Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten

Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten.

Teil 2C: Perturbationen bei simplen Geometrien: Closed Cylinder & Frustum closed-open

Projektstand per 19.11.2023, Revision 11.0

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:

brassissima
The fantastic world of Brass Instruments

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

Hermann Preisl

Altwaidhofen 45
3830 Waidhofen/Thaya, Austria

brassissima@preisl.at

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

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

Inhalt Teil 2C: **– A.R.T. Perturbation Testreihe** Seite

Übersicht Perturbation Testreihe, Hinweis auf Sideletter #2 und #3 3
Input Impedanz Peak-Potential durch Perturbationen generell
Berechnete Druckkurven, Längenkorrekur offene Enden 4
Perturbationen – lokale und globale Auswirkungen (aus Bios© Trp. Test) 5

Teil A-1: Closed-open Zylinder, invers proportionale Einengungen
Perturbations-Spiralen und der wundersame letzte ¼ WL Abschnitt 6
Der komplexe Fall Resonanz Mode #1 8
Die einzelnen höheren Resonanz Modes #2-#8 9
Magnituden max. Pot. - Positionen 14
Magnituden Potential, Hüllkurven 15
Ermittelte Inharmonizität closed Zylinder, Root Frequenzen der Peaks+Minima 16
Verluste in der Simulation, Vergleich Loss Faktor 1,1 und 1,0 17

Teil A-2: Closed-open Zylinder, Einengungen mit gleicher Querschnitt Diff.
Unterschiede zu Teil A-1, sowie Abweichungen anhand von Fehlern 18
Perturbations-Spiralen und der wundersame letzte ¼ WL Abschnitt 20
Der komplexe Fall Resonanz Mode #1 22
Die einzelnen höheren Resonanz Moden, Mode #2-Mode #8 23
Magnituden Potential, Treppen-Effekt Constrictions, Hüllkurven 28

Teil A-3 Grundlegende Beobachtungen geschlossener Zylinder
Endkorrektur offenes Ende und Verluste ergeben einen „Grundversatz“ 30
Cl. Cylinder: Analyse der Effekte durch Perturbationen auf Resonanzpeaks 31
Grundversatz von Druckknoten = Pitch-Kurven Richtung offenes Ende
Magnituden haben zu Pitchnodes einen Versatz Richtung geschlossenes Ende 32

Teil B: Frustum closed-open
Übersicht Versuch 33
Perturbation Frustum closed-open Auswertungen global 34
Frustum closed-open – Perturbations-Spiralen: 35
Berechnete Kurven vs. Ergebnisse der simulierten Perturbationen 36
Der Einfluß der „shared“ Minima – Antiresonanzen 50

Gegenüberstellungen der beobachteten Unterschiede durch Geometrien 51
Besonders signifikante Positionen im einseitig geschlossenen Zylinder 53
im Frustum closed-open 55

Teil C: Frustum closed-open – Modifikationen am kleinen Ende:
Inharmonizität und virtuelle Root-(Grund)-Frequenzen
im Frustum closed-open 57
Das Volumen der „fehlenden“ Spitze 58
Dramatische Veränderung durch Verlängerung und Constriction oder Trichter 59

Teil D: Frustum closed-open – Modifikationen am großen Ende – Schallbecher:
Besselhörner/Schallbecher- Effekte in Zusammenhang mit einem Frustum 61
Erweiterung am großen offenen Ende, Funktionsgrenzen, Bechergrößen 63

Geschlossener Zylinder & Frustum closed-open – A.R.T. Perturbation Testreihe

Um die unterschiedlichen Auswirkungen von Perturbationen bei closed-open Zylindern und Konus mit fehlender Spitze und geschlossenem kleinen Ende = Frustum closed-open besser zu verstehen, habe ich eine Simulationstestreihe mit beiden Geometrien durchgeführt.

Das offene Ende als auch verschiedene Effekte wie Reibungsverluste verursachen Abweichungen von Funktionspositionen, Frequenzen und Magnituden, die genauer beschrieben und analysiert werden.
Es zeigt sich, daß selbst bei dieser sehr simplen Geometrie einige Phänomene nicht eindeutig einer einzigen Ursache zuzuordnen sind, vor allem weil einige Effekte frequenzabhängig sind.

Speziell die Frage, ob Frequenz-Änderungen mit Druckknoten – hier Flußmaxima korrelieren und die Magnitudenänderungen hierzu einen Versatz haben, oder ob die Systematik umgekehrt ist und die Magnitude Nodes mit Druckknoten korrelieren und dafür die Frequenzänderungen dazu versetzt sind, oder ob es vielleicht gerade diese Unterschiede zwischen den beiden geometrischen „Extremformen“ sind.

Hinweis auf Sideletter #2 und #3:

Sideletter #2 und #3 sind unter anderem als Konsequenz der Versuche und Auswertungen aus Abschnitt A2 in diesem Projektteil erst Jahre später (2023) entstanden und bieten zahlreiche Lösungen offener Fragen. Sideletter #2 befasst sich unter anderem mit Boresize Änderungen, Sideletter #3 vollständig mit Auswirkungen von Perturbationen und deren Berechnung.

Es zeigt sich unter anderem, daß globale, wie auch lokale Querschnittflächenänderungen und daraus Änderungen der Eingangsimpedanz nur dann miteinander vergleichbar sind, wenn die Änderungen zueinander invers proportional sind. Einengungen müssen daher etwas kleiner als Aufweitungen sein um exakte Vergleichbarkeit für Schlussfolgerungen zu erlauben, Abschnitt A-1 mit den Ergebnissen anhand Sideletter #3 wurde daher eingefügt.

Werden invers prop. (geringere) Einengungen mit Erweiterungen verglichen, so ändern sich neben den max. möglichen Potential bei Magnituden- und Pitchänderungen auch Positionen von Nulldurchgängen, „shared Nodes“ und der vorhandene Pitchversatz (down bei closed-open Zylindern, up bei Frustum) geringfügig.

Einengungen mit gleich großen Durchmesser Differenzen, wie diese hier in Abschnitt A-2 und B verwendet werden, haben dadurch stets ein stärkeres Änderungspotential $q0pe^2$ gegenüber Aufweitungen $q0e^2$.

Andererseits sind inv. proportionale Durchmesser nicht immer praxistauglich, oder gleiche Durchmesser Änderungen einfacher zu realisieren (anhand vorhandenen Rohren und Hülsen). Die jeweiligen Vergleiche müssen daher im richtigen Kontext betrachtet werden. Einige Aussagen sind nur im betrachteten Kontext gültig! Es werden daher bei Auswertungen die verwendeten Querschnittfaktoren = q0 bzw. 1/q0 angeführt. Aufweitung +10% Fläche entspricht Xe=0,21 und Einengung -10% ergibt Xpe^2= 0,23456 Xg= +10,5 % stärkeres (mittleres) Änderungspotential Xg bei gleicher Durchmesserdifferenz gegenüber Enlargements.

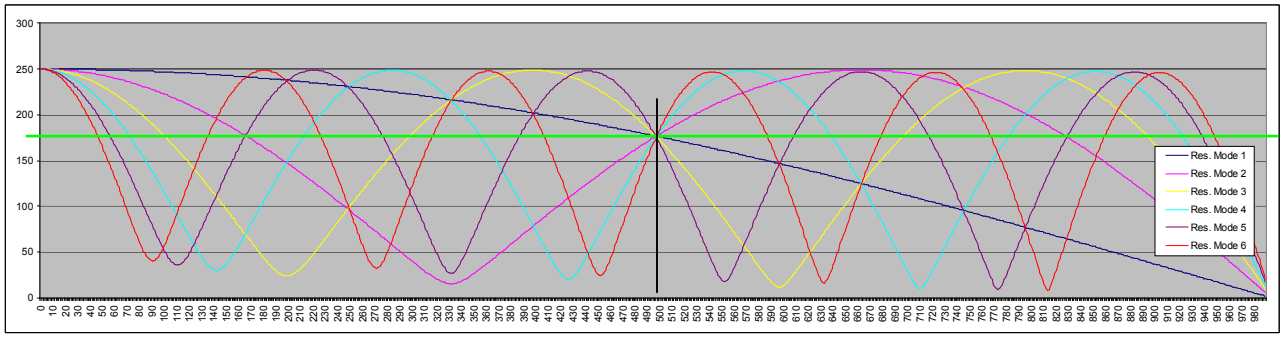
Auch die Versuche beim Frustum closed-open wurden mit den nicht invers prop. Änderungen durchgeführt, hinzukommt hier (bewusst), daß die Querschnittfaktoren nicht „mitanwachsen“, ergibt fallendes Potential,
am Beginn RL0%; Dia 3mm Enlargement q0e=1,3333 mit Constr. equiv. zu q0pe=1,50 Xg=(+42,7%)
Position RL 26% ist die einzige vergleichbare Pos. zum closed-open Zylinder mit q0e=1,1 Xg=(+10,5%)
bei 50% Dia 16,5mm q0e=1,0606 q0pe=1,0645 Xg=(+ 6,3 %)
am Ende RL100% Dia 30mm Enlargement q0e=1,0333 mit Constr. equiv. zu q0pe=1,0344 Xg=(+ 3,4%)

Input Impedanz Peak-Potential durch lokale Perturbationen generell:

Die prinzipiell möglichen Abweichungen werden von der „Größe“ der Perturbation vorgegeben.
Eine kleine Perturb. hat nur kleine max. mögliche Konsequenzen/Faktoren. Die größtmögliche Abweichung der Magnitude ist immer dann gegeben, wenn die Perturbation die Länge einer ¼ WL der betreffenden Resonanzfrequenz hat, bei Magnitudennodes beginnt und bei Magnitudennodes endet – oder dazwischen zentriert ist.

Sinngemäß für Pitch = globales Frequenz Potential wenn die Perturbation zwischen Pitch-Nodes zentriert ist. Die Durchmesseränderung und der Anteil der Länge der Perturbation zur Wellenlänge der Frequenz entscheiden dann über das tatsächliche finale Änderungspotential.
(Dieses Thema ist ausführlich in Sideletter #3 und in Teil 3 Kapitel ART- Trp. Simulation behandelt.)

Berechnete Druckkurven und Endkorrekturen:

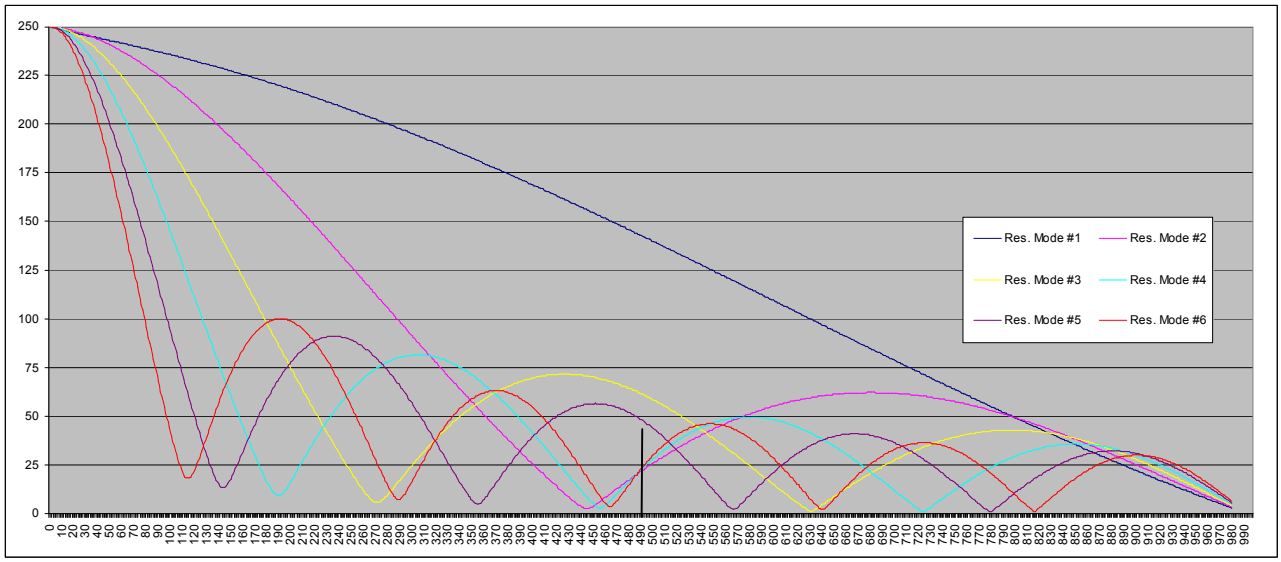


Mit Bios © berechnete Druckkurven links geschlossener Zylinder, simulierte physik. L1000mm, Dia 10mm, Resonanzmodes #1-#6 Simulationsmodell: Mapes-Riordan/Helie Pulsation Sphere

Bios© verwendet beim Berechnen der Druckkurven für das offene Ende Radiation (eine Endkorrektur), XM-Pitch Node aller Resonanzmodes werden aber bei 50,0% Rohrlänge angezeigt. (0,7071 v. relativ 250).

Endkorrektur ~ 0,3* Dia offenes Ende 10mm = 3mm, = akustische Länge 1003mm,
akustische Mitte wäre 50,15cm, es wurde aber bei der Perturbation aber ein höherer Versatz festgestellt; XM-PN bei 50,5cm = das wäre eine ~ Endkorrektur von 1% und eine akustisch wirksame Länge von ~1010mm. (Bei höheren Modes etwas weniger).

Der festgestellte Pitch Nullversatz down beim closed Cyl. von -0,7 Cent entspricht rund +1-2 mm Rohrlänge, um die der closed Cylinder akustisch länger mit Veränderungen reagiert.



Mit Bios© berechnete Druckkurven Frustum closed-open, L 980mm, Dia 3-30mm Dia 10mm, B = 0,1 Resonanzmodes #1-#6
Simulationsmodell: Mapes-Riordan/Helie Pulsation Sphere, Bios verwendet beim Berechnen der Druckkurven offensichtlich eine Endkorrektur für das offene Ende; akustische Mitte angezeigt = 495mm.

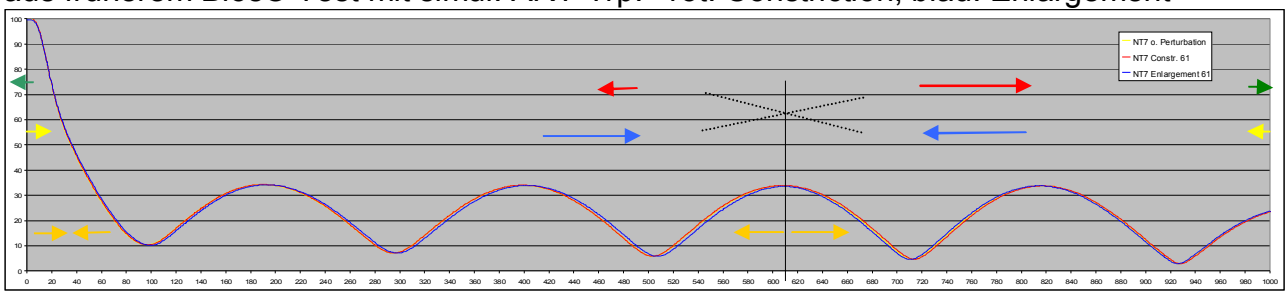
Bei höheren Moden verläuft hier „XM-Pitch-Node“; umso höher um so näher an dieser akustischen Mitte, bei tieferen Modes liegt XM-Pitch-Node beim Frustum closed open Richtung offenes Ende versetzt.

Endkorrektur ~ 0,3 * Dia von Enddurchmesser offen 30mm = 10mm.
D. h. akustische Länge wäre 98+10 = 99,0cm; akustische Mitte / 2 = 49,5 cm
Mit Excel berechnete Freq. liefern mit „physisch“ L 0,98 zu hohe Res. Frequ. der unteren Modes, 1,0m würde am ehesten entsprechen, allerdings sind in Excel keine Reibungsverluste etc. inkludiert.

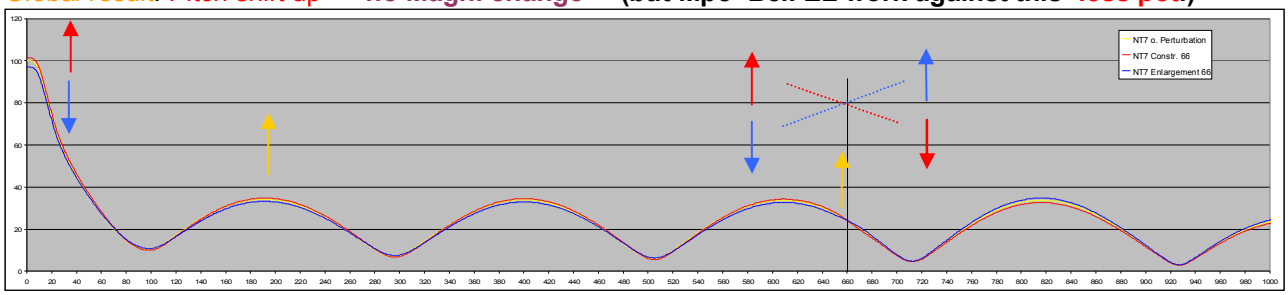
Der festgestellte Pitch Nullversatz up beim frustum closed open beträgt rund +2 Cent, das entspricht hier einer Länge von rund -4mm, um die der Konus akustisch kürzer auf lokale Veränderungen reagiert.

Lokale und globale Auswirkungen von Perturbationen – gefundene Prinzipien:

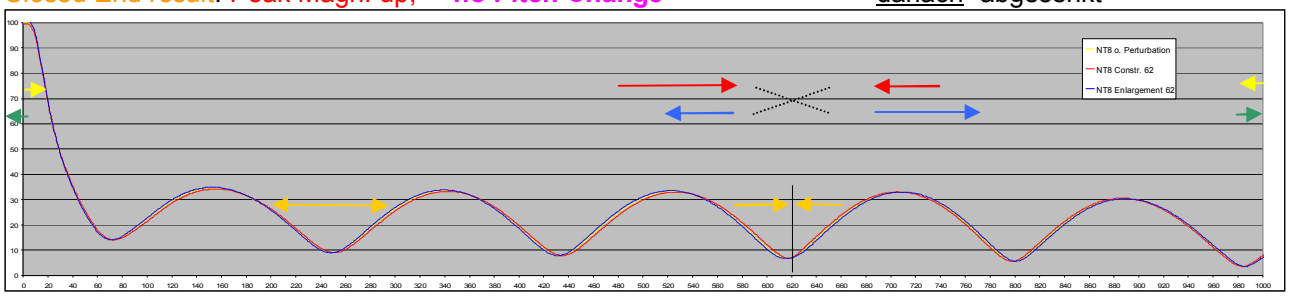
aus früherem Bios© Test mit simul. ART-Trp: rot: Constriction, blau: Enlargement



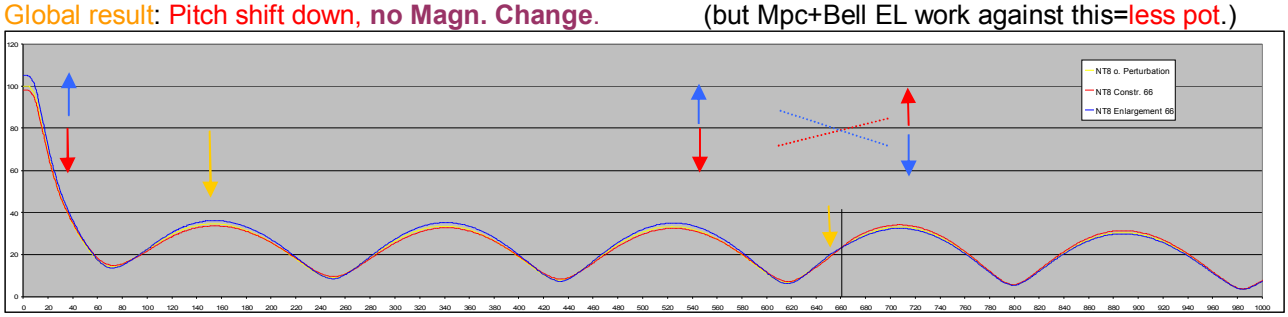
Constriction am Druckbauch: lokal Bauch breiter; less space available for the rest
Global result: Pitch shift up **no Magn. change** **(but Mpc+Bell EL work against this=less pot.)**



Constr. nach Druckbauch: (Staumauer-Prinzip) alle Druckbäuche davor „aufgestaut“
Closed End result: Peak Magn. up, **no Pitch Change** danach “abgesenkt”



Constr. at Pr. Node: local Press Max. rücken zusammen = more space available for rest,
Global result: Pitch shift down, **no Magn. Change**. (but Mpc+Bell EL work against this=less pot.)



Constr. vor Druckbauch: (Staumauer-Prinzip) alle Druckbäuche davor „abgesenkt“
Closed End result: Peak Magn. down, **no Pitch Change** danach “aufgestaut”

Merke:
Eine kleinere Durchflussmöglichkeit = kleineres „Loch“ = Einengung staut immer an der Druckbauchseite auf
Eine größere -„- = größeres „Loch“ = Enlargement senkt an Druckbauchseite „Druck ab“.

Input Impedanz Peak Magnituden:
Ist dieses „Loch“ näher am geschlossenen Ende, wird ein kürzerer Bereich aufgestaut oder abgesenkt und umso mehr Magnitudenänderungspotential am 1. Druckbauch=Input Impedanz=Verhältnis Druck:Fluß. Dies sollte den Abfall des Magnitudenpotentials Richtung offenes Ende anschaulich erklären.

Globale Peak-Frequenzen:
Umso weiter am offenen Ende, umso weniger „Gegenwehr“ der schwächeren Druckbäuche, mehr Pitch-Veränderungspotential. XM-Pitchnode beschreibt eine Position, wo diese Kräfte „ausgeglichen“ sind.

Teil A-1: Closed Zylinder – invers proportionale Einengungen

Hier wurde ein simples zylindrisches Rohr, einseitig geschlossen mit der A.R.T. Software simuliert.
Wie auch bei der Simulation der Trompete wurde hier eine virtuelle „Hülse“ zentimeterweise durch das Rohr geführt und die Auswirkungen hiervon am geschlossenen Ende analysiert. Einmal als lokale Einengung des Durchmessers, einmal als Erweiterung des Durchmessers.

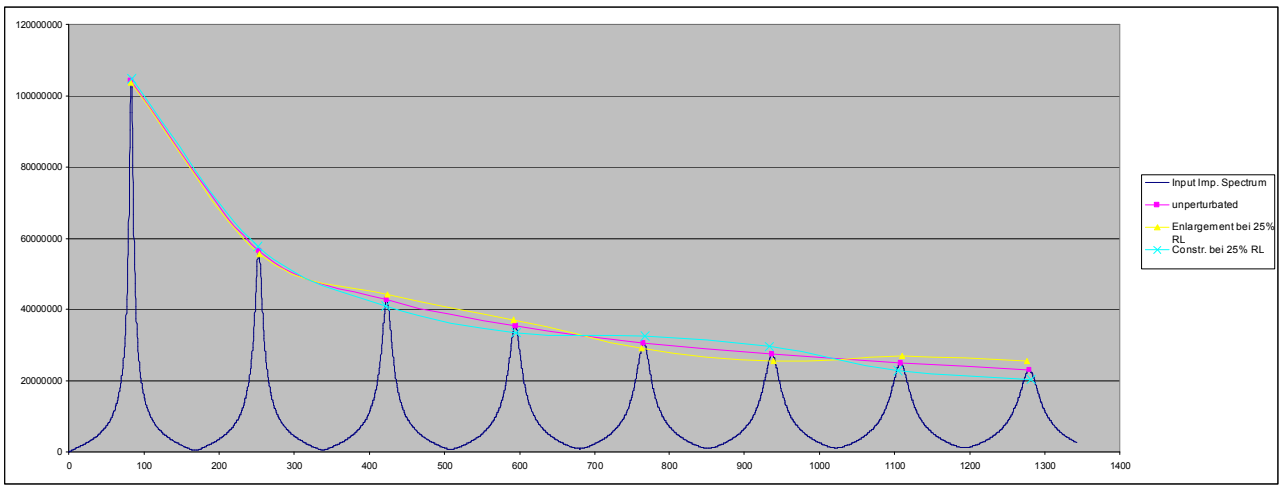
ART – Testreihe closed Zylinder, L 1,0 m, Dia 10mm, invers proportionale Querschnittänderungen Perturbationen 20mm Enlargement Dia 1mm oder Constriction Dia 0,909mm. ART 23 Grad, Loss Faktor 1,1

Resonanzen im closed-open Zylinder an ungeradzahlig Vielfachen einer / ihrer „Root“-Frequenz, Antiresonanzen sind an geradzahlig Vielfachen einer / ihrer „Root“-Frequenz

Hinweis:
Die folgenden Grafiken zeigen und vergleichen die Auswirkungen von Enlargements und Constrictions, die zueinander invers proportional sind, die Durchmesseränderung ist +1,0 bzw. -0,90909 mm.
Dadurch haben Constrictions vergleichbares Veränderungspotential zu invers prop. Enlargements.

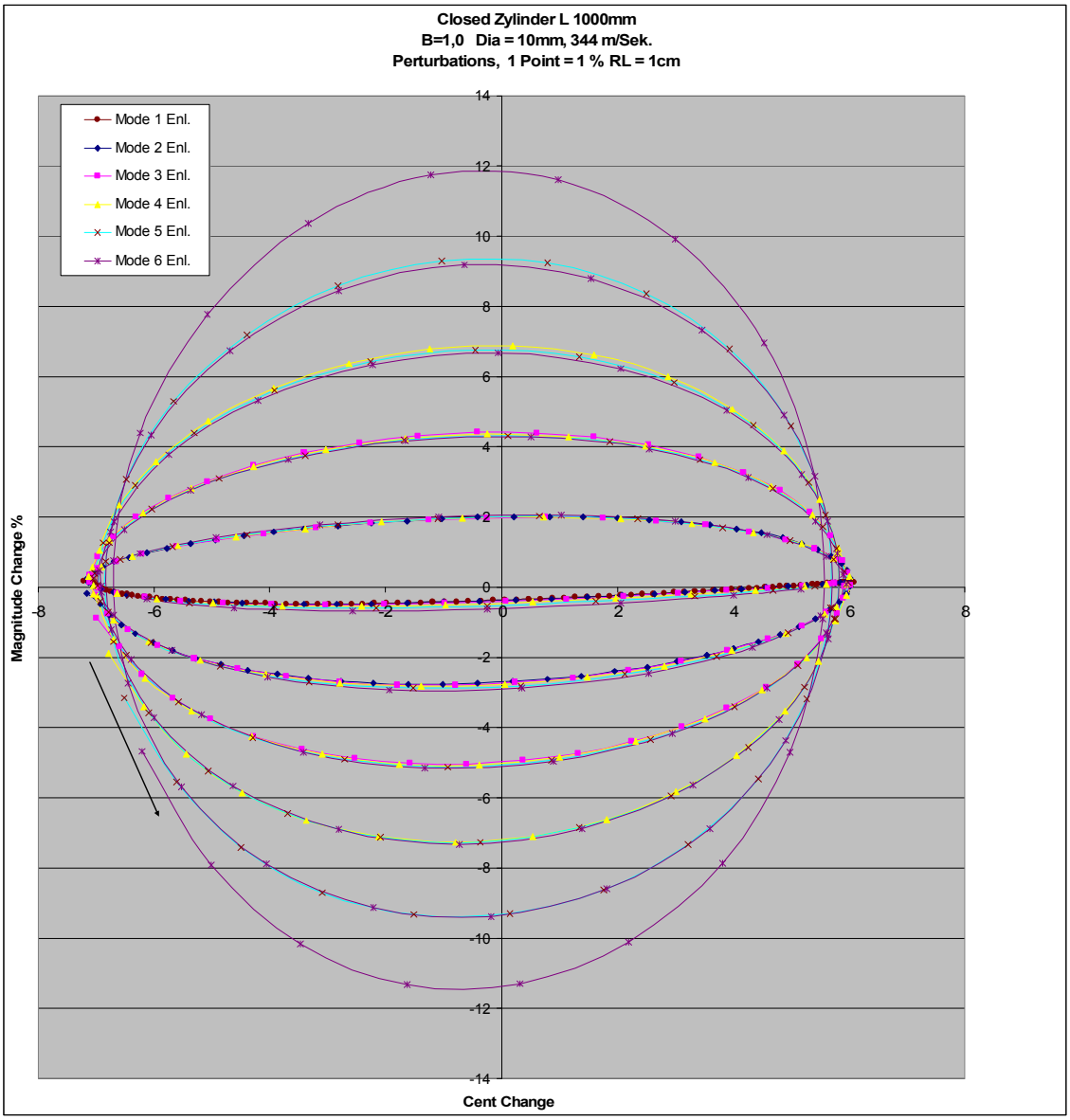
Der Flächenfaktor für Enlargements beträgt $q0^2e$ = 1,2100 $1/q0^2e$ = 0,8264
Der Flächenfaktor für Constrictions beträgt $1/q0^2c$ = 0,8264 Xg-Pot = 0,1909

Siehe dazu Sideletter #3, dort wird das mögliche Potential und Proportionaliät vollständig behandelt.



Effekt von kleinen Durchmesserstörungen auf die Resonanzfrequenzen & Magnituden, geschlossener Zylinder, Perturbationen hier bei 25 % Rohrlänge vom geschlossenen Ende

Beachten: Alle Grafiken und Berechnungen zeigen nicht die lokale Situation an der Position der Perturbation, (Magnituden-Change), **sondern deren Auswirkung** am geschlossenen Ende (INPUT)!



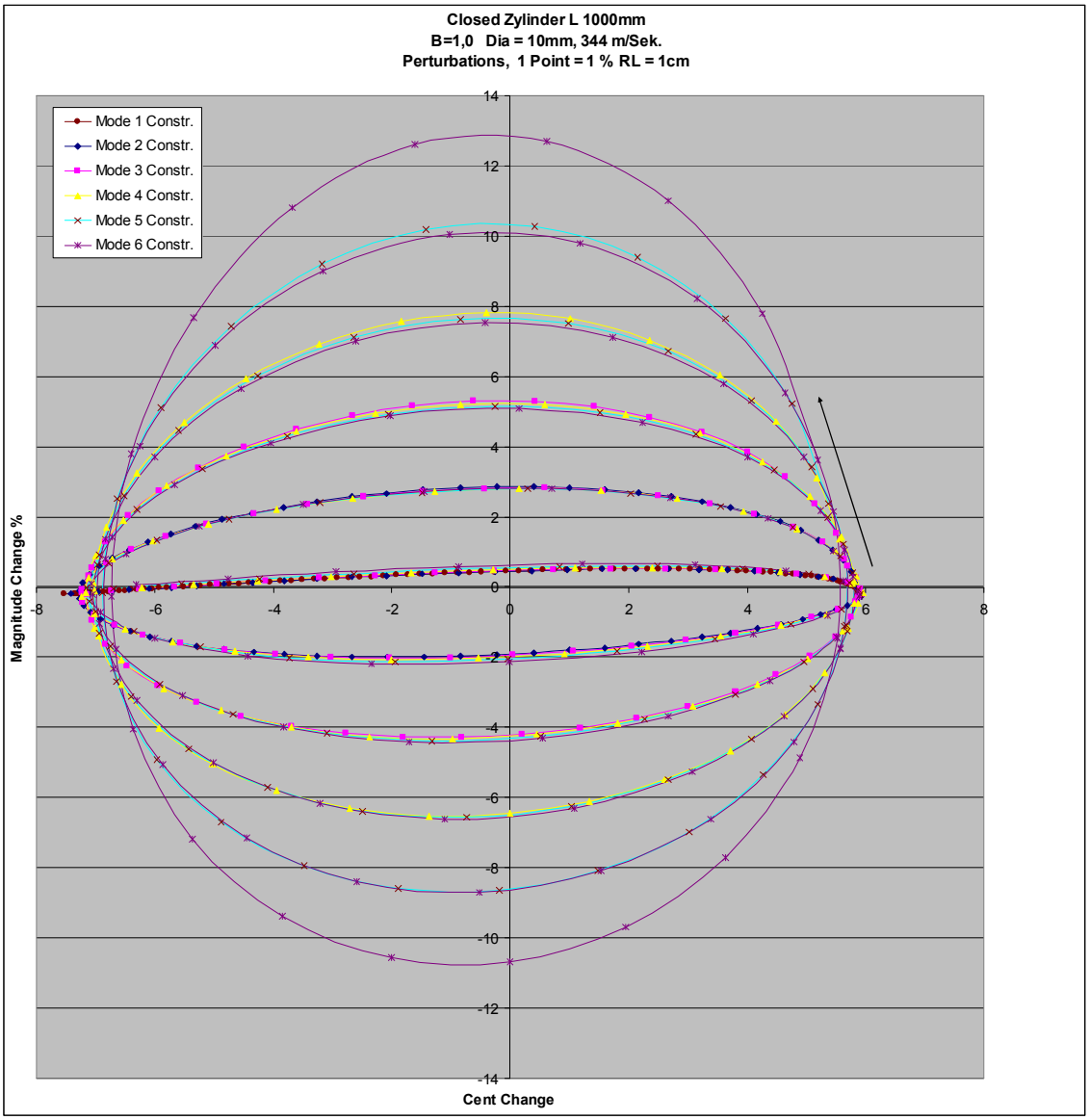
Enlargements, q0e=1,1

Enlargements Mode #1-6, 1 Punkt = 1cm; Start mit Center Position 0+1,0 cm, Ende =100-1cm
Magnituden Potential nimmt mit höherer Teiltonfrequenzen stark zu, und fällt zum offenen Ende,
Pitch Potential kann zum offenen Ende geringfügig ansteigen, der Pitch-Nullversatz ist nach unten, der Nullversatz steigt zum Ende hin nicht an.

Spiral-Kurven beschreiben den Ort der Input Impedanz Peak Spitze =Resonanz, Pitch+Impendanz.
Drehrichtung vom geschlossenen zum offenen Ende ist gegen den Uhrzeigersinn, XM Pitch- und Max. Magnituden Pot liegen nicht an selber Stelle, Magnituden max. **Pot.** Positionen sind immer **vor** Pitch-Nodes.

Enlargements starten am Beginn in Richtung einer Reduktion der Peak Magnituden, (Start ist West)
--> Pitchpot von stark vertieft Richtung Pitch-Node nach 1/8 Wellenlänge (WL).

Hinweis Perturbations-Spiralen:
Die x-Achse ist logarithmisch, gleiche Cent Differenzen +/- enstprechen einem invers prop. Potential
Enlargements haben an Druckbäuchen mehr Vertiefungspotential gegenüber Erhöhungen an Druckknoten.
y-Achse: Prozentwerte kleiner 0% sind proportional zu Prozentwerten größer Null



Constrictions, ***1/q0e= 0,90909 = invers prop. zu q0e= 1,10***

Constrictions, Mode #1-6; 1 Punkt = 1cm; Start mit Center Position 1,0 cm, End =100cm
Start ist Ost, Magnitude raising Richtung Nord, Pitch von max up down Richtung West.

Constrictions starten am Beginn in Richtung einer Erhöhung der Peak Magnituden, (Start ist Ost)
--> Pitchpot von stark erhöht Richtung Pitch-Node abwärts, nach 1/8 Wellenlänge (WL).

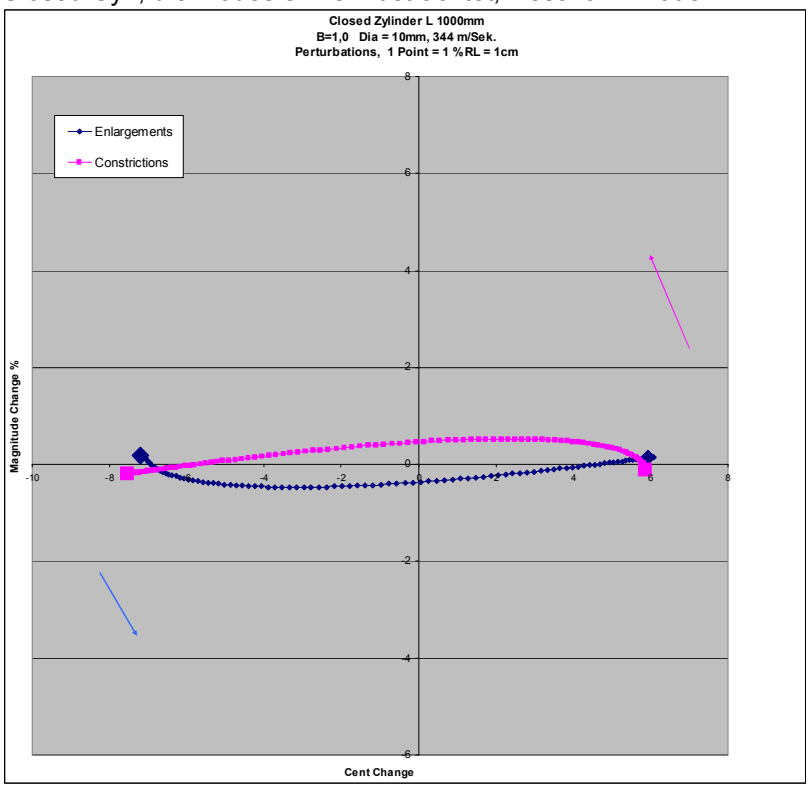
Closed Zylinder: Impedanz Magnituden Positionen:
Jeder nächst höhere Resonanzmode > Mode#1
fügt am geschlossenen Beginn

einen exakt ¼ WL langen Magnitudenbauch endend an einem Flußmaximum,
+ einen etwas längeren Magnitudenbauch endend nach einem Druckbauch

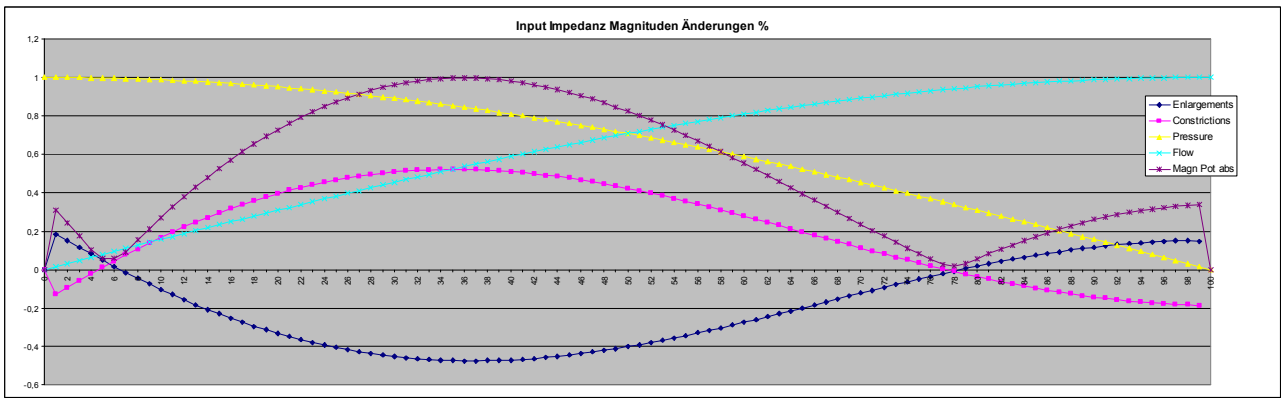
zu einem verbleibenden Muster aller vorangehenden Modes samt ihrer Unregelmäßigkeiten hinzu, siehe dazu Sideletter #3, last quaterlength.

In den folgenden Grafiken sind teilweise auch berechnete Druck- und Flußkurven jeweils anhand der theor., 1:3:5:7:9:11 Teilung des Rohres, ohne Berücksichtung einer Endlängenkorrektur aufgetragen.
Diese verschieben sich aber hier mit Endkorrektur um bis zu 0,5mm in der Mitte weiter nach rechts.

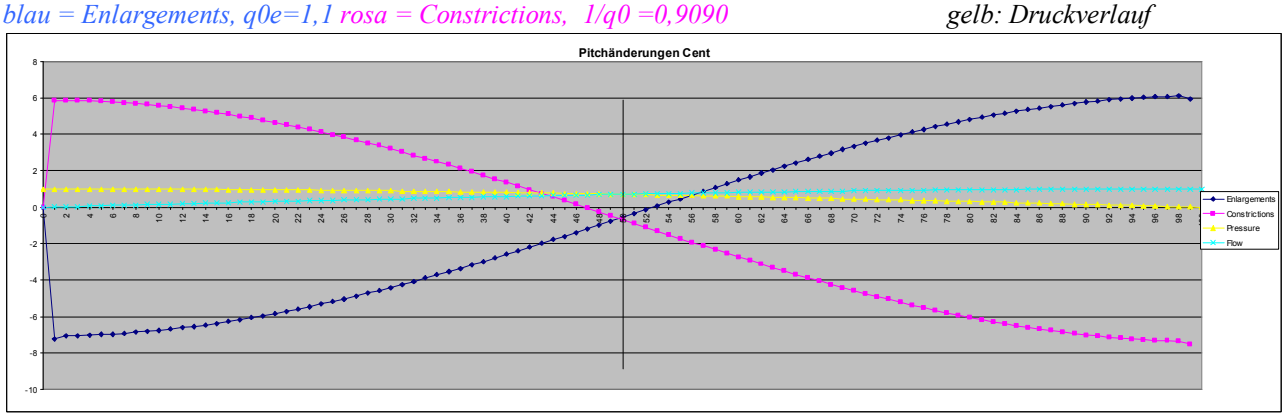
Closed Cyl., die Modes einzeln betrachtet, Resonanz Mode #1:



Mode 1 vollzieht nur ~ eine halbe Umrundung = **„¼ WL“** passen in das Rohr = 1,0m
Es bilden sich bei RL ~5,5 cm und 78cm Magnitude Nodes, obwohl dort weder Druck noch Fluß ein Max. haben, der erste Node schiebt sich auf ~5,5% RL nach hinten, der abschließende auf 78% RL nach vorne.



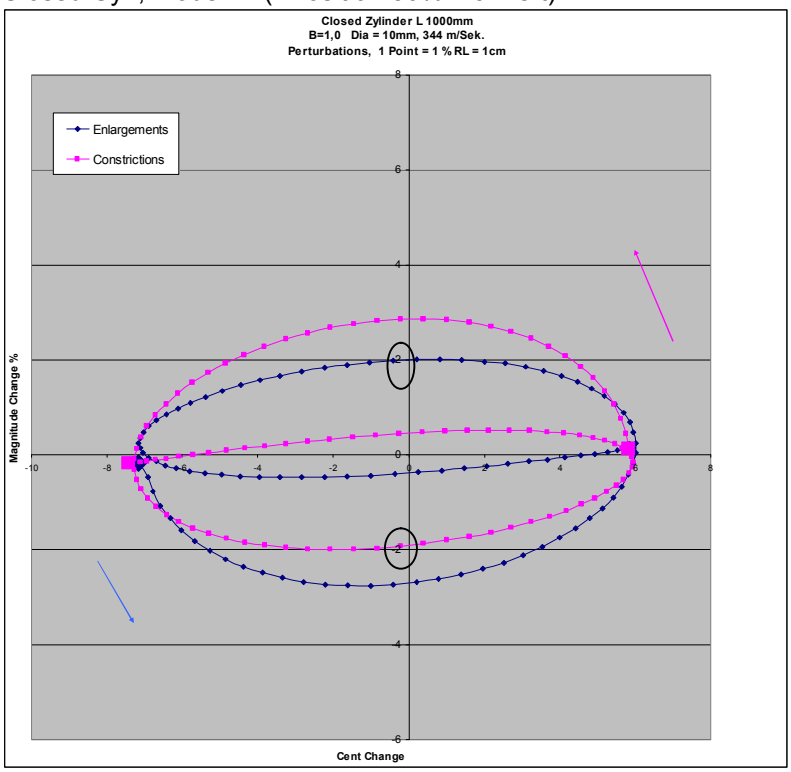
blau = Enlargements, q0e=1,1 rosa = Constrictions, 1/q0 =0,9090 *gelb: Druckverlauf*



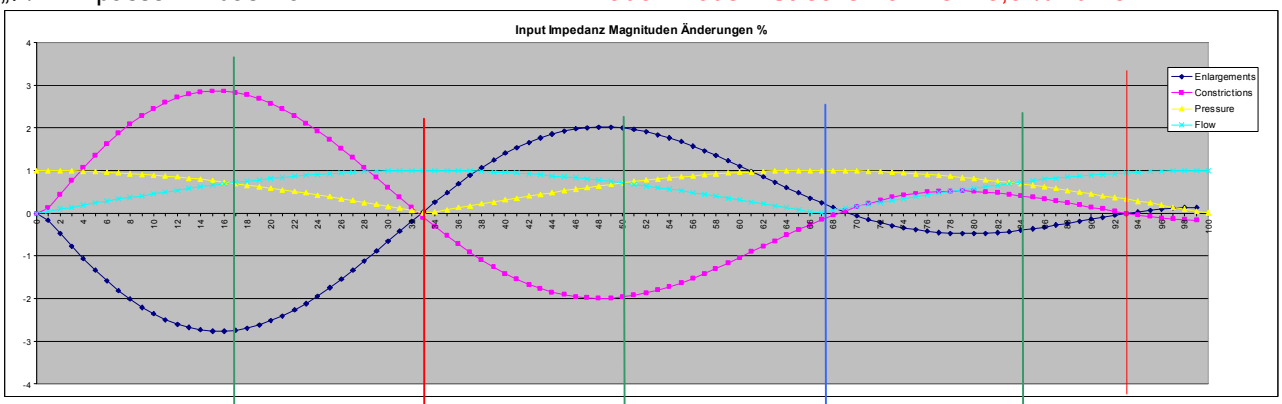
Der 1. Imp. Magn. Node ist versetzt und liegt anstelle bei RL 0 hier bei ~5,5cm. (Constr. 4,7%, Enl. 6,5%)
Der letzte Magn. Node ist anstelle RL100 um 22% nach links versetzt; hier ist der Druck 0,35 von max 1,0.

Das Magn. Maximum liegt bei ~35cm, hier ist die Flußkurve 0,5 von 1,0 und die Druckkurve 0,85 von 1,0.
Die Effekte der „letzten ¼ WL“ werden in Sideletter #3 komplett aufgearbeitet.

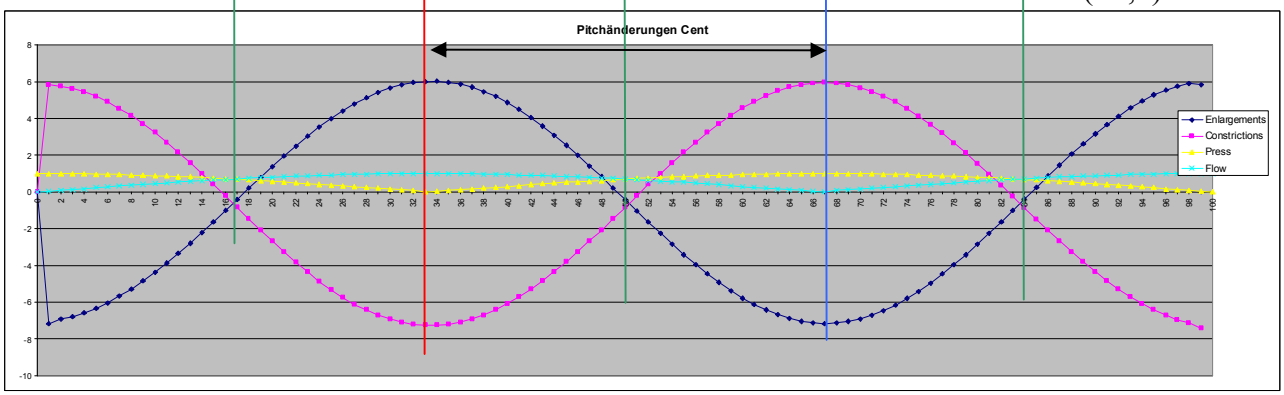
Closed Cyl., Mode 2: (+Position 50% markiert)



Mode 2 beginnt 1 „rundere“ 1/4 WL lange 1. halbe Umrundung, 0,333m = Druckknoten
1 weitere halbe Umrundung, =0,6666m endet bei Druckbauch Maxima,
---> Magnituden Node =XM-IN2 ist aber 1,9cm später als Druckbauch #2 bei 0,671 -> 0,69m =XM-IN2
und führt dann zusätzlich die letzte, kürzere „¼ WL“ exakt wie Muster Mode 1 aus, +L 0,31m =1,00 (kürzer)
inkl. Versatz der letzten Magn. Nodes - 22% einer ¼ WL auf RL93 %
ergibt 1x 0,333 + 1x 0,354 Node Abstand + 1 x kürzer 0,31-> dieser nochmals geteilt bei 78% einer ¼ WL.
„¾ WL“ passen in das Rohr. --> auch Mode 1 Strecke war hier ~5,5 % kürzer

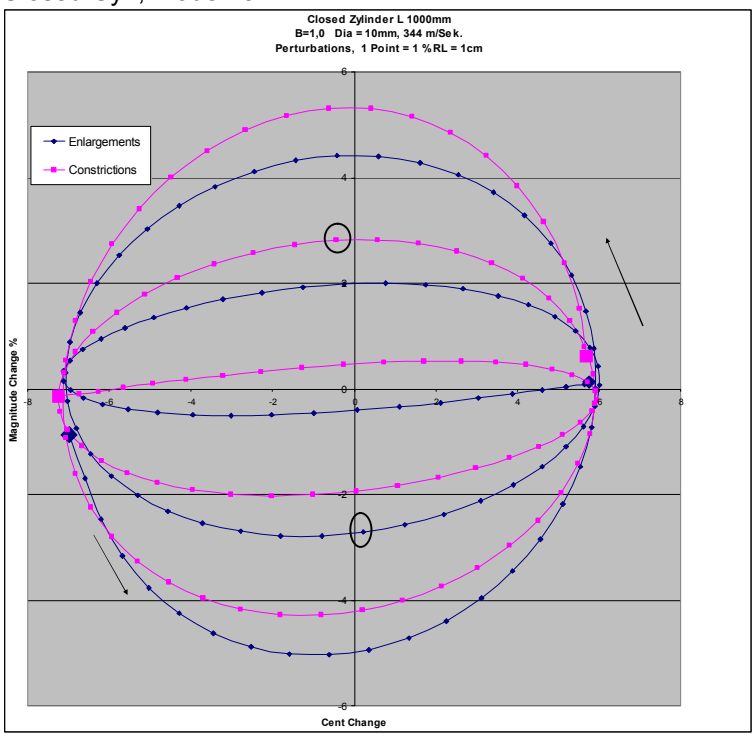


XM-IN1: an Flussbauch XM-IN2: nach Druckbauch (+1,9)

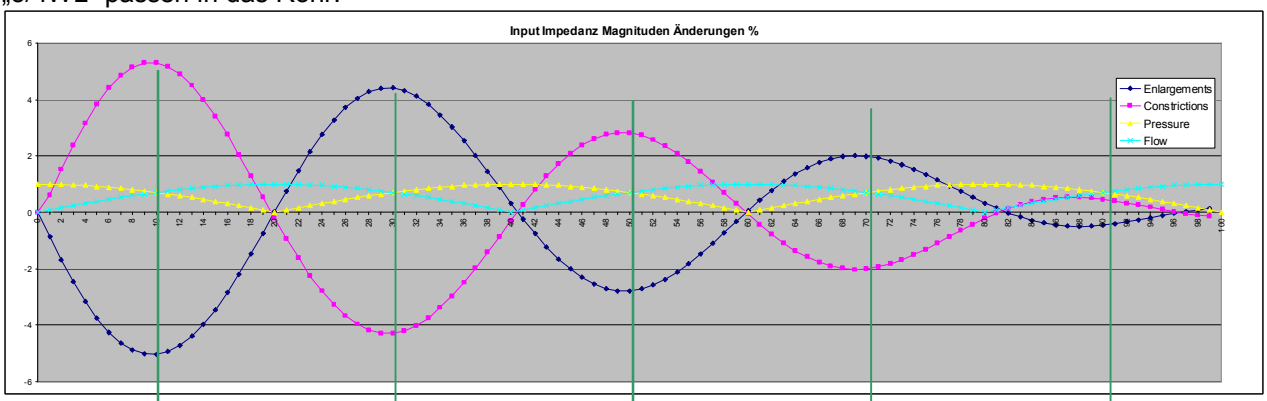


Pitch Nodes = exakt 1/8 WL vor oder nach Flußmaxima, Nullversatz down = 0,7 Cent
blau = Enlargements, q0e=1,1 *rosa = Constrictions, 1/q0 =0,90909* *gelb: Druckverlauf*

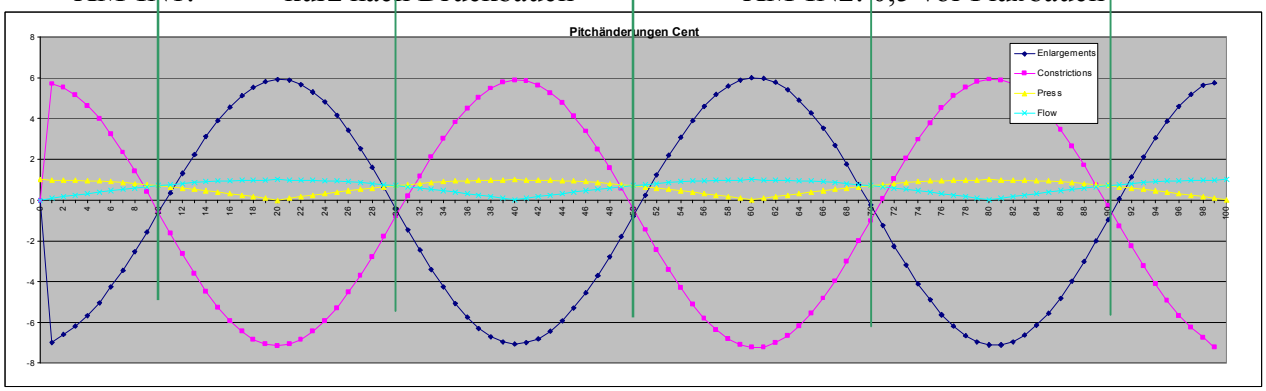
Closed Cyl., Mode #3:



Mode #3 beginnt 1 „noch rundere“ 1. halbe Umrundung, 1/4 WL 20cm = Flußbauch Max.
eine weitere halbe Umrundung, etwas länger 1/4WL +0,5cm 40,5cm XM-IN1 nachDruckbauch
führt dann 1 Umrundung exakt wie Mode 2 aus:
1 halbe Umrundung (0,5 kürzer, endet mit bei 1/4WL -0,5cm 60 Flußbauch IN2
1 halbe Umrundung 1,5cm länger, 1/4WL +2,0cm 82 **nach** Druckbauch
und führt dann zusätzlich eine letzte „¼ WL“ wie Mode1 aus 1/4WL -2cm =100cm
inkl. Versatz der letzten Magn. Nodes auf 96 cm
ergibt letzte halbe Umrundung, (kürzer) dieser nochmals geteilt in 78% und 22% einer ¼ WL
„5/4WL“ passen in das Rohr.

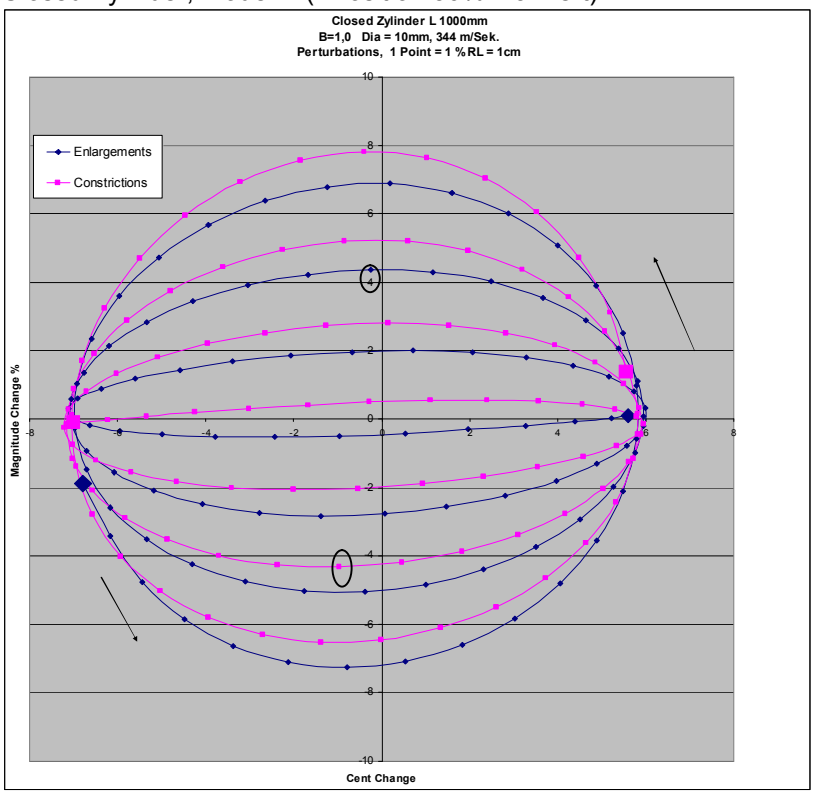


XM-IN1: kurz nach Druckbauch XM-IN2: 0,5 vor Flußbauch

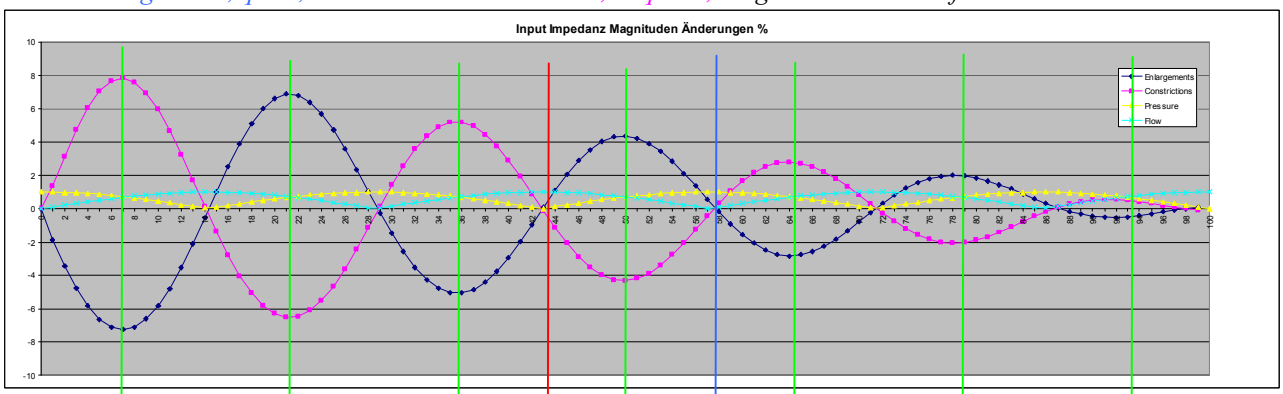


closed Cyl. Mode #3

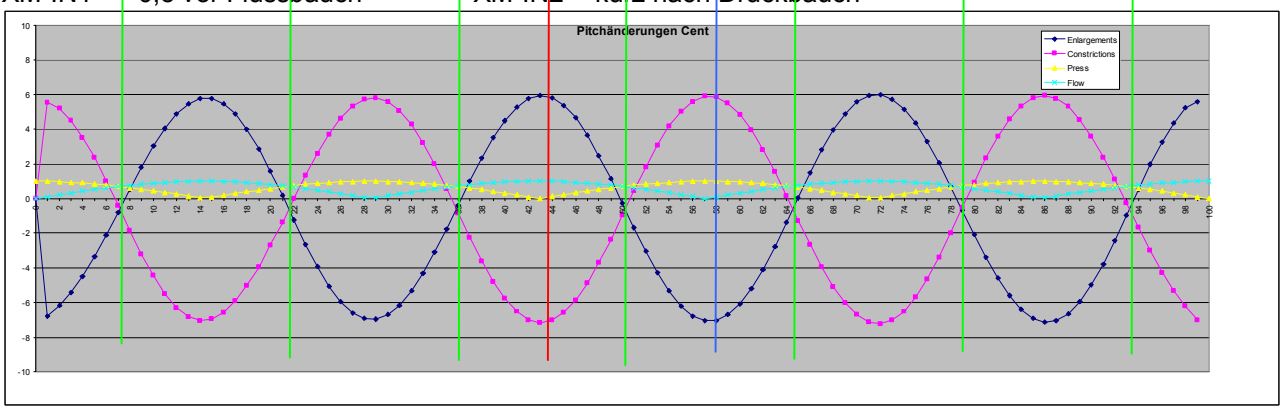
Closed Zylinder, Mode 4: (+Position 50% markiert)



blau = Enlargements, q0=1,1 *rosa = Constrictions, 1/q0 =1,1* *gelb: Druckverlauf*



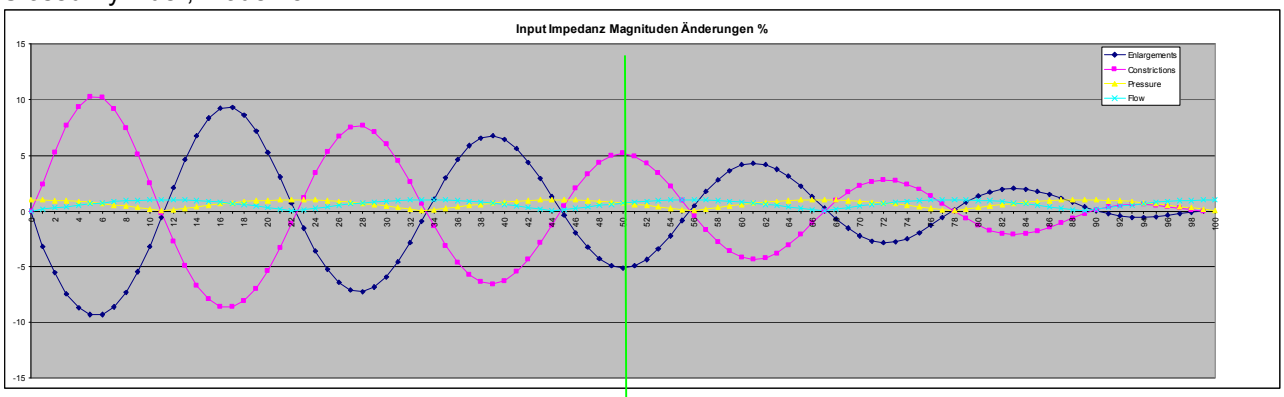
XM-IN1= 0,5 vor Flussbauch XM-IN2 = kurz nach Druckbauch



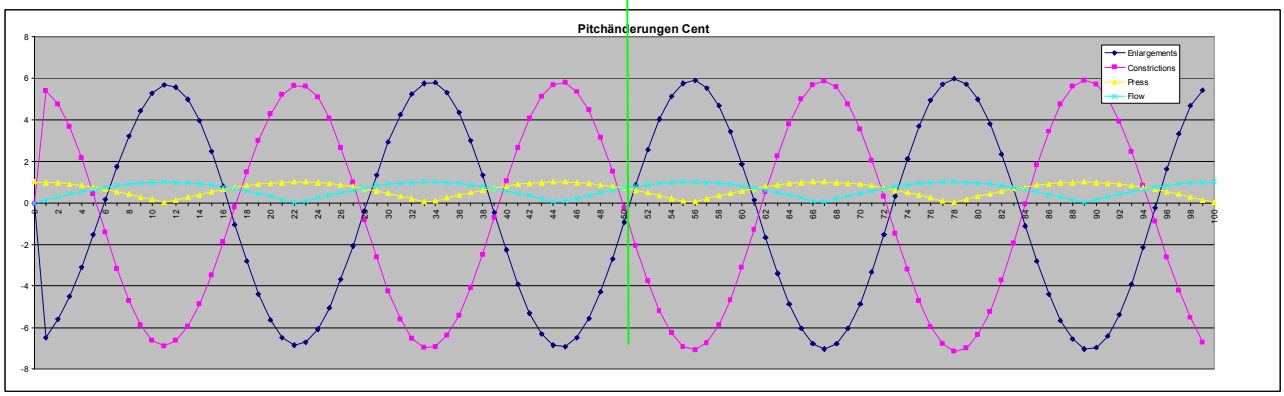
Auch bei Resonanzmode #4 wiederholt sich das Schema, 1.Magnitudenbauch führt ohne Abweichung zu Flussmaximum, 2. Magnitudenbauch ist theor. geringfügig länger, aber nicht mehr festellbar =Druckbauch 2. Es folgen darauf die vorangehenden Abweichungen nach dem Muster von Mode #3, Mode #2 und Mode #1.

Pitch Pot beginnt zum offenen Ende hin zuzunehmen, das Magnitude Pot. down durch Constrictions nimmt nun stetig zu. Der letzte Magnituden Node nähert sich dem physischen Rohrende, hier 99% RL.

Closed Zylinder, Mode #5:



XM-IN1: ev. kurz nach Druckbauch XM-IN2: kurz vor Flußbauch

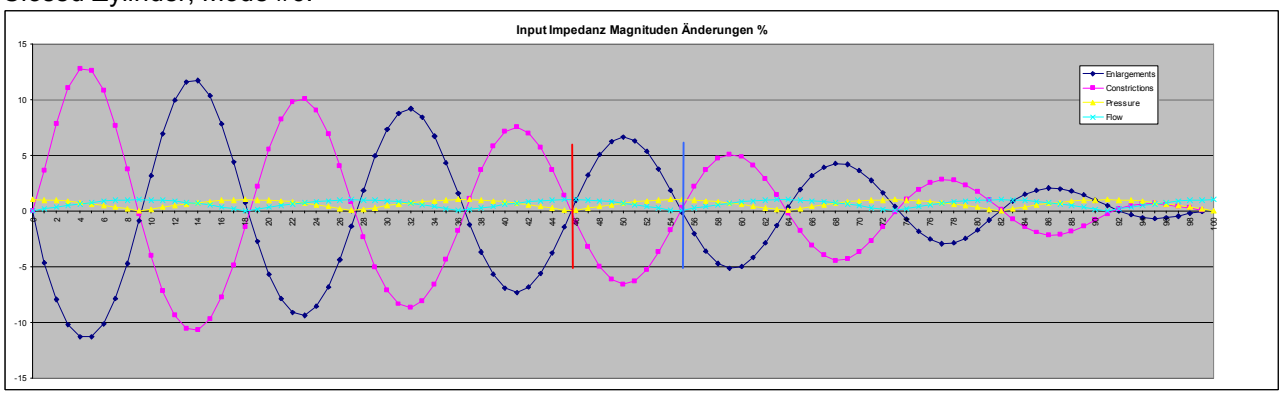


Mode 5: hat 9/4 WL = 11,11 cm für ¼ WL 5,56 cm = 1/8WL
Magnitude Hüllkurve up ist steiler als bei Mode 4, Pitch Pot steigt Richtung offenes Ende

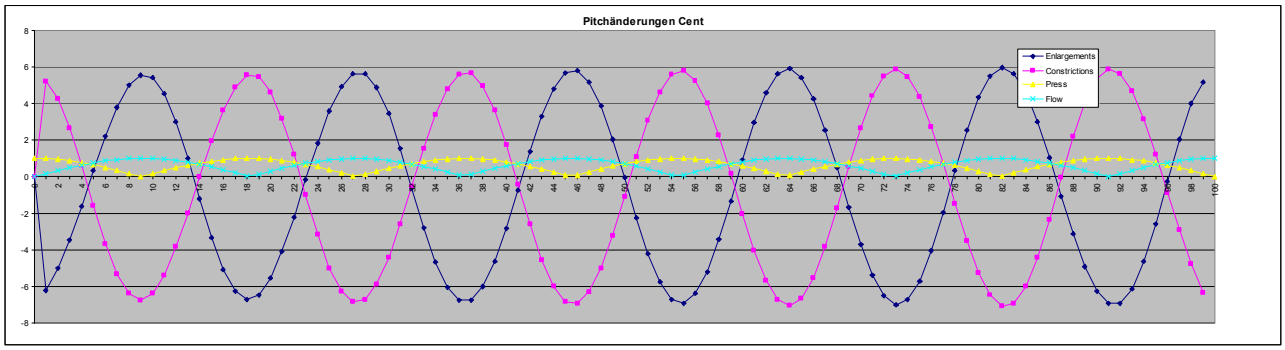
Bei Druckbäuchen sind die Magnituden Nodes nur noch
1. bei 22,2 kurz vor Druckbauch, 44,7 67,0 89,1 +0,9cm

Ab diesem Mode nimmt auch an Flußmaxima ab XM-IN2 der Versatz der Magnitude-Knoten Richtung offenes Ende etwas zu =Annäherung an Pitch-Max.Pot Positionen, ebenso eine merkbare Reduktion des Pitchversatzes. Grundversatz Richtung offenes Ende Pitch / Druckknoten nur noch ca. 0,3cm -> (ausgenommen 1. Pitchnode), Nullversatz: -0,6

Closed Zylinder, Mode #6:



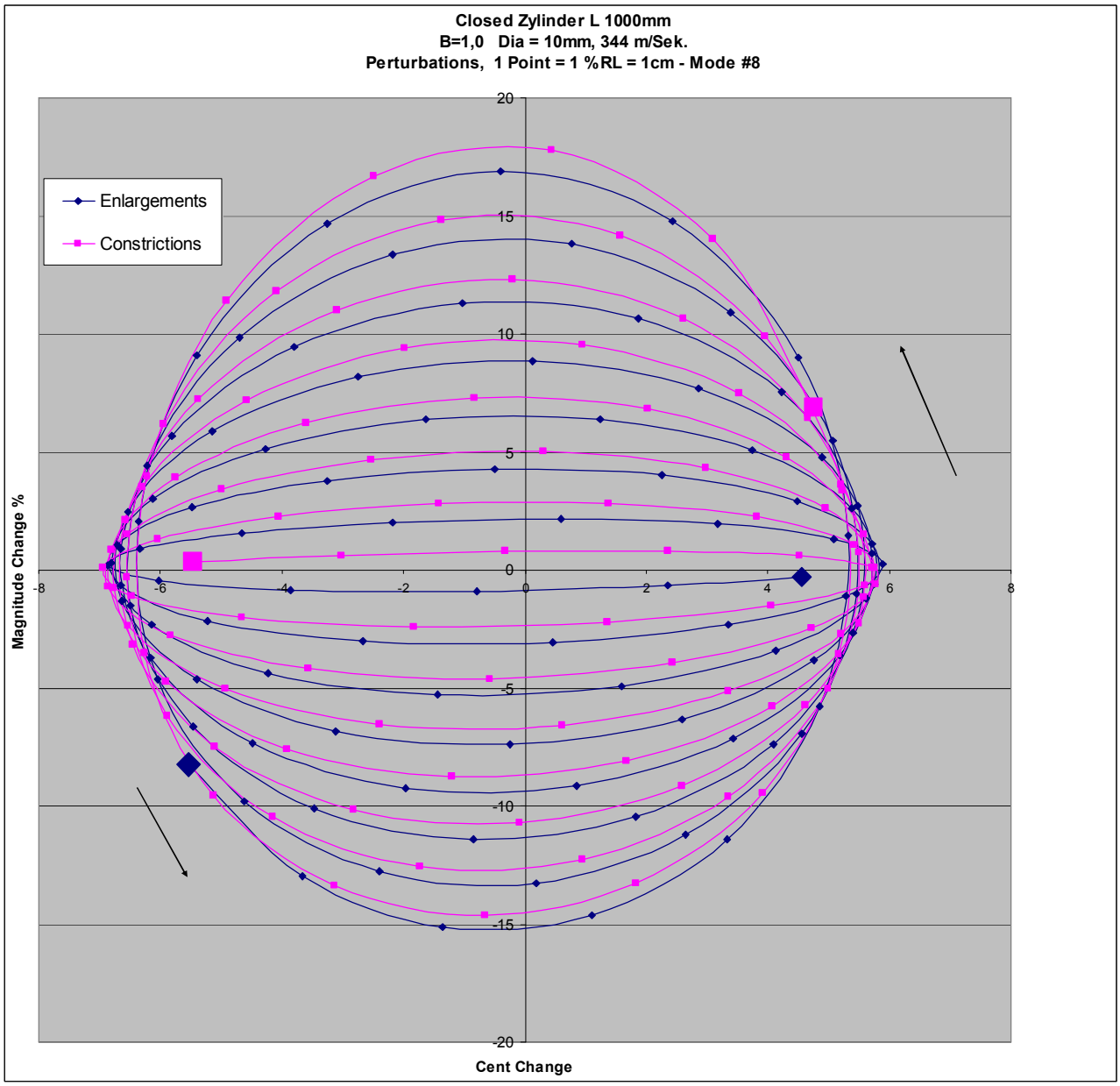
XM-IN1= ~ am Flussbauch XM-IN2 = ~ am Druckbauch
blau = Enlargements, q0=1,1 *rosa = Constrictions, 1/q0=0,90909* *gelb: Druckverlauf*



Mode 6: hat 11/4 WL = 9,09 cm für ¼ WL 4,55 cm = 1/8WL

Der Grundversatz nimmt weiter ab, der Trend setzt sich fort, ab diesem Mode wird es mit der gewählten Auflösung von 1cm Schritten aber immer fehlerträchtiger, die genauen Punkte zu bestimmen.

Closed Zylinder, Mode #8:



blau = Enlargements, q0=1,1 *rosa = Constrictions, 1/q0=0,90909*

Man beachte: Pitch Potential steigt minimal Richtung offenes Ende,
-7 Cent zu +6 Cent max. Pot. Es gibt einen Pitch Pot. Versatz unter die Null-Linie von rund -0,7 Cent.

Magnituden Nodes liegen	bis zu %RL	XM-IN1	bei XM-IN2
Even Modes	0,5	vor Flussbauch	am Druckbauch (NT 2 2% später)
Odd Modes	0,5	nach Druckbauch	vor Flussbauch
Even Mode Constr.	0,5	Pitch später max. dn	Pitch früher max. up (NT2 bis 2%)
Odd Mode Constr.	0,5	Pitch früher max. up	Pitch später max. dn

Magnituden max. Pot - Positionen:

Liegt ziemlich genau am geometrischen Mittel der (teils verschobenen) Magnitudenknoten
Geometrisches Mittel aus Pos. Verhältnis der Knoten zueinander, Beispiel: Mode 2, Magnituden-Knoten:

#1 bei 0 = Längenfaktor 1,0 (Geomittel mit 0 nicht möglich, daher Berechnungsschritt etwas anders)
#2 bei 33,33= Längenfaktor 1,333 Geomittel aus 1,0 und 1,333=1,153 1,33/1,153 = 1,15 =-> 0 +15cm
#3 bei 69 = Längenfaktor 69/33,3 = 2,07 Geomittel aus 2,07 und 1 = 1,4388 33,3*1,4388 = 47,9cm
#4 bei 93 = Längenfaktor 93/69 =1,35 Geomittel aus 1,348 und 1 = 1,16 69*1,16 = 80,1cm

Da die Magnitudenknoten an den Flußmaxima Richtung geschlossenes Ende versetzt sind, liegt das max. Magn. Pot. immer vor Pitch-Nodes, bei wenig Versatz dann an Pitchnodes, aber nie später.

Bemerkenswert und erstaunlich:
Das Magnituden- und auch das Pitch Potential ist am offenen Ende bei allen Modes quasi immer gleich, „Magnituden-Berge“, wenn vom offenen Ende an gezählt, numeriert und verglichen, haben immer das selbe Magnitudenpotential wie der nächst tiefere Mode, aber mit kürzerer WL.

Mit jeder zusätzlichen Umrundung = next Mode mit höherer Freq./ kürzerer WL, umso runder – und umso weniger der Versatz am Beginn des Rohres, dieser verschiebt sich immer weiter Richtung offenes Ende.

	Magn. Pot Max. up #2	Magn. Max dn Magn.Pot	Magn. Node bei
Mode #1	+0,6 % constr. at RL~35,0	-0,5 % enl. at RL ~37,0	RL~ 78,0

Magnituden Potential aufwärts, Betrag:

Magn.	*Pot# 2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Mode#			*Pot in % Magn. Change*				
#1	+0**,6 at RL 35 constr.**						
#2	+0,6 Constr	**+2,0 enl.**	+2**,81 at RL15 constr.**				
#3	+0,6 Constr	+2,0 enl.	+2,81 Constr	**+4,36 enl**	**+5,16 at RL10 constr.**		
#4	+0,6 Constr	+2,0 enl.	+2,81 Constr	+4,36 enl	+5,16	**6,66enl**	7**,42 at 7 c.**

weitere Magn. Pot aufwärts *sind mangels Auflösung bei höheren Moden etwas ungenau*

Magnituden Pot. abwärts Betrag:

Magn.	*Pot# 2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Mode#			*Pot in % Magn. Change*				
#1	-0**,5 at RL 37 enl.**						
#2	-0,5 Enl.	-2,0 Constr.	**-2,78 at RL16 enl.**				
#3	-0,5 Enl	-2,0 Constr	-2,78 Enl	-4,33 constr	**-5,12 at 10 enl.**		
#4	-0,5 Enl	-2,0 Constr	-2,78 Enl	-4,33 constr	-5,12 Enl.	-6,61constr	-7,36 at 7 e.

weitere Magn. Pot abwärts *sind mangels Auflösung bei höheren Moden ungenau*

Es ergibt sich ein „mittleres“ Potential up /dn bei odd Modes vor DB, even Modes nach DB, wobei: odd Modes nach DB schwächeres Pot. dn, even Modes vor DB stärkeres Pot. up als „Mittelwert“, sofern Flächenänderungen inv. proportional sind (kleinere Querschnittdifferenz bei Constrictions).

Inharmonizität closed Zylinder und akustische Längenkorrektur offenes Ende:

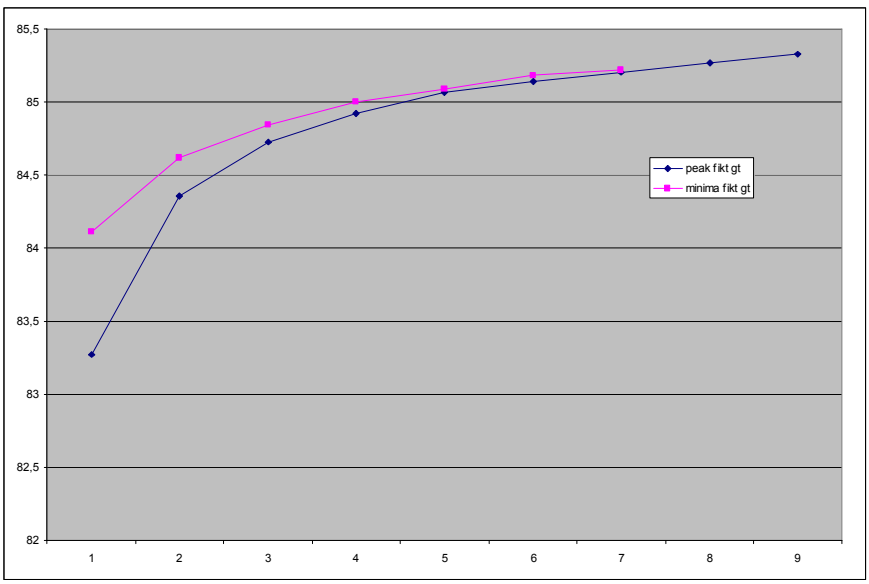
Faktor soll	Faktor zu GT ist:	Hz Peak Loss Fakt. 1,1
1	1	83,2746
3	3,03912598	253,082
5	5,08704935	423,622
7	7,13841916	594,449
9	9,19323539	765,563
11	11,2461903	936,522
13	13,3006943	1107,61
15	15,3590651	1279,02
17	17,4192371	1450,58
	MW Root	**84,8 Hz**

Minima auswertet:

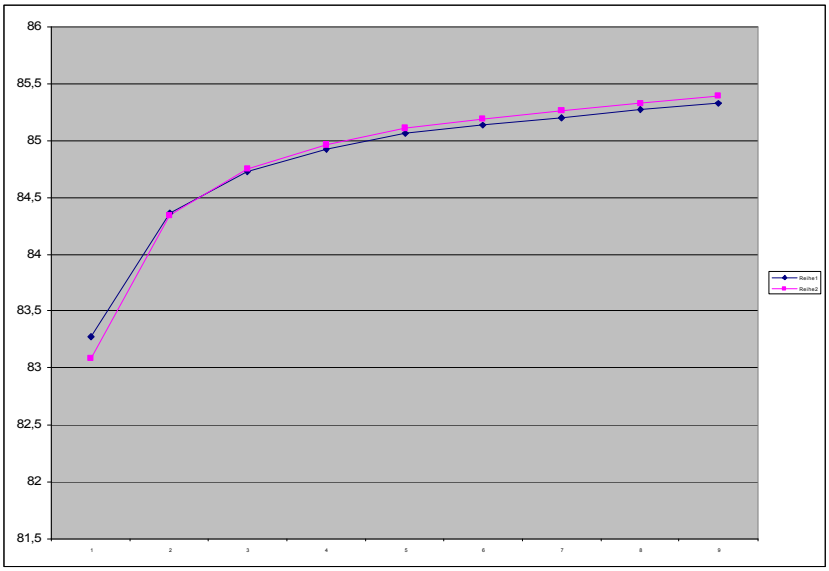
shared min after #	Hz Loss Fakt 1,1	gives Root Hz
2	168,228	84,114
4	338,47	84,6175
6	509,06	84,8433333
8	680	85
10	850,9	85,09
12	1022,15	85,1791667
14	1193,07	85,2192857
	MW Root Hz	**84,8661837**

Vergleich mit Ergebnissen bei Loss Faktor 1,0 wäre:

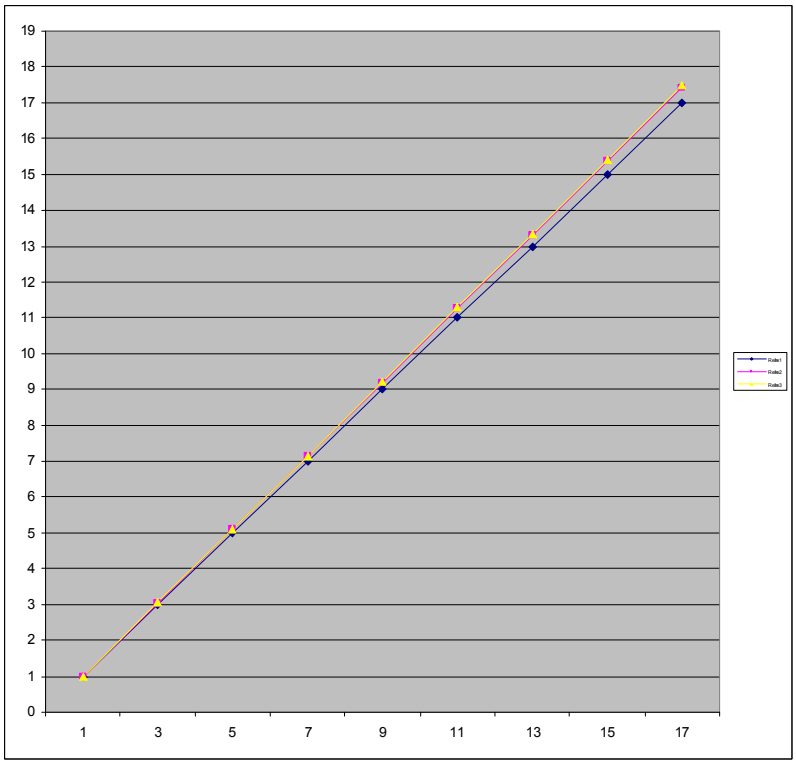
gives Root Hz	Soll Fakt	IST Fakt	Loss 1,0 Hz
83,0895	1	1	83,0895
84,3463333	3	3,04537878	253,039
84,748	5	5,09980202	423,74
84,9612857	7	7,15769141	594,729
85,1108889	9	9,21895065	765,998
85,1917273	11	11,2783083	937,109
85,2576923	13	13,3392306	1108,35
85,3266667	15	15,4038717	1279,9
85,3882353	17	17,4703182	1451,6
85,0413537	MW Root	aus Moden # 2-9	



Fiktive Root Frequenzen mit Loss Faktor 1,1 anhand Peaks, als auch der shared Minimas after.
Der Grundton + 1. Minima sind erheblich niedriger als alle anderen Resonanzfrequenzen, als auch Minima.



Blau: Loss Faktor 1,1 Rosa: Lossfaktor 1,0 Fiktive „Root“ Frequenzen
Durch Verluste wird der Zylinder scheinbar etwas „harmonischer“, die mittlere Grundstimmung fällt dadurch. Beim Loss Faktor 1,0 sind die Stimmung, als auch die Impedanz Peaks von Mode 1+2 etwas niedriger.



Frequenzfaktoren Blau: Theorie odd Harmonics (o. End-Korrektur)
Rosa: Loss Faktor 1,1 Gelb: Loss Faktor 1,0

Es ist aus den A.R.T. Ergebnissen ableitbar, daß es keine gute Idee ist, als Grundlage aller Berechnungen (Frequenzen, Wellenlängen, etc.), die Frequenz der tiefsten Resonanzfrequenz zu wählen, da diese die meisten Abweichungen hat. Der Zylinder ist in der Simulation sogar etwas größer als der B-Faktor 1,0 welcher von Frequenzverhältnissen von 1:3:5:7:9 usw. ausgeht. Die Verhältnisse sind / werden größer, das ermittelte Verhältnis liegt so z.b. bei Resonanzmode 9 anstelle 17:1 bei 17,5:1 sofern alle Vergleiche als Referenz auf die Frequenz der tiefsten Peak Resonanz als Quelle abzielen.

Da in Hinblick auf Blechblasinstrumente der allertiefsten Resonanzfrequenz so gut wie keine Bedeutung zukommt, scheint es angebracht immer eine andere Referenz als **globale** Root-Frequenz zu definieren. Root der shared Minima >2= Antiresonanzen und daraus ein arithm. Mittelwert scheinen geeignet zu sein.

Teil A-2: Closed Zylinder – Constrictions mit gleicher Durchmesser Differenz

Hier wurde ein simples zylindrisches Rohr, einseitig geschlossen mit der A.R.T. Software simuliert.
Wie auch bei der Simulation der Trompete wurde hier eine virtuelle „Hülse“ zentimeterweise durch das Rohr geführt und die Auswirkungen hiervon analysiert. Einmal als lokale Einengung des Durchmessers, einmal als Erweiterung des Durchmessers.

ART – Testreihe closed Zylinder, L 1,0 m, Dia 10mm,
Perturbationen 20mm Enlargement oder Constriction +/- Dia 1mm. ART 23 Grad, Loss Faktor 1,1
Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21 ***Constrictions, q0c =1,1111 q0²c =1,2345***

sonstige Parameter wie Testreihe August 2020, mit closed Frustum B= 0,1

Antiresonanzen sind an geradzahlig Vielfachen einer / ihrer „Root“-Frequenz
Resonanzen im geschlossenen Zylinder an ungeradzahlig Vielfachen einer / ihrer „Root“-Frequenz.

Hinweis:
Die folgenden Grafiken zeigen und vergleichen die Auswirkungen von Enlargements und Constrictions, die zueinander nicht invers proportional sind, sondern die Durchmesseränderung ist +1 bzw. -1mm. Dadurch haben Constrictions etwas mehr Veränderungspotential als Enlargements. Die invers proportionale Constriction zu 1mm Durchmessererweiterung wäre 10/11 = 9,0909mm anstelle 9,00mm (-0,0909 mm)

Der Flächenfaktor für Enlargements beträgt q0²e = 1,21000 1/q0²e = 0,8264 Xg Pot = 0,1909
Der Flächenfaktor für Constrictions beträgt 1/q0²c = 1,23456 q0²c = 0,8100 Xg Pot = 0,2111

Pitch Änderungen	mit Constrictions um Druckknoten	um Faktor 1,117 stärker down,
	an Druckbäuchen	um Faktor 1,094 stärker up
Magnituden Änderungen	Xg Pot mit Constrictions sind im Mittel	um Faktor 1,106 stärker

als Enlargements mit selber Durchmesser Differenz. Für Vergleiche also +10% stärker.

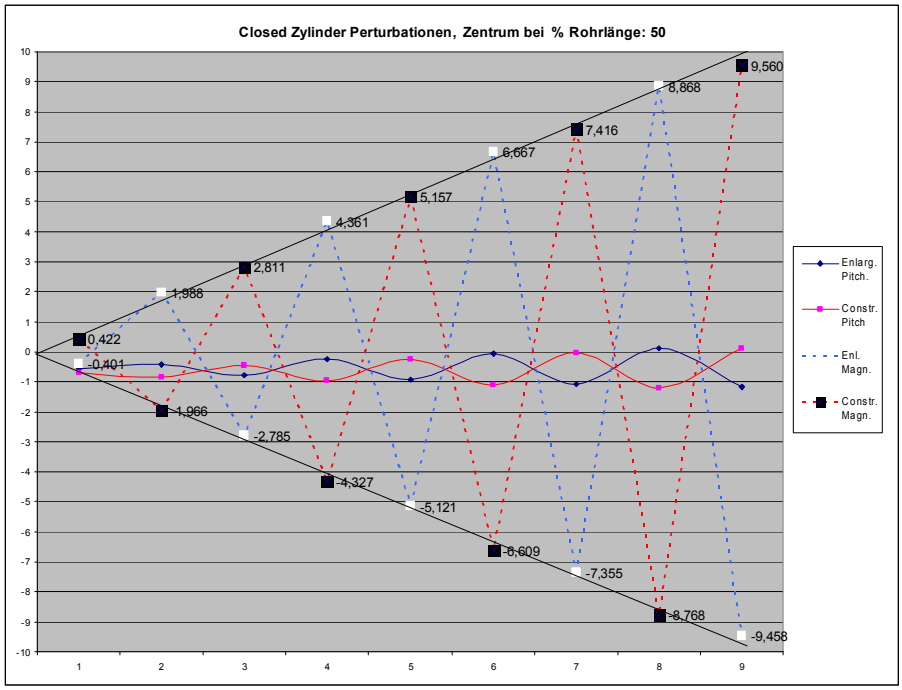
Siehe dazu Sideletter #3, dort wird das mögliche Potential und Proportionaliät vollständig behandelt.

Eine weitere kleine Abweichung kommt bei Vergleichen mit den Ergebnissen Teil A-1 hinzu, die Art, wie die Perturbationen in der Simulation geometrisch modelliert und zentriert wurden. Hier wurden kleine Fehler, die in Teil A-2 und B (Frustum) vorhanden sind bei den Simulationen mit invers prop. Constrictions im Teil A-1 eliminiert und auch die Enlargements nochmals komplett neu ermittelt.

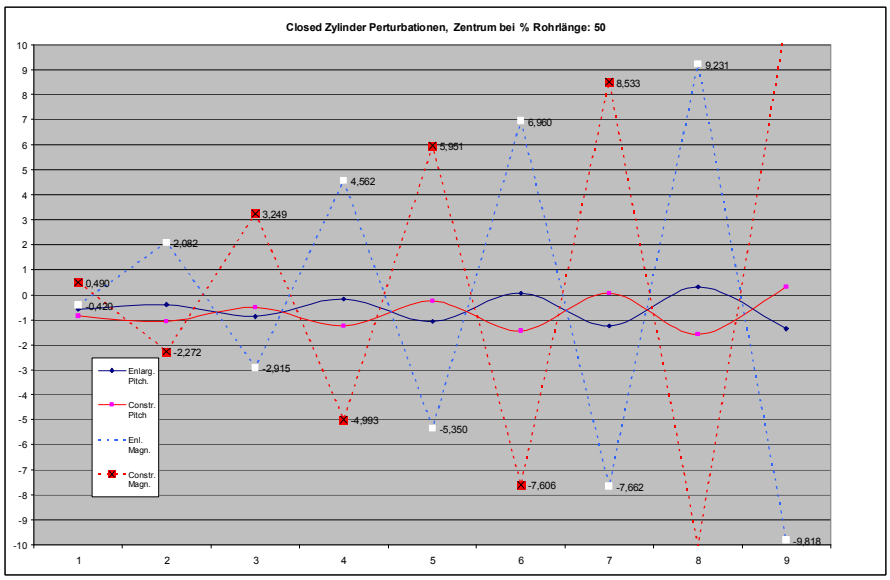
Die Fehlerquellen bzw. Unterschiede und Abweichungen sind konkret:
Die 1. Zeile wird in ART als Text interpretiert und nicht ausgewertet,
somit ein Versatz von 1mm, und Rohrlänge 999mm statt 1000mm

Boresteps wurden durch kurze konische Stücke mit Länge 0,1mm modelliert, dadurch sind in Teil A-2 und B die Perturbationen um 0,1mm länger und nicht mehr exakt zentriert, bei Magnituden daher: odd Modes an abfallenden Druckbäuchen etwas zu stark, even Modes an ansteigegenden Druckbäuchen etwas zu schwach, das glättet den Pot. Unterschied versehentlich etwas.
Das sind Abweichungen im 0,5% Bereich, aber bei Pitch

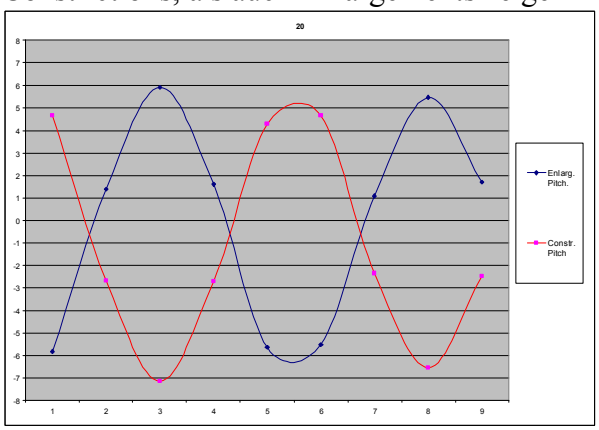
Ergebnisse und Werte in Teil A-1 sind also sowohl bei Enlargements,
wie auch bei Constrictions die exakten Werte und jeweils exakt zentriert.

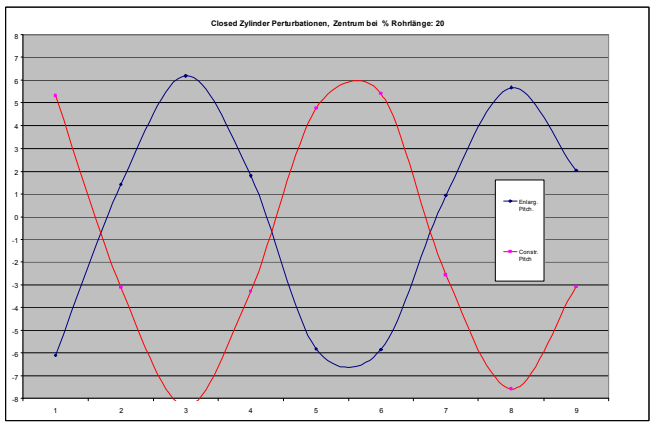


invers proportionale Constrictions, zentriert bei 50% Rohrlänge (Teil A-1)

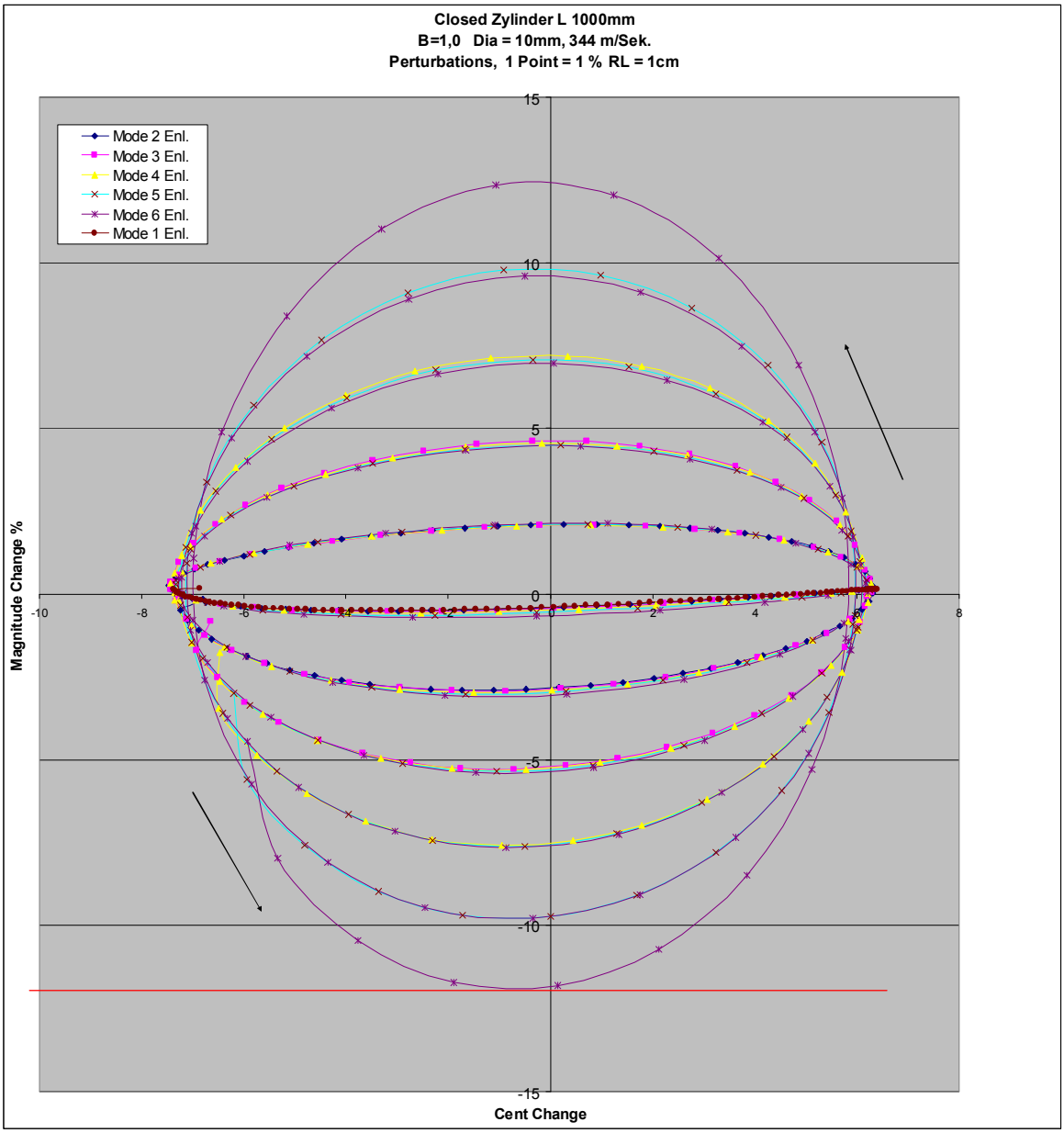


nicht invers proportionale Constrictions, zentriert bei 50% Rohrlänge (Teil A-2)
Constrictions, als auch Enlargements zeigen hier durch kleine Fehler ca. 0,4% zu viel Pot.





invers prop. Constrictions, Teil A-1 gleiche Durchmesser Differenz, Teil A-2
Pitch Potential, hier als Vergleich mit Centerposition 20% vom geschlossenen Rohrende.



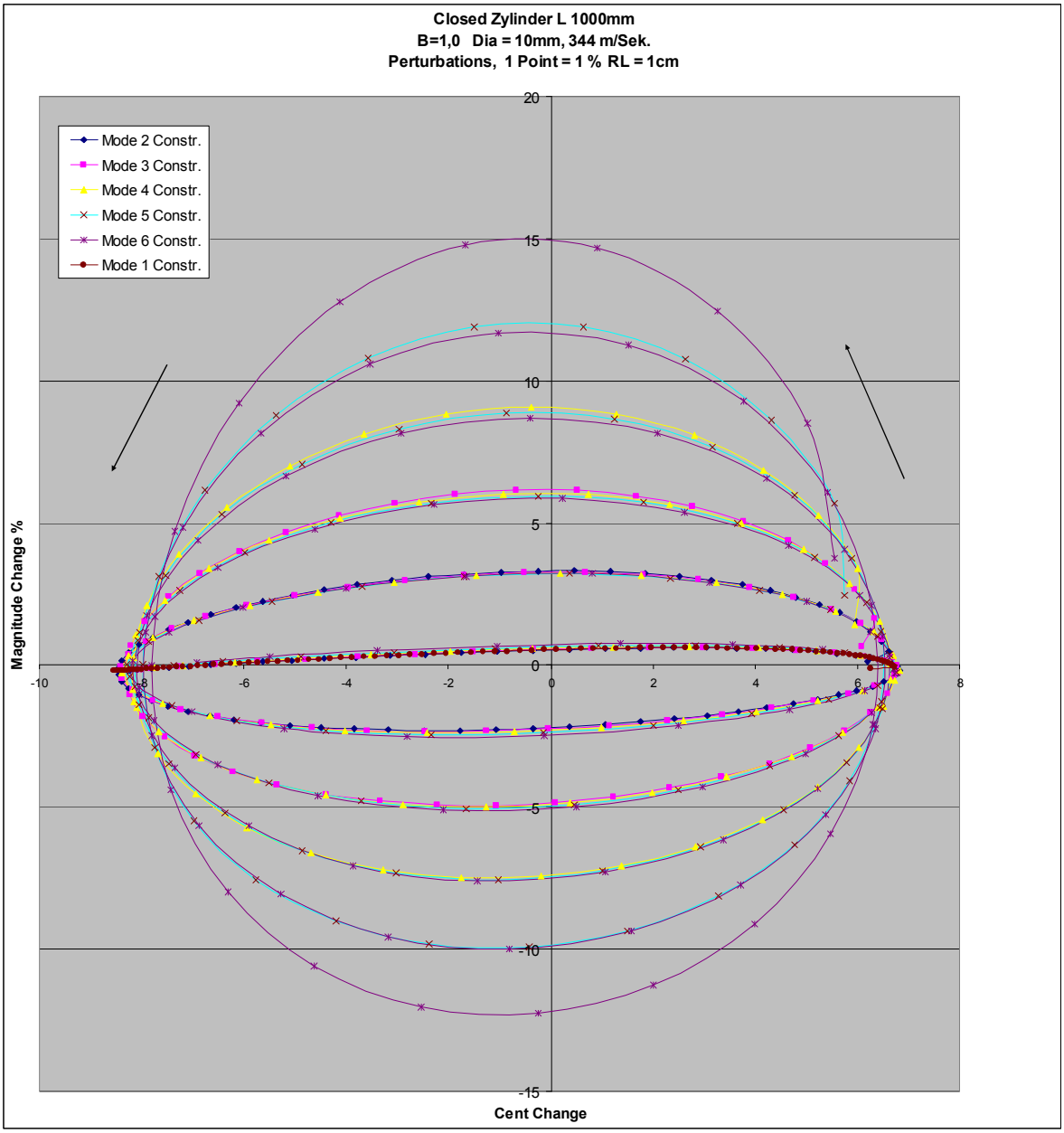
Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21

Enlargements Mode #1-6, 1 Punkt = 1cm; Start mit Center Position 1,0 cm, End =100cm
Magnituden Potential nimmt mit höherer Teiltonfrequenzen stark zu, und fällt zum offenen Ende,
Pitch Potential kann zum offenen Ende geringfügig ansteigen, der Pitch-Nullversatz ist nach unten, der Nullversatz steigt zum Ende hin nicht an.

Spiral-Kurven beschreiben den Ort der Input Impedanz Peak Spitze =Resonanz, Pitch+Impendanz.
Drehrichtung vom geschlossenen zum offenen Ende ist gegen den Uhrzeigersinn, XM Pitch- und Max. Magnituden Pot liegen nicht an selber Stelle, Magnituden max. **Pot.** Positionen sind immer **vor** Pitch-Nodes.

Enlargements starten am Beginn in Richtung einer Reduktion der Peak Magnituden, (Start ist West)
--> Pitchpot von stark vertieft Richtung Pitch-Node aufwärts

Hinweis Perturbations-Spiralen:
Die x-Achse ist logarithmisch, gleiche Cent Differenzen +/- enstprechen einem invers prop. Potential
y-Achse: Prozentwerte kleiner 0% sind proportional zu Prozentwerten größer Null



Constrictions, q0c =1,1111 q0²c =1,2345

Constrictions, Mode #1-6; 1 Punkt = 1cm; Start mit Center Position 1,0 cm, End =100cm
Start ist Ost, Magnitude raising Richtung Nord, Pitch von max up down Richtung West.

Constrictions starten am Beginn in Richtung einer Erhöhung der Peak Magnituden, (Start ist Ost)
--> Pitchpot von stark erhöht Richtung Pitch-Node abwärts

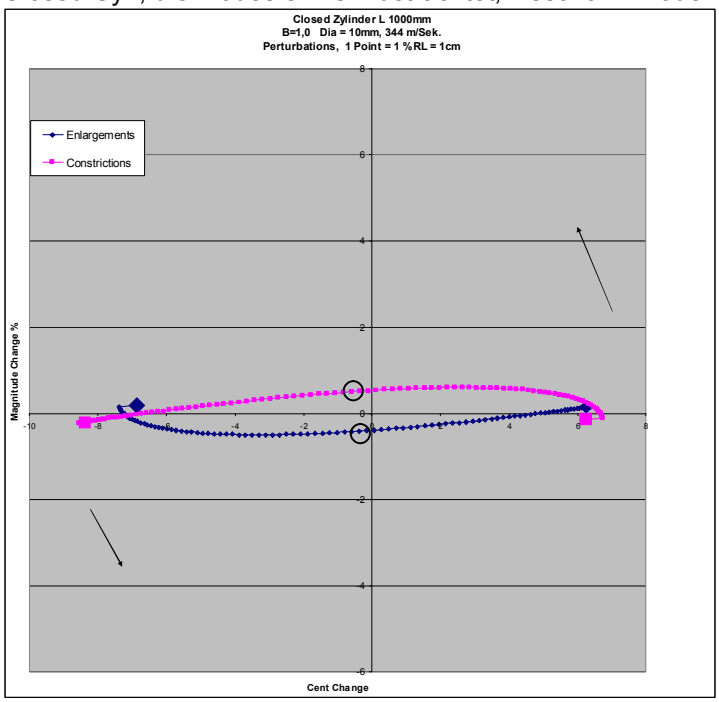
Closed Zylinder: Impedanz Magnituden Positionen:
Jeder nächst höhere Resonanzmode > Mode#1
fügt am geschlossenen Beginn

einen exakt ¼ WL langen Magnitudenbauch endend an einem Flußmaximum,
+einen etwas längeren Magnitudenbauch endend nach einem Druckbauch

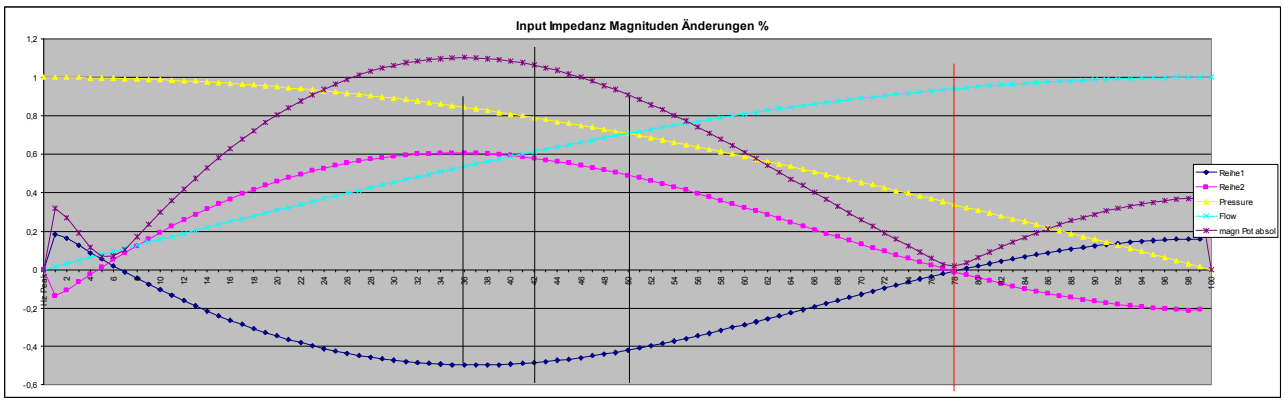
zu einem verbleibenden Muster aller vorangehenden Modes samt ihrer Unregelmäßigkeiten hinzu, siehe dazu Sideletter #3, last quaterlenght.

In den folgenden Grafiken sind teilweise auch berechnete Druck- und Flußkurven jeweils anhand der theor., 1:3:5:7:9:11 Teilung des Rohres, ohne Berücksichtung einer Endlängenkorrektur aufgetragen.
Diese verschieben sich aber hier mit Endkorrektur um bis zu 0,5mm in der Mitte weiter nach rechts.

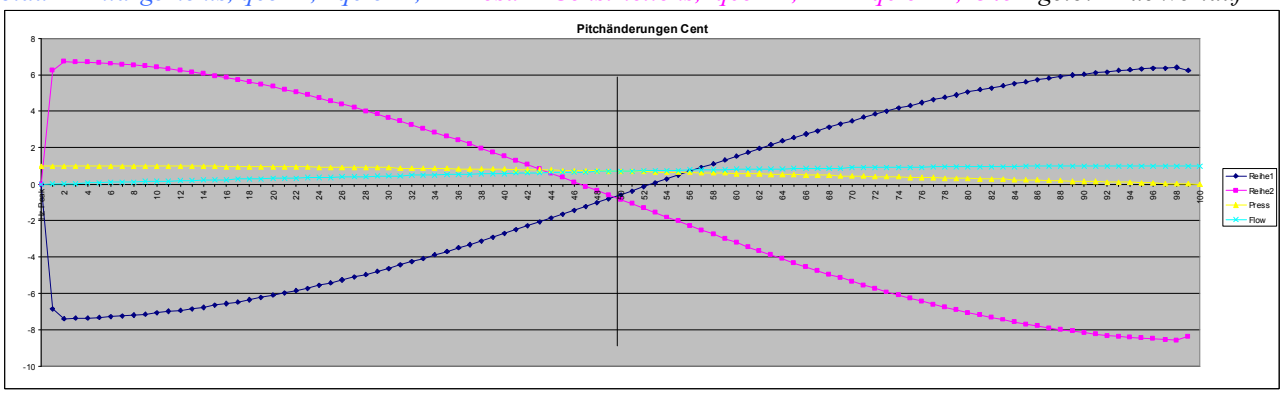
Closed Cyl., die Modes einzeln betrachtet, Resonanz Mode #1: (+Position 50% markiert)



Mode 1 vollzieht nur ~ eine halbe Umrundung = **„¼ WL“** passen in das Rohr = 1,0m
Es bilden sich bei RL 6cm und 78cm Magnitude Nodes, obwohl dort weder Druck noch Fluß ein Max. haben, der beginnende erste Node schiebt sich auf ~5,5% RL nach hinten, der abschließende auf 78% nach vorne.



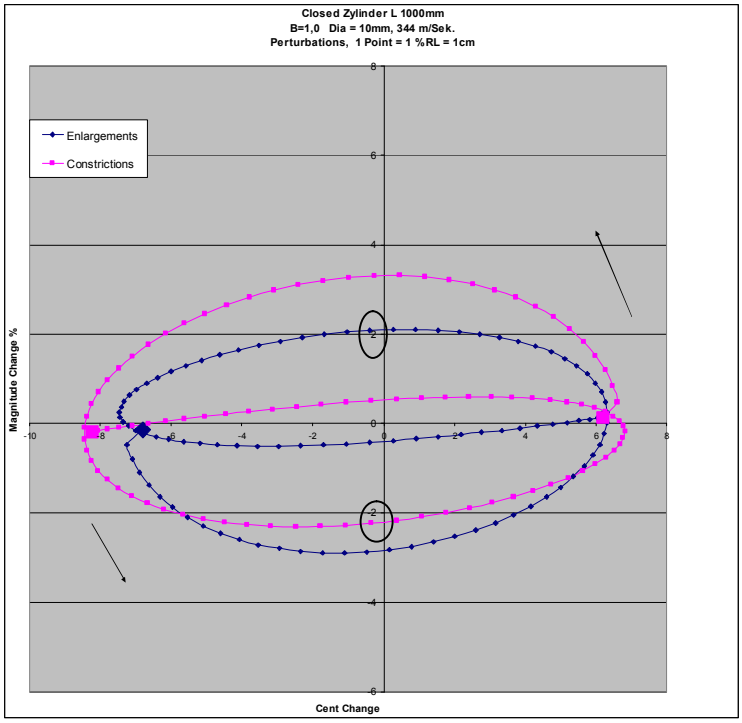
blau = Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21 rosa = Constrictions, q0c =1,1111 q0²c =1,2345 gelb: Druckverlauf



Der 1. Imp. Magn. Node ist versetzt und liegt anstelle bei RL 0 hier bei 5,5cm.
Der letzte Magn. Node ist anstelle RL100 um 22% nach links versetzt; hier ist der Druck 0,35 von max 1,0.

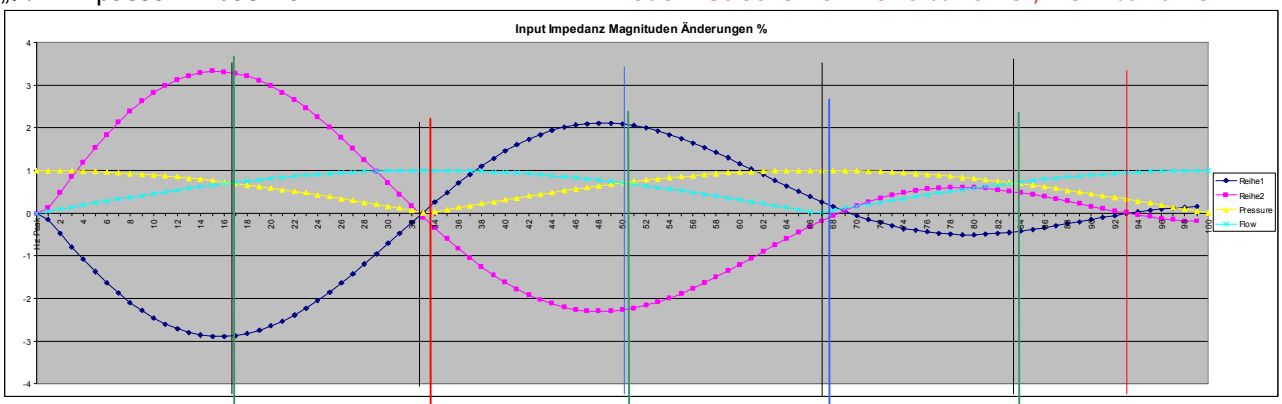
Das Magn. Maximum liegt bei ca 36cm, hier ist die Flußkurve 0,5 von 1,0 und die Druckkurve 0,85 von 1,0. Man könnte allerdings auch sagen Geomittel aus Pitchnode 50 zu 100 = 70,1+6 = 76 also nahe am Node2, Pitchnode ist 1/8 WL bei RL 50; * 0,7071 = 35,5; Der shared Pitchnode (der einzige hier) ist nicht versetzt, ist exakt bei 0,5 RL mit Nullversatz 0,7 Cent down. Die Effekte der „letzten ¼ WL“ werden in Sideletter #3 komplett ausgearbeitet.

Closed Cyl., Mode 2: (+Position 50% markiert)

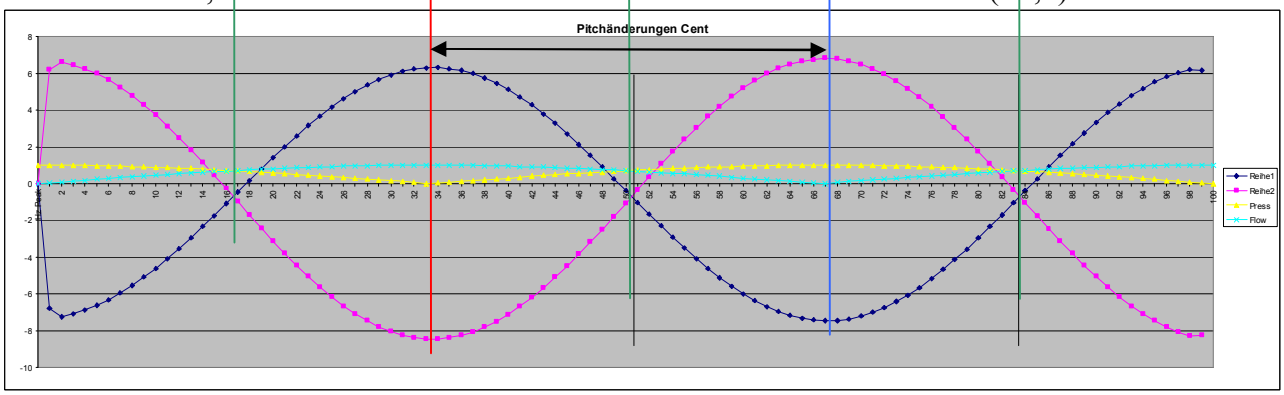


Mode 2 beginnt 1 „rundere“ 1/4 WL lange 1. halbe Umrundung, 0,33m +0,5cm ~ Druckknoten
1 weitere halbe Umrundung, =0,671m endet bei Press.Max,
---> Magnituden Node =XM-IN2 ist aber 1,9cm später als Druckbauch #2 bei 0,671 -> 0,69m =XM-IN2
und führt dann zusätzlich die letzte, kürzere „¼ WL“ exakt wie Muster Mode 1 aus, +L 0,31m =1,00 (kürzer)

inkl. Versatz der letzten Magn. Nodes - 7,8% auf RL93 %
ergibt 1x 0,333 + 1x 0,354 Node Abstand + 1 x kürzer 0,31-> dieser nochmals geteilt in 78% und 22%
„¾ WL“ passen in das Rohr. --> Mode 1 Strecke war hier 6 % kürzer, hier 4% kürzer

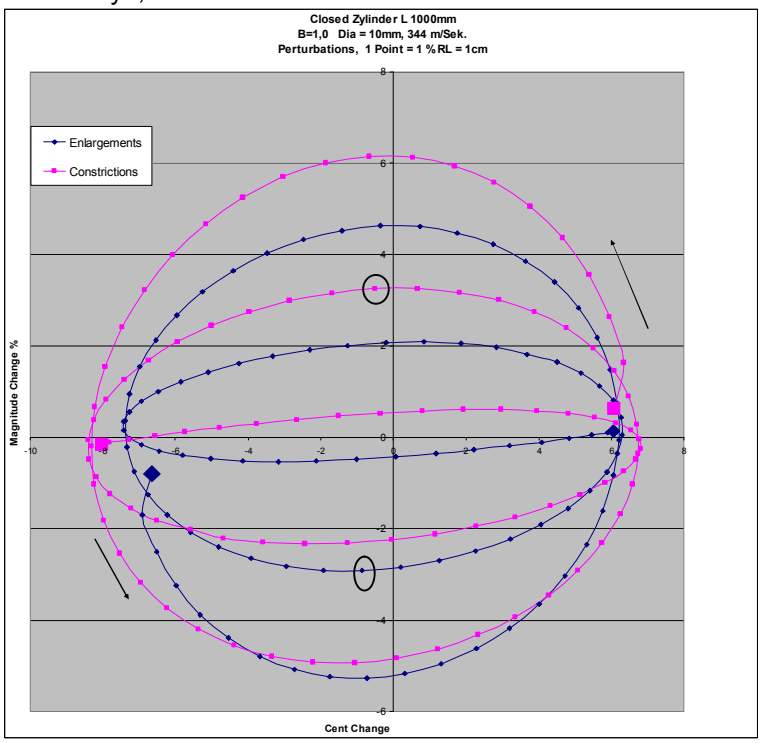


XM-IN1: 0,5 vor Flussbauch XM-IN2: nach Druckbauch (+1,9)

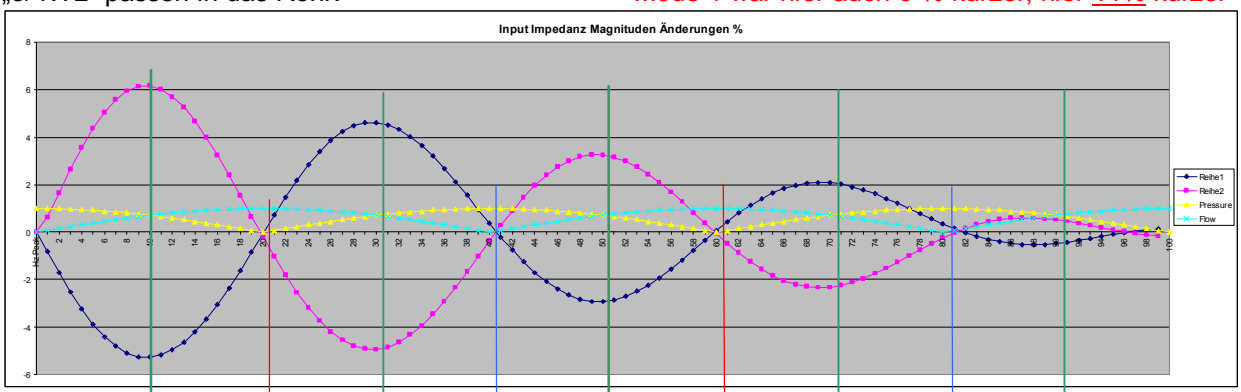


Pitch Nodes = exakt 1/8 WL vor oder nach Flußmaxima, Nullversatz down = 0,7 Cent
blau = Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21 rosa = Constrictions, q0c =1,111 q0²c =1,2345 gelb: Druckverlauf

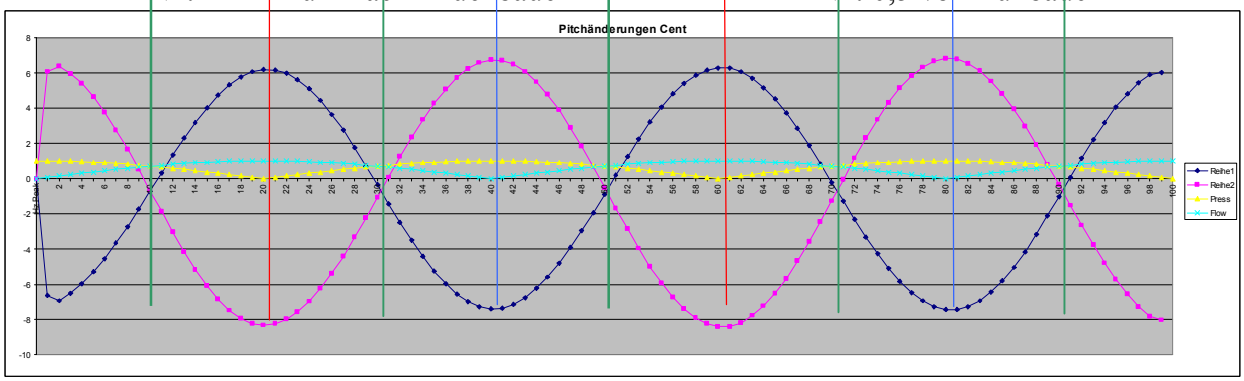
Closed Cyl., Mode #3:



Mode #3 beginnt 1 „noch rundere“ 1. halbe Umrundung, 1/4 WL 20cm = vor Flußmax.
eine weitere halbe Umrundung, etwas länger 1/4WL +0,5cm 40,5 XM-IN1 an Druckbauch
führt dann 1 Umrundung exakt wie Mode 2 aus:
1 halbe Umrundung (0,5 kürzer, endet mit bei 1/4WL -0,5cm 60 = vor Flußmax. IN2
1 halbe Umrundung 1,5cm länger, 1/4WL +1,5cm 82 **nach** Druckbauch
und führt dann zusätzlich eine letzte „¼ WL“ wie Mode1 aus 1/4WL-2cm =100cm
inkl. Versatz der letzten Magn. Nodes - 7,8% auf RL96
ergibt letzte halbe Umrundung, 1 x kürzer 0,18-> dieser nochmals geteilt in 78% und 22%
„5/4WL“ passen in das Rohr. --> Mode 1 war hier auch 6 % kürzer, hier 11% kürzer



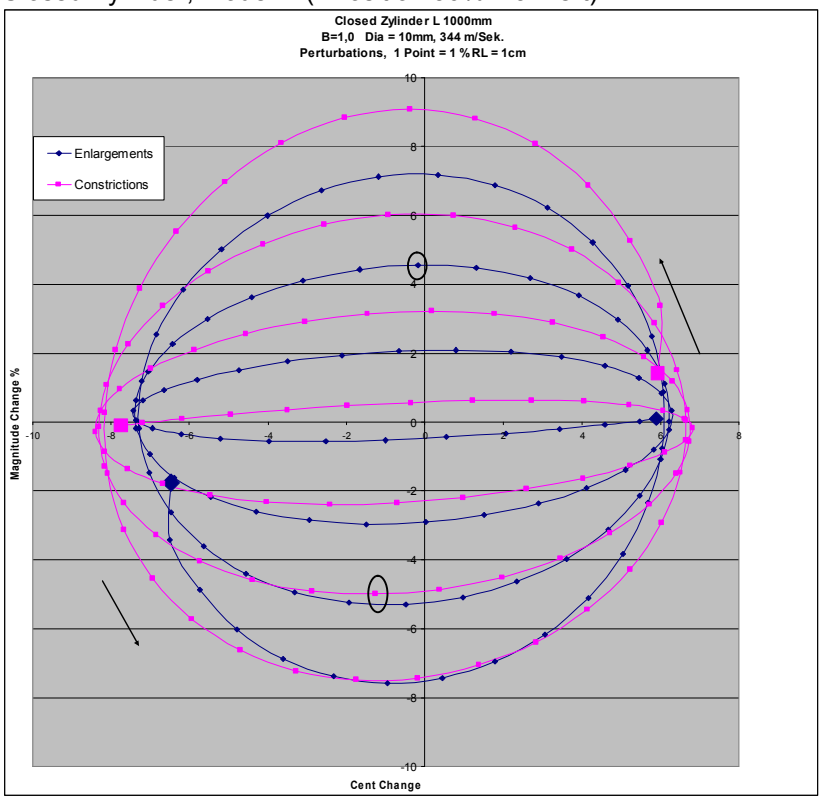
XM-IN1: kurz nach Druckbauch XM-IN2: 0,5 vor Flußbauch



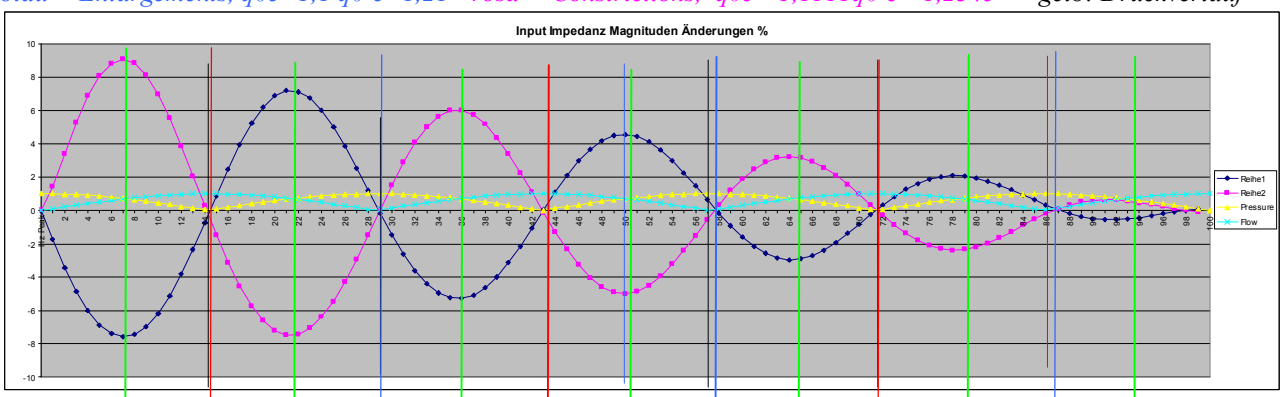
closed Cyl. Mode #3

blau = Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21 rosa = Constrictions, q0c =1,1111q0²c =1,2345 gelb: Druckverlauf

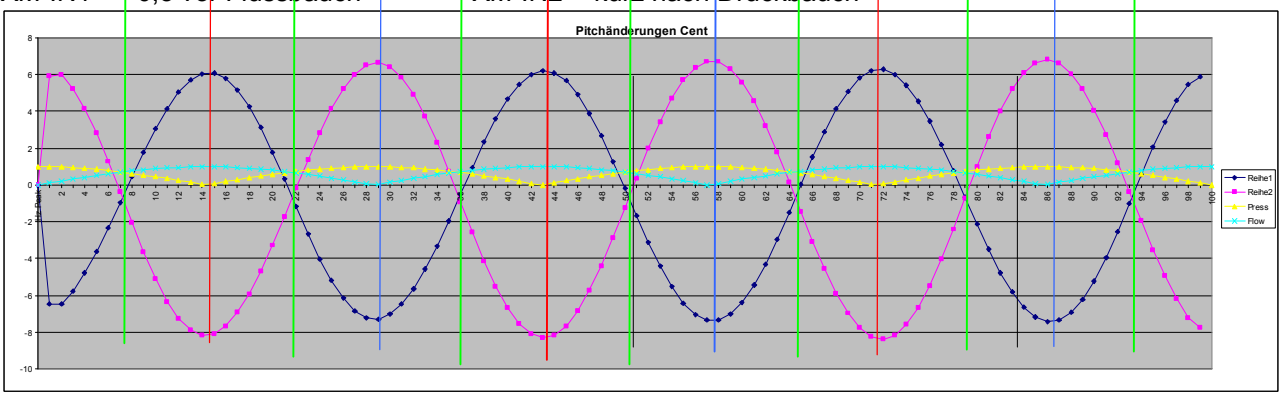
Closed Zylinder, Mode 4: (+Position 50% markiert)



blau = Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21 rosa = Constrictions, q0c =1,1111q0²c =1,2345 gelb: Druckverlauf



XM-IN1= 0,5 vor Flussbauch XM-IN2 = kurz nach Druckbauch

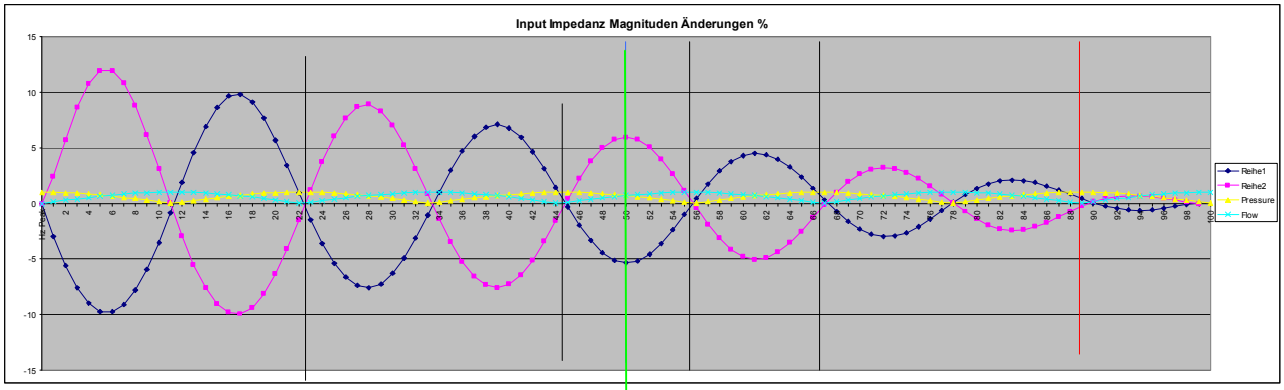


Auch bei Resonanzmode #4 wiederholt sich das Schema, 1.Magnitudenbauch führt ohne Abweichung zu Flussmaximum, 2. Magnitudenbauch ist theor. geringfügig länger, aber nicht mehr festellbar =Druckbauch 2. Es folgen darauf die vorangehenden Abweichungen nach dem Muster von Mode #3, Mode #2 und Mode #1.

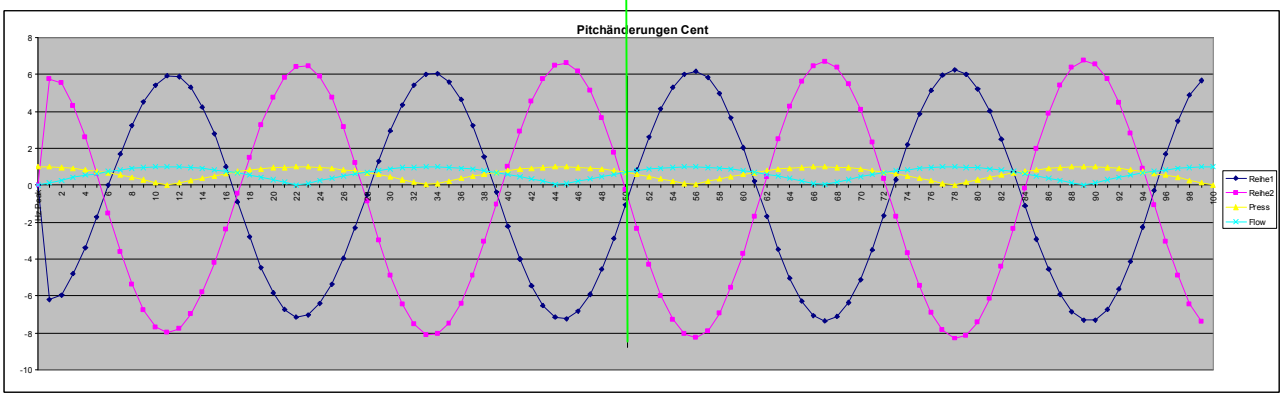
Pitch Pot beginnt zum offenen Ende hin zuzunehmen, pro Mode nun ein Treppen-Effekt bei Mag. Pot. down zu beobachten, aufwärts allerdings nicht. Das Magnitude Pot. down durch Constrictions nimmt nun stetig zu. Der letzte Magnituden Node nähert sich dem physischen Rohrende , hier 99% RL.

Closed Zylinder, Mode #5:

blau = Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21 rosa = Constrictions, q0c =1,1111q0²c =1,2345 gelb: Druckverlauf



XM-IN1: ev. kurz nach Druckbauch XM-IN2: kurz vor Flußbauch



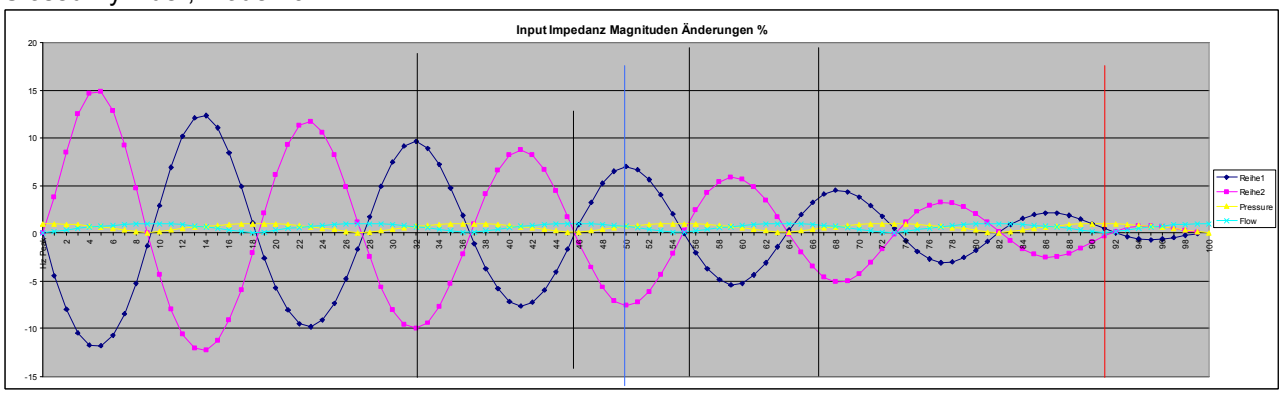
Mode 5: hat 9/4 WL = 11,11 cm für ¼ WL 5,56 cm = 1/8WL
Magnitude Hüllkurve up ist steiler als bei Mode 4, Pitch Pot steigt Richtung offenes Ende

Pnodes bei:	11,11+0,3	Pmax bei:	22,2+0,3
	33,33+0,3		44,4+0,3
	55,55+0,3		66,6+0,3
	77,77+0,3		88,8+0,3

Bei Druckbäuchen sind die Magnituden Nodes nur noch
1. bei 22,2 kurz vor Druckbauch, 44,7 67,0 89,1 +0,9cm

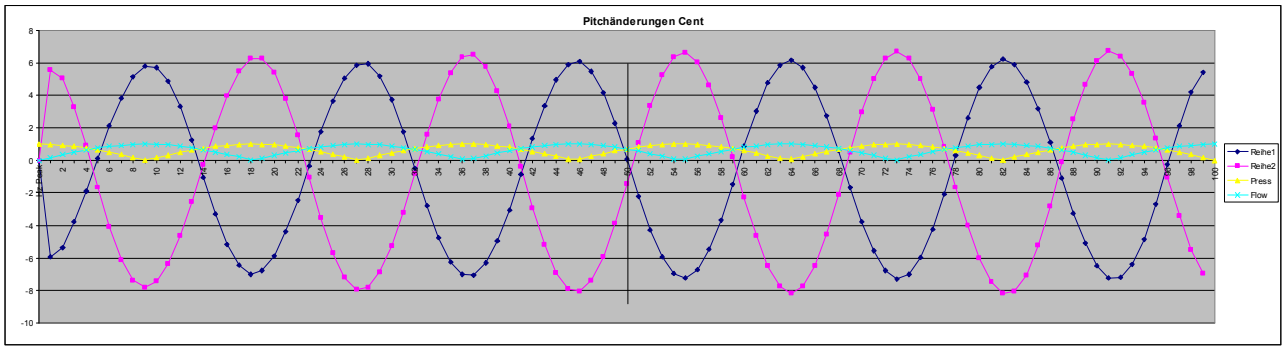
Ab diesem Mode nimmt auch an Flußmaxima ab XM-IN2 der Versatz der Magnitude-Knoten Richtung offenes Ende etwas zu =Annäherung an Pitch-Max.Pot Positionen, ebenso eine merkbare Reduktion des Pitchversatzes. Grundversatz Richtung offenes Ende Pitch / Druckknoten nur noch ca. 0,3cm -> (ausgenommen 1. Pitchnode), Nullversatz: -0,6

Closed Zylinder, Mode #6:



XM-IN1= ~ am Flussbauch XM-IN2 = ~ am Druckbauch

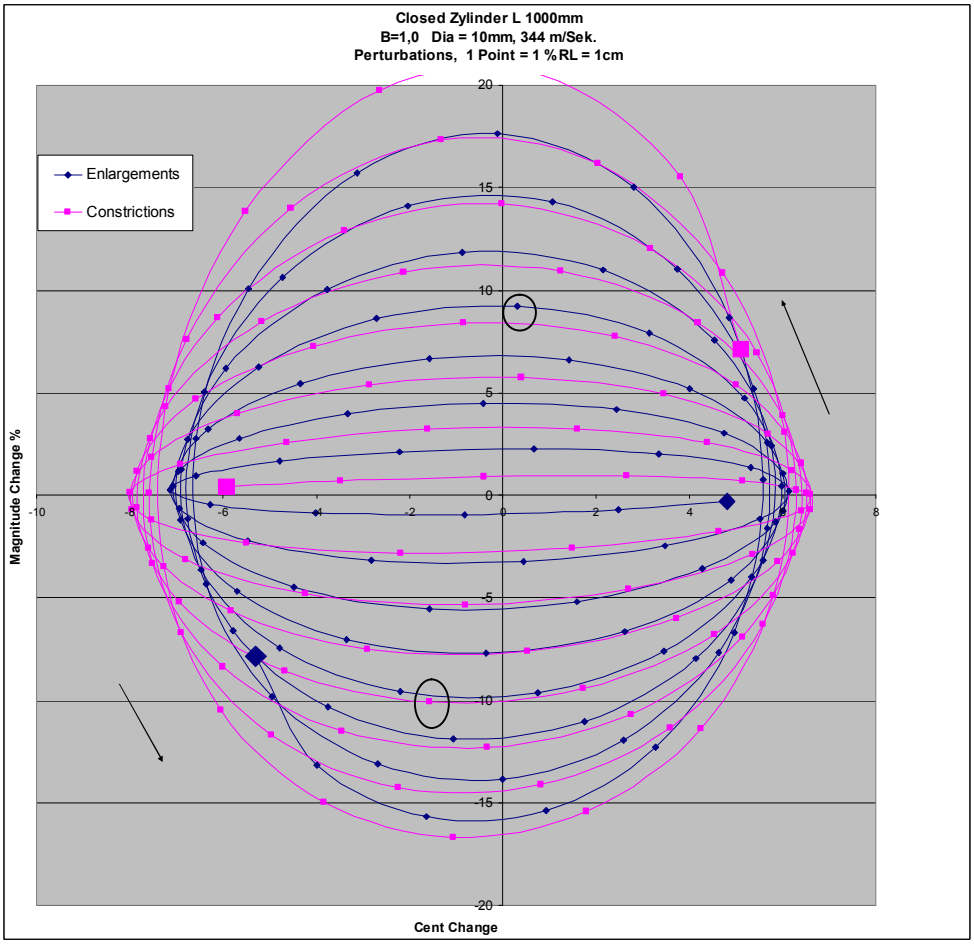
blau = Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21 rosa = Constrictions, q0c =1,1111q0²c =1,2345 gelb: Druckverlauf



Mode 6: hat 11/4 WL = 9,09 cm für ¼ WL 4,55 cm = 1/8WL

Der Grundversatz nimmt weiter ab, der Trend setzt sich fort, ab diesem Mode wird es mit der gewählten Auflösung von 1cm Schritten aber immer fehlerträchtiger, die genauen Punkte zu bestimmen.

Closed Zylinder, Mode #8: (+Position 50% markiert)



Man beachte: Pitch Potential steigt minimal Richtung offenes Ende,
-8 Cent zu 6,5 Cent max. Pot., wobei Constrictions hier ~10 % mehr Pitch Pot. als Enlargements haben,
an jedem Flußbauch haben Constrictions hier ~23% mehr Pitch Pot. down als an einem Druckbauch up.
(-> da nicht invers proportionale Querschnittänderungen)

Es gibt einen Pitch Pot. Versatz unter die Null-Linie von rund -0,7 Cent.
Constr. haben bei Magnitudenänderungen ebenfalls mehr Pot, hier bis zum 3. Pitch Pot viel mehr.

Magnituden Nodes liegen	bis zu %RL	XM-IN1	bei XM-IN2
Even Modes	0,5	vor Flussbauch	am Druckbauch (NT 2 2% später)
Odd Modes	0,5	nach Druckbauch	vor Flussbauch
Even Mode Constr.	0,5	Pitch später max. dn	Pitch früher max. up (NT2 bis 2%)
Odd Mode Constr.	0,5	Pitch früher max. up	Pitch später max. dn

Magnituden max. Pot - Positionen:

Liegt ziemlich genau am geometrischen Mittel der (teils verschobenen) Magnitudenknoten
Geometrisches Mittel aus Pos. Verhältnis der Knoten zueinander, Beispiel: Mode 2, Magnituden-Knoten:

#1 bei 0 = Längenfaktor 1,0 (Geomittel mit 0 nicht möglich, daher Berechnungsschritt etwas anders)
#2 bei 33,33= Längenfaktor 1,333 Geomittel aus 1,0 und 1,333=1,153 1,33/1,153 = 1,15 =-> 0 +15cm
#3 bei 69 = Längenfaktor 69/33,3 = 2,07 Geomittel aus 2,07 und 1 = 1,4388 33,3*1,4388 = 47,9cm
#4 bei 93 = Längenfaktor 93/69 =1,35 Geomittel aus 1,348 und 1 = 1,16 69*1,16 = 80,1cm

Da die Magnitudenknoten an den Flußmaxima Richtung geschlossenes Ende versetzt sind, liegt das max. Magn. Pot. immer vor Pitch-Nodes, bei wenig Versatz an Pitchnodes, aber nie später.

Bemerkenswert und erstaunlich:
Das Magnituden- und auch das Pitch Potential ist am offenen Ende bei allen Modes quasi immer gleich, „Magnituden-Berge“, wenn vom offenen Ende an gezählt, numeriert und verglichen, haben immer das selbe Magnitudenpotential wie der nächst tiefere Mode, aber mit kürzerer WL.

Mit jeder zusätzlichen Umrundung = next Mode mit höherer Freq./ kürzerer WL, umso runder – und umso weniger der Versatz am Beginn des Rohres, dieser verschiebt sich immer weiter Richtung offenes Ende.

	Magn. Pot Max. up #2	Magn. Max dn	Magn.Pot	Magn. Node bei
Mode #1	+0,6 % constr. at RL~35,0	-0,5 % enl. at	RL ~38,0	RL~ 78,0

Magnituden Potential aufwärts, Betrag:

Magn.	*Pot# 2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Mode#			*Pot in % Magn. Change*				
#1	**+0,6 at RL 35 constr.**						
#2	+0,6 Constr	**+2,10 enl.**	**+3,31 at RL15 constr.**				
#3	+0,6 Constr	+2,10 enl.	+3,31 Constr	**+4,62 enl**	**+6,16 at RL10 constr.**		
#4	+0,6 Constr	+2,10 enl.	+3,31 Constr	+4,62 enl	+6,16	**7,18enl**	**9,08 at 7 c.**

weitere Magn. Pot aufwärts:

	#9	*#10*	*#11*	*#12*	*#13*	*#14*	*#15*	*#16*
Mode #5	11,0	12						
Mode #6	11,0	12	13,3	14,7				
Mode #7	11,0	12	13,3	14,7	16,2	18		
Mode #8	11,0	12	13,3	14,7	16,2	18	19	20,5

(die Magnitudenwerte sind mangels Auflösung bei höheren Moden etwas ungenau)

Magnituden Pot. abwärts Betrag:

Magn.	*Pot# 2*	*3*	*4*	*5*	*6*	*7*	*8*
Mode#			*Pot in % Magn. Change*				
#1	**-0,5 at RL 38 enl.**						
#2	-0,5 Enl.	-2,3 Constr.	**-2,9 at RL16 enl.**				
#3	-0,5 Enl	-2,3 Constr	-2,9 Enl	-4,94 constr	**-5,23 at 10 enl.**		
#4	-0,5 Enl	-2,3 Constr	-2,9 Enl	-4,94 constr	-5,23 Enl.	-7,49constr	-7,58 at7 e.

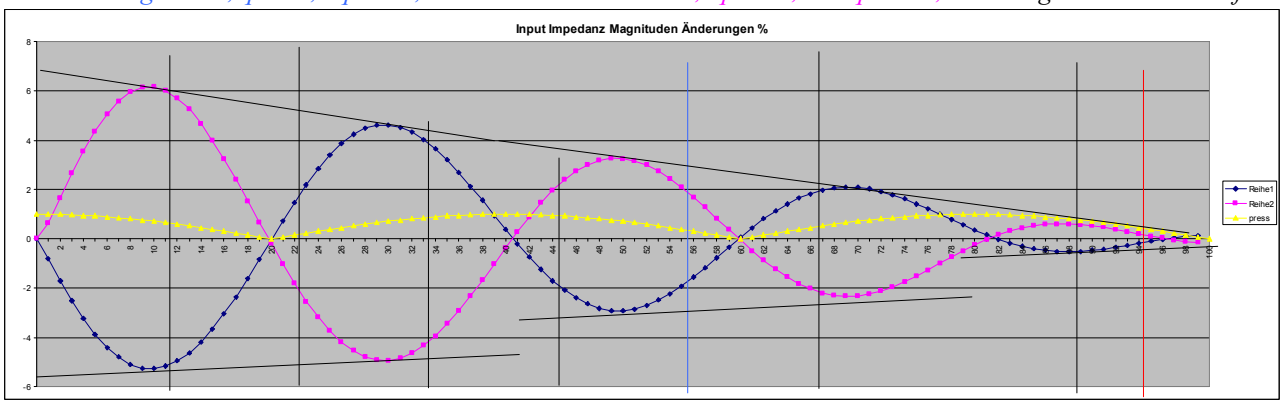
weitere Magn. Pot abwärts:

	#9	*#10*	*#11*	*#12*	*#13*	*#14*	*#15*	*#16*
Mode #5	-10	-10	Constr	Enl.	Constr	Enl.	Constr.	Enl.
Mode #6	-10	-10	**-12**	-11,9				
Mode #7	-10	-10	**-12**	-11,9	**-15**	-13,9		
Mode #8	-10	-10	**-12**	-11,9	**-15**	-13,9	**-16,6**	-16,0

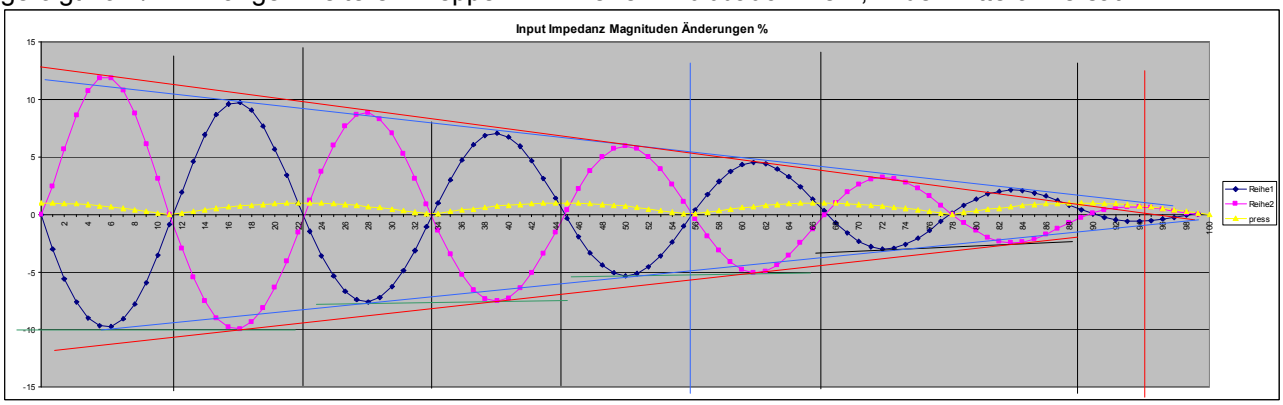
(die Magnitudenwerte sind mangels Auflösung bei höheren Moden ungenau)
Enlargements (jeder 1. Bauch) hat weniger Potential down, das ergibt einen „Treppen-Effekt“ pro Mode #

Magnituden Potential - Treppen-Effekt Constrictions

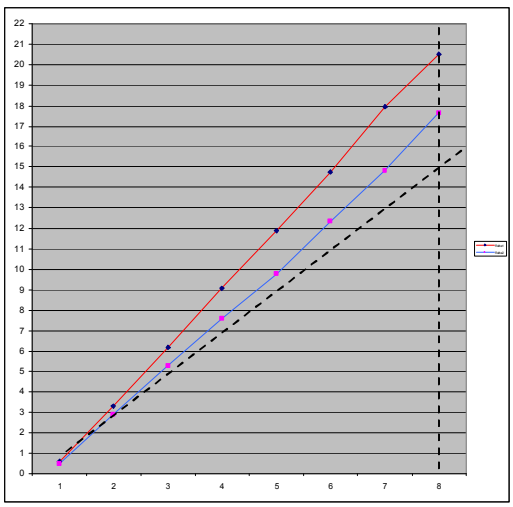
blau = Enlargements, q0e=1,1 q0²e=1,21 rosa = Constrictions, q0c =1,111 q0²c =1,2345 gelb: Druckverlauf



Mode #3: Treppen nach unten immer je 2 Bäuche, die dazukommen
In der Mitte der Treppen sind die Flußmaxima mit Std. Versatz -0,5 Positionsabweichung (20, 60)
Die oberen Hüllkurven von Enl. und Constriction-Pot sind hier noch ident. Es bleiben die ersten „Treppen“, gefolgt von ½ WL langen weiteren Treppen = immer ein Flußbauch mehr, in der Mitte o. Versatz.



Mode 5: Die neu dazugekommene „Magnitude-Pot.-down-Treppen“ sind nun „gerade“ = Constr. sind überdurchschnittlich stärker. Constrictions down haben ~ das selbe Magn. Pot. als Enlargments die 1/8 WL näher am geschlossenen Ende liegen.Die “Treppen” sind eine optische Täuschung, tatsächlich steigt das Potential überproportional linear an:



% Magnitude Pot. 1/8WL vor open End ->1/8 WL nach closed End.

Hüllkurven ab Mode #2; strichliert: Anzahl ¼ WL (z.B. 15 bei Mode #8); Rot=Constr., blau = Enlargement up und annähernd ~ Constr. down, x=Mode#, y= Absolutbeträge Potential des jeweils 1. Magn. max. Pot., diese liegen 1/8 WL nach dem geschlosssenen Ende, Hüllkurven Startwerte müssen daher höher sein.

Das letzte Magn. Potential (Mode #*2)-1 liegt ca. 1/8 WL vor dem offenen Ende, ist daher am Ende nicht gleich Null.

Enlargements haben immer 1/8 WL nach Druckmaxima weniger Magnituden-Potential down. Aufwärts Potential ist ~vergleichbar mit Constrictions, wobei Constrictions aber insgesamt etwas stärkeres Pot. haben.

Nach dem geschlossenen Ende = absteigende Druckbauchflanke beginnen Enlargements, die hier immer nicht inverses Pot Down haben immer schwächer.

Bei invers prop. Constrictions gibt es diese „Treppen“ abgeschwächt auch, wäre bei Constrictions die Querschnittfläche direkt proportional d.h. 21% geringer X- = X+, = Dia 8,888mm, dann wären diese „Treppen“ noch stärker und früher (bei tieferen Modes bereits) ausgebildet.

Teil A-3: Grundlegende Beobachtungen geschlossener Zylinder:

Endkorrektur & Verluste ergeben einen „Grundversatz“ der Druckknoten & Pitch

Misst man die Resonanz-Frequenzen eines Zylinders, so ergeben sich tiefere Frequ., = was mit längeren Wellenlängen gekoppelt ist, als anhand der physischen Länge hervorgeht. Der Zyl. wirkt akustisch, als wäre er ein Stück länger. Üblicherweise wird der 1. Resonanzmode verschieden langer Zylinder miteinander verglichen, und daraus die notwendige Endkorrektur ermittelt, bzw. die Schallgeschwindigkeit errechnet.

Eine Endkorrektur, wie in der Literatur mit 0,3-0,4 * Durchmesser pro sprunghaftem Ende (offenes Ende) angegeben ergibt 3-4mm effektive Mehrlänge als physisch, das sind **in diesem Fall 3-4 Promille**. Diese Mehrlänge teilen sich alle Resonanzfrequenzen. Diese Größenordnung stimmt hier mit der ART Simulation mit den Resonanz Modes ~ #2-3 in etwa überein, für Mode #1 müßte die Endkorrektur größer sein, für höhere Modes = frequenzabhängig aber weniger, wenn dies der einzige Abweichungsgrund wäre.
Die Endkorrektur ist also nur ein Teil von Phänomenen, es kommen Verluste durch Reibung hinzu. Diese sind bei der ART-Simulation mit Faktor 1,1 berücksichtigt, und laut den Simulationsergebnissen überwiegen diese in engen, langen Rohren und wirken zum Teil entgegengesetzt.
Bei Mode#1 ist nur die Peakfrequenz einfach zu ermitteln. Höhere Modes geben mehr Einblicke.

Der festgestellte Pitch Versatz zu berechneten Flußmaxima (ohne Längenkorrektur) von ca. 5mm Richtung offenes Ende legt den begründeten Verdacht nahe, daß Druckknoten = hier auch Flußmaxima in der Praxis auch um diese bis zu 5mm Richtung offenes Ende versetzt sein müssen, und der letzte Druckknoten dann ausserhalb des offenen Rohrendes liegt/“wirkt“, wie es in der einschlägigen Literatur erklärt wird.

Der beobachtete Pitchversatz zu berechneten Druckknotenpos. ohne Endkorrektur (die weiter links liegen), nimmt mit höheren Moden ab, was somit ebenfalls damit begründet sein könnte, daß bei höheren Moden die Druckknoten immer etwas weniger weit aus dem offenen Ende ragen, also wieder weiter links wären, (höhere Freq., dafür geringfügig kleinere Abstände und somit weniger weit links), die Inharmonizität deutet jedenfalls darauf hin. Das ungleiche Pitchpotential mit Constrictions macht die Situation aber nicht einfacher.

Wäre dies so alles der Fall, so würden max. Pitch-Potential Positionen mit Flußmaxima = hier Druckknoten zusammenfallen. Der 1. ermittelte shared Pitch-Node nach dem geschlossenen Ende (bei Mode #1 der einzige) liegt aber an der Position, die ohne Längenkorrektur berechnet wäre. Magnituden Nodes (nahe Flußbäuchen) wären nun anstelle der Pitch-Nodes um bis zu -5mm versetzt, allerdings in Richtung geschlossenes Ende. Der Versatz der Magnitudenknoten zu Flußmaxima vor der letzten ~¼ WL Strecke Richtung offenes Ende wäre etwas weniger stark, der Versatz der Magnitudenmaxima gegenüber Magnituden Nodes bliebe 1:1 erhalten (Geomittel), es wäre nur ein rechnerisch etwas höherer Faktor der Abweichung zur arithmetischen Mitte zwischen den Flußmaxima.

Ich gehe nach langen Überlegungen davon aus, daß dies ein Ansatz ist, die akustischen Verhältnisse beim (hier links) geschlossenen Zylinder zu beschreiben und stelle die Behauptung auf, daß beim engen CC die shared Pitchnodes 1/8WL von Flußmaxima entfernt sind. Magnituden Nodes haben dazu einen Versatz Richtung geschlossenes Rohrende, der mit höheren Moden in selber Richtung aber abnimmt.

Hier unterscheidet sich der closed Zyl. zum Frustum closed-open, als daß beim **geschlossenen Zylinder das max. Pitch Pot. an Druck- und Flußbäuchen auftritt und shared Pitchnodes zu Flußmaxima** exakt 1/8 WL voneinander entfernt **ohne Versatz auftreten**.
Bei exakt 50% Rohrlänge + Endkorr.-> liegen **alle shared Pitch-Nodes** aller Modes.
Kurz davor (begründet mit der fallenden Magnituden-Potential-Hüllkurve) die max. Magnitudenänderungen.

Beim Frustum closed-open ändert sich dies, die weiter links liegende Druck- und Flußbäuche haben ebenso max. Pitch-Pot, dafür haben **Pitch-Nodes** Richtung offenes (großes) Ende **einen Versatz** dazu.

Bei 50% Rohrlänge + Endkorr.-> bilden sich ab Mode 2 #das max. Magnituden Potential aller Modes.

Bei 50% Rohrlänge + Endkorr. haben Antiresonanzen Druckbäuche oder Druckknoten, d.h. Imp. Minima verändern hier stark ihre Freqenz und beinflussen die möglichen Resonanz-Maxima Änderungen mit!

Closed Zylinder – Analyse der Effekte durch Perturbationen auf Resonanzpeaks:

Bei nicht invers proportionalen Querschnittänderungen:

Grundversatz von Flussbäuchen und Pitch-Kurven Richtung offenes Ende:
Peak-Frequenzen hängen an anhand der Ergebnisse und Beobachtungen immer an Flußbauch-Abständen. Closed Zyl. haben ein etwas höheres Frequ. Verhältnis der Modes als 1:3:5 usw. Ermittelte Pitch Nodes und berechnete Flußbauch-Positionen decken sich, sofern man in diesem Fall Boresize Dia = 10mm -> 5mm als **Grundversatz** Richtung offenes Ende für die Endlängenkorrektur + Verluste, sowie die Inharmonizität mit einbezieht. Der 1. Pitchnode nach dem geschlossenen Ende hat diesen Versatz aber nicht.

An einem Druckbauchmaximum = hier auch ~Flussknoten (z.B. auch geschlossenes Ende links)	Constriction:	Pitch max. up, „schmäler“, (etwas mehr Pot.) Magn. Node, Nulldurchgang aufwärts, -> Versatz mit & in Richtung offenes Ende ->variiert
	Enlargement:	Pitch max. down, “breiter”, mehr Pot. Magn. Node, Nulldurchgang abwärts, -> Versatz mit & in Richtung offenes Ende ->variiert
Druckbauchmaximum ist vor XM-IN1 von odd Modes, vor XM-IN2 von even Modes (NT 2 bis -> 2% RL)		

zwischen Druck- und Flußmaximum,
+/- 1/8 WL (arithm. Mitte Druck/Fluss Nodes):

-> Wenn der Druck fällt & Fluß steigt:	Constriction:	Pitch Node*, Nulldurchgang ist abwärts früher <- Magn. max. up, Versatz Richtung closed End <-**
aber „shared“ PNodes = kein Versatz der shared Pos. Constr+Enlargement	Enlargement:	Pitch Node*, Nulldurchgang ist aufwärts, später -> Magn. max. down, Versatz Richtung closed End <-**

An einem Flußmaximum = hier auch ~Druckknoten (z.B. auch offenes Ende rechts)	Constriction:	Pitch max. down, „breiter“ (mehr Pot.) Magn. Node, Nulldurchgang abwärts, Versatz <-0,5
	Enlargement:	Pitch max. up, “schmäler” (etwas weniger Pot.) Magn. Node, Nulldurchgang aufwärts, Versatz <-0,5
Flußmaxium ist nach XM-IN1 von even Modes, nach XM-IN2 von odd Modes		

zwischen Fluß- und Druckbauchmaximum,
+/- 1/8 WL (arithm. Mitte Druck/Fluss Nodes):

-> Wenn der Fluß fällt & Druck steigt: (arithm. Mitte Druck/Fluss Nodes)	Constriction:	Pitch Node*, Nulldurchgang ist aufwärts, später -> Magn. max. down (mehr Pot.), Versatz <-**
aber „shared“ PNodes = kein Versatz der shared Pos. Constr+Enlargement	Enlargement:	Pitch Node*, Nulldurchgang ist abwärts, früher <- Magn. max. up, Versatz Richtung closed End <-**

<-**: ~ <u>geometrische</u> Mitte Positionsverhältnis zwischen Magnituden Nodes, immer vor arithm. Mitte

Peak Magnituden Nodes: Kein Nullversatz, Crossing immer an der Nulllinie:

Geradzahl. harmonisch Vielfache bei	XM-IN1: Flußbauch ist später max. Pitch-Pot: später ->	XM-IN2: Druckbauch ist früher max Pitch-Pot: früher <-
Ungeradz. >#1 –„- bei ***früher / nicht mehr feststellbar*	XM-IN1: Druckbauch, k.Versatz** max. Pitch-Pot: kein Versatz**	XM-IN2: Flußbauch ist später max. Pitch-Pot: später ->

Shared Pitch Nodes* – Nulldurchgänge, Unterschiede, Nullversatz durch Constr. & Enlargements:
Der vertikale Nullversatz der gemeinsamen „Pitch“ Nodes liegt beim Rohr mit 1000mm Länge, Diameter 10mm und der „Standard Perturbation“ Länge 20mm und +/- 1mm Durchmesseränderung bei -0,7 Cent. Dieser Wert ist abhängig von der Durchmesseränderung, aber unabhängig von der Länge der Perturbation.

Der horizontale Versatz liegt bei +/-6-7% einer 1/8 Wellenlänge zum jeweils gemeinsamen Pitchnode. Dieser Versatz ist abhängig von der Durchmesseränderung und der Perturbationslänge.

Shared XM-Pitchnode bei 50% phys. Rohrlänge + Grundversatz – hier +0,5% Rohrlänge:
Bei shared XM-PN (50,5% RL) liegt der tats. Pitch Nulldurchgang bei Constriction und geradz. Modes 6-7% einer 1/8 WL nach shared XM-PN, bei ungeradzahligen Modes 6-7% einer 1/8WL vor shared XM-PN.

An der „shared“ XM-Pitchnode-Position (aller Modes) ist bei tiefen Modes das max. Magnitudenpotential zum shared XM-Pitchnode Richtung geschlossenes Ende <-- versetzt. Bei Mode #2 -2% RL bzw. -12% einer 1/8 WL, bei Mode #3 rund -1% RL bzw. 10% 1/8 WL, ab Mode 4 ist aber kein nennenswerter Versatz mehr vorhanden.

Unregelmäßiger, aber systematischer Versatz der Magnitudenänderungen zu Pitch-Potential:
Liegen Magnitude Nodes nahe Flußmaxima = hier auch ~ Druckknoten, dann haben die Magnitude-Nodes einen permanenten Versatz von 5mm Richtung geschlossenes Ende <-- (= liegen vor Flußmaxima).

Der letzte Magnituden-Node liegt am offenen Ende, aber bei tiefen Modes stark nach links versetzt. <--
Bei Mode 1 um 22% nach links verschoben!

Der vorletzte Magnituden Node, = der innerhalb der letzten 1/4 WL liegt,
hat dagegen einen Versatz Richtung offenes Ende. --> (bei Mode #2 ist das gleich XM-IN2)
Bei Mode #1 ist es der 1. Magnituden Node, der erst 5,5% RL später nach dem geschlossenen Ende auftritt.

Dadurch ergeben sich im Rohrabschnitt der letzten ½ WL große Unterschiede der Magnituden Nodeabstände. Dieses Phenomän ist am offenen Ende beim Zylinder und bei allen Modes gleich.

Mit Ausnahme des letzen ½ WL Bereiches liegen Magnituden Nodes und Magnituden Pot immer näher am geschlossenen Ende als Flußbäuche/Druckknoten, Pitch-Nodes und Pitch Pot.

Alle max. Magn. Pot Positionen einen Versatz Richtung geschlossenes Ende. ~ Geometrischer Mittelwert zwischen Magnituden Nodes, Max. Pitch Pot sind jeweils am arithmetischen Mittel zwischen Pitch-Nodes, was wiederum 1/8 Wellenlänge Abstand entspricht und der Gleichgewichtspunkt von Druck- zu Flußpotential sein sollte. (Wurzel aus ½ = 0,7071 Pot.= RMS-Wert)

Lässt man das komplexe Verhalten der Magnitudenänderungen am offenen Ende und Mode #1 außer Betracht, so kann prinzipiell gesagt werden, Magnitudenänderungen haben zu Druck/Fluß-Verhältnissen und Pitchänderungen beim einseitig links geschlossenen Zylinder einen Versatz Richtung geschlossenes Ende, der hier beim langen und engen Rohr L 1000mm, Dia 10mm in etwa dem Radius des Zylinders entspricht: -5mm.

Magnituden Nodes sind	immer kurz vor	Flussbäuchen	= Druckknoten (max. Pitch Pot)
	kurz nach	Druckbäuchen	= Flußnodes (max Pitch Pot)

Druck-und Fluß Potentiale müssen daher im Zylinder mindesten diesen Betrag voneinander entfernt sein.

Das Impedanzmagnituden Veränderungspotential der Resonanz-Peaks am Input (geschlossenes Ende) fällt stark mit zunehmendem Abstand der Perturbationen vom geschlossenen Ende, auch ohne Durchmesseränderung.

Bei nicht invers proportionalen Querschnittänderungen:
Es gibt immer mehr Pitch Pot. down als up, das Pot. ist trotz sehr unterschiedlicher WL in Cent immer ziemlich ident! Enlargements + 6 Cent up (an Flußbäuchen) -7,5 Cent down (an Druckbäuchen)
Constrictions - 8 Cent dn (an Flußbäuchen) +6,5 Cent up (an Druckbäuchen)
Das unterschiedliche Pot + insgesamt mehr Pot. down führt zu einem Nullversatz von ~ 0,7 Cent down.

invers proportionale Querschnittänderungen: Pitch up = $q0^2$ schwächer:

dann ist Pitch-Potential	als Faktor (nicht Cent):		
an Druckbäuchen DB	Constr. up Geo /$q0^2$ (+0,826)	Enlargements dn Geo	(-1,0)
um Druckknoten DK	Constr. dn Geo (-1,0)	Enlargement up Geo/$q0^2$	(+0,826)

Pitch-Versatz down:
dh. Pot up 1,0 /$q0^2$ = 0,8264 + Pot down 1,0 = TL 1,8264 / 2 = Mittelwert 0,913
Pot down - 1,0 + Mittelwert 0,913 = -0,087 Pitchversatz down (Faktor vom Max. Wert down).

Teil B: Frustum closed-open – A.R.T. Perturbation Testreihe

ART – Versuchsreihe Perturbation Frustum closed-open

Ziel ist es, herauszufinden welche Faktoren (Druck – **oder** Fluß) für die Änderungen durch Perturbationen tatsächlich verantwortlich sind, und die ermittelten Positionen in Relation zum B-Faktor des Frustum zu bringen. Da tiefe Modes bei kleinen B-Faktoren die größten Abweichungen haben, werden spez. diese unter die Lupe genommen. Umso kleiner der B-Faktor (Umformung in Richtung Konus mit Spitze), umso mehr Abweichungen/Versatz und umso weniger können Druck- und Flußparameter miteinander verschmelzen.

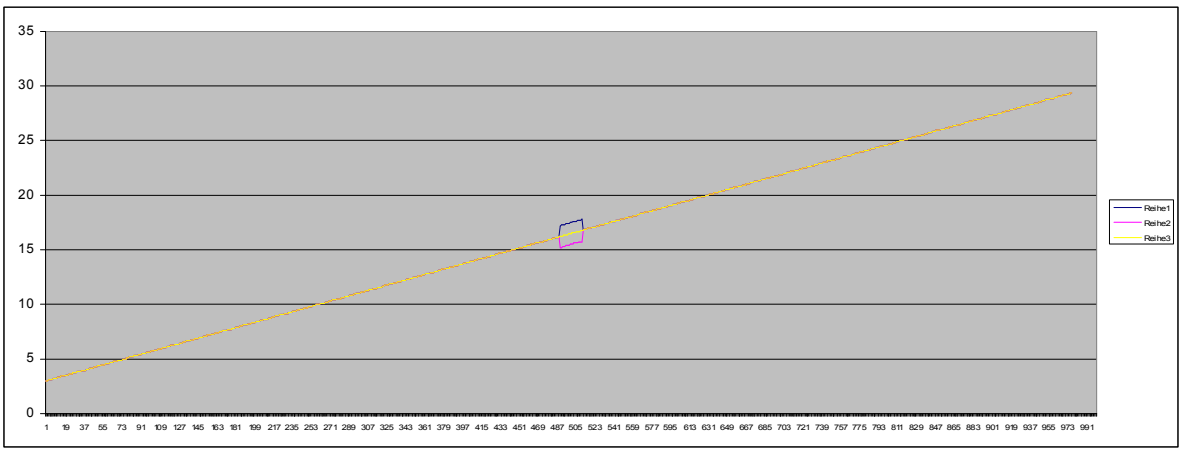
Es hat den Anschein, daß die Druckknotenpositionen zwar die Peakfrequenzen vorgeben, sich die Magnituden-, als auch Pitchänderungen hier allerdings an den Druckmaxima, und an den Flußmaxima ergeben, und daß Flußmaxima ebenfalls anhand der Druckprofilkurve 1/r Richtung kleines Ende versetzt liegen, und dadurch auch immer weiter am kleinen Ende gegenüber den Druckknoten liegen.

Als Frustum closed – open wurde gewählt:
3mm kleines geschlossenes Ende, 30mm großes offenes Ende, B-Faktor = 0,1 = Voller Winkel Spitze 1,55°
Länge der fehlenden Spitze: 11,1% des Frustum, Volumen fehlende Spitze: 262 mm³ = 0,1% des Frustum.
Länge 0,98m + Endkorr. 0,01m = akustisch 0,99 m inkl. einer Endkorrektur.
Excel Berechnungen liefern mit 344m/sek. aber erst bei 1,0m die geringsten Frequ. Abweichungen.

Als Parameter für die A.R.T. Simulation wurden hier verwendet: 23° C, Loss Faktor 1,1, 30% Luftfeuchte, 382 ppm Co2, und der Konus wurde um 2cm kürzer konstruiert (Endkorrektur) und um die berechneten Frequenzen der verglichenen Modes (in Excel anhand Formeln mit 344 m/Sek. wie in allen vorangehenden Beispielen bereits verwendet) annähernd (max. 0,3 Hz Diff.) zu erreichen. Der Enddurchmesser war daher schon bei physikalisch 29,4mm erreicht. (Die Simulation hat eine Art „Endkorrektur“ anhand Radiation Modell integriert).

Eine Vergleichssimulation der Druckkurven des unperturbierten Frustum closed-open mit Bios© zeigt ~ gleiche Ergebnisse mit den in Excel berechneten Druckkurven und Positionen von Druckknoten und Maxima, Druckberechnungen mit Bios@ deuten aber auf eine effektive akustische Länge von 0,99m hin. Druckknotenbereiche liegen lt. Bios allerdings nie bei 0, sondern positiv und sind „abgerundet“.

Da ein spherisches Wellenmodell in A.R.T. nicht zur Verfügung steht, wurde das Plane Wave gewählt. Simulationen wurden alle 10mm durchgeführt, es ist daher von einem Fehler von bis zu 2 % der Positionsdaten auszugehen. Perturbationen wurden an Positionen von RL 0,01 bis RL 0,96 simuliert.

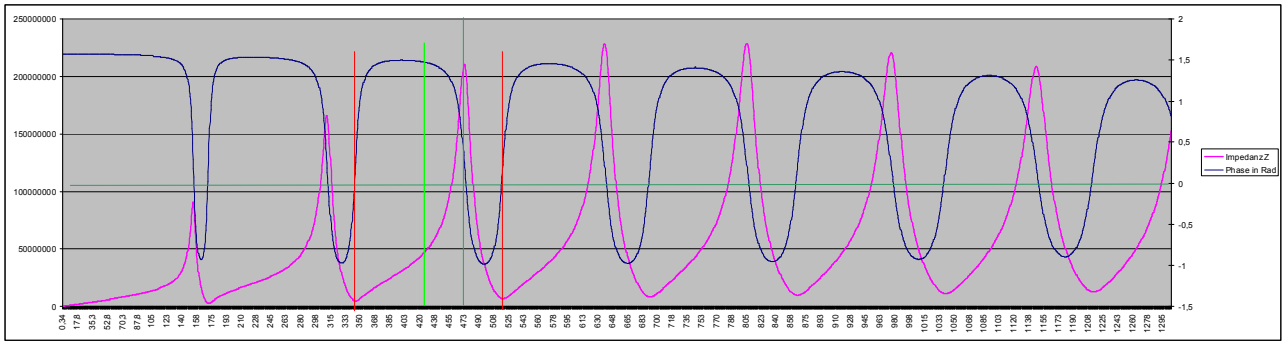


Perturbation bei Zentrum 500mm, Blau: Erweiterung; Rosa: Constriction L=20mm Dia +/-1 mm

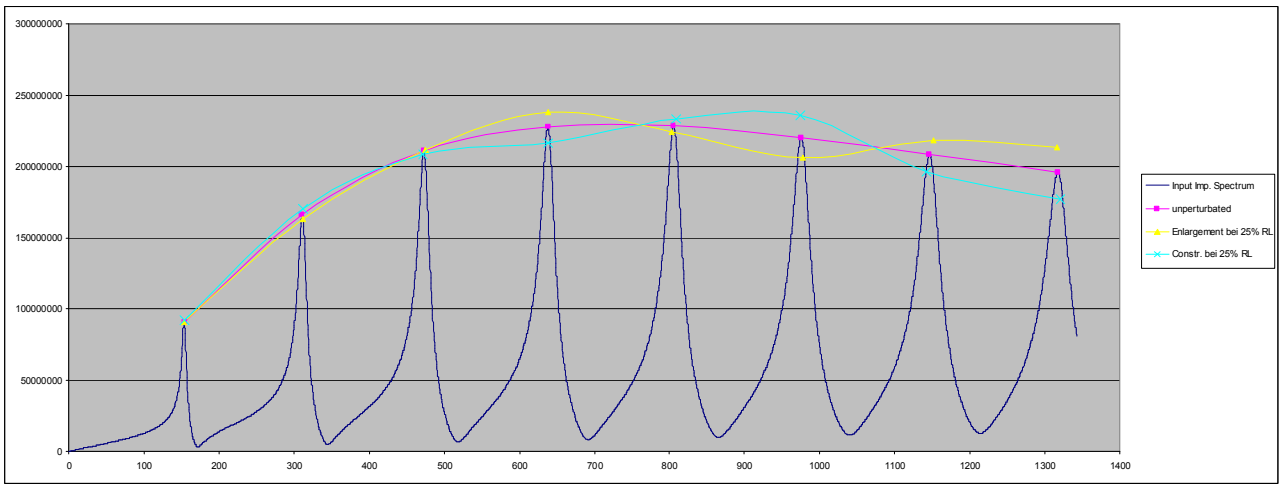
Die Perturbationen sind eine Erweiterung oder Constriction L20mm +/- 1mm Dia, d.h. nicht invers proportional zueinander mit Zentrum an der Position RL. Die Perturbationen sind also auch nicht mit dem Durchmesser „mitgewachsen“, ergibt stark fallendes Potential. Constrictions sind +Xg fällt von 42 auf 3%

Position RL 26% ist die einzige vergleichbare Pos. zum closed-open Zylinder mit q0e=1,1				Xg=(+10,5%)
am Beginn RL0%; Dia 3mm	Enlargement	q0e=1,3333 mit Constr. equiv.	zu q0pe=1,50	Xg=(+42,7%)
bei 50%	Dia 16,5mm	q0e=1,0606	q0pe=1,0645	Xg=(+ 6,3 %)
am Ende RL100%	Dia 30mm	Enlargement q0e=1,0333 mit Constr. equiv.	zu q0pe=1,0344	Xg=(+ 3,4%)

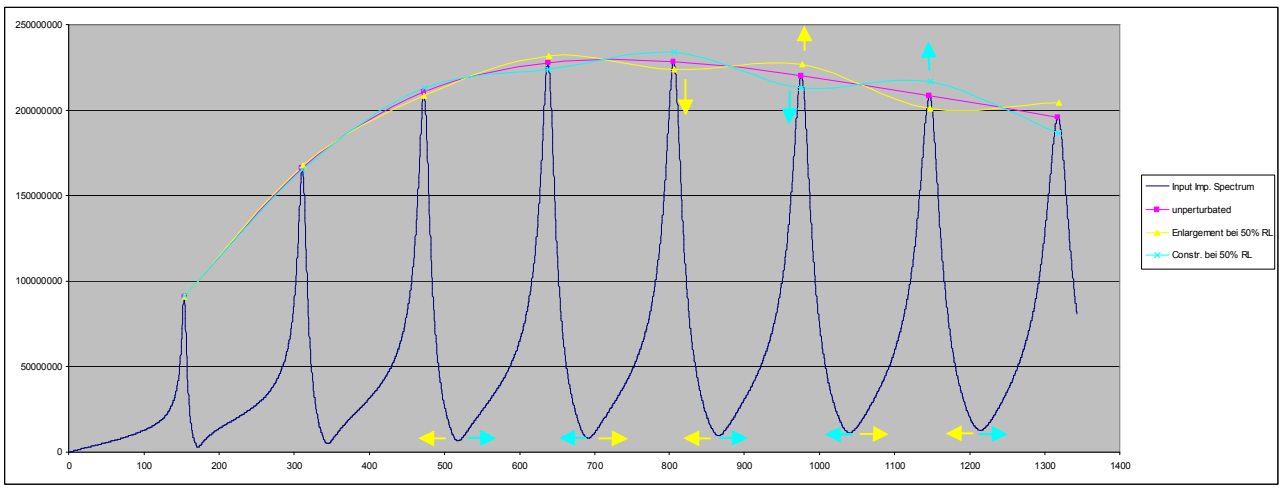
ART – Versuchsreihe Perturbation Frustum closed-open – Auswertungen global



Informationen aus der Phase; Nulldurchgänge abwärts sind Peak Frequ., Nulldurchgänge aufwärts Antiresonanzen. Eingezeichnet der arithm. Mittelwert der Antiresonanz Nulldurchgänge.



Auswirkung auf die Peakspitzen / Resonanzen, Perturbation hier bei 25% Rohrlänge, Xg ~ +10,5%

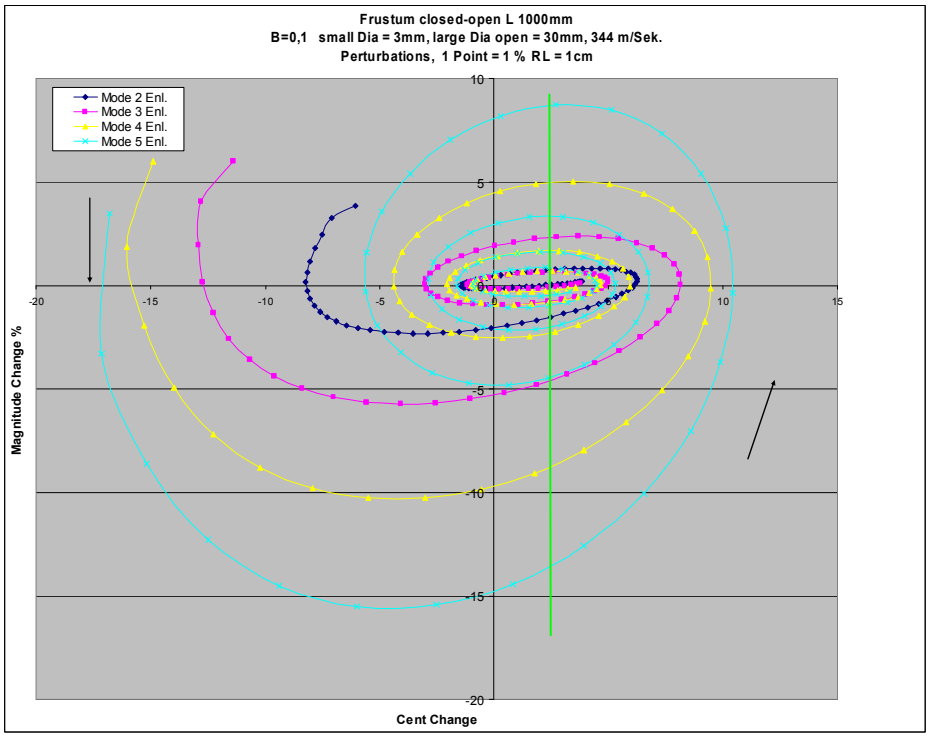


Auswirkung auf die Peakspitzen / Resonanzen , Perturbation hier bei 50% Rohrlänge, Xg +6,3%

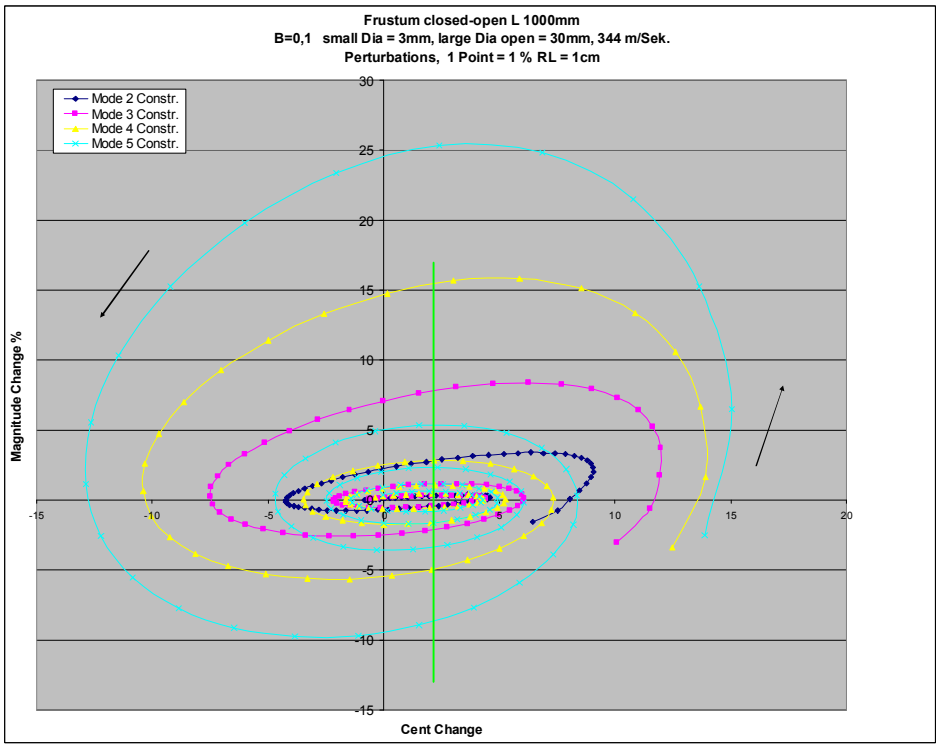
Die Hüllkurve Impedanz Magnituden sind entgegen dem Zyl. nicht exponentiell abfallend, das Magn. und Pitch Potential von Mode 3-7 sollte daher in etwa ident sein. Allerdings ist durch die immer schwächer werdende Perturbation zum Verhältnis Durchmesser stark abfallend in Richtung offenes, großes Ende.

Druck und Flußkurven sind in folgenden Grafiken mit 1,0m eff. Länge berechnet, das Frustum in der Simulation ist allerdings 2cm kürzer, was einer etwas überdimensionierten Endkorrektur entsprechen sollte. Ist das „überdimensioniert“, so würden die berechneten Druck+Flusspunkte etwas zuweit hinten liegen. Magnituden-Nodes wären näher/rascher an Druck+Flusspositionen <-, max. Pitch Pot wäre etwas danach.

A.R.T. – Perturbation Frustum closed-open – Perturbations-Spiralen:



Mode 2-5, Enlargements *-> Hier ist das Potential und der Versatz besser vergleichbar.*



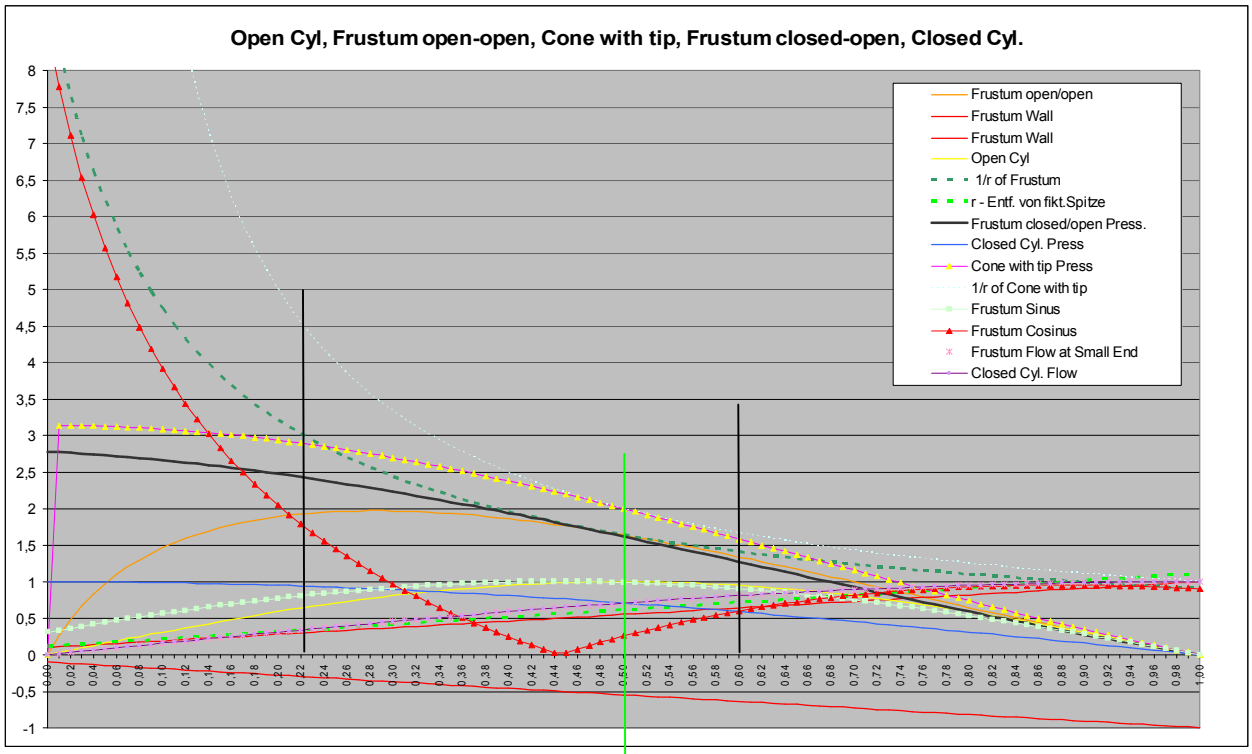
Mode 2-5, Constrictions *-> Auch hier ist das Potential und der Versatz besser vergleichbar.*

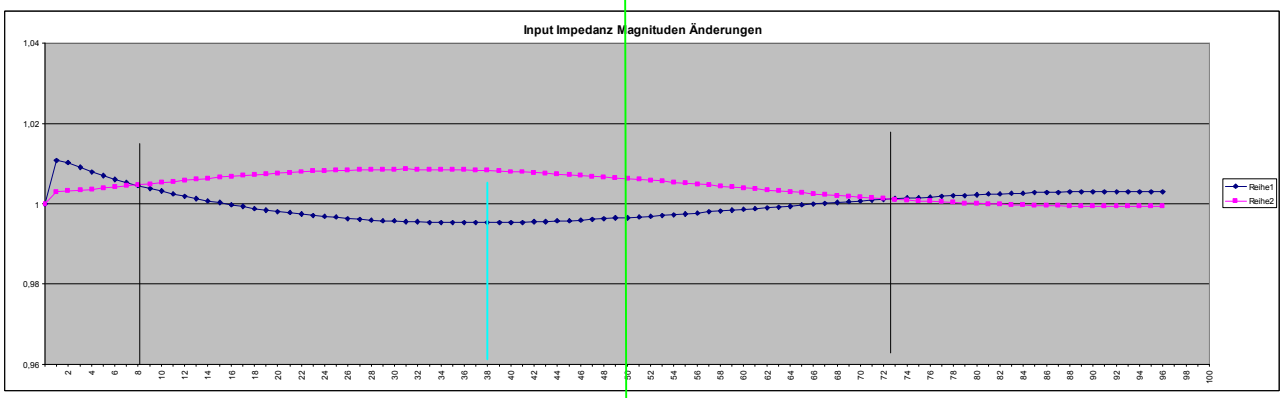
Das Magnituden Pot. ist stark Richtung **kleines Ende** verschoben, Constrictions mehr Pot.; aufwärts bis zu 1,5 x höher; starker Versatz zu Pitch-Nodes. Pitch Nodes haben einen starken & steigenden Nullversatz up.

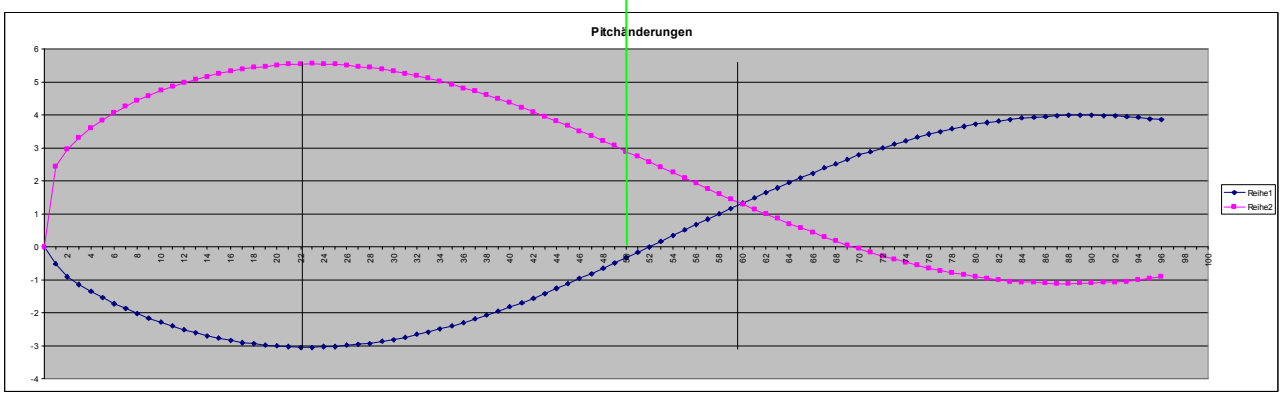
Das Pitchpot ist mit Enlargments am kleiner Ende stärker (vertiefend),
am großen Ende stark erhöhend, was auch plausibel erscheint.

Vergleich – Berechnete Kurven vs. Ergebnisse der simulierten Perturbationen:

Mode #1, B0,1 Peak 154,8Hz, ½ WL = 111cm ¼ WL = 55,5cm 1/8 WL = 27,7 cm

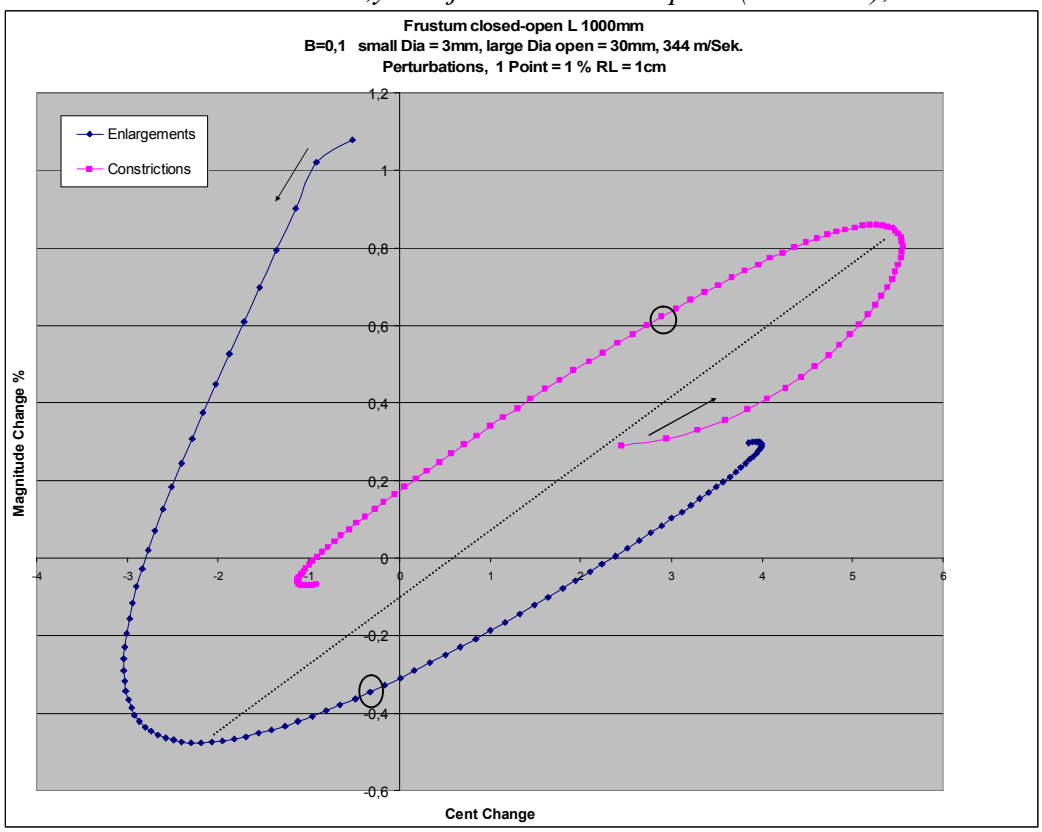






blau=Enlargements, rosa=Constrictions; Next shared Minima=bei 50% RL=ein Pressnode, Pitch Minima: <- ->

Mode 1 -> *im Zentrum x0,y0 ist jeweils die Peakspitze (Resonanz), ohne Perturbation*



(Positionen 50,0 RL% markiert)

Verglichen mit einem Closed Zyl. ist die Resonanzfrequ. wesentlich höher, WL somit kürzer.
Anstelle 1,0m für 1/4WL nur noch 0,556m; ein Konus mit Spitze hätte ~0,5m!

Die Resonanzfrequenz von Mode #1 ist ~1,8 x höher als ein closed Zyl.
~0,9 x der Frequenz eine Konus mit Spitze

Mode #1. Das Magn. Pot. ist viel früher als shared XM-Pitch Node,
die Abstände der Magnituden Nodes sind kleiner als beim Zyl. (kürzere WL),
der 1. Magn. Node liegt gegenüber dem closed Zyl. etwas später, der 2. früher
dieser liegt bei 72%, also wesentlich weiter vom offenen Ende entfernt,

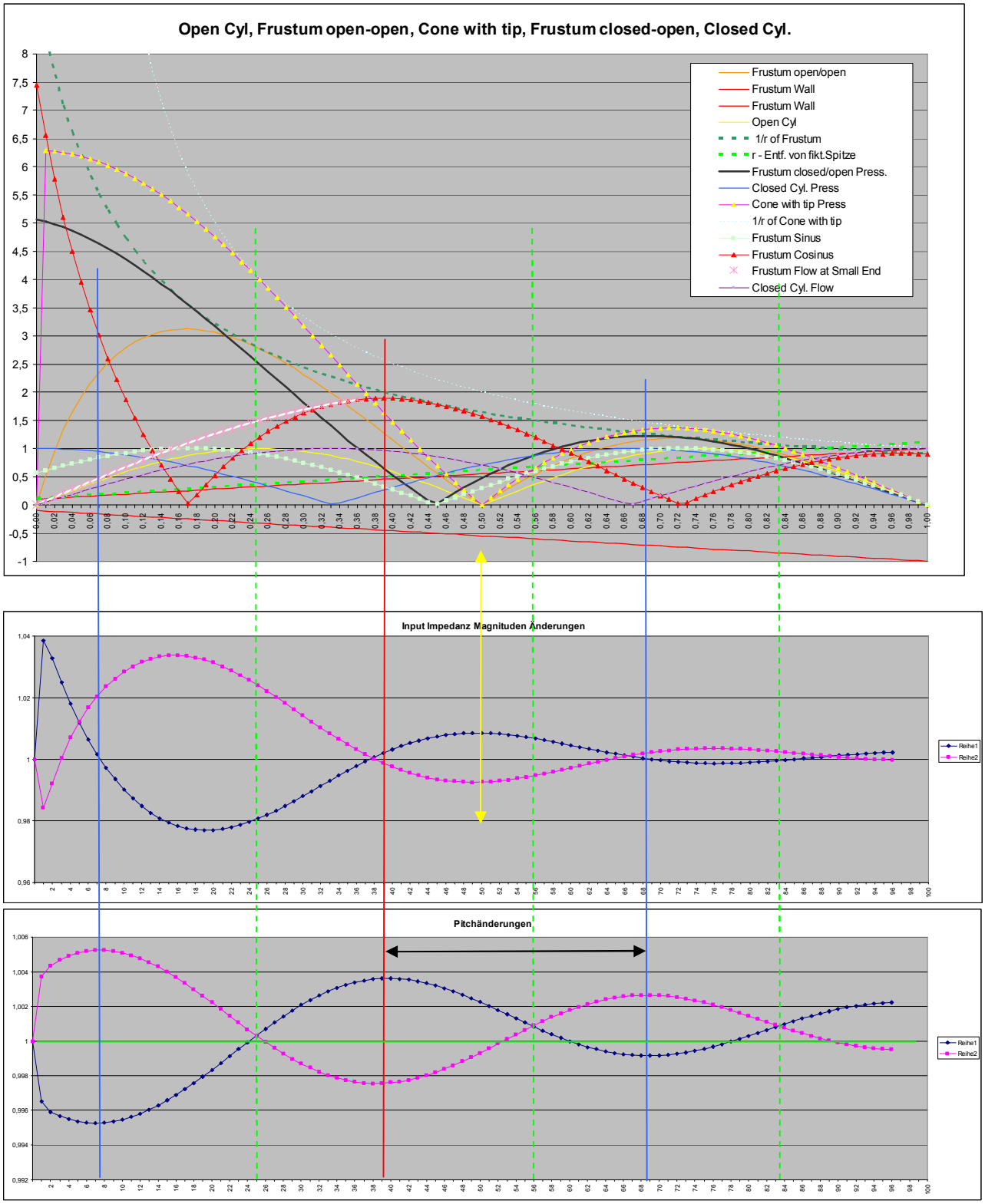
Der „shared“ Pitchnode – sofern man hier überhaupt noch davon sprechen kann liegt
nicht in der Mitte, sondern 10% weiter Richtung offenes Ende –> bei 60%

XM PN-Mode 1:
Mode 1: 1/2 Faktor. Freq gegen CC (x1,8= 80% mehr) = 40% hier von Ende abziehen = 60cm

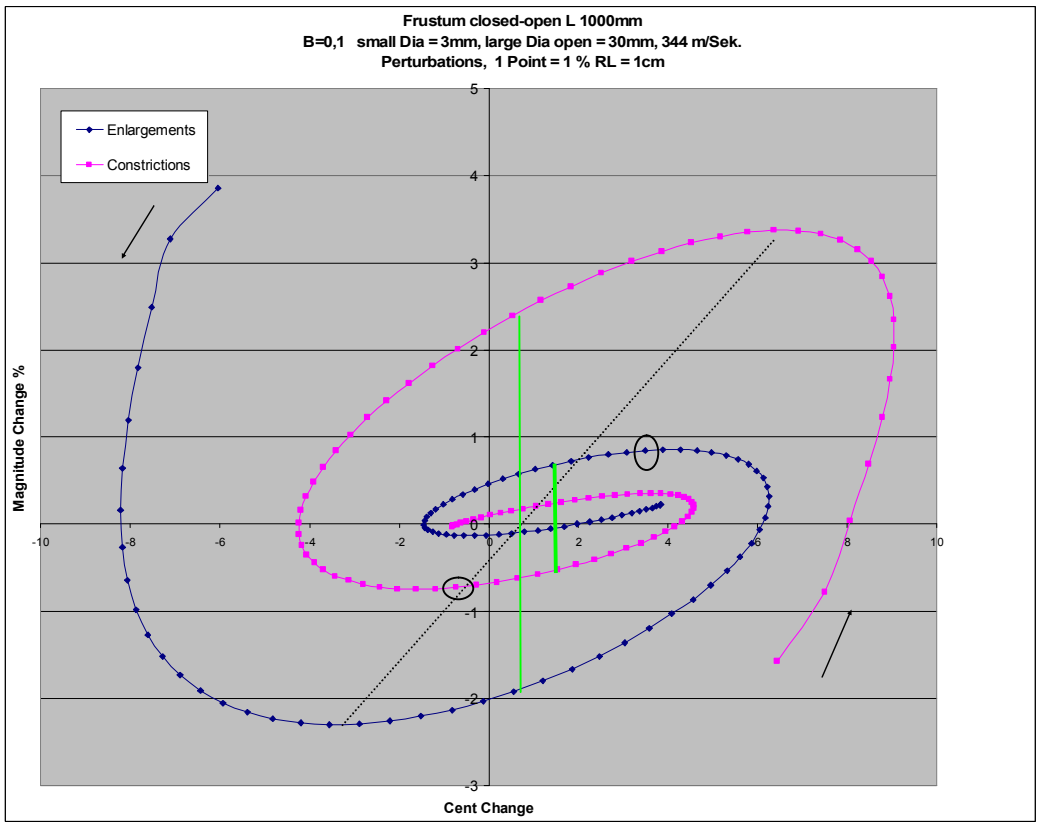
Eine Constriction hat quasi nur frequenzerhöhende Wirkung,
+5,5 Cent zu -1,0 Cent max. Pot. Enlargments liegen bei +4 / -3 Cent max. Pot.
Ebenso nur eine Magnitudenerhöhung durch Constrictions, es sind aber weniger als 1% !

Mode 2, B0,1 Resonanz Peak =311,3 Hz, 1/4WL = 27,6cm 1/8WL = 13,8cm

Excel berechnet: Mode #2, B=0,1 L=1000mm; kleines Ende Dia 3mm, großes Ende Dia 30mm, 344m/Sek.
Blau: Positionen Druckbauch-Maximum (Sinus /R),
Rot: Flußmaximum Positionen (Cosinus /R), der Fluß am kleinen Ende zum 1. Flußmax. ist gestreckt.
Schwarze Kurve = Druck Potential



Bei Mode 2 ist die Frequenzerhöhung naturgemäß ebenfalls stark, der Pitch Versatz ist extrem. Auch der 2. Druckbauch hat bei Mode #2 noch einen starken Versatz zur „fehlenden“ Spitze.



Mode 2 *->Richtung immer gegen Uhrzeigersinn, Start: Geschlossenes Ende, jeder Punkt=+1cm*
Grün: shared Pitchnodes Crossing = Versatz aufwärts, 1. weniger/schwächer, 2.+3. stärker

Anstelle 33cm beim closed Cyl. für 1/4WL nur 27,6cm; ein Konus mit Spitze hätte ~25cm!

Die Resonanzfrequenz von Mode #2 ist ~1,2 x höher als ein closed Zyl. selber Länge,
~0,9 x der Frequenz eines Konus mit Spitze

Beobachtungen Mode 2, B=0,1:
Berechnete Pressure Max und Fluss Max: liegen immer vor Flußknoten und Pressure Nodes
Berechnete Pressure Max und Fluss Max: =~ ermittelte max. Pitch Pot. Positionen
Ausnahme: 1. max. Pitch-Pot =früher: hier Mode 2 mehr Versatz <<-, Magn.Node noch früher
mind. 1/8WLvor 1.Pitch N., der ebenfalls <- versetzt ist

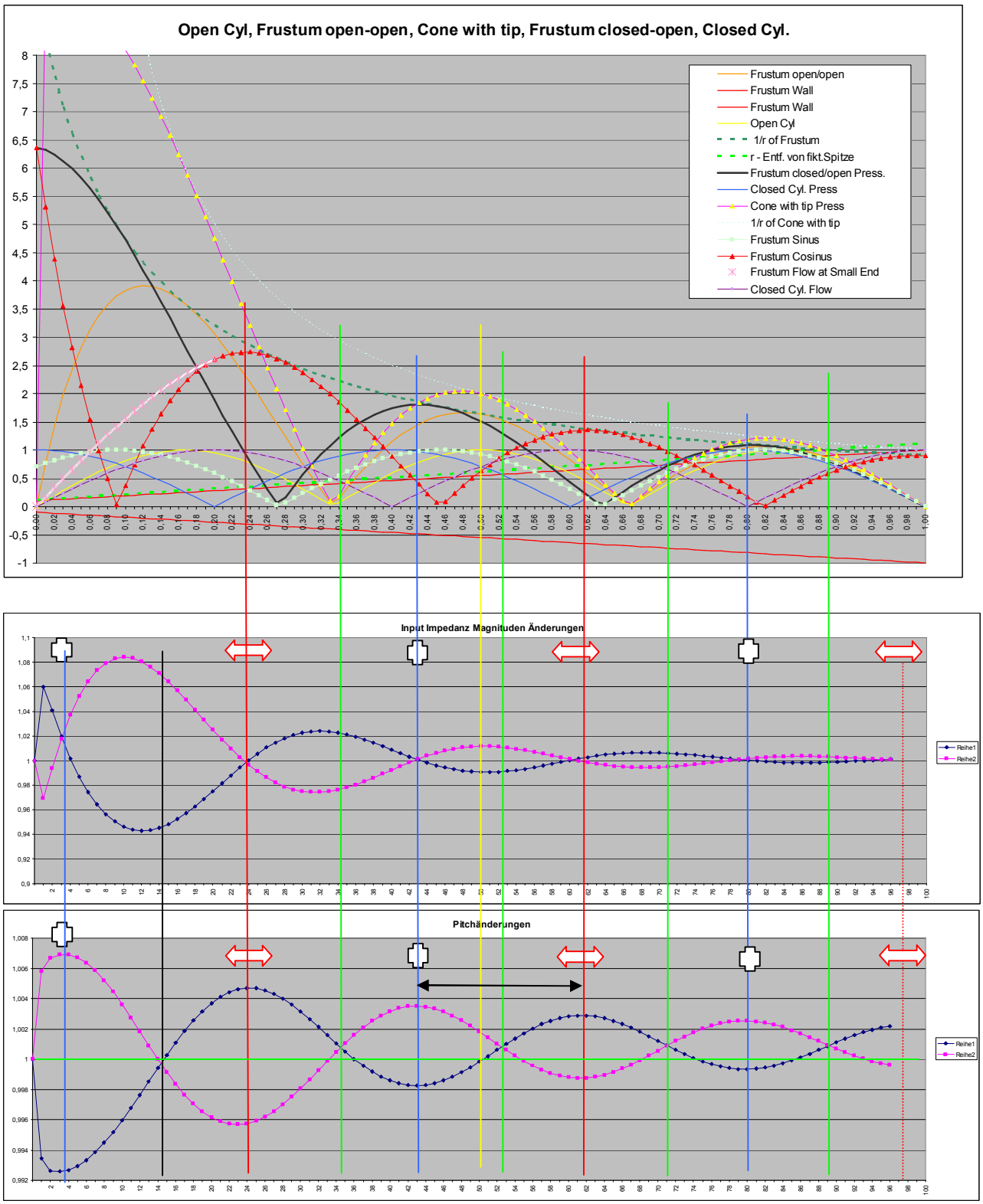
Restliche Magn. Nodes liegen **bei Mode** 2 **vor** max Pitch Pot, = Press. Max und Fluss.Max ~1%
Am offenen Ende wie beim Zyl. eine „Teilung“, letzter Magn. Node ist -10% vor dem offenen Ende

3 Pitch Nodes gesamt, letzte Pitch Nodes im Abstand 1/4WL,
Ausnahme: 1. shared Pitch-Node ist früher (ca 3cm), Nullversatz up hier geringer.
Mehrlänge fehlende Spitze = 11cm / 3 Nodes = 1/3 = - 3,6cm. <--
Pitch Nodes sind nicht am arithm. Mittel zwischen Max. Pot., sondern immer später (=alle Max. <-)
Letzter Pitch Node= ~ Geo Mitte letzter Press. Max. und RL100%

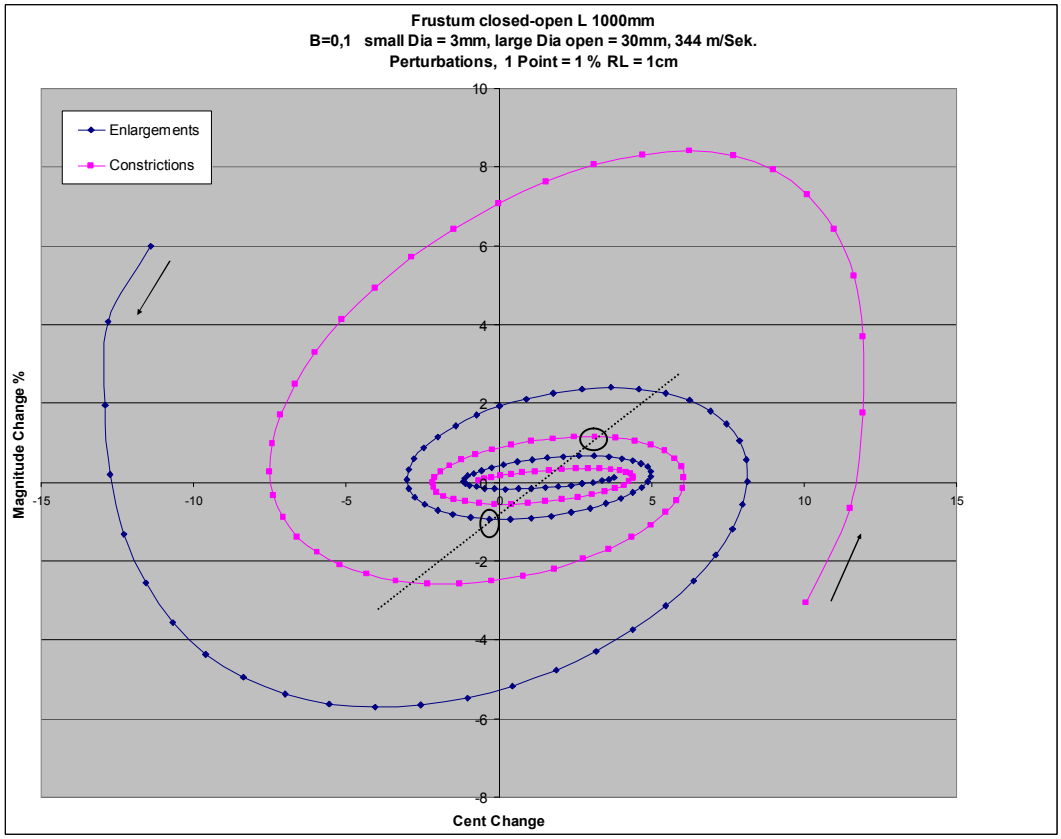
Shared XM-Pitch-Node: ist weiter Richtung offenes Ende gegenüber Zylinder. (shorter WL)
-> um die ½ Länge der (fehlenden) Spitze. +5,5=56,0 (nur Mode 2)
0,5%=Endkorr. *50% RL of CC = 50,5 + diff 1/4 WL = 33,3-27,6= +5,7 =56,2*
0,5%=Endkorr. *50,5 * halber Fakt. Freq gegen CC statt 20% = +10% = 55,5*
--> ein Mittelwert daraus – trifft bei Moden #2-#4 gut.

Mode #3, B0,1 Peak Freq. = 473 Hz ½ WL = 36,4cm ¼ WL= 18,2cm 1/8WL =9,1cm

Excel berechnet: Mode #3, B=0,1 L=1000mm; kleines Ende Dia 3mm, großes Ende Dia 30mm, 344m/Sek.
Blau: Positionen Druckbauch-Maximum (Sinus /R),
Rot: Flußmaximum Positionen (Cosinus /R), der Fluß am kleinen Ende zum 1. Flußmax. ist gestreckt.
Schwarze Kurve = Druck Potential



Mode #3, Rosa = Constrictions, Blau = Enlargements + =Bereich Druckmaximum <-> =Flow Max.
Faktor 1,0 + Pos. 0 = ohne Perturbation.



Mode 3 Nord/*Süd y=0 = Peak Magnitude Nulldurchgänge*

Anstelle 20cm beim closed Cyl. für 1/4WL hier nur 18,2cm; ein Konus mit Spitze hätte ~16,6cm

Die Resonanzfrequenz von Mode #3 ist ~1,1 x höher als ein closed Zyl.
~0,92 x der Frequenz eine Konus mit Spitze
= in etwa die Mitte zwischen beiden Extremen.

Was sich vorerst anhand Mode #3 und B=0,1 beschreiben lässt:

Magnituden: Nodes liegen immer nahe/bei Press. Max und Fluß Max. aber (nie an „Nodes"!)
Der Abstand der Magnituden-Nodes wird beim Frustum closed-open vom großen zum kleinen Ende stetig etwas größer, da Press. Max. und Fluß Max. somit von der Druckprofilkurve abhängen.

Max. Magnituden Pot liegt **wiederum** jeweils vor der arithm. Mitte zwischen Druck + Fluss Max.
Geo-Mittel entspricht annähernd gut, mit Ausnahme 1. Magn. Max, dieses wurde früher ermittelt.

Max.		Max.	**Geo-Mittel**		*arithm. MW wäre*	
62	auf	81	**70,8**		*71,5*	
43	auf	62	**51,6**	(near XM-PN)	*52,5*	
24	auf	43	**32,1**		*33,5*	
3	auf	24	8,5	->between<-	*13,5*	ermittelt: Constr: ~10, Enl: ~12

Es wird kein Magnituden Versatz nach oben oder unten ermittelt (wie auch bei der ART Trp.),
Das Magn. Pot ist bei Constr. und Enlargement ~ gleich hoch, Constriction max. Pot. Pos. liegen allerdings jeweils geringfügig früher gegenüber Enlargement Pot. Positionen, spez. an der Spitze.

Pitch – Potential:

Enlargements haben an	Flußmaxima	-
	an Druckmaxima	weniger vertiefendes Potential (43) (schmäler)
Constrictions haben an	Flußmaxima	-
	an Druckmaxima	mehr (erhöhendes) Potential (43) (breiter)

Die Pitch-Pot Maxima liegen an Press. oder Fluss Maxima, **aber nicht** an Druck- oder Flußknoten, Der Abstand der Pitch-Pot Maxima wird beim Frustum closed-open vom großen zum kleinen Ende stetig etwas größer, da sie von Press. Max.+Fluß Max. u. somit von der Druckprofilkurve abhängen.

Pitchnodes:

Durch das unterschiedliche Potential, spez. an Druckbäuchen (Constr. breiter, Enl. schmäler) liegen die Pitchnodes vor und nach Druckbäuchen nicht an selber Stelle, sondern

Nulldurchgänge sind
bei Constr. vor einen Druckmaximum früher, danach später, (entfernen sich vom Druck Maxima)
bei Enlargement vor einen Druckmaximum später, danach früher, (nähern sich dem Druckmaxima).

Ein eventuell gebildeter gemeinsamer Mittelwert „Nulldurchgang“ verschiebt sich zu höheren Frequenzen, die Unterschiede werden Richtung offenes großes Ende wesentlich stärker.

Enlargments – Pitchnodes:	15	(+21)	36	(+15)	51	15+21=36	(1/2WL=36,4)
Constricitions – Pitchnodes:	14	(+19)	33	(+22)	55	19+22=41	
Gemeinsamer Schnittpunkt MW	14,5	(+20)	**34,5**	(+18)	**52,5**	20+18=38	

Beim geschlossenen Zylinder liegen Pitch-Nodes jeweils 1/8 WL = in der arithmetischen Mitte zwischen Druckbauch und Flußbäuchen. Max. Magnituden-Potential Positionen früher.

Druck Nodes:	27,27	27,27	63,6	63,6
Druck Maxima:		43,0	43,0	81,0
Geo Mittel		34,2	52,3	71,7
arithm. Mittel		35,1	53,3	72,3
1/8 WL Press.Node				
+/-9,01 cm		36,3	54,6	72,6
Fluss Max.	24,0	24,0	62,0	62,0
Druck Max		43,0	43,0	81,0
Geo Mittel		32,1	51,6	70,9
arithm. Mittel		33,5	**52,5**	71,5
Fluss-Max.	-1/8 WL	+1/8 WL	-1/8 WL	+1/8 WL
-9.01 cm	15,0	33,0	53,0	71,0
Mittelwert	15,0	33,6	52,6	71,4

Ein Mittelwert aus obigen Werten würde alle Pitch Nodepositionen **annähernd** treffen.

Wie man sieht, sind die Abweichungen Richtung kleines Ende bei Mode 3 bereits wesentlich geringer. Bei „XM-Pitch“ ... das wäre nun ein Mittelwert bei 52,6 der aber um ~3,4 cm anhand der Perturbation differiert, oder bei 33,6 um 2,5 cm **und das ist SEHR VIEL!**

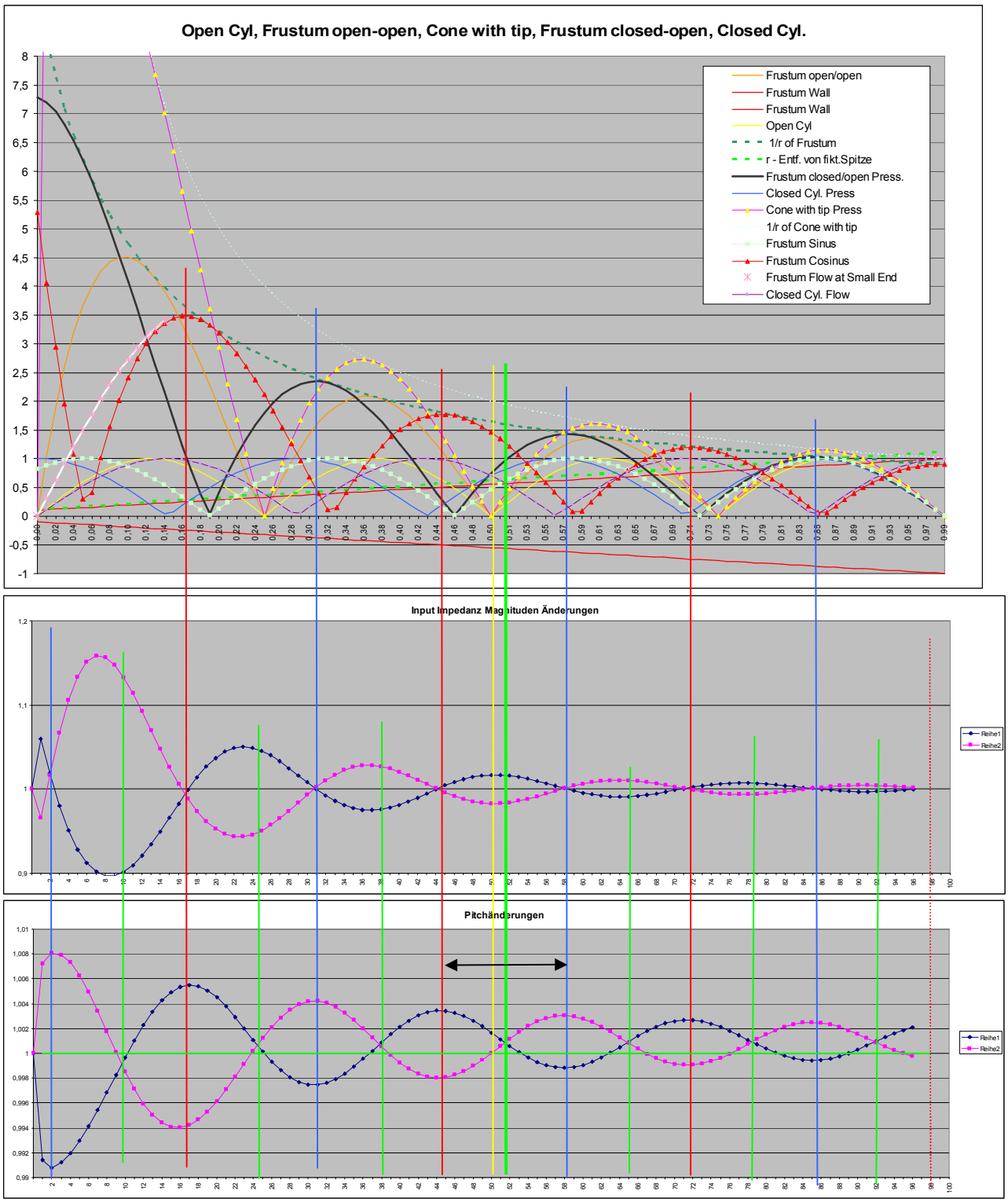
Das maximale Potential der Perturbation beträgt hier 1,007 = 7 Promille = ca. +/-12 Cent.
Der Nullversatz nach oben beträgt bei ~ XM-PN rund 1,001) ca. 2 Cent.

D. h. beide Pitchpot Kurven müssten um diese 2 Cent abgesenkt werden, um den Mittelwert in etwa auch nur annähernd zu treffen.

Enlargements zeigen etwas weniger Abweichung, Constrictions mehr. = stark erhöhend.

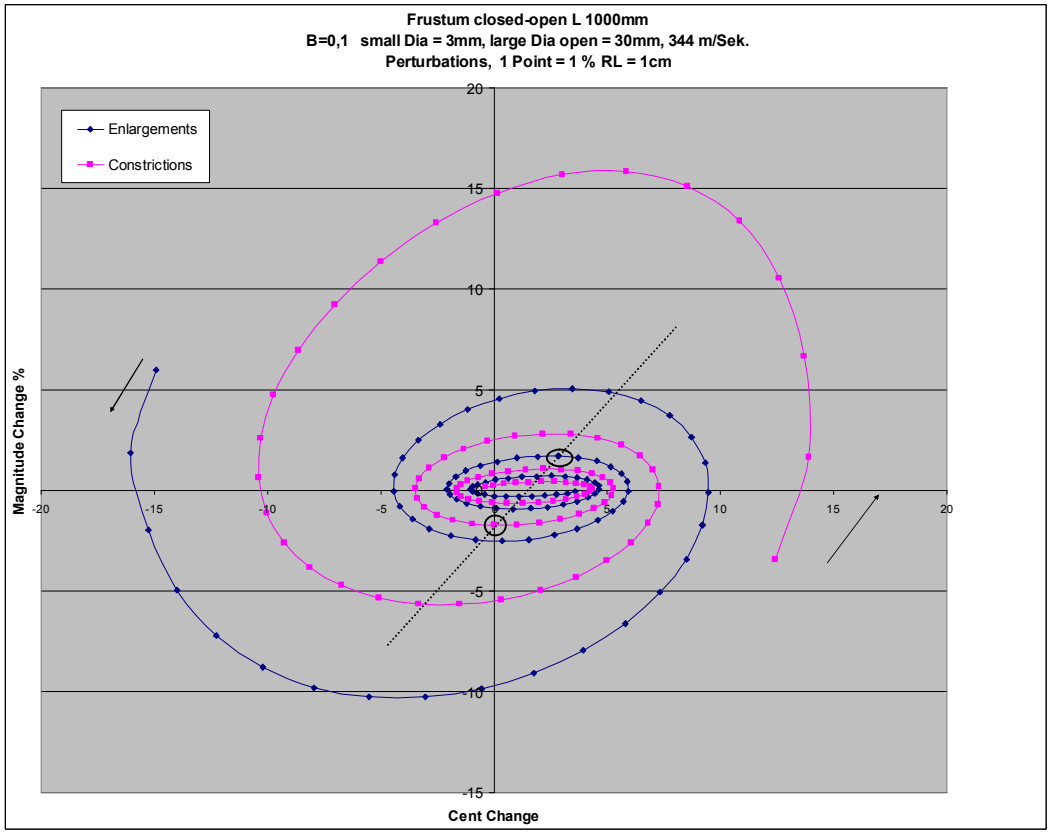
Sowohl Enlargments, als auch Constrictions (dieses stärker), haben beim Frustum hier in der Simulation eine frequenzerhöhende Wirkung, die zum offenen Ende hin ansteigt. Dies steht im Widerspruch zur ART Trp. Simulation mit MPC, zyl. Rohranteil und Becher, als auch zu praktischen Versuchen und FFT Messungen, dort wurde immer eine vertiefende Wirkung durch Perturbationen festgestellt).

Mode #4: 636,4 Hz, 1/2WL = 27,0cm ¼ WL = 13,5cm 1/8WL = 6,75cm



Enlargement am kleinen Ende = lowers Pitch, (Winkel kleiner) am großen Ende = raises Pitch
Constriction = raises Pitch (Winkel größer) Nodes stark versetzt, =kaum Potential down!

Sobald der Öffnungswinkel größer wird, entfernen wir uns von den tieferen Frequenzen des „parallelen“ closed Zyl. Das könnte den Effekt erklären, daß die Crossings schon kurz nach der Spitze im “raise Pitch Pot.“ Bereich sind. Obwohl Perturbationen vergleichsweise viel schwächer werden, ist das Pitch Potential am offenen Ende noch 25%!
Remember: Faktor B 0,1 = das kleine Ende = 3mm und das große Ende 30mm = 10 x größerer Durchmesser



Mode 4 West/Ost *x=0 = Peak Frequenz Pitch Nulldurchgänge*

Anstelle 14,28cm beim closed Cyl. für 1/4WL hier nur 13,5cm; ein Konus mit Spitze hätte ~12,5cm
Die Resonanzfrequenz von Mode #4 ist ~1,06 x höher als ein closed Zyl.
~0,925 x der Frequenz eine Konus mit Spitze

Mode 4 - Impedanz – Potential:

Das letzte Druck Maximum	bei	**85**		=15	86,5 arith. MW
Fluß Max zuvor	bei	72		=14	73 Pr.Node
Druck Max. (hier mittlerer Rad.)	bei	**58**	= XM-IN2	=14	60 arith. MW
Fluß Max zuvor	bei	44	= XM-IN1	=14	45,9 Pr.Node
Druck Max.	bei	**30,5**		=14	33 arithm. MW
Fluß Max. zuvor	bei	16,5		=14	18,9 Pr.Node
1. Druck Max - ermittelt	bei	**02**		=14	5,4 arithm. MW
			= TL	0,99	

Max. Magnituden Pot liegt jeweils vor der arithm. Mitte zwischen Druck + Fluss Max.
1. Magn. Max, dieses wurde noch früher ermittelt.

Max.		Max.	**Geo-Mittel**		**arithm. MW**	
72	auf	86	**78,7**		*79,0*	
58	auf	72	**64,6**		*65,0*	
44	auf	58	**50,5**	(near XM-PN)	*51,0*	
30	auf	44	36,3		**37,0**	
16	auf	30	21,9		**23,0**	
2	auf	16	5,6	>between<	9,0	ermittelt: Constr: ~7,0 Enl: ~8,5

Mode 4 - Pitch – Potential:

Enlargements haben an Flußmaxima
an Druckmaxima **weniger** vertiefendes Potential (30,60) (schmäler)
Constrictions haben an Flußmaxima mehr vertiefendes Pot.
an Druckmaxima mehr (erhöhendes) Potential (30,60) (breiter)

Magnituden-Nodes und auch Pitch-Pot Maxima liegen an den Press. oder Fluss Maxima, (Ausname 1. und letzter), aber nicht an Druck- oder Flußknoten. Der Pitch - Nullversatz nach oben ist wie bei Mode 3 gegeben, in etwa dem selben Ausmaß.

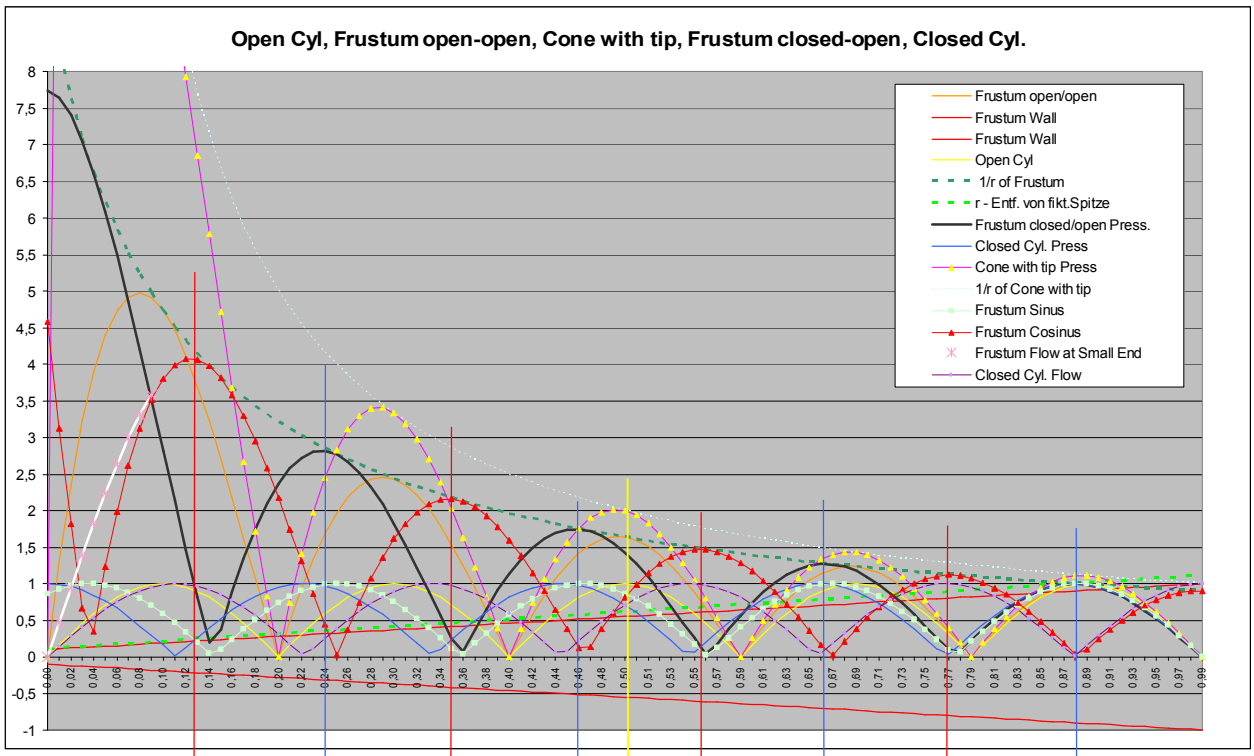
Peak ¼ WL = 13,5cm

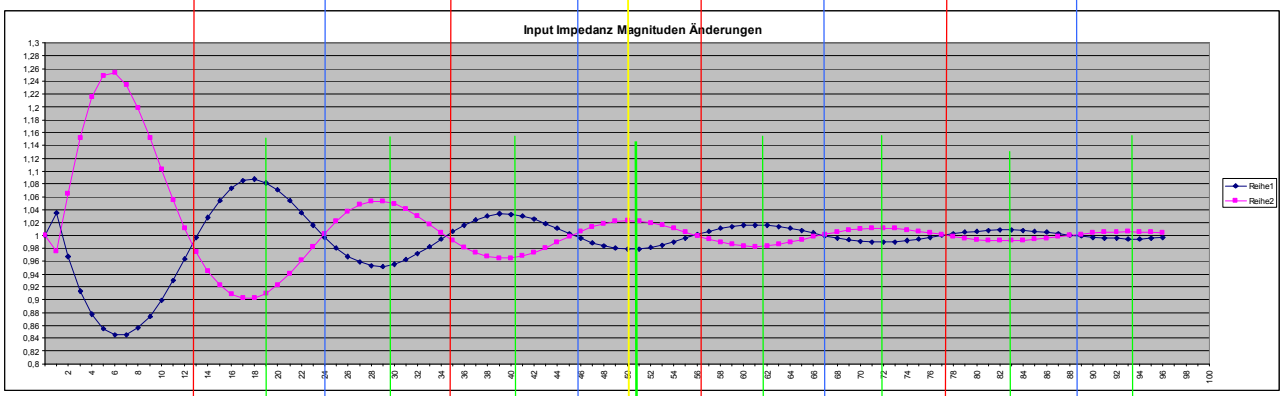
Enlargments – Pitchnodes:	10	25	(+12)	37 (+15)	53 (+10)	63
Constricitions – Pitchnodes:	9	24	(+15)	39 (+11)	50 (+17)	67
Gemeinsamer Schnittpunkt MW	9,5	24,5		38	**51,5**	65

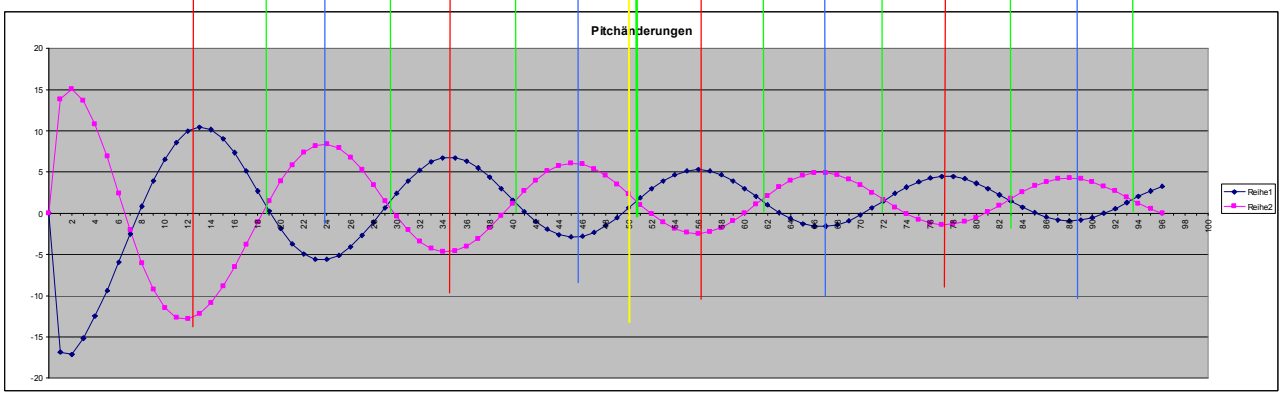
Beim geschlossenen Zylinder liegen Pitch-Nodes jeweils 1/8 WL = in der arithmetischen Mitte zwischen Druckbauch und Flußbäuchen. Magnituden-Potential Positionen früher

Druck Nodes:	18,9	18,9	46,0	46,0	73,0	73,0
Druck Maxima:		30,0	30,0	58,0	58,0	86,0
Geo Mittel		23,8	37,1	51,6	65,0	79,2
arithm. Mittel		24,5	38,0	52,0	65,5	79,5
1/8 WL Press.Node -6,75 cm		25,65	39,25	52,75	66,25	79,75

Mode #5: 803,2 Hz, 1/2WL = 21,4cm 1/4WL=10,7cm 1/8WL = 5,35cm

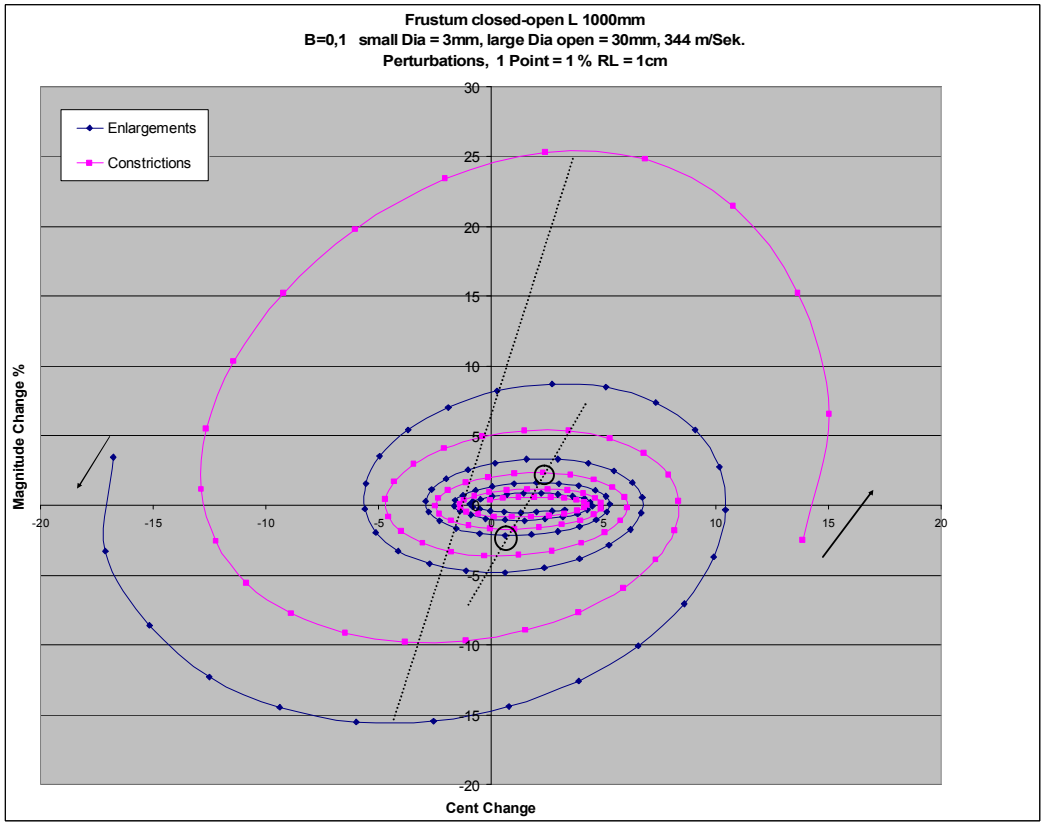




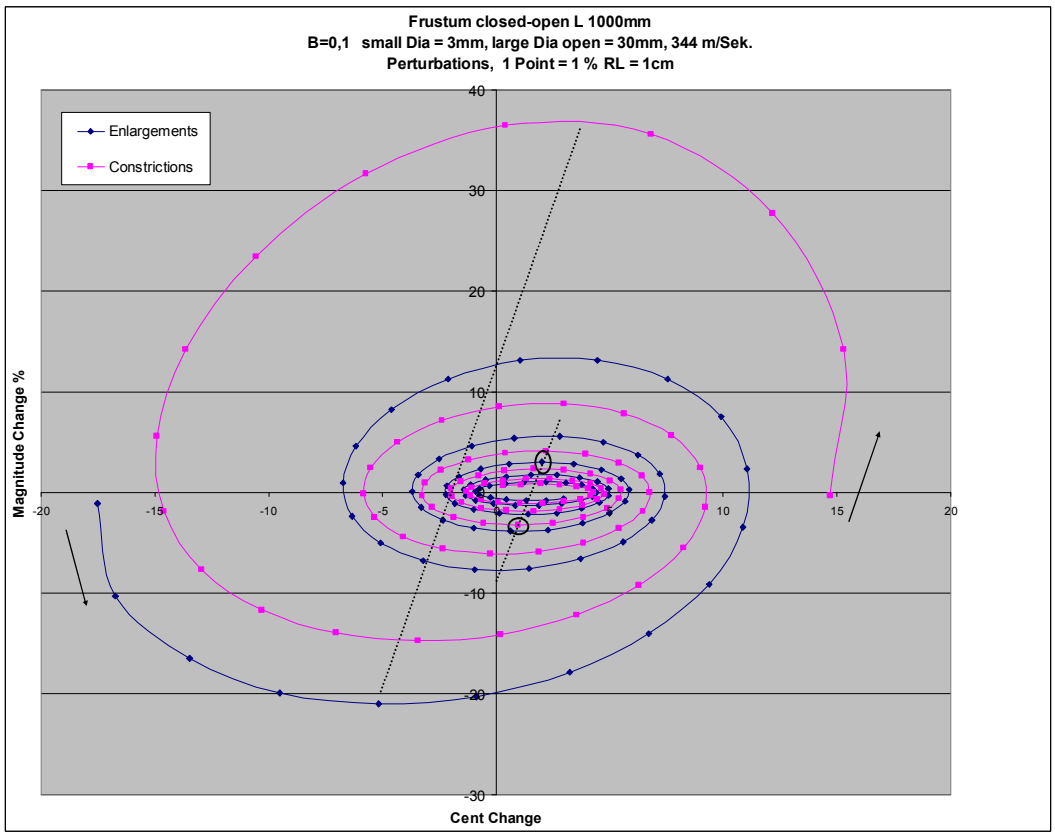


Anstelle 11,11cm beim closed Cyl. für 1/4WL hier nur 10,7cm; ein Konus mit Spitze hätte theor. ~10,0cm

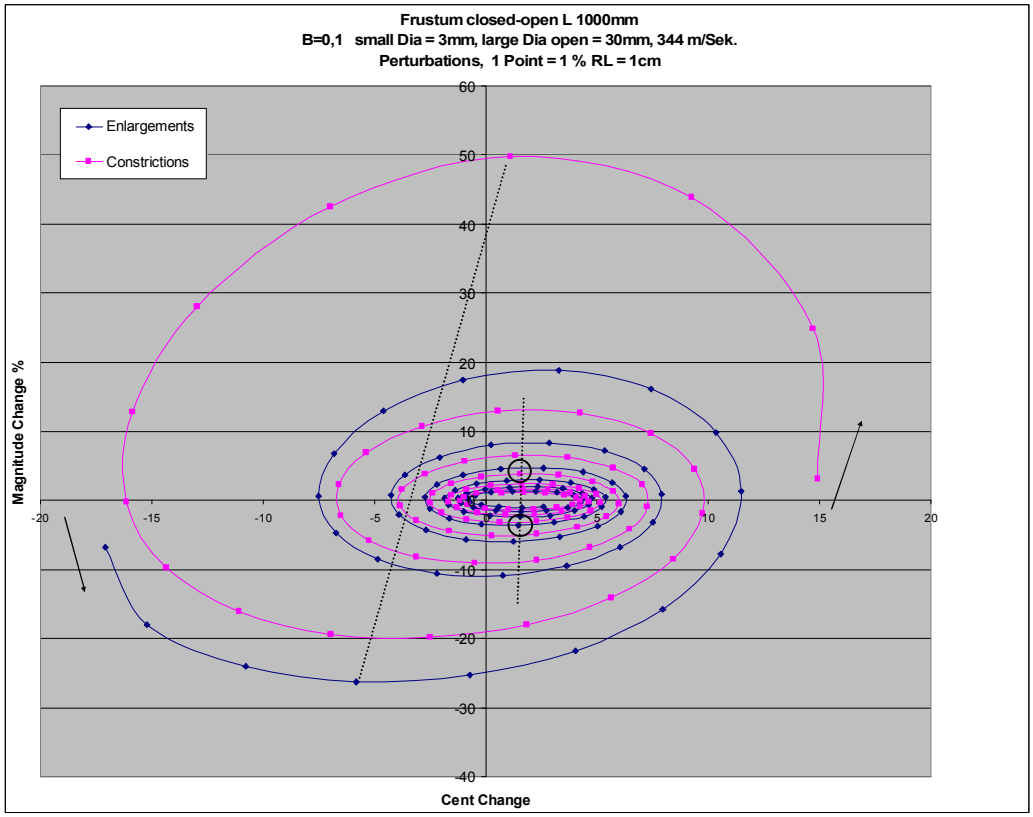
Die Resonanzfrequenz von Mode #5 ist ~1,037 x höher als ein closed Zyl.
~0,934 x der Frequenz eine Konus mit Spitze



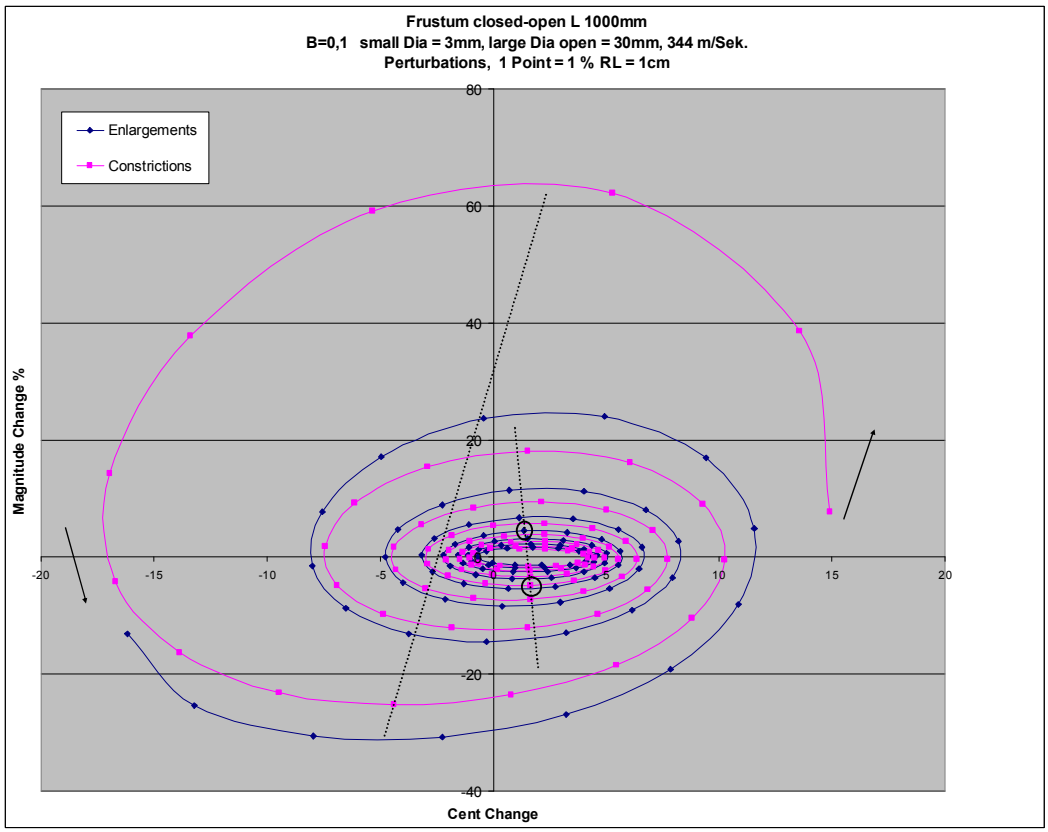
Mode 5 *Pitch-Pot. bleibt wesentlich stärker, Magn. Pot. fällt mit steigendem Durchmesser*



Mode 6 -> *Merke: Pitch Pot. in % ist immer wesentlich !! weniger als Magnituden – Potential in %*
Pitch Pot in % ausgedrückt wäre schwer ablesbar, daher in Cent auf der X-Achse.



Mode 7 -> *Frustum closed-open hat die Tendenz, Peak Frequenzen zu erhöhen, alle Modes!*



Mode 8 -> *je höher der Mode, umso höher die Magn. Abw., spez. am kleinen Ende mit Constr.*

Der Einfluß der „shared“ Minima – Antiresonanzen:

Peak Pitch Node Pos. sind immer an betrachteten Nulldurchgängen der Input Peak-Frequenz, dh. Positionen, wo diese sich nicht ändert. Ich weiß aber bereits, daß sich in diesem Fall die Frequenzen der Antiresonanzen (shared Minima zuvor und danach) entgegengesetzt ändern. Andererseits ändern sich die Magnituden der shared Minima nicht/kaum, sobald sich die Magnituden der Resonanzfrequenzen stark verändern. Dazwischen liegt eine „charakteristische“ Wave-Impedanz als Geo-Mittelwert, diese ist aber nur bei einem unendlich langen Zylinder ~ konstant; ansonsten leider stark frequenz- und geometrieabhängig.

Die Perturbationsrichtung vom linken kleinen geschlossenen Ende nach rechts ist immer gegen den Uhrzeigersinn! Pitch- und Magnitudenänderungen der Resonanz-Peaks sind teils sehr stark verzerrt. Es entsteht somit auch eine stark verzerrte Kreisbewegung um einen Mittelpunkt xy 0.0, der die Ausgangsbasis der Peak-Positionen (Frequenz als auch Magnitude) ohne Veränderungen darstellt.

Peak Pitch steigend, West nach Ost =Peak Imp. Magnitude wird im Bereich „down“ = Süd sein
Peak Pitch fallend, Ost nach West = Peak Imp. Magnitude wird im Bereich „up“ = Nord sein

Shared Minima = „Anti-Resonanz-Dips“ bewegen sich aber entgegengesetzt im Uhrzeigersinn!

„Unperturbiert“ sowohl beim Konus (mit Spitze), beim Frustum closed-open, als auch beim einseitig geschlossenen Zylinder verändern sich an den Minimastellen in der Impedanzkurve = Antiresonanzen deren Frequenzen prinzipiell nicht/kaum (abgesehen von unterschiedlicher Endkorrektur offenener Enden, unterschiedliche Reibung, etc.)

Resonanzfrequenzen treten an Impedanz-Maxima auf, sobald **eine** Rohrseite verschlossen bleibt.
Resonanzfrequenzen treten an Impedanz-Minima auf, sobald **beide** Rohrseiten geöffnet/geschlossen sind.

Extremfall ist der Konus mit Spitze, den man als Übergang in beide Richtungen deuten kann, es kommt zu einem Mode-Wechsel. Dem Rohr ist das egal, unsere Sichtweise ändert sich dadurch aber wesentlich!

Das offene Ende mit einem plötzlichen lokalen Impedanzsprung in Kombination mit Schallabstrahlung in ein extrem überdimensionales „Raum-Rohr“ gibt wie man am closed Zylinder sieht bereits schwer kalkulierbare Effekte im letzten Bereich der schwingenden Luftsäule und deren Rückwirkung auf das geschlossene Ende.

Die verschiedenen Geometrien haben eine Gemeinsamkeit in den hartnäckigen Frequenzen der Antiresonanzen, und andererseits aus diesem Umstand abgeleitet Positionen im Rohr, wo diese Antiresonanzen ungehindert der Mensur und Perturbation weiter ihren Einfluß großteils entfalten.

Bei 50% der Rohrlänge zuzügl. einer positiver Endkorrektur =“XM“ = somewhere in the middle: haben Antiresonanzen – ich nenne sie „shared Minima“ zwischen Peaks:

Antiresonanzen:

odd/even shared **Minima:**	**Druckbauch**	-> Constr. raises, Enl. lowers Minima Freq.
even/odd shared Minima:	**Druckknoten**	-> Constr. lowers, Enl. raises Minima Freq.
zuvor bei ~XM-IN1: bzw. früher	max.Magn.Pot	->Constr. raises, Enl. lowers Minima Magn. +Wave Imp.
zuvor bei ~XM-IN1: bzw. früher	max. Magn.Pot	->Constr. lowers, Enl. raises Minima Magn. +Wave Imp.
danach bei ~ XM-IN2:	max. Magn.Pot	->Constr. lowers, Enl. raises Minima Magn. + Wave Imp.
danach bei ~ XM-IN2:	max. Magn.Pot	->Constr. raises, Enl. lowers Minima Magn. + Wave Imp.

Die „shared Minima AR“ davor und danach haben hier jeweils abwechselnd einen Druckbauch oder Druckknoten – ich bemühe hierzu den closed Zylinder, mit 1 offenen Ende, der als Referenz herhalten muss, da ich bei einem kompletten Konus mit Spitze mangels Eingangsdurchmesser 0,0 keine Simulationen oder Messungen durchführen kann.

Bei 50% RL+Open End Correction ergeben sich so beim Frustum closed-open immer ~Peak Imp. max. Pot., beim Closed Zyl. sind diese etwas Richtung geschlossenes Ende versetzt (früher) und alle Pitch-Nodes liegen bei 50%+Open End Correction = XM-Pitch-Node.

Gegenüberstellung der beobachteten Unterschiede durch Geometrien:

Folgende Vergleiche legen jeweils gleiche Durchmesseränderungen + / - 1mm zugrunde, also nicht invers proportionale Einengungen. Constrictions haben daher jeweils etwas mehr Potential als Enlargements!

Bei beiden Geometrien treten Magnitudenänderungen immer früher = Richtung geschlossenem Ende, dh. immer vor Peak-Pitch Änderungen auf, was ich salopp den „Pitch-Versatz“ nenne.

Beide haben ihre Antiresonzen bei gleicher Frequenz, was beim Frustum zu starken Verzerrungen führt. Enddurchmesser am offenen Ende definiert ~ eine akustisch wirksame Verlängerung = tiefere Frequenzen. Größte Unterschiede sind zwangsläufig bei tiefen Frequenzen/Moden. Höhere Modes nähern sich rasch an.

Am offenen Ende eine „Zweiteilung“ der Magnituden Nodes, weil der letzte Magn. Node vom Rohrende nach innen versetzt liegt, diese ist unterschiedlich ausgeprägt. (Äußerste Magn.Nodes sind nach innen versetzt). Magnituden Nodes haben daher keine gleichbleibenden Abstände, detto Pitch Nodes beim Frustum.

Druckknotenabstände definieren die Peak Frequenzen. Flußknoten Positionen haben keine Bedeutung. Berechnete Druck+Fluss **Maxima** sind max. Pitch Potential Positionen.

Magnituden-Pot. Positionen haben keinen Zusammenhang mit Abständen zu Druck- und Flußbäuchen, sondern „Druck-Aufstau-Potential“ anhand Entfernung führt zu kontinuierlichem Versatz Richtung geschlossenes Ende. Die geom. Mitte zwischen Magn. Nodes trifft die Positionen gut.
Magnituden max. **Pot.** Positionen sind dadurch immer **vor** Pitch-Nodes.

Bei 50% RL+Endkorr.: sind	beim **Closed Zyl:** *(jeweils links geschlossen)* **(shared) Pitch-Nodes** mit Pitch Nullversatz down <- das max. Magn. Pot. ist früher**	**Frustum closed-open:** Pitch-Nodes immer später**, (shared), Pitch Nullversatz up **max. Magnituden Pot!***
Mode #1 Peak (odd): shared **Minima** after =	**Pitch-Node**, zwischen Druckbauch -> Flußbauch **Druckbauch** -> Constr. raises, Enl. lowers Minima Freq.	„somewhat“, vor Pitchnode*
Mode #2 Peak (even): shared Minima after =	**Pitch-Node**, zwischen Flußbauch -> Druckbauch **Druckknoten** -> Constr. lowers, Enl. raises Minima Freq.	**Flußbauch <- ist näher**
Mode #3 Peak (odd): shared **Minima** after =	**Pitch-Node**, zwischen Druckbauch -> Flußbauch **Druckbauch** -> Constr. raises, Enl. lowers Minima Freq.	**Druckbauch <- ist näher**

usw., dieses Schema wiederholt sich even/odd abwechselnd weiter
** ausgenommen Mode #1 beim Frustum, hier wesentlich früher.*
***mit zunehmender Mode# immer weniger Versatz*

	Closed Zylinder:	**Frustum closed-open:**
Berechnete Druck+Fluss Maxima:	**sind jeweils max. Pitch Pot. Positionen**	liegen immer vor Flußknoten + Druckknoten anhand Druckkurve 1/r, alle Modes
Druck+Flußmaxima wirken auf Peak Pitch Pot.	Fluss-Max. hier = Druckknoten	auch Flußmaxima weichen <-- Richtung geschlossenes Ende ab anhand Druckkurve 1/r, alle Modes
Pitch Nullversatz:	immer unter Null ~-0,7 Cent	rasch über Null ~ +2,0 Cent + steigend*

Pitch – Potential:

Constr. an Druckmaxima:	up, (schmäler)	up mehr Pot. (viel breiter)
Constrictions an Flussmaxima:	down mehr Pot (breiter)	down weniger Pot. (viel schmäler)
Enlarg. an Druckmaxima:	down, mehr Pot (breiter)	down weniger Pot. (viel schmäler)
Enlargements an Flussmaxima:	up, weniger Pot. (schmäler)	up mehr Pot. (viel breiter)

DB=Druckbauch, FB=Flußbauch, CC=Closed Cylinder, up=höhere Freq., dn = tief. Frequ., EC=Endkorrektur

	Closed Cylinder:		**Frustum closed-open, B=0,1:**
Max Pitch Pot. at:	DB + FB		FB + DB welche <-- versetzt sind
mit Constriction:	DB up	schmäler	mehr, viel breiter
	FB dn mehr	breiter	weniger, schmäler
mit Enlargement:	DB dn mehr	breiter	weniger, viel schmäler
	FB up	schmäler	mehr, viel breiter
Pitch-Pot Abstände:	¼ WL		länger > Mitte ~ ¼ WL, .. nicht kürzer *anhand Druck/Flußmaxima.*
Pitch-Node Abstände:	¼ WL		länger > Mitte ~ ¼ WL, > etw. kürzer *Mode 2-4 Mittelwerte, siehe Mode #3, darüber annähernd arithm. Mitte v. Pot.*
1. shared Pitch Node Pos.:	früher, ~um EC (-0,5%)		L. fehlende Spitze / Anz. Pitchnodes <- *Mode #2 11cm / 3 Nodes = ca. 3,6cm <--* *Mode #3 11cm /5 = ~ 2,2cm < --* *Mode #4 11cm /7 = ~ 1,3cm <--* *Mode #5 11 cm /9 = ~1,2cm <--*

Shared XM-Pitch Node Positionen - Berechnungsversuche:

	CC:	**Frustum closed-open, B=0,1**
Var A: 50%RL+EC + Diff. ¼ WL von CC		hier bei B= 0,1:
Mode 2:	*=50,5*	*33,3-27,6=5,7 =56,2*
Mode 3:	*=50,5*	*20,0-18,2=1,9 =52,3*
Mode 4:	*=50,5*	*14,3-13,5=0,8 =51,3*
Var B: 50%RL+EC * halber Freq. Faktor v. CC		hier bei B= 0,1:
Mode 2:	*=50,5*	*Freq. Fakt = 1,2 -> *1,10 =55,5*
Mode 3:	*=50,5*	*Freq. Fakt = 1,1 -> *1,05= 53,0*
Mode 4:	*=50,5*	*Freq. Fakt. =1,06 -> *1,03 =52,0*

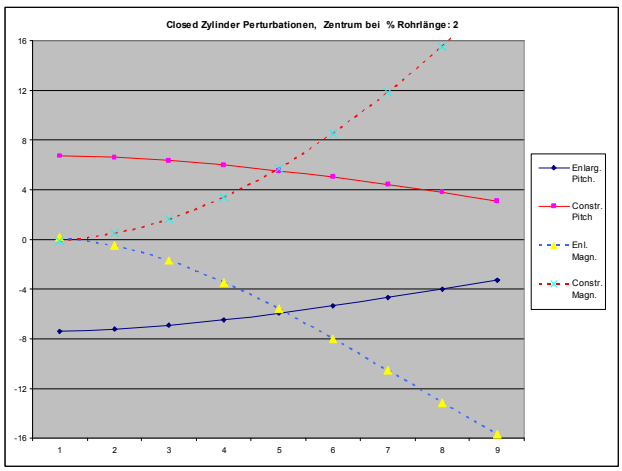
Mittelwerte aus Var. A+B für Mode 2-4, ab Mode 5 nur Var A trifft mit Faktor B 0,1 sehr gut.

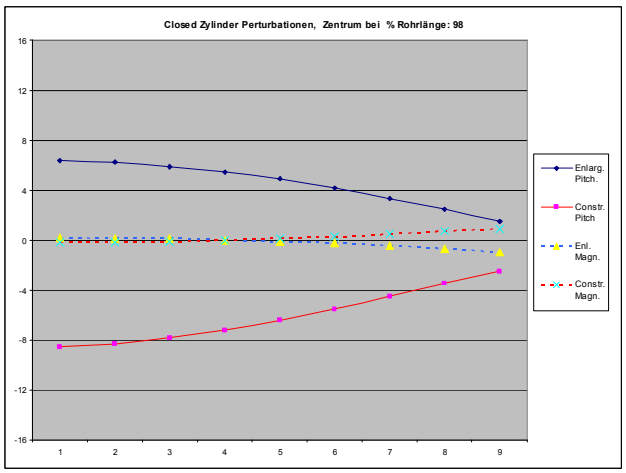
Shared Pitch Node Pos. bei Mode #1 = 1. Pitchnode: hier bei B = 0,1:
½ Faktor Freq.Fakt von RL abziehen 50% *Freq. Faktor = 1,8 ½ = 40% = 60% RL*

Magn Nodes #1-#2	<-vor FB ->nach DB	<-vor FB, welche schon früher sind <- <-vor DB, welche schon früher sind <-
Magn Nodes >#2	**an FB** **an DB**	**an FB**, welche schon früher sind <- **an DB**, welche schon früher sind <-
erster Magn. Node:	statt 0 -> versetzt	Frustum etw. mehr.
vorletzter Magn. Node: = *immer letzter Druckbauch*	--> versetzt	nicht versetzt
letzter Mag. Node:	statt RL100% <-- versetzt	Frustum tiefe Modes mehr. <--
max. Magn. Pot. +Pos.:	Staumauer Prinzip .. Richtung cl. End <-- immer vor Pitch-Nodes = 0,5% vor 50% RL+EC +/- ¼ WL Abstände	**bei 50% RL+EC** *näherungsweise Geomitte von Magn. Nodes*

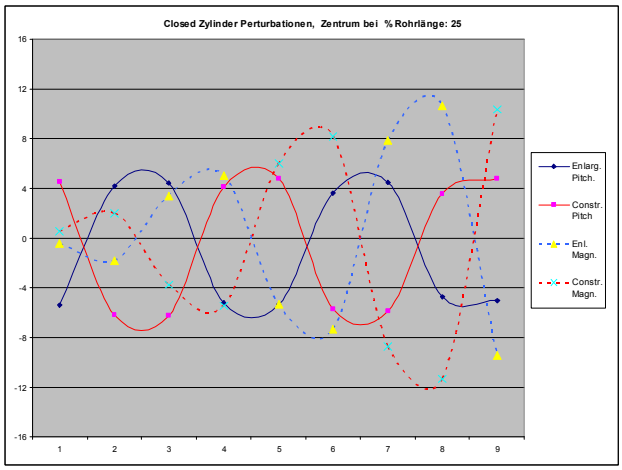
Besondere Positionen

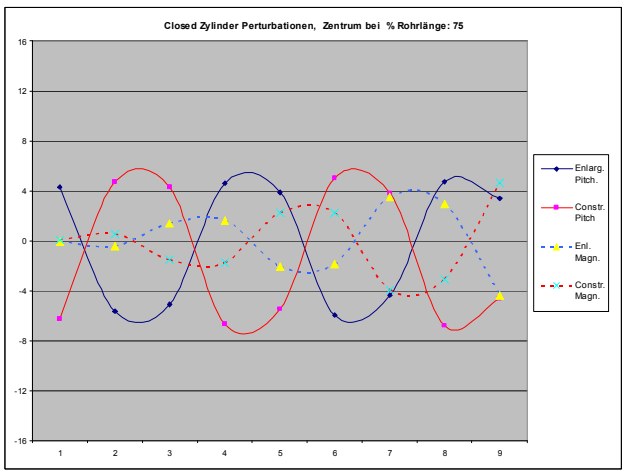
im einseitig (links bei 0%) geschlossenen Zylinder:
Magnituden = % Veränderung, Pitch = Veränderung in Cent
RL % = von physischer Länge, ohne Endkorrektur.
Beispieldaten sind nicht invers proportionale Einengungen (aus Teil A-2)



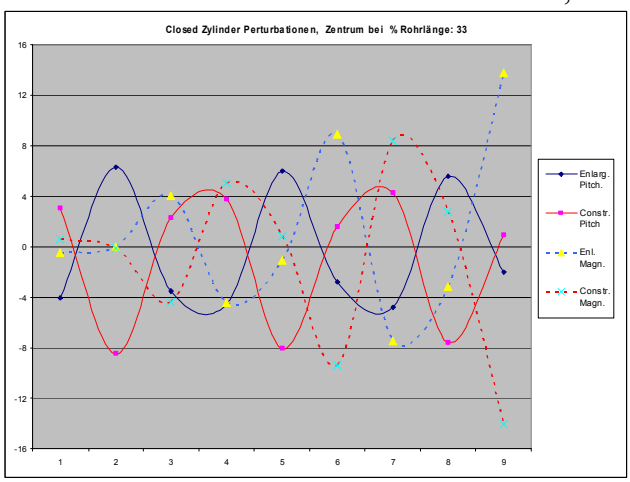


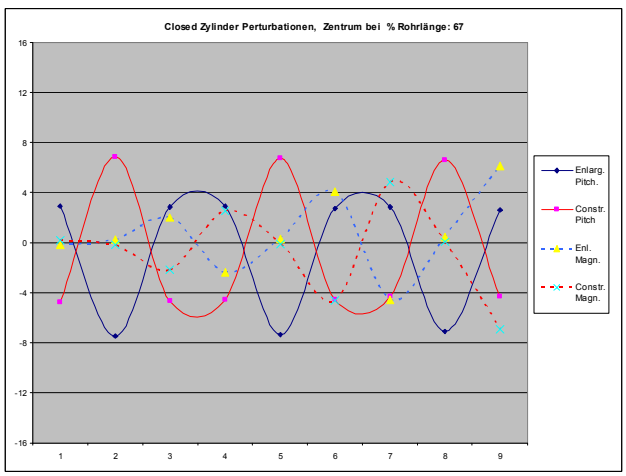
Monontone Änderungen am Beginn und Ende;



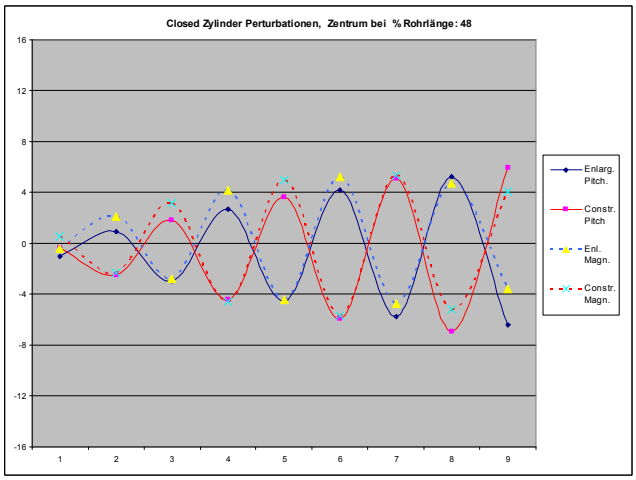


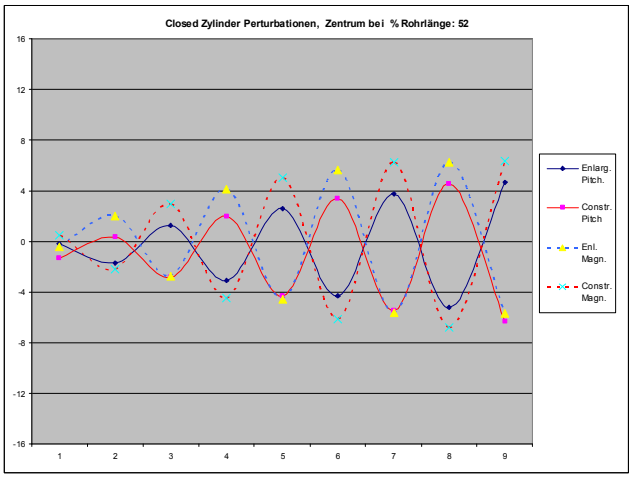
25+75%RL: = keine Nodes Modes# 2&3, 6&7 sind entgegengesetzt zu den Modes# 4&5, 8&9



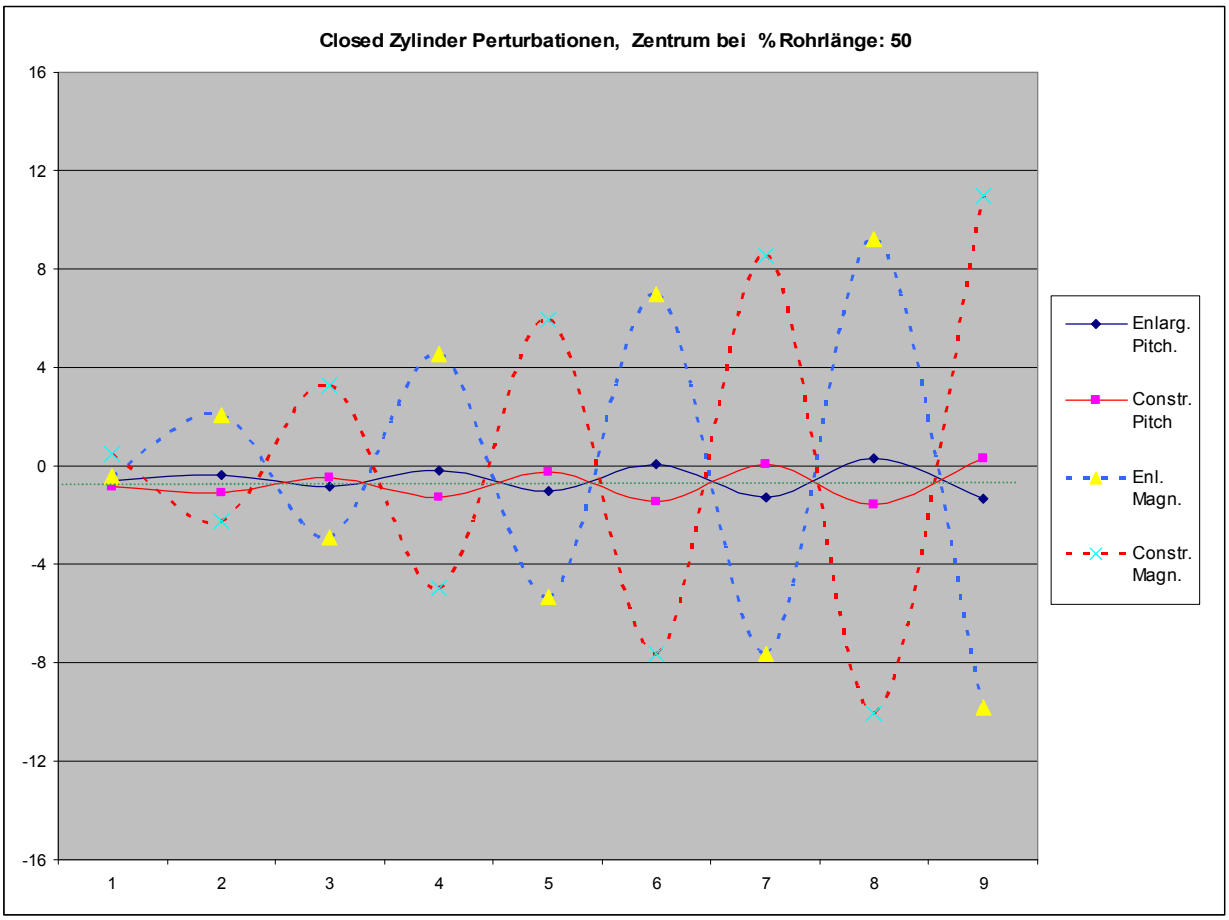


33+67% Modes# 2, 5, 8 verhalten sich entgegengesetzt





kurz vor Rohrmitte: Pitch+Magn. Pot selbe Richtung, keine Nodes
kurz nach Rohrmitte: Entgegengesetzte Richtung, keine Nodes
Magnitudenänderungen „laufen weiter in selbe Richtung“, Pitchpot ändert die Richtung.



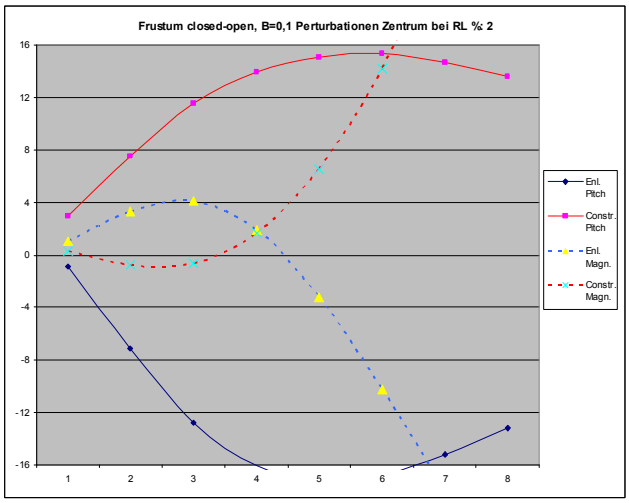
Hinweis: nicht invers proportionale Querschnittflächenänderung = Constrictions mehr Potential!

Rohrmitte + Endcorrection: = shared XM-Pitch-Nodes, Pitchversatz down.
Constriction Potential Peak Magnitude hier vertiefend stärker, umso höher die Mode#.
Generelles Pitch Pot gibt Versatz nach unten.

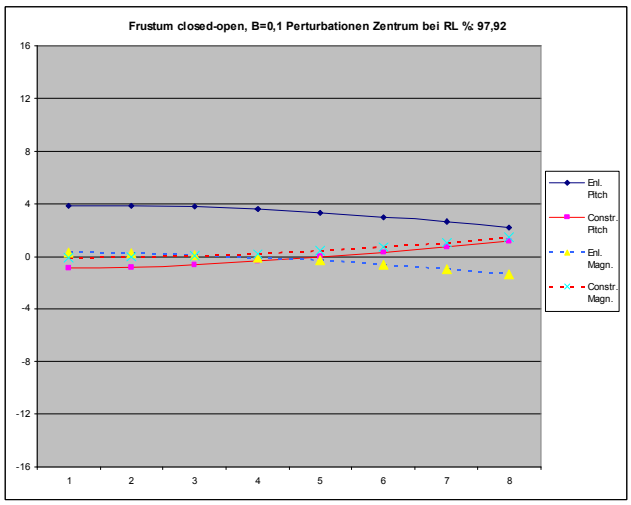
Hinweis: Die festgestellten „shared Pitch-Nodes Position liegt bei 50,5 % Rohrlänge.
Das maximale Magnituden Pot ist bei tieferen # vor 50% Rohrlänge, höhere # nähern sich an.

Besondere Positionen

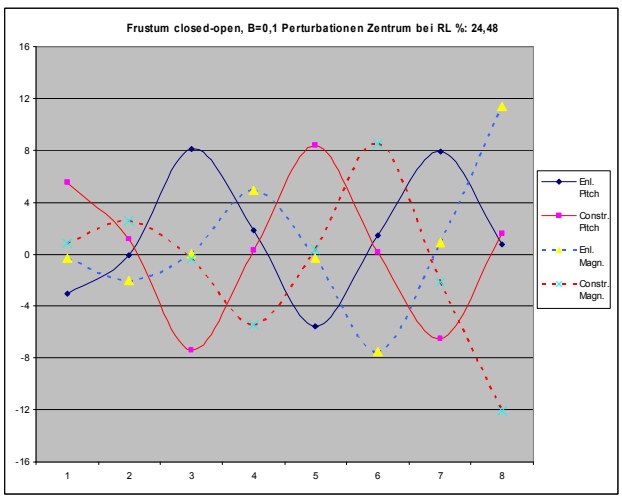
im Konus mit fehlender Spitze = Frustum closed-open, B=0,1 (links bei 0%):
Magnituden = % Veränderung, Pitch = Veränderung in Cent
RL % = von physischer Länge = Kegelstumpfhöhe, ohne Endkorrektur.
Die Seitenlänge wäre im Promillebereich länger und wurde nicht berücksichtigt.



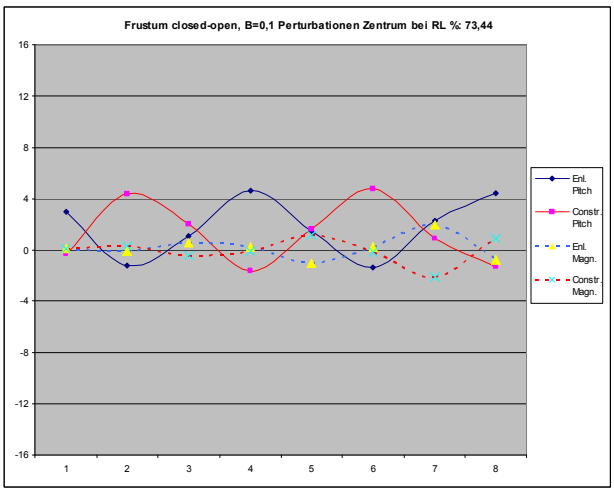
kleines geschlossenes Ende



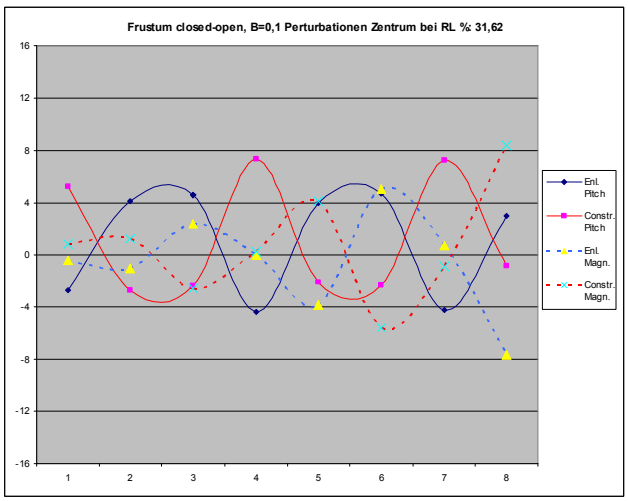
vs. großes offenes Ende



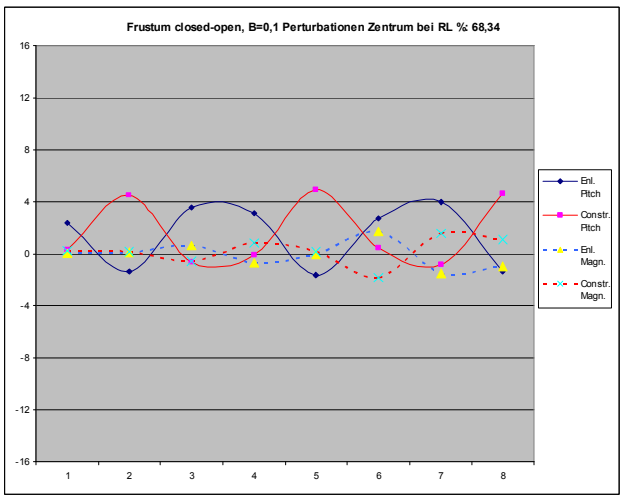
Magic Spot 1 bei 25% RL; gerade# =Pitch Nodes



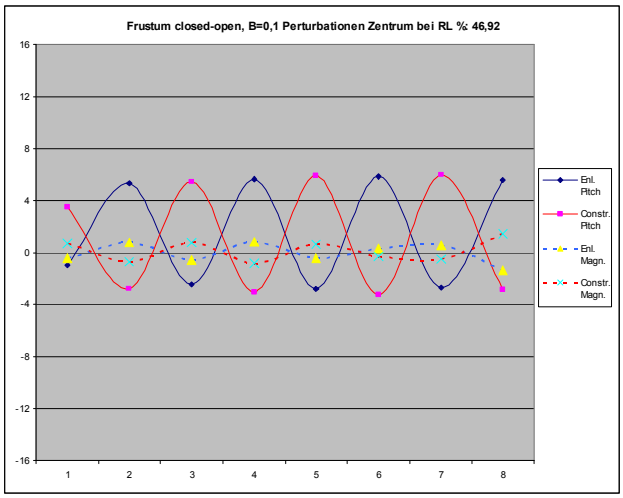
ca.73-74% ungerade #>1 = Pitch Nodes

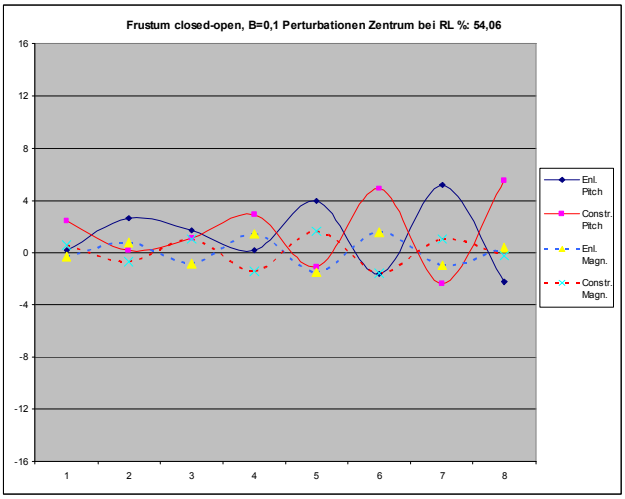


ca. 32 % RL: Mode 4 und 7 = Magn. Nodes

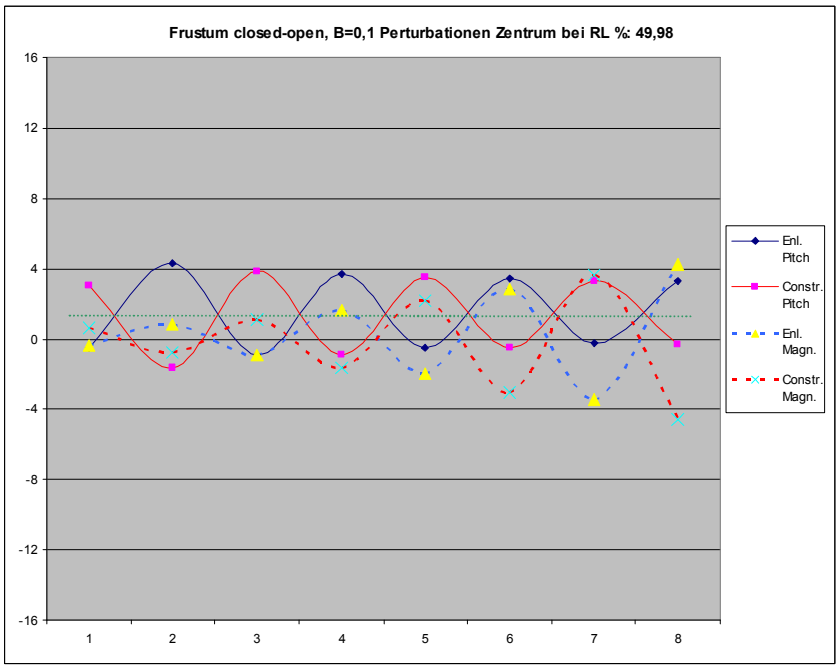


ca. 67-69: Mode 2,5,8 nicht mehr so eindeutig.





Magnitude Nodes = XM-IN1vor 50% RL, danach = XM-IN2 = viel ungleichmäßiger verteilt.

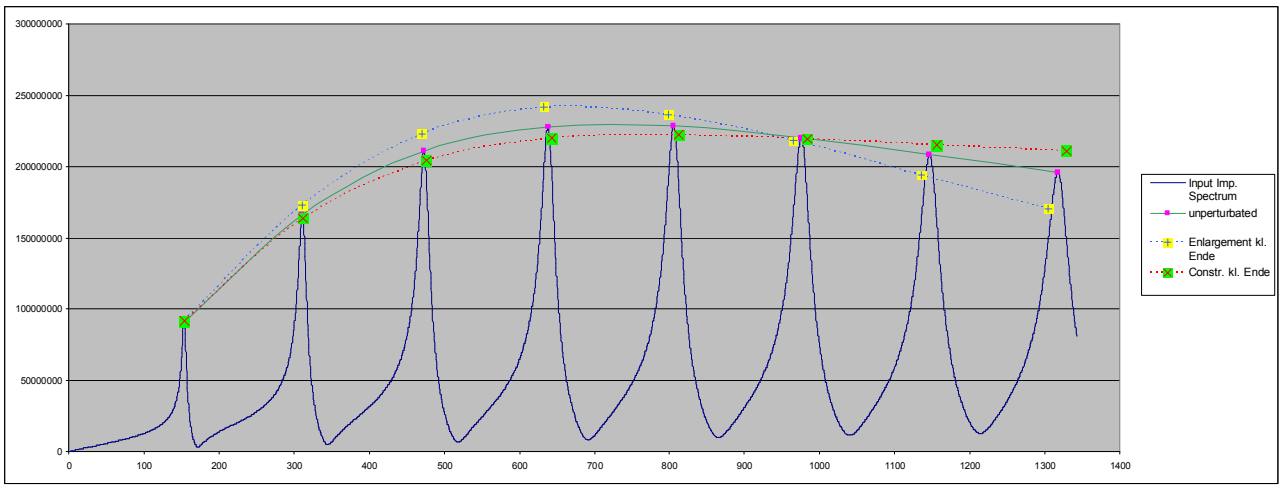


50% Rohrlänge:
jeweils örtlich maximales Magnituden Potential,
--> (bei tiefen Moden ist das mögl. Pot bereits stark reduziert!)

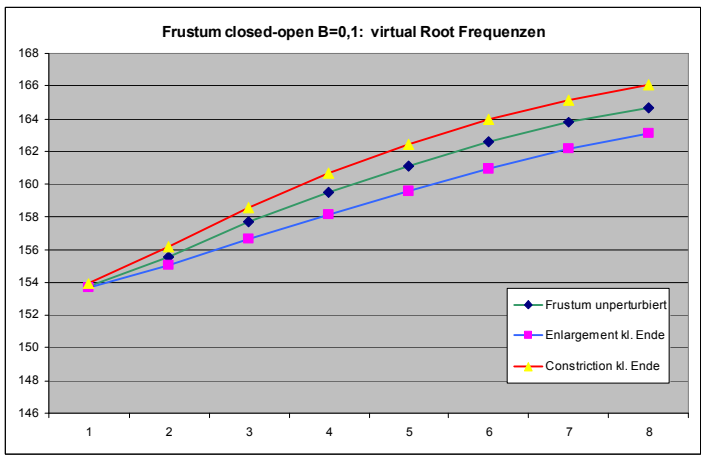
Alle shared Pitch Nodes sind immer erst später, tiefere # liegen weiter entfernt.
starker genereller Pitchversatz UP, + gegen Ende hin steigend.

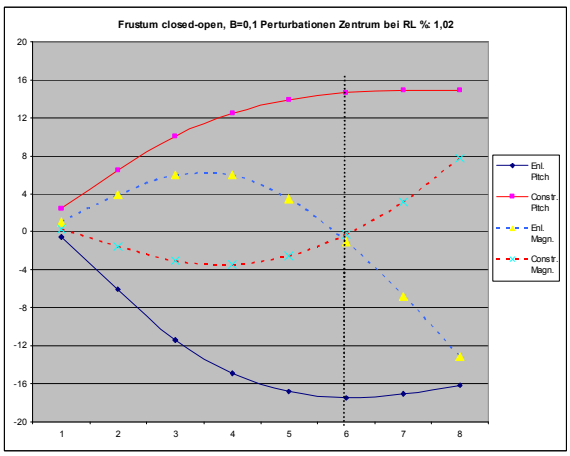
Inharmonizität und virtuelle Root-(Grund)-Frequenzen

im Konus mit fehlender Spitze = Frustum closed-open, B=0,1 (links bei 0%):

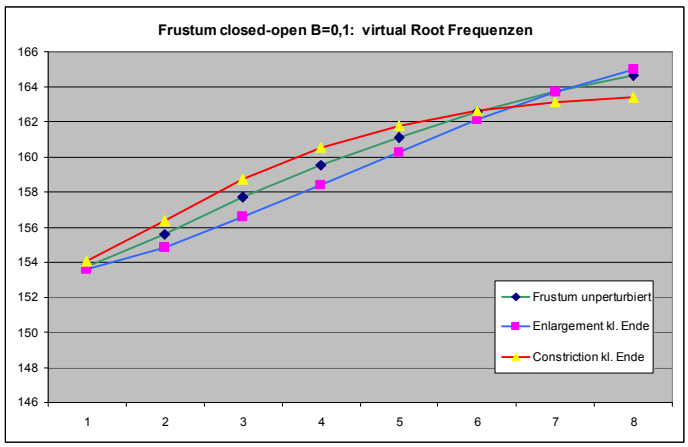


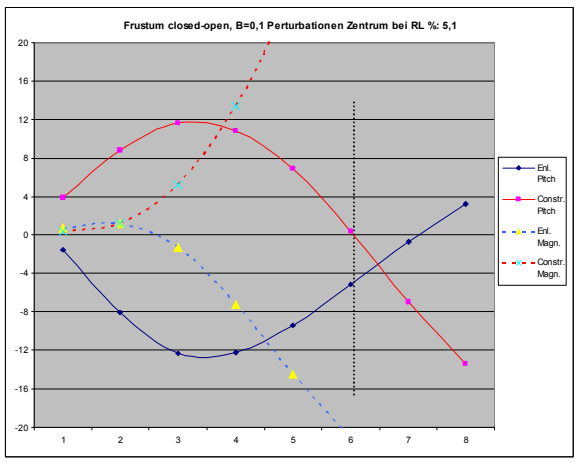
Durch eine Erweiterung am kleinen Ende ändern sich die Peak Hüllkurve, Pitch + Magnituden, bei tiefen Modes (Mode 1 hat kein Pot!) werden Magnituden stärker, bei höheren # schwächer. Um einen Angelpunkt – hier Mode 6 ist das Pitch Pot max. vertiefend, Magnituden gleichbleibend





Eine Durchmesser Erweiterung am geschlossenen Ende würde tiefe Moden wenig, höhere Moden stärker vertiefen und die Modes etwas näher an eine harmonische Frequenzverhältnisse bringen. Die Magnitude über dem Pitch – Angelpunkt wird aber stark reduziert.





*Eine Durchmesser **Verengung** **nach** dem geschlossenen Ende **könnte** tiefe Moden mehr, höhere Moden weniger erhöhen und tiefere Modes noch näher an eine harmonische Frequenzverhältnisse bringen. Alle Peak Magnituden würden hier - ab Mode 3 besonders stark erhöht.*

Das Volumen der „fehlenden“ Spitze

im Konus mit fehlender Spitze = Frustum closed-open, B=0,1 (links bei 0%):

In der Literatur findet man oft den Hinweis, daß das fehlende Volumen der nicht existierenden Spitze durch das selbe Volumen ersetzt = ergänzt werden könne, um so die harmonischen Verhältnisse der Frequenzen zueinander zu erreichen.

Das Frustum im Versuch hat eine physische Länge von 980mm, es wurde eine Endkorr. von 20mm angenommen. = Eff. Länge = 1000mm.

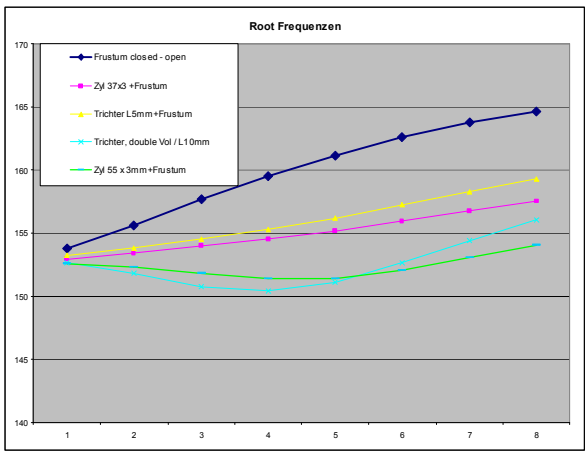
Das kleine geschlossene Ende hat einen Durchmesser von 3mm, das große offene Ende 30mm, was B-Faktor = 0,1 ergibt. Der volle Spitzenwinkel des Kegels beträgt hier 1,55 Grad.

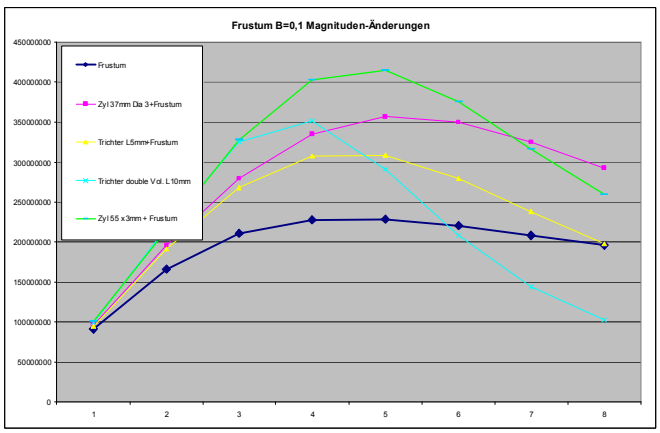
Die fehlende Länge der Spitze beträgt hier 111mm = ~11 % der Seitenlänge des resultierenden Frustums. Das Volumen der fehlenden Spitze beträgt 262 mm³ = 0,1% des resultierenden Frustums.

Verlängert man das Frustum (ohne dessen Geometrie/Durchmesser zu ändern) um dieses Volumen, so ergibt sich zwangsweise eine etwas längere Gesamtlänge.
Jetzt stellt sich die Frage mit welchem Durchmesser dieses Volumen „angekoppelt“ werden sollte.

Nimmt man den vorhandenen kleinen Durchmesser und führt es als Zylinder aus, so beträgt die Länge dieses zus. Zylinders ~ 37mm für das exakt gleiche Volumen, was zwangsläufig zu einer tieferen „Gesamt“ Stimmung führen muß. Allerdings is dieses Volumen nur 0,1% des Gesamtvolumen.

Wählt man die Geometrie so, daß es eine möglichst kurze zusätzliche Länge ergibt, so landet man mehr oder weniger z.B. bei einem „Trichter“. Definiert man die Zusatzlänge z.B. willkürlich fix mit 5mm, und lässt den Enddurchmesser gleich dem vorhandenen Startdurchmesser des Frustum, so hätte dieser Trichter einen Startdurchmesser von 12,4mm für das selbe „fehlende“ Volumen.





Das exakt selbe Volumen der fehlenden Spitze reicht nicht aus, um annähernd harmonische Verhältnisse der Resonanzfrequenzen herzustellen, ein größeres Volumen alleine ebenfalls nicht.

Beim unperturbierten Frustum liegt das Frequenz Verhältnis von Mode 8 zu Mode 1 bei 1,07 x höher, mit Zylinder noch bei 1,03 x höher. (Dies bei einer nun tieferen Grundstimmung).

Ersetzt man die Hälfte der fehlenden Länge der Spitze = 55mm durch einen Zylinder mit Dia 3mm = 1,5 x mehr Volumen, so ergibt dies bereits eine Vertiefung der Moden <6.

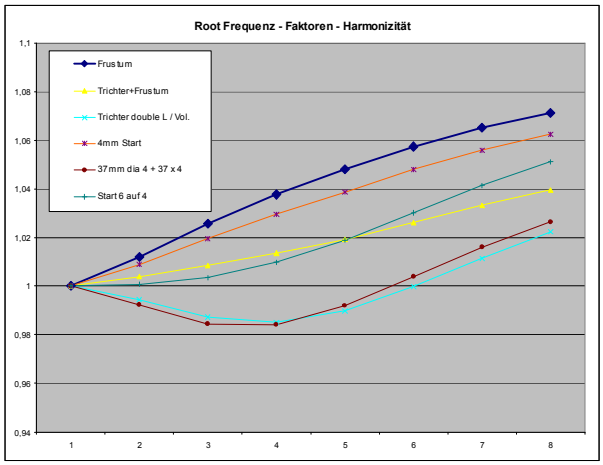
Der Trichter mit Länge 5mm = selbes Volumen ist etwas weniger effektiv als das Rohr, zudem sinken die Magnitudenwert-Zugewinne bei höheren Moden rascher, die Grundstimmung bleibt allerdings höher.

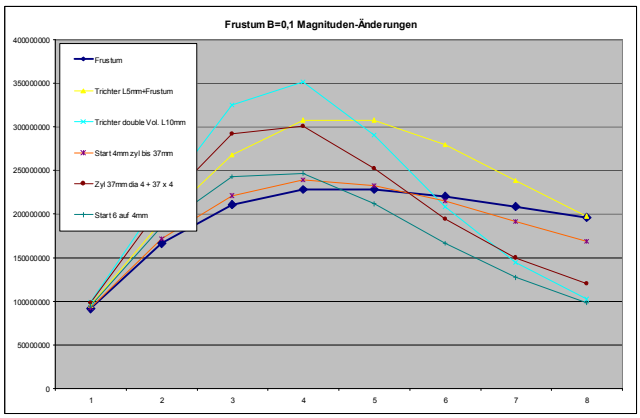
Verdoppelt man das Volumen des „Trichters“, was hier einer Verdoppelung der Länge von 5mm auf 10mm entspricht, so werden hier Mode 2-5 bereits zu stark vertieft, Modes >6 aber viel zu wenig, zudem sinken die Magnituden unter das Niveau des Frustum ohne zusätzlichem Volumen.

Alle Änderungen (Zyl. oder Trichter) ergeben in jedem Fall höhere Input Peak Magnituden für Modes # < 6!

Werden nur die tiefsten Moden zum „Überblasen“ verwendet (bei Holzblasinstrumenten, Pfeiffen), so wären diese theor. schon jetzt einigermaßen nahe an harmonischen Verhältnissen zueinander. Effekte durch Lippen, Rohrblatt oder Zungen, Tonlöcher, Schallbecher, etc. sind hierbei ja nicht berücksichtigt!

Werden aber vorwiegend höhere Moden durch Überblasen (Naturtöne) verwendet bei z.B. ~Alphorn, so ist diese Verlängerung ein erster zaghafter Beginn einer Modifikation in eine mögliche passende Richtung. Das Volumen des Trichters behindert allerdings die Magnituden höherer / höchster Naturtöne.

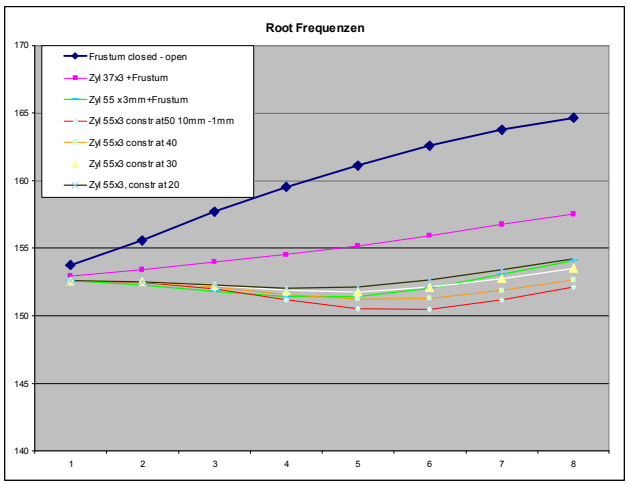


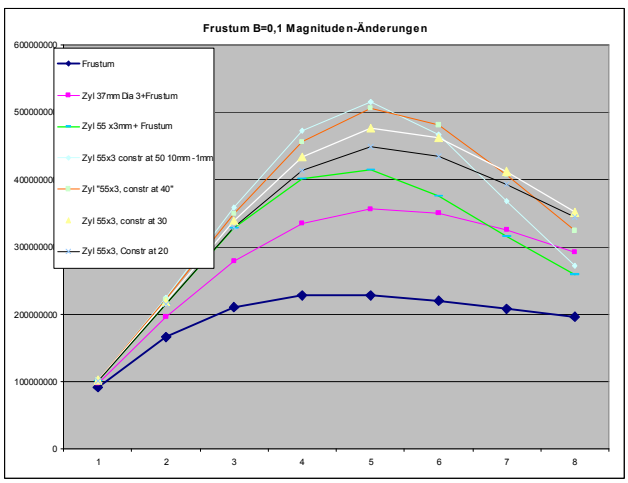


Perturbations-Varianten, wo keine extra <u>Länge</u> angefügt wird, bringen nicht den gewünschten Effekt.

Orange: Frustum Start Dia anstelle 3mm -> 4mm dann zylindrisch bis RL 37mm mit 4mm
Grün: Frustum Start Dia anstelle 3mm -> 6mm dann trichterförmig fallend bis 37 mm auf 4mm --> hat den negativen „Trichter-Effekt“. – Diese Perturbation geht in die falsche Richtung!
Braun: wie Orange, jedoch zuvor zus. 37mm mit Dia 4mm (Zylinder bis RL 74mm) verhält sich ähnlich dem zu großen Input-Trichter = zuviel Effekt auf tiefere Moden.

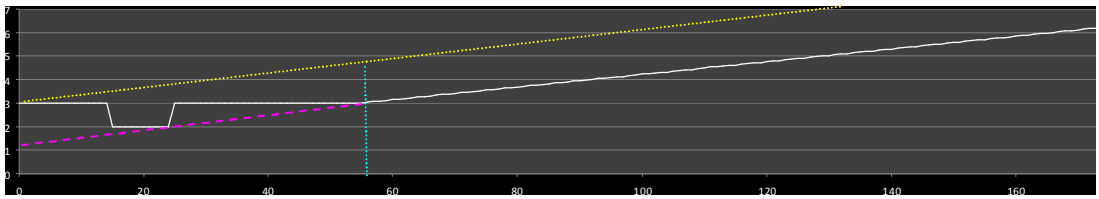
Die vorangegangenen Vergleiche deuten darauf hin, daß auch eine Kombination aus einer Durchmesser-Erweiterung am kleinen Ende + eine zusätzliche Einengung danach in eine brauchbare Richtung zeigen würden. Speziell eine **Einengung an passender Position** und mit passender „Größe“ würde Magnituden höherer Modes wiederum anheben = wir haben eine Art Mundstück / Helmholtz-Resonator!



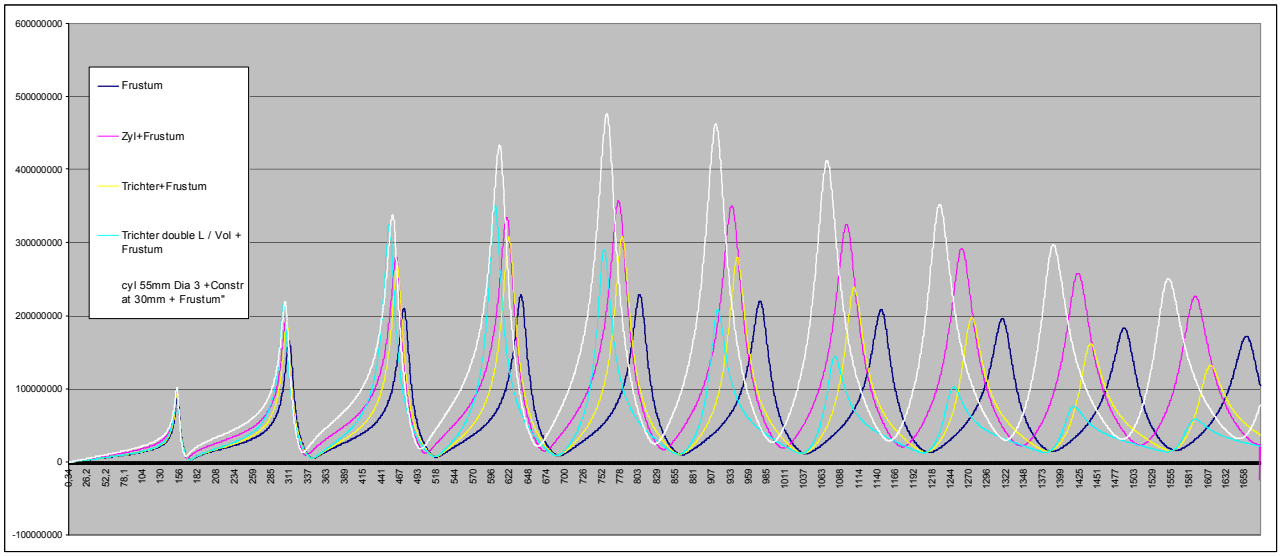


Verlängerung mit Zylinder Diameter 3mm, Länge 55mm hier mit jeweils einer Einengung Länge 10mm auf Dia 2mm, danach das unveränderte Frustum closed-open. Die Einengung im Bereich ~ 2-3% Rohrlänge liefert die besten Ergebnisse sowohl bei Harmonizität, als auch bei Input Peak Magnituden-Gewinn!

Eine Kombination aus zylindrischer Verlängerung und danach Constriction bringt die harmonischen Verhältnisse hier auf unter 1% Abweichung zueinander. Merke: 1% entspricht aber noch immer +/-17 Cent (=Prozent eines Halbtonschrittes) Abweichung. Die hier von mir willkürlich definierte Einengungsgröße (Länge+Durchmesser) entspricht einem Volumenunterschied von ~10% des zusätzlichen Volumens.



Geändertes Startprofil: +55mm Zylinder Dia 3mm mit einer Einengung auf 2mm bei 20mm Centerposition. Gelb aufgetragen der ursprüngliche Verlauf; der „erweiterte“ Konus ist um 55mm länger. (5,5%) Wellenlängen tiefer Moden ändern sich dennoch kaum, daher ist die Grundstimmung nicht um 5,5% tiefer!



„Dramatische“ akustische Änderungen des Frustum closed-open durch eine zylindrische Verlängerung inklusive einer kurzen Einengung innerhalb dieser Verlängerung.

Die annähernde Harmonizität führt zu einer geringen Vertiefung der Grundstimmung, Mode1: ~ -12 Cent. Bei Mode 8 aber rund -120 Cent! Magnituden werden teilw. um das doppelte stärker (Modes 4-7)

Fazit:

Änderungen mit Trichter ohne Einengung, als mit Zyl. +Einengung schiebt Peak Maxima höherer Moden vor die arithm. Mitte der Minima. Es kommt bereits zu den Effekten eines Helmholtz Resonators. Zwangsläufig ändern sich auch die Druckbauch- und Flußbauch Positionen stark!
Man könnte diese Strategie fortführen und verfeinern, um an noch ausgeglichenere Verhältnisse zu kommen. Für alle Arten von Blechblasinstrumenten in dieser Form (ohne Schallbecher) wäre das bereits mehr als ideal, allerdings fehlt die Schnittstelle zu den Bläserlippen - dem „Trichter“ um auf einen Eingangsdurchmesser zu gelangen, der die mechanischen Lippenschwingungen einigermaßen umsetzen kann. Und dies ist bei 3mm Schnittstellendurchmesser absolut nicht gegeben!

Aus den vorangenannten Überlegungen können **rein** konusförmige Geometrien wegen Stimmung- u. Ansprache, als auch Abstrahlung und speziell dem Problem der Schnittstellengröße **nie** eine Anwendung bei praktikablen Blechblasinstrumenten in der Erwartungshaltung der alten Welt und deren Stimungssystemen finden.

Man muß auch beachten, desto mehr an das kleine geschlossene Ende zurückreflektiert wird, um so mehr fehlt an Output/Lautstärke! (Auch Dämpfer liefern wesentlich höhere Eingangs-Imp. Magnituden!)

Eine zylindrische Verlängerung zur „Kompensation der fehlenden Spitze“ erweist sich als wesentlich effizienter als ein Start-Volumen (Trichter), bleibt aber eine Kompensation / ein Kompromiß.
Ein möglichst effizienter Ersatz der fehlenden Spitze würde vom jeweiligen Anwendungsfall abhängen, allerdings habe ich keinen Zusammenhang zum „fehlenden Volumen“ der fehlenden Spitze gefunden.

Desweiteren sollte demonstriert werden, daß „scharfe“ Kanten und Durchmessersprünge keine negativen akustischen Auswirkungen haben, sofern diese gezielt positioniert und dimensioniert sind!

Änderungen am offenen Ende – „Schallbecher“ Effekte:

Eine Perturbation am großen Ende sollte beim Frustum closed-open einen Frequenz erhöhenden Effekt haben. Durch eine Erweiterung würden Druckschwankungen über eine größere Fläche verteilt und somit noch geringer. Die Flußgeschwindigkeit sollte gegenüber einem Konus bei einem rasch ausschweifenden Ende höher sein als die Schallgeschwindigkeit. Die Positionen der Reflektion sollte bei tiefen Moden nun weiter im Rohrinneren (=höhere Frequ.) sein, bei höheren Freq. später (weniger höher).

Würde man die Effekte der Endkorrektur des Zylinders anwenden, so wäre theor. eine wesentlich tiefere effektive Stimmung durch den größeren Enddurchmesser zu erwarten. Aber was passiert tatsächlich?

Ich bediene mich hier Schallbecher Ausladungen, die anhand Besselhörnern errechnet werden können.

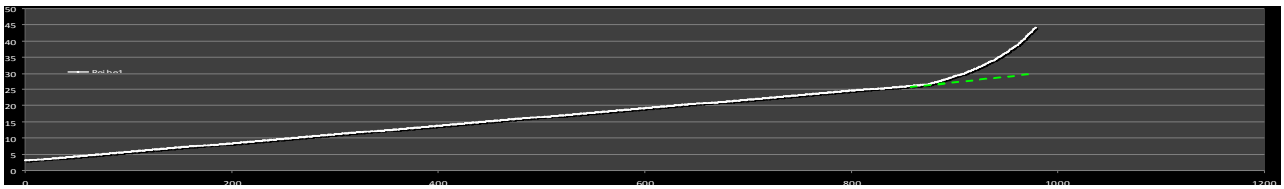
Der tats. Durchmesser des modifizierten Frustum beträgt in der Simulation 29,4mm bei einer Gesamtlänge von 1033mm. (Ich verwende den durch Zylinder um 55mm verlängerten Konus mit einer Constr. bei 20mm.)

Als Ausgangspunkt verwende ich eine Berechnung, wo der Enddurchmesser des Besselhornes nur **1,5 x** so groß ist = Dia 44,1mm **---> Das ist eine sehr geringe Ausladung, hat aber bereits einen großen Effekt!**

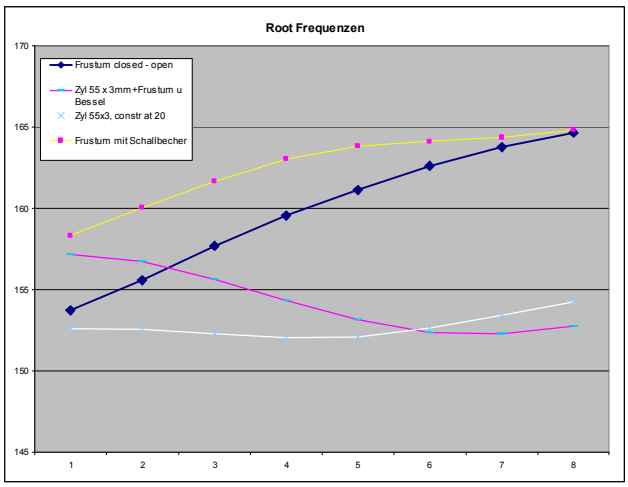
Zusätzlich muß ein 2. Durchmesser und eine Position (Abstand) angegeben werden,
dies ist der Punkt, ab dem das Besselhorn den vohandenen Konus erweitern (ersetzen) wird.

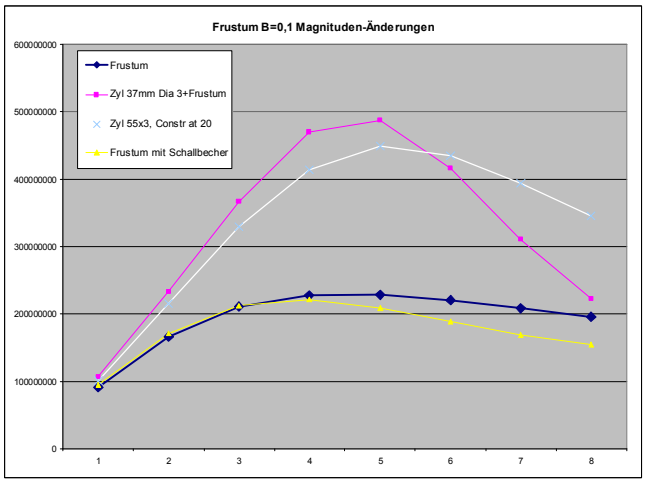
Ich wähle testweise den Durchmesser bei ~ 87% der phys. Konuslänge = Pos. 929mm mit Dia 26,598mm
L des Besselhorn = 1033mm – 929mm = 104mm.

Als Bessel Flare-Faktor wähle ich vorerst 0,5.



Skizze mit Durchmesser (nicht Radius), ohne zus. Zyl. am Beginn, die Darstellung ist nicht maßstabgetreu!

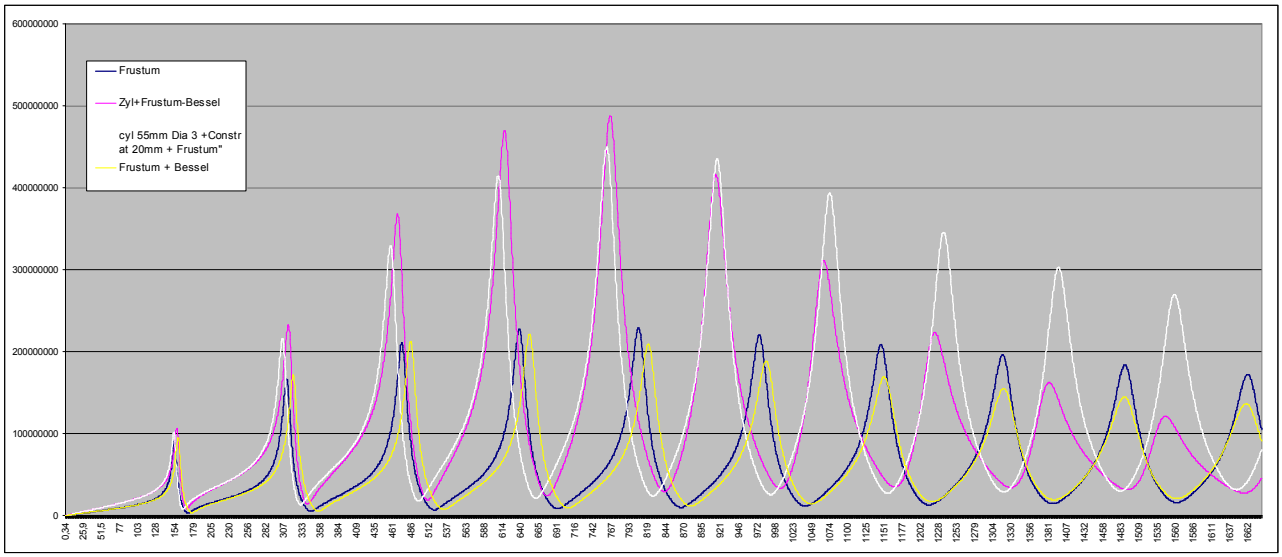




Stimmung: Tiefe Frequenzen werden stark erhöht, Reflektionspositionen weiter im „Becher“
für hohe Modes bleibt die Wellenlänge ~ gleich, für tiefere Modes wird sie kürzer

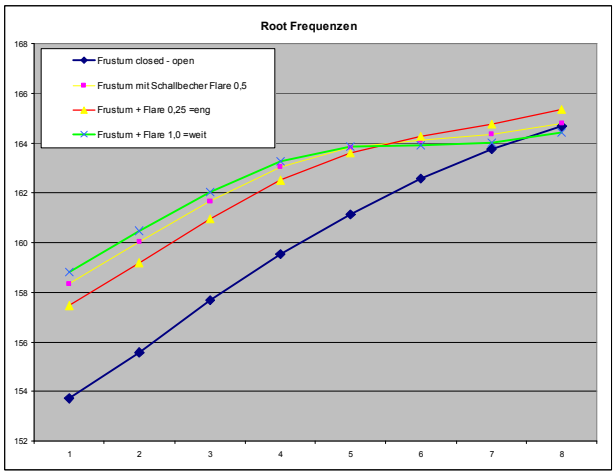
Magnituden: Höhere Peak Modes werden reduziert (mehr Abstrahlung, weniger Reflektion),
durch die Hornfunktion / Tunneling Effekt eines Schallbechers.

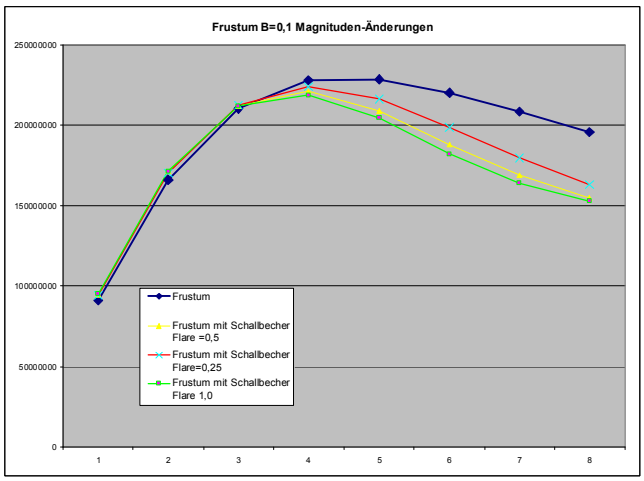
Die Variante mit zyl. Korrektur+Constriction am kleinen Ende wird durch den Schallbecher wieder ineffektiv, in Kombination kommt es hier bereits zu einer starken Überkorrektur am kleinen Ende. **Änderungen beider Enden interagieren unterschiedlich!** Bei Mode 6 sind in diesem Fall wieder die kleinsten Abweichungen.



Antiresonanzen = Imp. Minima sind beim Frustum closed-open in Verbindung mit einem Schallbecher immer bei höheren Frequenzen, auch wenn die Peakfrequenzen tiefer liegen (bei höheren Modes).

Geometrische Ausformung des Schallbechers:





Länge des „Bechers“ bleibt, selber Enddurchmesser: Flarefaktoren 0,25 kleiner = enger, 1,0 größer = weiter

Es bilden sich hier zwischen Mode 5 und 6 ein (erster) Wendepunkt, (Pitch-Node), die korespondierende ¼ WL von ~ 900 Hz liegt im Bereich der Länge des Besselhorns anstelle Konus ~ 10cm.

Ein höherer Flarefaktor (früher mehr Volumen) hebt tiefe Frequ. stärker an. (ist auch beim Frustum so.)
Ab Mode 7 beginnen hier bereits Umkehreffekte durch die Perturbationslänge = L ~10cm).

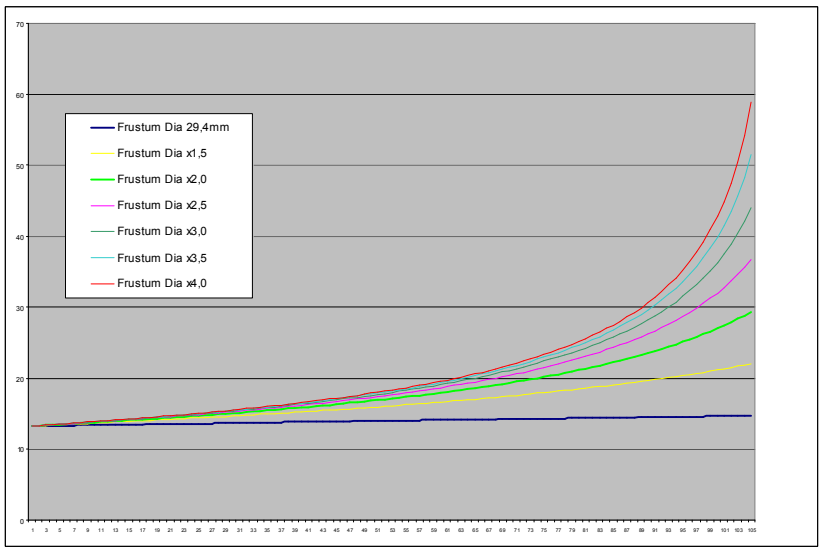
Ein „weiter“ Becher reflektiert höhere Modes schlechter, tiefe Frequenzen haben hier kein Potential (siehe Perturbations-Spiralen Frustum closed-open).

Durch den Flare-Faktor kann die Veränderung durch den Schallbecher kontrolliert werden.
Durch die Länge des Schallbechers kann der Wendepunkt + weitere Wendepunkte höhrer Moden gesteuert werden.

Ein längerer Becher-Anteil mit selbem Flarefaktor (höheres Volumen) sollte tiefe Freq. noch weiter anheben, allerdings rücken dann die Pitch-Wendepunkte immer mehr zu niedrigeren Moden / Frequenzen.

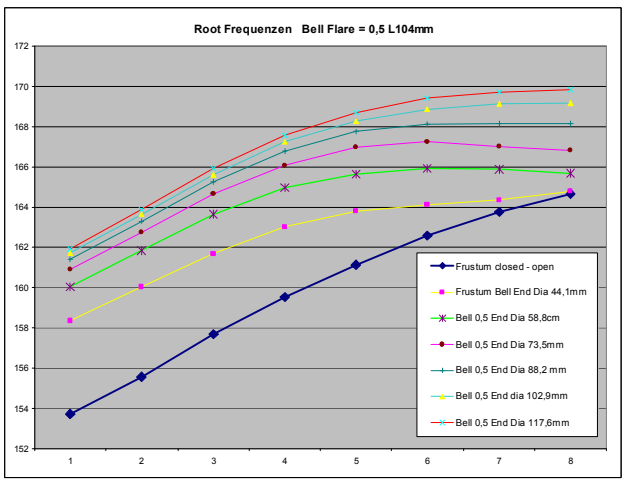
Ein größerer Schallbecher (bei gleichbleibenden Flare-Faktor) sollte sich bis zur Cut off Freq. spez. auf die höheren Moden auswirken und ab einer Funktionsgrenze eventuell kaum einen Effekt mehr haben?

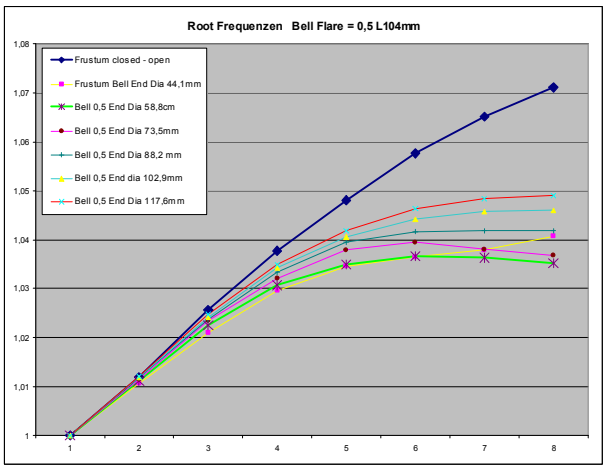
Frustum closed-open, letzter Abschnitt als Schallbecher (Besselhorn) ausgeformt



Skizze der jeweiligen, abschließenden Schallbecher als Halbschnitt, Radius-Werte in mm

Schallbecher Länge = 104mm, Start Diameter jeweils 26,598 mm
Bessel Flare Faktor jeweils 0,5
Frustum / Konus B=0,1 Enddurchmesser 29,4mm
Unterschiedliche Enddurchmesser als Faktoren des Konus (gelb = der bereits besprochene Trichter)
Der Becher enstpricht einer Länge von ~ 10-12% der Gesamtlänge





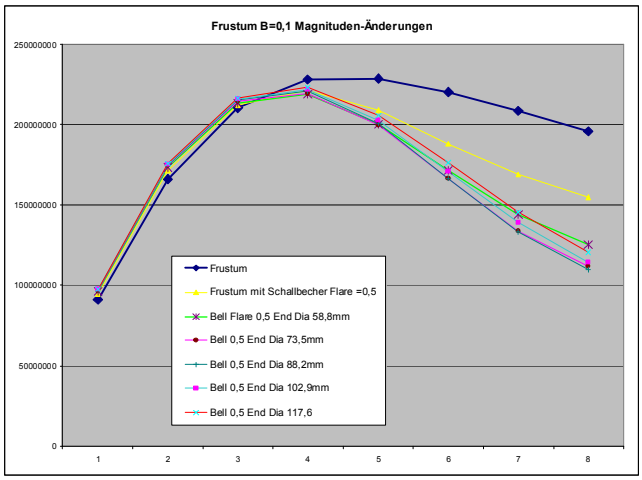
Die allgem. Frequenzerhöhung gegenüber dem Konus (Grundstimmung steigt stark)

hier als Inharmonizitäts-Faktor zu Mode #1
Faktor 1,07 = 120 Cent Faktor 1,035 = 60 Cent

Sobald der Schallbecher eine gewisse Endausladung erreicht, (> 1,5x) erhöht er alle Resonanzmodes < #10, die tiefsten Resonanzen aber wesentlich mehr. D. h. die Reflexionen finden weiter im Rohrinneren bei jeweils etwas kleineren Durchmessern statt. Ab einer bestimmten Endausladung erhöht der Schallbecher allerdings auch verstärkt die höheren Frequenzen, d.h. auch diese werden dann weiter innerhalb des Bechers reflektiert, und der Harmonizitätsgewinn durch den Schallbecher nimmt dadurch wieder ab!

Im Versuch mit Kombination Frustum B=0,1 ist die Endausladung mit ~ 2fachem Durchmesser des Konus diese Grenze, an der die Inharmonizität durch die „fehlende“ Spitze des Konus max. ausgeglichen werden könnte, sofern nur der Schallbecher dazu verwendet würde (keine Korrektur am kleinen Ende).

Mode 6 zeigt hier die größte Abweichung mit 995 Hz und einer ¼ WL von 86mm und wird um 34 Cent erhöht. Mode 1 wird hier dagegen um das doppelte, 68 Cent erhöht.
Es bleibt aber dennoch eine große Differenz von 64 Cent zu Mode #1. (> ¼ Ton)
Erstaunlicherweise wird diese Größenordnung auch schon beinahe mit dem „Mini“ Becher x 1,5 erreicht!



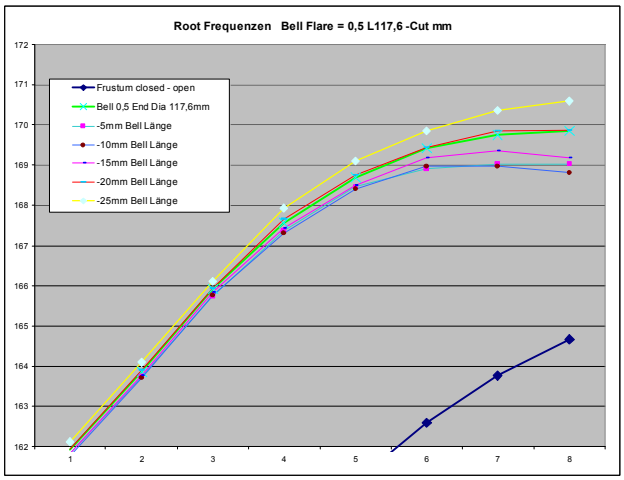
Die Magnituden beginnen ab einer Grenze, hier > 2,5 * Enddurchmesser Frustum nicht mehr abzufallen, sondern steigen wieder etwas, es wird wieder weniger abgestrahlt, eine „Klang"-Grenze wird überschritten.

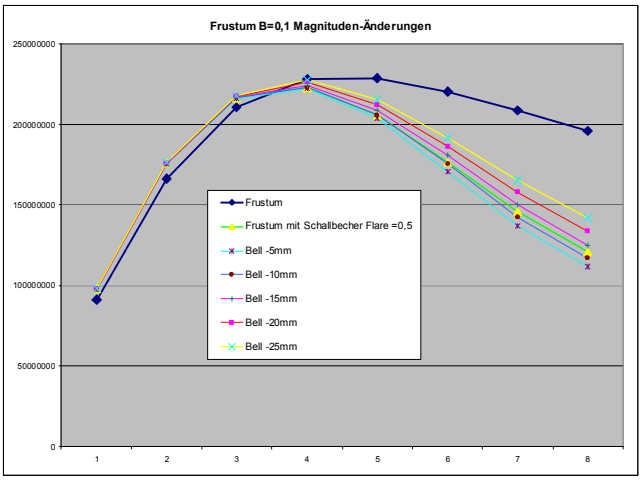
Gerade bei konischen Geometrien will man einen „dumpfen" Klang; d.h. tiefere harmonische Anteile sollen gegenüber höheren Anteilen der „Klang-Mixtur" bei der Schallabstrahlung stark überwiegen.

Was aber bedeutet, daß das allerletzte Stück des Schallbechers scheinbar kaum eine Funktion mehr ausüben sollte. (Der Winkel der frequenzabhängigen, gerichteten Schallabstrahlung ändert sich)

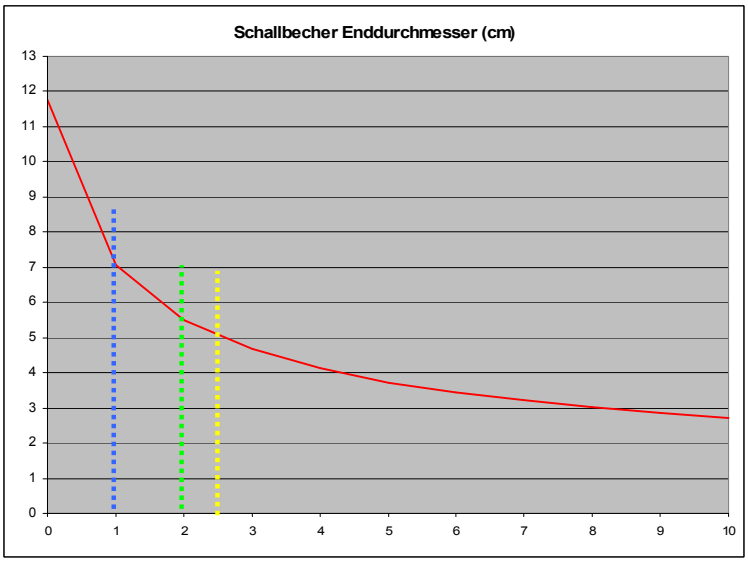
D. h. ab einer bestimmten Schallbechergröße / Endausladung = einem immer steileren Steigungswinkel sollte es möglich sein den allerletzten Teil zu entfernen (den Becher zu kürzen), ohne das dies eine wesentliche akustische Auswirkung hat. Kandidaten dafür wären alle Schallbecher, die bereits deutlich oberhalb der beschriebenen „Schallbecher-Funktionsgrenzen" liegen.

In Kombination eines Frustum closed-open + Schallbechers (ohne „Mundstück") zeigt sich bei der Simulation allerdings ein nicht einheitliches Bild. Zwar zeigen die Grenzwerte auch die erwarteten Ergebnisse, diese schwanken allerdings teils unlogisch. Dies könnte wiederum durch die verwendete Simulation mit „Plane Waves" verursacht sein, die hier generell an ihre Grenzen und ihren Warheitsgehalt stößt.





In der Simulation hat eine Kürzung des Schallbechers = Resonatorgesamtlänge - merkbare Auswirkungen, bei den Peak-Magnituden auch linear nachvollziehbar, bei den Resonanzfrequenzen allerdings nicht so einheitlich. Dennoch zeigt sich, daß erst ab einer massiven Kürzung des „Schallbechers" = der gesamten phys. Rohrlänge - eine generelle Frequenzerhöhung eintritt, davor ist diese Kürzung immer mit tieferen Resonanzfrequenzen, speziell höherer Moden verbunden!



Grobe Skizze (nicht maßstabgetreu), Durchmesser in Längen in cm
phys. Gesamtlänge Frustum + Schallbecher = 98cm.

Durch das testweise Kürzen des „bewusst schon zu groß dimensionierten“ Schallbechers beträgt der End-Durchmesser anstelle 11,7cm nur noch:

Länge:		End-Durchmesser:	Effekte:	
-0,5cm		8,55 cm	alle Freq. tiefer !	warum hier niedrigere Input Imp.?
-1,0cm		7,04 cm	-„- höhere Modes weniger erhöht,	
-2,0cm	<50%	**5,50 cm**	-> im Versuch gleiche Frequz.,	etwas höhere Input Peak Magn.
-2,5cm		5,03 cm	generelle Erhöhung*	höhere Input Peak Magn.

* hier werden höhere Modes bereits wieder zunehmend erhöht = Effizienz der Inharmonizitätskorrektur beginnt dadurch wieder zu sinken, sofern keine Korrektur am kleinen geschlossenen Ende erfolgen soll.

Fazit:

Ich habe hier bewusst versucht, die Unterschiede zu einem Konus aufzuzeigen, beim Zylinder wären diese Unterschiede erwartungsgemäß wesentlich heftiger.

Ein Schallbecher alleine kann keine harmonischen Verhältnisse herstellen. Er erhöht zu einem hohen Grad tiefere Frequenzen, hohe teils wesentlich weniger im Vergleich zu einem Konus oder Zylinder.

Ein zu „großer“ Schallbecher kann bei einem stark konischen Instrument sehr ineffizient sein!
Intonations- und Anspracheänderungen können nur monoton gleichförmig erreicht werden, durch den Längenanteil müßen die auftretenden Wendepunkte höherer Moden mit berücksichtigt werden. Ein „kurzer“ Schallbecher erscheint daher immer als effektiver, die Wendepunkte liegen bei höheren Frequenzen.

Ein Enddurchmesser, der rund dem doppelten End Durchmesser des Frustum entspricht (ca. 5,8cm anstelle 2,9cm) hat mit einem Längenanteil von ~ 8-12% der Gesamtlänge die effektivste Funktion geliefert.

Diese Werte sind aber stark von den Flarefaktoren des Frustum, als auch des Bechers abhängig. Die Art und Weise, wie das andere konische Rohrende modifziert wird, spiel eine noch höhere Rolle.
Bei längeren Anteilen dess Besselhorns, längeren zylinderischen Rohranteilen und in Verbindung mit Munstücken gelten diese Größenordnungen und Grenzen daher nur bedingt.