

Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten

Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten.

Teil 5: Kalibrierung Impedanzmesskopf und Messung realer Instrumente

Projektstand per 24.11.2024, Revision 20.0

Die aktuellste Version dieses Dokuments finden Sie auf der Projektseite:

<http://www.preisl.at/brassissima/>

Begleitende Dokumentation zum Projekt / Thema.
Development, Work, Calculation and Copyright:



(="Brass Instrument Scanning System – Impedance Measurements & Analysis")



Hermann Preisl

Altwaidhofen 45
3830 Waidhofen/Thaya, Austria

brassissima@preisl.at

P.S.: Wer systematische Fehler, Schwachsinn oder falsche Behauptungen findet:

Bitte diese **nicht !!** behalten,
sondern bitte um kurze Info an mich, das hilft mir sehr weiter, danke!

Inhalt Teil 5:

Fehlersuche vorhandener Meßkopf und Audio D/A A/D Wandler – Soundkarte	3
Messkopf Aufbau, neuer Lautsprecher	
Erarbeiten eines angepassten Anregungs-Signals	4
Vorbereitungen für die Messungen	5
Abweichungen mit verschiedenen Lautstärke Pegeln	6
FFT Einstellungen	6
Anregungssignal, Meßkopf Kalibrierung – anregungsseitig – Stand 2018	7
Unkorrigiertes lineares Chirp-Signal, 1. Korrektur und Anpassungen	
Logarithmisches Signal für tiefe Frequenzen	11
Kombiniertes, zusammengesetztes Anregungssignal	15
Anzahl Mittelungen / Messdauer	16
Keulen-Problem mit 8192 Samples, Vergleich Fenster / Mittelungen	
Flimmern mit 16384 Samples, Spikes	19
Log. Anregungssignal, Meßkopf Kalibrierung – Änderungen – Stand 9/2023	21
Mundstück = Helmholtz-Resonator und die Wirkung auf die Kapillare:	24
Rechnerische Korrekturen der Roh-Messungen:	27
Die „Today“- Artefakte	
Masse-Effekte / mechanische Rückkopplung – (als Option)	
Volt nach Akustisch MegaOhm – Faktor Grob Skalierung	
Kalibrierungsvarianten und ihre jeweiligen Vor- und Nachteile	30
Kalibrierung mit Hilfe eines einseitig geschlossenen, 2935mm langen Zylinders	
Var. A: Kalibrierung anhand Peak – Hüllkurve (bisher verwendet)	
Var. B: 2 Stufige Kalibrierung anhand der ermittelten Wave-Impedanz	36
Var. C: „Simple“ Kalibrierung	41
Reihenfolge Korrekturen und Kalibrierung, Fehlerkontrolle	44
Überlegungen, wie die Pitch-Abweichungen weiter reduziert werden können:	45
Part 1:	
Kurven-Glättung mit gleitendem Durchschnitt	45
Savitzky-Golay Filter zum Glätten von Messdaten	46
Vergleich der Glättungsverfahren und Auswirkungen auf die Ergebnisse	47
Part 2:	
Fehlerfall quantisieren	55
FFT-Auswertung – um statistische Daten und Module ergänzt	57
Statistische Funktionen und Fehlerkorrektur - Fazit	62
Impulse-Response Auswertungen - Zeitbereich:	63
Notizen Eliott, IR, Autocorrelation, Complex Cepstrum, Real Cepstrum	64
Meine Implementierung - Phaseninformation fehlt wegen FFT Mittelung	67
Unvollständige und falsche Impedanzdaten verschlechtern die Ergebnisse	
IR Messergebnisse bei Rohren systematisch um 1 % zu lang (Verluste).	69
Implementierte Korrektur der Zeit/Länge (Schallgeschwindigkeit)	
Oversampling Faktor entscheidet über IR Glättung, Länge / Zeit, Fazit	70
regelbares „Fade out“ ab 1500 Hz bis 2756 Hz verbessert die Ergebnisse	71
Die Reihenfolge der FFT-Mittelung und Auswertung, Weiterverarbeitung	72

Physische Messungen, Anregungssignal, Meßkopf und FFT-Messungen

Fehlersuche vorhandener Meßkopf und Audio D/A A/D Wandler - Soundkarte

Die vorangegangenen Versuche haben ca. 3 Monate Hobby-Zeit in Anspruch genommen. Weitere 3 Monate war ich mit der Fehlersuche bei den FFT-Messungen beschäftigt. Die Messungen waren ungenau und wurden zunehmend immer schlimmer. Es bildeten sich nicht akzeptable Ausreißer. (Hierzu gibt es eine interne Dokumentation).

Der entgültige Fehler lag am Lautsprecher im Impedanz-Meßkopf, der nach zahllosen Versuchen bei der Fehlersuche (verschiedenste Soundkarten, Kabel, Anregungssignale, andere FFT-Fenster, andere FFT Auflösung, etc.) letztendlich komplett den Dienst quittiert hat und nach ein paar Minuten plötzlich komplett stumm blieb. Die Dokumentation über diesen Zeitraum erspare ich meinen Lesern, diese wurde intern ausführlich dokumentiert.

Es ist also an der Zeit, den Meßkopf und die ganze Meßprozedur neu einzurichten. Da ein anderer Lautsprecher verwendet wird muß auch das ganze System neu kalibriert und angepasst werden. Im Verlauf der Fehlersuche ergab sich, dass eine andere Verteilung von Zero-Paddings und Samples bei der FFT-Messung bessere Ergebnisse liefern würde als die bisher verwendete. Erkenntnisse aus Part 3 wurden reverse mit eingearbeitet, vor allem Glättungsfilter und statistische Fehlerkorrekturmöglichkeiten.

Messkopf Aufbau, neuer Lautsprecher, neues Anregungssignal

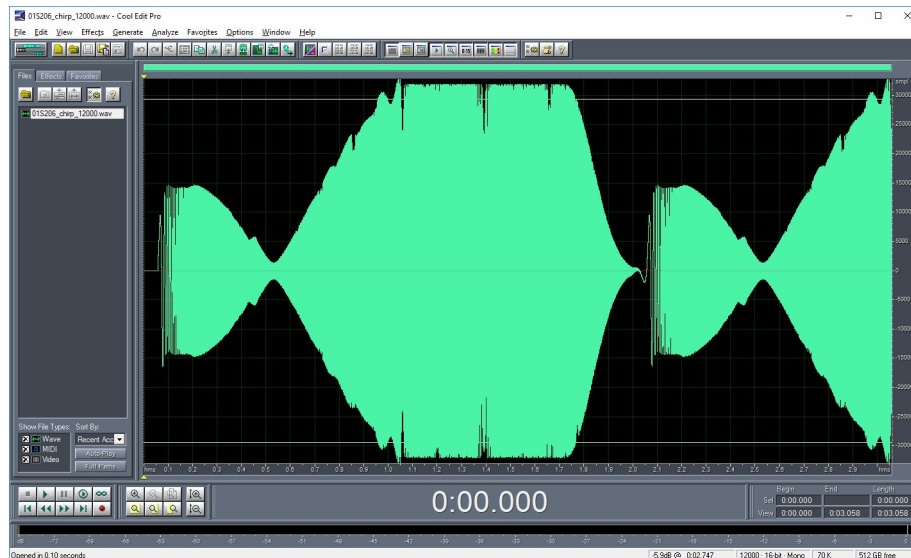


Links Lautsprecher, Rechts: Kontroll Mikrophon und Kapillare, unten Meß-Mikro



Der alte Lautsprecher war ca. 13 Jahre lang im Einsatz, ebenso die bisher verwendete Soundkarte Creative Audigy. Es wurde daher auch die Soundkarte gegen eine Creative Audigy2 ZS getauscht. Andere getestete Soundkarten und auch externe USB D/A Wandler waren entweder unbrauchbar (Frequenzgang mit Lautstärke, hoher Rauschanteil, Pegel allgemein), oder brachten keine Fortschritte gegenüber der Audigy2 ZS.

Der neue Lautsprecher hat in etwa die selbe Dimension wie der bisherige, hat aber eine etwas größere Spule und völlig andere Eigenresonanzen in Verbindung mit der Lautsprecher Druckkammer. Das Anregungssignal muß daher an diese Eigenresonanzen angepasst werden. Auch z. B. beim Bias© Meßkopf ist das Anregungssignal „angepasst“.



Anregungssignal, daß bei der Bias 7© Enterprise Demo Version mitgeliefert wird. Ein lineares Signal; der BIAS© Meßkopf hat eine deutliche Resonanz bei rund 1500 Hz.

Erarbeiten eines angepassten Anregungs-Signals:

Der Audio Editor CoolEdit Pro 2.0 erlaubt das erstellen von Sweep Signalen. Dabei wird eine Wave Datei mit einem Start und Stop Wert von 1 Hz-2765 Hz und einer von mir definierten Länge von 5944 ms erzeugt. Diese erzeugte Datei hat jede Frequenz von 1-2756 Hz in der selben Intensität enthalten, es ist ein lineares Signal.

CoolEditPro kann die generierte Sweep- / oder „Chirp“ - Datei als normale Text Datei abspeichern, diese kann ich anschließend in Excel importieren, bearbeiten und wieder als Text Datei exportieren und mit Cool Edit Pro abspielen/wiedergeben.

Die Sampling Rate beträgt 11025 Hz, was eine maximale obere Frequenz von 5512 Hz erlaubt. Das lineare Signal hat in meinem Fall also die Hälfte des verfügbaren Frequenzraumes. Die gemessenen Resonanzen von Blechblasinstrumenten reichen von ca. 50 Hz bis etwas unter 2000 Hz.

Pro Sekunde Signal ergeben sich 11022 Amplitudenwerte = (Zeilen); 65532 Werte (Zeilen) sind der maximale Wert, den Excel 2003 verarbeiten kann, daher die gewählte Länge des Signals von $11.022 \times 5,944$ Sekunden = 65.532 Werte.

Die Bit-Tiefe / dynamische Auflösung beträgt 16bit, d.h. jeder Wert/Zeile kann einen Amplitudenwert im Bereich von -32.768 bis + 32.768 erhalten. (65536 Werte = 2^{16}).

Als Dynamik-Beschreibung kann auch dB (Dezibell) verwendet werden.
-0 dB entsprechen hier 100% bzw einem Maximalwert + oder -32.768.
Hier wird allerdings int „Terms of Soundpressure-Level SPL“ =
Newton/m² = 20 Micropascal gerechnet:

$$10 ^ {(\text{deziBell} / 20)} = \text{Faktor}$$

$$20 * \text{Log10}(\text{Faktor}) = \text{dB}$$

16bit können also eine Dynamik von max. -96 dB abbilden (0 Wert zu Maximalwert).

Vorbereitungen Messungen:

Die verwendete Soundkarte (Digital/Analog Analog/Digital-Wandler) erlaubt einen Full Duplex Betrieb, d.h. sie kann gleichzeitig Audio-Dateien abspielen und auch gleichzeitig über ein Mikrophon aufnehmen, in diesem Fall vom Kontroll-Mikrophon im Meßkopf. Der Mikrophon Eingang wurde auf 100% gestellt, der std. mäßige +20dB Mikrophon Verstärker abgeschaltet. Lautsprecher Konfig. auf 2.1, alle Effekte aus. Wiedergabe Mixer Wave 100%, alle anderen stummgeschaltet. Es entsteht kein Clipping.

Der analoge Ausgangspegel dieser Soundkarte ist hoch genug, um den Lautsprecher leistungsstark genug anregen zu können. Die Creative Mixer Software erlaubt das Ablesen der Mixer-Pegelstände in dB Werten.

100% Wiedergabe entsprechen	-0 dB	
90%	-3 dB	
80%	-6 dB	= entspricht einer „Halbierung“ der Lautstärke
70%	-9 dB	
60%	-12 dB	
50%	-15 dB	

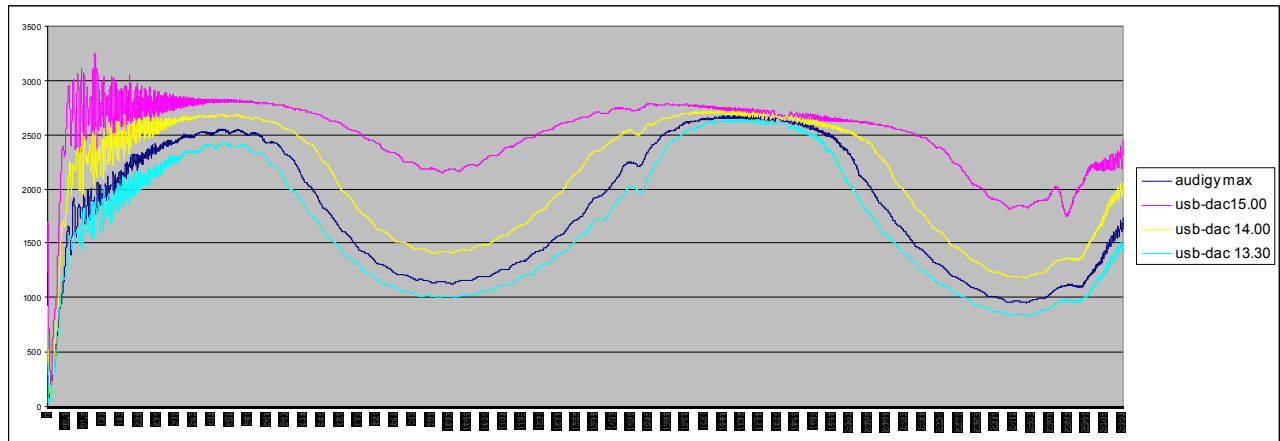
Für die 1. Kontroll Messung habe ich als Wiedergabe -6dB gewählt, weil im folgenden Schritten große Bereiche weiter verstärkt, andere aber abgeschwächt werden müssen. Weitere Messungen werden dann jeweils mit exakt -3 dB (90%) durchgeführt. (2018)

Alle Pegel mit -0 dB (100%) logarithmisches Signal Stand 9/2023.

Damit es nicht zu Übersteuerung/Clipping kommt.

Abweichungen mit verschiedenen Lautstärke Pegeln:

Wichtig in diesem Zusammenhang ist eine Abklärung und Einschätzung, wie stark der Lautsprecher -Verstärker, als auch der Lautsprecher selbst und das Meßmikrophon – also das Gesamtsystem bei unterschiedlichen Pegeln abweichen.



Diese Grafik stammt noch von alten Vergleichen mit dem „sterbenden“ Lautsprecher, hier mit einem angeblich „hochwertigen“ USB – DAC, der allerdings bei zu hoher Verstärkerleistung stark abweicht, ebenso die alte Lautsprecher Resonanz – um 1800 Hz, wo die Lautsprecherresonanzen die das System am meisten beeinflussen. Die Audigy 2ZS weicht glücklicherweise bis -3db Pegel (90% Mixer Wiedergabe) kaum ab.

FFT Einstellungen

Die FFT-Messungen führe ich mit der Software FFT-Properties 3.5.b233 durch. Folgende Einstellungen werden verwendet:

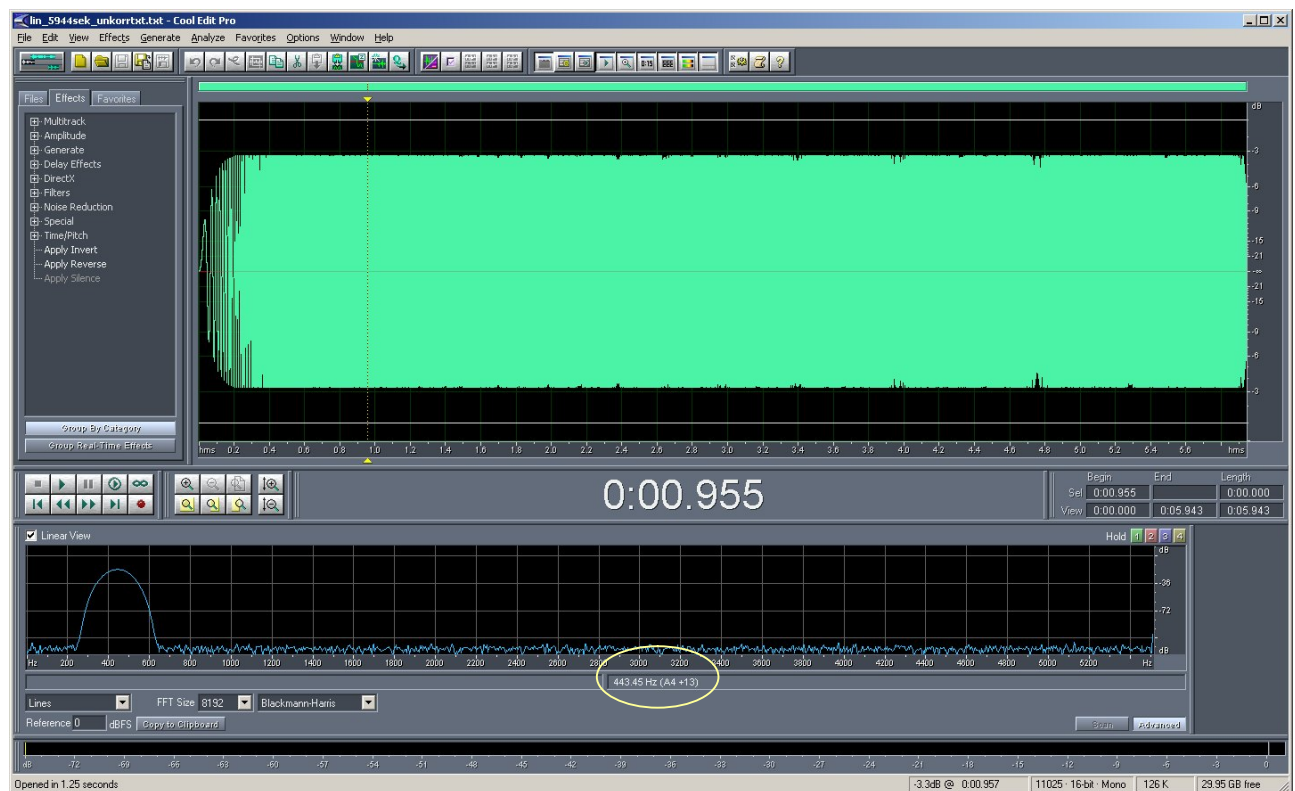
	bisher:	bleibt gleich:	neu ab Okt. 2018: ab Sept 2023:	
Sampling Frequenz:		11025 Hz		
Dynamic		16 bits		
Buffers		2000 ms		
Channel		Kanal 1		
Frames pro Sek.		10 = Anzeigeaktualisierung Display		
DC-Dump on record		ja		
Zero padding:	8		4	8
Window:	Kaiser, 40 dB Sidelobe att.		Hanning	Hanning
Averaging:	infinite Peak hold		Peak Hold, 600 Averages	
Samples:	8192		16384	8192

ergibt Total Sampling Time: 5,944 Sek.

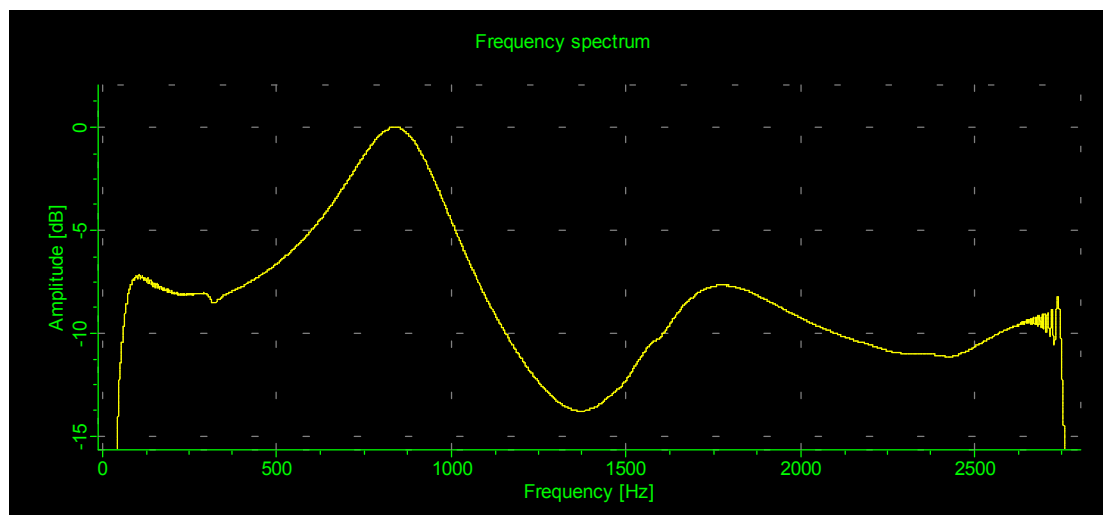
ergibt FFT-Resolution: 0,168 Hz = 32.768 Zeilen bis 5512 Hz. (16.384 bis 2756 Hz)

Generell habe ich alle möglichen Fenster-Versionen getestet, mit Hanning Fenster wurden insgesamt die mit Abstand besten Resultate für diesen Zweck erreicht.

Unkorrigiertes, generiertes lineares Sinus Sweep-Signal



Das 1. generierte unkorrigierte lineare Anregungs-Sweep-Signal, 1-2756 Hz, Amplitude - 3dB, nur der Beginn wurde mit einem „Fade-in“ versehen, ist nun für die 1. Messungen mit dem Kontroll-Mikrophon im Meßkopf bereit. (Der Cursor steht bei ~ 443 Hz)



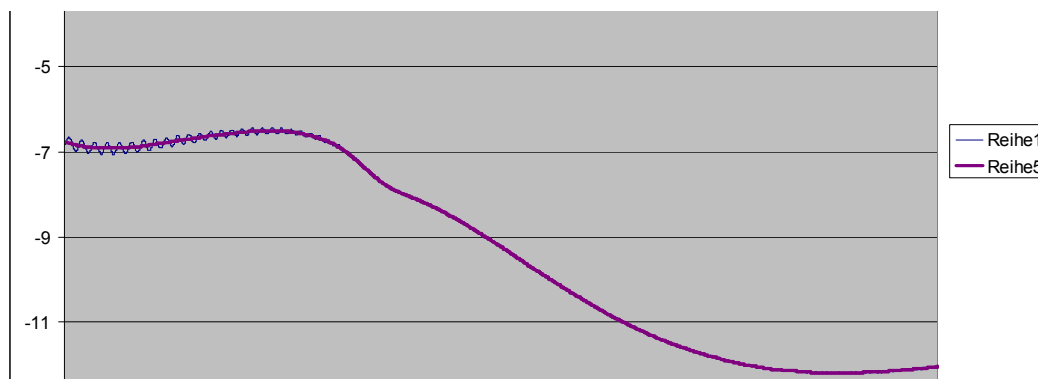
Die erste Messung mit linearem Signal ergibt folgende Messkopf-Resonanzen: Ein „Rattern/Flimmern“ von 200-300 Hz, eine 2. dominierende breite Resonanz um 800 Hz, eine 3. kleinere Resonanz um 1800 Hz.

„Anti“-Resonanzen befinden sich rund um 400 Hz, **1400 Hz**, sowie 2400 Hz. Ziel ist es nun die Resonanzen abzuschwächen und die Antiresonanzen zu verstärken, um ein möglichst lineares System zu erhalten. Amplitude in logarithmischer Scala, es sind ca. 13 dB Dynamik Korrektur notwendig!

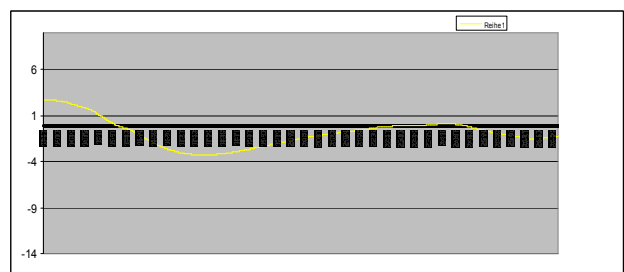
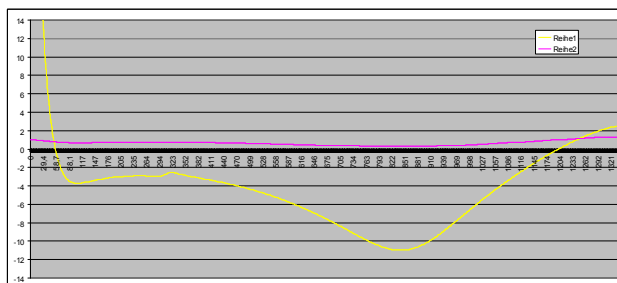
FFT Prop. erlaubt es, die Amplituden Daten in eine Ascii TXT Datei zu exportieren, ebenso die Peak Markierungen. Für die Korrektur wird die dB Skalierung verwendet, da das Signal ja auch mit dB exakt manipuliert werden kann. Excel kann diese Datei importieren.

In Excel wird jetzt das unkorrigierte Anregungssignal mit der gemessenen Amplitude korrigiert:

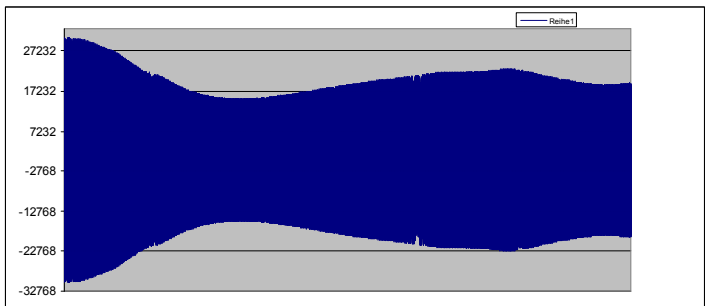
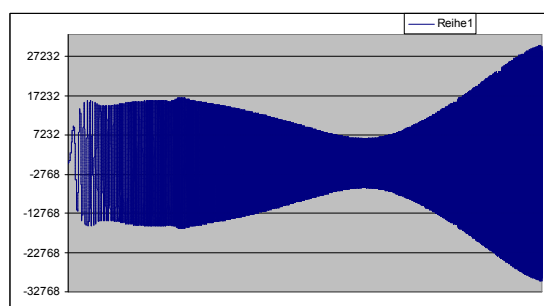
Die Frequenz Auflösung der FFT-Messung beträgt 0,168 Hz, = 16.384 Werte/Zeilen
Die Frequenz Auflösung des Signals beträgt das 4fache, 65536 Werte/Zeilen.
d.h. es werden für die Frequenz-Auflösung Mittelwerte berechnet und eingerechnet, um auf 65536 Zeilen zu kommen. Gleichzeitig habe ich eine „Glättungsfilter“ mit gleitendem Durchschnitt mit eingebaut.



Geglättete, auf 4fache Werte erweiterte negative Korr. Kurve in dB.
hier der Bereich ~200-500 Hz



Negativ der Amplitude dient als Envelope, -3db Signal, Korr.+ zus. -11,0db = -14,0 dB.
Der Anfang würde überkorrigiert und wird „angepasst“.



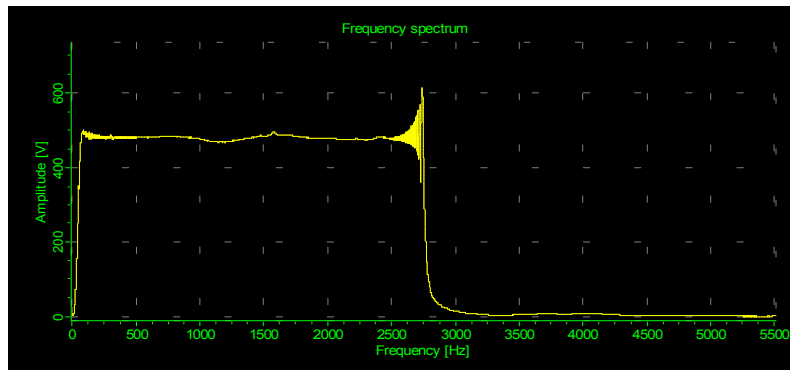
Das 1. korrigierte lineare Signal kann jetzt wieder in eine Ascii Datei exportiert werden und in Cool Edit Pro weiter bearbeitet, als auch abgespielt werden.
Excel kann max. 32768 Werte pro Diagramm anzeigen, daher 2 Diagramme 1-2756 Hz.

Die allerersten von 65537 Zeilen inkl. Header des korrigierten Anregungs-Signales müssen so aussehen: (so sieht eine *.WAV Datei aus) – mit 11,025 KHz:

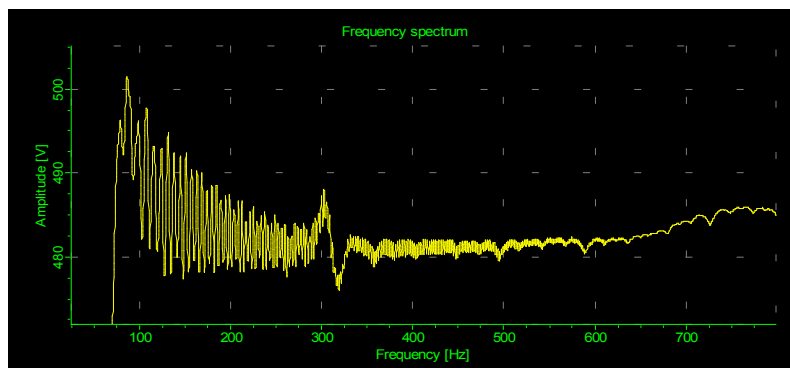
```
SAMPLES: 65532
BITSPERSAMPLE: 16
CHANNELS: 1
SAMPLERATE: 11025
NORMALIZED: FALSE
```

```
0
-2
1
0
```

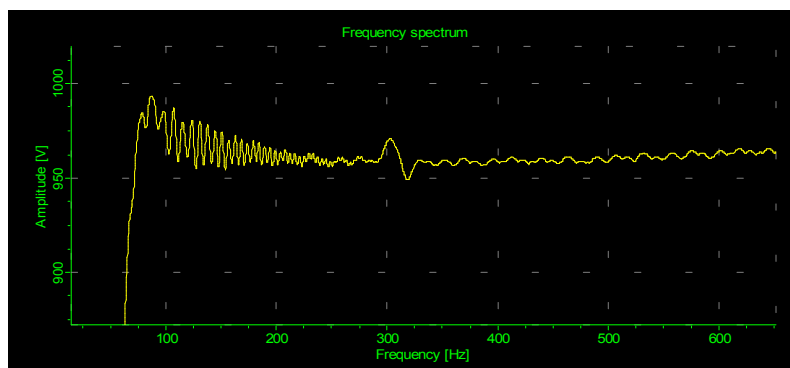
..weiter bis Zeile 65537 (5 Zeilen sind Header)



Messung mit dem linearen Signal nach Korrektur Nr. 1:

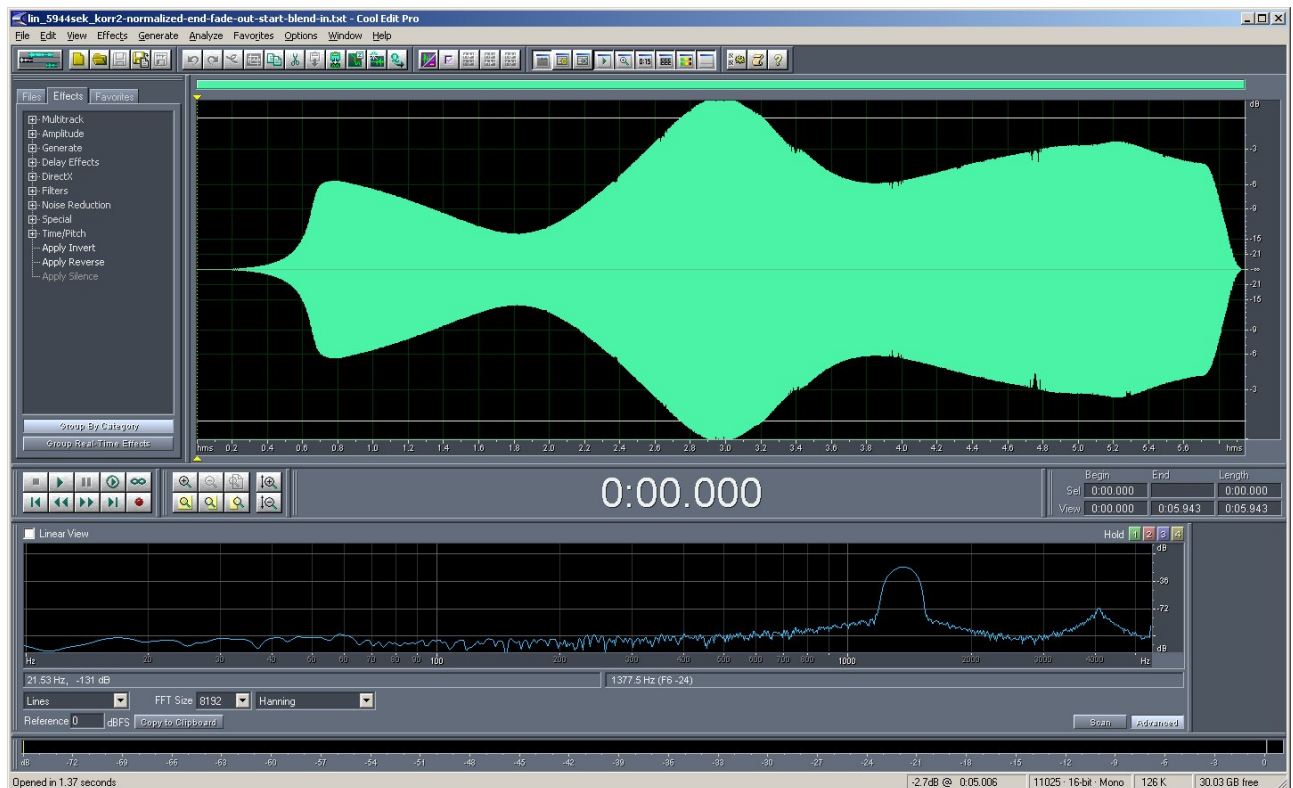


Detail 0-750 Hz mit Hanning Window, Zero Padding 4, 16384 Samples – unbrauchbare Auflösung im tiefen Frequenzbereich.

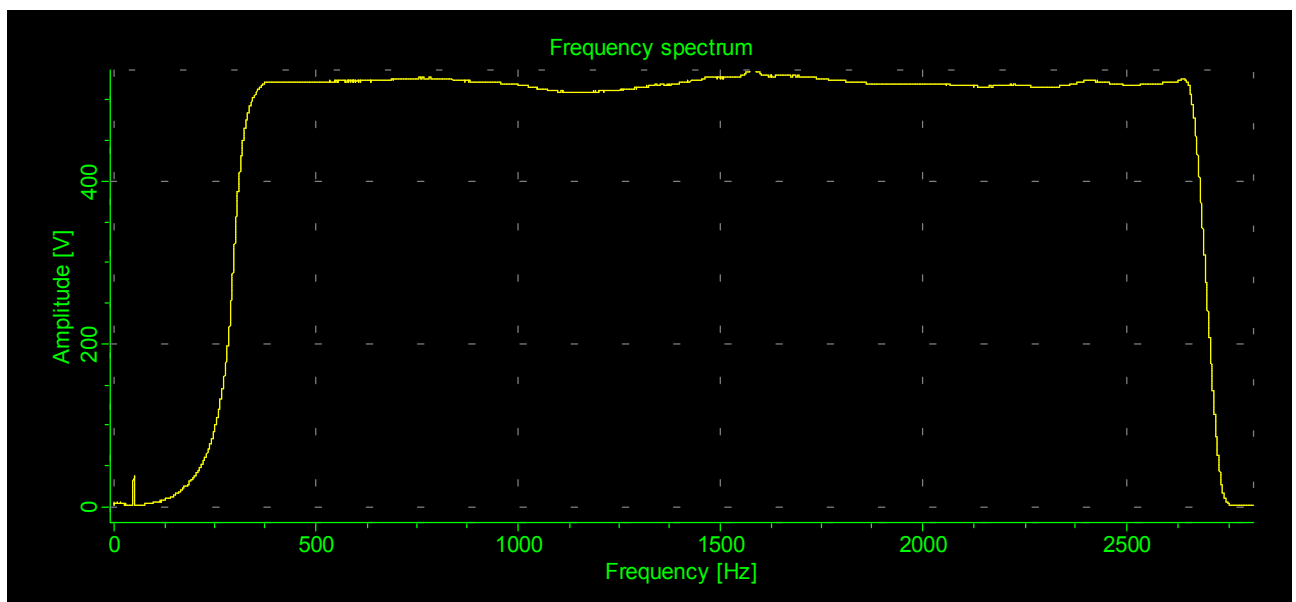


Detail 0-700 Hz mit Hanning Window, Zero Padding 8, 8192 Samples – unbrauchbare Auflösung im tiefen Frequenzbereich.

- Der Lautsprecher kann offensichtlich im unteren Bereich nicht mit der Beschleunigung der Frequenz mithalten.



lineares Anregungssignal nach 1. Korrektur 1-2756 Hz,
zusätzlich Fade-in und Fade-out eingebaut, Amplitude normalized auf -0dB.

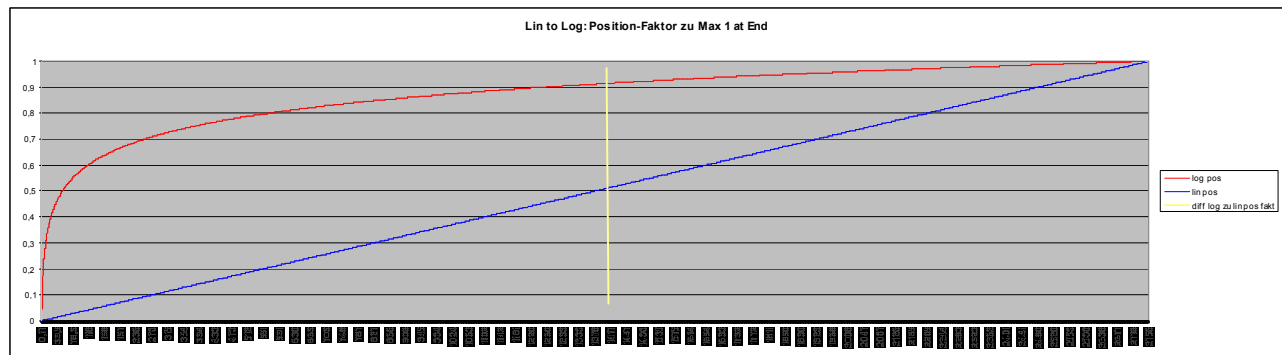


Ergebnis für den linearen Bereich, 400-2650 Hz. Anfang und Ende Fade-in / Fade-out.

Für den fehlenden tiefen Bereich habe ich mich letztendlich für ein logarithmisches Signal entschieden, da Versuche mit einem linearen Signal von 0-689 Hz in ebenfalls 5,944 Sek, zwar eine Besserung brachten, aber nicht ideal waren.

Das Sweep Signal kann auch logarithmisch erzeugt werden, hier haben tiefe Frequenzen exponentiell wesentlich **mehr Zeit und Energie**, höhere dagegen **viel weniger**.

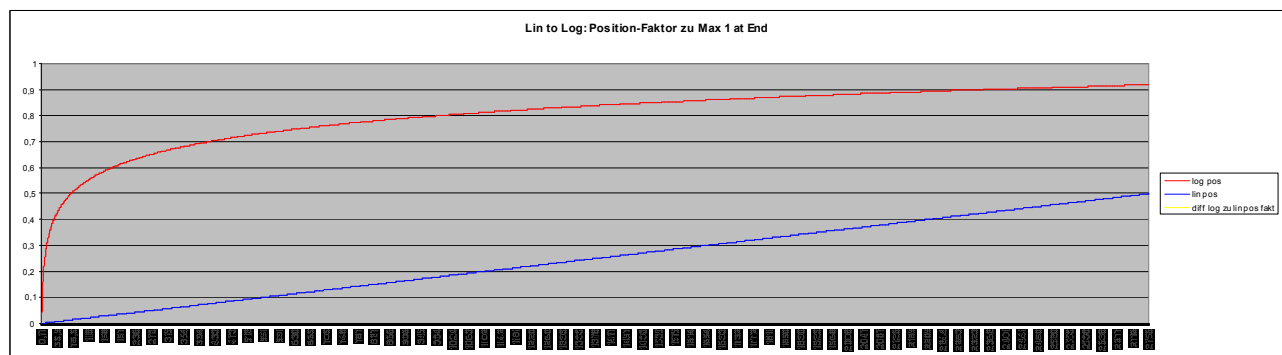
Logarithmisches Signal für tiefe Frequenzen:



Unterschied linear zu logarithmischem Sweep: Frequenz x mit der Zeit y im Signal, Beispiel 1378 Hz = linear nach $0,5 \cdot \text{Zeit}$, logarithmisch nach $0,91 \cdot \text{Zeit}$.

Berechnung einer Skala von linear zu logarithmisch:

Log10 aus 2756 Hz = **3,44027921** = Faktor 1,0 = bei 5944ms = 3,44..
 Log10 aus 1378 Hz = 3,1392... = Faktor 0,9125 = bei 5423ms



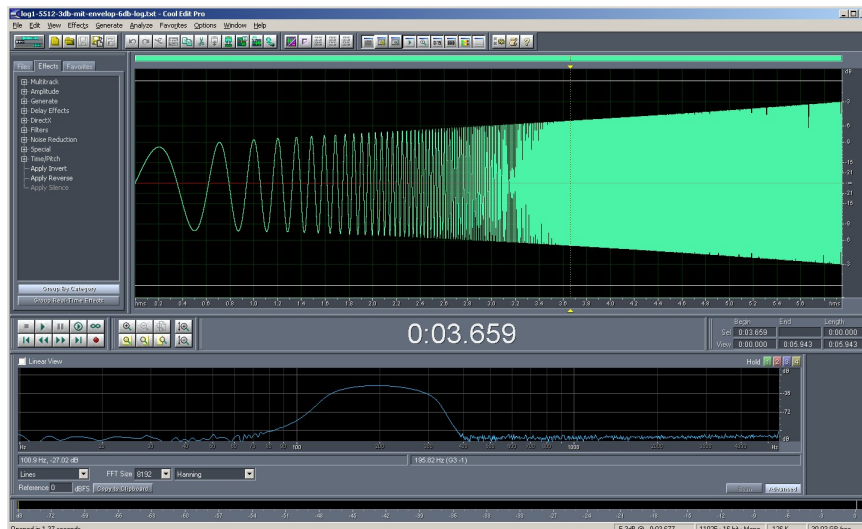
Log10 aus 5512 Hz = **3,741..** = Faktor 1,0 = bei 5944ms = 3,741..
 Log10 aus 1378 Hz = 3,1392... = Faktor 0,84 = bei 4992ms

Für die Umwandlung habe ich eine Skala-Umrechnungstabelle erstellt, damit die Korrekturen an der passenden „logarithmischen“ Zeit-Stelle erfolgen können.

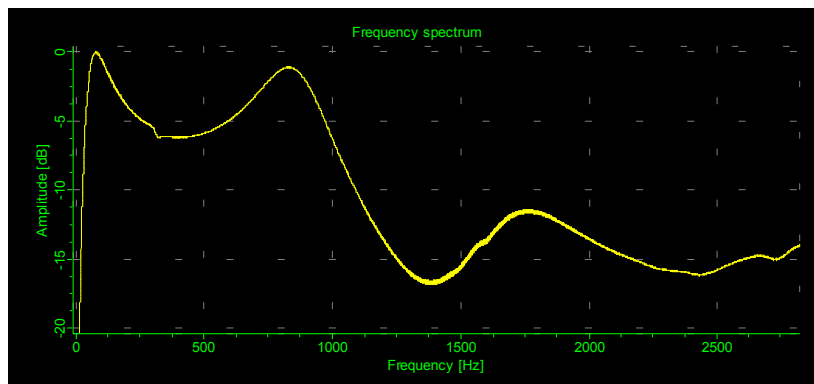
Bei einem linearem Sweep entfällt diese Umrechnung.

Die Hälfte der Zeit (Faktor 0,5 von 5944ms) würde im 1.Fall bis 2756 Hz unter 50 Hz verbraucht, sofern ein Sweep von 1-2756 Hz verwendet wird. Vorteil von logarithmischer Skala ist eine sehr gute Abbildung tiefster Frequenzen, höhere werden exp. schneller „überflogen“. Die absoluten Limits des Mini-Lautsprechers sind allerdings um ca. 40 Hz nach unten, d.h. unter 40 Hz hilft auch eine logarithmische Anregung nicht, dass Signal korrekt wiedergeben zu können – wäre also verschwendete Messzeit.

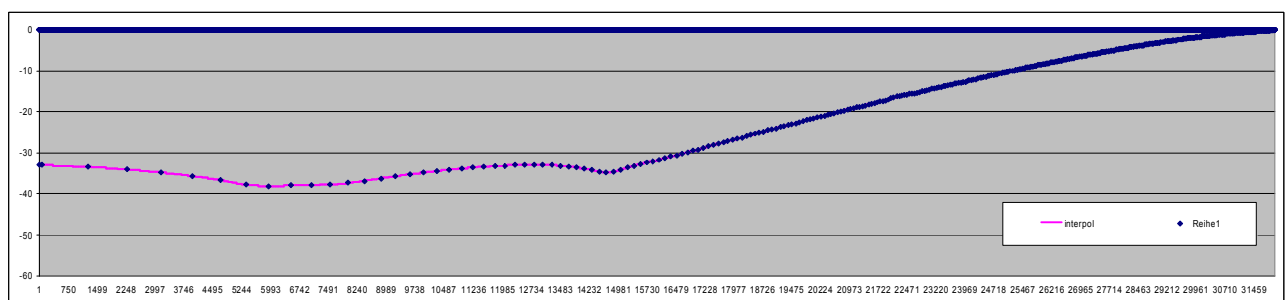
Probleme bereiten allerdings die Frequenzen von 80-300 Hz, deshalb wurde hier eine logarithmische Anregung gewählt, mit dem Unterschied, dass das unkorrigierte Mess-Signal nun von 1-5512 Hz in der selben Zeit 5,944 Sekunden reicht, somit werden werden die Frequenzen in der doppelten Zeit „durchflogen“, die Energie verlagert sich etwas nach oben. Im hohen Bereich ist die Energie zu gering um ein lineares System zu erhalten (Die resultierende Gesamtlautstärke wäre zu gering). Das Messsignal besteht aus diesem Grund aus zwei Teilen. Teil A: 1-800 Hz ist logarithmisch, Teil B: 800-2650 Hz ist linear.



Das 1. unkorrigierte logarithmische Anregungs-Sweep-Signal, 1-5512 Hz in 5944 ms, Der Magnitudenabfall bei logarithmischer Anregung ist 3db pro Oktave, zur Kompensation dazu noch ein Envelope, das am Beginn mit -6db startet und hier ebenfalls – zeitlich-logarithmisch bis -3 dB reicht, somit ist eine etwas kleinere Korrektur möglich. Der Cursor steht bei ca. 200 Hz, rechts sind es 5512 Hz!)

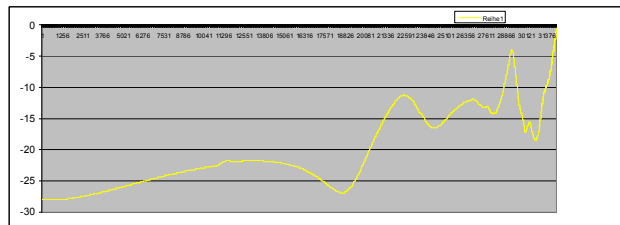
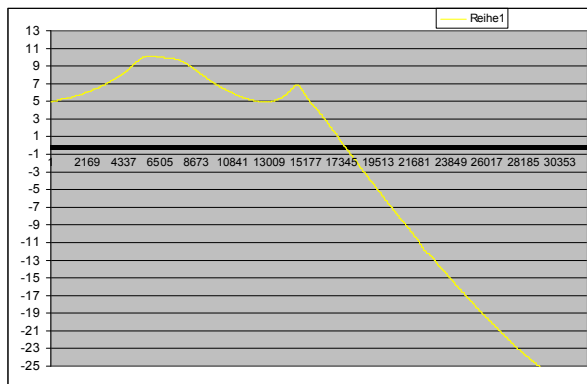


Messung des initialen logarithmischen Signals, Hanning Fenster, Zerо Padding 4, 16384 Samples. – Wesentlich mehr Energie im unteren Bereich, dafür starkes Rauschen und zu wenig Kraft oberhalb 1000 Hz. (Diese werden nicht benötigt und später entfernt.) Es sind bis ca. 1000 Hz aber hier nur ~ 6dB Korrektur notwendig.

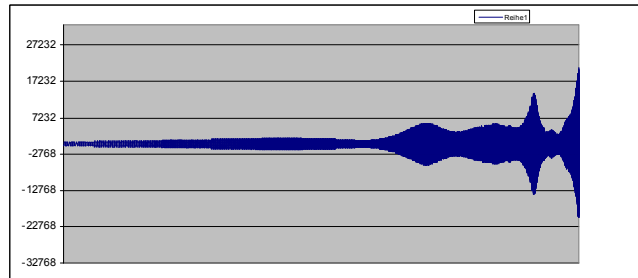
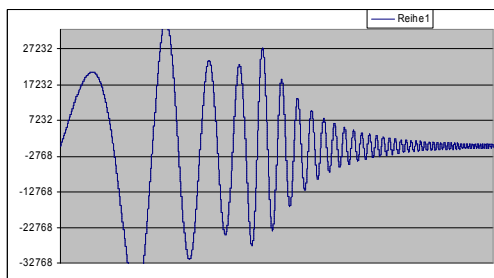


Beginn Zuordnung 1 - ca. 100 Hz lin Freqz. zu logarithmischer Position in der Zeit (beinahe die Hälfte der Daten).

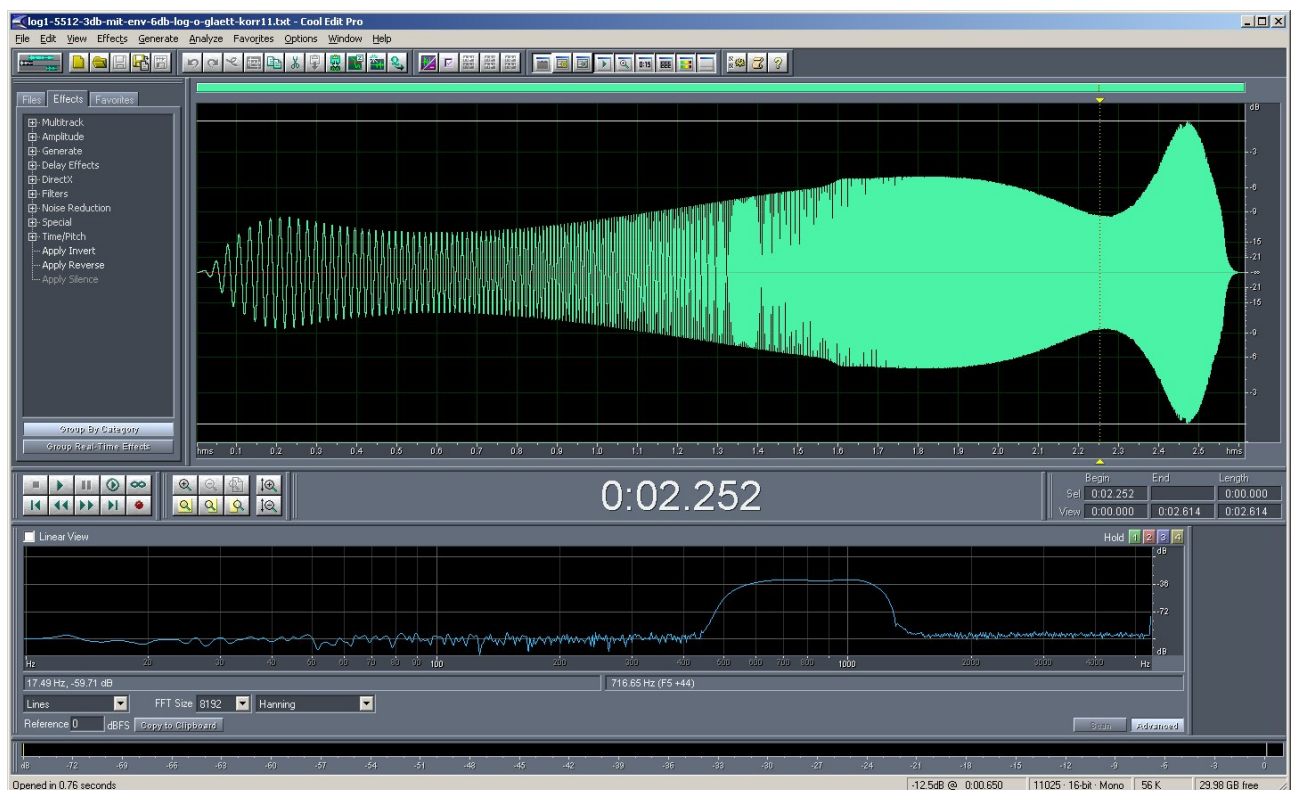
Die Zuordnung der Amplitude zum logarithmischen Signal gestaltet sich etwas umständlicher. Am Beginn sind nur wenige Punkte verfügbar und müssen die fehlenden Samples mit Splines interpoliert werden, am Ende hat jedes Sample einen Wert. Daher wurde hier auf eine zusätzliche Glättung verzichtet.



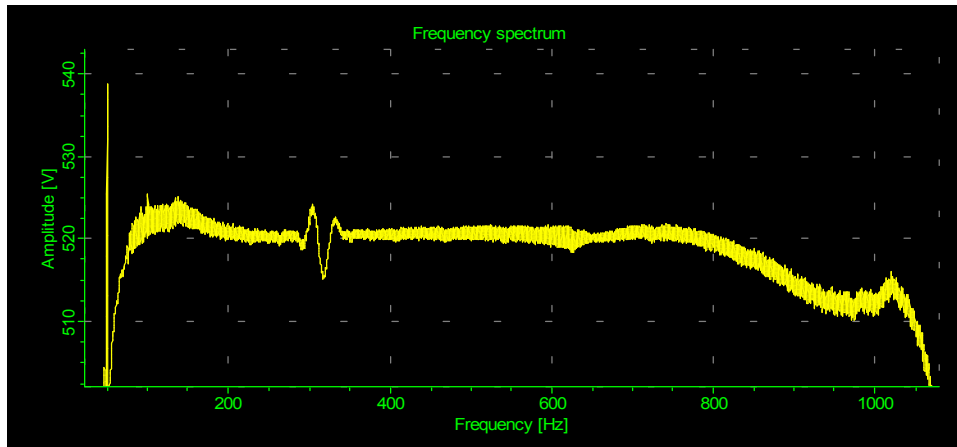
Korrekturkurve Envelope logarithmisches Signal, Anfang und Ende



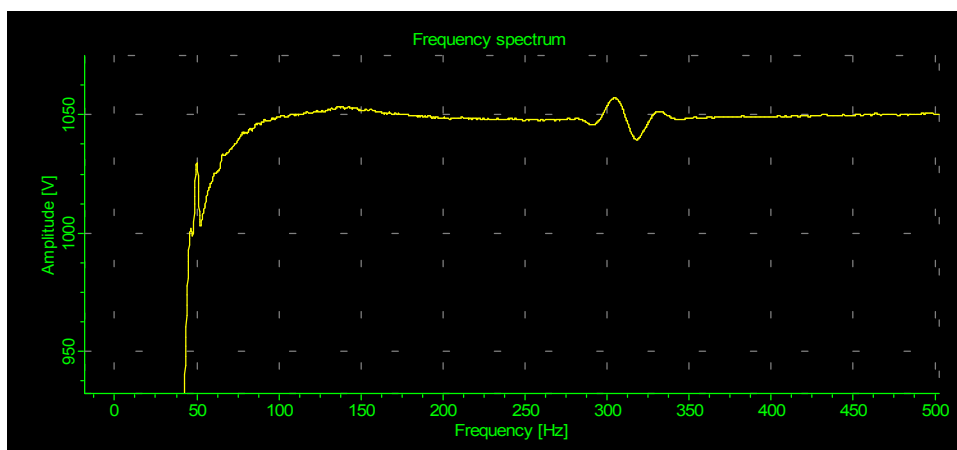
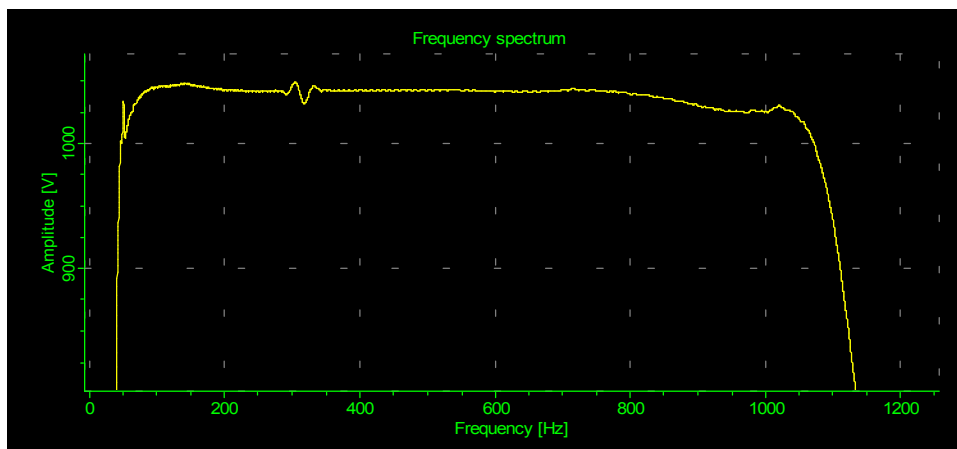
Errechnete Korrektur, der Beginn würde ein Clipping verursachen – ist unter 20 Hz und wird ausgeblendet. Nur **der Mittelteil wird anschließend verwendet.**



Logarithmisches Signal, ausgeschnitten, Anfang und Ende bearbeitet, Frequenz 1-1200 Hz

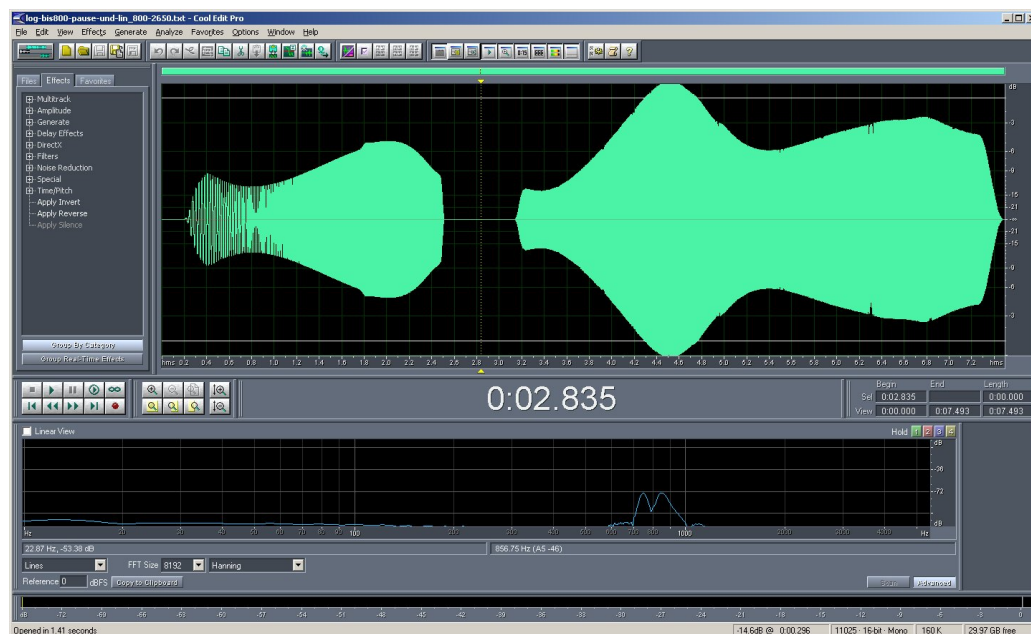


Korrigiertes Logarithmisches Signal mit Zero Padding 4 / 16384 Samples
– für das Kontrollmikrophon im Messkopf keine brauchbare Lösung.
Zudem sehr empfindlich für „Spikes“ hier 50 Hz Ground,
und unharmonische Anteile - das Anregungssignal ist manipuliert, nicht mehr sinusförmig!



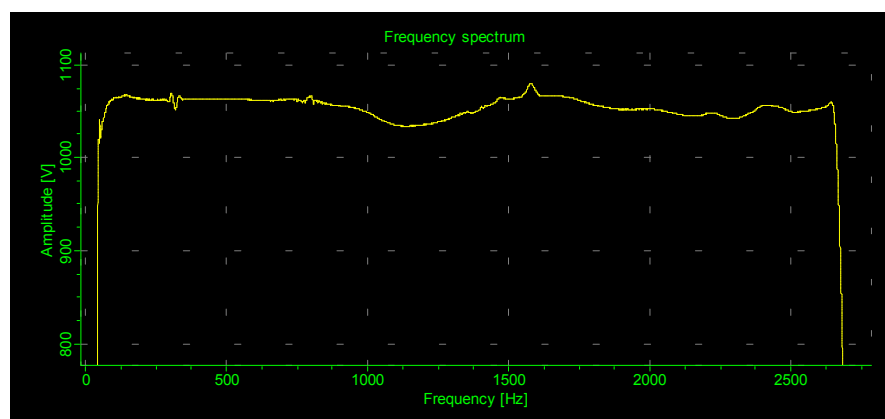
Selbe Messungen, aber mit Zero Padding 8, 8192 Samples, dafür aber 1200 Mittelungen
(zeitintensiv), wesentlich freundlichere Ergebnisse mit dem Kontroll-Mikrophon!

Kombiniertes, zusammengesetztes Anregungssignal

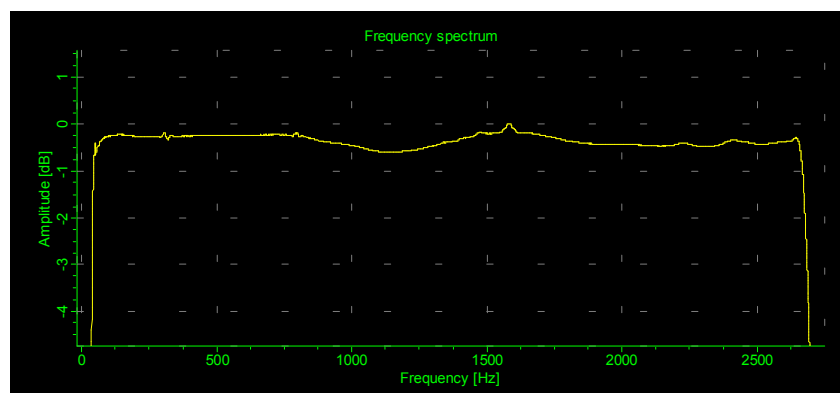


Logarithmisches und lineares Signal jetzt in einer Datei,
Pegel logarithmisch an den linearen angepasst und Überblendung bei 800 Hz.

Die „Stille“ - Pause von 0,6 Sekunden zwischen beiden Signalen wird notwendig,
damit es bei FFT-Messungen mit 4/16384 Samples zu keinen Artefakten kommt!



1200 Mittlungen = 16 komplette Durchläufe bzw. 2 Minuten
(bei 8/8192 Samples Kontrollmikrophon verwendet)



Skala in dB: das korr. Signal hat nur noch Abweichungen von max. **- 0,6 dB = 2%**.

Anzahl Mittelungen / Messdauer

Das kombinierte Signal hat nun eine Länge von 7,5 Sekunden

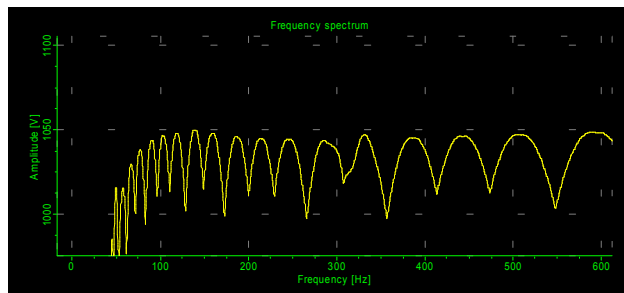
600 Mittlungen entsprechen nun 8 kompletten Durchläufen, bzw. ~1 Minute

Die Messung eines kompletten Instruments, bestehend aus:

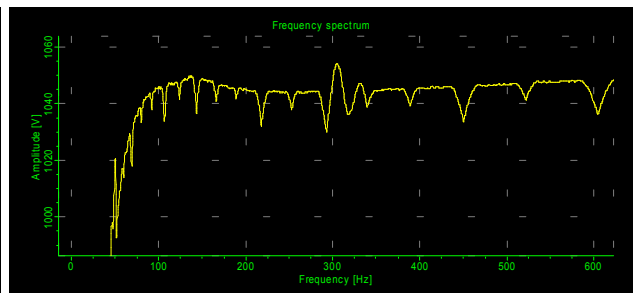
- Anregungssignal „today“, denn es unterliegt leider Schwankungen, (8/8192) 1200 Mitt.
- einer kompletten 3ventiligen Trompete (600 Mittelungen pro Ventilstellung)
- und Mundstück (600 Mittelungen)

benötigt daher ca. 12-15 Minuten Messzeit, weil des öfteren durch Umweltgeräusche oder andere Umstände Messungen neu gestartet werden müssen.

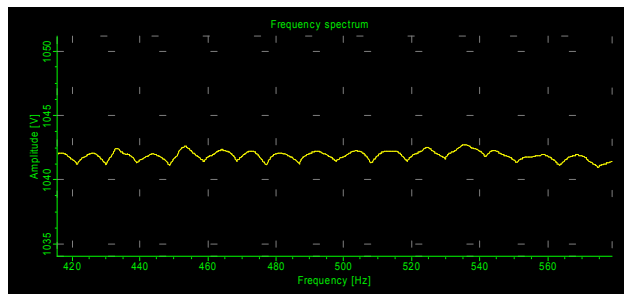
Sample Anzahl Fenster bei FFT Messungen, Keulenproblem bei 8192 Samples



200 Mittelungen = 20 Sekunden Durchläufe

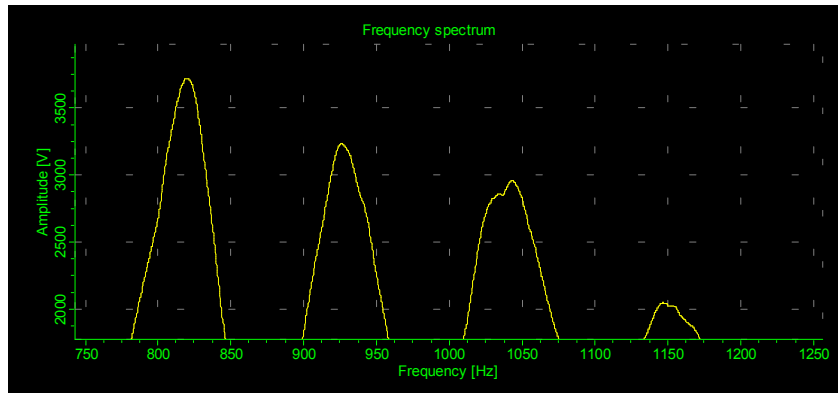


600 Mittelungen = 1 Minute Durchläufe

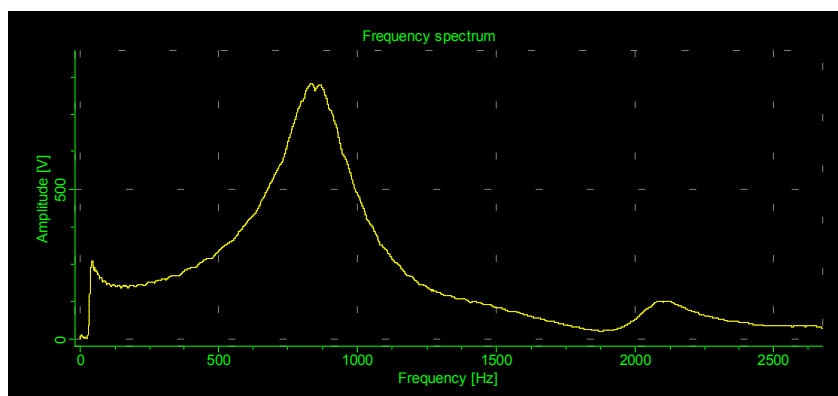


1200 Mittelungen = 2 Minuten = 16 Wiederholungen des Anregungssignals.

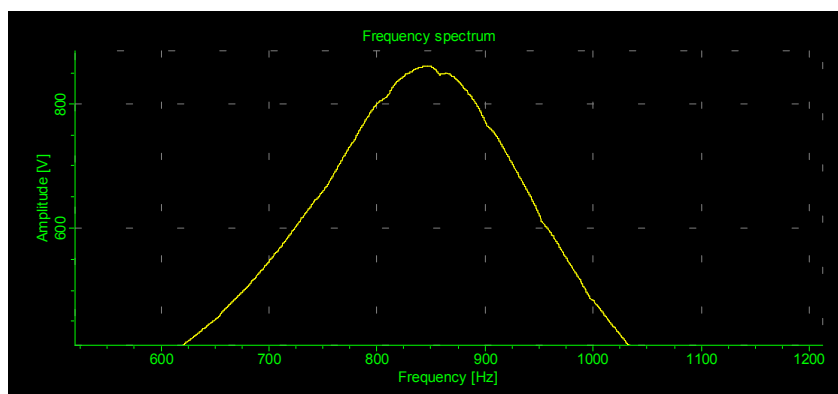
Diese Keulen werden mit **zunehmender Mittelung weniger „steil“**, verschwinden aber nicht komplett. Im ungünstigen, aber laufend vorkommenden Fällen sind diese dann bei Messungen an Stellen der Impedanz Maxima und **verfälschen Messungen wesentlich**.



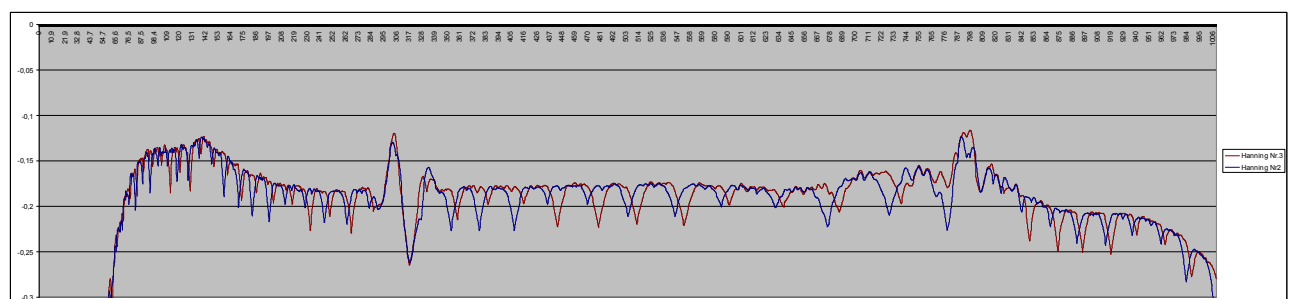
Beispiel Auszug Impedanzmessung Spitzen bei 1050Hz und 1150Hz würden sicherlich falsch ausgewertet.



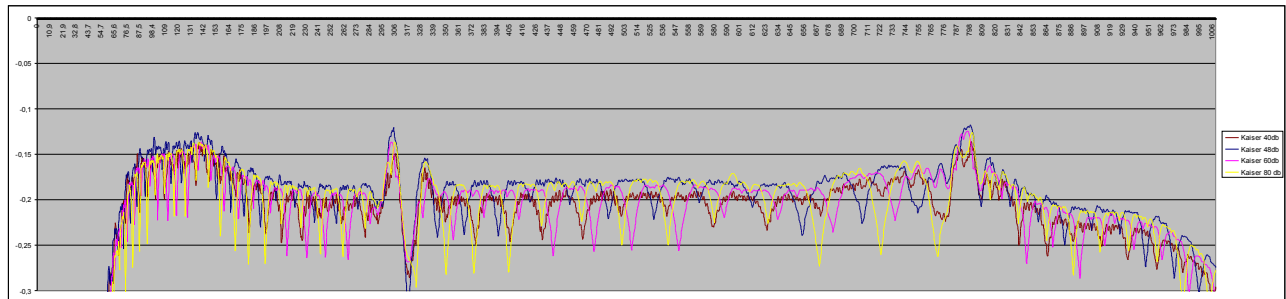
Messung 8192 Samples Mundstück, nach 200 Mittelungen



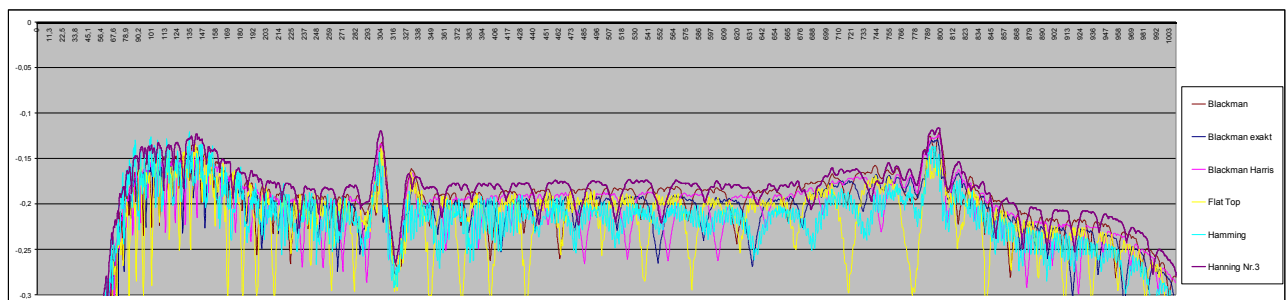
Beispiel Mundstück, nach 600 Mittelungen (1 Minute) - 8192 Samples



Die Keulen sind **bei jeder** Meß-Wiederholung an anderen Frequenzpositionen, scheinbar abhängig vom exakten Start-Beginn der Messungen. Diese Keulen sind mit Hanning – Fensterung gegenüber allen anderen verfügbaren Varianten mit Abstand am geringsten.



Kaiser Fenster, hier lässt sich das „Side-Lobe“ in dB variieren. (jeweils 700 Mittelungen)
Sidelobe Attenuations mit 40 dB (braun), 48, 60 und 80 dB (gelb)



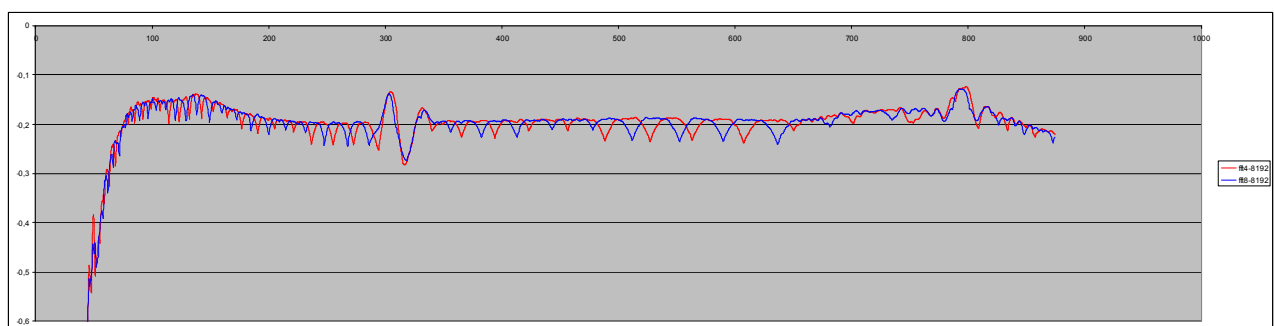
Weitere verfügbare Fenster, Hannig = dicke Linie (jeweils 700 Mittelungen = ~ 9 Durchläufe)

**Fenster - Keulenhöhe mit 8 / 8192 Samples, jeweils 700 Mittelungen,
Top-down ranking ermittelt - für meine Zwecke von schlecht bis gut:**

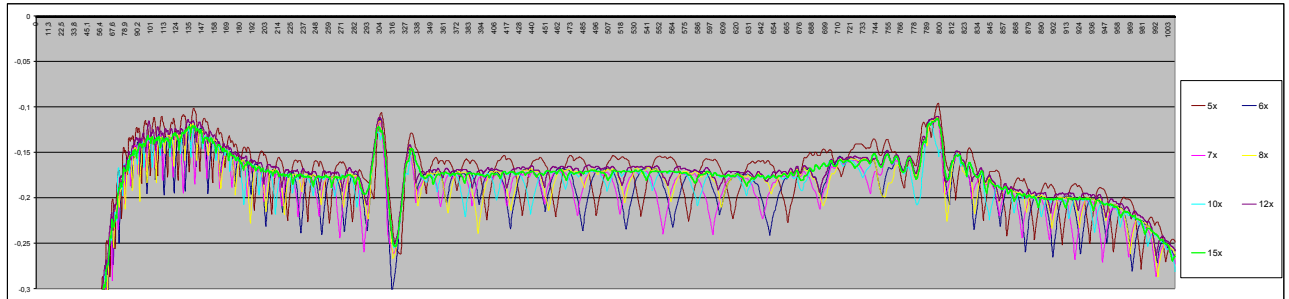
Flat Top
Kaiser 100 dB
Kaiser 80 dB
Blackman Harris
Blackman
Hamming - ausgefranst
Blackman exakt
Kaiser 32 dB - ausgefranst
Kaiser 60 dB
Kaiser 40 dB

Hanning = -0,05 dB höchste verbliebene Keule

Zero Padding hat keine erkennbaren Auswirkungen:



Zero Padding = mit Nullen füllen; $x = 4 = 0,33$ Hz Auflösung; Zero Padding $x = 8 = 0,168$ Auflösung.
Kein Unterschied bei den bleibenden Keulenhöhen. Samples = 8192. (jeweils 700 Mittelungen)

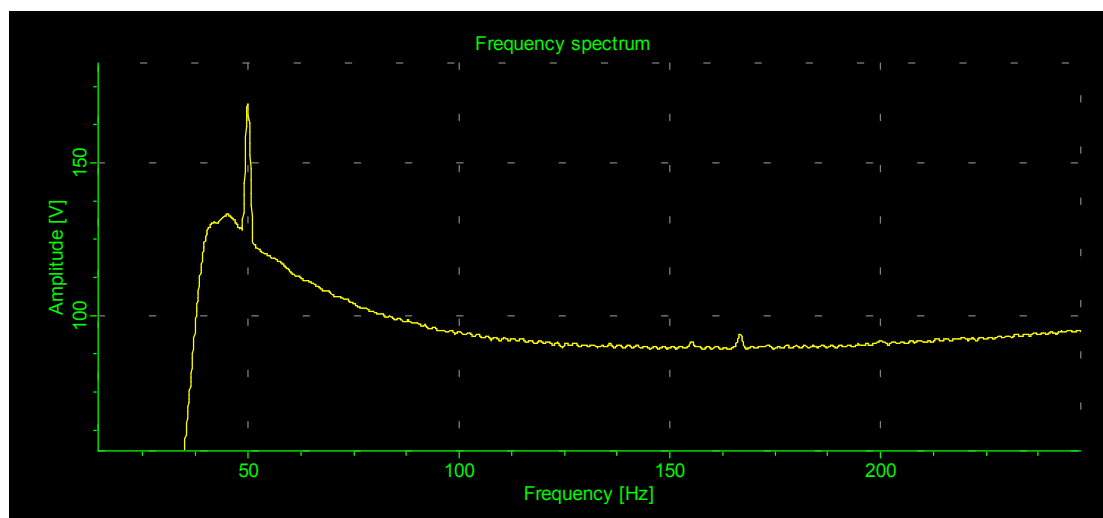


Anzahl Mittelungen – 8192 Samples 15x Durchlauf waren beim Vergleich 1120 Mittelungen, also rund 2 Minuten Messdauer / Mittelung. 10 x = 760 Mittelungen.

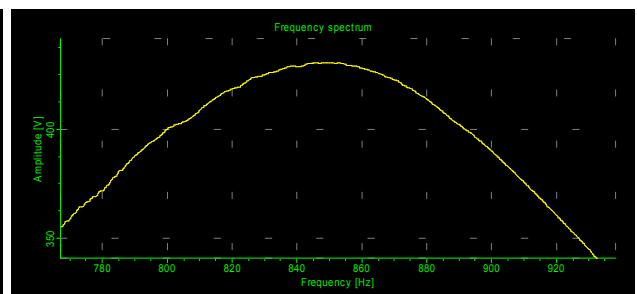
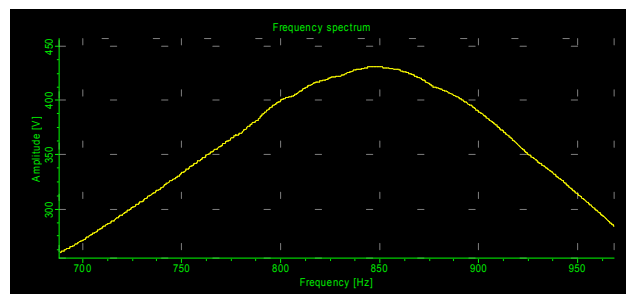
Messungen mit 8192 Samples werden daher im weiteren Verlauf nur für Messungen mit dem Kontrollmikrophon und sehr hohen Mittelungen verwendet (für Korrekturkurven.).

Die Magnitudenwerte liegen gegenüber Messungen mit 16384 Samples doppelt so hoch.

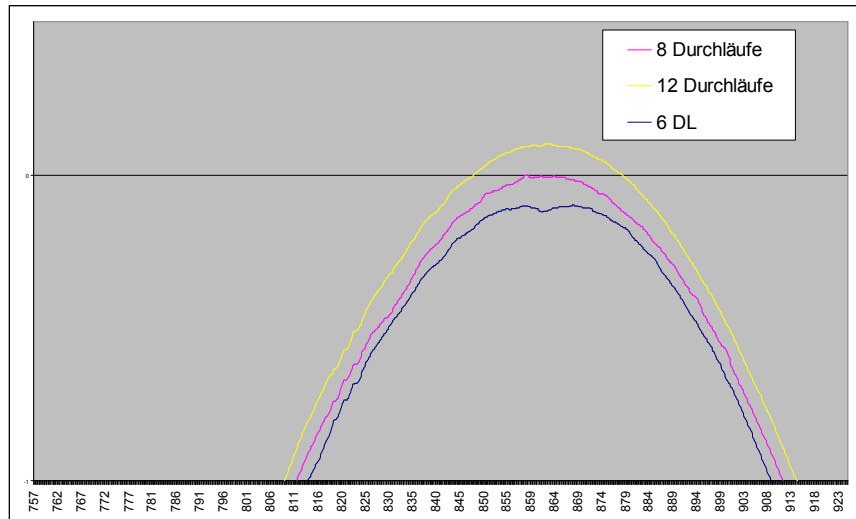
Probleme mit 16384 Samples sind ein „Rumpeln / Zig-Zag“ der FFT-Fensterung:



16384 Samples, Beginn Mundstück-Messung; Sehr Anfällig auf „Spikes“, und ein Grund-Rumpel-Zigzag; dieses lässt sich allerdings im weiteren Verlauf relativ gut „glätten“. Messmikrophon



Mundstück 1. Frequ., 16384 Samples, 200 Mittelungen, rechts 600 Mittelungen.



Mundstück Zoom auf die 1. Resonanzspitze, Vergleich 6, 8 und 12 Durchläufe, die Amplituden wurden hier für eine bessere Vergleichbarkeit um 2 % in der Höhe skaliert, sind ansonsten gleich hoch. (Raw, ungeglättet)

Die annähernden Endwerte werden mit 16384 Samples bereits nach 2-3 Durchläufen erreicht, die Kurve verfeinert sich allerdings auch hier mit steigender Messdauer / Anzahl Durchläufen. Es sind anhand von Vergleichstests 600 Mittelungen 8 Durchläufe = 1 Minute bereits sehr gut. Die Keulenbildung ist mit 16384 Samples minimalisiert.

Log. Anregungssignal, Meßkopf Kalibrierung – Änderungen – Stand 9/2023

Messkopf – Signal Korrektur, Sept. 2023 Dokumentation

Messungen wurden jetzt seit 2 Jahren keine mehr durchgeführt, die Korrekturkurve von 2018 passt nicht mehr und weicht stark ab. Ich muss daher ein neues Anregungssignal basteln. Bisher wurde ein log. Sweep beginnend bei 1 Hz verwendet, der neue Sweep soll durchgehend log. sein, und erst mit 25 Hz starten. Da die Amplitude -3dB pro Oktave abnimmt kann ich die Fade-in Dauer hochsetzen, es sollte dadurch weniger Korrektur notwendig werden.

Habe mit Cool Edit Pro und Aurora Plug-in (Farina) ein log. Signal **mit 22,1 kHz** generiert; Das Aurora Plug-in hat den Vorteil, daß Fade-in und Fade-out Zeit mit definiert werden können: 25-2756 Hz, Dauer 5944ms -6db, 22 kHz Mono, 16bit und mit FFT Prop 11.025 hz aufgezeichnet; Hanning; Zero Padding 8 und 8192 Samples, Messdauer 2000 Averages, danach habe ich das exp. Sin. Signal als TXT abgespeichert.

Da die Sample Anzahl nun > 65536 liegt, muß ich die Rechnungen neu machen, entweder in Excel 2003 teilen oder >= Excel 2007, dass kann 1 Mio Zeilen. Xlnumbers gäbe es scheinbar auch dafür, wäre notwendig für Spline Kurven. Da ich das Signal über die Jahre aber ev. noch öfters anpassen muss, soll es möglichst einfach neu erstellbar sein und das spline umgehen. Ich habe mich für Excel 2019 entschieden.

Das log. Signal beginnt nun bei 25 Hz, statt 0 Hz, was einen großen Unterschied macht – auch in der Berechnung der Frequenzposition über der Signallänge / Zeit, ich muss ja wissen welche Sample # welcher Frequenz entspricht um die Korrekturkurve anwenden zu können:

How do I calculate the logarithmic frequency steps for the horizontal axis?

Question

I read the measurement result via remote control, but I don't get the corresponding frequency points in log scale. How do I calculate these frequency points when I have a logarithmic sweep and know the center frequency, the span and the number of sweep points?

Answer

The formula for calculating the logarithmic sweep points is as follows:

$$f(x) = 10^{\left(\frac{(\log(f_{\text{Start}} + \text{Span}) - \log(f_{\text{Start}}))}{(n-1)} * (x-1)\right) + \log(f_{\text{Start}})}$$

where:

x = the number of the sweep point

n = total number of sweep points

Example:

x = 132

n = 200

fStart = 1 GHz

Span = 2 GHz

$$f(x) = 10^{\left(\frac{(\log(1\text{GHz} + 2\text{GHz}) - \log(1\text{GHz}))}{(200-1)} * (132-1)\right) + \log(1\text{GHz})} = 2.061032528 \text{ GHz}$$

Diese Formel wurde angepasst in Excel 2019 verwendet.

10. September 2023::

Speaker Mode 2.1 alle Regler auf 100%;

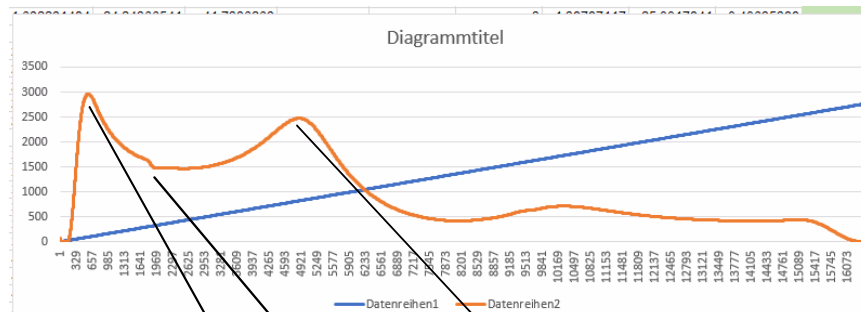
Signal -6db Aurora

25-2756 Hz in 5,944 Sek

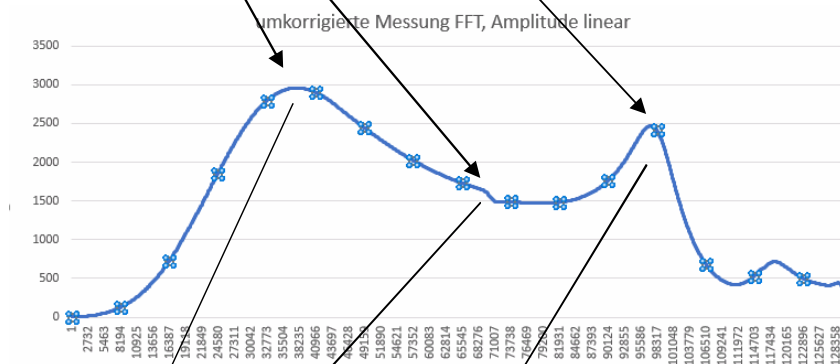
22 kHz

Fade in: 2,0 Sek: (zu kurz..)

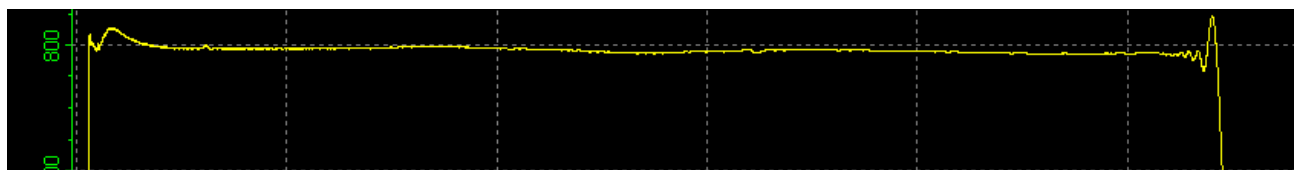
ohne Mundstück:



lin / lin Ansicht (FFT) 2000 Mittelungen, unkorrigiertes logarithmisches Signal, -6db



FFT lin amplit. log time = Frequenz... 5,944 Sek= 131066 Samples = Faktor 22.050
2,000 Sek= 44.100

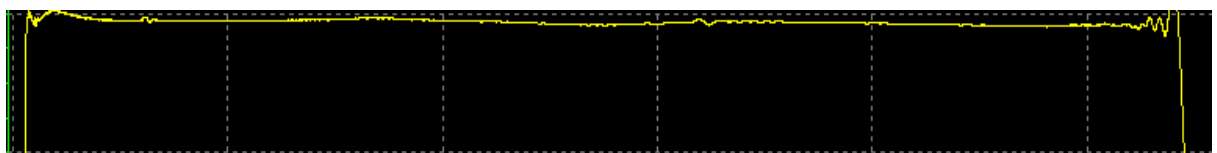


Korrektur: Messung, 600 Mittelungen Fade-in Dauer 2sek., -11,5db Pegelabsenkung

100 Hz sind bei ~ 1,6 Sek. d.h. mit 2 Sek. Fade in noch zu wenig abgeschwächt.

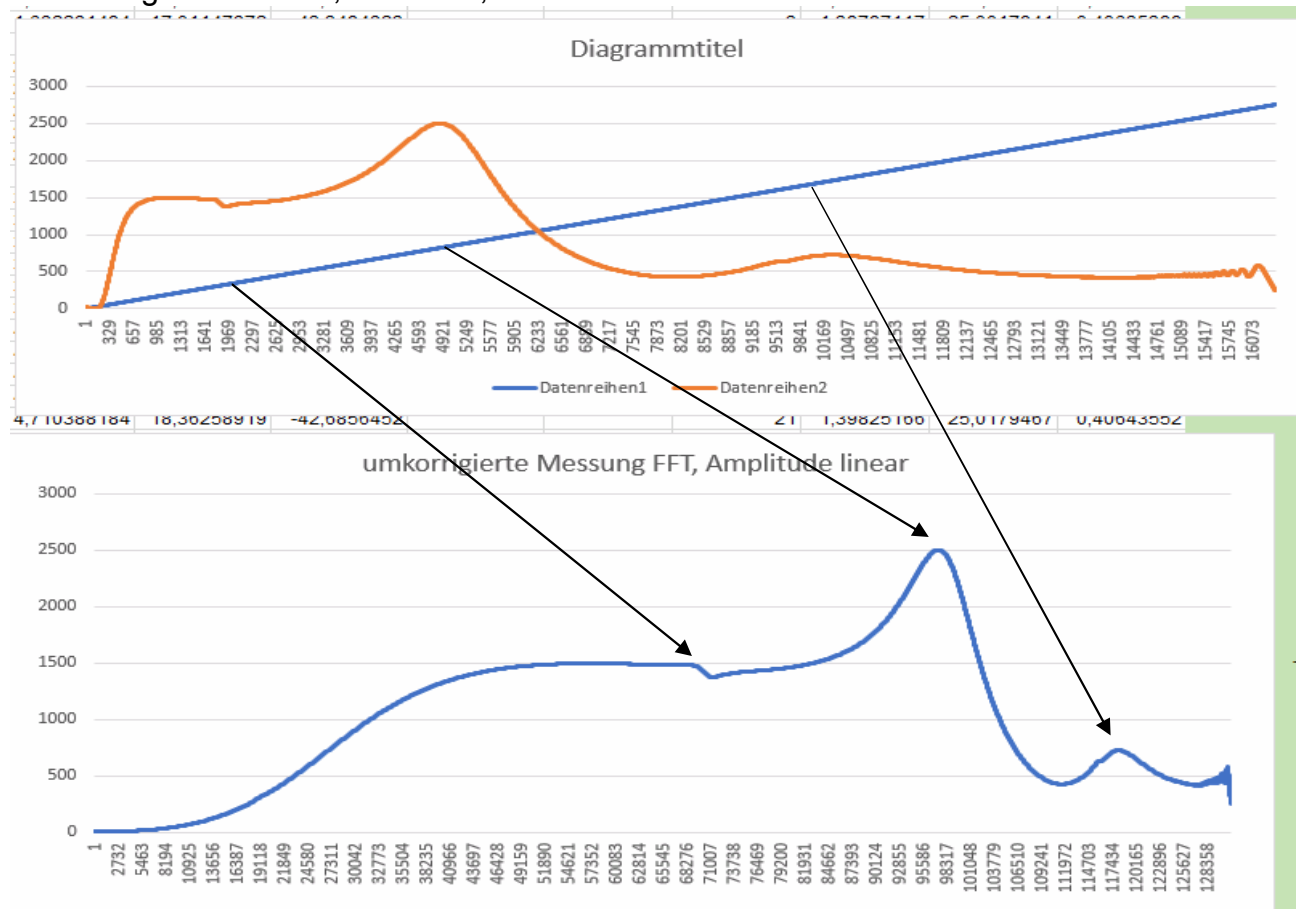
3 Sek. wären 66150 Samples, also kurz vor dem kleinen Knick bei 312 Hz.

4 Sek. wären 88200 Samples, 3,5 Sek wären 77700 Samples, also -6db bei der Antiresonanz, da aber noch abgesenkt werden muss.

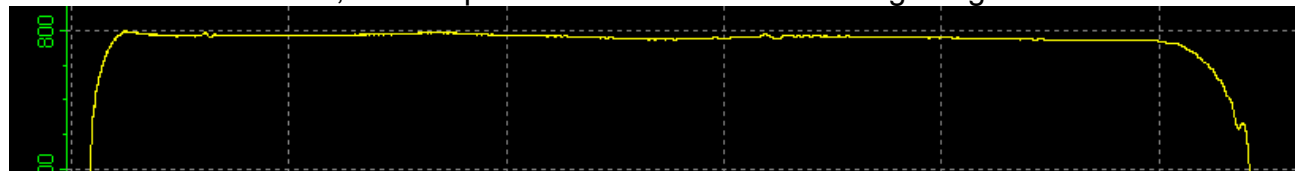


Fade-in 3,5 Sek. und -10db Pegeldie Korrektur ist etwas unter 100 Hz gewandert;

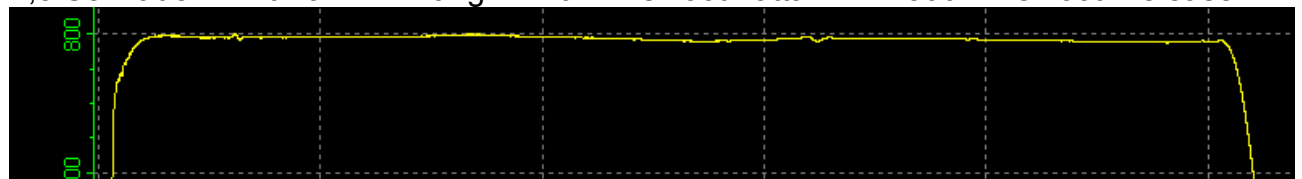
Im oberen Diagramm kann man anhand der blauen Linie die Frequenz ablesen!
Pfeile zeigen ~ 312 Hz, ~ 800 Hz, ~1600 Hz



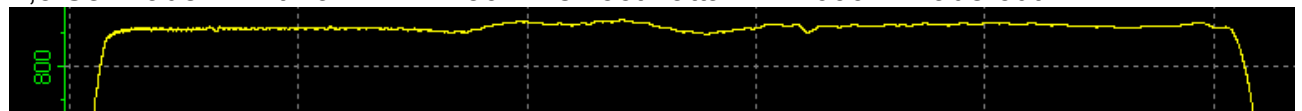
Hier mit 4 Sek. Fade in, die Frequenzachse ist nun aber auf log. umgerechnet!



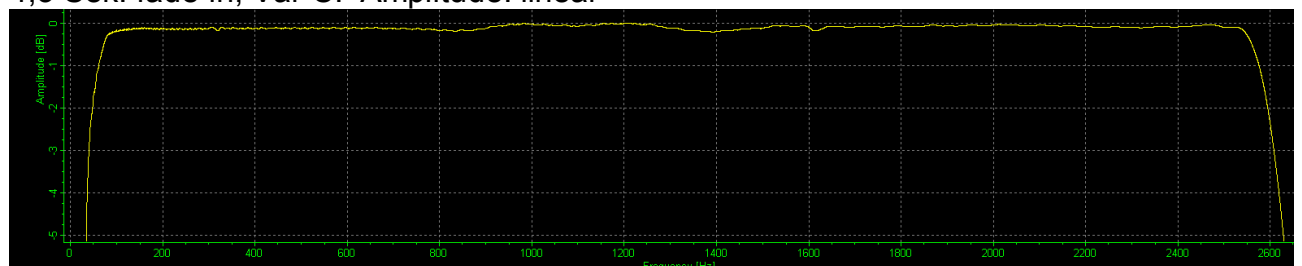
4,3 Sek fade-in mit Var. A Anfang <120 Hz smooth attack + >2500 Hz smooth release.



4,3 Sek. fade-in mit Var B: <150 Hz smooth attack + >2600 Hz fade-out.



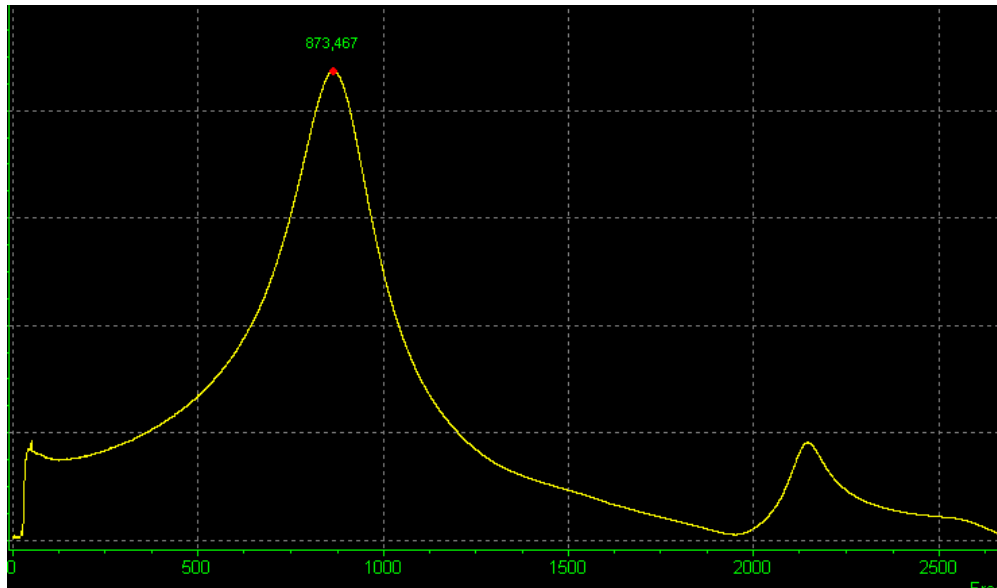
4,3 Sek. fade-in, Var C: Amplitude. linear



4,3 Sek. mit Var C: <100 Hz noch extra smooth attack als Var. B + >2600 Hz fade-out.

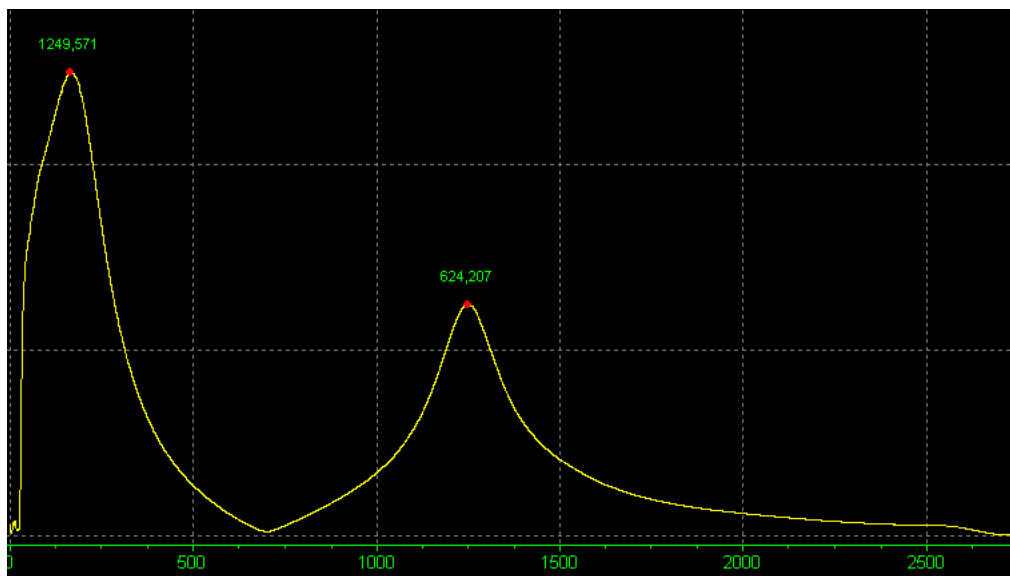
Mundstück = Helmholtz-Resonator und die Wirkung auf die Kapillare:

Messung Messmikrophon – Mundstück closed-open:



Mundstück offen, 1. Resonanz bei ~ 870 Hz, Antiresonanz bei ~ 1950, 2. Mode ~2140 Hz.
Input Magn. 1. Resonanz = 873,467

Messung Messmikrophon - Mundstück closed-closed:

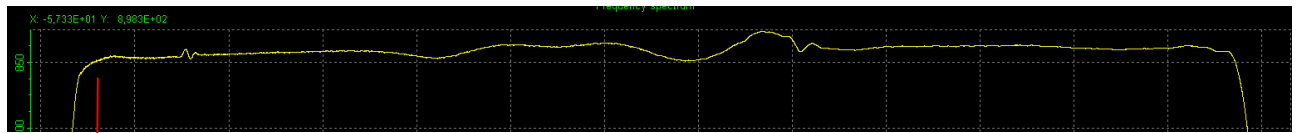


1. Resonanz bei ~166 Hz, Antiresonanz bei 700 Hz, 2. Res. bei ~ 1250 Hz
Input Magn. 1. Resonanz = 1249,571

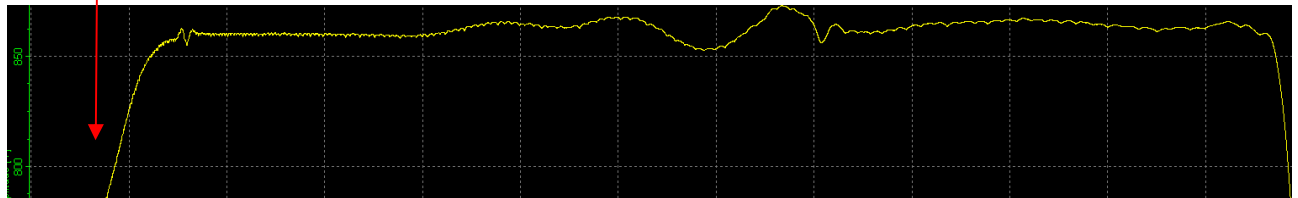
Die 1. Resonanz liegt mehr als 2 Oktaven tiefer, die Antiresonanz rund eine Duodezime, die 2. Resonanz etwas weniger als 1 Oktave tiefer gegenüber dem „Standard-Fall“ closed-open Resonator.

Ähnlich dem Zylinder: umso höher die Resonanzfrequenz liegt, desto geringer die mögliche Impedanzmagnitude am geschlossenen Eingang.

Kontroll-Mikrophon:



Messung 1 am 17.9.2023, mit angestecktem Mundstück 850 bis 870 Volt = 2,4 % Abw.



Messung 2 am 17.9.2023, mit angestecktem Mundstück, (not to scale)
Mundstückschaft-Ende mit Finger verschlossen – closed-closed Resonator
-2dB bei 100 Hz; die Absenkung reicht hier bis zu der Störung bei rund 312 Hz.

Ergebnis: Der Helmholtz Resonator „absorbiert“ Schallwellen um seine 1. Resonanz-Frequenz - sofern er dass kann. Ist das Rohr „schalldicht“ geschlossen, = die Impedanz der Kapillare viel höher als die Eingangsimpedanz des Resonators dann kann er das nicht.

Im Fall des geschlossenen Resonators liegt die 1. Resonanzfrequenz so tief und die Magnitude = Impedanz so stark, und in einem Bereich, wo die Impedanz der Kapillare zu schwach ist und das leider zulassen. Der Resonator absorbiert hier um seine 1. Frequenz.

Diese Frequenzbereiche sind dann in der Druckkammer daher abgeschwächt. Ich hatte die Effekte schon beim Experimentieren mit langen zyl. Rohren, wo bei tiefen Resonanzen des Rohres diese Frequ. in der Druckkammer dann ebenfalls nachvollziehbar abgeschwächt sind (Siehe Korrektur Masse).

Eine Verkleinerung der Kapillare hätte den negativen Effekt, daß dann weniger Schallfluß stattfindet und die Messungen sowie Signal to Noise Ratio verschlechtert würde. Ich muß also mit diesen Effekten im sehr tiefen Frequenzbereich auskommen.

Die Log Var. C als korrigiertes Signal liefert brauchbare Ergebnisse, allerdings ist die Amplitude maximal um 850V. (Erste Tests zeigen, daß das kein Problem sein sollte), SPL / SNR stark genug. mit jeweils 100% Soundkarte und 2.1 Konfig.

Die limitierende Frequ. ist hier die Antiresonanz um 1400 Hz sowie Start/Stop Frequ. Beim Signaltest komb. von Dez 2018 waren es ~ 1200V. (lin. um 1,4 Khz hatte mehr Zeit)

Der FFT Amplitudenwert hängt davon ab wie „lange“ das Signal auf die Frequenz einwirkt; nicht anhand der Anzahl der Mittelungen; diese bilden tatsächlich nur neue „Glättungen“.

D.h. langsamer Sweep = lange = höhere Amplitude (f, Hz). Daher sind bei log. Anregung die -3db pro Oktave Amplituden Absenkung und deswegen habe ich ja auch als Ausgangsmaterial nun mithilfe Fade-in dieses Verhalten entschärft; denn umso weniger steil die Korrekturen sind, desto besser sollte eventuell das korr. Signal sein können.

Die glücklichste Wahl hängt von dem vorhandenen Lautsprecher + Kammer + Systemverhalten ab; in diesem Fall von dem Antiresonanz Bereich um 1400 Hz, der limitiert die Aussteuerung und wie man sieht kann es nicht komplett ausgeglichen werden.

Welche Fehler eingebaut sind: statt Glättung Excel Matrixfunktion (sverweis; falsch) und fehlenden Daten für den Sample Punkt habe ich (Sverweis;wahr) genommen, was bedeutet, daß aktuell viele Punkte eine falsch kor. Amplitude haben, am Beginn stärker, am Ende gehen Null, aber immer nur pro 0,17 Hz., d.h. ich habe im Anregungssignal 131.066 Samples (und mögliche Magnitudenwerte), da die Magnituden aber einem Raster von 16384 Frequenzpunkten zugeordnet werden, 8 x weniger Werte.

Da die Anregung logarithmisch ist, haben tiefe Frequenzen viele Samples; 1 Hz Schritt =

25	Hz	auf 26	Hz = ~ 1100 Samples, bei Zuordnung 1/0,168 Hz = <u>5,944 Werte</u>
250	Hz	auf 251	Hz = ~ 120 Samples,
1000	Hz	auf 1001	Hz = ~ 30 Samples,
2755	Hz	auf 2756	Hz = ~ 10 Samples, ebenfalls <u>5,944 Werte</u> .

Ein Versuch mit Splines, aber auch mit linearem Trend sind gescheitert; vor allem anhand der Rechenzeit die dafür notwendig wäre in Excel und Visual Basic. Vergleichsmessungen mit 2018 zeigen, daß eine Mittelung keine wesentliche Verbesserung schafft.

Check mit Mess.Mikro und Mpc: tiefste Frequ. dringen förmlich durch die Kapillare; (fehlen am Kontrollmikrofon) + sind zu stark am Messmikrofon; die kleinen Ausreisser z.B. ca. bei + 320 Hz beim Kontroll Mikro finden sich beim Instrument defakto nicht.

Nehme ich die Today-Korr. – im nächsten Abschnitt beschrieben 1:1, dann werden diese nicht vorhandenen Ausreisser falsch korrigiert; die Today- Korr. hat aber seit 2018 bereits eine Glättung.

FFT Messungen mit 8192 Samples und 8 Zero Padding am Messmikro zeigen mit der komplett logarithmischen Anregung bessere Ergebnisse als 2018 mit kombiniertem Signal. Ob diese konstantere Messungen ergeben als 16384 Samples liefern wird sich zeigen.

Die 4,3 Sek. Fade-in Variante C hat sich momentan als die brauchbarste aktuelle Variante für diese Messkopf Konstellation herausgebildet.

Einstellungen jeweils kontrollieren: Kontrollmessung Signal.sgr muß etw. ~ 850V sein! Die Druckkammer konstant halten – gut ... aber nach außen kommt etwas anderes. Es gibt täglich immer kleine Abweichungen am Kontroll Mikrofon, alleine ob das Mpc gewechselt wurde, uvm. Es hat daher keinen Sinn zu versuchen das korrigierte Messsignal weiter zu verbessern.

Sollte es wieder notwendig werden, das Anregungssignal neu zu erstellen, ist eine Kontrollmessung notwendig, den Rest kann die neue.xlsx Datei bewerkstelligen. Nach Export in eine.txt Datei sind nur abschließende Fade in / out Korrekturen notwendig.

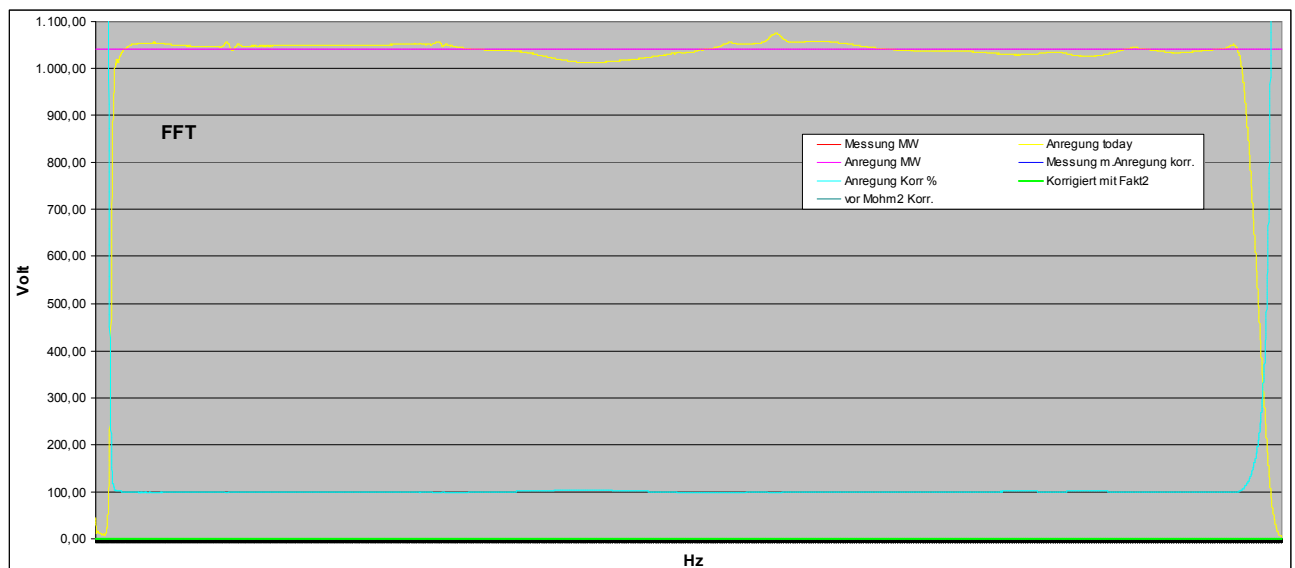
Weitere Kalibrierung & Korrekturkurven für Messungen:

Die „Today“ – Artefakte, 2% Restabweichung / 0,6 dB und tägliche Differenzen:

Bisher hatte ich das Anregungssignal als quasi linear betrachtet und keine Korrektur dafür bei jeder Messung durchgeführt. Das Herausrechnen findet ab nun in der FFT-Mittelung.xls Datei statt, die ich dazu jetzt neu aufgebaut und organisiert habe. Diese bleibt aber zur Datenerfassung von ART, als auch BIAS© Messungen völlig kompatibel.

Neu ist, dass nun vor einer Messung zusätzlich dieses Signal vom Kontrollmikrofon als `signal.sgr` importiert wird, die Amplitudenwerte bei exakt 500, 1000 und 2000 Hz ergeben einen „heutigen“ imaginären Mittelwert, in Volt, die Messungen der Rohre / Mundstücke / Instrumente werden mit den Abweichungen von diesem Mittelwert korrigiert.

Diese Kontrollmessung mache ich mit 8/8192 Samples und 1200 Mittelungen (2 Min.)



Messung 8. Dez.2018, notwendige „today“-Korrektur **in % (nicht Volt)** - hellblau.
Start- und Stop-Bereiche werden weich ausgeblendet, da nicht weiter korrigierbar.

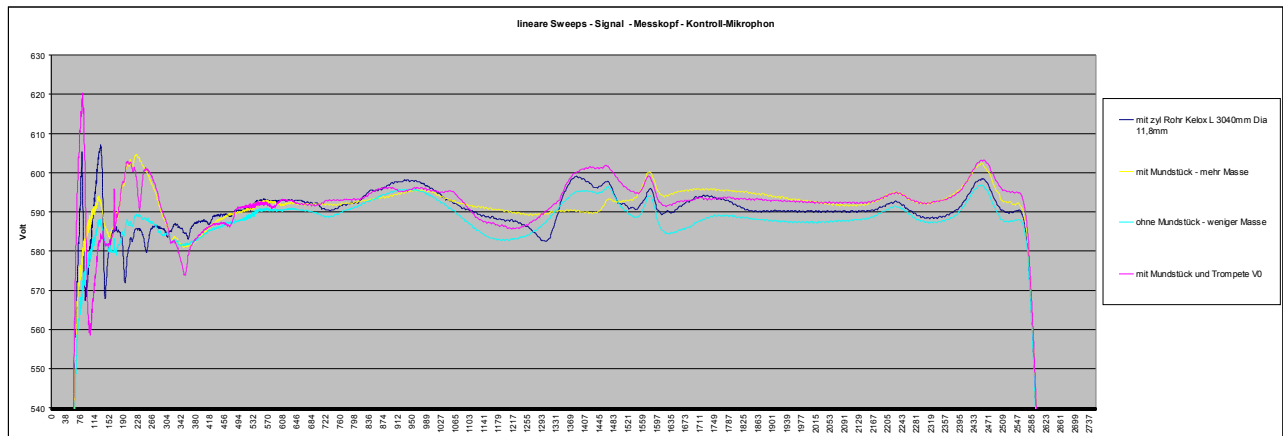
Messkopf Kontroll-Mikrophon - Abweichungen durch Masse / Rückkopplung:

Zusätzlich muß angemerkt werden, dass die Kapillare, als auch das Gewicht / Masse des Gesamtsystems einen Einfluss auf die Messung mit dem Kontrollmikrophon haben. Ich habe daher alle Messungen mit aufgestecktem Mundstück (Zusatzmasse) durchgeführt.

Die Kapillare sollten ja eine Rückwirkung der stehenden Luftsäule und somit eine Beeinflussung des Anregungssignals weitgehend verhindern, diese tiefen Frequenzen spez. merkbar unter ca. 300 Hz finden aber durch die Barriere – zumindest zum Kontrollmikrofon, das ist möglicherweise zu einem Großteil auch Körperschall.

Interessanterweise wirken mit Ausnahme der 1. Maxima (jeweils auch höchste Impedanz) die weiteren tiefsten Maxima aber abschwächend und nicht verstärkend; diese werden an der Lippenebene ja wieder fortlaufend Richtung Rohrende reflektiert, Antiresonanzen werden nicht reflektiert und finden ihren Weg zum Messmikrofon. Ob diese den Lautsprecher beeinflussen – vermute ich – vorerst: nein, aber das werden Versuche noch zeigen.

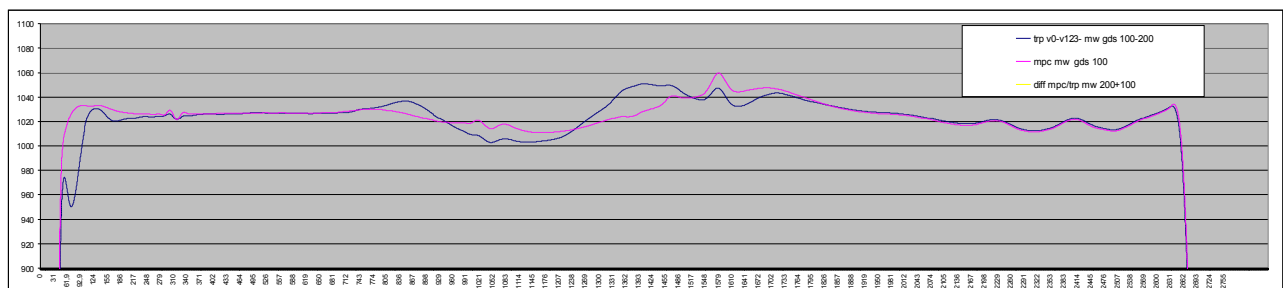
Ich habe deshalb die Abweichung
 Masse Messkopf+Mundstück + Trompete – Prototyp Rotary, ART-Versuch,
 (geglätteter Mittelwert von V0, V2, V1, V3, V13 und V123) als **optionale Korrekturoption**
 mit zur Masse Messkopf+Mundstück mit programmiert.



Beeinflussung des Kontroll Mikrophones durch Masse / zu messende Rohre/Instrumente.

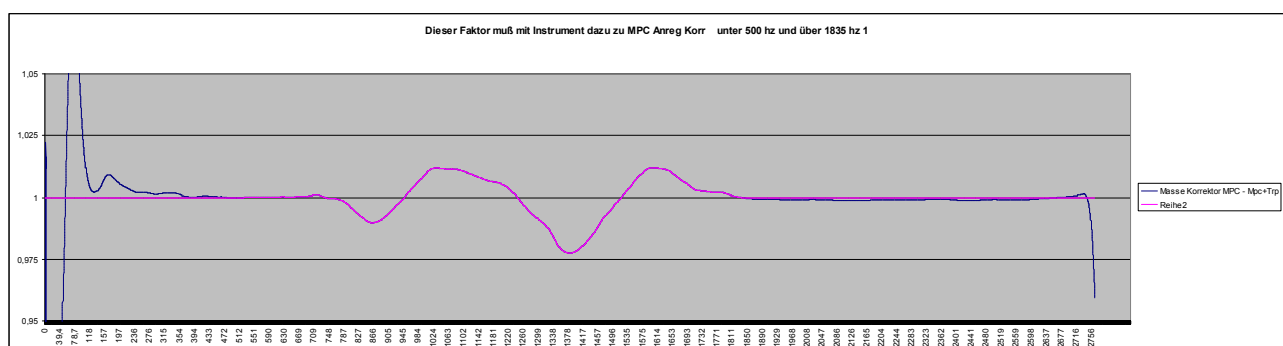
Mit Mundstück: die zusätzliche Masse beeinflusst vor allem den Bereich 70-300 Hz sowie den Bereich oberhalb der Mundstückpopping Frequenz. Die alles dominierende 1. Mundstückfrequenz bei ca. 860 Hz selbst beeinflusst die Messung scheinbar aber nicht.

Option Masse/Messkopf:



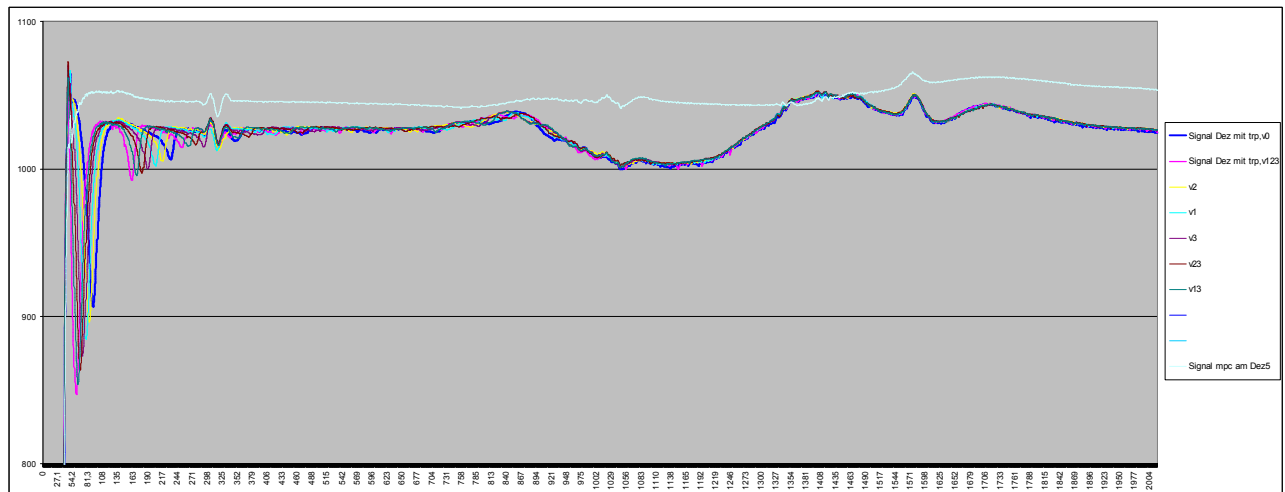
Korrektur für Masse Instrument, Messung vom 5. Dezember 2018,
 Verwendetes Fenster: Hanning, Zero Padding: 8, 8192 Samples. Kontrollmikrofon.

Rosa: Messkopf mit Mundstück, geglättete Kurve
 Blau: Messkopf mit Mundstück und Instrument (Masse), geglättete Kurve,
 Mittelwert aus Messungen V0,V2,V1,V3,V13,V123.

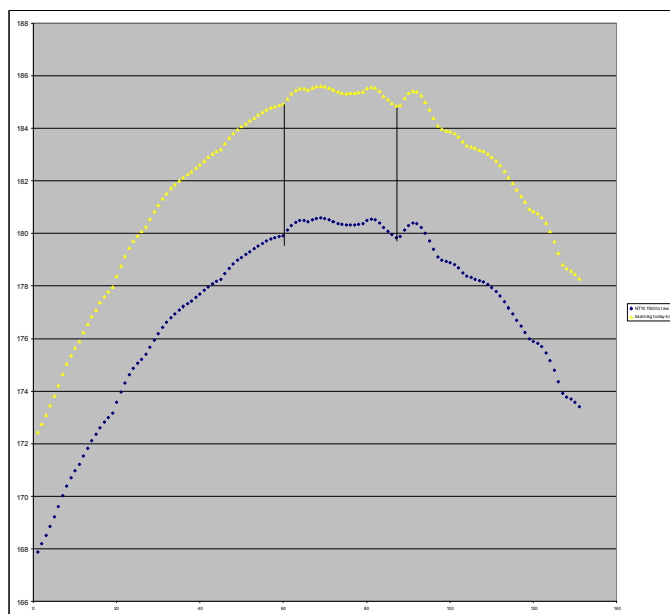


(wählbar als Option, rosa).

Masse / Rückkopplungskorrektur Mundstück+Instrument gegenüber Mundstück alleine



Unter 500 Hz ist die Abweichung pro Ventil unterschiedlich, oberhalb von 2000 Hz sind keine Abweichungen. Die Korrektur beginnt ab 500 Hz. Die Abweichungen betragen max. 2,5 % bei 1400 Hz und werden später bei den Messungen **optional** mit eingerechnet.



Test, ob die Absenkung der „Today“-Korrekturkurve die Maxima/Minima auf andere Frequenzen / Samples verschiebt: NT10, Bereich 1150 Hz, Magnituden Korrektur ist hier in etwa die höchste ~ 2,5%. Hier ist keine Abweichung feststellbar, 0 Samples Versatz. Gelb = korrigierte Kurve, blau = Korrektur

In einem weiteren Schritt wird das grobe Verhältnis von Volt zu MegaOhm Skala voreingestellt. Dieses ist bei Hanning Fenster, 16384 Samples und Zero Padding 4 der Faktor $\text{Volt} * 0,25$ für Mohm Amplitudenwerte um auf ein einigermaßen passendes Niveau der Skala zu gelangen. Mit Mixer Wiedergabe bei 90% (-3dB).

Bei der Umrechnung zu einer logarithmischer Darstellung ist zu beachten:
 $100 \text{ Mega Ohm} = 100\,000\,000 \text{ Ohm} = 160 \text{ deziBell}$.

Log. Signal 2023: alle Regler 100%, Hanning Fenster, 8192 Samples und Zero Padding 8 Mohm Faktor 0,125.

Kalibrierungsmethoden, Vor- und Nachteile daraus

Zylindrisches Referenz-Rohr Messen und Berechnen

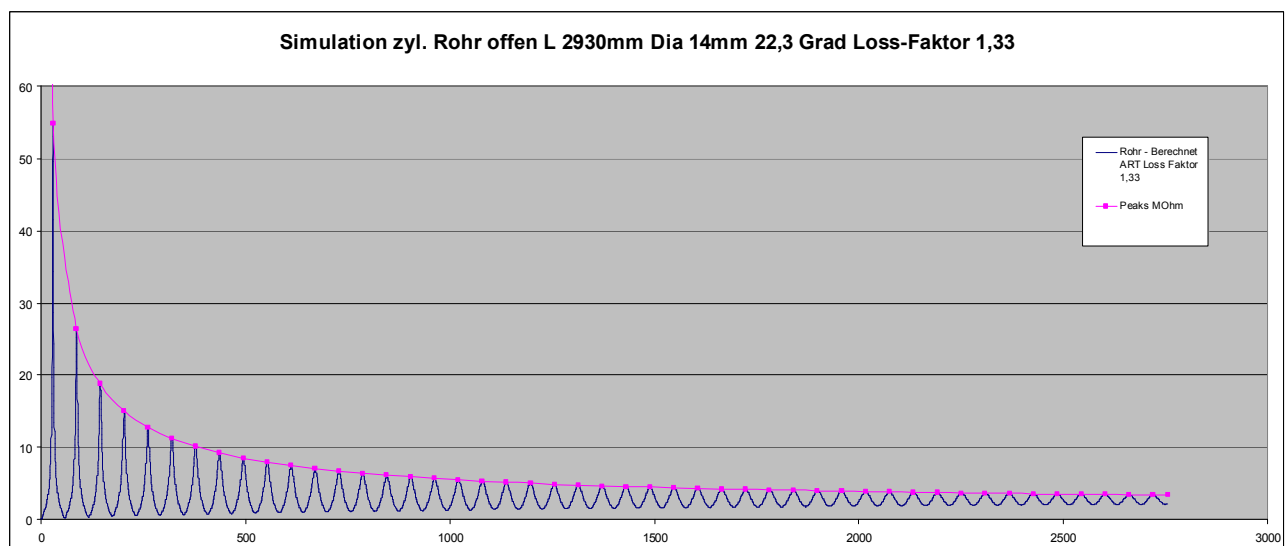
Referenz-Messungen mit einem 2935mm langen zylindrischen Plastikrohr (Elektroinstallations-Rohr), Innendurchmesser 14,0 mm bei 22,3 Grad Raumtemperatur. Die Länge ergab sich zufällig. Die Referenzmessung wurde am 8. Dez. 2018 mit dem kombinierten Log-Lin. Signal mit Hanning Fenster, 16384 Samples durchgeführt.

Messungen mit einem 3040mm langen KELOX Rohr mit Diameter 11,75mm wurden ebenfalls durchgeführt, hier ergeben sich aber für Trompeten zu geringe Mohm-Skalenwerte. Der passende Volt to Mohm-Faktor für das 11,75mm Diameter Rohr mit Hanning und Zero Padding und 16384 Samples ist hier Faktor Volt * 0,15.

Diese Messungen des Referenzrohres wurden mit Simulationen verglichen, sowohl mit Art Plane Wave, Bias mit verschiedenen Modellen, wie auch mit der Methode von Anglmayr, die ich 2008 selbst in Excel programmiert habe, welche allerdings keine Verluste berücksichtigt. Es bleibt offen, wie hoch Standard Verluste in der Praxis tatsächlich sind.

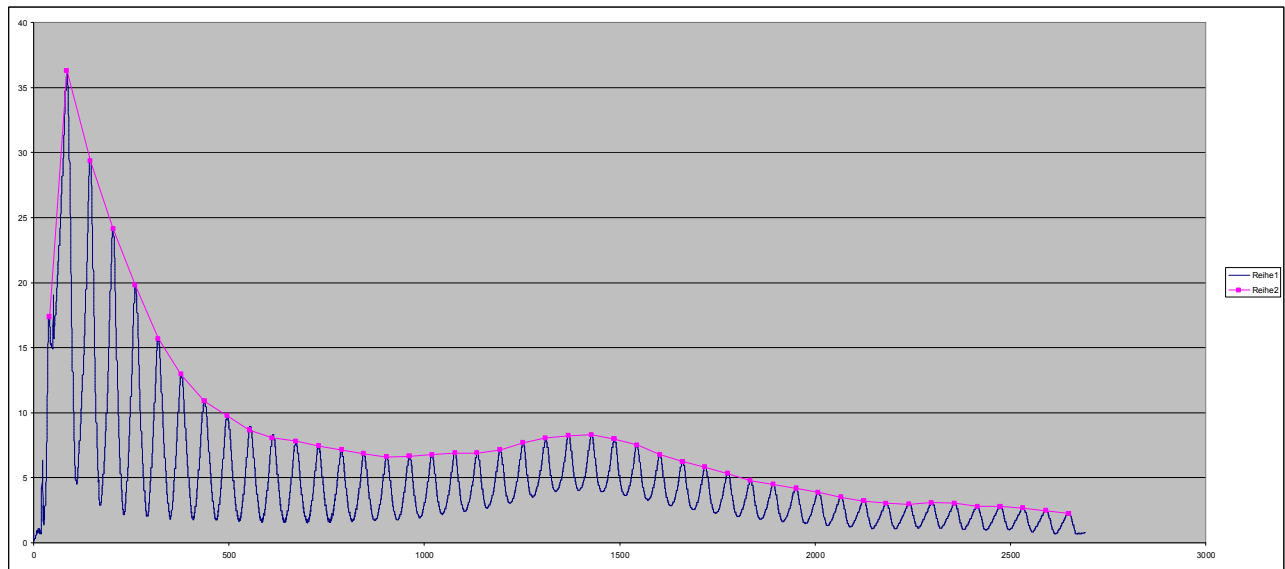
Das Problem der Behandlung der Größenordnung von **tatsächlich reellen Verlusten** ist auch hier maßgebend und durchaus ein großer Fehlerfaktor. Wie hoch sind die realen Verluste bei einer FFT-Messung wie meiner derzeitigen? Ich habe mich für die ART Simulation des Rohres mit einem Verlustfaktor von 1,33 entschieden und diese für die weitere Kalibrierung verwendet.

Var. A: Kalibrierung anhand Peak-Hüllkurven (wie bisher verwendet)



Hüllkurve der einzelnen Peaks aus der Simulation mit ART Software.

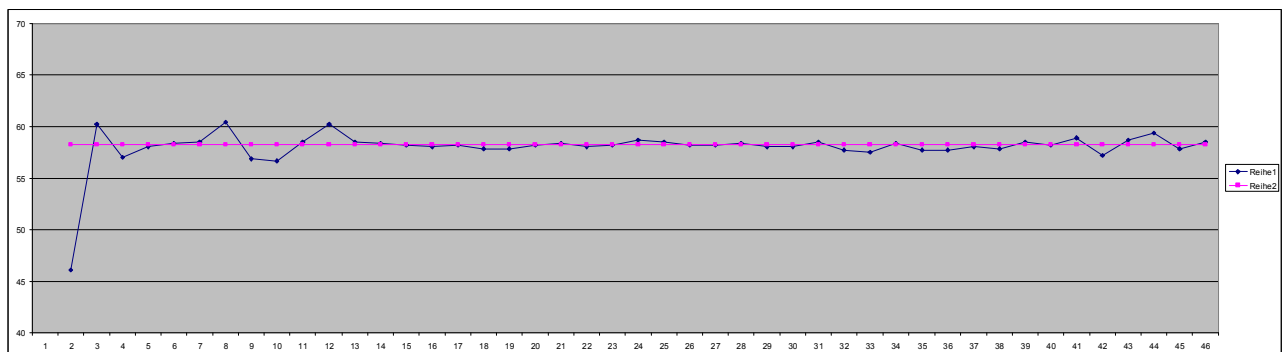
Der erste Peak ist ein sehr hoher, fiktiver Wert, da bei 0 Hz keine Resonanzspitze ist! Das simulierte Rohr ist um 5 mm kürzer – da das Plastikrohr falsch gemessen wurde!



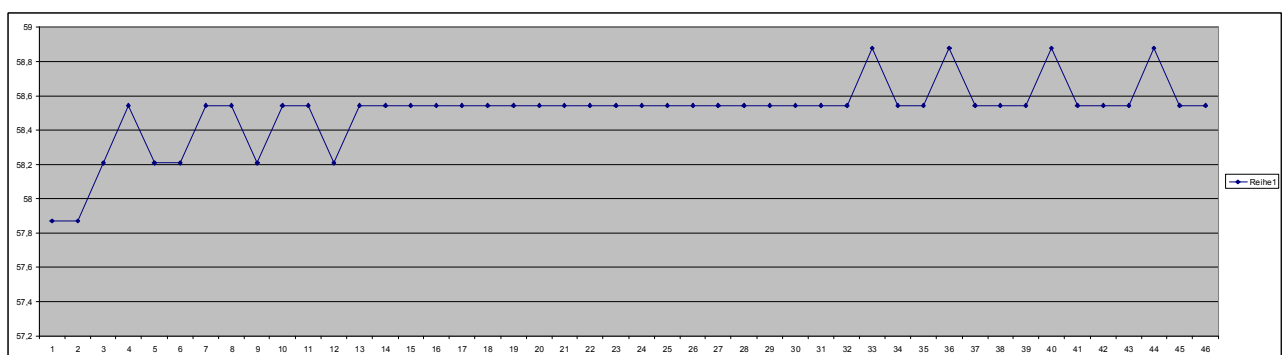
Auch aus der FFT Messung des Referenzrohres werden die Peaks ermittelt, diese liegen beim 2935mm langen Dia 14,00 mm Rohr in 58,2 Hz Schritten auseinander. Es werden von beiden Hüllkurven jeweils Splines berechnet, die die Zwischenräume mit Daten füllen.

Deutlich erkennbar:

Gemessene Impedanz-Minima unter 300Hz und zwischen 1000 und 2000 Hz weichen deutlich ab. Impedanzspitzen unterhalb 300 Hz sind zu hoch, dies ist eine Folge der Übertragungseigenschaften der Kapillare.

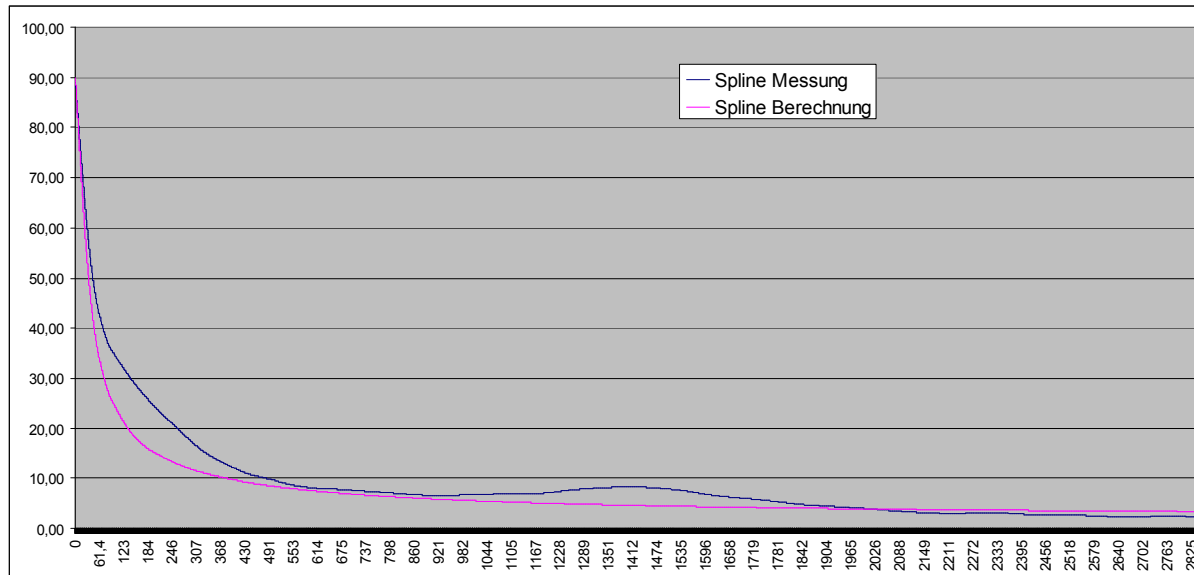


Abstand der Peaks in Hz, ergibt einen fiktiven Grundton von 29,13 Hz der Messung.



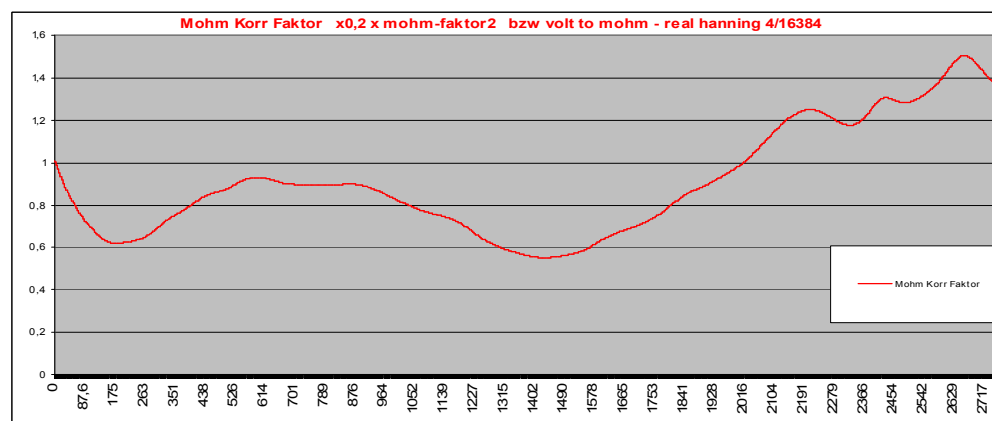
Abstand der Peaks aus der Simulation im Mittel 58,5 Hz, ergibt einen fiktiven Grundton von 29,25 Hz Der 1. Peak hat errechnete 28,6 Hz (5mm kürzer)

Prinzipiell könnten auch das Rohr zusätzlich geschlossen gemessen und berechnet werden, dadurch ergeben sich Resonanzen zwischen den Resonanzen des einseitig geschlossenen Rohres; es wären dann halb so kleine Schritte, brachten im Experiment mit Splines aber keine Vorteile, sondern nur etwas mehr Unruhe in die Korrekturkurve...

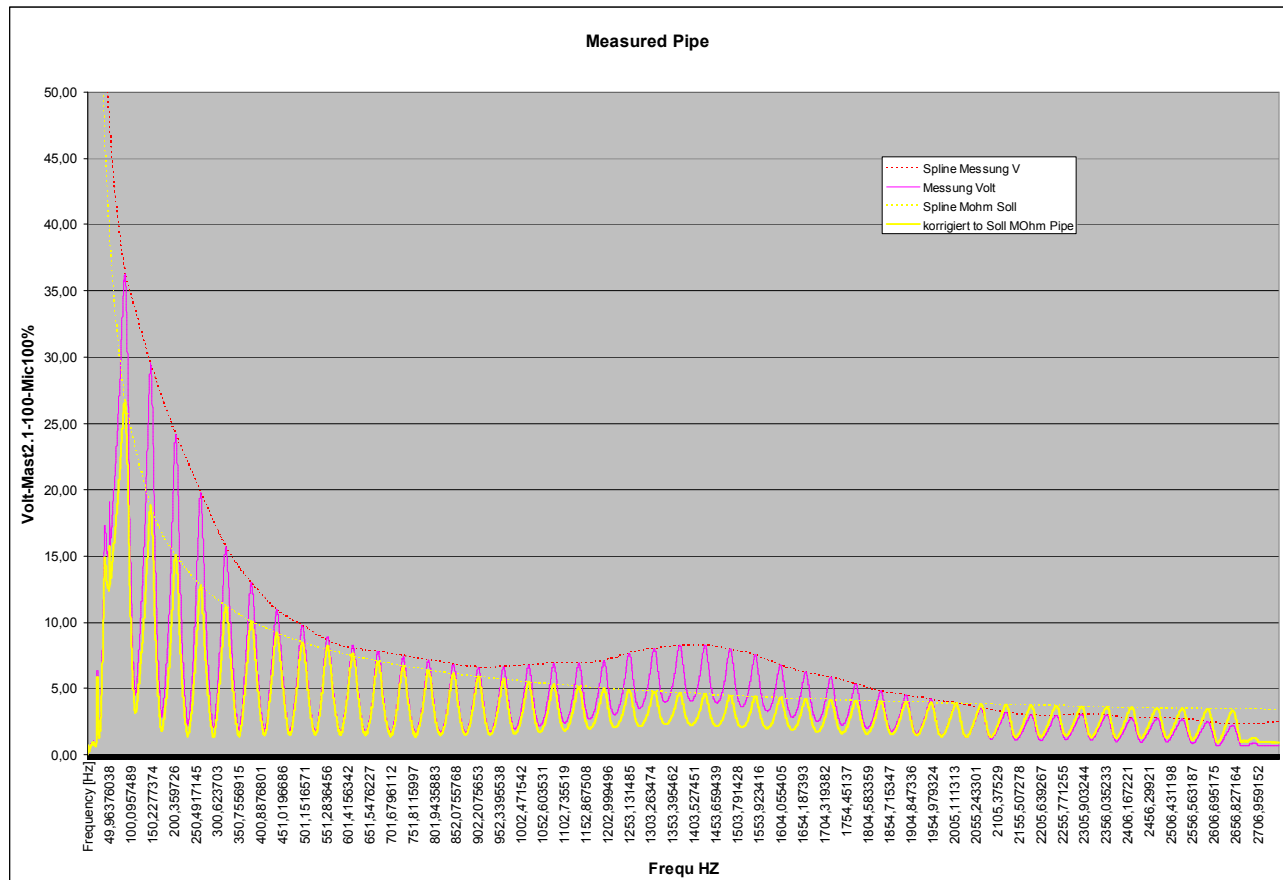


Die ersten beiden Peak-Amplituden-Werte der Messung werden angepasst, weil hier keine weitere Korrektur im Bereich 1Hz – 30,5 Hz möglich ist. Ebenso wurde der letzte Peak angepasst. Wie man sieht, ist die Anpassung von 500 – 1000 Hz sowie bei 2000 Hz am wenigsten notwendig.

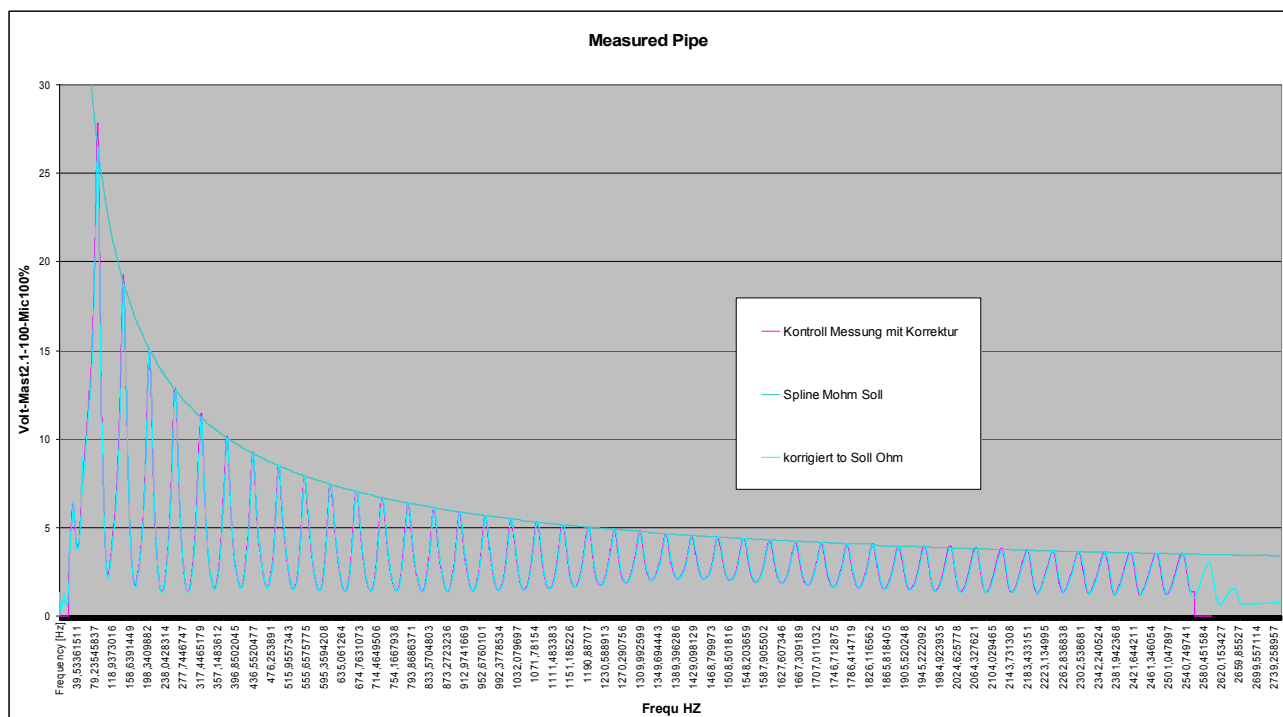
Notiz 2023: 500 – 50 Hz: Kapillare absteigend zu wenig Impedanz; (Messung zu hoch)
Bereich ~ 1400 Hz Antiresonanz Messkopf-Kammer; das korr. Anregungssignal überhöht die Ergebnisse am Messmikrophon (Zin).



Ermittelter Korrekturfaktor des zylindrischen Rohres L2930mm mit Dia 14,0 mm. anhand der Peak-Hüllkurven. Dieser Kalibrierungsschritt ändert die Amplituden der Messergebnisse **massiv**. Minima und Wave Impedanz würden falsch (mit)-korrigiert.

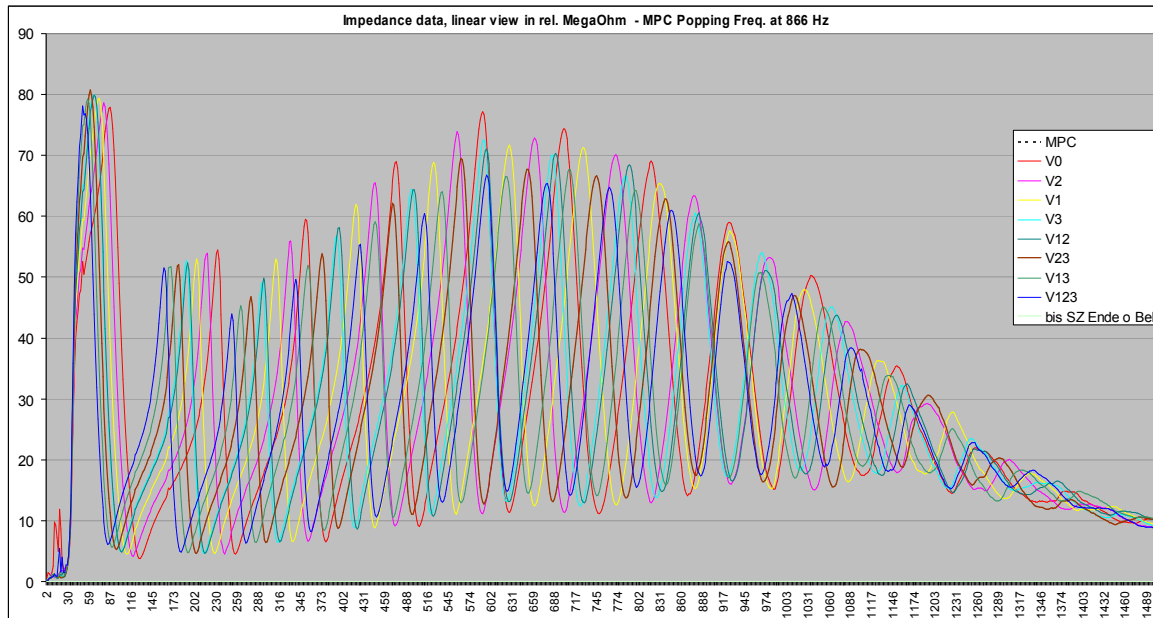


Korrekturfaktor – Pipe - angewandt Ist- und Soll – Berechnung.
 Deutlich sichtbar: Im unteren Bereich Minima trotzdem zu hoch,
 detto im Bereich um 1400 Hz, oberhalb 2000 Hz zu niedrig.



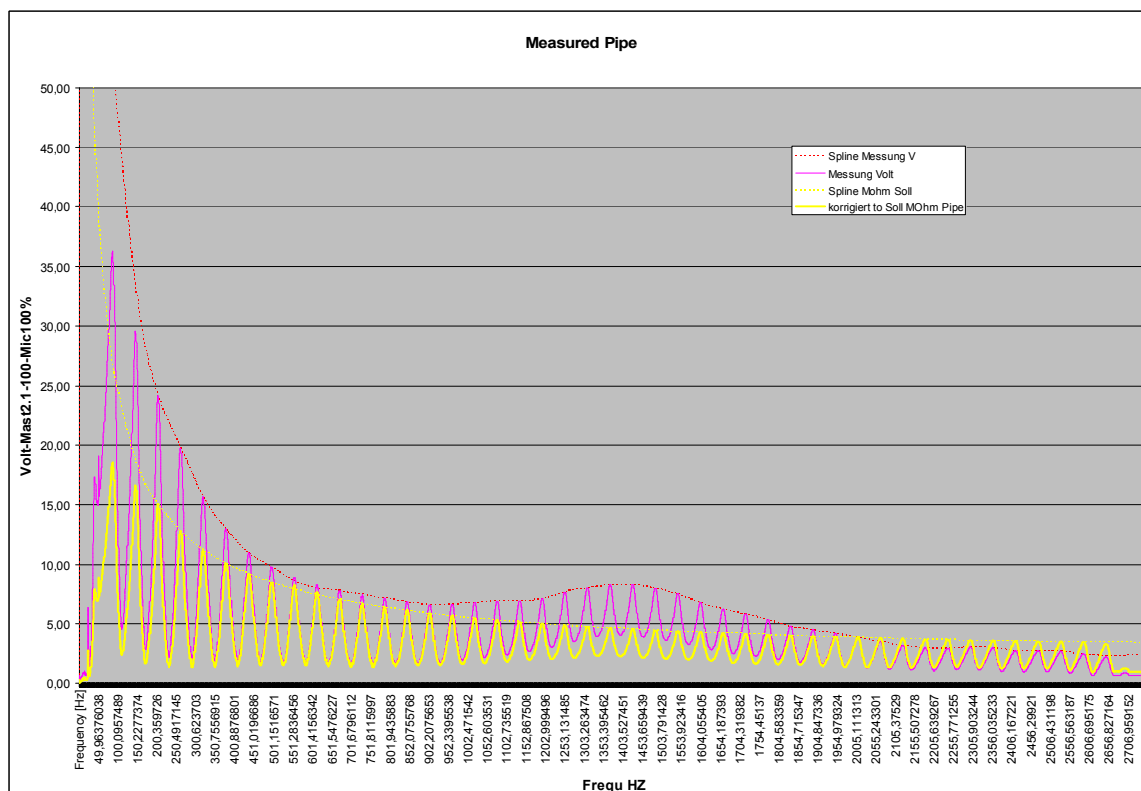
Kontroll Messung des Referenz-Rohres, jetzt mit den angewendeten Mohm-Korrekturen und Glättung, nur Peak1 und 2 weichen minimal ab – vor allem wegen dem notwendigen fiktiven Peak Wert bei 0 Hz, als auch der sehr steilen Spline Kurve in diesem Bereich.

Diese Kurve muß allerdings noch am Beginn angepasst werden, denn die gemessenen Impedanzwerte unter 150 Hz fallen zu hoch aus. (Siehe Mundstück, aber auch Impedanzmessung Ventilkombinationen, hier hätten längere Rohre eine höhere Impedanz, was nicht sein kann):

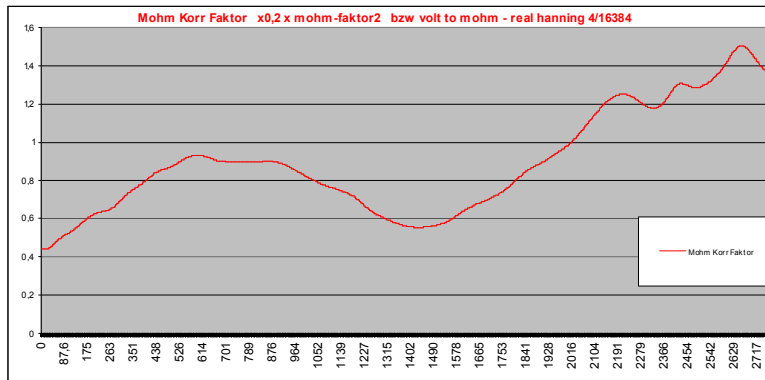


Messung ART-Tröte Mayer Landau; unter ca. 230 Hz noch immer überbewertet.

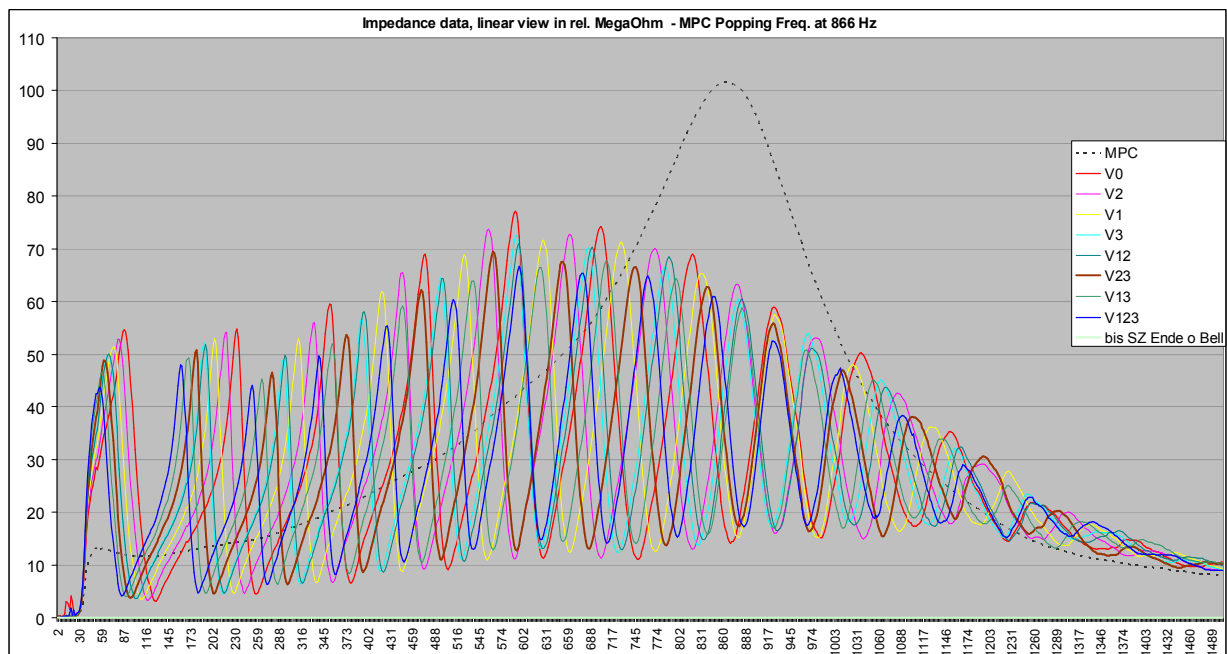
Die Amplituden müssen viel schneller abfallen! Diese müssen in jedem Fall bei NT1 V2 tiefer sein als bei NT1 V0. Ähnlich Mundstück Kurve; unter dem 4. Peak muß deutlich reduziert werden!



Korrektur 150 HZ abwärts (die 1. 3 Peaks)



neu gebastelte, angepasste Korrekturkurve – hat nichts mehr mit der Realität zu tun.



Messung komplette Trompete und Mundstück mit neuer Korrekturkurve

Zusätzlich neu integriert: Bis 60 Hz sanft einblenden.

Die Amplitude wird linear auf $\frac{1}{4}$ bei 0 Hz reduziert.

NT1 V123 Peak liegt bei ca. 55 Hz, das ist die untere Messgrenze,

unter 40 Hz sind keine brauchbaren Messdaten mehr verfügbar.

Dies soll die teils auftretenden Umweltgeräusche reduzieren.

Vorteil dieser einfachen Methode:

Der Fokus liegt auf den „Peaks“, der Linie die vordergründig am meisten interessiert.

Nachteile dieser einfachen Methode:

Die Impedanz Minima und somit die Wave Impedanz Werte sind falsch.

Impulse-Response Messungen zeigen den Fehler sehr deutlich, diese sind ohne die „Kalibrierung“ besser auswertbar.

Diese Methode wird daher nicht mehr weiterverwendet.

Var. B: Kalibrierung anhand Wave-Impedanz

Dr. Benade und seine Capillary Method, 1979:

Wenn man Peaks und Dips auf einem logarithmischen Papier aufträgt, dann sind diese ca +/- 20 dB auseinander, die Mittellinie daraus ist die Wave Impedanz....

Berechnungen sind sowohl in dB als auch in Mohm möglich: (unterschiedliche Q1-Fakt!)

Wobei zusätzlich beachtet werden muß, dass bei negativen Zahlen keine Wurzelberechnung möglich ist. Diese ist aber nicht notwendig, da der Mittelwert der Minima- und Maxima-Hüllkurven der Waveimpedanz entspricht.

Es muß daher zwischen dB Skala und Mohm Skala jeweils nach erforderlicher Berechnung etwas hin- und her geschaukelt werden.

deziBell und Megaohm: logarithmisch / linear

Merke: 100 Mega Ohm = 100 000.000 Ohm = 160 deziBell (dB)

MegaOhm nach deziBell: $20 * \log_{10}(\text{MOhm} * 1\,000\,000)$

Dezibell nach Megaohm: $(10^{(\text{dB}/20)}) / 1\,000\,000$

1 Akustisches Ohm = 10^5 Pascal-Sekunden/Meter³

Die Dr. Arthur Benade – Wave Impedance Formel (geometrisches Mittel):

Wurzel aus Peak-Hüllkurve / Wurzel aus Dip-Hüllkurve = „Q1-Faktor“.

dh. der Q1 Faktor definiert eine Mitte, wo die Wave Impedanz sich befindet.

daraus folgt des weiteren:

Peak-Hüllkurve	/	Q1-Faktor	= Wave Impedanz
Dip-Hüllkurve	*	Q1-Faktor	= Wave Impedanz

Wave-Impedanz HK*	Q1-Faktor	= Peak-Hüllkurve
Wave-Impedanz HK/	Q1-Faktor	= Dip-Hüllkurve

Peak-Hüllkurve	/	Wave Impedanz Hüllkurve	= Q1 Faktor
Wave-Impedanz HK/	Dip-Hüllkurve		= Q1 Faktor

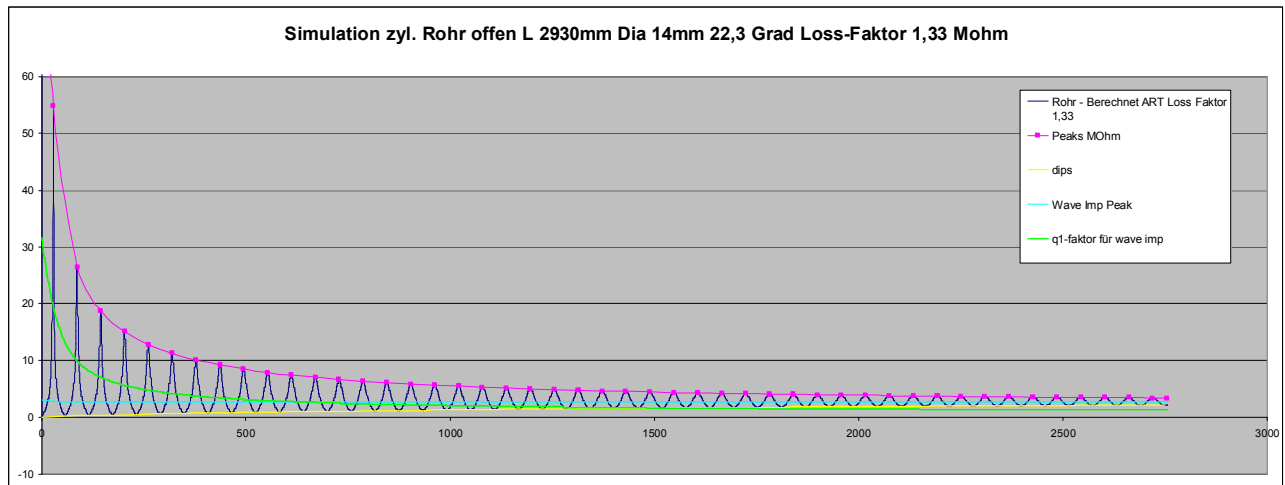
Die Formel zum Errechnen der charakteristischen Wave Impedanz eines strikt uniformen, zylindrischen unendlich langen Rohres lautet:

p = Dichte der Luft (Gewicht)	= 1,291	kg / m ³
c = Schallgeschwindigkeit	= 345	m / Sek. (bei ~22 Grad)
S = Qerschnittsfläche Rohr	= 0,0001539 in m ²	(14mm Diameter)

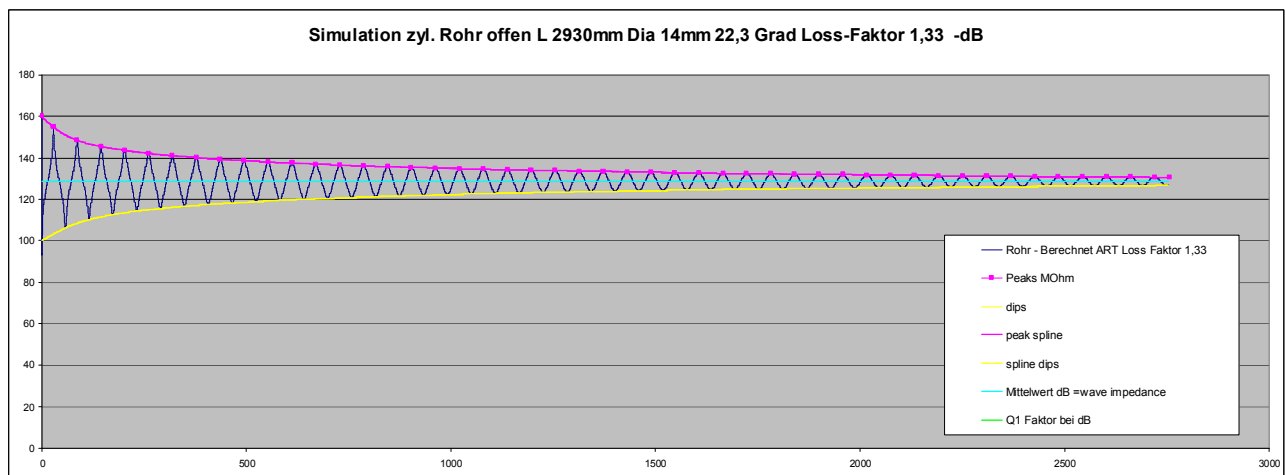
Z charakteristisch = $p * c / S$ = Z char. Rohr 14mm = 2,893 Mega Ohm bzw. 129,22 dB.

Bei einem zylindrischen Rohr ist die Wave-Impedanz quasi tatsächlich beinahe linear, steigt minimal (Verluste, ist nicht unendlich lang). Die mit ART-Simulation errechneten Werte sind 128,5-128,6 dB bzw. 2,66-2,69 Mohm.

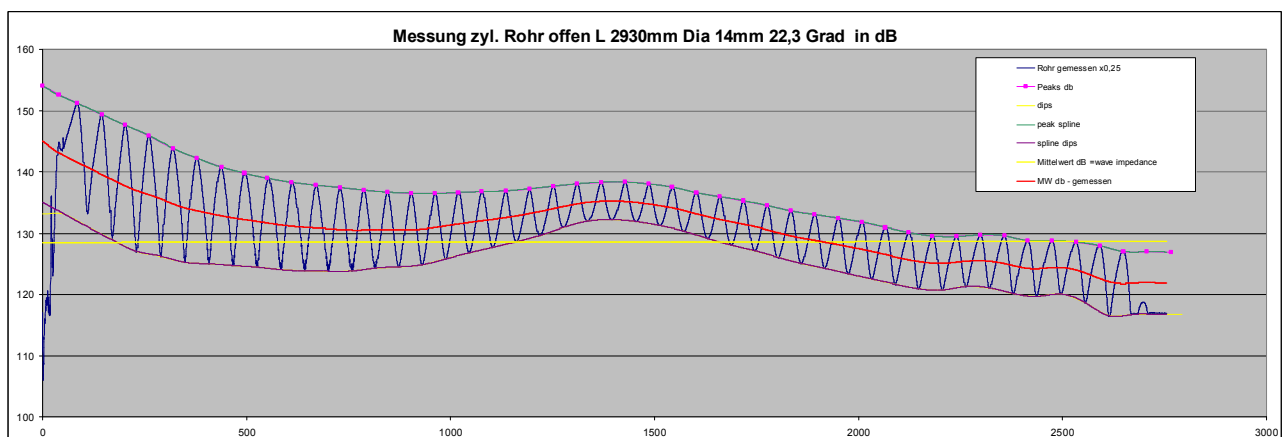
Verschiebt man die ermittelten dB Werte auf logarithmischer Skala so weit nach unten, dass die Wave Impedanz gleich 0 dB ist also -128,6db, so erhält man Werte, die für Peaks und Dips den **absolut selben Abstand** zur Null Linie (Wave Impedanz) haben.



Berechnung mit ART, Skala in Mohm

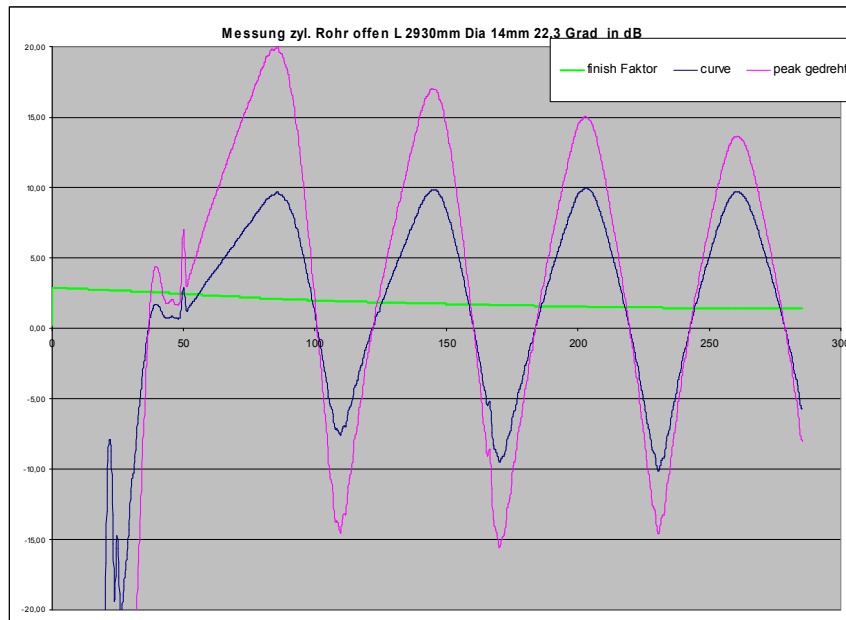


Berechnung mit ART, Skala in dB

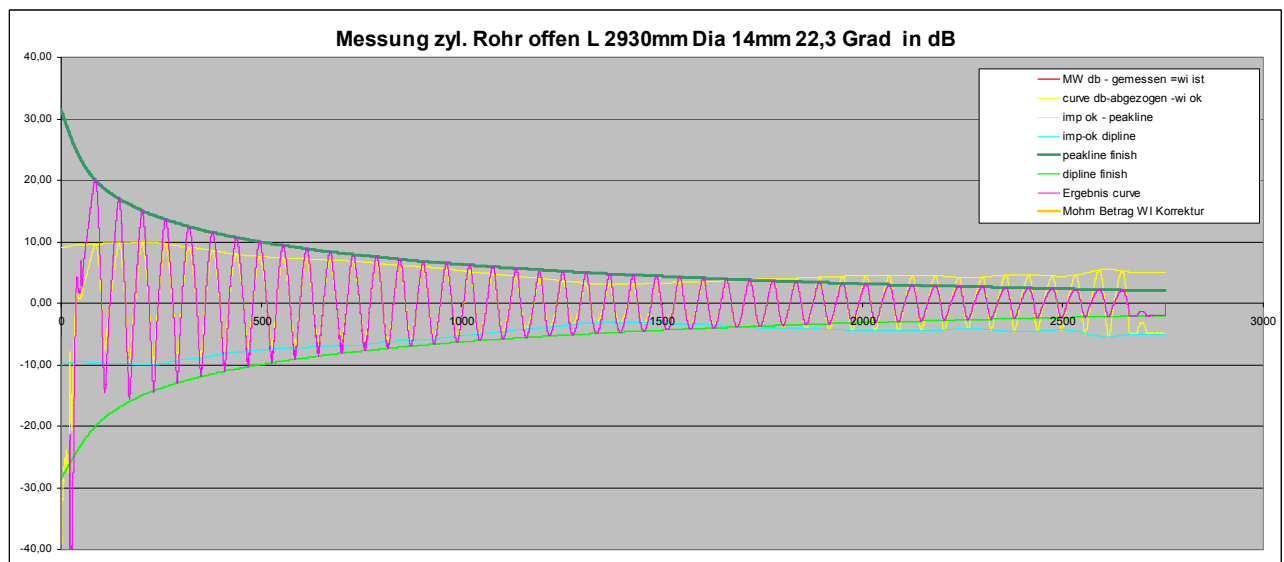


Messung 14mm Rohr und Korrektur anhand der Wave-Impedanz.

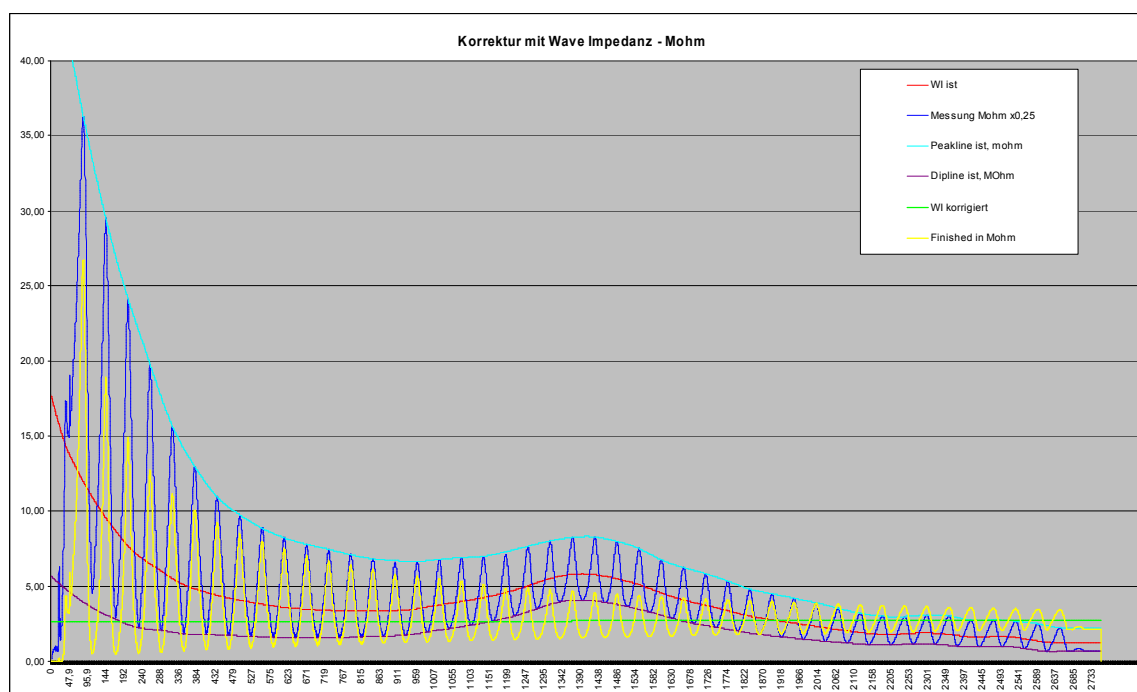
Korrekturschritt 1: Die rote Linie ist die gemessene Wave Impedanz, dh. heißt der genaue Mittelwert in dB Darstellung. Diese soll durch die Korrektur an an die Position der gelben Linie. Anschließend wir von allen Werten die ermittelte Waveimpedanz abgezogen, damit diese bei 0 ist.



Korrekturschritt 2 geht davon aus, **daß die Wave Impedanz gleich 0 ist.** Maxima-Berge (positive Zahlen) werden höher, Minima-Täler (negative Zahlen) werden tiefer.



Korrekturschritt 2, Minima und Maxima mit Q1-„Finish“-Faktor korrigiert. Die Peakhüllkurven und die Minimahüllkurven sind „spiegelbildlich“ gleich, aber unter 300 Hz gibt es Diskrepanzen. Die gelbe Kurve wird mit dem Finish-Faktor für die fertige rosa Kurve multipliziert.



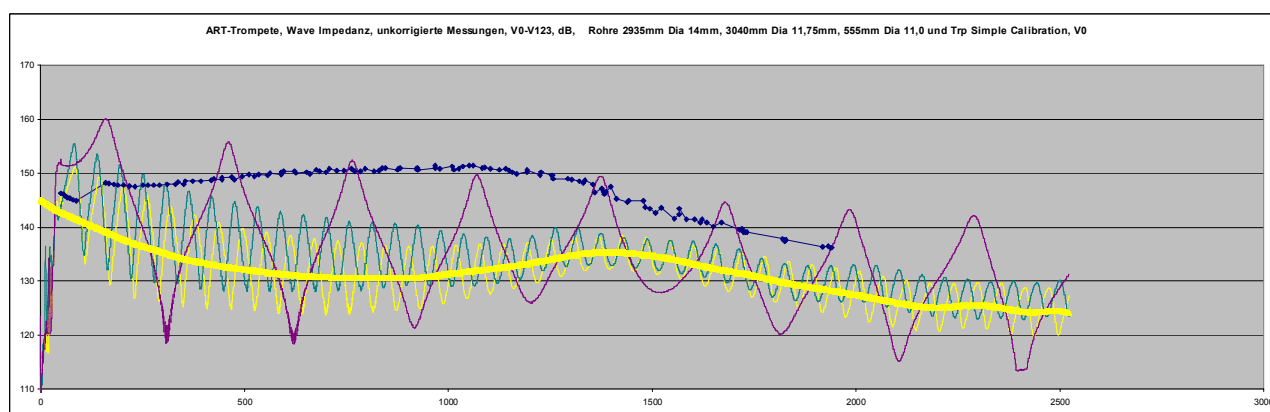
Die so ermittelte Kurve kann wieder an Ihre ursprüngliche Position Wave Impedanz bei 128,6 dB. 14mm Rohr mit Korrektur, zurückgerechnet in Mohm.

Vorteile dieser Kalibrierungsmethode:

Sollen Messungen des definierten zylindrischen Rohres und andere, rein zylindrische Rohre kalibriert werden, ist es die beste und genaueste Methode.

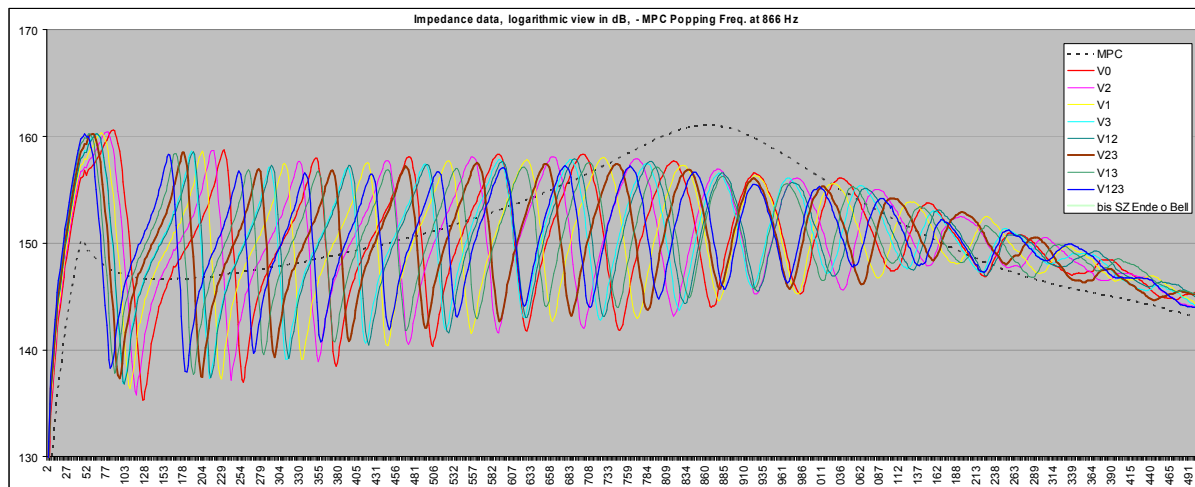
Nachteile dieser Kalibrierungsmethode:

Wave-Impedanz und damit verbunden Impedanz-Minima und auch Maxima werden exakt korrigiert, aber die unterschiedlichen Wave-Impedanzen von anderen Objekten im Vergleich zu zylindrischen Rohren machen die Methode letztendlich unbrauchbar, da die Logik davon ausgeht, dass die Wave Impedanz **linear** verläuft.

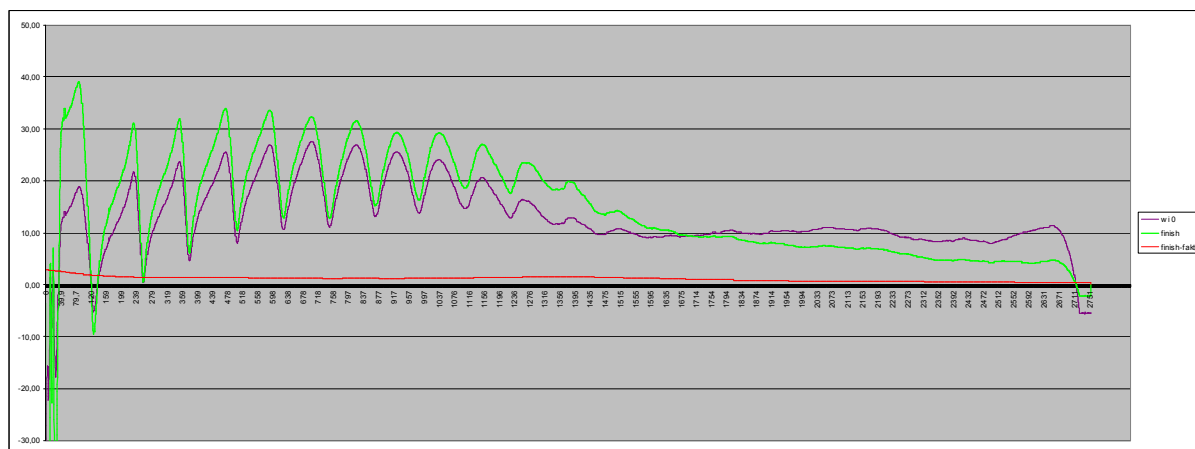


Rohre unkorrigiert, und Messungen ART-Trp. V0-V123 unkorrigiert, Wave Impedanz dB 20 dB Unterschied 14mm Rohr zu Trp. entspricht einem Faktor 10 höher.

Die Abweichungen, welche mit bei den Rohren auftreten können bei der Trompete nicht nachvollzogen werden, mit Ausnahme, dass der Beginn bis 560 Hz bei allen Messungen zu hoch liegt und ein allgemeines Abfallen ab 1400 Hz stattfindet. Die Überhöhung mit allen 3 Rohren bei rund 1400 Hz – also bei wesentlich niedrigerer charakteristischer Wave Impedanz ist den Messungen der Trompete – unterschiedliche Längen, nicht feststellbar.

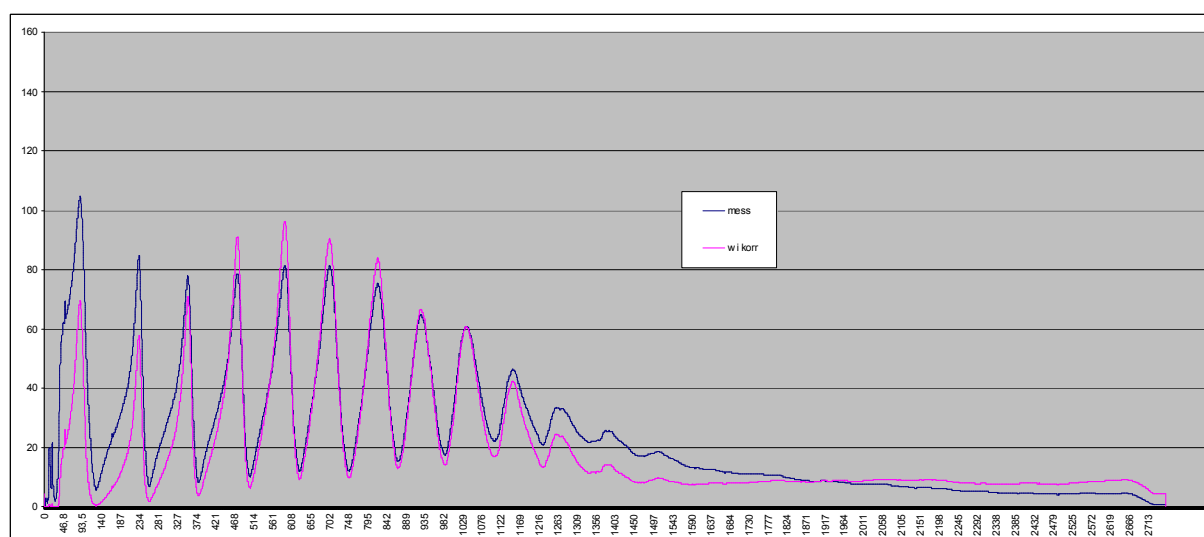


so sieht die unkorrigierte logarithmische Darstellung der Trp. aus.



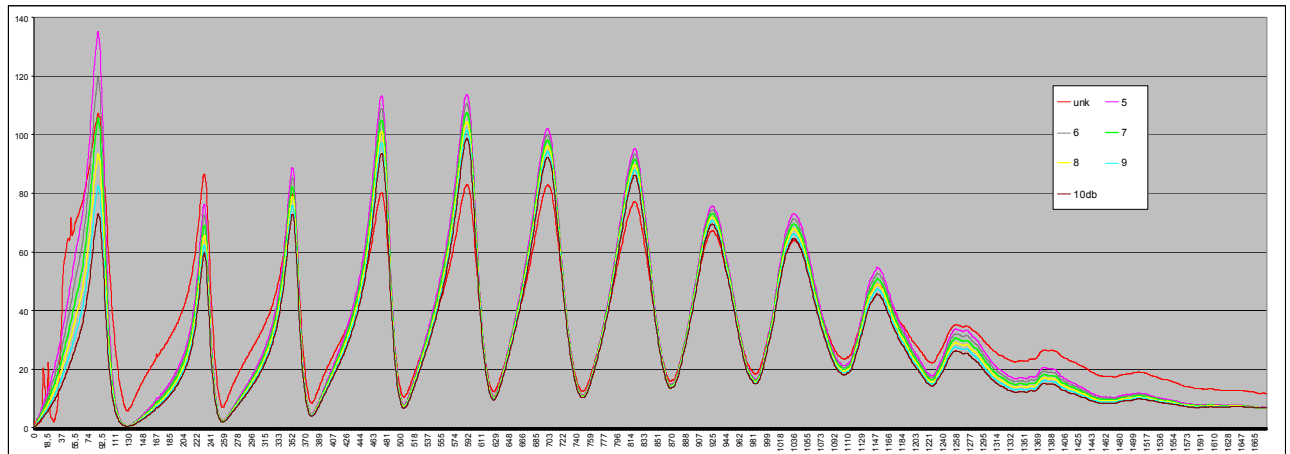
Messung Trp. V0, um 128,6dB abgesenkt und Korrekturvorschlag (grün):

Mit Ausnahme der 1. Minima liegen alle Daten oberhalb der Wave Impedanz des 14mm Rohres bei 0. Dadurch ginge die Korrektur über weite Strecken in die falsche Richtung.



Das wäre die korrigierte Messung anhand des 14mm Rohres;

Beginn zu klein, bei 500 HZ zu hoch, bei 1300 Hz zu niedrig, ab 2000 Hz zu hoch.

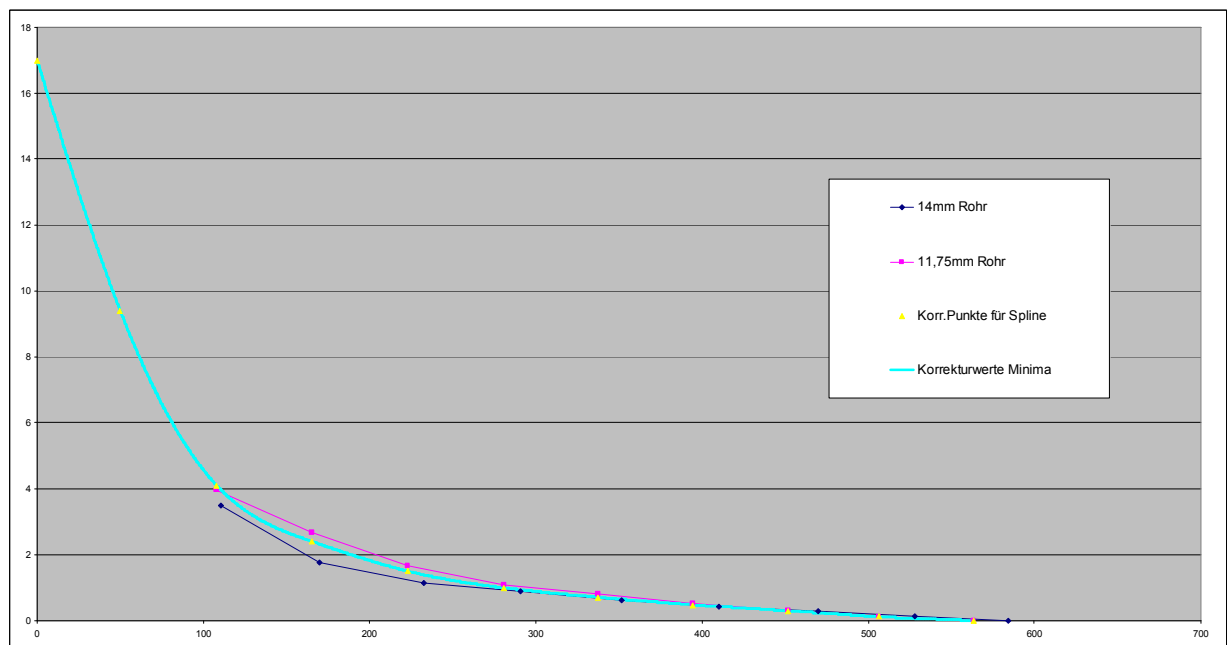


Ein zusätzliches Absenken um 5-10 dB bringt ebenfalls nicht die gewünschte Korrektur, sondern verlagert nur die unterschiedlichen Potentiale, je nach Absenkung. Die zusätzliche Absenkung ist für Rohre verwendbar um auf das richtige Niveau der char. Wave Impedanz (Nullwert) zu kommen.

Var C: „Simple“ Kalibration

Bei einem „trompetenähnlichen“- Instrument ist die Wave Impedanz stark von der Mundstück Popping Frequenz, als auch vom Schallbecher abhängig und ist über die Frequenz nicht linear, sondern ähnelt einer „Haube“.

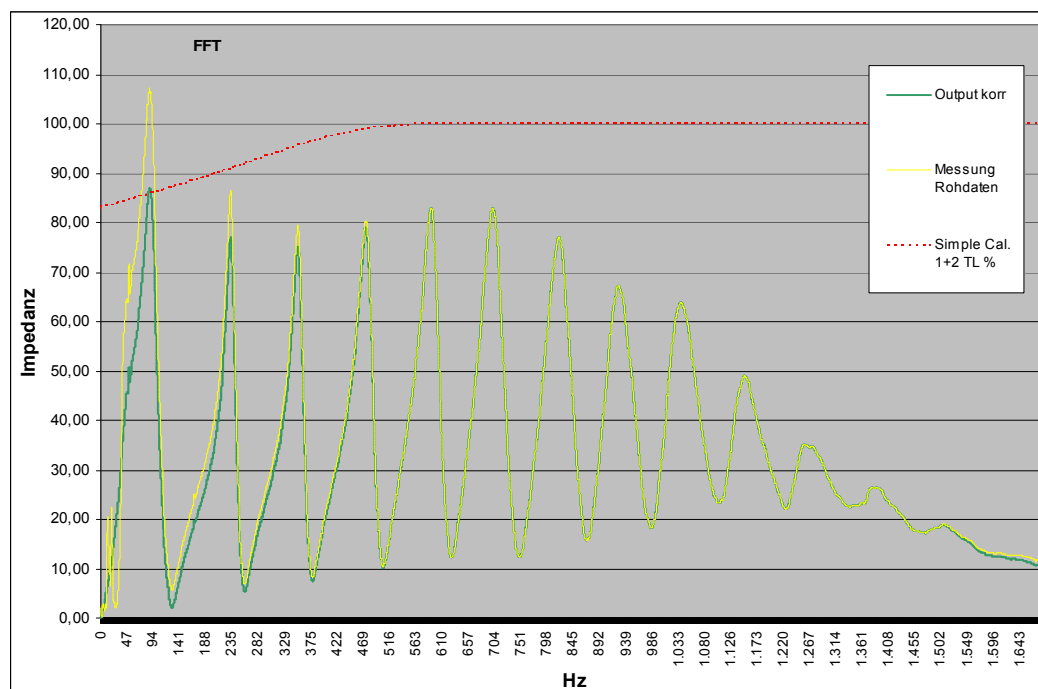
Die gemessenen Magnitudenwerte bis 560 Hz sind bei Peaks, Minima und dadurch auch Wave Impedanz zu hoch. Die Magnitude möchte ich im weiteren Verlauf ab 1500 Hz für bessere Impulse-Response Auswertungen noch weiter absenken und nicht mittels einer Korrektur anheben.



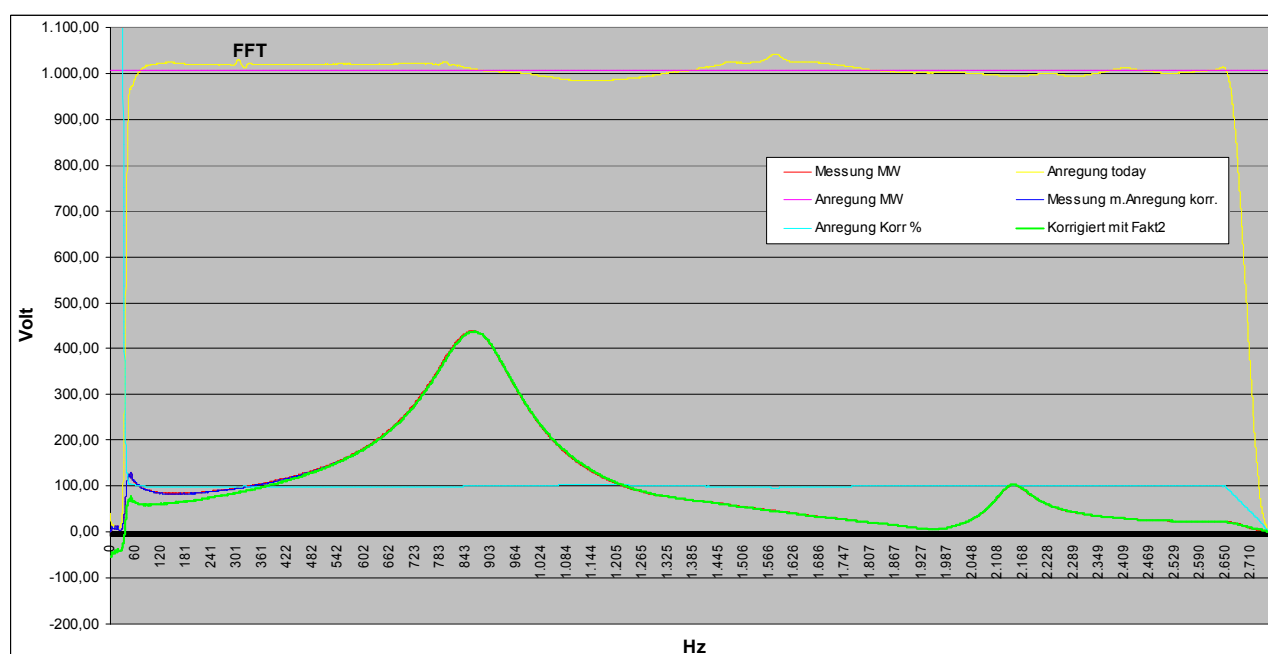
Korrekturschritt 1:

Anhand der Minima Abweichungen des 14mm und 11,75mm Rohres einen Mittelwert und eine Spline Kurve bilden und diese Beträge von der Messung **abziehen**.

Der Beginn der Kurve bei 0 Hz bis 100 Hz ist geraten.



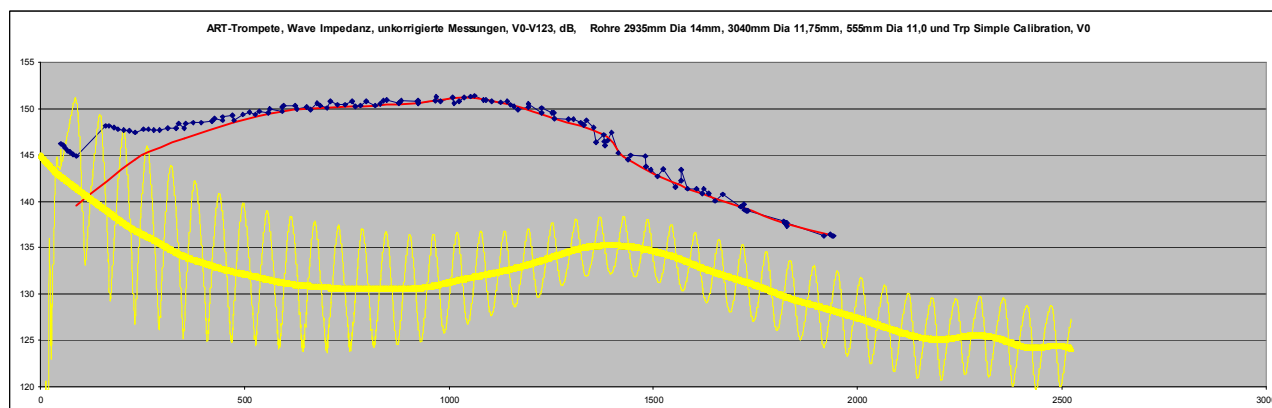
Korrekturschritt 2: Kurve absenken mittels skalarem Faktor, das soll dem Effekt der hier „undichten“ Kapillare gegensteuern.



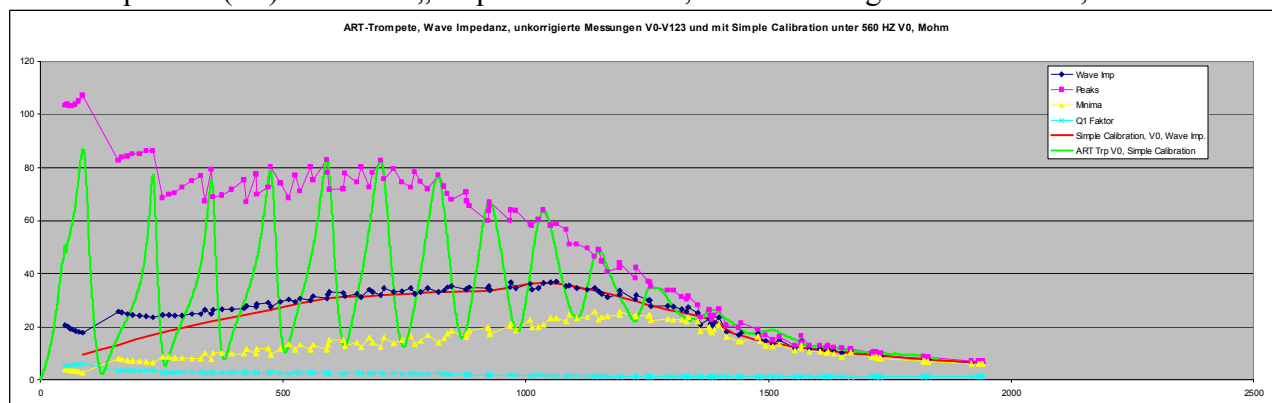
Korrektur mittels Kalibration Modell „Simple“. Messung Mundstück.
Wie man sieht, ist der Bereich bis 60 Hz noch immer etwas zu hoch.

Hier liegt der tiefste NT1 mit V123 und es wird daher nicht noch extremer korrigiert.
Aus dem selben Grund wird nur unter 45 Hz die Messkurve durch eine errechnete Kurve ersetzt, um negative Auswirkungen bei der Impulseresponseauswertung zu vermeiden.

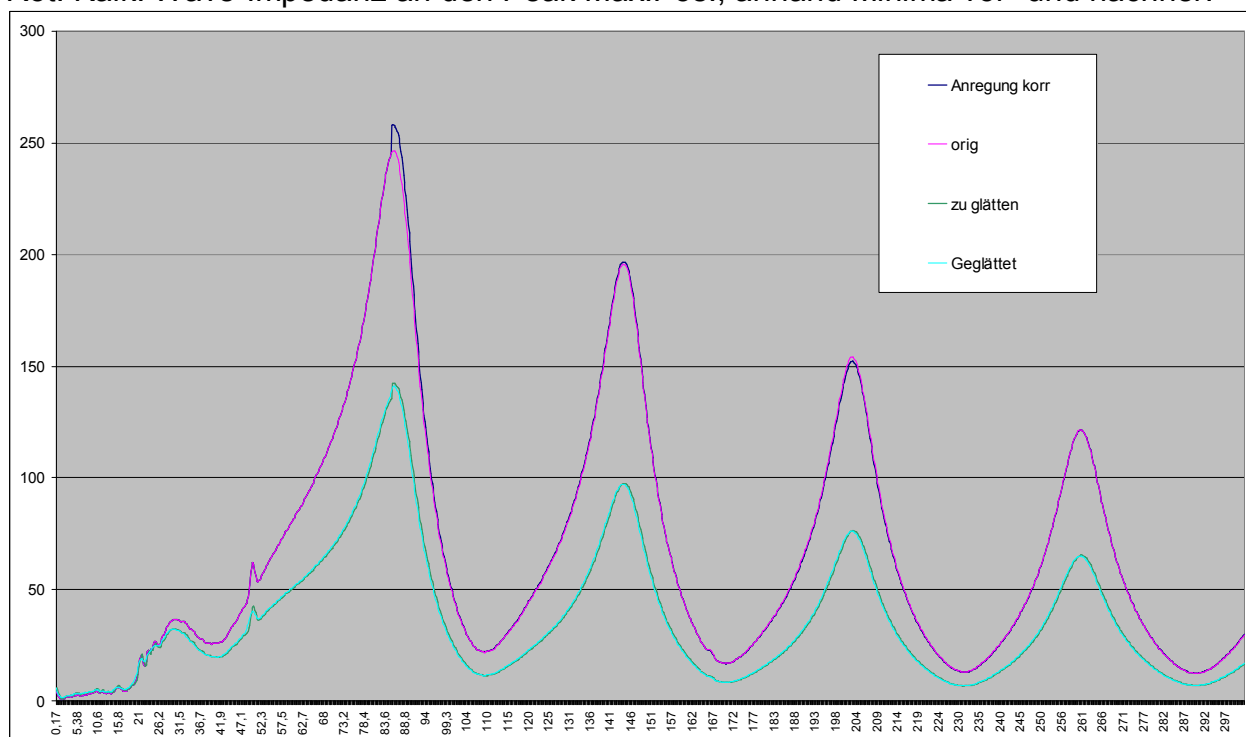
Ab 1500 Hz ist ein Fade-out bis 2756 Hz mit wählbarem End Faktor einstellbar.
Dieses verbessert die Impulse-Response Auswertungen, detto ein fixes Ausblenden ab 2650 Hz, um einen abrupten Abschluß zu verhindern. **Um die gemessenen Frequenzen möglichst nicht zu manipulieren, wird auf weitere Kalibrierungsschritte verzichtet.**



Wave Impedanz (rot) in dB mit „simple“ Kalibration, blau: unkorrigiert alle Ventile, Tube 14mm

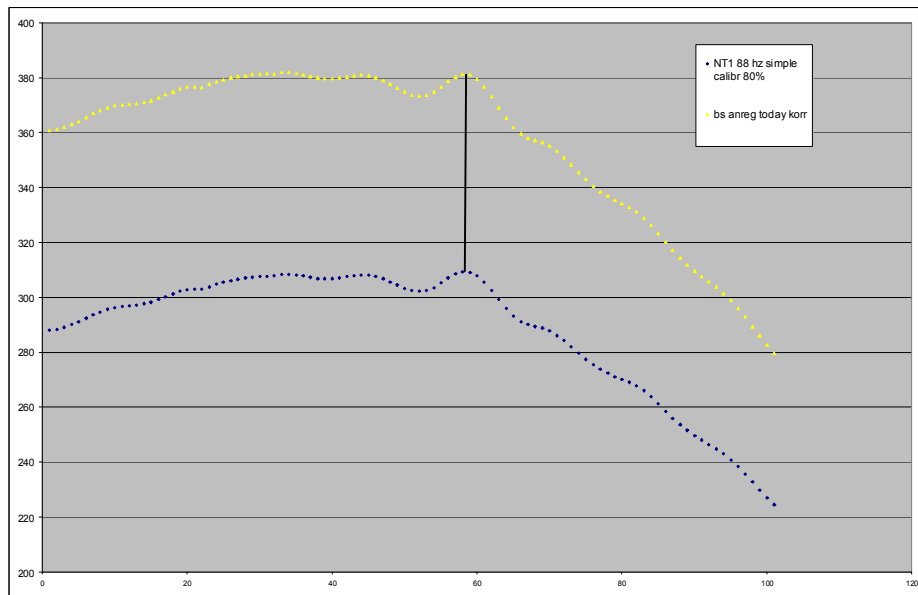


Werte unkorrigierte Messungen aller Ventile Peak Maxima, Wave Impedanz, Minima, sowie hellblau der Q1 Faktor. Hellgrün: V0 Messung mit „Simple“ Kalibration korrigiert. Rot: Kalk. Wave-Impedanz an den Peak Max.Pos., anhand Minima vor- und nachher.

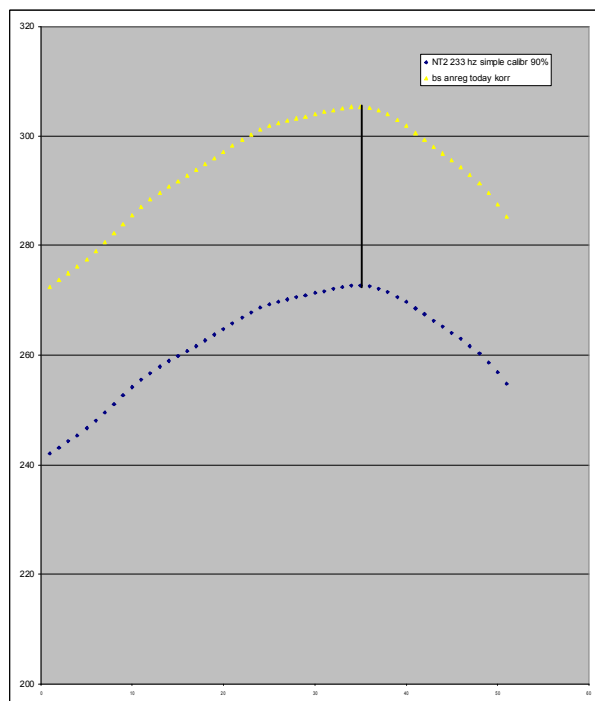


Volt-Skala rosa / blau: Orig. / Raw ohne Korrektur und Anregung korrigiert mit heutigen Abweichungen vom Mittelwert der linearen Anregung (Neu: Nun mit einer Kombination aus Savatzky-Golay und Mov. Averaging geglättet). MOhm-Skala: Kalibrierte Ergebnisse zu glätten und geglättet.

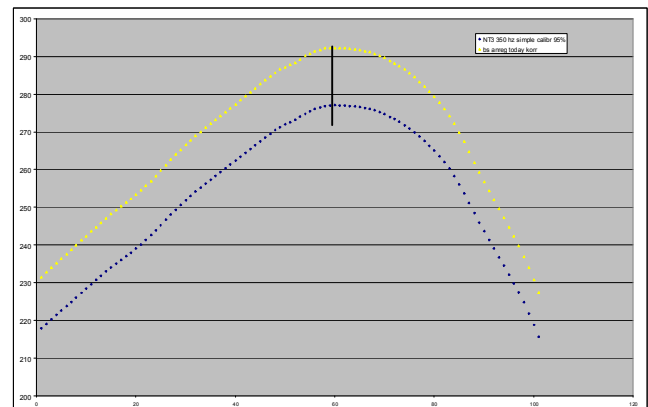
Prüfen auf mögliche Frequenz-Abweichungen durch die Simple-Kalibrierung:



NT1 Simple Kalibration ~ 88 Hz, Sample Nr. 58 im Ausschnitt bleibt Maxima bei Nr. 58, Die Magnitudehöhe erfährt in diesem Frequenzbereich die größte Reduktion auf ~ 80 %.



NT2 Simple Kalibration, ~90%, Magnitude kein Versatz Samples / Frequ.



NT3, ~95%, kein Versatz, Sample Nr.60 im Ausschnitt bleibt Max. bei Sample Nr. 60

Die Today-Korrektur und die Simple Calibration verursachen keinen Frequenzversatz markanter Punkte, wie auch Peak Maxima. Die Anteile in den Flanken variieren minimal, bei einer noch folgenden Glättung tritt dann dadurch ein sehr kleiner Effekt auf.

NT1 hat mit 80,5% die größte Abweichung und Winkel der Kalibrierung bei Peak 88 Hz. -26 Samples = 79.9%, +26 Samples = 81% Magnitude. D.h. Diff. 0,5 % max. verschoben links weiter abgesenkt, rechts weniger; in der Mitte keine Abweichung. D.h. eine mögliche Größenordnung wäre 1-2 Samples weiter rechts bei NT1, kann vernachlässigt werden.

Überlegungen, wie Pitch-Abweichungen generell reduziert werden können:

Es gibt generell 3 markante, unterschiedliche Problemarten:

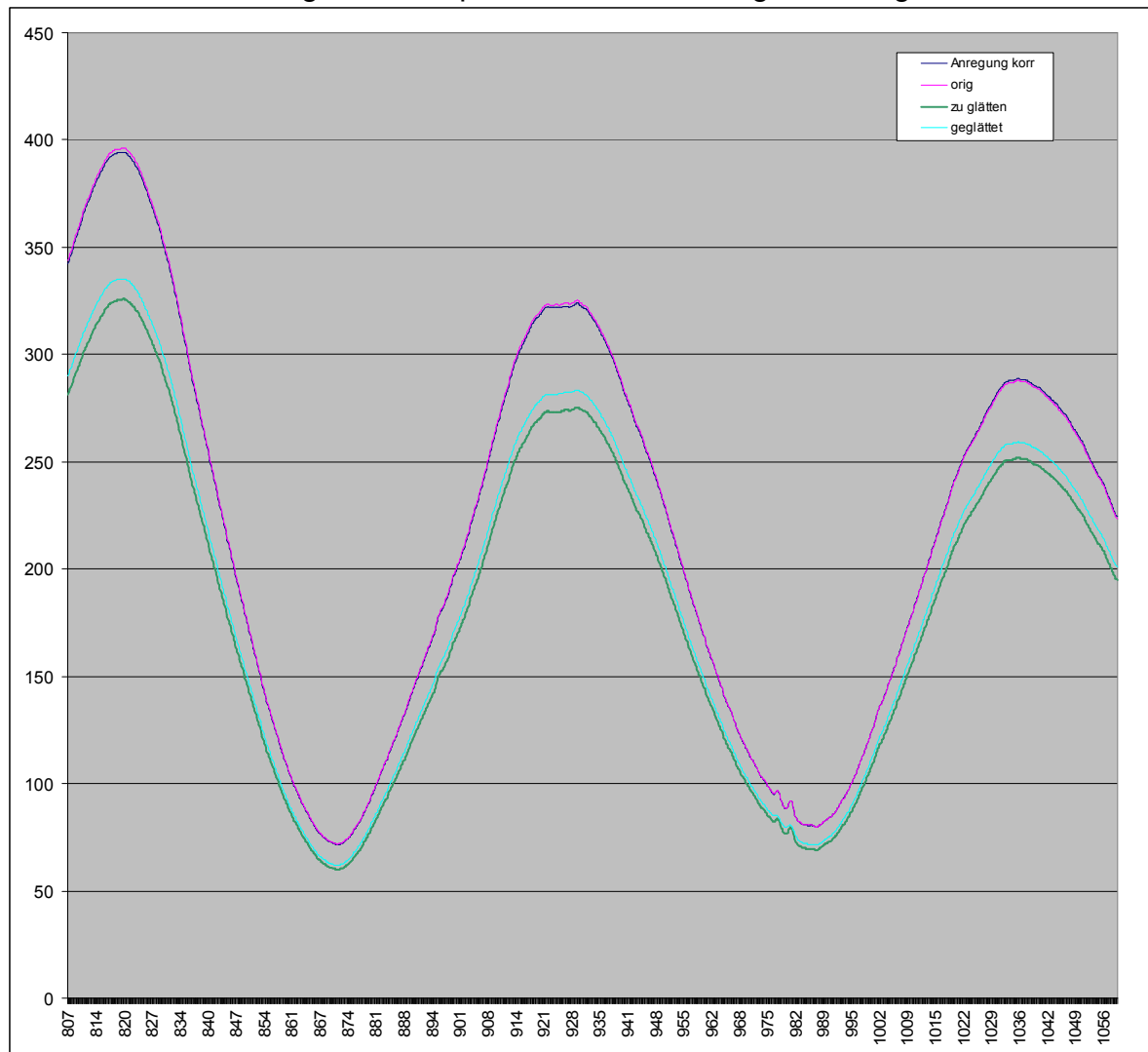
1. völlig verunstaltete „Peak Spitzen“ oberhalb der MPC-Popping Frequ. nahe Cut off.
2. Messtechnische Probleme im untersten Frequenzbereich (NT1, NT2)
3. Generelle Probleme anhand der FFT-Messtechnik (Rumpeln/Keulen).

Es ist daher notwendig, anhand festzulegender Kriterien solche verunstalteten, schlecht ausgestalteten Spitzen 1. passend zu glätten und im Fehlerfall, oder ev. sogar generell 2. durch statistische Werte zu ersetzen, oder diese zumindest miteinzubeziehen.

1: Glättung – Variante gleitender Durchschnitt, nicht gewichtet:

Eine leichte Glättung mit 4-stufig kaskadiertem, gleitendem Durchschnitt, innerhalb max. $\pm 1,35$ Hz. Kleine Ausreißer bei Messungen können so minimiert werden.

Eine stärkere Glättung würde die Frequenzen bei den Amplituden Maxima verschieben und so wiederum falsche Ergebnisse liefern – was in jedem Fall ausgeschlossen sein soll. Andererseits soll durch die Glättung das Flimmern und Zickzack reduziert werden und so konsistentere Messergebnisse, spez. bei Wiederholungsmessungen liefern.



Beispiel-Messung Trompete V0, Bereich 807-1056 Hz;

(Die geglättete Kurve ist in diesem Diagramm absichtlich Faktor 1,03 höher für bessere Lesbarkeit!) Stärkeres Ausfransen und Rumpler wie bei ca. 820 Hz werden schon gut korrigiert und sollen die Messungen wesentlich konsistenter machen.

NT8 bei hier ca. 930 Hz hat eine unscharfe Spitze, diese kann durch Glättung nie und nimmer „spitz“ werden. Das Peak-Maximum liegt zudem in jedem Fall weiter rechts vom „Zentrum“ der Resonanz. -> Ein Fall für Teil 2: Statistik.

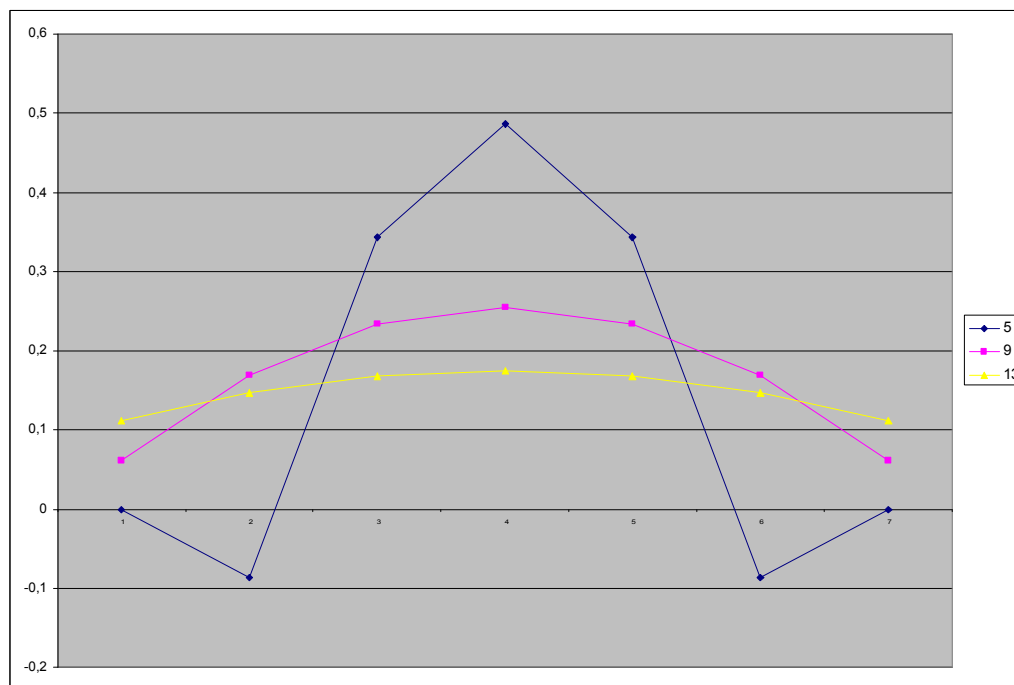
Part 1: Glätten der Messdaten mit Savitzky-Golay Filter:

Gegenüber dem gleitenden Durchschnitt, welcher auch Maxima und Minima teils stark einebnet, hat dieser Algorithmus den Vorteil, dass auch Maxima / hohe Frequenzen mit berücksichtigt werden, nicht gleich eingeebnet werden, es ist eine gewichtete Glättung.

Dieser kann alternativ, zusätzlich oder in Kombination mit gleitendem Durchschnitt

- bereits beim Anregungssignal
- zur Glättung der „today“ Abweichungen anhand Kontroll Mikrophon (umgesetzt)
- zur Glättung der Messungen mit Meß-Mikrophon (->ev. auch Impulse Response)

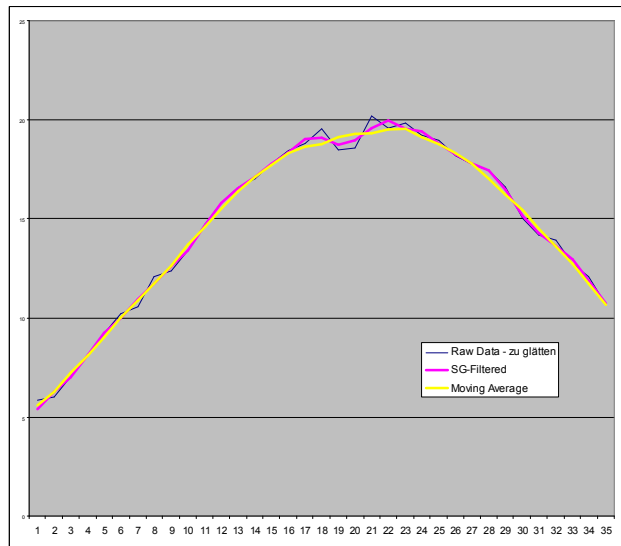
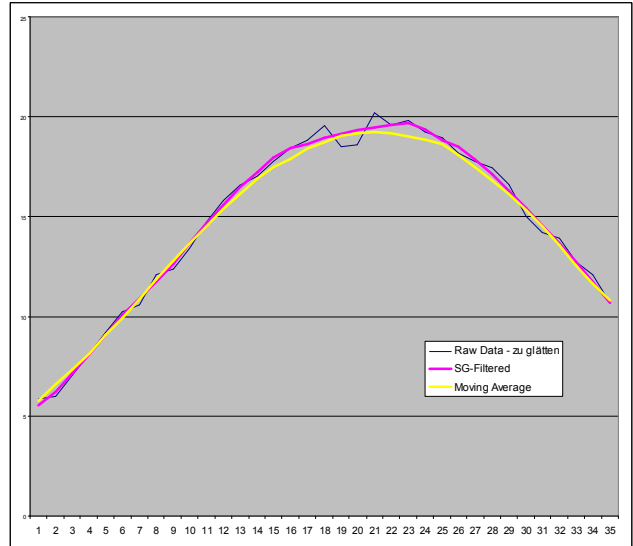
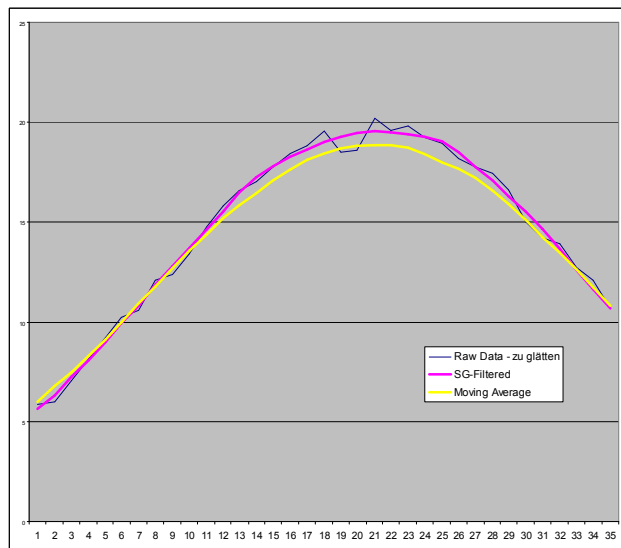
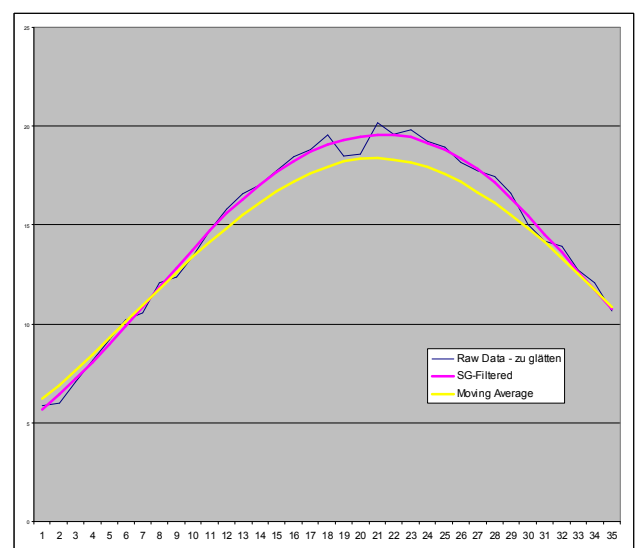
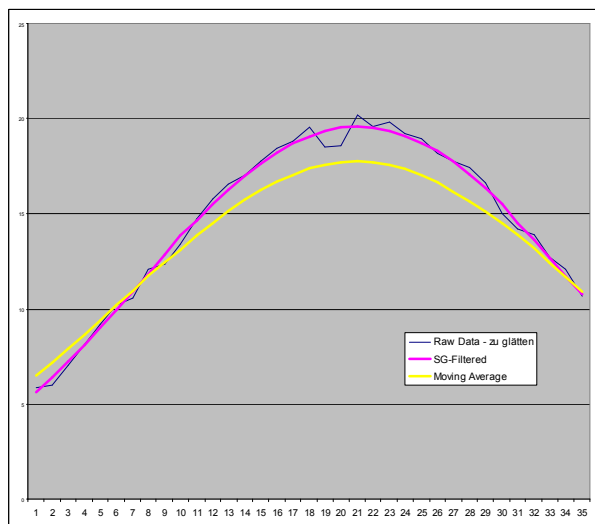
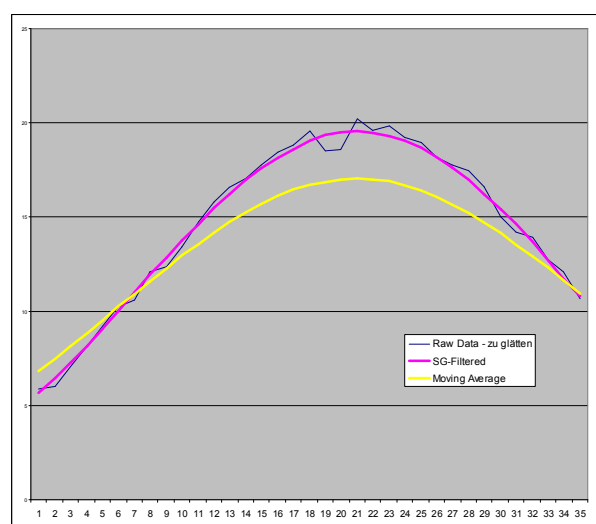
verwendet werden. Die Funktion ist nun in das Modul FFT-Mittelung integriert.

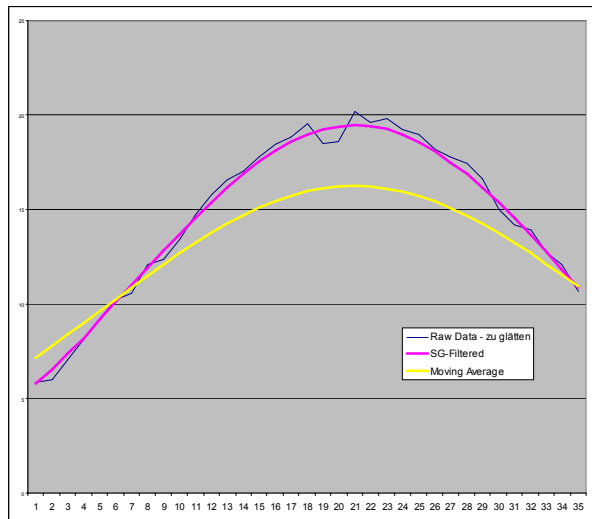


Savitzky-Golay quadratische Fensterfunktion schematisch: Im Zentrum des gleitenden Fensters – hier bei „4“ und an den Flanken ist das jeweilige Gewicht der Glättung zu erkennen.

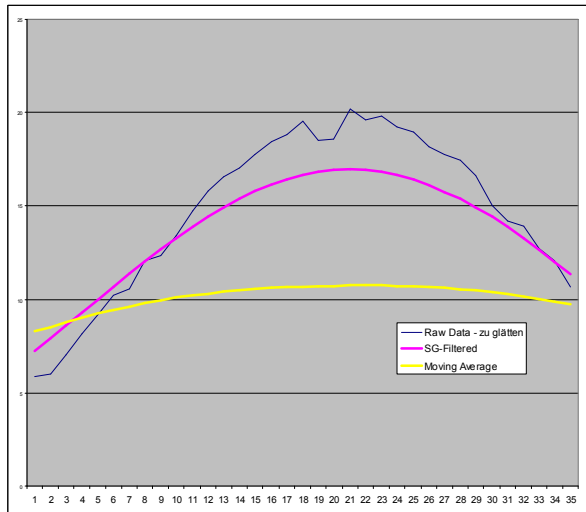
Alle Gewichte zusammen benötigen in Summe den Faktor 1,0 (auf 1 normalisiert). Die maximale Anzahl ist mit einem kleinen Trick 57 Punkte, = 28 Werte davor, der zentrierte Wert + 28 Werte danach /Summe der Gewichte.

Bei einer Auflösung von 0,168 Hz sind das +/- 4,7 Hz maximale Breite des Fensters.

5 Punkte $\pm 0,34$ Hz9 Punkte $\pm 0,67$ Hz13 Punkte ± 1 Hz17 Punkte $\pm 1,34$ Hz21 Punkte $\pm 1,68$ Hz25 Punkte ± 2 Hz (34 angezeigt)

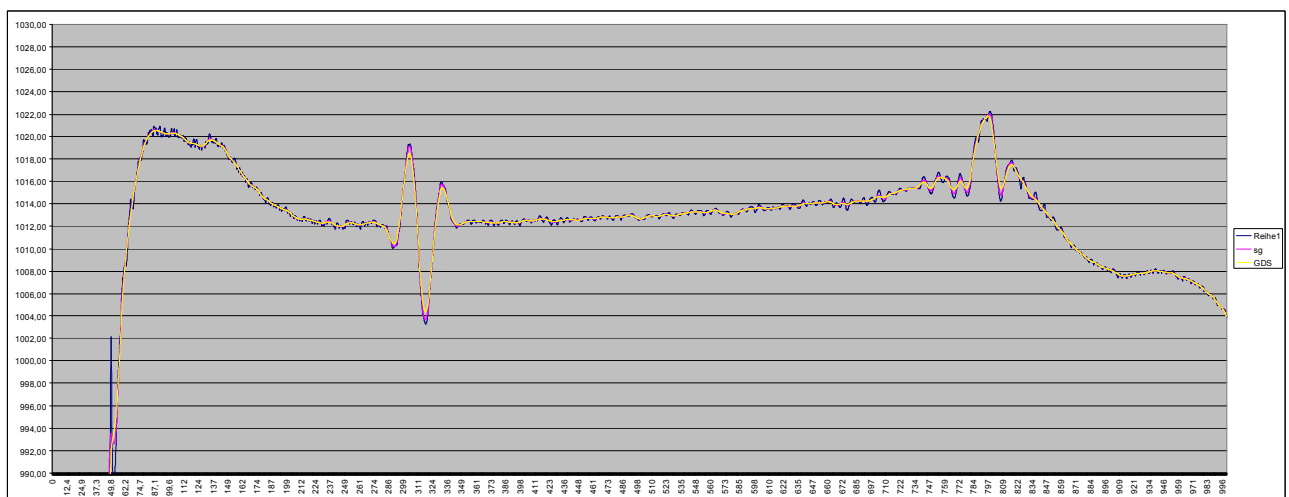


29 Punkte +/- 2,35 Hz

57 Punkte +/- 4,7 Hz (hier überdimensioniert)
durch Mittelwerte von 29; Ergebnis /2,0x

Bei einer geringen Breite der Mittelung erzeugt der gleitende Durchschnitt „schneller“ glatte Kurven, mit steigender Anzahl der Koeffizienten (=Fensterbreite) behält der Savatzky-Golay Filter allerdings die Grundform der Kurve wesentlich besser bei, und die Kurve wird annähernd so glatt. Der SG-Filter hat vor allem bei sehr verrauschten Signalen ein sehr hohes Korrektur-Potential. Bei leichteren Schwankungen kann er dieses Potential nicht sofort vollständig ausschöpfen.

Um in etwa die selbe Glättung zu erreichen, sind aufgrund der hohen Auflösung bei Savatzky-Golay in etwa ~3 mal so viele Datenpunkte gegenüber der nicht gewichteten gleitenden Mittelung notwendig. Beim SG-Filter sind Extreme bzw Minima / Maxima weniger korrigiert, die Kurve insgesamt aber ebenso glatt wie beim gleitenden Durchschnitt. **Bei SG stützt sich der Algorithmus mehr auf der „allgemeinen Gestalt“.**

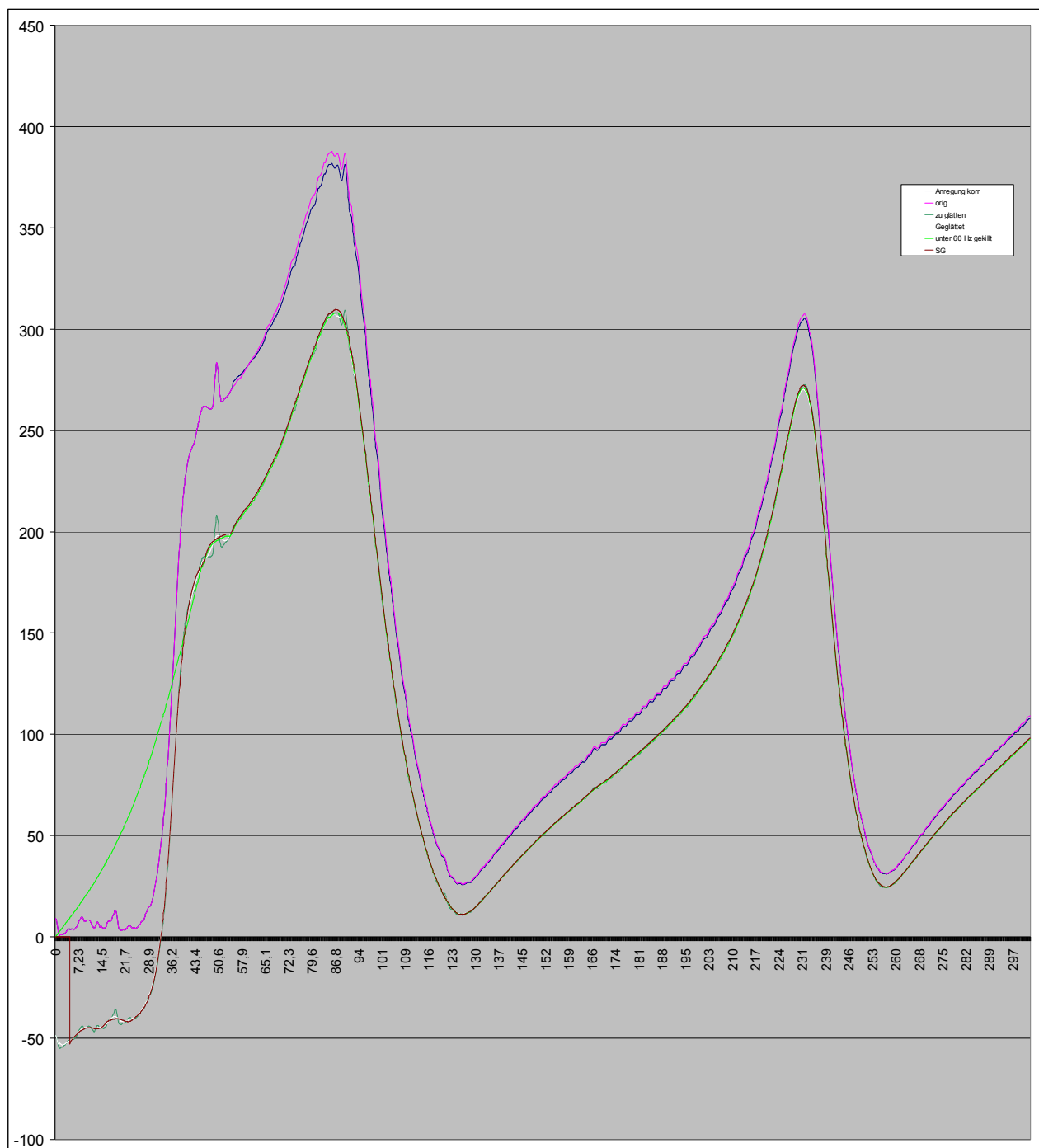


Die „Today“ Korrekturkurve wird nunmehr mit einer Kombination hintereinander verschachtelter Savatzky-Golay Filter geglättet (57, daraus 29, daraus 25, daraus nochmals 57 Punkte), (rosa) und anschließend daraus noch ein gleitender Durchschnitt mit 39 Punkten (+/- 19 Punkte) als Ergebnis berechnet (gelb).

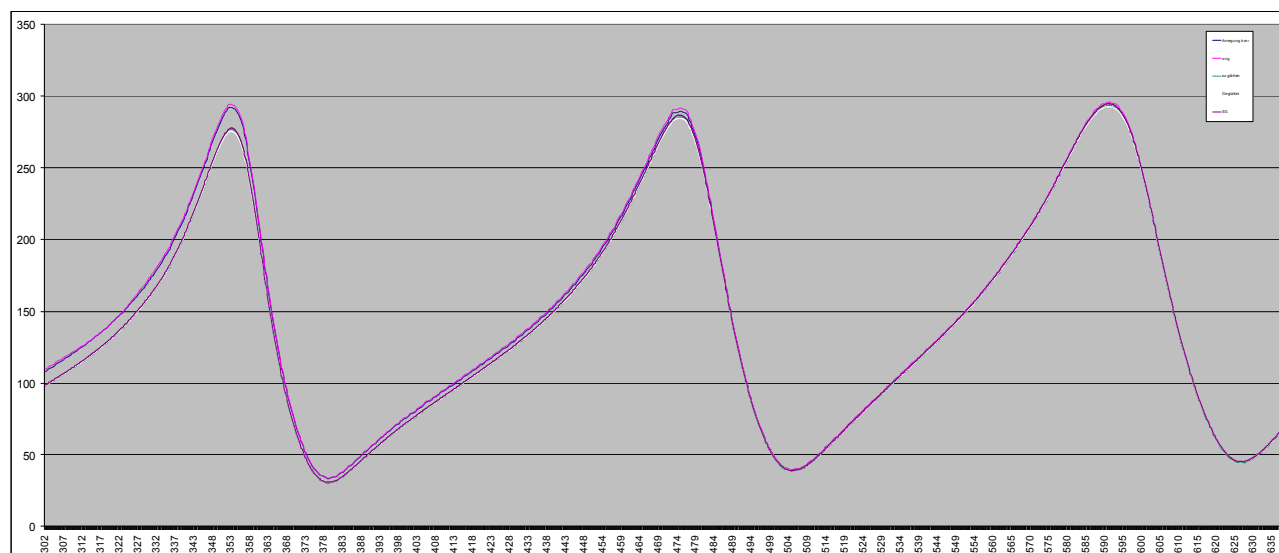
Größere Breiten beim gleitenden Durchschnitt verbessern die „Unruhe“ hier nicht mehr, Abflachungen sind minimiert und dies scheint ein erfolgversprechender Ansatz zu sein!

Interessanterweise – glücklicherweise - sind die scheinbaren Problemstellen bei ~ 310 Hz und 800 Hz bei den Messungen mit Mundstück oder Mundstück+Instrument mit dem Meßmikrofon nicht mehr auszumachen. Es handelt sich scheinbar um Fehler des Kontroll-Mikrophones bzw um stehende Wellen / Körperschall, der durch die Kapillare nicht entweichen kann oder bedämpft wird. Daher wurde die generelle Glättung hier mehr gegenüber „Maxima/Minima“ – Treue moderat forciert.

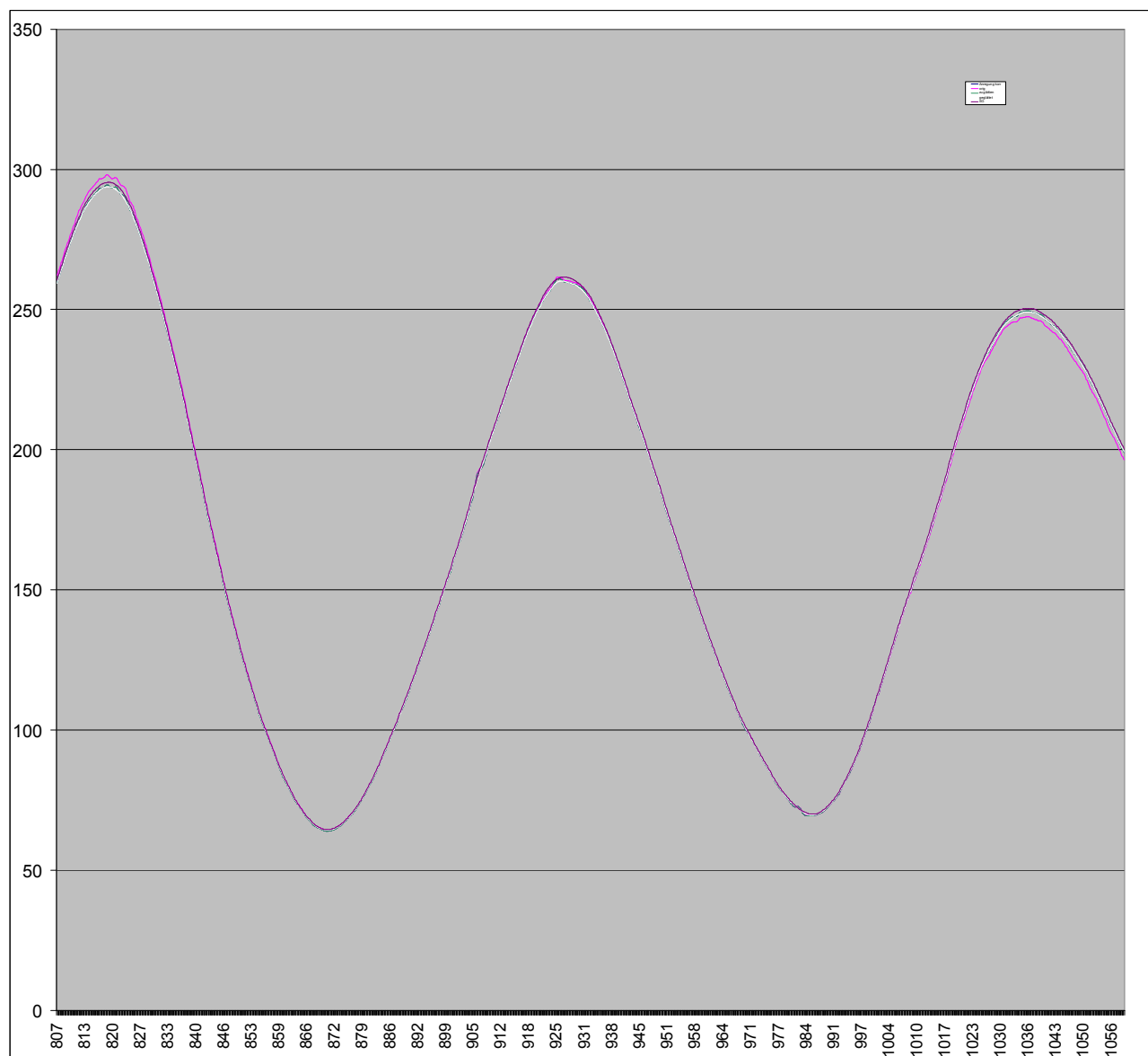
Eine lange FFT-Averaging Zeit = Meßdauer minimiert zwar die Abweichungen der Peak Magnitude Werte der „real world“ Daten, diese sind aber in jedem Fall nur statistisch zu betrachten. Abweichungen bei Wiederholungen können daher anhand der zahlreichen physikalischen bekannten und unbekannten Parameter immer relativ hoch ausfallen.



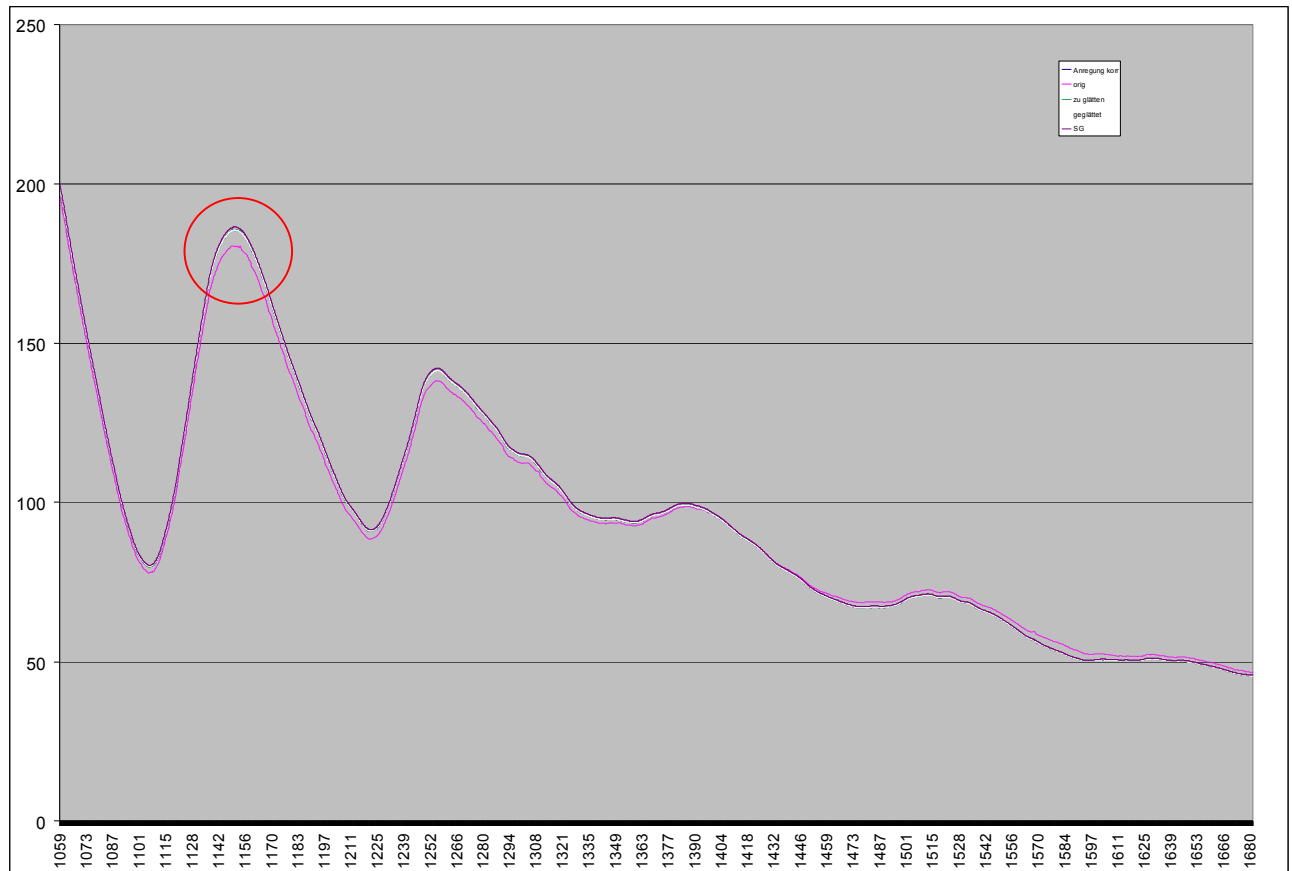
Bereich 0-300 Hz, SG=Savatzky-Golay Filter, 57 Punkte



Bereich 300-635 Hz, SG=Savatzy-Golay Filter, 57 Punkte



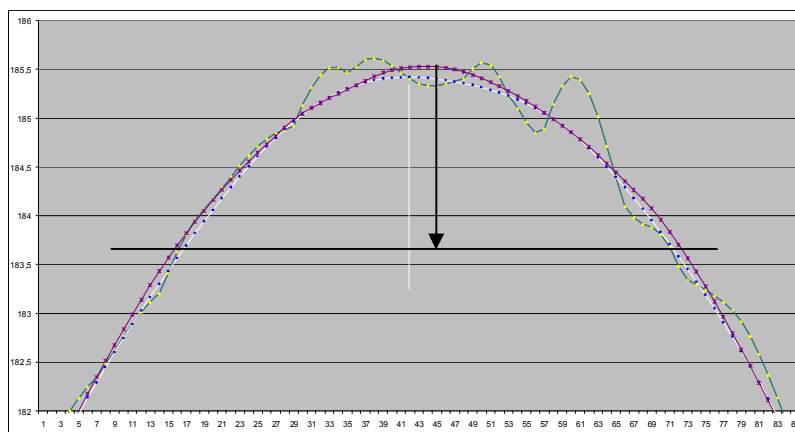
Bereich 800-1056 Hz, SG=Savatzy-Golay Filter, 57 Punkte



Bereich 1050-1700 Hz, SG=Savatzky-Golay Filter, 57 Punkte

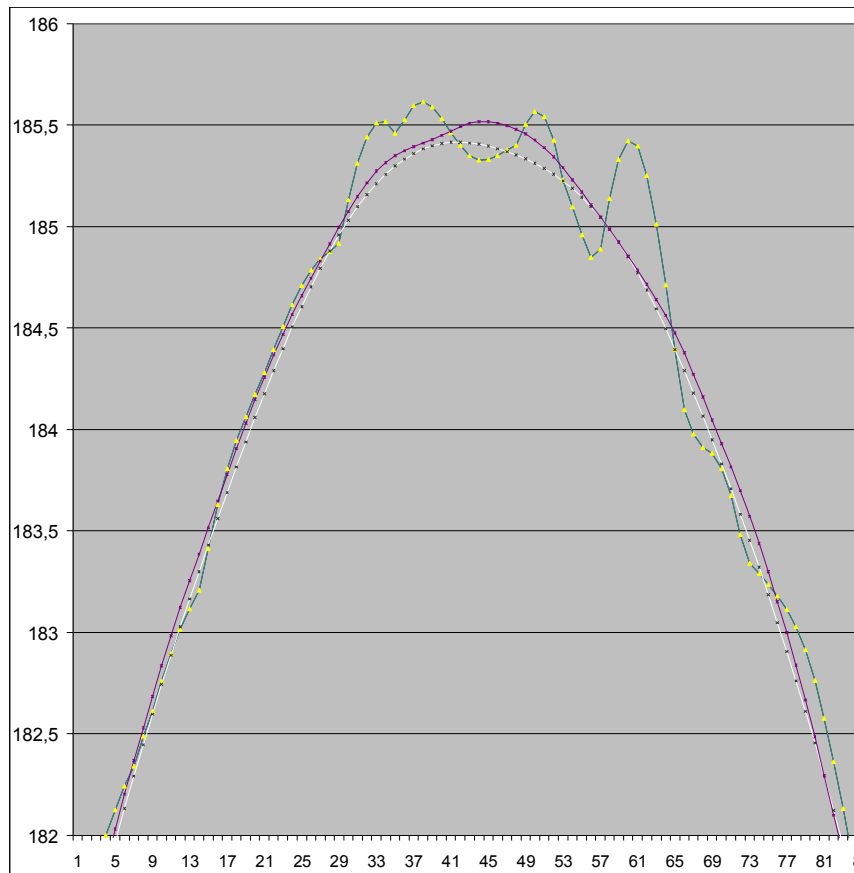
NT10 rot markiert: das vermeintliche Restflackern ist ein Darstellungsproblem von Excel.

Die Kurven im obigen Diagramm haben 3700 Samples, die Auflösung (Breite) beträgt aber nur 1920 Punkte. Zudem füllt das Diagramm die Bildschirmbreite nicht vollständig aus. Die angezeigten Daten im Diagramm werden von Excel „irgendwie“ reduziert, um auf die Anzeige zu passen!

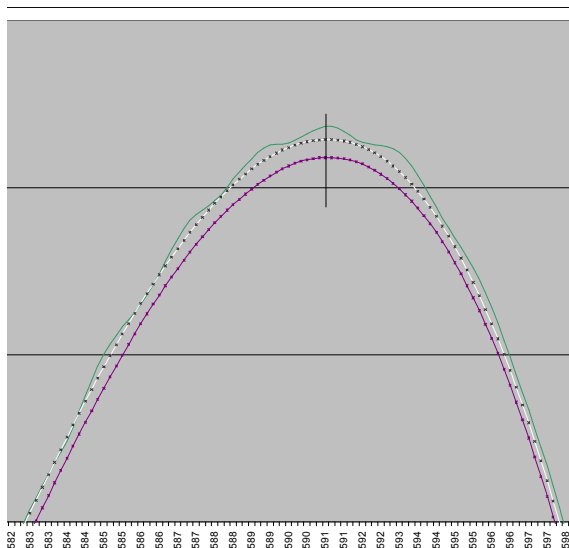


Detail V0 NT10 SG 28+1+28 Punkte (lila), gleitender Durchschnitt weiß, unkorrigiert Grün
Die Grafik zeigt hier nur mehr die obersten/ letzten ~2 % der Magnitudenhöhe

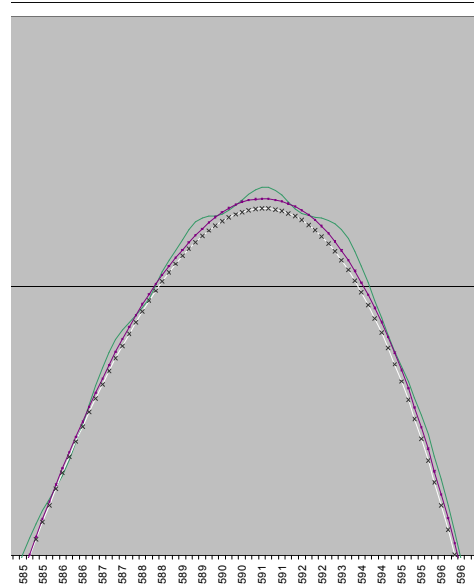
Die Punkte zeigen hier die tatsächlich vorhandenen Samples, beide Spitzen sind „glatt“
Die Fensterbreite beträgt beim SG-Filter annähernd 1% der Peak Höhe, dh. beginnt bei 99%
Die beiden Glättungsmethoden liefern eine Maxima, die hier um 4 Samples differiert
= 1,33 Hz bzw. hier ~ 1 Cent, um die das Ergebnis mit SG hier höher ausfällt.



Beim Vergleichsversuch mit SG-Filter und 24+1+24 (49 Punkte) bzw. $\sim \frac{1}{2}$ Prozent (99,5%) ist der Unterschied ebenso 4 Samples, allerdings ist die linke Flanke weniger „optimiert“
Die Grafik zeigt hier die letzten ~ 2 % der Magnitudenhöhe

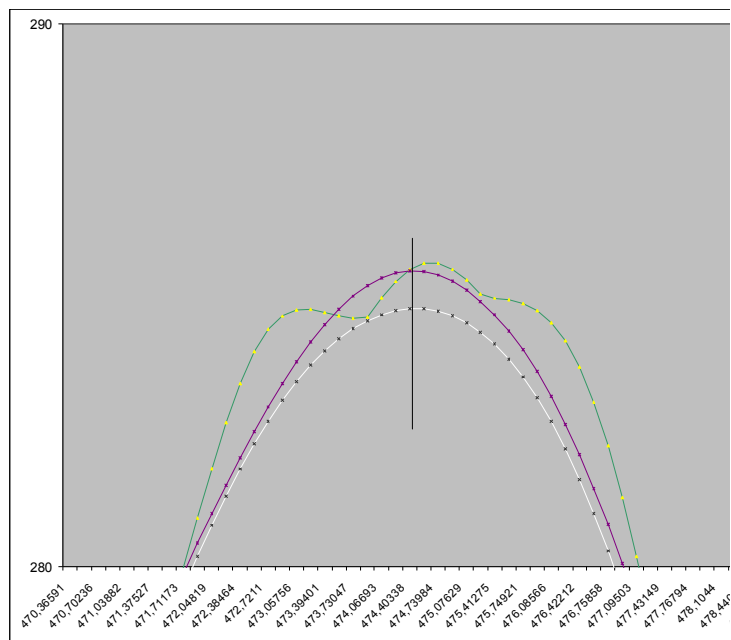


NT5, SG 49, keine Frequ. Differenz zu GDS.
(SG Magnitude wurde auf 99,995% abgesenkt)

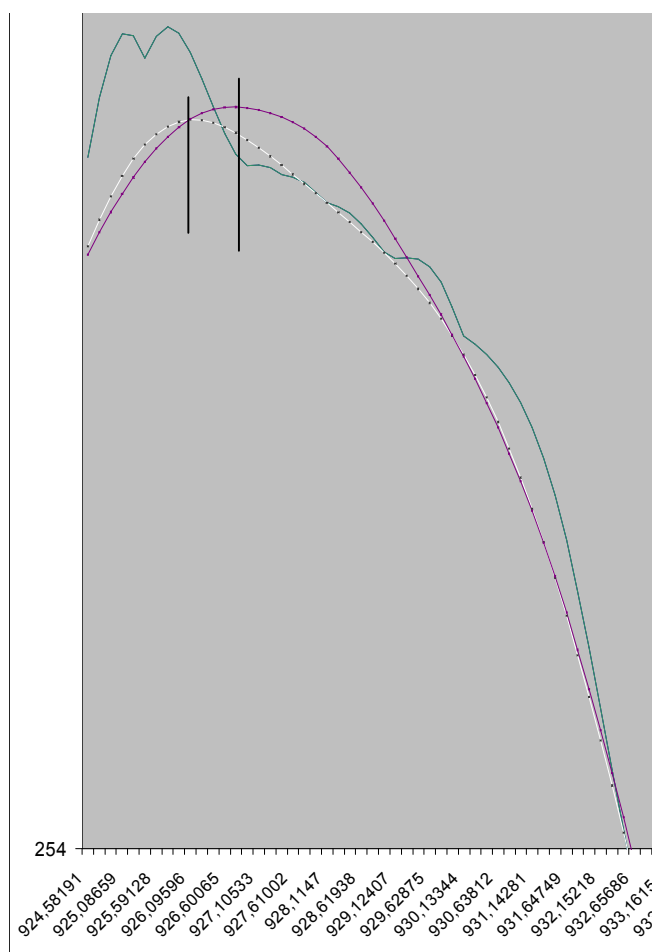


NT5, SG57, keine Frequ. Differenz zu GDS.
(SG Magnitude 100%)

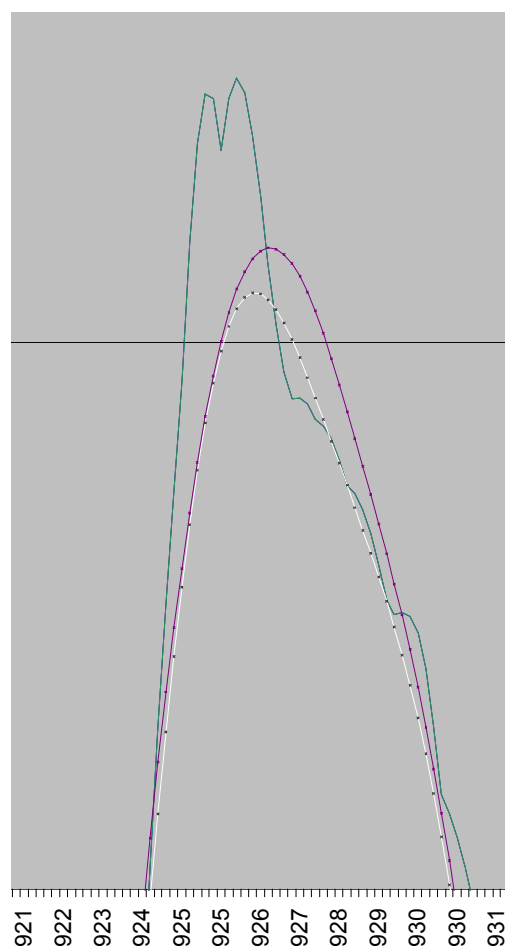
Die unkorrigierte Spitze ist hier weniger verformt und ist lediglich nur noch nicht glatt.
Die Grafik zeigt hier die letzten ~ 4 % der Magnitudenhöhe



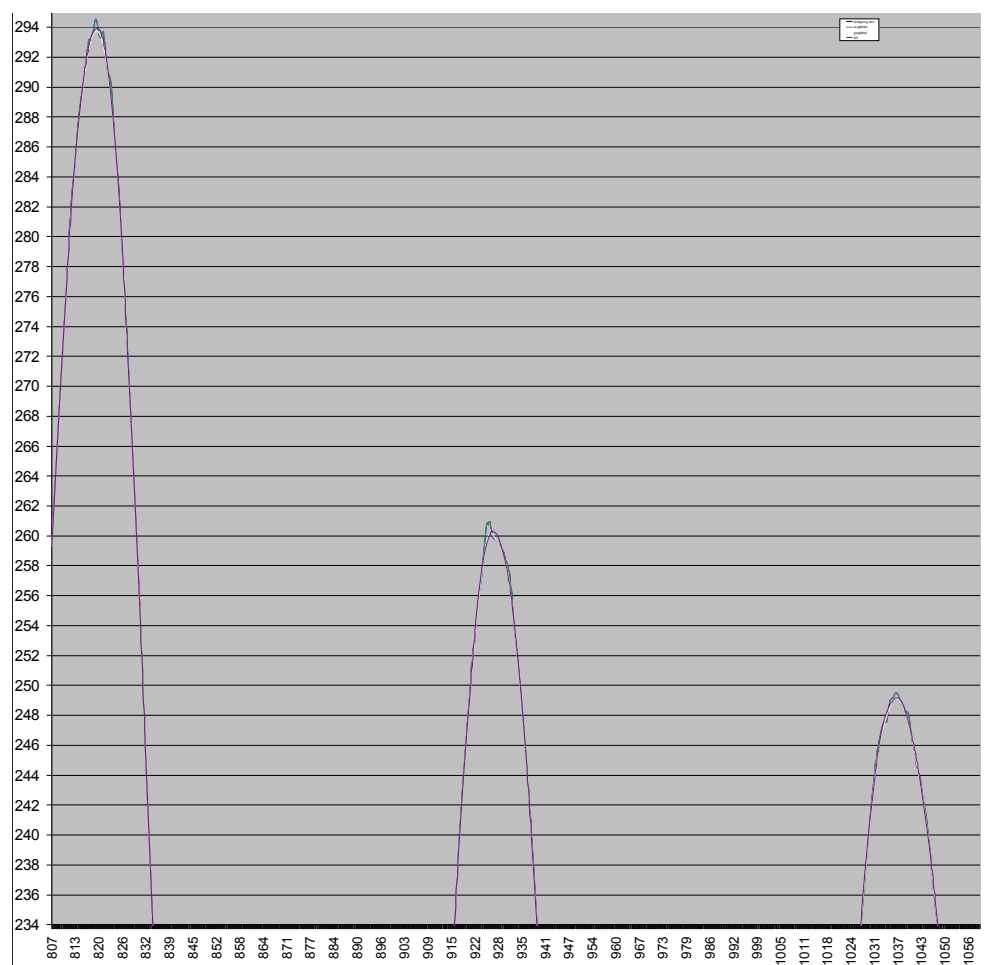
NT4, SG57, keine Frequ.Differenz zu GDS.



NT8, SG57, 4 Samples Frequ.Differenz zu GDS
 0,67 Hz bzw. hier ~ 1,3 Cent
 Grafik: letzte ~ 2% Magnitude der Spitze



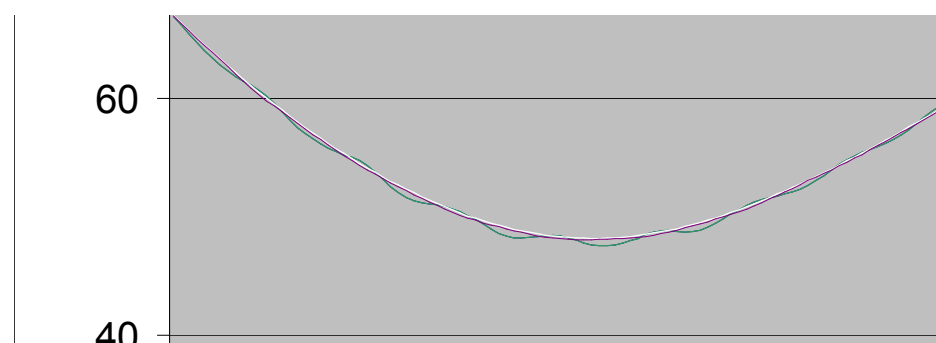
NT8 SG49: 3 Samples Diff zu GDS
 0,5 Hz bzw. hier ~ 1 Cent
 Grafik: letztes 1% Magnitude der Spitze



NT7: letzte 20 %

NT8: letzte 10 %

NT9: letzte 6 % der jeweiligen Magnitude



Das Eliminieren von Flimmern beseitigen beide Glättungsverfahren zuverlässig und gleich gut!

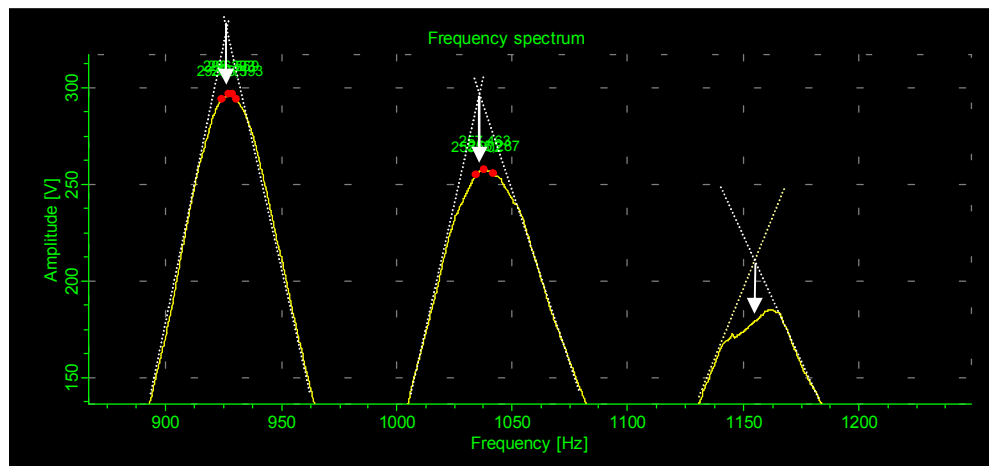
Fazit: bei stark beeinträchtigten Spitzen verschiebt Savitzky-Golay das Peak Maxima mehr in Richtung „fehlender“ Teile als der gleitende Durchschnitt. Die Korrektur geht in Richtung Peak Center. Die Unterschiede zwischen den 2 Methoden sind aber verhältnismäßig klein.

Die Glättungs-Methode nach Savitzky-Golay trotz breitem 57 Punkt Fenster scheint insgesamt die bessere Variante zu sein, ist zudem wissenschaftlich nicht umstritten und wird in zahlreichen wissenschaftlichen und technischen Anwendungsbereichen eingesetzt.

Letzendlich entscheidet aber die wirklich „glückliche“ Wahl der Glättungsmethode (Modell, Gewichtung, Stärke) über das ermittelte statistische Ergebnis der Peak Maxima Frequenzlage, wie auch der anderen observierten Frequenzpunkte!

Teil2: Statistische Funktionen – Fehlerfall quantisieren

Der absolute Fehlerfall liegt dann vor, wenn die Lage der Peak Spitze massiv von einem erwarteten Gesamtergebn abweicht. Definierte Meßpunkte an den Flanken können daher einen zumindest unterstützenden anteiligen Beitrag zum Ergebnis liefern. Die generelle „allgemeine Gestalt“ der Impedanzberge sollte umso mehr berücksichtigt werden, umso höher die Fehlerwahrscheinlichkeit liegt.



Können die Flanken zuverlässigere Daten als die unscharfen bzw. mißlungene Spitzen der Impedanzberge selbst liefern? – Bei Glättung und Statistik werden diese mit berücksichtigt.

NT 10 bei 1165 Hz hat niemals den Drang höher zu werden – auch wenn es so scheint – vor allem parasitäre Schwingungen dämpfen. Lediglich 98% at Peak Magnitude Höhe würden hier ebenfalls noch falsche Daten liefern. (Bei einer wiederholten, anders bedämpften Messung liegt das Center bei diesem NT auf der linken Seite des Peaks.)

Möglicherweise können Trends der Flanken mit Schnittpunkten „Ersatzpeaks“ liefern. (Beispiel NT8-N10 angedeutet.) Den RMS Wert, als auch den Amplitudenwert bei x% zu finden ist kein großes Problem, genauso können noch mehr dazwischenliegende at x% Pos. berechnet werden, aber anhand welcher Regeln oder Kriterien?

Als untere Startpunkte bieten sich die bereits verfügbaren RMS Start- und Stopwerte an. Die oberen Meßpunkte für einen Flankenwinkel müssen aber definiert/normiert werden.

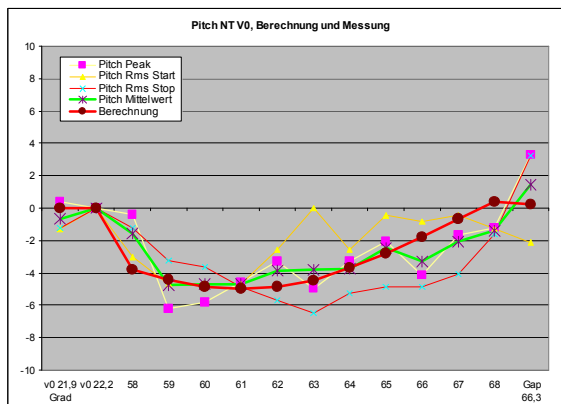
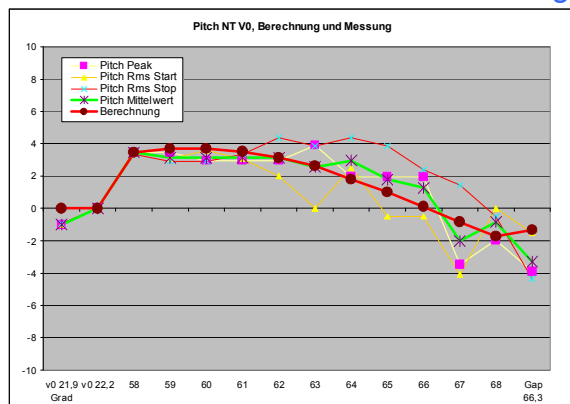
RMS Start- und Stop Positionen wandern bei Perturbation prinzipiell mit. D.h. nicht nur das Peak-Maximum und Peak Center verändert sich, sondern die gesamten Flanken werden durch eine Perturbation mit beeinflusst, allerdings auf unterschiedliche Weise.

Die folgenden Auswertungen (aus Fehlerdokumentation von Hülsentest 3) zeigen zudem, daß sich RMS Start- und Stop Positionen mit Perturbationen bei Position (XM-IN1) ~ 61-62 cm kreuzen (Verschiebung auf der Frequenzachse), die Impedanz Magnitude ist hier kaum verändert! Gerade NT haben hier Pressure Nodes.

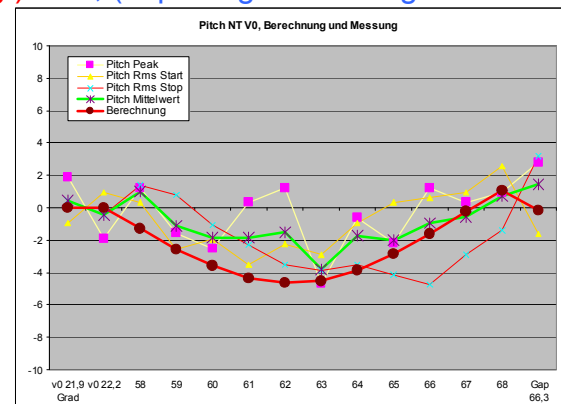
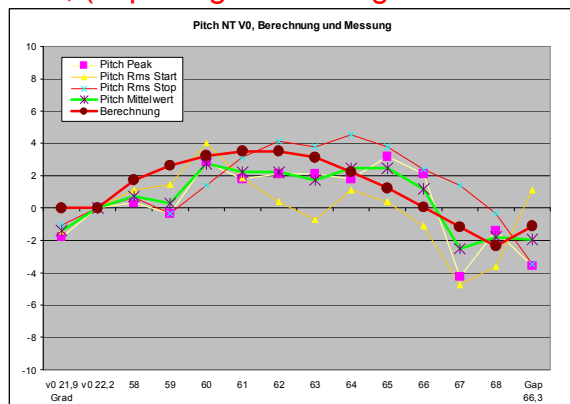
Nach diesem Punkt in Richtung XM-PN haben die ansteigenden Flanken vor dem Peak weniger, absteigende Flanken mehr Frequenzversatz / Pitch Pot.

Ungerade NT XM-IN1 Richtung XM-PN: Peaks werden „höher“, und auch „breiter“, Pressure Antinode -> Druck/Fluß fällt lokal

Gerade NT XM-IN1 Richtung XM-PN: Peaks werden „niedriger“ und „schmäler“ Pressure Node -> Druck / Fluß steigt lokal

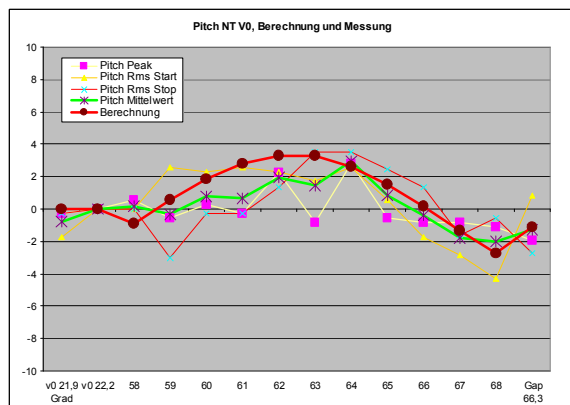


NT5, (Imp. Magn. Richtung -> XM PN steigt) NT6, (Imp. Magn. Richtung -> XM PN fällt)



NT7

NT8



NT9

FFT-Auswertung – um statistische Daten und Module ergänzt:

Peak-Maxima / Minima / Wave Impedanz / RMS Werte

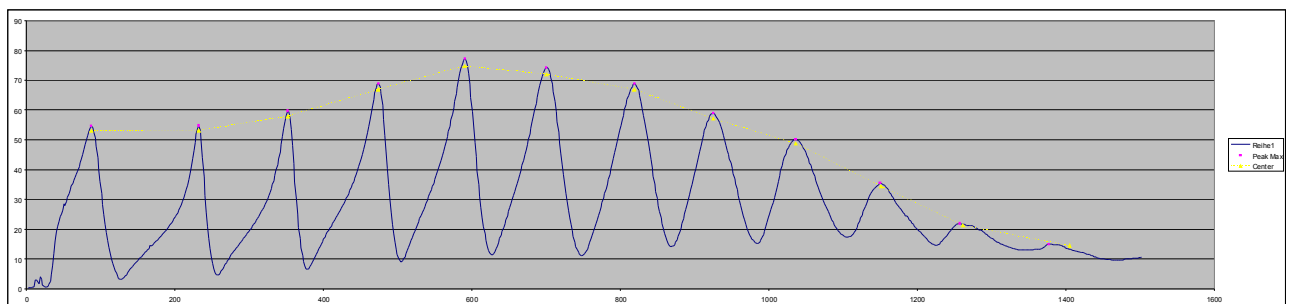
Die Peaks (Frequenz und Amplitude) können in FFT Properties zwar markiert werden und werden mit importiert, diese dienen aber wie bisher nur dem Excel Algorithmus zur besseren Suche nach Peaks (Impedanzspitzen) und Dips (Impedanz-Minima), Wave Impedanz sowie der RMS Werte. Die exakten Positionen und Amplituden werden im Modul FFT-Auswertung wie bisher durch Excel Funktionen und Formeln neu berechnet und bestimmt.

Peak Center at -x % of Peak Maxima

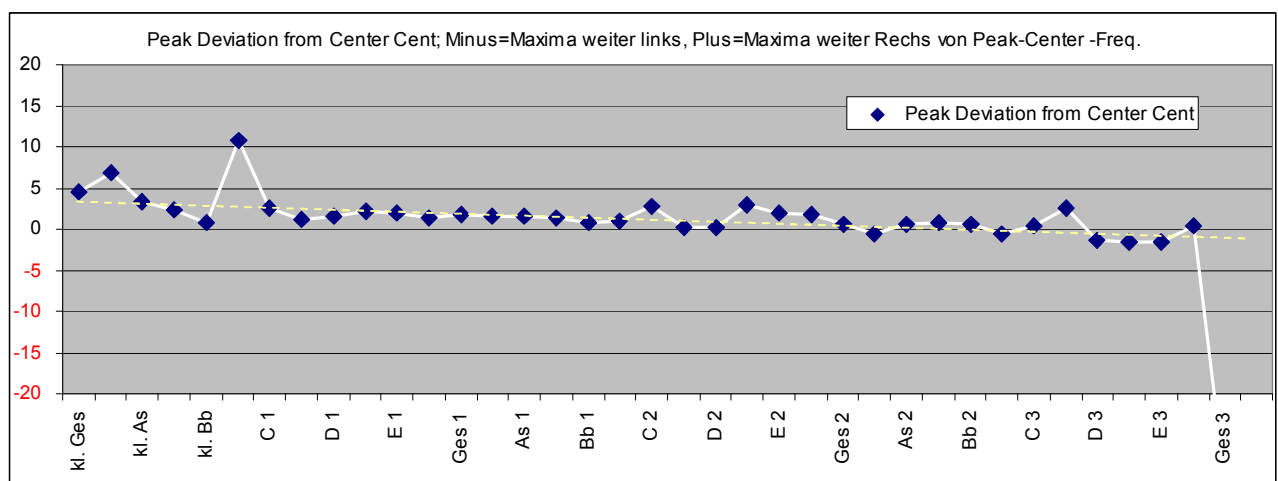
Zusätzlich zu den RMS Werten bei -3dB, welche für Blasinstrumente etwas weit entfernt sind, habe ich Peak Center Frequenz-Limits berechnet, die in einem Bereich von ca. 0,71-0,99 Peak Magnitude frei wählbar sind (Voreinstellung 0,98).

Peak Maxima / Peak Center at -x % bzw. ein Mittelwert davon:

In der Auswertungssoftware kann jetzt eingestellt werden, ob die tatsächlichen Peak Maxima oder die Peak Center Frequenzen at -x % als Referenz dienen sollen, bzw. der Mittelwert aus diesen beiden Ergebnissen. (nur bei Weighting 0, ungewichtet.)



Peak Maxima und Peak Center Frequ. at 98% Amplitudenhöhe markiert, V0

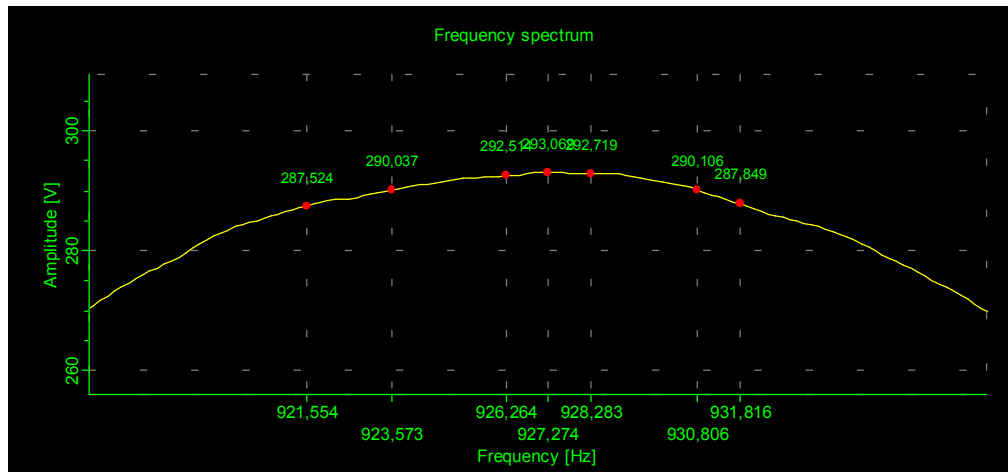


Abweichung Peak Maxima von der Center-Frequenz in Cent, Standardgriffe

Es gibt die Tendenz, dass tiefere Frequenz-„Berge“ auch ihre Peak Maxima weiter rechts auf dem „Amplitudenberg“ haben, höhere weiter links, Abfall gesamt rund 5 Cent. Im Bereich MPC Popp. Frequenz sind diese beinahe ohne Abweichung zentriert ~ (Bb2).

Peak Centerfrequ. at -x % of Peak Maxima Magnitude, statistisch fehlerkorrigiert.

Was ist ein praxistauglicher und brauchbarer Impedanz Peak Maxima Betrag?

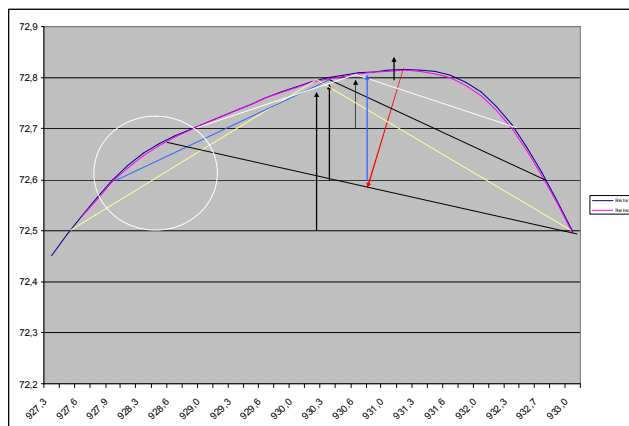


V0, NT8 unkorrigiert; Bei 927,274 Hz wäre das heute gemessene Peak-Maximum.

Eine Reduktion auf 98% Peak Magnitudenhöhe ergibt hier ~ 287,5 V und dadurch Randfrequenzen von ~ 921 und 932 Hz. Die Centerfrequenz daraus wäre dann 926,4Hz. Eine TL Spanne von ~ 10 Hz bzw. ~60 Samples. - (30 Samples mit 0,336 Hz Raster), bzw. eine Spanne von rund +/-10 Cent.

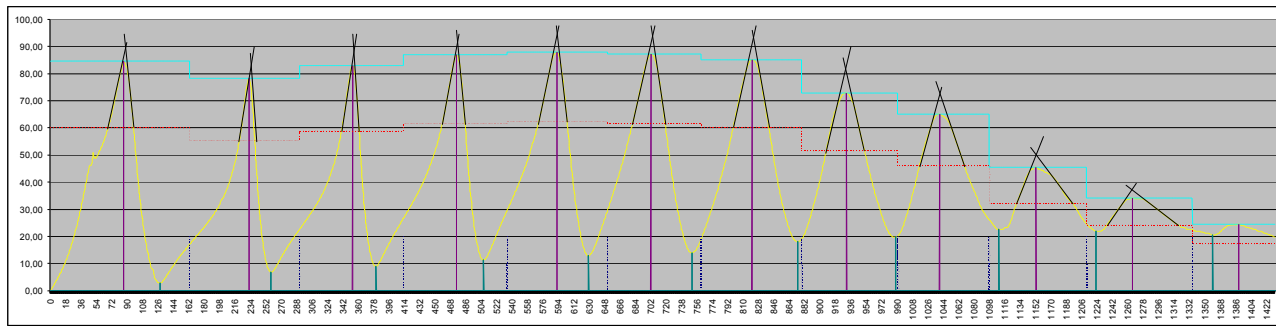
Eine Reduktion auf nur 99% wäre ~290V, Randfrequenzen 923,6 und 930,8 Hz, mit einer Center Freq. 927,2 Hz, eine TL Spanne von ~ 7 Hz bzw. ~ 40 Samples. (20 Samples mit 0,336 Hz Raster) bzw. eine Spanne von rund +/-6 Cent,

hat aber den Nachteil dass bereits mehr Ausreißer damit einhergehen können.



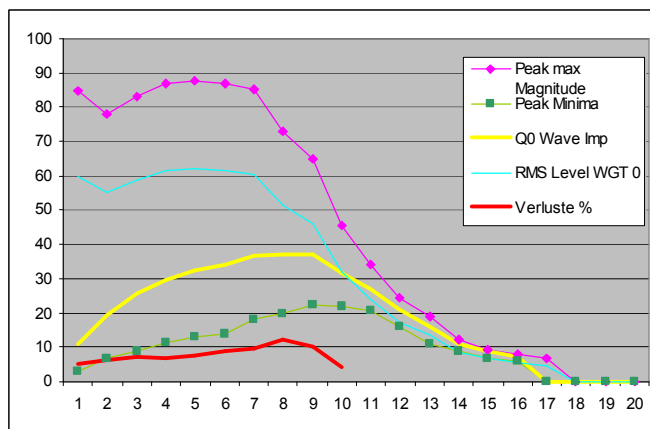
Unsymmetrische Spitzen verursachen bei Magnitudenabsenkung sehr große Abweichungen. Angezeigt sind hier nur Werte ab 99,5 % Peak Magnitude Höhe! Hier eine Messung von NT8. Umso größer der Magnitudenunterschied, umso mehr Versatz, **aber sehr abhängig von den Kurvenformen am Übergang oberhalb von 90% zum gemessenen Peak Maxima hin.** Der oberste Bereich der Spitzen zeigt auch die größten Abweichungen.

Es scheint offensichtlich, daß eine relativ große statistische Menge an Meßdaten an den jeweiligen Rändern der aufsteigenden Spitze, als auch als „Crossings“ insgesamt ein konsistenteres Bild einer berechenbaren / vergleichbaren Frequenzspitze abgeben kann, als die letzten ~ 0,5% mit großen Schwankungen, oder auch eine punktuelle Center-Freq. bei ~ 98%.

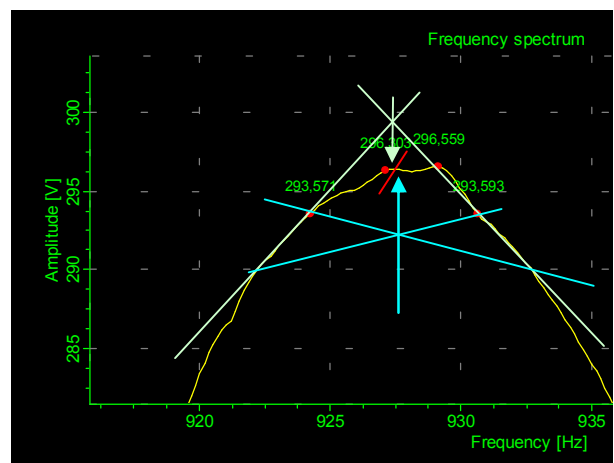
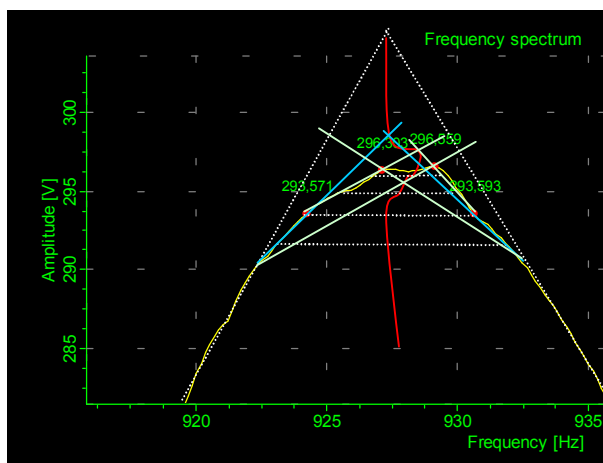


Skizze - Ersatzspitzen mit den Excel Funktionen: Schätzer oder Trend und Steigung – abgeleitet vom Magnituden RMS Wert ~70% und dem Wert bei 90 %. Der höchste Ton, bei dem der RMS Start und Stop-Wert noch eruiert werden kann ist V0 NT10 ~ 1200 Hz.

Die Verhältnis von Peak Maxima Magnitude zu den Magnituden der Flankenschnittpunkte RMS-90% kann auch als ein Kriterium zur Beurteilung von „Verlusten“ verwendet werden:



Verluste, ermittelt aus Flankenschnittpunkten von RMS bis 90% Magnitude zu Peak Maxima.



Eine andere Messung – und mit anderer Perspektive zeigt ein sehr unterschiedliches Ergebnis für NT8.

Rot: Scheibchenweise a la 2D Computer Tomography das Crossing suchen (Magnitude Peak Höhe auslassen!) Trend = new rated Peak Center at x!

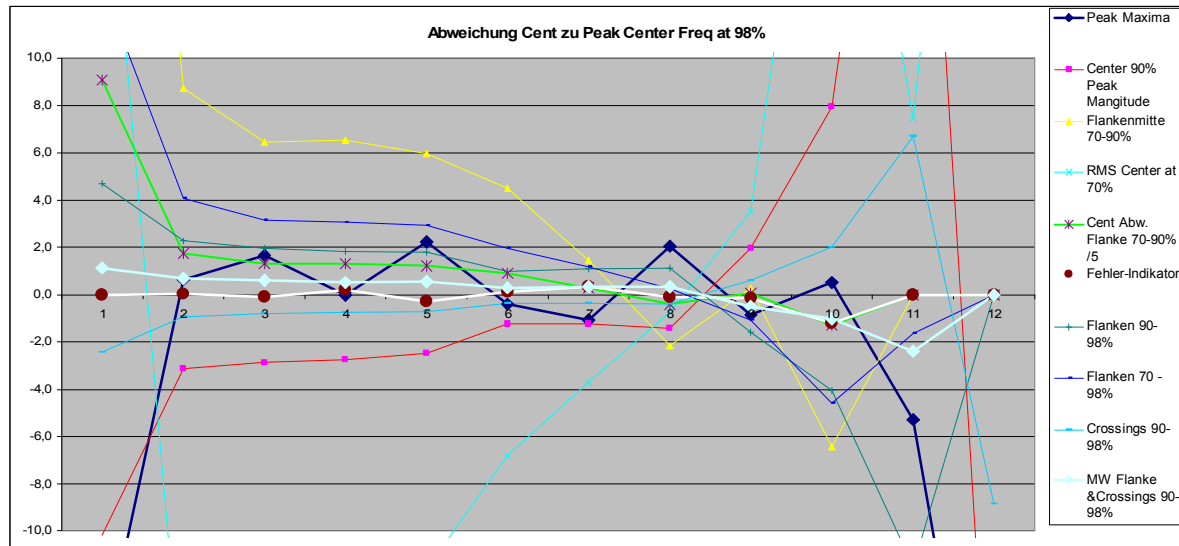
Schematisch rechts: Die Verwendung von „Crossings“ gewählter Referenzpunkte und Mittelung mit den Flankenschnittpunkten reduziert nochmals Ausreißer, da diese dadurch nochmals gemittelt werden!

Die Frequenzauflösungen ergeben aktuell:

FFT Raster -/+ 0,16822 Hz: -/+ 0,33645 Hz:

NT8	~ 930 Hz	0,31 Cent	0,63 Cent
NT6	~ 698 Hz	0,42 Cent	0,80 Cent
NT4	~ 466 Hz	0,63 Cent	1,25 Cent
NT2	~ 233 HZ	1,25 Cent	2,50 Cent

Die hohe Rasterauflösung trägt aktuell nicht zur Konsistenz der Daten bei, allerdings für Ersatzwerte, die aus Berechnungen bzw. Prognosen kommen!



Die RMS Center Frequ. kreuzt dort, wo der Pitch Versatz gering ist, ebenso die Flankenmitte RMS-90% Magnitude. Center at 90% Peak alleine gibt oberhalb MPC-Popp. Frequ. zu hohe Werte.

Ebenso weichen andere Punkte erwartungsgemäß ab. Bei Vergleichstests können Abweichungen dieser zusätzlichen Meßpunkte aber ebenfalls mit ausgewertet werden. Diese Werte könnten zudem als „Gewichtungskriterium“ für den Einsatz von „Ersatzpeaks“ oder generell als „statistisch korrigierte Peak Maxima Frequenzen“ dienen.

Die Flankenschnittpunkte aus RMS-90% zeigen stark den generellen Pitch-Versatz Trend anhand der Mouthpiece äquivalenten Länge, können so daher nicht direkt als Ersatz-Peaks verwendet werden. Abweichung der Flankenschnittpunkte in Cent /5 (= auch die 5. Wurzel aus dem Quotient der Frequenz gegenüber der Center-Frequenz) haben noch immer etwas Versatzpotential ähnlich der Peak Maxima gegenüber der Peak Center Freq. at 98%.

Definition statistische Korrektur und Quantisierung Meßfehler:

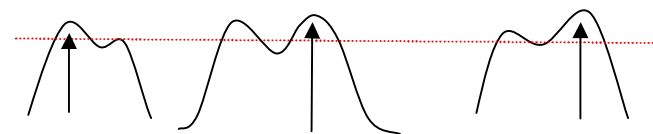
Das arithmetische Mittel der Abweichungen zur Center Frequenz at 98% von:

- Peak Maxima
- Center Frequ. at 98% selbst (0 Cent)
- Center Frequ. at 90%
- Flankenschnittpunkt 70-90% Peak Höhe / 5
- Flankenschnittpunkt 90-98% Peak Höhe
- Flankenschnittpunkt 90-98% Crossing Peak Höhe

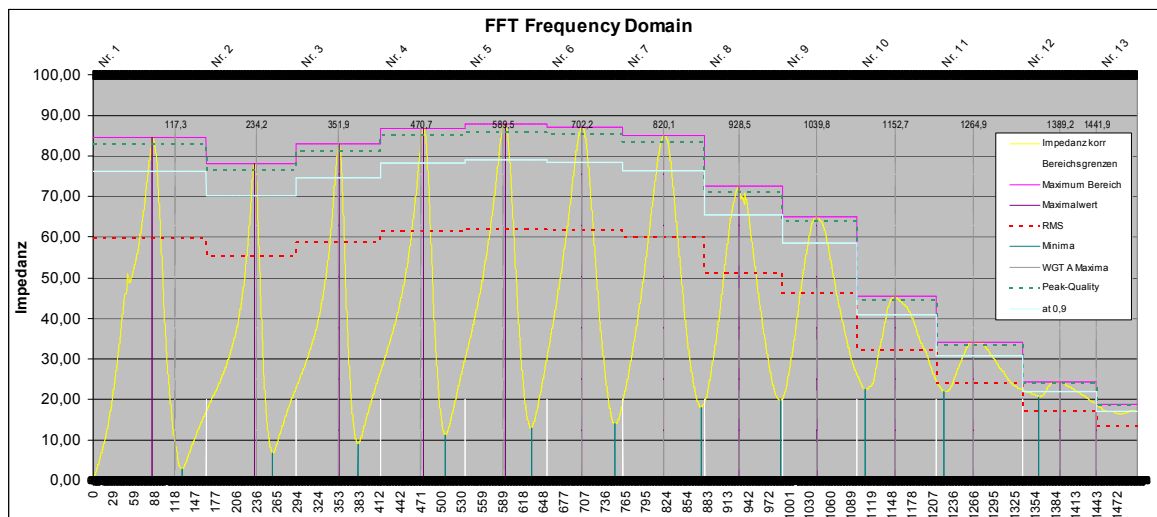
ergibt Abweichungswerte in CENT, die unter normalen Umständen unterhalb $\pm 0,5$ Cent liegen. Abweichungen ab $\pm 1,0$ Cent und mehr deuten auf eine sehr beeinträchtigte Kurve an der Peak Spitze hin. Der Kehrwert (0 abzüglich diesem statistischen Mittelwert) gibt einen Fehler-Indikator, um wieviel Cent die Centerfrequenz oder die Kombination von Peak- und Centerfrequenz zu tief oder hoch liegen.



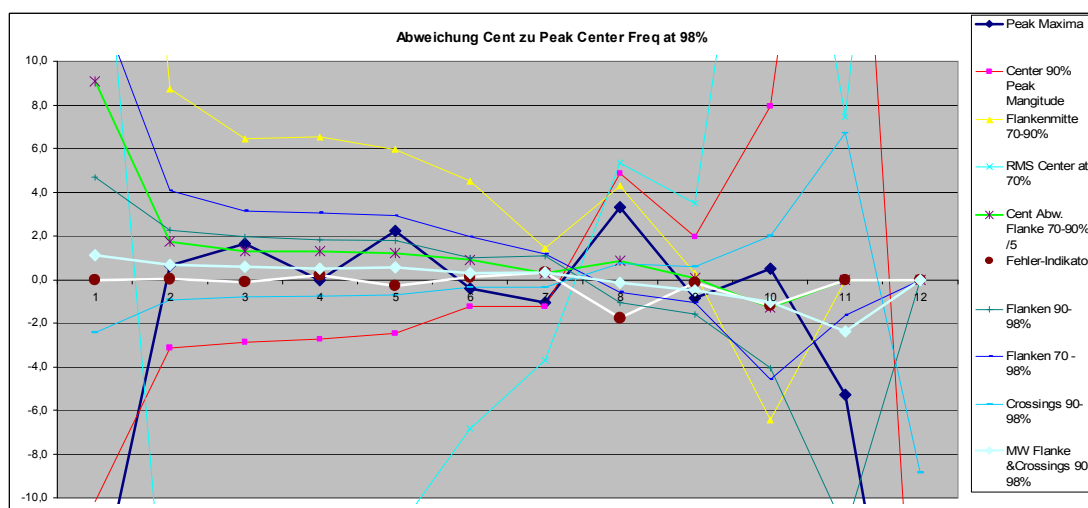
Z.b. wenn die Peakspitzen hart am Limit liegen oder „geköpft/abgeflacht“ sind. Links: NT10 auf der linken Flanke. Rechts: NT11 – so kaum auswertbar.



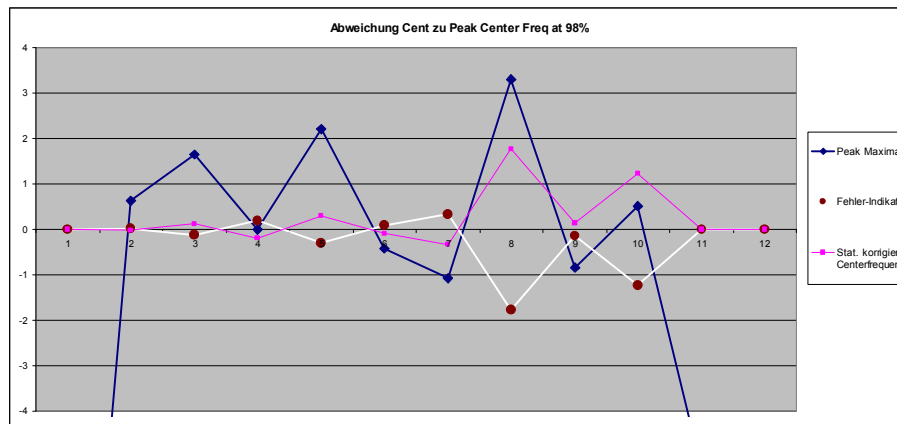
Die Peak, als vor allem auch die Centerfrequenz können in selber Richtung falsch ermittelt sein, wenn eine starke Beeinträchtigung die Magnitude der Spitze auf unter 98% drückt.



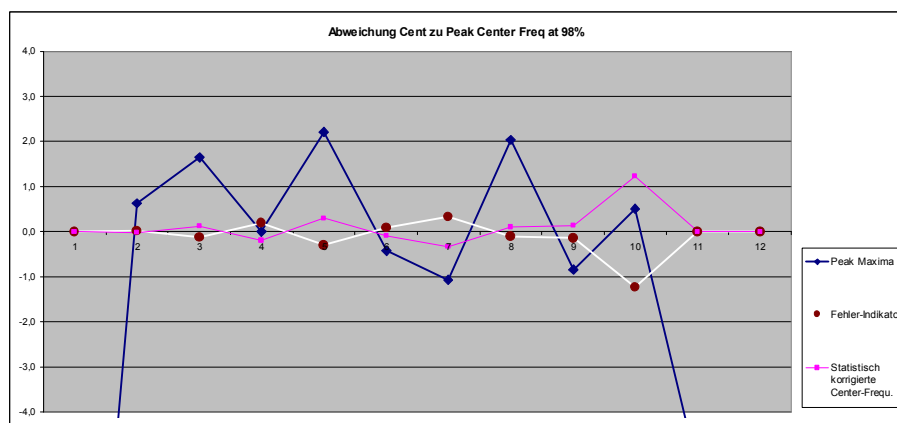
Hier wurde die Spitze von NT8 testweise absichtlich gestört.



NT8 Peak als auch Center Frequ. werden im obigen Beispiel deshalb beide falsch „geraten“ und liegen statistisch um mindestens 2 Cent zu tief. NT 10 liegt weiterhin am linken Limit. (NT 1 wird nicht ausgewertet, ab NT 11 ist die Kurve ebenfalls nicht mehr auswertbar.)



Der Kehrwert der Fehlerindikatorwerte zur Null Linie (Centerfrequenz at 98%), ergibt eine statistisch korrigierte Center-Frequenz. (hier mit der schadhafte 8. Spitze)



Hier ohne schadhafte 8. Spitze.

Die so ermittelten Referenz Frequenzen ergeben abgesehen von den Peak Maxima Frequenzen keine absoluten Werte, sind aber nach genau dokumentierten und nachvollziehbaren Kriterien ermittelt und sollen so eine konsistentere Auswertung der Messdaten ermöglichen.

Ebenso soll das Vergleichen von minimalen Perturbationen dadurch anhand der Vergleichsmöglichkeit zusätzlicher Meßpunkte verbessert, und Ausreißer weiter minimiert werden.

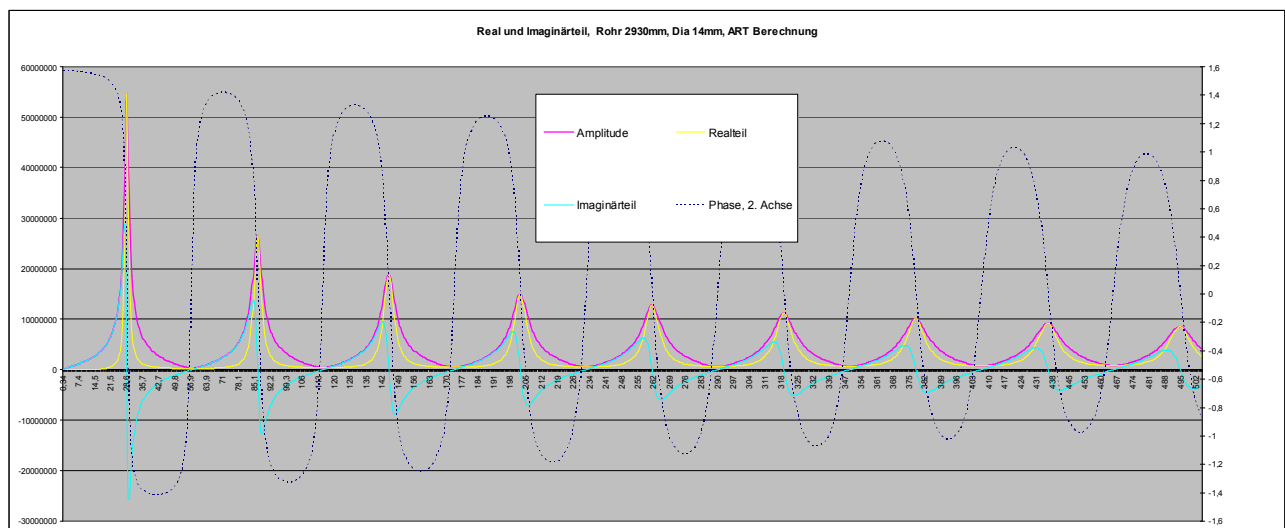
Impulse-Response Auswertungen & Phaseninformation

Impulseresponse Messungen – im Zeitbereich werden üblicherweise mit sehr kurzen energiereichen „Knall“ Geräuschen durchgeführt; Benade verwendete dazu z.B. eine Zündkerze als Schallquelle. Diese Art gibt eine sehr gute Auflösung der Impulsantwort. Aus dem Zeitbereich kann man in den Frequenzbereich mittels FFT umrechnen. Allerdings sind die Ergebnisse dann im Frequenzbereich wenig aussagekräftig/undefiniert.

Umgekehrt kann man auch aus dem Frequenzbereich mittels inverser FFT den Zeitbereich darstellen, dieser entspricht von der Aussagekraft her einer Impuls-Response Messung. Ein wichtiger Punkt dabei ist, dass dafür **üblicherweise** wiederum mit komplexen Zahlen gearbeitet werden muß!

Komplexe Zahlen bestehen jeweils aus einem Realteil und einem Imaginärteil.
Hier aus Magnitude und Phase.

Realteil = Magnitude * Cos (Phase)	Excel:	Cos (Bogenmass(Grad))
Imaginärteil = Magnitude * Sin (Phase)	Excel:	Sin (Bogenmass(Grad))
Phase:	Excel:	Arctan (imag./real) = Phase in Rad

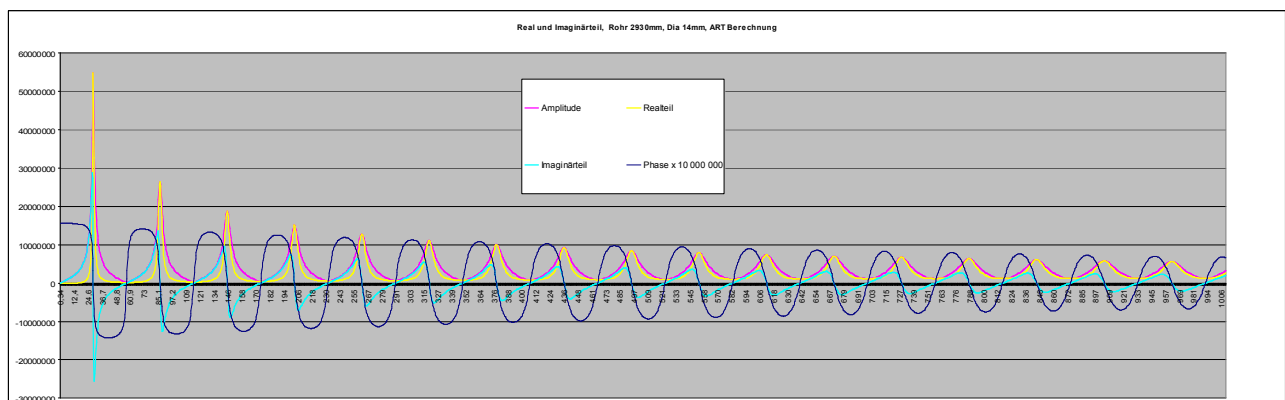


Simulation Eingangsimpedanz ART, zyl. Rohr 14mm Länge 2930mm, einseitig geschlossen

Phasenwinkel: nahe Peak Maxima 0, nahe Minima 0

Realteil: ist bei Maxima maximal, bei Minima minimal

Imaginärteil: bei Maxima 0, bei Minima 0



Die Phasenänderung nimmt mit Frequenz ab, Realteil wird „breiter“, Imaginärteil „flacher“

Impulse Response aus Impedanzdaten (Elliot, 1979):

Mr. Elliot beschreibt 1979 Imp. Messungen und daraus, berechnete Impulsresponse Daten. Er zeigt Ergebnisse für ein 2,8m langes zyl. Rohr, als auch einer Posaune und Trompete.

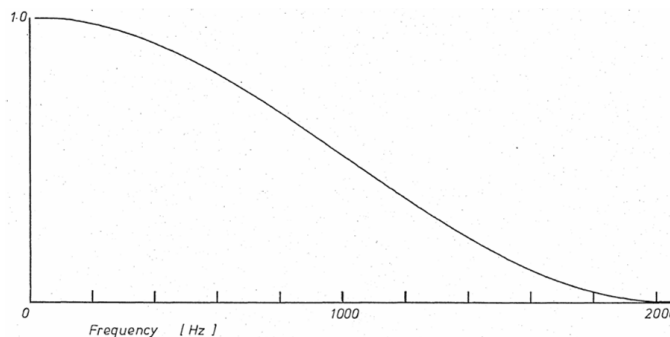


Fig.2.27 Weighting function for Fourier transform

Er zeigt ein Diagramm mit einer Impedanz-„Weighting“ Funktion (=ein Ausblenden bei 2000 Hz.), ein halbes Hanning (Cosine) Fenster, um Fehler anhand höherer Störungen auszublenden.

Ein 2,8m langer geschlossener Zyl. mit Dia 1cm hat Peaks bei (odd) Vielfachen von ~60 Hz. Jeder Peak kann als „Lorentzian“ Resonanz mit ihrer eigenen Impuls Response gesehen werden, und die Impuls Response aller Peaks ist die Summe daraus.

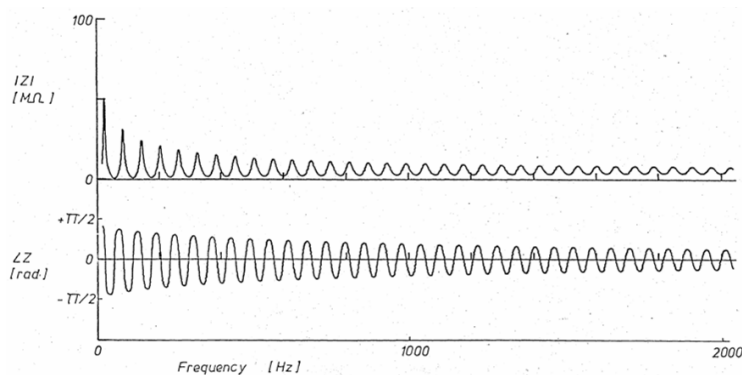


Fig.2.33 Calculated impedance of straight tube 2.8 m long

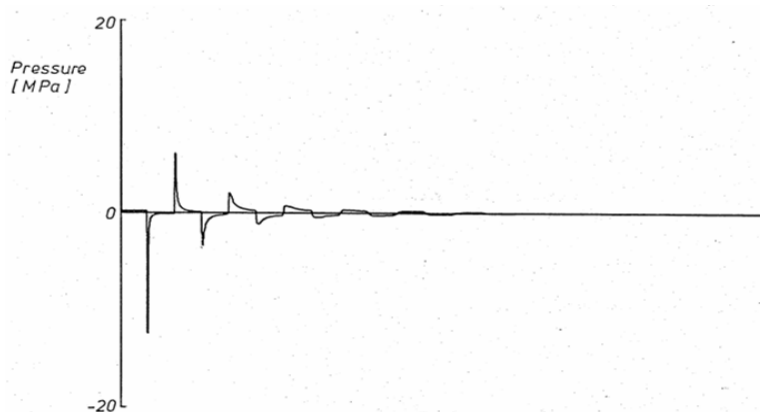


Fig.2.34 Impulse response calculated from impedance for tube 2.8 m long

Die IR einer einzelnen Lorentzian Resonanz ist eine gedämpfte Sinus mit Frequenz gleich dem Kehrwert deren Bandbreite. Der ganze IR wird durch zusätzliche gedämpfte Sinuswellen angereichert, die eine harmonische Beziehung dazu haben. Für jeden Roundtrip / Zyklus der Fundamentalen Freqz. (Mode1) tragen höhere Peaks bei, welche bei den ersten Zyklen noch signifikant ausfallen.

Die reflektierten Druckwellen alternieren im Vorzeichen, weil das Rohr offen ist und nur ungerade Vielfache als Peaks von 60 Hz (~16ms) vorkommen. Wäre das Rohr geschlossen, so hätte es Vielfache von 120 Hz und alle reflektierten Pressure Pulse (wie bei 32ms) wären positiv.

Da die Bandbreite proportional zur Wurzel der Frequenz ist, sind die IR der höheren Peaks sehr stark gedämpft und nach einigen Zyklen dominiert nur noch der vorherrschende fundamentale Mode, der übrig bleibt. Die ersten max. Response Ausschläge sind spitz, folgende werden runder.

Das „Abrunden“ der späteren Reflektionen tritt auch bei gemessenen Trp. und Posaunen auf, aber es ist komplexer, weil einige (speziell der 1.) Impedanz Peaks nicht mehr in harmonischen Verhältnissen zueinander liegen.

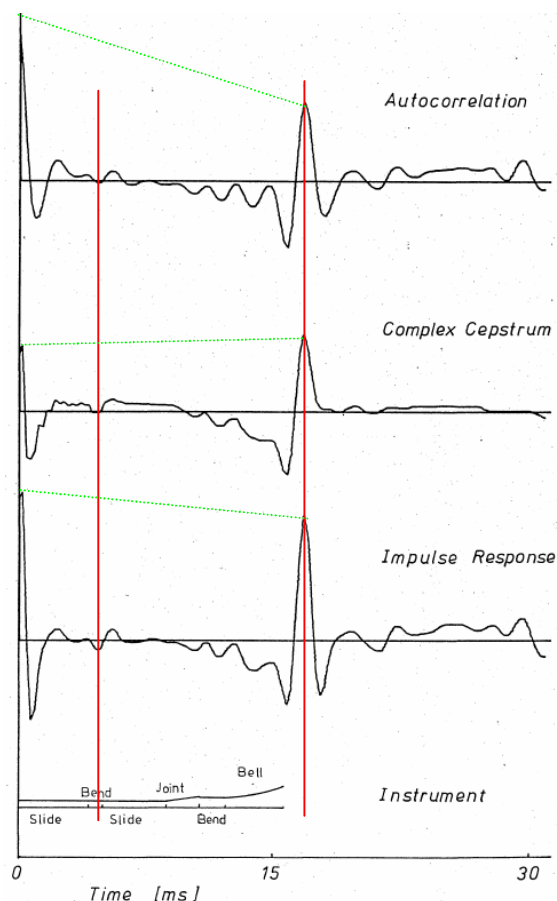
Die „feinere“ Struktur der Impulse Response – Auswertung (Reflektionen ~ Wellenlinien), sollten anhand der internen „Features“ eines Instrumentes auftreten. Diese Eigenschaften in der Zeitdomäne sollten relativ einfach mit der „Mensur“ korrelieren, um ein direkteres Design zu erlauben....

Der IR für den 1. Roundtrip (~16ms bei Posaune) wird im Detail verwirren, da hier multiple Reflektionen abgebildet werden. Ein Reflex bei 4ms kann z. B. durch 1 Roundtrip von 4ms oder 2 Roundtrips von 2ms verursacht werden. Um Reflektionspfade auszusortieren werden deshalb 2 Möglichkeiten vorgeschlagen, Diese werden jeweils ebenso über (reverse) FFT aus dem Frequenzbereich gewonnen:

1. Autokorrelation: > das Quadrat der Amplitude und Phasenwinkel 0 (=keine Phasen-Info.)

2. Complex Cepstrum: > der Logarithmus der Amplitude anstelle des Realteils und die Phase anstelle des Imaginärteils....

Hinweis: Das *Real Cepstrum* leitet sich vom *Complex Cepstrum* ab, indem die Phase auf Null gesetzt wird.



© Elliott; eine Posaune; Enlargement bei ca. ~4ms (Bogen); Roundtriptime ~16ms

Mr. Elliott geht nicht auf die Diskrepanzen der phys. Länge ein, nennt als Referenz des öfteren als Abschluß die phys. L + Radius Schallbecher.

In 2 Absätzen erläutert Eliott, daß die „Transient Characteristics“ = Ansprache durch vorzeitige Reflektionen einen sehr negativen Effekt haben können. Er verweist darauf, daß Dr. Benade nicht Recht haben kann, daß Einschwingvorgänge von der Gruppenlaufzeit der angeblasenen Frequenz abgeleitet werden können, weil er meint, daß ein initiale Welle keine „schmalbandige“ Frequenzcharakteristik habe, sondern „breitbandig“ sei.

Wikipedia dazu ©:

Eine häufige Anwendung der Autokorrelationsfunktion besteht darin, in stark [verrauschten Signalen Periodizitäten](#) zu finden, die nicht ohne weiteres ersichtlich sind:

Die Autokorrelationsfunktion eines periodischen Signals ist wieder ein periodisches Signal mit derselben [Periode](#). So ist zum Beispiel die Autokorrelationsfunktion eines [Kosinussignals](#) wiederum eine Cosinusfunktion mit derselben [Kreisfrequenz](#).

Allerdings ist hierbei die [Phaseninformation](#) verloren gegangen.

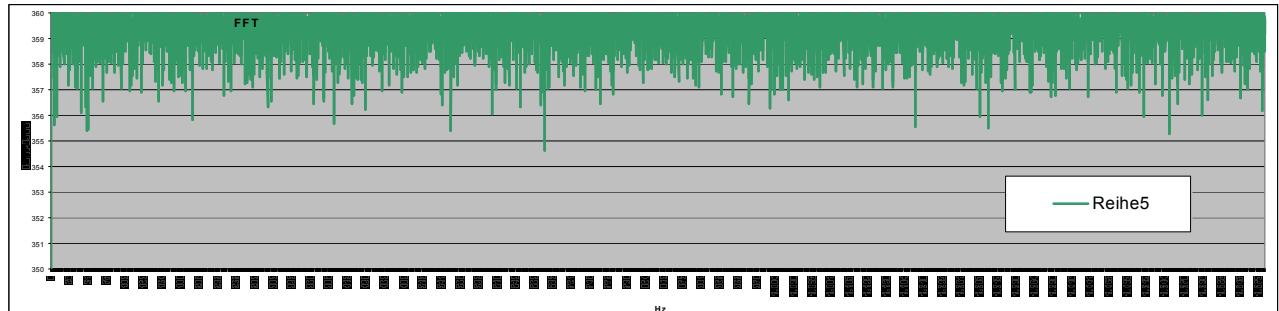
Eine gleichwertige Möglichkeit des Findens der Signalperiode ist die Möglichkeit, das Fourier-Spektrum des Signals nach einer dominanten Frequenz zu untersuchen. Da die Autokorrelation die normierte Fourier-Transformierte des [Leistungsdichtespektrum](#) ist, gemäß dem [Wiener-Khinchine-Theorem](#), sind beide Ansätze gleichwertig.

Aus diesem Kapitel ergibt sich, daß ohne Phaseninformation -> eine „Autocorrelation“ gewonnen wird. Andererseits wird das „Real Cepstrum“ ebenso mit Phase „Null“ gewonnen.

Daher fallen auch die Reflex Maxima wesentlich geringer gegenüber der „echten“ Impulsresponse aus. Meine eigene Methode liefert Ergebnisse, die in annähernd einer Autocorrelation oder auch Real Cepstrum entsprechen. Ich nenne meine erzielten Ergebnisse im Zeitbereich dennoch der Einfachheit halber „IR“, auch weil Mr. Eliott zum Ergebnis kommt, daß besondere Vorbereitungsmaßnahmen entfallen können.

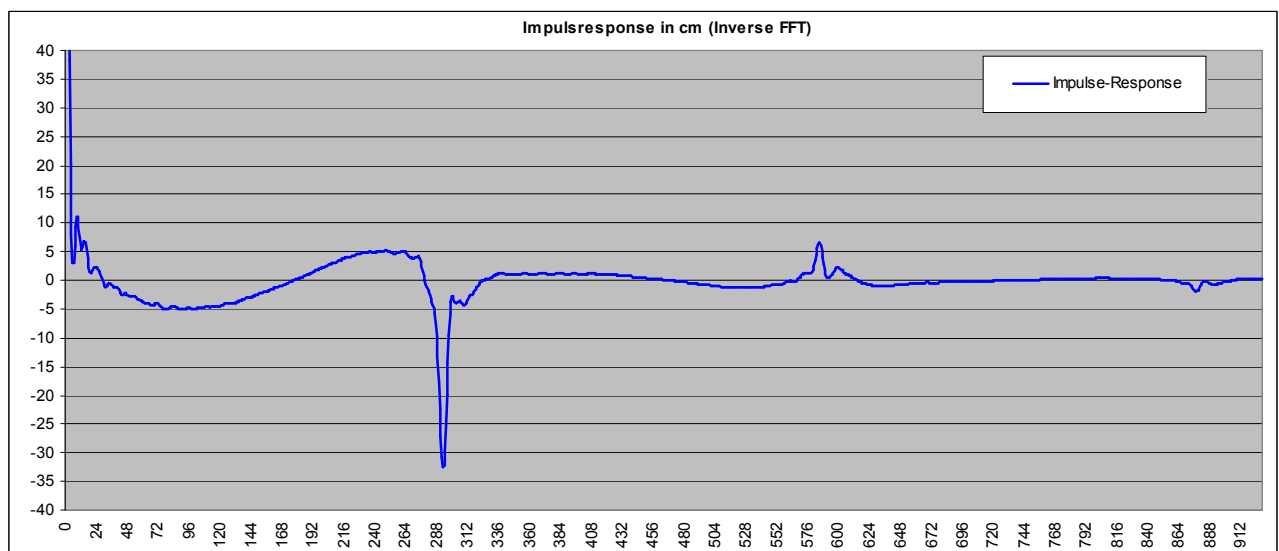
Meine „Impuls“-Response Auswertungen

Leider habe ich keine brauchbare Phasen Information (Phasenwinkel). Dies ist in der Art der Mittelungen der FFT begründet. Die zur Verfügung stehende Phaseninformation (in Grad) ist nur ein unbrauchbares Zufallsrauschen nahe 360 / 0 Grad.



Diese Phaseninformationen sind nicht verwertbar. Andere FFT Programme habe ich ebenfalls getestet, allerdings keines gefunden, welches hochauflösende, exportierbare Messungen und verwendbare Phaseninformation liefert und diese exportieren kann.

Wie man sieht ist der Realteil aber zumindest „ähnlicher“ Gestalt wie die Magnitude – und umgekehrt. Und ich bin darauf angewiesen, die Magnituden Werte zu verwenden. Aus diesem Grund erscheinen die Impulseresponse-Auswertungen etwas „verzogen“ = die Höhen der Impulse stimmen nicht bzw die ganze Linie hat eine leichte Wellenform mit Abweichungen bei Rohren in der Größenordnung bis zu +/- 5% am Beginn.

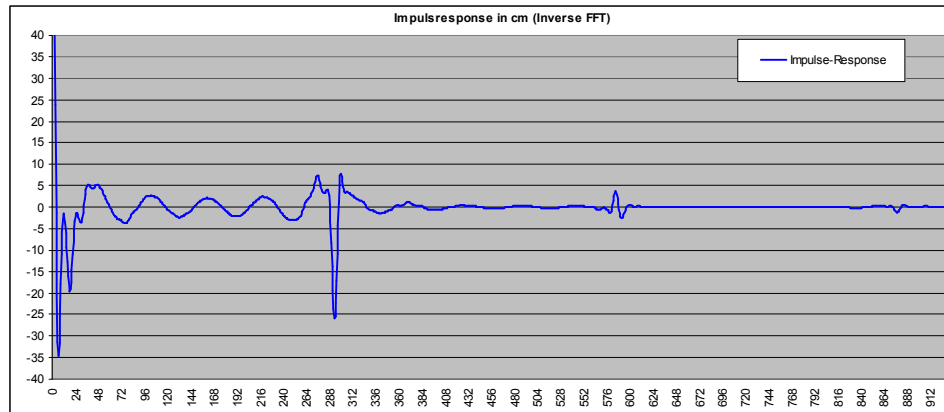


Impulse Response – Rohr Dia 14mm L 293,5 cm - Calibration Modell „Tube“,
die Auswertung der FFT Messung ergibt: 293,77 cm (+/- 3,74 mm Resolution)
Fade out 1500-2756 Hz auf die Hälfte der Magnitude

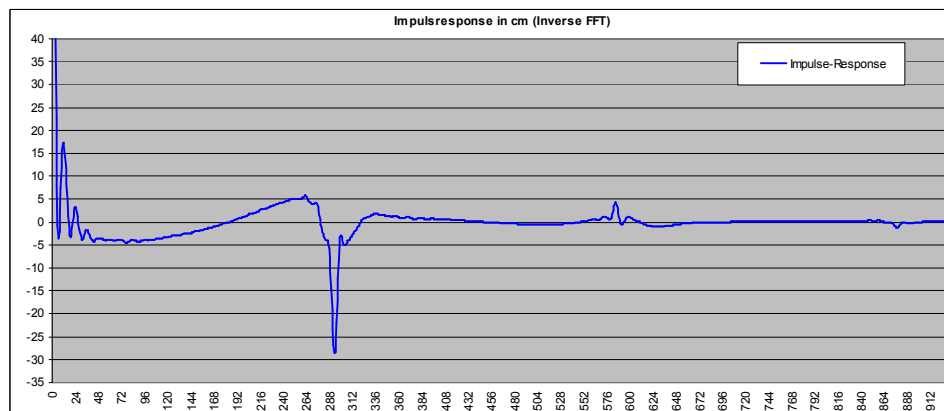
(Spitze negativer Ausschlag. Hier ist der Impuls 1x zum Rohrende und wieder zurück gelaufen, entspricht rund 17ms) bei 586 cm nach 34ms ist das Signal 2x hin und hergelaufen und so weiter. Wäre das Rohr verschlossen, so wären diese Ausschläge seitenverkehrt. Im Vergleich zu einer richtigen Impulse-Response Messung sind die Responsewerte dadurch nur ~ 1/2 mal so groß. Die Skala ist auf 100 normalisiert.

Bei der Messung fehlt hier die 1. Resonanzspitze d.h. erst ab 52 Hz sind brauchbare Daten, der Grundton fehlt komplett.

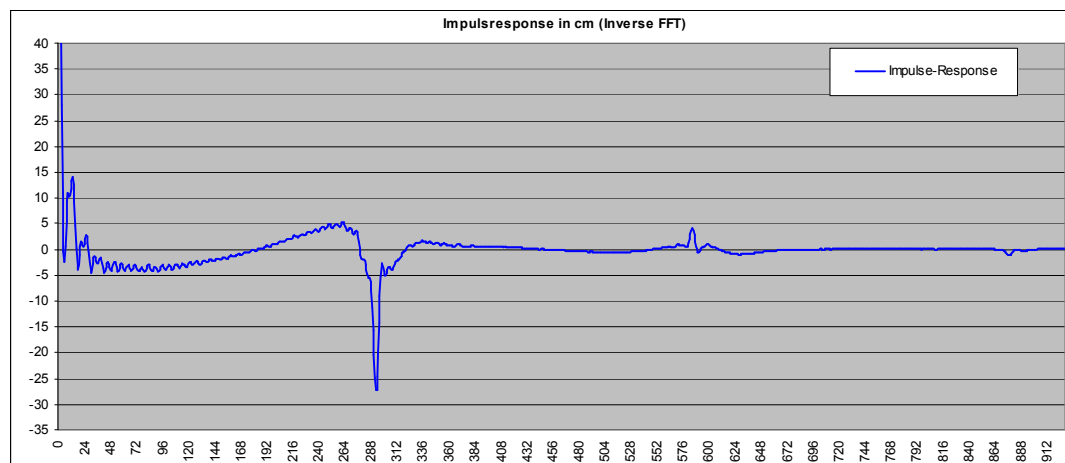
Der Bereich 5cm bis 286cm sollte eigentlich „gerade sein“. Die Welle ist aber vor allem auf das Fehlen der 1. Resonanz zurückzuführen. Ein negativer Ausschlag deutet auf eine Erweiterung des Rohrdurchmessers hin, gefolgt von einem positiven Echo, was hier nicht der Fall ist, da das Rohr einen sehr konstanten Durchmesser hat. Beim zylindrischen Rohr gibt es nach dem negativen Peak korrekterweise keine nennenswerten „Echos“.



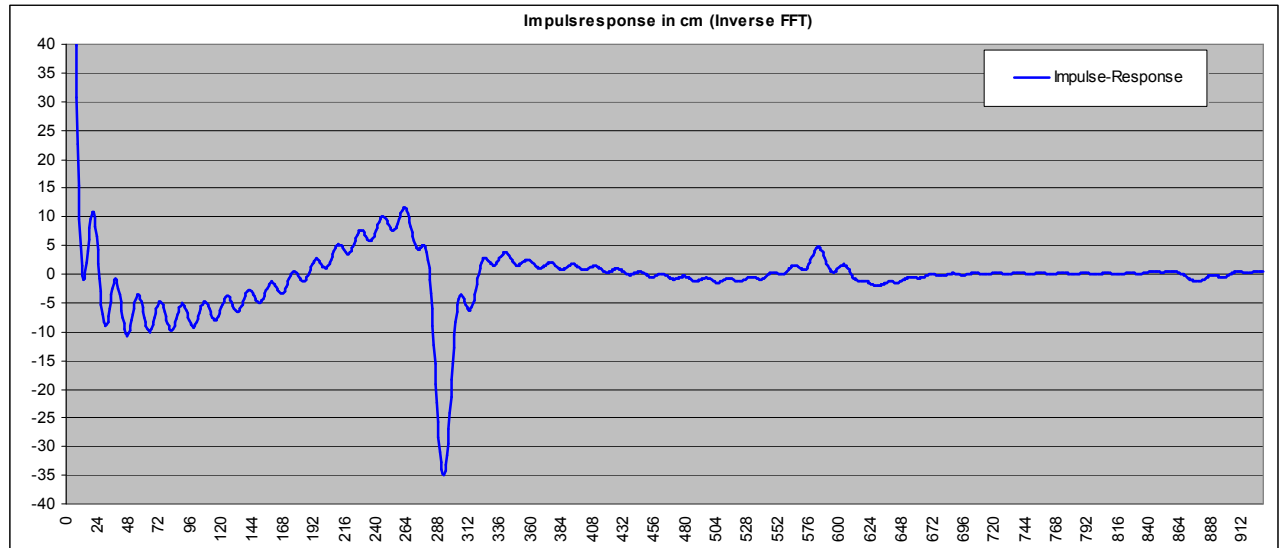
Werden die ersten 5 Resonanzen weggelassen und beginnt die Messung erst bei 392Hz, dann ändert sich die Wellenform am Beginn. Alle Informationen stammen von noch verbleibenden Obertönen / Impedanzdaten.



Selbes Rohr, Calibration Modell „Simple“ 1-2756 Hz, (brauchbar erst ab 52 Hz)
 Fade out 1500-2756 Hz auf die Hälfte der Magnitude – Endfaktor 0,5
 Die Daten sind nicht wesentlich anders, die Reflex-Spitzen aber weniger ausgeprägt.

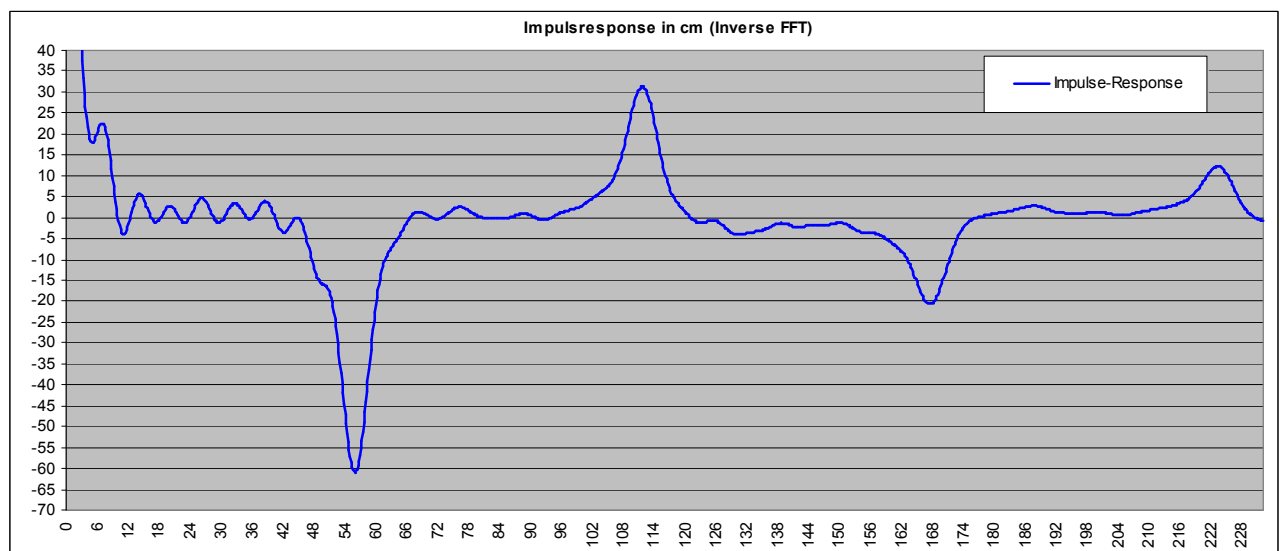


Selbes Rohr, ohne Fade-out ab 1500 Hz:unbrauchbares Zig-Zag.
 Sowohl bei Calibration Modell „Tube“, als auch „Simple“.



Selbes Rohr, Frequenz Bereich endet hier aber bereits bei 1000 Hz = Zigzag.
Es fehlen wichtige Informationen!

D. h. die hohen Frequenzen sind notwendig, wenn diese aber systematisch abgesenkt werden, erhöht sich der „Informations“-Anteil, da Zig-Zag möglichst ausgeblendet wird.



Tube 555mm, Dia 11, Calibration Modell „Tube“, 8db zusätzlich abgesenkt,
Fade out ab 1500 Hz auf Endfaktor 0,8 - die Länge stimmt überein.

Im Zuge der Tests wurde besonders auf die Genauigkeit der Längenauswertung geachtet und eine „systematische Abweichung“ von 1% festgestellt. Beim offenen Ende der zyl. Rohre wurde $0,3 \cdot \text{Diameter}$ als Endkorrektur zur tatsächlichen Rohrlänge addiert. Alle Messungen ergeben aber dennoch ~1 % längere Abmessungen lt IR als tatsächlich vorhanden. D.h. die Schallgeschwindigkeit ist um 1 % langsamer, was vermutlich durch „Losses“ verursacht wird. In Teil 3 wird darauf explizit eingegangen.

Der Oversampling Faktor / Zero-Padding entscheidet über max. Länge

Da ich in Excel 2003 Format 65384 Zeilen zur Verfügung habe, kann ich die IR-Daten oversampeln, bei 8x = 2048 Werte, die restlichen 63.336 werden mit Nullen gefüllt!

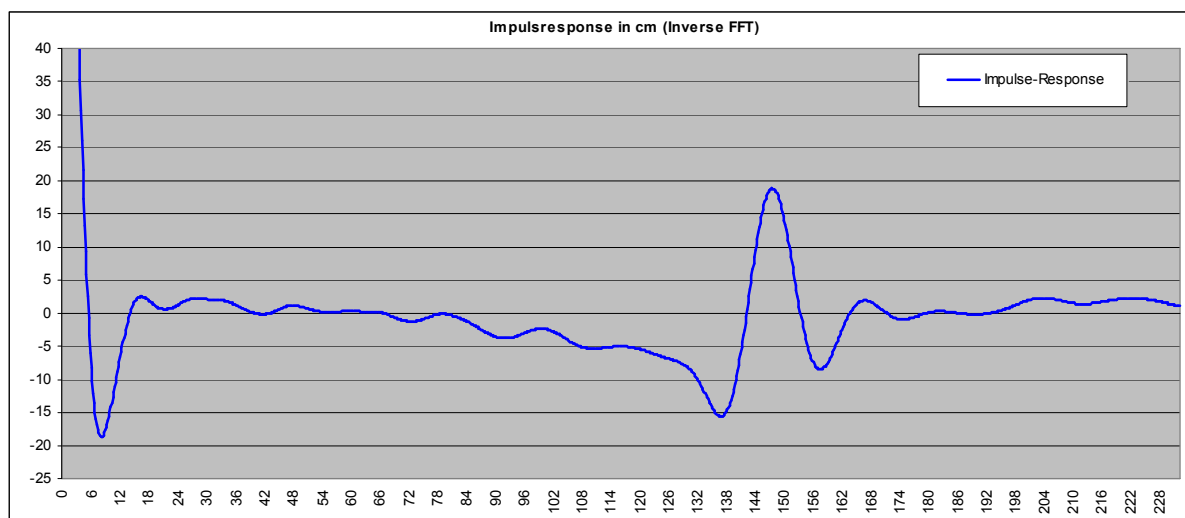
x-fache Glättung bedeutet max. Auswertung der Länge in m:

	Länge	Auflösung = 1 Sample alle	
1x	45,44 m	15,84 mm	
2x	22,72 m	7,74 mm	
4x	11,36 m	3,78 mm	
8x	5,68 m	1,93 mm	
16x	2,84 m	0,97 mm	
64x	0,71 m	0,24 mm	usw, auch dazwischenliegende Faktoren wären möglich.

Eine Bb-Trompete hat mit Ventilstellung V123 eine akustische Länge von ca. 2,04 m d. h. Oversampling x 8 hat genug Längenreserve und mit ~2mm eine sehr gute Auflösung.

Das Oversampling ergibt eine Reduktion der max. Länge, dafür eine „Verfeinerung“ um wiederum uninteressante Informationen (Zig-Zag) herauszufiltern, und an die tatsächlich interessanten Informationen zu gelangen! (Enlargements, Loch, Undichtheiten, Verstopfung, etc.)

Modell „Simple“ Calibration / Impulseresponse



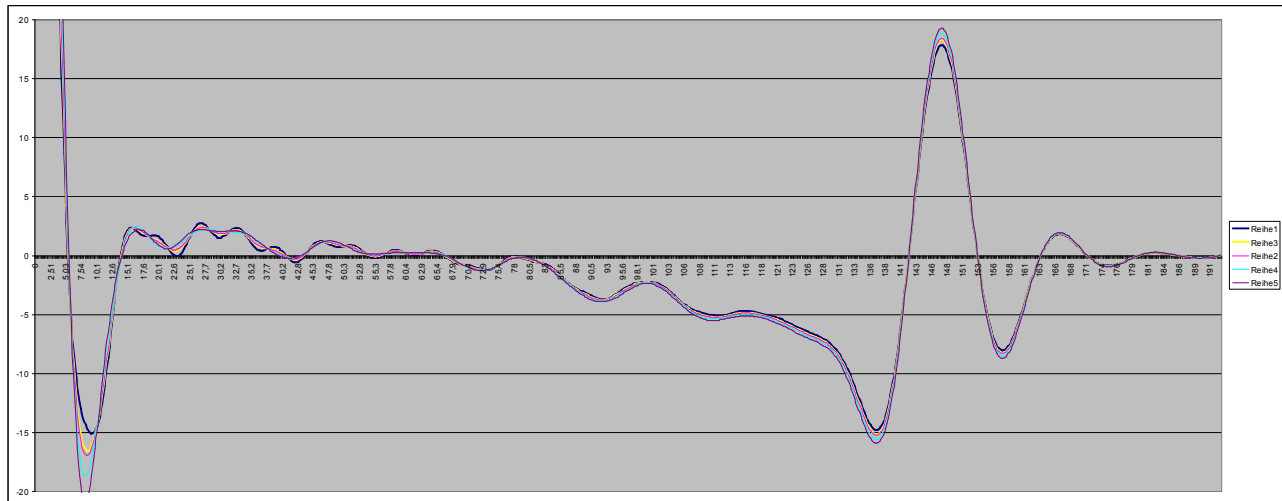
Impulse Response Trompete V0, bei 147,5cm ist das Instrument „akustisch zu Ende“, tatsächliche Abmessung sind 139cm gemessen an der Mittelachse.

(Ziemlich genau der 2. negative Ausschlag = IR-Bell-Minima + ~1,2-1,9 cm)

Bei 70,5 cm beginnt der konische Becher, die folgenden Wellenlinien ergeben sich daraus. Der 1. negative Ausschlag – Mundstückende ergibt sich aus der Wellenlänge der markantesten Frequenzen, quasi ein „Formant“ um die dominierende „MPC Popping“-Frequenz herum bei ~ 866 Hz.

Fade-out Faktor ab 1500 Hz für Impulseresponse - Glättung:

Als Fade-out Faktor ab 1500 Hz gibt ein Faktor 0,66 - 0,75 sehr gute Ergebnisse.



Blau: ohne Fade-out (Faktor 1,0), gelb: Faktor 0,75, hellblau: 0,5 verfälscht das Bild bereits – siehe Bereich um 20cm.

Der Fade-out Faktor hat große Auswirkung auf die 1. negative Spitze bei rund 8,5-9,9 cm. Ein kleinerer Faktor erhöht prinzipiell alle Spitzen, auch die für Vergleiche von Ventilen wichtige 1. positive Spitze beim Schallbecher – hier 147cm – aber nicht die Länge.

Fazit Impulse-Response:

Obwohl meine Methode wissenschaftlich völlig falsch ist, liefert sie für meine Zwecke gut brauchbare Ergebnisse. Die ermittelten Längen sind exakt, die Reflexionsspitzen sind um den Faktor ~2 gegenüber richtigen Messungen zu gering. Den Export für eine weitere Verarbeitung der Daten habe ich irgendwann auf 3000 Zeilen eingeschränkt. Um mit Auswertungen virtueller Instrumente aus ART oder Bias kompatibel zu bleiben gelten also wie bisher folgende Limitationen:

Auflösung 8x Oversampling = ~1,94 mm, max. Länge 3000 Zeilen gibt 580cm, metrische Angaben sind temperaturabhängig, hier ca. 22 Grad Celsius und ein IR-Verlustfaktor 1% muß berücksichtigt werden.

Die Einstellungen Calibration-Modell, Oversampling, Fade out, Frequenzbereich innerhalb sinnvoller Grenzen beeinflussen die Längenposition der Hauptechos an offenen Enden nicht oder nur im Toleranzbereich von 1 Sample (1,94 mm).

Die Reihenfolge der FFT-Mittelung und Auswertung ist ab nun wie folgt:

1. Einlesen der Korrektur Anregungssignal „Today“ zum aktuellen Mittelwert der Anregung, anhand signal.sgr vom Kontroll Mikrophon (in Volt) – Hier FFT 8 / 8192 **=1200 Mittelungen**
2. Einlesen von 1-5 Messungen (in Volt), anschließend Mittelwert der Messungen bilden. **Durch die Messung mit 4/16384 Samples sollten Mittelungen aber nicht notwendig sein. (Durchläufe Mittelungen pro Messung / Ventilstellung) =600 Mittelungen**
3. Anwendung Korrektur aktuelles „Today-„Anregungssignal auf die Mittelung oder Einzelmessung, die Today-Korrektur ist nun mehrstufig mit SG+MA geglättet.
4. Optional – Massekorrektur anwenden ja / **nein** (*Glättung noch nicht implementiert!*)
5. Anwenden passender Mohm-Faktor entsprechend der Windowing Funktion und Samples / Zero Padding; für Hanning und 16384 / 4 = Volt * 0,25
für Hanning und 8192 / 8 = Volt * 0,125.
6. Kalibrierung anhand des Referenzrohres oder „Simple“ Kalibration, Ausgabefaktor
7. eine Kurvenglättung **mit Savitzky-Golay Filter** (opt. gleitendem Durchschnitt)
8. Ausgabe an Impulsresponse-Berechnung, wahlweise mit oder ohne Kalibrierung, nun aber immer geglättet.
9. Ausgabe Impedanz + IR-Berechnung an FFT-Auswertung, Berechnung Peaks, Weightings, zusätzlich neu Peak-Center-Werte, etc., abspeichern in FFT-Instrument.xls
10. Import in FFT-Analysis.xls, hier ebenfalls neu die Auswahl ob Peak-Maxima, Peak- Center-Werte oder fehlerkorrigierte statistische Werte verwendet werden sollen.
11. Weiterverarbeitung.