

Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten

Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten.

Teil 3: Grundlagenforschung mit Hilfe von Virtualisierung und Simulationen (A.R.T)

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!

Ziele und Ergebnisse in Teil 3:	4
Verwendete Begriffe und Definitionen, Abkürzungen	
Impedanz – Messungen der Eingangsimpedanz an realen Instrumenten	5
Bisherige Messungen realer physischer Instrumente mit Impedanz-Messkopf	6
Bisher verwendete äquivalente Kurven	
Das Testinstrument – Dimensionen, Digitalisierung, IST-Messwerte	7
Abmessungen, Messwerte, Parameter und Auswertungen des IST Standes	
Datenerfassung virtuelles Instrument / Geometrie, ART Software Kalkulation	
Ergebnisse, Auswertungen Impedanz und diverser Parameter, Gewichtung, etc.	
Simulationsmodell ART im Vergleich	13
zum kommerziellen Bias7 © IWK / Artim GmbH (Demoversion)	
Verfügbare Simulationsmodelle	
Vergleich weiterer Simulationsmodelle von Bias©	
Wellen Modelle	18
Radiation Modelle	19
Zusammenfassung	20
Grundlagen Druckverteilung und Perturbationskurven	21
Druckverlauf / Stehende Wellen in Blechblasinstrumenten	
Perturbationskurven stehender Wellen in Blechblasinstrumenten, Prinzipien:	
Positionen von Pressure Nodes und Antinodes / Druckbäuchen:	23
Etwas Physik zusätzlich – Dr. Benade erklärt es so:	
Simulation der Druckverteilung: Wo sind welche Nodes?	24
Simulation mit der Bios7© Demoversion, Pressure – Druckverteilung:	25
Pressure – Auswirkung von unterschiedlichen Verlusten simuliert:	27
Pressure – geänderte Druckverteilung durch Perturbationen	36
Druckverlauf im Bereich um XM-IN1 und XM-PN	42
Druckverlauf - Hüllkurven	
Was passiert nun tatsächlich bei einer lokalen Perturbation und warum?	46
Ergebnis der geänderten Druckverhältnisse und Geschwindigkeiten	47
Peak Magnituden und Peak Pitch Potential	48
Das Paradox von lokalen Druck- zu Flußverhältnissen, meine Erklärung dazu	51
Situation bei Impedanz-Peak Magnitude Nodes	52
Situation bei Impedanz-Peak Pitch Nodes	53
Perturbationen – Auswirkung auf den gesamten Naturton & seine Nachbarpeaks	
Der Perturbation Kompass 	54
Unterschiede Potential daraus für Constr. und Enlargement	
Die Perturbation – Potential Spiralen	56
Unterschiede Potential und Versatz	
Unterschiede im Bereich XM (Mitte des Instruments)	58

Kennkurven und besondere „Regions of Interest“	60
Kennkurven, Diagramm - Überblick, XM-Pitch Node, Definition	
Kennkurven, von XM Richtung Becher, Definition, Potential	61
Kennkurven, von XM rückwärts Richtung bis Mundstück Start	64
Impedanz - Peak Magnituden Potential & Hüllkurven	67
Der Perturbation–Volumen-Faktor (für Impedanz als auch Pitch gültig)	68
Impedanz Amplitude Hüllkurven Potential	
Impedanz Amplitude max Potential anhand $\frac{1}{4}$ WL, fractional Potential	69
Perturbation Effects anhand Länge + Radius der Perturbation	
Impedanz - Positionen, Amplitude XM, Ampl./Pressure Max Start	70
Impedanz - Pitch (Tonhöhe/Frequenz)	
Pitch - Hüllkurven – Abschwächung Richtung Becher	72
Pitch - Max Potential anhand $\frac{1}{4}$ Wavelength, fractional Potential	74
Pitch - Effekte bei sehr langen Perturbationen – Lösch/Umkehreffekte.	75
Pitch - Positionen, Pitch XM, Pitch Start	77
Pitch - Ursprung, Versatz horizontal $\odot \rightarrow$ durch Perturbation Radius	78
Pitch - Ursprung, Versatz vertikal $\odot \updownarrow$ bedingt durch Radius+Länge	79
Mundrohr und der Mouthpiece-„GAP“	
Mythos und akustische Auswirkungen	79
Wiener Klappen / Löcher:	
beste Positionen, Effekte und Ergebnisse	80
XXL-Störungen in der Simulation:	
XXL- sehr starke kurze Erweiterungen (2mm * Dia *3) – Ergebnisse	82
XXL- sehr starke kurze Einengungen (2mm*Dia /4 quasi Verstopfung) – Ergebnisse	
Musterwiederholung nach $\frac{1}{2}$ WL GT, Synergie-Effekte Grundton+Harmonische	83
Ergebnisse und Daten mit mehreren Ventil-Kombinationen (Längen):	
Calculated Equivalent Length Curves including extra and less Valve-Lengths	83
Vertikaler Versatz Pitch zu Impedanz - Null-Linie/Angelpunkte	84
Horizontaler Versatz Angelpunkte mit Radius-Änderung	85
Effekte bei anderen Ventillängen / Hüllkurven, Werte über Frequenz	86
Pitch + Impedanz Potential mit verschiedenen Ventilkombinationen / Längen	88
Aufbereitung / Splines Pitch Pot., / Nullversatz – abhängig von Frequenz + Länge	91
Vergleich Messung und Rechnung mit Hüllkurven, Pitch und Amplitude	93
Zusammenfassung & Ausblick:	
Hinweise für weitere Verwendung und Auswertungen.	95
Anhang:	
Herzlichen Dank meinen Ideengebern im Lauf der Jahre, Quellen,	96
verwendete Shortcuts / Ausdrücke, ausgedeutet / „verenglished“	97

Ziele und Ergebnisse - worum geht es in dieser Dokumentation Teil 3?

Als Grundlage wurde ein ausgebeulter, (alter) Bb Drehventil - Trp. Schallbecher deutscher Bauart , sowie ein Mundstück Warburton 8M9, ein vorhandenes, teils konisches Mundrohr und dazwischen zylindrisches Rohr mit 11.0 mm Innendurchmesser in passender Länge für KT A1 = 442 Hz so genau wie möglich vermessen und aus den Daten eine Mensurliste digitalisiert. Von dieser virtuellen Trompete wurden mittels ART (Acoustic Research Toolkit), Bias© und Bios© Software, sowie mit FFT (Fast Fourier Transform) die Impedanzwerte berechnet, und danach mit bereits vorhandener und neu erstellter Software unter Excel ausgewertet. (Eigenentwicklung)

Die Ergebnisse und Resultate sollen einfließen in:

Positionen von Pitch-Nodes, Druckknoten, Druckbäuchen, Impedanz Magnituden, optimierte Positionen von Ventilen, Wiener Klappen, Stimmzug-Gaps, allgemeine Optimierungen und für mich neue Resultate, die nur mittels Virtualisierung machbar sind!

Das tatsächliche Potential der Veränderungen für Impedanz und Stimmung über möglichst den gesamten Rohrverlauf ab Mundstückende bis zum Becherende, sowohl für Enlargements und auch für Constrictions, sowie Wiener Klappen/Löcher.

Durch die gewonnenen Ergebnisse und Daten (im speziellen XM-Pitch und XM-Ampl.), sowie daraus resultierender weiterer Berechnungen und der deraus resultierenden Mpc Equivalent Kurven über den ganzen Frequenzbereich von NT1 V123- NT12 V0 sollte es dann mit noch akzeptablem Zeitaufwand möglich sein, bei reellen „ähnlichen“ Trompeten durch experimentelles Ermitteln **nur der** tatsächlichen individuellen **XM-Pitch Positionen** (oder XM-Imp. Nodes) jeweils eine sehr gut passende individuelle MPC-Eqv Kurve zu berechnen, die dann für weitere Diagnosen und Optimierungen genutzt werden kann, ohne die exakte Geometrie des jeweiligen Instrumentes erfassen zu müssen. *Hinweis: Ergebnisse aus Teil 7 sind nun als Kommentare eingepflegt (orange).*

Verwendete Begriffe und Definitionen:

Insgesamt gibt es 4 verschiedene Punkte bzw. 2 Kurven sowie einen Versatz/Offset, die für alle weiteren Auswertungen exakt benannt werden müssen:

P = Pitch / Frequenz / Tonhöhe
I = Impedanz / Magnitude / Amplitudenhöhe
N=0 Nulldurchgang / Node = keine Änderung
M+/- = Potential Max. +/- = max. Änderung up/down

XM = ein Nulldurchgang / Node in der ~ Mitte des Instruments
XM-Pitch = XM-PN = Pitchnullochgang, Frequenzen (Tonhöhe) nicht verändert
XM-Ampl = XM-IN1 bzw. XM-IN2 = Impedanzmagnituden Nulldurchgang

PN: Pitch/Frequenz Nulldurchgänge/Nodes Pitch-Peak: = **XM-PN** etc, = Pitch Nodes
 -> Impedanz Peak Pot Max. = **IM** haben dazu einen Versatz/Offset.

IN: Impedanz Nulldurchgänge /Nodes Impedanz Peak Magnituden = XM-IN1., etc,
 -> Pitch Peak Pot Max. = **PM** haben dazu einen Versatz.

PM+/-: Druck/Pressure Maxima/Minima = Antinodes sind auch Peak Magnitude NODES
IM+/-: Fluss/Flow Maxima/Minima = Antinodes sind auch Peak Magnitude NODES

Versatz / Offset: Differenz zwischen PN und IM+/- aber auch IN und PM+/-.
 Der vorhandene Versatz ist Frequenz- und Mensurabhängig, ohne Perturbation, als auch abhängig von Länge und Volumenänderung einer folgenden Perturbation.

Bisherige Messungen realer physischer Instrumente mit Impedanz-Messkopf



Eine Trompete mit Impedanzmeßkopf



Messkopf – Mundstückaufnahme, 4 Kapillare

Im Inneren des Messkopfes (Eigenentwicklung) selbst befindet sich ein Lautsprecher sowie ein Mikrophon zur Kalibrierung des Anregungssignals. Aussen befindet sich an der sonstigen „Lippenebene“ des Bläusers das Messmikrophon. Ein kalibriertes Sweep Signal wird vom Computer / Soundkarte über den Lautsprecher durch die dünnen Kapillar-Rohre ca. 40mm Länge in das Mundstück welches akustisch dicht eingespannt wird geleitet.

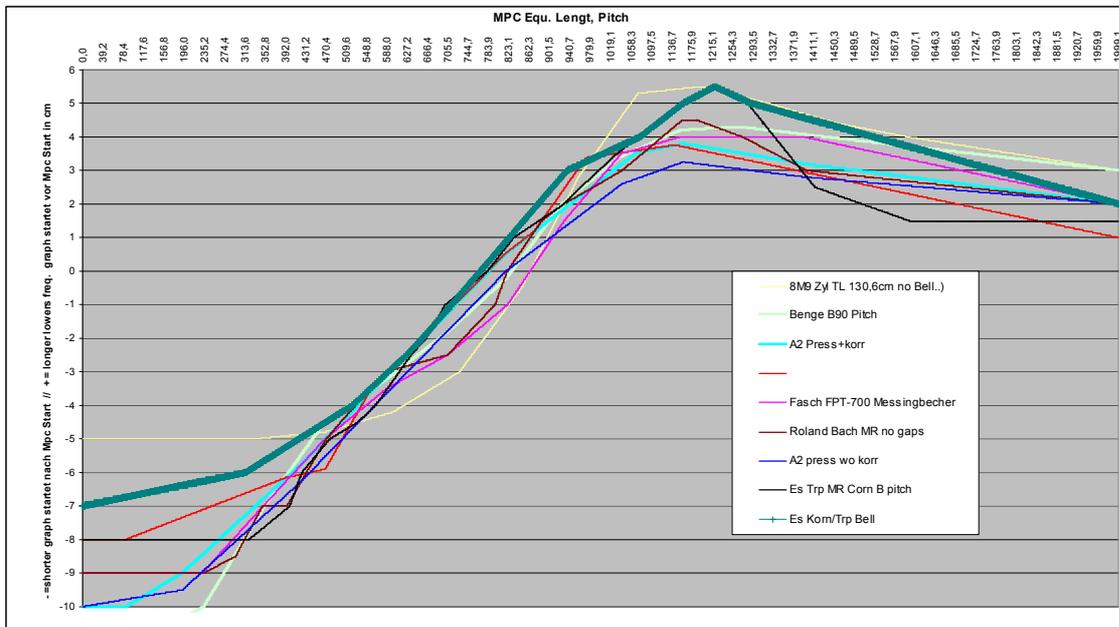
Die vom Becher reflektierten, rücklaufenden Schallwellen werden vom Meßmikrophon in Echtzeit aufgezeichnet und mit Fast Fourier Transform (FFT) verarbeitet. Daraus erhält man die Eingangsimpedanz auf Lippenebene im Frequenzbereich. Verwendete Auflösung: 0,17 Hz. Messbereich 50-2000 Hz. Wiederkehrende Messfehler liegen im Bereich um max 5 Cent +/- (Das Schallbecherende liegt bei Messungen nicht auf der Tischplatte, das Instrument auf einer Unterlage, die Fremd vibrationen von außen dämmt - Woldecke).

Abweichungen zwischen wiederholten Messungen treten zb. auf bei:
Geringen Temperaturunterschieden während oder zwischen Messungen; sehr tiefe Umgebungsgeräusche (z.b. Traktoren/LKW), zufallende Türen; der unabsichtlich unterschiedliche Druck mit den Fingern auf die Ventile während einer Messung - (Kork bzw. Filz geben nach/federn). Undichtheiten (spez. Ventile bei älteren Instrumenten). Bei besonders dünnwandigen Schallbechern spez. wenn nicht durch Stützen fixiert, macht es einen großen Unterschied, ob bei der Messung der Schallbecher ca.30 cm vor Becherende mit der Hand od. ähnlichem berührt/bedämpft wird oder nicht. (Frequ. >700 Hz betroffen)

Eine Messung pro Ventilstellung dauert rund 60 Sek. Jede Ventilstellung wird einzeln gemessen. Die Daten werden später zum kompletten Instrument mit Auswahl Griffschema etc., zusammengefügt. Die Auswertungssoftware ist ebenfalls eine Eigenentwicklung und bis auf die FFT Erfassung mit Excel umgesetzt. Die ermittelten Daten sind in sehr guter Übereinstimmung mit meinen subjektiven Anspiel-Tests und Musizierpraxis. (Grundstimmung, Abweichungen, Ansprache, Weightings).

Bei der Virtualisierung wird diese physikalische Impedanz-Messung durch die A.R.T. Software Auswertung ersetzt. Das hat den Vorteil, dass Änderungen simuliert werden können, die bei Impedanzmessung nicht möglich sind, oder Instrumententeile für die Messungen „geopfert“ werden müsste. (Z.b. Enlargements im Becherbereich, Löcher). Fehlerquellen liegen allerdings bei ungenauen Abmessungen und der Software selbst; z.b. gewählter Loss-Faktor. Alle weiteren Auswertungen und Berechnungen sind die selben.

Bisher erfasste und verwendete äquivalente Kurven, die ersetzt werden sollen:



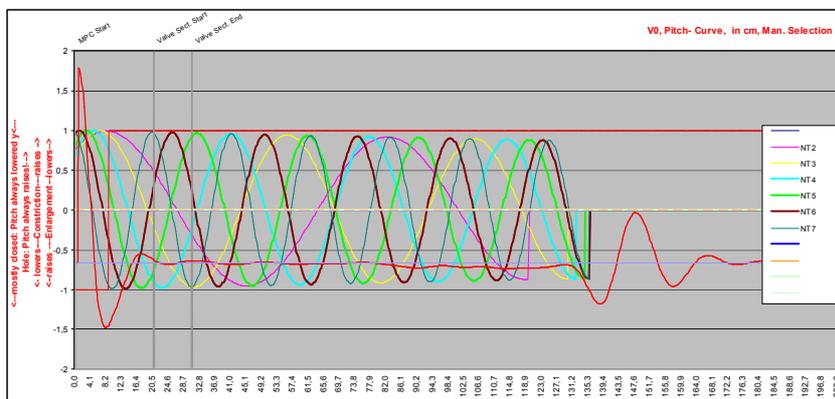
Pitch-Eqv. Länge, von div. Trompeten, aus experimentellen Versuchen (selbes Mundstück), Türkis: Diese Kurve passt relativ gut bei zahlreichen Trompeten in Bb.

Teil 2-A hat sich mit den Grundlagen von Mundstücken beschäftigt, und es wurde gezeigt, daß Mundstücke und Schallbecher ihre akustische Länge frequenzabhängig ändern und dadurch alle Druckknoten und Druckbäuche auf andere Positionen verschoben sind. (Frequenz- u. Mensurabhängig.)

Bisher wurden solche Kurven von mir so ermittelt, indem eine Stahlkugel ca. Dia 8mm oder ein „Zapfen“ mittels eines Magnetstabes (ausserhalb) zentimeterweise durch das Instrument gerollt wurde, die Position bestimmt und die jeweiligen Änderungen der Messungen miteinander verglichen und ausgewertet wurden. Die Kugel verursacht aber eine „XXL-Verengung“, welche Pitch stark vertieft und die Nullpunkte nach unten verschiebt – wie die folgenden virtuellen Messungen jetzt bestätigen.

Alternativ wurde auch ein Mini-Mikrophon mit dünnem Kabel nach dem Ventilstock beginnend durch den Schallbecher gezogen und die Druckunterschiede einzelner vom Impedanzmeßkopf produzierten Naturtonfrequenzen verglichen.

Mit beiden Methoden können jeweils nur bestimmte Bereiche erkundet werden. Speziell tiefere Frequenzen sind so schwierig zu bestimmen und liefern fehlerträchtige Ergebnisse.



Pitch Perturbation Kurven (hier V0, A2 Press.+korr.) bisher zur Intonationskorr. verwendet.

Testinstrument – Ausgangsbasis / Dimensionen, und IST- Messwerte:

Testinstrument: Mundstück: Warburton Kombination Kessel Nr. 8M mit Backbore Nr. 9
 Mundrohr: Eigenbau Modell „MR M9 V3 Teleskop“ (Stimmung am Mundrohr)
 Rohr zyl. Main Bore Dia 11mm, Bell „Mayer Landau“ ab 73,5 cm, TL 139cm, virtualisiert
 V0 bezeichnet kein Ventil gedrückt, **Std. Perturbation** = Radius 0,5mm mit 20mm Länge
 V1 bis V123 bzw. V0-16cm (ein Verkürzungsventil) sind die jeweilige Ventilkombinationen.

Parameter der Messung für die (bereits vorhandenen) Auswertungssoftware:

Das braSSiSSima Projekt

Brass instrument Scanning System - Impedance Measurement Analysis

Basis Auswertungen

© braSSiSSima, all rights reserved

Software Release: V 2015.5b

Hier finden Sie einige signifikante Daten für die folgenden Auswertungen.
 Einige der Variablen sind nur für interne Kontrollzwecke und nicht weiter dokumentiert.
 Bitte lesen Sie zuerst das Manual für die Erklärung der verschiedenen Begriffe!
 Weitere Auswertungen siehe zusätzliche Auswertungen!

Instrument:	art- v0 8m0, m9v3T, 11zyl, mayer landau bell ab 735
Zusatzbemerkungen:	mit 1,33 lossfaktor
Instrumentengattung:	Trompete/Trumpet
Grundstimmung klingend:	Bb
Temperatur:	22 °C
Datum der Messung:	#####
Anzahl der Messungen/Mittelung:	1
Mundstück:	8m9
Mundstück 1. Resonanzmaxima bei:	850,6 Hz
Mundstück Impedanz bei 1. Resonanzmaxima:	447,5 rel. MOhm
Abstand Mundstück / Ende Mundstückreceiver (Gap):	k.A mm
Stimmzug ausgezogen um:	1x10T mm
V1 Ventilzug ausgezogen um:	2x0 mm
V2 Ventilzug ausgezogen um:	2x0 mm
V3 Ventilzug ausgezogen um:	2x0 mm
Extramessung, genannt – none-- , Ventilzug ausgezogen um:	2x0 mm
Halbtöne Vertiefung durch Extramessung:	0 HT
Besitzt das Instrument einen Trigger am 1. Zug?	nein
Besitzt das Instrument einen Trigger am 3. Zug?	nein
Ventile wurden vor der Messung extakt justiert?	ja
Bohrung, gemessen am 2. Ventillinnenzug:	11 mm
Bohrung, in Zoll	0,43 inches
Schallbecher Durchmesser in cm:	13,5 cm
Schallbecher Durchmesser in Zoll:	5,3 inches
WGT 0 verwendet =	0
WGT A verwendet =	1
WGT B verwendet =	2
Testsignal verwendet:	Brassissima2008
Messkopf Konfiguration verwendet:	5+0, Kap.+0mm
Messkopf Volumensänderung Mundstückkessel:	-0 ml mm3
FFT used:	8 / 8192
rel. MegaOhm Faktor verwendet:	0,0007
Frequenzauflösung der FFT:	0,168228 Hz / Sample
Frequenzen Anzeige bis:	2000 Hz
Berechneter Kammerton V0, WGT A =	442,63 Hz
Kammerton A verwendet =	442,63 Hz
Bezeichnung Notennamen/Oktaven:	Deutsche Namen
Darstellung Noten klingend / notiert:	wie notiert / as written
Griffschema für Standardgriffe:	V12
Referenz Intonation zeigen:	nein



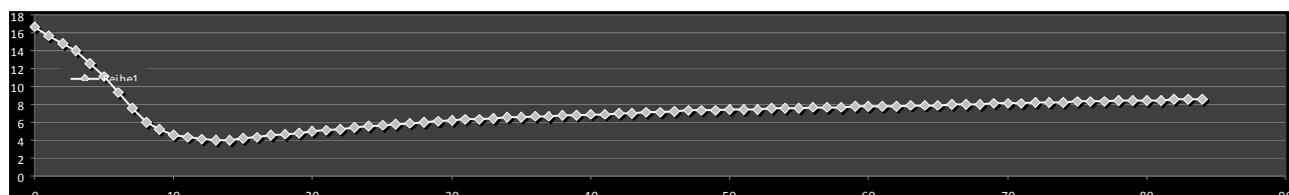
Der Schallbecher dieser Bb-Trompete, Baujahr zwischen 1950-1970 wurde ausgebeult und für das Projekt verwendet. Gravur: „Mayer Landau, PF.“

Datengewinnung für das digitalisierte / virtuelle Instrument:

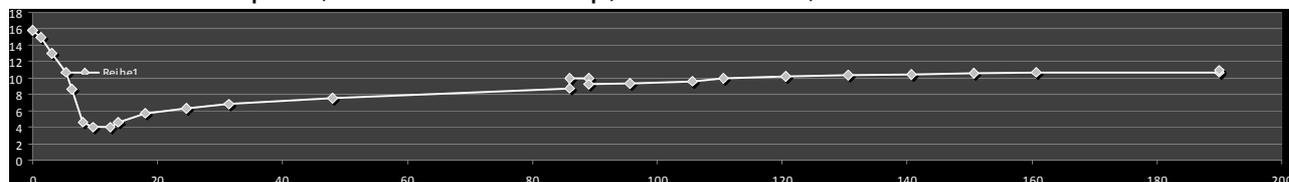
Der vorhandene Schallbecher wurde auf einem Holzkonus auf einer Drehmaschine eingespannt, möglichst exakt zentriert, der Reitstock beginnend bei Becherende jeweils 2 cm versetzt und der Abstand zur Aussenwandung mit einer Schublehre gemessen. Die Mundstückhinterbohrung wurde mit Bohrrückseite 0,1mm fallend gemessen und die jeweilige Eintauchtiefe ermittelt. Mundstückkessel und Seele wurden ebenfalls mit einer Vorrichtung und Eintauchtiefe einer Schublehre ermittelt. (große Abweichungen möglich!) Allerdings soll das System „als Ganzes“ und nicht ein spez. Bauteil analysiert werden.

Vom Mundrohr, da selbst konstruiert – gibt es einen Konstruktionsplan, das tatsächliche selbst produzierte Ergebnis weicht aber sicherlich geringfügig vom Konstruktionsplan ab. Als zylindrischer Anteil wurde eine „Boresize“ von 11,0 mm angenommen (Ventilstock, Ventile, zyl. Tubing, Stimmzüge). A.R.T. bietet auch die Möglichkeit gebogene zylindrische und konische Rohrteile extra auszuwerten, diese Möglichkeit wurde hier nicht benutzt.

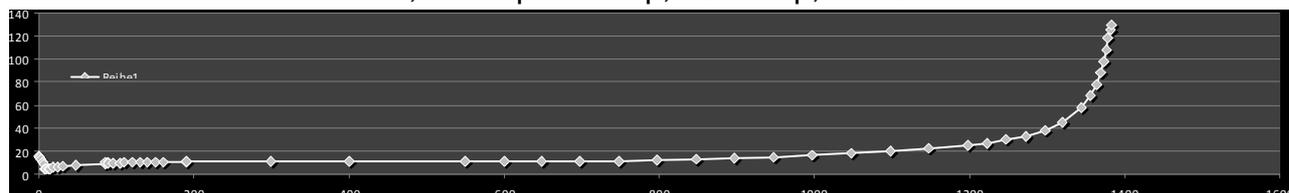
Die gewonnenen Daten wurden in Excel in eine „Mensur-Liste“ umgewandelt, teils geglättet, unterschiedlich lange aneinander gereihte zyl. / konische Abschnitte. Als Ausgangspunkt ohne Perturbation. Bei einzelnen abweichenden Längen (durch simulierte Ventile) wurde der zylindrische Anteil Dia 11,0mm entsprechend verlängert. V0, V1, V3, V123 und V0-16cm. Kanten und enge Bögen wurden in der Simulation nicht berücksichtigt.



Mundstück Innenprofil, Warburton 8M-Top, #9 Backbore, Scale = **Diameter** in mm



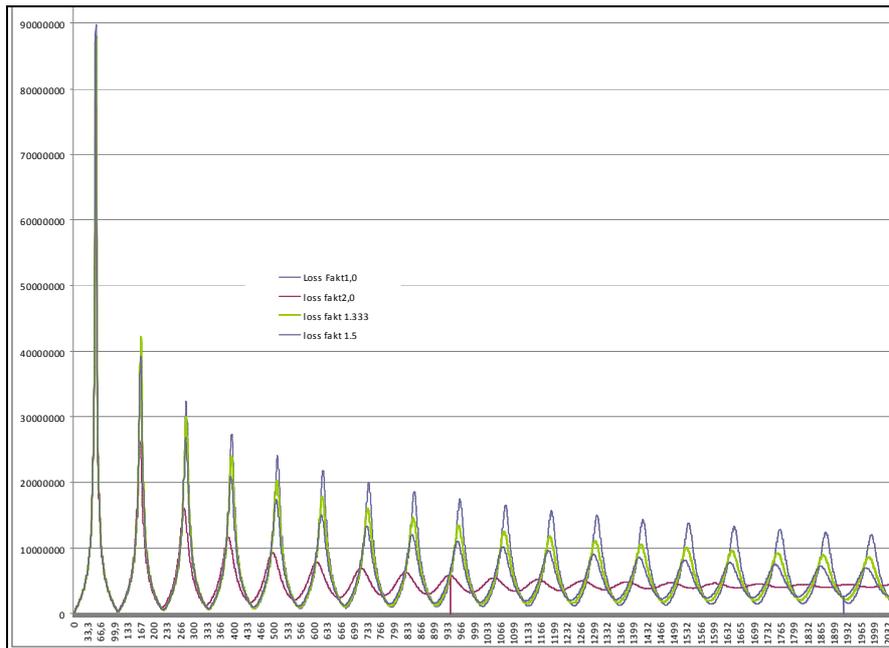
Profil Mundstück +Mundrohr, Mouthpiece Gap, Teleskop, Scale= **Diameter** in mm



Profil Gesamtinstrument, Länge V0, ohne Perturbation, **Scale = Diameter** in mm

Jeder metallverarbeitende Betrieb hätte hier mit hochpräzisen Messtischen eine wesentlich bessere Genauigkeit der Messergebnisse – aber es geht im Projekt größtenteils vorderhand nur um Prinzipien, und nicht um ein spezielles Instrument oder Mundstück.

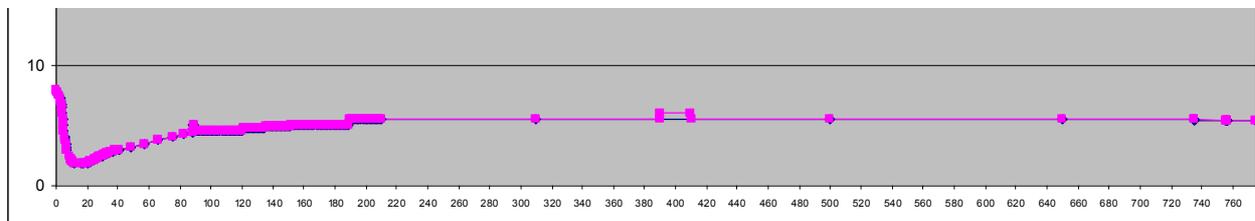
Die „Standard Perturbation“ wurde mit einer Radius Erweiterung bzw. Verengung von 0,5 mm – das entspricht ca. der üblicherweise verwendeten Std. Blechstärke festgelegt. Die Länge der Standard Perturbation wurde rein zufällig mit 20mm definiert.



Vergleich Loss-Faktoren, Zylinder 1500mm Länge, Innendurchmesser 11mm

Die digitalisierten Ergebnisse ohne Perturbation pro „Ventil“ wurden für die A.R.T. Software zur Auswertung der Impedanzkurven zusammengestellt. Weitere Parameter sind Temp. (22°C), Luftfeuchtigkeit, Loss-Faktor (1,33 gewählt), Co2 Gehalt (382 mol ppm.)

A.R.T. wurde befehlszeilenorientiert verwendet und liefert als Ergebnis hier Werte für eine Impedanzkurve im Frequenzbereich (Mega-Ohm), sowie die ermittelten Impedanz Peaks auf der Frequenzachse mit einer Auflösung von 0,5 Hz. (8192 Werte pro Messung) Pro Perturbation benötigte A.R.T. hierfür ca. 20 Sekunden reine Rechenzeit.



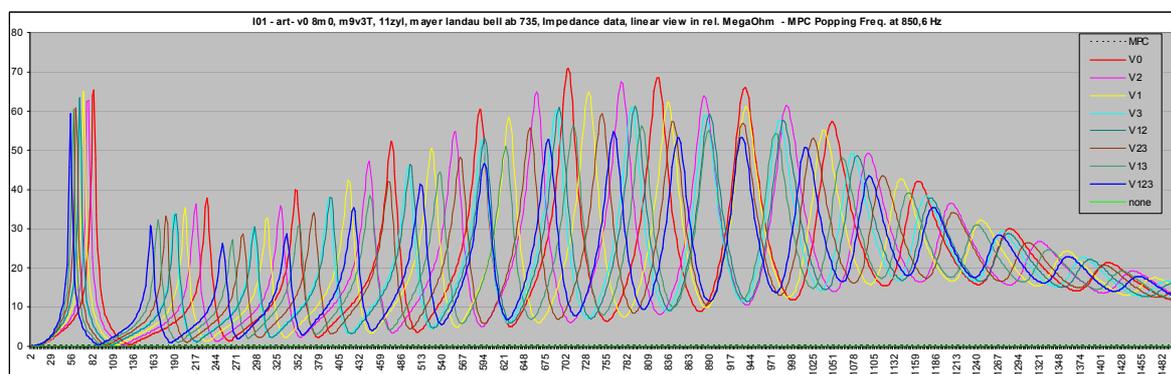
Profile with Enlargement, centered at 400mm, L=20mm, **Scale=Radius**, Change = 0,5mm

Für die Perturbationen selbst wurde dieser Vorgang jeweils pro Gesamtlänge im 1cm Abstand wiederholt, jeweils sowohl für Erweiterungen, als auch für Verengungen. D.h. es wurde im Fall einer Verengung eine simulierte Hülse zentimeterweise durch das Instrument geschoben und die Impedanz immer wieder neu berechnet.

Im zylindrischen Bereich funktioniert das sehr ausgezeichnet, in sehr stark „flaring (Bell)“ Positionen fallen die Enlargements und Constrictions der Geometrie nicht zylindrisch und gleichmäßig aus, im Becherbereich wurden daher im Endeffekt bei der Auswertung nur die geraden cm Positionen gewählt und die ungeraden cm Positionen sind jeweils Mittelwerte; so sind die Graphen besser ablesbar.

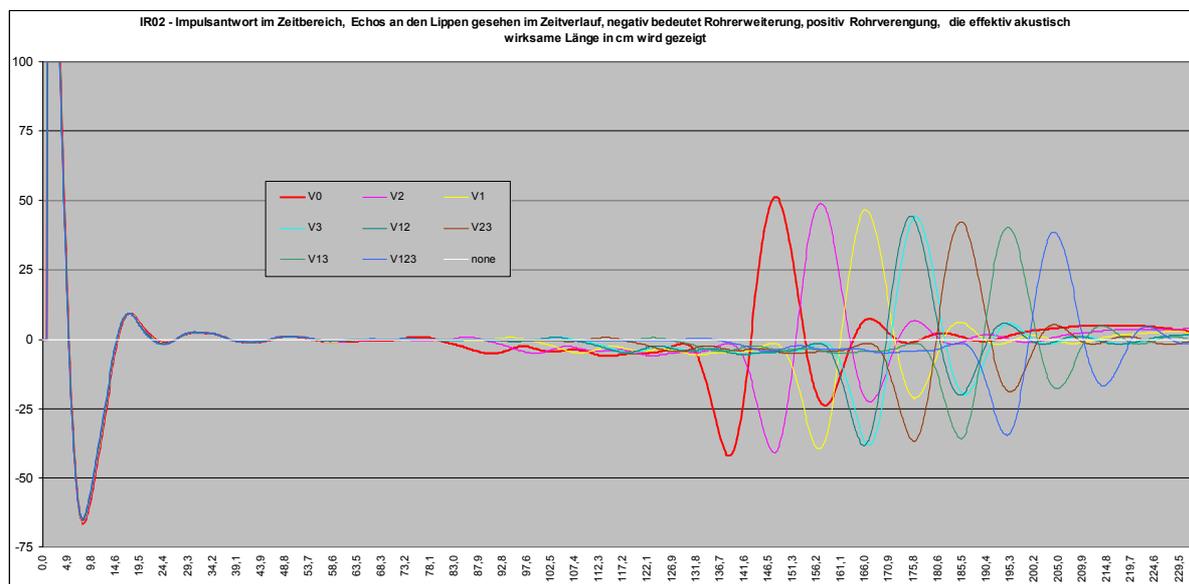
Die Ergebnisse der A.R.T. Software wurden in selbstentwickelte Excel-Tabellen importiert und analysiert. Auch für andere Perturbationsradii und Längen, sowie für Löcher/Überblasklappen (diese kann ART auch berechnen), wurde so vorgegangen, hier wurden aber nur Teilbereiche der Gesamtlänge verarbeitet, insgesamt eine monatelange, sehr zeitintensive Aufgabe. Damit keine Messfehler auftreten, konnten die zahlreichen notwendigen einzelnen Schritte nur teilweise automatisiert (Makros) durchgeführt werden.

Ergebnisse, Auswertungen Impedanz und diverser Parameter:

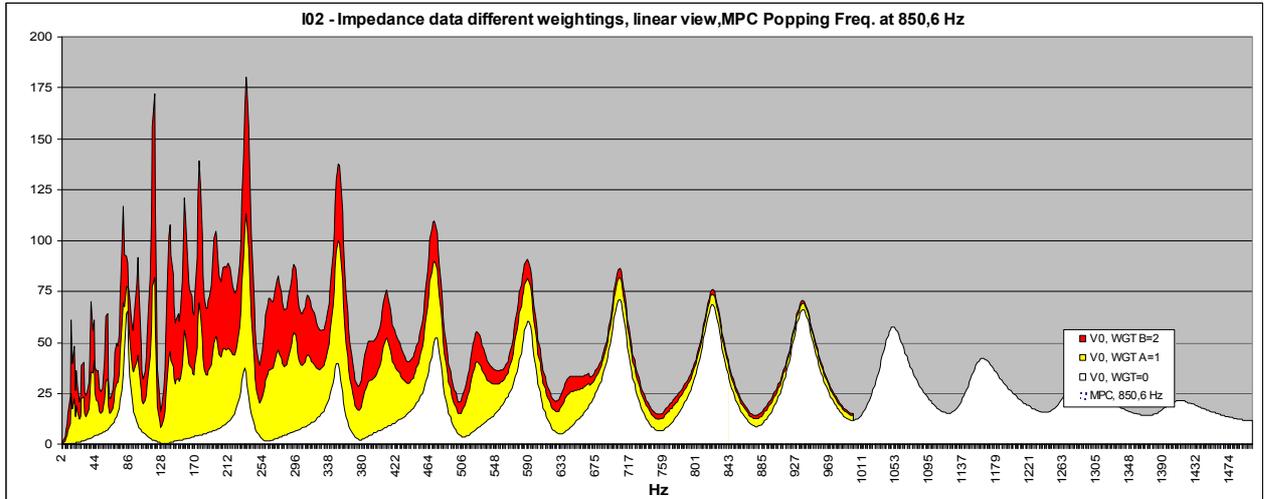


Eingangsimpedanz auf Lippenebene – Impedanz im Frequenzbereich, alle 8 Ventil-Kombinationen übereinandergelegt

Die jeweiligen Maxima sind die Frequenzen der Naturtöne. D.h. auf Lippenebene Druckbäuche bei diesen Frequenzen, die Minima sind Druckknoten auf Lippenebene bei dieser Frequenz. (Antiresonanzen) Umso höher die Peaks, umso leichter spricht der jeweilige Ton an. Gut erkennbar der Abfall anhand Rohrverlängerung.

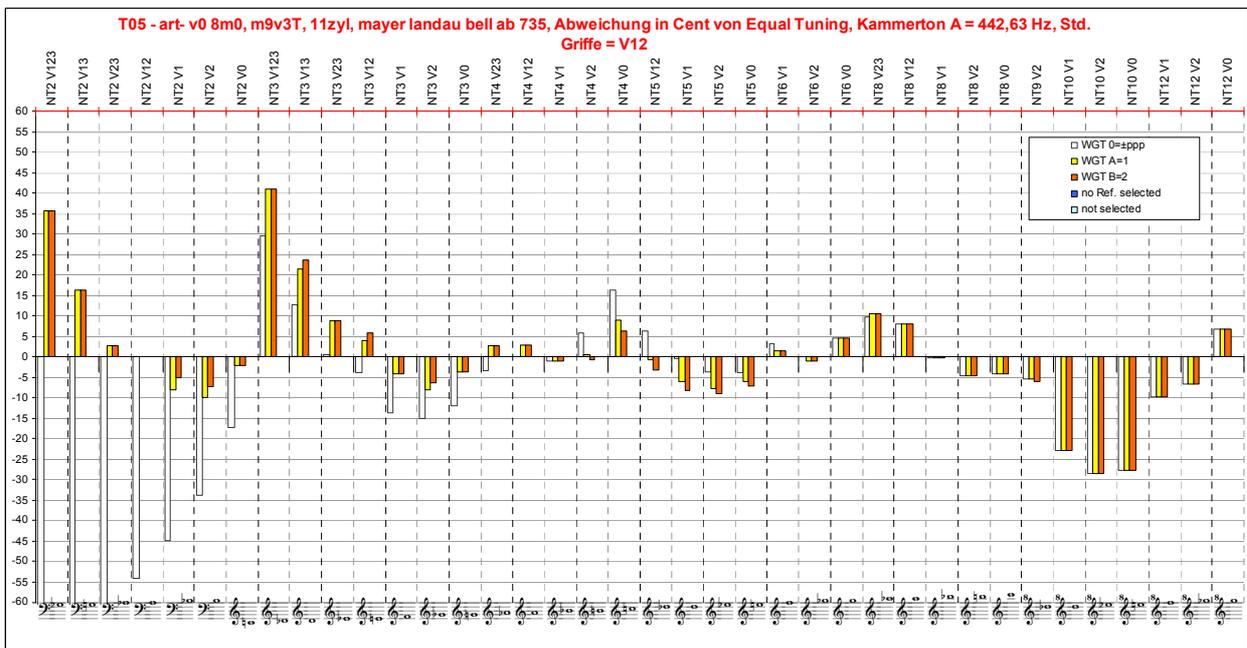


Impulse-Response – Impulsantwort im Zeitbereich, Bell V0=bei 139cm bzw. nach 8,6ms

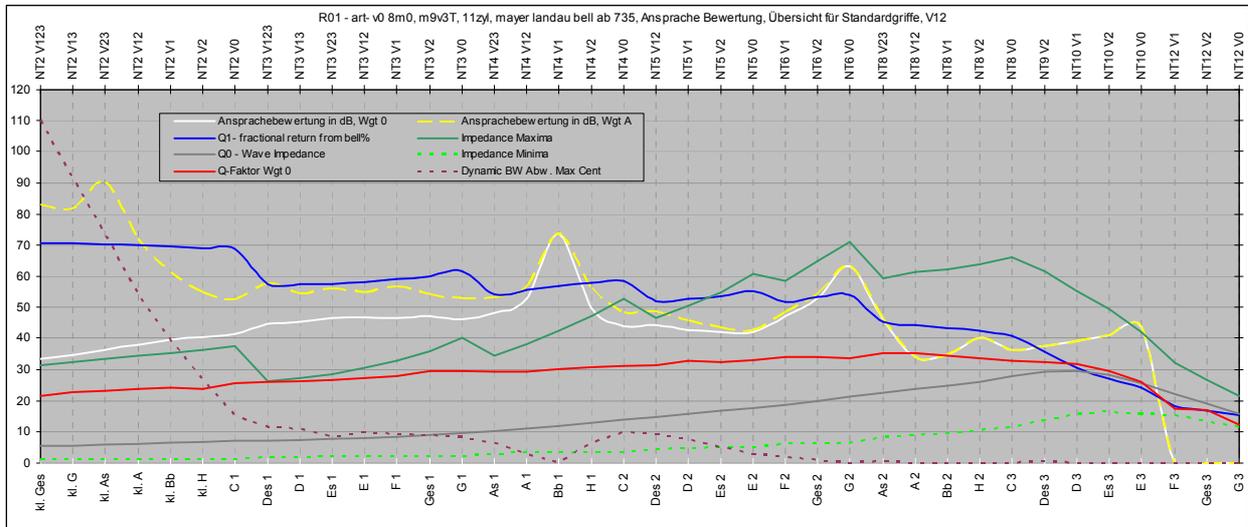


Gewichtung der Impedanzen (V0) mit Harmonischen (Summenprinzip nach Dr. Wogram)

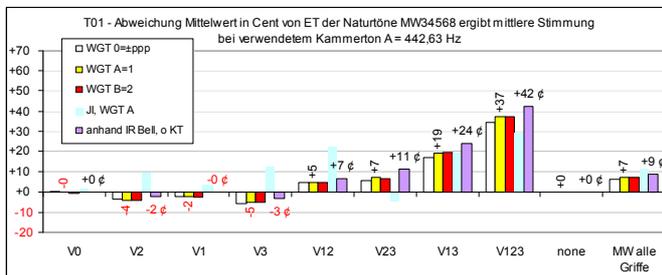
Nach dem Prinzip, dass mit höherer Lautstärke das Anregungssignal der Lippen gar nicht mehr als sinusförmig angesehen werden kann, und mehr höhere Teiltöne mit angeregt werden, sich die Tonhöhe mit dem Anregungspegel/resultierende Spektrum somit ändert. Wgt0 = ungewichtet ca. ppp, WgtA = ca. mezzoforte Level, WgtB= ca. ff Dynamik-Level



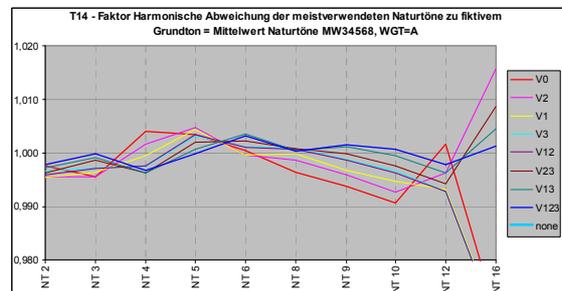
IST - Stimmungsabweichung, ungewichtet = ca. pp, gewichtet A=ca mf, B=ca ff Level
oberste Zeile: verwendeter Griff, unten: notierte Darstellung einer Bb Stimme



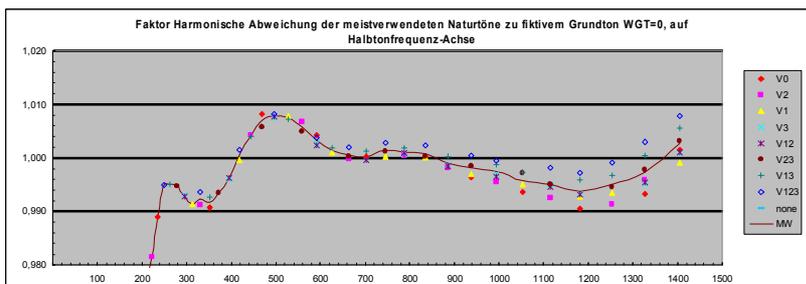
Hüllkurven für Impedanz Max./Min, Wave Impedance, Fractional Return %, Q-Faktor (=Slotting/Resonanzgüte)



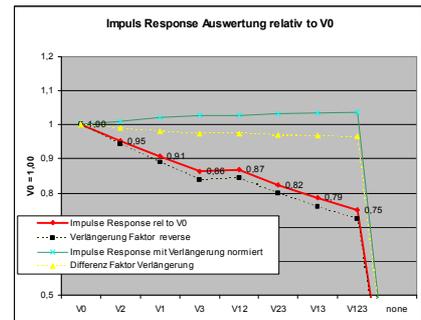
Ventilschlaufen und MW Abweichung E.T. / JI bei unterschiedlichen Lautstärken = WGT A ~ mf



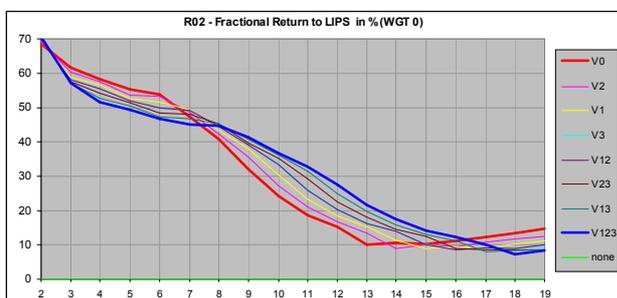
Abweichung zu „reiner Stimmung“ (JI)



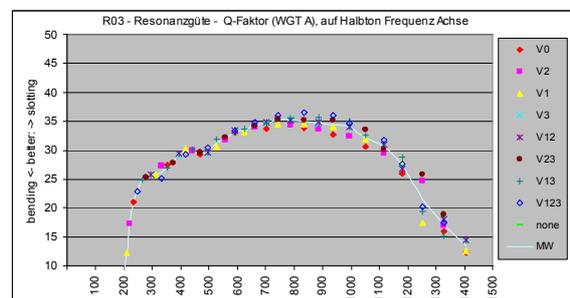
Abweichung zu „reiner Stimmung“ auf HT-Freqenzachse



Impulsantwort-Abschwächung durch Ventil-Verlängerungen



Fractional % Energy return to Lips – from Bell Alle Ventile, unten Naturtonnummern



Q-Faktor / Resonanzgüte, WGT A=ca. mf Alle möglichen Ventilkombinationen

Simulationsmodell ART im Vergleich zum kommerziellen Bias7 © IWK / Artim GmbH

Ergebnisse:

Es wurde versuchsweise mit der Testversion von Bias7 das selbe virtuelle Instrument simuliert und die Ergebnisse für Vergleiche in Excel exportiert. Interessanterweise und zufällig entdeckt, gibt es in Bias7 auch einen Unterordner TAP, in dem die ART Software liegt.

Daten für die Simulation mit ART:

Pos.x, Type (Zyl., Cone, Bessel, Branch, Bend Cylinder, Bend Cone, Borejump, Durchmesser, Länge, Temperatur, Lossfaktor, Luftfeuchte 80%, Co2 Gehalt 382mol Borejumps fügt ART selbst ein. ART verwendet Punkte als Komma):

Accuracy für Konus und Bessel: Std. Wert 0,5% belassen.

Auflösung / Frequenzschritte der exportierten Daten: wählbar, 0,336456 Hz (8192 Zeilen)

Daten für die Simulation mit Bias:

Pos. x, Durchmesser, Temperatur, Lossfaktor,

Pos. x darf aber nur einmal vorkommen,

(Borejumps müssen extra eingegeben werden +z.b. 0,1mm davor/danach.)

Bias verwendet intern Punkte als Komma, Import- und Export sind aber mit Komma :)

In Bias fehlen folgende Parameter bzw. sind fix definiert: Luftfeuchte, Co2 Gehalt;

Bends und Branches (Löcher) fehlen.

Verfügbare Simulationsmodelle:

Bei beiden Softwarelösungen stehen aktuell folgende Simulationsmodelle zur Verfügung:

Modell Ebene Wellenfront, inkl. Verlusten (kein Unterschied ob Levine /Zorumski gewählt)

Modell Multimodes 2,..23 inkl. Verlusten (kein Unterschied ob Levine /Zorumski gewählt)

Modell Mapes Riordan, mit Verlusten (scheinbar fehlerhaft in ART implementiert)

In Bias7 sind zudem noch auswählbar:

Mapes Riordan / Levine/Schwinger

Mapes Riordan / Zorumski

Mapes Riordan / Helie

Spherische Wellen /Levine/Schwinger

Spherische Wellen /Zorumski

Simulationsmodell / Radiation Imped.

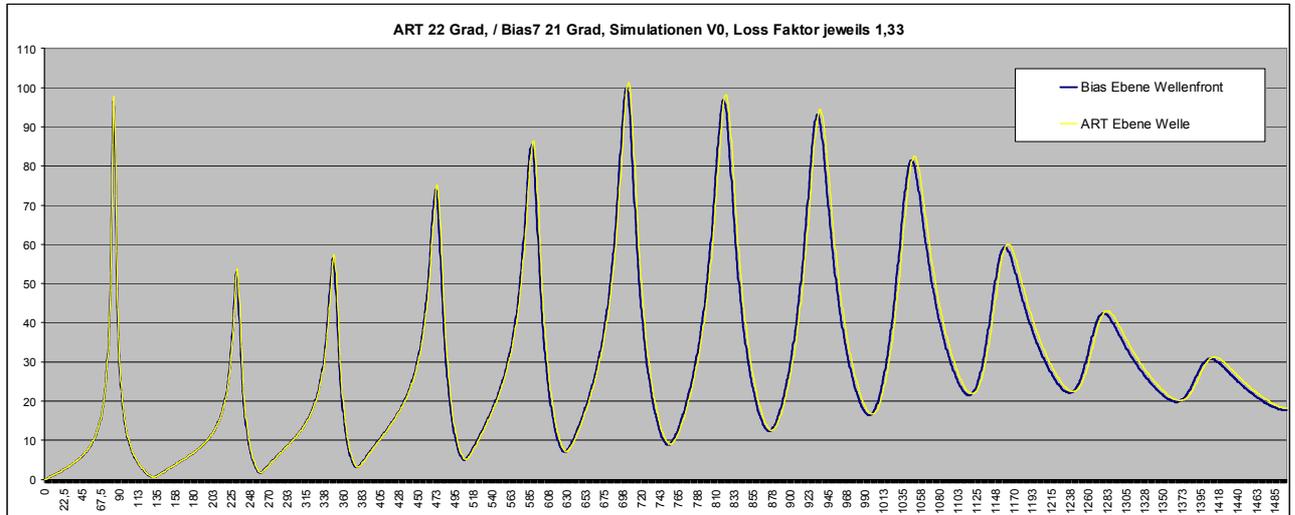
mit Auswahl Material / starr

mit Auswahl Material

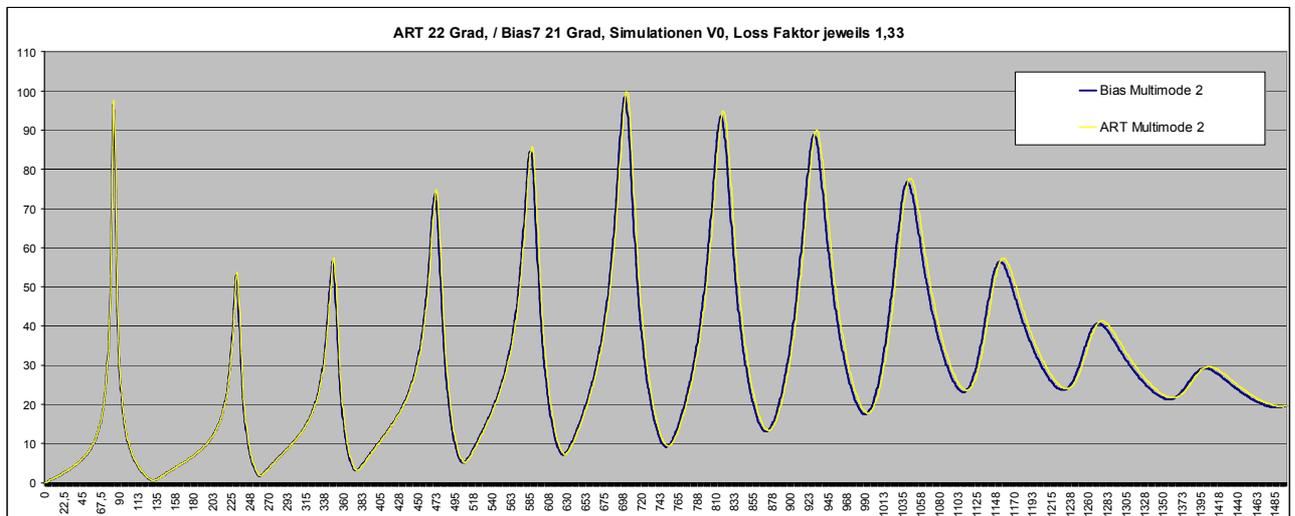
mit Auswahl Material

Bias hat die Eigenart, dass die exportierten Daten immer in 21 Grad Raumtemperatur umgerechnet werden. Durch 1 Grad Unterschied (ART 22°) sind die Ergebnisse von Bias daher minimal tiefer. (ca. 3 Cent)

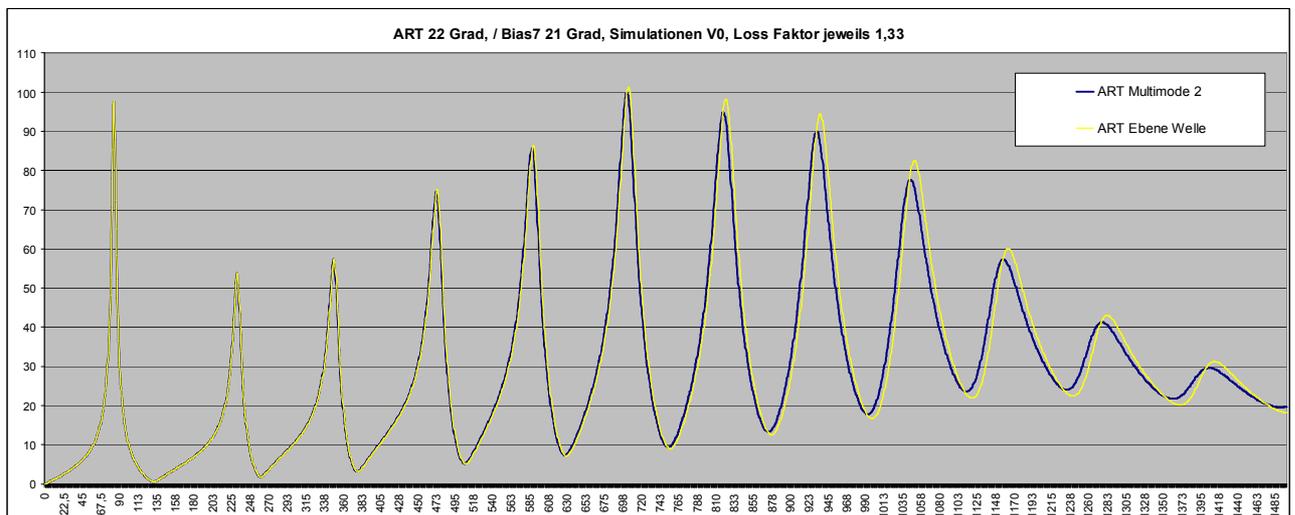
Frequenzauflösung in Bias7 ist fix 0,5 Hz für Export – Deshalb habe ich für die Vergleiche auch bei ART 0,5 Hz als Raster für die exportierten Werte festgelegt. Beide Impedanz Magnituden sind In Ohm und wurden auf Megaohm skaliert.



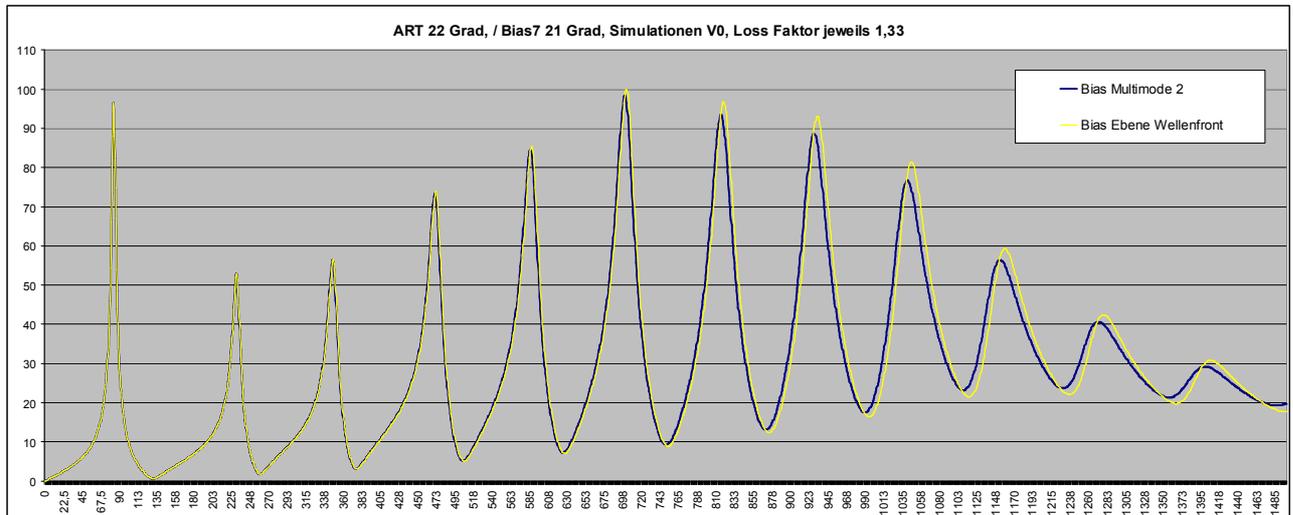
ART verwendet standardmäßig ebene Wellenfronten für die Simulation. Auch Bias bietet dieses Modell an. Die Ergebnisse sind vollkommen deckungsgleich.



Vergleich Multimode, 2 Modes, auch hier sind die Ergebnisse deckungsgleich.



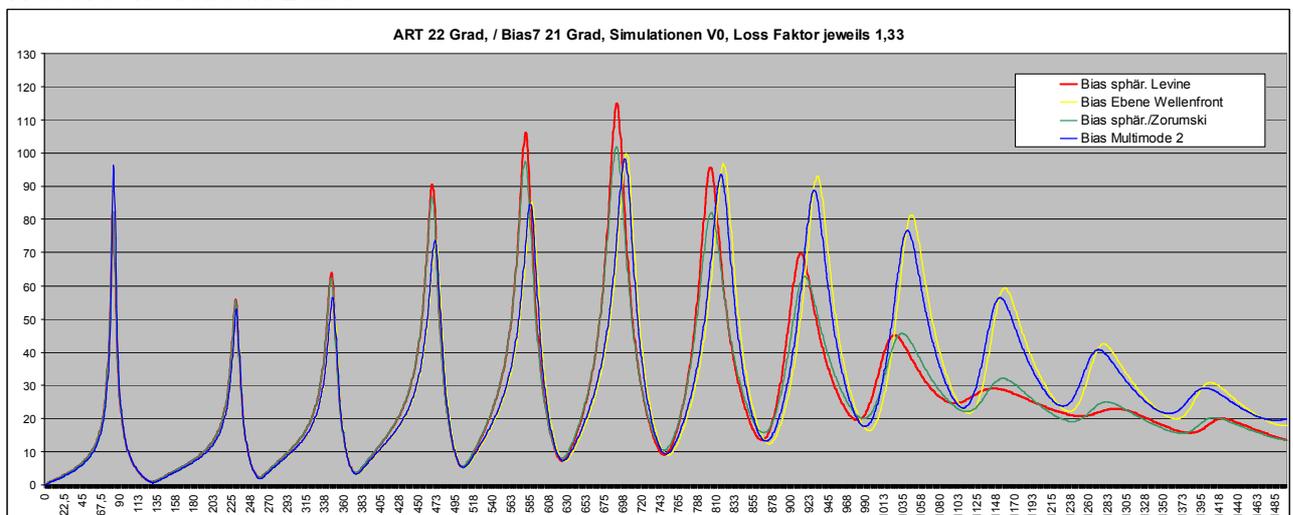
ART: Impedanz Ampl. + Pitch bei Modell ebener Wellenfront im oberen Bereich wesentlich höher.



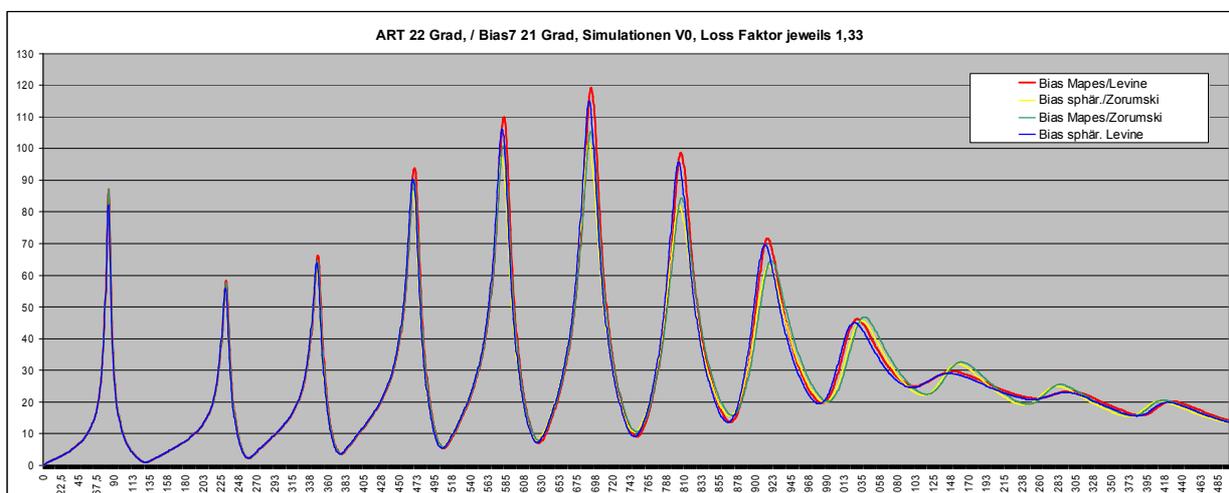
Bias detto: Impedanz Ampl.+Pitch bei Modell ebener Wellenfront im oberen Bereich wesentlich höher.

Beide Modelle geben für die 6. Impedanzspitze (G2) einen unrealistisch hohen Magnitudenwert von ~100 Mohm aus.

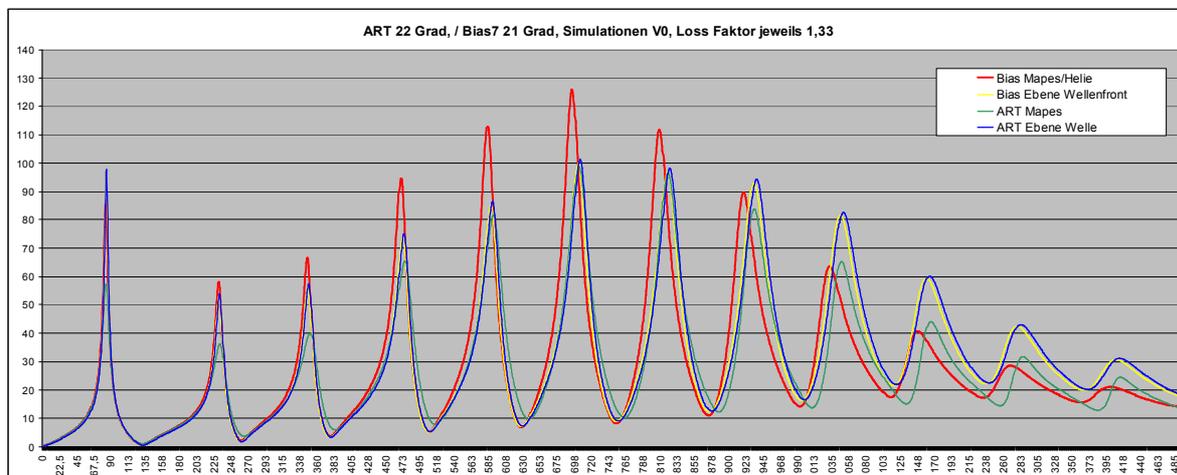
Weitere Modelle in Bias:



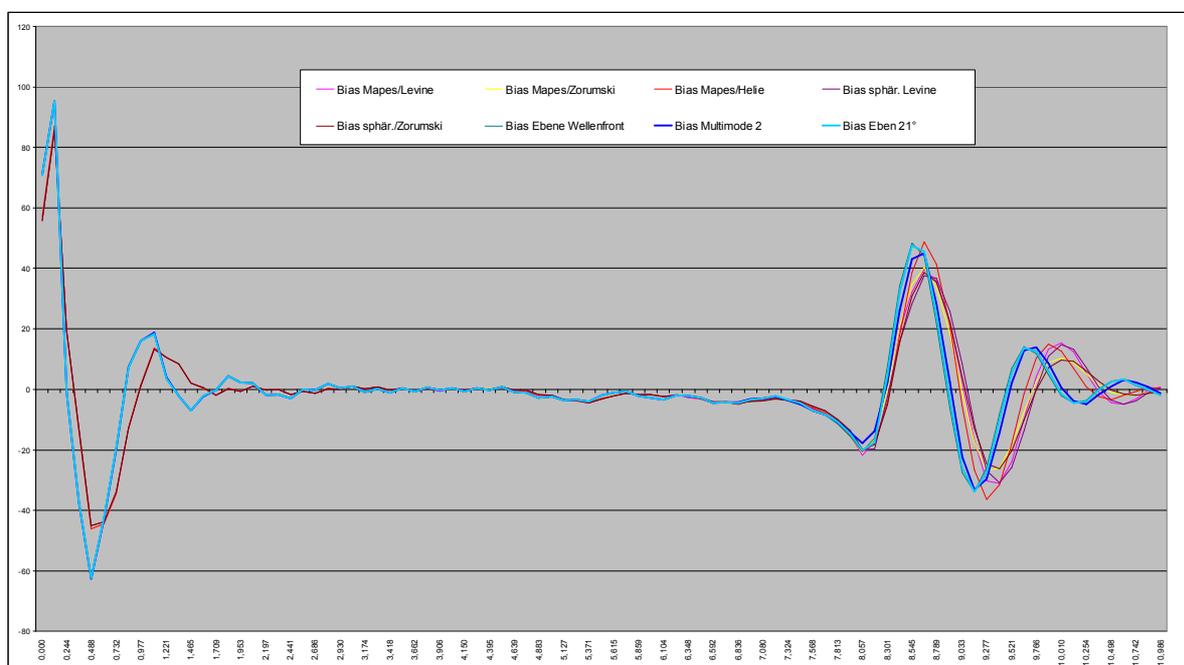
Bias: Sphärische Wellenfronten mit Levine oder Zorumski Radiation – weichen völlig ab.



Bias: Mapes/Riordan und sphärisch mit Levine bzw. Zorumski Radiation Modell



ART: Mapes Riordan weicht im tiefen Bereich stark ab. Bias: Mapes/Helle bei Magnitude.



Impulsantwort, Simulationsmodelle mit Bias und deren Abweichungen zueinander in ms.

Leider werden weder bei ART noch in den downloadbaren Beschreibungen von Bias Angaben über die **Größenordnung tatsächlich realistischer** Verluste gemacht und welches Simulationsmodell für welchen Zweck am besten geeignet sein sollte. Des weiteren fehlen weitergehende detaillierte Informationen, wie akkurat die Simulationen zu tatsächlichen Messungen sein sollten bzw. wie groß die Fehlerquote liegt.

Bei der Virtualisierung wurde im ART Programm das Modell der ebenen Wellenfronten (Plane Waves) gewählt. Dieses liefert auch annähernd gleiche Ergebnisse wie das Multimode Modell mit 2 Moden. Bei 7 Moden sind die Frequenzen höhere Impedanzspitzen etwas vertieft.

Die 2. Modellgruppe mit sphärischen Wellen oder Mapes Riordan / Levine weicht deutlich bei Impedanzmagnitude als auch Frequenzen der Maxima und daraus resultierend auch bei der Impulsantwort von der 1. Gruppe ab. Die Impedanz Magnituden sind weiter von der Impedanzmessung entfernt, die Stimmung möglicherweise näher an meinen FFT-Messungen. (Höherer Bereich bringt tiefere Ergebnisse).

Insgesamt erscheinen die Impedanz Magnituden wesentlich höher (besser: utopisch) als bei physikalischen FFT Messungen auch mit Bias Messkopf zu liegen, hier sind die Maxima bei veröffentlichten Messungen und bei Demodaten in der Testversion meist im Bereich 60-75 MOhm, also ca 30 % niedriger als die Simulationsergebnisse. Beim Bias System werden die Messungen mit dem Messmikrofon als auch des Kontrollmikrophons aufgezeichnet und dividiert, erst danach erfolgt die FFT-Berechnung – ohne Fensterung.

Finite Element Methoden die aktuell in Bias und ART nicht verfügbar sind, ergeben vermutlich wiederum völlig andere Ergebnisse.

Nach wochenlanger Internet Recherche bin ich nicht wirklich schlauer. Generell herrscht die Einigkeit, dass das Ebene / Plane Wave Modell bzw. folgend das Multimodale Modell nur für annähernd zylindrische Rohre entsprechende Resultate liefert.

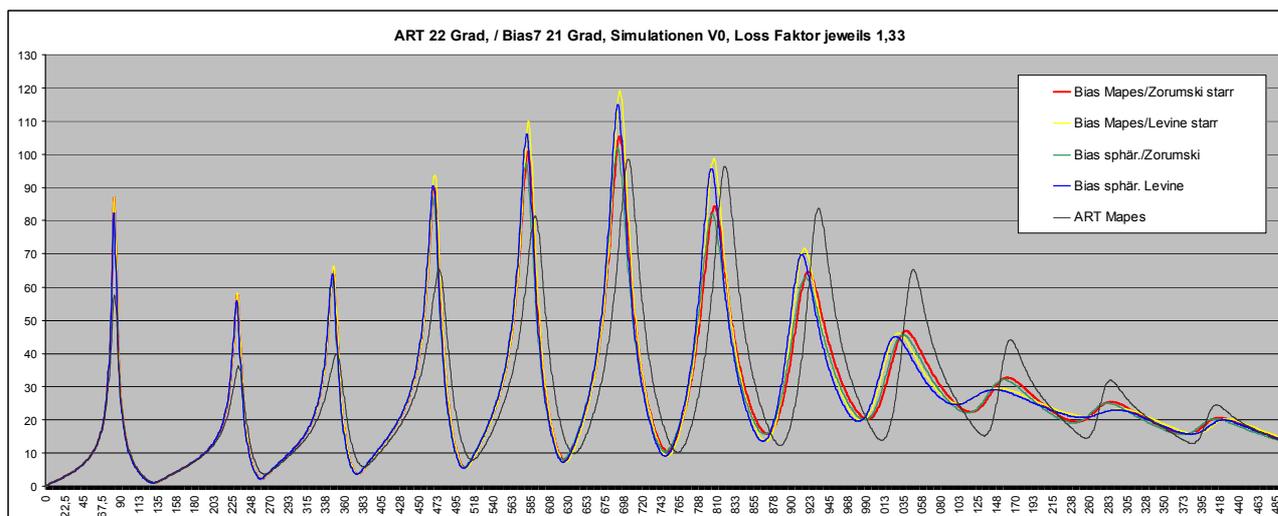
Es sollten sphärische Modelle verwendet werden, diese seien genauer. Als Referenz werden sphärische Wellen und ein Abschlußwiderstand Modell Helie – pulsierender Sphärenabschnitt als die aktuell beste Möglichkeit beschrieben. Diese Variante bietet Bias7 aktuell scheinbar nicht an oder ich bin einfach zu blöd. Zorumski soll scheinbar falsche Ergebnisse liefern. Zorumski ist aber angeblich das einzige verwendbare Modell für Multimodale Simulationen. Die einzige Messung in Bias7 mit Verlusten „Bb Trompete, Standardmensur“ wurde, wie eine wiederholte Simulation zeigt, vermutlich mit der Variante Sphärisch + Zorumski Radiation erstellt.

In der Beschreibung der Bios – Optimierungsoftware – für die Version 1, diese stammt aus dem Jahr 2002 – wird auf Mapes-Riordan verwiesen, Levine-Schwinger ist als Radiation-Modell mit „Standard“ bezeichnet. Möglicherweise gibt es von ARTIM für Käufer der Software nähere Informationen, diese habe ich allerdings nicht.

Bleibt also nur für mich herauszufinden, welche der übrig gebliebenen Simulationskombinationen die annähernd beste Übereinstimmung mit meinen FFT Messungen bringen würde.

Die Auflösung von 0,5 Hz der Bias Software macht direkte Vergleiche mit meinen FFT Messungen etwas umständlich, aber ich habe jetzt einen Import der Bias Export-Files in meine Auswertungssoftware implementiert. Ich muß fehlende Werte nach 0,33... Hz Auflösung interpolieren, was glücklicherweise aber nur sehr kleine Umwandlungsfehler (0,2 Hz) mit sich bringt. Anglmayr (IWK) schreibt, dass die Bias Auflösung 0.33.. Hz ist.

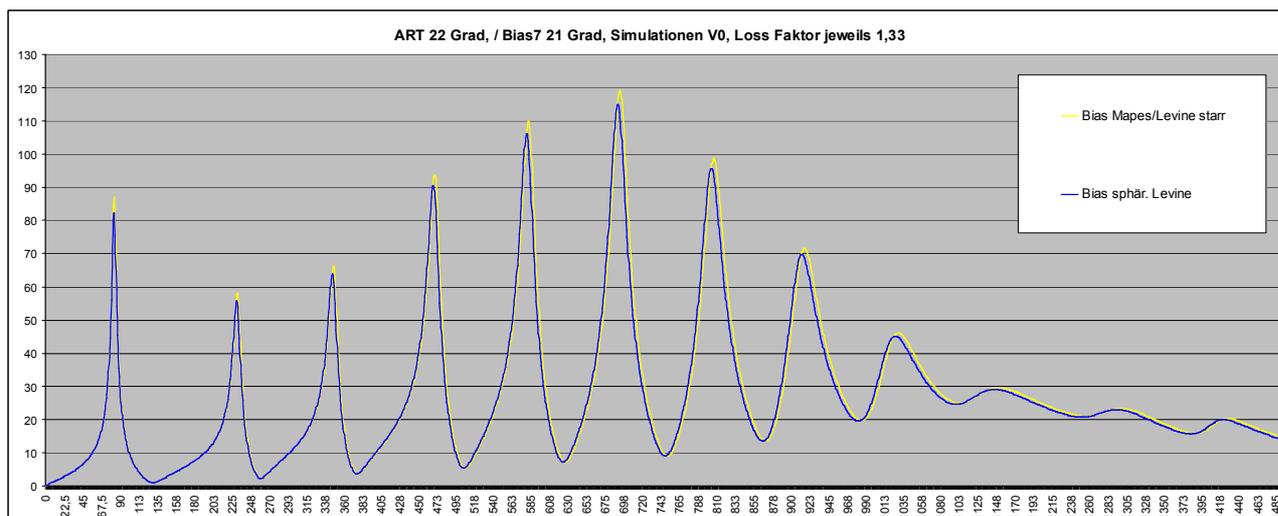
Vergleich Simulationsmodelle: jeweils 22 Grad Celsius und Verlustfaktor 1,33

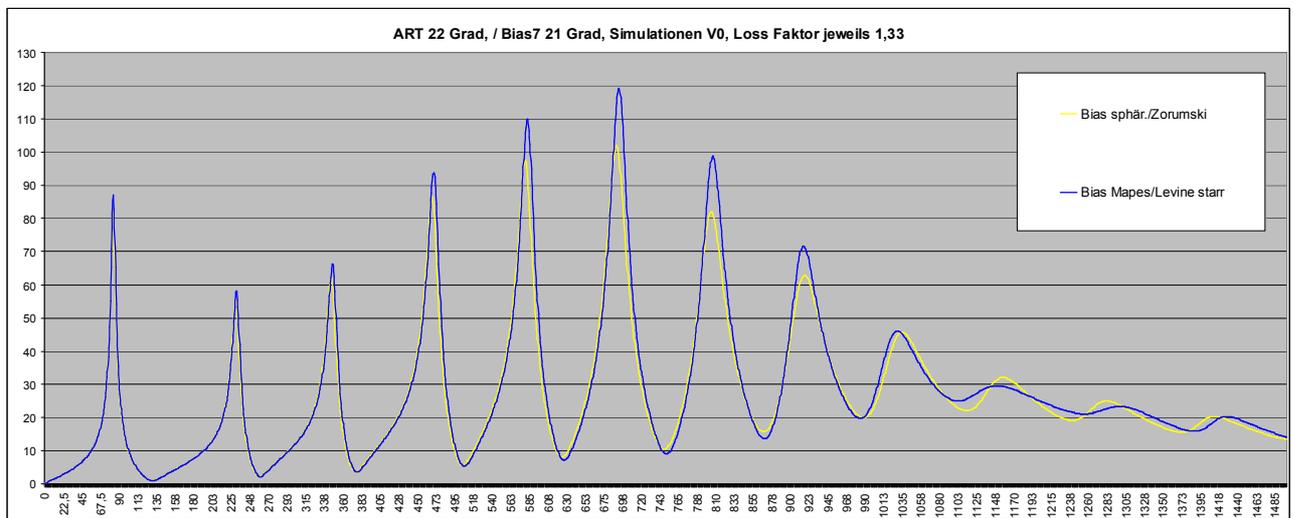
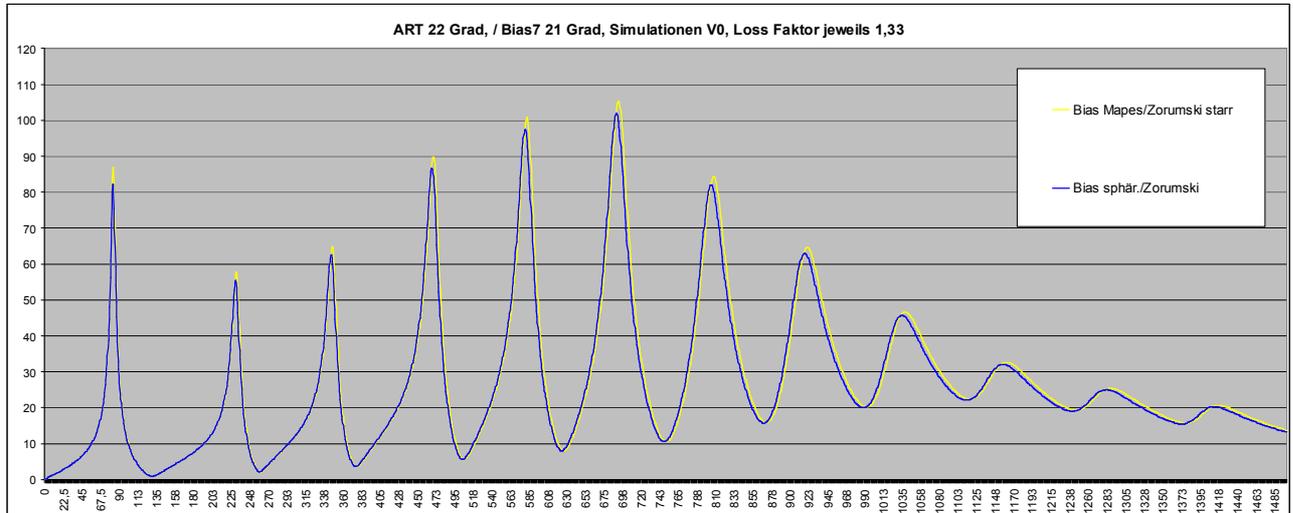


1. Mapes-Riordan, Material starr, mit Verlusten, mit Levine-Schwinger Radiation Modell.
2. Mapes-Riordan, Material starr, mit Verlusten, mit Zomurski Radiation Modell.
3. Sphärisch mit Levine-Schwinger Radiation Modell.
4. Sphärisch mit Zomurski Radiation Modell.
5. ART liefert bei Mapes völlig abweichende Werte ähnlich der Multimodal-Simulation.

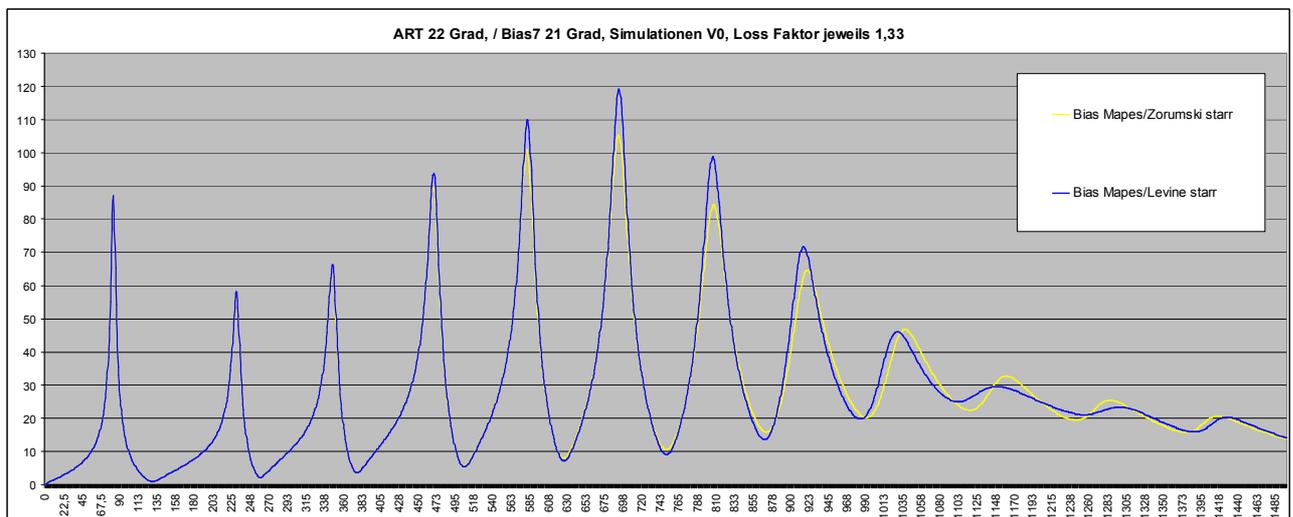
Wellenmodelle:

Mapes-Riordan liefert höhere Frequenzen und Peaks bei Maxima als sphärisch.





Radiation-Modelle:



Zorumski liefert generell eine kleinere Impedanzmagnitude, oberhalb 1000 Hz aber mehr. Zorumski liefert ab MPC Popp. Frequ. höhere Frequenzwerte.

Zusammenfassung:

Mapes-Riordan gibt min. höhere Resonanzspitzen und Frequenzen gegenüber sphärisch. Levine-Schwinger liefert höhere Spitzen, aber ab ~ MPC Popp. Freq tiefere Frequenzen.

Es haben sich also 2 quasi Varianten herausgebildet, die ich in Zukunft zusätzlich zum plave Wave Modell genauer vergleichen werde:

Mapes-Riordan + Helie pulsatin Sphere, entspricht Std. Einstellung Bias 7.0

Mapes-Riordan + Levine-Schwinger = entspricht der Bias 5x Version.

Wie man insgesamt sieht klaffen je nach Simulationsmodell Welten auseinander!

In Teil 7 meiner Arbeit wurden die verschiedenen Modelle nochmals verglichen, bezogen auf die Auswirkungen von Perturbationen.

Prinzipiell zeigt sich:

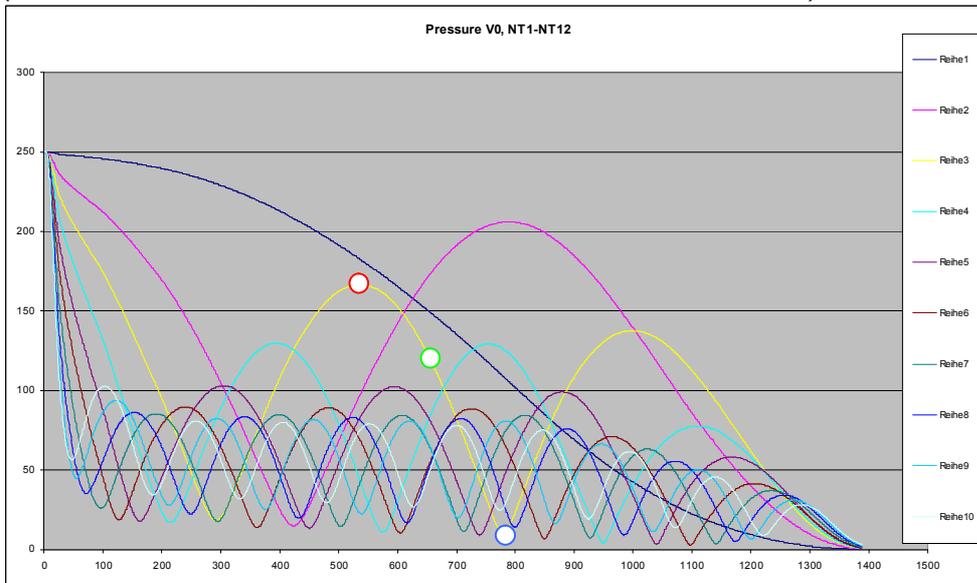
Das Magnituden Potential ist bei allen Simulationen zu hoch ausgegeben. Mapes-Riordan liefert mehr Pitch Pot bei Enlargements,

Magnituden Nodes werden bei starken Perturbationen in den Simulationen nicht verschoben, auch nicht mit höheren simulierten Verlusten, bei Messungen schon.

Es gibt bei allen Simulationsmodellen einen Pitch-„Nullversatz“ down, (bei Mapes-Riordan stärker), bei Messungen nicht.

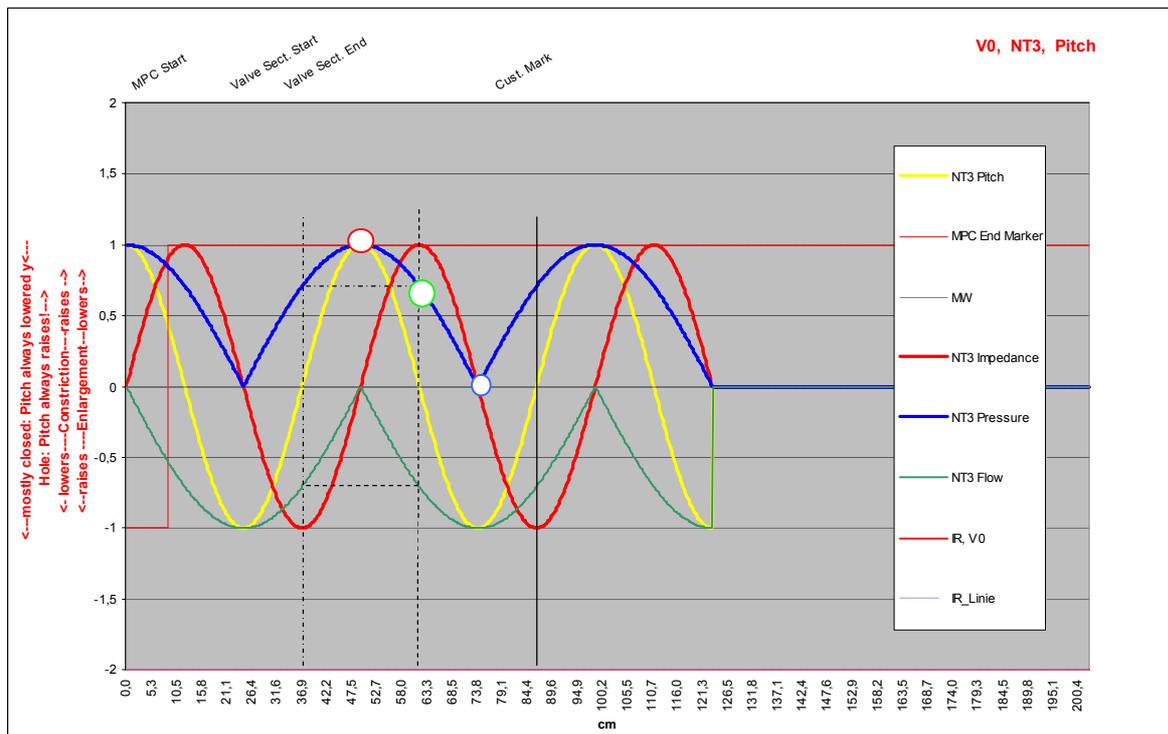
Starke lokale Perturbationen werden in der Simulation extrem überbewertet und entsprechen nicht mehr den Ergebnissen bei Messungen (mit zb. 8mm Kugel).

Druckverlauf / Stehende Wellen in Blechblasinstrumenten, hier die ART Trompete (Links Mundstück, rechts Schallbecherende Skala in mm)



Pressure Distribution V0 NT1 bis NT 12, Simulationsmodell Plane Wave 22°C, Loss Faktor 1,33
 Rot: XM-Impedance-Node 1 = XM-IN1 Blau: XM-Impedance-Node 2 = XM-IN2 von NT3
 Grün = Position XM-Pitch Node von NT3

Perturbationskurven stehender Wellen in Blechblasinstrumenten, Prinzipien:



Perturbationskurven, stark vereinfachtes Schema geschlossener Zyl., normalisiert auf 1.
 Gelb: so verändert eine Perturbation an dieser Stelle die Frequenz/Tonhöhe
 Rot: so verändert eine Perturbation an dieser Position die Impedanz Magn. des Peak
 Werte an der Nulllinie bedeuten **Nodes**, d.h. keine Veränderung des jeweiligen Wertes.

Jeder Naturton (=NT) hat genauso viele Pressure Maxima wie seine NT Nr. ,
 und genauso viele Pressure Nodes wie seine NT Nr.

jeder Naturton hat einen Druckbauch = Pressure Antinode bei Mundstückstart,
 jeder Naturton hat einen Druckknoten = Pressure Node vor Schallbecherende,
 sowie dazwischen die jeweilige Anzahl hineinpassende Nodes und Antinodes.

Abstand Druckbauch zu Druckbauch $\geq \frac{1}{2}$ WL

Abstand Druckknoten zu Druckknoten = $\frac{1}{2}$ WL

Abstand Druckbauch zu Druckknoten $<> \frac{1}{4}$ WL

detto bei Displacement/Velocity/Flußbäuchen und Knoten.

WL / Wellenlänge in cm = (Speed of Sound / Frequenz NT#) * 100

Multipliziert man bei Druckbäuchen den Maximalwert des Druckes mit der Wurzel aus $\frac{1}{2} = 0,7071$ = Halbwertsbreite einer Sinusschwingung, erhält man den Wert des Druckes und somit die Position, an dem Pitchkurven einen Nulldurchgang haben.

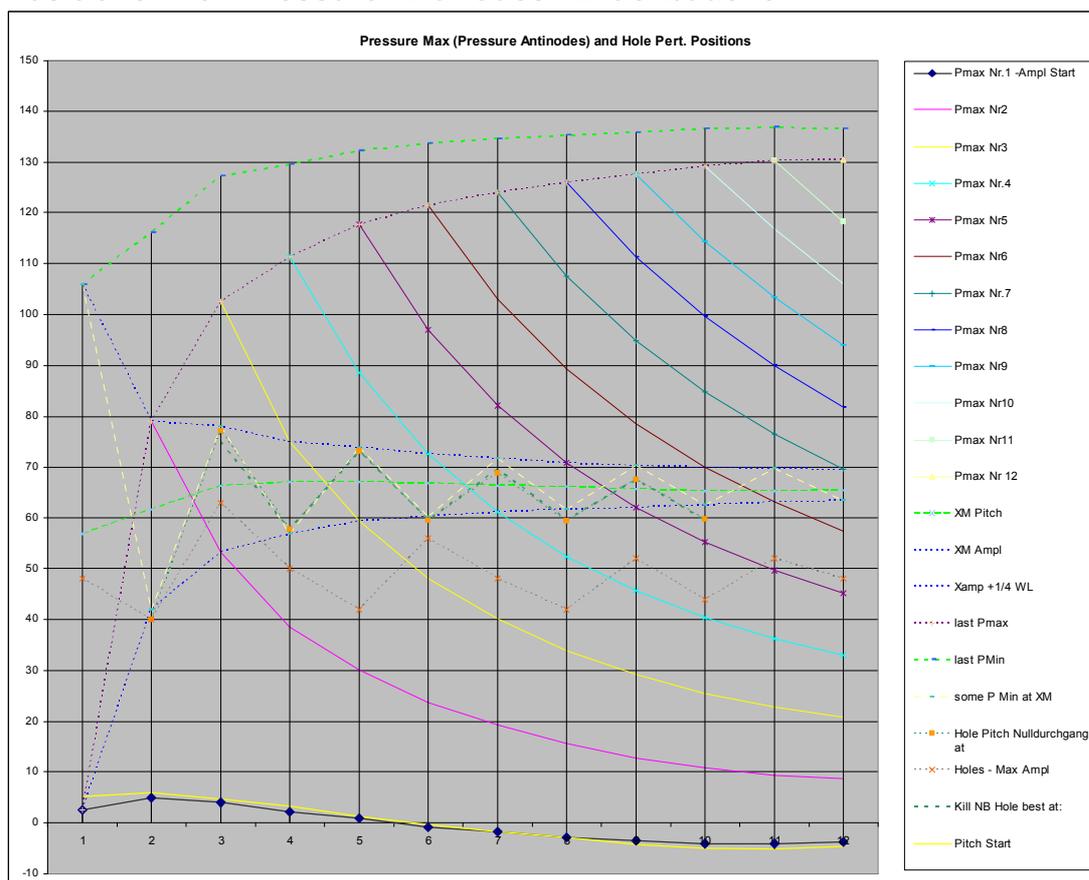
An diesen Positionen haben Peak-Magnituden-Kurven jeweils einen Maximalwert.
 Der Abstand beträgt $\frac{1}{8}$ Wellenlänge.

Particle-Displacement=Flow=Schallfluß:

Ist prinzipiell seitenverkehrt zu Pressurebeträgen, wo ein maximaler Druckunterschied, da ein min. Fluß (Node). In der Grafik aus Übersichtsgründen Minuswerte anstelle Pluswerte).

Auswertungen der Simulation:

Positionen von Pressure Antinodes / Druckbäuchen:



Pressure Maxima, blau strichliert sind XM-IN1+2, hellgrün bei ca. 66 cm= XM-Pitchnode
 sowie Positionen für Wiener Klappen/Löcher (orange) & letzter Press. Node (grün)

Pitchkurven haben einen Versatz zu Peak-Impedanz Magnituden = Pitchversatz!

Dieser Versatz zieht sich durch das ganze Instrument, beim Mundstück beginnend, dh. wo Peak Amplituden einen Nulldurchgang haben d.h. sich nicht in der Höhe verändern, hat Pitch nicht das Max. Potential, und umgekehrt, das war mir bereits bekannt und wird mit der Simulation eindeutig bestätigt, es macht die Aufgabe nicht einfacher!

geradzahlige NT haben bei XM Imp. Anti-Node $-1/8WL = XM-IN1$ ein Press. Node
 ungeradzahlige NT haben bei XM Imp. Anti-Node $-1/8WL = XM-IN1$ ein Press. Max.
 bei XM-IN2 umgekehrt; (NT1 hat den größten Pitchversatz.)

Theorie ohne MPC / Bell Korrektur Equivalent Lenght-Korrekturen

TL Anzahl	$1/4$ WL:	XM Press nach $1/4$ WL:	Rest bis	Bell Ende:			
NT odd #	PrMax	* $1/4$ WL	Bruch %	* $1/4$ WL	Bruch		
	PrNode						
NT1	1	PrMax	0	0/1	0%	1	1/2
NT2	3	PrNode	1	1/3	33%	2	2/3
NT3	5	PrMax	2	2/5	40%	3	3/5
.....							
NT32	63	PNode	31	31/63	49%	32	32/63

XM Press/Amplitude ist daher immer vor der Mitte der gesamten Länge und nähert sich weiter an, **erreicht diese wegen der ungeraden Brüche aber nie.**

Etwas Physik zusätzlich – Dr. Benade erklärt es so:

Luft ist elastisch und hat dadurch eine Steifigkeit/Federkraft (Stiffness/Springiness)
 Luft hat ein Gewicht und dadurch Masse und Trägheit (Inertia). Geschwindigkeit von Schall (Speed of Sound) = Wurzel aus B Bulk Modulus, ein Wert für Federkraft / Dichte-Masse (Springiness / Density (Mass)). Der Bulk Modulus ergibt sich aus Temperatur, Seehöhe und Adiabatic Constant von Luft und Ideal Gas Constant. Die Dichte (Density) ergibt sich aus dem spezifischem Gewicht der umgebenden Luft.

Das sich keine der obigen Konstanten beim Trompetenspiel außer ev. der Temperatur großartig ändert, muß sich für eine andere Schallgeschwindigkeit daher das Gewicht der Luft ändern. **Komprimierte Luft ist schwerer als „normale“ Luft, dünne ist leichter.**

Der Forscher Dr. Arthur Benade beschrieb folgende physikalische Grundsätze:

1. **Fluids tend to flow** from regions of high pressure to regions of low pressure.

2. **Pressure at high velocity spot must be lower**

than at the low velocity point, from where the fluid came.

= Über-/Unterdruck Fluss langsamer Umgebungsdruck: Fluß schneller
 = high/ low pressure lower velocity ambient pressure = higher velocity

3. **When Fluids (Air) in long ducts flow...**

the velocity – Speed - of flow is higher in narrow parts (constricted Parts)

the velocity - Speed - of flow is lower in wider parts (enlarged Parts)

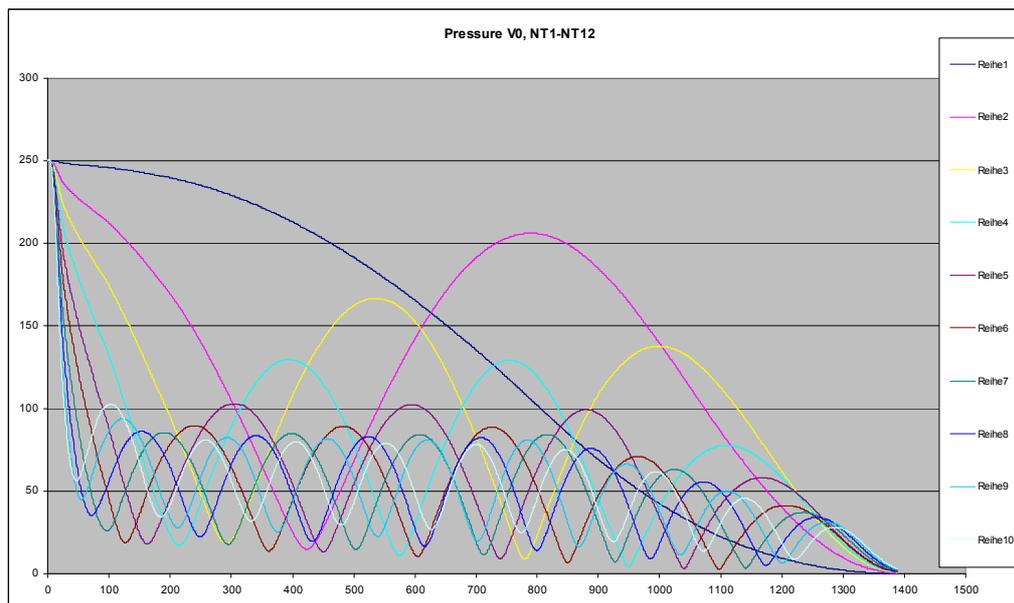
4. **The fluid Pressure is lower in narrower parts** (constricted Parts)

than in wide Parts - (Bernouli theorem of steady flow).

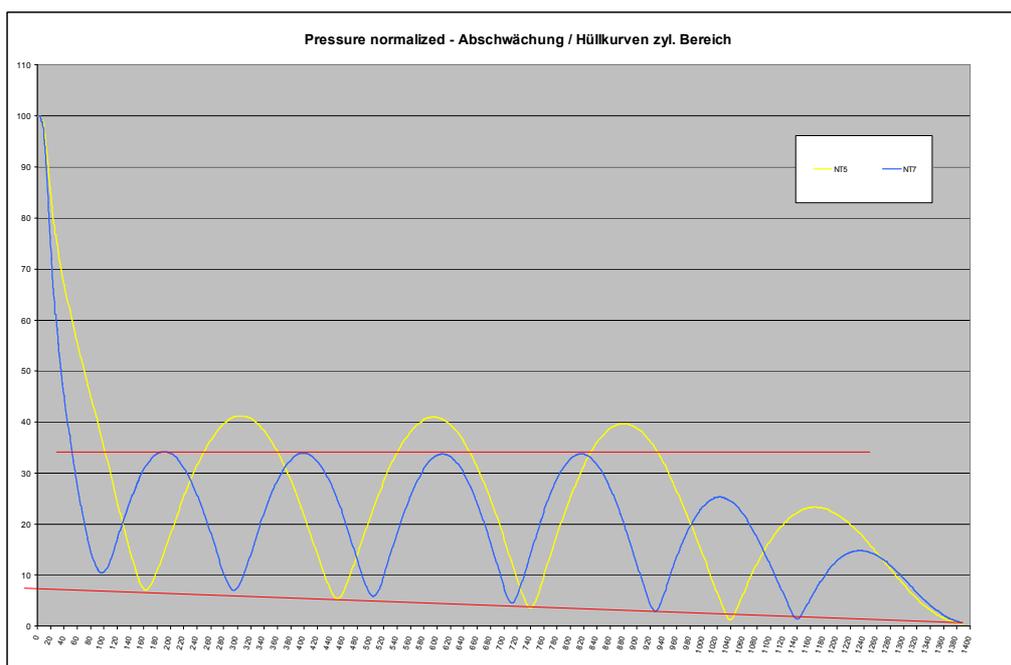
Simulation der Druckverteilung: Wo sind wirklich welche Nodes? Es gibt ja Versatz!

Simulation mit der Bios7© Demoverision, Pressure – Druckverteilung:

Bios© berechnet diese Pressure Kurven std. mäßig für optimierte Tonhöhen. Um die Resultate der aktuellen Konfiguration zu erhalten muß unter Intonation – alles zurücksetzen gewählt werden, Dh. die Zielfrequenz ist dann gleich der aktuellen Frequenz! Unter numerische Ansicht können die Resultate markiert, mit Strg+C kopiert und in Excel importiert werden.



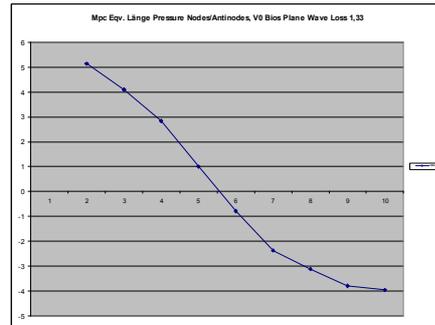
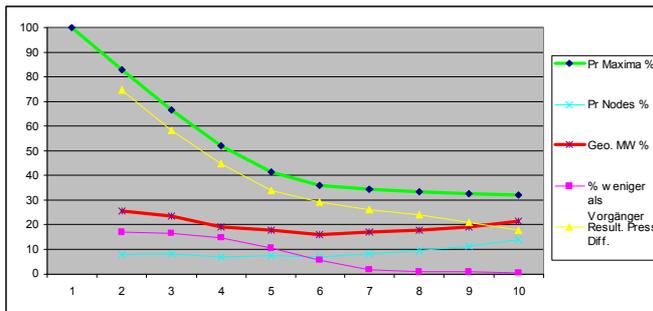
Pressure Distribution V0 NT1 bis NT 12, Simulationsmodell Plane Wave 22°C, Loss Faktor 1,33



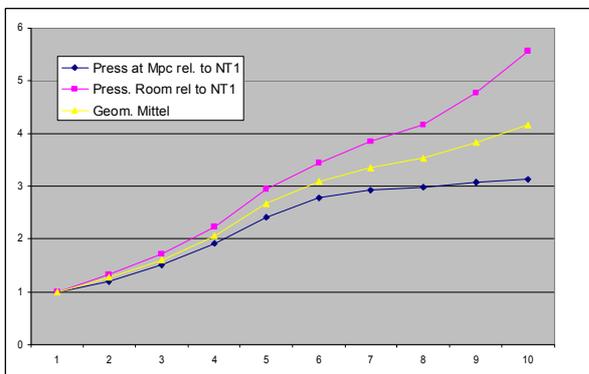
Pressure Nodes haben im rein zylindrischen Bereich bis ca V0 NT8 die selbe Abschwächung von ~ 5% pro 100cm, (Verlust), darüber mehr. Besser gesagt liegen die Nodes am Beginn höher.

Die errechneten Beträge der Nodes selbst sind bis NT8 ziemlich ident, darüber steigen diese stärker an. Insgesamt von ca. 8 % der Maximabeträge bei NT2 auf 14% der Maxima bei NT10.

Pressure Maxima Beträge haben im rein zylindrischen Bereich bis ca. V0 NT9 keine Abschwächung, erst über NT8 eine leichte Reduzierung auch im zyl. Bereich.



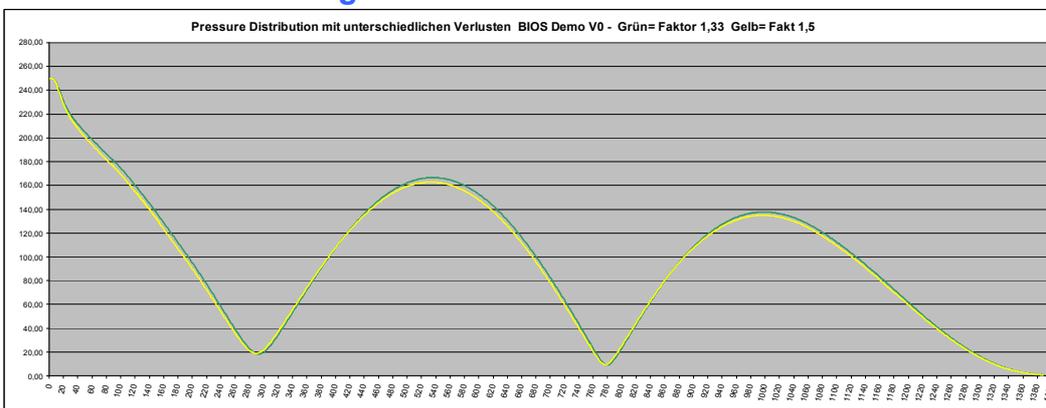
V0, Pressure; normalisierter grafischer Druckverlauf auf einen relativen Wert von 100%. Beträge Pressure Antinodes (grün), Nodes (hellblau), resulting Press. Variations (gelb). Rechts: emittelte Mpc-Equ. Länge für V0, Pressure und Peak-Magnitude-Nodes.



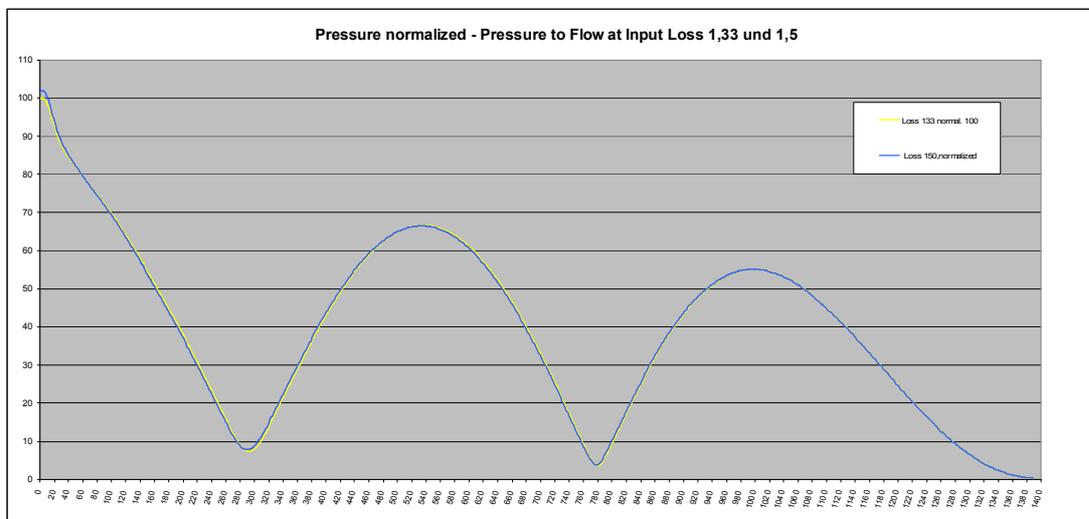
V0 NT1-NT10, x-facher Druck im Mundstückskessel.

Deutet man die Daten um, daß diese am Mundstückbeginn höhere Druckschwankungen verursachen, umso höher die Frequenzen sind, ist im Umkehrschluß die x-fache Druck der Lippen „Lippenkraft“ notwendig, um die Töne/Lufsäule bei gleichbleibender Amplitude am Schwingen zu erhalten!

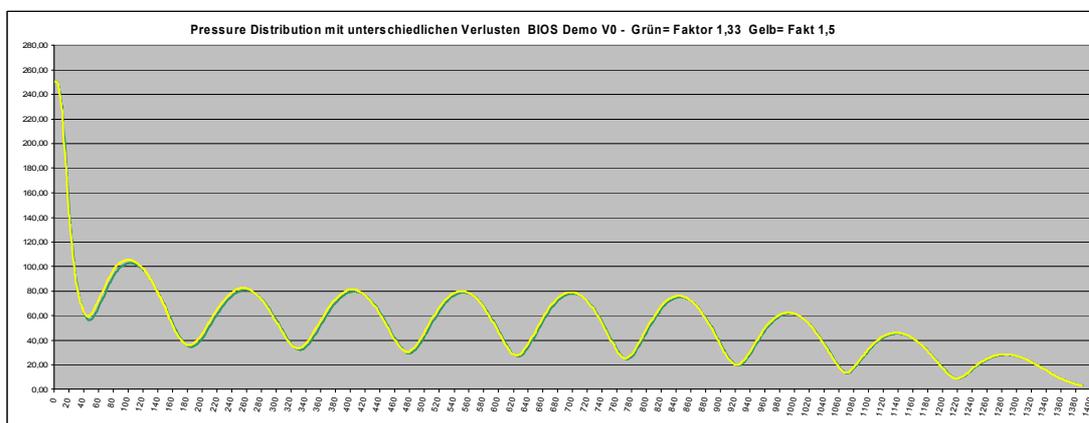
Pressure – Auswirkung von unterschiedlichen Verlusten simuliert:



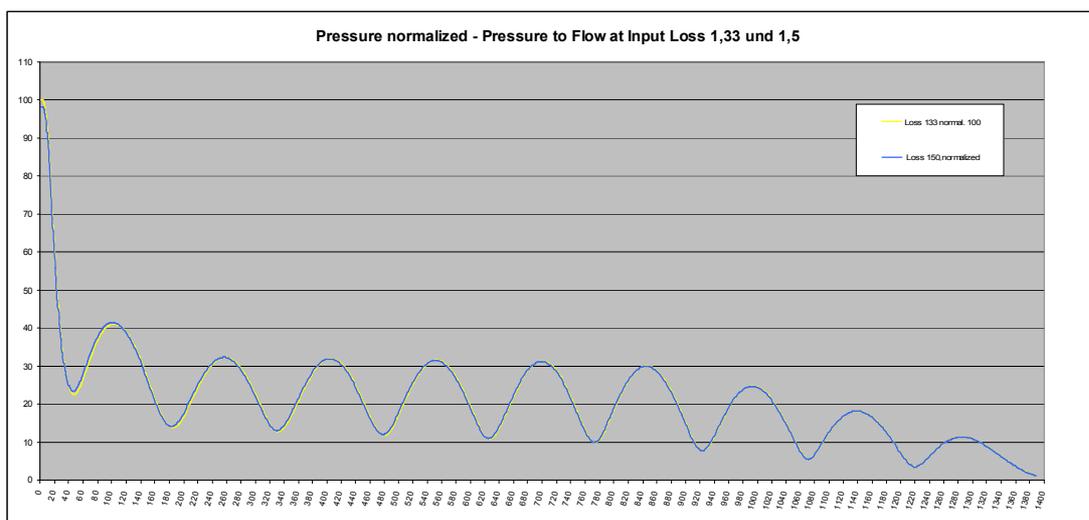
NT3 (relativ), hier wären die Druckbäuche mit höheren Verlusten niedriger, aber der Startbetrag gleich.



NT 3 – Absolut: hier wäre der Startbetrag größer.



NT10 (relativ) hier wären die Druckbäuche höher, auch die Nodes, Startbetrag gleich.

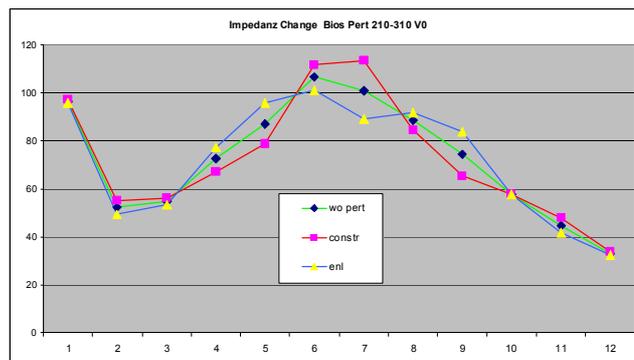
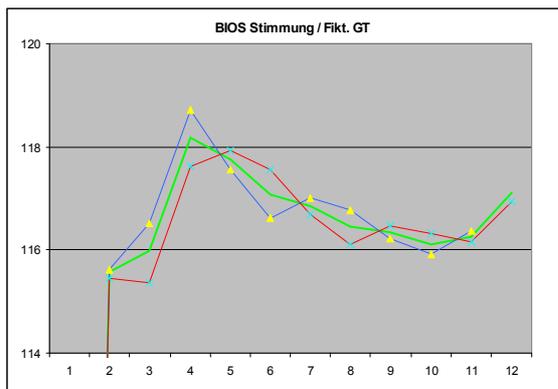


NT10 – Absolut: hier wäre der Startbetrag kleiner.

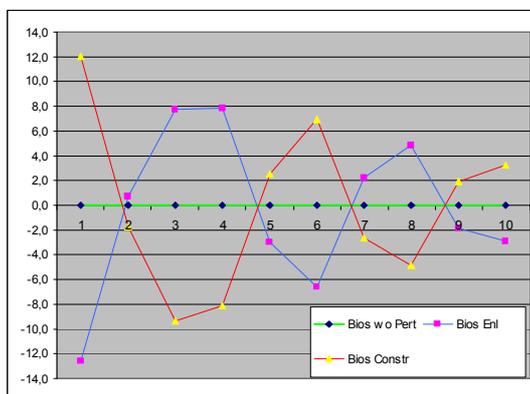
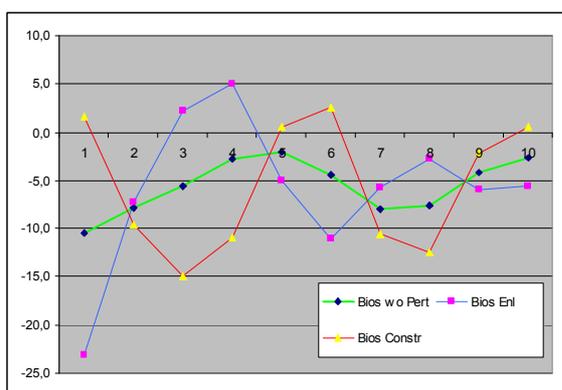
Egal wie es betrachtet wird: die Nodes liegen zu Beginn mit mehr Verlusten betragsmäßig minimal höher. Anhand der resultierenden tieferen Frequenzen und damit etwas größerer Wellenlänge liegen die Knotenpunkte mit zunehmenden Lossfaktor beginnend vom Schallbecher näher am Mundstück. Insgesamt sind die Auswirkungen aber eher gering.

Pressure – geänderte Druckverteilung durch Perturbationen

Die ART Kalkulation wurde mit Bios© verglichen, Modell Plane Wave, Loss Fakt. 1,33 22 Grad C. Es wurde von 210-310mm = 10 cm Länge jeweils eine Einengung von 11,0 auf 10,5mm, sowie auch eine Erweiterung auf 11,5mm Durchmesser simuliert. Ab NT8 ist die Perturbation bereits länger als ¼ WL der Frequenz. D.h. darüber = reduziertes Potential.

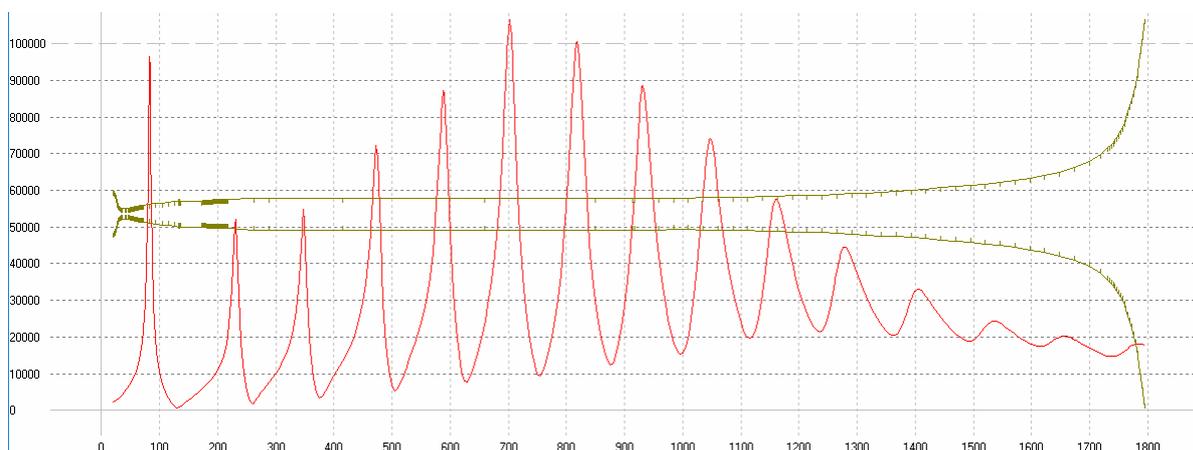


Fikt. Grundton Hz, Grün ohne Perturbation, Blau=Enlargement, Rot=Constriction Pos 210-310mm

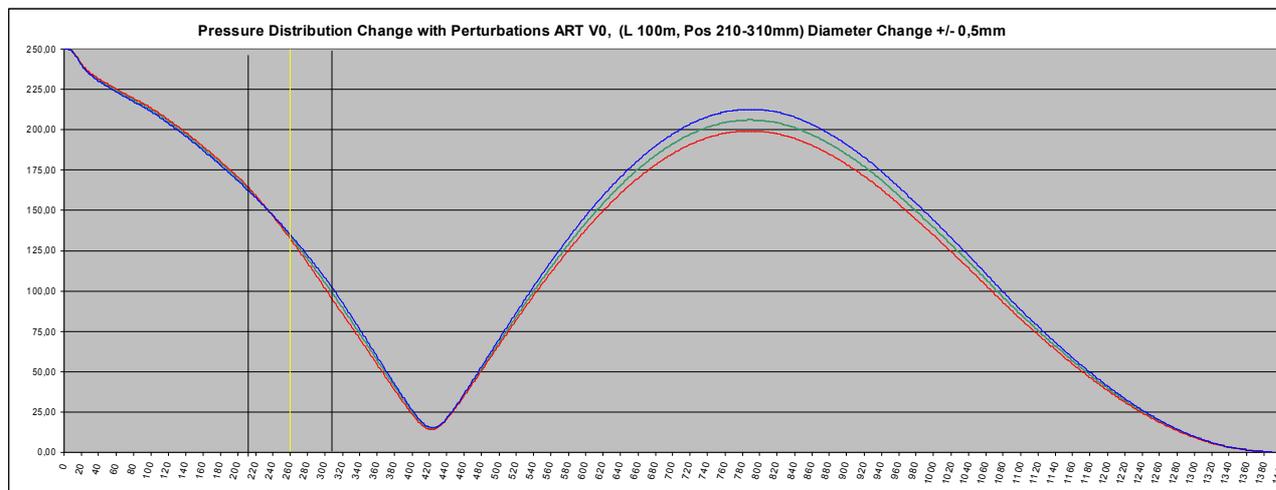


Stimmung Cent Abweichung Bios© Demoversion gegenüber ART Simulation

Stimmung Cent Abweichung durch Perturbationen mit Bios© errechnet



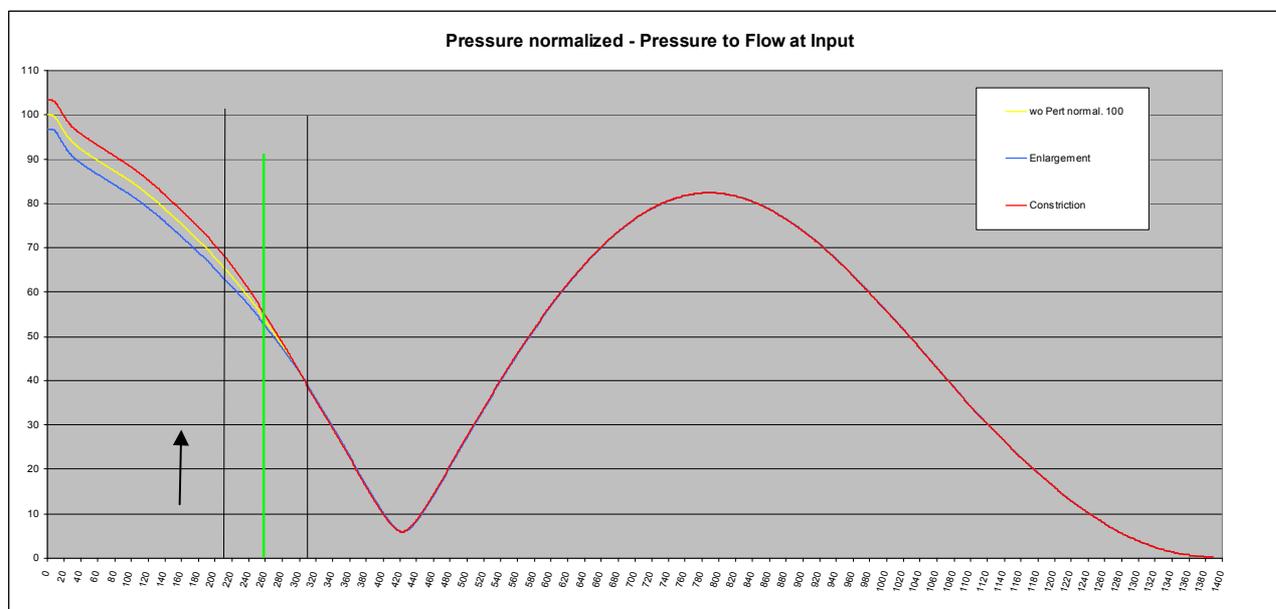
Bios© Messurverlauf V0, Impedanz ohne Perturbation, Mayer Landau, Plane Wave Loss 1,33 Die Striche in der Grafik sind die gemessenen Stützstellen/Positionen mit Durchmesserdaten.



NT2 Gelb: Zentrum der Perturbation. Grün=ohne Pert., Blau = Enlargement, Rot = Constriction

Center = beinahe ein Pitch Node hier, PN ist minimal später.

mit Constr: Pitch: ~Node Imp.Peak etwas höher Pressure-Betrag: etwas kleiner



grün = Perturbation-Zentrum, normalisiert auf 100%, NT2 Pressure Node bei: 42,30 cm

Änderungen zeigen sich so vor und bei der Perturbation, an der Lippeebene ändert sich das Verhältnis von Druck zu Fluß vor- und rücklaufender Impulse (=Eingangs-Impedanz).

Pr. Nodes + Antinodes verschieben sich bei einer Perturbation in deren Zentrum - immer:

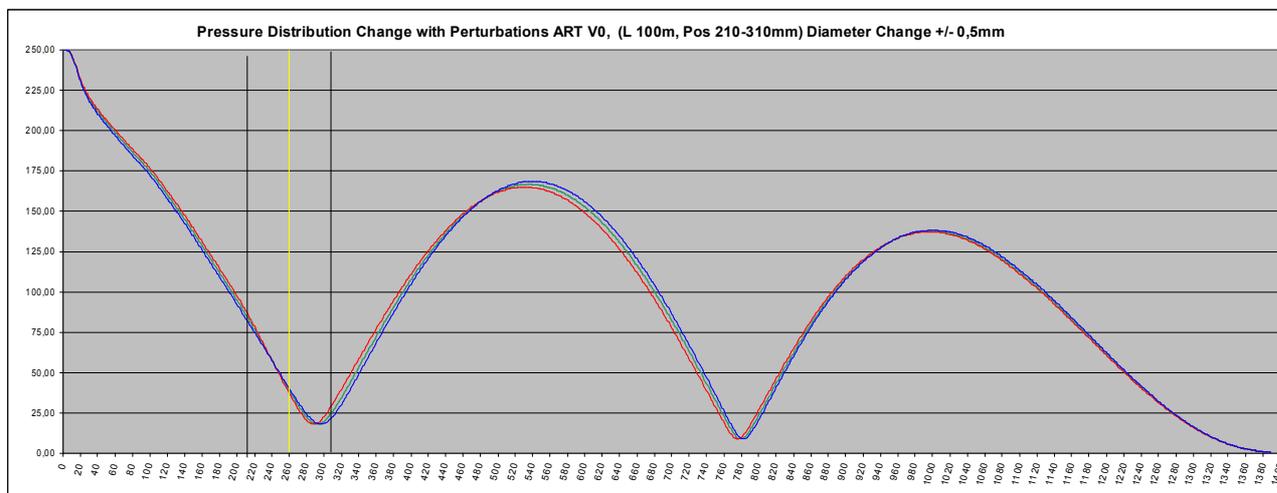
zueinander MPC --> bei Vertiefung durch Perturbation <-- Bell, here longer WL

auseinander MPC <-- bei Erhöhung durch Perturbation --> Bell, here shorter WL

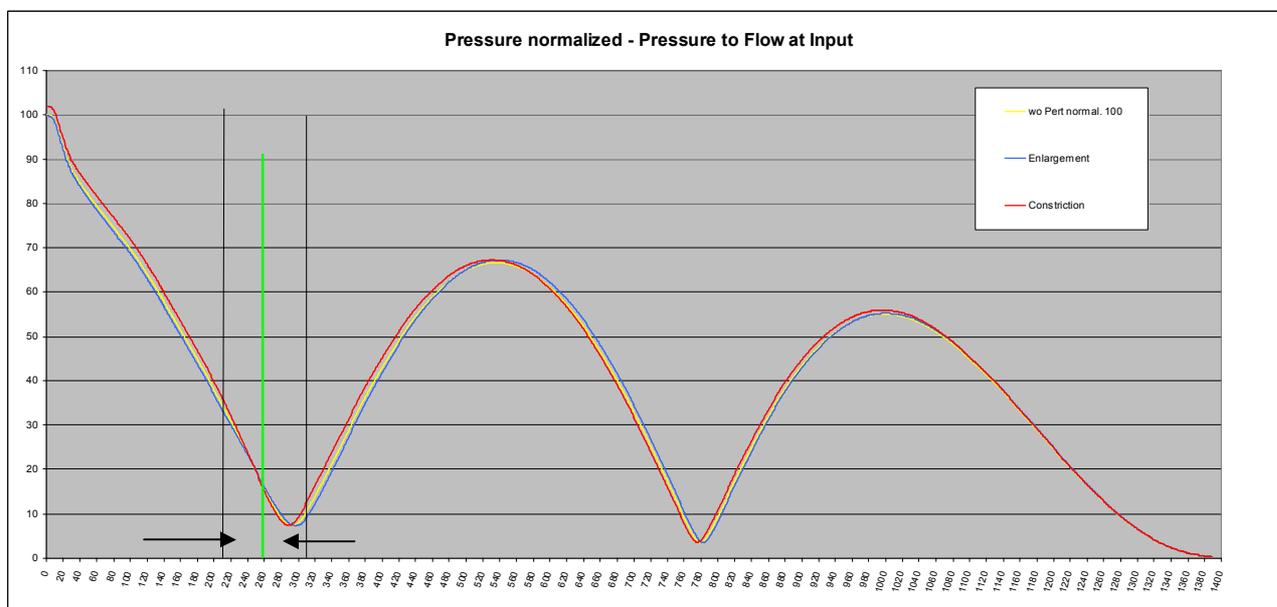
Der Knoten direkt bei der Perturbation (bei Press. Max oder Node) verschiebt sich aber nicht.

Eine Einengung nach jedem Druckbauch z.b. bei Pitch Node erhöht Impedanz vor der Perturbation

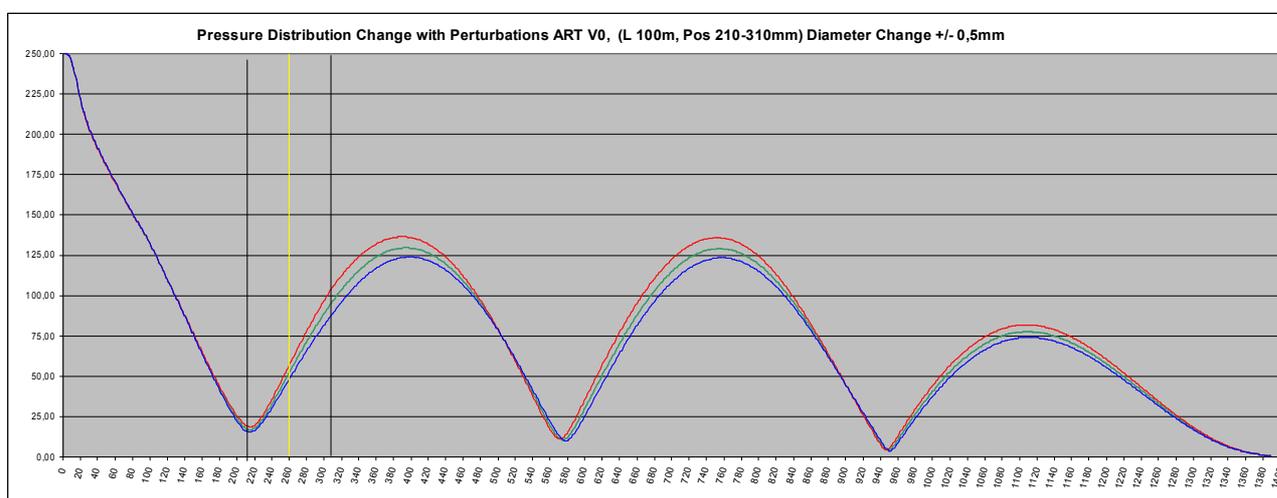
Eine Einengung vor jedem Druckbauch z.b. bei Pitch Node, reduziert die --,--



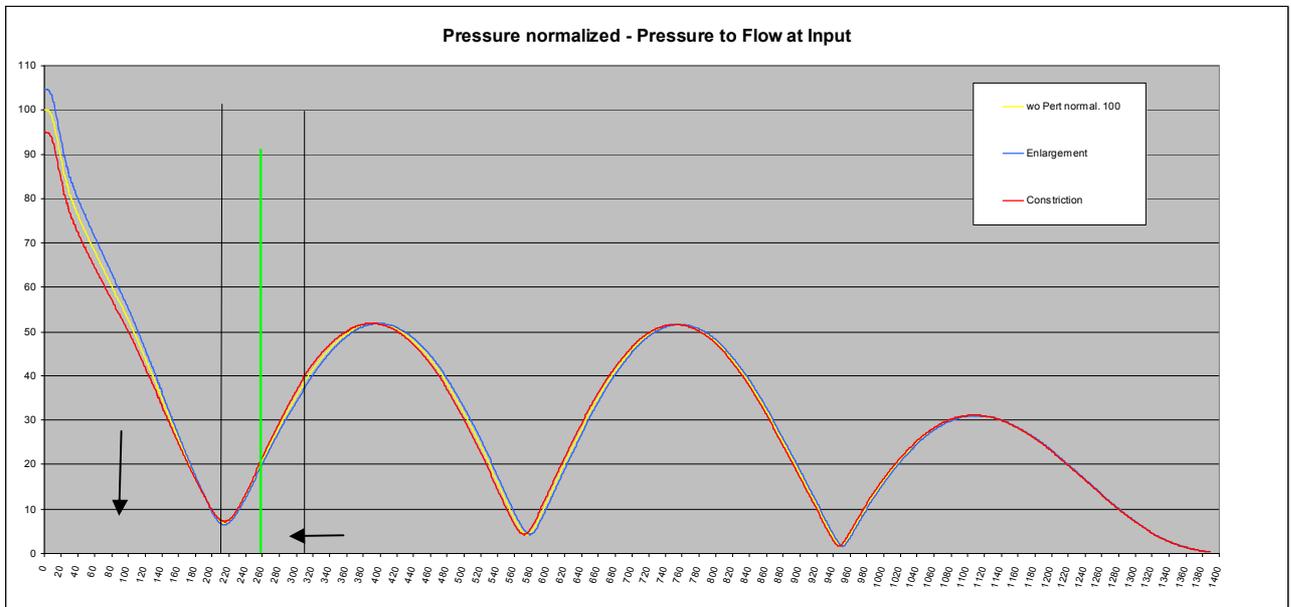
NT3 größte Stimmungsabweichung aller NT hier mit +/-8 Cent
 mit Constr: Pitch: <-tiefer Imp. PeakMin. höher Pressure-Betrag: min. kleiner



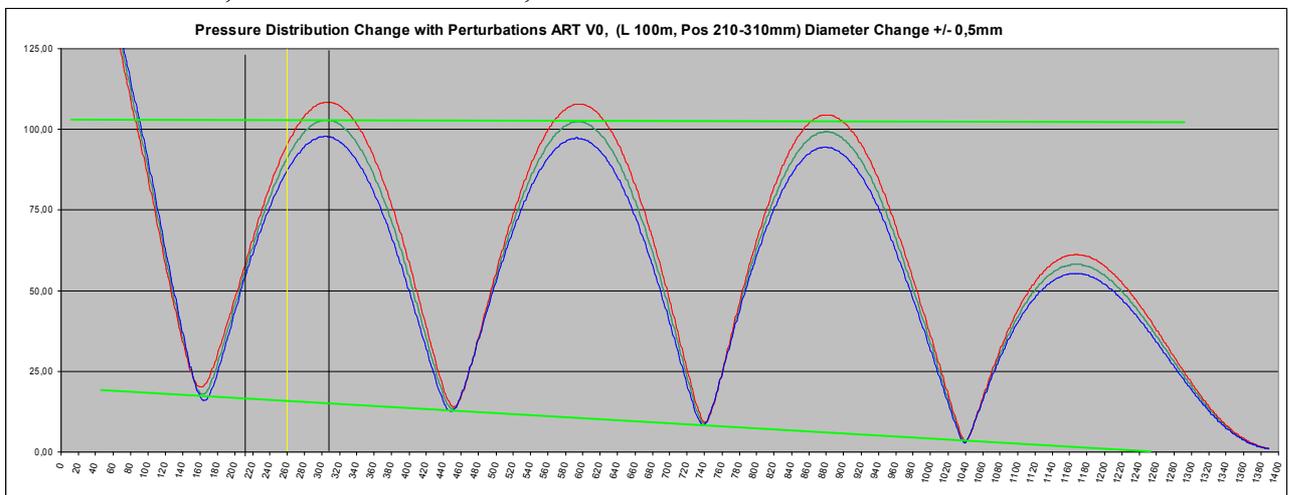
NT3, normalisiert, Pressure Antinode Node bei: 53,6cm



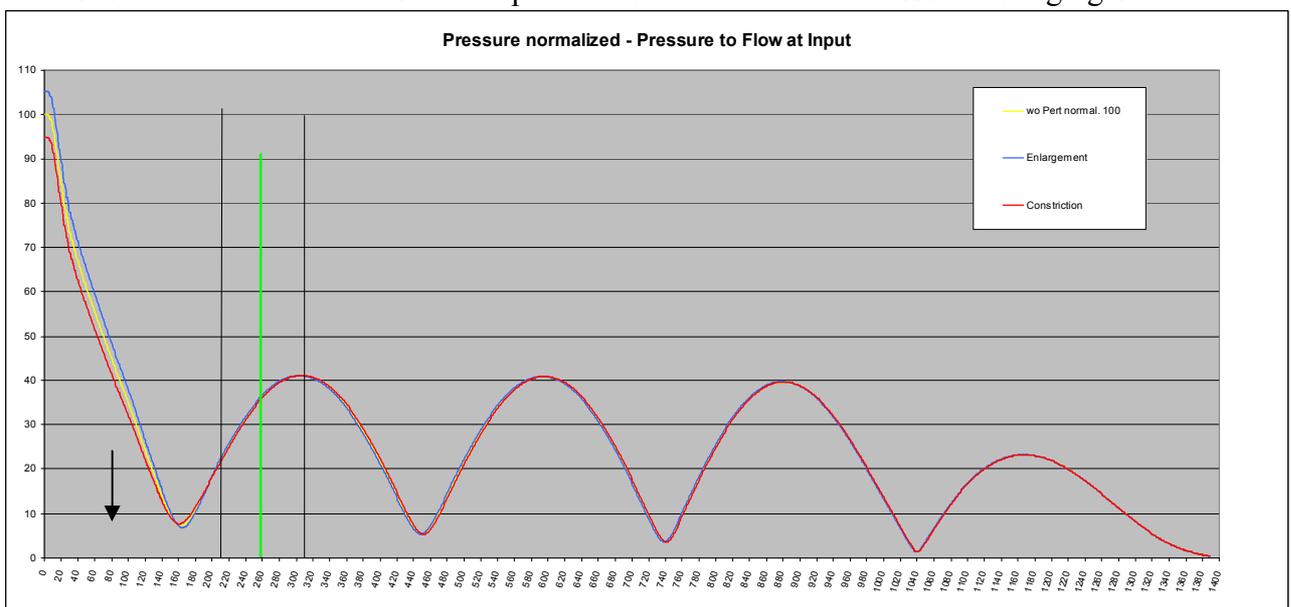
NT4 Pitch Node nach Pert. Zentrum, 2. größte Pitch Abweichung +/-8 Cent
 mit Constr: Pitch: <-tiefer Impedanz Peak kleiner Pressure-Betrag: größer



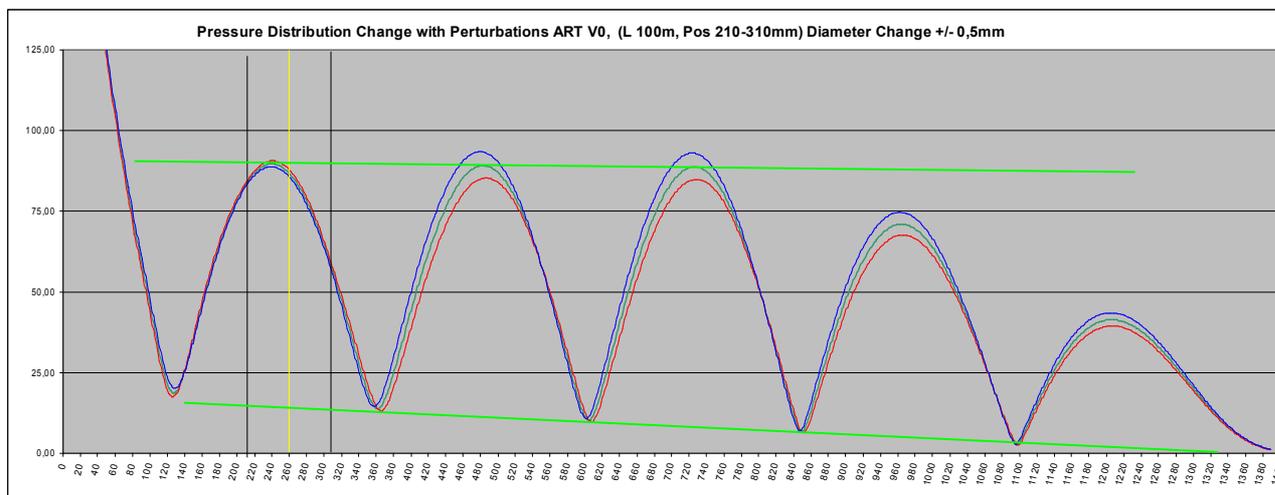
NT4 normalisiert, Pressure Node bei: 57,5 cm



NT5 beinahe ein Pitch Node, PN ist vorher
 mit Constr: Pitch: ->etw. höher Impedanz Peak: kleiner Pressure-Betrag: größer

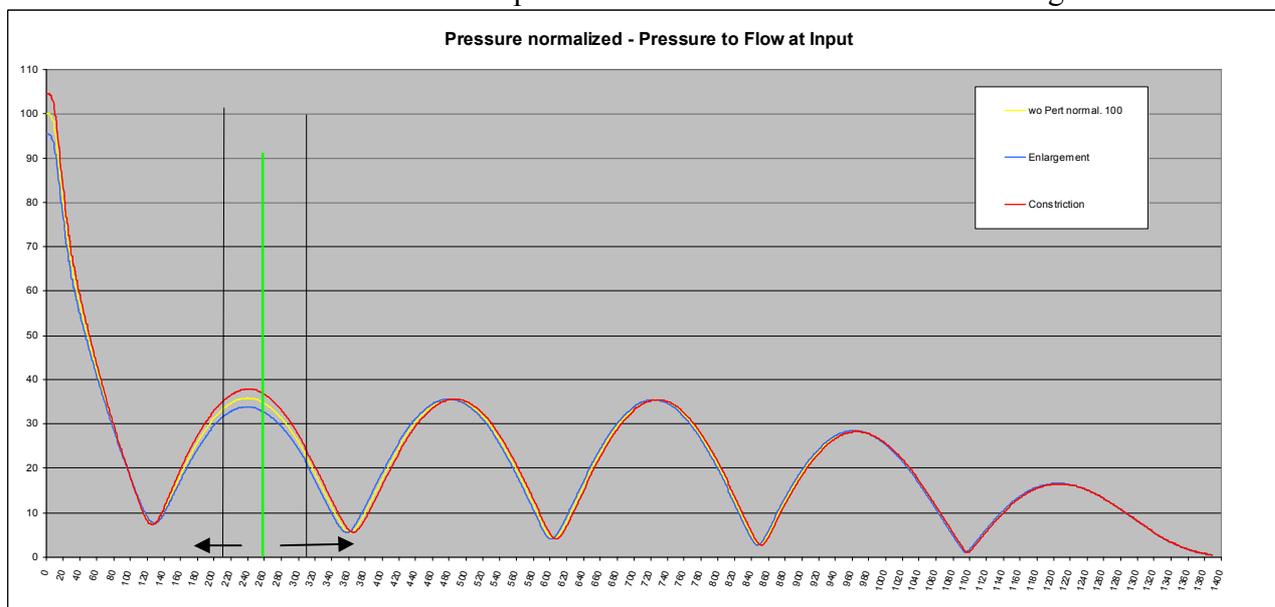


NT5 normalisiert, Pressure Antinode bei: 59,5cm Kurve vorher: <-



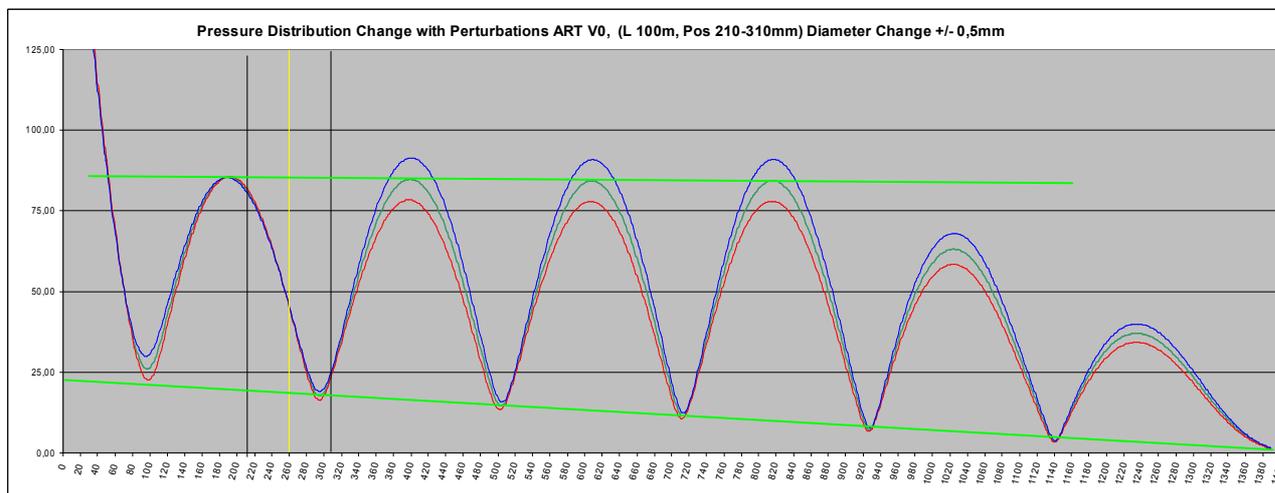
NT6 beinahe Imp. Node, +/- 6 Cent.

mit Constr: Pitch: -> höher Impedanz Peak: etw. höher Pressure-Betrag: etwas kleiner



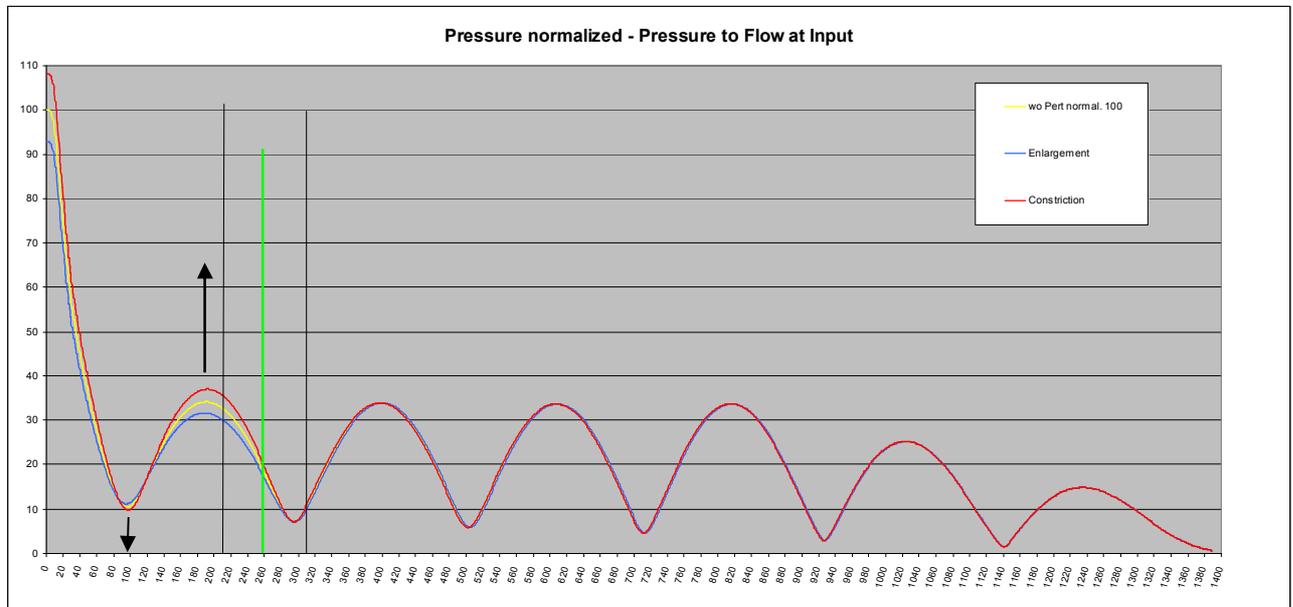
NT6 normalisiert, Pressure Node bei: 60,5cm

Kurve vorher: <-

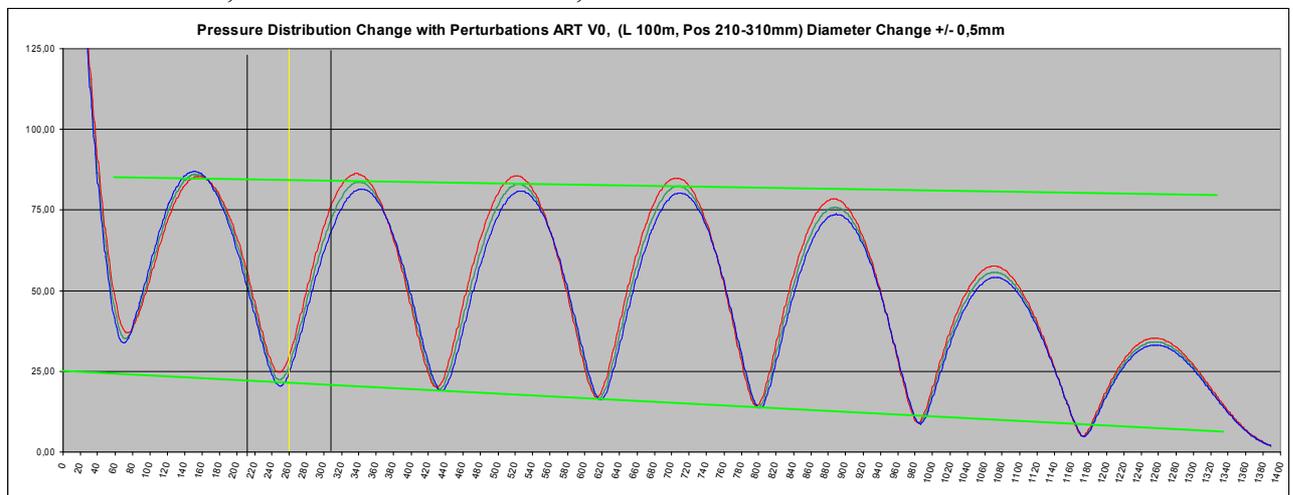


NT7: Pitch Node vor Zentrum, größte Amplitudenabweichung

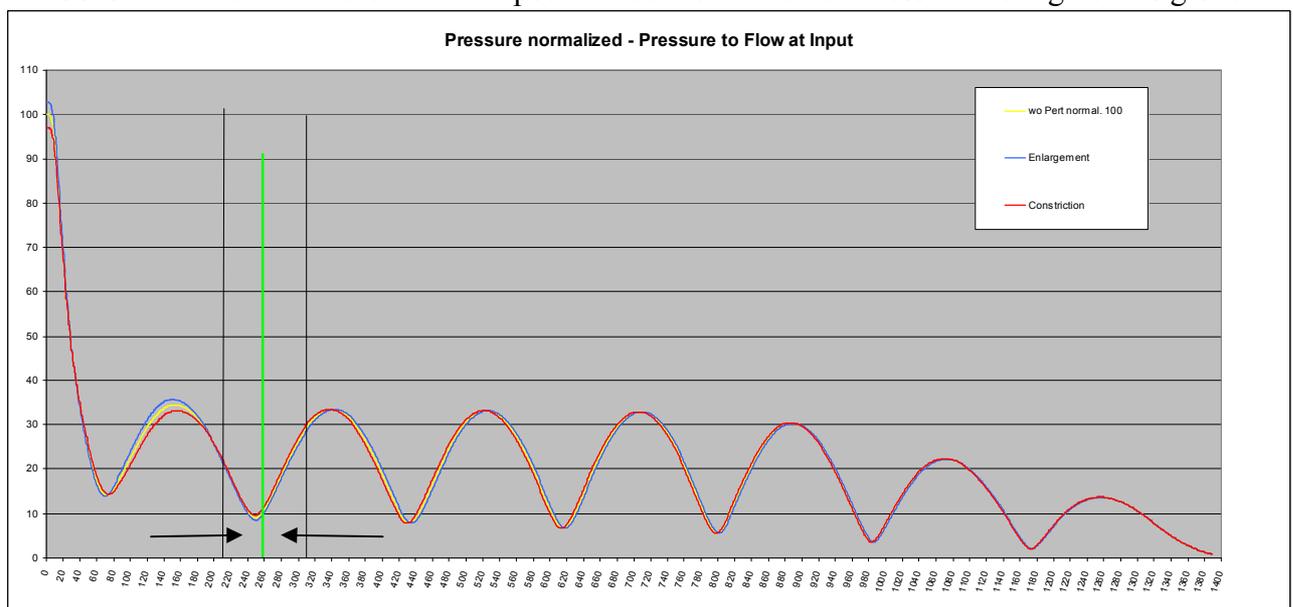
mit Constr: Pitch: <- etw. tiefer Impedanz Peak: höher Pressure-Betrag: kleiner



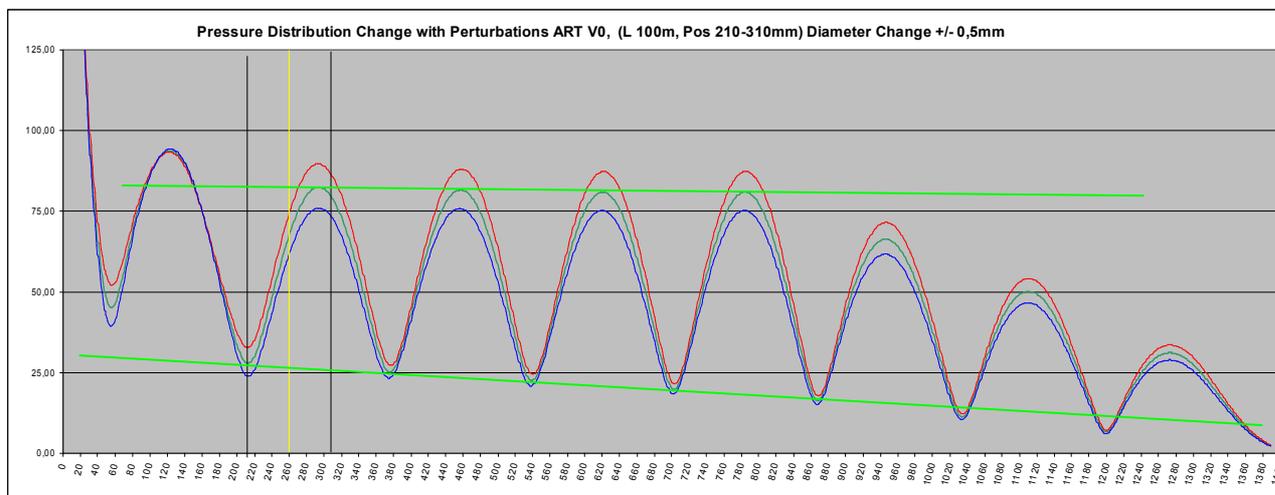
NT7 normalisiert, Pressure Antinode bei: 60,8cm Kurve vorher: ->



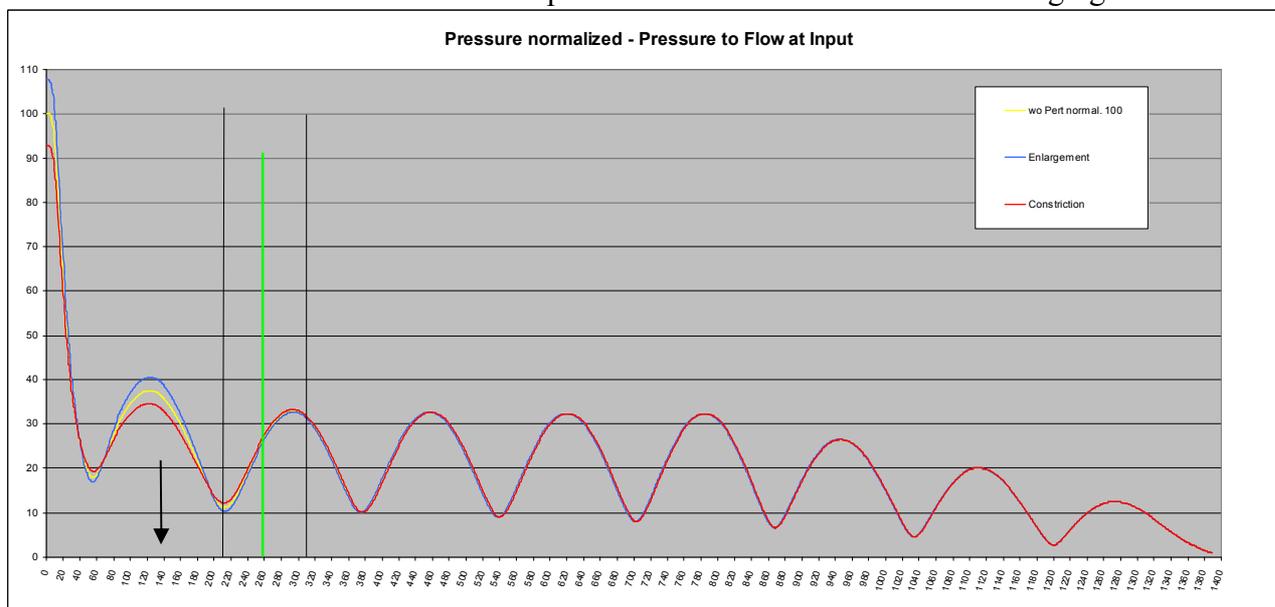
NT8: Beinahe Imp.Node, +/- nur 5 Cent, Pert. ist jetzt bereits etwas länger als 1/4 WL (less Pot.) mit Constr: Pitch: <- tiefer Impedanz Peak: etw. kleiner Pressure-Betrag: etwas größer



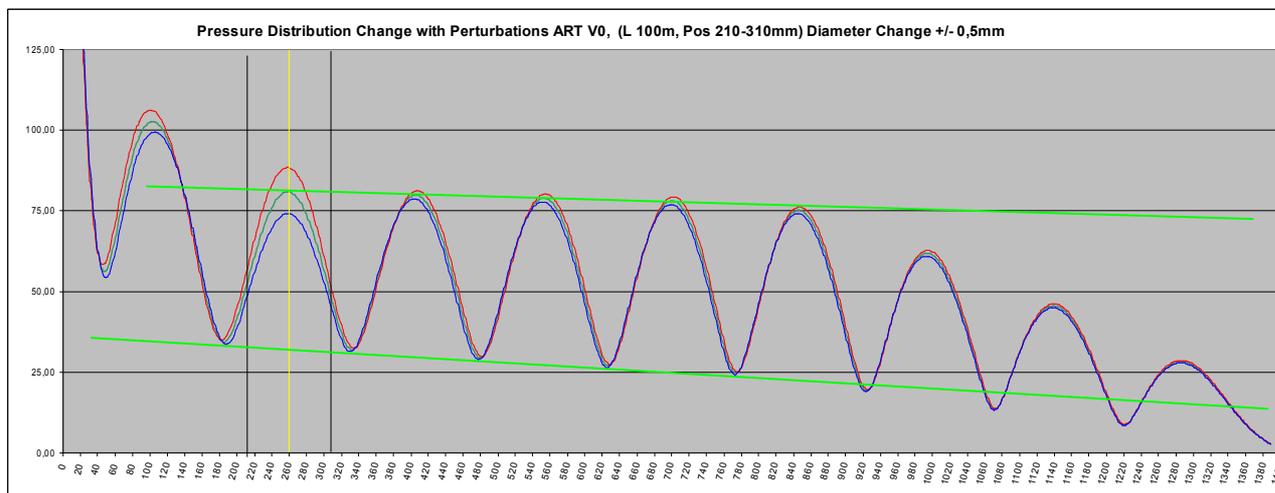
NT8 normalisiert, Pressure Node bei: 61,6 cm Kurve vorher: ->



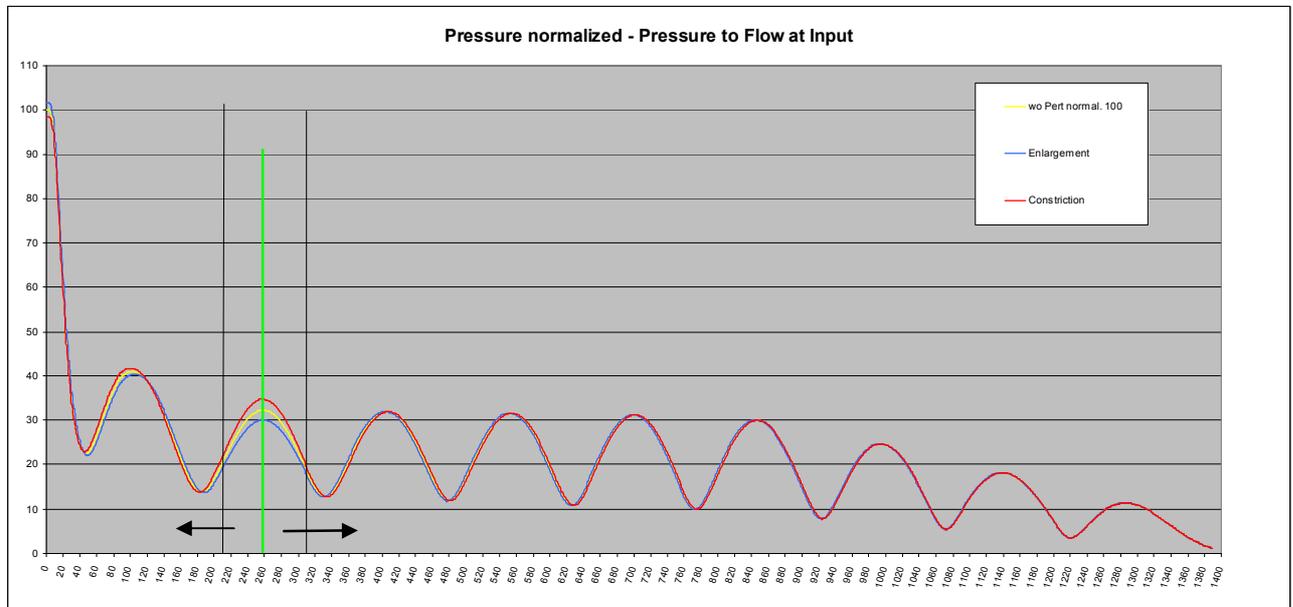
NT9: PN etwas vor Pert. Zentrum, große Amplitudenabweichung
 mit Constr: Pitch: -> etwas höher Impedanz Peak: kleiner Pressure-Betrag: größer



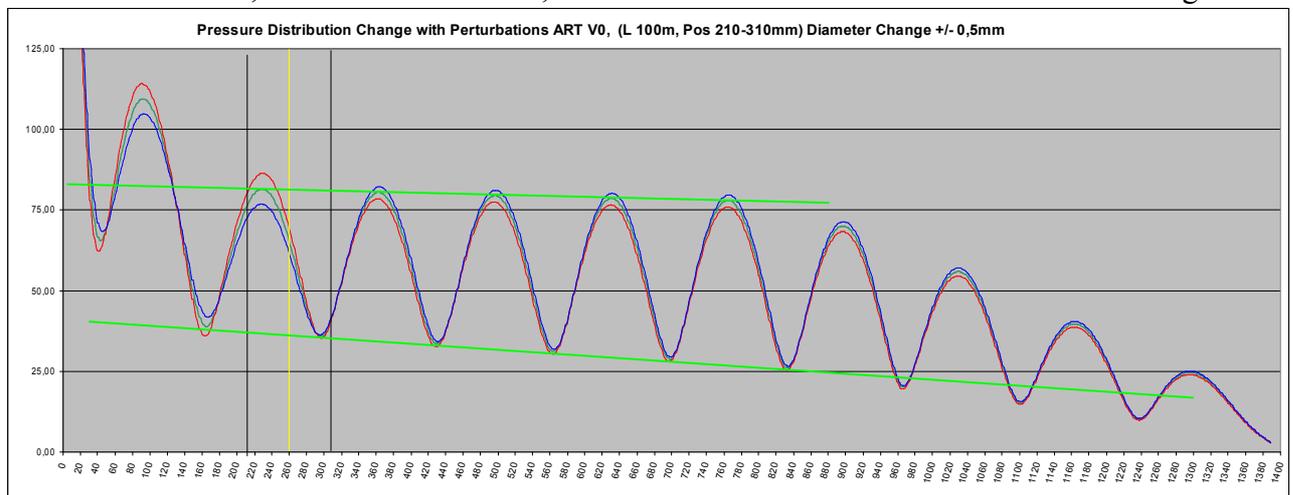
NT9 normalisiert, Pressure Antinode bei: 62,0 cm Kurve vorher: ~



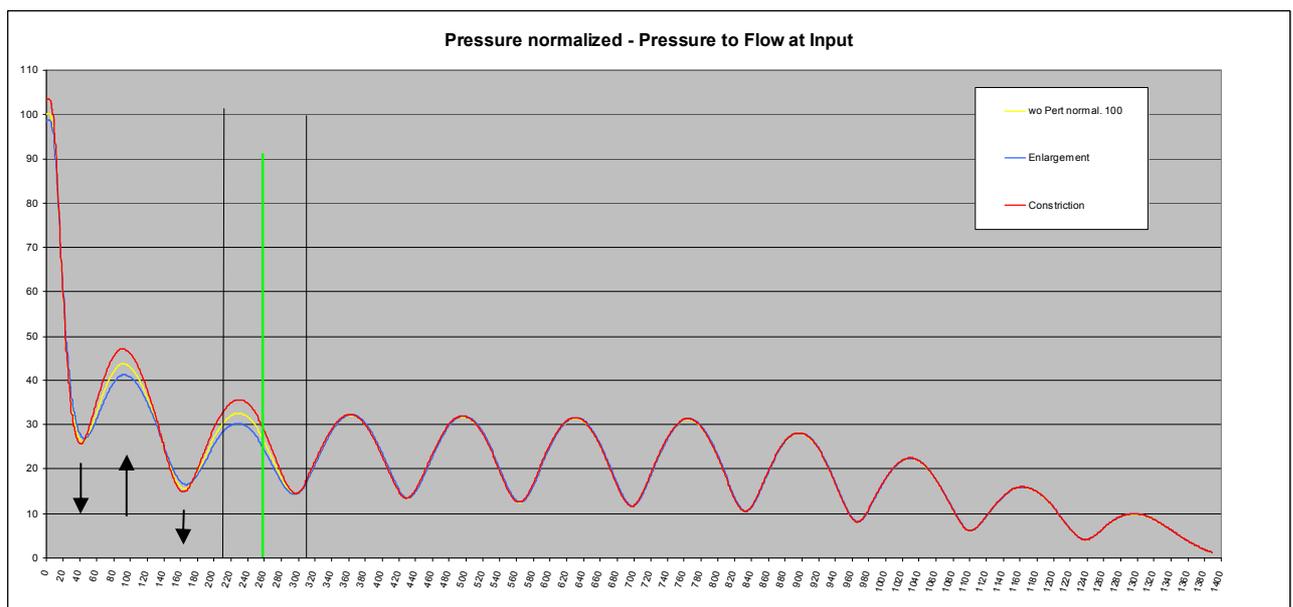
NT10: Impedanz-Node, Pitch Pot geschwächt, 1/4 WL = 7,4 cm
 mit Constr: Pitch: -> höher Impedanz Peak: ~ Pressure-Betrag: minimal größer



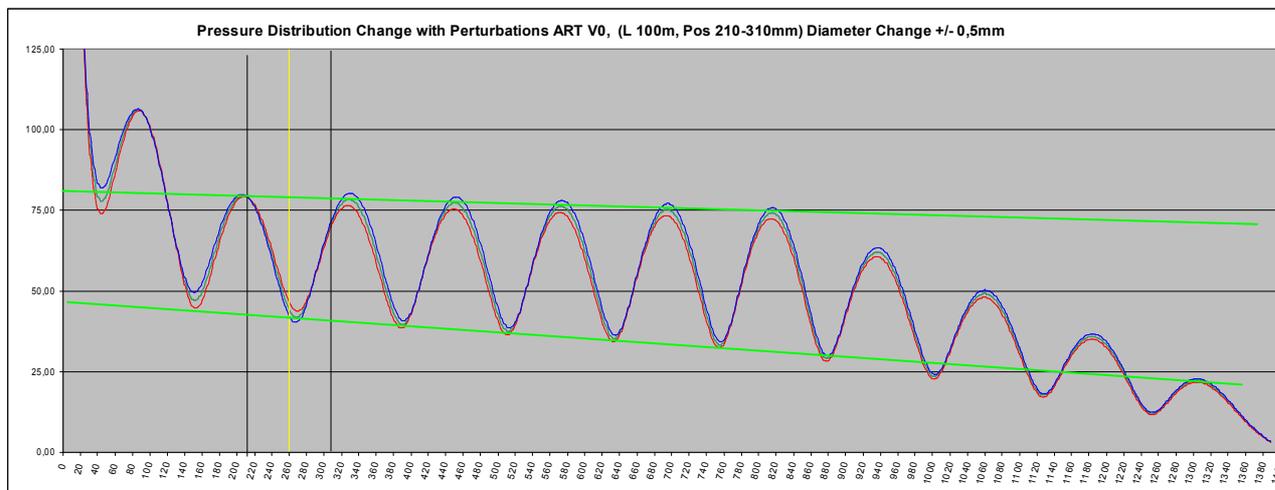
NT 10 normalisiert, Pressure node bei 62,7cm Kurve vorher: <- bei Perturbation viel größer



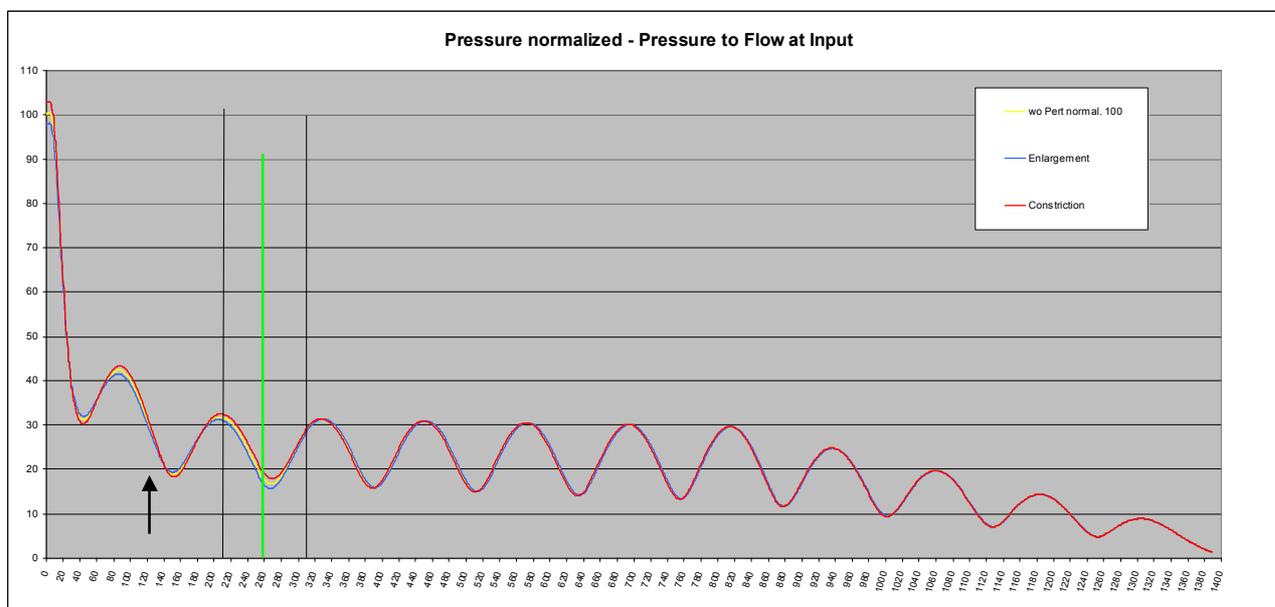
NT11 mit Constr: Pitch: <- etw. tiefer Impedanz Peak: etw. höher Pressure-Betrag: etw. kleiner



NT11 normalisiert: Pressure Antinode bei: 63,0 Kurve vorher: ~ bei Pert.+ Start größer



NT12 mit Constr: Pitch:<- etw. tiefer Impedanz Peak: ~ Pressure-Betrag: etw. kleiner



NT12 normalisiert, Pressure Node bei 63,4cm Kurve vorher: etw.-> bei Pert.+ Start aber gleich

in cm	1 / 4 WL bei 22 Grad = Speed 344,5m/Sek =			
	ART	Bios wo Pert	Bios Enl	Bios Constr
NT1	103,29	103,92	104,67	103,19
NT2	37,09	37,26	37,25	37,30
NT3	24,67	24,75	24,64	24,88
NT4	18,19	18,22	18,14	18,30
NT5	14,61	14,63	14,65	14,61
NT6	12,23	12,26	12,31	12,21
NT7	10,48	10,53	10,51	10,54
NT8	9,20	9,25	9,22	9,27
NT9	8,21	8,22	8,23	8,22
NT10	7,41	7,42	7,43	7,40

¼ Wellenlängen mit und ohne Pert. gibt mit dieser Perturbation eine max. Diff. von rund 1,5mm bei NT3 (+/-8 Cent)

Eine Einengung bei Pos. X ergibt Änderungen im Druckverlauf (Erweiterung umgekehrt), relativ:

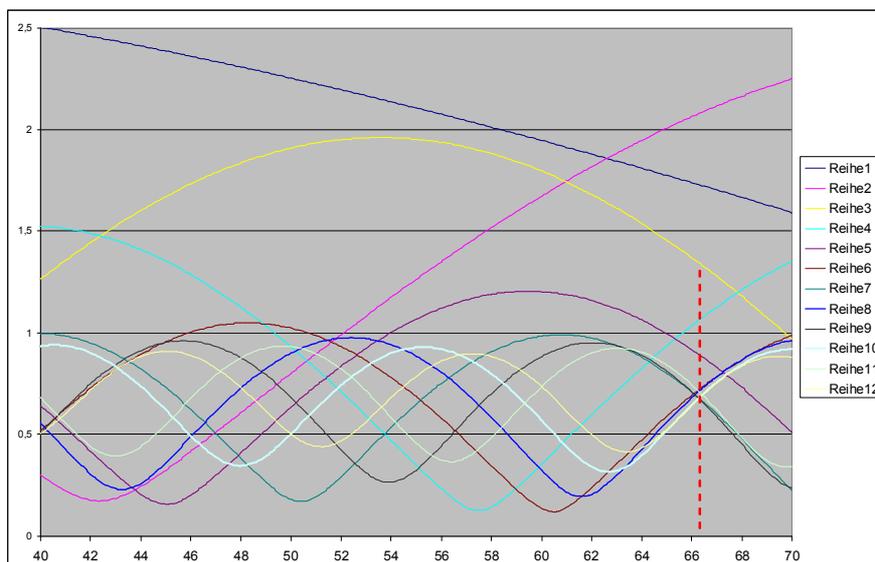
Zeiger:	Position:	Hinweis lokale Perturb.:	PR-Max. davor:	lokal:	danach; Pitch	Peak+WI
↻03.00	Press-Max (Antinode)	lokales PR-Max steigt stark	bleiben~ <->	bleiben; ++>	Ampl. bleibt~	
↗01.30	etwas nach Pr-Max	lokales PR-Max bleibt	steigen~ >><	fallen; +>		
⬆12.00	Pitch Node nach Pr-Max	lokales PR-Max steigt stark	steigen >><	fallen; ~	Ampl.up	
↖10.30	nach Pitch Node vor Pr-Min	PR-Min davor fallen etwas	bleiben --<	fallen; <-		
⦿09.00	Press-Min (Node)	lokales PR-Min steigt	bleiben~ ->>	bleiben; <--	Ampl. bleibt~	
↙07.30	etwas nach Pr-Min.	PR-Min vor+bei Constr. steigen	bleiben -->	steigen~; <-		
⬇06.00	Pitch Node vor Pr-Max	lokales PR-Max fällt stark	fallen <<>	steigen; ~	Ampl. down	
↘04.30	nahe Pitch N. vor Pr-Max	PR-Min vor+bei Constr steigen	bleiben -->	steigen; +>		

Eine Einengung bei Pos.X ergibt Änderungen im Druckverlauf (Erweiterung umgekehrt), absolut:

Zeiger:	Position:	Hinweis lokale Perturb.:	PR-Max. davor:	Nodes:	Stimmung
↻03.00	Press-Antinode	lokales PR-Max steigt stark	~	<->	steigt (NT10)
↗01.30	etwas nach Pr-Max	lokales PR-Max steigt	steigt	<->	steigt (NT6)
⬆12.00	Pitch Node nach Pr-Max	PR-Min davor fallen	steigt	-	- (NT2, 7, 11)
↖10.30	nach Pitch N. vor Pr-Node	PR-Min davor fallen	steigt	-><	fällt (NT12, 3)
⦿09.00	Pressure-Node	lokales PR-Min steigt etwas	~	-><	fällt (NT8)
↙07.30	etwas nach Pr-Node.	PR-Min vor Constr. steigen	fällt	-><	fällt (NT4)
⬇06.00	Pitch Node vor Pr-Max	PR-Min vor Constr. steigen	fällt	-	(NT9)
↘01.30	nahe Pitch N. vor Pr-Max	PR-Min vor Constr steigen	fällt	~	(NT5)

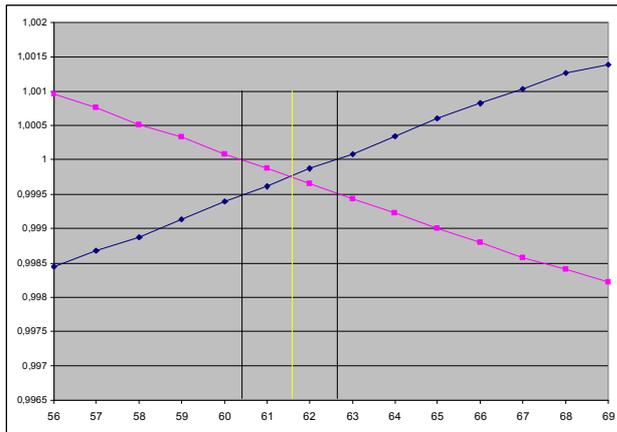
Druckverlauf im Bereich um XM-IN1 und XM-PN

Da bei Bios© im Gegensatz zu ART die Möglichkeit besteht auch den Druckverlauf auszuwerten, habe ich die Tests mit der virtuellen Hülse mit Bios im Bereich XM-IN1 und XM-PN nochmals wiederholt. Speziell die ungenauen Positionen der Pitch Nulldurchgänge sollen somit eindeutiger werden. Die jeweiligen Nodes sind in den Grafiken eingezeichnet.

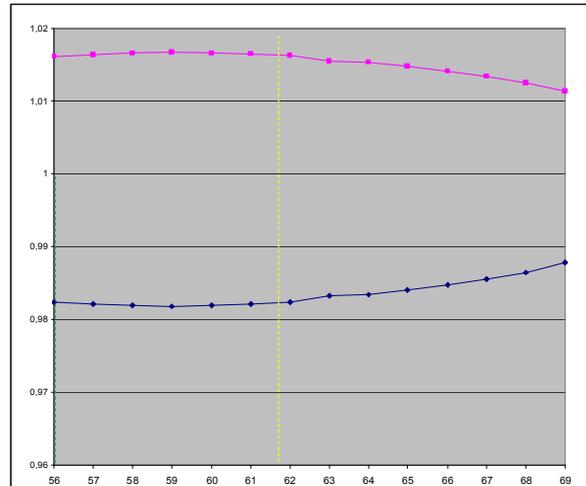


Pressure Verlauf im gewählten Bereich, VONT 1 – NT12, ca. XM-Pitch-Node Pos. eingezeichnet

Folgend jeweils blau: Constriction 20mm R 0,5mm, rosa= Enlargement 20mm R 0,5mm,
 Folgend jeweils gelb: Pitch Node, grün = Peak Magnitude Node. V0, NT 1-12

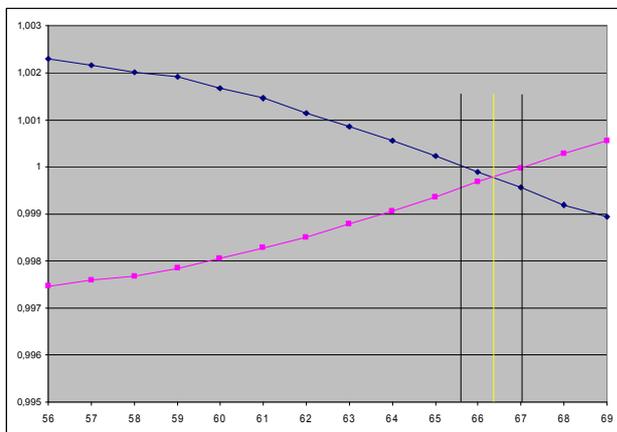


NT 2 Pitch

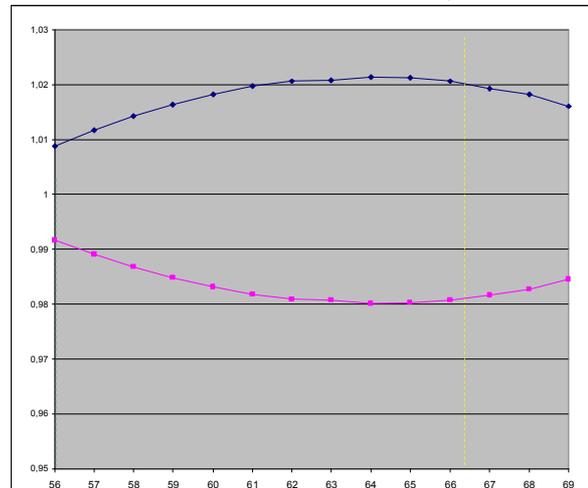


NT2 Peak Magnitude

Druckknoten ermittelt: bei 42,3cm

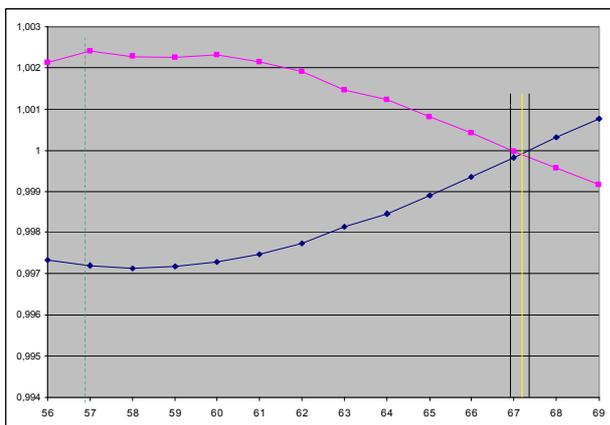


NT3 Pitch Pot + Pitch Node später

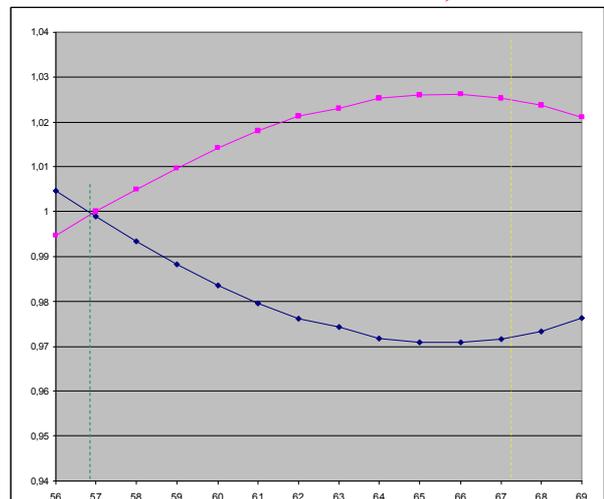


NT3 Peak Magnitude

Druckbauch ermittelt: bei 53,6cm

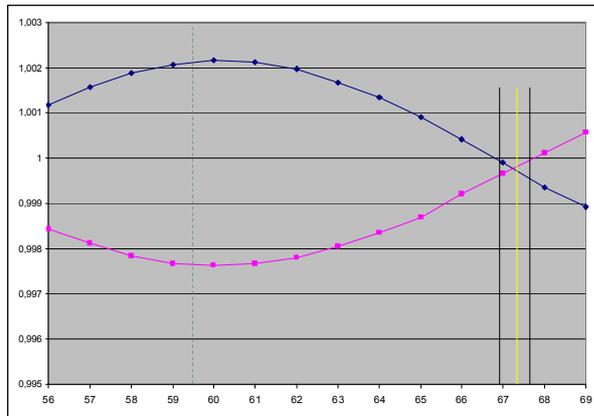


NT4 Pitch Pot + Pitch Node später

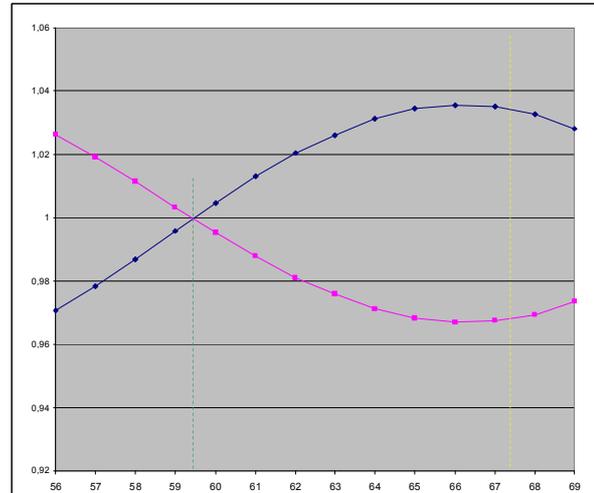


NT4 Peak Magnitude etw. früher als Pr.Node

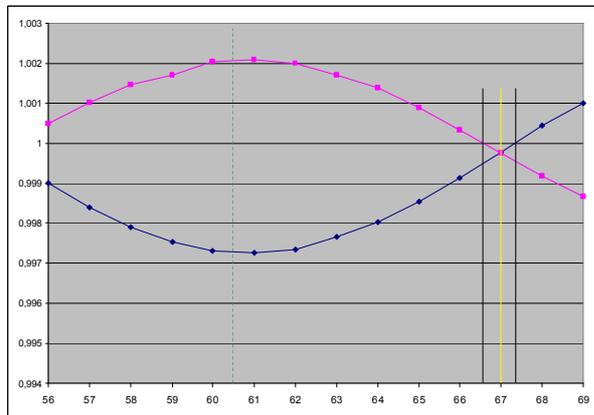
Druckknoten ermittelt: bei 57,5cm



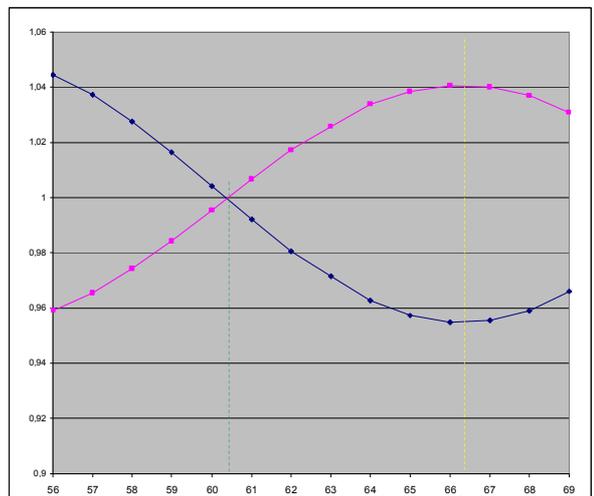
NT5 Pitch Pot + Pitch Node später



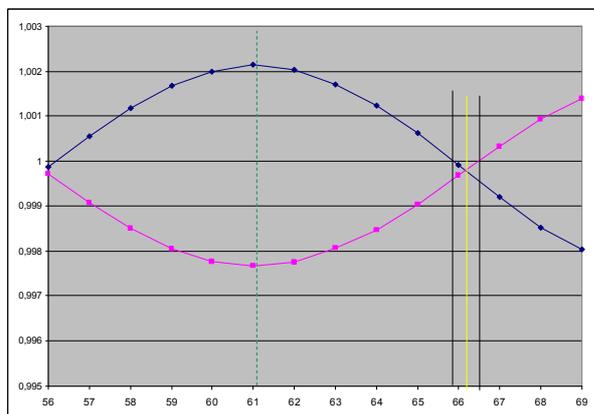
NT5 Peak Magnitude bei Druckbauch
Druckbauch ermittelt: bei 59,5cm



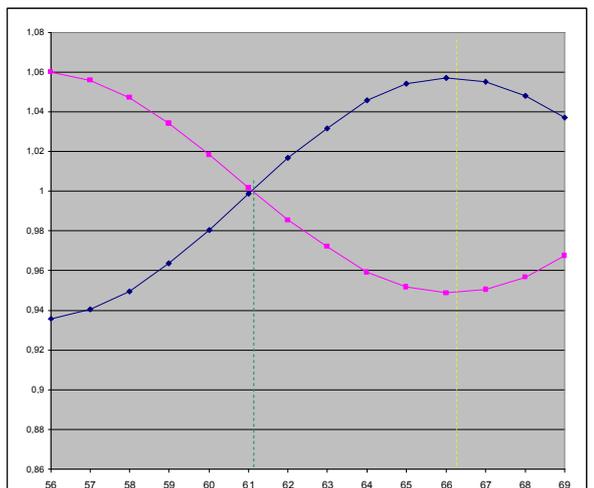
NT6 Pitch Pot + Pitch Node später



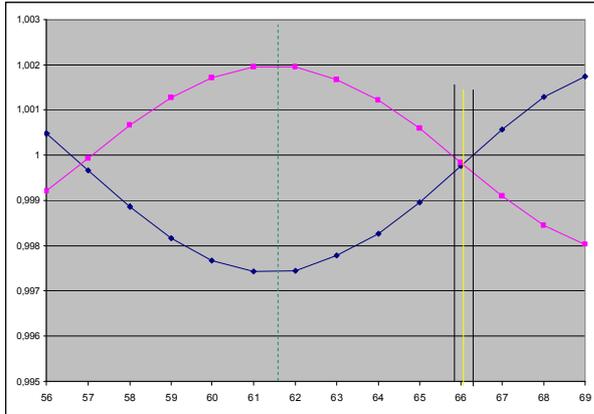
NT6 Peak Magnitude bei Druckknoten
Druckknoten ermittelt: bei 60,5cm



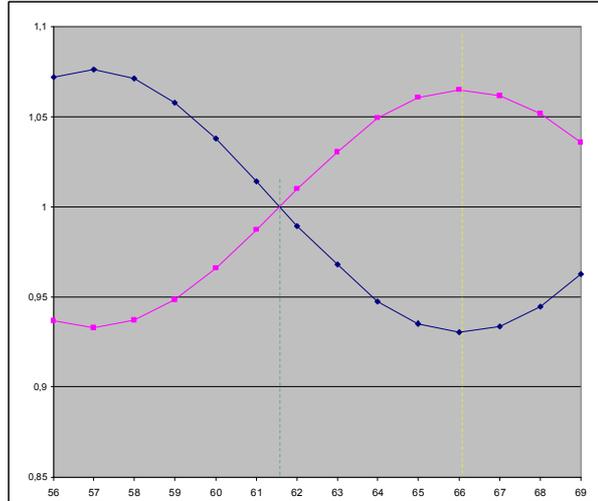
NT7 Pitch Pot + Pitch Node minimal später



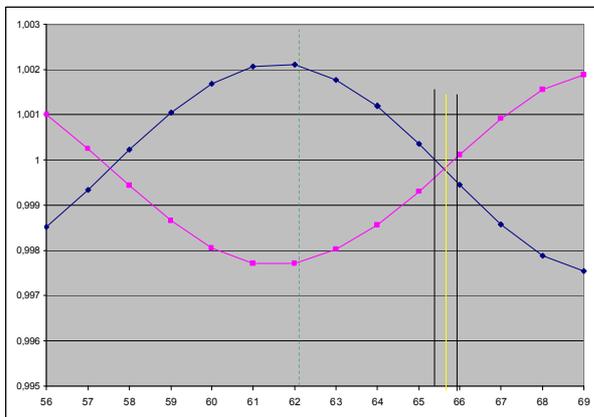
NT7 Peak Magnitude ~ am Druckbauch
Druckbauch ermittelt: bei 60,8cm



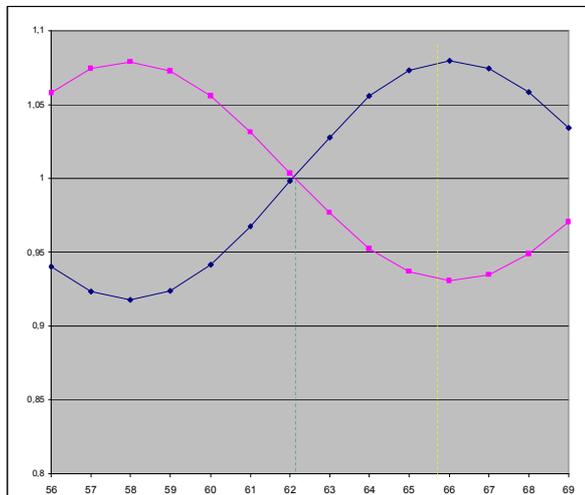
NT8 Pitch Pot + Pitch Node kein Versatz



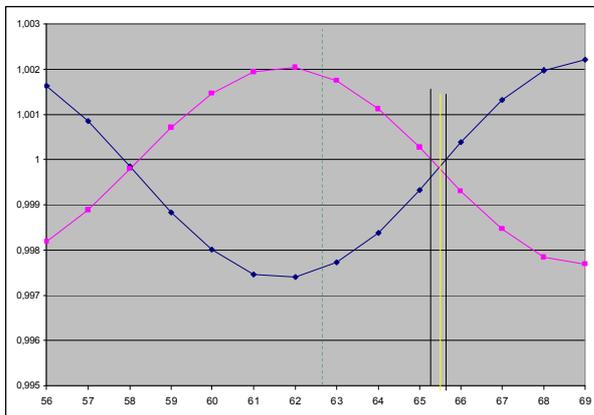
NT8 Peak Magnitude bei Druckknoten
Druckknoten ermittelt; bei 61,6cm



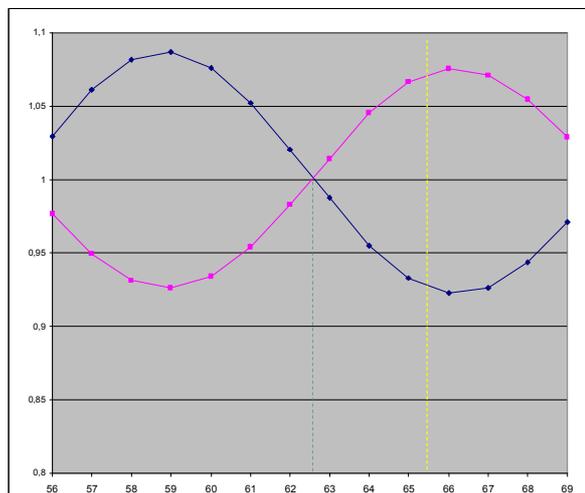
NT9 Pitch Pot + Pitch Node etwas früher



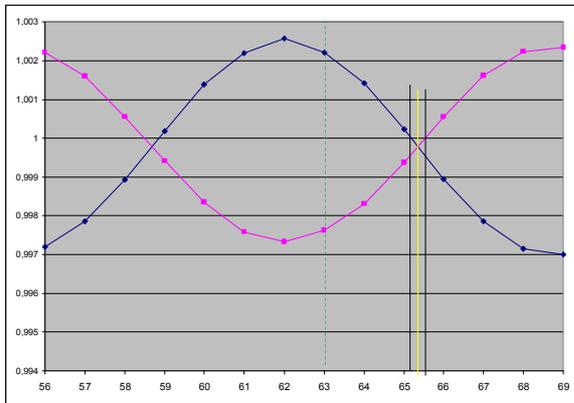
NT9 Peak Magnitude
Druckbauch ermittelt: bei 62,0 cm



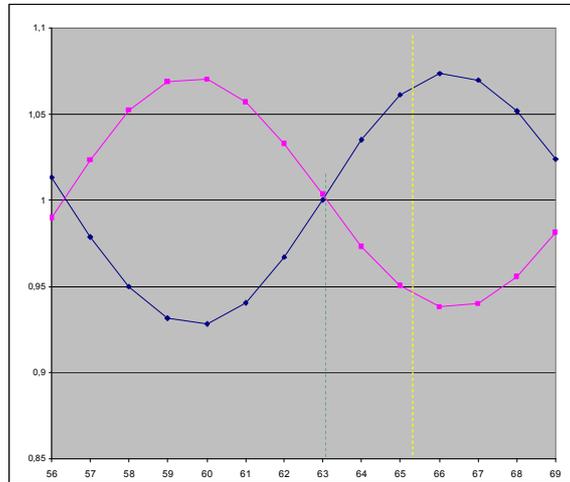
NT10 Pitch Pot + Pitch Node früher



NT10 Peak Magnitude
Druckknoten ermittelt: bei 62,7cm

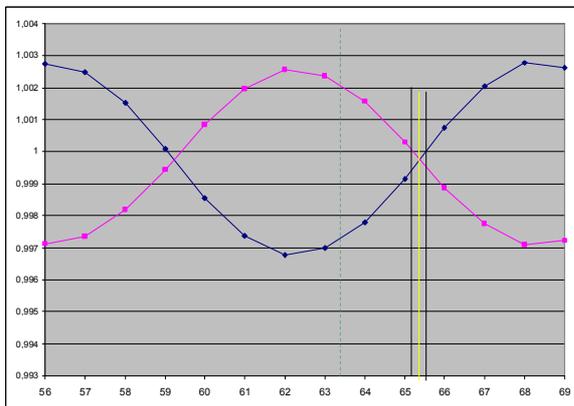


NT11 Pitch Pot + Pitch Node viel früher

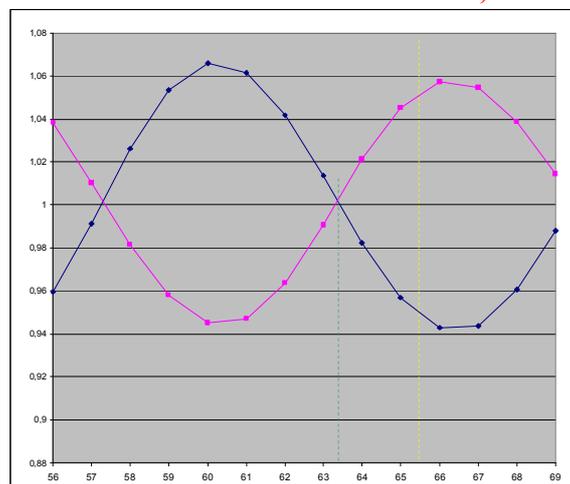


NT11 Peak Magnitude

Druckbauch ermittelt: bei 63,0 cm

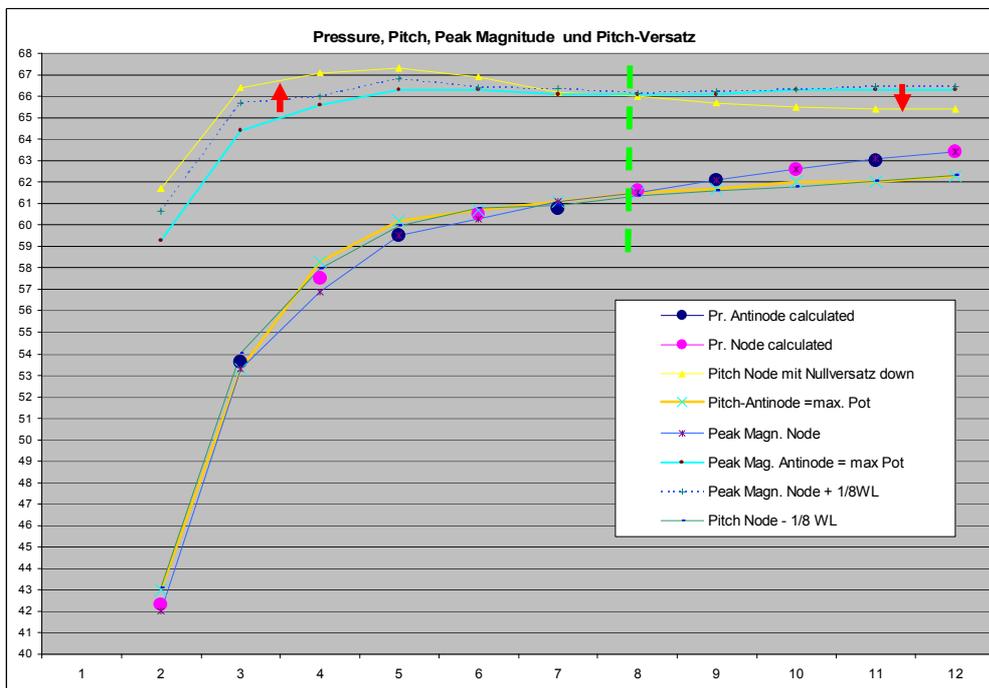


NT12 Pitch Pot + Pitch Node viel früher



NT12 Peak Magnitude

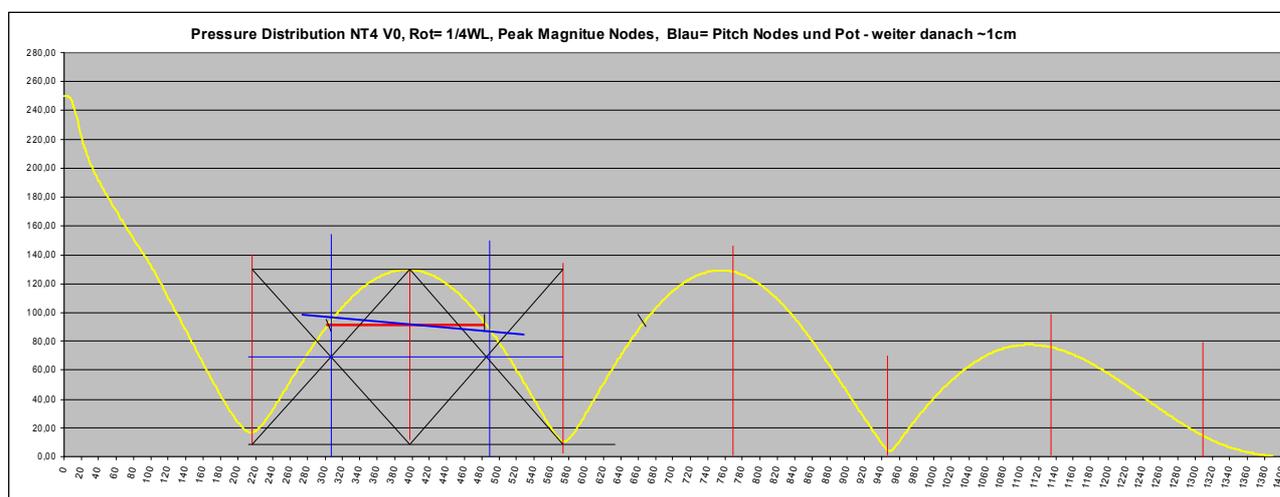
Druckknoten ermittelt: bei 63,4 cm



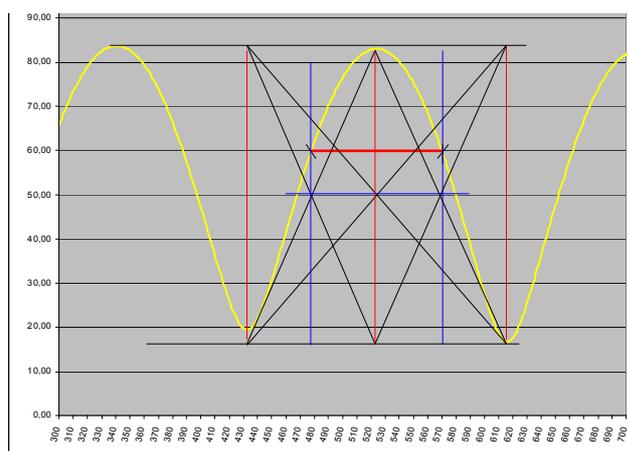
Zusammenfassung Bios Pressure Test: Bereich grün = Abstand 1/8 WL, kein zus. Pitch-Versatz.

Eine lange Suche nähert sich dem Ende, es steht für mich nun fest, dass Peakmagnituden Nulldurchgänge = Imp.Nodes zumindest im Simulationsmodell exakt an den Punkten der Pressure Antinodes (max. Druckschwankungen) und der Pressure Nodes (Umgebungsdruck) liegen und diese selbst keinen Versatz zu den Pressure Nodes und Antinodes haben. Dies geht aus der Auswertung der Bios® Simulationen NT4-NT12 hervor. *Nur bei Mode 2-4 liegen Magnitudenulldurchgänge minimal vor Druckbäuchen oder Druckknoten. Hier liegt auch das max. Magnitudenpotential jeweils vorher Richtung Mundstück versetzt.*

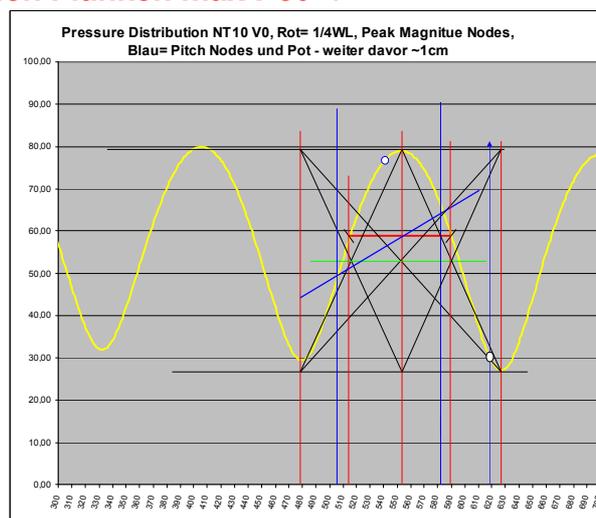
Das Ablesen der jeweiligen Positionen von Maxima/Minima des Druckes, Peak Magnituden, als auch Pitch Pot gestalten sich etwas ungenau, Knoten selbst sind wesentlich eindeutiger zu indentifizieren. Bei großen Wellenlängen (tiefen Tönen) sind die Auswirkungen der Abschwächung bei Pressure und Impedanz (erhöhtes Pot bei Pitch) Richtung Schallbecher wesentlich stärker als bei höheren Tönen. Die jeweiligen Nodes sind dagegen zuverlässiger abzulesen und daher genauer.



NT4: Pitch Pot + Nodes später, aber wegen großer WL in Summe kleinere Auswirkung
Rot quer = Magnituden Schnittpunkte an den Flanken max Pot +/-



NT8 = kein Versatz Pitch zu Peak Magnitude
Rot quer = Magnituden max Pot +/-



NT 10 = Pitch Pot + Nodes sind früher, wegen kleinerer WL größere Auswirkung

Beim Vermessen: Als Minima immer die betragsmäßig kleinere Minima (danach) nehmen. $\frac{1}{4}$ WL ist bei allen gemessenen Punkten bei $\sim 0,7$ der Pressure Maxima, bzw. $\frac{1}{8}$ WL vor und nach dem Pressure Maxima = Peak Magnituden max. Potential.

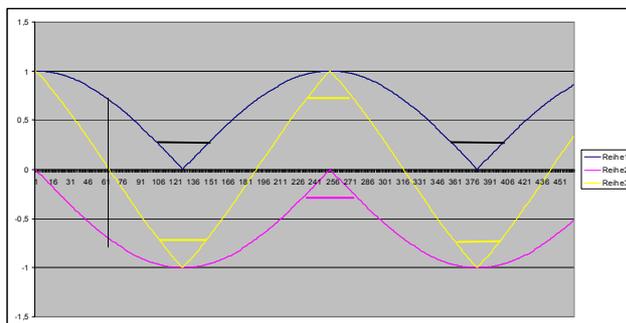
Druckverlauf - Hüllkurven:

Pressure „Potential“ fällt mit Abstand vom Mundstück
Ermittelte **Pressure Antinodes** sind daher etwas weiter Richtung Mundstück (**NT3, 5 und 7**)

Peak-Magnituden Potential fällt mit Abstand vom Mundstück... Druck wird geringer
Ermittelte Maxima/Minima sind dadurch etwas weiter Richtung Mundstück (**alle NT**)

Fluß „Potential“=umgekehrt steigt mit Abstand vom Mundstück
Peak-Pitch-Change Pot. steigt mit Abstand vom Mundstück... Fluß wird stärker
Ermittelte **Maxima/Minima** werden alle etwas weiter Richtung Becher abgelesen (nicht so stark).

Der Versatz der Pitch Kurven zu den Pressure/Peak Magnituden bewirkt bei tiefen NT eine „Spreizung“, um die MPC Popp.Frequ. eine Phasengleichheit, darüber eine „Stauchung“ an der Stelle XM IN-1 zu XM-PN, was gleichzeitig gegenteilig bei z.B. XM-PN und XM-IN2 der Fall ist! Bezogen auf die Wellenlänge wird der Pitch-Versatz beachtlich groß und beträgt bei NT 12 beinahe einen um 1/3 kleineren Abstand als 1/8 WL. Bei NT3 sind es rund 1/6 der 1/8 WL Abstand ohne Versatz.



(sehr vereinfachte Skizze) Blau: Druckverlauf, Rosa Flussverlauf, Gelb: Pitch Pot mit Constriction.

Wäre kein Versatz, und **keine Verluste**, wäre die Pitch-Kurve gelb Zigzag, diese ist aber eher sinusförmiger Gestalt, ebenso die Peak-Magnitudenkurve. Ebenso haben die errechneten als auch gemessenen Druckverlaufkurven die Knoten nicht am absoluten Nullpunkt, sondern höher. So muß es sich aus diesem Grund auch mit den Fluss/Displacement Kurven verhalten.

Mit zunehmender Frequenz steigen die Pressure Node Magnituden Beträge stark an und die Kurve ähnelt beinahe einer Sinuskurve.

Was passiert nun tatsächlich bei einer lokalen Perturbation und warum?

ART Mayer Landau, Plane Wave Simulation, Loss Faktor 1,33, 22 Grad C

Perturbation = jeweils Einengung oder Erweiterung L20mm +/-1mm Diameter, Pos. zentriert.

Druckveränderungen durch Perturbationen im Bereich XM IN1+ XM PN:

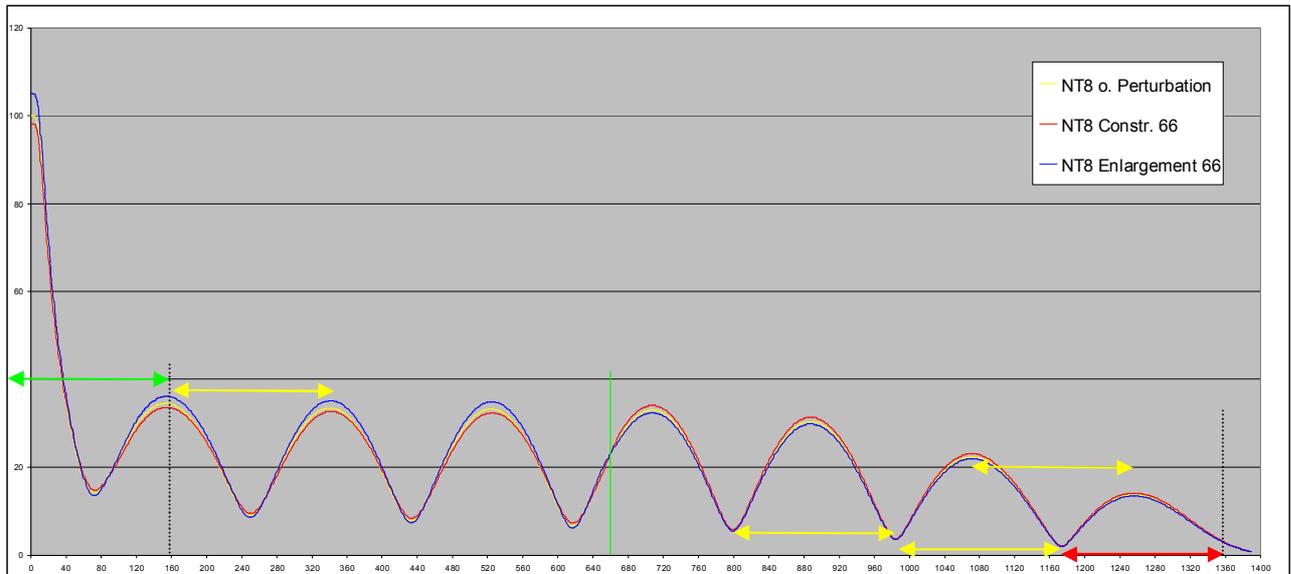
NT7 und NT8 haben an diesen Stellen den geringsten Versatz von Pitch Pot. zu Impedanz Pot. (Peak), und so die geringsten Unterschiede bei der MPC equiv. Länge und definiert hier einen generellen Längenunterschied „Grundversatz“ zu einem einseitig geschlossenen Rohr.

Be aware:

MPC has its frequency dependent acoustic length - at higher freq. longer, at lower freq. shorter

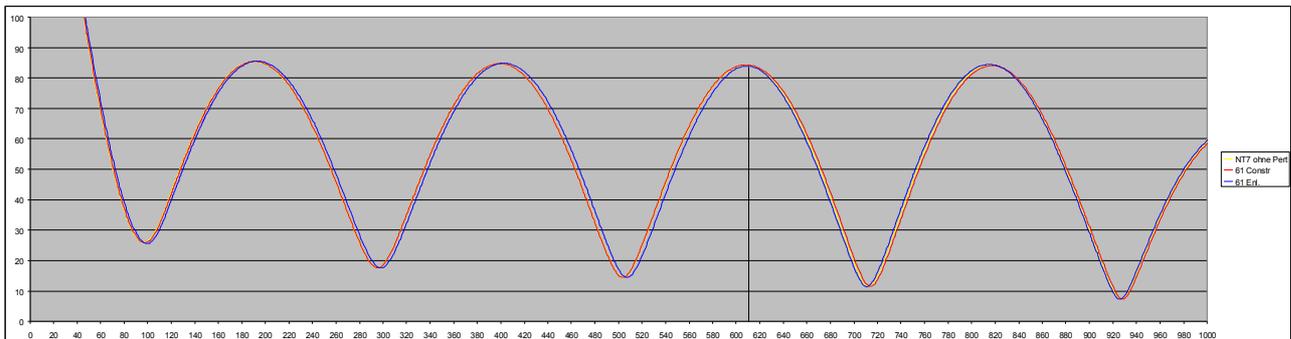
Bell: has its frequency dependent acoustic length - at higher freq. longer, at lower freq. shorter

This is the general case – also without any perturbation!



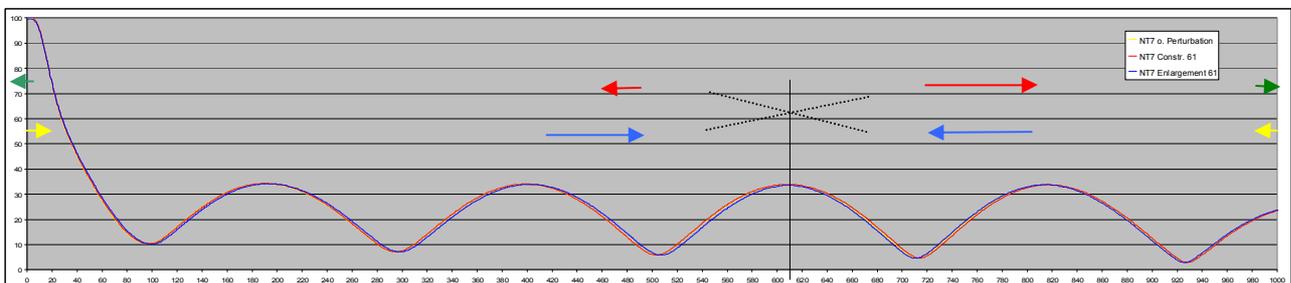
Druckverhältnisse - Veränderung komplettes Instrument V0, hier NT8, Perturbation at XM-Pitch
 Frequenzabhängig: Alle Pfeile + Gelb: jeweils exakt 1/2 Wellenlänge des Naturtones, hier 18,4cm
 Grün: Grundversatz MPC Equiv. Länge (+~2 cm akust. länger), Alle Pos. daher ~2 cm früher.
 Rot: Stretching im allerletzten Ende des Schallbechers.

XM- IN1= keine Magnitudenänderung der Impedanz Maxima Peaks:



Scale relative, NT7 61cm, Ausschnitt

	before Perturbation:		after Perturbation:		Pitch Peak	shared Min.:
	Pr-Nodes	Pr.Max	Pr-Nodes	Pr.Max		
Constr.	no shift		-> smaller	->	raised less	↗
Enlarg.	-> large	->	<- large	<-	lowered more	



Scale absolute to Magnitude NT7 at 61,0cm: Input Imp. Peak no change, Pressure Magn./Pr. Nodes no change, Effect: Pos. of PR-Nodes and Pressure Maxima are shifted = WL / Pitch Change

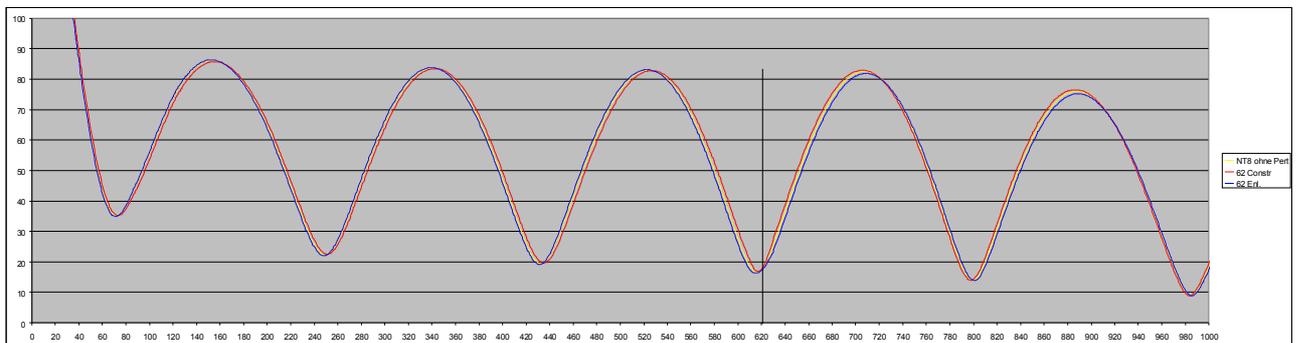
Constriction: before: <-no visible shift here **Pert. itself no shift,** after: ->small shift ->
 Enlargement: before: ->shift **Pert. itself no shift,** after: <- shift
 After Perturbation: mirrored effect.

Around the Pert. Center – here a “Pressure Antinode” für NT7:

Constriction: **the effected Pressure Antinode** becomes “broader”, meaning all positions before and after have TL less space = shorter Wavelength = **raises Pitch**
 *But: Mpc Eq. Length gets longer (=lower Pitch), Bell Reflection occurs later (= lower Pitch)

Enlargement: **the effected Pressure Antinode** becomes “slimmer”, meaning all positions before and after have TL more space = longer Wavelength = **lowers Pitch**.
 *But: Mpc Eq. Length gets shorter (=higher Pitch), Bell Reflection occurs earlier (=higher Pitch)

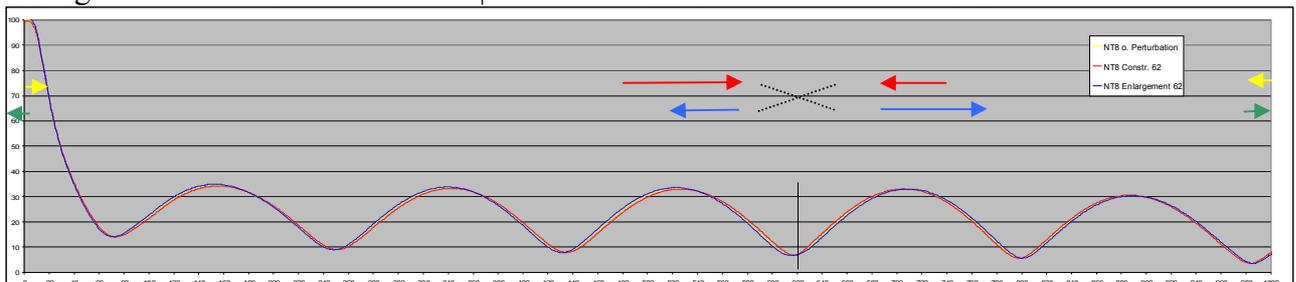
***At any Point, a Perturbation tries max Freq. shifts in either direction, but the overall Pitch-Pot. effect is limited/damped (but not reversed) to some degree, because the Mpc & Bell frequency / wavelength dependent acoustic behaviour are both working in the opposite direction!**



Scale relative, NT8 Perturbation at 62cm

(PNode ist aber bei 61,7cm; daher bereits geringe Pressure Max. + Pr-Node Magn. Unterschiede)

Pert.	before Perturbation:		after Perturbation:		Pitch Peak	shared Min.:
	Pr-Nodes	Pr.Max	Pr-Nodes	Pr.Max		
Constr.	-> more	->	<- less	<-	lowered	↗
Enlarg.	<- less	<-	-> more	->	raised	



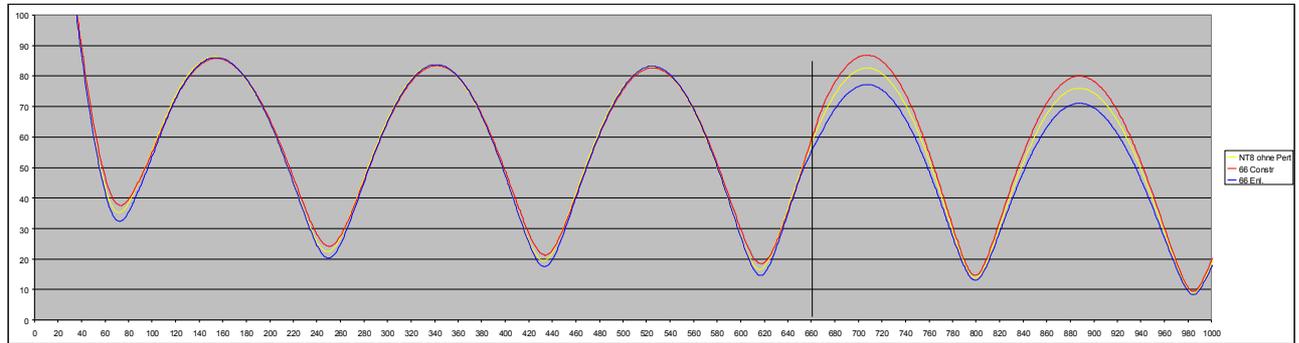
Scale absolut to Magnitudes, NT8 at 62cm

At Pert. Center – here a “Pressure Node” for NT8:

Constriction: **the effected Pressure Node** becomes “slimmer”, meaning all positions before and after have more TL space = longer Wavelength = **lowers Pitch**
 *But: Mpc Eq. Length gets shorter (=higher Pitch), Bell Reflection occurs earlier (=higher Pitch)

Enlargement: **the effected Pressure Node** becomes “broader”, meaning all positions before and after have less TL space = shorter Wavelength = **raises Pitch**.
 *But: Mpc Eq. Length gets longer (=lower Pitch), Bell Reflection occurs later (= lower Pitch)

***At any Point, a Perturbation tries max Freq. shifts in either direction, but the overall Pitch-Pot. effect is limited/damped (but not reversed) to some degree, because the Mpc & Bell frequency / wavelength dependent acoustic behaviour are both working in the opposite direction!**



relative, NT8 66cm at 0,707 = 1/8 WL früher als Press. Max

Pert.	Vor Perturbation:		Nach Perturbation:		Imp. Magn.	
	P-Nodes	Pr.Max	P-Nodes	Pr.Max	Peak	shared Min.:
Constr.	raised (Loss)	stay	stay	raised*	down	↘
Enlarg.	lowered	stay	stay	lowered	up	

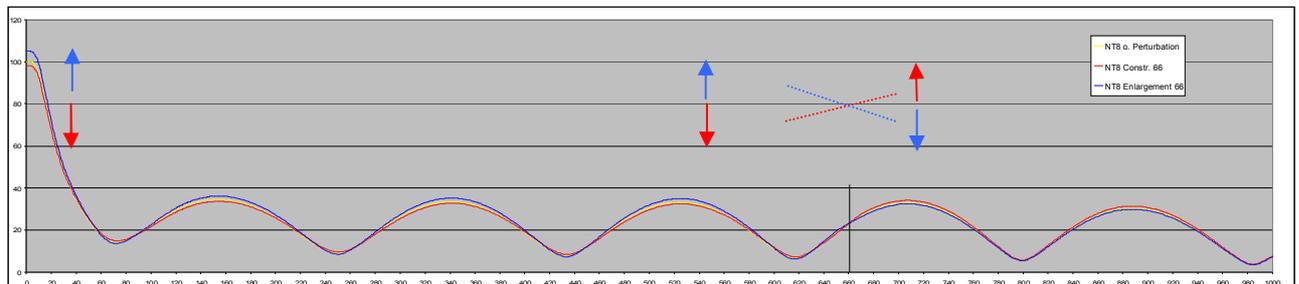
* mehr Energie / Abstrahlung Richtung Becher, dafür weniger Druck/Fluss am Mundstück (Losses)

Relative Scale:

Pressure Nodes sind vor der Perturbation stark verändert, danach Pressure Antinodes.

Constr: vor Perturbation Losses, bei Perturbation etwas höher, danach wesentlich höher.

Pressure Werte + Pitch sind lokal im Zentrum der Perturbation ebenfalls verändert.



NT8 66cm at 0,707 = 1/8 WL früher als Press. Max
absolute to Magnitudes at XM-Pitch at 66,0cm = Perturbation Center

Absolute Scale:

Before and at Perturbation: Constriction: Input Peak Maxima + Pr. Maxima lowered
Enlargement: -"- raised.

After Perturbation: mirrored effect.

*Impulse Response bei XM-PN (aus gesamtem Impedanz Spektrum errechnet) hier:
Größte Abweichung pos. zu neg. Reflex – der neg. Reflex ist bei Constriction hier größer*

Ergebnis der geänderten Druckverhältnisse und Geschwindigkeiten:

Betrachtet man die Pressure Veränderungen absolut, (Referenz Pressure Magnitudenhöhe am Platz der Perturbation), so werden am Eingang / auf Lippenebene die geänderten Verhältnisse Druck zu Fluß erkennbar, die sie in den geänderten Magnitudenhöhen der Impedanz Peak Maxima abbilden.

Frequenzabhängige equiv. Längen von MPC und Schallbecher wirken jeweils entgegengesetzt und dämpfen/reduzieren/begrenzen dadurch das mögliche Frequenz/Pitch-Potential.

Das Mundstück (und Mundrohr) beeinflussen zu dem die Impedanzkurve und Wave-Impedanz des gesamten Instrumentes stark, so dass Peak Maxima durch Frequenzänderungen auch jeweils kleine Impedanz-Magnitudenänderungen jeweils in Richtung der MPC Popping Frequ. erfahren. Ebenso erhöht der Schallbecher frequenzbezogen steigend die Waveimpedanz. Dadurch sind auch bei Impedanzmagnituden zusätzlich wirkende Rahmenbedingungen / Begrenzungen vorgegeben.

Das mögliche Impedanzmagnituden Potential nimmt mit Entfernung der Perturbation vom Mundstück ab, das mögliche Pitch Potential wird hingegen höher (zylindrischer Bereich).

Ab Stelle der Perturbation in Richtung Schallbecher sind die Änderungen der Druckverhältnisse bei absoluter Betrachtung als auch geänderter Wellenlängen spiegelverkehrt. Dies erlaubt es, nur den 1. Teil vom Mundstückbeginn bis zu Perturbationsstelle zu betrachten:

Peak Magnituden Potential:

Sinkt die Peak Impedanzmaxima Magnitude (Input Impedanz), ist das Verhältnis von Druck zu Fluß bis zur Stelle der Perturbation geringer, danach stärker. Die mögliche Flußrate ist stärker, danach geringer. (Steigt die Peak Magnitude, dann umgekehrtes Schema).

Einfluß der Perturbationsposition auf das Potential entlang der Instrumentenachse (zyl. Teil):

Die Gesamtanzahl der Pressure Nodes und Antinodes bleiben gleich, die Volumenänderung durch die Perturbation bleibt gleich, die Änderung wird aber von allen vorhandenen Pressure Antinodes inkl. 1. Druckbauch auf der Lippenebene bis zur Perturbation geteilt/verbraucht.

Ergebnis: das Peak Imp. Magnituden Potential ist umso größer, als der Anteil der Pressure Antinodes vor der Perturbation geringer wird. Dadurch nimmt das effektive Input-Impedanzmagnituden Potential ab, um so weiter die Perturbationsposition Richtung Schallbecher verschoben wird!

Das Peak Pitch Potential:

Sinkt die Peak Frequenz der Peak Maxima (Input Impedanz) =größere Wellenlänge, so werden alle Pressure Nodes und Antinodes Richtung Perturbation verschoben = weiter vom Mundstück entfernt und haben eine größerer Wellenlänge und somit auch größere Abstände.

An der Stelle der Perturbation selbst kommt es allerdings zu einer Stauchung, es ist der einzige Position, die sich nicht verschiebt!

(Steigt die Peak Frequenz, dann umgekehrtes Schema, im Perturbationsbereich kommt es zu einer Dehnung)

Einfluß der Perturbationsposition auf das Potential entlang der Instrumentenachse (zyl. Teil):

Die Gesamtzahl der Pressure Nodes und Antinodes bleiben gleich, die Volumenänderung durch die Perturbation bleibt gleich, es verschieben sich alle Positionen in eine Richtung vom (höhere Freq.) oder zum (tiefere Freq.) Perturbationszentrum. Es gibt also ein Verhältnis der Anzahl verschobener Punkte z.b. Pr. Nodes zu der nicht verschobener Position bei der Perturbation.

Umso weiter die Perturbation Richtung Schallbecher verschoben wird, umso höher wird das Übergewicht von geänderten Positionen zur nicht geänderten Position bei der Perturbation und umso höher ist das mögliche resultierende Pitch-Potential entlang der Instrumentenachse!

Das Paradox von lokalen Druck- zu Flußverhältnissen

Nach Bernoulli bewirkt eine lokale **Einengung = Constriction** in einer Röhre einen lokalen Druckabfall in der Einengung und eine lokales Ansteigen der Geschwindigkeit Richtung ->>, bei Erweiterung umgekehrt. Das beschreibt allerdings einen „Gesamtdruck“, wie z.B. den eines Gartenschlauches, wo Wasser in eine Richtung fließt und nicht einzelne Druckverhältnisse stehender Wellen von Naturtönen.
Hier ist die jeweilige Flußrichtung der Luftteilchen abwechselnd <<->> und >>-<<.

Meine für mich gefundene verständliche Erklärung der Abläufe dazu:

1. Schwingungen der Luftsäule werden erzwungen.

Damit dem Gasgemisch „Luft“ ein Beweggrund gegeben wird, sich von ihrer energiesparendsten Lösung – nämlich gar nicht zu schwingen (gibt keine Töne) - zu distanzieren - ist die Zugabe von externer, möglichst fortwährender, gleichbleibender Energie notwendig, z. B. durch möglichst periodische Lippenschwingungen. Beim Ausbleiben externer Energie endet der Fluß schlagartig, der Druck fällt auf das Umgebungsniveau der Pressure Nodes.

2. Vom Druck-Impuls zur Bildung einer stehenden Welle:

Ein vorerst einzelner Impuls **mit Überdruck** wandert von den Lippen durch das Rohr zum Rohrende / Schallbecher, dort wird der Puls reflektiert **und wandert als Unterdruckpuls zurück** Richtung Mundstück (~180 Grad Phasenwechsel begründet mit dem Treffen einer Region mit wesentlich kleinerer Wellen Impedanz.) Ebenso ist der zurücklaufende Puls abgeschwächt, da bei der Reflektion Schallenergie abgegeben wurde.

In der Zwischenzeit sind weitere Pulse vom Mundstück Richtung Schallbecher unterwegs...

Trifft dieser zurückwandernde Unterdruck Impuls auf einen erneuten 2. Überdruck Impuls, dann summieren sich beide an diesem Punkt und **ein Druckknoten (weder Über- noch Unterdruck) kann entstehen**. Passt das Timing der vor- und rücklaufenden Pulse, so bilden sich weitere solcher Druckknoten die jeweils $\frac{1}{2}$ Wellenlänge voneinander entfernt sind und eine stehende Welle entsteht.

Am geschlossenen Ende (Lippen) **erfolgt wiederum eine Reflektion, aber kein ~180 Grad Phasenwechsel**, begründet mit dem Auftreffen auf eine örtlich viel höhere Wellenimpedanz, und wenn das Timing passt, fügen weitere von den Lippen möglichst phasenrichtige Druckimpulse zusätzliche externe Energie hinzu.

3. Luft hat ein Gewicht (Masse) und eine Steifigkeit und Federkraft – die aber einer Verdichtung, wie auch einer Verdünnung auf natürliche Weise Federkräfte entgegensetzen.

4. Luft fließt. Verdichtete, als auch dünnere Luft wird wenn und wo immer das möglich ist, möglichst rasch in den Druckzustand der Umgebung gelangen. Dieser muß nicht der atmosphärische Druck sein – siehe das Auffüllen von Reifen mit Pressluft an der Tankstelle!

Luft wird aber immer von einem großen Überdruckzustand zu einem niedrigeren als auch von einem großen Unterdruckzustand in einen gemeinsamen neuen möglichst idealen Druckzustand fließen, aber nicht umgekehrt! D.h. ein momentaner Überdruckbereich entleert sich über den Bereich der Pressure Nodes dazwischen in einen momentan noch vorhandenen Unterdruckbereich, bis es keine Druckunterschiede mehr gibt. **Das ist die natürliche Rückstellkraft / Federkraft.**

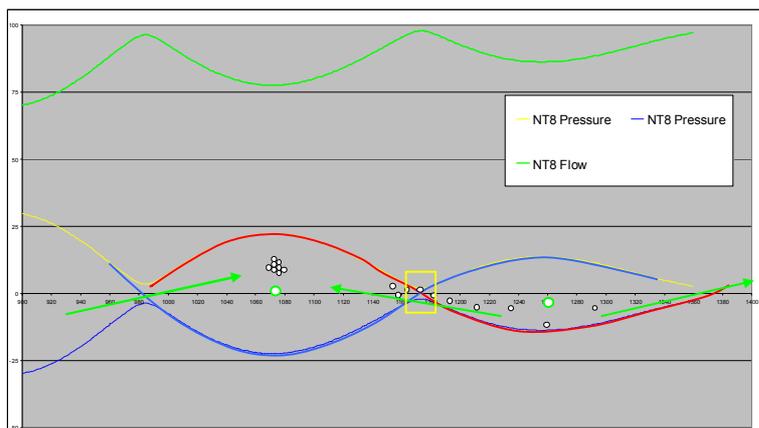
5. Die Natur und somit auch Flüssigkeiten/Gase nehmen immer den Weg, der mit geringstem Widerstand / Energieaufwand zu erreichen ist. Stellen mit der geringsten Gegenwehr sind das erste Ziel! Geänderte lokale Umgebungsbedingungen verteilen sich über alle restlich vorhandenen. Eine kleine lokale Änderung bewirkt eine komplette Neuverteilung anhand der physikalischen Umstände.

6. Schall in Luft breitet sich ~kugelförmig aus. Rohre behindern aber diese Ausbreitungsform. Luftteilchen kollidieren vermehrt mit der Rohrwandung umso kleiner der Rohrdurchmesser ist. Dies erzeugt Reibung = Wärme = Verluste. Enge Rohre haben einen höheren Wellenwiderstand. Eine lokale Durchmesseränderung bewirkt somit einen lokal anderen Wellenwiderstand, der bei einer Einengung die Ausbreitung behindert, bei einer Erweiterung die Ausbreitung begünstigt. (Partikelfluß).

7. Man muß in Zyklen denken – wie schnell sich diese wiederholen definiert ja die Frequenz! Grafiken zeigen den Druckbetrag als Linien, es handelt sich allerdings nicht um Transversalschwingungen wie die einer Saite, sondern um Longitudinalwellen. Man betrachtet wie bei einer Saite immer nur einen Zyklus und den übernächsten, also z.B. nur Überdruck! **Die Zyklen mit Unterdruck liegen dazwischen.**

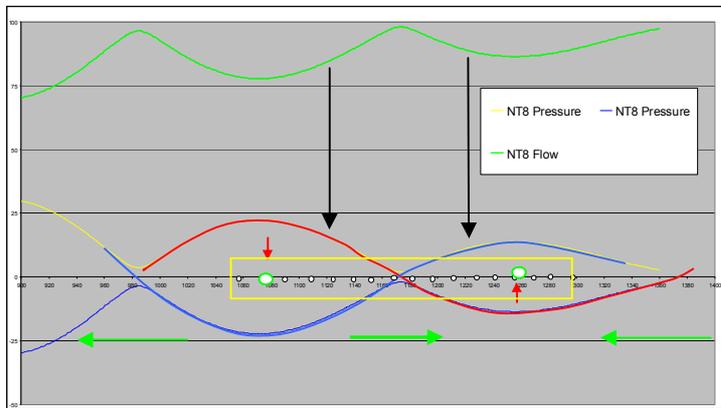
8. Wo im 1. Zyklus soeben ein max. Überdruck ist, da ist im nächsten Zyklus ein max. Unterdruck = immer ein Pressure Antinode bei dieser Frequenz, **aber nur solange** eine externe Kraft (Lippen) diese **forcierte Oszillation aufrecht erhält**, sonst fällt das Druckpotential auf das Niveau der Pressure Nodes.

Folgende Beispiele hier zeigen das simulierte Schallbecherende einer Trompete, das Prinzip ist aber über die gesamte Instrumentenlänge gleich und bei allen Blechblasinstrumenten gültig.



Rot: Momentaufnahme Phasen 1/3/5/etc; Blau: --> wird erst in Phase2 wirksam
Der Fluß regelt sich so, dass an **Pressure Nodes Umgebungsdruck herrscht**. Hier ist der Zeitmoment skizziert, wo die Luftmoleküle die größte Auslenkung erfahren haben, die Natur wird jetzt beginnen wieder ein völliges gemeinsames Druckgleichgewicht herstellen, was für einen Durchgangsmoment der Fall ist, Die Schwingung wird aber weiter durch externe Kraft und Trägheit aufrecht erhalten.

Symbolisch: Die grünen Partikel wurden/werden überhaupt nicht bewegt=Min. Fluss!

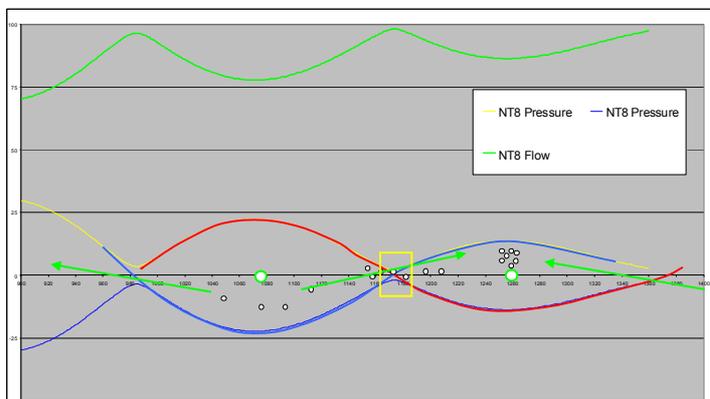


Der kurze **Durchgangsmoment von Über- zu Unterdruck und vs.**, aber das ist nur eine Momentaufnahme, denn die Teilchen sind nicht im Stillstand, **sondern weiter in Bewegung.** Rot und Blau zeigen hier nur die vergangene und zukünftige Druckzustände...

Symbolisch: Die beiden grünen Partikel werden theor. überhaupt nicht bewegt=Min. Fluss!

Aber das stimmt bei Blechblasinstrumenten nicht mehr ganz, denn wir haben ja einen Versatz!

Daher passiert nach diesem Druck-Gleichgewichtsmoment der entgegengesetzte Fall, der Vorgang wiederholt sich mit der nächsten Phase seitenverkehrt, usw. bis die externe Energiezufuhr beendet wird.



Blau: Momentaufnahme der Phasen 2/4/6/etc., das andere Extrem der Druckverhältnisse.

Rot: kommt erst wieder in Phase 3/5/7 etc. in Verwendung

An den Pressure Nodes herrscht nach wie vor Umgebungsdruck!

Es folgt darauf wieder die Flußumkehr, der kurze Durchgangsmoment mit Umgebungsdruck, hier aber wieder kein Stillstand, sondern eine Bewegung der Partikel in die bereits eingeschlagene Richtung, und das Schauspiel beginnt von vorne.

Pressure Nodes / Druckknoten:

Luftpartikel sind „lose“ in ihrem Ausgangs Rasterabstand – haben Umgebungsdruck, können leicht ausgelenkt werden. Damit der Druck hier nicht steigt und fällt müssen folglich die gleiche Anzahl an Luftmolekülen auf den Stellen zu jeder Zeit vorhanden sein. Dies kann nur der Fall sein, wenn aus momentanen Über- und Unterdruckregionen Luftpartikel „nachfließen“. Es sind somit auch die Positionen, wo Luftpartikel maximal hin- und her wandern = Flußmaxima.

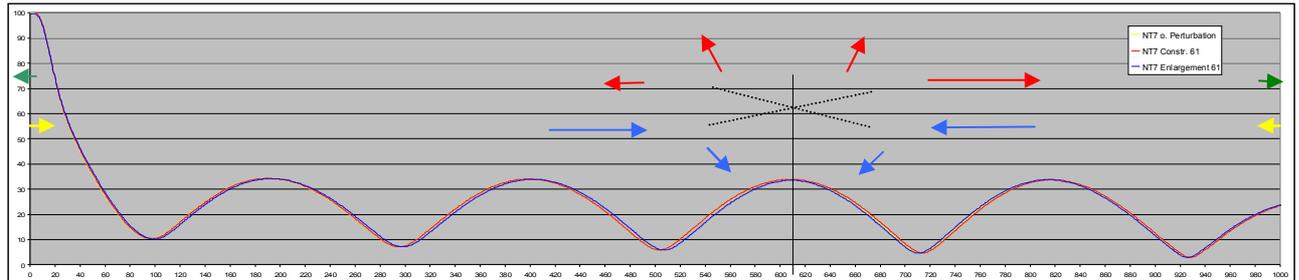
Hier treffen Druck-Pulse die Richtung Schallbecher laufen auf inverse Druck-Pulse, die vom Schallbecher als Reflektion zurückkommen und deren Druckunterschiede gleichen sich an dieser Stelle pro Zyklus 1 x aus.

Wo im 1. Zyklus eine Bewegung in eine Richtung z.B. \rightarrow , da ist im nächsten Zyklus die Richtung \leftarrow (Fluß- Speed Maximum bzw. Flow-Antinode wie am Tiefpunkt einer Schaukel).

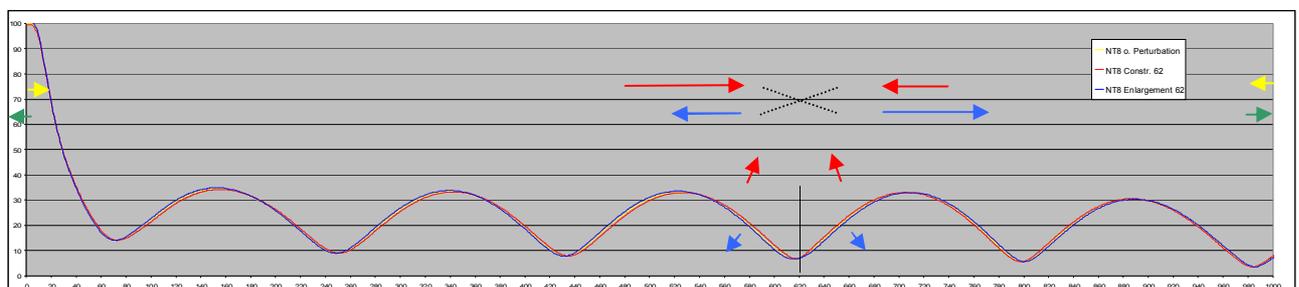
Hier vereinfacht nur 2dimensional dargestellt, in Wirklichkeit ist es multidimensional!

Situation bei Impedanz-Peak Magnitude Nodes:

Aus Sicht von Druckverhältnissen +/- sind Pressure Nodes die Zentren ohne Druckschwankungen bei Umgebungsdruck. Pressure Antinodes sind hingegen die Stellen für maximales +/- Potential.



NT7, XM-IN1



NT8, XM-IN1

Ein genauer Vergleich zeigt, daß hier **vor und nach der** Perturbation durch eine Constriction das lokale Druckpot. steigt, >Fluß fällt. **vor und nach der** Perturbation durch ein Enlargement das lokale Druckpot. fällt, >Fluß steigt.

Die Druckkurven zeigen das selbe Verhalten wie im engeren Mundrohr oder dem weiteren Schallbecher. Exakt an einem Druckbauch oder Druckknoten herrschen aber jeweils die beiden **theoretischen** „Extremverhältnisse“ von Druck zu Fluß 1:0 bzw. 0:1 (abgesehen von Verlusten, etc.), die für eine stehende Welle Voraussetzung sind. **Mundstück, Schallbecher und Verluste schaffen in Kombination ungleiche Verhältnisse! Es gibt einen Versatz, das Verhältnis ist kleiner!**

Zwischen diesen Extrempositionen nähern sich die Verhältnisse einander an und haben bei \sim XM-Pitch ein **theoretisches** Gleichgewicht von 0,5:0,5. **Dieses wird vom Mundstück 1st popping Frequenz dominiert (kaum Versatz bei NT7/8)**. Diese Verhältnisse lassen sich in Summe wesentlich energieschonender verändern als die Extrempositionen und die Natur sucht sich den einfachsten Weg. Die Flanken bieten daher die leichteste „Angriffsfläche“ mit den geringsten Verlusten.

Durch eine Verengung steigt die lokale Wave Impedanz = in Summe Verluste, da teilweise Partikel ohne Phasenumkehr jeweils zurückreflektiert werden und so den Fluß beiderseits der Verengung behindern (vermehrt Kollisionen). Diese müssen sich zwangsweise vor und nach der Einengung „aufstauen“ und ergeben so vor und nach der Perturbation eine jeweils höhere Dichte/Druck.

Durch eine Erweiterung fällt die lokale Wave Impedanz, = Partikel werden teilweise, aber mit 180 Grad Phasenumkehr zurückreflektiert = weniger Kollisionen vor und nach der Erweiterung = weniger Druck. In das größere Volumen passen bei gleichem Druck/Fluß zudem etwas mehr Luftmoleküle. Diese Moleküle fehlen vor und nach der Erweiterung und geben eine geringere Dichte/Druck.

Situation bei Impedanz-Peak Pitch Nodes

Zwischen einem

Pressure-Antinode

z.B. bei XM-IN1
für ungerade NT

= Flußnode

- = Luftteilchen werden aneinander oder auseinandergedrückt
- = die Abstände dazwischen werden kleiner oder größer
- = Über- oder Unterdruck im Vergleich zu Pressure Node
- = Luftteilchen werden abgebremst, erreichen hier ihren Totpunkt
- = und ändern gerade die Flussrichtung für den nächsten Zyklus
- = wie am oberen linken und rechten Scheitelpunkt einer Schaukel!

und einem

Pressure Node

z.B. bei XM-IN2
für ungerade NT

- = Umgebungsdruck = quasi Ausgangsabstand zwischen Luftteilchen
- = maximaler Fluß = Luftteilchen sind maximal beschleunigt
- = Luftteilchen bewegen und tauschen sich maximal aus

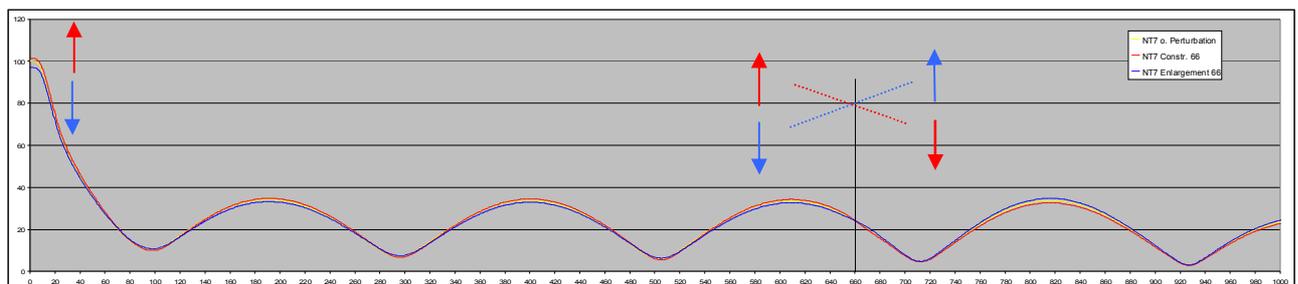
gibt es einen Punkt,

hier z.B. XM-Pitchnode,
Press.Antinode zu Pr.Node
für ungerade NT

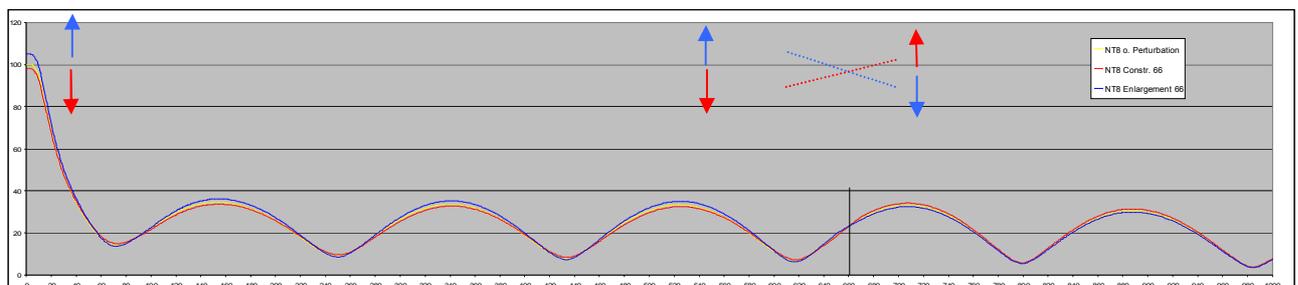
(ohne Versatz in der Mitte = jeweils 1/8 Wellenlänge entfernt)

wo es eine mittlere Austauschgeschwindigkeit /Flußrate gibt,
und **moderate** Schwankungen zwischen Über- oder Unterdruck
möglich wären

Ohne Perturbation würde die Flußrate nach einem Druckbauch in Richtung Druckknoten stetig zunehmen, diese Zunahme des Flusses wird durch eine Verengung aber gehemmt. Die Dichte **vor** der Verengung steigt an. Bei einer Erweiterung wird die Flußrate weiter erhöht, die Dichte **vor** der Erweiterung fällt.



NT7, XM-Pitch



NT8, XM-Pitch

Auf der anderen Seite eines Druckbauches sind die Verhältnisse umgekehrt:

Ohne Perturbation würde vor einem Druckbauch die Flußrate stetig abnehmen, mit einer Verengung nimmt dieser abnehmende Fluß noch zusätzlich ab, der Austausch mit dem folgenden Druckbauch ist gehemmt, die Dichte **nach** der Verengung steigt. Eine Erweiterung begünstigt die Flußrate und die Dichte **nach** der Erweiterung fällt. Vor der Perturbation sind die Verhältnisse seitenverkehrt.

Perturbationen an den Extrempunkten Pressure Antinodes und Pressure Nodes verschieben in Summe die Frequenzen, dh. bremsen oder beschleunigen. Perturbationen in der Mitte – dieser Extreme sind die beiden weiteren Extrempunkte, wo sich nur die Input-Peak Magnituden ändern. Pressure Magnituden können sich in diesem Moment nur in der Höhe in beiden Richtungen verändern. Das ergibt Verluste oder Gewinne in der Input Peak Impedanz Magnitude.

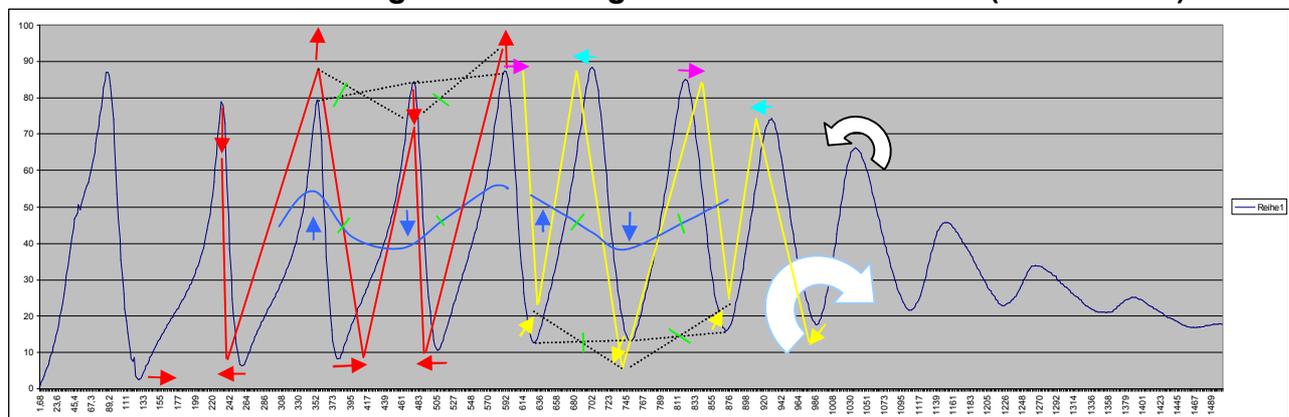
Eine Einengung nach einem / jedem Druckbauch erhöht die Input Impedanzmagnitude des Peak, Eine Einengung vor einem / jedem Druckbauch reduziert die Input Impedanzmagnitude des Peak.

Durch eine Verengung an einer exakt solchen Stelle (hier XM-PN) steigen die Druckschwankungen vor der Verengung und fallen die Druckschwankungen nach der Verengung bei ungeraden NT. Bei einer Erweiterung bzw. geraden NT jeweils umgekehrt.

Perturbationen – Auswirkung auf den gesamten Naturton & seine Nachbarpeaks

Perturbationen wirken sich nicht nur auf die Peak Maxima aus, sondern auf die komplette Resonanz, inkl. Minima davor und danach und somit auf Nachbarfrequenzen, die sich die Minima teilen. Änderungen bei den Minima fallen sogar wesentlich größer aus. Man beachte an diesen spez. Positionen den Unterschied zwischen ODD und EVEN NTs!

Schematische Darstellung der Änderungen durch Constrictions (übertrieben)



- Rot = **Constrictions bei XM-Pitch** Peaks -> Amplitude, Minima -> Frequ.
Odd NTs nehmen Even NTs Potential und Frequenzraum weg.
- Gelb = **Constr. bei XM-IN1** Peaks -> Frequenz, Minima -> Amplitude
Orange: ODD = Press. Max., EVEN = Press. Node
- XM-Ampl. Positionen sind weiter voneinander entfernt, dh. Offset.
- Blau = **Wave Impedanz bei XM-Pitch** ändert sich mit Maxima, selbe Richtung
Wave Impedanz bei XM-IN1 ändert sich mit Minima, selbe Richtung
 Dazwischen - an den Flanken aber unterschiedlich.
- Grün: Symbolische Schnittpunkte Wave Impedanz ohne Perturbation
- Schwarz: Drehrichtung Peaks und Waveimpedanz, Weg Mundstück -> Schallbecher
 Hellblau: Drehrichtung Minima (mehr Potential), Weg Mundstück -> Schallbecher

Impedanz – Magnituden Potential Perturbation - positive bzw negative Werte:

Ein positiver Wert bedeutet weniger Dämpfung und eine höhere Resonanzspitze, Eine negative Pos. bedeutet mehr Dämpfung und eine schlechtere Resonanzgüte als die Ausgangsposition ohne Perturbation, die bei Null ist.

Mein bisheriger Perturbations-Kompass: ↻↗↖↙↘↕↔

Es gibt wiederkehrend jeweils 8 markante Positionen im Zusammenspiel von Druck, Fluß, Pitch und Peak Amplitude als Resultat einer Perturbation.

Zeichnet man eine Uhr bzw. einen Wegweiser mit Himmelsrichtungen und verwendet Zeiger nach links ☹ Westen für max Vertiefung Pitch, ☺ nach rechts Osten für max. Erhöhung Pitch, Pfeil nach oben / Norden ☯: max höhere Impedanz-Peak Amplitude, Pfeil nach unten / Süden ☵: max. Reduzierung der Impedanz-Peak Amplitude, dann ergibt sich folgendes Bild:

Vom Instrumentbeginn bei Pressure MAXIMA, MPC links, Richtung Becher aus gesehen:

Der Richtungszeiger dreht gegen den Uhrzeigersinn, (sowohl bei Constrictions, als auch Enlargements, da alle NT mit einem PrMax beginnen!) Der Mittelpunkt der Uhr ist die Ausgangsbasis ohne Perturbation.

Perturbation mit Constrictions beginnt Richtung OSTEN ☺:

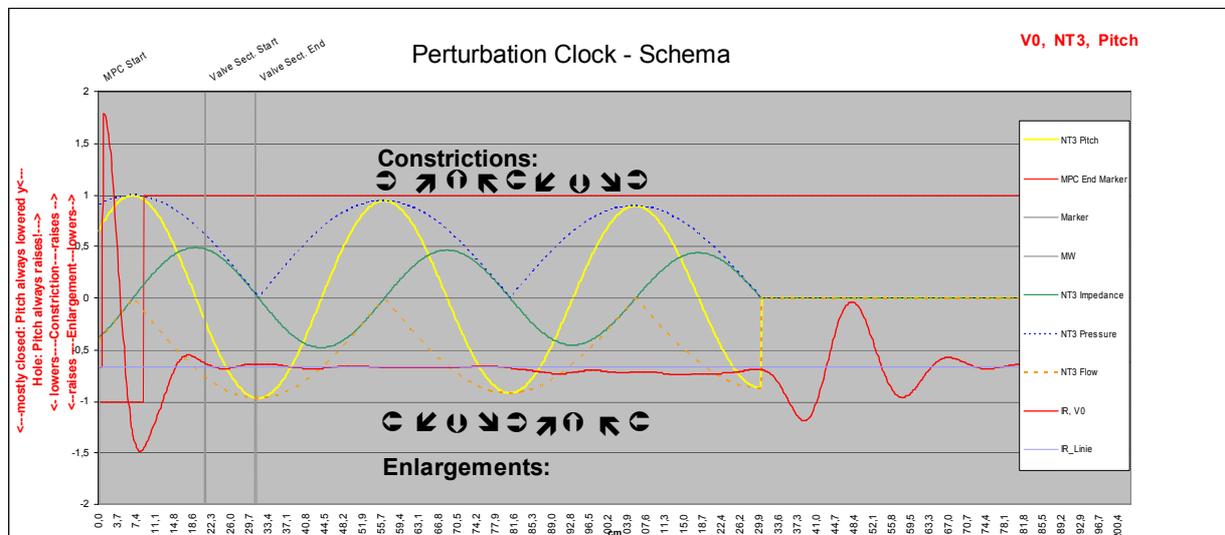
⌚	Start at MPC	Pitch-Change	Imped. Change
☺	Pressure Max (Antinode)	~raises max	no change
↗		raises (less)	raises (less)
☯	Pitch XY nach PrMax vor PrNode	no change	raises max
↖		lowers (less)	raises (less)
☹	Pressure Node	~lowers max	no change
↘		lowers (less)	lowers (less)
☵	Pitch XY nach Pr.Node vor PrMax	no change	~lowers max
↙		raises (less)	lowers (less)
☺	wieder Pressure Max	usw.	

Perturbation mit Enlargements beginnt Richtung Westen ☹:

⌚	Start at Mpc	Pitch	Amplitude
☹	Pressure Max (Antinode)	~lowers max	no change
↖		lowers (less)	lowers (less)
☯	Pitch XY nach PrMax vor PrNode	no change	~lowers max
↘		raises (less)	lowers (less)
☺	Pressure Node	~raises max	no change
↗		raises (less)	raises (less)
☵	Pitch XY nach PrNode vor PrMax	no change	~raises max
↖		lowers (less)	raises (less)
☹	wieder Pressure Max	usw.	

Zu beachten ist, daß die Amplitudenpotentiale allerdings wesentlich höher sind als die Pitch Potentiale (in % des Ausgangswertes), d.h. unsere Uhr wäre relativ hoch aber wenig breit, bzw. stimmen dadurch die Angaben SW, SO, NO und NW nur als grobe Richtungsangabe, auch wegen Extra ~ Pitchversatz zu 1/8 WL Abstand zwischen den Amplituden- und Pitchkurven.

Zwischen den Richtungen ist der Verlauf/das Potential kontinuierlich fließend, die Richtungen Nord, Süd, Ost und West sind allerdings ziemlich absolute Angaben.



Vereinfachtes Schema – (ohne Versatz nach unten, Perturbation Pot. alle gleich stark)

Unterschiede Details im Potential inkl. Versatz, sowie genereller Trend:

Bei Constriction vom Instrument Beginn aus gesehen:

Nahe eines Press. Node \odot (hier Pitch max vertieft), Richtung nahe Press Max Pot:

nach unten, Ampl. fällt, alle Pfeile **zeigen weg von Ampl. Minus-Maximum bei Pitch XY in Richtung aussen**, dann steigt wieder zurück \odot bis nahe Press Max. Pot.

Wirkung – es hat eher eine **verbreitende Wirkung auf Vertiefungen!**

Nahe eines Press. Max. Pots \odot (hier Pitch max erhöht), Richtung nahe Press Node:

nach oben, **Pfeile Richtung innen oben Mitte, nach Mitte wiederum Pfeile in Richtung max. Amplitude-Plus (bei XY Pitch)**, bis Press. Node, hier Vertiefung Pfeil Richtung vorhandenes PrMax \odot .

Wirkung: hat eher eine Wirkung Richtung Impedanz Erhöhung, weniger Pitch.

Bei Enlargement von Pressure Node zu Pressure Max Pot: hier steigt die Kurve, aber alle Pfeile im + Bereich zeigen auf XM-PN,

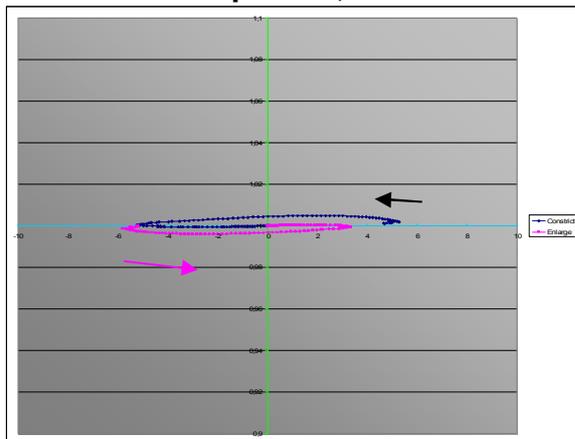
von Pressure max Pot zu Pressure Node: Start nach unten, Pfeile zeigen nach aussen (auch nach XM).

Dies bewirkt scheinbar in Summe den allgemeinen Trend, dass **eine Pitch Vertiefung** sowohl mit Constr., als auch mit Enlargement **leichter / schneller stattfindet** und aus diesem Grund von vornherein auch ein kleiner Versatz nach unten gegeben ist. **Jede Perturbation verursacht Verluste, diese vermindern die Geschwindigkeit und vertiefen.**

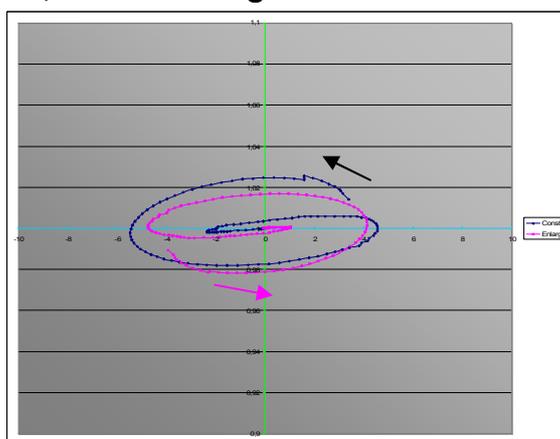
Enlargement Pot. verliert „zugunsten“ von Constr. Potential spez. im Becher, weil sich die Rahmenbedingungen stark ändern (sicher erweiternder Diameter, Flaring Bell und dadurch das Verhältnis von Druck zu Fluß, sowie die Geschwindigkeit (Wave Velocity.)

Zudem entstehen durch Hülsen bzw. Gaps sogenannte „early reflections“, und ich vermute, dass diese Reflektionen bei Constrictions Richtung Mundstück scheinbar wesentlich stärker als bei Enlargements ausfallen.

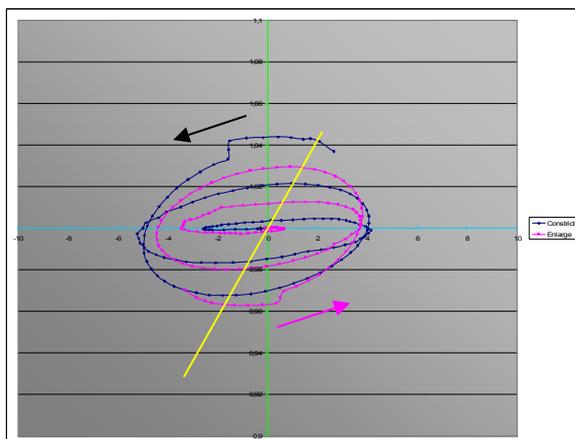
ART Perturbation V0 – Veränderung Peak Maxima von Pos. 10cm bis Becherende Perturbationsspiralen, blau=Constriction, rosa = Enlargement



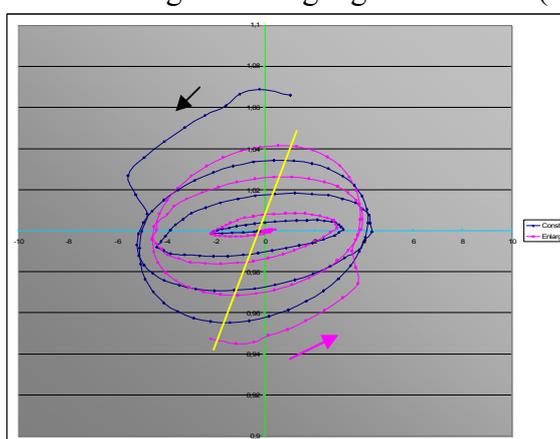
NT1



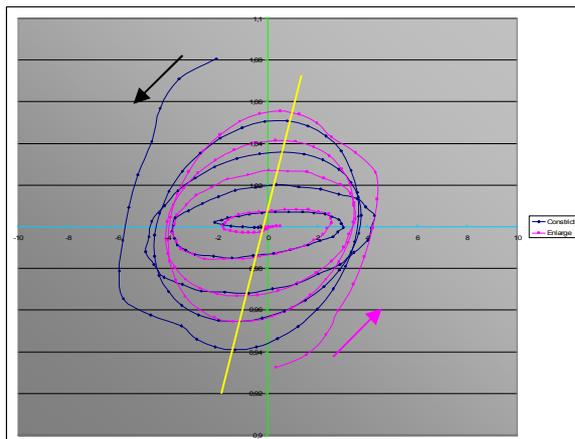
NT2: hat die größte Neigung nach rechts (Versatz)



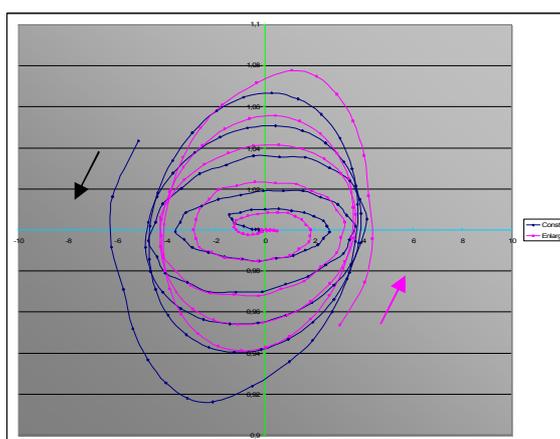
NT3



NT4



NT5



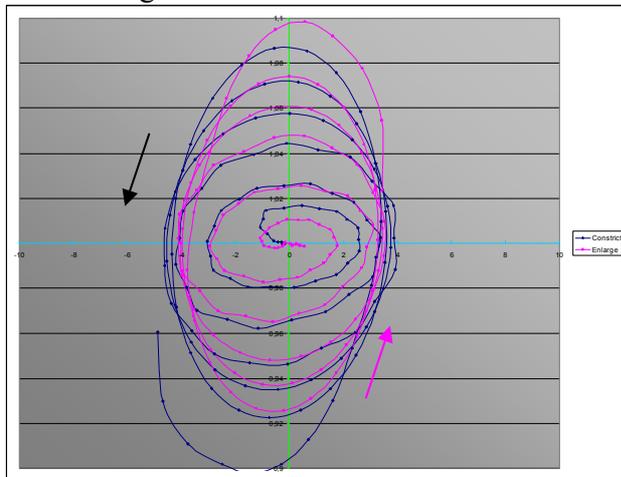
NT6

Fadenkreuz 0 Cent bei Faktor 1,0 in der Grafik ist ohne Perturbation bzw. am absoluten Becherende. jeder Punkt in der Grafik ist genau 1cm Abstand. Die hellblaue Linie zeigt die Frequenzabweichung - / + in Cent. und zeigt auf die Amplituden Nulldurchgänge Nodes.

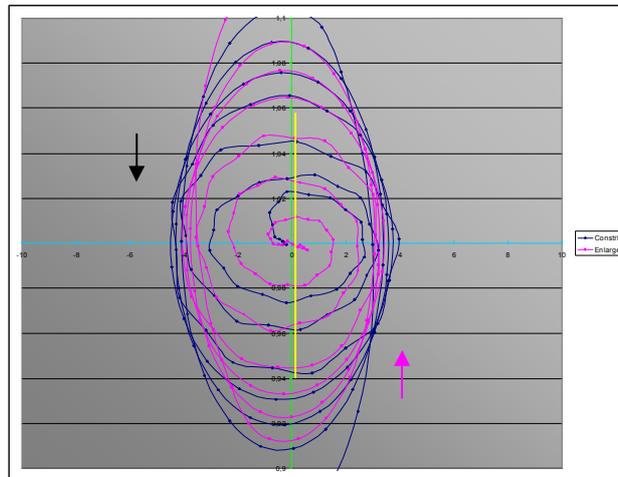
Hellgrün steht für Pitch-Nulldurchgänge und zeigt die Veränderung der Magnitudenhöhe.
Blau = Constrictions, Rosa=Enlargements, **Gelb = Max. Peak Magnituden Pot. / Versatz.**

Pfeile zeigen Perturbationsrichtung (nach Mundstück -> Richtung Becherende) und Versatzwinkel.
Ohne Versatz und Pot. Diff. wären die max. Änderungen jeweils genau an den Linien.

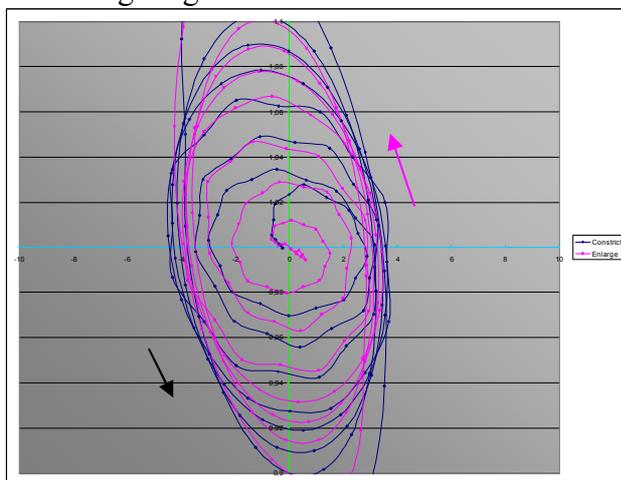
Fortsetzung NT7-NT12:



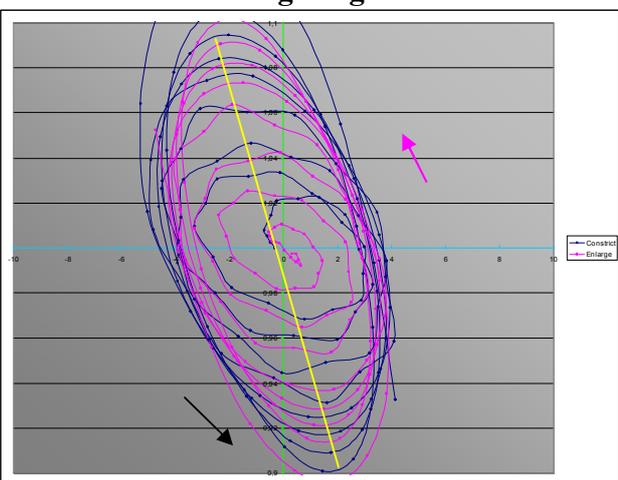
NT7 - geringer Versatz



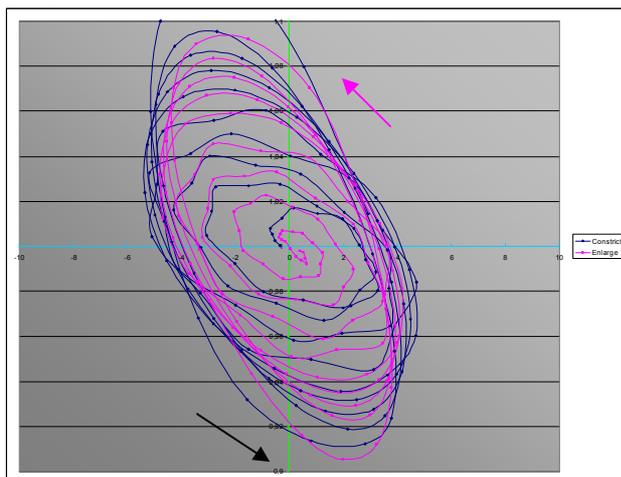
NT8 – hier ist der geringste Versatz



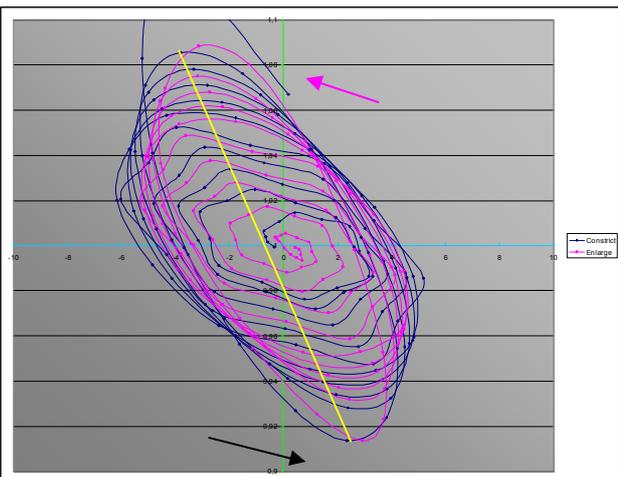
NT9



NT10



NT11



NT12: größte Neigung nach links

Sehr gut erkennbar:

- Die Neigung zeigt den Versatz der Nulldurchgänge von Peak Pitch und Magnitude
- Das abnehmende Magnitudenpotential Richtung Becher (Spiralform)
- Das steigende Pitchpotential sowie die anschließende Abschwächung durch Becher
- Etwas mehr Potential zum Vertiefen als zum Erhöhen, spez. unter der MPC Popp. Frequ.
- Etwas größeres Pitch-Potential mit Constrictions als mit Enlargements
- Hinweis: Mit Simulation Mapes-Riordan ist das Potential von Enlargements größer.*

ART Simulation V0, Constrictions von Position 42-72cm, Punkte sind je 1 cm:

1 Umrundung in der Grafik = $4/8 WL = 1/2 WL$; $1/2$ Runde = $2/8 WL = 1/4 WL =$ Abstand Nodes
 Blaue Linien zeigen das **Max. Pitch Potential**. Rote Linien das max. Magnitudenpot.

Odd / Ungerade NT:

XM-IN1 = rechts = Druckbauch

XM-IN2 = links = Druckknoten

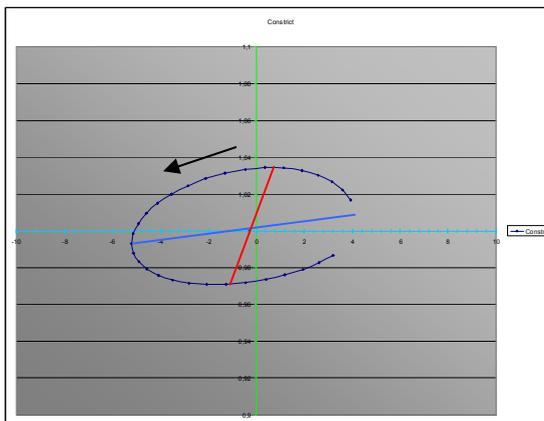
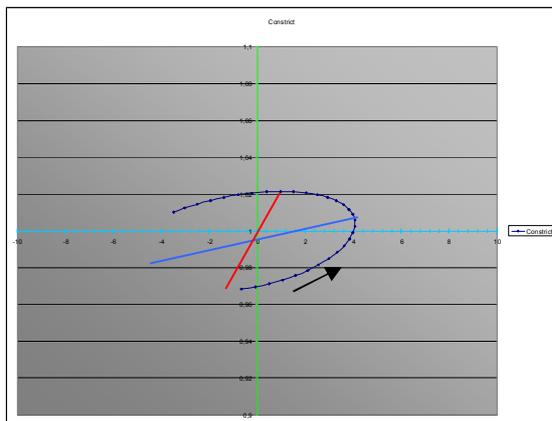
XM-Pitchnode ist oben (Mitte)

Even / Gerade NT:

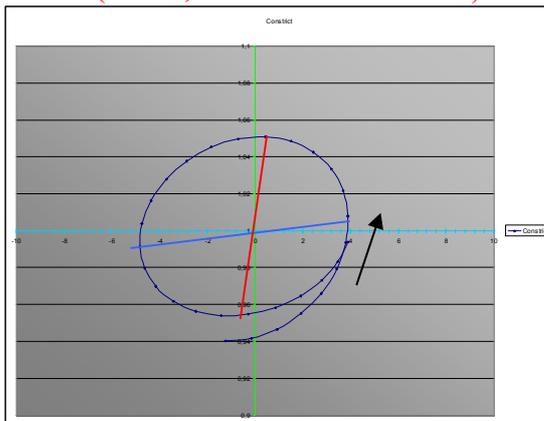
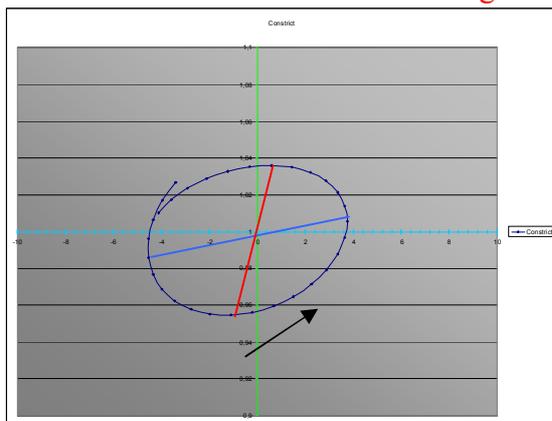
XM IN-1 = links = Druckknoten

XM IN-2 = rechts = Druckbauch

XM-Pitchnode ist unten (Mitte)

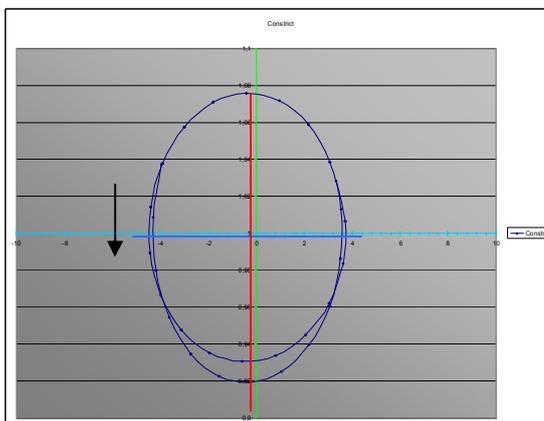
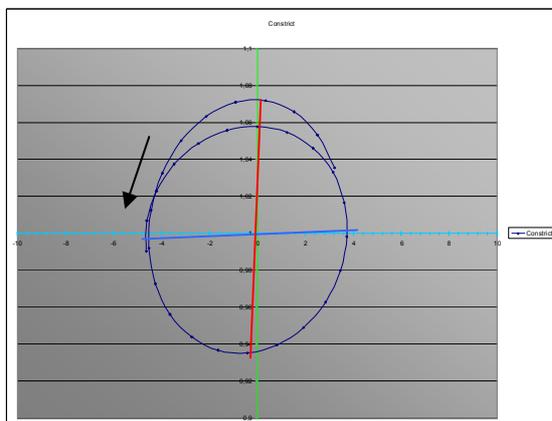


NT3 XM-IN1+2: max. Pitch.Pot **später** als Magnituden-Nodes wie XM-IN1+XM-IN2 (hellblau)
 Pitch-Nodes wie XM-PN (hellgrün) sind hier **später** als das max. Magnituden Pot. (früher, näher am Mundstück)



NT5

NT6



NT7

NT8 keine Neigung = **Versatz 0**
 XM Pitch = $1/8 WL$ nach XM-IN1

Oberhalb eines Symetrie-Punkts (hier Mode 8):

Odd / Ungerade NT:

XM-IN1 = **rechts** = Druckbauch

XM-IN2 = **links** = Druckknoten

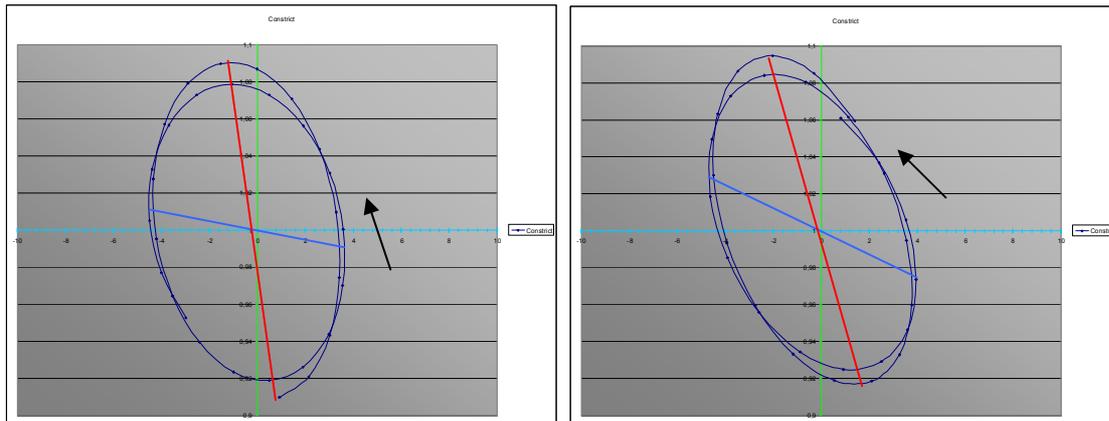
XM-Pitchnode ist **oben (Mitte)**

Even / Gerade NT:

XM IN-1 = **links** = Druckknoten

XM IN-2 = **rechts** = Druckbauch

XM-Pitchnode ist **unten (Mitte)**



NT9 XM-IN1+2: max. Pitch.Pot **früher** NT10 XM-1N+2: max. Pitch.Pot **früher**
als Magnituden Nodes wie XM-IN1 + XM-IN2 (hellblau)

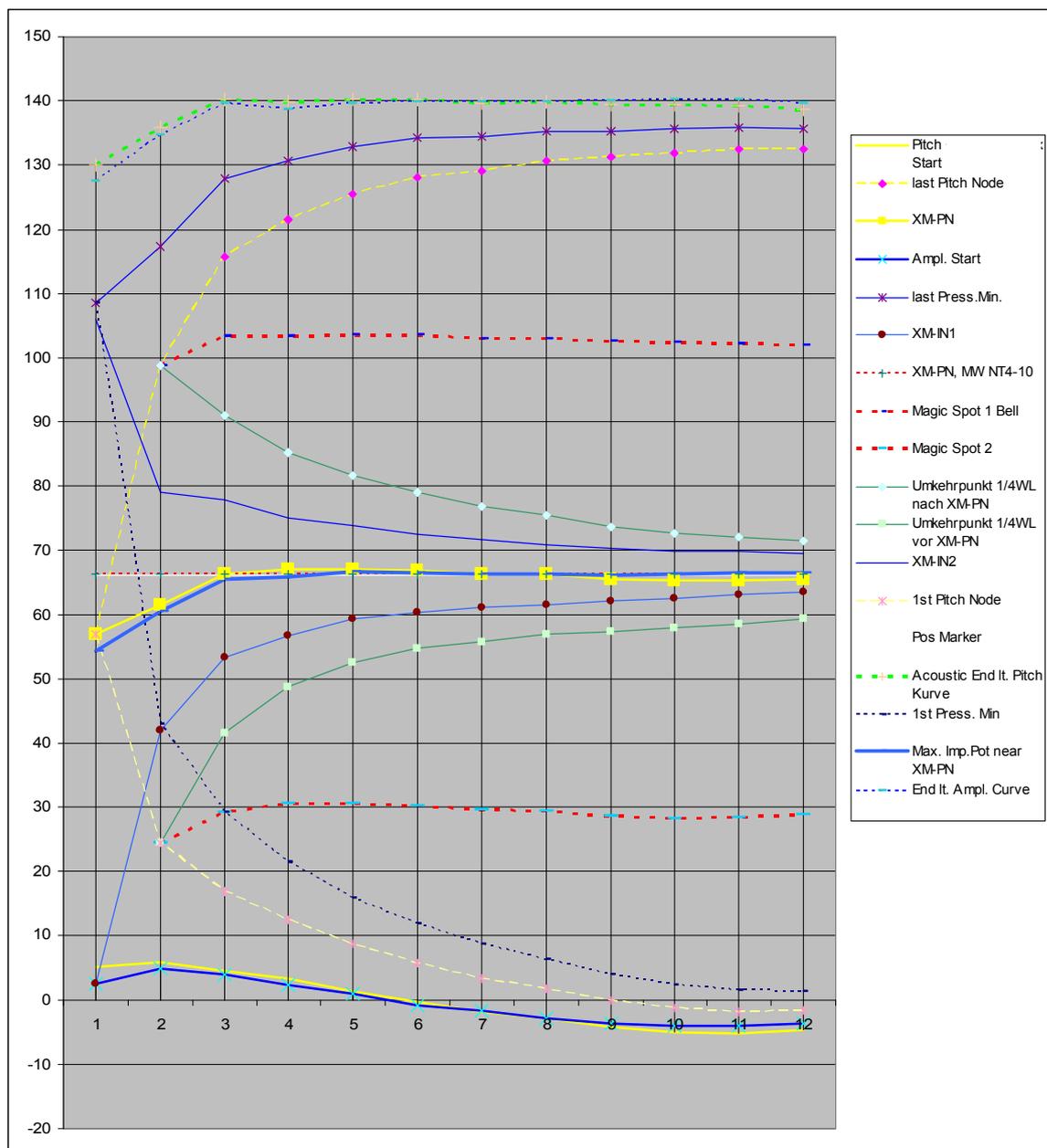
Pitch-Nodes wie XM-Pitch (hellgrün) sind nun früher als das max. Magnituden Pot (später, weiter am Schallbecher)

Peak-Magnituden Potential Positionen stehen in einer Beziehung (Domäne) zu Impedanz-Minima Frequenzen, also Antiresonanzen vor und nach den Peaks, diese tauchen daher jeweils weiter in Richtung der Mitte der Minima auf, liegen daher nicht an „Peak“ Spitzen, sondern an den jeweils flacheren Flanken der Peaks.

Ein Versatz beginnend am Mundstück der unter dem Symetrie-punkt einer längeren Wellenlänge als die der Peak Maxima Frequenz, darüber einer kürzeren Wellenlänge als die der Peak Maxima Frequenz entspricht.

Peak-Frequenz Potential Positionen stehen in einer Beziehung zu Impedanz Peak Spitzen und Impedanzminima-Magnituden und deren Versatz zu einer Mitte zwischen den Minima – einem „Mode-Zentrum“.

Kennkurven, meine „REGIONS OF INTEREST“, und Ihre Besonderheiten:



Amplituden – und Pitch – Start / XM / Stop Positionen V0, physische Länge = 139cm
 Pitch Start = max. Pitch Pot., Amplitudenstart = Pressure Antinode = Druckbauch

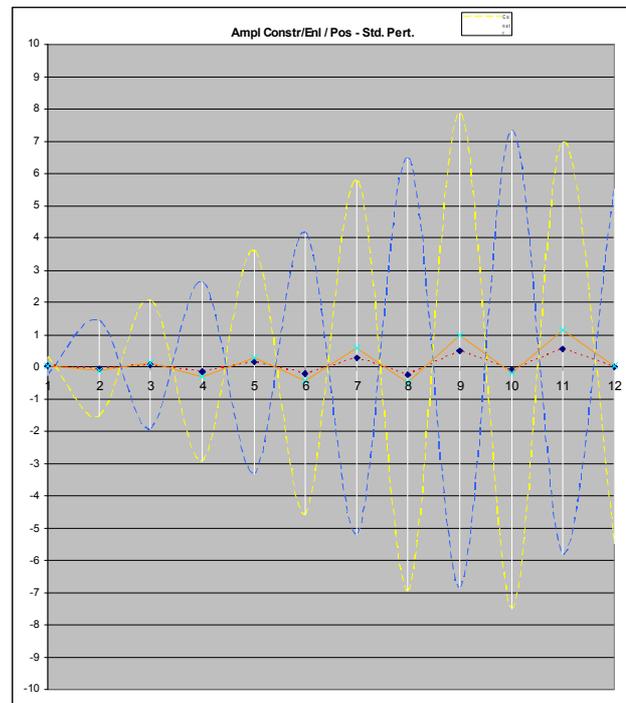
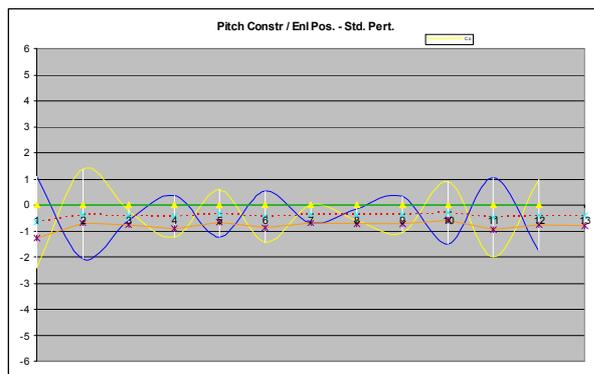
Kenn-Kurven – von XM-PN Richtung Schallbecher:

XM-PN = XM-Pitch: Pitch Start + ((NT#*2-1) * 1/8 WL)
 (Faustregel bei Bb Trompete grob: (Instrument physische Länge -7cm) / 2 = ~66cm V0
 Besser: (IR-Bell Minima / 2) - Mehrlänge MPC u Mundrohr equiv. L 2cm = ~66cm V0

Hier haben die Naturtöne ohne Ventilbetätigung =V0 ihre Pitch Nulldurchgänge.

Impedanz-Amplitude hat hier hohes – aber nicht höchstes Potential weil verschoben,
 Max. Impedanz-Pot. ist bei XM-IN+ 1/8 WL (Pitch-Versatz)

Impedanz: alle ungeraden NT steigen, gerade fallen mit Constriction (Enl.umgekehrt).



Perturbation bei XM-PN bei ~66cm: links Pitch (Cent),
rechts Impedanz % Change Gelb = Constriction, Blau = Enlargement

XM-IN2 = XM-IN1 + 1/4 WL:

Das Spiegelbild von XM-IN1 Richtung Becher nach XM-PN, Magnituden Nulldurchgänge.

Geradzahlige NT haben hier ein **Druckbäuche**, Ungerade NT Pressure **Druckknoten**.

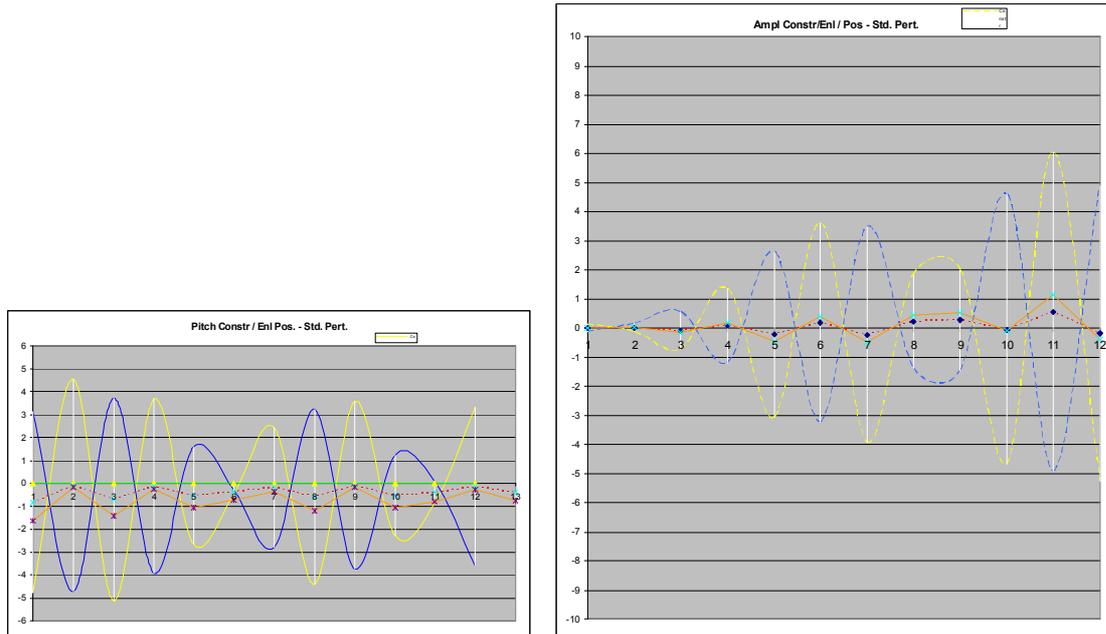
Mit Versatz dazu: XM-IAN + 1/8 WL:

Pitch Änderungen haben hier beinahe höchstes Potential,
alle ungeraden NT **fallen**, alle geraden **steigen** mit Constr., bei Enlargement umgekehrt.

Umkehrpunkte nach XM-PN; XM-PN + 1/4WL

1. An diesen Punkten ist für den jeweiligen NT wieder ein Pitch Nulldurchgang.
2. **Ab dieser Pos** – Richtung Bell - bis zum Magic Spot Bell haben tiefere NT das selbe abwechselnde Pitch Muster wie bei XM-IN1, der betreffende NT einen Pitch Nulldurchgang höhere NT sind dagegen zu diesen seitenvertauscht / reversed!
3. Je weiter der Punkt entf. ist – bei tieferen NT, treten bei höheren NT weitere Umkehrpunkte auf (nach weiterer 1/4 WL)
4. Impedanz-Amplitude:
An diesem Punkt fallen ungerade NT bei Constr, gerade steigen bei Constr. (bei Enl. umgekehrt).

5. von XM-PN bis zu dieser Pos:
 sind alle tieferen geraden NTs im Bereich eines PrMax, höhere eines Pr. Nodes,
 sind alle tieferen ungeraden NTs im Bereich eines PrNodes, höhere eines Pr. Max.
6. NT 2 schneidet hier beim Magic Spot.



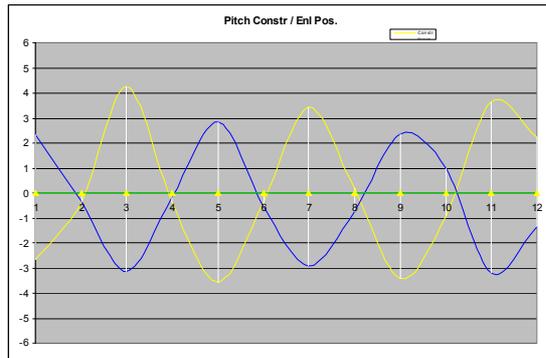
*Perturbation bei Umkehrpunkt nach XM-PN: hier V0, bei 79cm, (NT6)
 Gelb = Constriction, Blau = Enlargement*

Magic – Spot Bell bei ca 103cm; XM-PN + (NT# * 1/8WL)

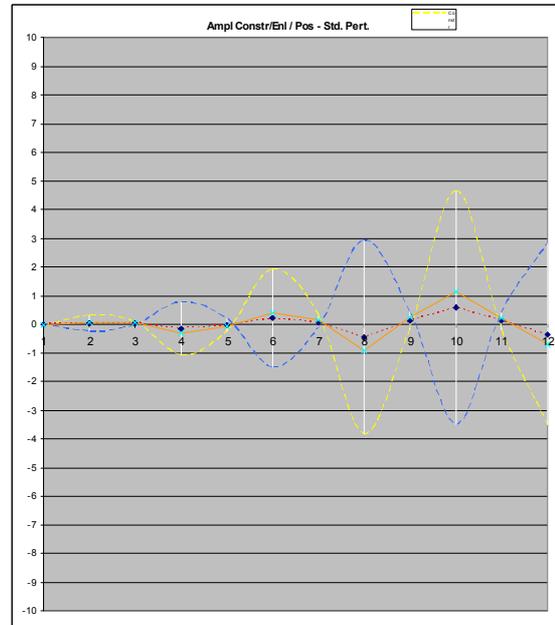
Pitch: alle geraden NT haben hier Pitch Nulldurchgänge / Pitch-Nodes
 ungerade steigen und fallen abwechselnd, NT1, NT5, NT9 fallen, (near Pressure Nodes)
 NT 3, NT7, NT11 steigen mit Constr. (bei Enl.umgekehrt) (near Pressure MAX.)
Pitch NT2+10 haben bereits großes Offset und fallen.

Amplitude mit Constriction (bei Enlargement umgekehrt):

NT2 steigt	PrNode	näher
NT4 fällt	PrMax	näher als Pr.Node
NT6 steigt	PrNode	näher
NT8 fällt	PrMax	näher als Pr.Node
NT10 steigt	PrNode	näher
NT12 fällt	PrMax	näher als Pr.Node



*Magic Spot Bell bei V0 ca 103cm
Gelb = Constriction, Blau = Enlargement*



Amplitudenänderung

Letzter Pitch Nulldurchgang vor last Press Node. $XM-PN + (((NT\#*2)-2)*1/8WL)$

1. An diesen Punkten ist für den jeweiligen NT ein Pitch Nulldurchgang / Pitch-Node.

Bei Constriction ab hier:

2. Tiefere NT werden ab hier nur noch TIEFER, (wegen Press Nodes Kurve)
Höhere NT ab ca. Schnittpunkt NT6 bei 128 cm nur noch höher (wegen $1/8WL$)

Bei Enlargement ab hier:

2. Tiefere NT werden ab hier nur noch wenig höher (nicht TIEFER),
oder bleiben gegen 0.
Höhere NT ab ca. Schnittpunkt NT6 bei 128 cm nur noch wenig tiefer oder gegen 0.

Letzter Pressure Node (=Peak Magnitude Nodes)

Mit Pitchversatz ist hier das letzte hohe Pot. für Pitchänderungen .

Nach Ende letzter Pitch Nulldurchgang bei ca. 132cm (NT12): Enlargement raises,
Constriction lowers, gleichermaßen wenig, die höheren NT noch etwas mehr, Amplituden
sind 0 und bleiben danach gegen Null.

Instrumentende - letzter Pitch Nulldurchgang + $\frac{1}{4} WL$

Wo auch Pitch Potential restlos abgeklungen ist., ca. 139-140 cm, dies entspricht auch
ziemlich genau der Position, wo das Instrument auch physikalisch zu Ende ist.

Kenn-Kurven – von XM-PN Richtung rückwärts zu Mundstück/Lippenebene:

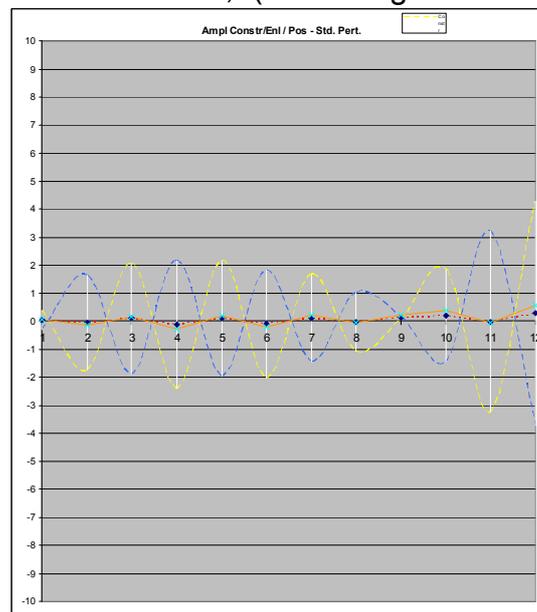
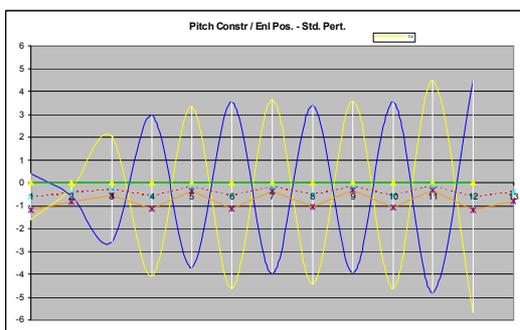
XM-IN1: Impedanz-Amplitude XM: Amplituden Start Pos. + ((NT#-1)*1/4WL)

Hier sind die exakten Nulldurchgänge der Impedanz-Peak Magnituden
= Pressure Max / Pressure Nodes.

Geradzahlige NT haben hier Pressure Nodes,
Ungeradzahlige NT haben hier Pressure Maxima.

Mit Versatz dazu : XM-PN – 1/8 WL: near XM-IN1

Pitch hat hier versetzt das höchste Potential,
alle ungeraden NT steigen, alle gerade fallen mit Constr., (bei Enlargement umgekehrt).



*Perturbation bei XM-IN ~62cm: links Pitch (Cent), rechts Impedanz % Change
Gelb = Constriction, Blau = Enlargement*

Umkehrpunkte vor XM-PN; XM-PN - 1/4WL (ähnlich Umkehrpunkt nach XM-PN)

1. An diesen Punkten ist für den jeweiligen NT ein Pitch Nulldurchgang.
2. **Ab dieser Pos** – bis zum Magic Spot haben
tiefere NT das selbe abwechselnde Pitch Muster wie bei XM-IN1,
höhere NT sind dagegen seitenvertauscht.
3. Je weiter der Punkt von XM-PN entfernt ist – bei tieferen NT,
treten bei höheren NT weitere Umkehrpunkte auf (nach weiterer 1/4 WL)
4. Amplitude: In diesem Bereich **fallen ungerade NT bei Constr, gerade steigen** bei
Constr. (bei Enl. umgekehrt). (**gleich wie beim Umkehrpunkt nach XM-PN!**)
5. von XM-PN rückwärts bis zu dieser Pos:
sind alle tieferen geraden NTs im Bereich eines PrNodes, höhere eines PrMax,
sind alle tieferen ungeraden NTs im Bereich eines PrMax, höhere eines PrNode
6. NT 2 schneidet hier beim Magic Spot.

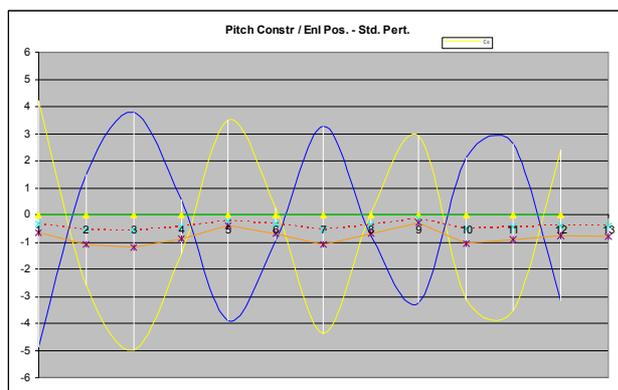
Magic – Spot2 vor XM-PN bei ca 30cm; XM-PN - (NT# * 1/8WL)

Pitch: alle geraden NT haben hier angedeutet **BEINAHE** Pitch Nulldurchgänge, ungerade steigen und fallen abwechselnd, NT1, NT5, NT9 steigen = near Pressure Max., NT 3, NT7, NT11 fallen mit Constr. = near Pressure Node, (bei Enl. umgekehrt)

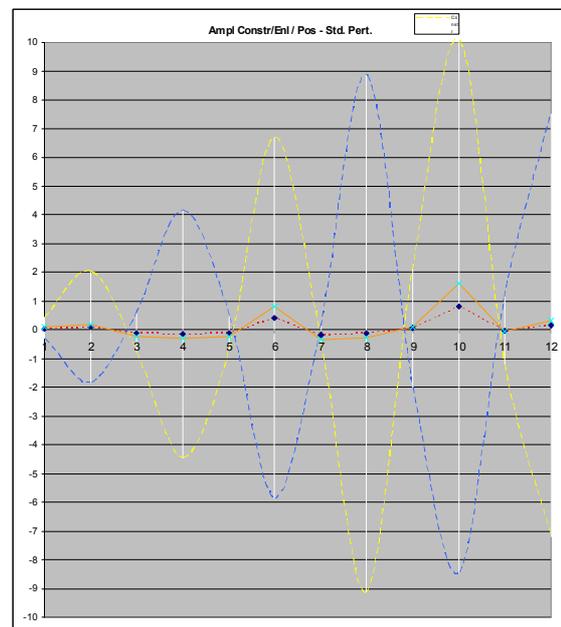
NT2+10 haben großes Offset und fallen.

Amplitude mit Constriction (bei Enlargement umgekehrt): selbe Richtung wie Magic Spot1

NT2 steigt
 NT4 fällt
 NT6 steigt
 NT8 fällt
 NT10 steigt
 NT12 fällt



Magic Spot2 vor XM-PN, V0 bei ca 30cm
 Gelb = Constriction, Blau = Enlargement



Amplitudenänderung

1. Press. Node nach MPC Start Ampl. Start + 1/4 WL = Peak Magnitude Nodes

Nahe dieser Punkte haben die NT ein hohes Pitch Potential, (Pitchversatz)
 Constriction lowers; die Kurve reicht von ca 1,4cm bei NT 12 bis 43 cm bei NT2, d.h. zb. daß für NT2 eine Constr. erst bei 43cm (= nach dem Mundrohr) das volles Pitch-Potential hat...

1. Volles Potential Pitch +/- bei :

NT2	43 cm
NT3	29,5 cm
NT4	21,5 cm
NT5	16 cm
NT6	12 cm
NT7	8,6 cm
NT8	6,4 cm
NT9	4,0 cm
NT10	1,4 cm

1. Pitch Nulldurchgang: Pitch Start + 1/8 WL

Nahe dieser Punkte haben NTs hohes Impedanz-Amplituden Potential, (Pitch Versatz)
Constriction raises Impedanz-Ampl. / Enlargement lowers.

Die Kurve überlagert sich über weite Teile mit der Kurve "1st Press. Node – ähnlich wie last
Press. Node mit Last Pitch Nulldurchgang. Der Start im MPC und weite Teile des
Mundrohres sind betroffen, Das Mundstück (Kessel, Bohrung, Stengel) muß allerdings
extra / anders behandelt werden.

$$\text{Pitchkurven Start (Cosinus)} = \text{XM-PN} - ((\text{NT \#} * 2) - 1) * 1/8\text{WL}$$

Das ist die Startposition für die Pitch Kurve,
Idealfall wäre: Constriction raises Pitch, Enlargement lowers Pitch, aber: fällt beim Start
auf ca. den ½ vermuteten Wert.

Siehe **Übergangseffekte open to closed Cone – Wave Patterns**

(Eine Constr. z.b. in einem Closed Cone am Beginn wäre i.E. mit einem Verkürzen und ein
Enlargement mit einer Verlängerung zu vergleichen.) und ähnlich verhält es sich.
Erst ca. 5 cm also nach Stengelbohrung kehrt ein einfacheres erklärbares Verhalten ein.

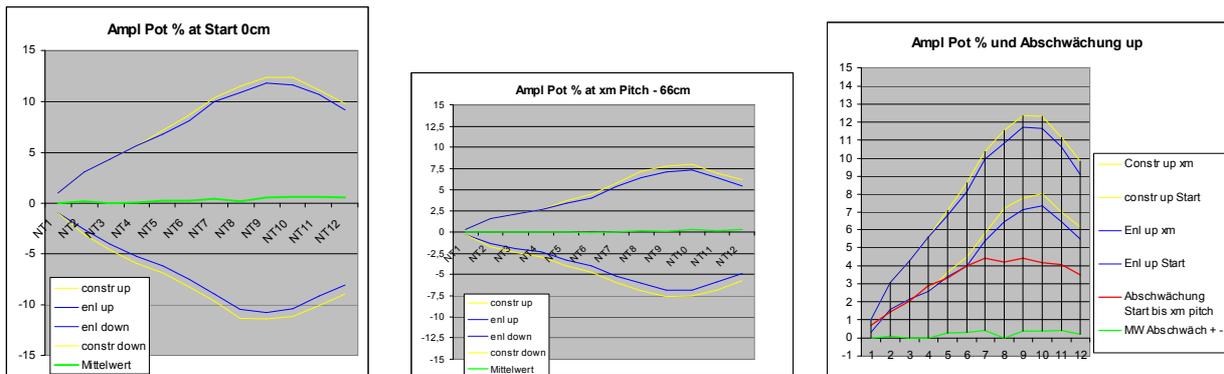
$$\text{Pressure / Peak Magnituden Start (Sinus)} = \text{XM-IN1} - ((\text{NT \#} - 1) * 1/4\text{WL})$$

Das ist die Startposition für die Impedanz-Magnituden Kurve;
Idealfall wäre: Constriction/Enlargement ändert die Amplitude nicht oder nur minimal
die Magnituden fallen hier aber nicht auf Null sondern bleiben bzw steigen sogar bei etwa
den ½ vermuteten Wert. (hat mit Pressure Kurven in einem sich schließenden Closed
Cone zu tun, die anders als bei einen closed Zyl. verlaufen!

Das Verhältnis MPC Kesselvolumen zu Stengelbohrung, als Helmholtz Resonator kann
mit dieser Methode nicht vollständig gemessen / erklärt werden, soll auch nicht, dafür gibt
es einen eigenen Teil der Arbeit, siehe Teil 2D.

Impedanz Peak-Magnituden – Potential - Hüllkurven:

Magnituden der jeweiligen NT haben bei pos/neg. Abweichungen in etwa gleiches Potential. Constrictions nahe XM-PN ca. Faktor 1,1 mehr Pot% +/- als Enlargements. Das Potential ist beim MPC Start am höchsten und fällt stetig, Enlargements werden erwartungsgemäß im Becherbereich mit Perturbation – Volumen-Potential Faktor weiter abgeschwächt, Constrictions verhalten sich anders.

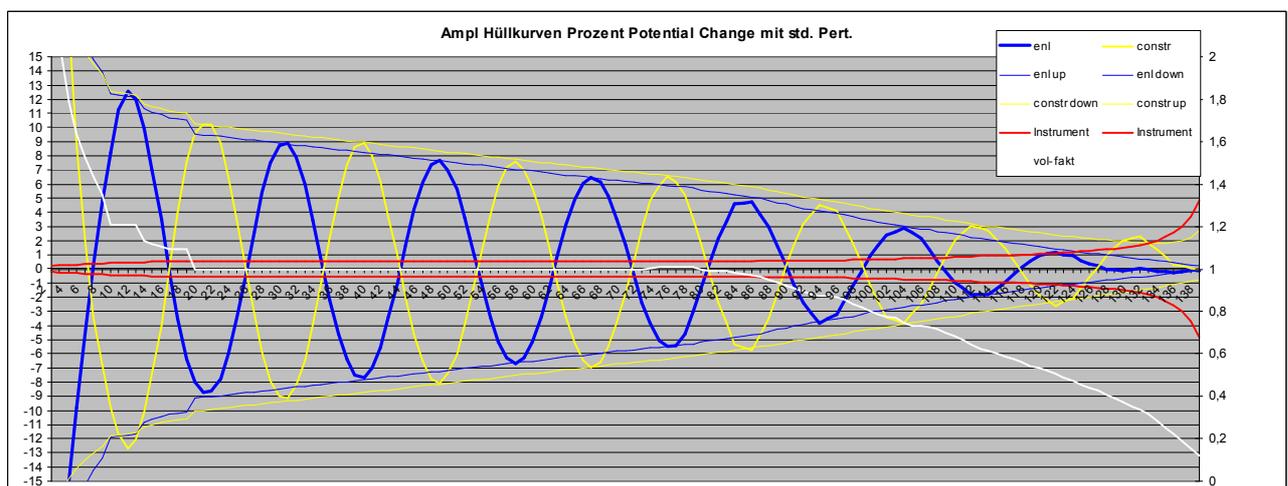


NT9 hat das höchste Impedanz-Potential, sowohl beim Start als auch nahe XM-PN. Potential nach oben wird geringfügig mehr abgeschwächt als Pot nach unten. Hinweis: NT9 hat dafür aber das geringste Pitch Potential! (später mehr)

NT 1 hat das geringste, das höchste Potential haben NT9+NT10, NT 11 und 12 weniger, Werte sind bei 0,5-8 % nahe XM-PN. Das Potential von Ampl. Changes ist höher als das von Pitch Changes, umso höher als die NT sind. **(Abhängig vom Loss-Faktor)**

Impedanz-Magnituden Hüllkurven bis Becher–Start konischer Bereich und darüberhinaus:

Das Potential fällt **LINEAR** ab, ab dem konischen Bereich geht dieser lineare Abfall weiter + eine zusätzliche Abschwächung anhand des Perturbation-Volumen-Faktors. (Ebenso dadurch eine Zunahme im engeren MPC und Mundrohr..) - Keine Unterschiede zwischen ODD und EVEN NTs.



Beispiel NT8, Bell Start bei ca 75cm mit Dia 10,9mm, Main Boresize = 11,0mm

Hinweis:

Ab 80 cm wurden nur noch alle 2 cm Messpunkte genommen, die dazwischen liegenden Messwerte sind Durchschnittswerte der jeweiligen Nachbarn. Daher etwas „spitze“ Werte!

Der Perturbation-Volumen-Faktor (gilt für Impedanz-Amplitude, als auch für Pitch):

Der Perturbation-Volumen-Faktor (weisse Linie) ist beinahe ident mit dem Reziprokwert des Bore-size Faktors ($= 1/ \text{akt. Radius Position} / \text{Mainbore-Size Radius}$).

Er gibt sich aus dem Fakt, dass bei der Messung der Constr./Enlargements der „Durchmesser“ der Perturbation selbst gleich bleibt, obwohl sich der Gesamt Radius und somit das „Perturbations-Volumen“ auch der Perturbation („Störung“) ändert.

Im Becherbereich ist daher bei der Messung das Perturbationsvolumen größer, allerdings wird dieses im Verhältnis zum größer werdenden Durchmesser/Radius des Bechers immer kleiner. Dadurch werden auch die gemessenen Messkurven/Maxima kleiner.

Anders ausgedrückt: Würde der Perturbationsradius „mitwachsen“ gäbe es quasi keine Abschwächung bei Magnituden im konischen Bereich, die Linie ginge linear weiter, Constrictions würden zu Ende aber detto leicht ansteigen.

Hüllkurven Impedanz-Magnitudo für Enlargements (aufwärts- und abwärts):

Strahl-Linie Start bis $\sim XM-PN$ verlängert * Pert.Volumen-Faktor
am Ende des Instruments vollständig abgeklungen.

Hüllkurven für Constrictions abwärts - weniger Abschwächung als Enlargements!

Strahl-Linie Start bis $\sim XM-PN$ verlängert * (Wurzel aus Pert.-Volumen-Faktor)

Hüllkurven für Constrictions aufwärts:

noch weniger Abschwächung, speziell im allerletzten Abschnitt / rapid Bell Flare.

Var. A – etwas unterbewertet - Berechnung wie Constr. abwärts:

Strahl-Linie Start bis $\sim \text{Pitch}-XM$ verlängert * (Wurzel aus Pert.-Volumen-Faktor)

Var. B: - etwas überbewertet:

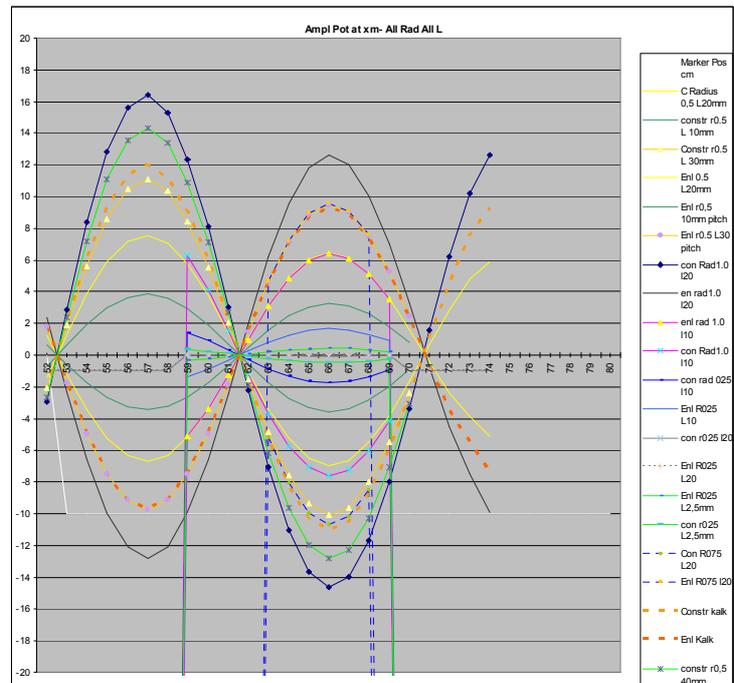
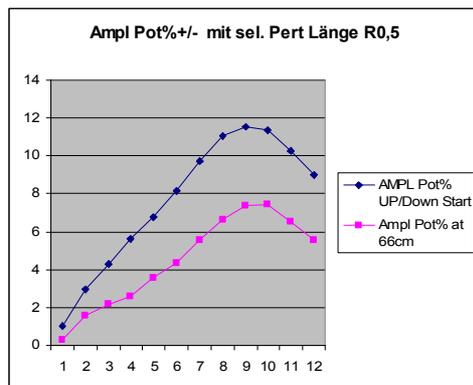
Strahl-Linie Start bis $\sim XM-PN$ verlängert * (Wurzel aus Per.-Volumen-Faktor) +
Radius Differenz zu Mainbore in cm

-> ein guter Kompromiss Constr. UP = Mittelwert aus Var. A und B. gewählt.

Zusammenfassung Impedanz-Magnituden-Potential-Hüllkurve:

Dieses verliert kontinuierlich mit Dia-Erweiterung an Wert und ist nahe $XM-PN * 2$ bereits komplett abgeklungen – tiefe NTs schon vorher. D.h. unter anderem am Becher spez. Becherende überwiegen die Constrictions stark, die Enlargements reagieren gegen Null (Wegen vertikalem Versatz teilw. sogar über 0).

Am Becherstart bis Becherende wegen größer werdendem Dia. fällt das Ampl. Pot. etw. schneller, am Becherende – aber nur ca bei den letzten 10 cm eine Dehnung feststellbar (höhere Schallgeschwindigkeit durch Bell-Flare!), vorher quasi nicht bei Trp., sondern immer $\frac{1}{4}$ WL Abstand der Magn. Knoten, auch in einigermaßen „konischen“ Bereichen.



Oben: Potential mit Std. Perturbation 20mm, R0,5 mm bei Start und nahe XM-PN

Kein extra großer vertikaler Versatz nach unten / oben auch bei großen Perturbationen! (bei Pitch schon). Pitch Veränderungen in Prozent sind wesentlich kleiner - bis zu 40x! bei hohen NTs (NT9); sind aber dafür relativ konstant von NT4-10.

Bei FFT-Messungen und starken Einengungen (Kugel, Bolzen) haben Magnituden einen Versatz Richtung Mundstück (ca. 5mm gegenüber 0,5mm Hülse), siehe Teil 7

Impedanz-Magnituden - Positionen:

Geradzahlige NT haben bei XM-IN1 einen Pressure –Druckknoten
 Ungeradzahlige NT haben bei XM-IN1 ein Pressure –Druckbauch

Bei Constr und geradez. NT ist vor XM-IN1 ein Amplitud. Max. danach ein Ampl. min.
 Bei Constr und ungerade NT ist vor XM-IN1 ein Amplitud. Min, danach ein Ampl. max.
 Bei Enlargement sind Ampl. Min mit Max vertauscht.

Insgesamt Anzahl 1/8 WL von Ampl. Max Start bis Ampl Min Stop $((NT \# * 2) - 1) * 2$
 Anzahl 1/4 WL für MPC Ampl. Start vor XM-IN1 immer $(NT \# - 1) * 1$, danach Anzahl Rest
 Anzahl 1/8 WL für MPC Ampl. Start vor XM-IN1 immer $(NT \# - 1) * 2$, danach Anzahl Rest

Hat man die exakten Positionen der XM-IN1, ermittelt (Ampl. Nulldurchgang), wird daraus mit obiger Formel die Magnituden Max (Pressure Max) Startposition ermittelt.

Magnituden Start Positionen sind positiv, bei NT2 (ca +5,0 cm) bis NT5 (+0,8cm), danach negativ werdend mit Minimum bei NT 10 ca. -4,0 cm, dann leicht steigend

Die Magnituden Startkurve ist weniger steil als Pitch Startkurve und schneidet bei ca NT7-8 mit der Pitch Startkurve. Bei ca. NT6 = Startposition ca +/- 0cm NT1 fällt aus der Reihe und startet bei mit größeren Abweichungen.

Impedanz-Magnituden Nodes XM-IN1 liegen näher am Mundstück umso tiefer die NT liegen; XM Pitch Nodes liegen $1/8$ WL+**Versatz** nach XM-Impedanz Nodes.

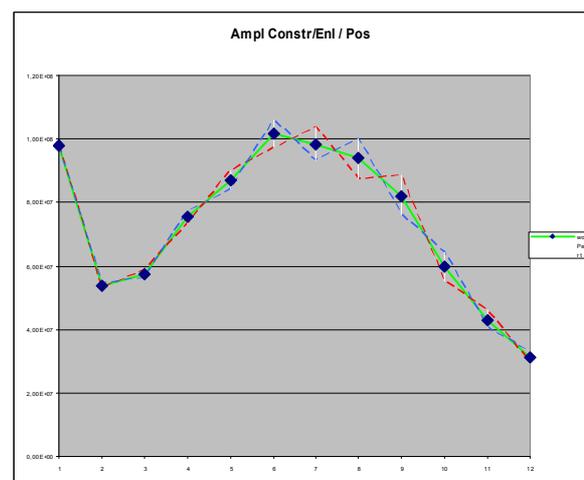
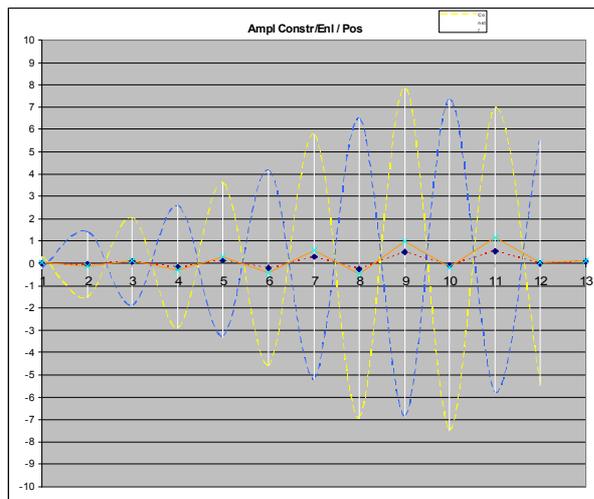
NT1	bei 0 %	bei ca 0 cm
NT2	nach 30%	bei ca 42 cm
NT3	nach 38%	bei ca. 53,3 cm
NT4	nach 41%	bei ca. 56,8 cm
NT5	nach 42,6%	bei ca. 59,3 cm
NT6	nach 43,3%	bei ca. 60,2 cm
NT7	nach 44,0 %	bei ca.61,2 cm
NT8-NT11.....	leicht steigend bis NT 12	
NT12	nach 45,6 %	bei ca. 63,5 cm

.....theoretisch weiter Richtung 49,9%, wird aber nie erreicht!

Bei Perturbation bei XM-IN1 at ~61-62cm = MW ca 44% : keine Amplitudenänderung, detto bei XM-IN2 (XM-IN1+ $1/4$ WL) nach XM-PN – beinahe seitenverkehrt).

bei Perturbation nahe XM-PN at ~65-67cm (ca 5cm nach XM-IN) bei ca 48 %
 bei Perturbation ca. at ~57-59cm (ca 5cm vor XM-IN) bei ca 41%

gibt es eine max. Magnituden Abweichung ab NT4 –NT12 gerade gegen ungerade NT

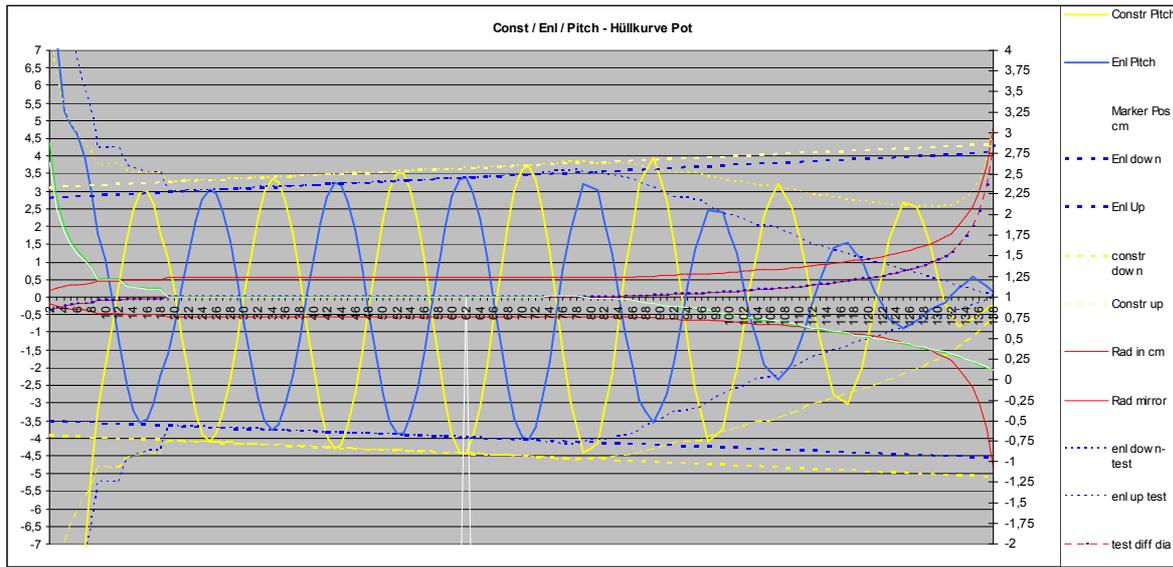


Impedanz Magnituden bei Pos 66cm – nahe XM-PN (Pitchversatz),
 gelb bzw. rot =Constr., blau=Enlargement, grün = Impedanzpeak Hüllkurve ohne Pert.

Impedanz PITCH (Frequenz, Tonhöhe der Peaks):

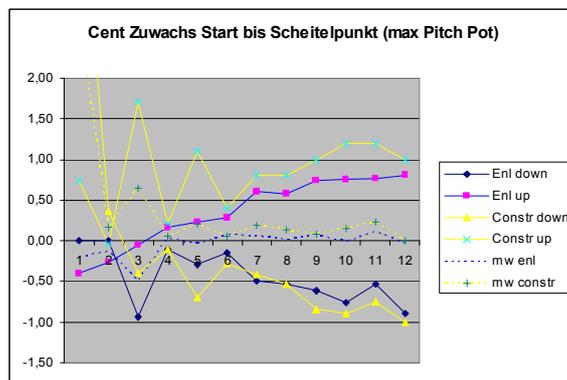
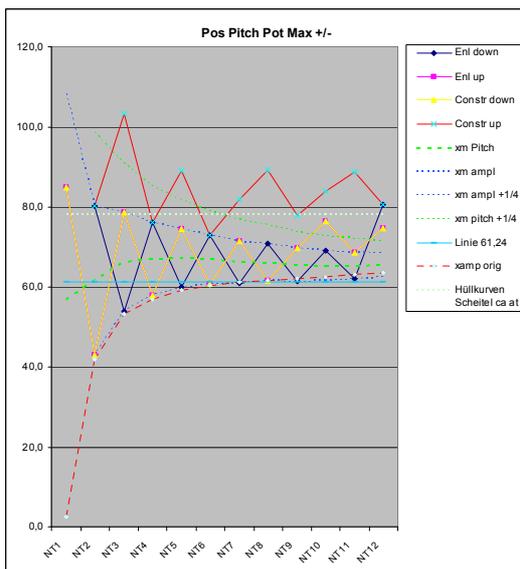
Pitch Potential – Hüllkurven:

Pitch Potential - Hüllkurven laufen prinzipiell entgegengesetzt der Magnituden Hüllkurven, dh. diese haben ihr Maximum nicht beim Start, sondern – zumindest theoretisch am Ende des Instruments (siehe die verlängerten Strahl-Linien)!



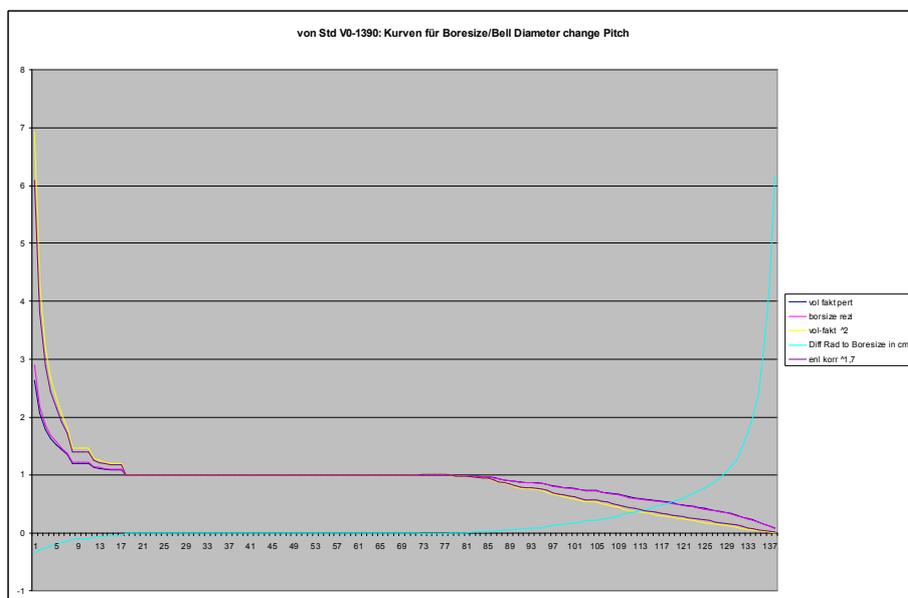
NT8, Pitch Pot. Hüllkurve, gut zu sehen größer werdende „Strahl-Linien“ Richtung Bell. Gelb = Constriction, Blau = Enlargement; ~ 62cm = Druckknoten / Pressure Node.

Ab 80 cm wurden nur noch alle 2 cm Messpunkte genommen, die dazwischenliegenden Messwerte sind Durchschnittswerte der jeweiligen Nachbarn – daher die „spitzen“ Werte.



Pitch Max. Pot. Pos., Constr. UP weiter Richtung Bell – Zuwachs Start bis Scheitel

Gut zu sehen, Constrictions haben ein höheres Potential, speziell im Becherbereich! Constrictions Max Pot. UP liegen alle im konischen Becherbereich, der Scheitelpunkt aller Hüllkurven liegt ziemlich exakt bei 78cm TL V0. Hinweis: Der konische Becher startet bei 75cm, allerdings bis ca. 78cm mit Dia 10,9mm anstelle der Main Bore size 11,0mm.



*Perturbation-
Volumen-Faktor
und Abwandlungen,*

*sowie Diff. Rad Boresize
in cm*

Lösungen für die Pitch-Pot Hüllkurven annähernd genau:

Ermitteln und berechnen der linearen Strahlkurve Start bis Scheitel / Max. Pot.

Enlargements UP & DOWN:

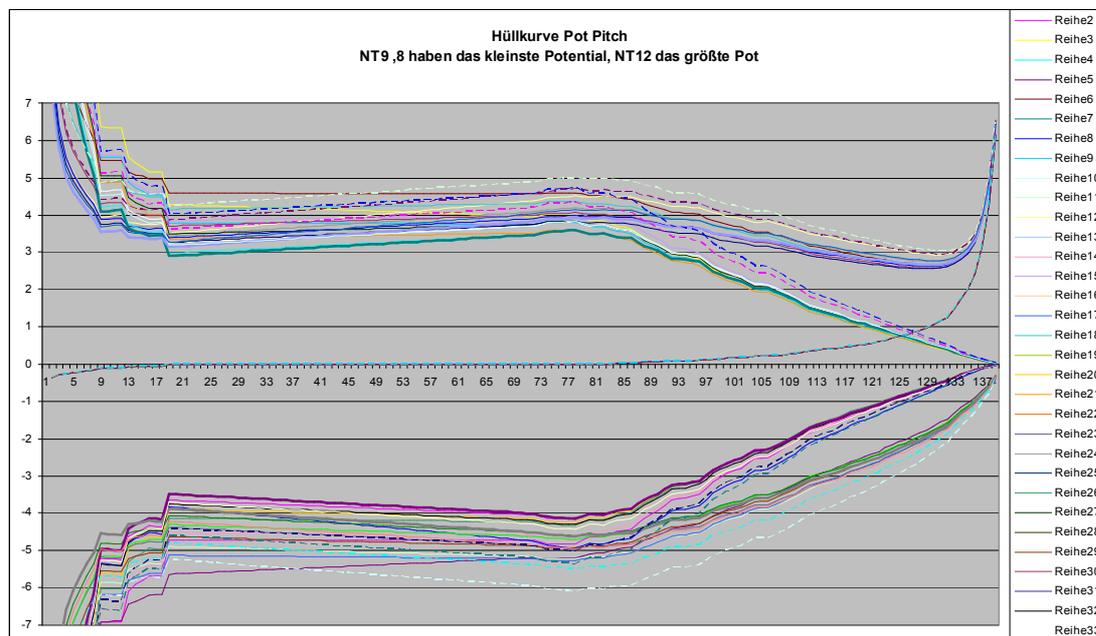
Strahllinie Start bis Scheitel + darüber hinaus * (Vol.Faktor ^{1,7})
(beinahe doppelte Abschwächung, -> ² ist zu viel!)

Constrictions DOWN:

Strahllinie Start bis Scheitel + darüber hinaus * (Vol.Faktor)
(„Standard Abschwächung“)

Constrictions UP + Korrektur:

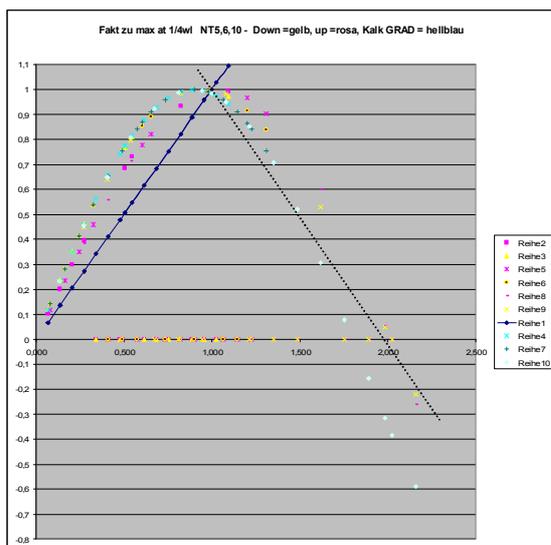
(Strahlkurve Start bis Scheitel + darüber hinaus * Vol.Faktor) +
(„Standard Abschwächung“) **Diff. Radius Main Boresize in cm**



Pitch-Pot.-Hüllkurven übereinandergelegt: NT8+NT9 haben das kleinste Potential!

Pitch - Potential generell: Maximum bei 1/4 Wellenlänge

Entspricht die Perturbationslänge exakt einer 1/4 Wellenlänge, so hat diese das größtmögliche Potential mit dem selben Radius gegenüber anderen Längen. (+/-)



Das Potential verläuft zur Perturbationskurve ähnlich einer Sinus Kurve aber nicht linear, (auch nicht exakt mit 90 Grad wie bei den Impedanz-Amplituden). Kurze Perturbationslängen haben dadurch verhältnismäßig mehr Potential als längere Perturbationen.

Folgendes gilt sowohl für Constrictions, als auch Enlargements:

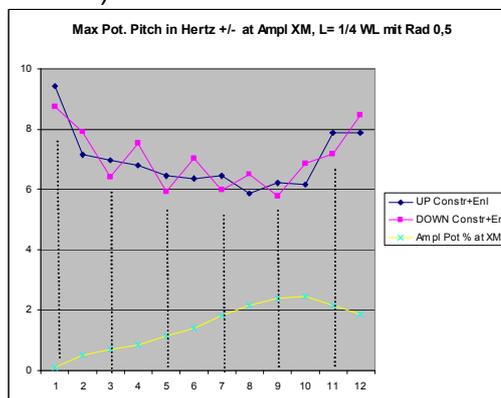
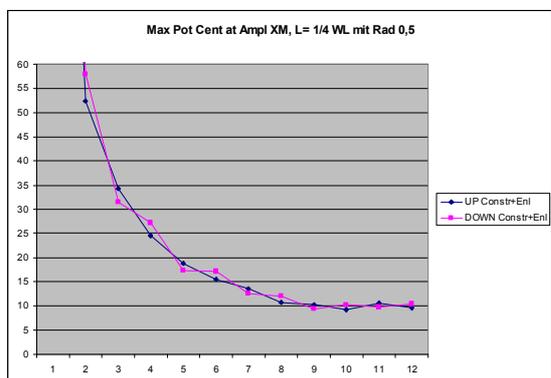
Pitch erhöhend:

Für Pert.-Längen bis zu 1/4 WL wurde als Zielwinkel bei 1/4 WL 88 Grad ermittelt.
 Für Pert.-Längen größer 1/4 WL bis 2/4 WL langen Perturbationen 84 Grad.

Pitch erniedrigend:

Für Pert.-Längen bis zu 1/4 WL wurde als Zielwinkel bei 1/4 WL 100 Grad ermittelt.
 Für Pert.-Längen größer 1/4 WL bis 2/4 WL langen Perturbationen 92 Grad.

Das entspricht sehr exakt den gemessenen Werten anhand NT5, NT6 und NT10. Es wird ein Längenverhältnis der Perturbationslänge zu 1/4 WL ermittelt, zusätzlich Radius Unterschiede, dann kann aus der Sinusberechnung das Potential ermittelt werden, ebenso der auftretende Pitchversatz nach unten (anhand Radius).

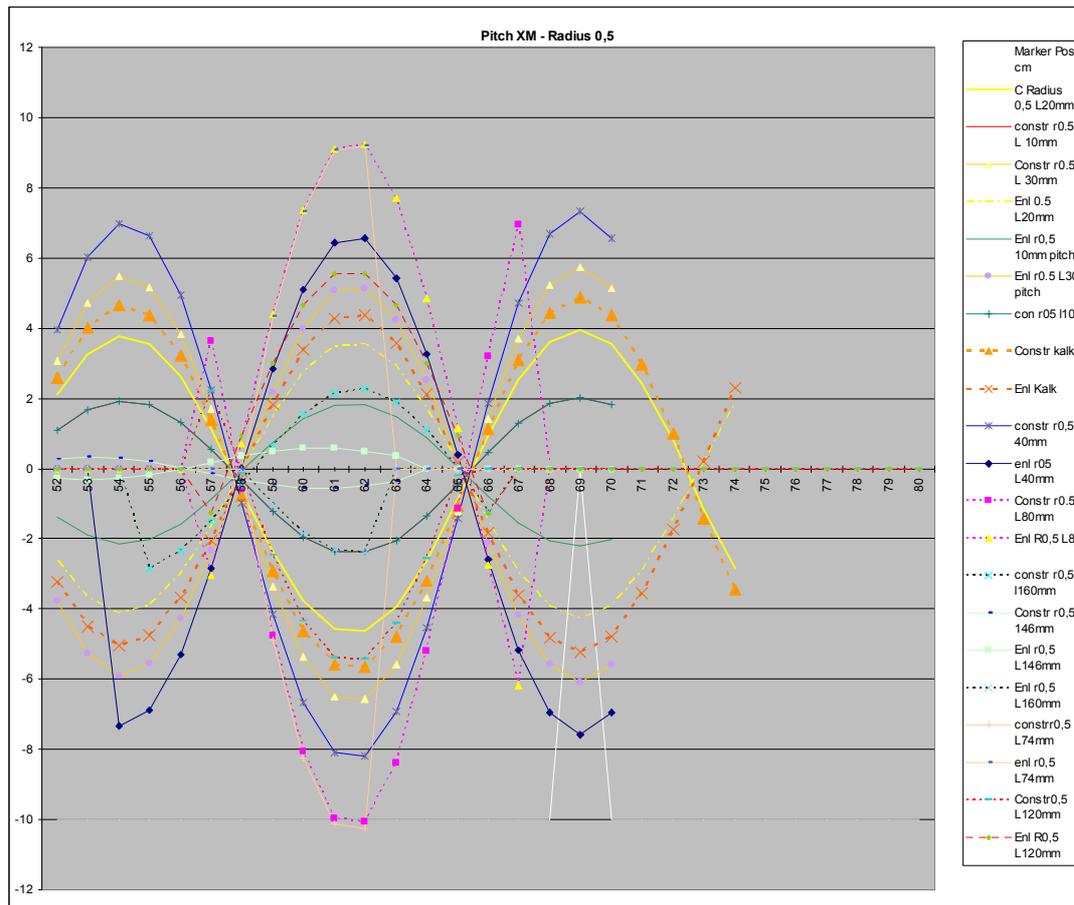


Links Potential einer 1/4 WL in CENT+/-, rechts das selbe, aber als Hertz +/- Änderung!

An allen Druckbäuchen = ungerade NT haben Enlargements weniger Pitch-Potential down,
 An allen Druckknoten = gerade NT haben Constrictions mehr Pitch-Potential down.

Hinweis: Bei Simulationsmodell Mapes-Riordan ist das nicht der Fall, Enlargements mer Pot.!

Eine Perturbation größer $\frac{1}{2}$ WL, (hier 160mm) wirkt **SPIEGELVERKEHRT**. Auch der Versatz ist dann nach oben! Meine Berechnung ist bis ca. $1,75 \times \frac{1}{4}$ WL ziemlich genau, das sind Perturbationen bis max. Länge 130mm (NT10 $\frac{1}{4}$ WL 74,1 mm * 1,75), vor allem weil nicht mit 90 Grad Winkeln gerechnet wird und keine Kompensation stattfindet.



Test verschiedener Perturb.-Längen und Pot., hier NT10, $\frac{1}{4}$ WL = 74,1 mm.

Eine Perturbation mit etwa $\frac{1}{2}$ WL – hier 146mm löscht sich gerade beinahe aus und verschiebt sich dabei um sich „umzudrehen“.. ab $\frac{1}{2}$ WL (türkis, Knoten bei 56cm) Selbiges Phänomen passiert so auch bei Impedanzen!

Pitch – Generelle Unterschiede Enlargements zu Constrictions:

Eine Hülse mit 0,5mm Wandstärke gibt bei Dia 11mm eine Vol. Änd. von -17%, Ein Gap mit 0,5mm Enlargement gibt bei Dia 11mm eine Vol. Änd. von +19%

Ein Enlargement mit gleichem Radius hätte daher theoretisch 2 % mehr Potential durch Volumen Änderung als eine Constriction, die Ergebnisse (mit **Plane Wave Modell**) sind aber anders.

Constrictions und Enlargements verhalten sich komplett unterschiedlich!

Beide erreichen das max. Pot. vom Start weg erst um XM-Pitch bzw. noch etwas später. Genauer gesagt – wäre nicht die Abschwächung durch den Becher, wäre das max. Pot erst am Ende des Rohres. D. h. Beim Start ist das Potential etwas geringer, bei oder nach XM-Pitch am höchsten, danach fallend aufgrund der Querschnittserweiterungen Becher.

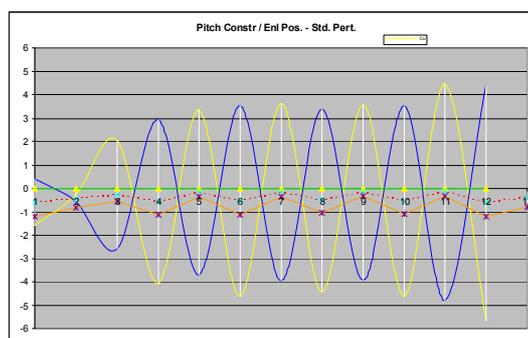
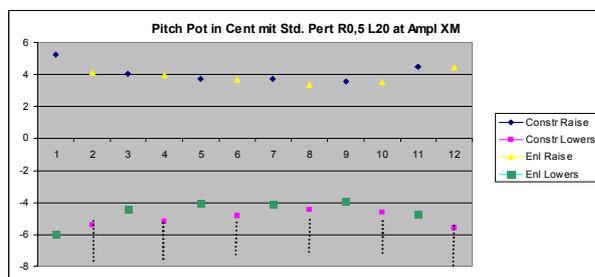
Enlargements haben vergleichsweise und insgesamt weniger Potential, sind gleichmäßiger +/-, schwächen sich auch mit zunehmendem Diameter im Becherbereich wie erwartet ab, hängen also auch mehr am Pressure / Peak Magnituden-Potential.

Enlargements bei den ca. letzten 20 cm haben sogar beinahe kaum mehr einen EFFEKT auf PITCH (und Impedanz Amplitude).

Constrictions sind wesentlich aggressiver, haben mehr Potential, eine stärkeres Potential zum Vertiefen und erleben eine Abschwächung erst sehr viel später als erwartet würde. (ca. die letzten 25cm, hier aber noch einiges an Potential vorhanden.)

Das Potential +/- in CENT ist mit Std. Pert. von NT4-NT10 annähernd gleich groß!

Obwohl tiefe Töne längere WL haben – aber bei tiefen NT sind gleiche Cent Werte weniger Hz Änderung als bei hohen NTs. (Siehe Max. Pot. bei 1/4 WL)



Messung nahe XM~IN1: bei 62cm

gelb=Constriction, blau=Enlargement

Constrictions haben im Durchschnitt 10 % mehr Potential als Enlargements.

Constrictions haben hier ca. 17 % mehr Pot. bei Vertiefung als Enlargements. (Even NTs)

Std. Perturbation = R 0.5mm, L20mm, Pot. Mittelwert NT2-12, V0, nahe XM-IN1:

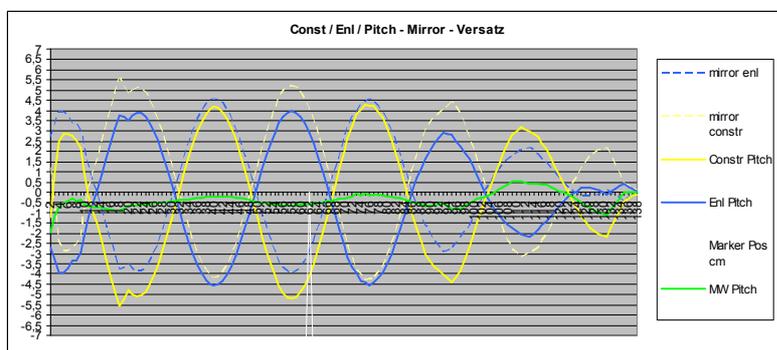
Constriction nahe PrMax (odd NTs):	raises Pitch	+3,9 Cent	
Enlargement nahe PrNode (even NTs):	raises Pitch	+3,8 Cent	
Enlargement nahe PrMax (odd NTs):	lowers Pitch	-4,2 Cent	(Faktor x1,11)
Constriction nahe PrNode (even NTs):	lowers Pitch	-4,9 Cent	(Faktor x1,27)
Total Bandwith +/- in Cent: Enlargements:		4,0 Cent	Constrictions: 4,4 Cent (+10%)

An allen Druckbäuchen = ungerade NT haben Enlargements weniger Pitch-Potential down, An allen Druckknoten = gerade NT haben Constrictions mehr Pitch-Potential down.

Daher kann man feststellen:

Geradzahlige NT haben MEHR Potential zum VERTIEFEN als zum ERHÖHEN

Ungeradzahlige NT haben WENIGER Potential zum VERTIEFEN als zum ERHÖHEN



strichliert:

Spiegelbild des jeweiligen Pitch Pots und grün Mittelwert, hier z.B. NT4, Std. Perturbation

An **Pressure Nodes** sind die unterschiedl. Auswirkungen von Constr. / Enl. viel größer als an Druckbäuchen (Pressure Antinodes)

Hinweis: Simulationsmodell Mapes-Riordan zeigt mehr Pitch Potential bei Enlargements! FFT-Messungen detto, ein Nullversatz down ist praktisch kaum gegeben. Siehe Teil 7.

Pitch Node - Positionen:

Vor allem für Pitch gibt es eine Pitch-äquivalente Längen-Kurve, sowie dazupassende Start und Stop Positionen.

Anzahl 1/8 WL vom Pitch Start bis XM-PN immer $(NT \# * 2) - 1$, danach Anzahl Rest. XM-PN befindet sich exakt in der Mitte zwischen Pitch-Start und und letztem Pressure Node+Pitchversatz. Bei diesem finden zum letzten Mal max. Pitchveränderungen statt, und sinken erst nach ca. 1/8 WL gegen Null, spez. bei Constriction.

Dies hat den Effekt, dass das Instrument nahe der letztem Pressure Node akustisch noch nicht zu Ende ist, sondern erst ca 1/8 WL später keine Pitch und Amplituden Veränderungen mehr stattfinden. Das entspricht dann auch ziemlich exakt der physikalischen Länge von 139 cm und Effekten in Hörnern. Selbst bei NT 1 finden bis ca. 132 cm noch minimale – aber vorhandene Pitchänderungen „Flimmern“ statt.

NT1 ist ein Sonderfall und hat nur 1 Amplituden- und 1 Pitch Nulldurchgang um ca 15 cm stark verschoben. Wegen der kleinen Ampl. Änderungen gebe ich daher dem Pitch XM als glaubwürdigere Referenz den Vorzug, diese liegt bei 56,9cm. So sollte dies 1/8 WL nach Pitch Start sein, und diese wäre dann bei +5,2 cm Pitch Start. Diese habe ich auf 1/2 zwischen Pitch- und Amplitudenstart bei NT 1 aufgeteilt. Daher jeweils 2,6cm. Pressure Start gehe ich davon aus, dass dieser nicht MINUS sein kein, wie die Amplitudendurchgänge andeuten würden. Pressure Node Stop gehe ich daher davon aus, dass dieser weiter hinten liegt als in der Grafik angezeigt, ca. 12 cm später bei rund 103cm – auch weil hier die Pitchänderungen schon abgeschwächt sind und das Max daher vermutlich weiter hinten liegt. Das Ergebnis ist ein ca Mittelwert aus ca. 90cm und 113cm für Press. Node End.

Bei XM Pitch sind Pitch Nulldurchgänge, d.h. findet keine Tonhöhenänderung bei einer Perturbation statt, dafür (mit Versatz) starke Peak Magnituden Änderungen +/-.

XM-PN ist 1/8 WL nach XM-IN1 **zuzüglich Versatz***.

Bei ca NT 8 ist der Versatz beinahe 0, ohne zus. Korrektur der 1/8 WL nach XM-IN1!

*Bei tiefen NT zus. Korr. Pluswerte zur Ampl.Max Start beim Mundstück, bei hohen zus. Korr. Minuswerte, „Pitchversatz“. **Dieser ist bei allen geraden NT GRÖßER!**

Diese werden aus dem genauen Durchgangspunkt von Constriction/Enlargement nahe der Null-Linie (weil – Versatz auch nach unten) ermittelt.

Die Pitch-Start Kurve ist steiler als die Ampl. Startkurve, mit mehr Extremen.

Die Pitch Kurve ist allerdings gleichmäßiger bei ca. ~ 65-67 cm NT4-12; nur NT 3, 2 und vor allem 1 liegen weiter vorher.

Anhand der exakten XM-PN Positionen könnten somit die Pitch-Start und Stop Positionen sowie alle restlichen Pitchnodes = Nulldurchgänge ermittelt werden.

Der Pitch Ursprung ☺ ➡ horizontale Positionen anhand Perturbation-Radius:

Der Pitch Versatz ändert sich mit dem Perturbation Radius. Der Ursprung wurde ermittelt, indem eine kleinste auswertbare Perturbation mit Constr./Enlargement Radius 0,25mm mit Länge 2,5mm ausgewertet wurde. Danach wurden verschiedene Perturbationen mit Rad. 0,5mm, R0,75mm und R 1,0 mm mit verschiedenen Längen gemessen und ausgewertet.

Es kann eindeutig festgestellt werden, dass eine horizontale ☺ ➡ Verschiebung der Pitch-Nulldurchgänge / Pitch Nodes stattfindet:

Bei allen geraden NT + Werte Richtung Bell, je größer der Perturbationsradius ist, bei allen ungeraden NT - Werte Richtung MPC, je größer der Perturbationsradius ist.

Die Länge der Perturbation spielt dafür so gut wie keine Rolle, allerdings für einen vertikalen Versatz aller NTs nach unten (später..).

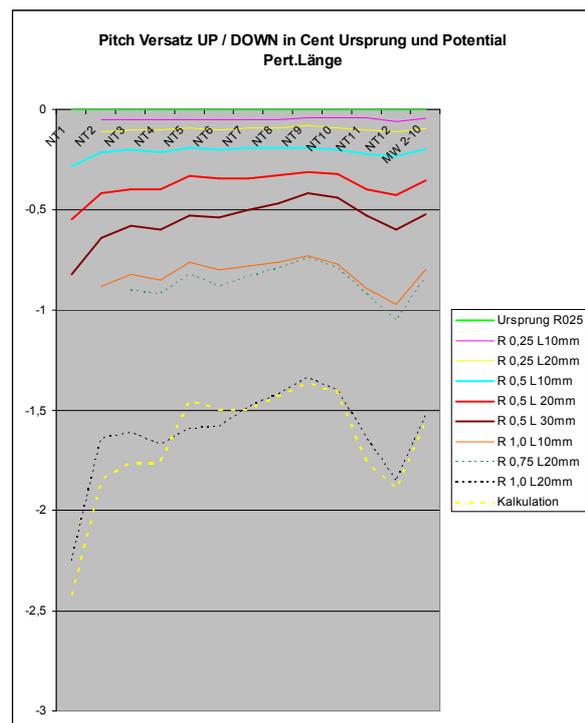
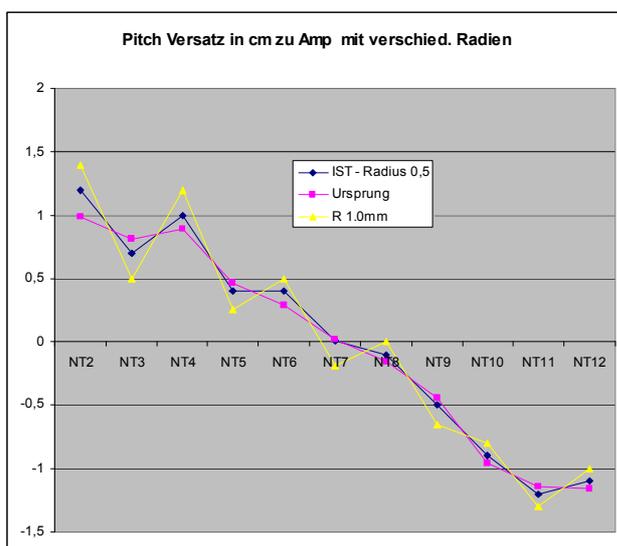
Korrektur zur Ermittlung des Ursprungs mit Ergebnissen aus Standardperturbation:

Mess-Position mit Std.Perturbation = Constr gibt 0 Cent Änderung an der Null-Linie:

-> Mess.Pos. - (0,055*1/8WL) bei geraden NT; <-- der Ursprung des XM-PN ist weiter Richtung MPC

-> Mess.Pos. + (0,055*1/8WL) bei ungeraden NT; --> der Ursprung des XM-PN ist weiter Richtung Bell

Wie sich später noch herausstellen wird, ist XM-IN1 in der Praxis zuverlässiger zu bestimmen als XM-PN!



Pitch-Versatz ☺ ➡ aufgrund Perturb. Radius, Pitchversatz ☺ ➡ aufgr. Radius+Länge

XM Pitch (Nodes) liegen bei ungeraden NT vor einem Druckknoten und bei geraden NT nach einem Druckknoten.

Pitch - Ursprung, Versatz vertikal $\odot\odot$ bedingt durch Radius+Länge:

Es wurden verschiedene Radien mit unterschiedlicher Länge vermessen. Es ist vor allem der Radius entscheidend für den Versatz, allerdings auch das Volumen durch Länge plus/minus zu berücksichtigen. Z.b. hat Radius 1mm mit Länge 10mm ca 5% weniger Volumenänderung aber dennoch 2,2 mal mehr Versatz nach unten als die Standardperturbation mit Radius 0,5 und Länge 20mm.

Der Versatz nach unten multipliziert sich mit der Länge der Perturbation **überproportional**, bei Rad. 1mm anstelle 0,5mm mit ca. Faktor x 1,1. (exakte Berechnungsformel vorhanden.)

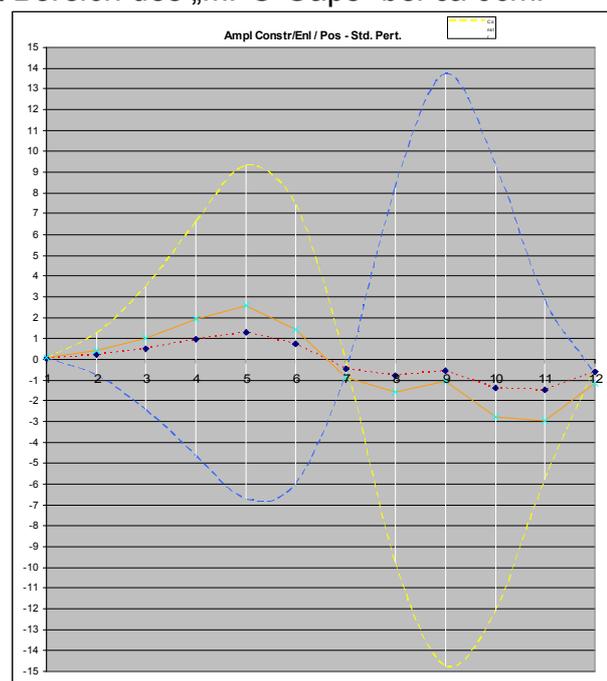
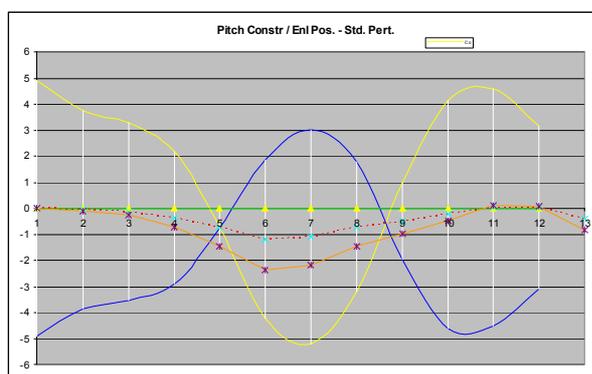
Bei Standardperturbation beträgt der Versatz mit V0 im Mittelwert -0,35 Cent und wird mit zunehmender Rohrlänge (Ventile) weniger (wegen längeren WL und dadurch kleineres Pert.Potential.)

Hinweis: bei allen Simulationsmodellen ist das Magnituden- und Pitch Potential, und ebenso der Versatz nach unten (Verluste) stark überbewertet.

Mundrohr und Mouthpiece-„GAP“

Das Potential im engeren Mundrohr wurde gemessen und weicht erstaunlicherweise nicht wesentlich ab, ist aber nicht Gegenstand dieser Versuche. Interessant ist die Tatsache, dass hier nicht die maximal möglichen Pitch-Änderungen liegen, sondern um ~ XM-IN1 herum! Impedanz hat hier allerdings ein hohes Potential.

Mundrohr und spez. das Mundstück sollen separat genauer vermessen und untersucht werden. Dennoch ein interessanter Spot ist Bereich des „MPC-Gaps“ bei ca 9cm:



*Perturbation bei 9cm: (hier wäre/ist ein MPC-Gap u. würde Enlargement entsprechen).
gelb= weniger Gap (Constriction) , blau = mehr Gap (Enlargement)*

*Pro zb.: die Imp. Magnituden von NT 8-10 werden kräftig gestärkt; NT4-6 leiden darunter.
Kontra zb: NT2-4 Pitch wird tiefer; NT6-8 höher, NT10 – meist ein Sorgenkind - tiefer.*

Wiener Klappen / Löcher:

Perturbation mit Löchern „Holes“ beginnt um 4.30 Uhr bzw Richtung Südosten ↘:

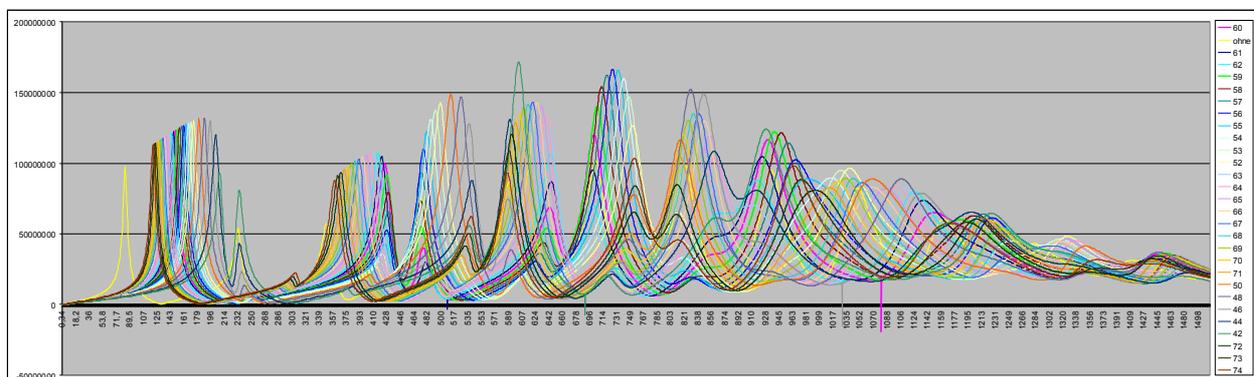
🕒 Richtung	Start (at a PrMax)	Pitch-Change	Imped. Change
↘ 04.30	~Pressure Max	raises (most)	lowered (small)
↻	Max Pitch Shift, short after PrMax	raises max	no change
↗ bis 01.30	both shifted up (pitch more)	raises	raises
↗	Max Ampl, Pitch ie half raise	raises ie half	raises max
↗ bis 12.00	both shifted up (ampl. more)	raises	raises
🔴 point	Pitch Nulldurchg. single Point	no change	raises
↖ small	Pitch lowers, Ampl. raises	lowers small	raises small
🕒 point	~Pressure Node, single Point	lowers ev small	no change
↖ small	Pitch + Ampl. lowered –ev small	lowers ev small	begins killing
🕒	Pitch X nach PrNode vor Pmax	raises ie half way	but killed out
↘ 04.30	~Pressure Max	raises (most)	lowered (small)

Bei Löchern: Nord und West sind jeweils nur 1 einziger Punkt, NW und SW sind sehr kleine Bereiche um den Pressure Node herum! Nord ist der wichtigste Punkt für die Anwendung von „Überblasklappen“. An diesem Punkt ändert sich die Tonhöhe nicht, die Amplitude steigt aber etwas und vor allem werden an diesem Punkt die Impedanzen der Nachbarn beinahe vollständig „ausgelöscht“.

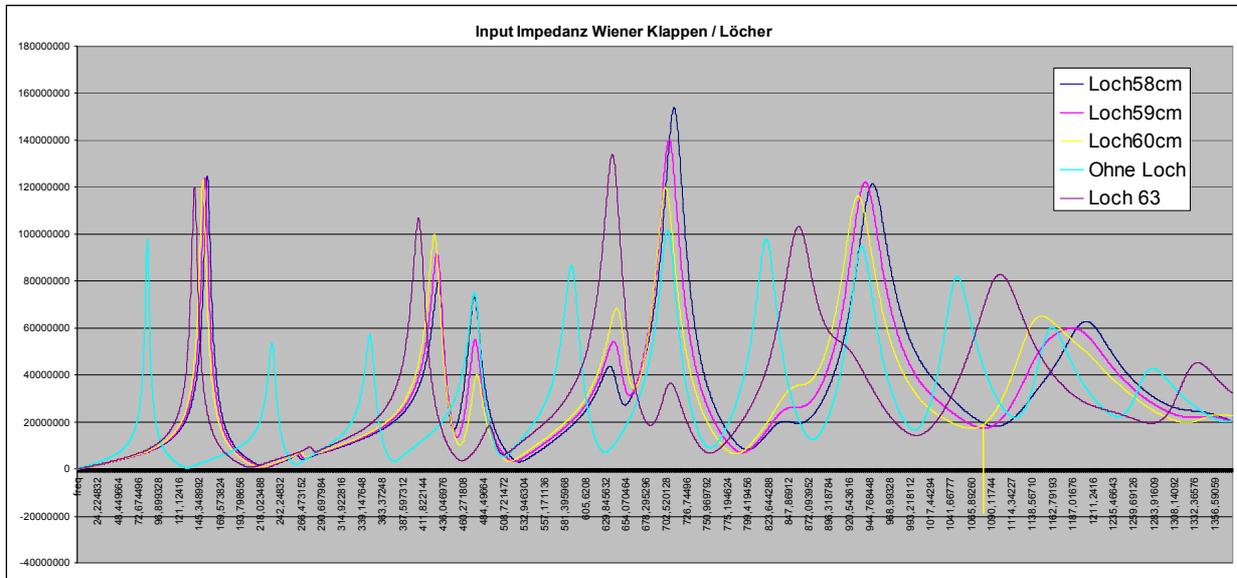
Für V0 wurde die Pos. 59,5 cm für ein Loch mit Dia 2mm und einer „Turmhöhe von 3mm“ als Position ermittelt, bei der die NT 6+8+10 nicht bzw nur gering beeinflusst werden (Imp. steigt, Intonation bleibt gleich); die ungeraden Nachbartöne NT 5,7,9 und 11 werden aber ausgelöscht! Um Pitch noch zusätzlich zu erhöhen, muß die Position einer Überblasklappe bei allen NTs **mit Ausnahme NT2 !!** geringfügig in Richtung Mundstück verschoben werden.

Von NT1-NT6 gibt es praktisch keine Vertiefung bei Löchern, das findet erst ab NT7 aufwärts etwas statt. Ab NT8 ist definitiv kein freier Platz mehr für zusätzliche Resonanzspitzen vorhanden und diese verschwinden komplett in der Kurve. Die Impedanz Unterschiede sind daher in diesem Frequenzbereich ebenfalls nur noch klein ausgebildet.

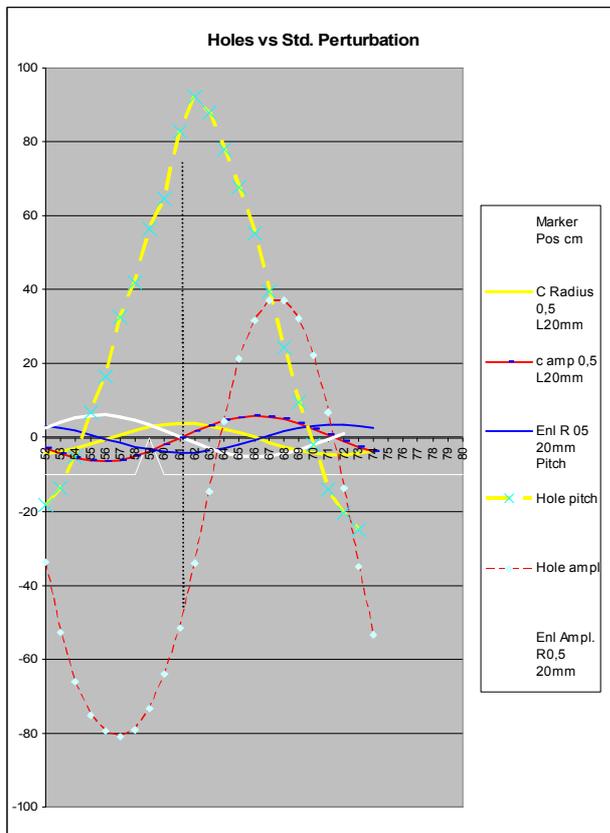
Löcher haben insgesamt mehr Impedanz Potential, umso näher diese am MPC sind. (Die Impedanz-Amplituden sind bei Ampl. Start am höchsten und fallen Richtung Bell ab.)



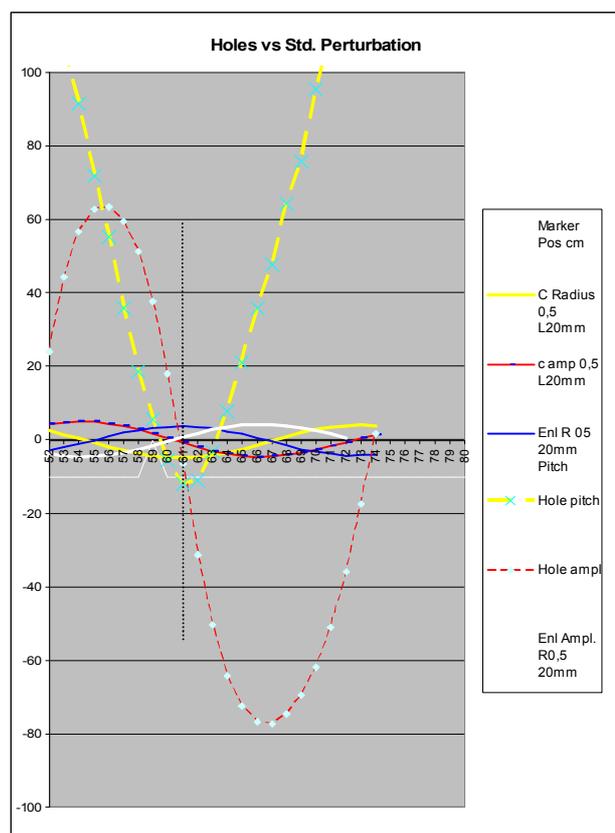
Löcher von Pos 42-74cm überlagert, Eingangsimpedanz (gelb zb NT1 links = ohne Loch)
Alle Frequenzen werden nach rechts verschoben, ab NT 7 teilw. auch nach links (tiefer).
(die sichtbaren „Spikes“ unter 0 bei ~1075 Hz sind ART-Softwarefehler)



Ausgewählte Pos.: Loch je bei 58, 59 oder 60 cm, türkis = Ausgangslage ohne Loch
 Alle Peaks stark nach rechts verschoben u. teilw. ausgelöscht – hier NT2, NT7, NT9
 Beispiel bei Pos 59,5: NT6 hat 40% höhere Amplitude, NT 8 hat 20 % höhere Amplitude,
 NT7 und 9 sind **ausgelöscht** (können dadurch nicht unabsichtlich getroffen werden :)



Holes: NT7, Pitch bleibt zB. at 70cm
 Druckbauch NT7 bei ~ 61cm



Holes: NT8 Pitch Nulldurchgang zb bei 59,5cm
 Druckknoten NT8 bei ~ 61cm

beachten: 100 Cent = 1 Halbton
 Impedanz Amplitude: = % Change +/-

beachten: 100 Cent = 1 Halbton
 Impedanz Amplitude: = % Change +/-

Beinahe kein Potential für Vertiefung vorhanden

- nur ab NT7 aufwärts und für nur einen sehr kurzen Teil der Wellenlänge

Dafür sehr hohes Potential:

1. „Nachbar Impedanzen“ soweit zu verschieben oder einzuebnen, dass diese quasi nicht mehr vorhanden sind

2. dadurch verbunden, dass die betreffende Impedanzspitze selbst eingeebnet wird (-80 % Impedanz Amplitude Maxima in bei NT7+8 im obigen Beispiel.)

Am Beispiel von NT8 verdeutlicht:

Befindet sich das Loch bei 59,5 cm, dann bleibt die Tonhöhe (Pitch) gleich, die Impedanz Maxima (für gute Ansprache + Treffsicherheit) erhöht sich aber um 40%!

Befindet sich das Loch bei 63,5 cm, dann bleibt zwar die Tonhöhe (Pitch) gleich, die Impedanz ist hier allerdings beinahe ausgelöscht -70% der Impedanz Maxima. Aber Halt: da ist NT7, dieser hat ca die selbe Impedanz, ist aber um ca. 60 Cent zu tief!

Bei Löchern müssen daher – speziell im höheren Frequenzbereich ebenfalls immer die „Nachbar-Impedanzen“ mit berücksichtigt werden. Tiefe Töne werden nach oben verschoben und finden unter Umständen keine höheren Harmonischen und sprechen schlecht an. „Wr. Klappen“ werden meist nach dem Anblasen gleich wieder geschlossen.

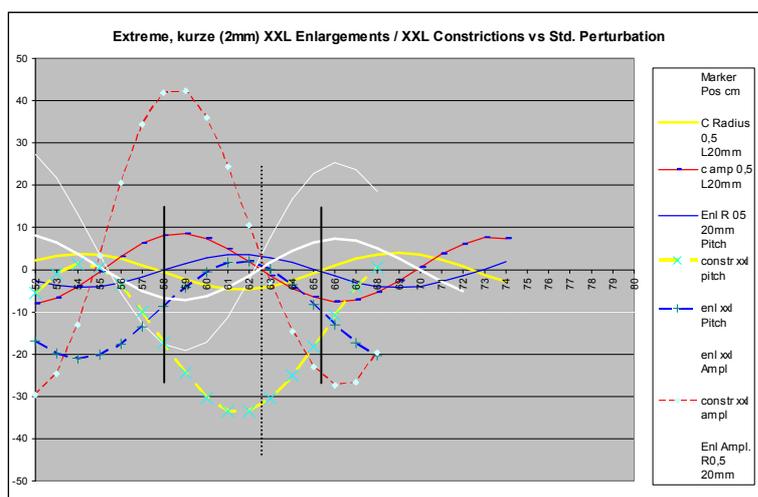
XXL-Störungen – Hier gibt es grasse Abweichungen zu FFT-Messungen:

Sehr kurze, aber extreme Erweiterung: (Länge 2mm, Dia 35mm anstelle 11 mm =*3,18)

Wirken anders als Löcher so wie ein normales Enlargement, der vertikale Versatz nach unten bedingt durch den Radius Unterschied wirkt dann aber **so extrem**, dass Pitch Erhöhungen über 0 kaum vorkommen und die Perturbation quasi unter der Pitch Nulllinie stattfindet. – Dadurch sind so nur unterschiedlich (starke) **Vertiefungen = Verluste** möglich.

Sehr kurze, aber extreme Einengung: (Länge 2mm, ¼ Rest = Restdiameter 2,75mm)

Wirken wie eine normale Constriction, detto allerdings durch extremen Radius Versatz komplett unter die Null Linie verschoben. Wie bei extremen Erweiterungen so nur unterschiedlich (sehr) starke **Vertiefungen = Verluste** möglich. *Bolzen 725, + spez. Kugel 8mm sind typische Beispiele!*



NT10, Pressure Node bei ~ 62,5cm

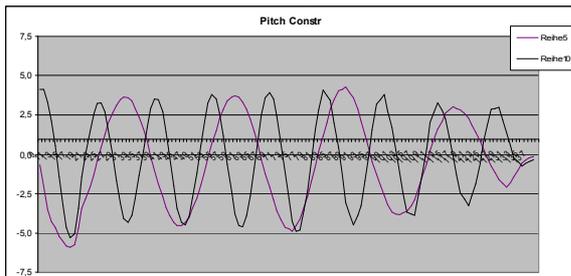
Extreme XXL-Perturbation: sehr kurze Constr / Enlargement, **beide nur Pitch vertiefend!**

Die simulierte 8mm Kugel liefert um 5 x mehr Vertiefungspotential als in den Messungen, siehe Teil 7! Magnituden Nodes werden bei Messungen ebenfalls verschoben, bei Simulationen nie!

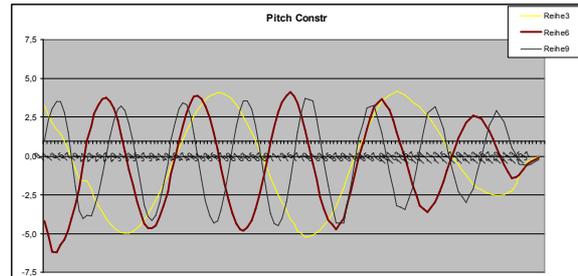
Musterwiederholung, Regimes of Oszilation / Harmonische Obertöne / Synergien:

Auswirkung der Obertöne auf Grundtöne, mögliche Manipulationspunkte mit Synergie-Effekten, wobei gewünschte Effekte nicht immer in die selbe Richtung gehen müssen:

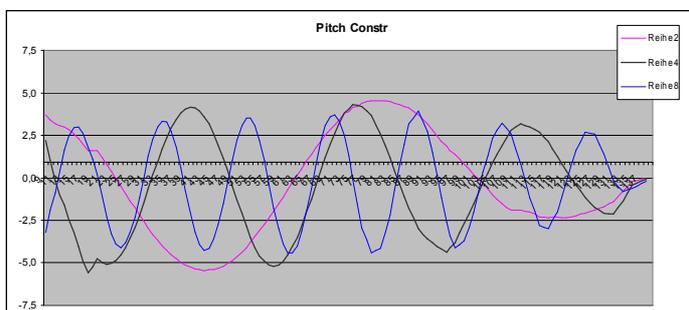
Musterwiederholungen sind jeweils nach 1/2 WL des tieferen Naturtons:



NT5+NT10, z.b. Enl. 19, 47, 75, 106cm
ca. jede 1/2 WL von NT5 das selbe Muster



NT 3+6+9: 35 und 85cm, und 48, 96cm
(ca. 1/2 WL von NT3 das selbe Muster)



NT2+4+8 z.B. 72cm als einziger gemeinsamer Punkt erhöht alle 3 Frequ.
103cm=magic Spot = no change
1/2 WL von NT 2 = 74cm, dh. keine Musterwiederholung möglich!

Equivalente Längen Kurven über die gesamte Frequenz – für mehrere Ventillängen:

Das Mundstück hat eine frequenzabhängige akustische „Länge“. Bei tiefen Frequenzen ist es akustisch viel „kürzer“, bei der MPC Popping Frequenz des Mundstückes selbst – hier rund 850 Hz ist es physikalisch in etwa gleich lang, bei höheren Frequenzen wirkt es akustisch „länger“ als ein zylindrisches Rohr mit selber Länge und Volumen.

Darüberhinaus spielt allerdings auch die „Gesamt-Mensur“ eine entscheidende Rolle. Da das Mundstück und Mundrohr, als auch der Schallbecher bei den Tests nicht verändert wurden, hat sich lediglich die Länge – und damit der Anteil des zylindrischen Rohranteiles am Gesamtsystem geändert. Die Ventilschleifen befinden sich Drehventil – typisch jeweils zwischen 21-30cm bezogen auf V0 (kein Ventil gedrückt, Kammerton = 442 Hz).

Bezeichnung	Stimmung	Gesamtlänge	Zyl. Anteil:	%	L-Faktor
Ventilkombination:	klingend:	Test Instrument:	V0: 21-75cm		zu V0:
V0	=Bb	139cm	54 cm	38,85%	1,0
V1 (-2HT)	=Ab	157cm (+18cm zu V0)	72 cm	45,86%	1,18
V3 (-3HT)	=G	167cm (+28cm zu V0)	82 cm	49,10%	1,26
V123 (-6HT)	=E	195cm (+56cm zu V0)	110 cm	56,41%	1,45
V0-16cm (+2HT)	=C	123cm (-16cm zu V0)	38 cm	30,89%	0,80

Durch den unterschiedlichen zylindrischen Anteil am Gesamtsystem ändern sich neben Intonation und Ansprache und Klang auch die equivalenten Längen. Diese equivalenten Längen bestimmen 1. die akustischen Startpositionen aller Naturtöne und 2. somit die physische Lage aller Maxima, Minima und auch der jeweiligen Nulldurchgänge.

Zu beachten sind dabei das unterschiedliche Verhalten von geraden/ungeraden NT und deren Versatz XM-PN zu XM-IN auch mit der Frequenz.

Bestimmung der Pitch XM-PN Position jedes NT mittels Perturbation:

Bemerkungen zur Datenermittlung und damit verbundener Effekte:

Alle **geraden** NT haben **VOR** XM-PN – Pitch-Nulldurchgang einen Pressure Node und eine Constriction hat hier eine zudem stärker vertiefende Wirkung (nach UNTEN)

Constrictions haben mehr Potential als Enlargements, vertiefen gerade NT mehr und der Nulldurchgang verschiebt sich nach hinten Richtung Becherseite (Knotenabstände sind länger).

Alle **ungeraden** NT haben **NACH** dem Nulldurchgang einen Pressure Node und eine Constriction hat hier eine vertiefende Wirkung (nach UNTEN)

Constrictions haben mehr Potential als Enlargements, vertiefen ungerade NT weniger und der Nulldurchgang verschiebt sich daher nach vorne Richtung Mundstück/Lippen.

Zudem findet ein genereller Versatz nach unten statt (Radius- & Volumenabhängig).

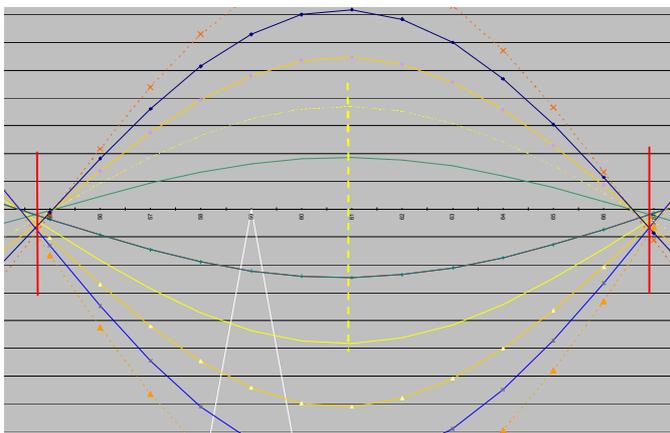
Versatz Null-Linie / Angelpunkte & Schnittpunkte bei Constrictions/Enlargements:

Wird der Perturbationsradius belassen und nur die Perturbationslänge variiert, **verbleiben die „Angelpunkte = Nodes“ an der Null Linie an exakt der selben Position!**

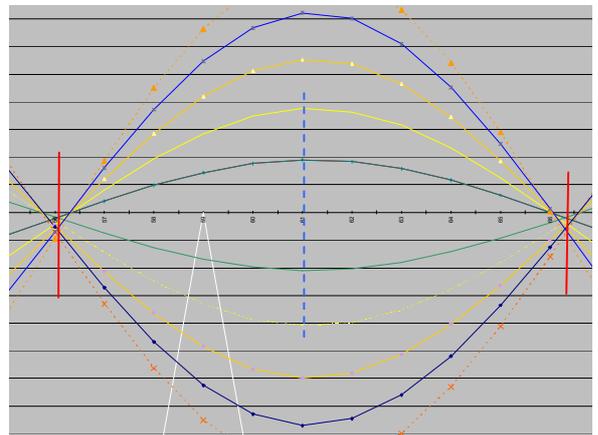
Der Schnittpunkt mit Versatz nach unten = XM-PN = ist in der Mitte der Angelpunkte bei Std. Perturbation mit R 0,5mm und (beliebiger) Länge je $\sim 5,5\% \times 1/8$ WL entfernt.

Constrictions um jeden **Pressure Node** (Pitch is lowered) herum wirken dadurch $\sim 2 \times 5,5\% \times 1/8$ Wellenlänge „breiter“ – vertiefend als die $1/4$ Wellenlänge Abstand. Enlargements wirken **hier** um diesen Betrag entsprechend „schmäler“ als $1/4$ WL.

Constrictions um jedes **Pressure Maximum** (Pitch raises) herum wirken $\sim 2 \times 5,5\%$ einer $1/8$ Wellenlänge „schmäler“ – erhöhend als die $1/4$ Wellenlänge Abstand. Enlargements wirken **hier** um diesen Betrag entsprechend „breiter“ als $1/4$ WL.



NT 6 (even): Constr. =down, Enl.=up
 Perturb. Längen 10-50mm, Radius 0,5mm
 Constrictions down wirken 5,5% „breiter“
 als der $1/4$ WL Knotenabstand <- ->
Ein Pressure Node ist hier bei 60,8cm



NT7 (odd): Constr. =up, Enl. =down
 Perturb. Längen 10-50mm, Radius 0,5mm
 Constrictions up wirken 5,5% „schmäler“
 als der $1/4$ WL Knotenabstand --> <--
Ein Pressure Antinode ist hier bei 61,1 cm

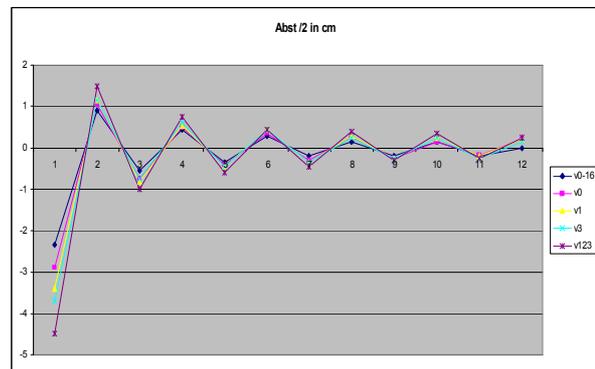
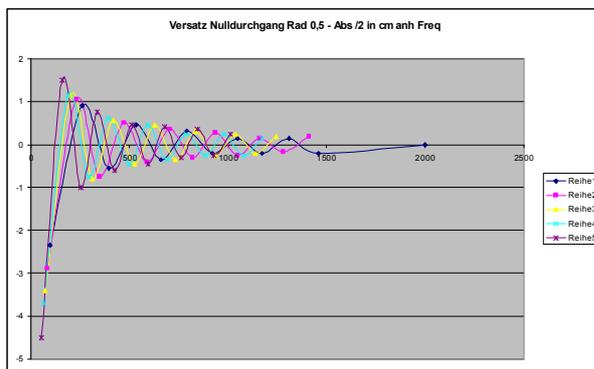
Bezogen auf Constrictions (bei Enlargements umgekehrt), liegt bei GERADEN NT der tatsächl. Ursprung NULLPUNKT auf der Null-Linie bei **XM-PN** weiter vorne ➡, um ~ 5,5 % von 1/8 WL mit Std. Pert. (Radiusabhängig, z.B. *bei Radius 1,0mm jeweils 11%*)

Bezogen auf Constrictions (bei Enlargements umgekehrt), liegt bei UNGERADEN NT der tats. Ursprung NULLPUNKT auf der Null-Linie bei **XM-PN** weiter hinten ➡, um ~ 5,5 % von 1/8 WL mit Std. Pert. (Radiusabhängig, z.B. *bei Radius 1,0mm jeweils 11%*)

Da dieses Verhalten im Wechselspiel Press.Node/Pr. Maxima auftritt ist nicht der NULLPUNKT, sondern der Schnittpunkt von Constriction und Enlargement der richtige Ausgangspunkt für die XM-Pitch Positionen. (Quasi automatisch ein Mittelwert).

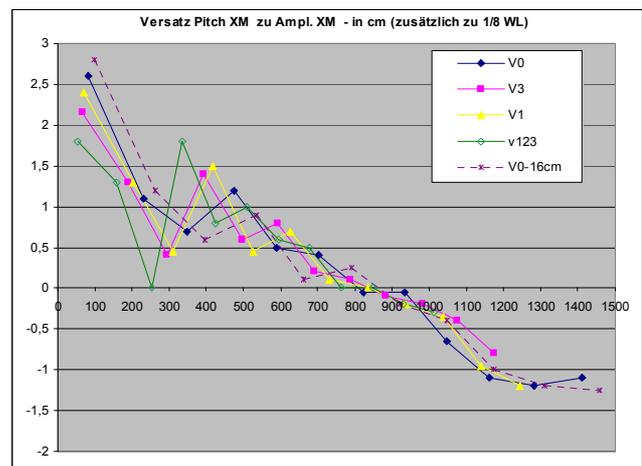
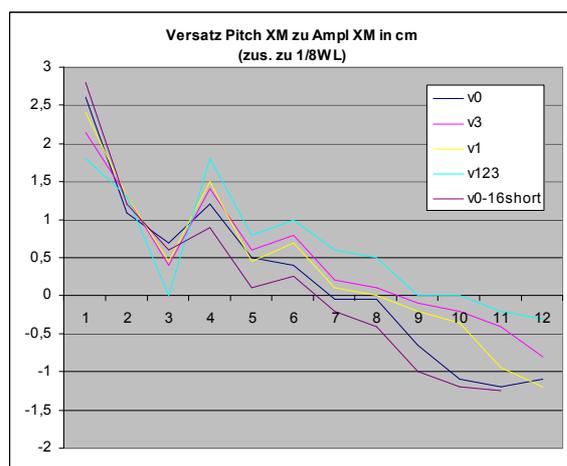
Der Versatz wird später berücksichtigt, in dem die Pitch Potentialkurven von den Schnittpunkten Constr./Enlargement (Minus Werte) aus berechnet werden und der ermittelte Versatz nach unten in Cent anschließend abgezogen wird:

Die Kurven werden nach unten verschoben und so die jeweiligen Nullpunkte korrigiert.



Versatz horizontal in cm mit Std. Perturbation (Nulldurchgänge Enl. / Constr **at XM-PN**). Mit Std. Constriction notw. Korrektur für Ursprung:
 NT7 ¼ WL = 10,3cm Korr. +2,75% = 3mm → NT8 1/4WL = 9,2cm -2,75% = 2,5mm ←

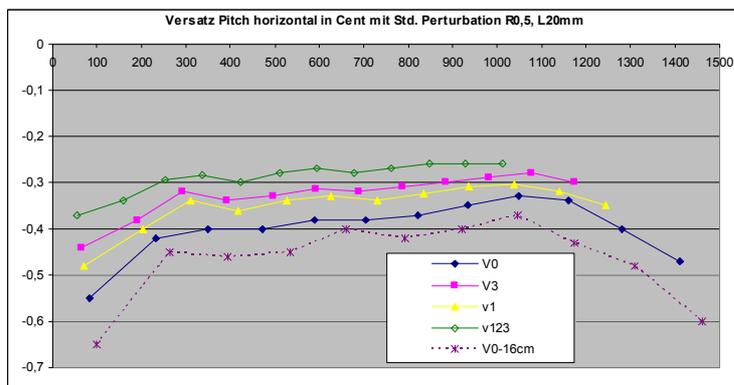
Horizontaler Versatz Pitch- zu Impedanz-Nodes in cm: ➡ ➡



Generell: Ungerade NT haben weniger, Gerade NT haben mehr Versatz als Durchschnitt.

Hinweis: Simulationsmodell Mapes-Riordan und FFT Messungen kommen hier zu anderen Ergebnissen, Enlargements haben mehr Potential, bei Messungen tritt ein Pitch Nullversatz down mit Blechstärke als Perturbation nicht auf. – Siehe Teil 7

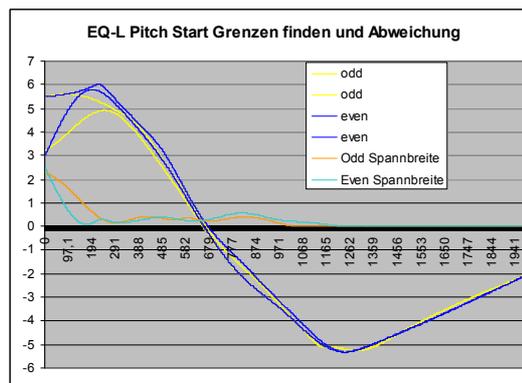
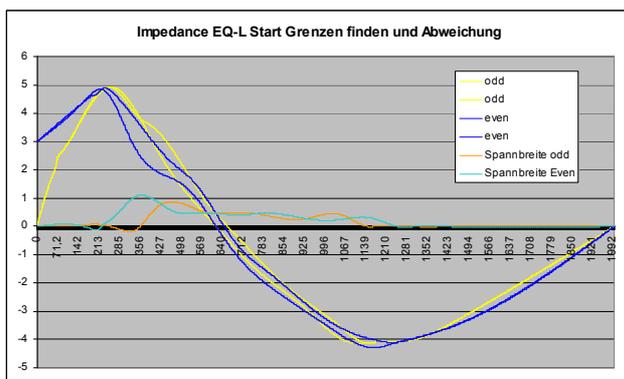
Versatz Pitch - vertikal up/down mit Std. Perturbation/Constriction: 



umso länger die Instrumentenlänge und dadurch die Wellenlängen der Naturtöne, umso weniger Versatz nach unten durch die Perturbation, (diese hat nun weniger Volumenanteil) umso weniger Versatz +/- auch bei Impedanz und Pitch Equivalent Längen Kurven.

Aus den Daten der Messungen wurden equivalente Längenkurven über die Frequenz ermittelt (mittels Spline Kurven). Die Messdaten umfassen alle Positionen in einer Spannweite von insgesamt 8 Halbtönen (6 Halbtöne tiefer als V0 durch Verlängerungen, 2 Halbtöne höher durch eine Verkürzung des zylindrischen Rohranteils um 16cm.)

Equivalente Längen Kurven über die Frequenz: 



Impedance (hat keinen Versatz) und Pitch equivalente Startpositionen / Längen finden

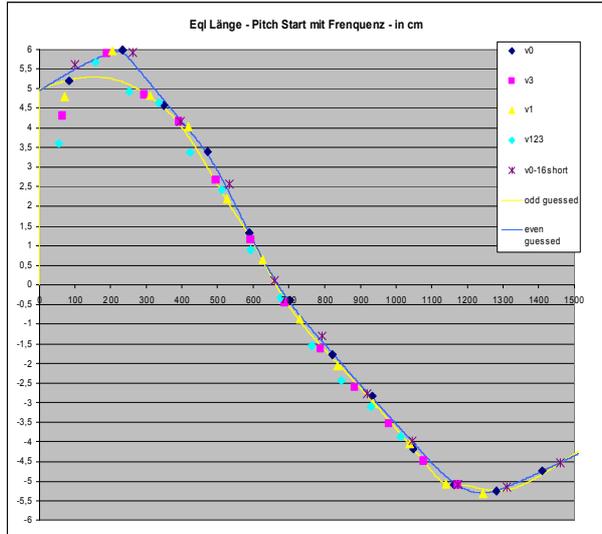
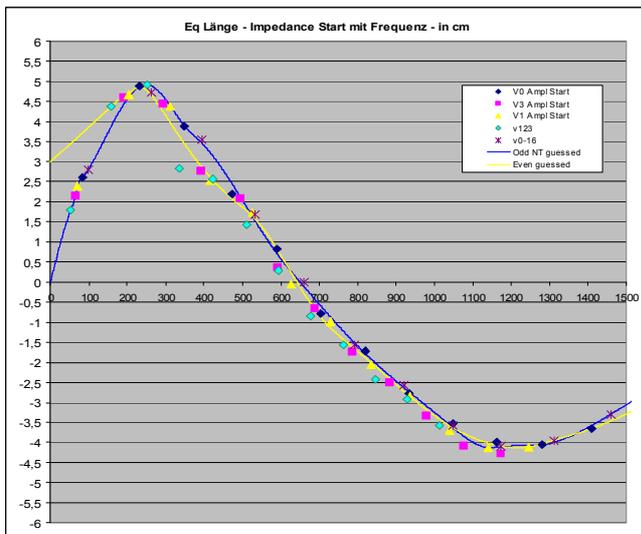
Impedanz: Große Abweichungen im Bereich 200-400 Hz
Gerade NT-Frequenzen liegen näher am Mundstück + umso größer der zyl. Anteil ist.
Der Startwert bei 0 Hz ist lediglich geraten, da er für mich keine Rolle spielt.

Pitch: detto größere Abweichungen im Bereich unter 300 Hz
Ungerade NT im unteren Frequenzbereich bis NT5 liegen näher am Mundstück, insgesamt ausgeglichener.

Die Impedanz-Start-Kurve hat weniger Extreme als die Pitch Kurve (+/- ca je 1cm).

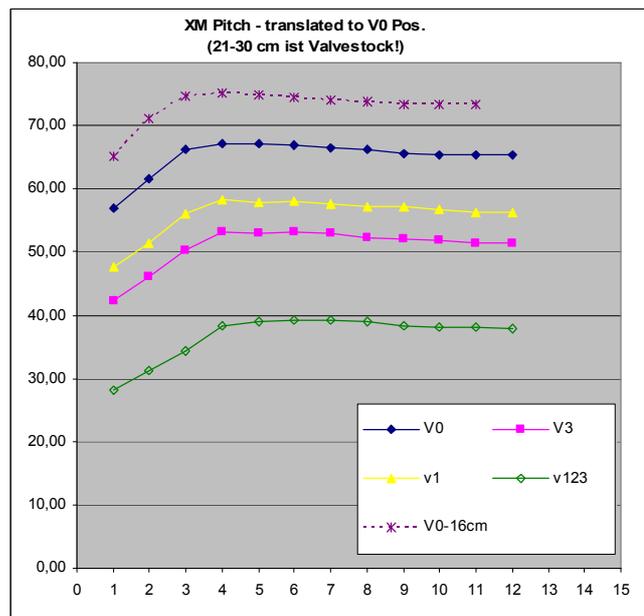
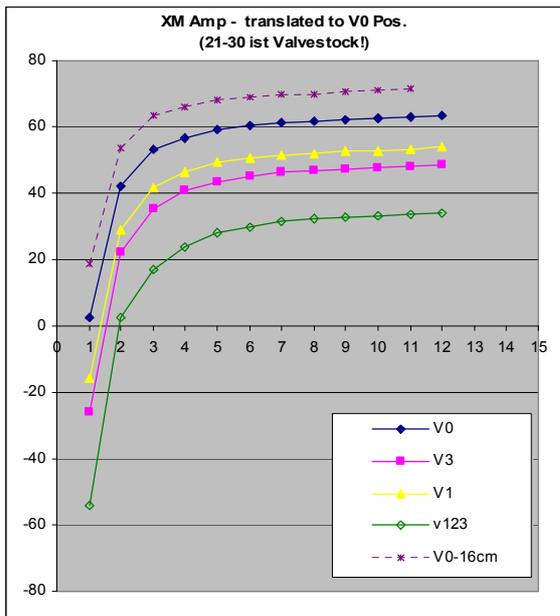
Die ermittelten Kurven erlauben eine Berechnung bei abweichender Frequenzen mit einem maximalen Fehler von rund 5mm +/- je Naturton. Ausgangslage war eine obere (v0-16cm) und untere (V123) Kurve, deren gesamter Längenunterschied 72 cm beträgt. Der Mittelwert der Spannbreiten in cm, für +/- 36cm ist für eine Länge von 159cm berechnet, Aus diesen Werten ergeben sich Faktoren pro cm Längendifferenz zu 159cm, sowohl für die Pitch als auch für die Impedanz EQV. Kurven.

Eqivalente Längen Kurven in cm: ↻ ↺



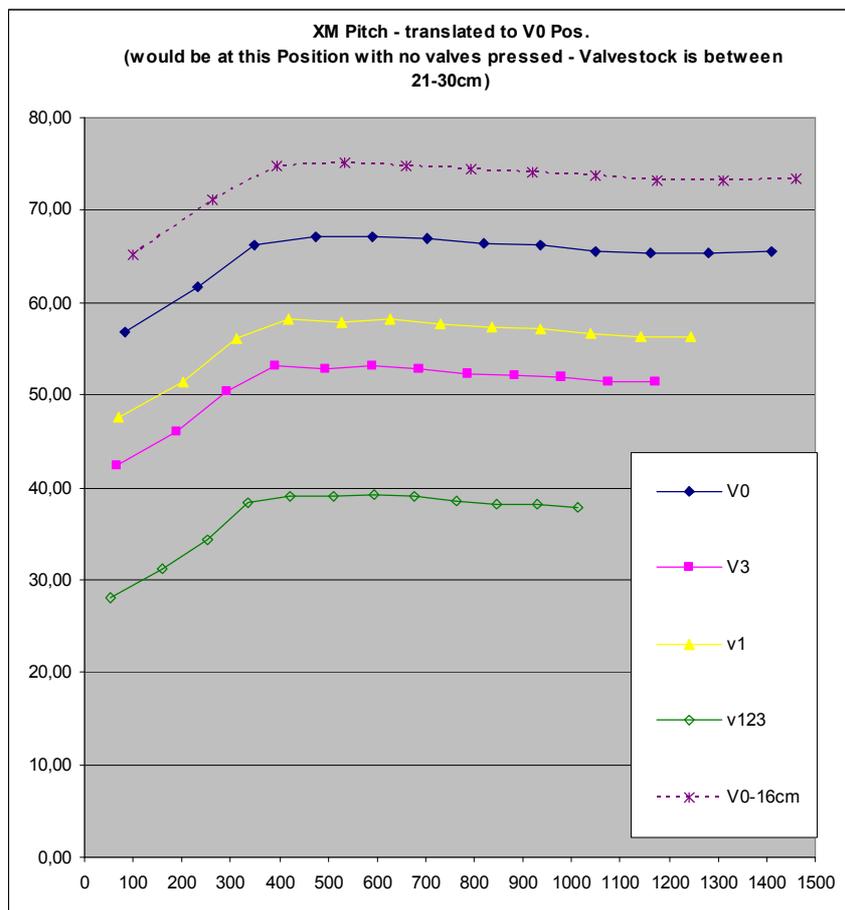
Ergebnis kalkulierte Eqv-Kurven für Impedanz und Pitch, am Beispiel V0 = 139cm TL.

Positions of XM-IN1 & XM-PN – translated to V0 – Positions: ↻ ↺



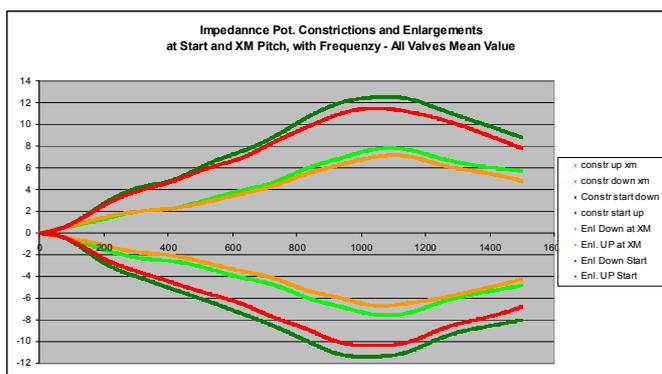
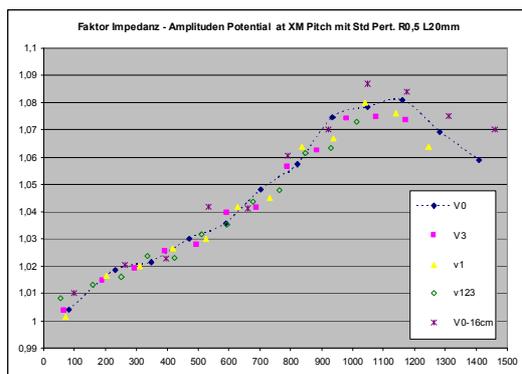
Die Punkte entsprechen so dieser physikalischen Position bei V0. (mit Rotary Std. Position, Valvecluster Start bei 21cm)

XM-PN, detto aber bezogen auf Frequenz: ↻ ↺



Die Punkte entsprechen so dieser physikalischen Position bei V0.

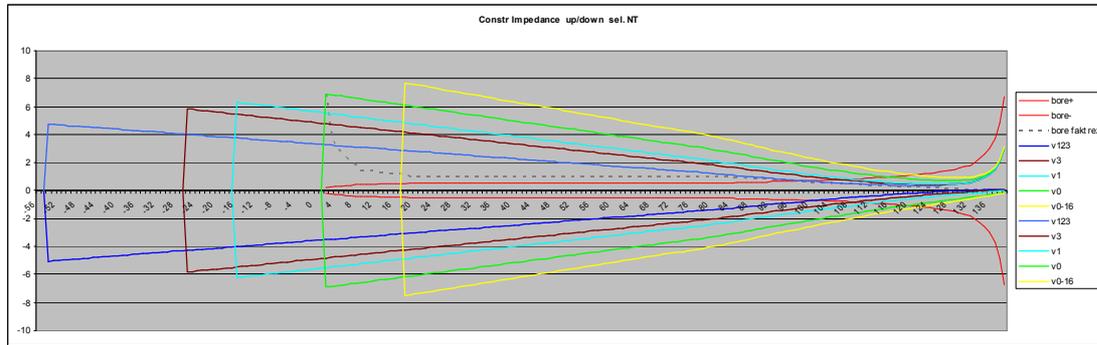
Impedance Pot. Change Faktor at Start und nahe XM-PN mit Std. Perturbation:



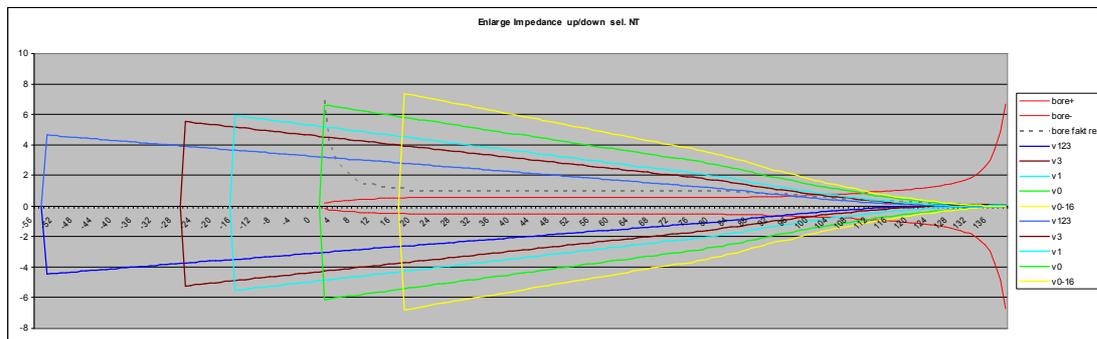
Constr+Enl. (vermischt) nahe XM-PN Mittelwerte getrennt für Strahllinien/Hüllkurven.

Es wurden separate Mittelwerte berechnet; Bis 1000 Hz sehr exakt, weiter steigen Abweichungen des Potentials auf rund max +/-10% (V0-16 unter-, V123 überbewertet).

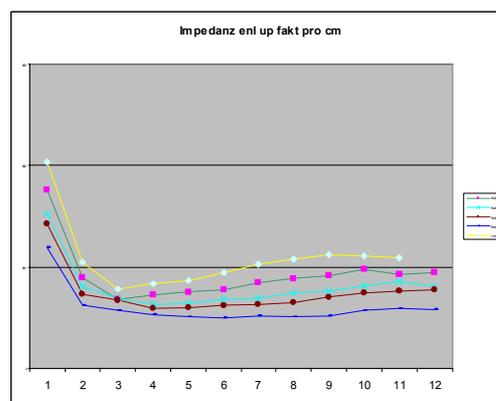
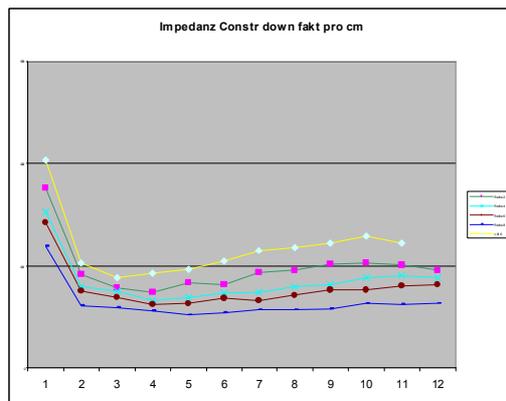
Hinweis: Bei Simulationen ist das Magnituden Potential stark überbewertet, bei Messungen ergibt sich wesentlich weniger Änderungs-Potential. Das Pitch Pot bei plane Wave mit einem höheren Lossfaktor (~1,66) liegt näher an Messungen = weniger Pitch Pot.



Hüllkurven Impedanz(% Change) – Beispiel NT5 – Constrictions, Std. Perturbation

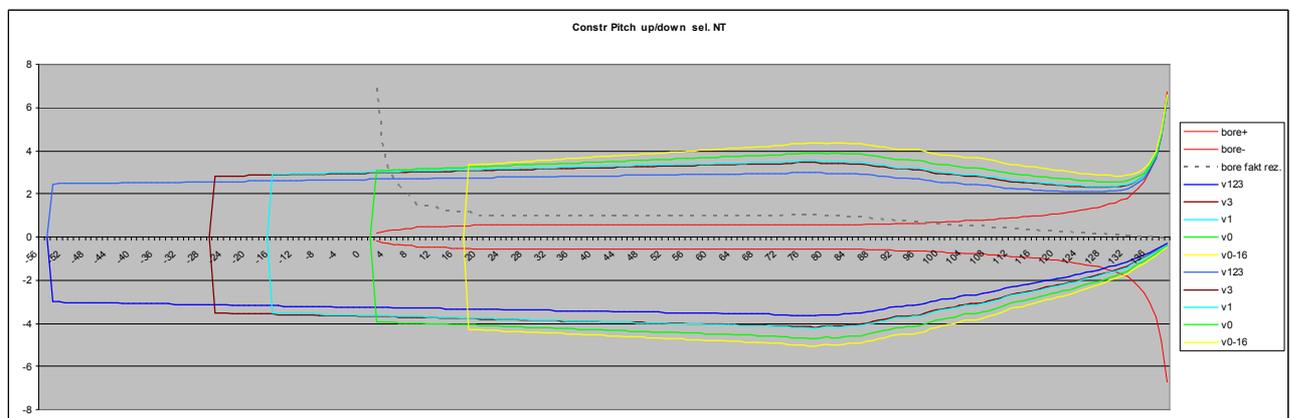


Hüllkurven Impedanz (% Change) – Beispiel NT5 – Enlargements, Std. Perturbation

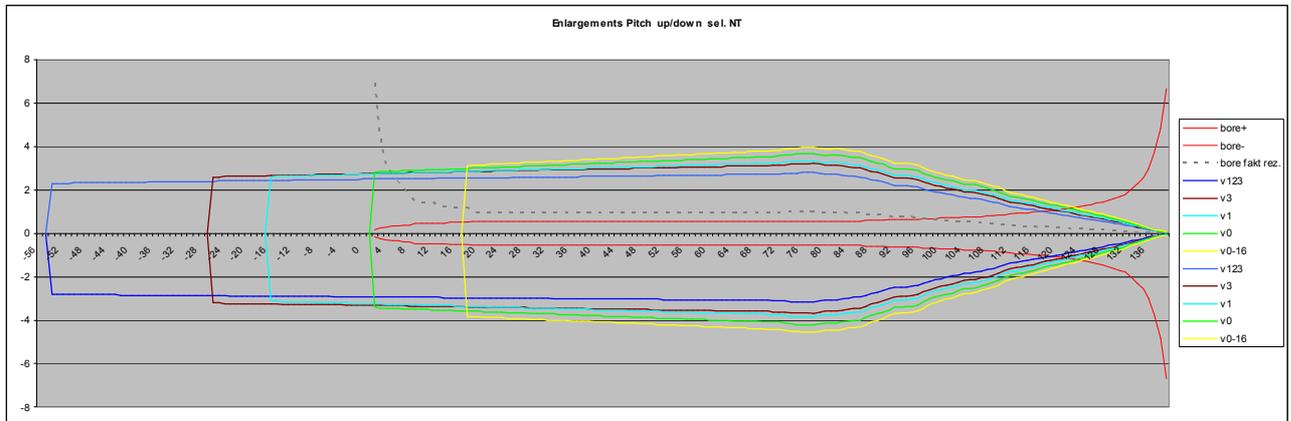


Winkel Abschwächung – Faktor pro cm („Strahllinien“)

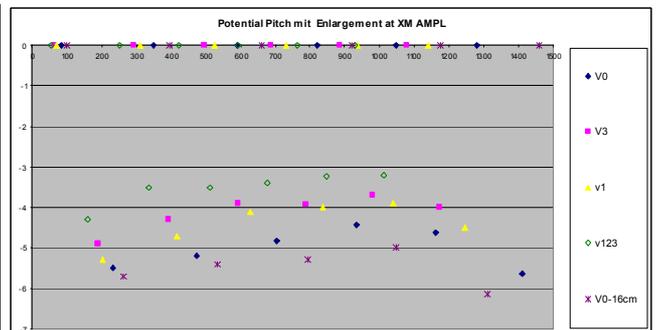
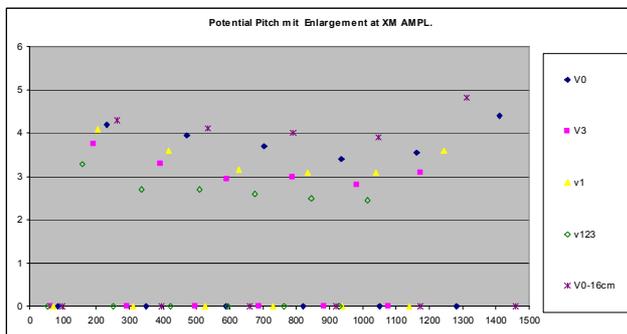
Pitch Potential mit Std. Perturbation & Valve Combinations:



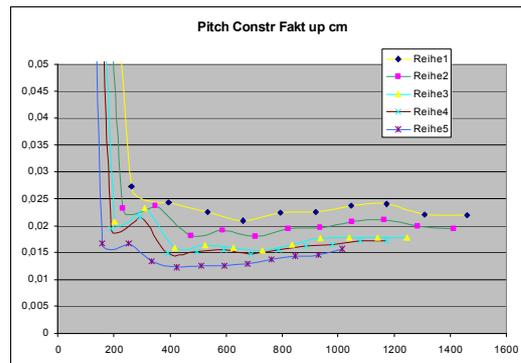
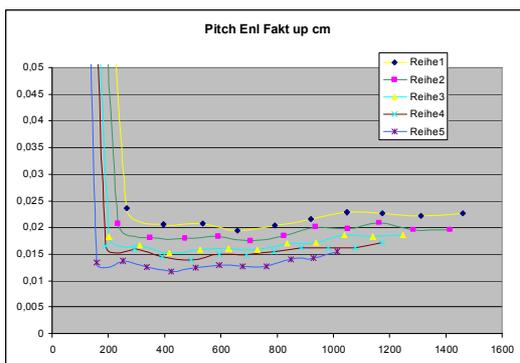
Hüllkurven Pitch Potential in Cent – Beispiel NT8 - Constrictions



Hüllkurven Pitch Potential in Cent – Beispiel NT8 - Enlargements

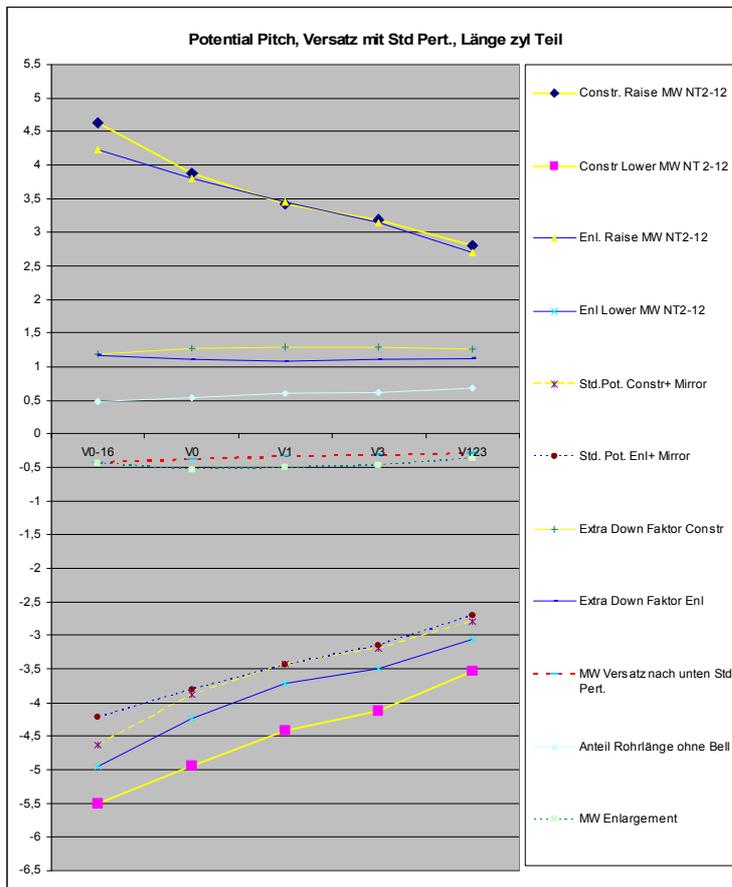


Einfluß der Std. Perturbationslänge bezogen auf die Wellenlängen gut erkennbar
Pitch Pot up, Pitch Pot down



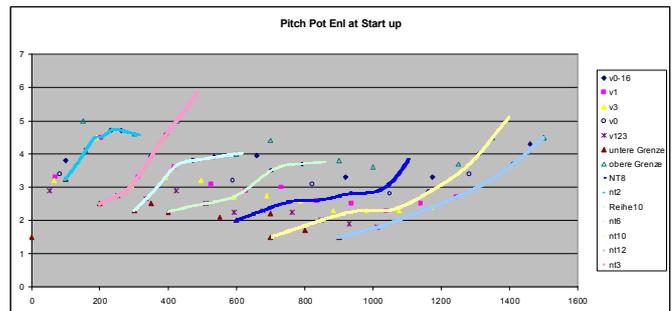
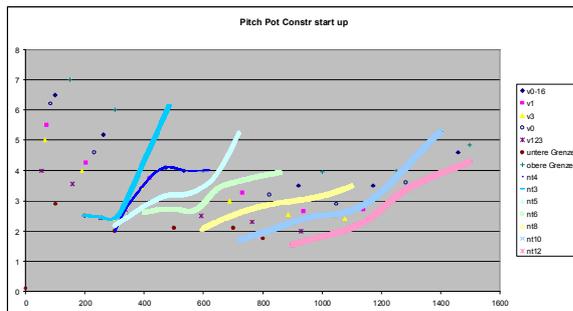
Winkel der Hüllkurven, Faktor Zunahme pro cm („Strahllinien“); blau=V123, grün=V0

Potential mit verschiedenen Ventilkombinationen/(Längen) - Mittelwerte:

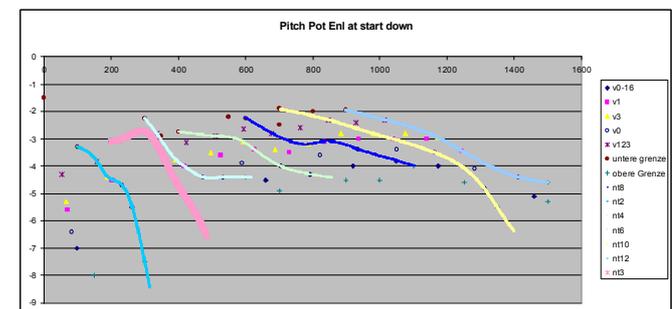
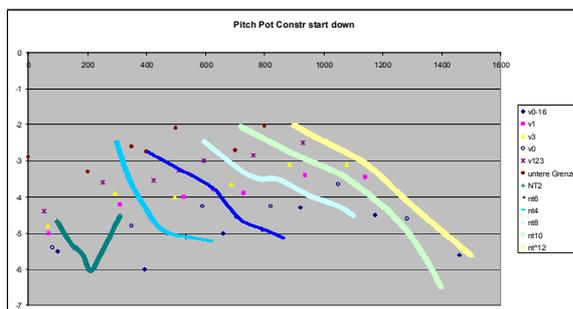


Mittelwerte zur Übersichtlichkeit- Pitch Pot. und Versatz in Cent, bei Pos. XM-IN +Versatz.

Potential Pitch, ermittelt (Splines) frequenzabhängig, bei Start MPC:

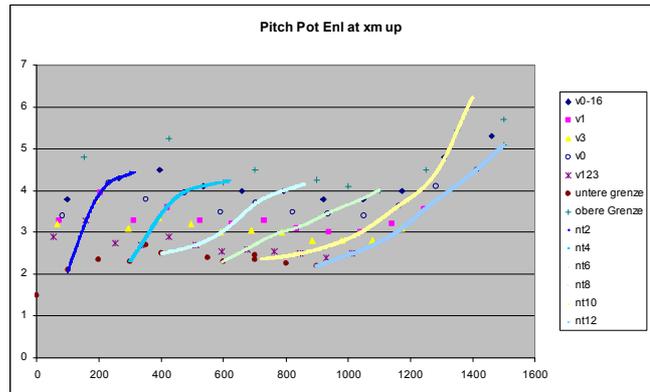
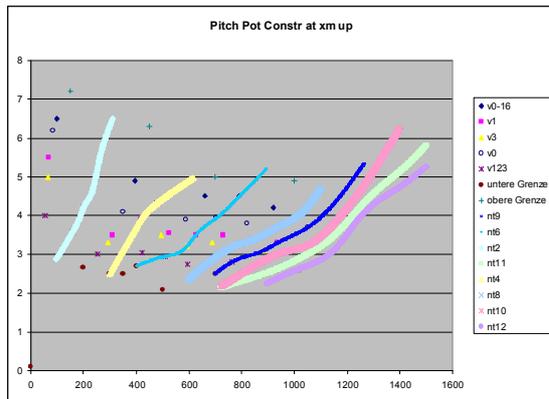


Pitch Pot. UP in Cent zu Naturtönen/Frequenzen – Pot. at Start (Splines sind Beispiele)

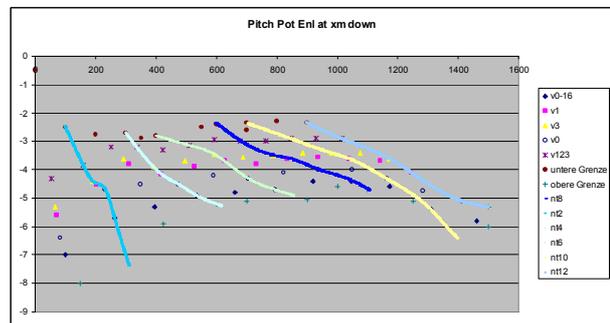
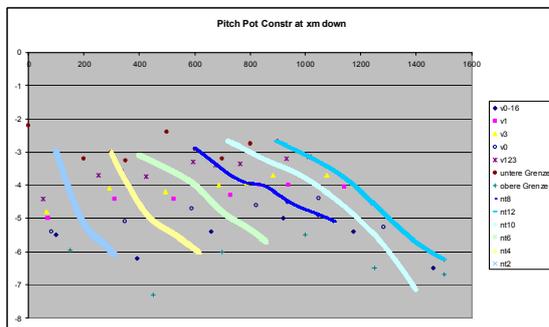


Pitch Pot. DOWN in Cent zu Naturtönen/Frequenzen – Pot. at Start (Splines=Beispiele)

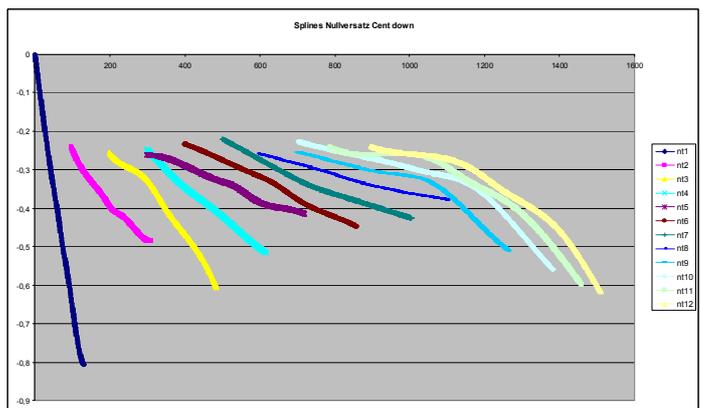
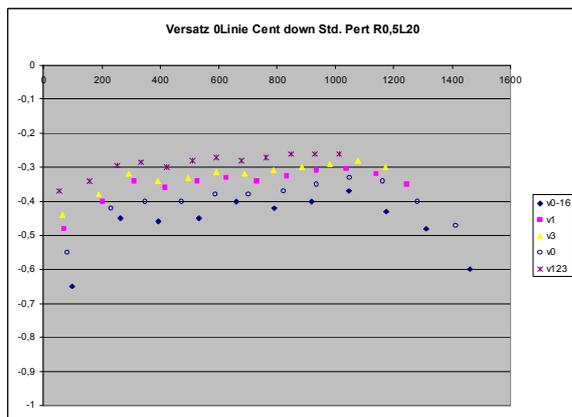
Potential Pitch, ermittelt (Splines) Frequenzabhängig bei XM-IN1+Versatz:



Zuordnung Pitch Pot. in Cent zu NT/Frequ. – Pot. at XM AMPL-korr. (Splines=Beispiele)



Zuordnung Pitch Pot. in Cent zu NT/Frequ. – Pot. at XM-IN+Versatz. (Splines=Beispiele)

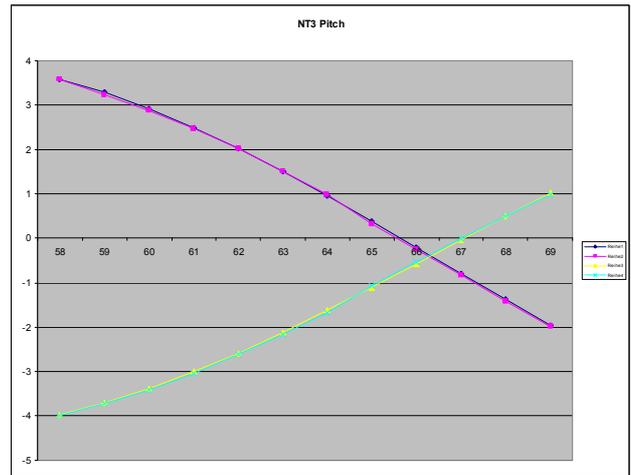
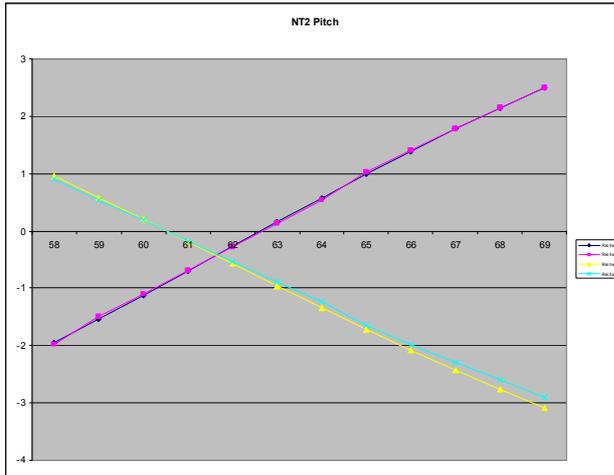


Nullversatz Cent down zu NT/Frequenz (Splines)

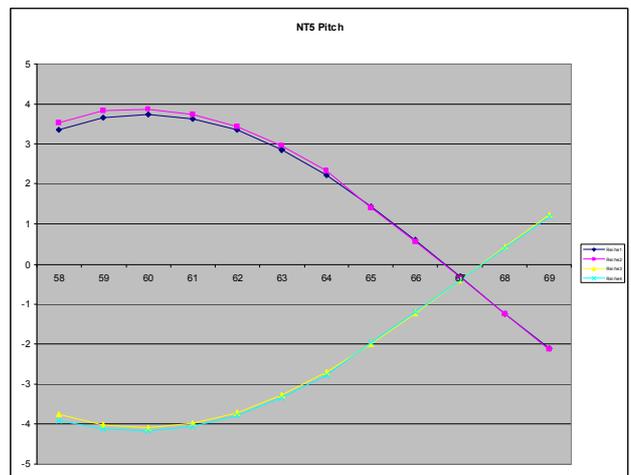
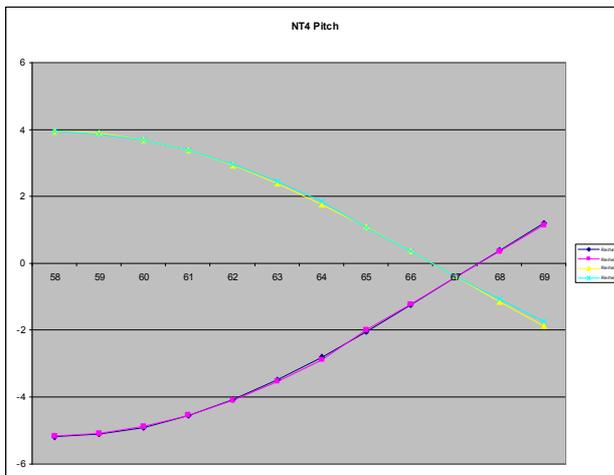
Vergleich Messung und Berechnung mit Ergebnissen der verwendeten Hüllkurven:

Vergleich V0 berechnet zu den Messdaten – mit Standard Perturbation 58-69cm

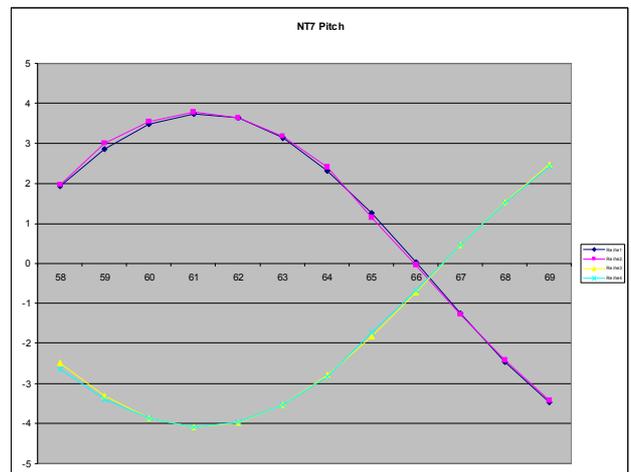
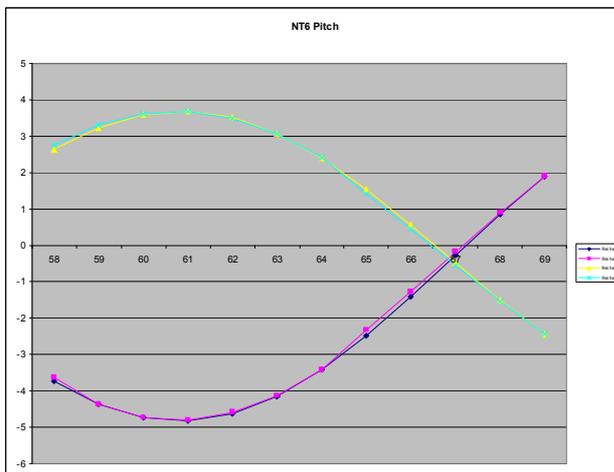
Blau: Constriction Messung, Rosa Constriction Berechnung,
 Gelb Enlargement Messung, hellblau Enlargement Berechnung

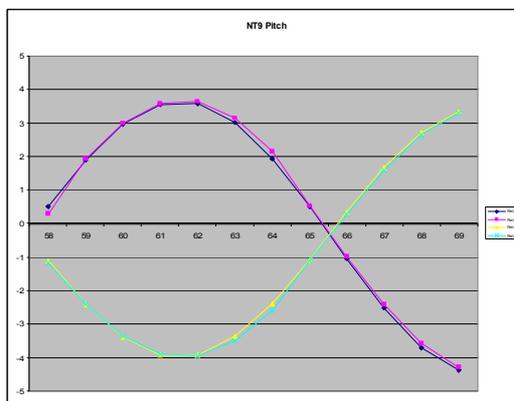
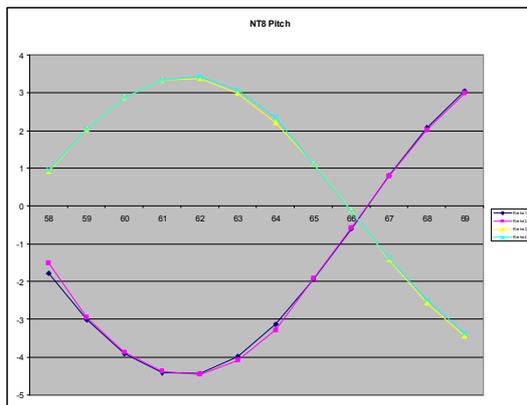


Bei NT2 merkt man, die Hüllkurve stimmt nicht exakt überein.

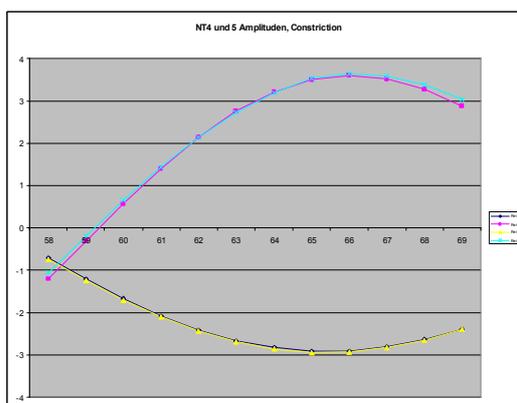
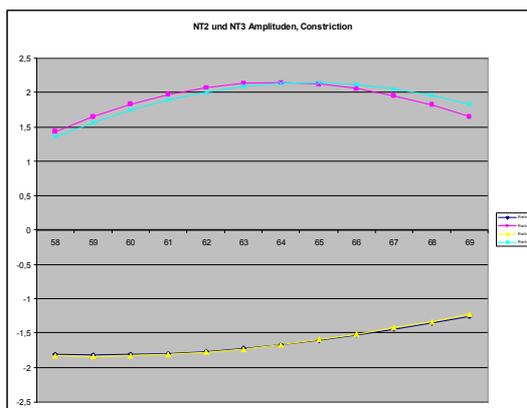
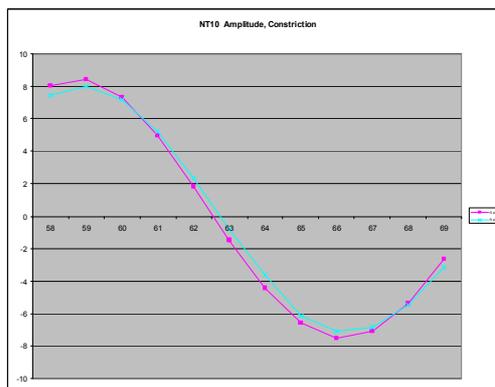
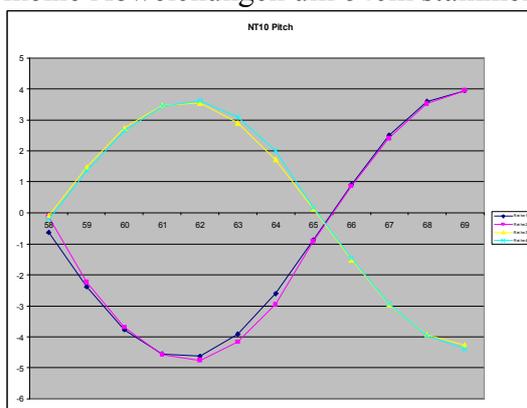


NT5: minimale Abweichung Constr. UP, vor XM-PN

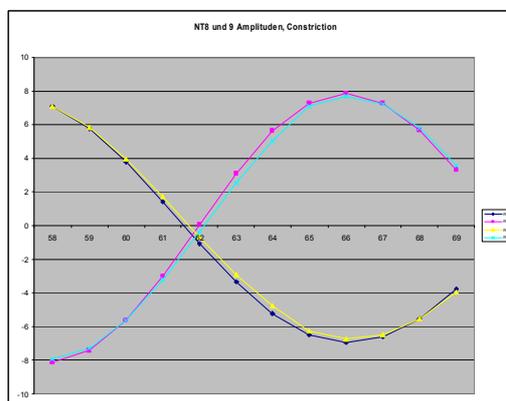
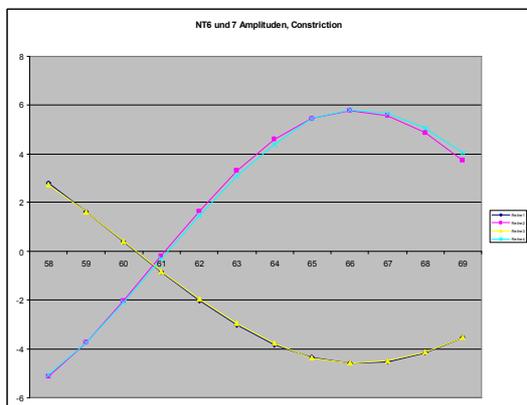




kleine Abweichungen um 64cm stammen von 0,2cm Differenz Position / Sampling



Bei NT2 merkt man auch bei Amplitude, die Hüllkurve stimmt nicht genau überein.



Abweichungen um 64cm herum sind aufgrund 0,2cm Diff. Position / Sampling

Zusammenfassung, Ausblick & Kommentare aus Teil 7:

Das sind nun die ermittelten Daten der virtualisierten Trompete als Grundlage für Simulationen anhand Messungen realer Instrumente. Das Projekt nimmt wesentlich mehr Zeit in Anspruch als dafür geplant war, aber es haben sich für mich wesentliche neue Erkenntnisse, die ich ja gesucht habe ergeben.

Das Modell zur Berechnung und Umformung der Messdaten liefert sehr gute Ergebnisse. Alle notwendigen Werte sind auf die Frequenz bezogen umgerechnet.

Die Werte gelten für Instrumente in Bb Stimmung, durch die gewonnenen Daten von V0-16cm dürften die Werte aber auch gut passend für Instrumente in High Pitch Bb und in C Stimmung verwendet werden können, da hier der Schallbecher meist nur unwesentlich kleiner ist, sofern das selbe Mundstück und ein ähnliches Mundrohr verwendet wird.

Selbstverständlich wird es Abweichungen bei jedem Instrument geben, diese Abweichungen werden dann in zukünftige Projekte einfließen. Speziell die Abweichungen der Simulation mit ART gegenüber Messungen realer anderer Instrumente wird spannend, vor allem weil Mundstück und Becher für mich schwierig zu vermessen sind, Ventilstöcke Unregelmäßigkeiten aufweisen, etc. und im LOSS-Faktor hohe Fehlerquellen liegen.

Hinweis: In Teil 7 werden die gefundenen Unterschiede zu realen Messungen untersucht, ebenfalls Abweichungen bei anderen Simulationsmodellen. Ergebnisse und Abweichungen daraus wurden nun als Kommentare nachträglich hier eingefügt (orange).

Da die Einzelteile des virtualisierten Instrumentes prinzipiell vorhanden sind (Mundstück, Mundrohr, eine Zylindermaschine mit Bore size 11,0mm, zylindrisches Rohr und Stimmzugbogen mit 11 mm und der vermessene Becher), ist der Zusammenbau des Instruments mit darauf folgenden Referenzmessungen geplant – Teil 7 und 8.

Für die folgende Anwendungen und Optimierungsversuche werden benötigt:

- Die frequenzabhängigen Daten der Standard-Perturbationen aus diesem Projekt:
- Equivalent Length Kurven für Pitch und Impedanz+Korr. pro cm (Enl, Constr, Odd, Even)
- Pitch Potential Kurven für Start und bei XM AMPL-korr. (Enl., Constr, up, down)
- Impedanz Potential Kurven für Start und bei XM Pitch (Enl., Constr, up, down)
- Versatz der Nulllinie über Frequenz (lowering Effekt)
- Die gewonnenen Formeln zur Berechnung div. Potentiale, Positionen, Abschwächung Becher, vertikaler und horizontaler Versatz, Wiener Klappen, und so weiter.

Die Anwendung ermittelter Perturbationen und Referenzmessungen mit Vergleich der Abweichungen zum simulierten Ergebnis.

- Impedanz Auswertung des virtuellen oder realen Instruments (alle Ventillängen)
- Längenabmessungen (Ventillängen werden aus Impulse Response ermittelt)
- Für genauere Berechnungen der Abschwächung das Bore Profile des Bechers.
- Software, die jetzt weiter entwickelt wird.

Herzlichen Dank meinen Ideengebern der letzten Jahre und hilfreichen Quellen, alle kann ich leider nicht aufzählen:

Dr. Arthur H. Benade	https://ccrma.stanford.edu/marl/Benade/
Dr. Klaus Wogram	http://www.wokustik.de
Dr. Richard Smith	https://www.smithwatkins.com
Institut für Wiener Klangstil	https://iwk.mdw.ac.at/?sprache=1
ART Acoustical Research Toolkit	http://artool.sourceforge.net/
ARTIM / Bias / Vias	https://www.artim.at/?page_id=2&sprache=1
FFT-Properties	https://www.dewresearch.com/products/159-fft-properties
William T. „Bill“ Cardwell	http://stomvi-usa.com/bill-cardwell/
Adolphe Sax	https://de.wikipedia.org/wiki/Adolphe_Sax
Vincent Bach	https://de.wikipedia.org/wiki/Vincent_Bach
Renold Schilke	https://en.wikipedia.org/wiki/Renold_Schilke
Horn-u-Copia	http://www.horn-u-copia.net/
Brasstacks.de	https://www.brasstacks.de/
Openbrass.org	http://www.openbrass.org
	http://newt.phys.unsw.edu.au/jw/brassacoustics.html#harmonics
Trompetenforum.de	http://trompetenforum.de/TF/
Wikipedia	www.wikipedia.de

Bücher /Ressourcen zusätzlich:

John Backus	The Acoustical Foundations of Music
Bahnert/Herzberg/Schramm	Metallblasinstrumente
Fletcher / Rossing	The Physics of Musical Instruments
Walther Krüger	Lokale Mensurveränderungen, Grafik

Anhang:

Von mir verwendete Abkürzungen / Shortcuts / Bedeutung:

Abkürzung / Shortcuts:	Deutsch
Acoustic Impedance	Verhältnis von Schalldruck zu Schallfluß
Ampl. Max.	Eingangs-Impedanz Peak Maxima Pot.
Ampl. Min.	Eingangs-Impedanz Peak Minima Pot.
Ampl. Pot	Potential einer Änderung der Eingangsimpedanz-(Peak Maxima)
Amplitude	Eingangs- Impedanz Potential Peak
Antinode	ein Maximum oder Minimum – Gegenteil von Node / Nulldurchgang
attenuation / decrease	Abschwächung
Bb Trompete	B Trompete
Bell	Schalltrichter
Bell Flare	das ausladende Schallstückende
Bore size	Bohrung, Durchmesser oder Radius eines zylindrischen Rohres
Cent	1/100 eines Halbtones in gleichmäßig schwebender Stimmung
Change	Änderung
Clock	Uhr
Closed (Cone / Zyl)	geschlossen (hier einseitig) Konus / Zylinder
Constriction / Constr.	lokale Einengung Durchmesser
Druckbauch / Press. Max	Druckbauch / Max. (Maximale Fluktiation zwischen Über- und Unterdruck)
Druckknoten / PrNode	Druckknoten / Umgebungsdruck
Dyn. Bandwith:	wie sehr ein Grundton durch Harmonische beeinflusst werden kann
Einengung	lokale Einengung Durchmesser
Enlargement / Enl.	lokale Erweiterung Durchmesser
Equivalent Lenght	akustisch wirksame Länge mit Frequenz veränderlich
Eqv L	akustisch wirksame Länge mit Frequenz veränderlich
Erweiterung	lokale Erweiterung Durchmesser
ET	gleich schwebend temperierte Stimmung
Even	gerade Vielfache des Grundtones
Flow	Schallfluß
Fractional Return:	Anteil Energie, die zu den Lippen zurückkommt
Gap	Eine Diameter Erweiterung /(gewollt/ungewollt)
GT	Grundton
Harmonische	mathematisch, aufsteigend ganze Zahlen
harmonic - math.	alle aneinanderfolgende ganze Zahlen (ohne Unterbrechung)
Hole	Loch
HT Frequenz Achse:	Auswertungen über die Frequenz - mit Fehlerstreuung
Impedanz; / Impedance	Verhältniss von Schalldruck zu Schallfluss
JI	Just Intonation = reine Stimmung bezogen auf Grundton
Kesselvolumen	Volumeninhalt des Mundstück-Kessels
Konisch / conical	als Bezeichnung für "sich erweiternd" verwendet, auch ohne fixen Winkel
KT	Kammerton
Level	Lautstärke / Ausführung ppp - fff
lower(s)	vertieft (Tonhöhe)
Magic Spot	bestimmte Stellen, siehe Kennkurven
Main Bore:	Bohrung des zyl. Anteils
Mpc	Mundstück
Mpc Eqv. L	akustisch wirksame Länge des Mundstücks
MPipe	Mundrohr
MR	Mundrohr
MW	Mittelwert
Node	Knotenpunkt / an Nulllinie
NT #	Naturton Nr.
NT1	Grundton
Nulldurchgang	Linie schneidet bei 0

Obertöne / harmonics	Obertöne / "mathematisch" harmonische des Grundtones
ODD	ungerade Vielfache des Grundtones
open	offen
Peak	Impedanzmaxima / Spitze
Perturbation	Störung, lokale Veränderung Durchmesser
Pitch	Tonhöhe / Frequenz
Pitch Pot.	Potential einer Tonhöhenänderung
Popping frequ	1. Resonanz des Mundstückes
Press. Min. / Pmin	Druck - der jeweilige Niedrigpunkt eines lokalen Unterdrucks/min. Schwankung
Press.Max. / Pmax	Druck - der jeweilige Höhepunkt eines lokalen Überdrucks/max. Schwankung
Pressure	Luftdruck
Q-Faktor / Resonanzgüte	Wie schwer es ist, die Tonhöhe (mit Lippen) zu ändern Hoch = schwerer
raise(s)	erhöht (Tonhöhe)
reine Stimmung	Just Intonation = reine Stimmung bezogen auf Grundton
reinforcement / increase	Verstärkung
Roundtrip Time	Zeitdauer Signal von Lippen zu Schallbecher + zurück in 1/1000 Sekunden
Standing Wave	Stehende Welle / Luftsäule im Instrument
Std. Pert.	Standardänderung: Hülse oder Erweiterung, Radius 0,5mm, Länge 20mm
stehende Welle	die stehende Luftsäule
Stengelvolumen	Volumeninhalt des Mundstückschafes/Rückbohrung/Stengels
Strahl - Linien	Gerade, die sich fortsetzen würde
Stürze	Schallbecher-Ausladung
Umkehrpunkt	bestimmte Regionen/Positionen, siehe Kennkurven
V0	kein Ventil gedrückt
V0-16cm	Verkürzungsventil! 2 Halbtöne höher als V0
v1	1. Ventil gedrückt (1 Ganzton länger/tiefer)
v123	1+2+3, -Ventil gedrückt (6 Halbtöne länger/tiefer)
v3	3. Ventil gedrückt (1 1/2 Ganzton länger / tiefer)
Valve	Ventilschleife - Längenverhältnis zu V0+
velocity	Geschwindigkeit
Versatz / Offset	Korrekturwerte/Abweichungen
Wave Impedance:	Das Umfeld innerhalb des Instruments
Wgt / Weighting	Gewichtung nach Summenprinzip Wogram
Wiener Klappen/Löcher	Überblasklappen/Löcher
WL	Wellenlänge
XM	der bestimmte Punkt in der Mitte bei x
XM-IN bzw. XM-Ampl	der Impedanz Nulldurchgang in der Mitte bei x
XM-PN bzw., XM-Pitch	der Pitch Nulldurchgang in der Mitte bei x

Glossary:

Used Shortcuts / Definitions:

Abkürzung / Shortcuts:	English
Acoustic Impedance	Ratio of Pressure to Flow
Ampl. Max.	Input Impedance Maxima Peak
Ampl. Min.	Input Impedance Minima Peak
Ampl. Pot	potential of changes to input impedance (maxima peak)
Amplitude	Input Impedance Potential
Antinode	antinode
attenuation / decrease	attenuation / decrease
Bb Trompete	B flat trumpet
Bell	bell
Bell Flare	Bell Flare
Boresize	radius oder diameter of cylindrical tube
Cent	1/100 of e semitone in equal tempered scale
Change	change
Clock	clock
Closed (Cone / Zyl)	closed (here at one end) conical / cylindrical tube
Constriction / Constr.	local constriction of diameter
Druckbauch / Press. Max	Pressure Antinode (Max. Pressure)
Druckknoten / Press. Min	Pressure Node / Min. Pressure)
Dyn. Bandwith:	how much a 1st partial can be influenced by higher harmonics
Einengung	local constriction of diameter
Enlargement / Enl.	local enlargement of diameter
Equivalent Lenght	equivalent acoustic Lenght, changes with frequency
Eqv L	equivalent acoustic Lenght, changes with frequency
Erweiterung	local enlargement of diameter
ET	equal tempered scale
Even	even numbers of 1st natural
Flow	Acoustical Flow
Fractional Return:	Fractional return of enery to the lipps.
Gap	an Enlargement (wanted oder not wanted)
GT	1st Natural / root tone
Harmonische	mathematical ascending whole numbers
harmonic - math.	harmonic series
Hole	hole
HT Frequenz Achse:	half-tone frequency analysis - with error compensation
Impedanz; / Impedance	Ratio of acoustic pressure to flow
JI	JI = just intonation, related to 1st harmonic. (root)
Kesselvolumen	volume of mouthpiece cup
Konisch / conical	often use only as description of taper / not only with a fixed rate
KT	Concert Pitch
Level	Volume Level ppp to fff
lower(s)	lowers (pitch)
Magic Spot	magic spots, see "Regions of Interest"
Main Bore:	Main Bore Size
Mpc	Mouthpiece
Mpc Eqv. L	Mouthpiece eqv. Length
MPipe	Leadpipe
MR	LeadPipe
MW	Mean Value
Node	node
NT #	Natural Tone #
NT1	1st natural tone
Nulldurchgang	zero crossing

Obertöne / harmonics	overtones of the 1st natural tone
ODD	odd numbers of 1st natural
open	
Peak	impedance maxima peak
Perturbation	disruption, local change in diameter
Pitch	Frequenzy of natural tone
Pitch Pot.	potential of pitch changes
Popping frequ	1st resonant frequency of Mouthpiece
Press. Node / PrNode	Pont of the Pressure Node
Press.Max. / Pmax	Point of the max. Pressure Antinode (+/- fluctuation)
Pressure	air pressure
Q-Faktor / Resonanzgüte	how easy it is, to correct the pitch up/down with (the lips) lower=easier
raise(s)	raises (pitch)
reine Stimmung	Jl = just intonation, related to 1st harmonic. (root)
reinforcement / increase	reinforcement / increase
Roundtrip Time	Time span from lips to bell and back in 1/1000 seconds.
Standing Wave	standing wave inside the instrument
Std. Pert.	Definition: Gap oder sleeve with radius 0,5mm and Lenght 20mm
stehende Welle	standing wave
Stengelvolumen	volume of mouthpice backbone
Strahl - Linien	ray-line which would continue
Stürze	Bell
Umkehrpunkt	turning points, see "Regions of Interest"
V0	no valve is pressed – without valve loops
v0-16cm	is a shortening valve! 2 semitones higher / shorter then V0
v1	1st valve pressed / 2 semitone longer, lower)
v123	1st+2nd+3rd Valve pressed (6 semitones longer/lower)
v3	3rd valve presse / 3 semitones longer, lower
Valve	valve pressed / ratio to V0 (no valve pressed)
velocity	velocity
Versatz / Offset	offset / displacement
Wave Impedance:	typical impedance inside the instrument
Wgt / Weighting	Weighting Level Sum prinzip after Wogram
Wiener Klappen/Löcher	Vienna Keys, open Holes
WL	wavelenght
XM	the specific point in the middle at x
XM-IN1 or XM-Ampl1	the impedance zero crossing in the middle at x
XM-PN oder XM-Pitch	the pitch zero crossing in the middle at x

A.R.T.	= Acoustical Research Toolkit	open source Simulation Software
OW	= OpenWind © Inria, France	open source Simulation Software
©Bias, ©Bios by Artim		commercial Simulation Software