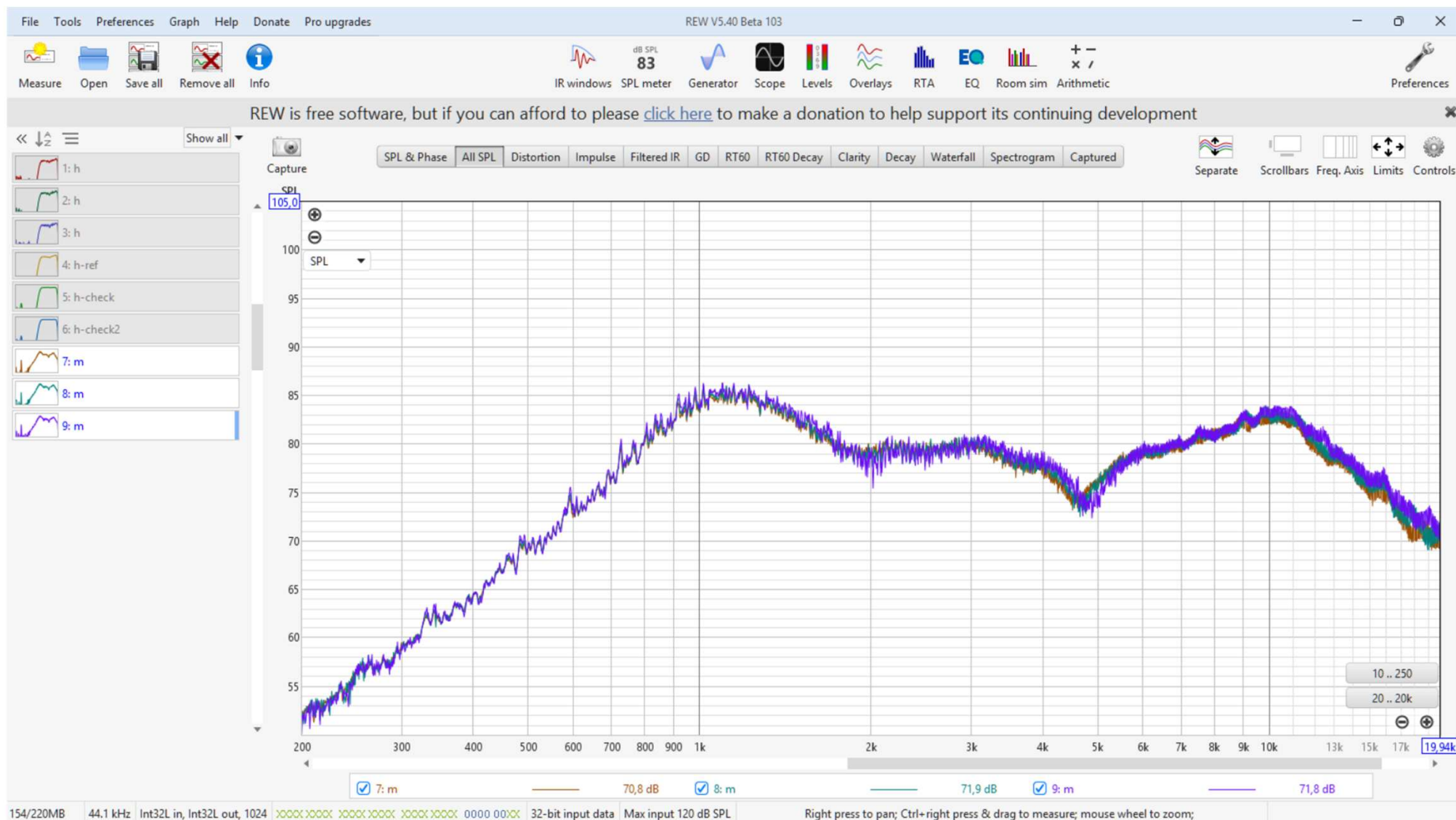
Alignment span (octaves): ▼

OK Abbrechen

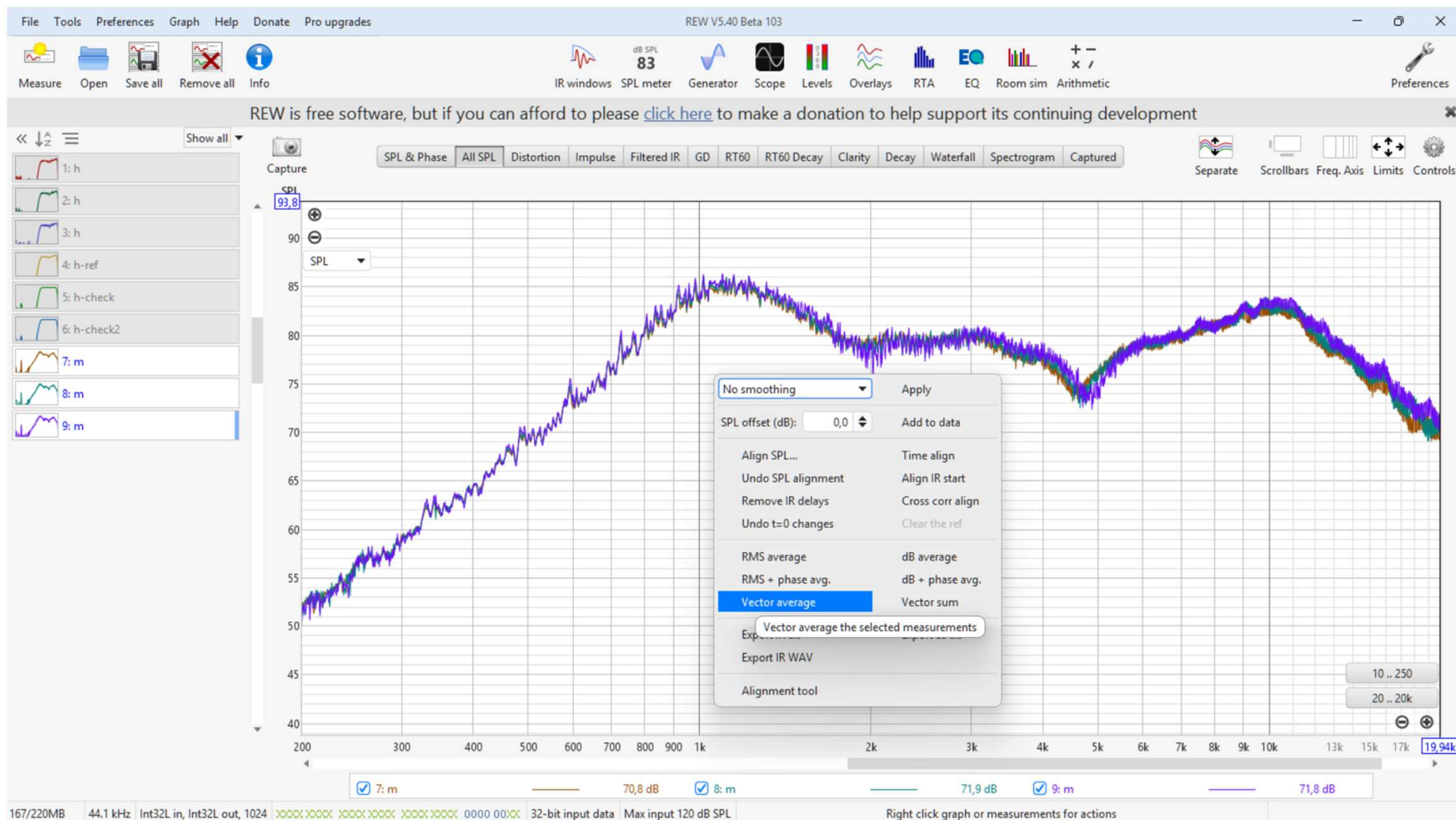
Wir ziehen die
Messungen auf 80,0
dB

Sinnvollen Wert für
den Treiber
auswählen

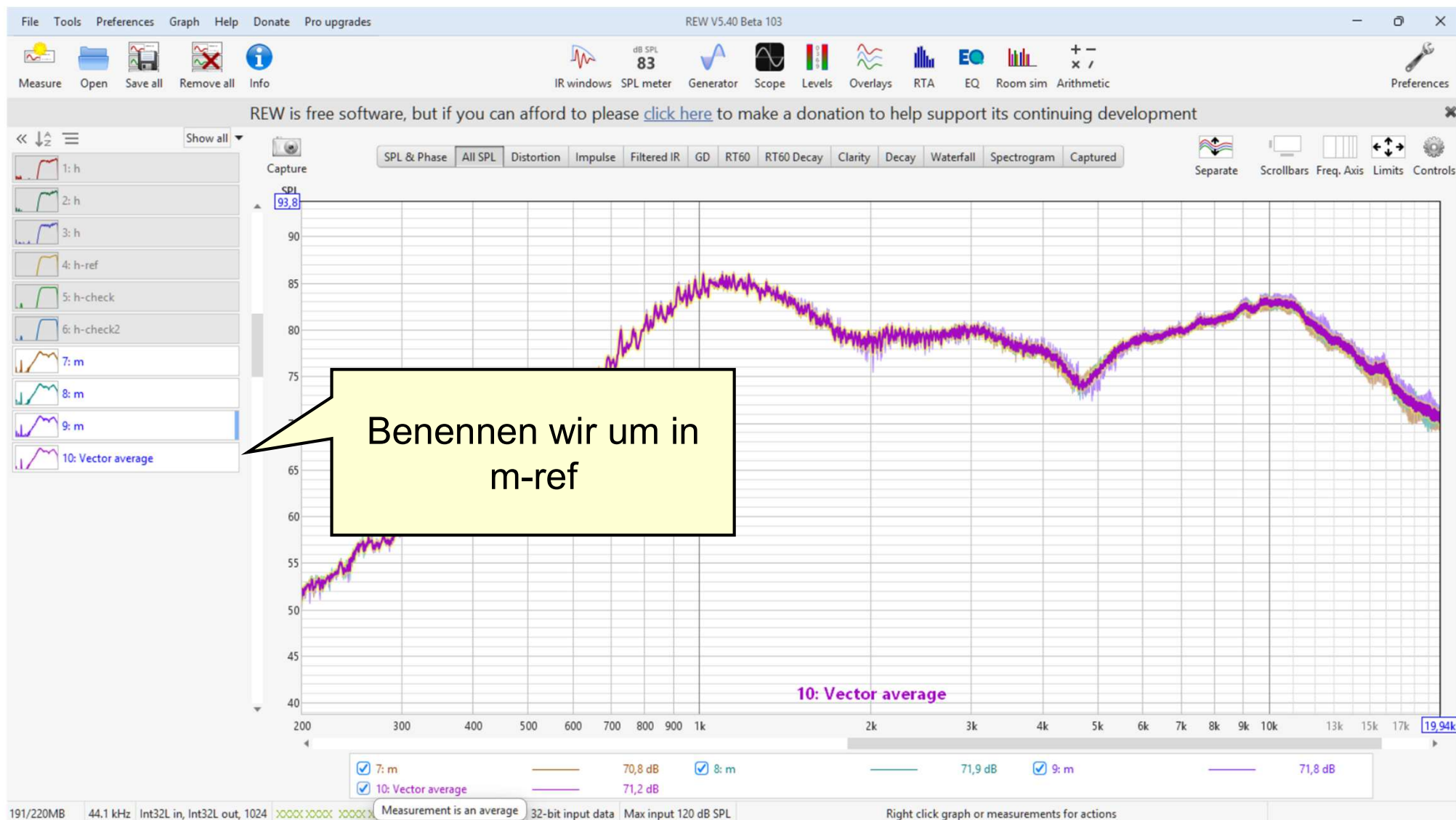
Die 3 Messungen im Pegel angeglichen



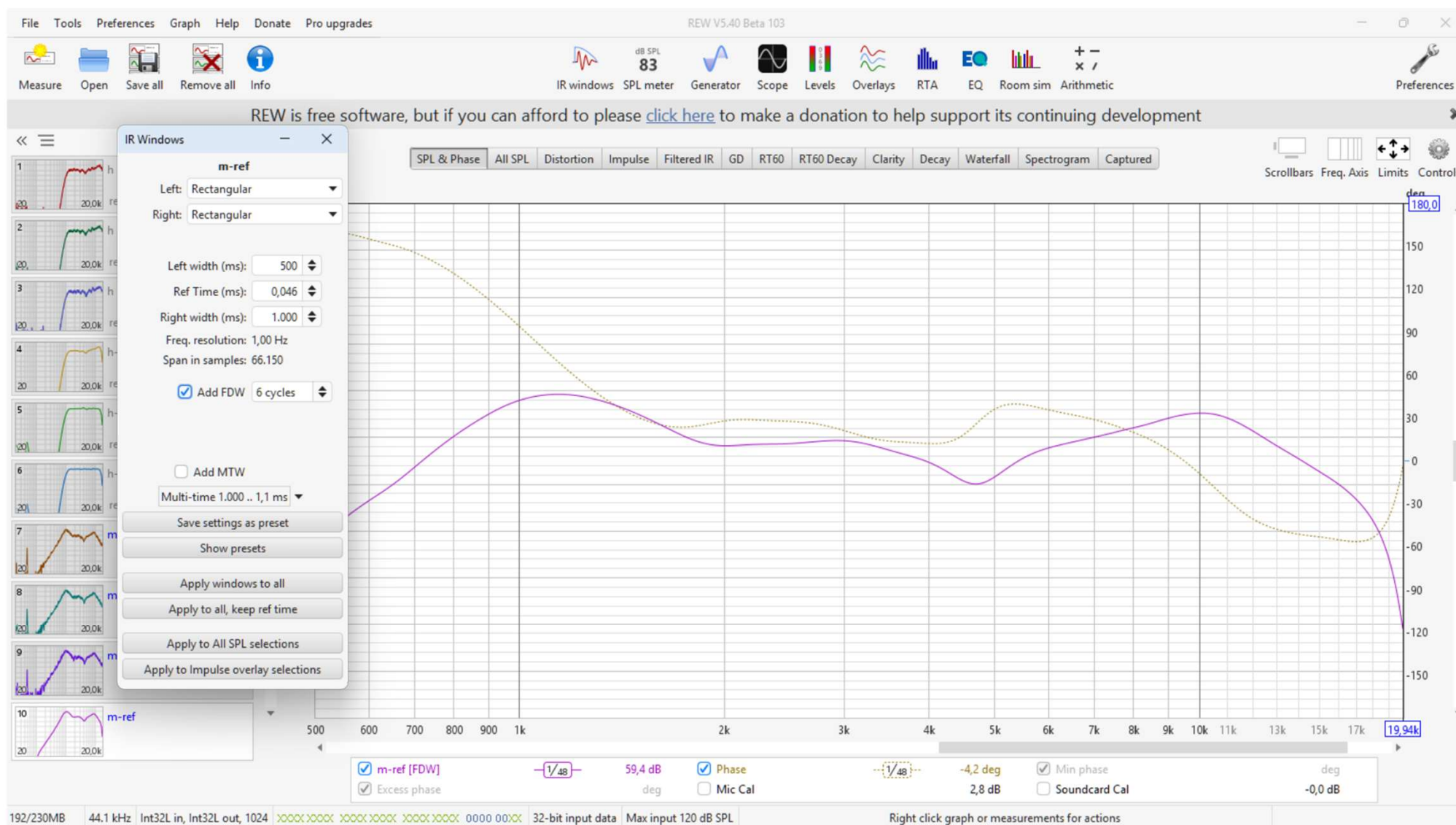
Messungen mitteln (Vector Average)



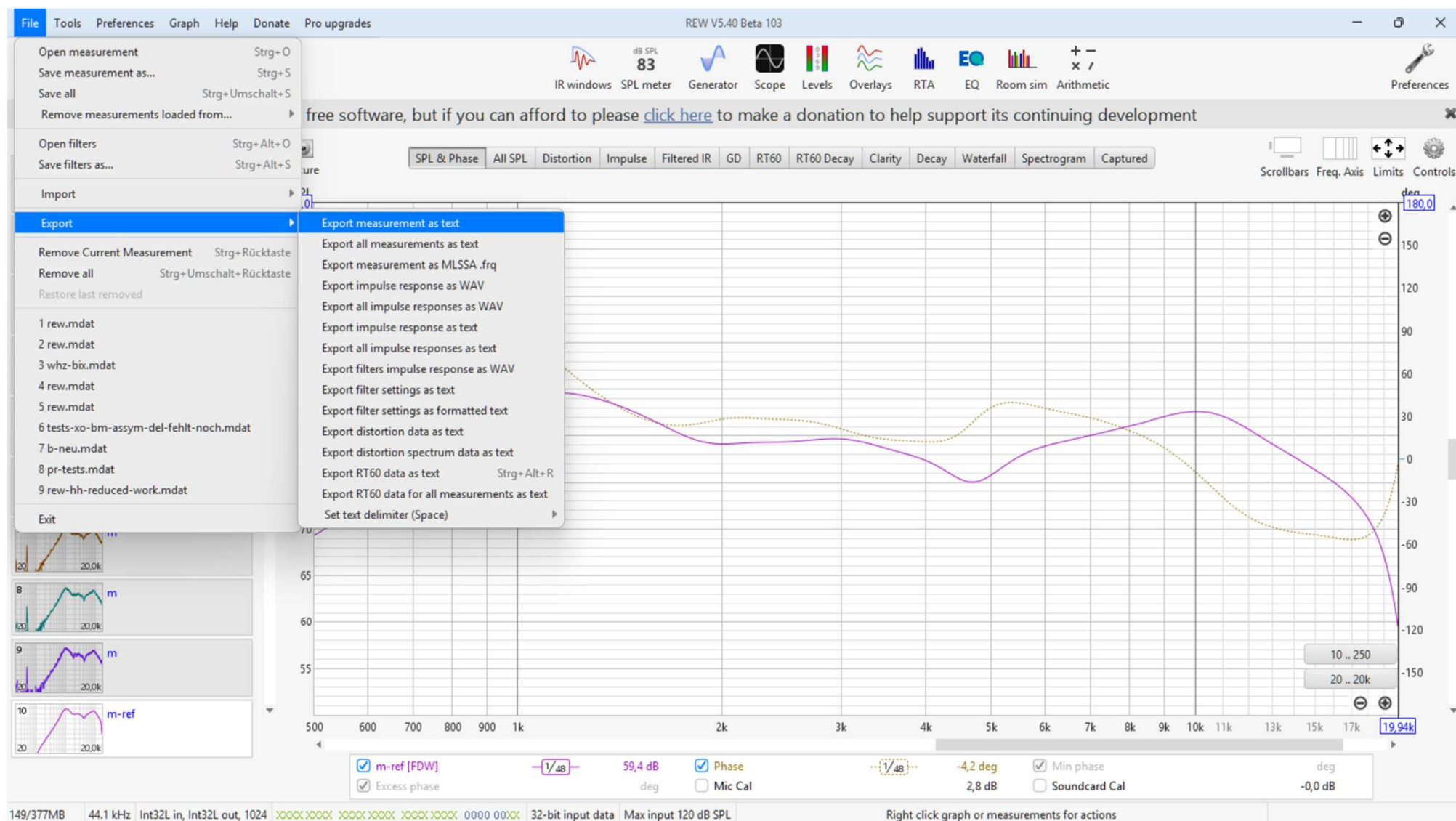
Gemittelte Messung



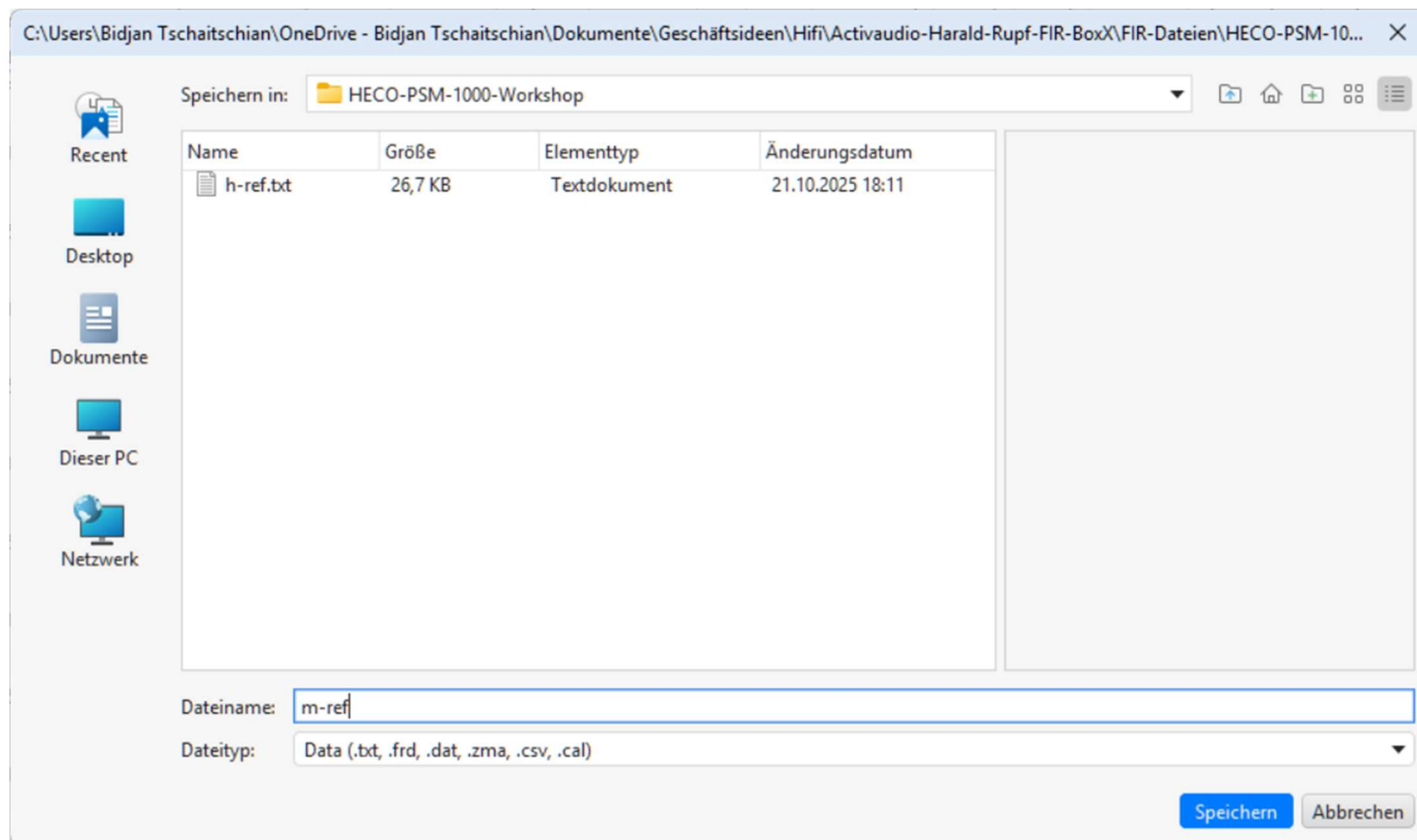
Smoothing mit FDW = 6 cycles



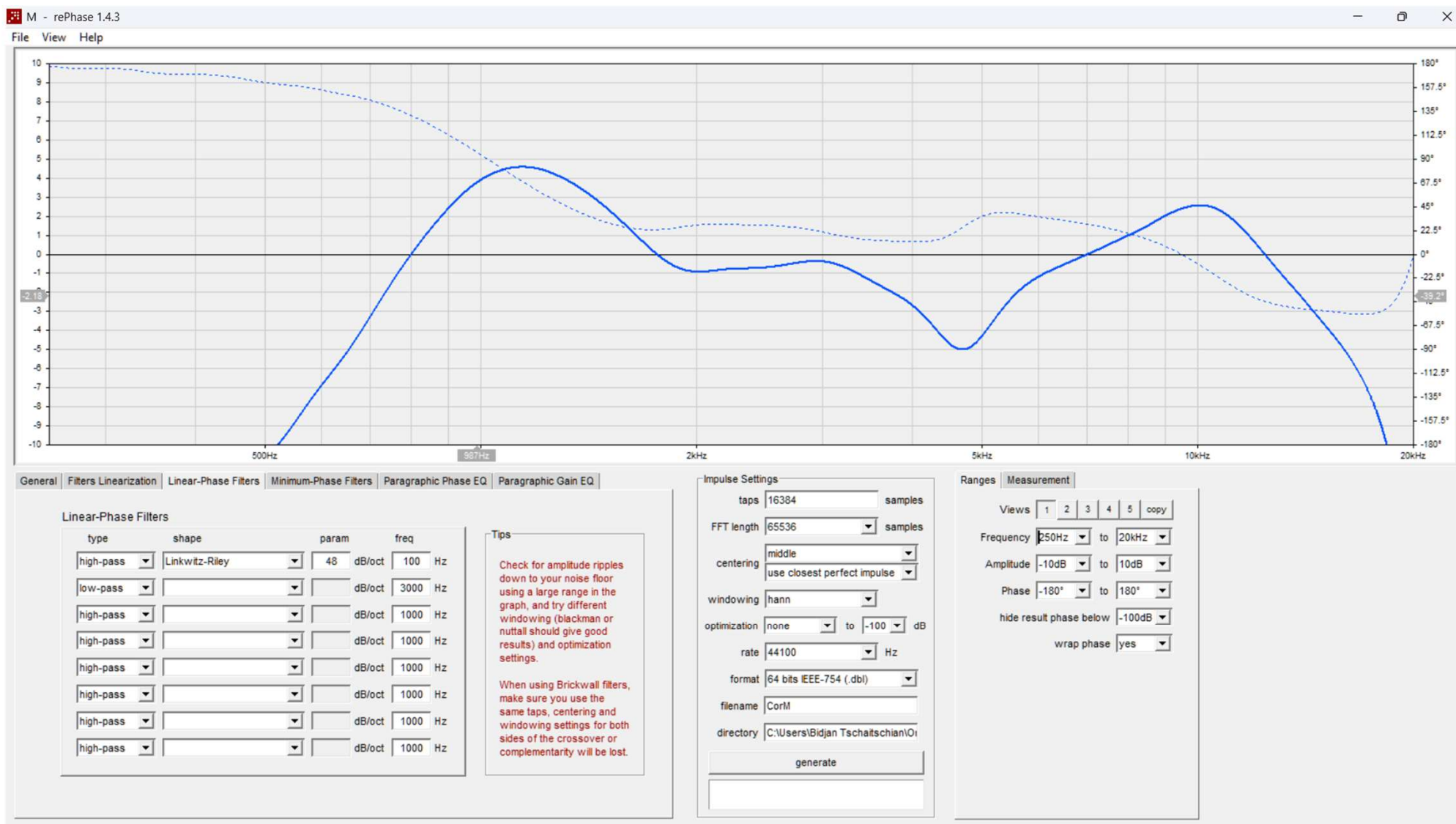
Export als .txt-Datei



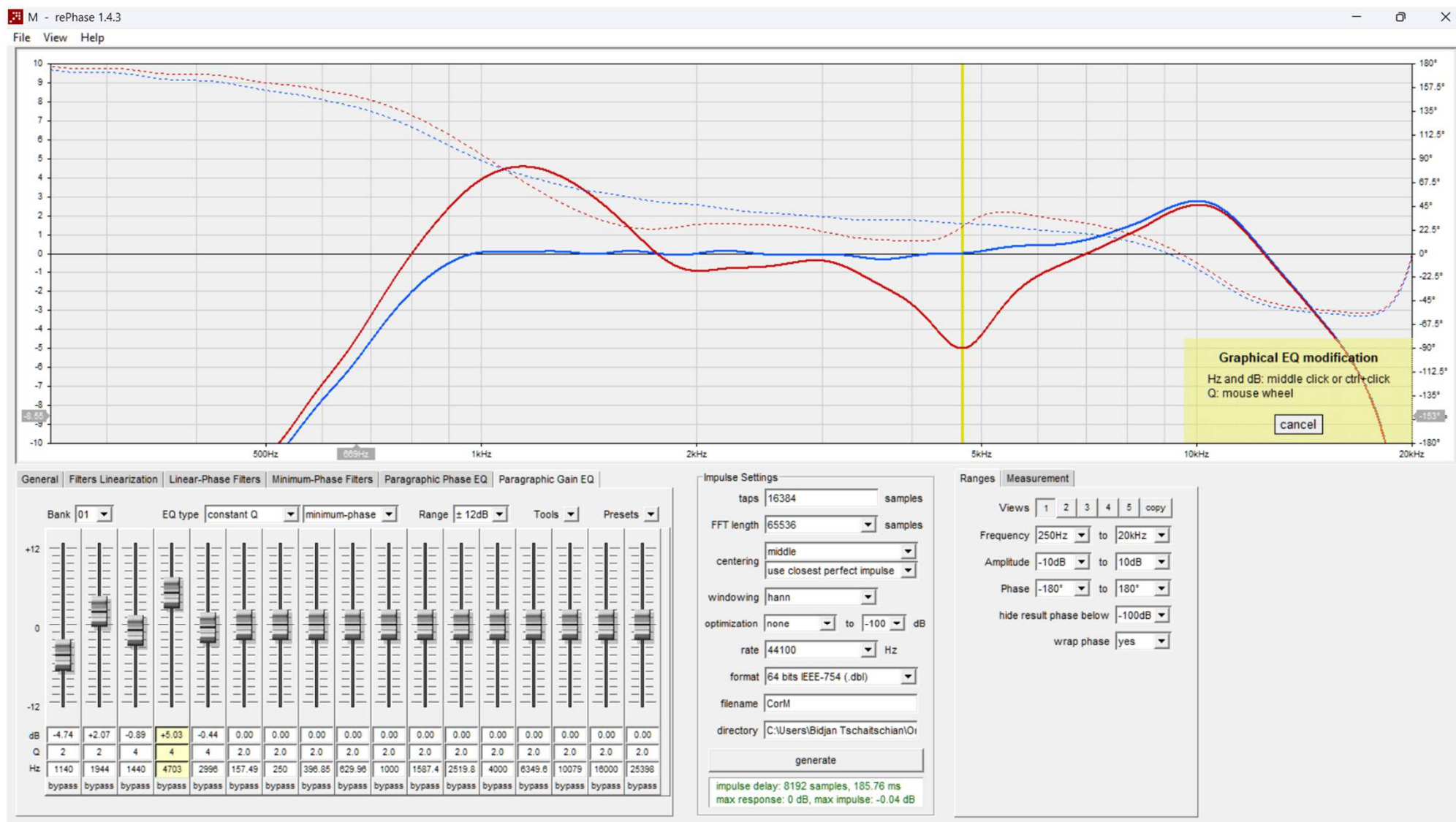
Als m-ref exportieren



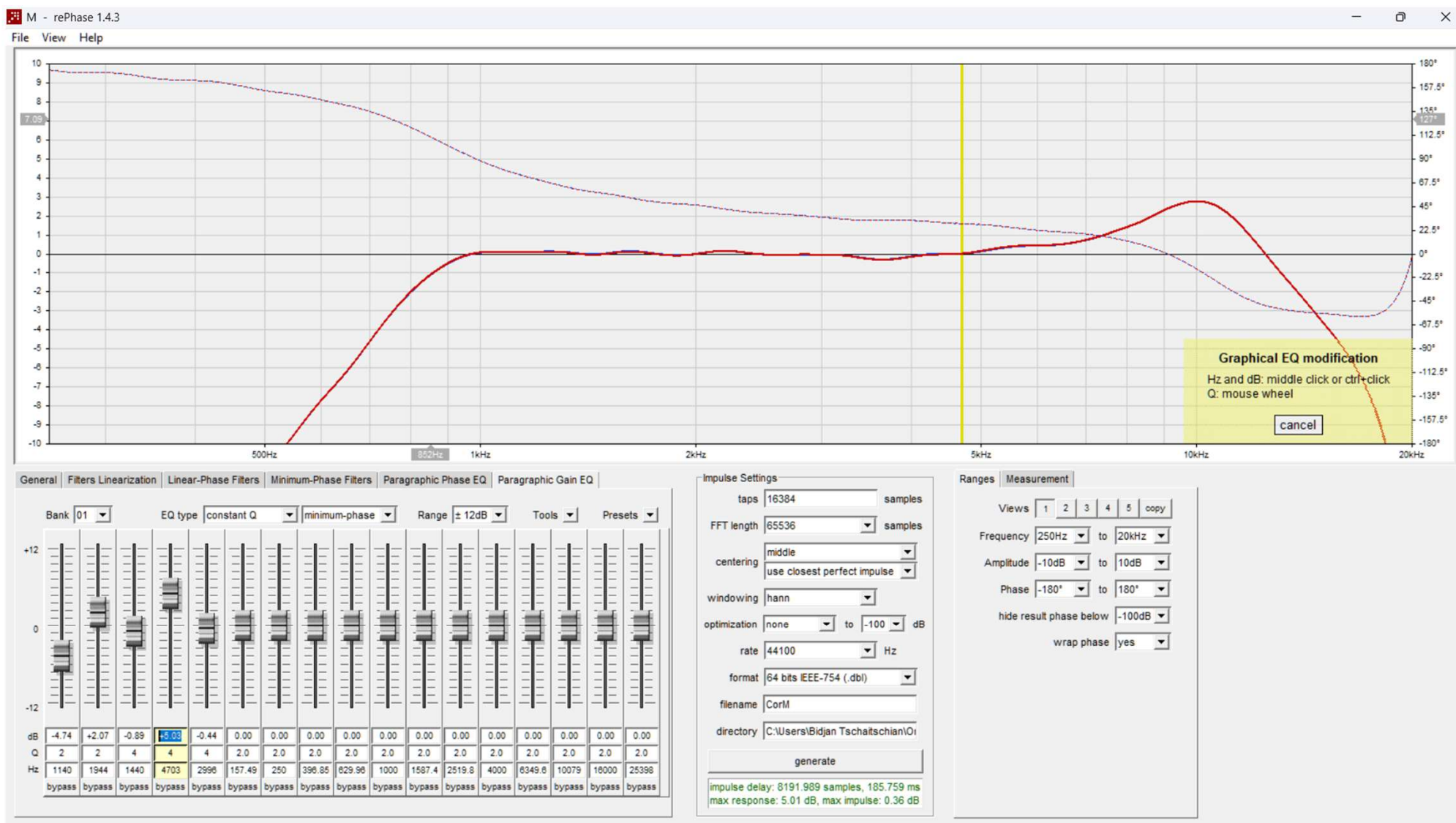
m-ref in rePhase importiert



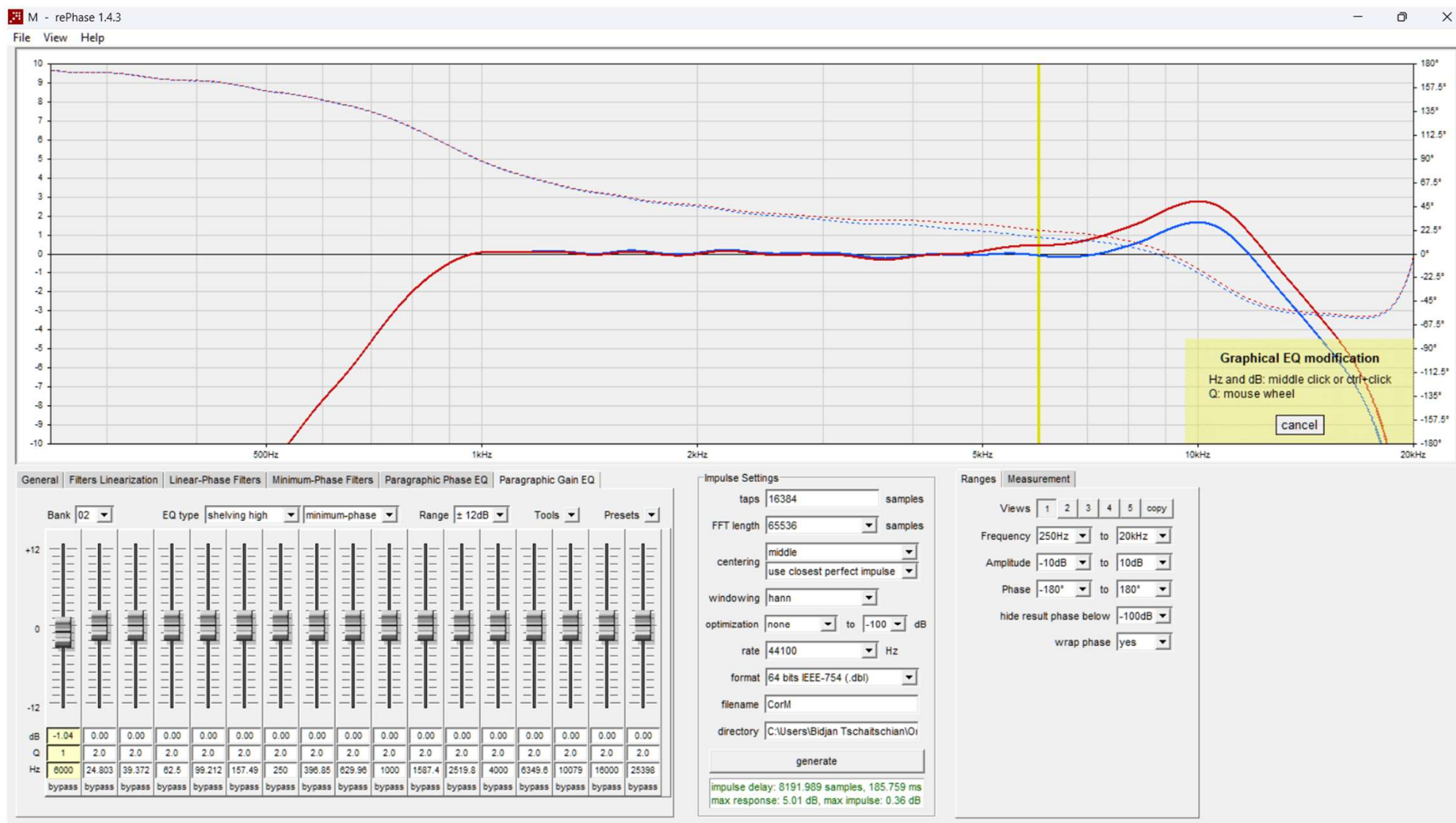
Erste PEQs im Paragraphic Gain EQ



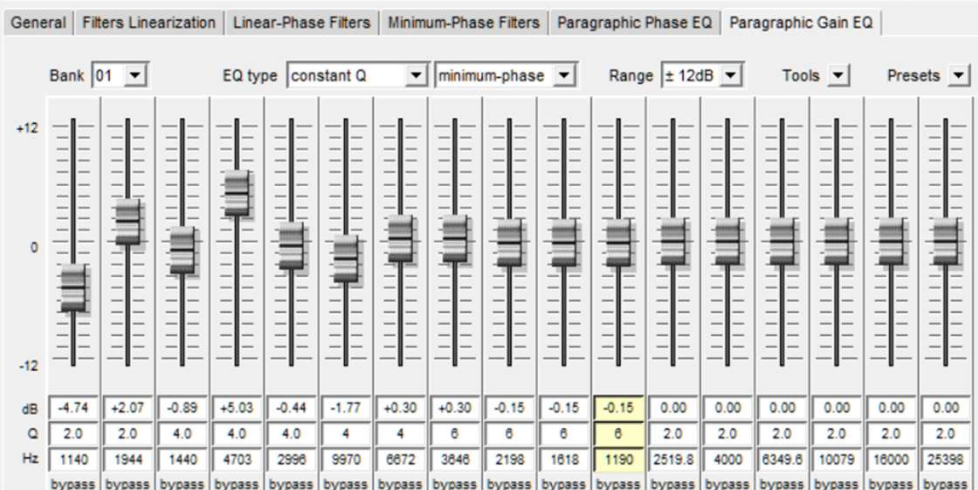
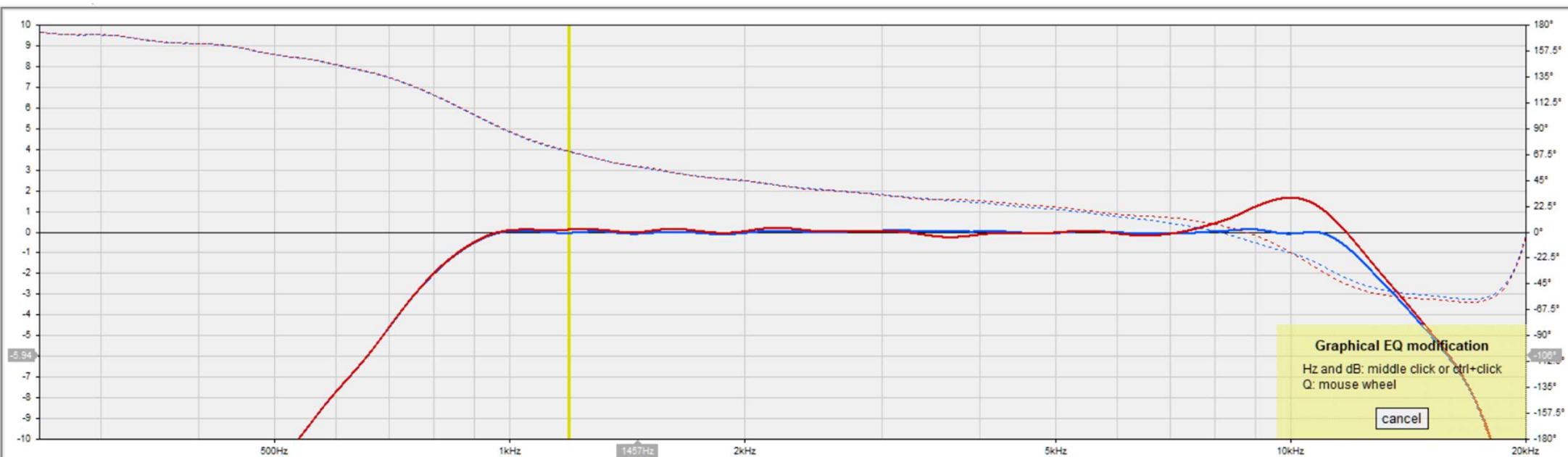
Zwischenergebnis nach Generierung



Highshelf-Filter in Bank 02



Feinschliff bei den PEQs in Bank 01



Impulse Settings

taps 16384 samples

FFT length 65536 samples

centering middle

use closest perfect impulse

windowing hann

optimization none to -100 dB

rate 44100 Hz

format 64 bits IEEE-754 (.dbl)

filename CorM

directory C:\Users\Bidan Tschaitschian\O

generate

Ranges Measurement

Views 1 2 3 4 5 copy

Frequency 250Hz to 20kHz

Amplitude -10dB to 10dB

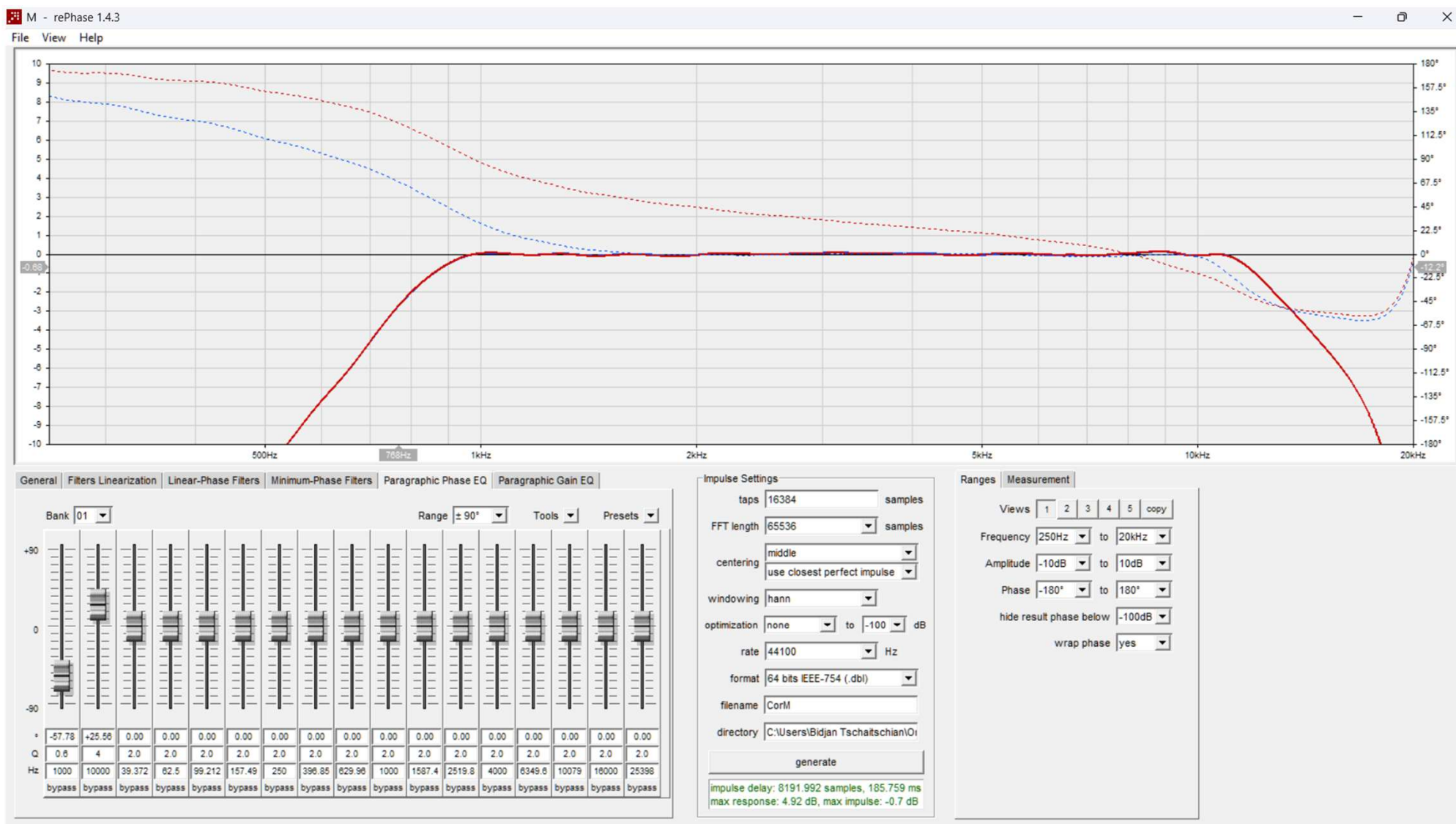
Phase -180° to 180°

hide result phase below -100dB

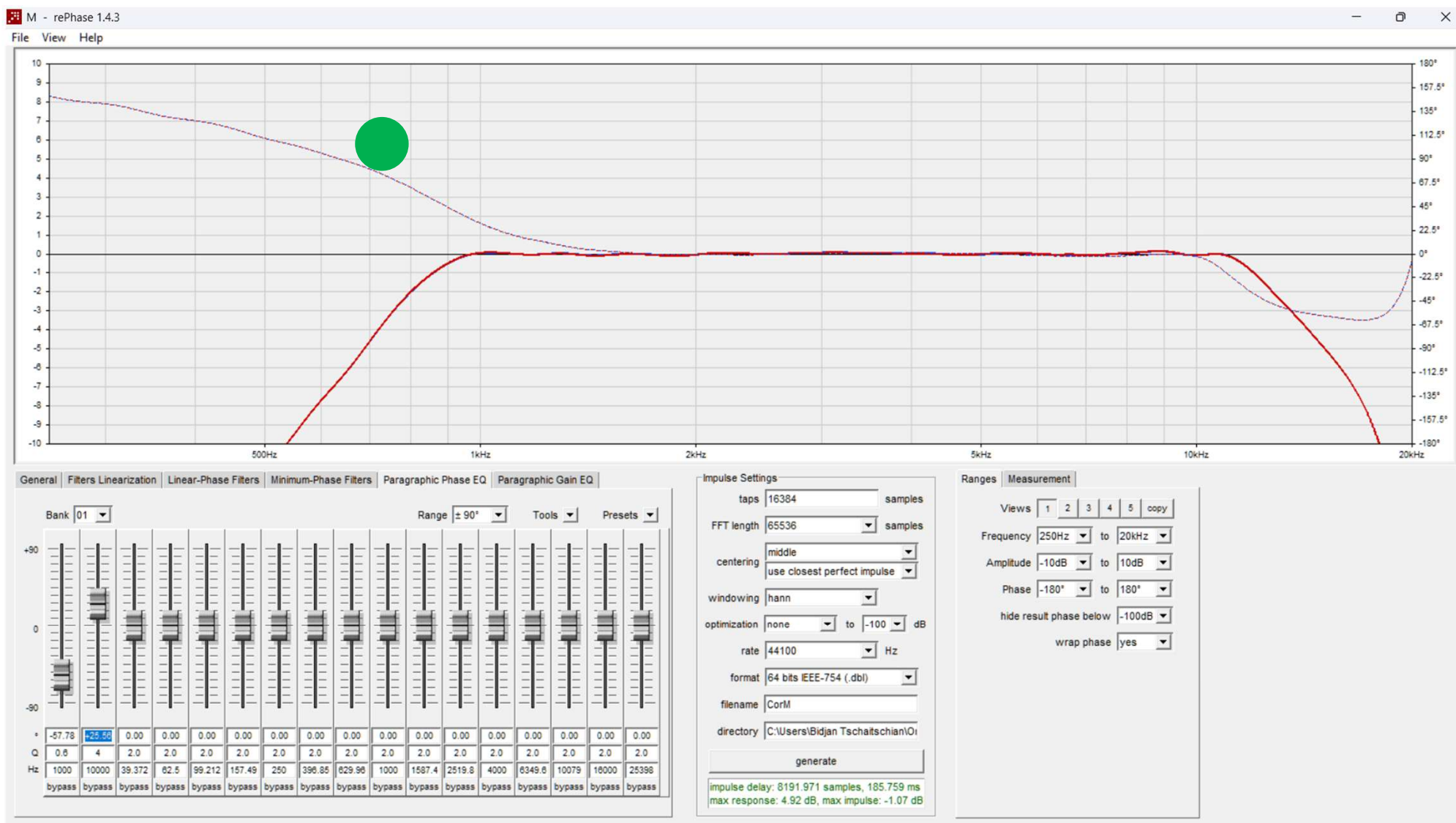
wrap phase yes

impulse delay: 8191.983 samples, 185.759 ms

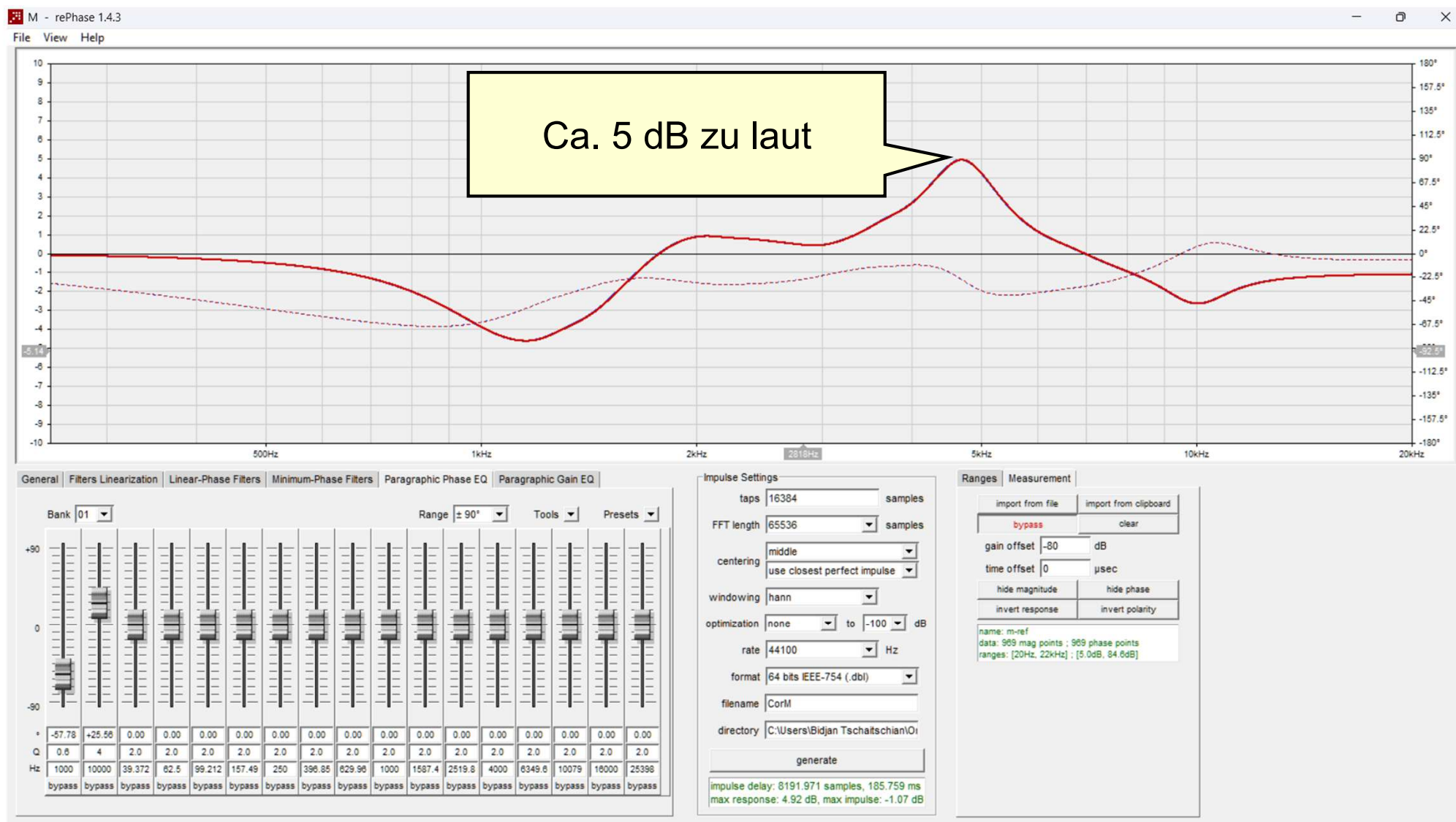
Phase korrigieren (Parabolic Phase EQ)



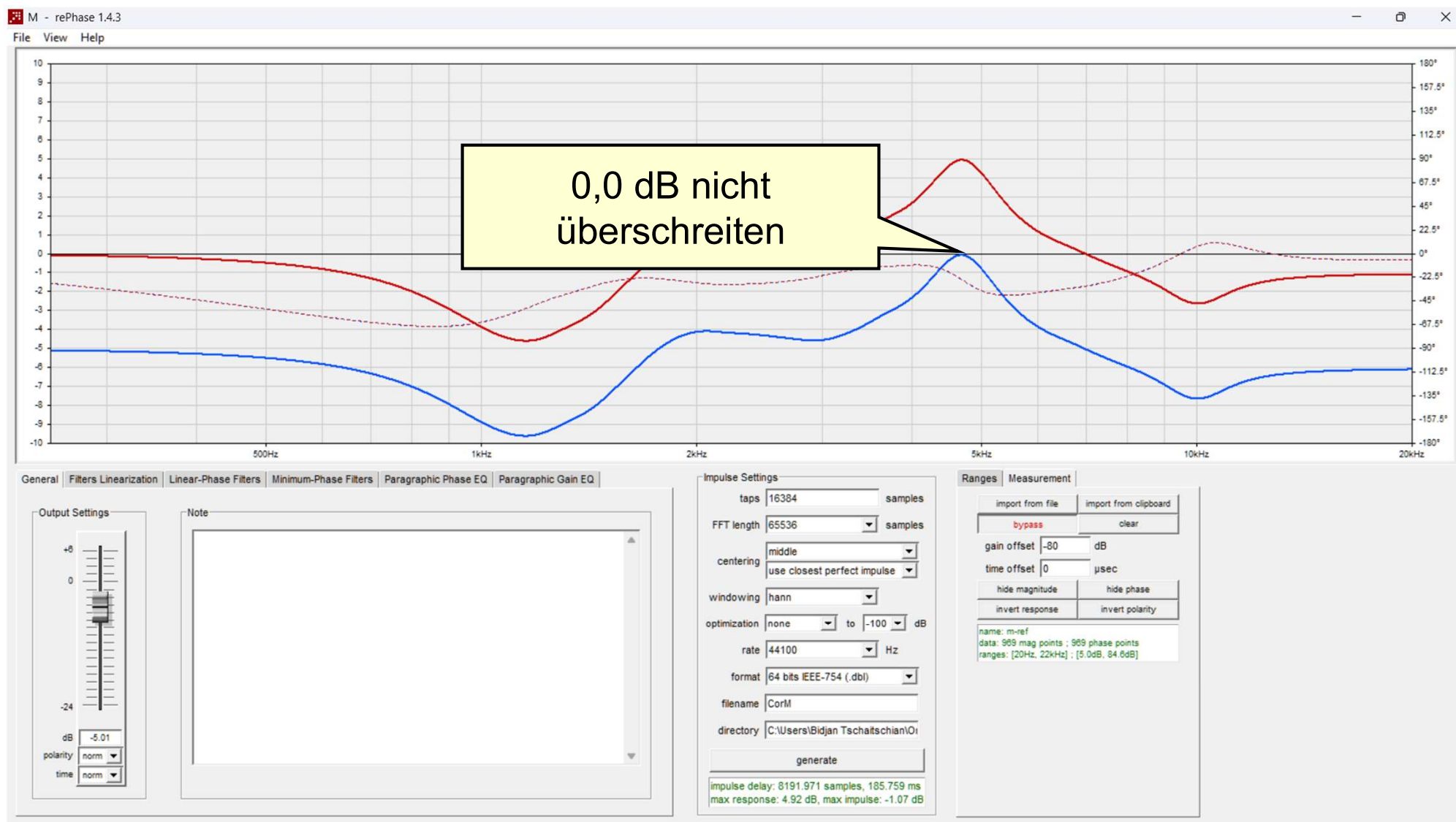
Das sieht sehr gut aus!



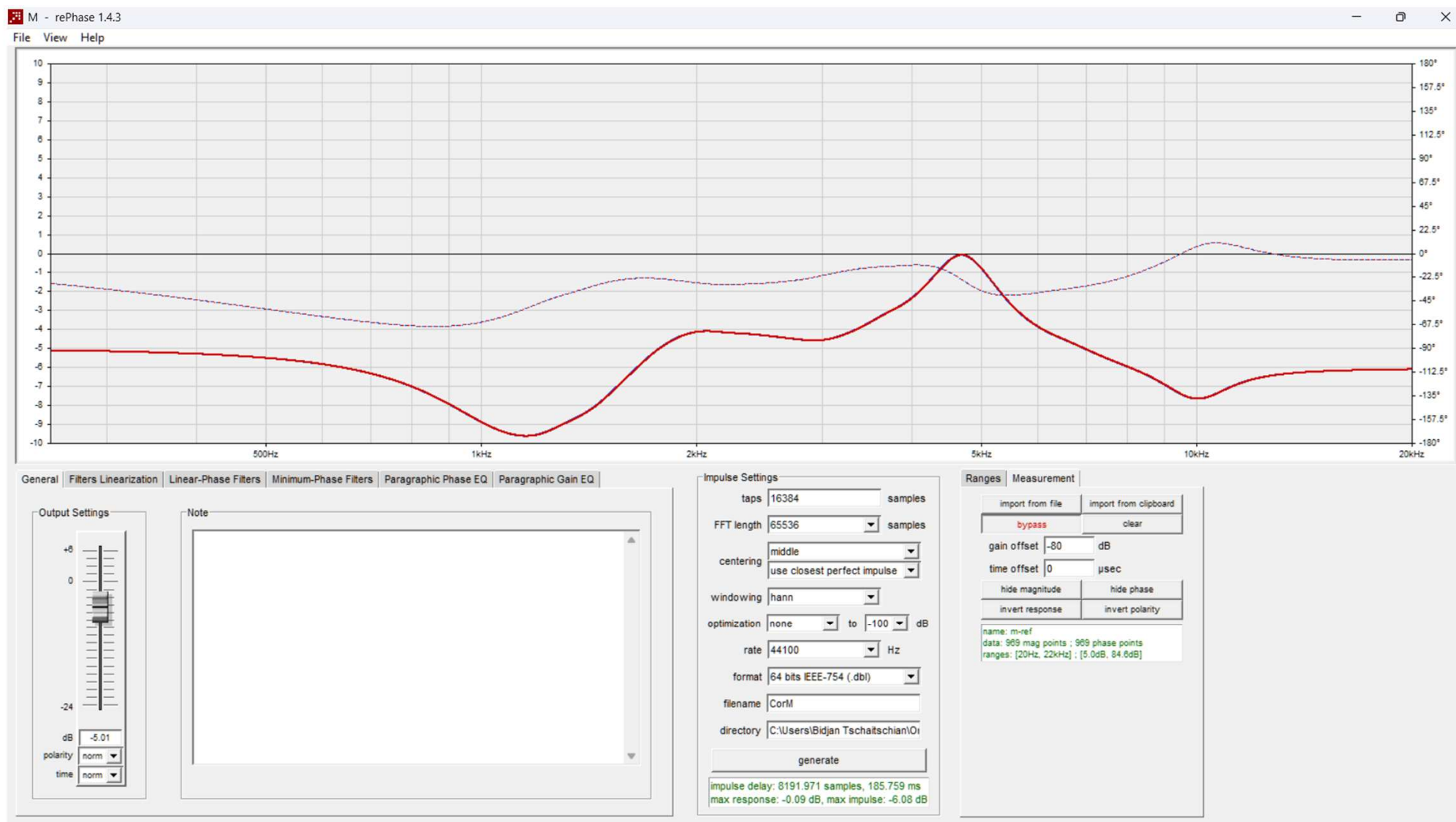
Bypass Check: Der Filter ist „zu laut“



In den Output Settings korrigieren



Generieren und fertig



1 Korrekturmessung aus letzter Position

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: m-check ☐ Add number ☐ Add date/time ☒ Use as entered ☐ Prefix with output ☐ Append level

Will appear as: m-check

☐ Add to group R FIR Kombi 1 New group...

Notes:

☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq 20 End Freq 22.050 Hz

Level: -15 dBFS RMS ☐ dBu ☐ dBV ☐ Volts ☒ dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN

No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

Input:

Settings: Length 256k Repetitions 1 5,9 s

Timing: No timing reference Set t=0 at IR peak

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Single measurement

Setup: Start delay 1 s

Output: 2: Output 2

Sec. output: 1: Output 1 ☐

Options: None selected

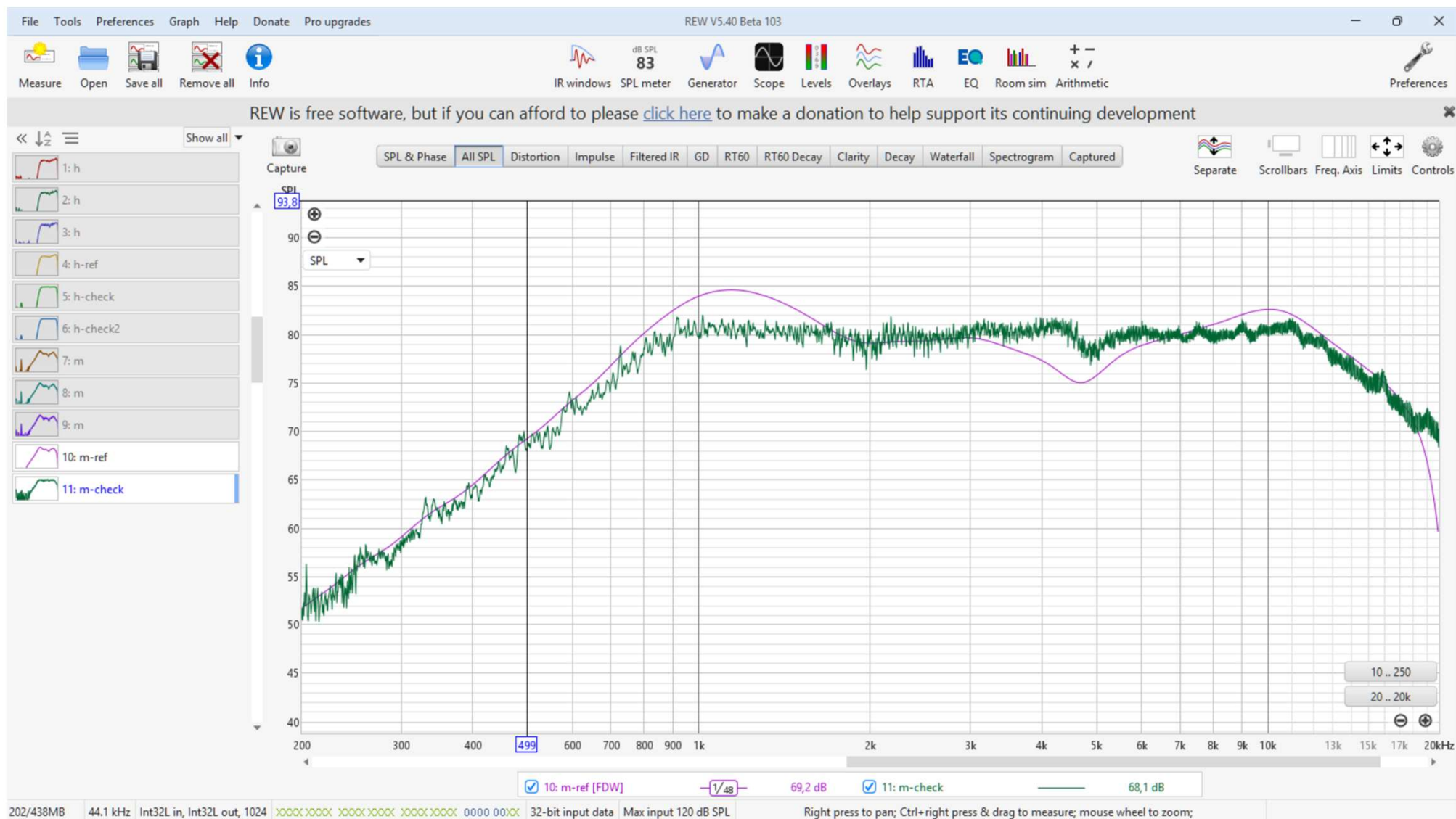
☒ Capture noise floor

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

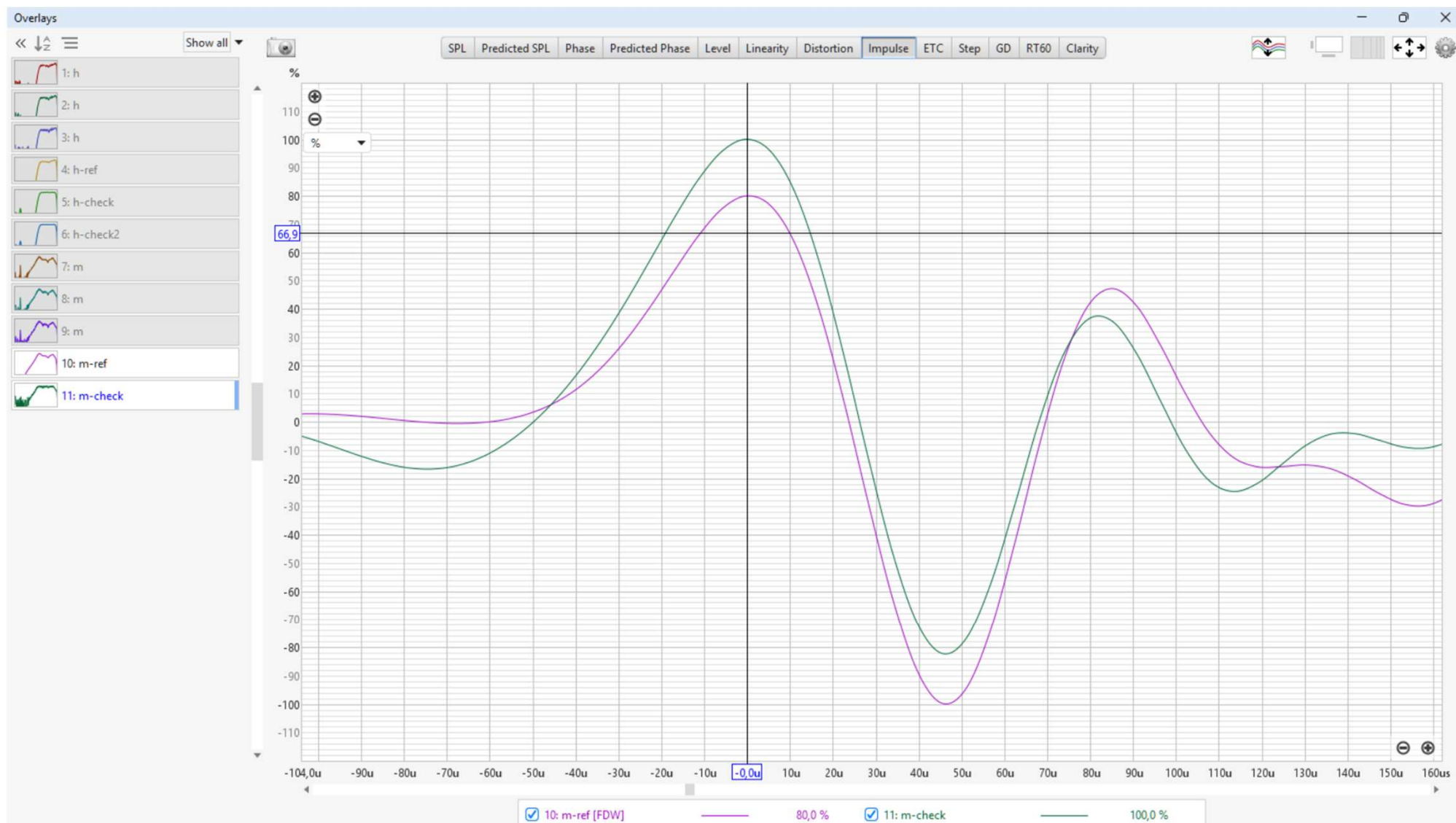
Calibration files...

Check levels Start Abbrechen

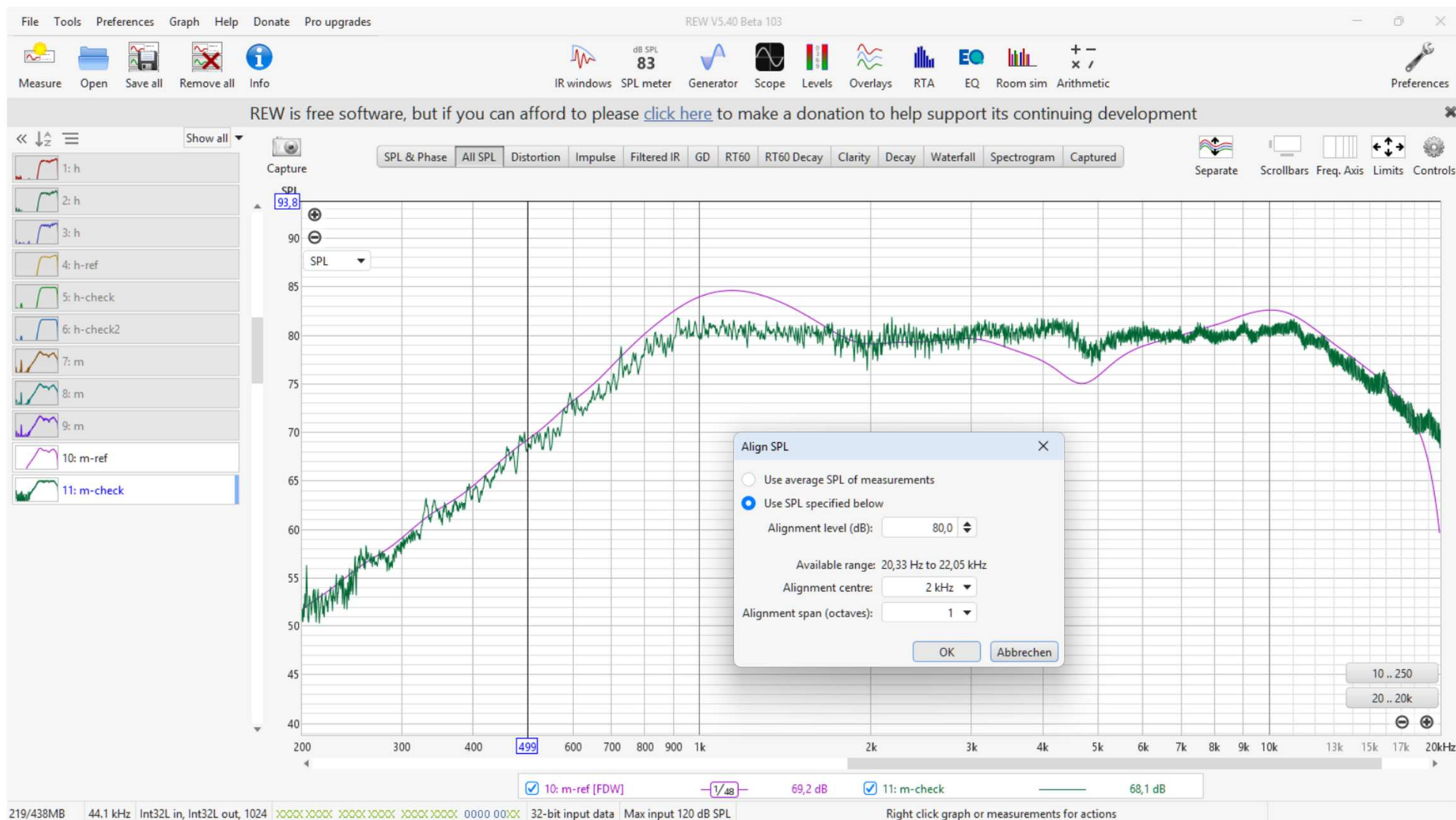
Ergebnis unbearbeitet (grüne Kurve)



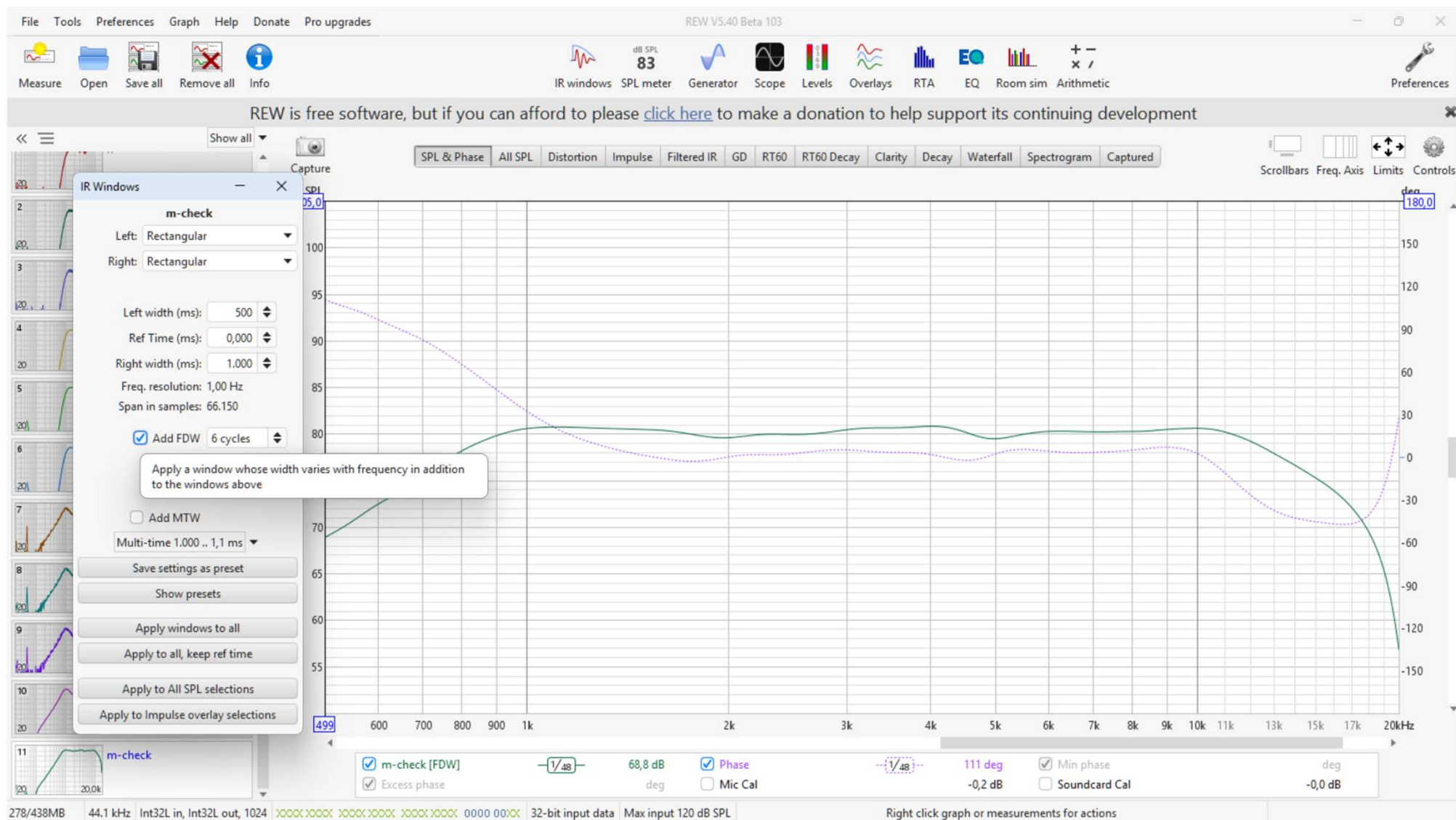
Der Impuls sitzt richtig – keine Korrektur



Align SPL mit den gleichen Einstellungen



Smoothing wie vorher mit FDW 6 cycles



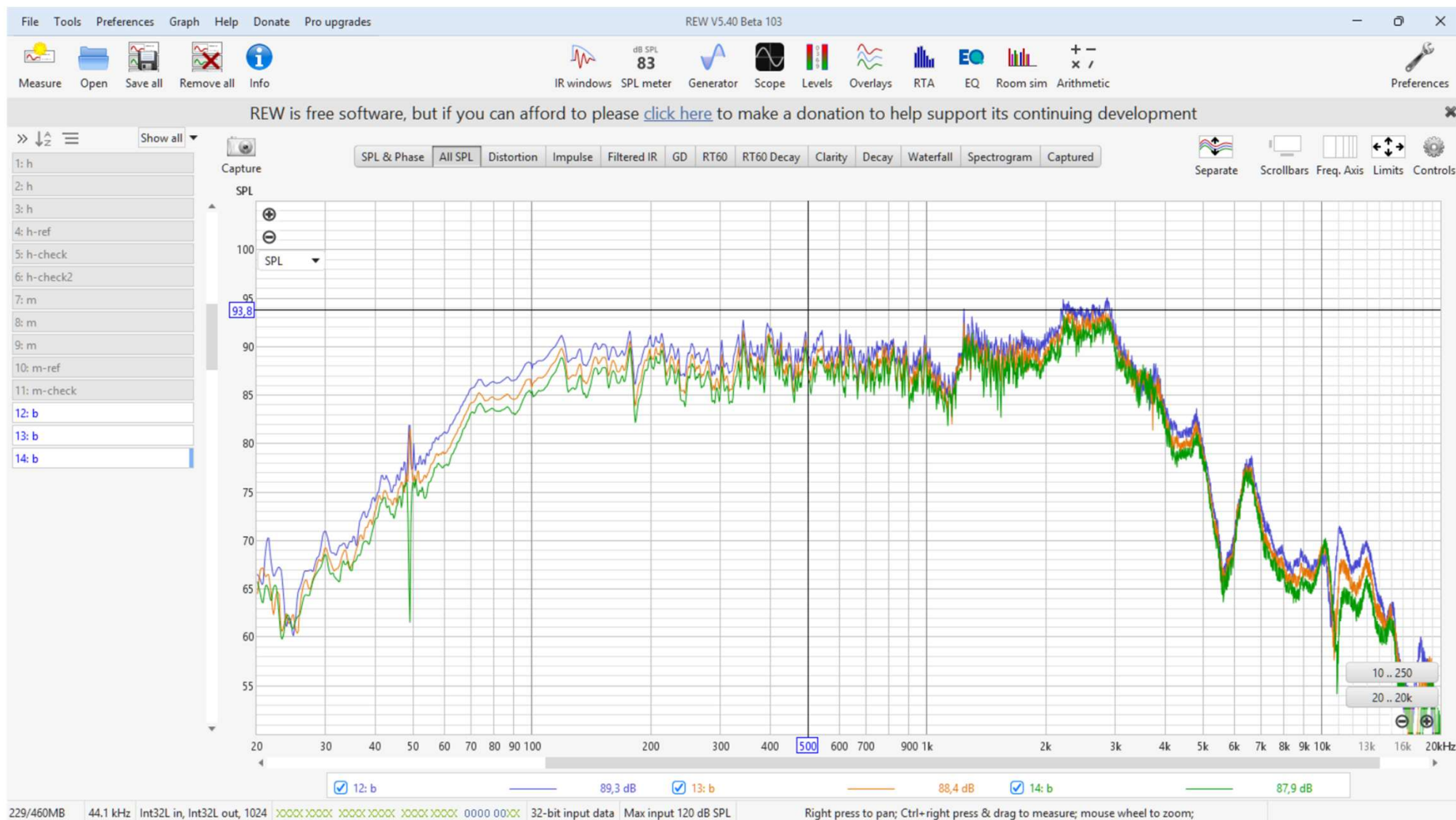
Zwischenstand und nächste Schritte

- M passt und braucht keine weitere Korrektur.
- Für H und M sind jetzt Basisfilter vorhanden.
- Es folgt B
 - etwas kompakter dokumentiert und mit weniger Details als bei H und M
- Die Vorgehensweise zur Linearisierung von B ist identisch wie bei H und M.

Weiter mit B



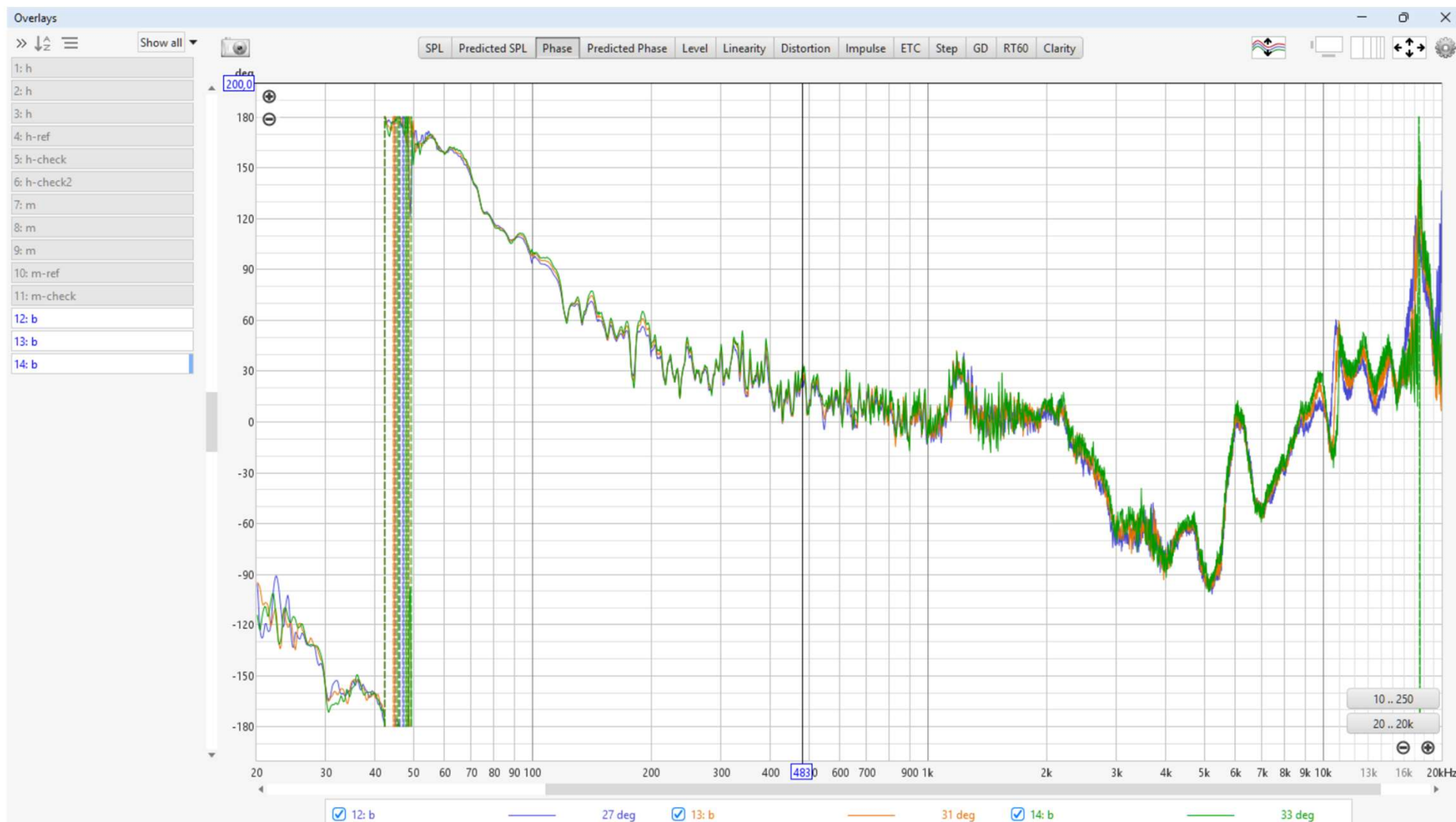
3 Messungen für den Bass



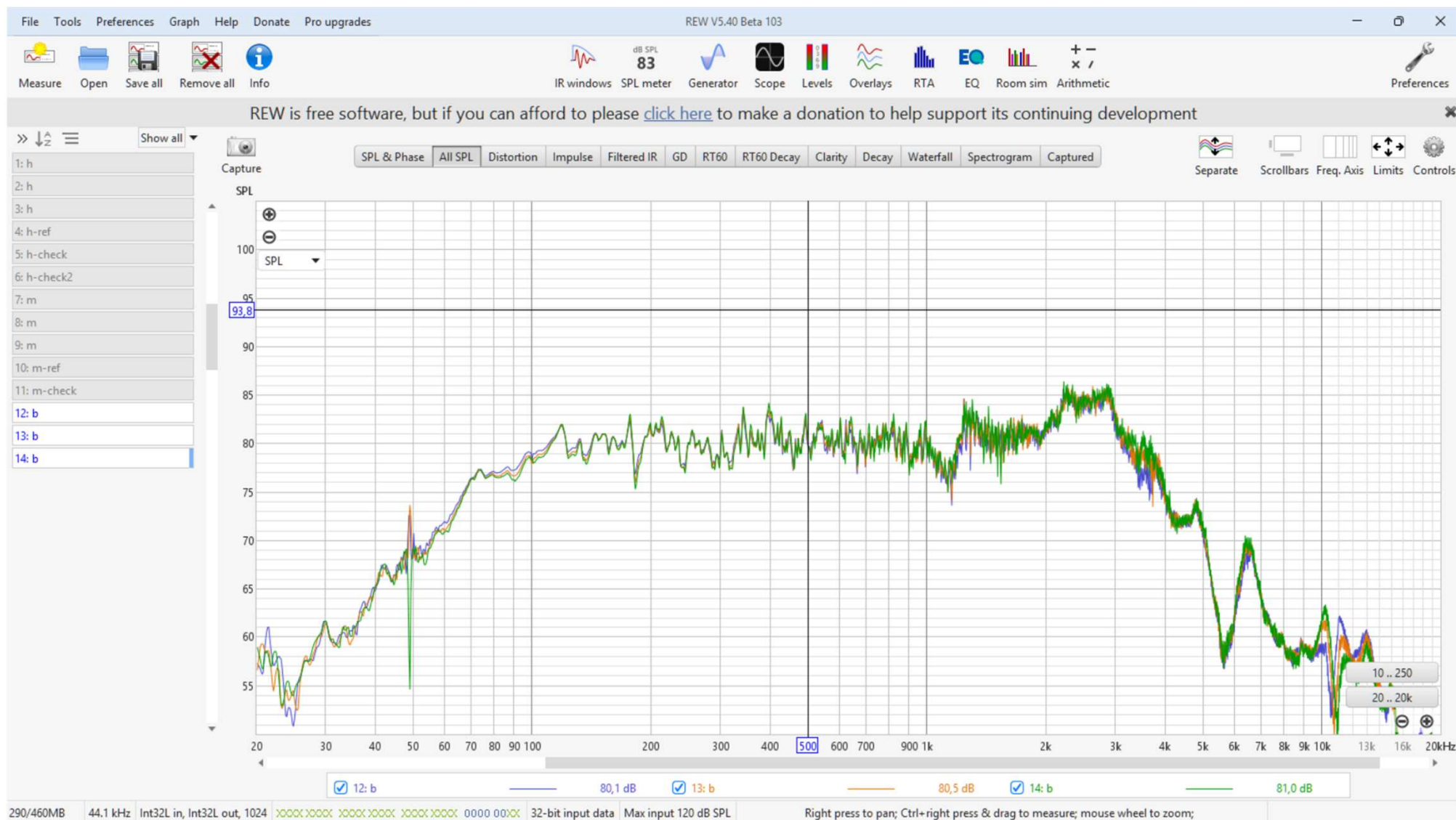
Overlay Impulse Check passt



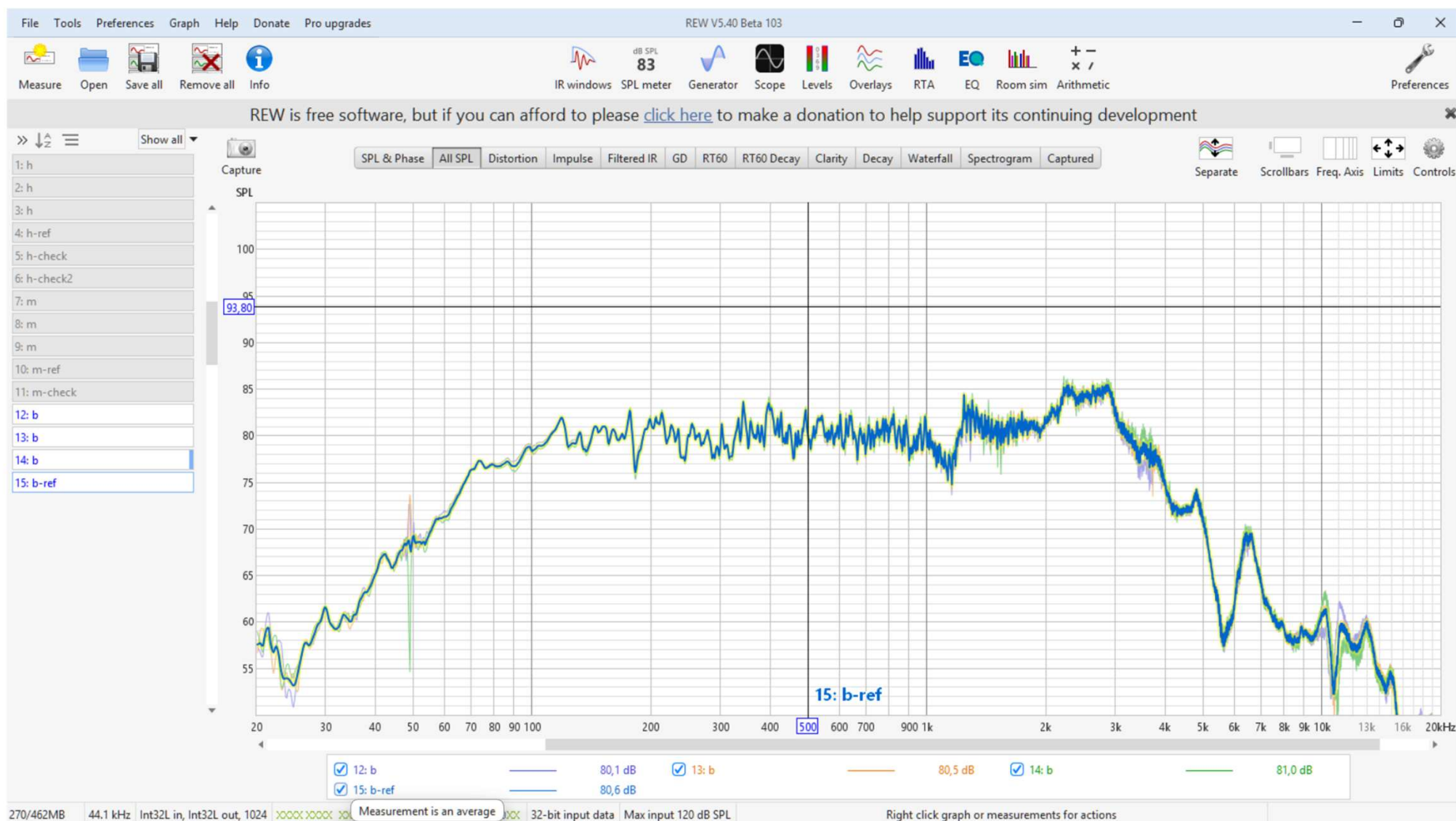
Phase mit $t = 0$ an der korrekten Stelle



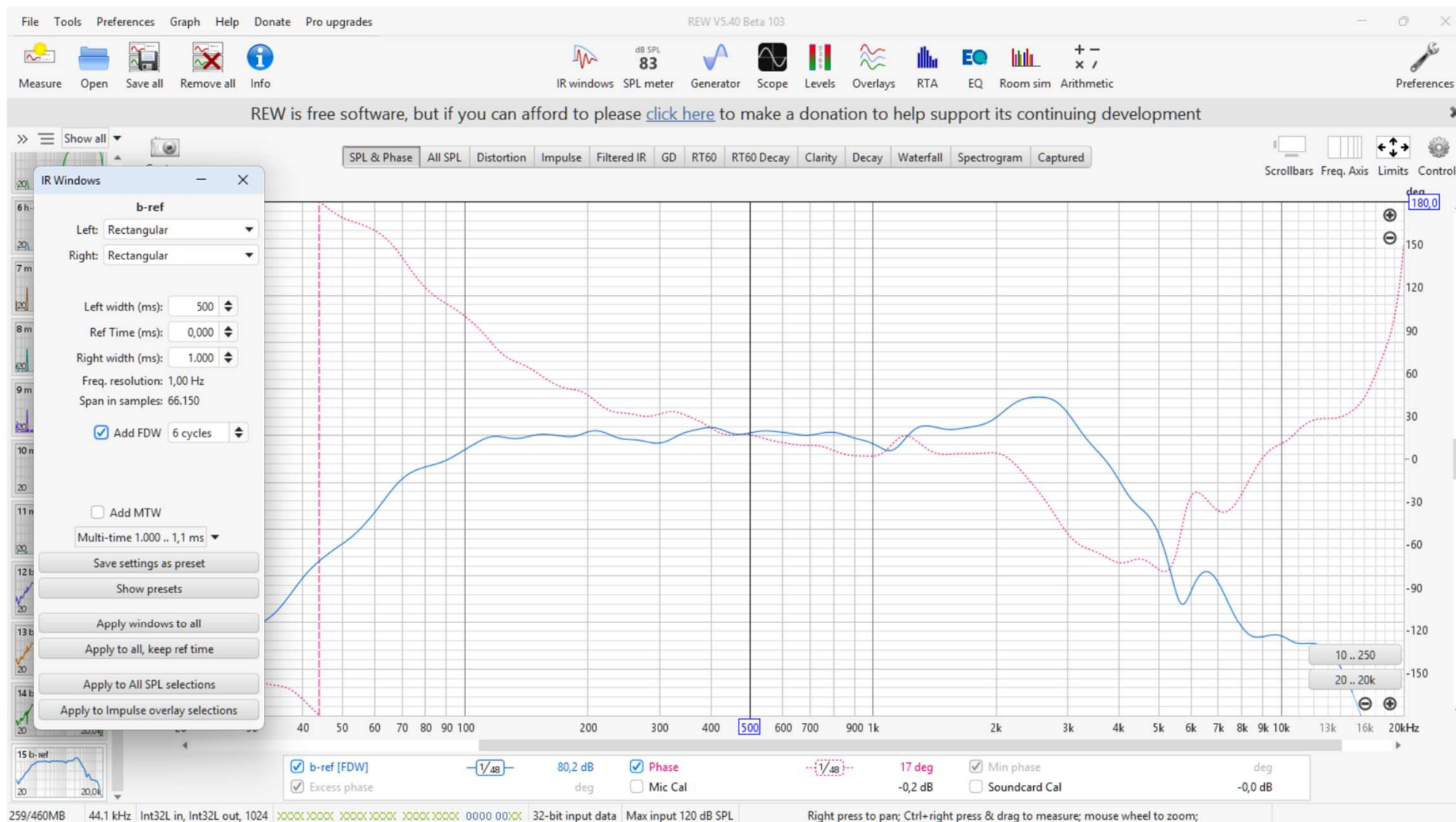
Die 3 Messungen im Pegel angeglichen



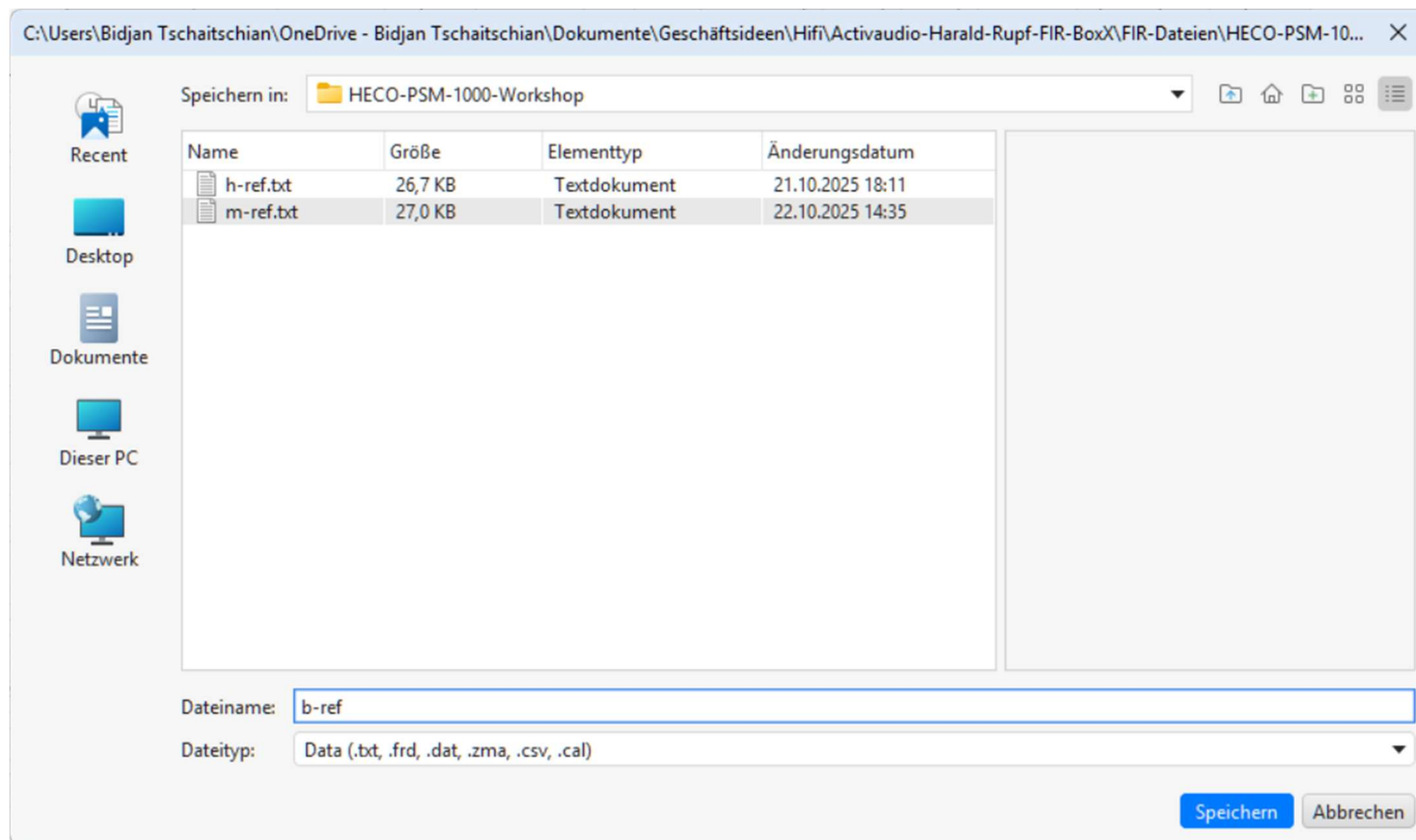
Gemittelte Messung b-ref



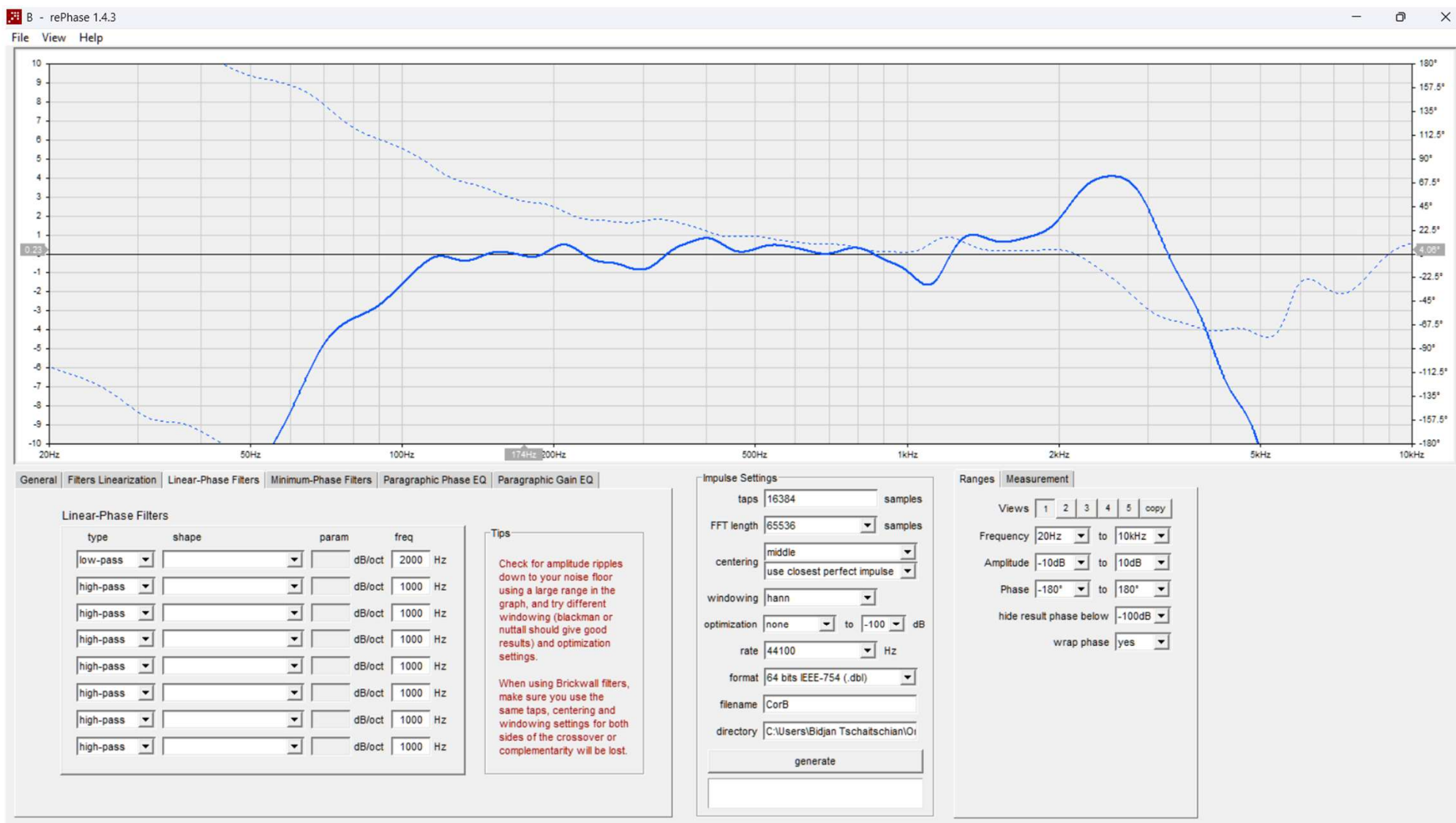
Smoothing mit FDW = 6 cycles



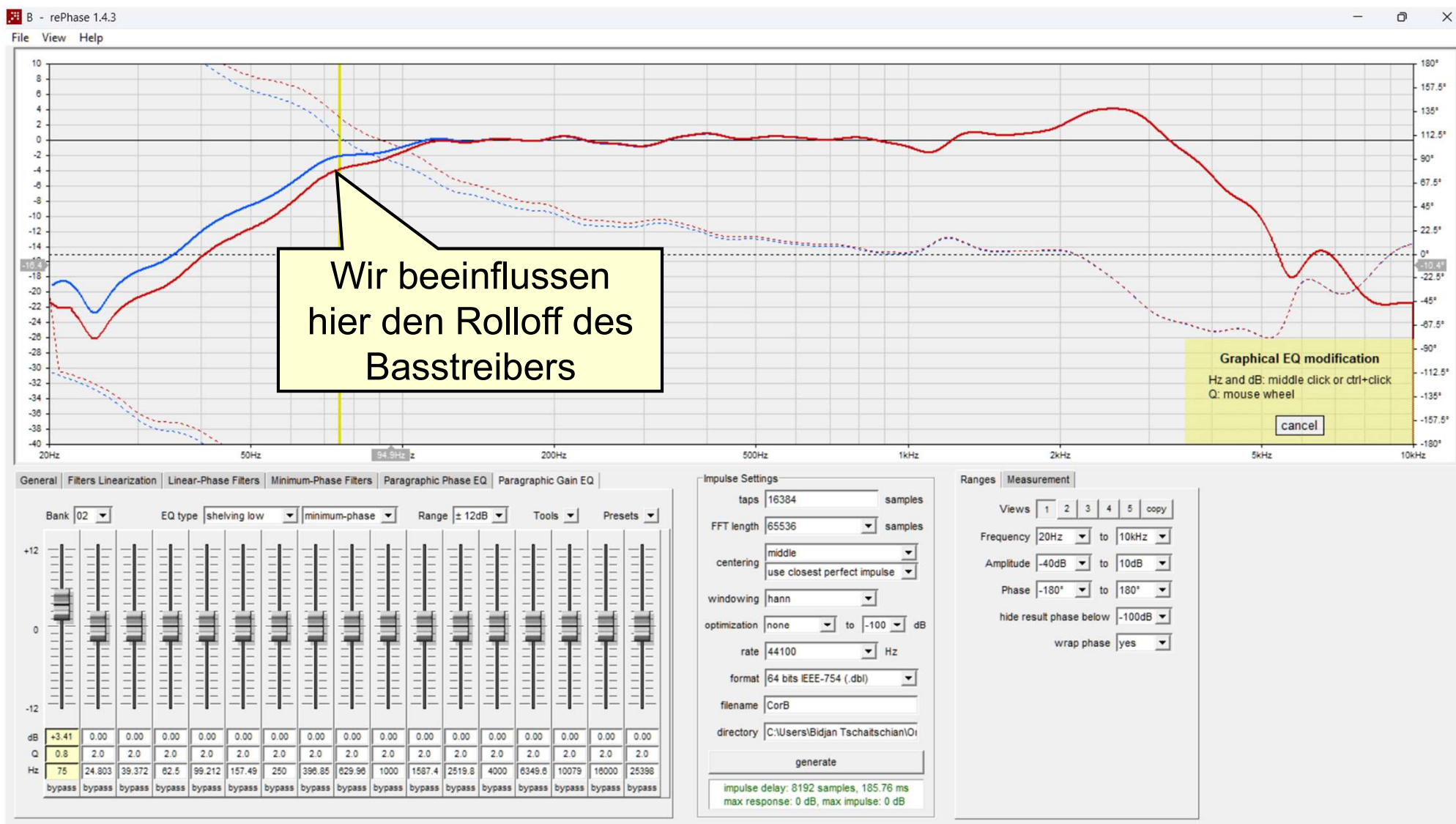
Als b-ref exportieren



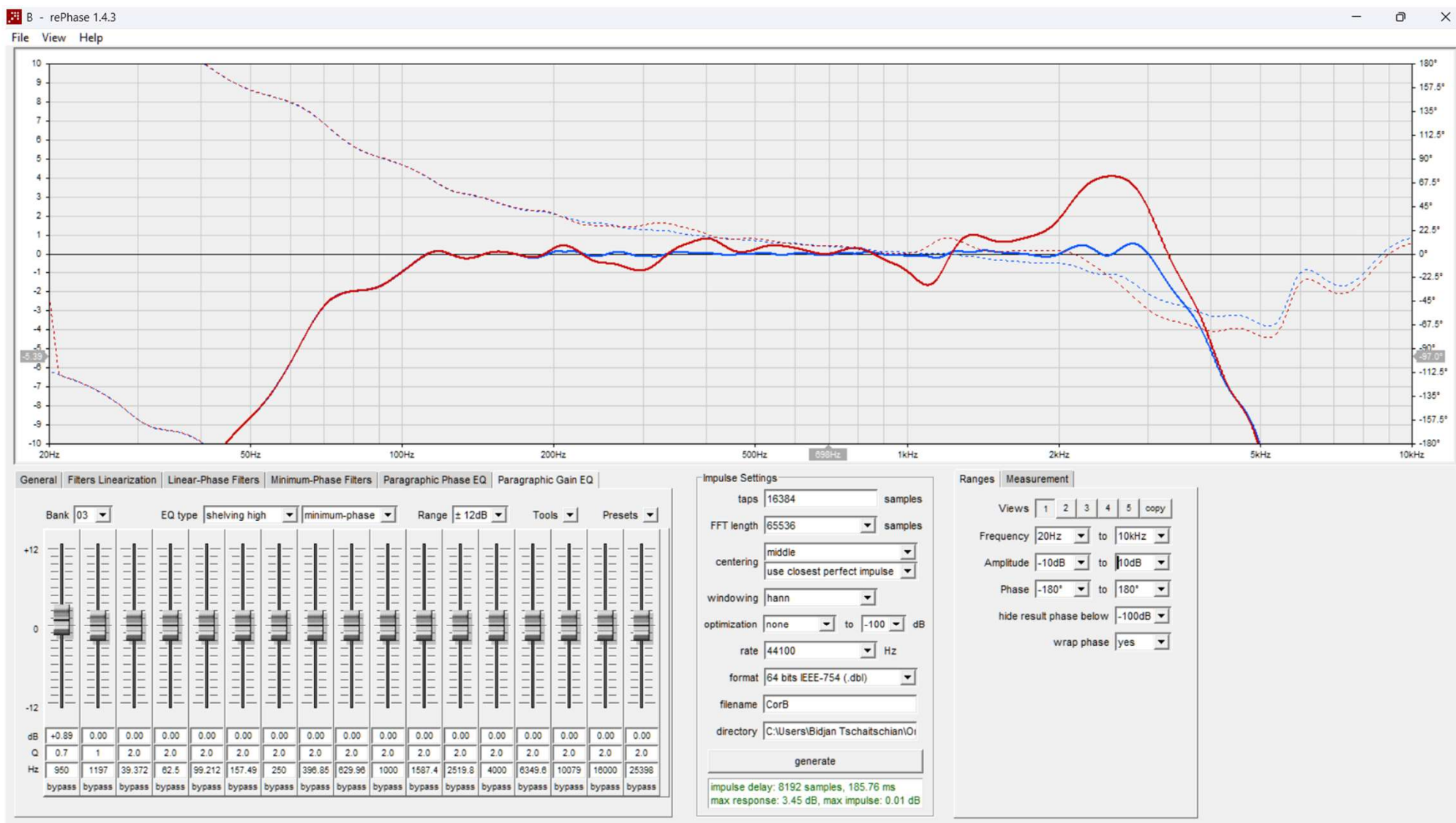
b-ref in rePhase importiert



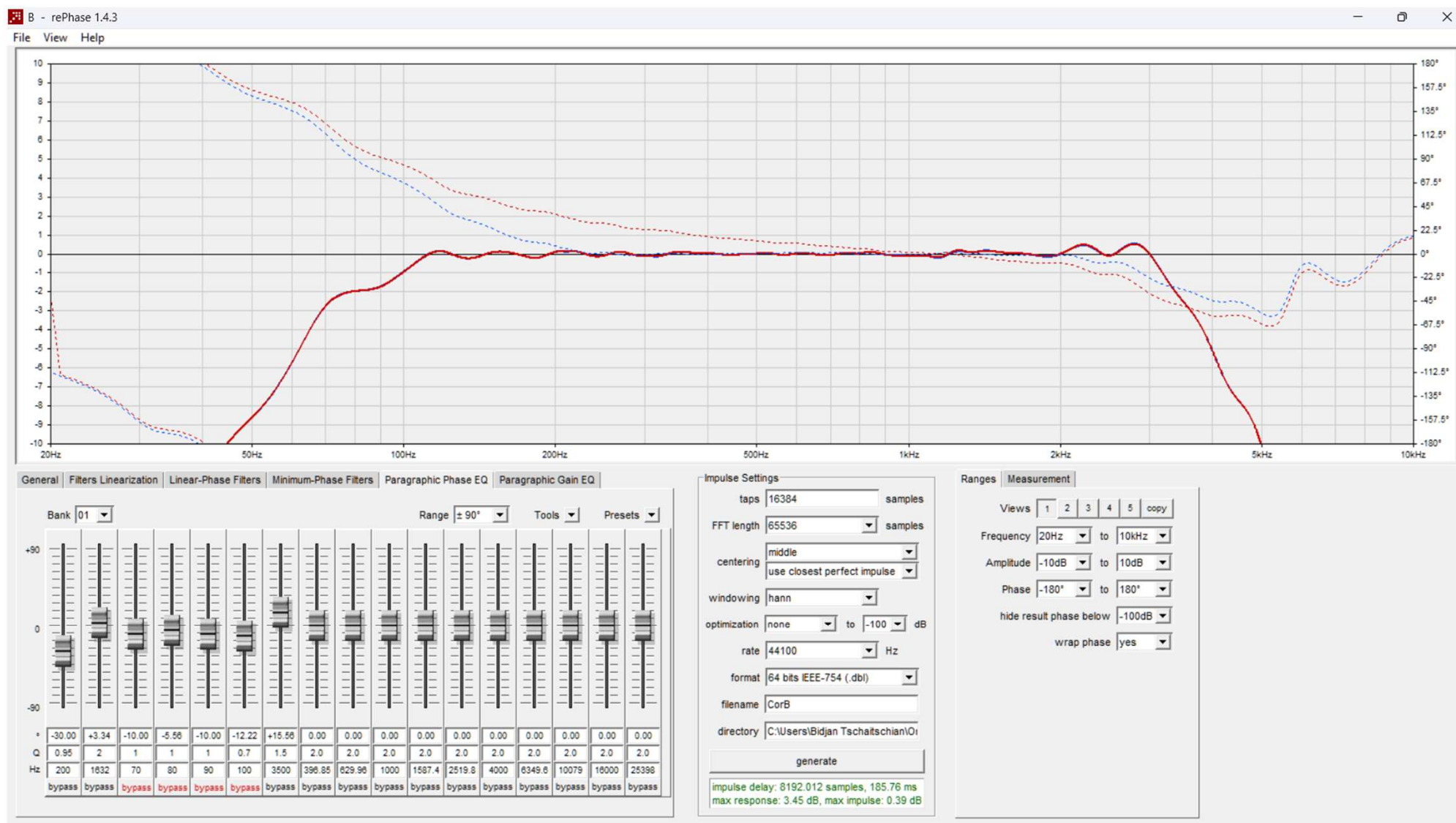
Eine Bassanhebung mit LowShelf



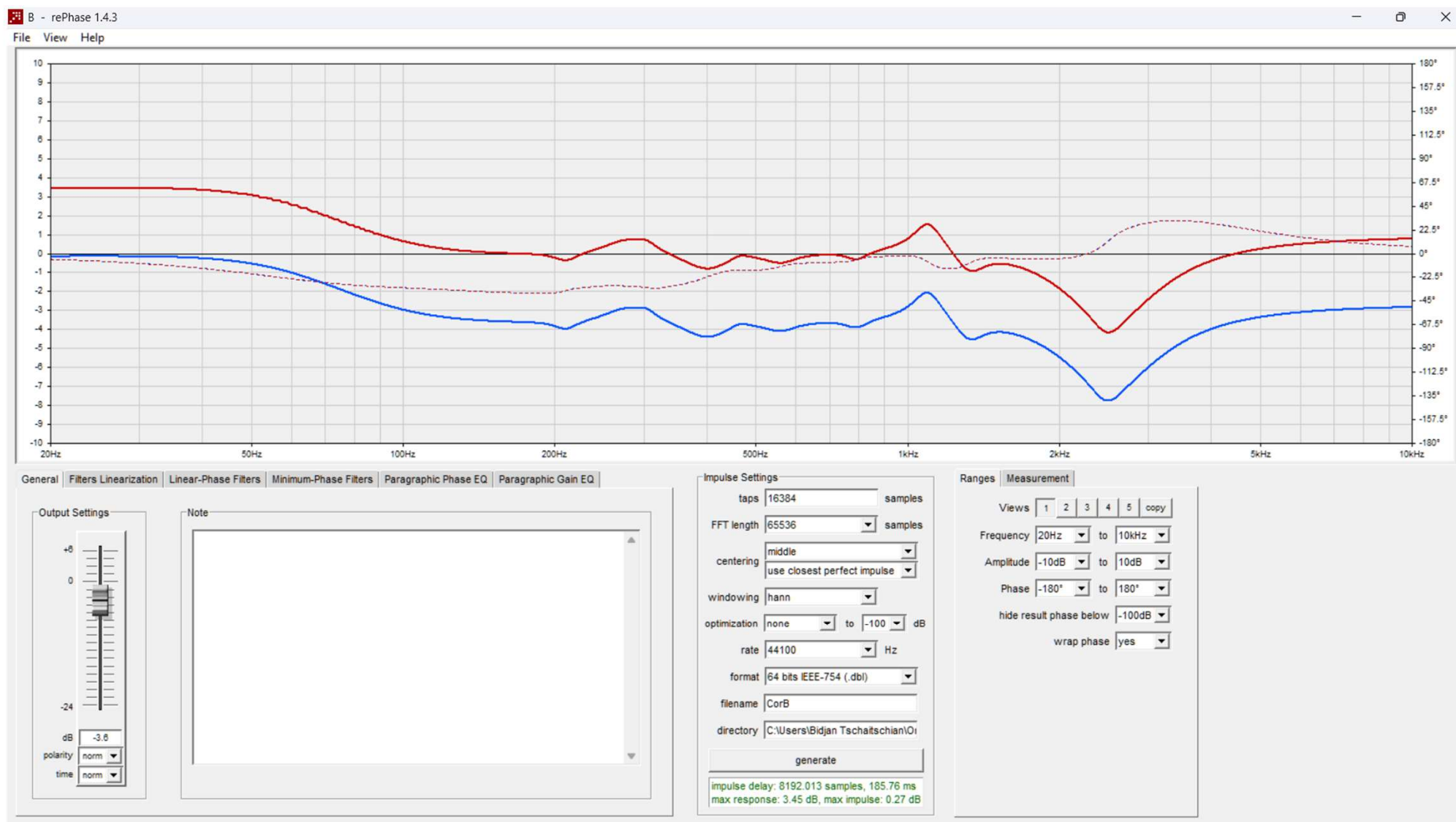
Weitere PEQs im Paragraphic Gain EQ



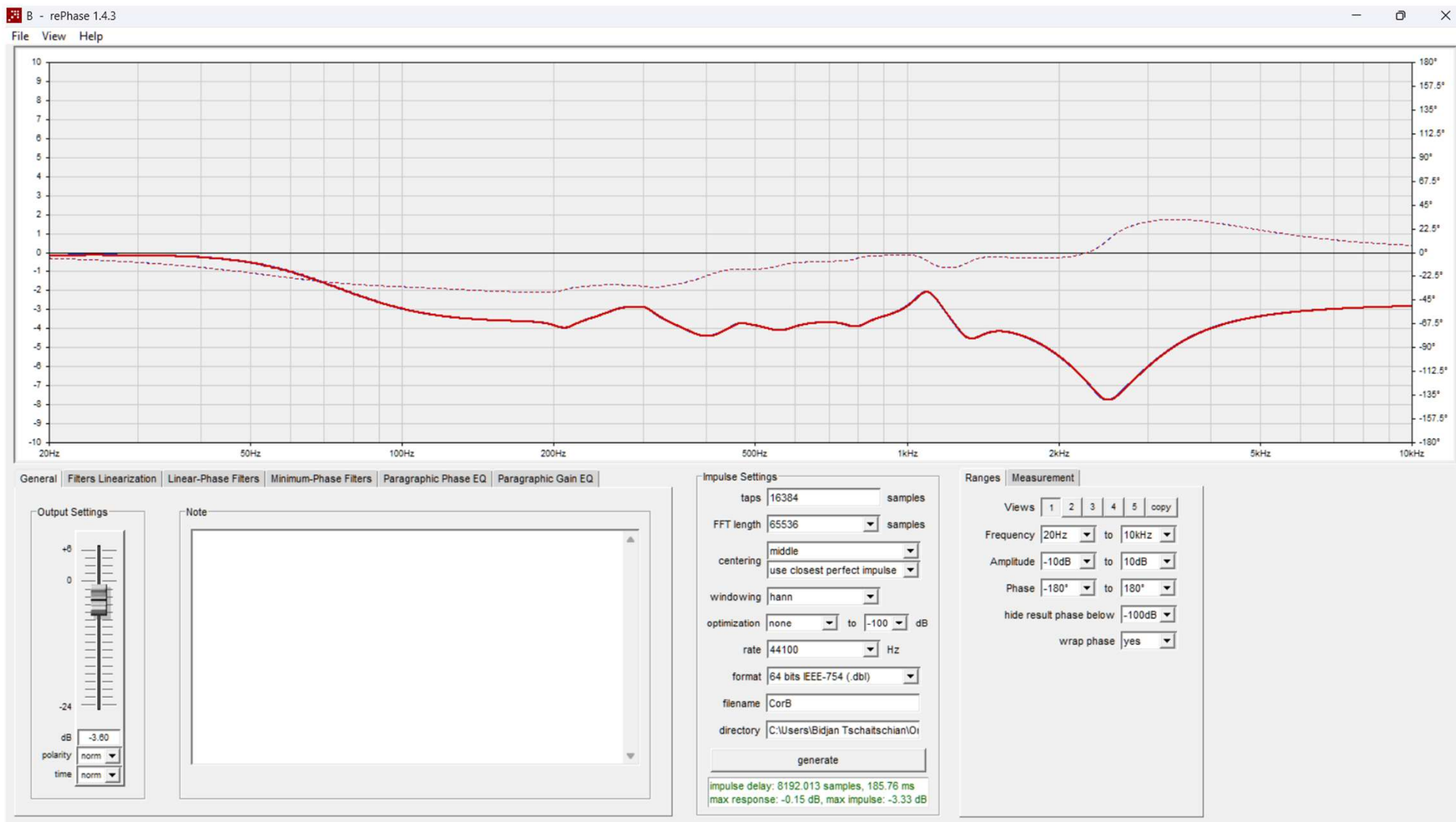
Phase korrigieren (Paragraphic Phase EQ)



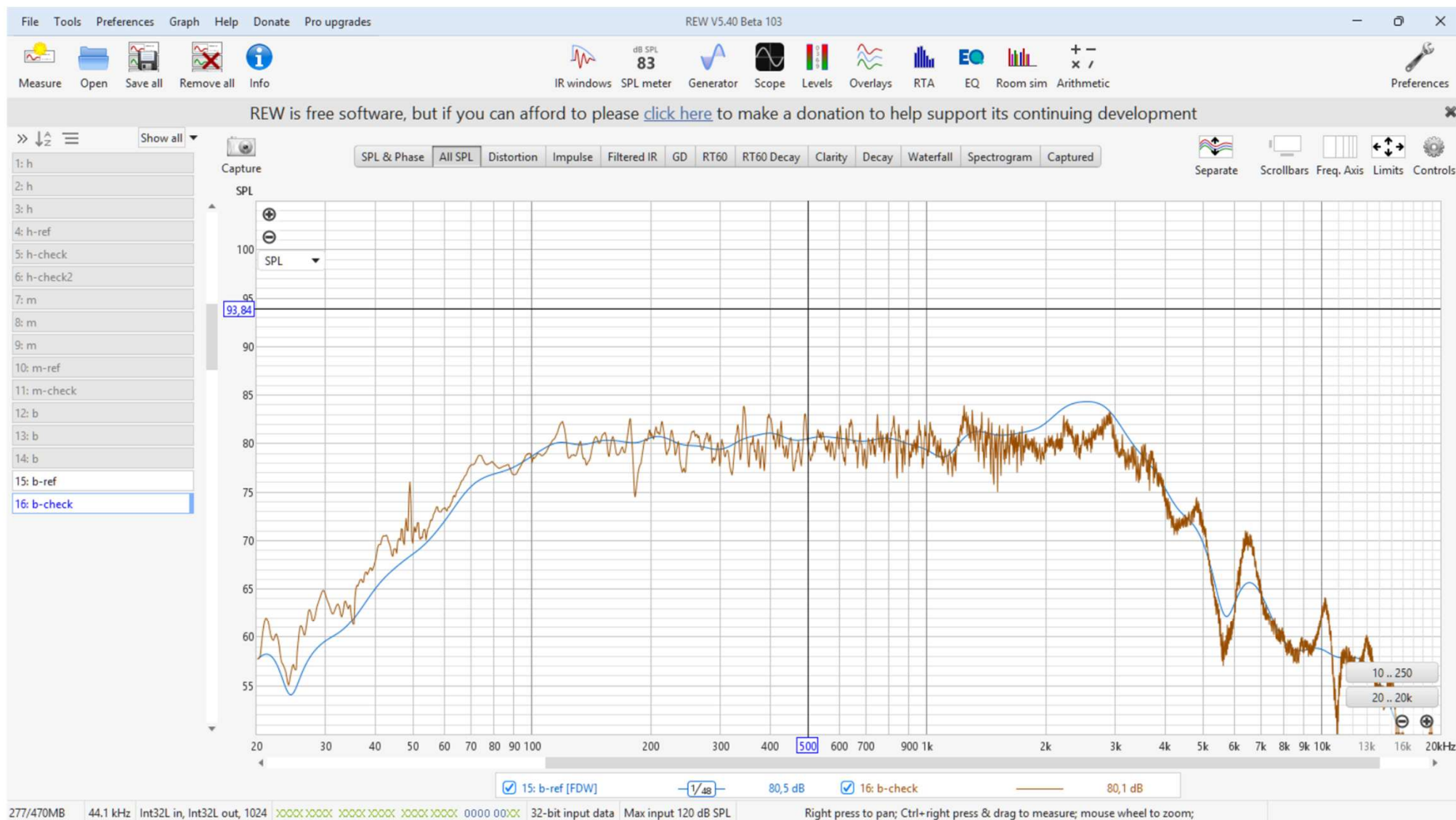
Pegel unter 0.0 dB in Output Settings



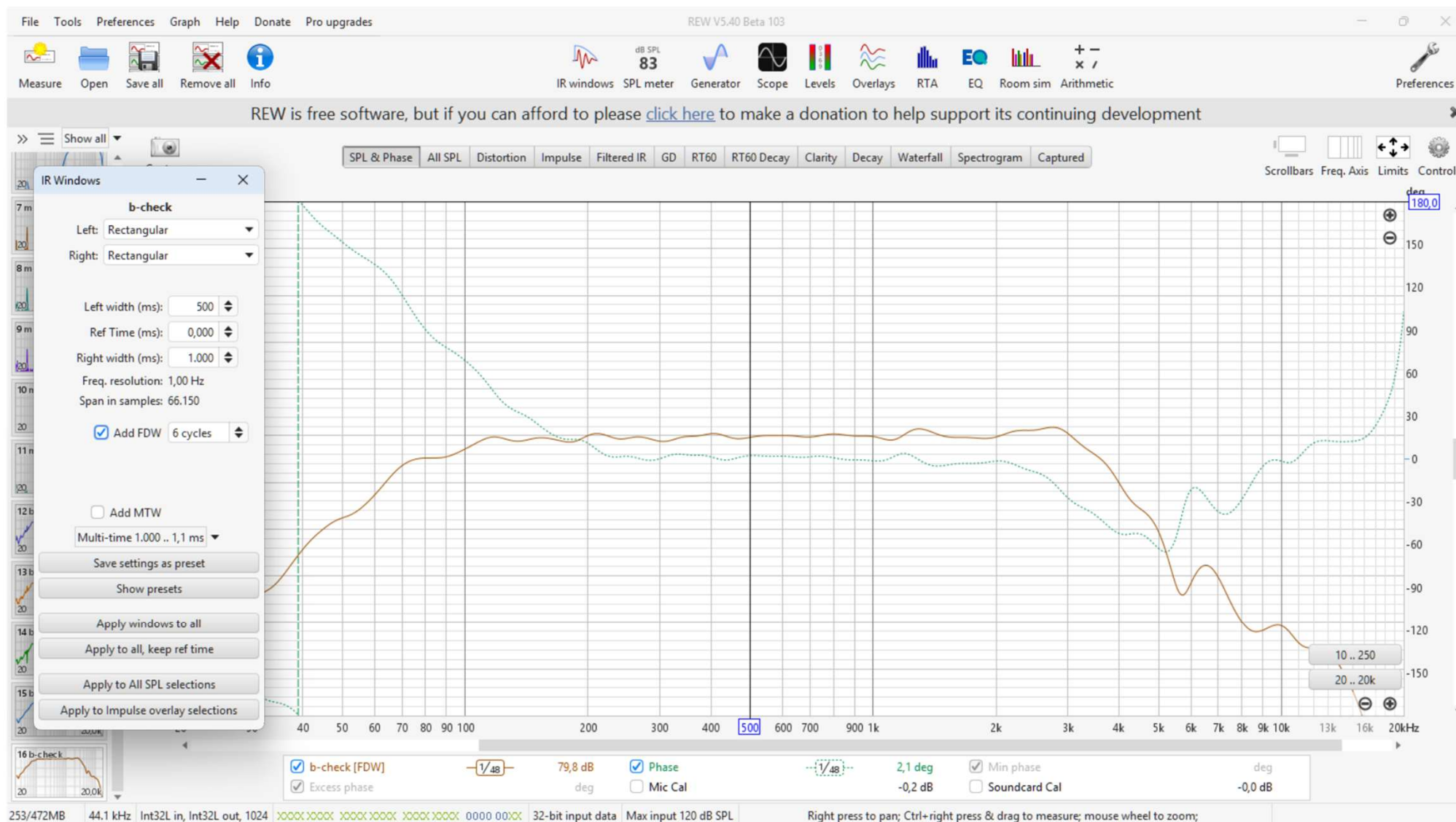
Generieren und fertig



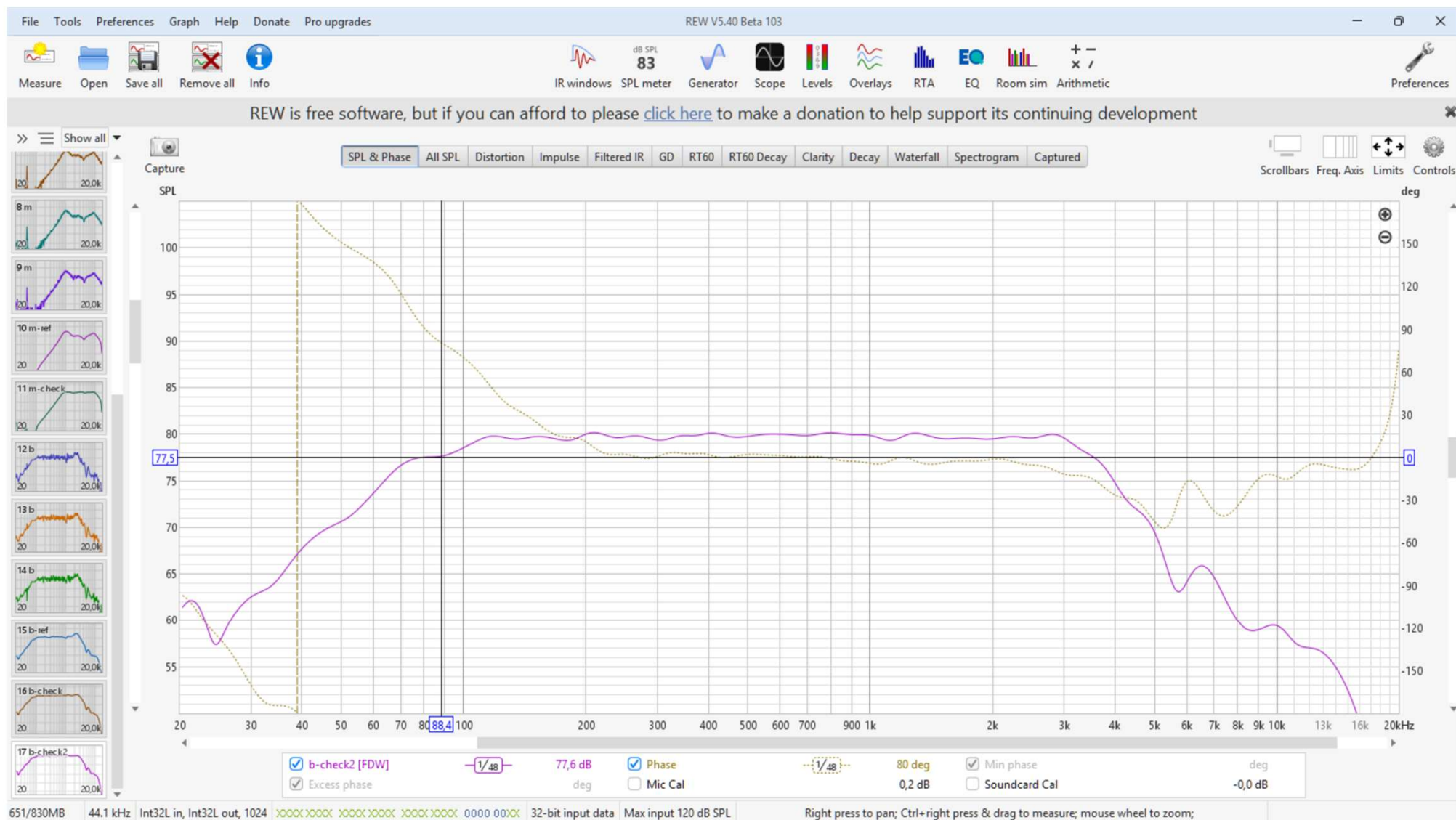
Prüfung durch Messung mit neuem Filter



Smoothing wie vorher mit FDW 6 cycles



Nochmal minimal verbessert



Ergebnisse Workflow Teil 1

- Alle Treiber wurden
 - einzeln gemessen in REW
 - linearisiert in Frequenzgang und Phase in rePhase
 - kontrolliert in REW
 - und ggf. nachkorrigiert
- Für H, M und B sind jetzt Basisfilter vorhanden.
- Mit Messungen aus 1 Meter Entfernung werden wir jetzt Crossover auswählen und Voreinstellungen für Attenuation und Delay vornehmen.

Workflow Teil 2

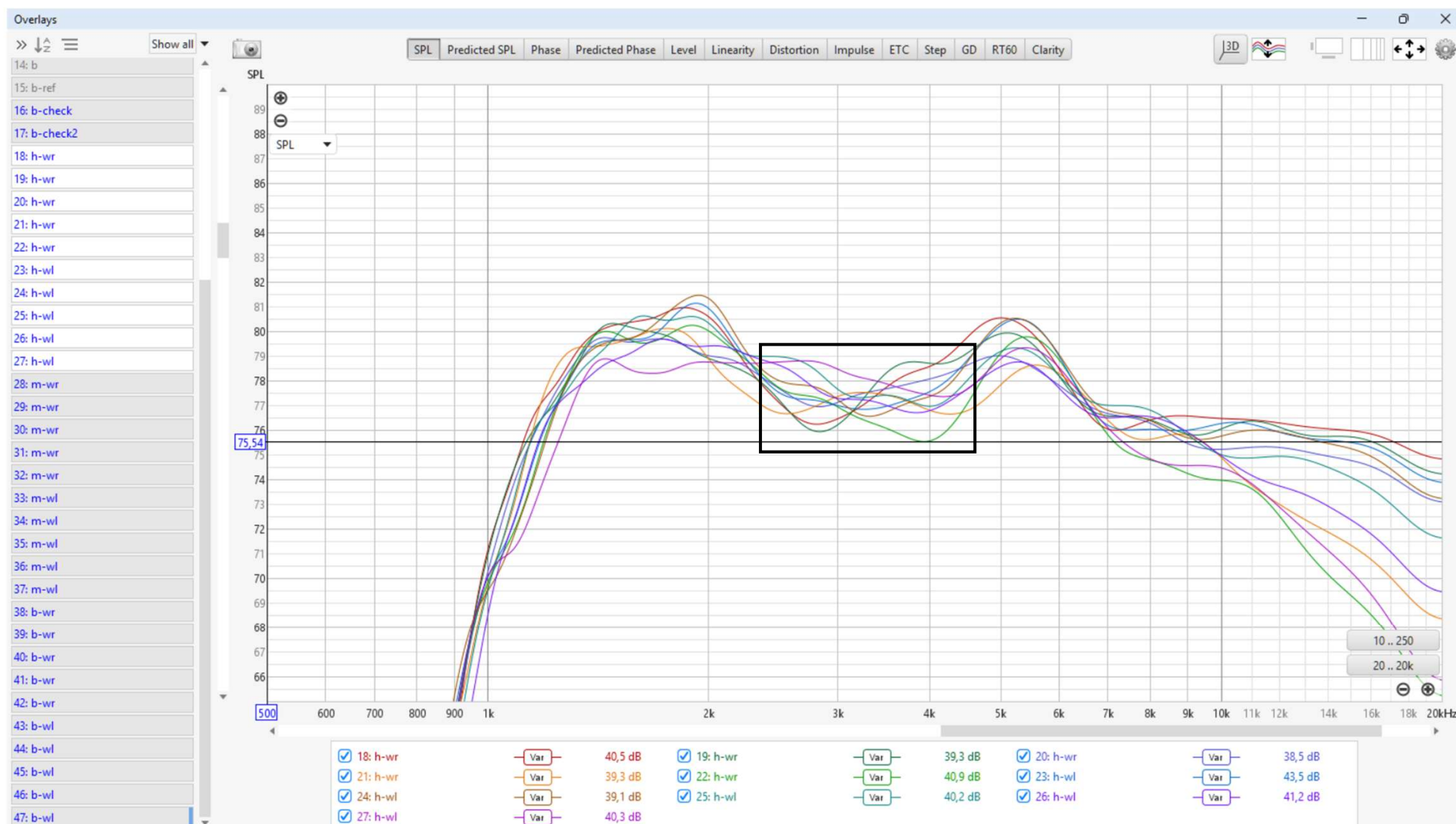
Zusammen groß Aufspielen

Messen auf 1m
Crossover, Dämpfung, Delays

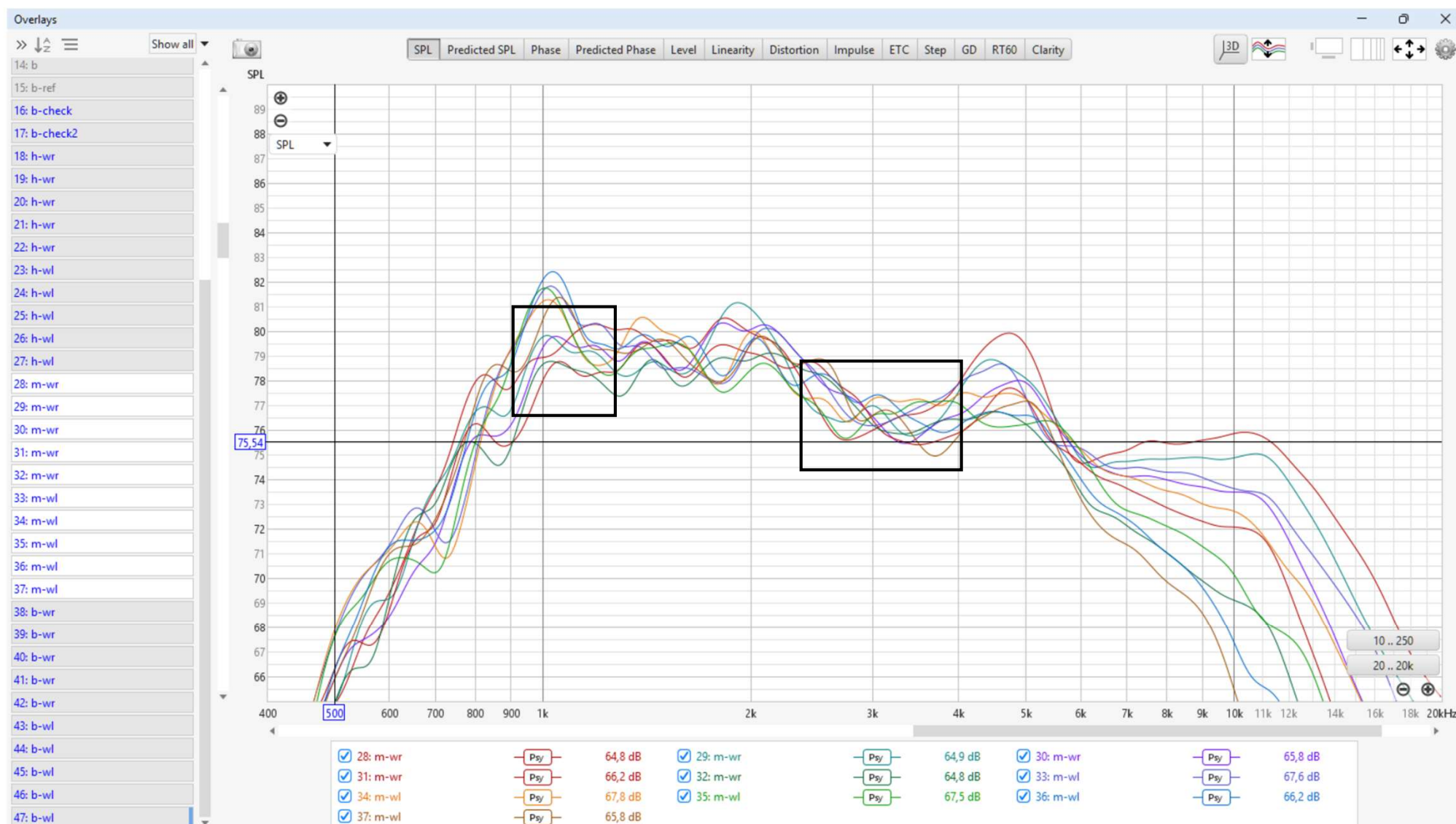
Vorbemerkung

- Um passende Crossover auszuwählen, kann man sich nicht auf Frequenzgang und Phase im Nahfeld alleine verlassen.
- Zu berücksichtigen sind u.a. Verzerrungen, die Resonanzfrequenz, das Impedanzverhalten, die Abstrahlcharakteristik unter Winkel etc.
- Wir gehen davon aus, dass der empfohlene Spielbereich jedes Treibers bekannt ist. Idealerweise auch TSP-Daten.
- Die Original HECO-PSM-1000 hatte ihre Crossover passiv bei 900 Hz und bei 4 kHz.
- Bevor wir mit den Messungen starten, zeigen wir ein paar grobe Messungen unter Winkel, die uns helfen bei der Auswahl der Crossover-Frequenzen.

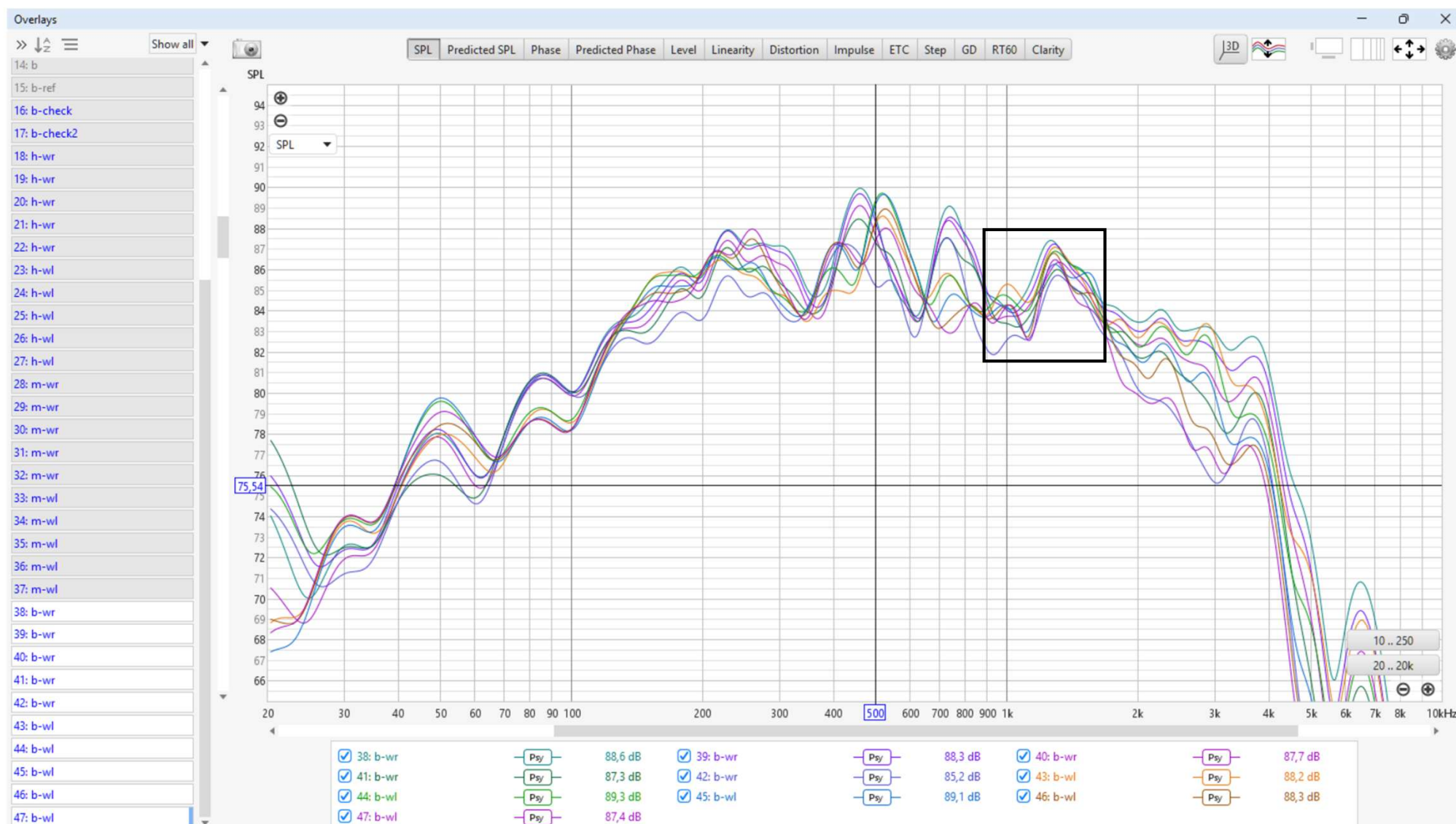
Winkelmessungen H (grob)



Winkelmessungen M (grob)



Winkelmessungen B (grob)



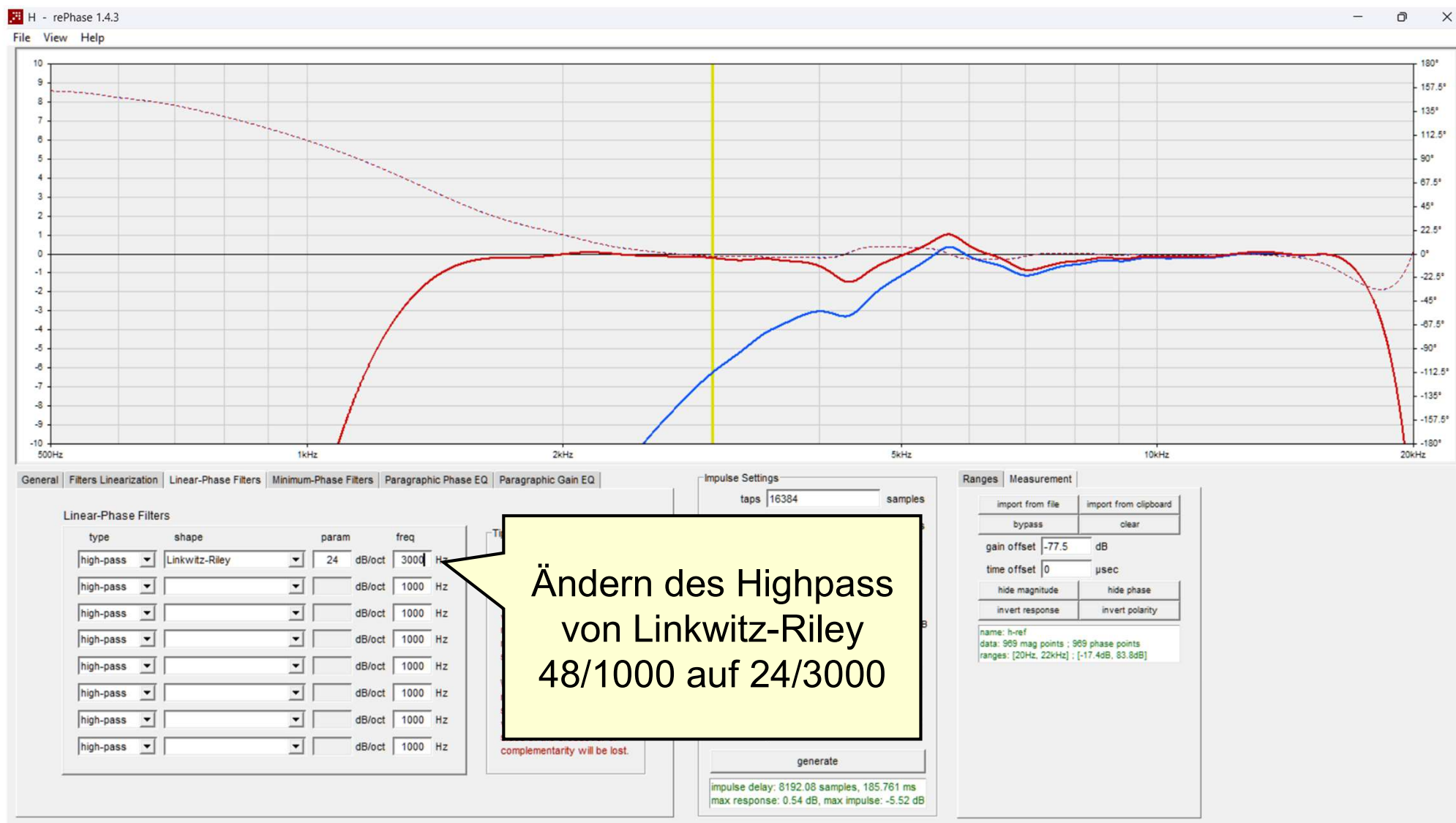
Wir messen aus 1 Meter Entfernung



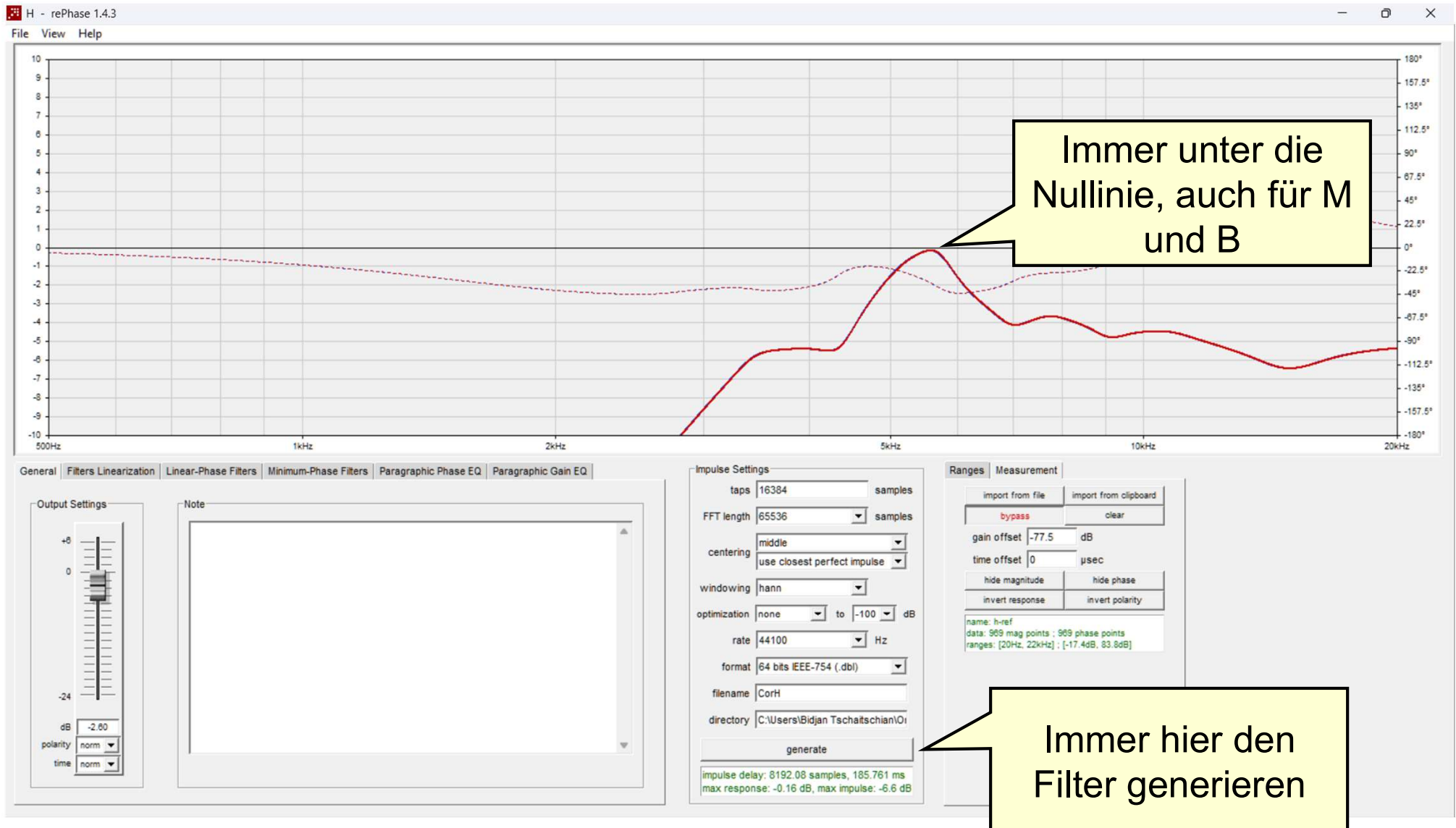
Festlegung Crossover zum Start

- Wir starten mit 1.200 und 3.000 Hz jeweils mit Linkwitz-Riley 4. Ordnung (24 dB pro Oktave).
- Die Crossover werden in rePhase bei jedem Treiber passend eingetragen und die Filter neu generiert.
- Danach messen, testen, tunen ...

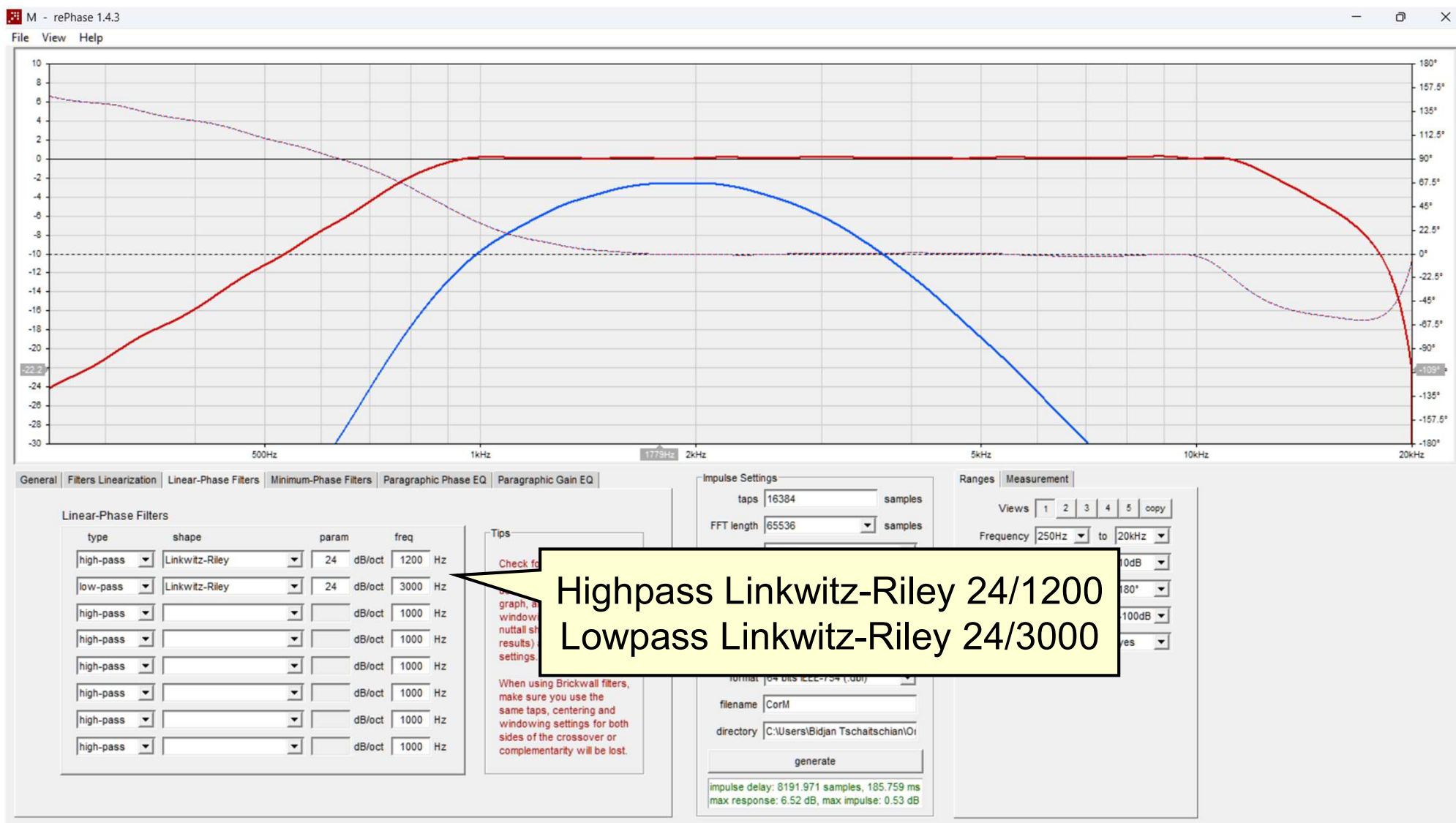
Crossover H setzen



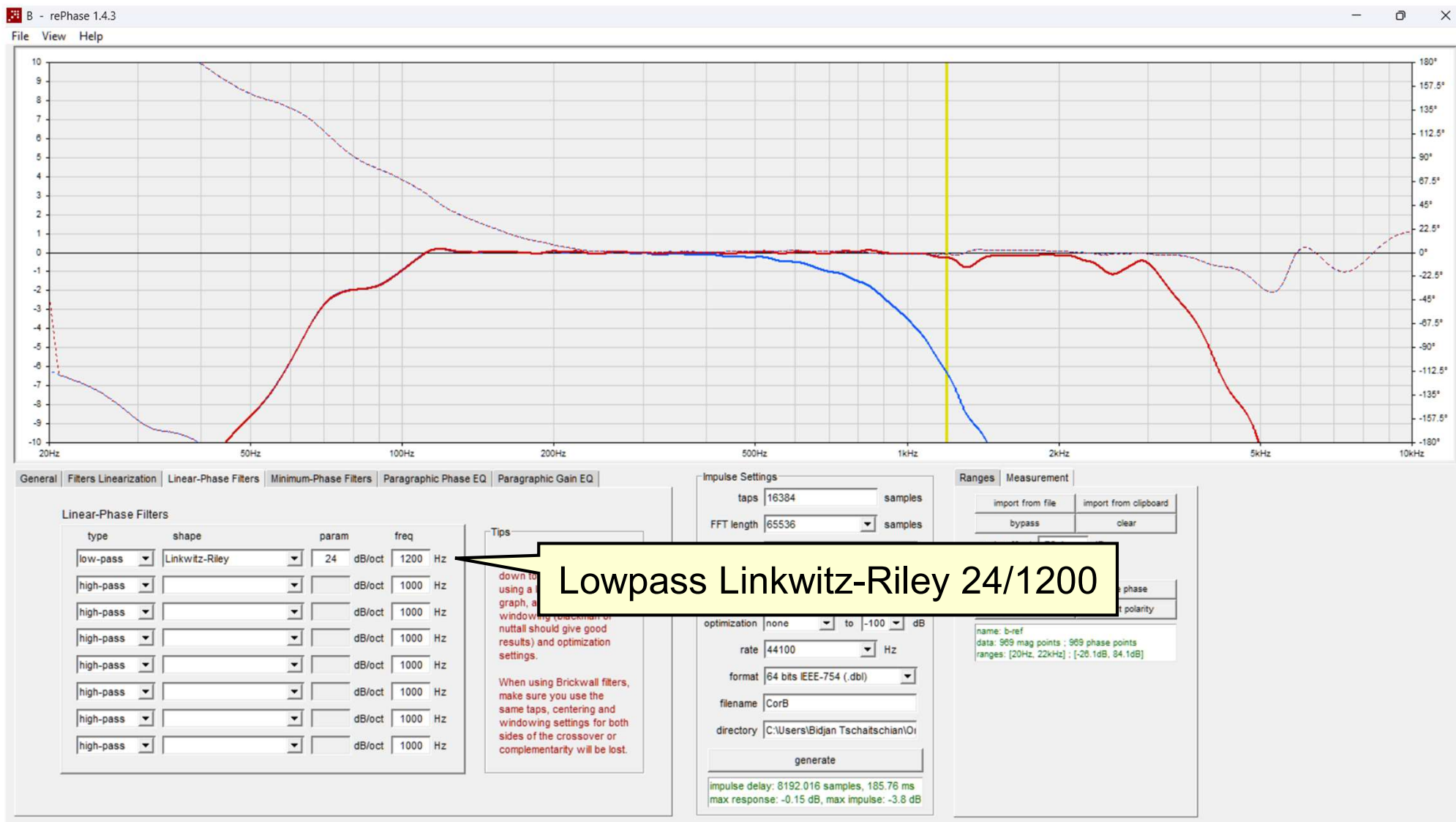
Immer Bypass anpassen und generieren



Crossover M setzen



Crossover B setzen

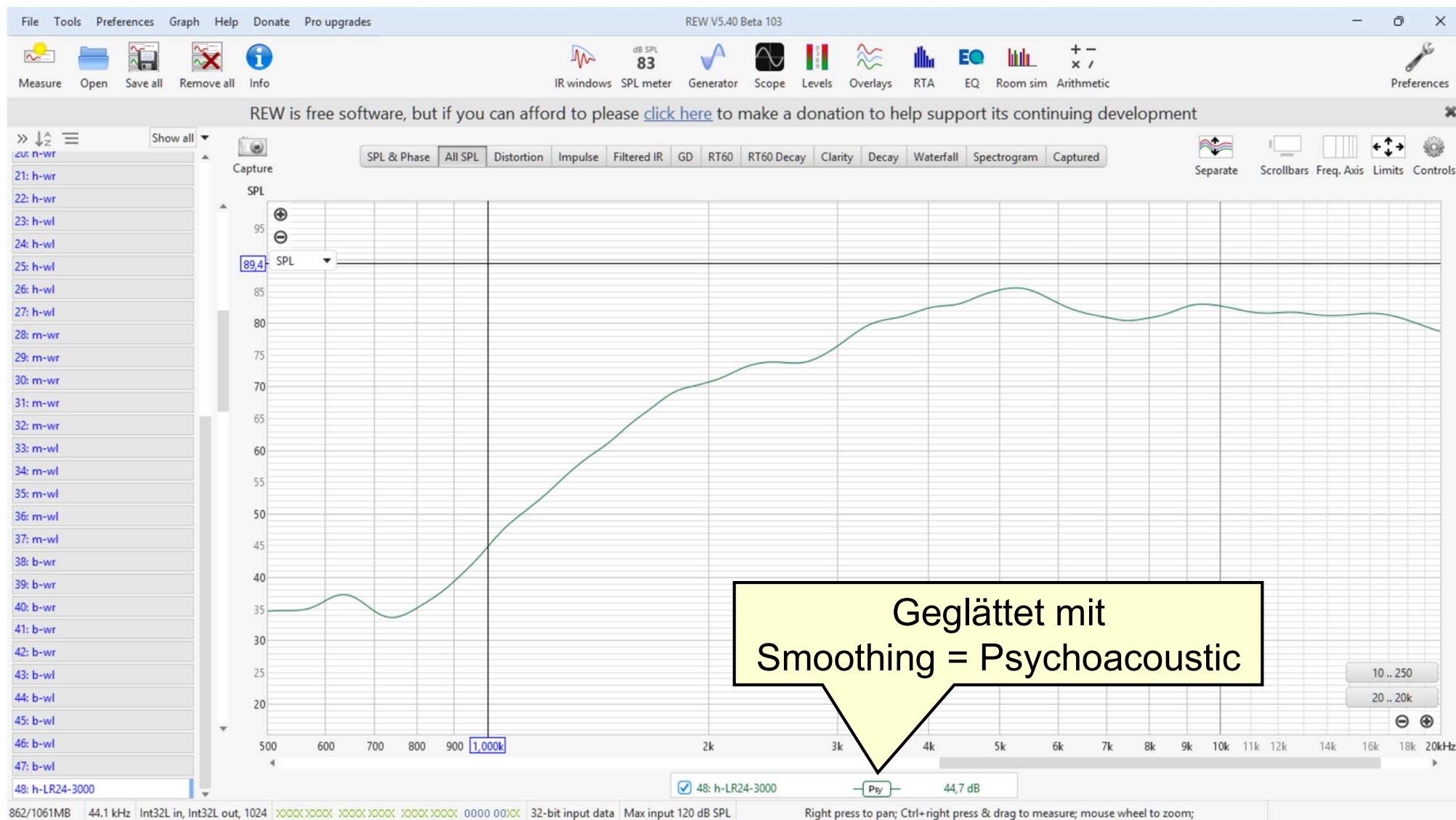


Die neu generierten Filter hochladen

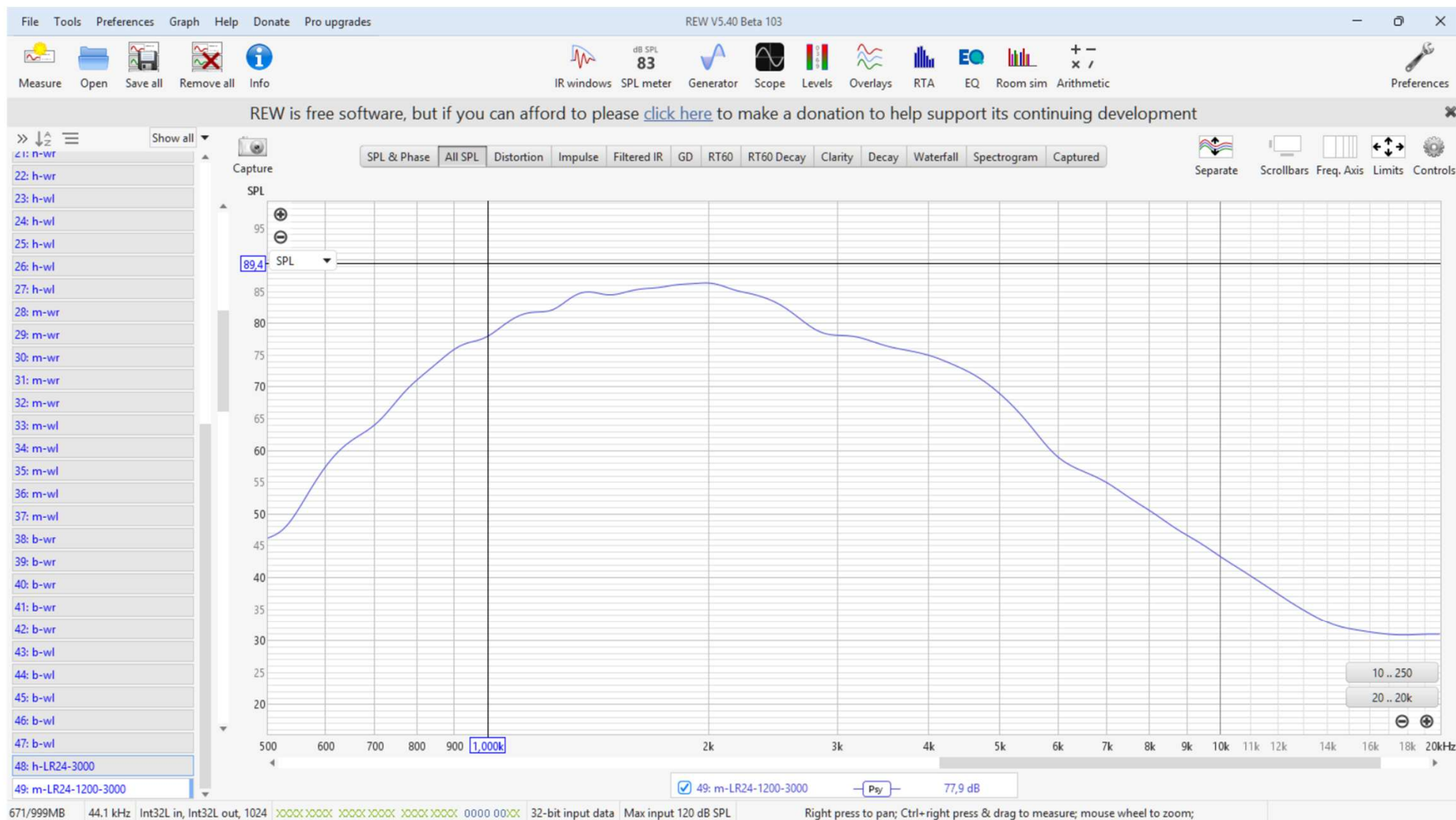
Filter

H	CorH.dbf ▼	☐	att 3	del 0
M	CorM.dbf ▼	☐	att 3	del 0
B	CorB.dbf ▼	☐	att 3	del 0

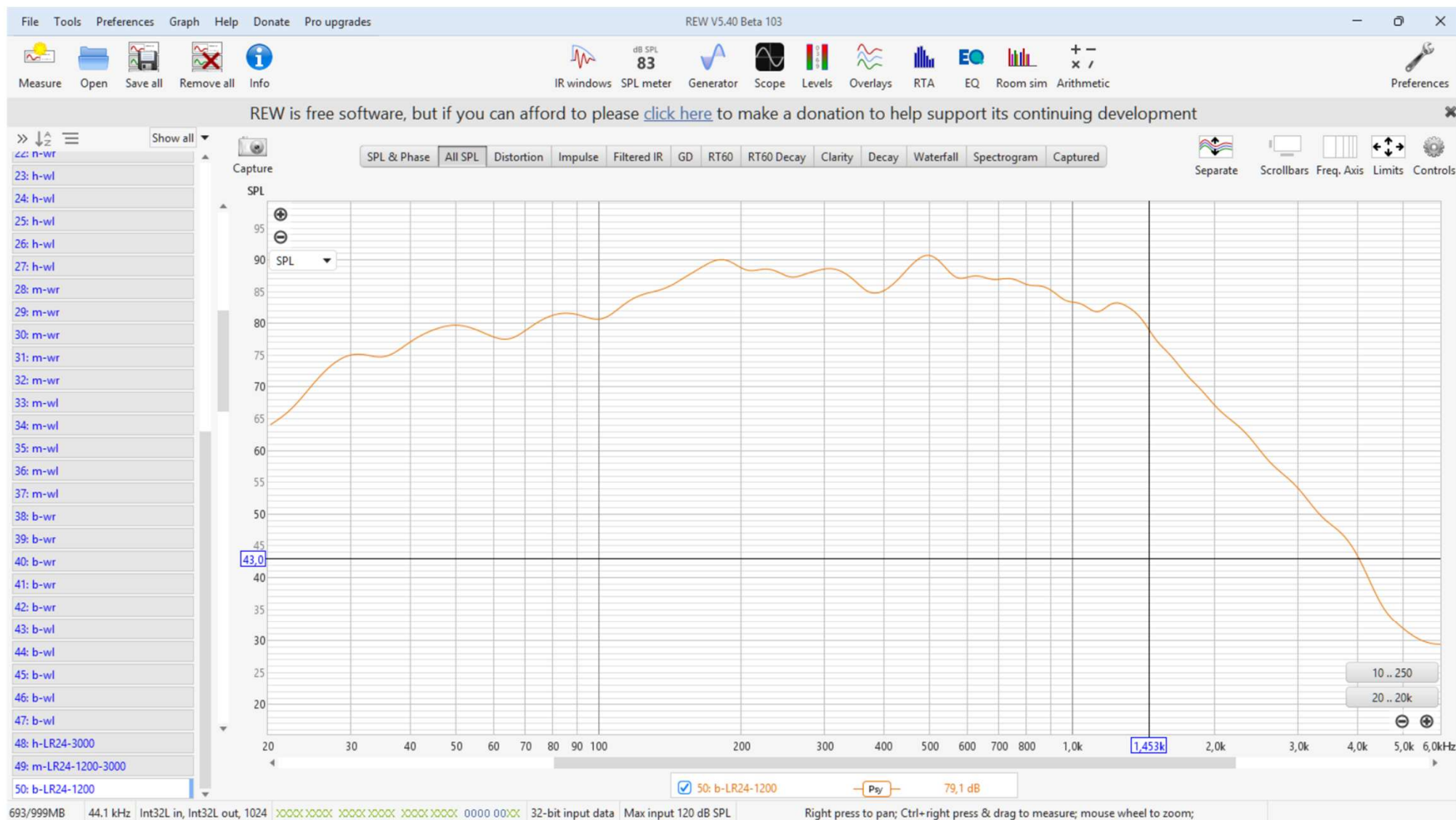
Messung H



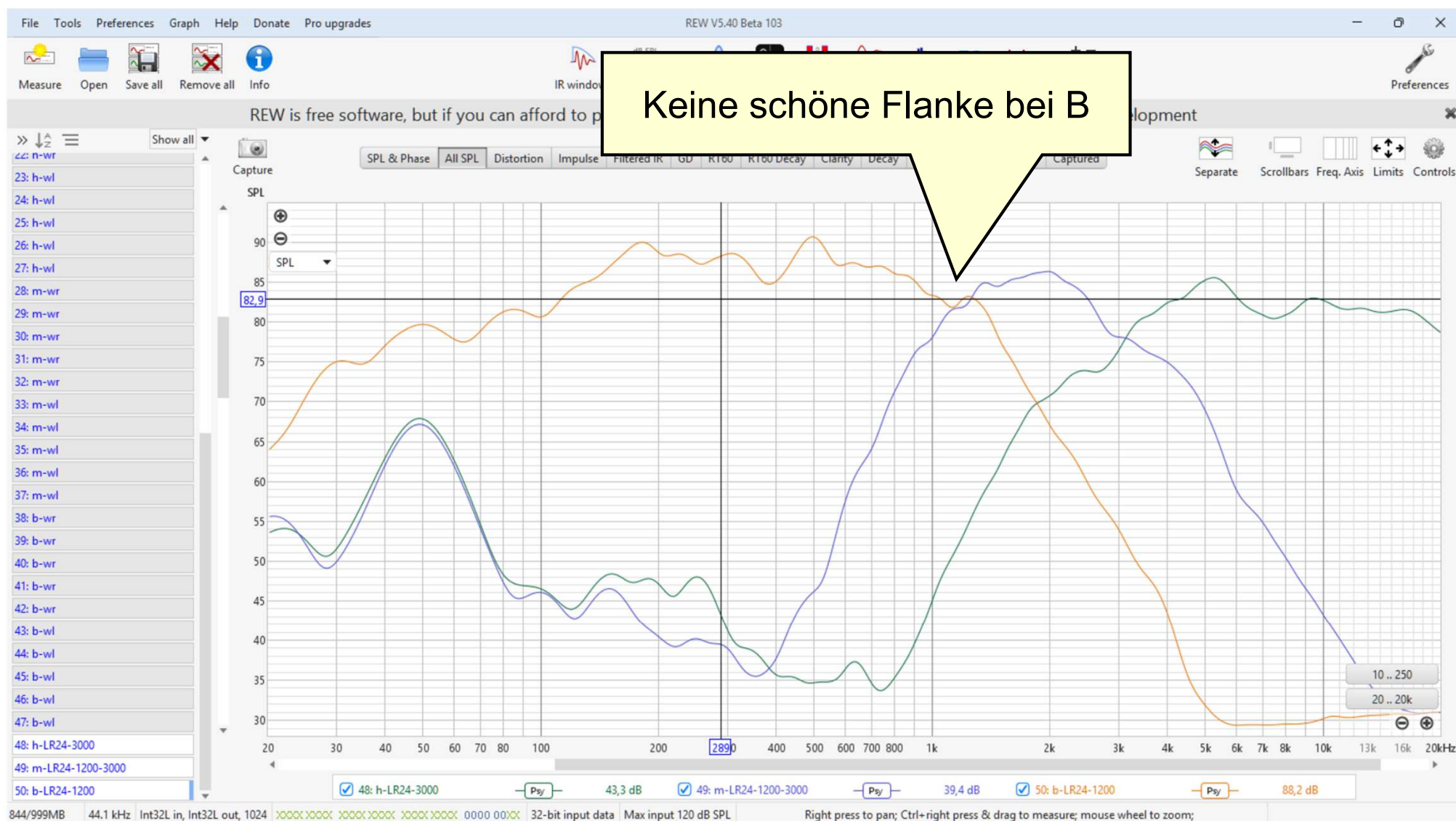
Messung M – Identischer Pegel!



Messung B – Identischer Pegel!



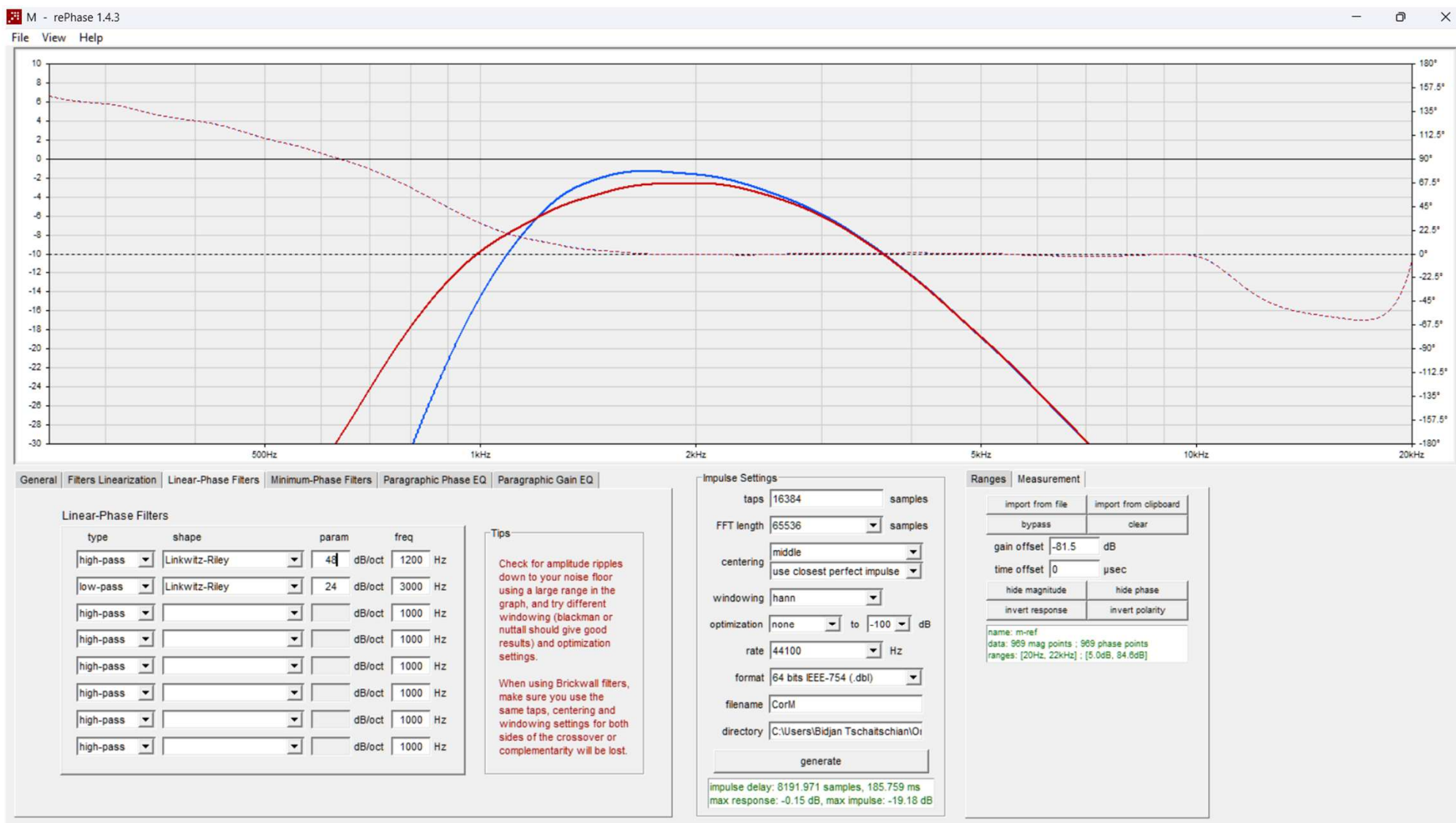
H, M, B zusammen



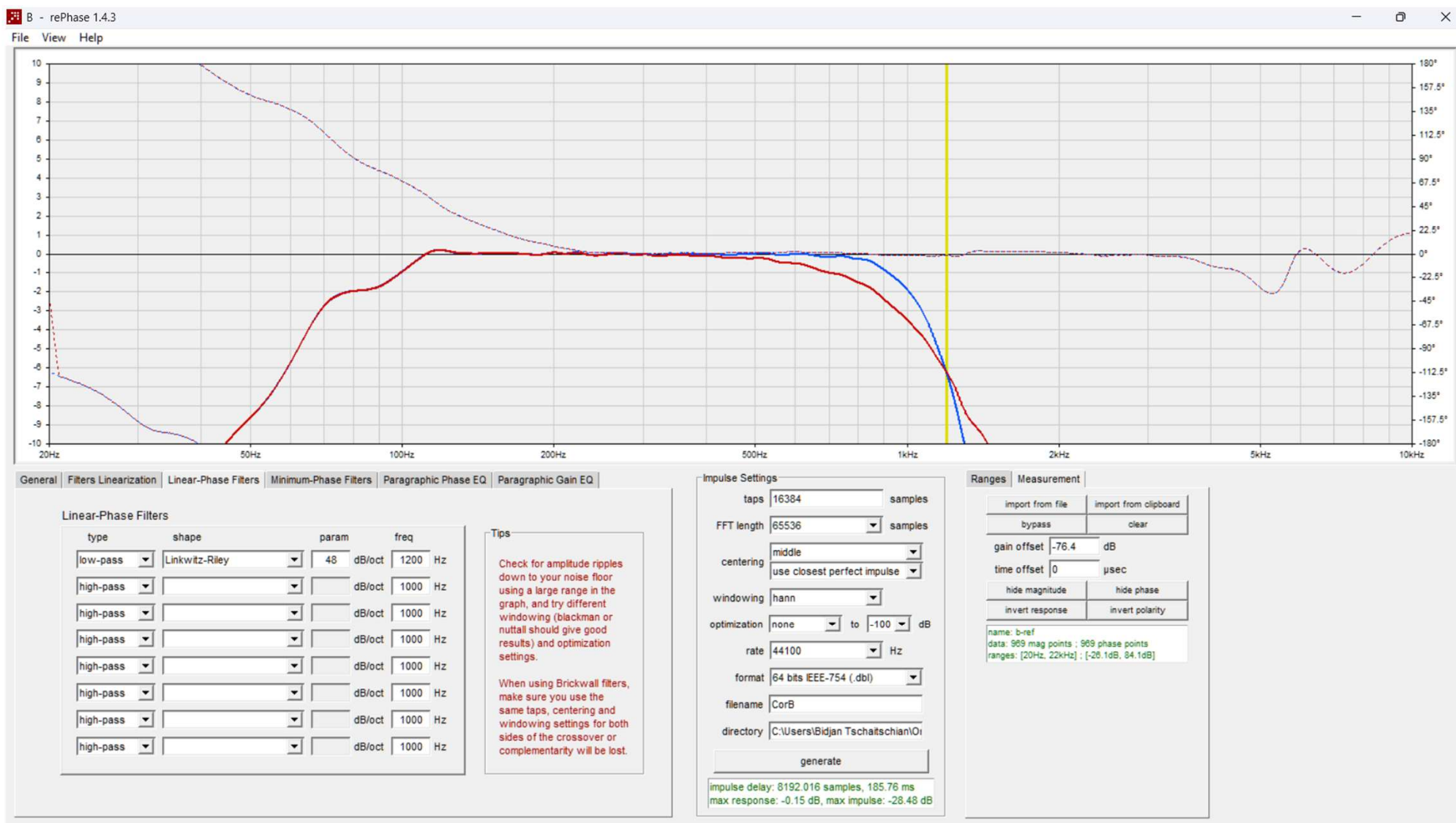
Ein schönes „X“ im Crossover

- Der Übergang zwischen M und B sieht noch nicht schön aus.
- Wir können jetzt die Crossoverfrequenz verschieben und/oder die Flankensteilheit ändern.
- Advanced
 - Wir können überprüfen, ob das gemessene Crossover vom programmierten Crossover stark abweicht.
 - Falls ja, können wir ein Crossover asymmetrisch programmieren, der sich elektrisch sauberer verhält.
- In unserem Beispiel probieren wir erst eine steilere Flanke zwischen M und B aus und verschieben dann den Crossover nach unten.

Crossover Highpass in M auf 48 dB



Crossover Lowpass in B auf 48 dB

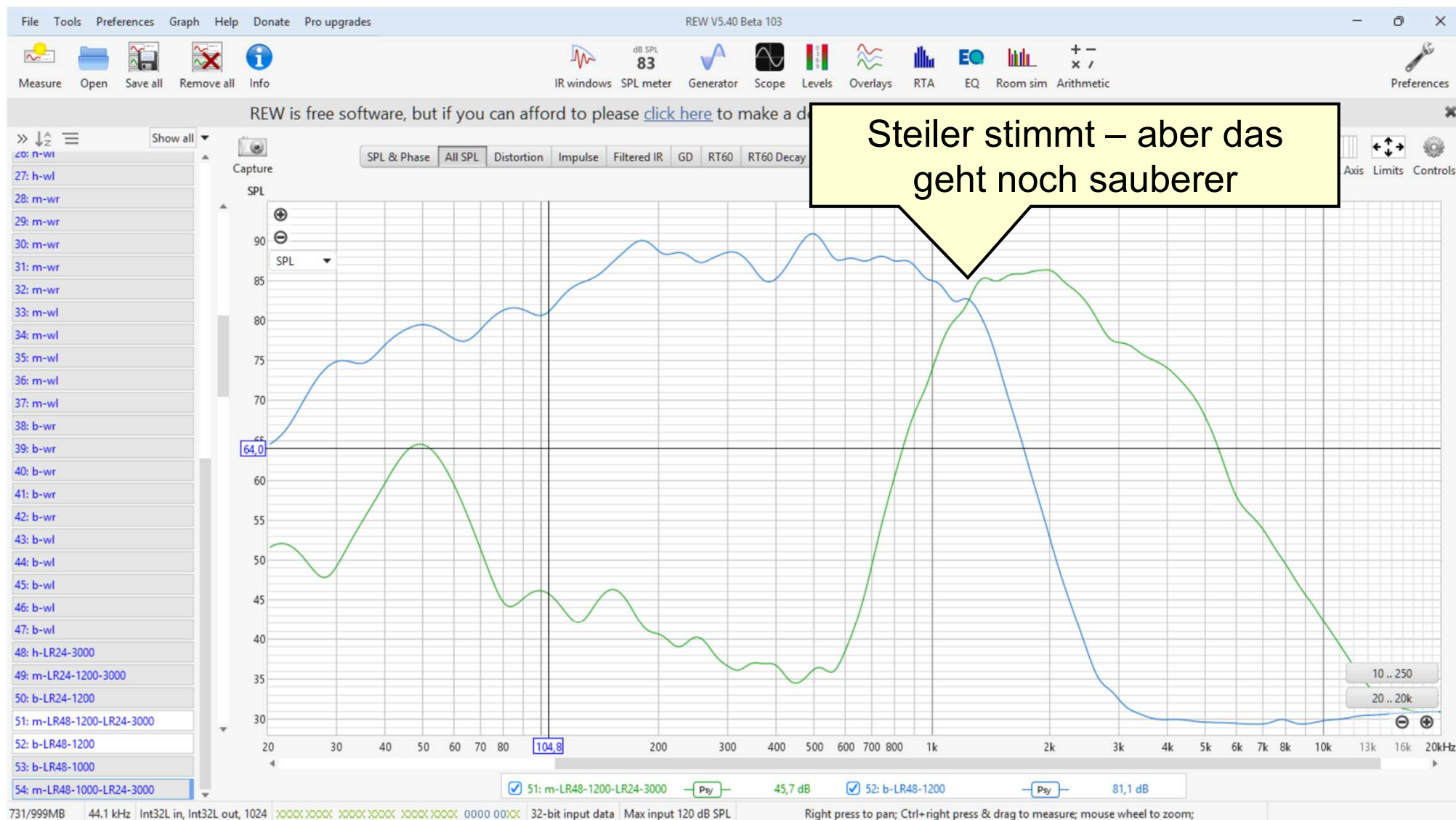


Immer dran denken: Bypass unter Nulllinie, Filter generieren und hochladen

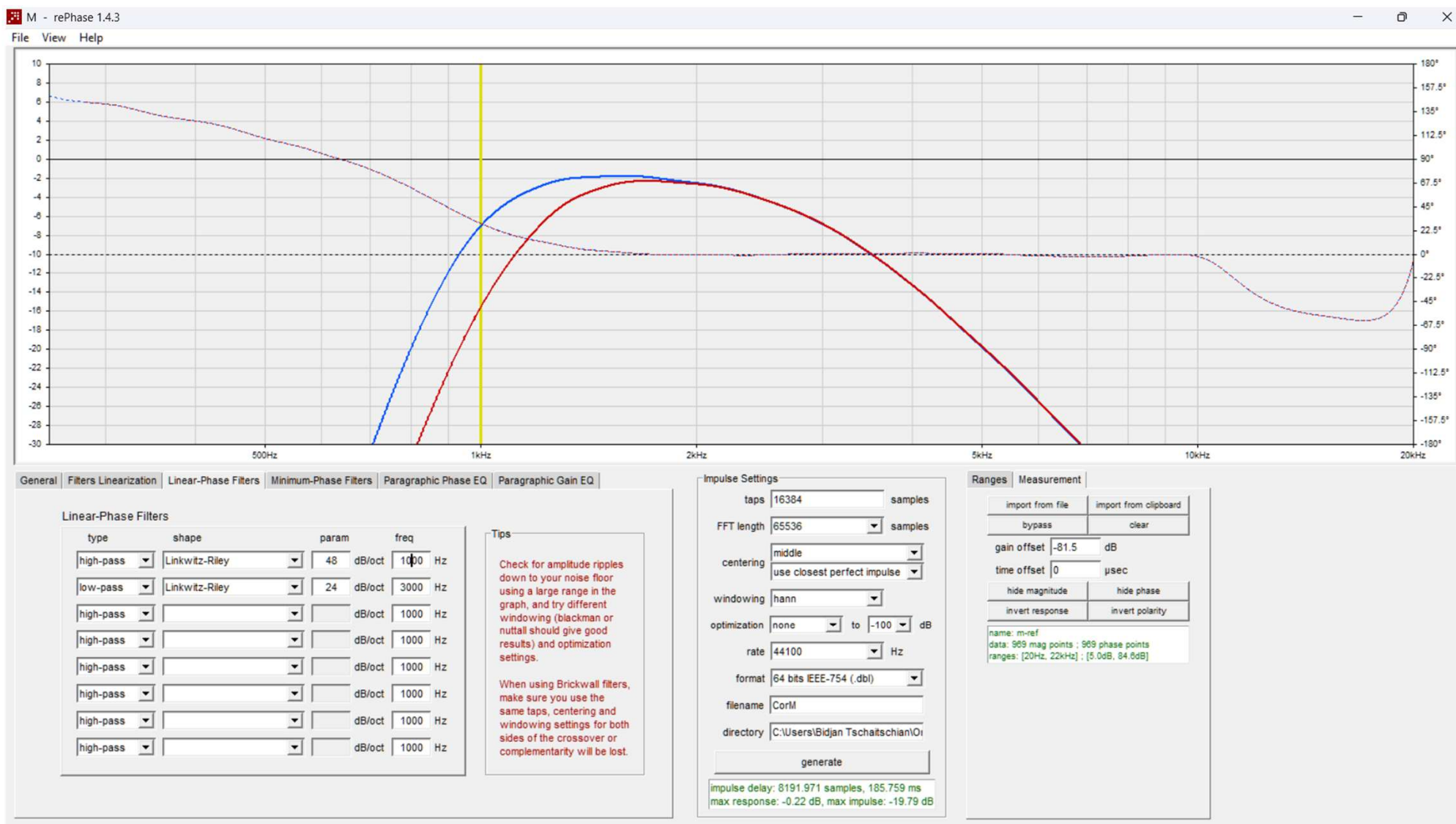
Filter

H	CorH.dbl	☐	att 3	del 0
M	CorM.dbl	☐	att 3	del 0
B	CorB.dbl	☐	att 3	del 0

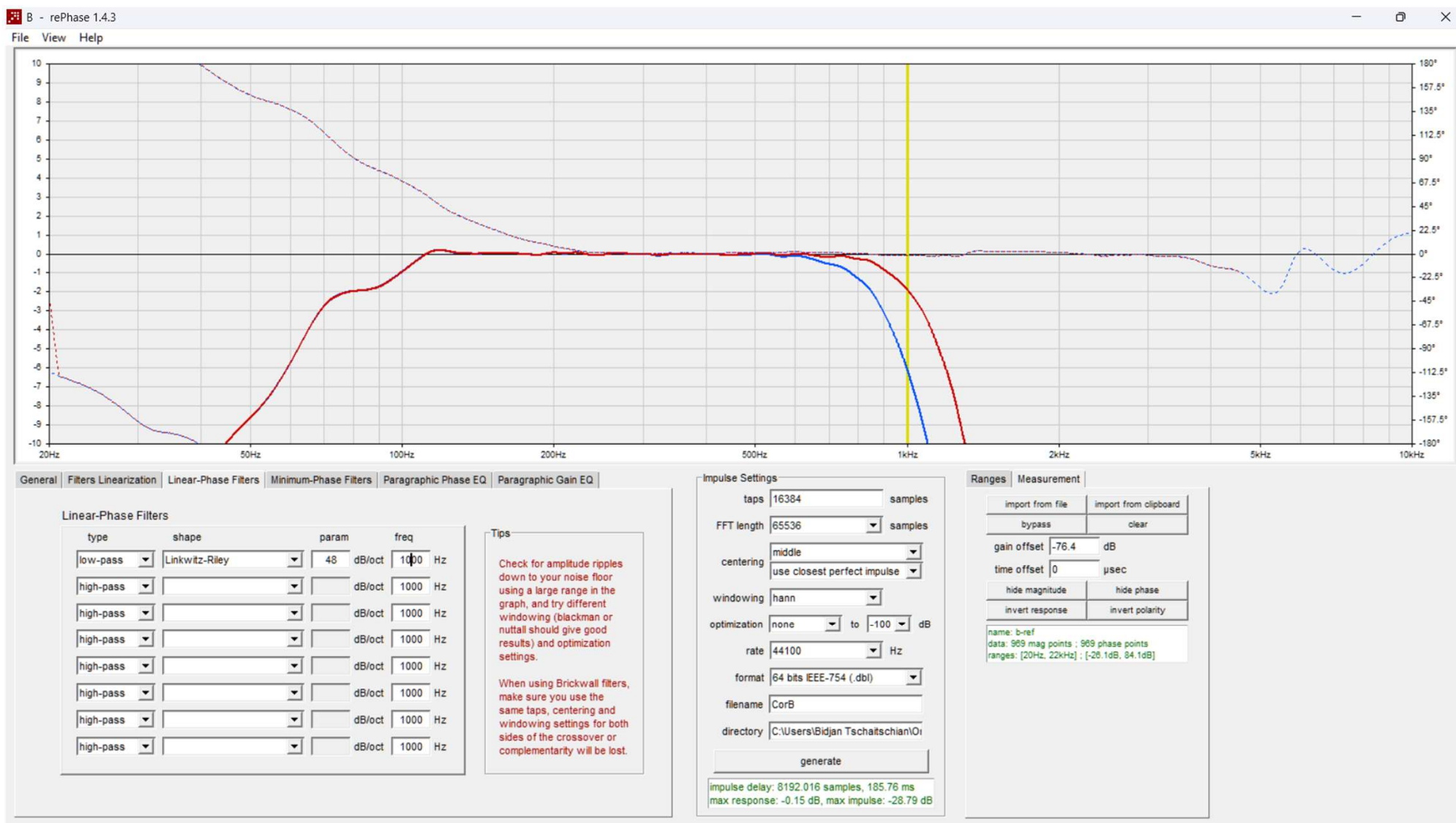
Neue Messungen von M und B „steiler“



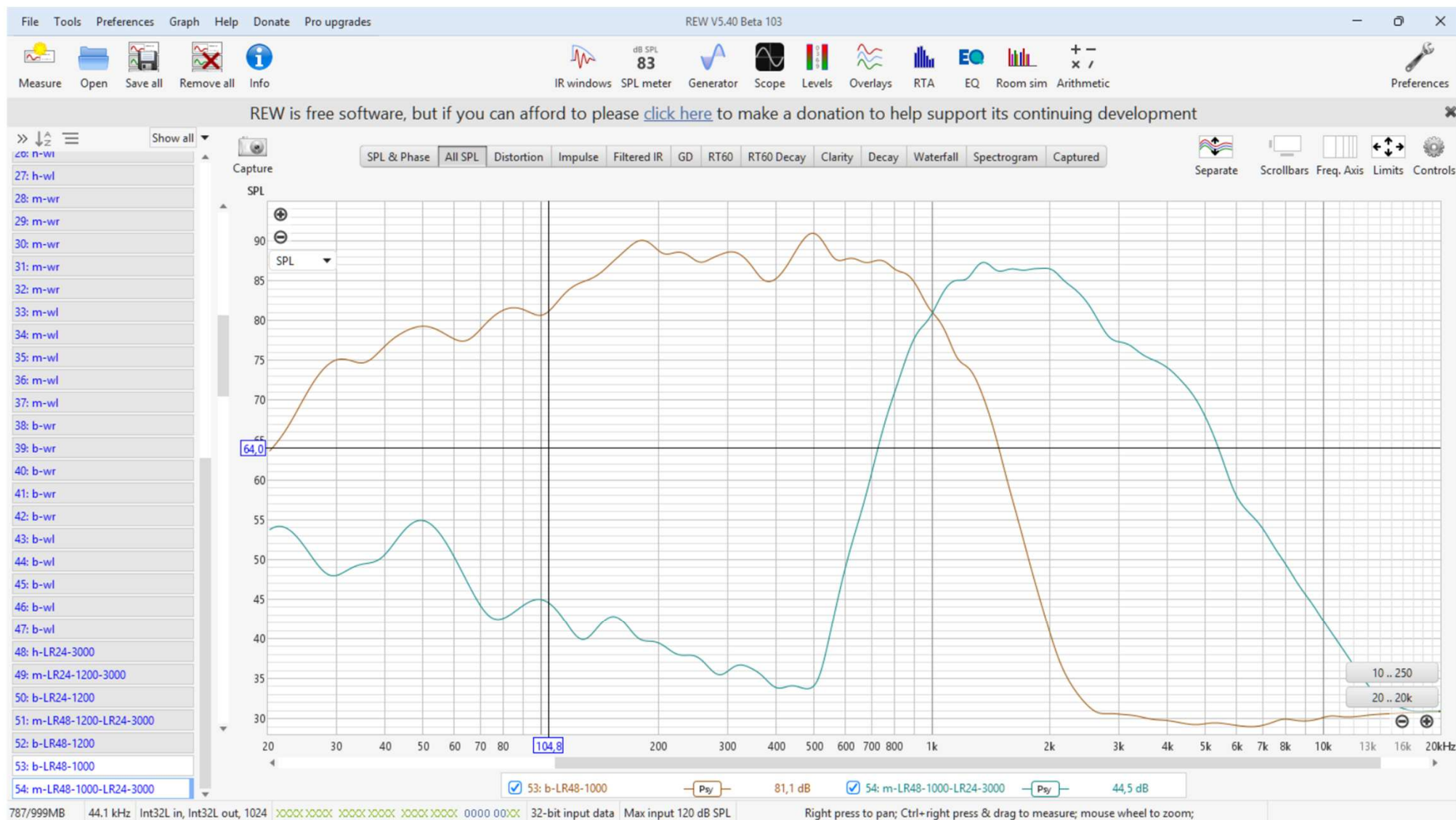
M Crossover Highpass auf 1000 Hz



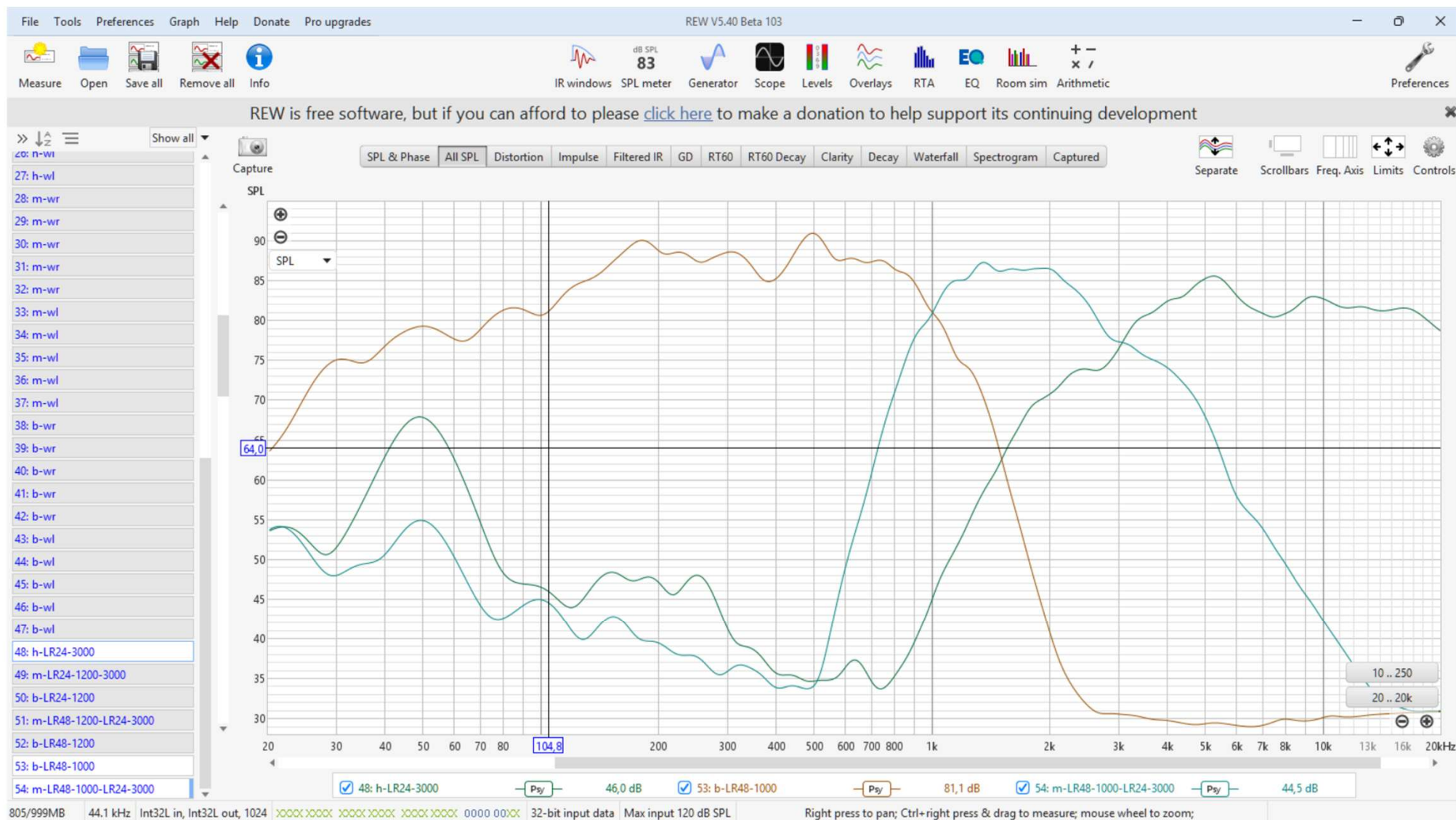
B Crossover Lowpass auf 1000 Hz



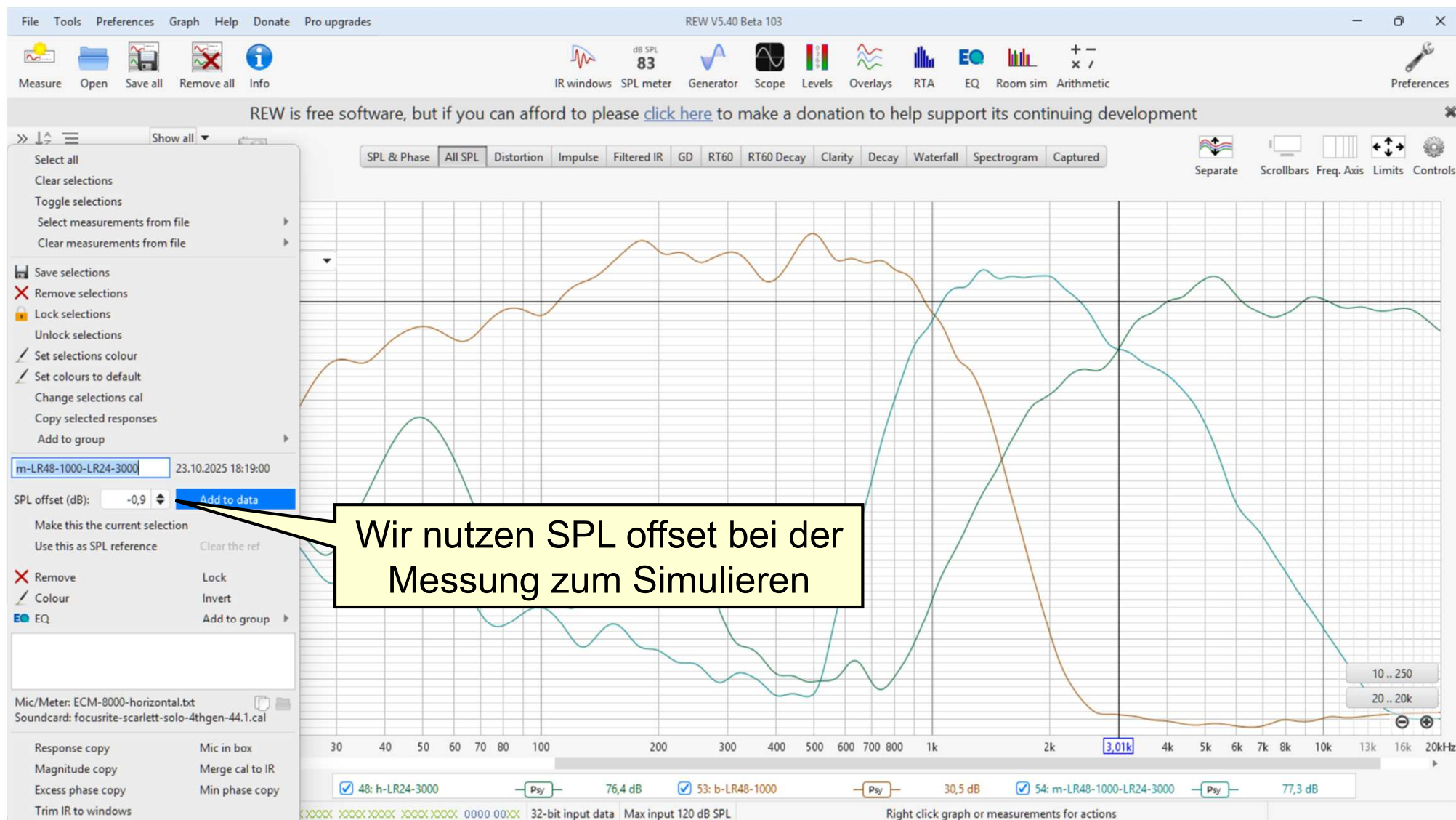
Ergebnis in REW – es werde ein „X“



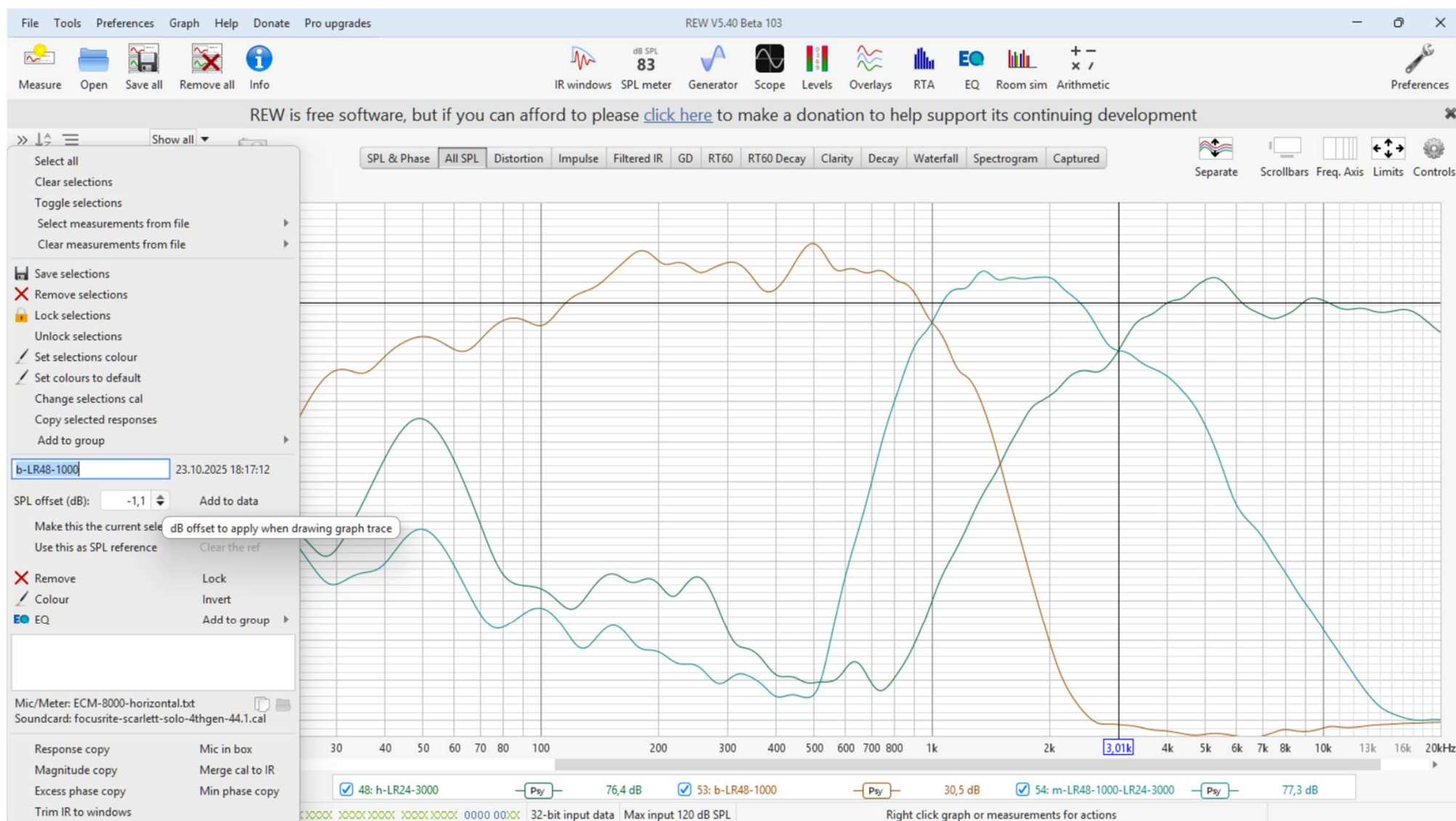
H, M, B zusammen nach Anpassung



Dämpfung M: 0,9 dB



Dämpfung B: 1,1 dB



Attenuation eintragen in Musicwonder WebApp

Filter

H	CorH.dbl	☐	att	3	del	0
M	CorM.dbl	☐	att	3.9	del	0
B	CorB.dbl	☐	att	4.1	del	0

Wir addieren auf den Basiswert 3

$$M: 3 + 0.9 = 3.9$$

$$B: 3 + 1.1 = 4.1$$

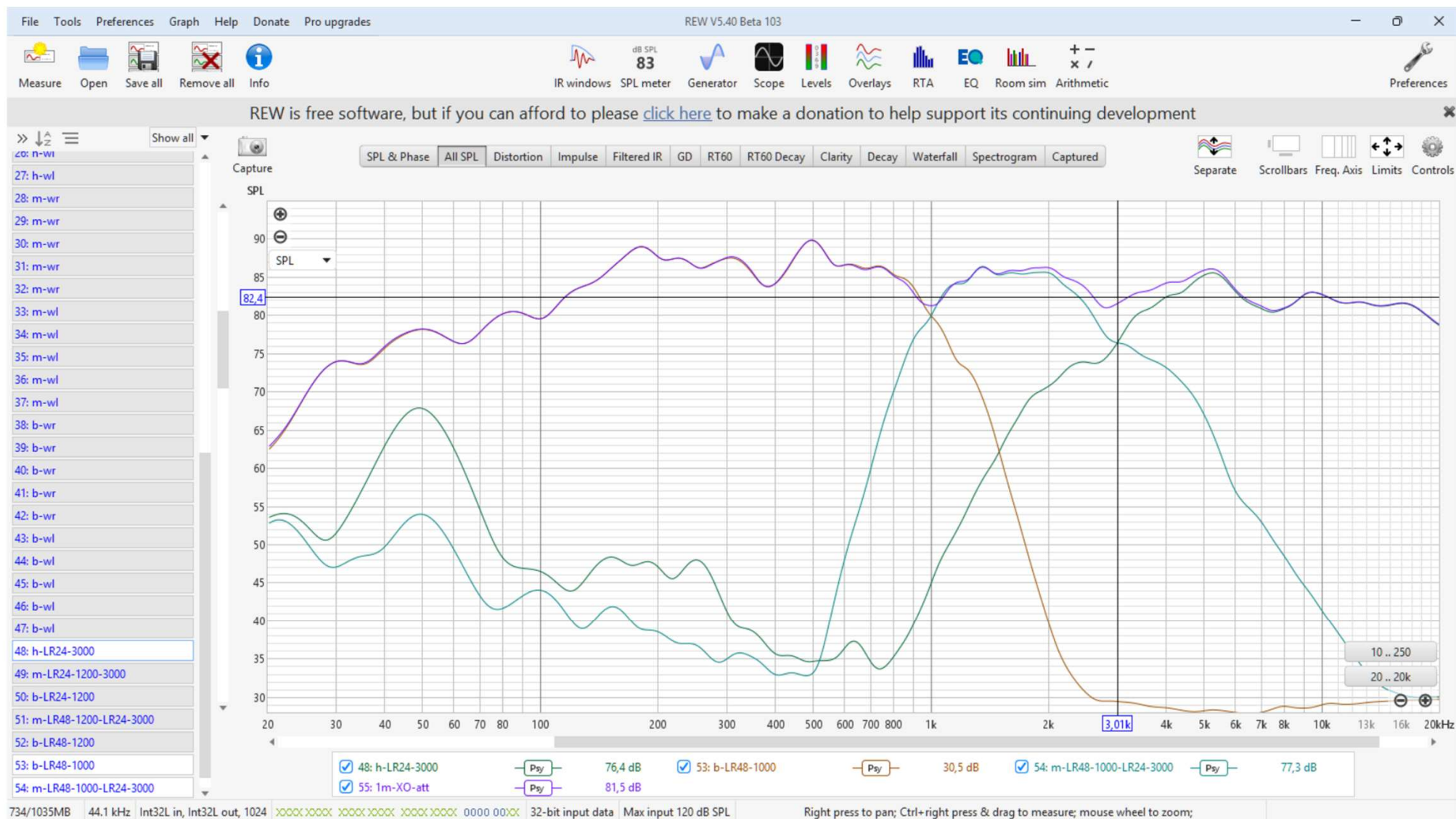
Die erste Messung mit allen Treibern

Filter

H	CorH.dbf ▼	☒	att 3	del 0
M	CorM.dbf ▼	☒	att 3.9	del 0
B	CorB.dbf ▼	☒	att 4.1	del 0

Alle einschalten

H, M, B zusammen in lila



Zwischenstand: Summation Crossover



Zwischenstand: Sprungantwort



Wo wir stehen und was noch kommt

- Alle Messungen wurden aus 1 Meter Abstand mit Mikrofon auf Höhe von H und M und horizontal mittig gemacht.
- Crossover sind gesetzt.
- Dämpfungen wurden geeignet ausgewählt.
- Jetzt erfolgt eine erste Zeitkorrektur
 - alle Treiber werden mit Loopback gemessen
 - die einzelnen Sprungantworten werden verglichen
 - passende Delays werden berechnet und getestet

Vorbereitung Loopback

Signalwege

- Wir messen zurzeit am Ausgang des Audiointerface mit Output 2 (rechter Kanal), d.h. der rechte Ausgang des Audiointerface ist verkabelt mit der FIR-BoxX und der rechte Lautsprecher ist passend an die FIR-BoxX angeschlossen.
- Unser Mikrofon verwendet Input 2 des Audiointerface.
- Wir nutzen jetzt Output 1 (linker Kanal) und Input 1 für das Loopback, d.h wir verkabeln den linken Ausgang des Audiointerface mit Input 1 des Audiointerface. Die interne Latenz des Audiointerface wird unsere Timing-Referenz.
- Weiter, wenn das Loopback-Kabel gesteckt ist.

Vorbereitung Loopback REW – 1x messen

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: loopback

Will appear as: loopback

☐ Add to group R FIR Kombi 1 New group...

Notes:

☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq 20 End Freq 22.050 Hz

Level: -15 dBFS RMS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN

No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

Input:

Method: **Sweep** FSAF

Settings: Length 256k Repetitions 1 5,9 s

Timing: Use loopback as timing reference

Timing offset: 0,0000 ms

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Single measurement

Setup: Start delay 1 s

Output: 2: Output 2

Sec. output: Choose an output...

Options: None selected

Ref output: 1: Output 1

Ref input: 1: Input 1

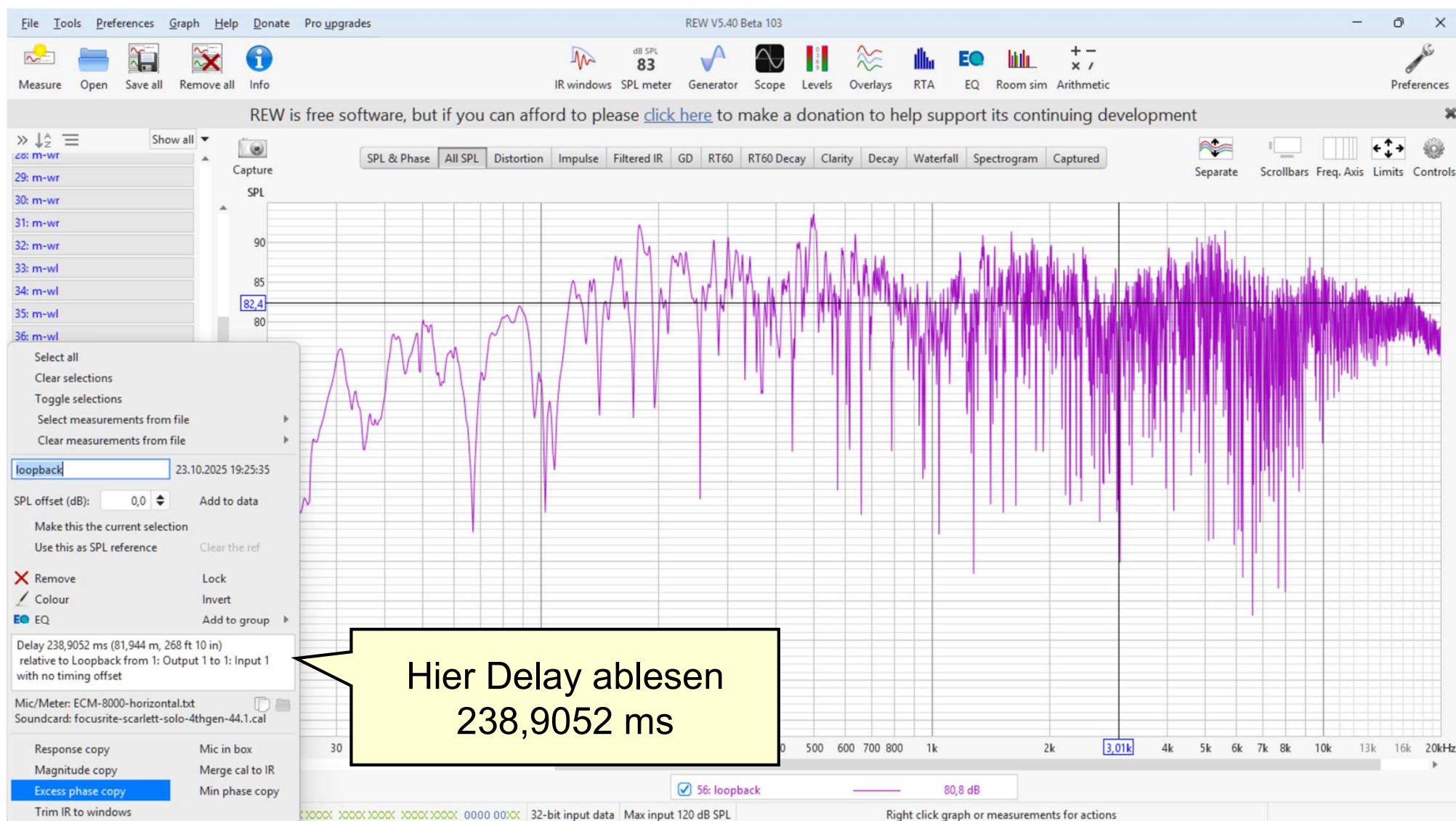
☒ Capture noise floor

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

Calibration files...

Check levels Start Abbrechen

Delay an der Messung ablesen



Timing offset eintragen und 1x messen

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: loopback

Will appear as: loopback

Settings: Length: 256k Repetitions: 1 5,9 s

Timing: Use loopback as timing reference

Timing offset: 238,9052 ms

Notes:

☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq: 20 End Freq: 22.050 Hz

Level: -15 dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN

No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

Input:

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Single measurement

Setup: Start delay 1 s

Output: 2: Output 2

Sec. output: Choose an output...

Options: None selected

Ref output: 1: Output 1

Ref input: 1: Input 1

☒ Capture noise floor

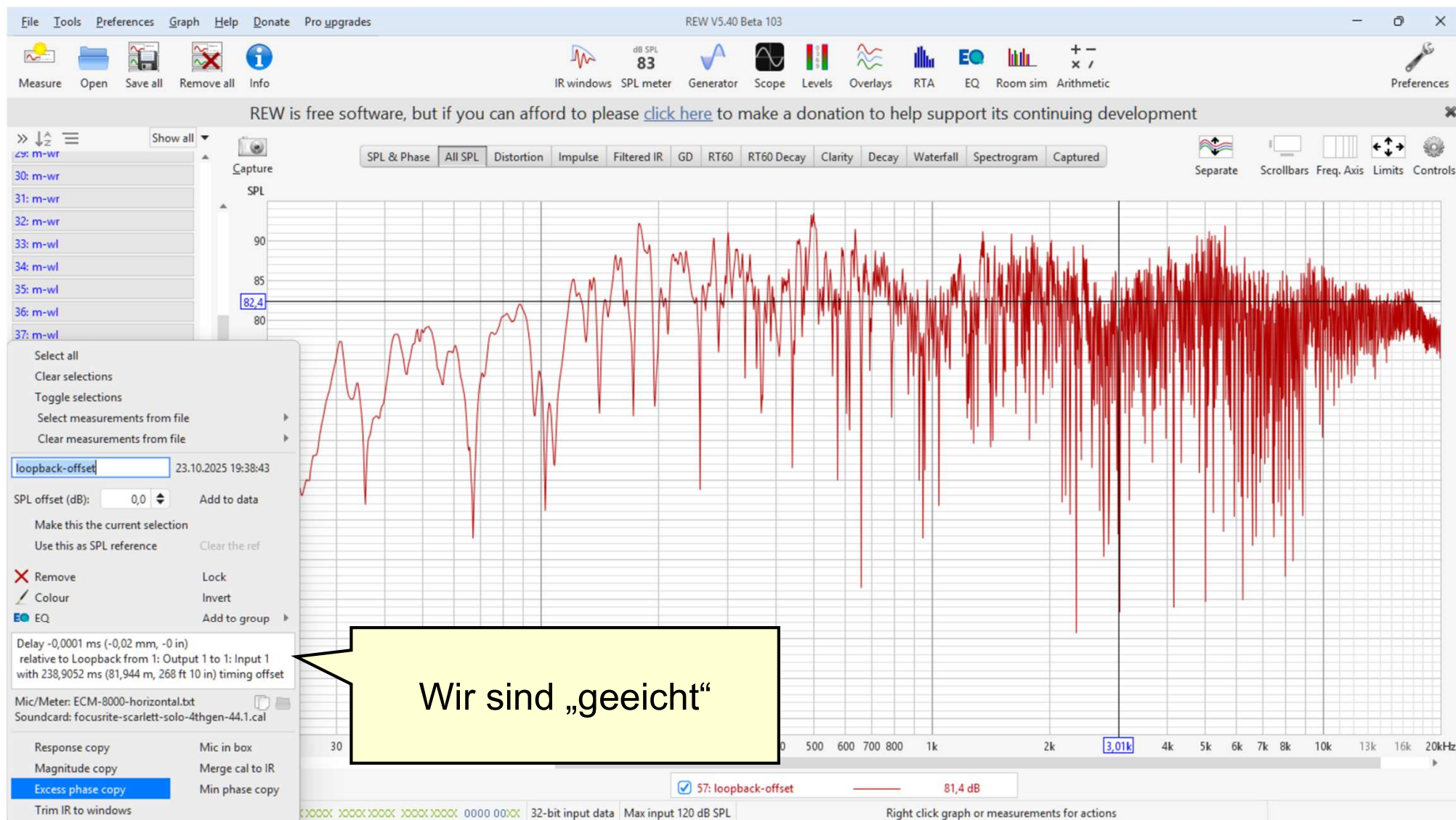
Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

Calibration files...

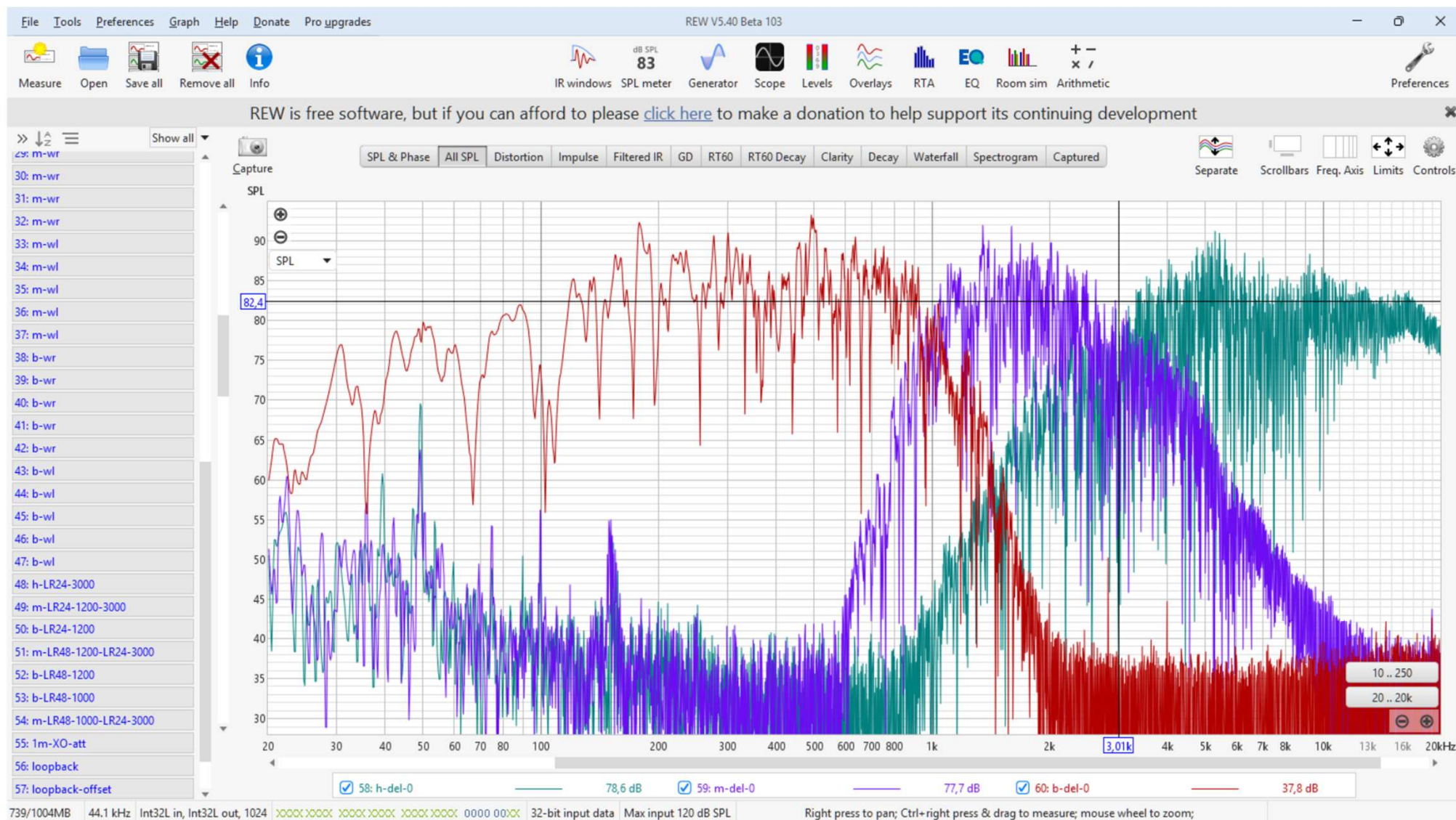
Check levels Start Abbrechen

Hier Delay eintragen
238,9052 ms

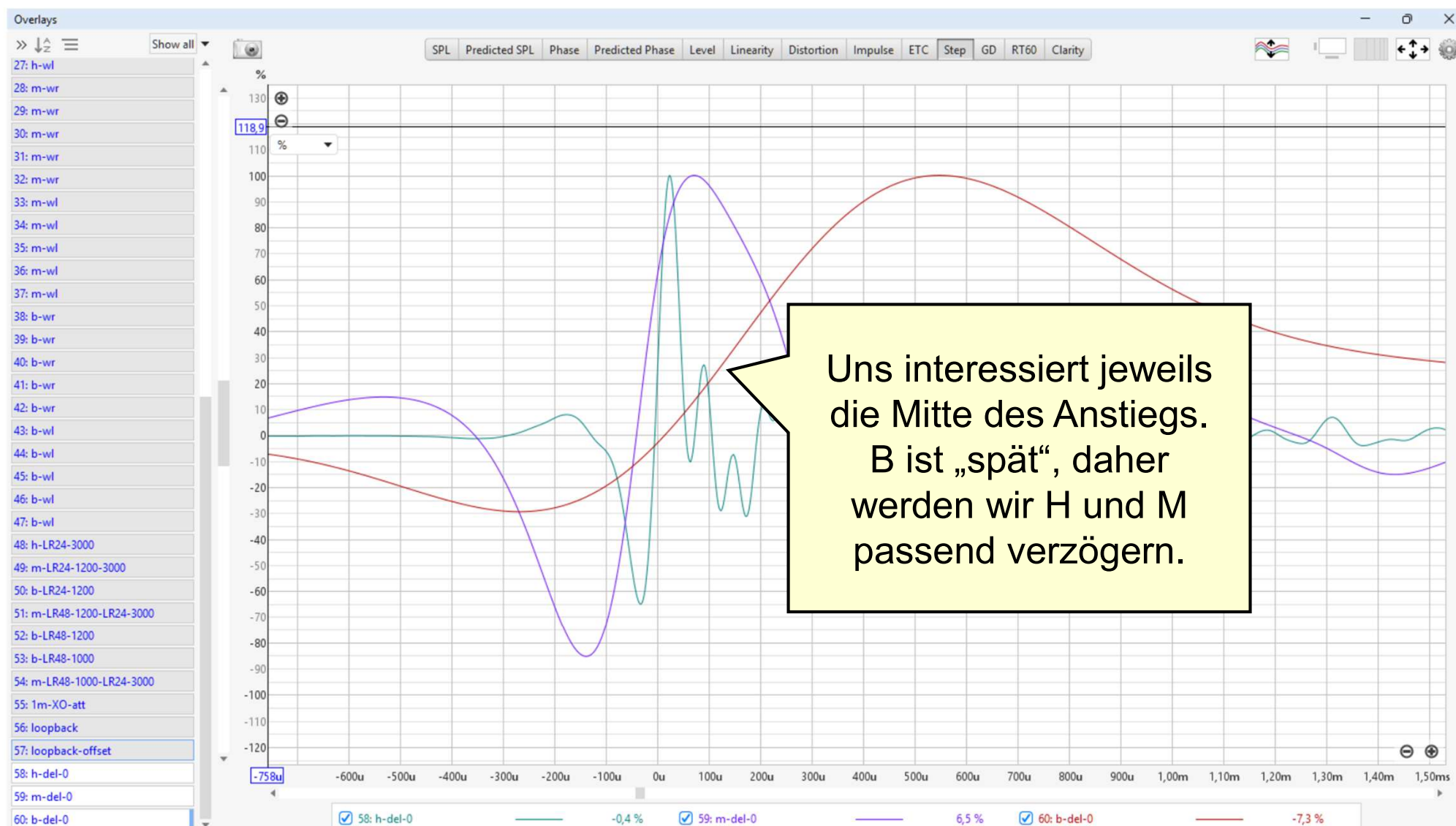
Kontrolle, dass der Offset greift



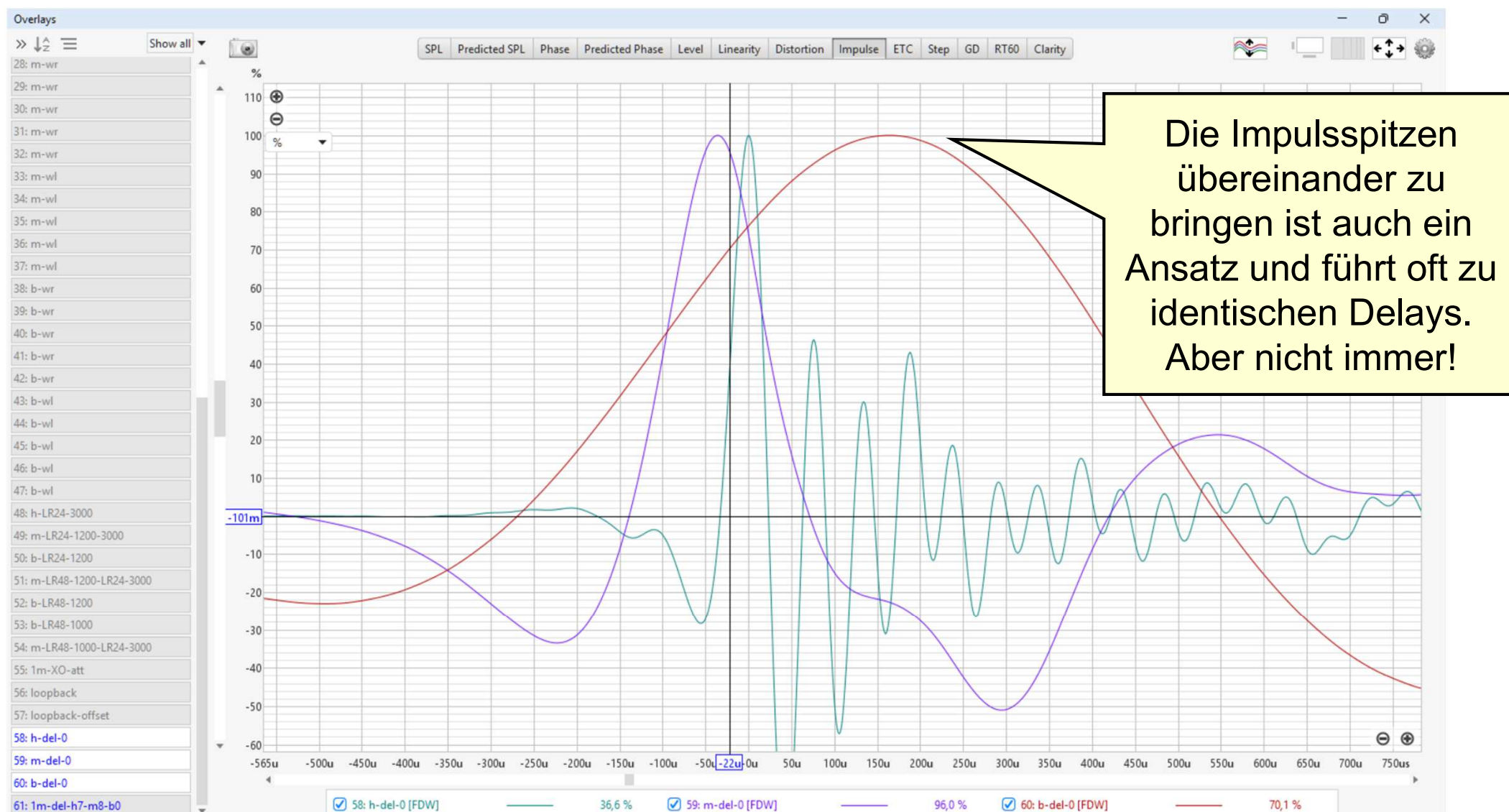
Messungen H, M, B mit Delay = 0



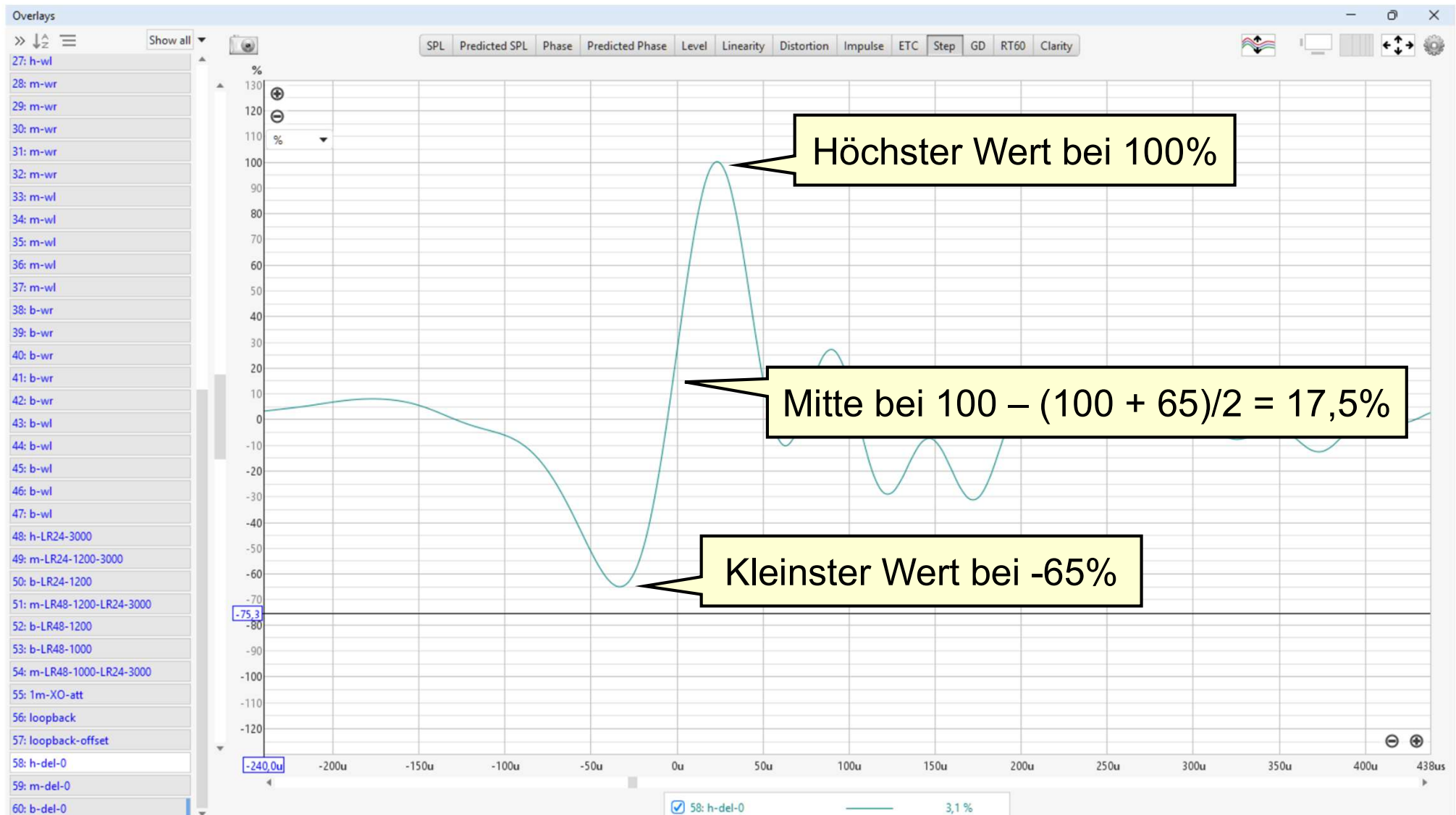
Die Sprungantworten von H, M, B



Einschub: Einfacher mit Impulsspitzen



H: Mitte des Anstiegs bei 17,5%

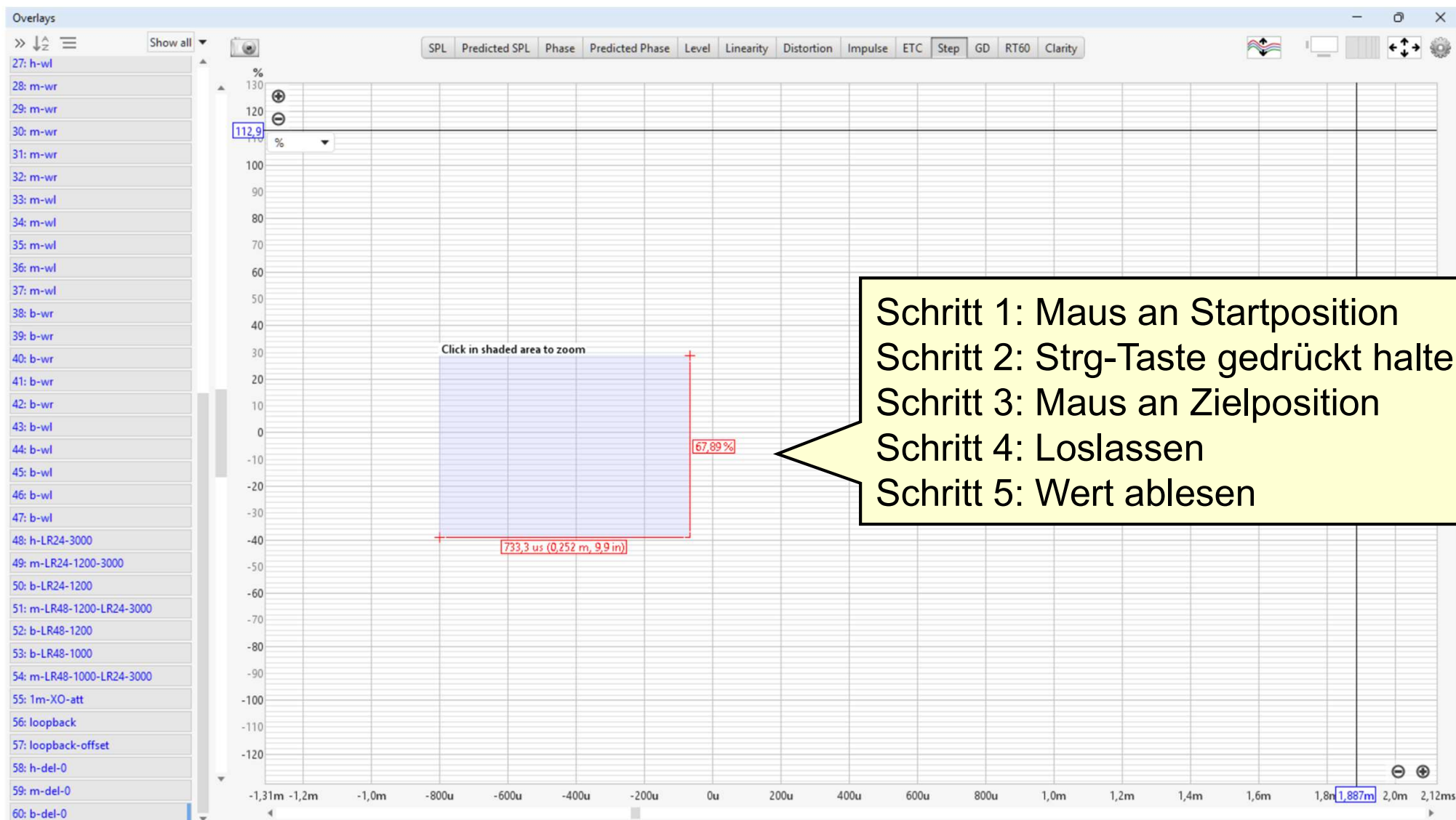




B: Mitte des Anstiegs bei 35%



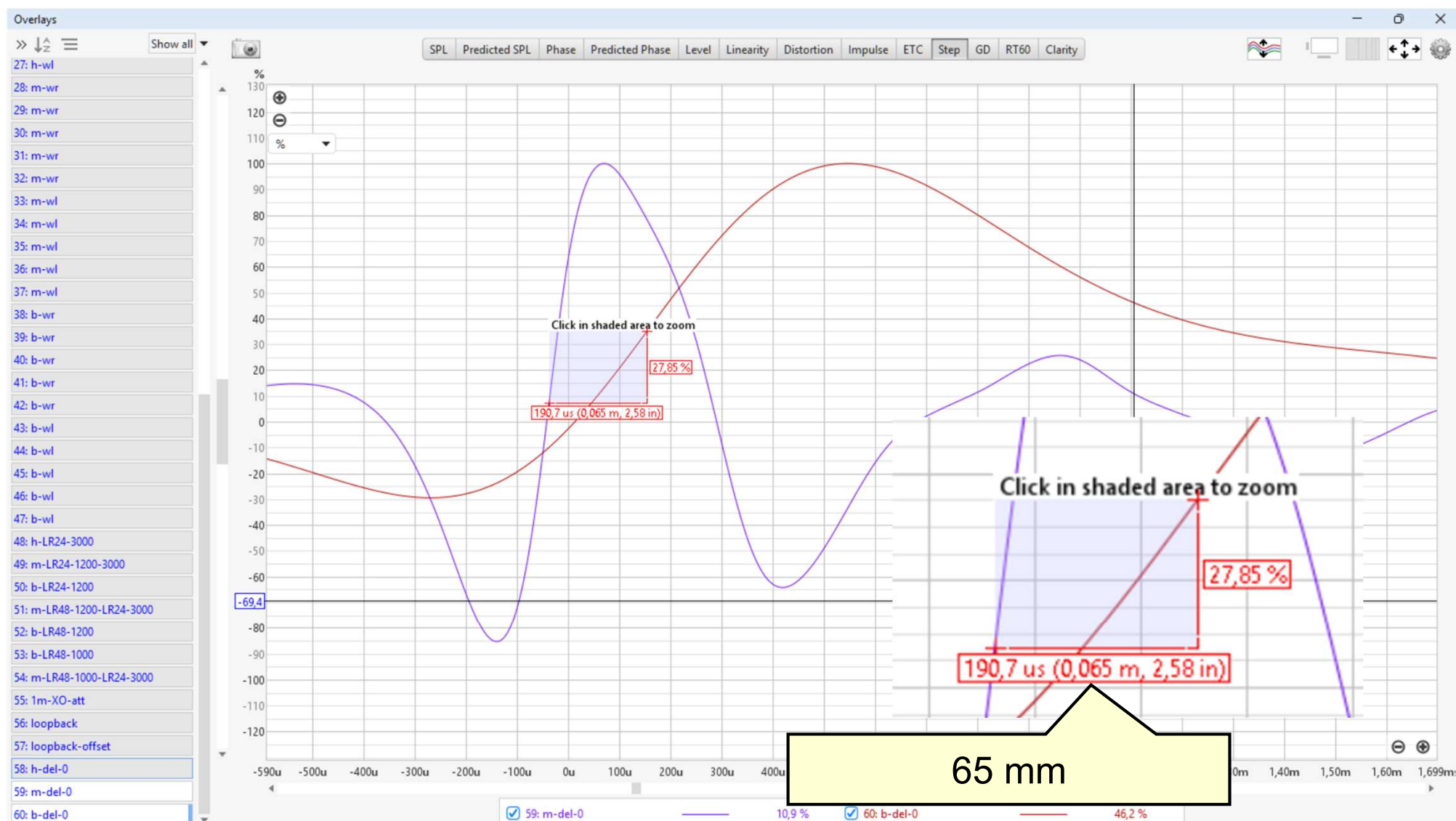
Wir messen die Delays in REW



Abstand H zu B (17,5% und 35%)



Abstand M zu B (7,5% und 35%)



Umrechnung in Samples

- In der FIR-BoxX stellen wir die Delays mit der Anzahl von Samples ein.
- Wir müssen daher die Abstände in mm umrechnen in ganzzahlige Samples.
- 1 Sample entspricht einem Abstand von 7,8 mm.
- Wir müssen also den Abstand in mm durch 7,8 teilen und ggf. runden, um die korrekte Sampleanzahl pro Delay zu berechnen.
- Für H: $54 \text{ mm} / 7,8 = 6,93 \Rightarrow 7 \text{ Samples}$
- Für M: $65 \text{ mm} / 7,8 = 8,33 \Rightarrow 8 \text{ Samples}$

Eintragen und Messen

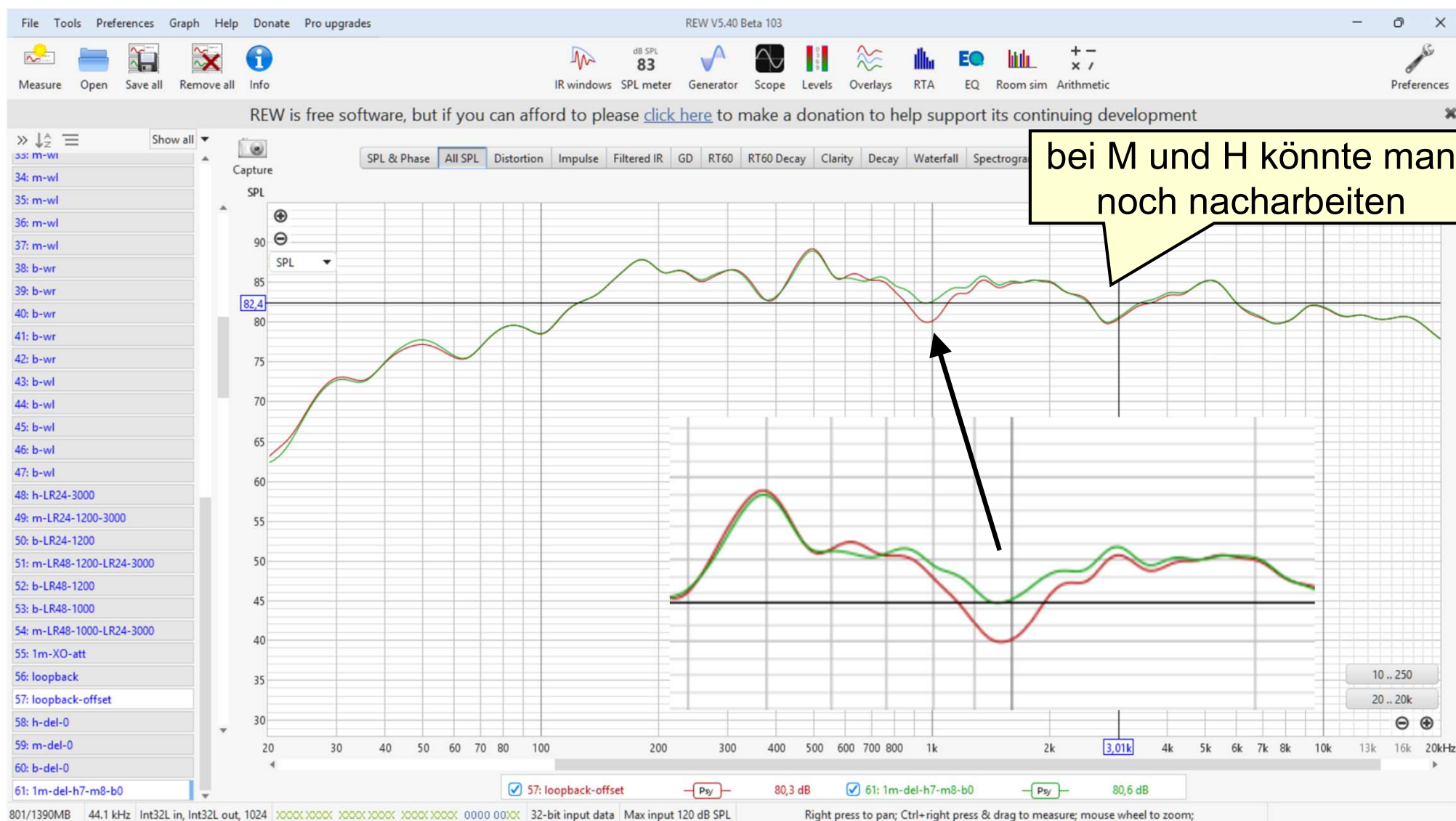
Filter

H	CorH.dbf ▼	☒	att 3	del 7
M	CorM.dbf ▼	☒	att 3.9	del 8
B	CorB.dbf ▼	☒	att 4.1	del 0

Deutlich bessere Sprungantwort (grün)



Deutlich bessere Summation von M und B



Zwischenstand

- Nahfeld- und 1 Meter Messungen sind geschafft.
- Crossover sind festgelegt.
- Erste Dämpfungen sind realisiert.
- Erste Delays sind gesetzt.
- Jetzt stellen wir die Lautsprecher auf und
 - tunen den Bass und beseitigen Raumprobleme,
 - optimieren Attenuation und Delays auf die Hörposition,
 - justieren wo sinnvoll,
 - tunen den Klang nach Geschmack.
- Zur Info: Lautsprecher sinnvoll aufstellen mit Abständen zu Wänden, Einwinkeln, An- und Abkopplung etc. werden hier nicht behandelt.

Erläuterung zu Attenuation und Delay

- Die Einstellungen auf 1 Meter sind gemacht und sind eine Basis.
- An der Hörposition sind die Verhältnisse anders und wir werden noch Anpassungen vornehmen.
- Bei der Dämpfung kommt es im Wesentlichen darauf an, wie viel Energie die Treiber auf Distanz verlieren.
- Bei den Delays gibt es auch Einflüsse, z.B.
 - die höheren Entfernungen zum Hörplatz,
 - die Einwinkelung der Lautsprecher,
 - die Raumanpassungen, die das Zeitverhalten beeinflussen können,
 - Besonderheiten bei Lautsprechern, die nicht spiegelsymmetrisch sind.

Workflow Teil 3

Der Raum macht die Musik

Basstuning und Raumkorrektur

**Nur wenn nötig und bitte
ohne Nebenwirkungen**

Hörposition



Erste Messung Hörposition L+R

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: mlp

Will appear as: mlp

Settings: Length 256k Repetitions 1 5,9 s

Timing: **No timing reference**

Set t=0 at IR peak

Playback: **From REW**

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Single measurement

Setup: Start delay 1 s

Output: 1: Output 1

Sec. output: 2: Output 2

Options: None selected

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

Calibration files...

Check levels Start Abbrechen

Notes:

☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq 20 End Freq 22.050 Hz

Level: -15 dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN

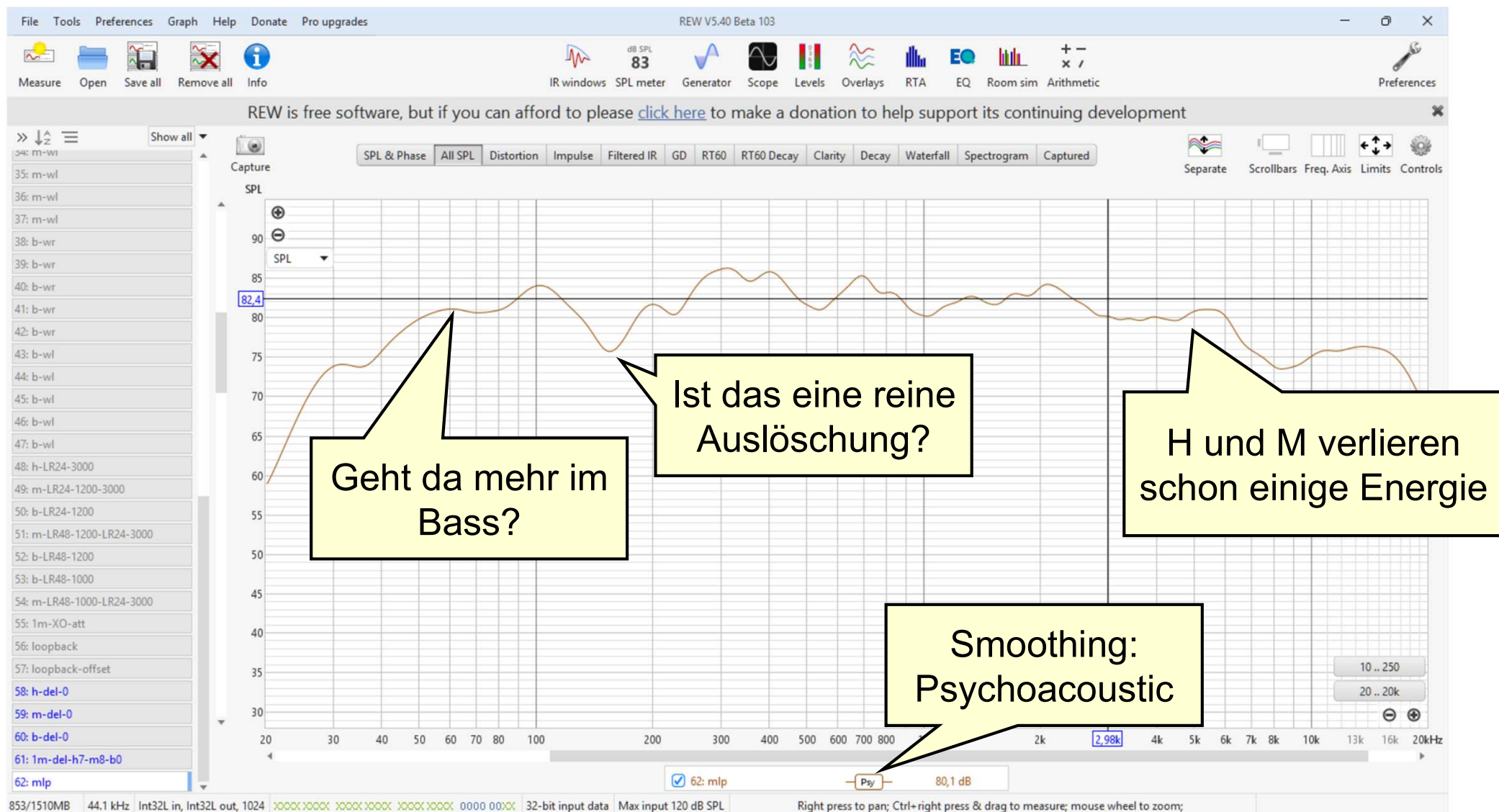
No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

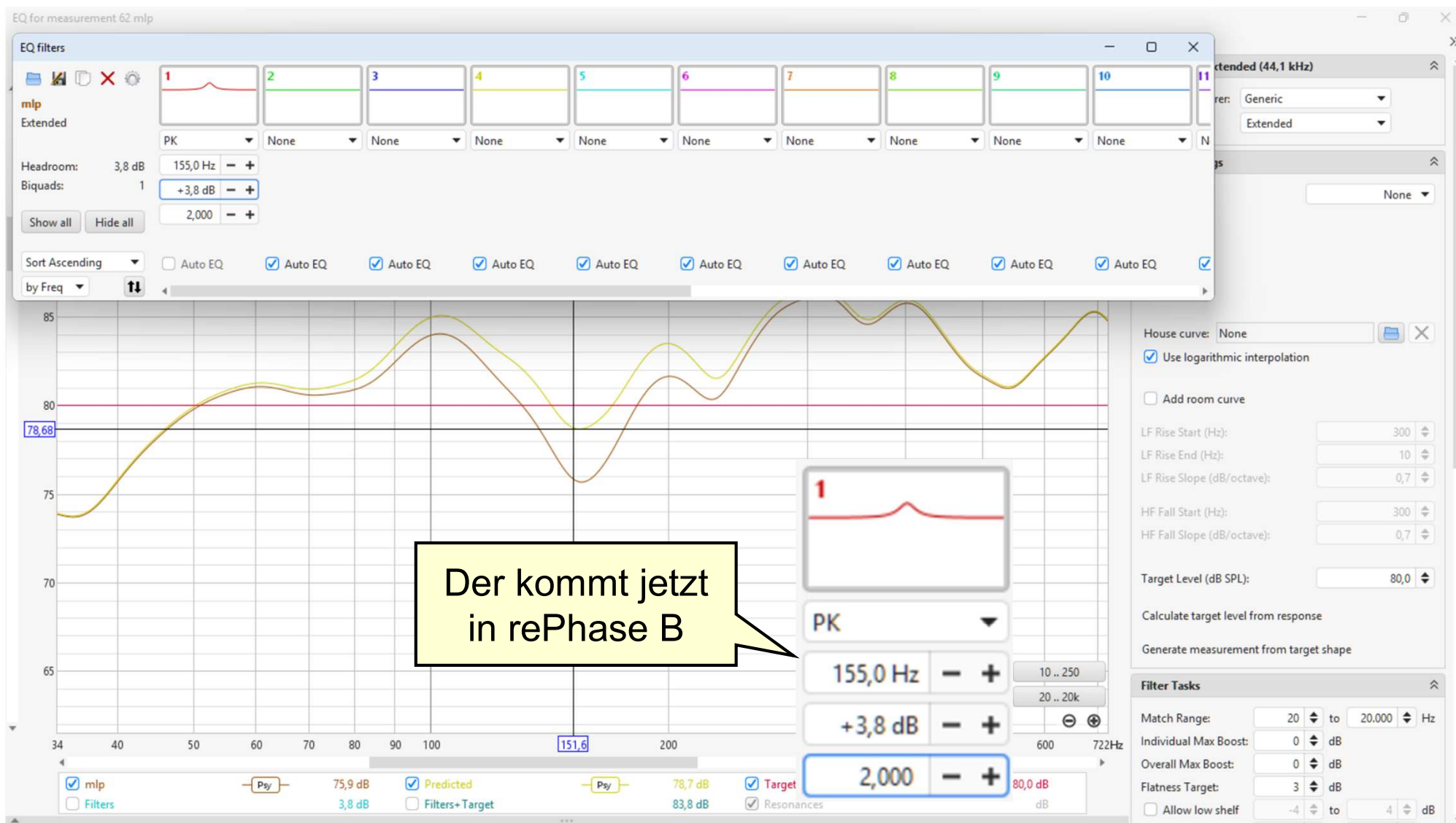
Input:

Ohne Loopback
verkabeln und messen.
Beide Ausgänge aktiv.

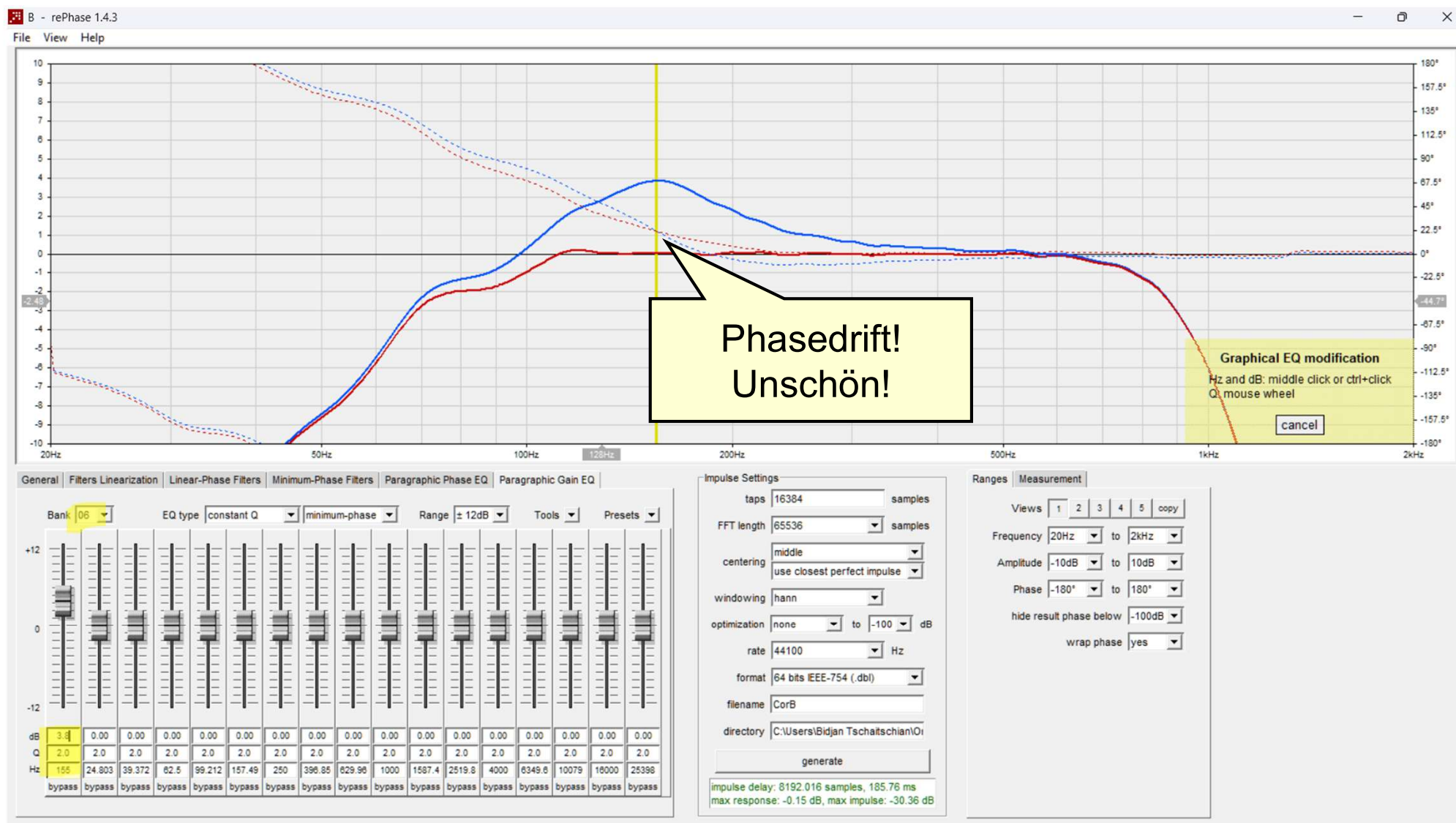
Der klingt schon sehr fein, aber ...



Wir simulieren einen EQ in REW



Neuer EQ in rePhase (Bank 06)



Phasenverschiebungen

- Dass EQs, die wir nach Messungen am Hörplatz nachträglich in den Filter übernehmen zu Phasenverschiebungen führen, ist normal.
- Bei IIR Filtern muss man damit leben bzw. sehr genau aufpassen, dass die Phasenverschiebung pro EQ im Rahmen bleibt (z.B. durch Verwendung kleiner Qs).
- Bei FIR Filtern kann man den Phasedrift mit zwei Allpass-Filtern eliminieren.
- So holen wir uns das saubere Abstrahlverhalten wieder zurück.

Vorbereitung der Phasenkorrektur

General | Filters Linearization | Linear-Phase Filters | Minimum-Phase Filters | Paragraphic Phase EQ | Para

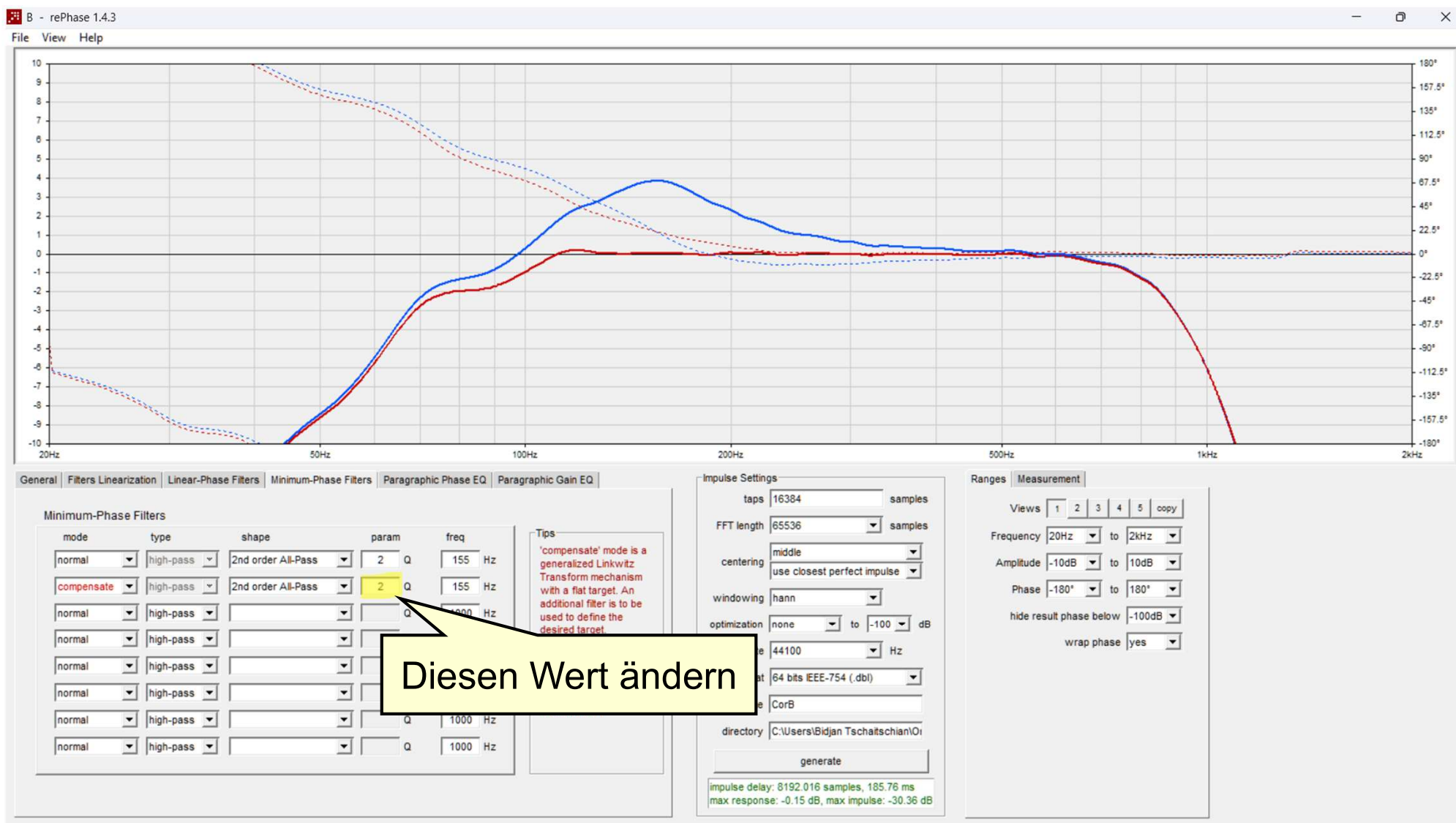
Minimum-Phase Filters

mode	type	shape	param	freq
normal	high-pass	2nd order All-Pass	2 Q	155 Hz
compensate	high-pass	2nd order All-Pass	2 Q	155 Hz
normal	high-pass		Q	1000 Hz
normal	high-pass		Q	1000 Hz

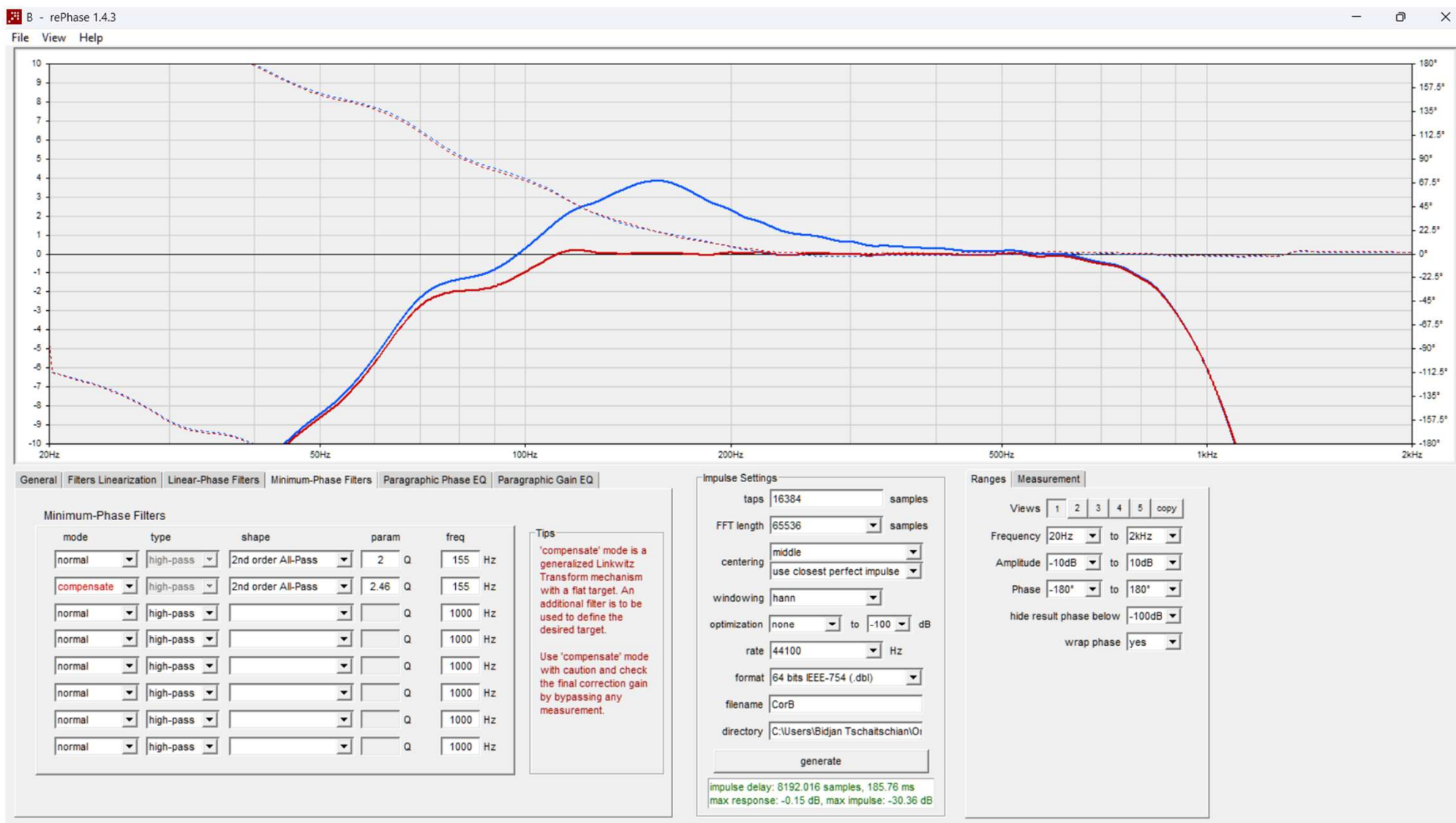
Zeile 1: normal - 2nd order All-Pass - Q und Frequenz unseres Filters
Zeile 2: compensate - 2nd order All-Pass - Q und Frequenz unseres Filters
Danach müssen wir in der zweiten Zeile das Q so anpassen, dass der Phasedrift kompensiert wird.

normal	high-pass		Q	1000 Hz
--------	-----------	--	---	---------

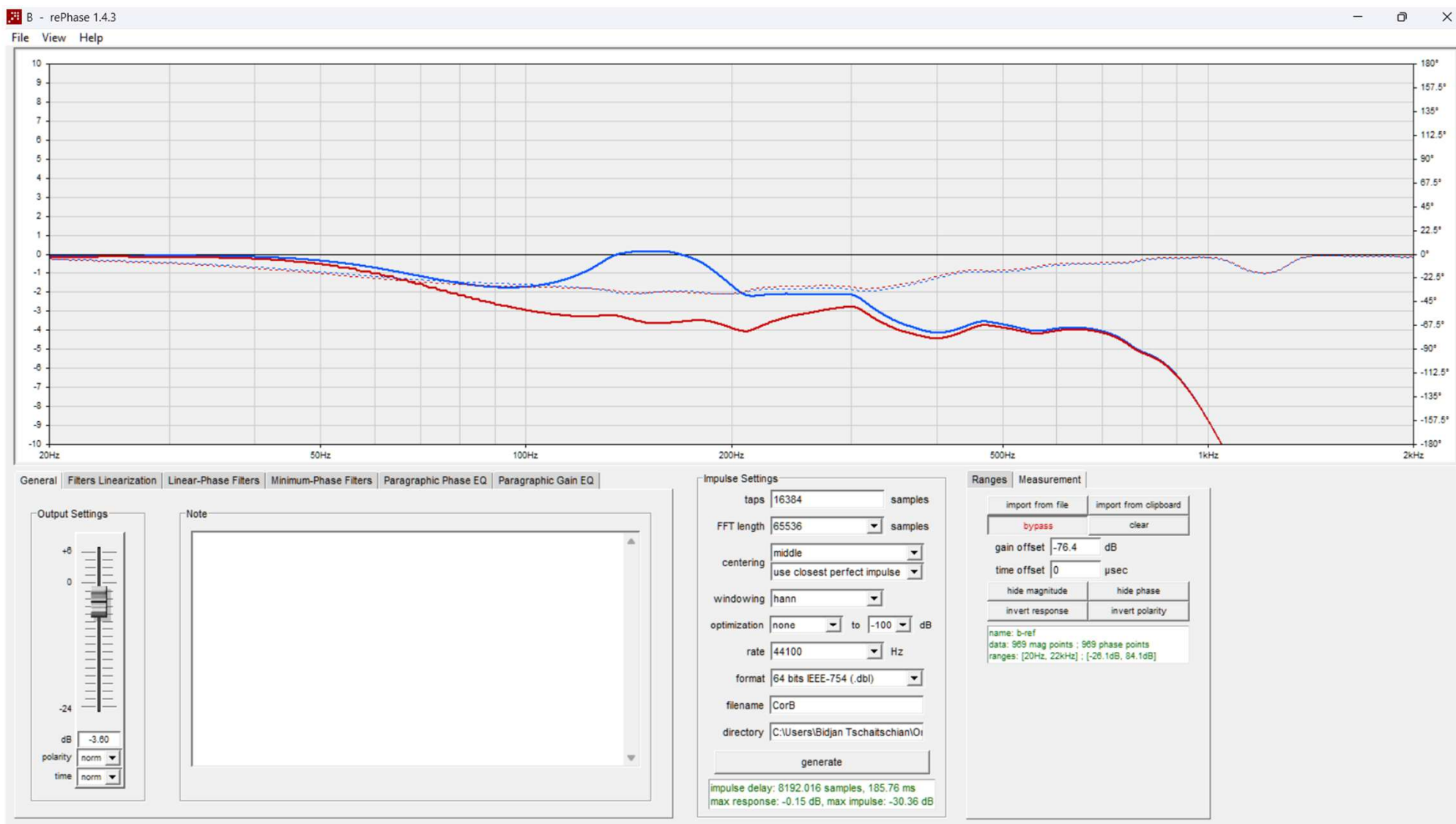
Startpunkt: Die Phase passt nicht



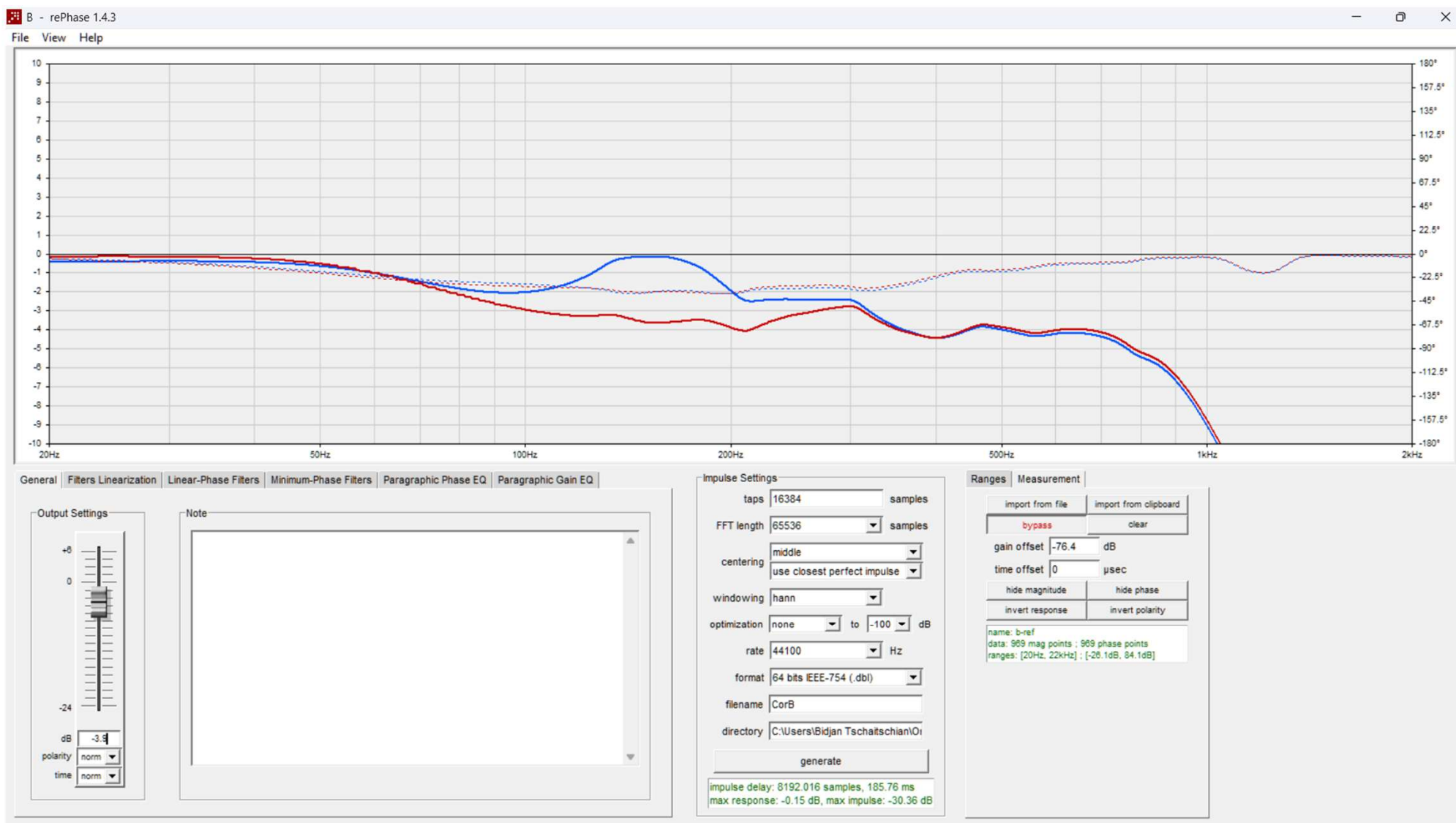
Ergebnis: Phase „zurückgedreht“



Fast fertig: Noch unter die Nulllinie!



Absenkung um 0.3 dB von -3.6 auf -3.9 dB



In der WebApp H und M um 0.3 dB absenken oder B um 0.3 dB erhöhen

Filter

H	CorH.dbl	☐	att	3	del	7
M	CorM.dbl	☐	att	3.9	del	8
B	CorB.dbl	☐	att	4.1	del	0

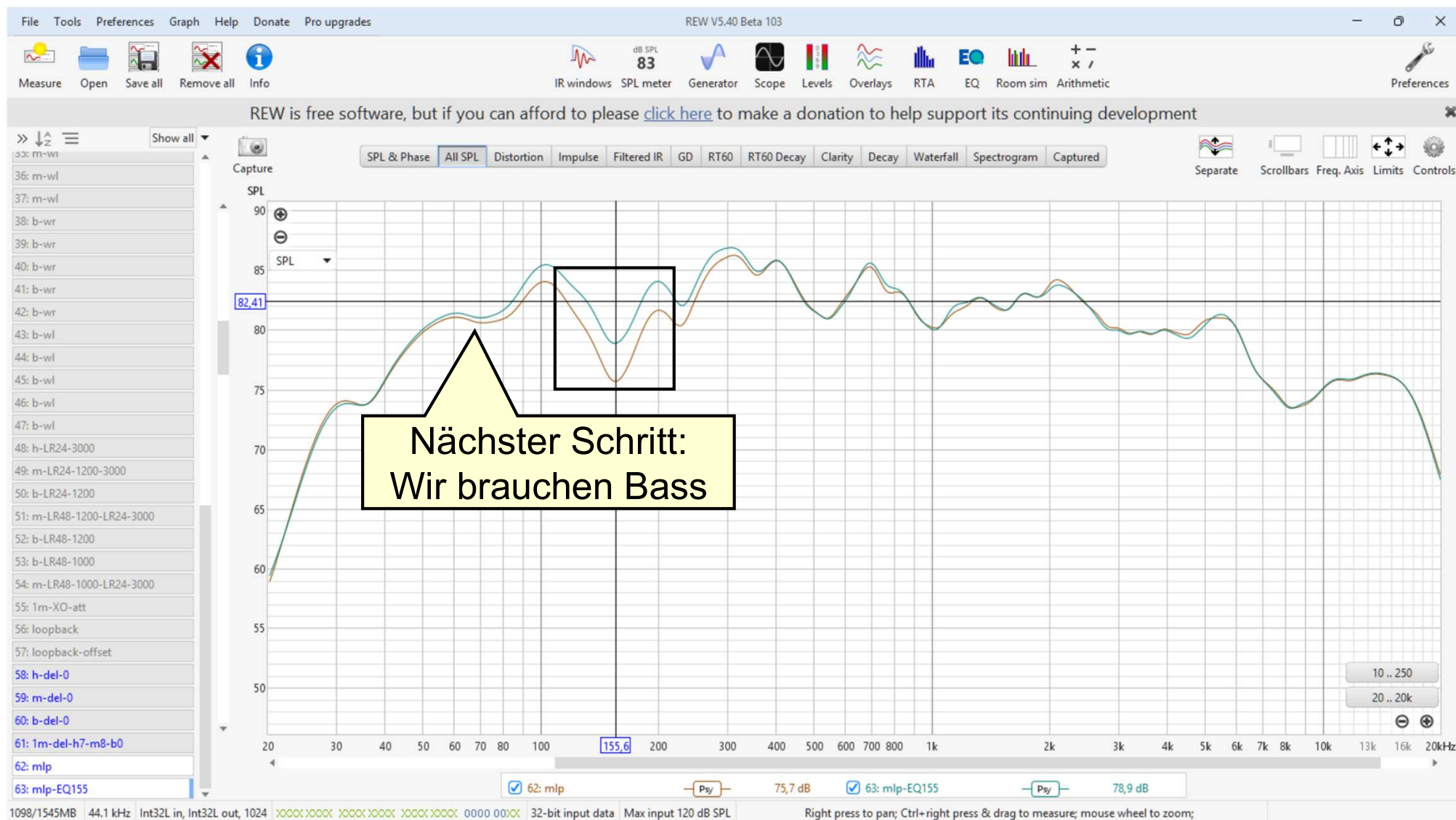
Filter

H	CorH.dbl	☐	att	3.0	del	7
M	CorM.dbl	☐	att	3.9	del	8
B	CorB.dbl	☐	att	3.8	del	0

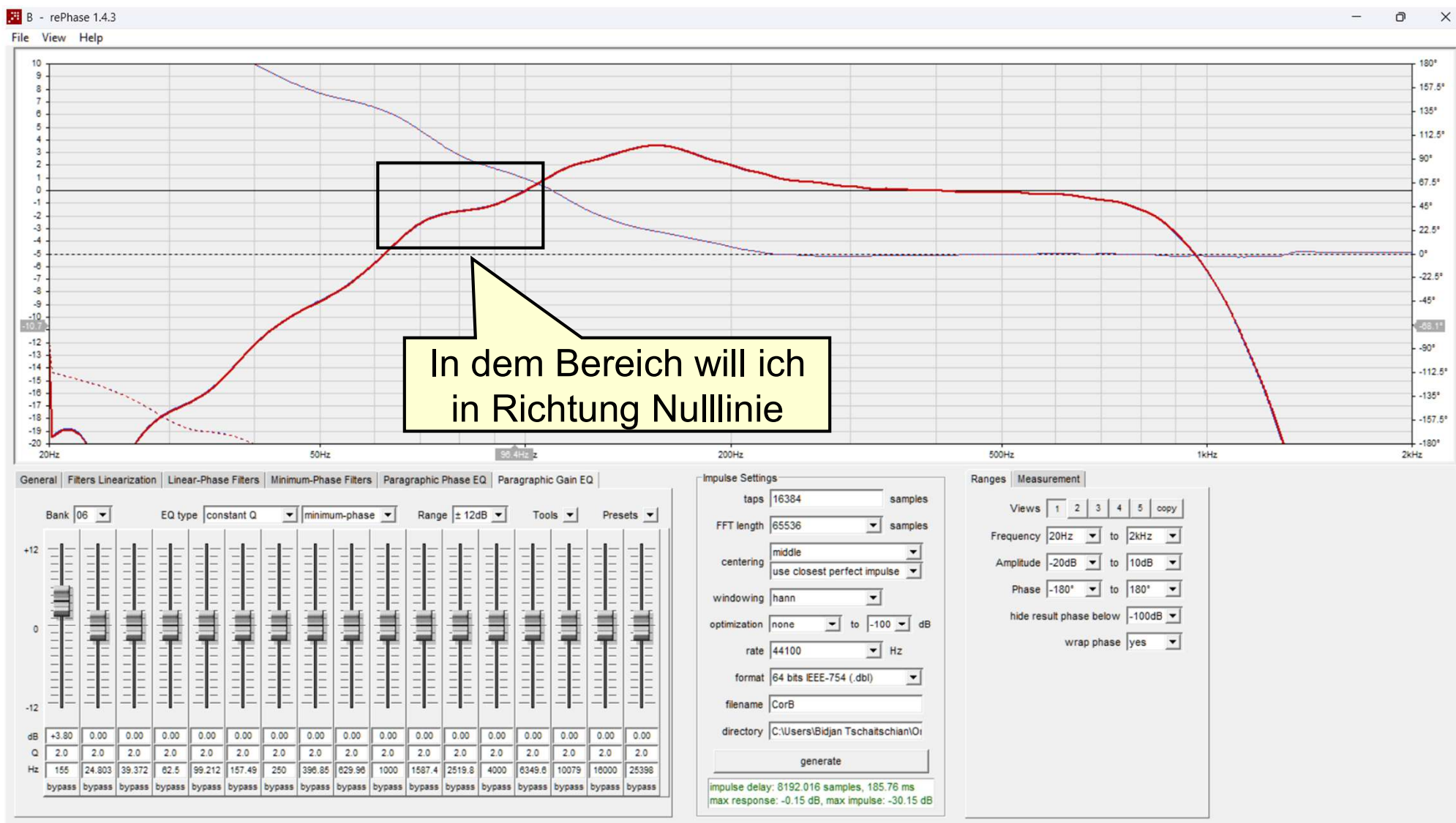
Wir erhöhen den Pegel von B, d.h. wir **reduzieren** die Dämpfung um 0.3 dB. Unser Headroom von 3 dB pro Filter gilt nach wie vor. Wäre die Attenuation bei B 3.0 gewesen, hätten wir H und M abgesenkt und deren Attenuation um 0.3 dB erhöht.

Kann verwirren: Je kleiner der Wert, desto lauter wird es.

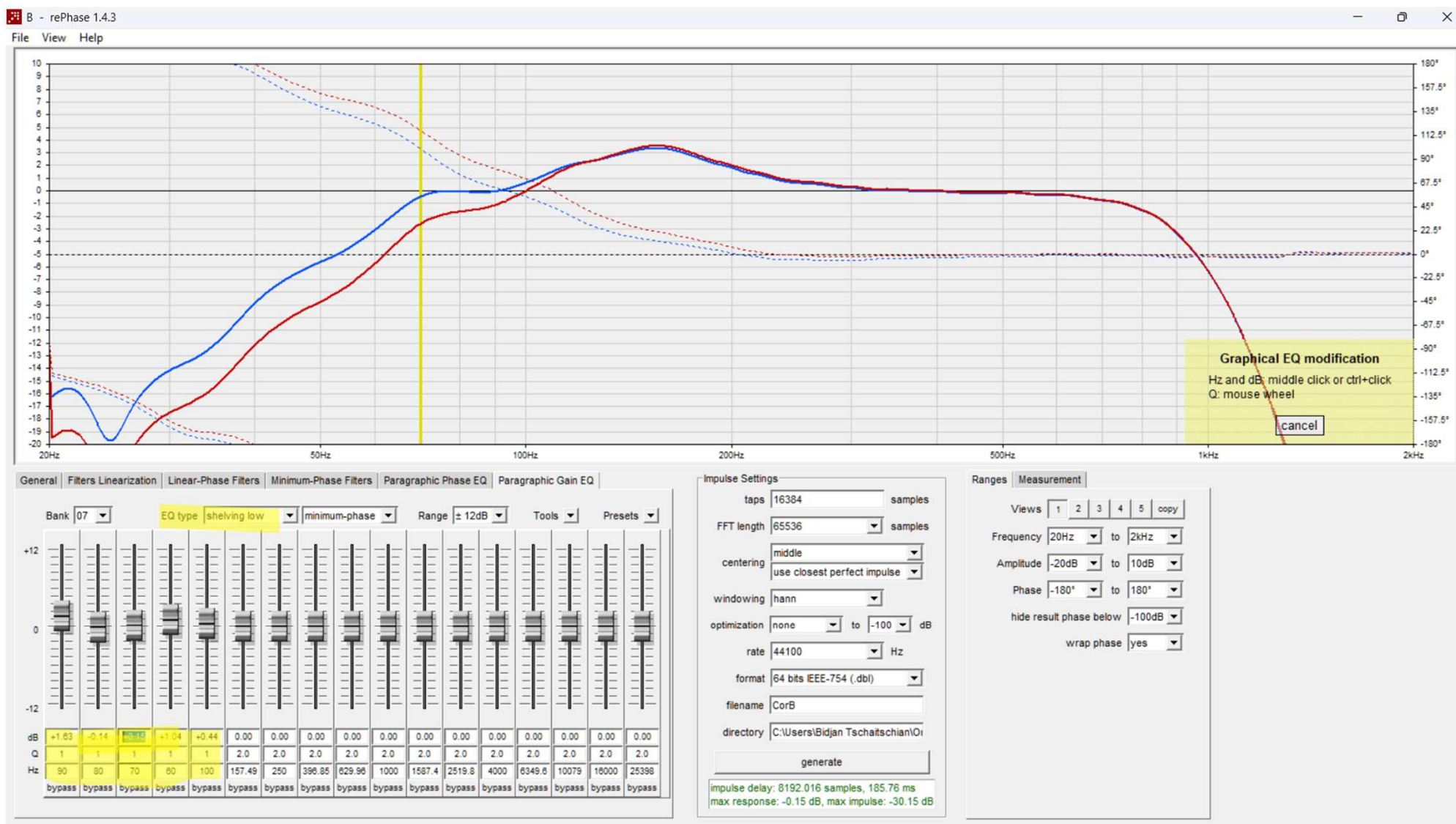
Nachgemessen: Das bringt was!



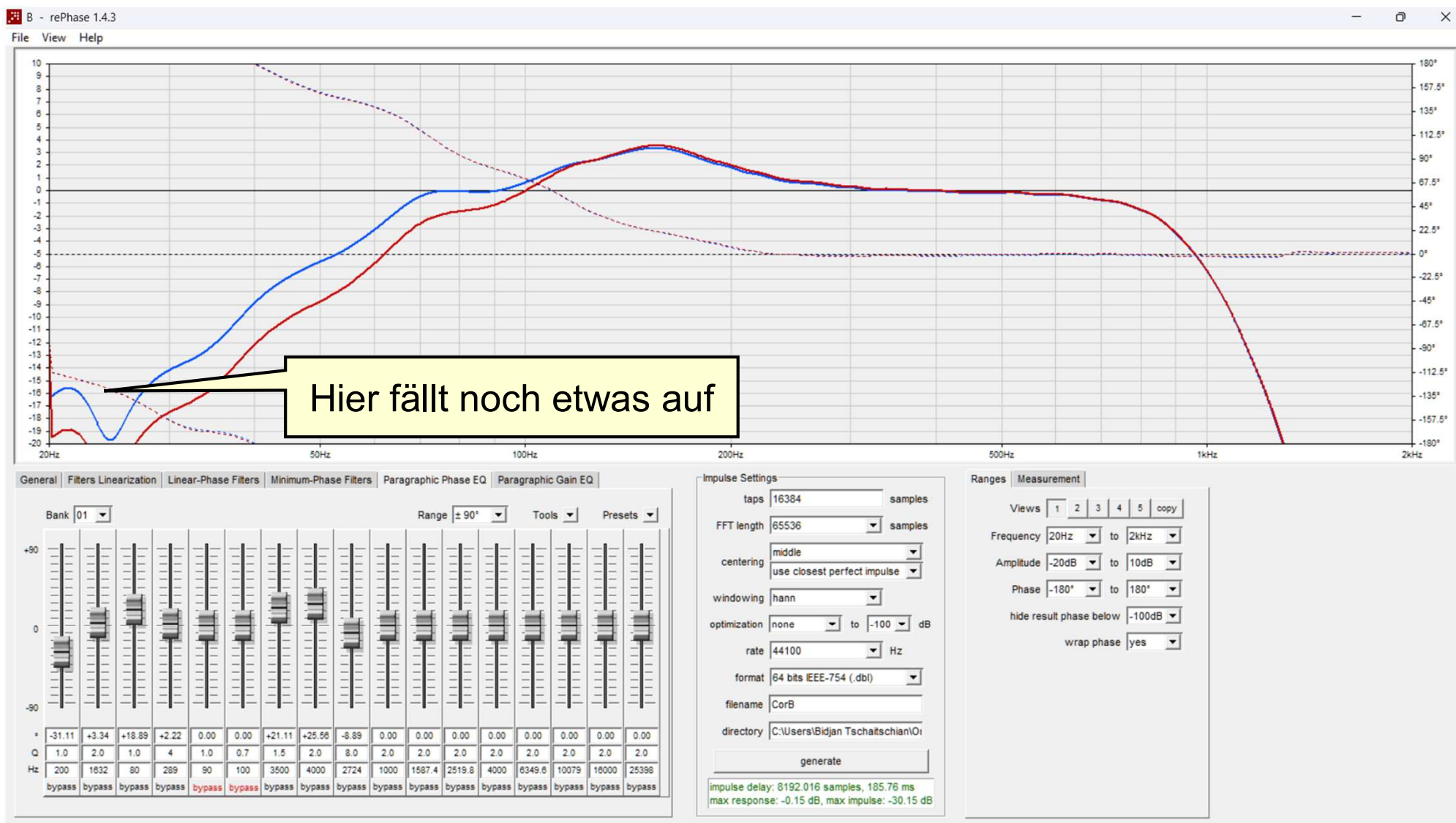
Mehr Tiefbass: Basisfilter anpassen



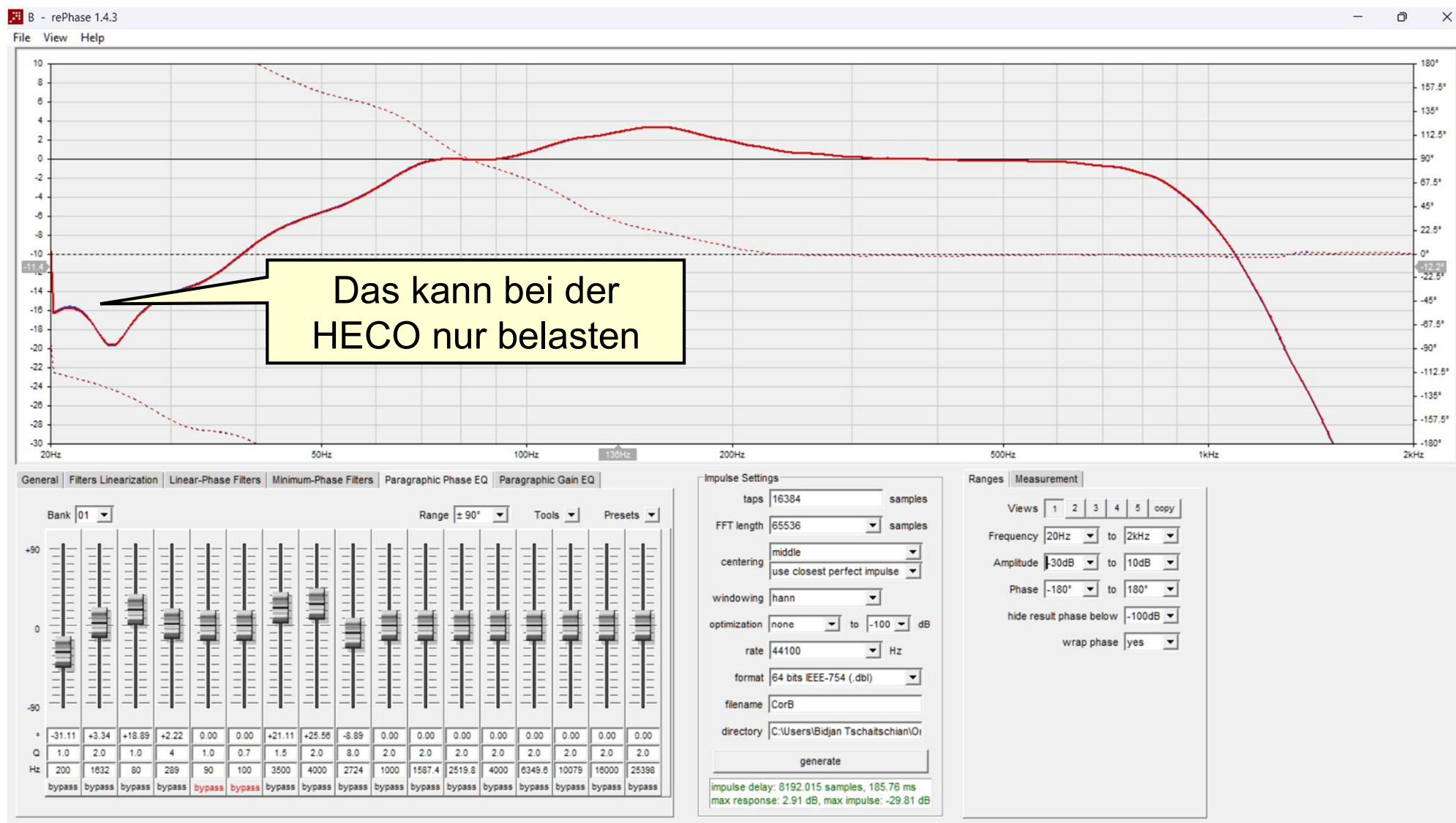
Lowshelves mit kleinem Q kombinieren



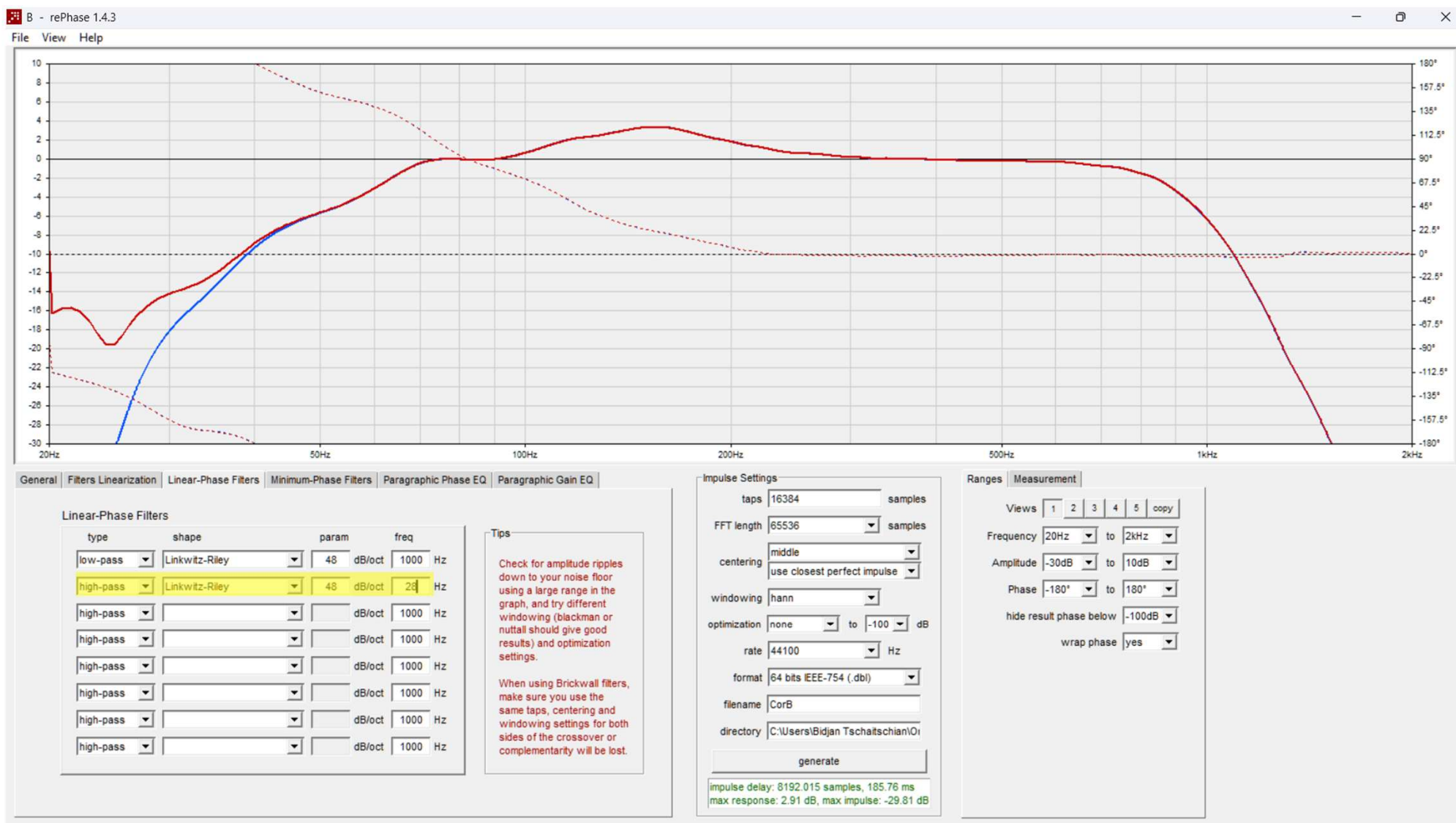
Phase nachgebessert und ...



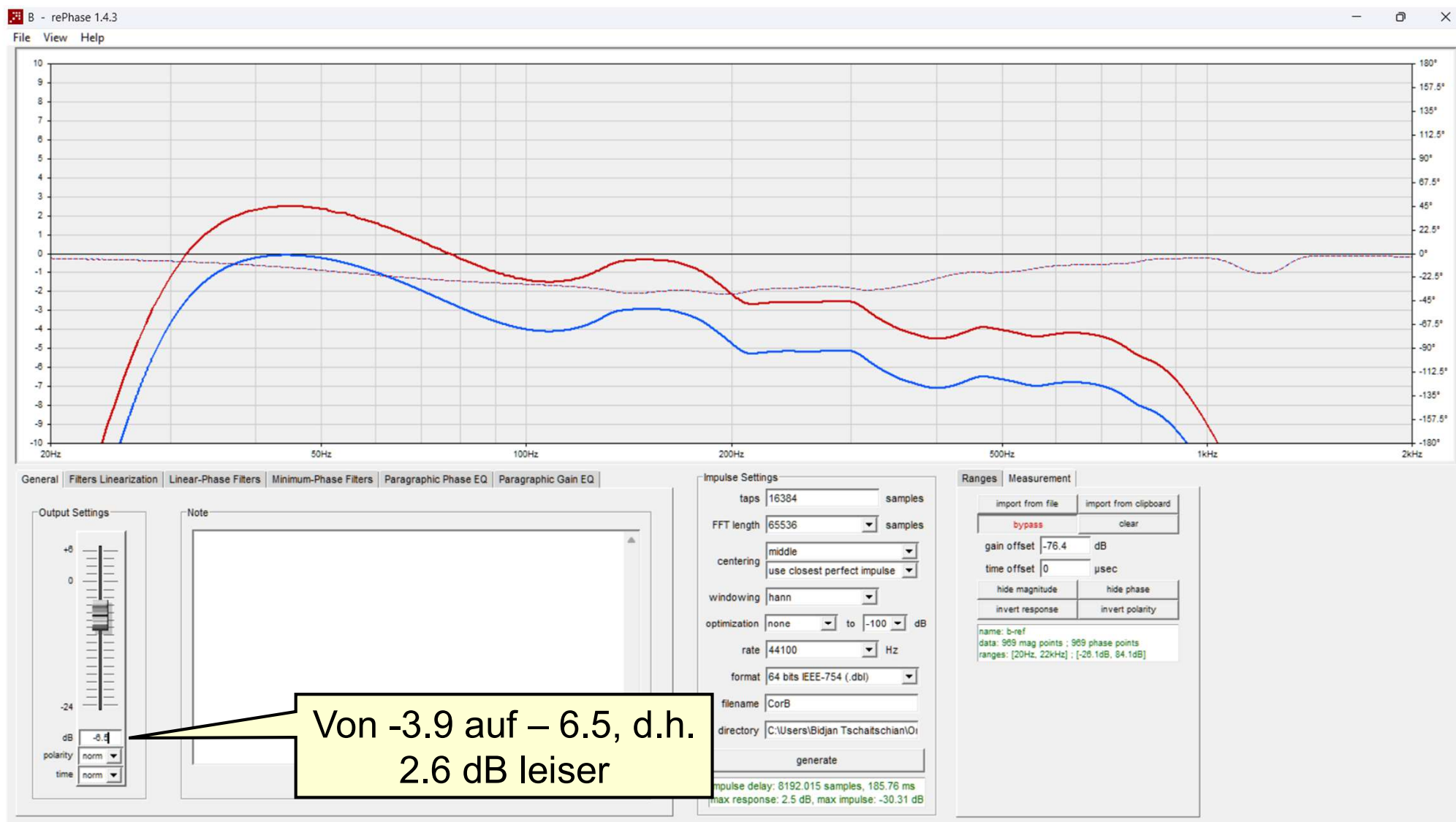
Energieanstieg unter 30 Hz



Highpass für sauberen Rolloff



Bypass: Wir sind zu laut



In der WebApp H und M um 2.6 dB absenken oder B um 2.6 dB erhöhen

Filter

H	CorH.dbl	☐	att	3.0	del	7
M	CorM.dbl	☐	att	3.9	del	8
B	CorB.dbl	☐	att	3.8	del	0

Filter

H	CorH.dbl	☐	att	4.8	del	7
M	CorM.dbl	☐	att	5.7	del	8
B	CorB.dbl	☐	att	3	del	0

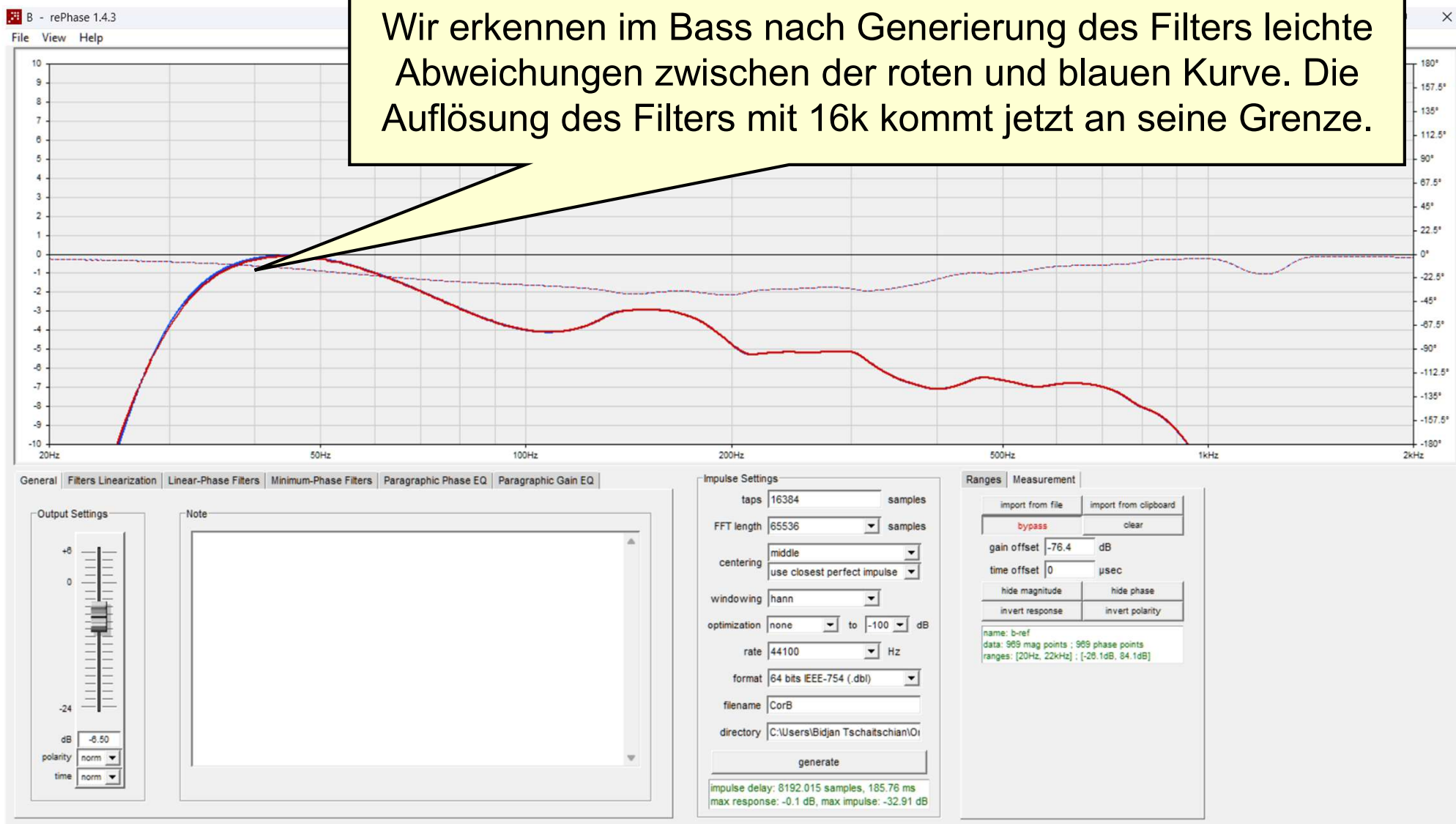
Ein wenig Mathe.
Wir können B nur um 0.8 dB erhöhen, d.h. wir senken die Attenuation auf 3.0. Mit den fehlenden 1.8 dB senken wir H und M ab, d.h. wir erhöhen deren Attenuation um 1.8.

Ein paar Anmerkungen zum Bass

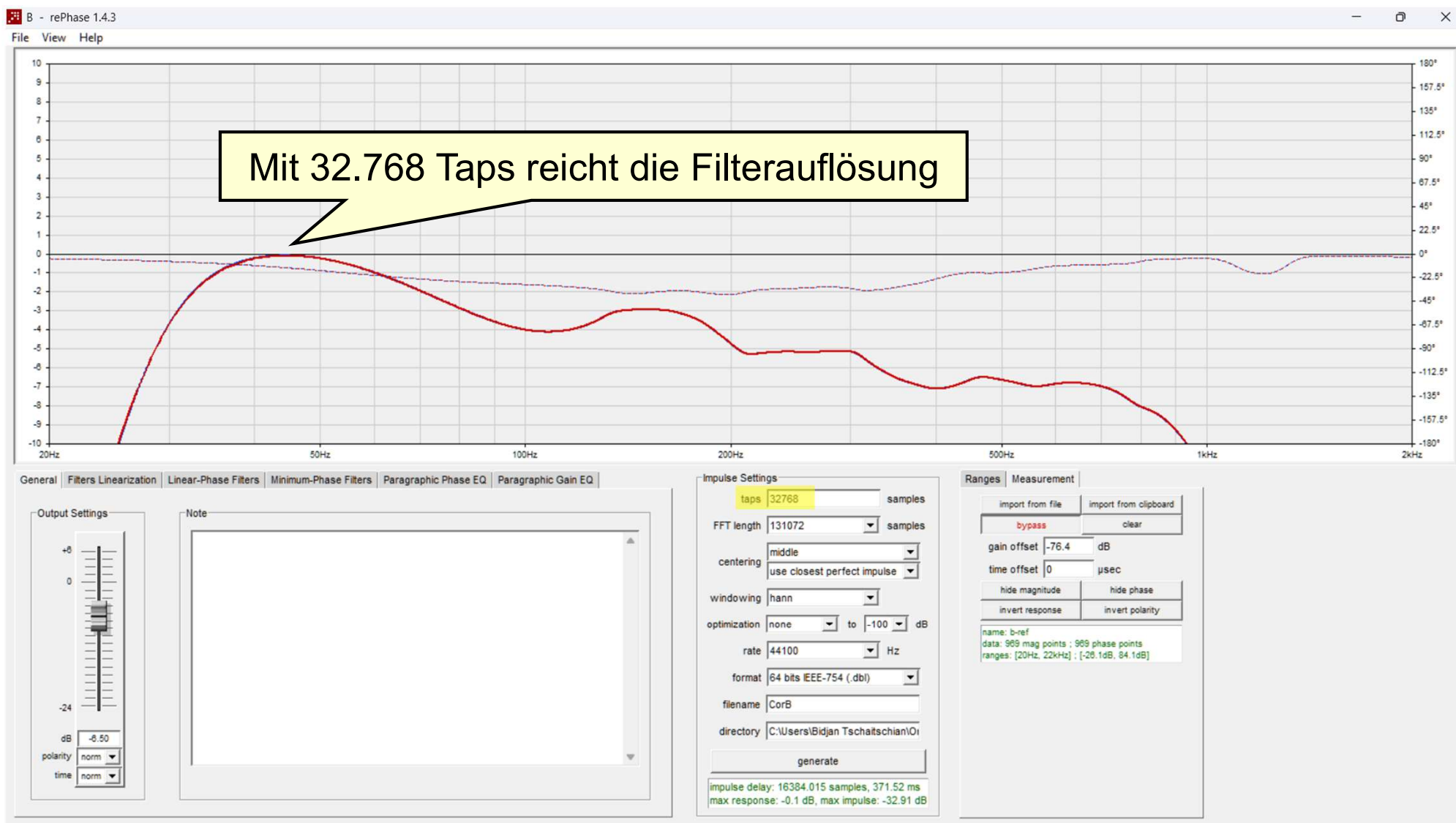
- Was ich hier zeige funktioniert ... mit der HECO.
- Das kann auch schief gehen, z.B. kann es scheitern an Treiber, Gehäuse, Raum.
- Daher immer kontrollieren mit Messungen und nach Gehör und weiter tunen, wenn das Ergebnis noch nicht passt.

Einschub: Filterauflösung

Wir erkennen im Bass nach Generierung des Filters leichte Abweichungen zwischen der roten und blauen Kurve. Die Auflösung des Filters mit 16k kommt jetzt an seine Grenze.



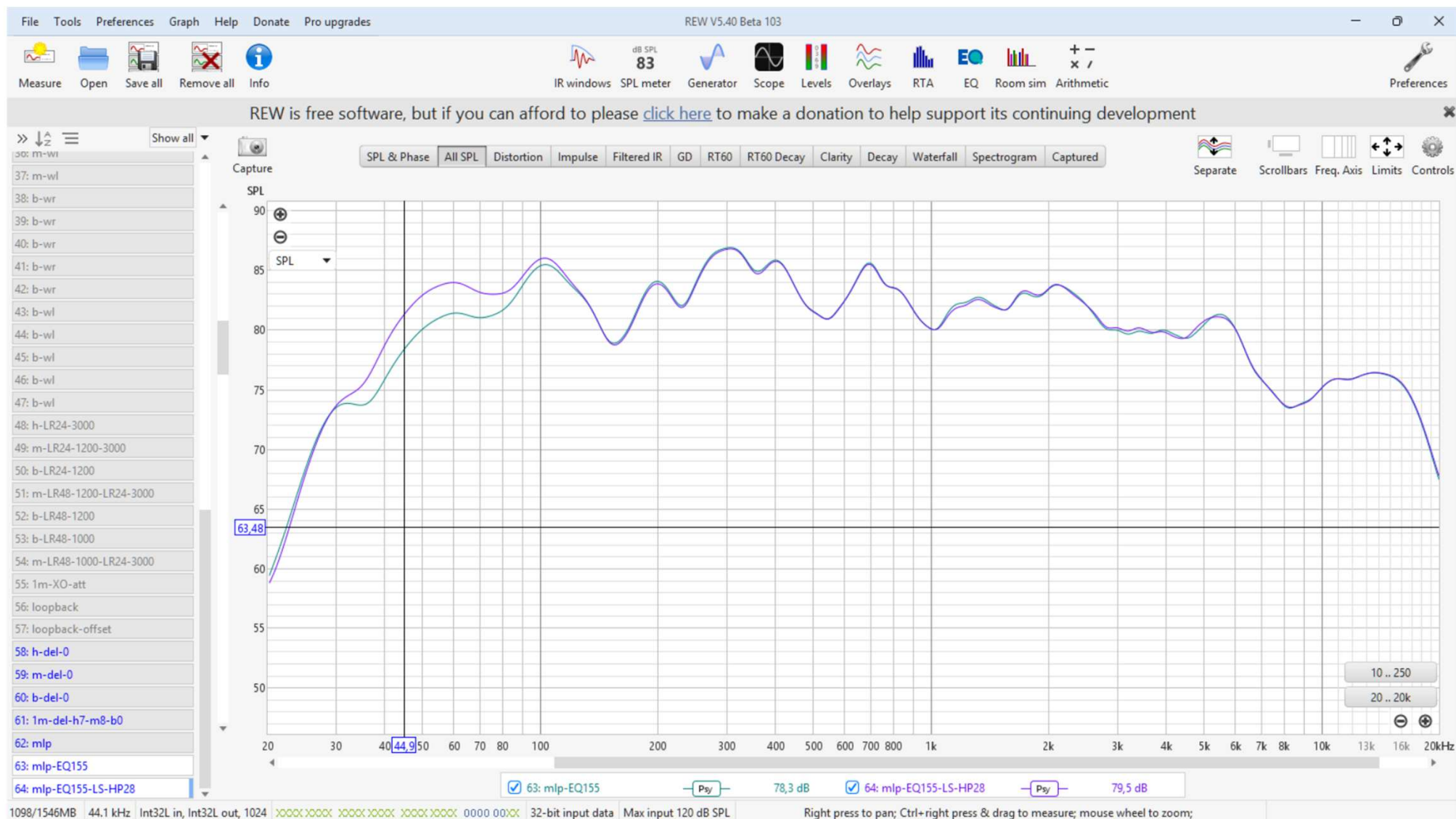
Wir erhöhen auf 32k Taps



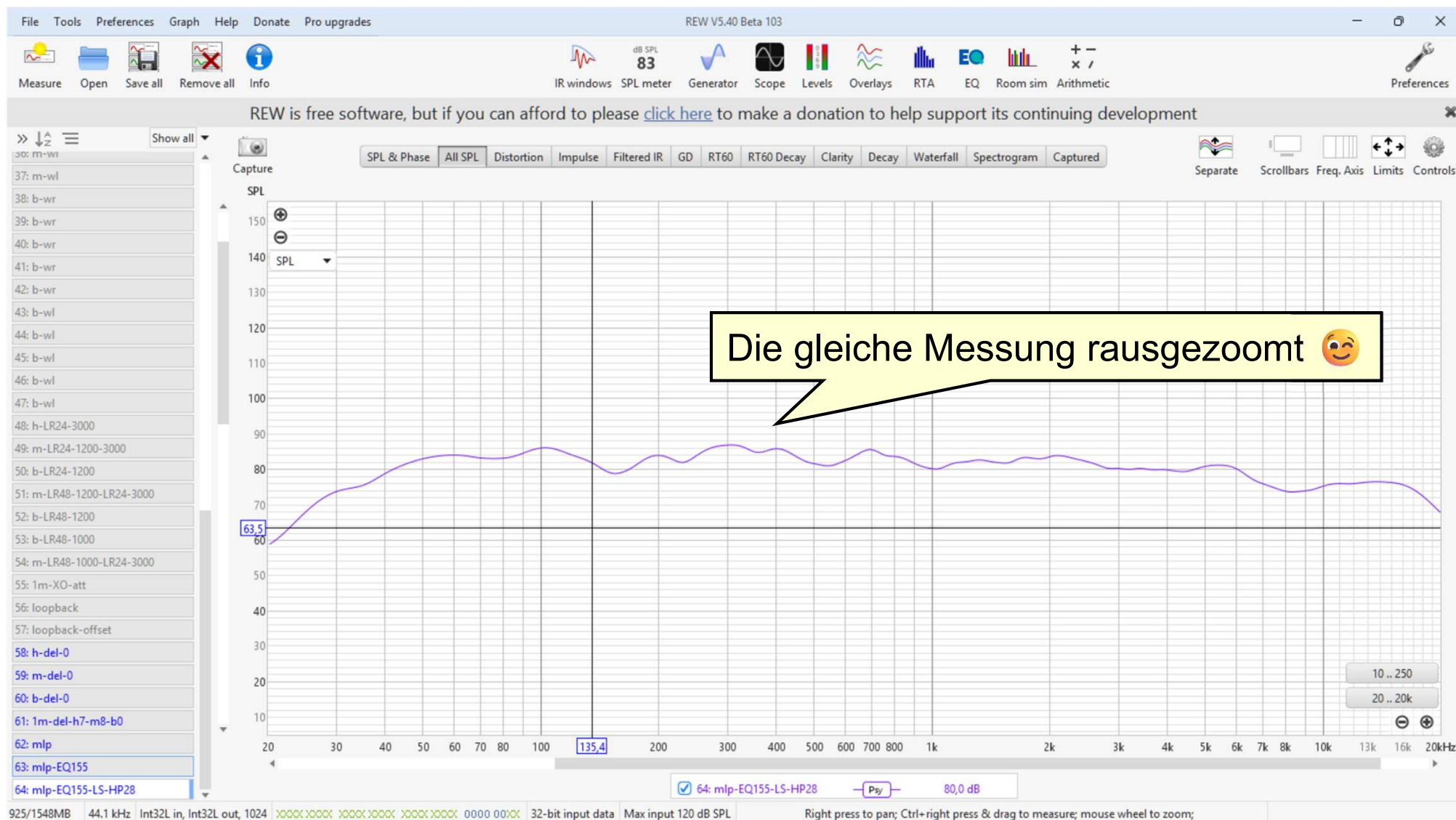
Zur Filterauflösung

- In unserem Beispiel hätten auch 16k Taps noch für ein hervorragendes Ergebnis ausgereicht.
- Man kann in seinem Projekt die Anzahl der Taps anpassen.
- In Projekten mit wenig Anpassungen, speziell im Bass, reichen oft auch 8k Taps aus.
- **WICHTIG:** Alle Filter müssen dieselbe Auflösung haben, d.h.
 - auch H und M müssen umgestellt werden auf 32k Taps,
 - alle Filter müssen neu generiert werden,
 - alle Filter müssen neu hochgeladen werden.

Ergebnis nach Lowshelves und Highpass



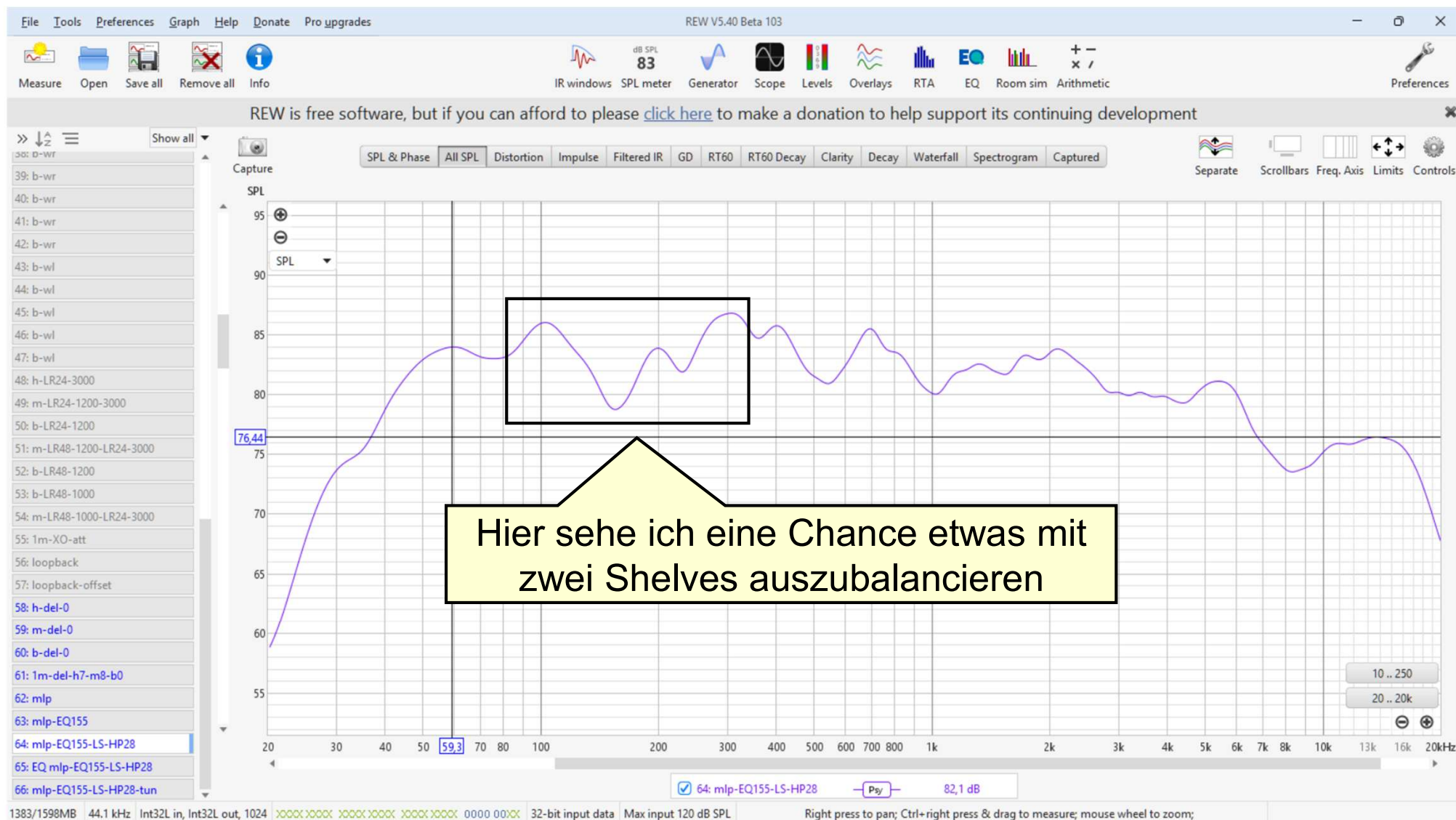
Einschub: Glatter Frequenzgang



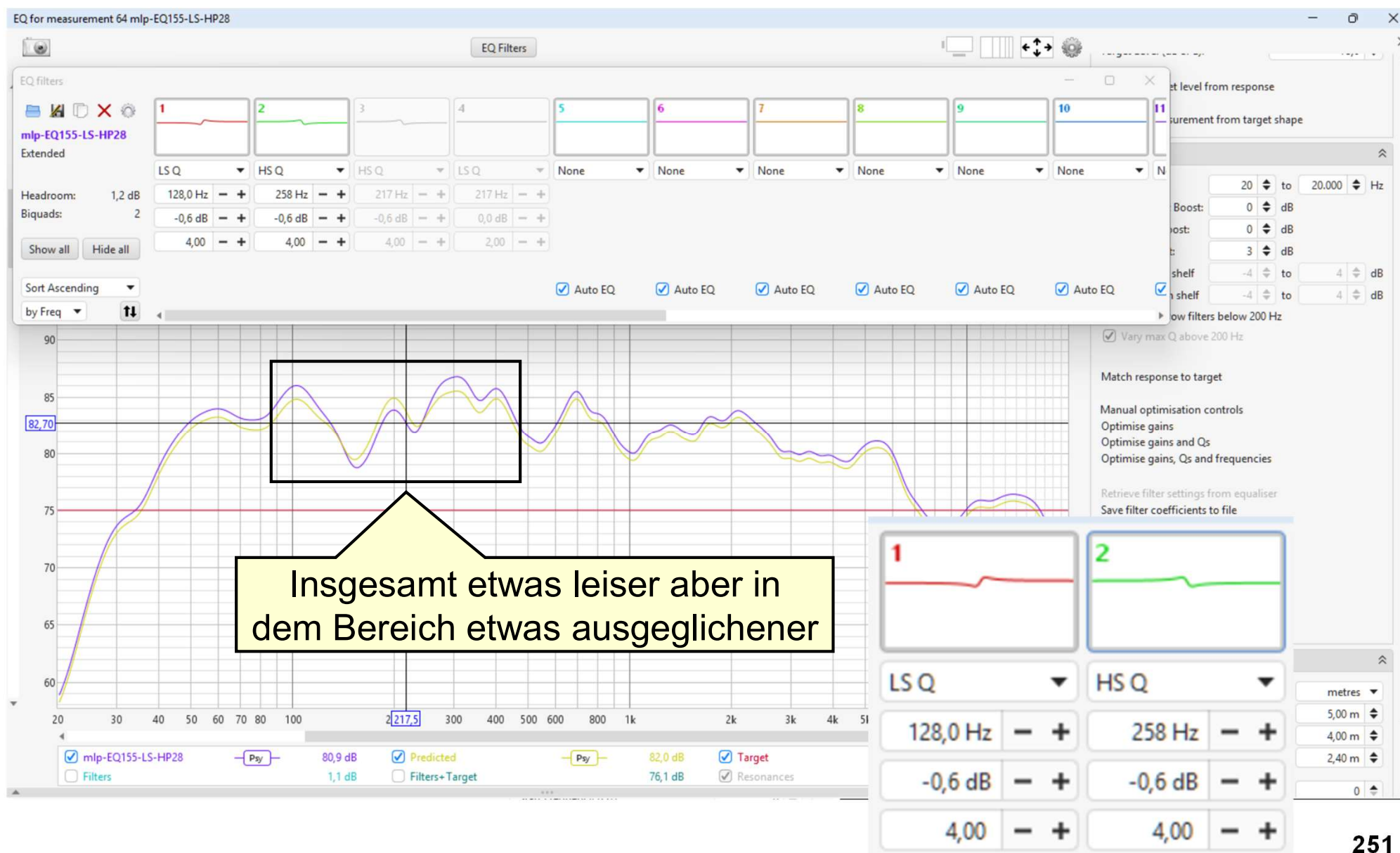
Einschub: Glatter Frequenzgang

- Mit unseren Filtern optimieren wir die Energieabgabe
 - jedes einzelnen Treibers und
 - der Treiber untereinander.
- Bei Anpassungen nach Messungen am Hörplatz achten wir darauf, dass die Energieabgabe nicht verschlechtert wird.
- Ein durchgehend gleichmäßiger Frequenzverlauf bei Messungen am Hörplatz kommt in „normalen“ Wohnräumen eher nicht vor.
- Korrekturen in diese Richtung können unangenehme Nebenwirkungen haben und den Klang verschlechtern.
- Der Frequenzgang am Hörplatz ist nicht das Maß aller Dinge.

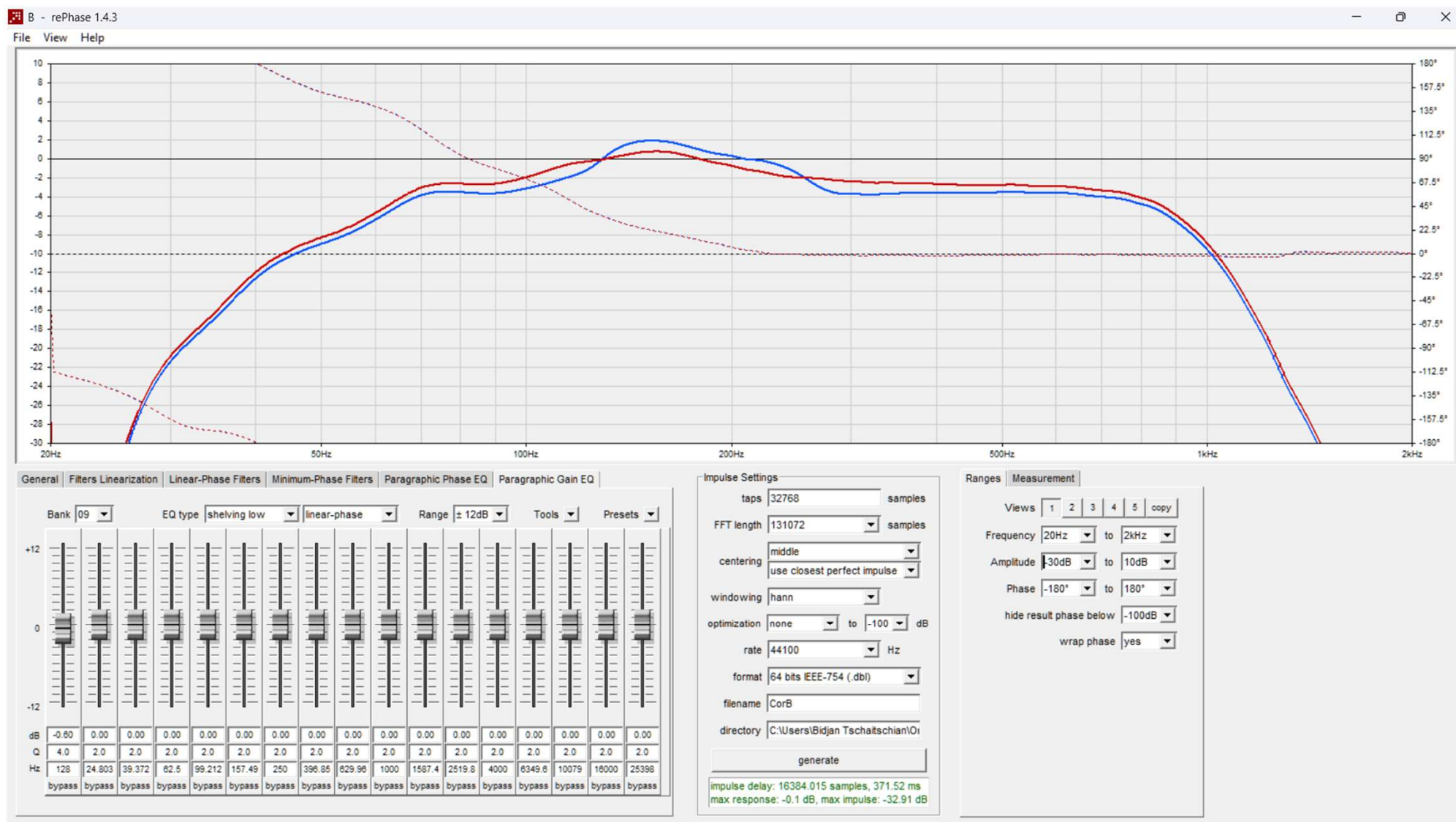
Nachschlag: Advanced Finetuning



Simulation im REW EQ (Ergebnis in gelb)



Beide Shelves in rePhase (linear-phase)



Details

General Filters Linearization Linear-Phase Filters Minimum-Phase Filters Paragraphic Phase EQ Paragraphic Gain EQ

Bank 08 EQ type shelving high linear-phase Range $\pm 12\text{dB}$ Tools Presets

+12

0

-12

dB -0.80 0.00 0.00 0.00 0.00

Q 4.0 2.0 2.0 2.0 2.0

Hz 258 24.803 39.372 62.5 99.212

bypass bypass bypass bypass bypass

General Filters Linearization Linear-Phase Filters Minimum-Phase Filters Paragraphic Phase EQ Paragraphic Gain EQ

Bank 09 EQ type shelving low linear-phase Range $\pm 12\text{dB}$ Tools Presets

+12

0

-12

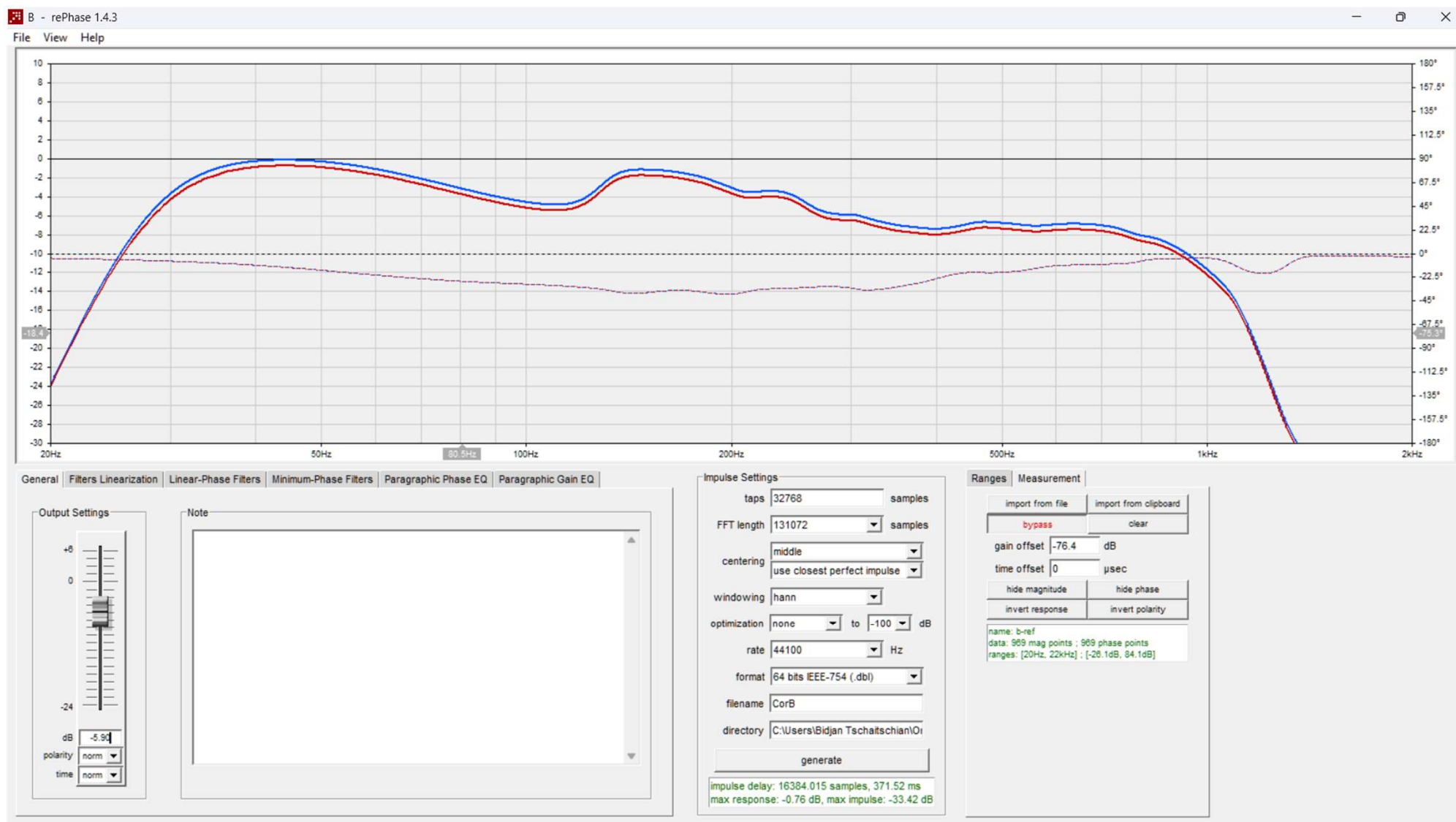
dB -0.80 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00 0.00

Q 4.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0 2.0

Hz 128 24.803 39.372 62.5 99.212 157.49 250 398.85 629.96 1000 1587.4 2519.8 4000 6349.6 10079 16000 25398

bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass bypass

Bypass: Wir können um 0.6 dB hoch



Einschub: Arbeiten mit Profilen

- Wir haben einen sehr guten Stand erreicht.
- Die neuen Änderungen sollen den letzten Stand nicht überschreiben.
- In der Musicwonder WebApp kopieren wir das aktuelle Profil und geben dem neuen Profil einen anderen Namen („tuned“).
- Im neuen Profil „tuned“ machen wir nun das Tuning. So können wir später beide Varianten anhören und vergleichen.

Speaker

Speaker HECO PSM 1000 DI⁺ ▼

Profile Default ▼

Tuning + new Profile
rename Profile

Voicing copy Profile

Partitions delete Profile

H (SpeakO Default
tuned

Speaker

Speaker HECO PSM 1000 DI⁺ ▼

Profile tuned ▼

Tuning none ▼

Voicing none ▼

Partitions 16 ▼

Statt B lauter, werden H/M 0.6 dB leiser

Filter

H	CorH.dbl	☐	att	4.8
M	CorM.dbl	☐	att	5.7
B	CorB.dbl	☐	att	3

Wir wollen die Dämpfung von B nicht von 3 auf 2.4 stellen, da wir eine Dämpfung von mindestens 3 pro Treiber haben wollen

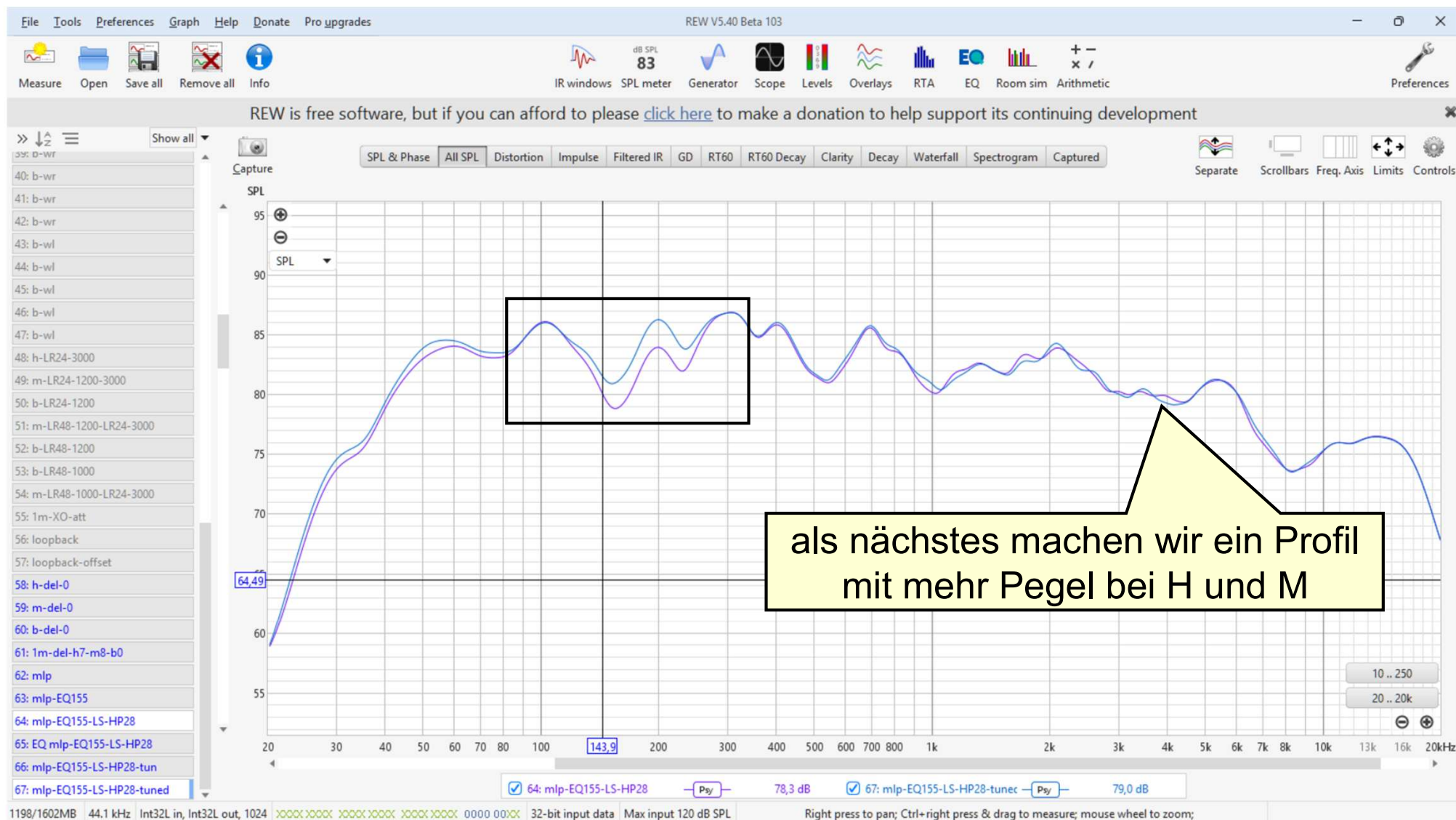
Filter

H	CorH.dbl	☐	att	5.4
M	CorM.dbl	☐	att	6.3
B	CorB.dbl	☐	att	3

del 0

Alternativ erhöhen wir die Dämpfung der anderen Treiber

Ergebnis in blau ist „smoother“



Ein weiteres Profil: „tuned“ kopieren und „tuned-lin“ anlegen

Speaker

Speaker

Profile

Tuning

Voicing

Partitions

H (SpeakO

Default

tuned

Auf musicwonder-3004.local wird Folgendes angezeigt:

Enter new profile name:

Speaker

Speaker

Profile

Tuning

Voicing

Partitions

Wir machen H und M etwas lauter

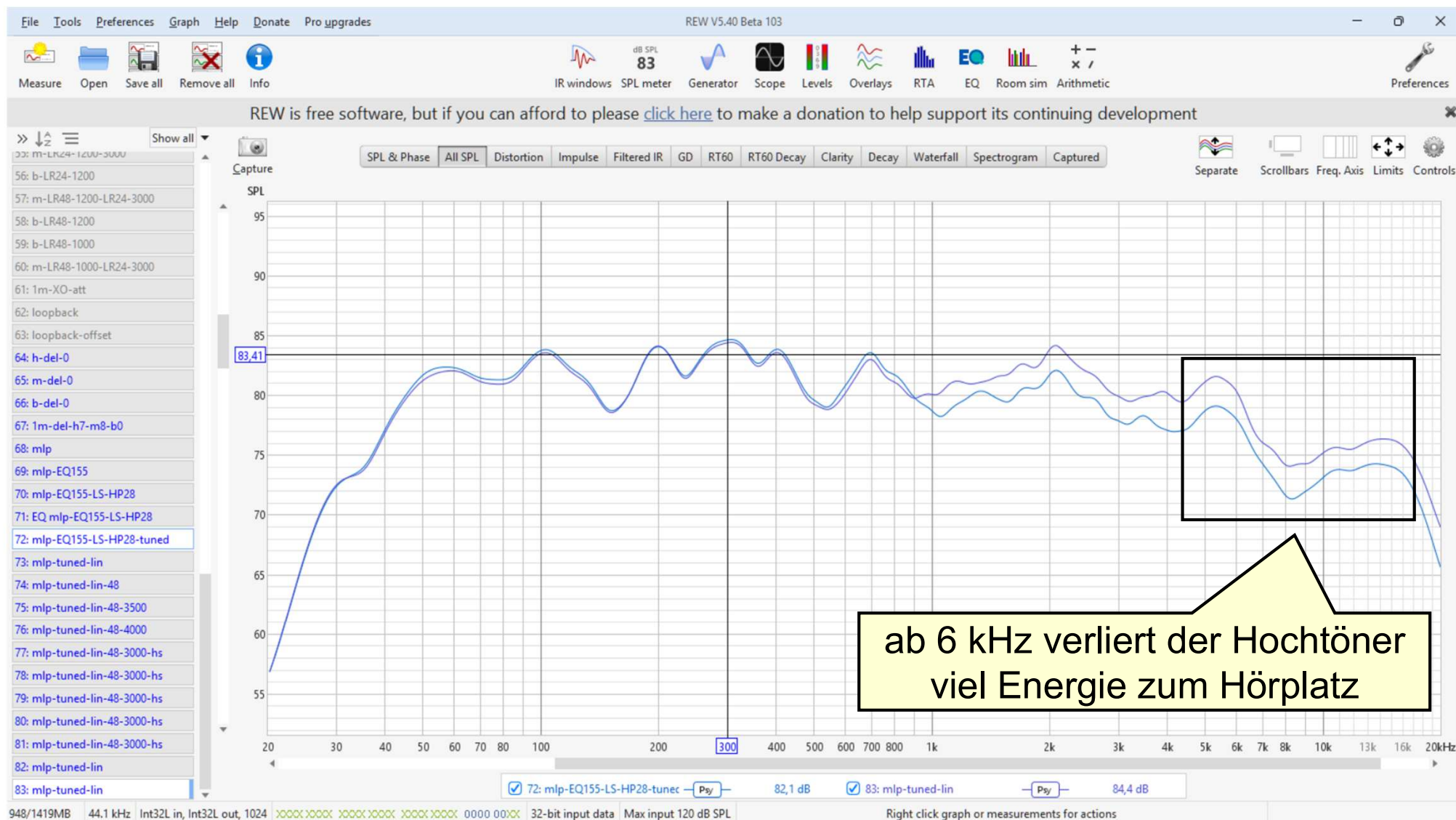
Filter

H	CorH.dbl ▾	☐	att 5.4	del 7
M	CorM.dbl ▾	☐	att 6.3	del 8
B	CorB.dbl ▾	☐	att 3	del 0

Filter

H	CorH.dbl ▾	☐	att 3	del 7
M	CorM.dbl ▾	☐	att 4	del 8
B	CorB.dbl ▾	☐	att 3	del 0

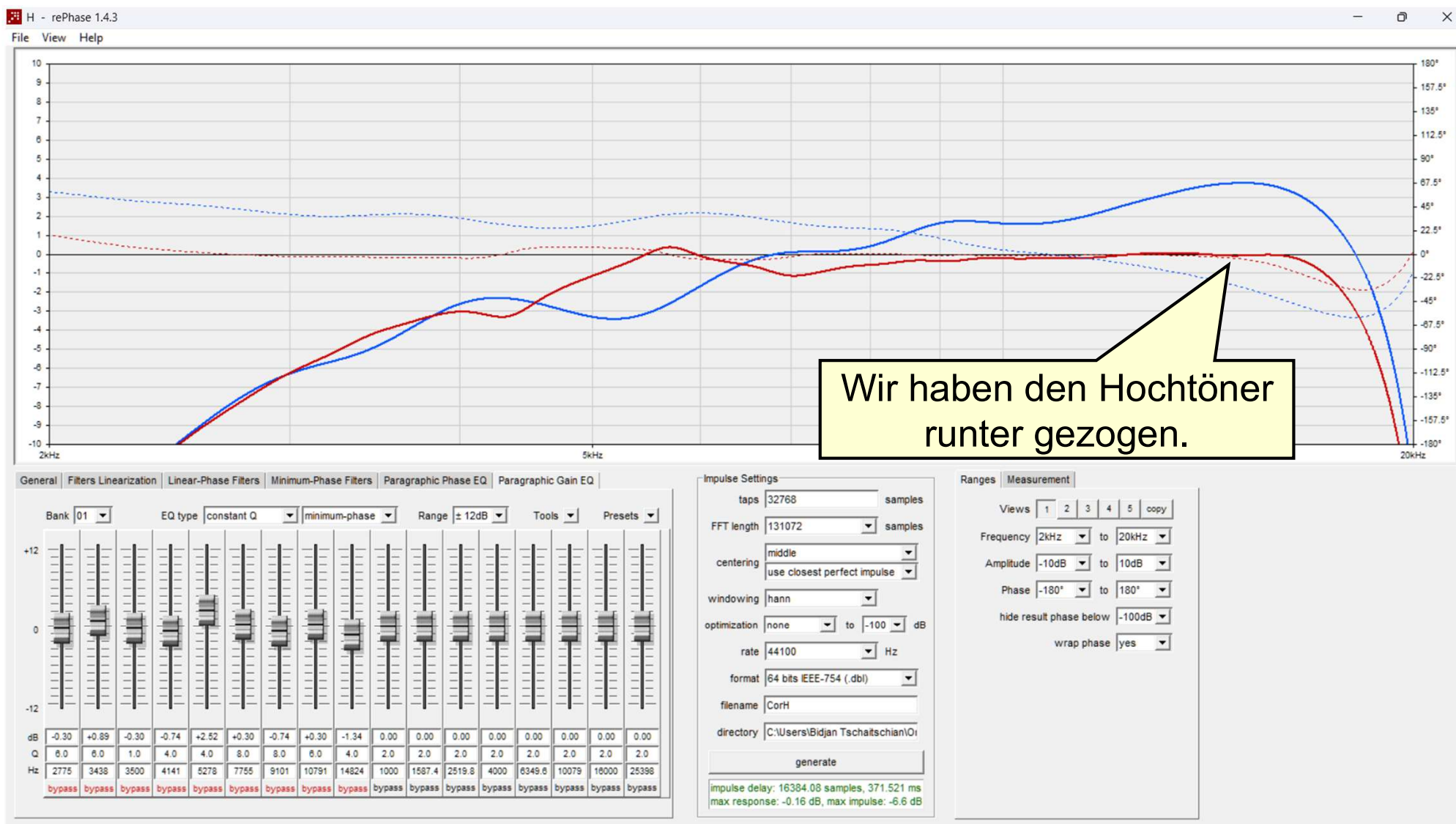
Besser ... aber die Hochtone



Was ist passiert?

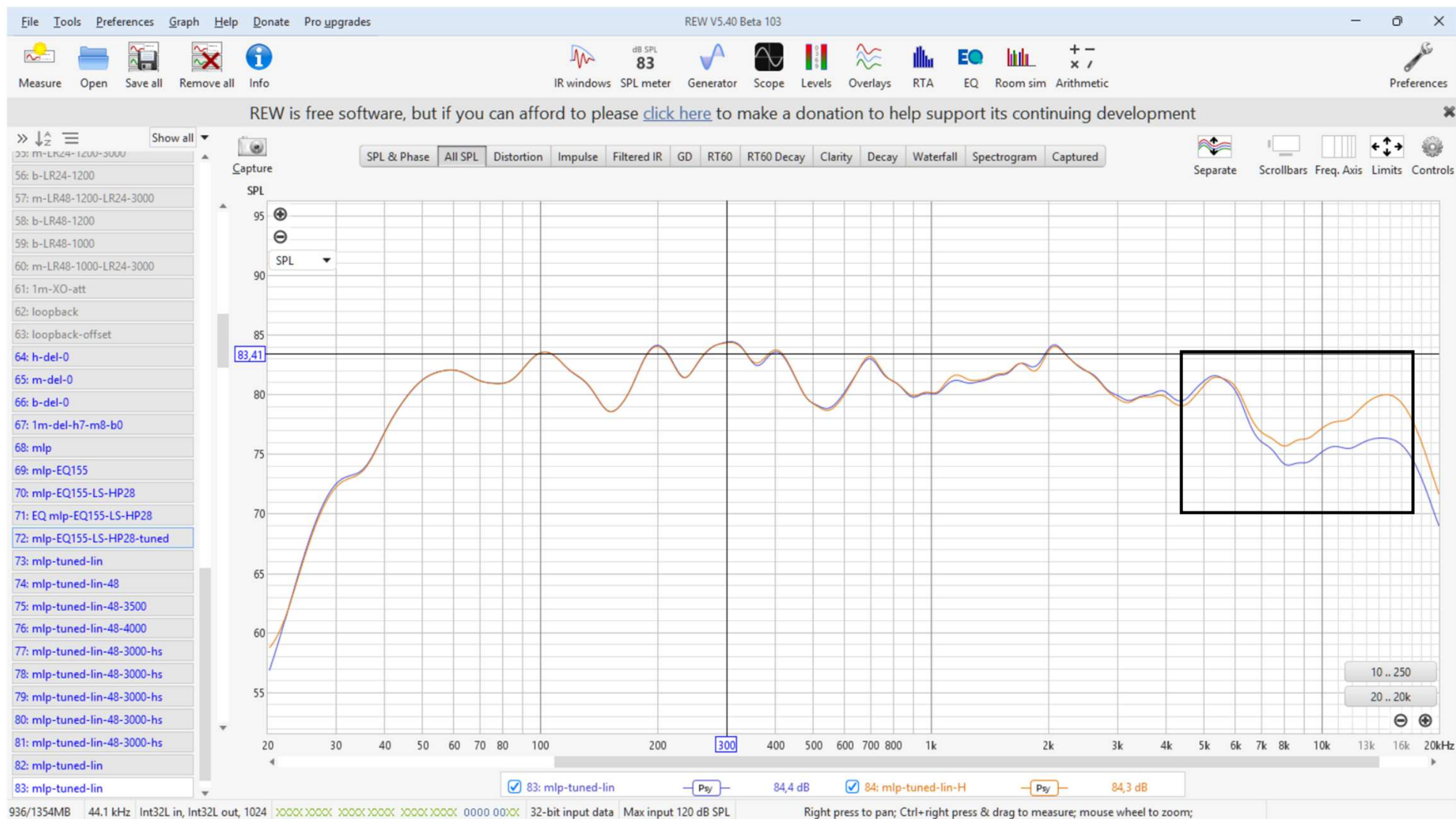
- Der „alte“ Hochtöner der Heco verliert auf Distanz viel Energie.
- Wie haben dieses Verhalten bei der Linearisierung nicht berücksichtigt.
- Das muss nicht schlimm sein und kann sehr schön klingen ... eine eher englische Abstimmung.
- Wir wollen eine solche Absenkung – wenn überhaupt - am Ende beim Hören individuell nach Geschmack vornehmen.
- Daher schauen wir uns nochmal die Programmierung des Hochtöners in rePhase an.

Unser Filter in rot, ohne Filter in blau





Nachgemessen: Jetzt mehr Pegel bei H



Zwischenstand

- Schwäche bei 155 Hz ausgeglichen, ohne das Abstrahlverhalten zu verschlechtern (2nd order Allpass).
- Mehr Bass und keinen Ärger unter 30 Hz (Lowshelves und Higpass).
- Auflösung der Filter von 16k auf 32k erhöht.
- Finetuning mit Shelves zwischen 100 und 300 Hz und neues Profil „tuned“.
- H und M im Pegel angepasst, Filter H korrigiert und neues Profil „tuned-lin“ angelegt.
- Es folgen jetzt noch
 - Perfect Timing am Hörplatz
 - Klangliches Finetuning nach Geschmack (ohne Filterprogrammierung)

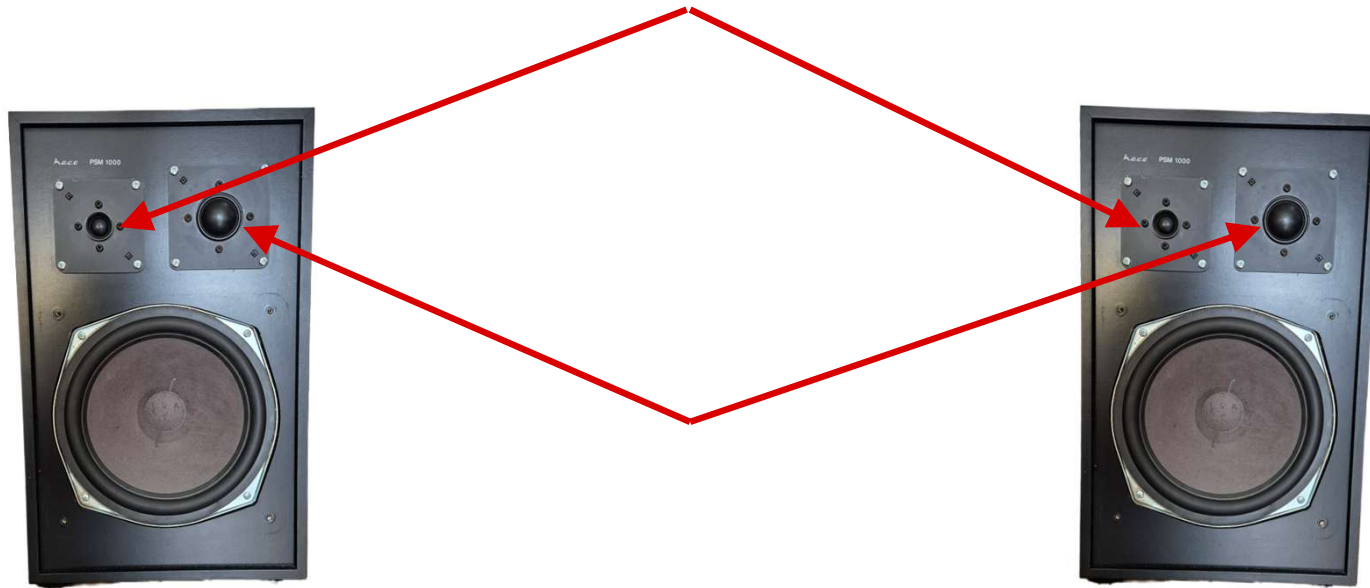
Workflow Teil 4

Perfect Timing

**Delays auf die Hörposition
optimieren**

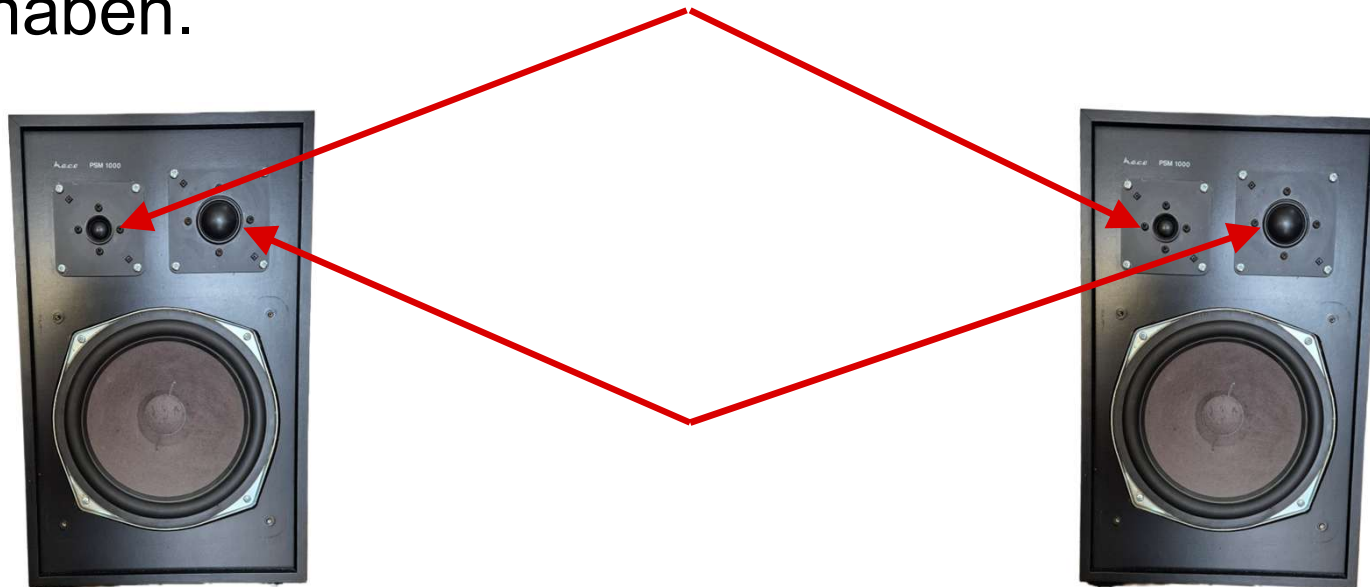
Wirklich nochmal Delays ...?

- Unbedingt - ein Riesenvorteil von DSP.
- Es gab viele Änderungen (Hörposition, Filter B und H).
- UND: Die HECO Vintage Speaker sind asymmetrisch.



Achtung: Asymmetrie

- Das war früher häufig so. Bei der HECO PSM 1000 ist links der Mitteltöner näher am Ohr als rechts und der Hochtöner weiter weg vom Ohr als rechts.
- Perfect Timing auf der einen Seite ist nicht optimal auf der anderen Seite.
- Das kann sogar leichte Varianzen bei den Lautstärken zur Folge haben.



Die Sprungantworten von L und R



Erläuterung der Vorgehensweise

- Wir erstellen separate Filter für H und M je Seite.
- B ist zentriert und hat zum Mikrofon denselben Abstand zu beiden Seiten. Ein Filter reicht aus.
- Wir bestimmen die Delays mit Loopback-Messungen für jede Seite getrennt.
- Wir vergleichen die Pegel der Treiber am Hörplatz und passen bei Bedarf an.
- Wir prüfen die Spungantworten von L, R und L+R.

Getrennte Filter für L/R konfigurieren

Speaker

Speaker HECO PSM 1000 DI^ v

Profile tuned-lin v

Tuning none v

Voicing none v

Partitions 16 v

H (SpeakOn High 2)	☒	☒ L/R
M (SpeakOn High 1)	☒	☒ L/R
G (SpeakOn Low 2)	☐	☐ L/R
B (SpeakOn Low 1)	☒	☐ L/R

Im Bereich
Speaker setzen

Wir brauchen die Filter HR und MR

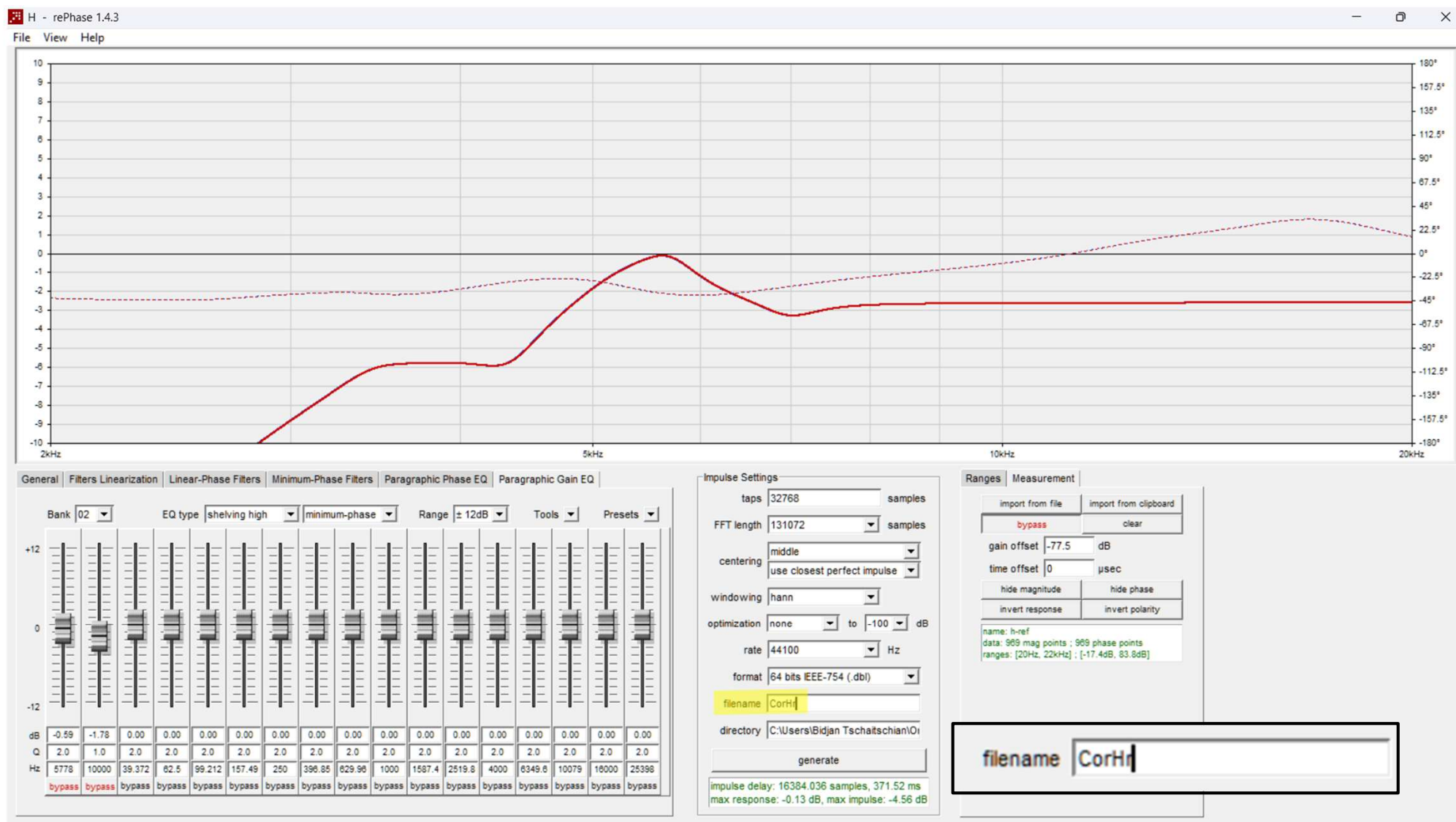
Filter

HL	CorH.dbl ▼	☐	att 3	del 7
HR	CorHr.dbl ▼	☐	att 3	del 7
ML	CorM.dbl ▼	☐	att 4	del 8
MR	CorMr.dbl ▼	☐	att 4	del 8
B	CorB.dbl ▼	☐	att 3	del 0

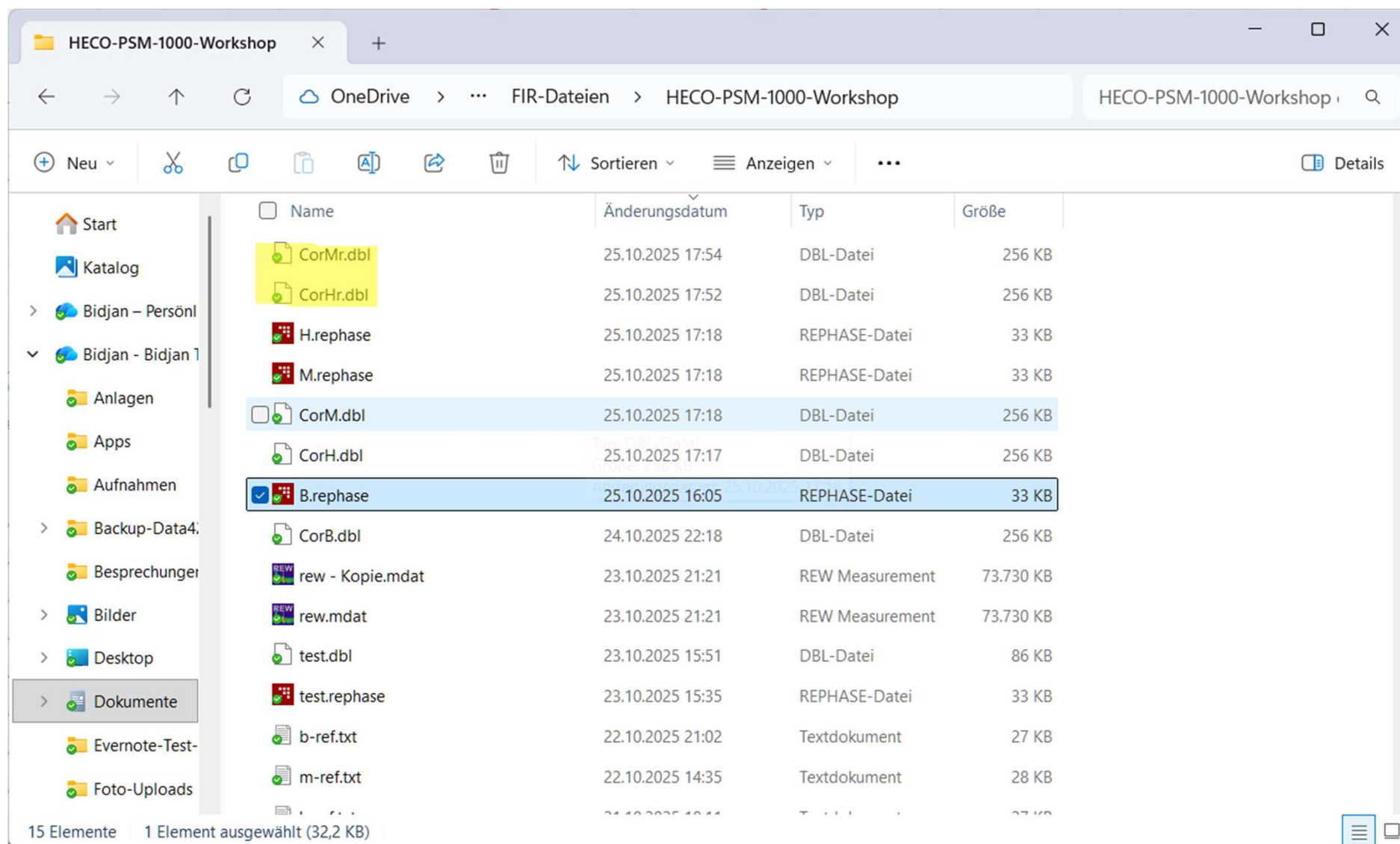
Erläuterung zu getrennten Filtern L/R

- Man kann pro Seite komplett separate Filter entwickeln.
 - Dazu würde man separate Arbeitsdateien in rePhase erstellen.
- Wir bevorzugen in der Regel identische Filter für L und R.
- Delays und Attenuation können wir separat in der Musicwonder WebApp einstellen.
- Wir generieren daher die neuen Filter CorHr.dbl und CorMr.dbl aus den bestehenden rePhase Dateien für H und M.

Filename anpassen und generieren



Für Mr analog



Beide Filter hochladen

Filter

HL	CorH.dbl ▼	☐	att 3	del 7
HR	CorHr.dbl ▼	☐	att 3	del 7
ML	CorM.dbl ▼	☐	att 4	del 8
MR	CorMr.dbl ▼	☐	att 4	del 8
B	CorB.dbl ▼	☐	att 3	del 0

Zu den Messungen

- Wir könnten jetzt alle Delays auf 0 setzen und nach den Messungen der einzelnen Treiber die Abstände neu bestimmen.
- Hier im Beispiel lasse ich die auf 1 Meter gemessenen Werte stehen und will sehen, wie groß die Veränderungen sind.
- Wir werden neu gemessene Abstände passend addieren oder subtrahieren.
- Wir verkabeln auf „Loopback“ und starten mit dem linken Lautsprecher (Output 1).
 - Output 1 geht zur FIR-BoxX.
 - Output 2 geht in Input 1 des Audiointerface.

Eine Messung mit Timing Offset „0“

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: Loopback L

Will appear as: Loopback L

Settings: Length: 256k Repetitions: 1 5,9 s

Timing: Use loopback as timing reference

Timing offset: 0,0000 ms

Notes:

☒ Keep for next measurement

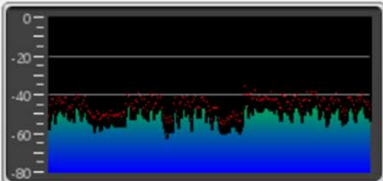
Range: Start Freq: 20 End Freq: 22.050 Hz

Level: -15 dBFS RMS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN

No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

Input: 

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Single measurement

Setup: Start delay 1 s

Output: 1: Output 1

Sec. output: 2: Output 2

Options: None selected

Ref output: 2: Output 2

Ref input: 1: Input 1

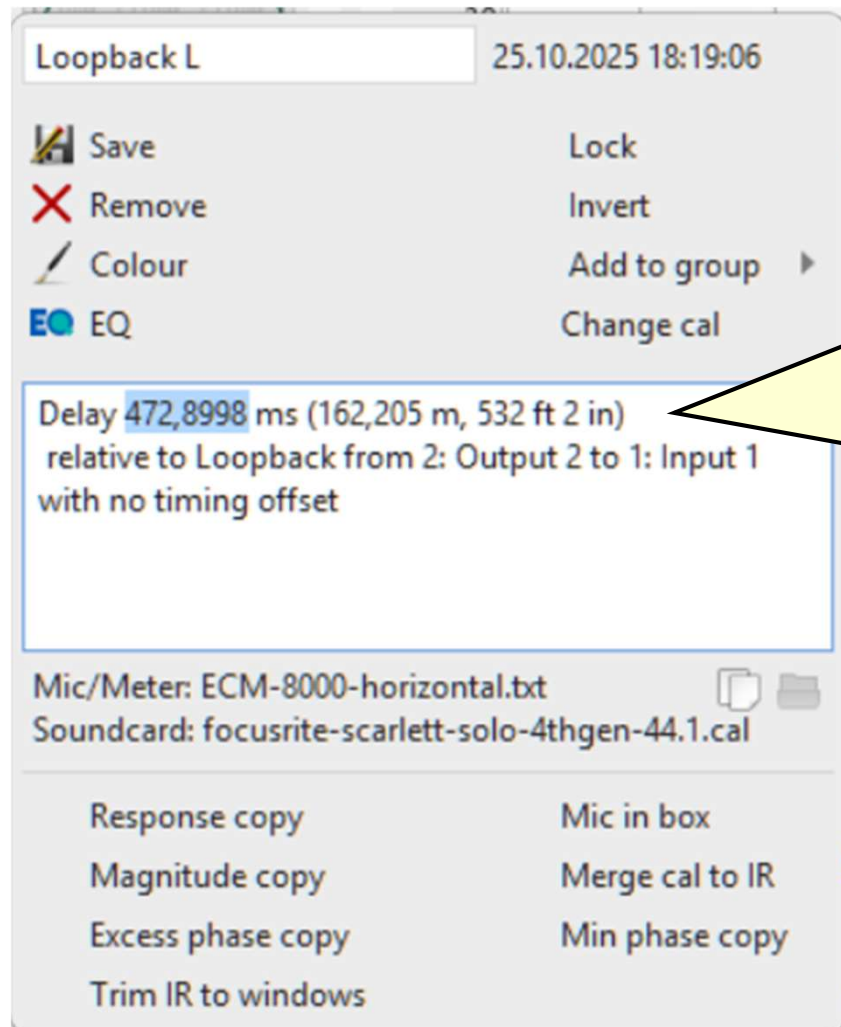
☒ Capture noise floor

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

Calibration files...

Check levels Start Abbrechen

Wir haben eine viel größere Latenz ...



Wir lesen die Latenz bei der Messung ab (rechte Taste auf der Messung). Die Latenz ist doppelt so hoch, wie bei unseren Messungen aus 1 Meter Entfernung. Das liegt daran, dass wir die Auflösung der Filter von 16k auf 32k erhöht haben.

Kontrollmessung mit neuem Offset

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: Loopback L - Offset

Settings: Length: 256k Repetitions: 1 5,9 s

Timing: Use loopback as timing reference

Timing offset: 472,8998 ms (162,205 m)

Will appear as: Loopback L - Offset

Notes:

Keep for next measurement

Range: Start Freq: 20 End Freq: 22.050 Hz

Level: -15 dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN

Ready to measure... 0%

Input: [Graph]

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Single measurement

Setup: Start delay 1 s

Output: 1: Output 1

Sec. output: 2: Output 2

Options: None selected

Ref output: 2: Output 2

Ref input: 1: Input 1

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

Calibration files...

Check levels Start Abbrechen

Loopback L - Offset 25.10.2025 18:26:29

Save Lock

Remove Invert

Colour Add to group

EQ Change cal

Delay 0,0002 ms (0,07 mm, 0 in)
relative to Loopback from 2: Output 2 to 1: Input 1
with 472,8998 ms (162,205 m, 532 ft 2 in) timing offset

Mic/Meter: ECM-8000-horizontal.txt

Soundcard: focusrite-scarlett-solo-4thgen-44.1.cal

Response copy

Magnitude copy

Excess phase copy

Trim IR to windows

Mic in box

Merge cal to IR

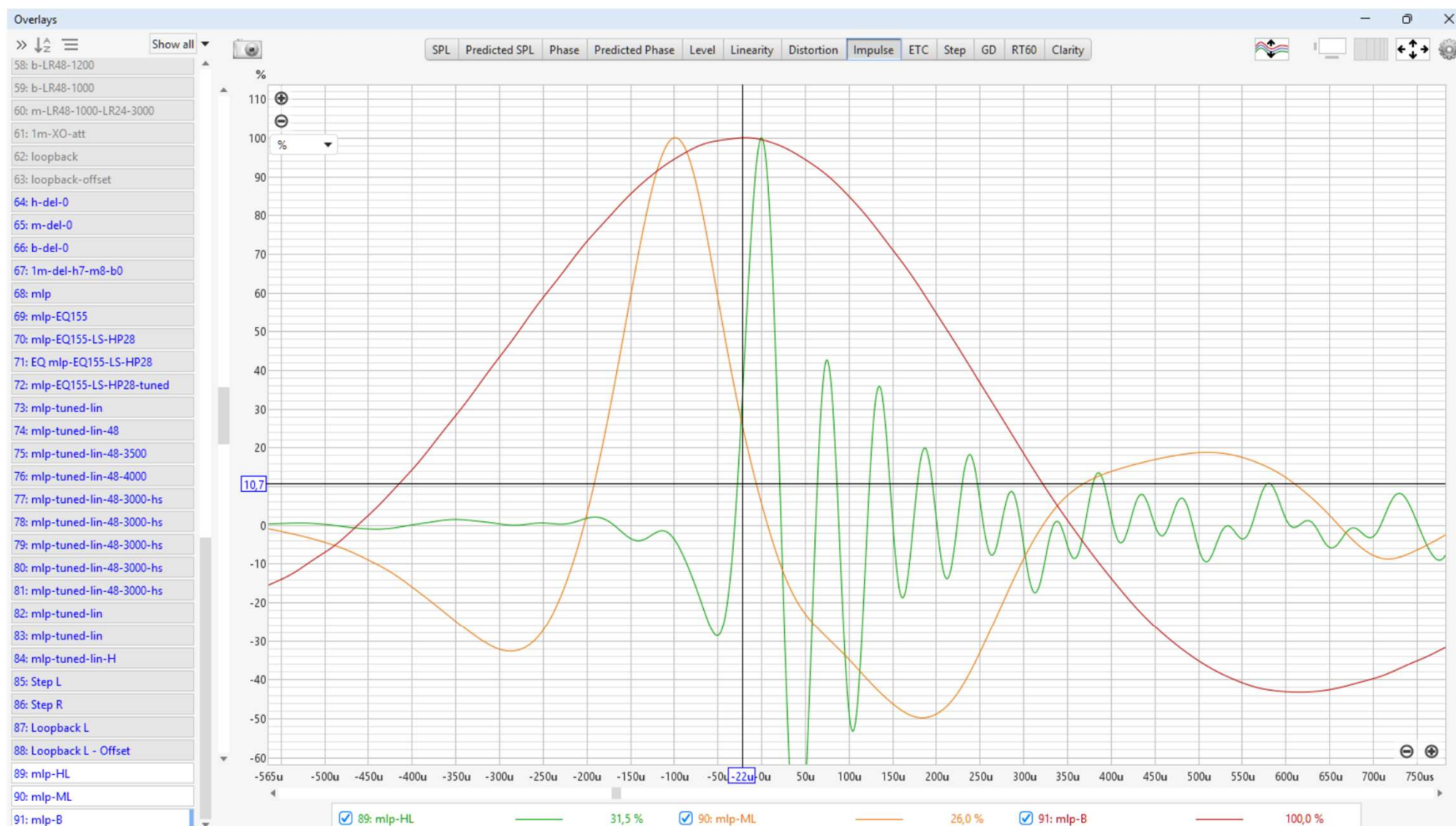
Min phase copy

Nacheinander HL, ML, und B messen

Filter

HL	CorH.dbl ▼	☒	att 3	del 7
HR	CorHr.dbl ▼	☐	att 3	del 7
ML	CorM.dbl ▼	☐	att 4	del 8
MR	CorMr.dbl ▼	☐	att 4	del 8
B	CorB.dbl ▼	☐	att 3	del 0

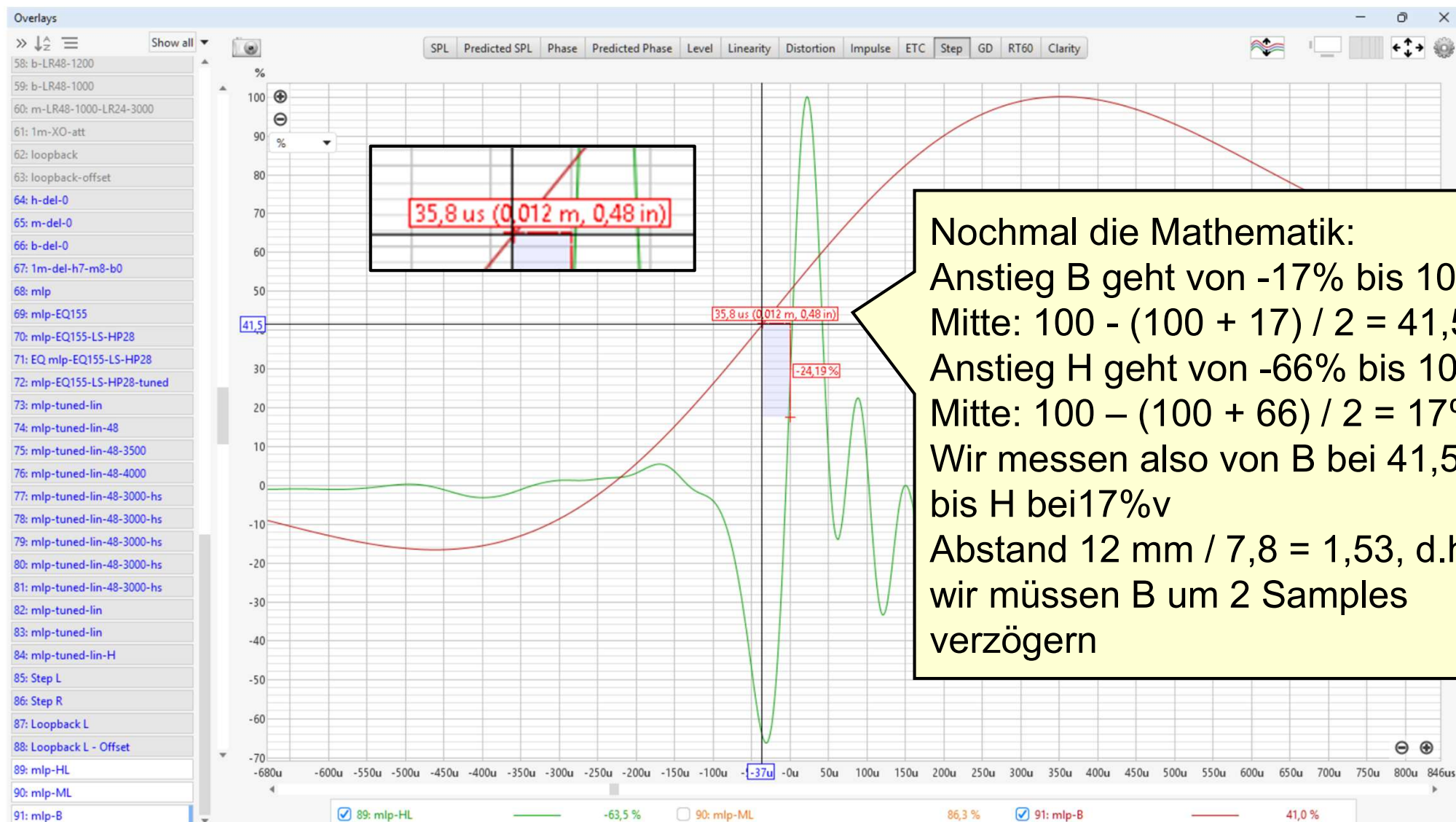
Ein Blick auf die Impulse



Ein Blick auf die Sprungantworten



Der Bass ist 12 mm früher als HL



Nochmal die Mathematik:

Anstieg B geht von -17% bis 100%.

Mitte: $100 - (100 + 17) / 2 = 41,5\%$

Anstieg H geht von -66% bis 100%

Mitte: $100 - (100 + 66) / 2 = 17\%$

Wir messen also von B bei 41,5%
bis H bei 17%

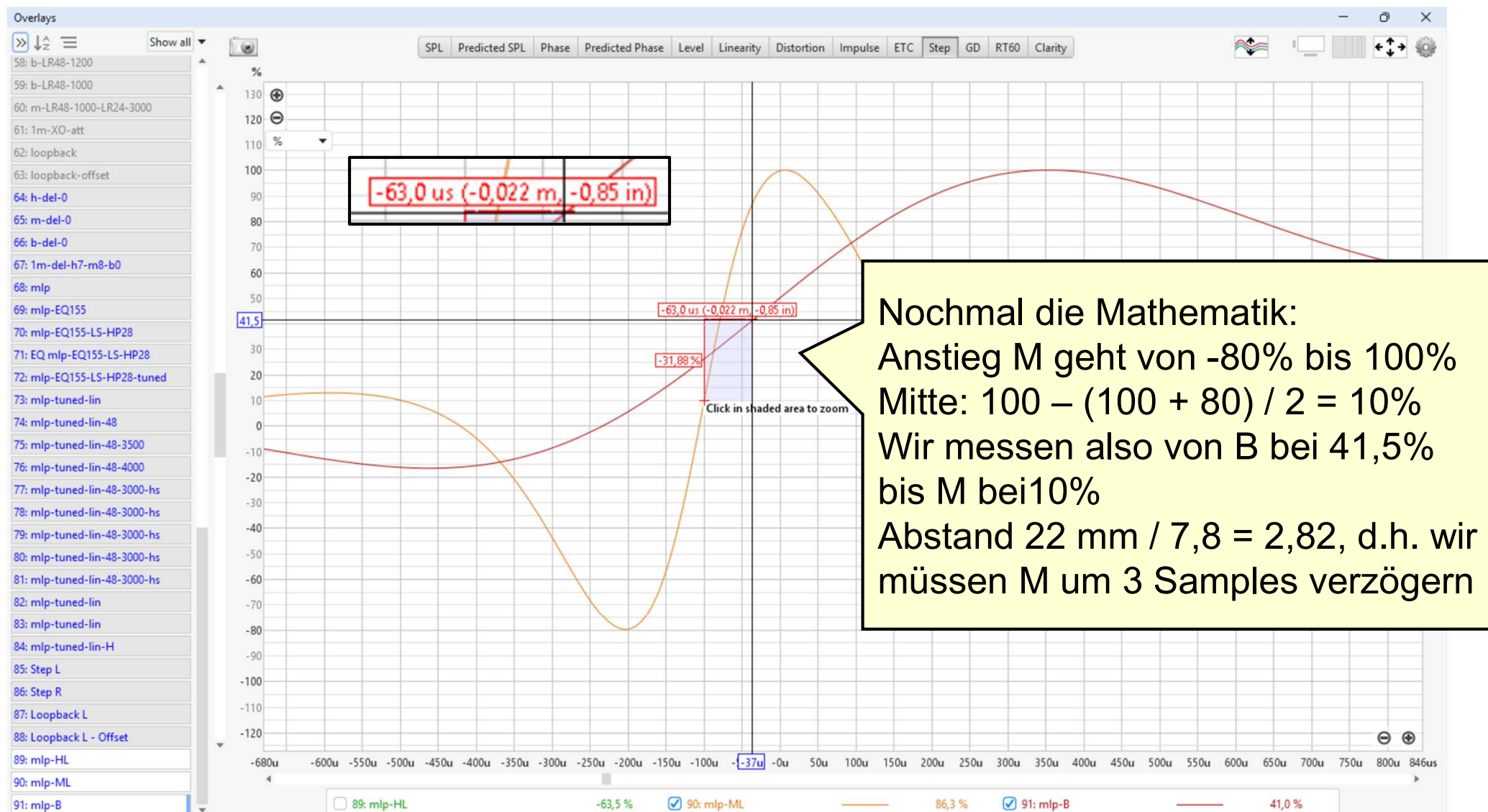
Abstand $12 \text{ mm} / 7,8 = 1,53$, d.h.
wir müssen B um 2 Samples
verzögern

Statt B zu verzögern: HL beschleunigen

Filter

HL	CorH.dbl ▼	☐	att 3	del 5
HR	CorHr.dbl ▼	☐	att 3	del 7
ML	CorM.dbl ▼	☐	att 4	del 8
MR	CorMr.dbl ▼	☐	att 4	del 8
B	CorB.dbl ▼	☐	att 3	del 0

Der Bass ist 22 mm später als ML

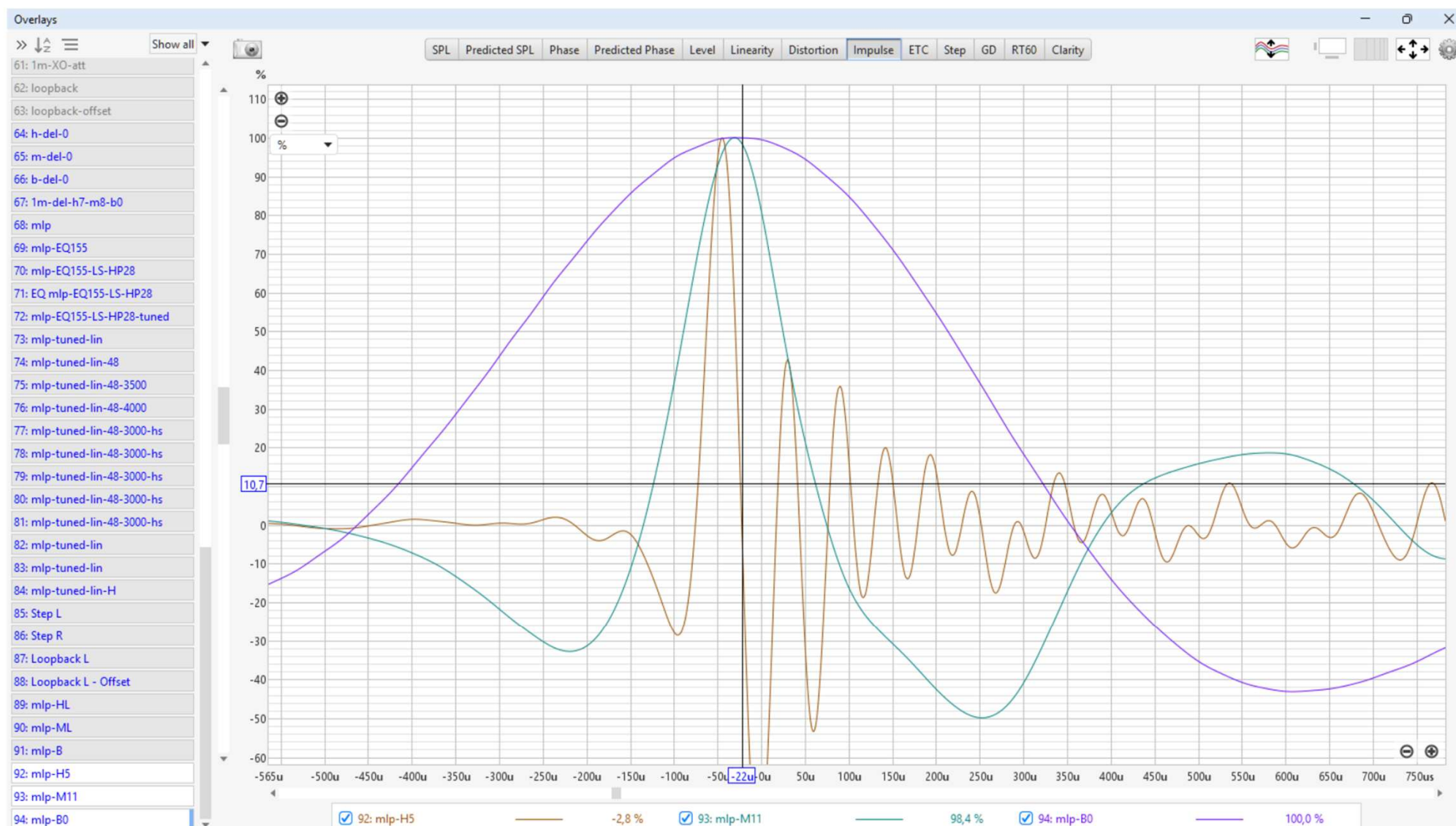


ML um 3 Samples von 8 auf 11 verzögern

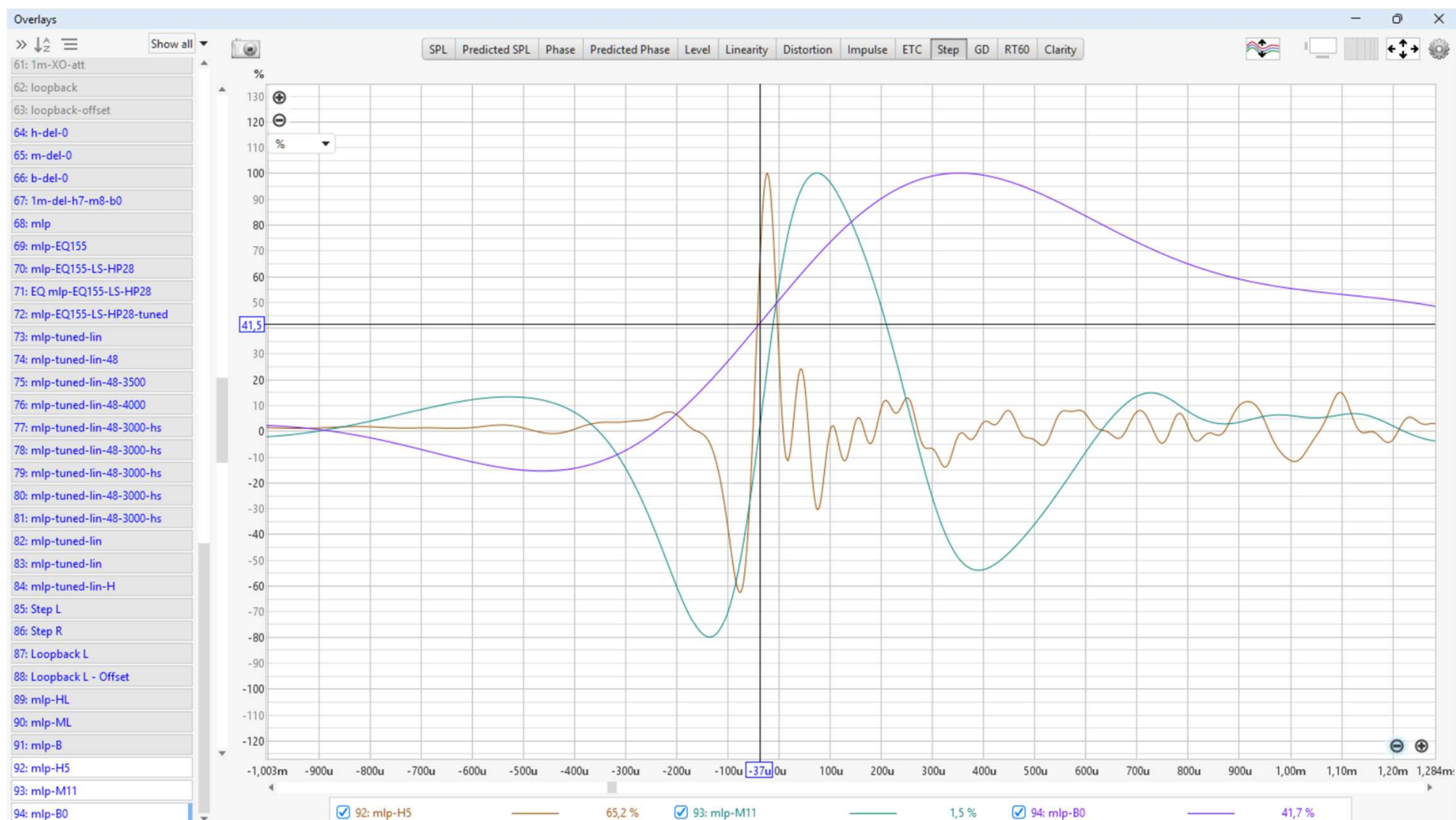
Filter

HL	CorH.dbl	☐	att	3	del	5
HR	CorHr.dbl	☐	att	3	del	7
ML	CorM.dbl	☐	att	4	del	11
MR	CorMr.dbl	☐	att	4	del	8
B	CorB.dbl	☐	att	3	del	0

Kontrolle: Ein Blick auf die Impulse



Kontrolle: Die Sprungantworten



Spungantwort für den linken Speaker



Wechsel zum rechten Speaker

- Wir verkabeln verkabeln auf „Loopback“ für den rechten Lautsprecher (Output 2).
 - Output 2 geht zur FIR-BoxX.
 - Output 1 geht in Input 1 des Audiointerface.
- Wir führen die gleiche Serie von Messungen und Anpassungen durch.
- In der Folge zeige ich das mit etwas weniger Details.

Nach Umkabeln beim Messen umstellen

Make a measurement

Type: **SPL** Impedance

Method: **Sweep** FSAF

Name: mlp-HR ☐ Add number ☐ Add date/time ☒ Use as entered

Will appear as: mlp-HR ☐ Prefix with output ☐ Append level

☐ Add to group R FIR Kombi 1 New group...

Notes:

☒ Keep for next measurement

Range: Start Freq 20 End Freq 22.050 Hz

Level: -15 dBFS RMS ☐ dBu ☐ dBV ☐ Volts ☒ dBFS

Warnings: Low levels, High distortion, Low SN ☐ No abort triggers selected

Ready to measure... 0%

Input:

Settings: Length 256k Repetitions 1 5,9 s

Timing: Use loopback as timing reference

Timing offset: 472,8998 ms (162,205 m)

Playback: **From REW** From file

Sample rate: 44.1 kHz

Mode: Single measurement

Setup: Start delay 1 s

Output: 2: Output 2

Sec. output: 2: Output 2 ☐

Options: None selected

Ref output: 1: Output 1

Ref input: 1: Input 1 ☒ Capture noise floor

Input: Input 2 on Focusrite USB ASIO

Calibration files...

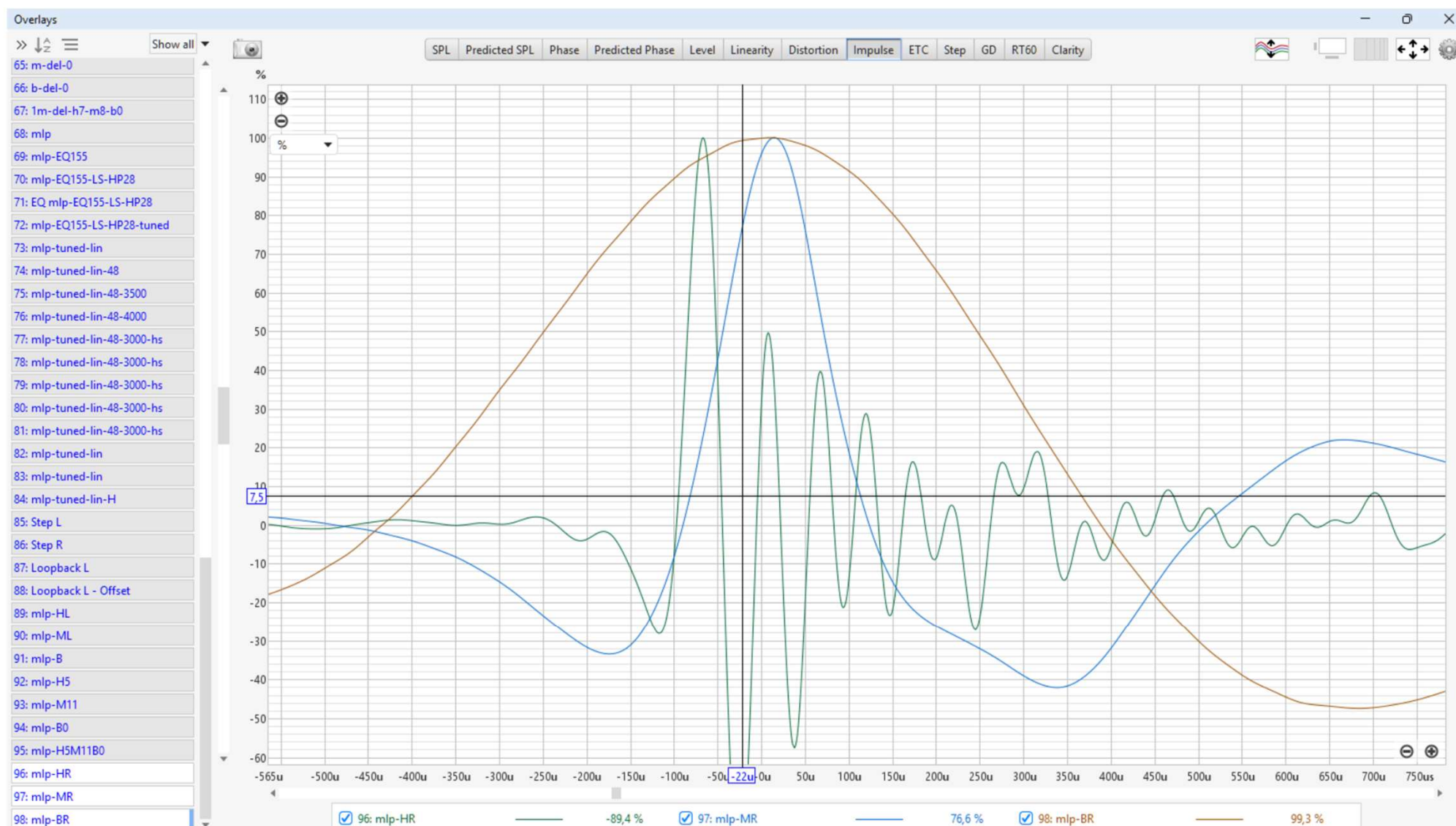
Check levels Start Abbrechen

Nacheinander HR, MR und B messen

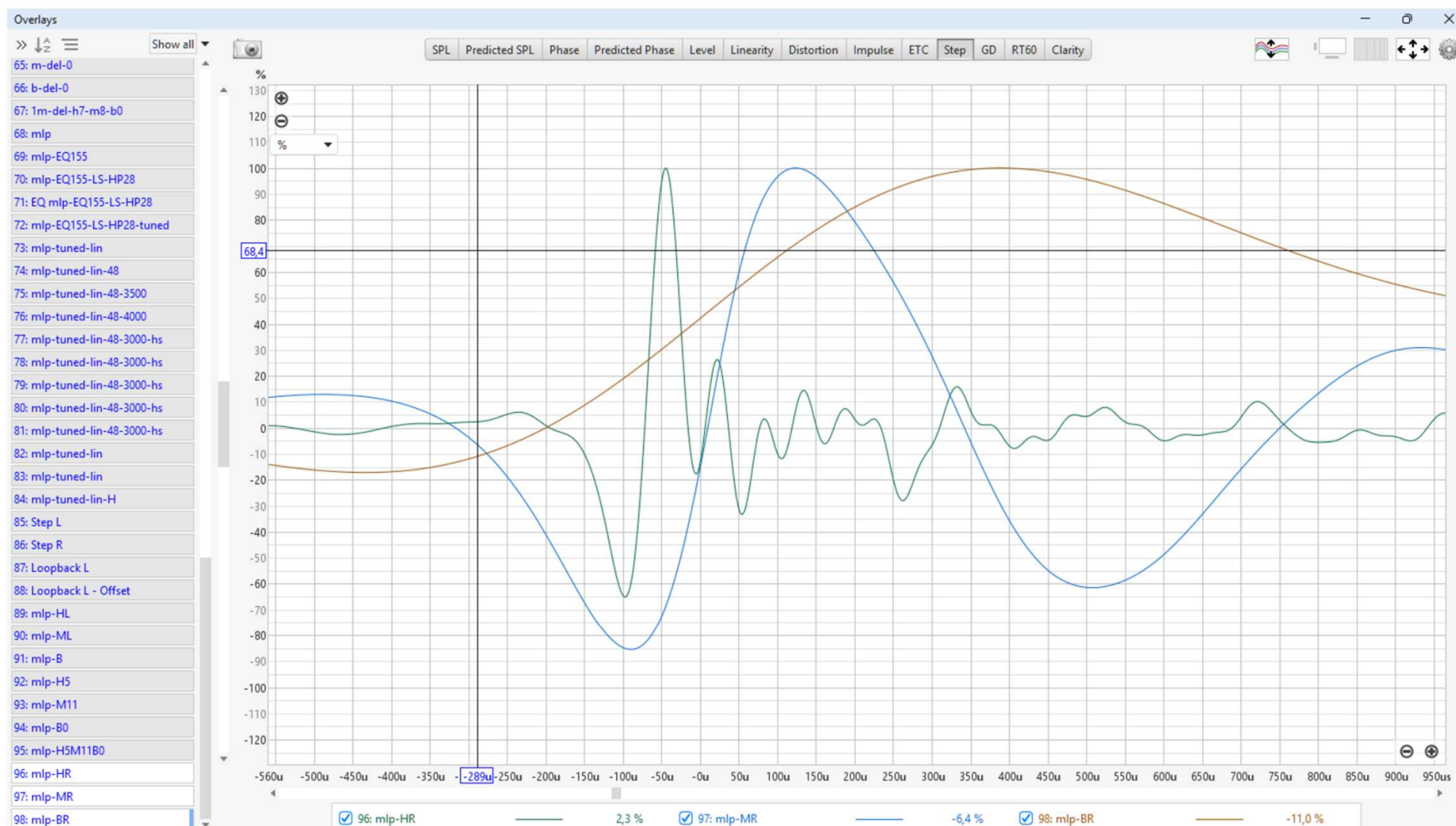
Filter

HL	CorH.dbl ▼	☐	att 3	del 5
HR	CorHr.dbl ▼	☒	att 3	del 7
ML	CorM.dbl ▼	☐	att 4	del 11
MR	CorMr.dbl ▼	☐	att 4	del 8
B	CorB.dbl ▼	☐	att 3	del 0

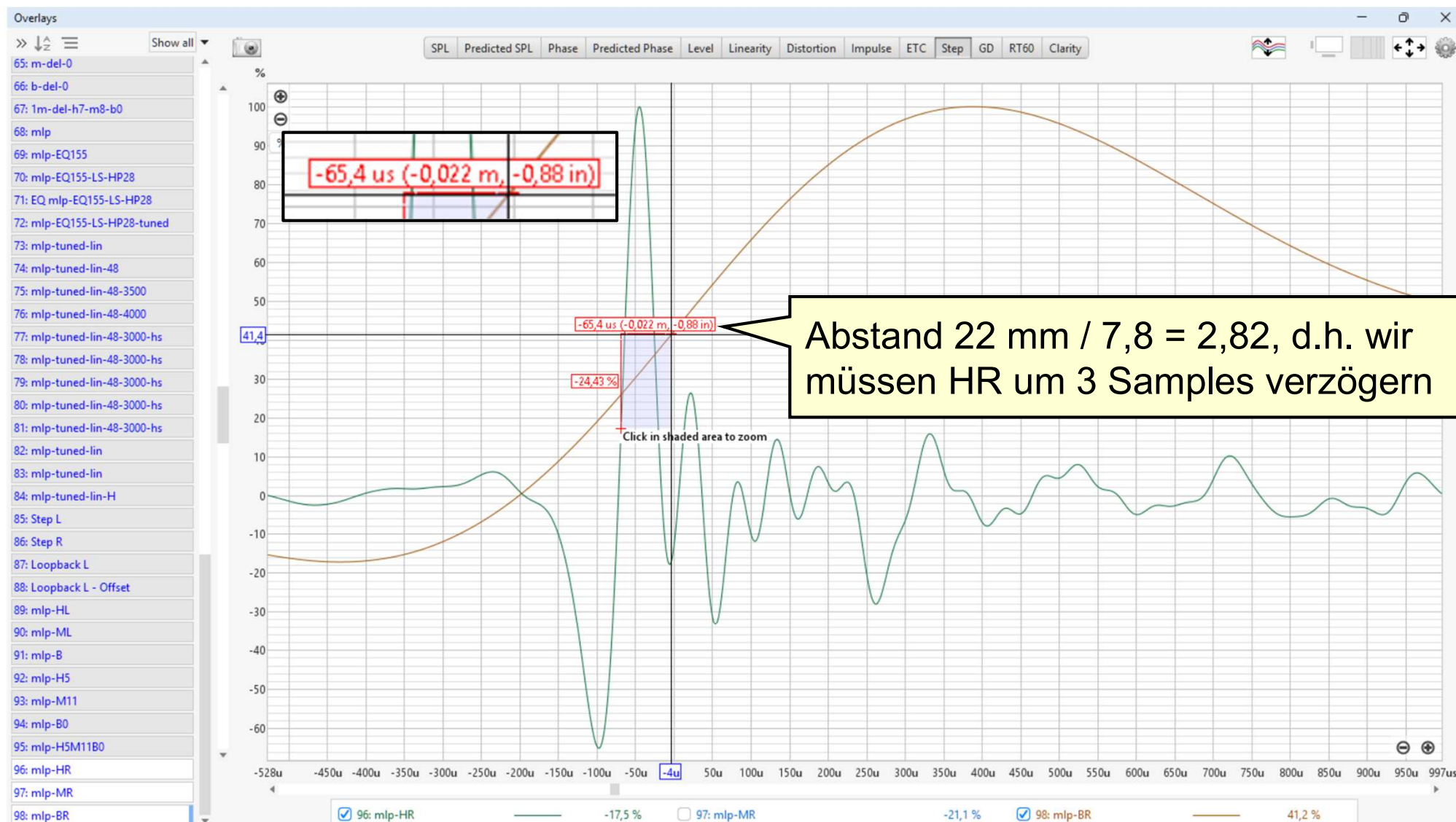
Übersicht Impulse



Übersicht Sprungantworten



Der Bass ist 22 mm später als HR

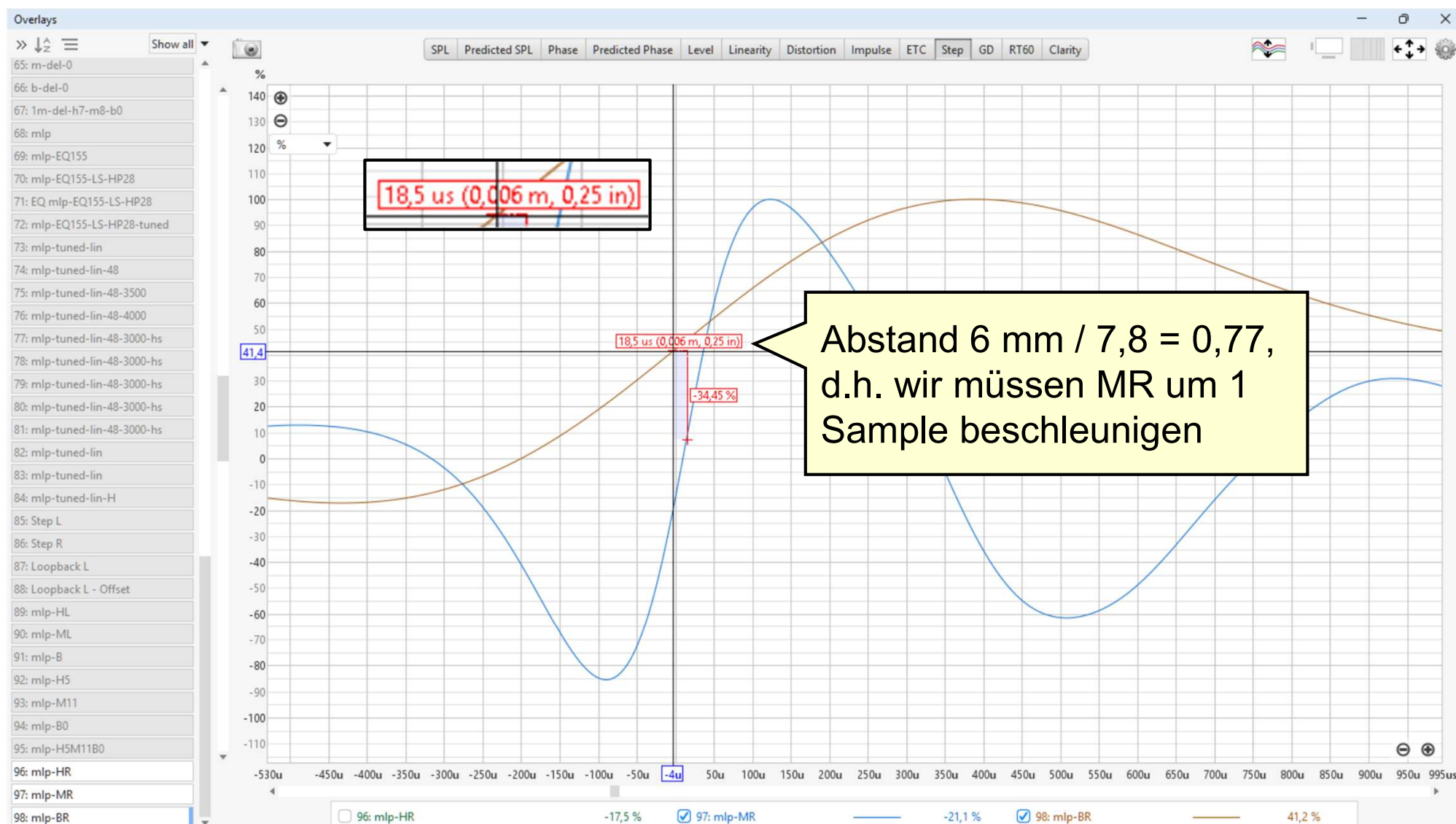


HR um 3 Samples von 7 auf 10 verzögern

Filter

HL	CorH.dbl ▼	☐	att 3	del 5
HR	CorHr.dbl ▼	☐	att 3	del 10
ML	CorM.dbl ▼	☐	att 4	del 11
MR	CorMr.dbl ▼	☐	att 4	del 8
B	CorB.dbl ▼	☐	att 3	del 0

Der Bass ist 6 mm früher als MR

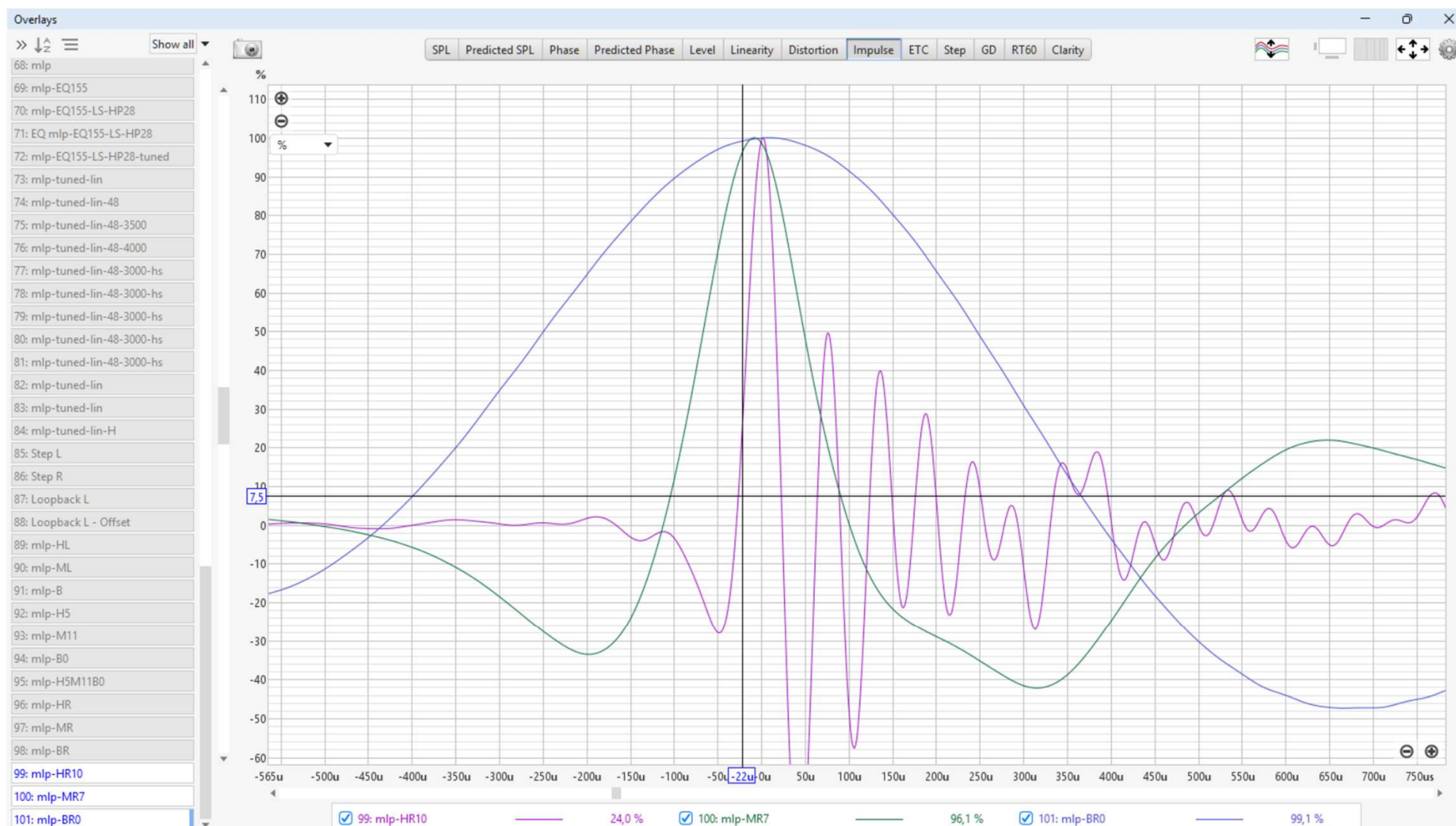


MR 1 Sample von 8 auf 7 beschleunigen

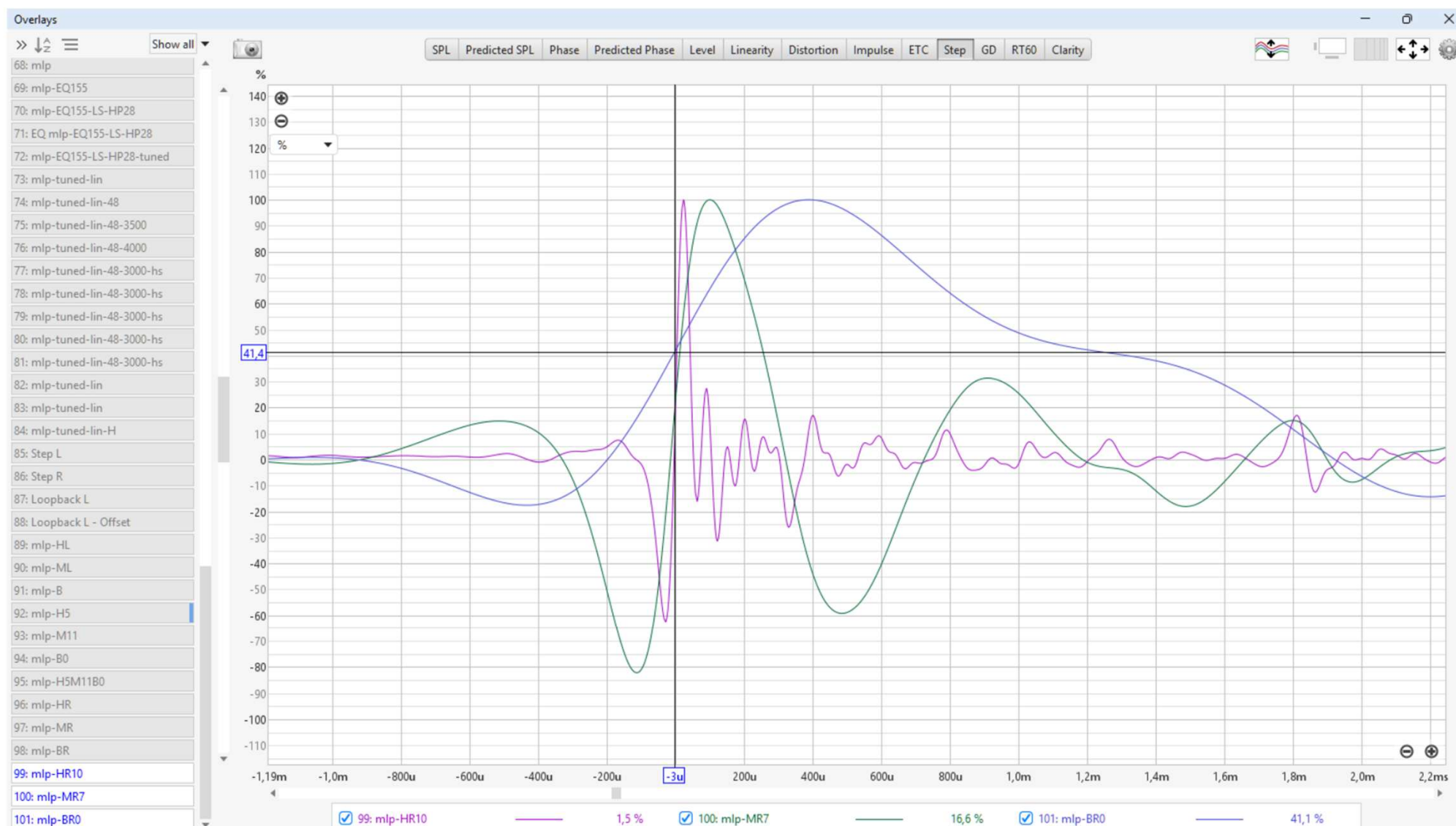
Filter

HL	CorH.dbl	☐	att	3	del	5
HR	CorHr.dbl	☐	att	3	del	10
ML	CorM.dbl	☐	att	4	del	11
MR	CorMr.dbl	☐	att	4	del	7
B	CorB.dbl	☐	att	3	del	0

Kontrolle: Ein Blick auf die Impulse



Kontrolle: Die Sprungantworten



Spungantwort für den rechten Speaker



Rechts und links zusammen



Loopback raus – L+R messen



Plausibilitäts-Check

- Die Messungen sind super ✓
- Links wird ML stärker verzögert als rechts, da MR näher ist
- Rechts wird HR stärker verzögert als links, da HR näher ist



Filter				
HL	CorH.dbl	☐	att 3	del 5
HR	CorHr.dbl	☐	att 3	del 10
ML	CorM.dbl	☐	att 4	del 11
MR	CorMr.dbl	☐	att 4	del 7
B	CorB.dbl	☐	att 3	del 0



Attenuation: Lohnt sich ein Angleich L/R?

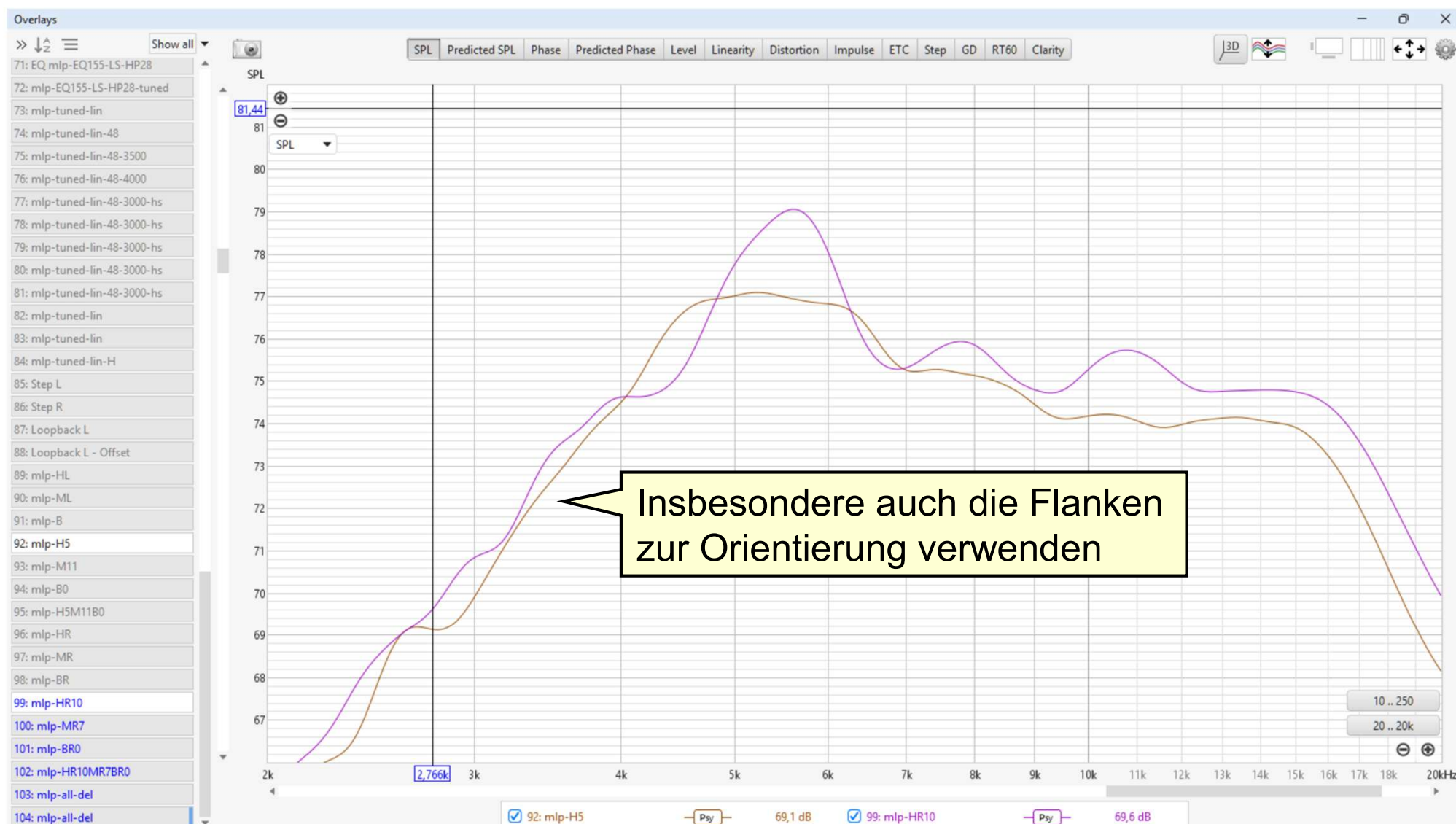
- Ist HL leiser als HR am Hörplatz, weil weiter weg?
- Ist ML lauter als MR am Hörplatz, weil näher dran?
- Wir schauen uns das an.



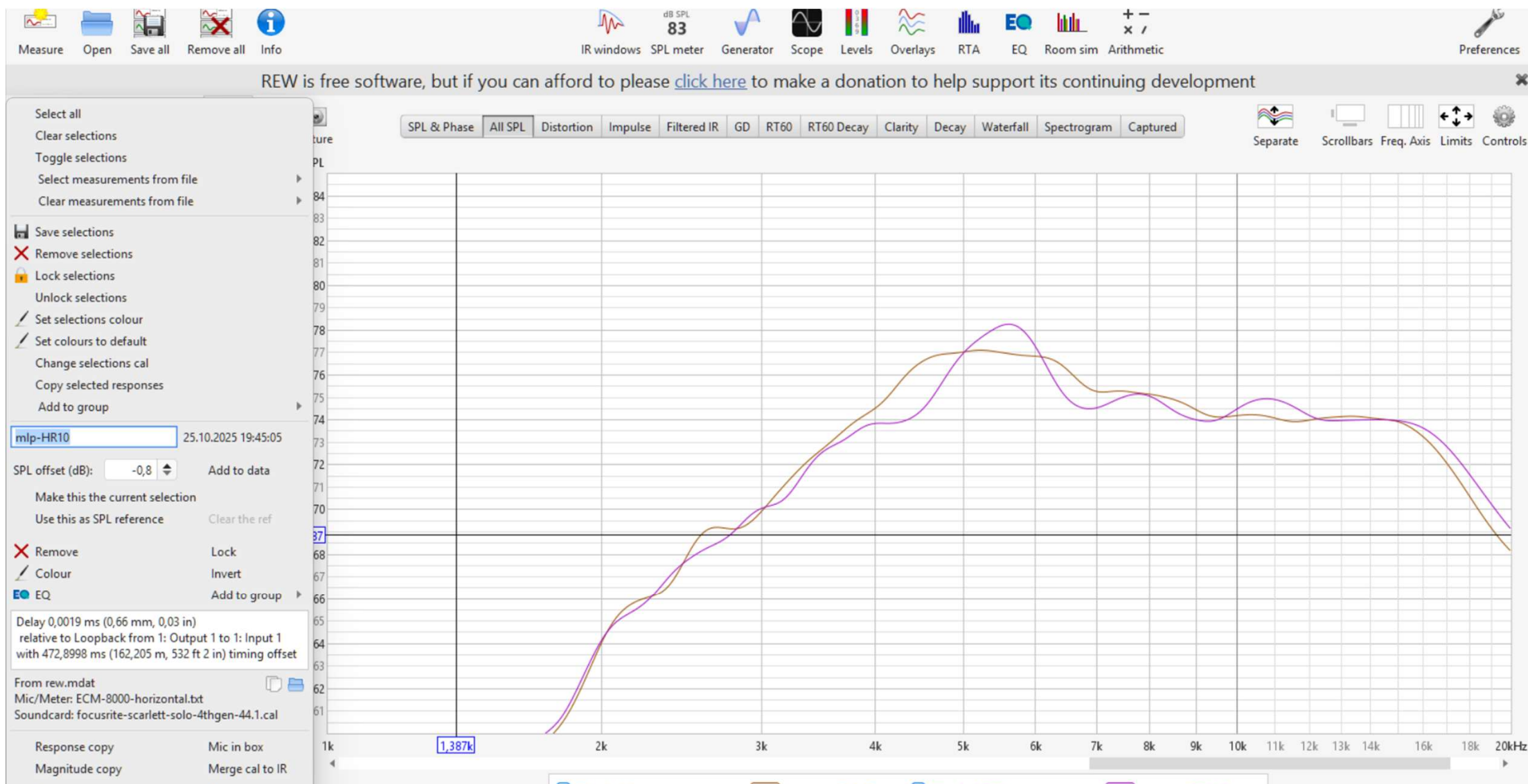
Filter				
HL	CorH.dbl	☐	att 3	del 5
HR	CorHr.dbl	☐	att 3	del 10
ML	CorM.dbl	☐	att 4	del 11
MR	CorMr.dbl	☐	att 4	del 7
B	CorB.dbl	☐	att 3	del 0



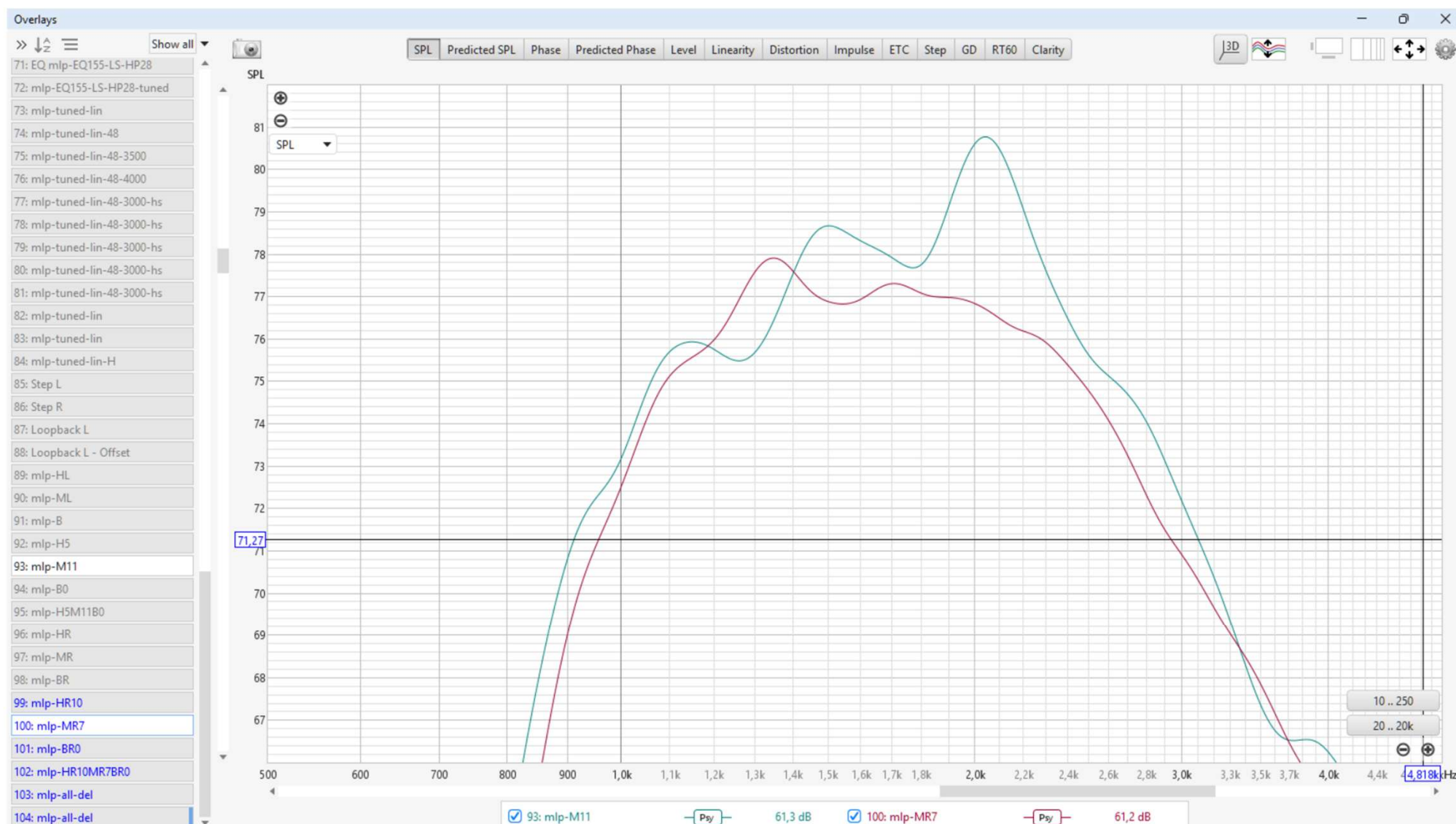
HL ist ein wenig leiser als HR



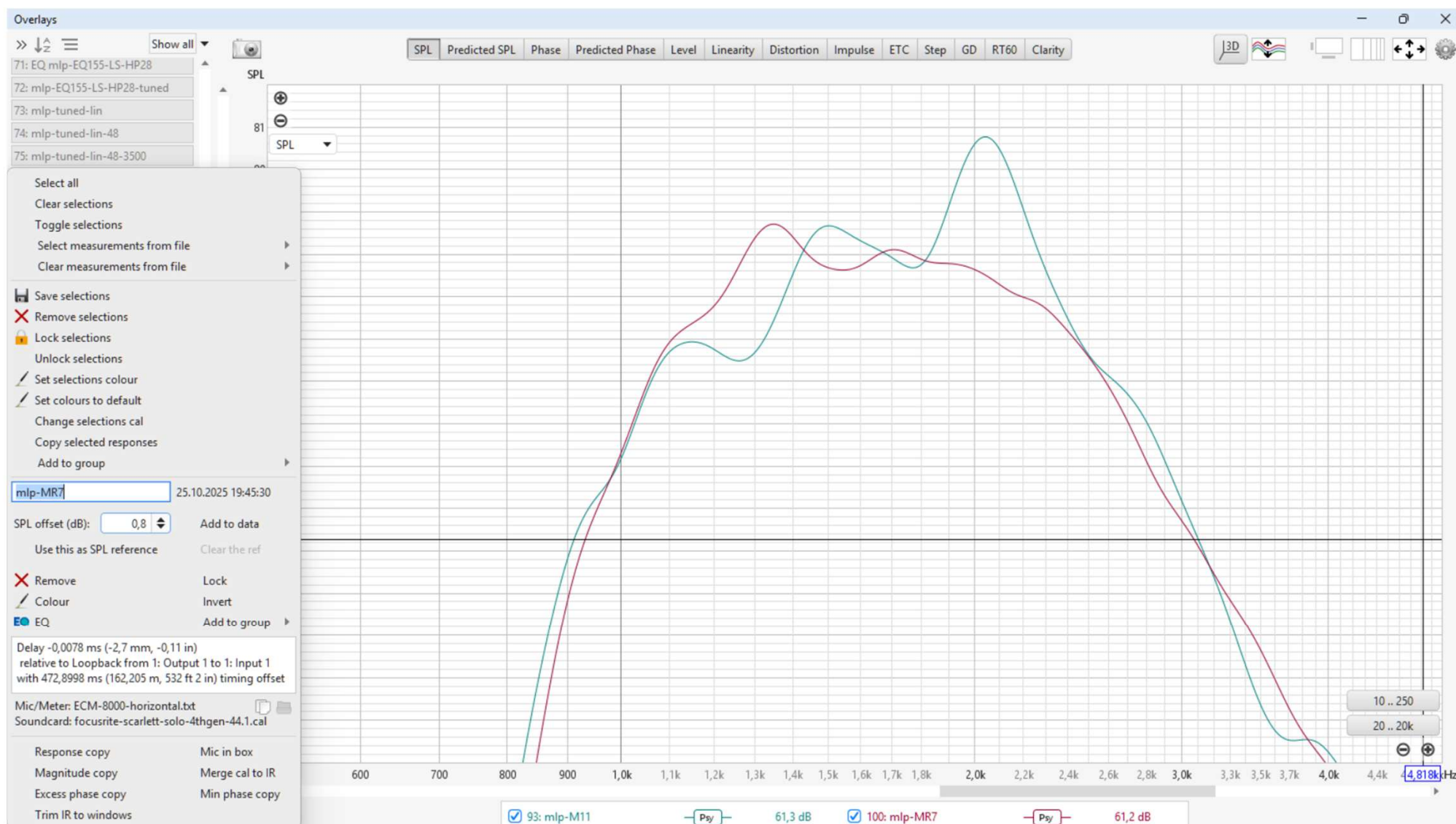
HR wird um 0,8 dB abgesenkt



ML ist ein wenig lauter als MR



MR wird um 0,8 dB erhöht



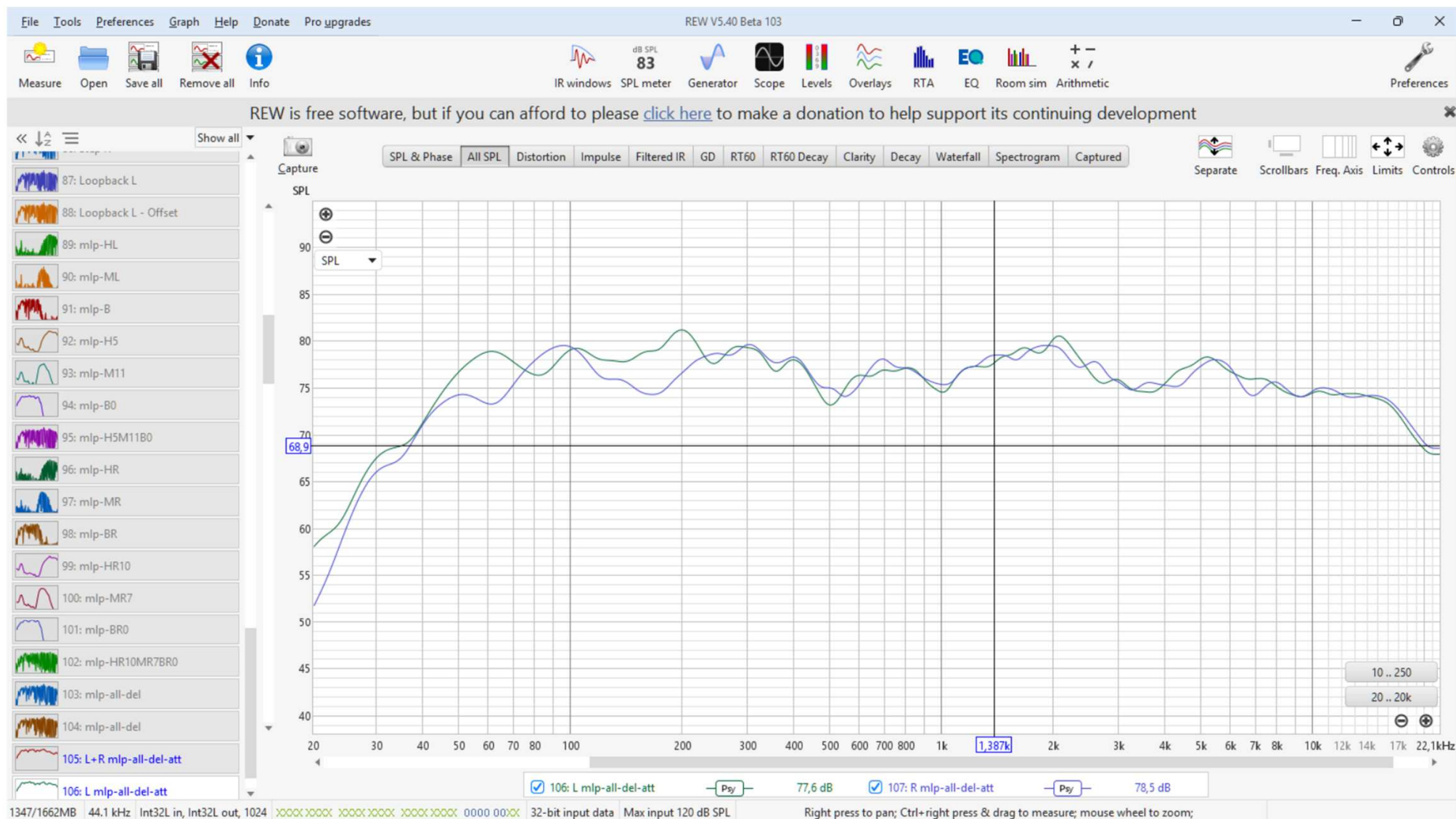
Anpassung Attenuation für HR und ML

Filter				
HL	CorH.dbl	☐	att 3	del 5
HR	CorHr.dbl	☐	att 3	del 10
ML	CorM.dbl	☐	att 4	del 11
MR	CorMr.dbl	☐	att 4	del 7
B	CorB.dbl	☐	att 3	del 0

Filter				
HL	CorH.dbl	☐	att 3	del 5
HR	CorHr.dbl	☐	att 3.8	del 10
ML	CorM.dbl	☐	att 4	del 11
MR	CorMr.dbl	☐	att 3.2	del 7
B	CorB.dbl	☐	att 3	del 0

HR wird 0.8 dB
leiser und MR wird
0.8 dB lauter
eingestellt.

Beide Speaker nach den Anpassungen



Zwischenstand

- Eigentlich fertig ...
 - Treiber im Nahfeld in Frequenzgang und Phase linearisiert.
 - Crossover mit Hilfe von 1 Meter Messungen festgelegt.
 - Diverse Verbesserungen am Hörplatz vorgenommen.
- Und die HECOs klingen jetzt auch sehr ordentlich – Pflicht erfüllt.
- Nicht jeder Hörer wird damit glücklich ...
 - „mehr Bass“- „ist mir zu anstrengend im Präsenzbereich“ - „weniger Bass“- „zu spitz im Hochtton“ - „ist mir viel zu dumpf“ – „genau richtig, ich mag linear“ ...
- Jetzt kommt Kür – Musik so hören, wie sie mich bewegt
 - Wir machen klangliches Finetuning nach Geschmack

Teil 2

Klangliches Finetuning

Zu Deinem persönlichen Traumklang

Warum ist Klang einstellen so verpönt?

- Ganz früher typisch: „Bass“ und „Treble“ – wir drehen zwei Frequenzbereiche hoch und runter.
- Klassische Equalizer: Ein paar mehr Regler für ein paar mehr Frequenzbereiche.
- Parametrische Equalizer (IIR): Da geht (noch) mehr (kaputt).
- Automatische Raumkorrektur und Zielkurven: Das funktioniert ... nur teilweise.
- Fast immer Seiteneffekte durch Phasenverschiebungen.
- Oft gehört
 - „Irgendwie ist die Lebendigkeit raus“.
 - „Hab‘ ich probiert. Taugt nix“.

Was wäre sinnvoll?

- Die Basis ist da. Die Treiber spielen sauber, Phase und Timing stimmen und der Klang im Raum passt.
- Wir wollen diese Eigenschaften nicht verschlechtern, wenn wir den Klang anpassen.
- Linearphasige FIR-Filter können den Klang verändern, ohne die Basiseigenschaften zu verschlechtern.
- Wir wollen beim Musik hören so einfach wie möglich unseren Wunschklang einstellen und dazu definitiv keine FIR-Filter programmieren müssen.

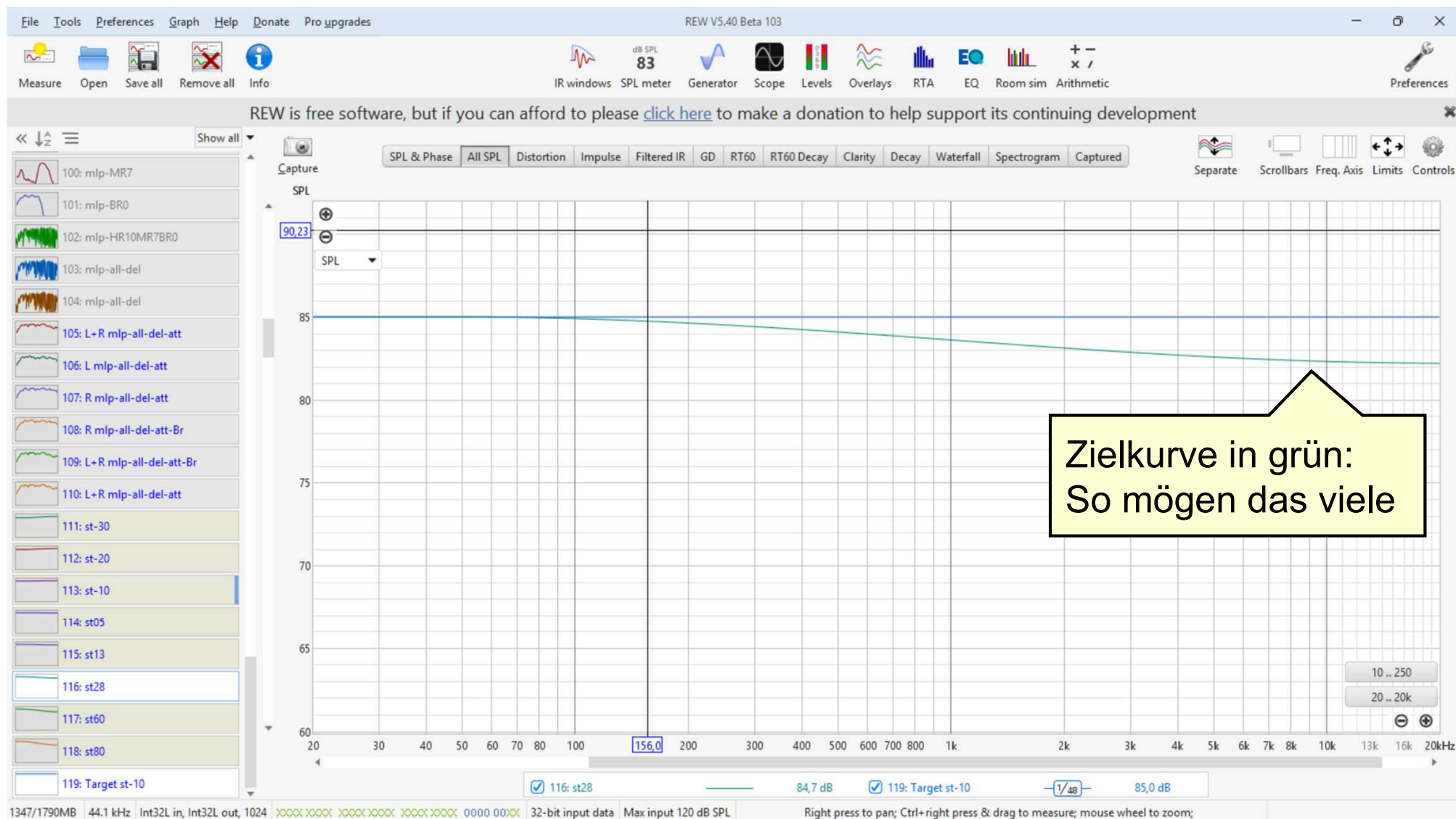
Workflow Teil 5

Beim Hören meine Zielkurve einstellen

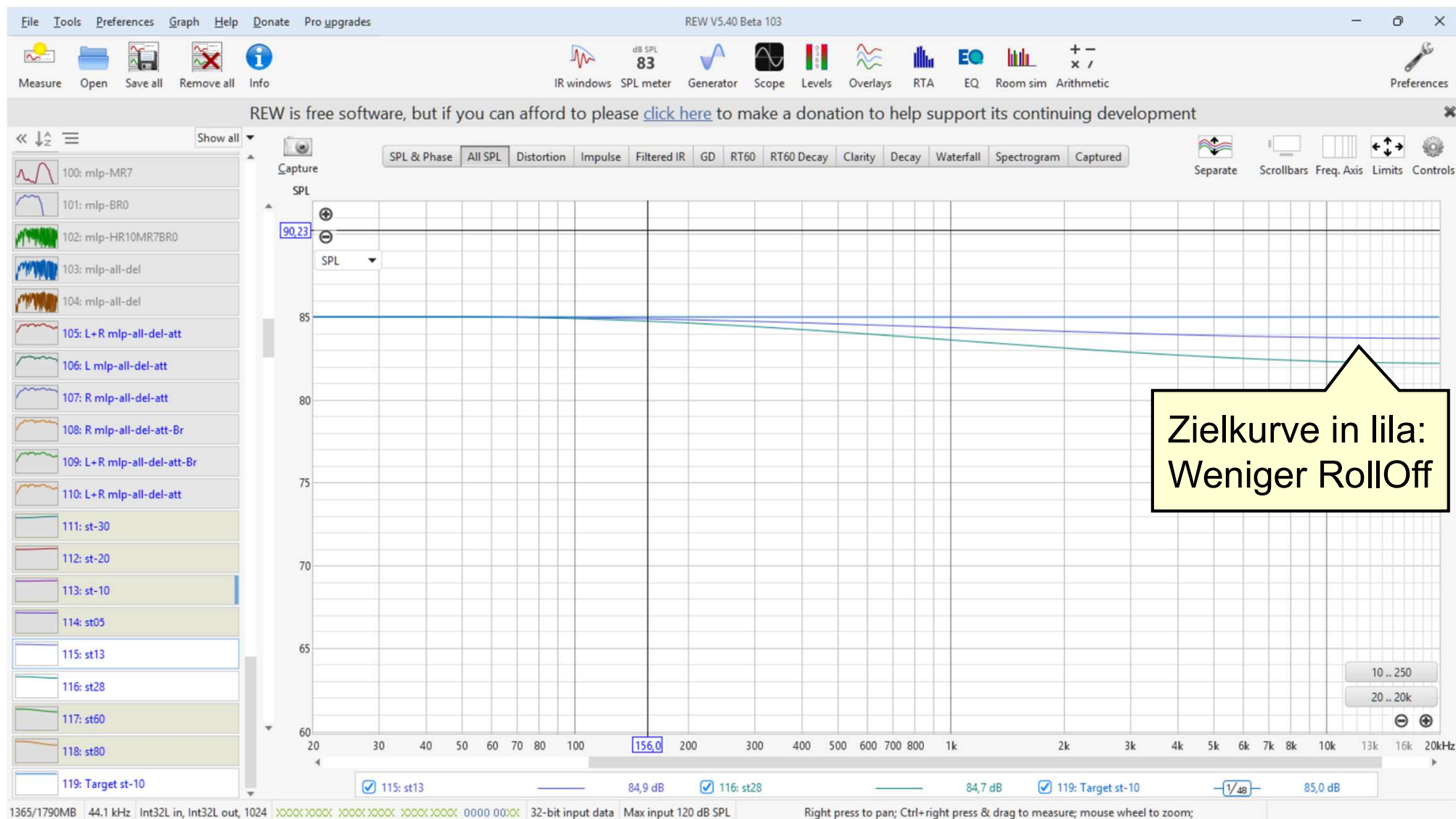
Audiophiles Musicwonder Tuning

- Klassische Zielkurven sind nicht linear.
- Typisch sind sanfte Verläufe mit etwas mehr Bass, ausgeglichenen Mitten und etwas weniger Höhen.
- Eine Zielkurve legt einen solchen Verlauf exakt fest.
- Am bekanntesten: Harman Zielkurve.
- Das Musicwonder Soundtuning ermöglicht 111 Varianten von Zielkurven per Klangregler unterbrechungsfrei einzustellen und anzuhören.
- Das erlaubt eine sehr genau tonale Balancierung zwischen Bass, Mitten und Höhen nach persönlichem Geschmack.
- Der Hörer muss nur hören, was ihm am besten gefällt.

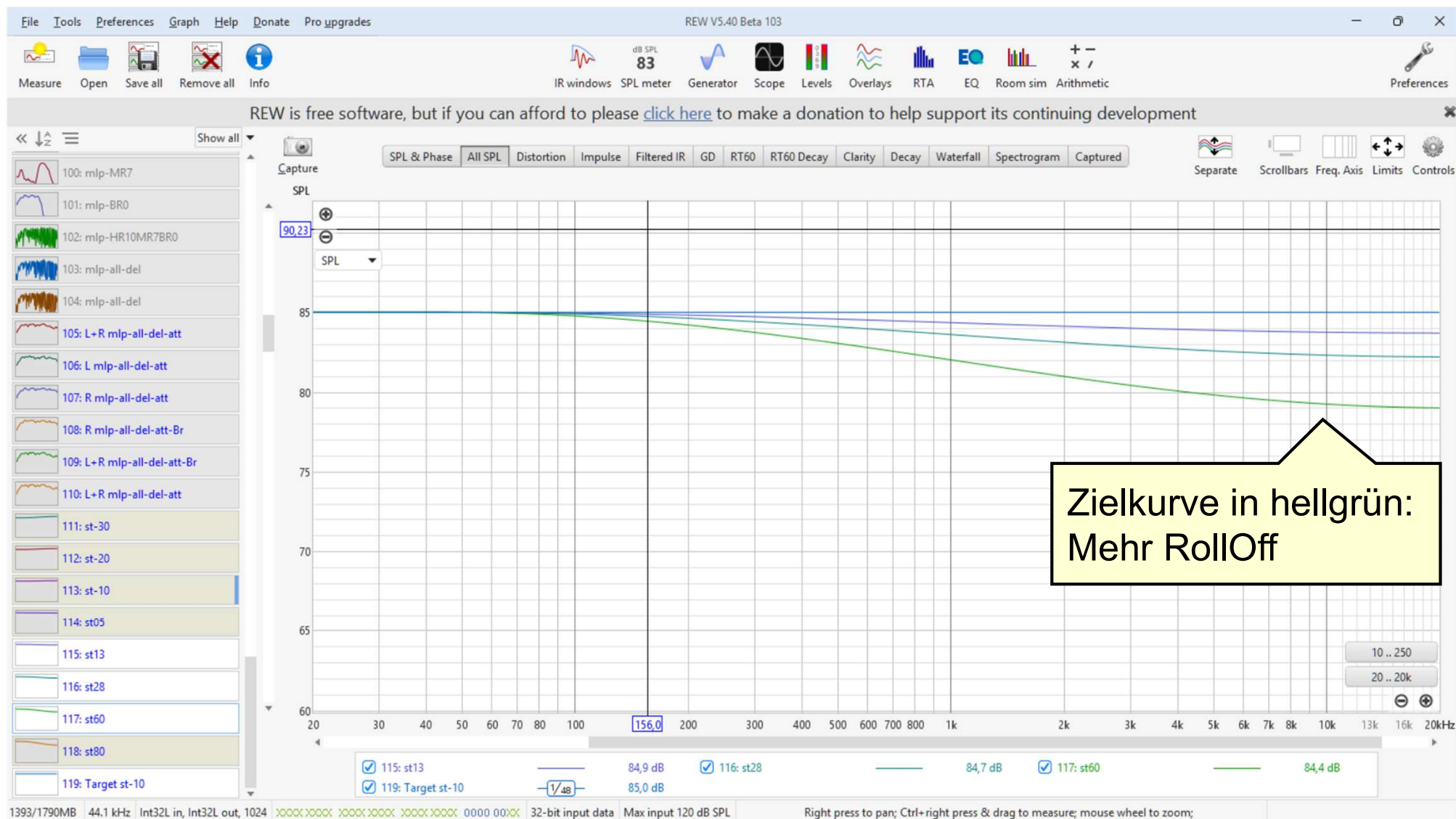
Was ist die richtige Zielkure?



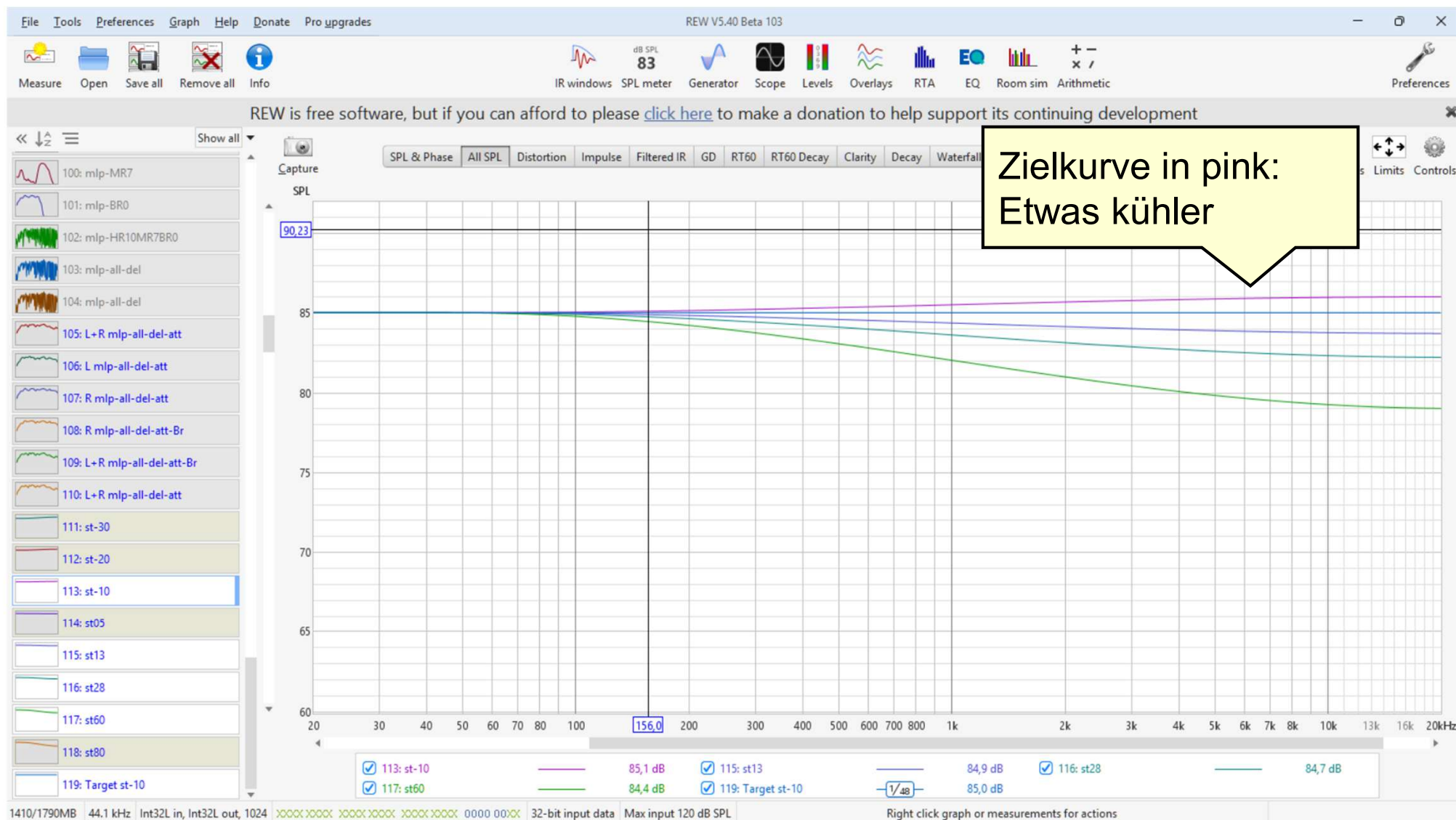
Lieber etwas näher an der Linearität?



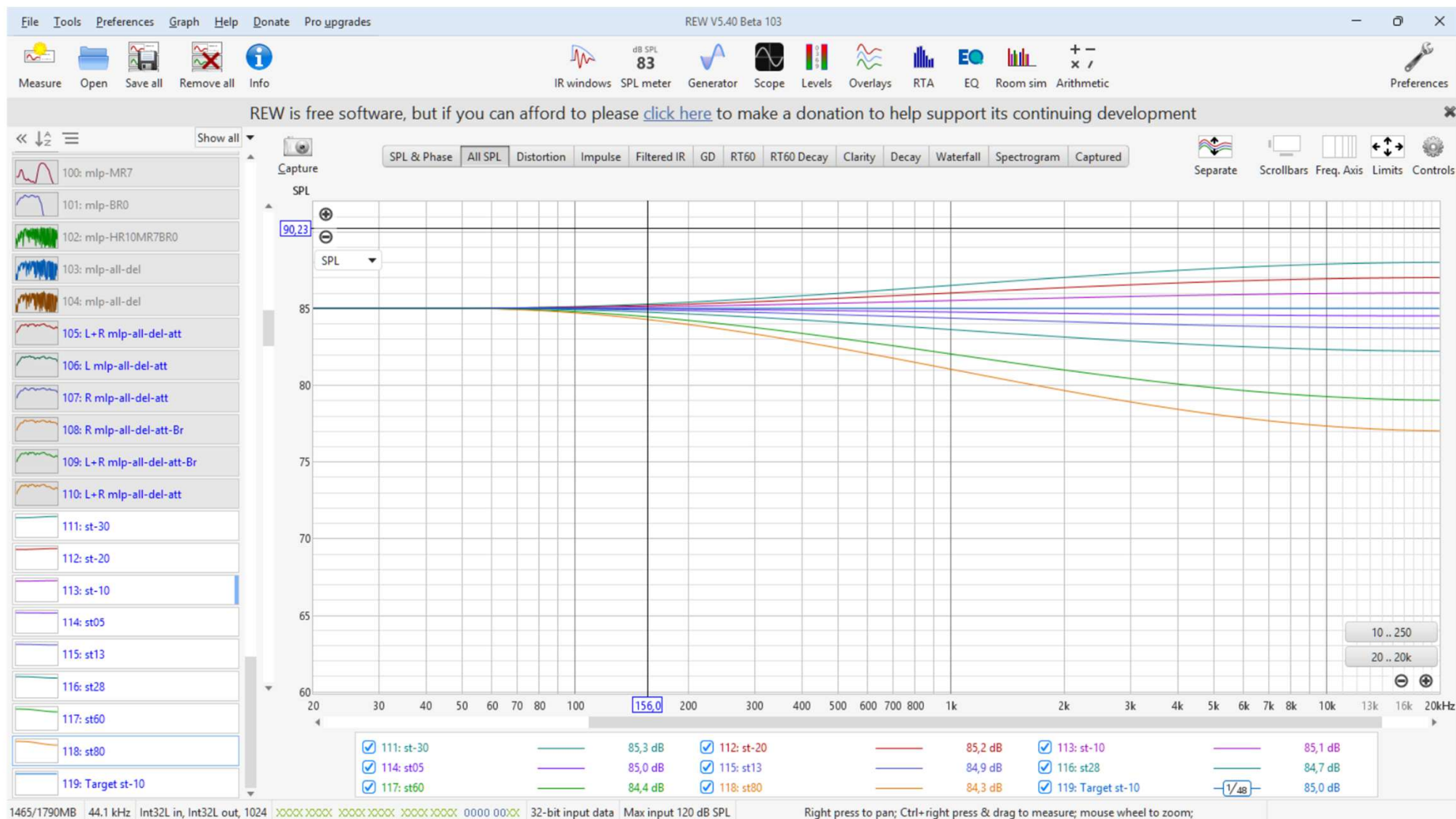
Oder doch eine englische Abstimmung?



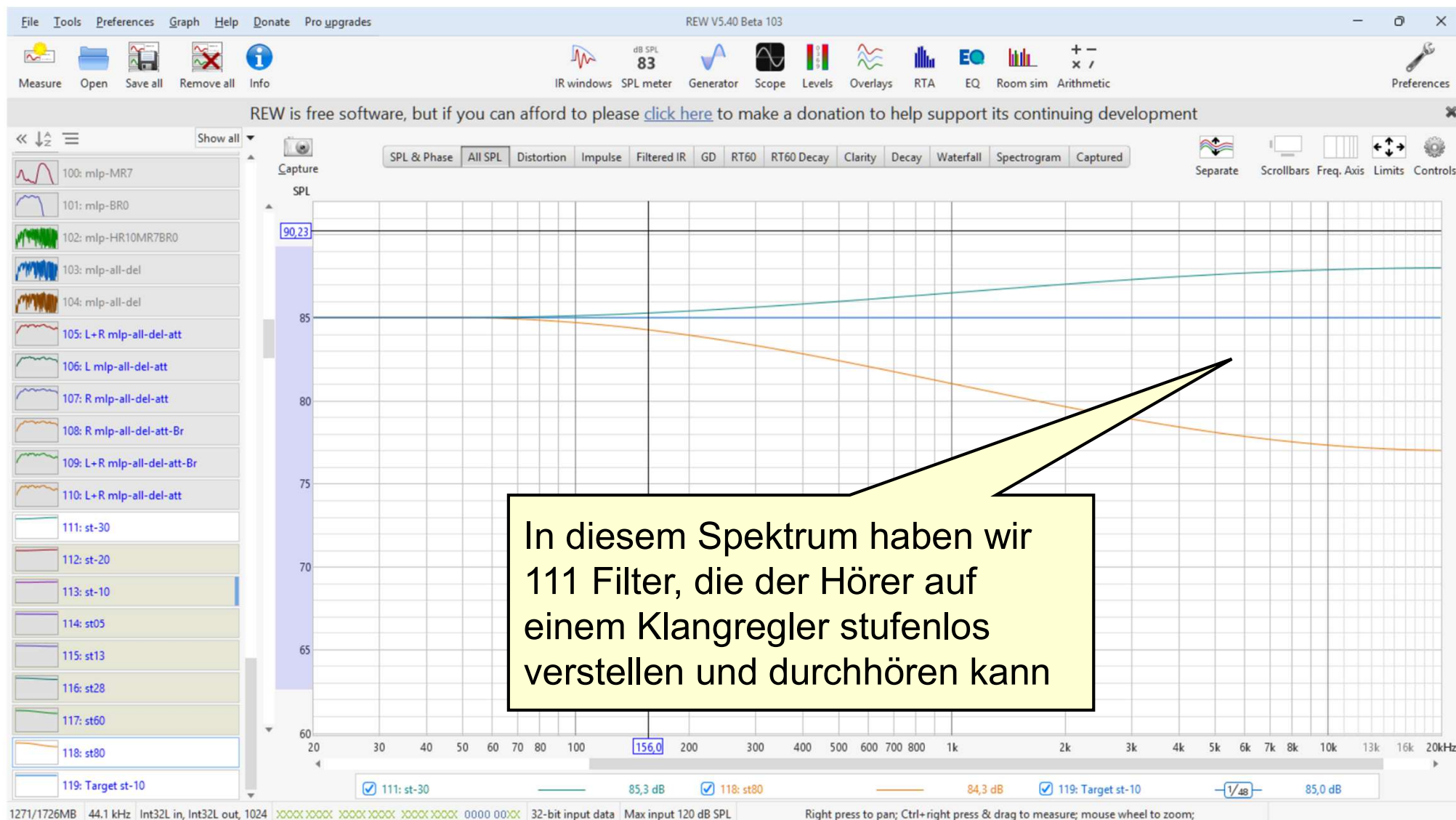
Oder darf es etwas luftiger sein?



Wie klingt es am schönsten?



Einfach selbst beim Hören einstellen



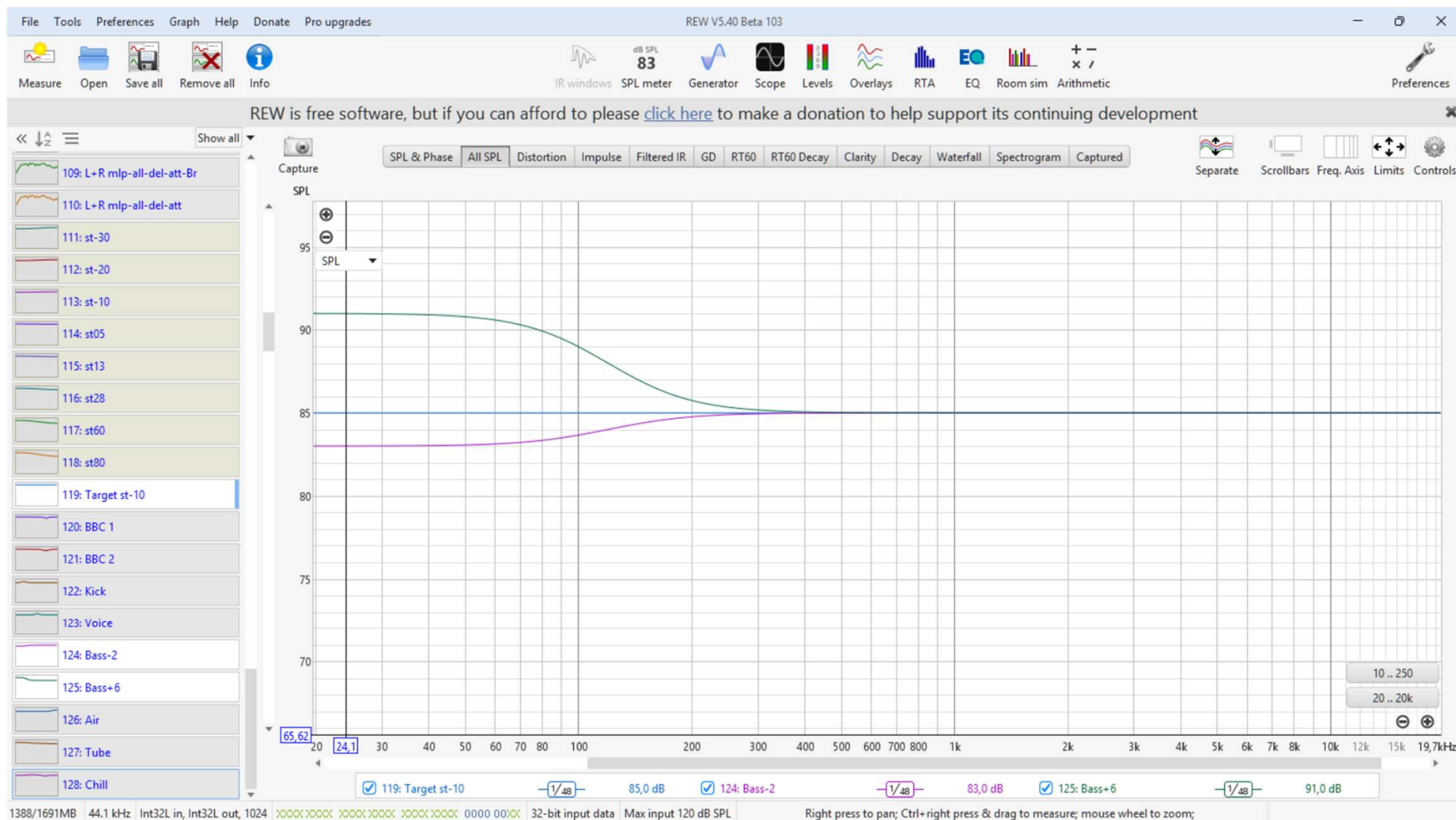
Workflow Teil 6

Beim Hören meinen Traumklang finden

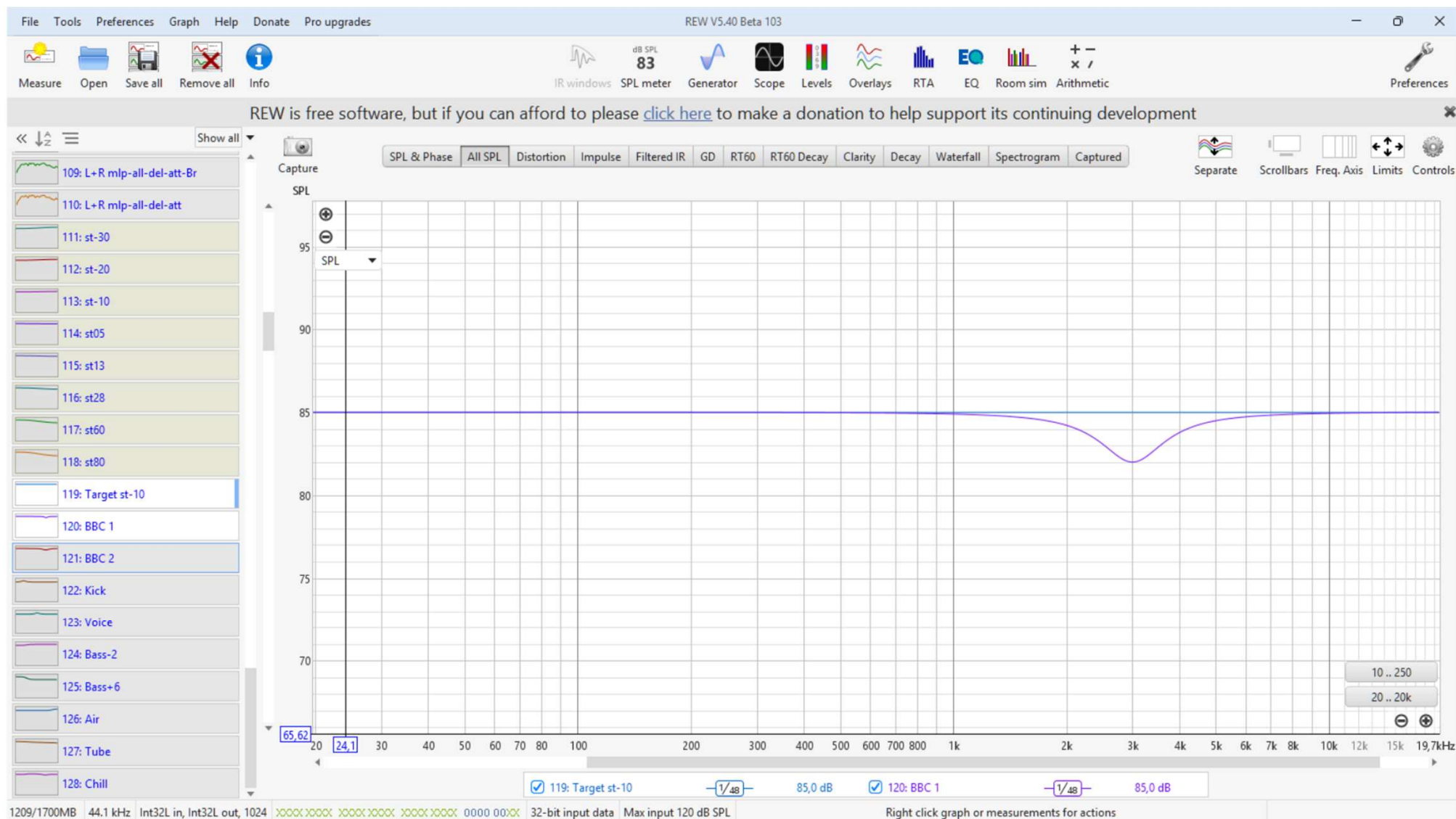
Audiophiles Musicwonder Voicing

- Neben einer Zielkurve kann auch ein Voicing festgelegt werden, das den Klang zusätzlich feiner einstellt.
- Wir haben eine Bibliothek von Musicwonder Voicings entwickelt, die weiterentwickelt wird und offen ist.
- DIY-Entwickler können solche Voicings auch selbst ergänzen.
- Ein Musicwonder Voicing wird ebenfalls per Klangregler beim Hören unterbrechungsfrei in feinen Schritten eingestellt (typisch: 30 Stufen).
- Im Folgenden werden die zurzeit vorhandenen Voicings kurz vorgestellt.

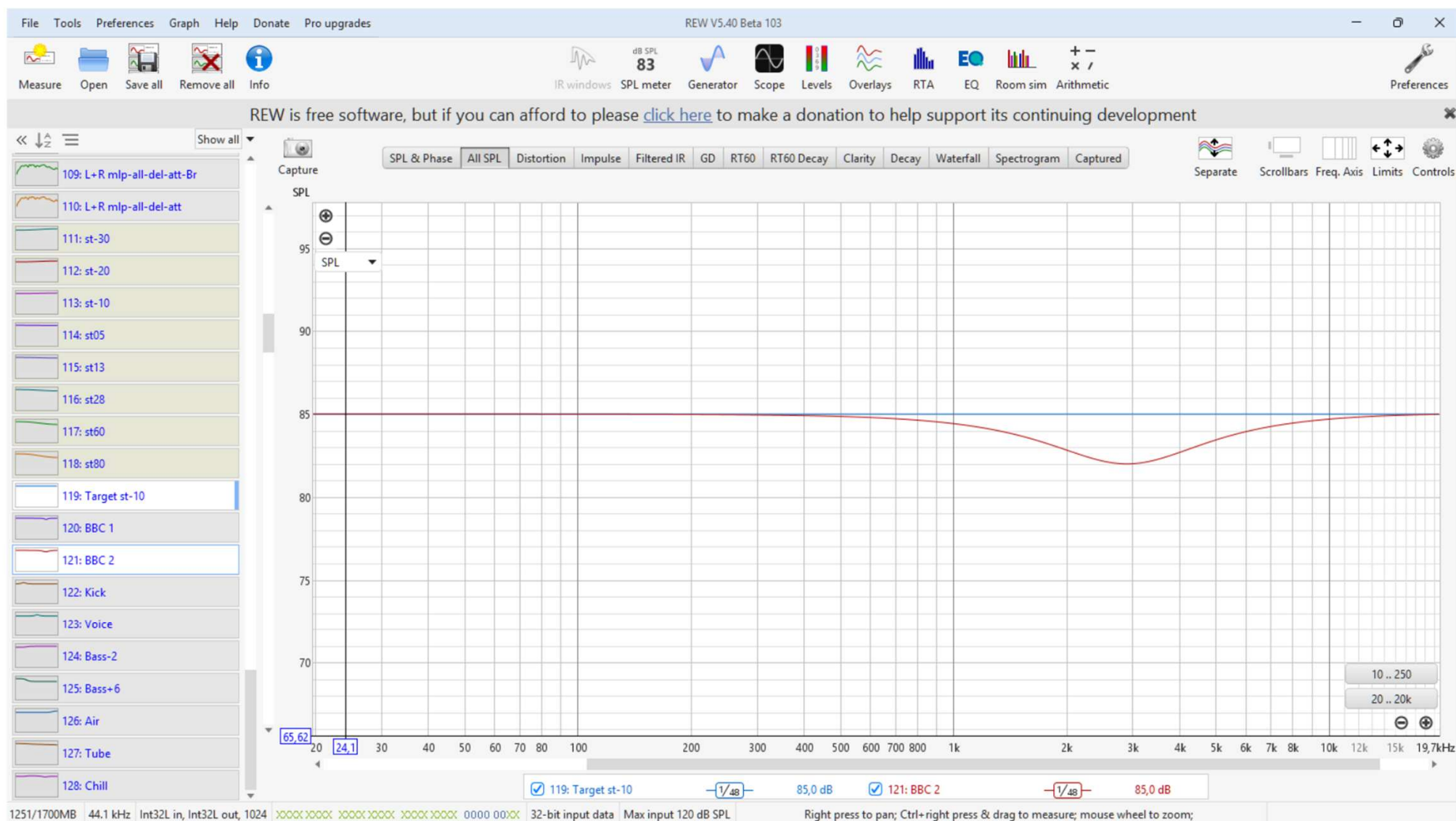
Bass – 80 Einstellungen



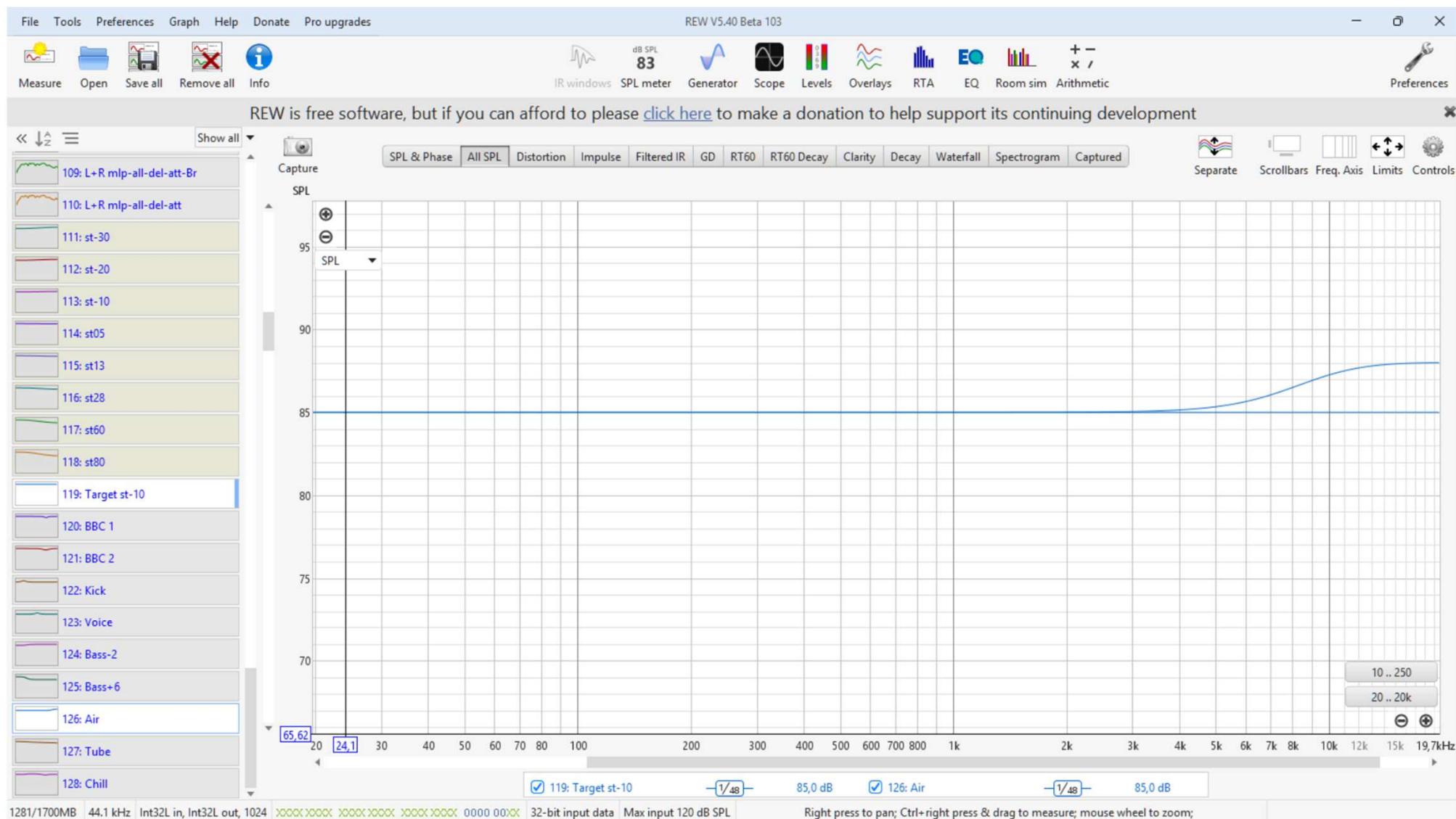
BBC 1 – 30 Einstellungen



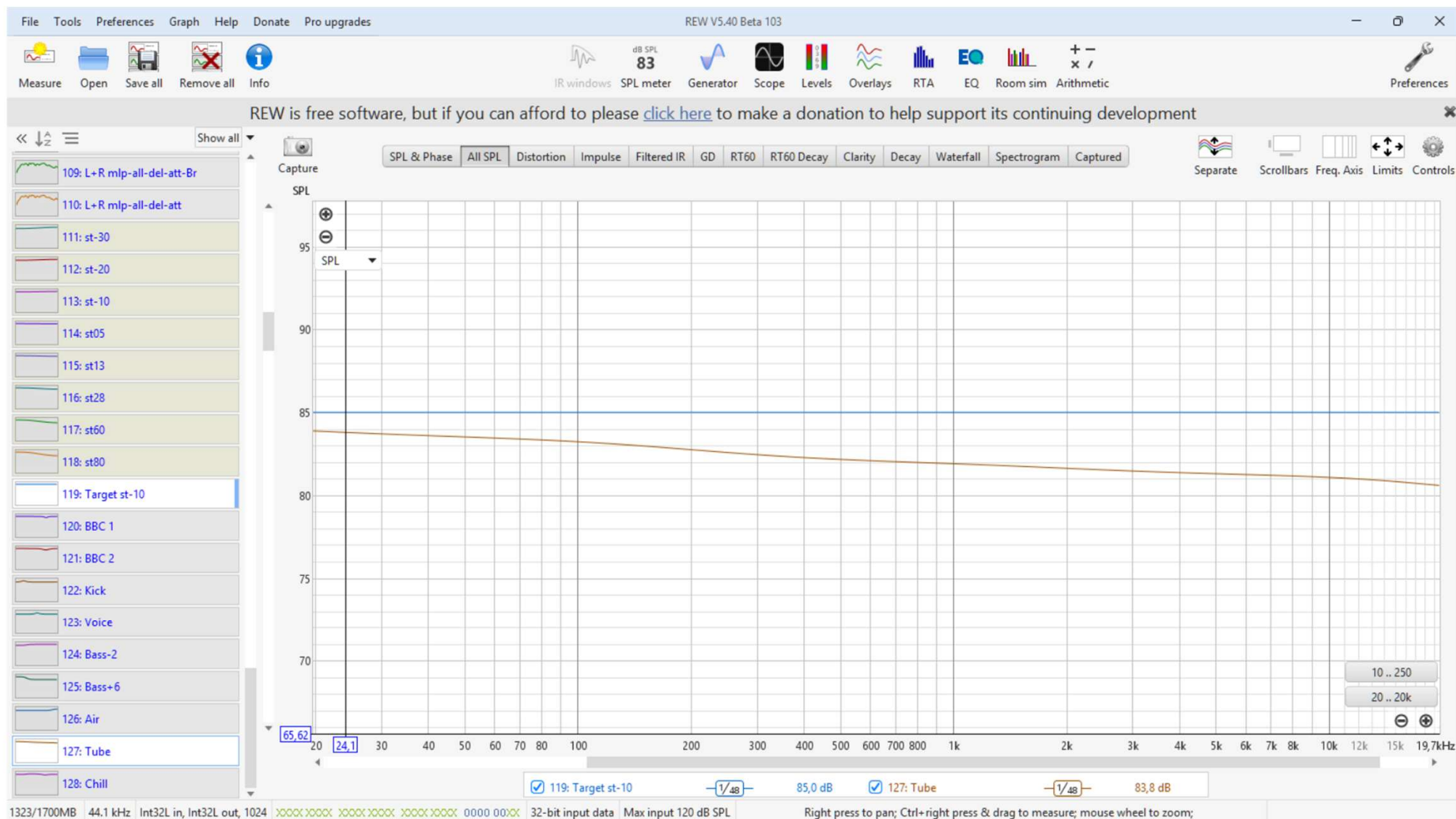
BBC 2 – 30 Einstellungen



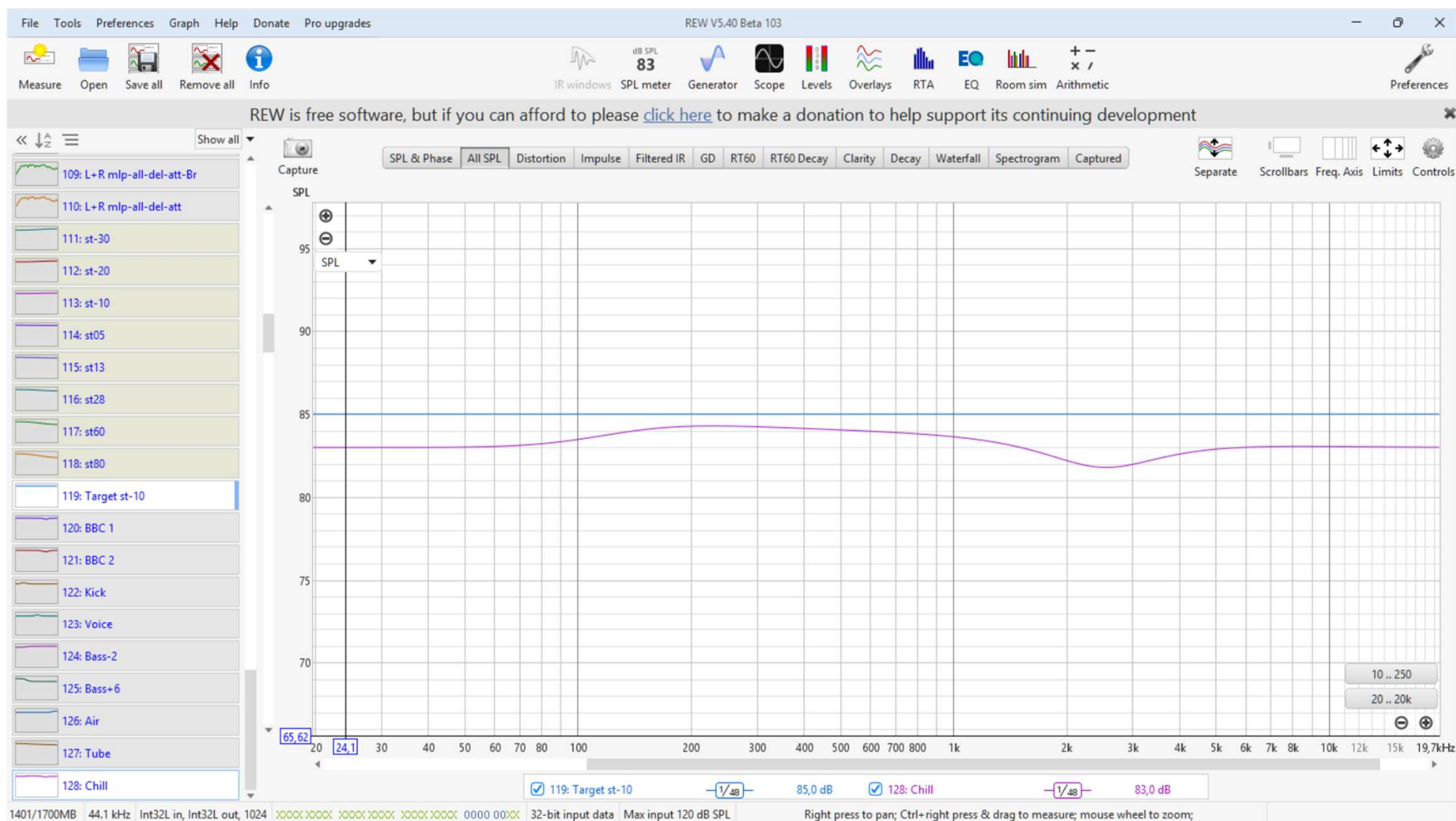
Air – 30 Einstellungen



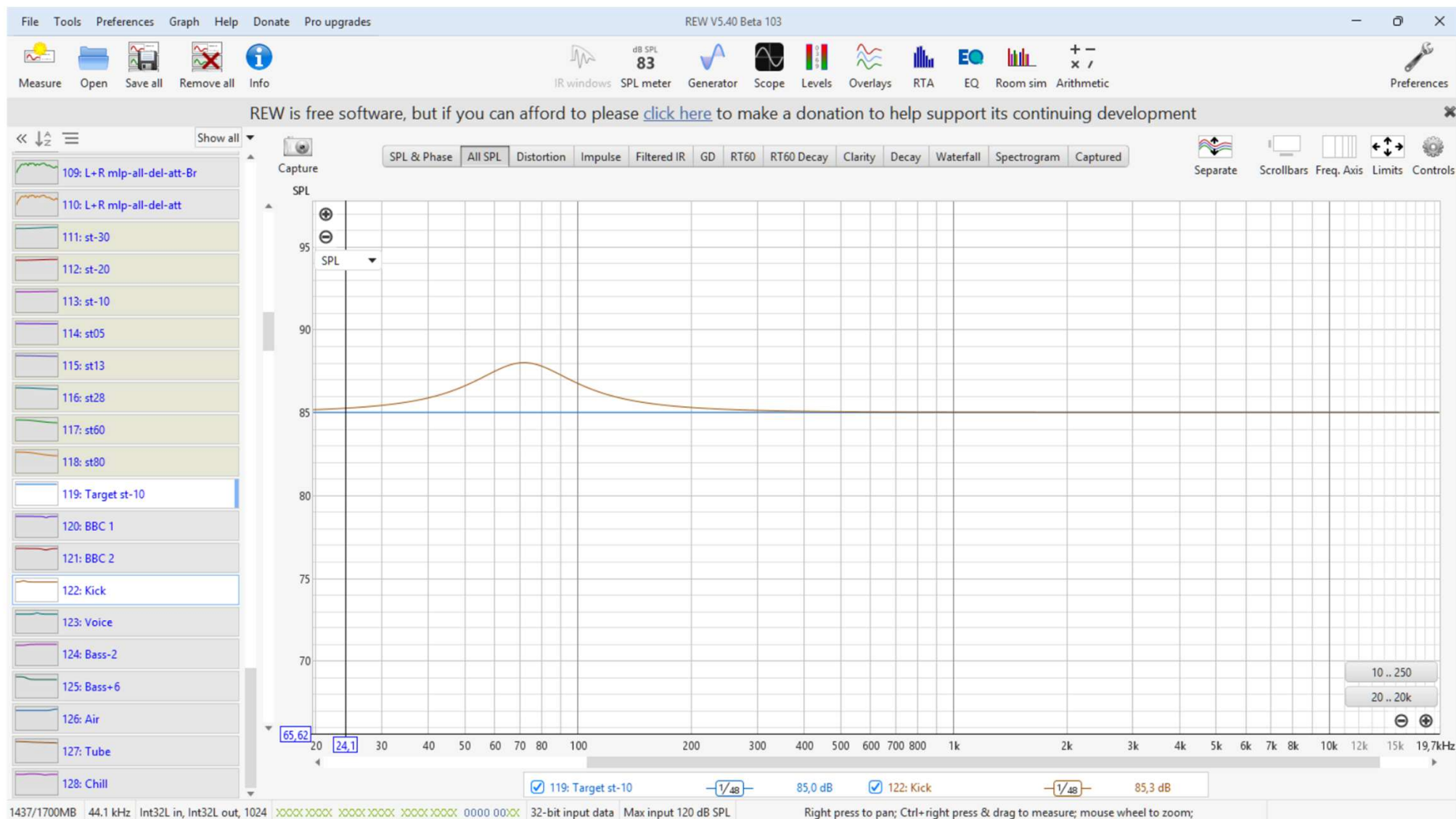
Tube – 30 Einstellungen



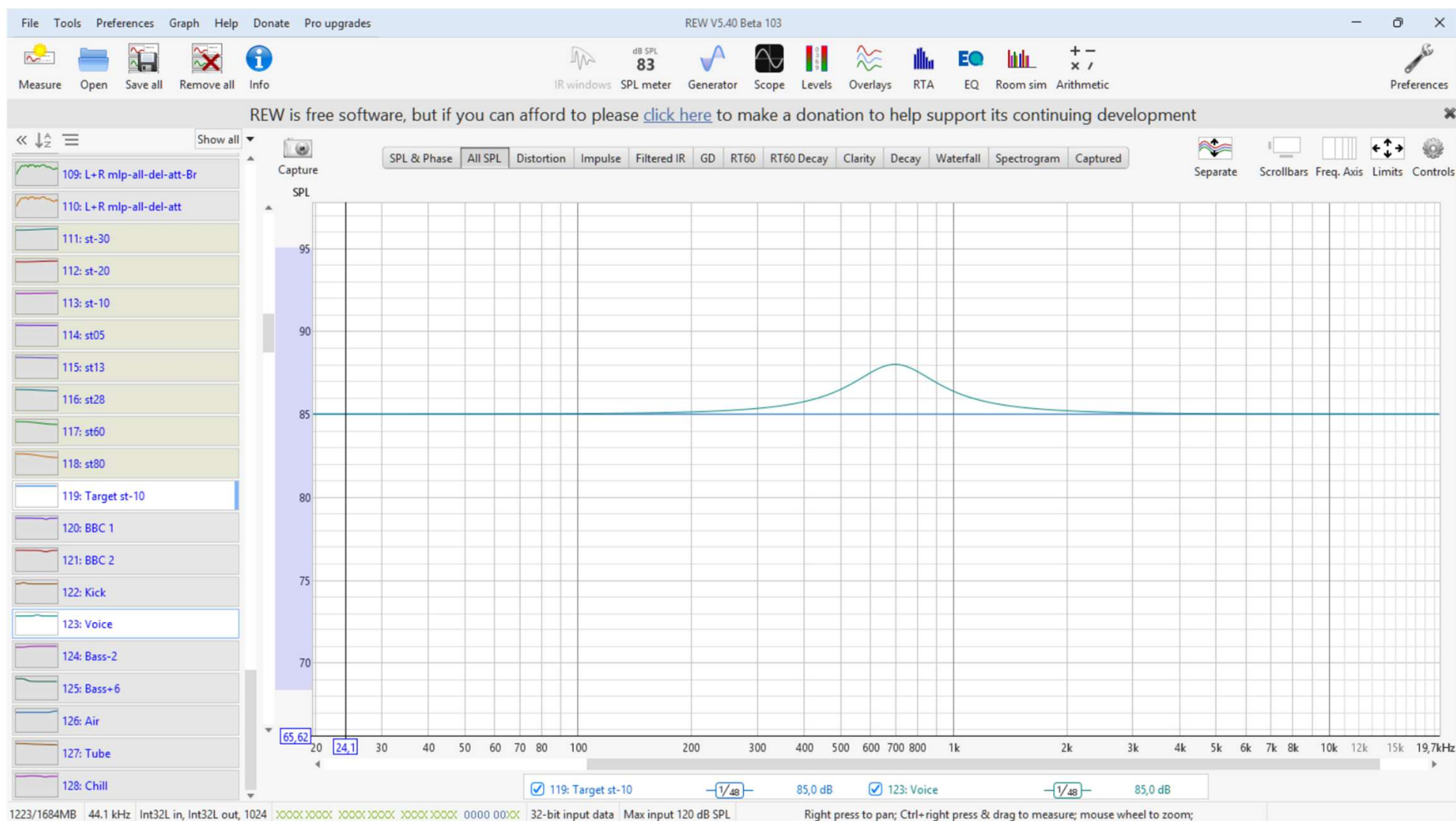
Chill – 30 Einstellungen



Kick – 30 Einstellungen



Voice – 30 Einstellungen



Abschließende Bemerkungen

- Wir freuen uns, wenn mehr DIY-Begeisterte mit FIR-Filtern arbeiten. Es macht Spaß und hebt enorm viel Potenzial.
- Noch wichtiger ist uns das Ziel, Musik so zu hören, wie sie uns bewegt.
- Für reine Musikhörer ist es heute möglich, den Klang ihres Systems selbst beim Hören nach ihrem persönlichen Geschmack sehr fein einzustellen.
- Letzteres ist bereits ein möglicher, sehr einfacher und schneller Einstieg in die Nutzung von FIR-Filter.
- In diesem Fall wird ein passives System mit einer FIR-BoxX Fullrange und ohne Basisfilter angesteuert und nur per Zielkurve und Voicings klanglich getunet.

Abschließende Bemerkungen

- Dieses Dokument ist sicher nicht vollständig oder fehlerfrei.
- Der vorgestellte Workflow ist Ergebnis vieler Forschungen, Experimente, Entwicklungen und Programmierungen der vergangenen Jahre.
- Wir arbeiten ständig an Verbesserungen in allen Bereichen.
- Wir sind offen für Verbesserungsvorschläge, konstruktive Kritik, alternative Ansätze und probieren gerne Neues aus.
- Wir stellen unser Wissen der DIY-Community zur Verfügung stellen und unterstützen dabei, dass immer mehr Musikliebhaber zu schöneren Hörerlebnissen kommen.
- Wir freuen uns auf eure Projekte, Erfolge und Austausch.

Vielen Dank

Bidjan Tschaitschian

bidjan@tschaitschian.com