

# Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten

**Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten.**

## **Teil 7: Simulationsmodelle und Differenzen gegenüber realen Impedanzmessungen an einer Trompete**

Projektstand per 24.11.2024, Revision 20.0

Die aktuellste Version dieses Dokuments finden Sie auf der Projektseite:

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

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



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



Hermann Preisl

Altwaidhofen 45  
3830 Waidhofen/Thaya, Austria

[brassissima@preisl.at](mailto: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!

## Abschnitt A - Impedanzmessungen und Differenzen gegenüber Simulationen

Projektstand, Rückblick, zahlreiche Misserfolge, aber auch viele Fortschritte:	4
Eine Pionierarbeit ist oft fehlerbehaftet	5

### Versuchsobjekt, handgefertigte Trompete, signiert Mayer Landau PF

Impedanzmessungen, Toleranzbereich, Einschränkungen und Fehlerquellen	6
Fehlersuche - Ursachen für Unterschiede in den Messergebnissen	7
Stress & Becherbogen – Fehlersuche und Korrektur	9

### Sonden-Messungen der Druckverteilung: Wo sind welche Nodes?

Pressure – Druckverteilung = Pitch Max. Pot: Messung mit Sondenmikrophon	11
Pressure Messungen & Node Positionen aus Hülsentest Nr.5; 1 Punkt = 1cm	12
Sondenmessung Druckverhältnisse, Ergebnisse und Diskrepanzen	13

### Vergleich Simulation Plane Wave Berechnung und reale Messungen

Versuchsmessungen #5 mit Hülse (Constrictions) – Dokumentation Abweichungen	14
Messablauf, Umgebung, Parameter, Temperaturprobleme, Fehlersuche	15
Auswertung der Messungen, Zeitbereich, Impulseresponse, Hülse lokalisieren	18
Demonstration Hülse, Änderungen Input-Impedanz, XM-IN1 + XM-Pitch Node Positionen	16
Auswertung einzeln nach Naturton Test #5, vs. verwendete ART Simulation Daten	20
Auswertung Peak-Magnituden, ermittelter Reality-Faktor über Frequenz	24
Abweichung Pitch Nodes und Pitch Potential	25

### Simulationen Plane Wave / Levine-Schwinger und reales Instrument

Überblick Plane Wave Simulation, Loss Faktor 1,33 zu realen Messungen	26
Behandlung von Verlusten bei der Simulation, Loss Faktor 1,33	27
Plane Wave – Änderungen bei Simulation mit höheren Verlusten: Loss Faktor 1,66	28
Plane Wave – Die Simulation einer 8mm Kugel zeigt Fehler bei den Simulationsmodellen	30
Das Simulationsproblem – XL Störungen werden falsch modelliert	33
Plane Wave – Die Simulation einer 1mm Beule = Minimal Perturbation	35

### Simulationen und Ergebnisse mit anderen Wellen- u. Radiation-Modellen

Mapes-Riordan / Helie Pulsating Sphere – Änderungen durch zusätzliche Verluste	38
Mapes-Riordan / Helie Pulsating Sphere, Loss Faktor 1,33 mit Standard Perturbation	40
Mapes-Riordan / Levine-Schwinger, Loss Faktor 1,00 mit Standard Perturbation	43
Zusammenfassung Abweichungen der verschiedenen Simulationsmodelle	46

## Abschnitt B – Versuche, Zusammenhänge im Frequenzbereich erforschen

### Grundlagenforschung:

Die Impedanzkurve und deren Auslenkung durch Constrictions (Bolzen 7,25mm)	48
Perturbation - was passiert bei einer lokalen Constriction im Detail?	49
Die Rolle der Wave Impedanz	51
Schematische Darstellung der Änderungen durch Constrictions insgesamt	51
Perturbations-Spiralen anhand Messungen aus Hülsentest #5	52
Impedanz Minima sind immer „odd/even shared“ + stärker verändert als Peaks selbst	53

### Impedanzkurve: Mögliche Vergleichsparameter identifizieren

Das Verhalten von Maxima und Minima Magnituden	54
Das Verhalten von Pitch-Nodes bei XM-PN	55
Effekte durch Versatz und Offset	56
Schema Constrictions, Auswirkung auf Peaks, Breiten, Flankenwinkel und Minima	58
Peak Breiten – keine Änderung bei XM-IN, max. Änderung um XM-PN, RMS Summe bleibt	59
Wave Impedanzwerte (geometrische Mitten der Magnitude) vor und nach Peaks	62
Perturbation mit Hülse, Auswirkungen auf die Wave Impedanz	63

**Impedanzkurve – weitere Vergleichsparameter definieren:**

Gemeinsame Minima Magnituden NT 7/8 bei Bb-Trp.	64
Gemeinsame RMS Werte, RMS-Band = Peak Breiten, NT7/8:	65
Pitch related, Peak Winkel RMS / Auslenkung NT7/8	66
Q-Faktor, Kreislänge, RMS -3dB	67
Frequenzmitten / Winkel der Flanken und FRQ Geometrie Center-Werte daraus	68
Wave Impedanz Magnituden Mittelwerte vor / nach Peak	69
Auswertung der Referenz Parameter – interne Dokumentation	70
Vergleich Perturbationsspiralen mit Kugel 8mm und Bolzen 7,25mm	72

**Auswertung von Impedanzkurven – Vergleichsparameter physischer Positionen**

Vorsicht – Kugel 8mm! Dokumentation anhand Test Feb 23, 2020 und weiterer Tests	73
---	----

**Fehlerdokumentation Teil 7 - div. Versuche mit Bolzen, Hülse, Kugel**

Neue Statistikfunktionen aus Part5 (Pitch related), Versuchsreihe mit Bolzen	78
Vergleichende Tests Magnitude mit Bolzen, Hülsen und Kugel um XM-IN1	80
NT7 scheint der beste Kandidat für den Grundversatz bei XM-IN1 zu sein (Bb-Trp.)	80
Test #10, ART Test Trp., +3mm für VC, -2mm für SZ-Bogen, Kugel, Bolzen, Hülse	81
Ergebnisse XM-IN1 Pos. aus diversen Perturbationen und Messungen im Vergleich	83
Test #9, Hülse mit Wandstärke 0,5mm, Messfehler und Referenzprobleme	84
Potentialmessungen anhand von Magnituden unterschiedlicher Referenzen	86

Fehlerquellen bei Perturbation-Tests	87
--------------------------------------	----

Fazit: - Das Problem der Positionsfindung mit Perturbationen ist noch nicht gelöst.	88
---	----

Fortsetzung folgt Teil 8 - Visionen.

**Projektstand, Rückblick, zahlreiche Misserfolge, aber sehr viele Fortschritte:**

Projektstand: Meine 1. Studie aus dem Jahr 1999, aus der alle weiteren Versuche hier ihren eigentlichen Ursprung nehmen, habe ich als **einleitenden** Teil in dieses Thema eingearbeitet.

Der **1. Teil** beschäftigt sich vor allem mit allgemeiner **Musikkunde**, Stimmungssystemen generell, etwas Musikgeschichte, Psycho-akustischen Themen, Stimmung im Orchester, Ventilblechblasinstrumenten allgemein, Ventilschlaufenlängen und daraus theoretisch resultierenden Effekten.

**Teil 2 a-c** wurden als Grundlagenlektüre punkto **Akustik** und der Einfluß von „Mensur“ generell bei Blechblasinstrumenten von mir im Rahmen des Projekts komplett neu erarbeitet und angefügt. Der **Teil 2d** beschäftigt sich besonders mit Mundstücken, Schallbechern und der **Hornfunktion**. **Teil 2e** mit Mode-matching und der Form von Schallbecherstürzen. In **Teil 2f** habe ich Mundrohr Designs erarbeitet, welche die MPC equiv. Länge gezielt korrigieren können.

**Teil 3** hat sich mit der **Simulation einer Bb-Trompete** und Grundlagenforschung beschäftigt.

*Im **4. Teil** sind **Optimierungsstrategien bei kompletten Ventilinstrumenten**, anhand meiner Erfahrungen bei Trompeten, als auch den theoretischen Ergebnissen von Teil 3 erarbeitet.*

Im **Teil 5** habe ich mein **Impedanz-Meßverfahren** komplett neu gestaltet und dokumentiert.

**Teil 6** behandelt die Aspekte von Impulsresponse Messungen, Informationen aus dem Zeitbereich.

**Dieser nunmehr 7. Teil ist vorab die Drehscheibe des gesamten Projekts.**

Es ist an der Zeit, die gefundenen Lösungen aus Virtualisierungen mit meinen realen Impedanzmessungen in Praxis **zu vergleichen**, Ursachen für Differenzen auszumachen, physikalische Messungen zu verbessern, und wie die ermittelten Daten und gefundenen Erkenntnisse in der Praxis umgesetzt werden können und zu welchem Grad die gesammelten und errechneten Daten aus div. Simulationen überhaupt mit der Realität übereinstimmen - oder auch gar nicht!

Dabei sollten vor allem Ursachen und Lösungen für noch viele vorhandene offene Fragen und unklare Diskrepanzen sowie falsche Interpretationen erforscht und wo möglich beseitigt werden. Die jeweils gefundenen Probleme, Lösungen und neuen Erkenntnisse sollen auch immer in die bereits vorhandenen Dokumentationsteile korrigierend & rekursiv einfließen.

Viele erst jetzt manifestierten Erkenntnisse sind daher nun schon bereits dort platziert, wo diese thematisch jeweils besser hineinpassen. Daher wurden die jeweiligen Projektteile bereits schon oftmals komplett neu strukturiert und revidiert, die Teile 2b-f sind dadurch neu hinzugekommen. Aufgrund des Umfangs wurden die neuen Teile 6+8 herausgelöst und vorerst fertiggestellt.

Auch die zahlreichen Misserfolge und Diskrepanzen werden in diesem 7. Teil dokumentiert. Diese sind Lösungsansätze für neue Erkenntnisse, Methoden und sehr wichtig zum Ausloten von neuen Möglichkeiten! Diese Dokumentation ist für interne Zwecke als Nachschlagewerk in dieser komplexen Materie vorgesehen, und um so manche meiner aufgestellten Thesen zu untermauern.

**Teil 8** behandelt meine neue, visionäre Methode mit Informationen aus der Input-Impedanzkurve.

**Die Reihung der Dokumentation in diesem Teil 7 richtete sich dadurch vorerst am Auftreten von Diskrepanzen und Problemen - und davon gibt es mit den realen physischen Impedanz- und Druck-Messungen leider noch viel mehr als erhofft!**

Dennoch nun nochmals komplett neu struktuiert und gegliedert:



## Eine Pionierarbeit ist oft fehlerbehaftet - aktueller Projektstand per 14.8.2021:

Bisher hat dieses Projekt nun 4 Jahre jede meiner (Hobby)-Zeit verschlungen. Es war für mich oft eine Gradwanderung zwischen gelesenen / publiziertem theoretischen Wissen gegenüber den erzielten physischen Messergebnissen. Meine Pionierarbeit zum aktuellen Projektstand mag und wird daher vorab teilweise fehlerhaft oder falsch interpretiert sein. Ich möchte dieses Projekt aber nun bald abschließen.

Gefundene Unterschiede und Abweichungen von Simulationen zu realen Instrumenten sind doch **erheblich größer** als vorab angenommen, welche Rückschlüsse und die Abgrenzung zu naturwissenschaftlichen Phänomenen und Meßfehlern immer wieder erschweren, und daß ich bei einer einfachen messtechnischen Möglichkeit der exakten Ortung von Pitch-Nodes nicht im von mir gewünschten Ausmaß vorangekommen bin, so möchte ich aber die doch zahlreichen positiven Erkenntnisse daraus kurz aufzählen:

*Die gesamte Dokumentation wurde mehrmals völlig neu strukturiert, Ergebnisse floßen in vorangehende Teile ein. In das Thema einleitende Teile 1+2 samt fundamentalen Unterthemen wurden vollständig neu entwickelt, erstellt und dem Projekt hinzugefügt.*

Vergleich Simulationsmodelle untereinander, Verlust- und Radiationmodelle  
Perturbationsspiralen visualisieren den Versatz von Magnituden- und Pitchkurven  
Einfluß von Masse / Dämpfung, auch Valvecluster, Streben, Impulseresponse Messungen  
IR: Physischer Perturbationsbeginn ist nicht gleich positivem Reflex Maximum  
Valvecluster durch Verluste akustisch länger, Bogenlängen sind akustisch etwas kürzer als vermutet  
IR Abweichungen sind bei XM-IN1 am geringsten (Magnitude, pos./neg. Versatz)  
Magnituden Potential ist bei Simulationen schnell überbewertet, großteils auch Pitch Pot. + Nullversatz dn.  
Perturbationen – Peak Minima werden sogar stärker beinflußt als Peak Maxima  
Drehrichtung Maxima + WI, Pressure gegen Uhrzeigersinn, Minima im Uhrzeigersinn  
Antiresonanzen = Impedanz Minima sind zwangsläufig odd/even geteilt.  
Druckbäuche (Pressure Antinodes) = max. +/- Druckschwankungen und Pressure Nodes

*Die FFT-Messungen wurden in Part 4 neu organisiert.*

Leider sind Abweichungen bei Pitch-Nulldurchgängen und wiederholten Messungen noch immer nicht zufriedenstellend. Zu den Funktionen wie einer Center Freq. at % Peak Magnitude und eine Glättung mit gleitendem Durchschnitt wurde nach statistischen Möglichkeiten gesucht, die einerseits die Aussagekraft der Messungen und daraus gezogener Beurteilungen nicht verfälschen sollen, andererseits aber die Peak-Spitzen wesentlich besser stabilisieren sollen.

Glättung mit Savitzky-Golay Filter sowie mehr statistische Daten zur Fehlerkorrektur wurden hinzugefügt. Die Today-Korrektur wird nun ebenfalls bereits vorab geglättet. Statistische Werte sollen Ausreißer oberhalb 1% Peak Magnitude erkennen und entsprechend fehlerbehandeln.

Liegt die „Webster-Horn-Equation“ mit ebenen Wellen und alle Abwandlungen daraus (auch sphärisch) eventuell auch schon bei kleinsten Krümmungen, Borejumps und speziell lokalen Perturbationen schnell falsch oder weicht nur die Plane Wave Berechnung so stark von der Realität ab? Was passiert bei einem anderen Wellenmodell, Radiation Modell und Perturbationen? Weitere Versuche haben das nun abgeklärt.

*Neben dem Verständnis über Vorgänge und Zustände in Instrumenten und deren objektiver Bewertung geht es mir im Projekt auch darum, was eine lokale Querschnittsveränderung ohne ein genaues Wissen der exakten Geometrie des Instruments verursachen wird. D. h. dieses soll im Gegensatz zu anderen Simulationsverfahren nicht notwendig werden!*

*Thesen: - Magnitude- und Pitch-Positionen sind aus der Eingangs-Impedanzkurve ableitbar (Siehe Teil 8)  
Ein shared XM-PN Ursprung kann alleine aus Bell Reflex Minima und MPC equival. Länge ermittelt werden.  
XM-IN1 lässt sich auch mit Bolzen bestimmen, NT7 hat die geringste Abweichung für einen Referenz-Grundversatz. Wave Impedanz bzw. besser FRQ-Crossings below / above Peak liefern den Pitchversatz  
Positionsabweichungen sind bei XM-IN1 (Druckbäuchen) am geringsten mit unterschiedlicher Perturbation.  
Die akustische Mehrlänge des Trp. Mundstücks Warburton 8M9 und Mundrohr beträgt ~ 20 mm.  
Simulationen mit wesentlich höheren Verlusten und auch mit anderen Simulations-Modellen müssen durchgeführt werden. Der „Pitch-Versatz“ muß gelöst werden, speziell der Nullversatz der Pitch-Kurven.  
Dieser ist bei den Messungen ziemlich das genaue Gegenteil zur ART Plane Wave Simulation.  
Und: Peak-Magnituden haben bei realen FFT-Messungen mit starken Einengungen einen Grundversatz!*

## Versuchsobjekt: „ART“ Trompete Mayer Landau PF

### Versuchsobjekt für Virtualisierung und die meisten Messungen und Auswertungen:

Das Mundrohr ist wechselbar, mit Teleskop, wie virtualisiert, dann ein vorhandener Rotary Valvecluster und Stimmzug, Die Stimmzugaufnahme wird ab Ende des Stimmzuges bis Becherstart mit Hülse 11,0mm Innendurchmesser ausgefüllt, vorerst kein wechselbarer Schallbecher, sondern fix mit der Stimmzugaufnahme verbunden.

Die Ventillängen unterscheiden sich beim vorhandenen Ventilcluster geringfügig, da bei der virtuellen Trompete erfundene Fantasielängen der 3 Ventilschleifen verwendet wurden (aber sehr praxisnah). Anschließend werden erste Messungen mit dem neuen Impedanz Meßkopf durchgeführt.



*Hier mit Valvecluster Ersatz V0 mit Dia 11,0mm – Die Rohrkrümmungen innerhalb der Ventile und Stimmzugbögen rufen vor allem Verluste und dadurch auch Längeneffekte hervor.*

### Impedanzmessungen, Toleranzbereich, Einschränkungen und Fehlerquellen:

Wiederholte Messungen auch mit einem Rohr als Valvecluster Ersatz (Ausschluß von schleichenden Undichtigkeiten der Maschine), zeigten mit dem (noch alten) Meßkopf wiederkehrende Messunterschiede von bis zu 4 Cent. Die Anzahl der Sweep Wiederholungen /Mittelungen sind wichtig. Mehr Durchläufe bergen aber das Risiko dass Umgebungsfaktoren etc. die Messungen wieder negativ beeinflussen. Die Abweichungen wurden mit zunehmender Anzahl an Mittelungen aber nicht geringer. Bei den Impedanzmaxima kam es mit dem alten Meßkopf und Methoden zu Abweichungen von ca. 6 Prozent der Amplitudenhöhe.

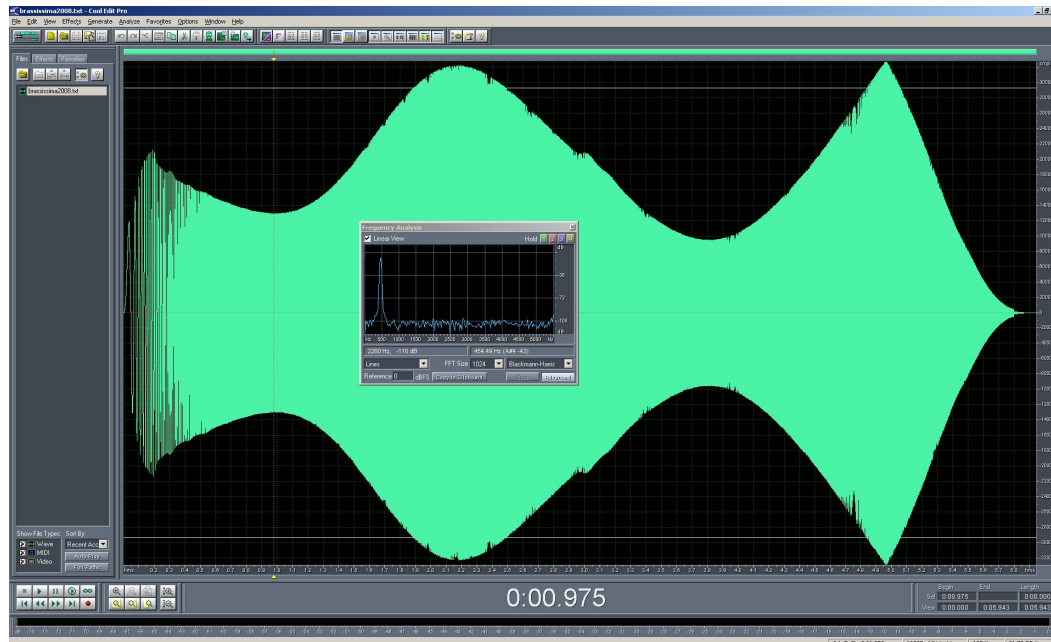
Max. 4 Cent Differenz = z.b. auf den Kammerton klingend A1 = 442 Hz bezogen eine Abweichung von 1 Hz +/-, bei C3 einer Bb-Trompete ~ 935 Hz ca. +/- 2 Hz Abweichung im Extremfall mit Kombination Meßkopf/Mundstück/Valvecluster-Ersatz, Stimmzug und Trp. Schallbecher.

Da 4 Cent Tonhöhenänderung in etwa dem Potential der „Standard“ Perturbation mit einer Länge von 20mm mit 0,5mm Radiusänderung entsprechen, ist das ein sehr einschränkender Umstand für Vergleiche zwischen virtuell und physisch. D.h. um kleinste Änderungen und deren Auswirkungen tatsächlich verifizieren zu können, sind mehrere wiederholte Messungen, Vergleiche und das Erkennen, Klassifizieren und Aussortieren von „Ausreißern“ notwendig.

## Fehlersuche - Ursachen für diese Unterschiede in den Meßergebnissen:

### Anregung:

Dieses Detail wird im Projektteil 5 ausführlich behandelt und wurde neu gestaltet.



Anregungssignal, für den Messkopf kalibriert (Eine Txt / Wave Datei). Der Lautsprecher und Druckkammer haben ausgeprägte Eigenresonanzen, diese müssen ausgeglichen werden. Hier markiert bei 500 Hz, die nächsten große Eigenresonanzen bei ~1770 Hz.  
(Diese Daten und Grafik stammen noch vom alten, mittlerweile umgebauten Meßkopf.)

### Mikrophon und Auswertungen:

Die Electred Mikrophone sind aus Headsets, „lowcost“ und haben eine nicht lineare Dynamic Response, diese schwankt. Die FFT-Auswertung erfolgt in 0,16 Hz Schritten. Es wird eine Windowing Funktion verwendet. Bei der anschließenden Excel Auswertung wurde bisher der wirklich nur „höchste“ Punkt bei jedem Impedanz Peak ermittelt, nicht eine Funktion einer geglätteten Kurve mit einem Mittelpunkt der höchsten Beträge. Daher ergeben sich bei jeder Messung etwas andere Werte, speziell wenn die Impedanzspitze „beeinträchtigt“ ist (wie üblich) und eine ungleichmäßige Spitze/Kurve besitzt. Die Berechnungen wurden daher erweitert, siehe Part 5.

### Temperaturschwankungen:

Eine Schwankung von 1 Grad Celsius bei in etwa herkömmlicher Raumtemperatur ergibt theoretisch (längenunabhängig) ca. 3 Cent Tonhöhenunterschied! Leider ist es bei den meisten Messungen nicht möglich, die Temperatur exakt konstant zu halten. Diese schwankt üblicherweise in diesem Rahmen, und kann bestenfalls mitprotokolliert und teilweise herausgerechnet werden.

### Äussere Einflüsse / Messanordnung:

Vibrationen von Computerlüftern / Festplatten, Umgebungsgeräusche, gekipptes Fenster, etc; Erfahrungen zeigen, dass die äußeren Einflüsse mit zunehmender Schalltrichtergröße zunehmen (Flügelhorn) und hier größere Abweichungen und Ausreißer bei den Messungen, als bei engmensurierten Schallstücken vorkommen. Abstand einer glatten Wand zum Schallbecher – in meinem Fall nur ca. 2m machbar – ist möglicherweise zu wenig. Abhilfe -> Woldecken, Abstand ca. 2-3 x Schalltrichterdurchmesser cm vor dem Schallbecher, ebenso auf glatten Flächen neben dem Meßobjekt (Tisch abgedeckt).

### Messobjekt:

Verbindung Messkopf zu Mundstück: Hier habe ich nach vielen Experimenten auf Gummi als Dichtung verzichtet. Dieser würde besser abdichten, lässt sich aber auch maximal variabel kompressieren, was dann zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen führen würde.

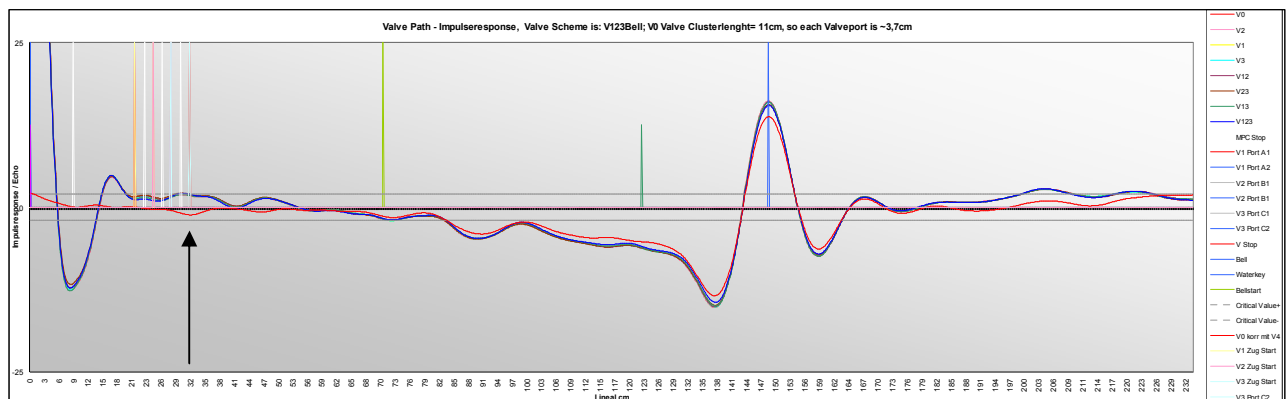
Verbindung Mundstück zu Mundstück-Receiver: Morse-Konus, konisch 1:20, tatsächlich aber nicht immer 100% gleich fest eingesteckt und somit ev. manchmal undichter.

Züge, minimal undichte Lötstellen und Wasserklappen, und speziell „schleichend“ undichte Ventile. Gut geölte, aber undichte Ventile „lecken“ unterschiedlich stark und schleichend – bei der einen Messung mehr, bei der nächsten weniger und sind eine große Fehlerquelle. Dicke Ventilöle können das zum Teil leider nur einigermaßen kompensieren.

### Fehlerquellen im Valveclusterbereich mit einer Rohrverlängerung ausschließen:

Generell überlagern die ersten starken Impuls Reflektionen immer folgende, andere Fehlerquellen. Hier ist es das Ausschwingen des Mundstückes, welcher größere Unterschiede im Valvecluster (Bohrung 11,2 statt 11,0), Kanten etc. „verschleiert“; Valvecluster = 21 bis 31,5 cm TL. Das Mundstück und Mundrohr wurden nicht geändert und enden bei 21cm. Bei Pos. 50cm (im Stimmzugbogen) und nach dem konischen Becherstart (ist nun 70,5 cm) waren keine physikalischen Änderungen zwischen den Messungen. Vor 71cm gibt es kein Enlargement, hier ist der Durchmesser 11,0mm.

Zusatzrohr zwischen Mundrohr und vor dem Ventilstock:



31,7cm zusätzliche Rohrlänge Dia 11,0 zwischen Mundrohrende und Beginn Maschinenstock verschiebt die Ausschwingungen des Mundstückes vor den Ventilstockbereich und enthüllt ein leicht undichtes 3. Ventil, bei ~ 30cm (V3 Durchgang).

Ein 1. negativer Ausschlag deutet auf eine Erweiterung, ein positiver Ausschlag auf eine Einengung hin. Zwei rasch aufeinander folgende entgegengesetzte Störungen können aber so oft nicht entdeckt werden. (Siehe Teil 6).

V1 und V2 ploppen bei diesem aufbereiteten Ventilstock wenn diese nach einer Weile einzeln gedrückt, aber V3 ploppt kaum. -> Unteren Ventildeckel nochmals leicht einschlagen. Dieser ist hier aber bereits am völligen Limit.

Der negative Ausschlag bei ~91cm bleibt = Becherbogen Mitte, wobei aber angemerkt werden muß, daß „flaring / konische“ Rohrteile immer solche ähnlichen Reflektionen hervorrufen.

Prinzipiell zeigen sich lokale Verengungen bei den Impulseresponse Auswertungen als positiver – nach oben gerichteter Ausschlag vor der Verengung, gefolgt von einem 2. negativen Ausschlag, der oft noch stärker ist als der eigentliche 1. Ausschlag vor dem Startpunkt vor der Verengung. Bei Erweiterungen ist es umgekehrt, negativer Ausschlag vor dem Startpunkt der Erweiterung, gefolgt von einem positiven 2. Ausschlag, bzw. besser gesagt Ausschwingen Richtung Becher.



## Stress- & Dämpfung des sehr dünnen Becherbogen und Becher

Unregelmäßige angeregte mechanische Schwingungen - Vibrationen der Schallstück-Wandung (Blech) durch den Meßkopflautsprecher und die schwingende Luftsäule. Erfahrungen zeigen, dass parasitäre Schwingungen die Messergebnisse umso mehr beeinflussen je dünner das Blech ist. Ebenso treten vor allem größere Abweichungen bei nicht fertig montierten, dünnwandigen Instrumenten auf (ohne Stützen, frei liegend, etc.).

Eine Ursache für abweichende Ergebnisse konnte ich letztlich auch in nicht bzw. unterschiedlich bedämpften Instrumententeilen finden – was einem „Stress“ bestimmter Bauteile entspricht. Hier speziell der Becherbogen + Becher. Messungen nur mit der Handfläche auf verschiedenen Positionen brachten 2 x auch mit Valveclusterersatz-Rohr große Unterschiede. Der Becher ist im vorliegenden Fall sehr (unregelmäßig) dünn und wurde bereits mehrmals beschädigt und wieder ausgebeult, geschliffen, etc.

**Es wurde ja bewusst ein schlecht stimmender, suboptimaler Schallbecher gewählt!**

## Bedämpfung / Masse Ventilstock:

**Die Masse des Ventilstockes** spielt scheinbar ebenfalls eine große Rolle. Sie bedämpft „parasitäre“ Rohrschwingungen wesentlich mehr als der leichte Valvecluster-Ersatz. (Nur Rohr).

Um kleinste Unterschiede bei wiederholten Messungen zu finden ist es also sehr wichtig:

- das Instrument an mehreren Stellen zu bedämpfen, und
- die Bedämpfung möglichst nicht mehr zu variieren.

Die Bedämpfung nur mit „Hand auflegen“ ist zu unterschiedlich. Nach verschiedenen Versuchen bin ich auf „Kirschkerne“ gestossen, diese beschweren ab nun das Instrument (Schallbecherbogen, Schallbecher bis ca. 10 cm vor der Becherausladung, bei nicht fertig montierten Instrumenten ohne Stützen ev. auch einen freiliegenden Stimmzugbogen).

## Becherbogen – Fehlersuche und Korrektur:

Ein 1. Dichtheitstest mit Wasser im Becherbogen konnte eine Undichtheit/Löcher ausschließen. Fotos mit einer Endoskop Kamera zeigten aber, dass sich Restblei und sonstige Ablagerungen vor und im Becherbogen befinden, Versuche mit Ausbeulkugeln mit 0,1 mm Durchmesserunterschied bestätigen auch eine Einengung ca. 10-11 cm nach dem Becherstart. D. h. im Bereich um 80-82 cm nach dem Mundstückbeginn.

Diese habe ich nun bestmöglich beseitigt, (zwei Schritte)

Schallbecher Start ist nunmehr > Dia 11,0mm, die „Engstelle“ 10cm später hat nun einen Durchmesser von ~11,6mm. Das Restblei war die Ursache, warum sich die Trompete, die in diesem Bereich vorher zusätzlich sehr stark verdellt war, nicht völlig rund ausreiben ließ.

Bei einem 2. Versuch das Restblei durch Glühen des Metalls herausfließen zu lassen haben sich aber dann 3 winzige Löcher gebildet, Bogenaußenkante, an einer Stelle, wo vorher die meisten Bleiablagerungen waren. Durch Feilen und Schleifen waren diese „vorstehenden“ Stellen im Lauf der Zeit „papierdünn“ geworden. Daher musste ich einen Patch angefertigen und aufgelöten.



Endoskop Bilder nach dem 1. Schritt; Ausschleifen und neuerlichen Ausbeulen, der Bereich ist nun ca. 0,1mm weiter (Durchmesser), anhand der Positionen der Ausbeulkugeln.

Vor dem Becherbogen vom Anstoß aus:

Dunkle Stellen Beginn Becherbogen

bzw. silber glänzend / leuchtend: Spuren von Restblei reflektieren jetzt, da angeschliffen.



Finales Ergebnis:

Nach dem Ausglühen und nochmals schleifen.

Dies demonstriert auch die Schwierigkeit, Schallbecher möglichst originalgetreu abzumessen. Aussenabmessungen abzüglich Wandstärken stimmen so nicht, zudem ist der Becherbogen teilweise durch den Biegevorgang so wie bei vielen handgemachten Instrumenten größtenteils eher elyptisch als rund. Die Innenseite der Instrumente ist auch durch (jahrelange) Ablagerungen bei weitem nicht so glatt und stetig als erwünscht.

Die Abmessungen des zuvor digitalisierten Schallbechers unterscheiden sich nun etwas, was zwangsläufig auch eine geänderte Stimmung hervorrufen muß.

## Druckverteilung von stehenden Wellen: Messungen mit Sondenmikrophon

Eine Möglichkeit besteht darin, ein sehr kleines Mikrophon mit sehr dünnem Kabel durch den Schallbecher zu führen. Positioniert wird das Mikrophon samt montiertem eisenhaltigem kleinen Ring mit einem von ausserhalb geführten starken Neodym-Magnet, was leider fehlerträchtig ist. (Reibung Eisen, exakte Positionierung, Kabel zu Becherende).

Die Messung erfolgt für jeden gesuchten Naturton einzeln indem die jeweils passende zuvor gemessene aktuelle Frequenz des NT als Sinuston generiert und abgespielt wird. Die Aufnahmepegel des Mikrophones sind an den Punkten mit den größten Druckschwankungen = Pressure Antinodes = globale Impedanz Peak-Magnituden Nodes am höchsten, bei Pressure Nodes = ebenfalls Peak-Magnituden Nodes am niedrigsten. Dazwischen liegen die Pitch-Nodes / globale Nulldurchgänge der Resonanzfrequenzen bei Perturbationen.

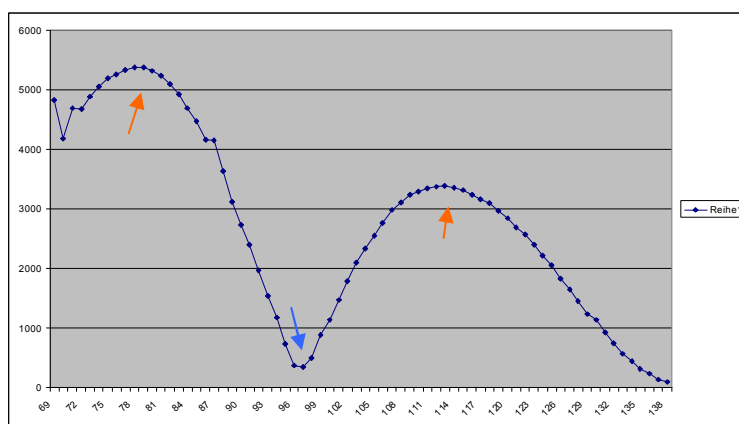
Das Mikrophon (A= kurze, aber starke Constriction/Störung) und auch das Kabel (B=leichtere, aber sehr lange Constriction) stellen dadurch eine Constriction Richtung Becher dar, welche zwar (nur B) mit zunehmender Entfernung vom Mundstück abnimmt, die ermittelten Messergebnisse sind dadurch aber wiederum **ungenau und verfälscht**.

Idealerweise müßte der Wiedergabepegel pro Frequenz auch noch angepasst werden. (Anregung, Meßkopf Eigenresonanzen). Das Sondenmikrophon hat zusätzlich erschwerend aber selbst auch noch einen anderen Frequenzverlauf, der von mir ohne weiteres nicht bestimmt werden kann.

**Beides wurde daher hier nicht gemacht**, und daher die sehr unterschiedlichen Pressure Magnituden Werte. (Soundkartenausgabe je -3 dB).

Der max. Druck in einem zylindrischen Rohr nimmt mit zunehmender Länge etwas ab. In konischen Teilen und im Schallbecher – wie hier ab 70 cm abgebildet nimmt der gemessene Druck durch die zunehmend größer werdende Querschnittfläche noch **zusätzlich** stetig ab.

Vorteil der Druckmessung: Auch gebogene Teile können problemlos gemessen werden, allerdings erst nach dem Maschinenstock, die Temperaturabhängigkeit ist etwas geringer, die Messungen sind allerdings zeitaufwendig. Nachteile: Derzeit ist die Positionierung schwierig und fehlerträchtig und umso weiter das Mikrophon in der Trompete ist, umso mehr Kabel (Constriction) verfälscht die Werte teils sehr stark.



Messungen im Schallbecher

Beispiel V0, NT4 C2, = EVEN ~475 Hz Peak Freq.,  $\frac{1}{4}$  WL = 18,14 cm,

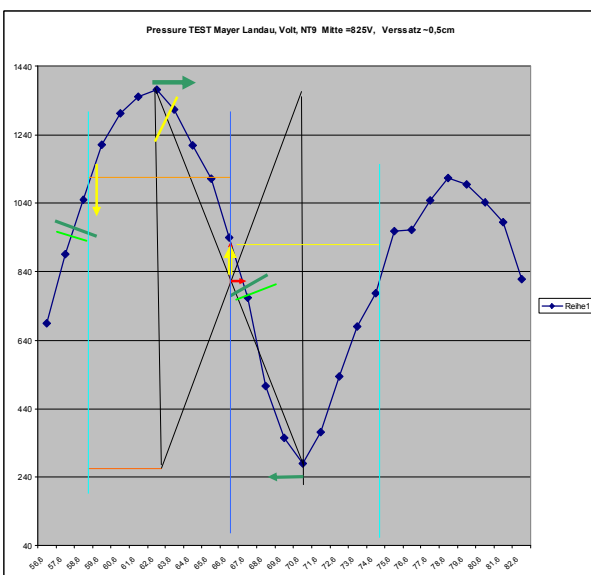
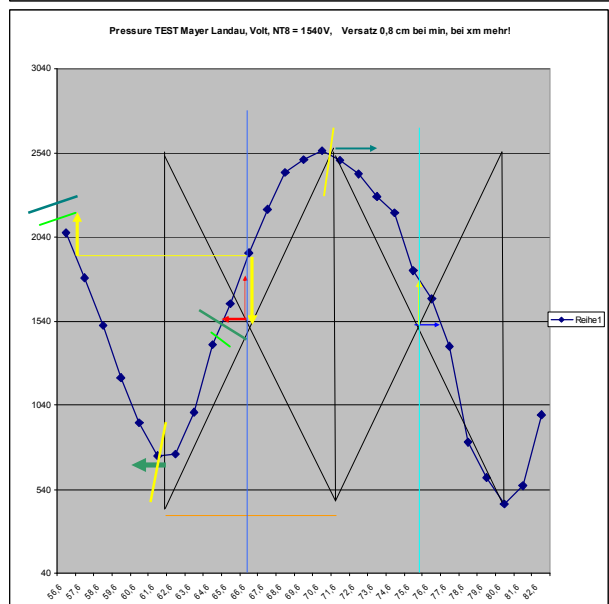
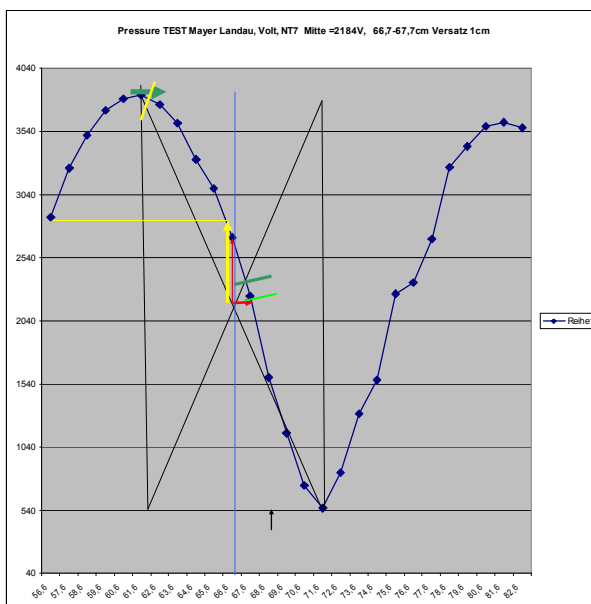
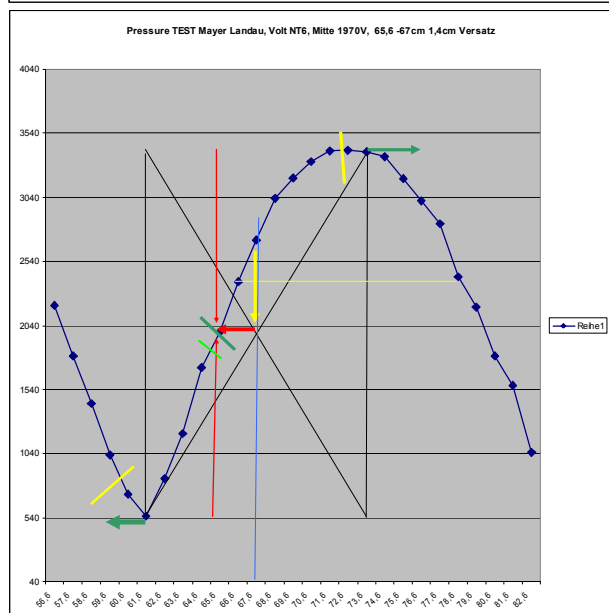
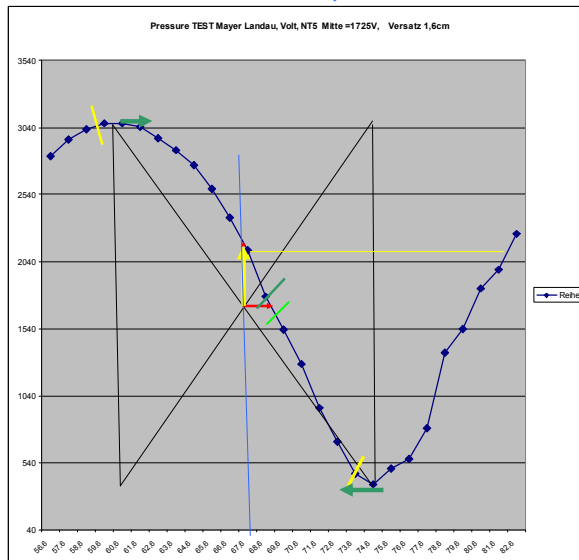
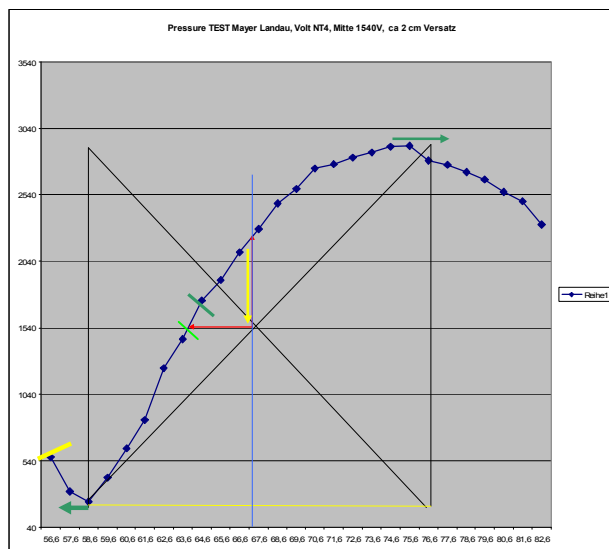
Bei ~78+114cm: **Pressure Antinodes Max.+/- Fluktuation, Frequenz steigt mit Constriction, bei ~96cm: ein Pressure Node, Die globale Frequenz sinkt mit lokaler Constriction hier.**

Daher ist die Anregungsfrequenz nur an Punkten dazwischen (=globale Pitchnodes) korrekt.

Wenn kein Versatz wäre, dann wären Pitchnodes theoretisch bei 71 % der Pressure Maxima Beträge, wäre die Pressurekurve eine Sinuskurve, die Sie aber nicht ist... **Also wo genau?**



## Pressure Sondenmessungen & Node Pos. aus Hülseentest Nr.5; 1 Punkt = 1cm



Gelb: Impedanz Nodes & Max.Potup/down

Hellblau: 1/8 WL zwischen Press. Max./Node.

Grün: Pitch Nodes & Max. +/- (hell: korr.5,5%\*)

Rot: Mitte Betrag Pressure, Versatz

## Druck-Sondenmessung - Ergebnisse zwischen XM-IN1 und XM-IN2:

- Bei Pressure Antinodes, Druckbäuche =maximale Druckschwankungen
- bei Pressure Nodes, Druckknoten =minimale Druckschwankungen

sollten sich Impedanz Peak Magnituden global durch Perturbationen nicht verändern, dafür hat die Tonhöhe / Peakfrequenzen global hier sehr viel Änderungspotential. Diese Positionen sind jeweils  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge voneinander entfernt.

Dazwischen – nach  $\sim \frac{1}{8}$  WL liegen die globalen Impedanz Pot. Max./Minima bei Perturbationen und globale Pitch Nodes (Peak Frequenz Nulldurchgänge).

### Bei der Plane Wave Simulation ergab sich mit Standard Perturbation und Loss Faktor 1,33:

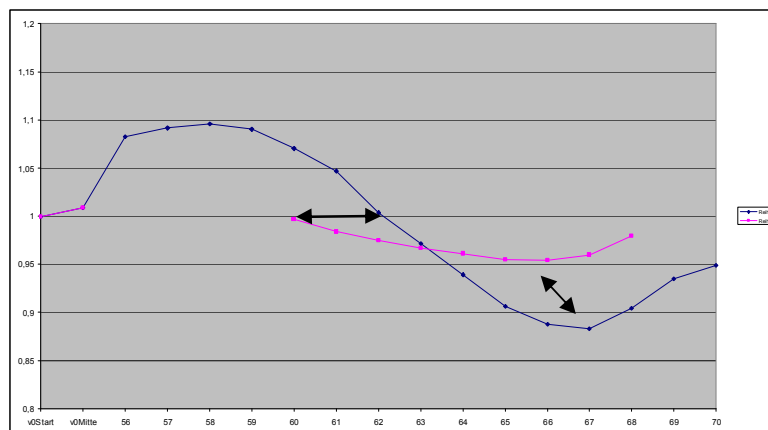
Constrictions um jedes Pressure Maxima herum wirken um  $2 \times 5,5\%$  einer  $\frac{1}{8}$  WL schmäler  
Constrictions um jedes Pressure Minima herum wirken um  $2 \times 5,5\%$  einer  $\frac{1}{8}$  WL breiter

Bei Enlargements umgekehrt. Der tatsächliche Schnittpunkt von XM-PN liegt bei der Simulation daher immer unter der Nulllinie. (Nullversatz)

### Positionen der Magnituden Nulldurchgänge = XM-IN1/2, Start der Magn. Kurven:

Bei der Simulation liegen die XM-IN1 Nulldurchgänge der Peak-Magnituden genau auf den Positionen der Pressure Maxima (bei odd NTs) und Pressure Nodes (bei even NTs).

**Hinweis:** Abweichungen bei der Druckverlaufmessung mit Sondenmikrophon sind vor allem auf den Einfluß des Sondenmikrophons und des Kabels, der ungenauen Positionierungsmöglichkeit (Knicke), als auch teils auf ungenaue Positionswerte von Hülsenstest #5 zurückzuführen!



Einfluss Sondenmikrophon + Kabel

**Das Kabel hat starke Auswirkungen!**

Das Instrument wird um rund 4-5 Cent tiefer; Perturbationen sind so durchwegs alle unter dem Nullpunkt.

**Positionen aus der Druck-Messung mit Sonde sind daher sehr ungenau!**

Impedanz Magnituden Auswertung: Constr. Bolzen Dia 7,25mm (blau) versus Mikrophon+Kabel, (anstelle des Bolzen wurde hier von mir das Mikrophon+Kabel als „Perturbation“ erfasst.)

Hier NT8: Perturbation führt hier zu großen Abweichungen von 2 cm und macht die Druckversuche somit für Auswertungen wenig brauchbar, sie vermitteln allerdings die Existenz von Druckbäuchen!  
*Eine korrekte Messung wäre experimentell ev. über Löcher mit Mikrophonen von aussen möglich!*

In der Simulation mit ART und BIAS© liegen die Impedanz Magnituden Nulldurchgänge horizontal immer auch auf der tatsächlichen Null-Linie (keine Versatz von Schnittpunkten Constriction-/Enlargements nach oben oder unten). Der Abstand beträgt immer exakt  $\frac{1}{4}$  Wellenlänge der betreffenden Peak Frequenz, **das ist bei meinen realen Impedanzmessungen aber nicht der Fall!**

Pitch-Pot-Maxima sind Positionen, wo eine maximale Tonhöhenänderungen möglich sind - haben aber immer einen frequenzabhängigen Versatz zu Magnituden Nulldurchgängen („Pitchversatz“)!

## Messungen - Wiederholter Hülsentest Nr. 5

Ziel und Zweck war es, herauszufinden wie gut die simulierten und daraus berechneten Positionen für XM-IN und XM-PN mit den Messungen übereinstimmen und ebenso das erreichte Potential für Pitch / Tonhöhenänderungen und Magnitude der Peaks (Ansprache).

Die Messungen decken den Bereich 57cm bis 68cm ab, hier befinden sich die Positionen nahe XM-IN (hohe Pitchänderungen) und nahe XM-PN (hohe Magnitudenänderungen) der meisten Naturtöne mit Ventilstellung V0.



Die provisorisch zusammengestellte Testtrompete habe ich zum wiederholten Mal am 5.1.2019 mit einer Hülse getestet.

Die Testhülse ist aus Messing, Innendurchmesser 10,0 mm, Aussendurchmesser etwas geringfügig kleiner 11,0 mm (Boresize des Instruments). Wandstärke 0,5mm, Länge 24mm, das bedeutet eine Durchmesser Einengung von 1mm auf 24mm Länge.

### Instrument:

Mundstück: Warburton 8M9

Mundrohr: Teleskop MR9-T, messbar/sichtbarer Auszug Teleskop-Kluppenzug: 12,7mm

Valvecluster inkl. Ohren: (interne Notiz: Syhre7-Kombination) beginnt bei 210mm

Valvecluster inkl. Ohren ohne Zugabe für die inneren Krümmungen, Ende 310mm.

SZ Bogen Seibold, Ende Stimmzugzwinge aussen bei **V0 Länge: 56,5mm**

Ende Innenzug – Aussenseite **bei 640mm V0**.

11,0mm Hülsen – Gesamtlänge 60mm, (insgesamt 3 Stk.), Sonstige Boresize = 11,0mm danach Schallbecherbeginn **bei 700mm**, aufgeweitete Boresize nun >11,0 mm.

Becher: Mayer-Landau PF, ausgebeult und Beginn inkl. Becherbogen korrigiert (Abmessungen stimmen dadurch nicht mehr mit der ursprünglichen Simulation überein).

Messungen mit neuer Messkopf Zusammenstellung und Softwareanpassung – siehe Part 5, für die einzelnen Messungen wurden jeweils 8 Signaldurchläufe gemittelt (600 Averages). Es wurde pro Hülsenposition 1 Messung durchgeführt.

## Vorgangsweise bei der Messung Nr.5:

Vor Beginn der Messreihe wurde das Signal ca. 1 Stunde ununterbrochen über den Messkopf wiedergegeben, um einen „Aufwärm-Effekt“ völlig auszuschließen, welcher bei vorherigen Versuchen 1-4 eventuell aufgetreten sein könnte.

Am Beginn, vor den Hülsetests wurde eine Messung ohne Hülse durchgeführt „Anfang“.

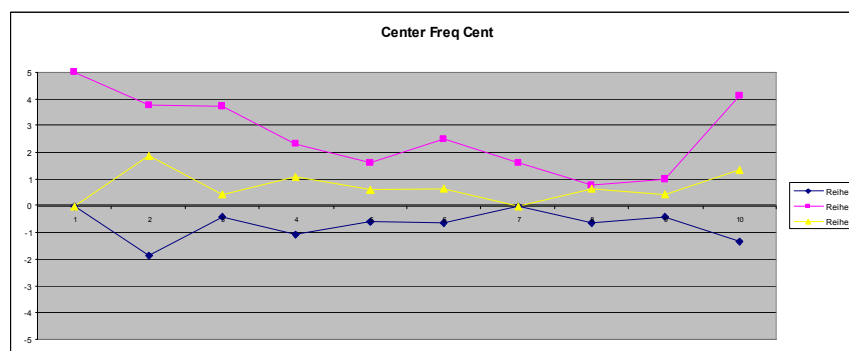
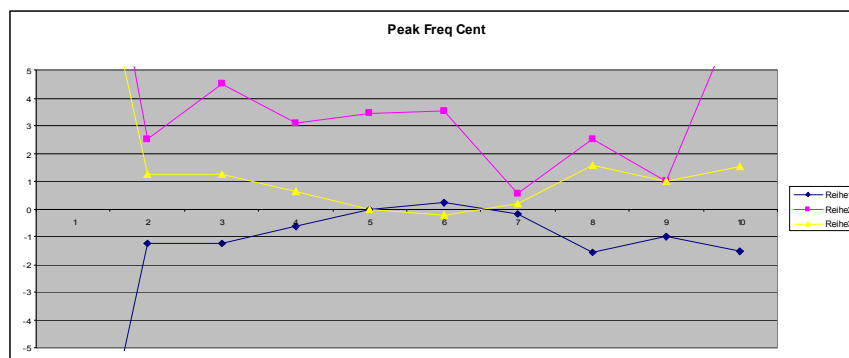
Die Hülse wurde beginnend mit Position V0 = 68,6cm jeweils um 1cm Richtung Mundstück versetzt, die cm Angaben sind immer das Zentrum der 24mm langen Hülse  $\pm 12\text{mm}$ .

Nach Position 63,6cm wiederum eine Messung ohne Hülse für Vergleichszwecke durchgeführt. „Mitte“

Anschließend wurden die restlichen Positionen vermessen. Die Raumtemperatur lt. Digitalthermometer war zu Beginn 22,7 Grad, bei der Mitte (63,6cm) 22,9 Grad, dann durch kurzes Stoßlüften wieder bei 22,7 Grad und stieg auf 22,8 Grad bei Position 57,6cm.

Zum Ende noch zusätzlich eine 3. Vergleichsmessung ohne Hülse „Ende“ bei 22,8 Grad.

Insgesamt ist die **Raumtemperatur** laut digitalem Thermometer um 0,2 Grad gestiegen, was einer theoretische Gesamtzunahme der Tonhöhe von 0,6 Cent entspricht. Tatsächlich ist die Zunahme innerhalb des Instruments wie scheint aber wesentlich höher!

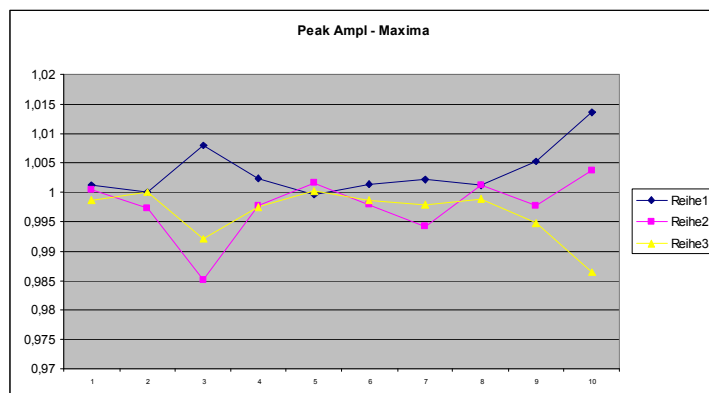


Abweichung Stimmung in Cent vom gemeinsamen Mittelwert ANFANG und ENDE:

dunkelblau 22,7 Grad Beginn, **rosa 22,9 Grad Mitte**, gelb 22,8 Grad Ende

Die Abweichungen sind leider in etwa 2x so hoch als erwartet.

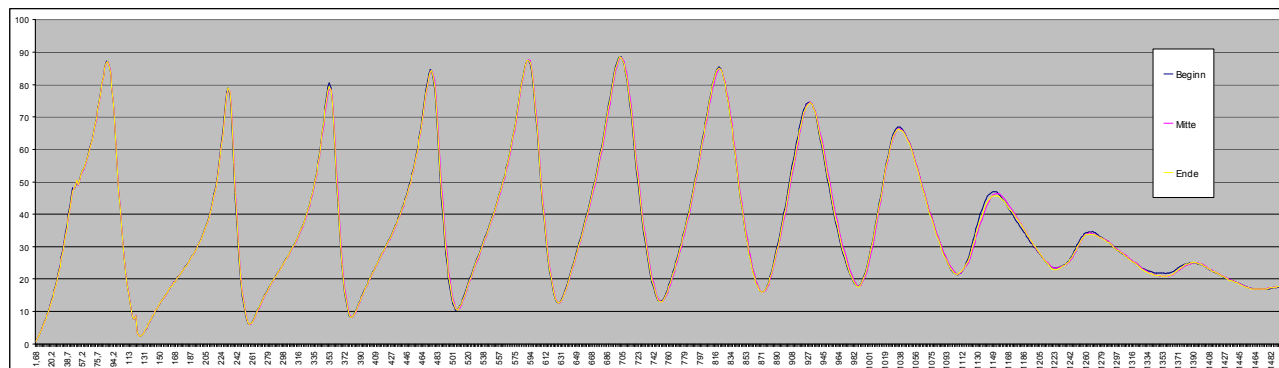
**Messung Mitte weicht stark ab** und kann daher nicht für die Vergleiche mit der Hülse verwendet werden.



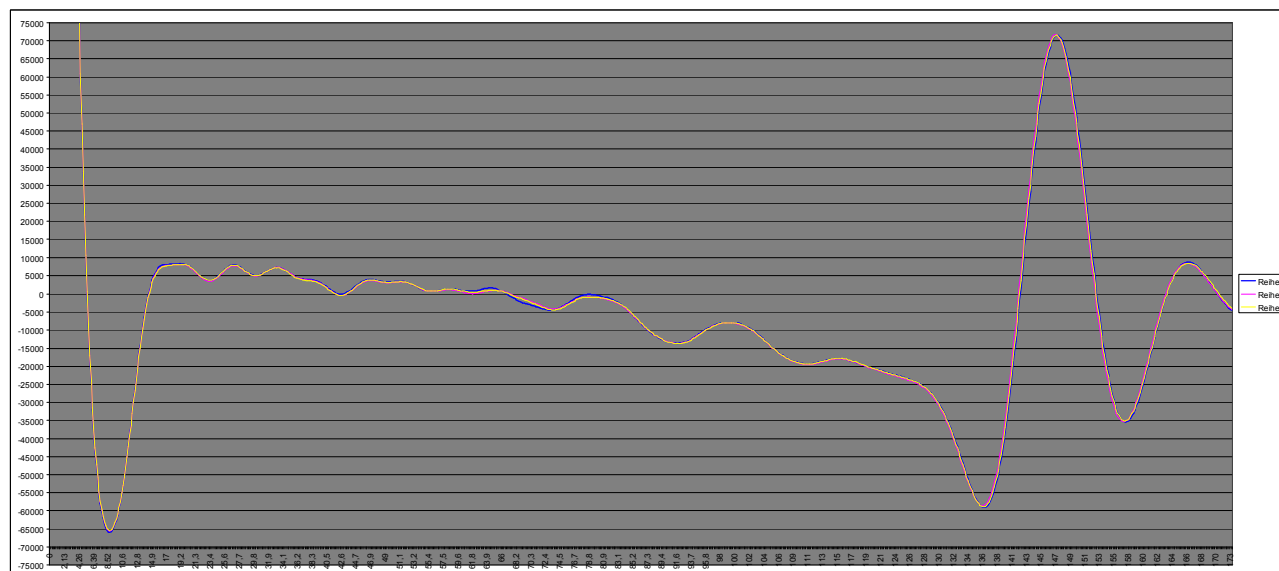
Peak Maxima Magnituden, Abweichung vom Mittelwert ANFANG und ENDE als Faktor.

Es kann hier kein Bezug zu Temperaturänderungen hergestellt werden.

Die Abweichungen betragen weniger als max. +/- 2%, das ist aber bereits ein großer Fehler zum Auffinden exakter Nulldurchgänge der Peak und Minima Magnituden.



Referenz / Kontrollmessungen Beginn, Mitte und Ende der Meßreihe ohne Hülse



Impulse Response: Messungen ohne TEST-Hülse. (Insgesamt wurden 3 Hülsen zum „Ausfüttern“ zwischen Stimmzugende und Becherbeginn verwendet). Die kleine Abweichung bei Position ~ 64cm kommt von einer der 3 Hülsen, die im Durchmesser minimalst von den beiden anderen Hülsen mit 11,0 mm abweicht und bei den jeweiligen Messungen immer an anderer Position war.

### Suche nach Gründen für Abweichungen bei Messung Mitte:

Der Becher musste bei jeder Messung abgenommen werden, die Bedämpfung mit den Kissen war dadurch nicht 100% gleich, Der Stimmzug war vorderhand sehr gut eingefettet, am Ende ließ er sich allerdings gefühlt minimal leichter einführen. (11mm Hülsen haben Fett sowohl an den Becherstart als auch an VStop transportiert.)

Das die schwingende Luftsäule die Instrumentenwand messbar aufwärmt (Reibung), kann ich mir nicht vorstellen. Aber umso länger die Umbauten für die Messungen bis zum Ende dauerten, umso längere Zeit hatte ich Teile (vor allem Schalbecher, Stimmzug) zumindest **kurz in der Hand** und damit das kühlere Metall - ursprünglich auf Zimmertemperatur - dadurch **geringfügig aufgewärmt**. Auch das eine Ursache ?

Für alle Messungen wurde eine Schallgeschwindigkeit von **22,8 Grad** angenommen.  
Die Impulseresponse Messungen zeigen eine max. Abweichung von 1 Sample = 1,93 mm.  
Das ist die kleinste Einzeit, die ich im Zeitbereich bestimmen kann.

Das wären Restfehler bei 100 Hz 3Cent, bei 300 Hz 1Cent, bei 1000 Hz 0,3 Cent Abweichung.

**Das Messen von so kleinen Tonhöhen Unterschieden ist also eine äußerst fragile Sache!**

Hinzukommen die systematischen Meßfehler anhand der generellen Anordnung. Impedanz Magnituden lassen sich etwas leichter erfassen, wobei diese zumindest theoretisch aber auch eine Empfindlichkeit gegenüber Temperaturänderungen haben könnten:

**Z char. =  $p \cdot c / S$  = Dichte der Luft \* Schallgeschwindigkeit / Durchströmungsfläche.**

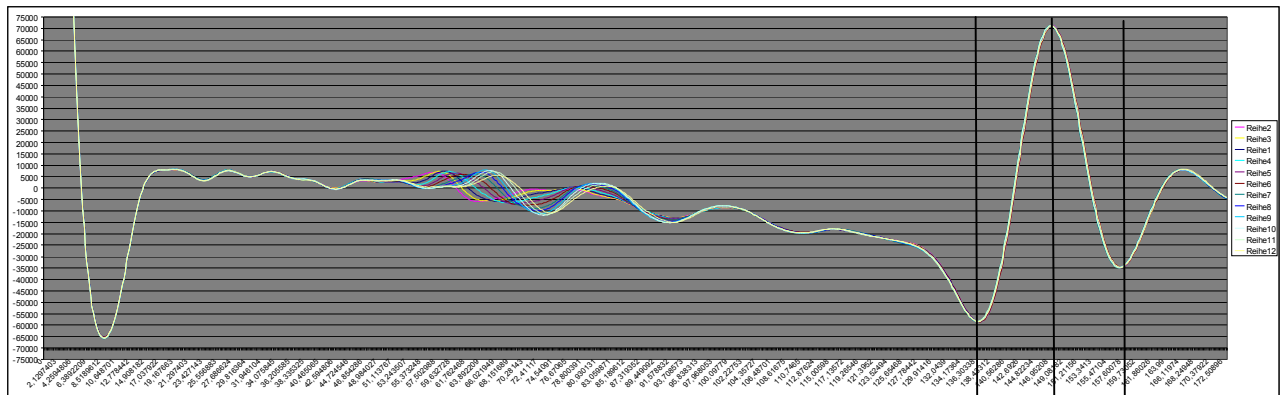
Auf Meeresspiegelhöhe ist die Luft mit rund 1,2041 kg/m<sup>3</sup> (0,0012 g/cm<sup>3</sup>) bei 20 °C durch die darüber lastende Luftmasse stärker zusammengedrückt als in größerer Höhe: Die Luft ist also im Verhältnis dichter. **Warme Luft** hat eine geringere Dichte als **kalte Luft**. Somit ist die **warne Luft leichter**. Feuchte Luft ist ebenfalls leichter = geringere Dichte.

Die Schallgeschwindigkeit + Dichte fließen in die Berechnung der charakteristischen Impedanz mit ein, diese verhält sich wie ein Pegel für die Impedanz Minima und Maxima, die unter oder ober der Wave Impedanz liegen. Es wäre also plausibel, dass auch Impedanzmaxima bei höherer Temperatur etwas anders ausfallen könnten. Dafür sind aber die Temperaturunterschiede aber viel zu gering:

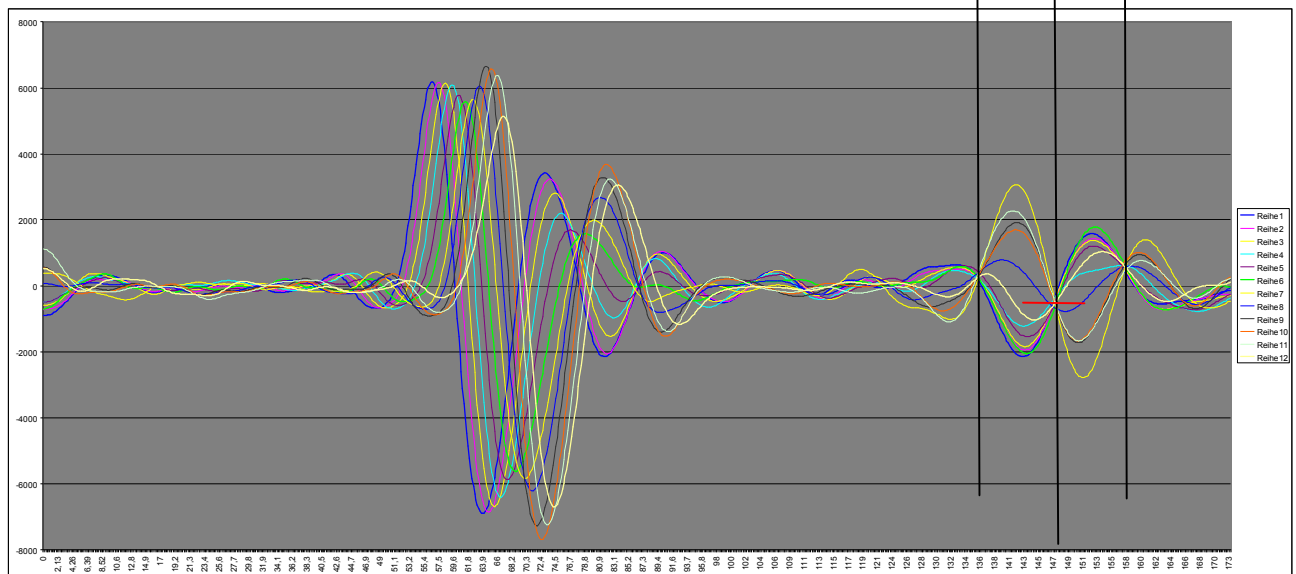
**ART Tests mit Luftfeuchte 30% und 80% zeigen einen gleichen Effekt wie 1,5 Grad Temperaturunterschied. Peakmagnituden liegen hier bei geringerer Dichte um 5 Promille niedriger, Peakfrequenzen im Mittel um 2 Promille (3,5 Cent) höher.**



## Auswertungen Impulsresponse – Zeitbereich – jeweilige Position der Hülse:



Hülsenpositionen Center 57,6 - 68,2 cm übereinandergelegt



Hülsen, jeweils Center 57,6cm bis Center bei 68,2cm, **Differenz = Messung - Referenz**  
 Abweichung +/- vom Mittelwert der einzelnen Referenzmessungen ohne Hülse  
 (Hellgrün = 62,8mm physikalische Centerposition der Test-Hülse / Constriction).

## Generelle Feststellungen Impulseresponse und Hülsenposition:

Die Hülsenposition hat Auswirkung auf die auftretenden Input Impedanz Magnitudenänderungen der Modes. Um physisch 61-63cm haben die meisten / höheren Impedanzpeaks ihre XM-IN Position, verändern sich also kaum. So werden auch im Zeitbereich in der Impulseresponse Auswertung wesentlich weniger starke Reflexe verursacht.

Hülsenpositionen mit maximalem Peak Magnituden-Änderungspotential sind um XM-PN, welches frequenzabhängig bei ca. 65-67 cm liegt. Der 2. im IR darauffolgende negative Ausschlag ist jeweils unterschiedlich **größer** als der eigentliche erste Reflex, bei

57,6cm 12%		
62,6cm <b>nur 1%</b>	= ~ XM-IN1	von ~NT5-10
66,6cm 17%	= ~ XM-PN	von ~NT4-10 und die lokal ~ stärksten Reflexe
67,2cm 14%		
68,2cm	wesentlich kleiner, dafür 29% mehr	beim 2. Reflex.



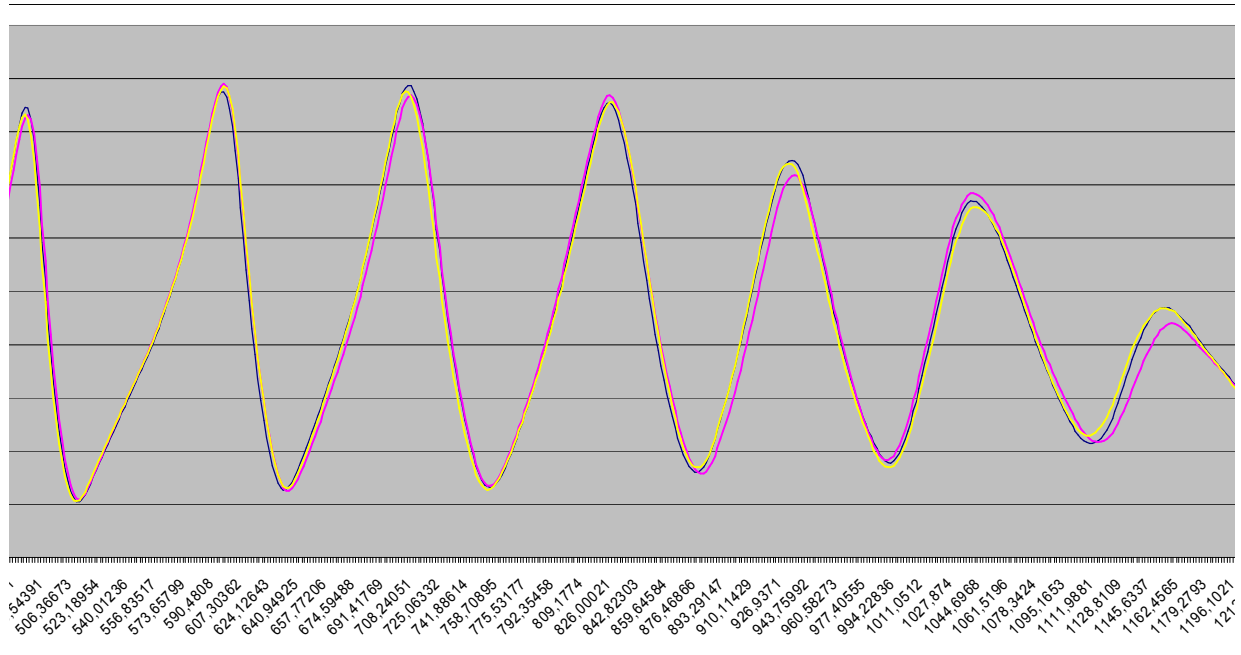
Am globalen max. Reflex des Bechers erkennt man: Der Becher max. pos. Reflex ist mit allen Hülse immer minimal kleiner, **nie höher** = zusätzliche Verluste durch die Hülse. Die Impulseresponse Auswertung zeigt die globale, akustisch wirksame Länge, nicht die physische. Bell max. Reflex hier = 147,5cm V0.

Der arithm. Mittelwert von lokalem pos. Reflex und lokalem neg. Reflex ausgelöst durch die Hülse, abzüglich der akustisch wirksamen Mehrlänge durch Mundstück+Mundrohr nahe der MPC Popp. Freq. (hier 2cm) ergibt die physische Lage / Centerposition der Hülse ab dem Mundstückbeginn.

(Bell IR neg. Reflexposition / 2 ) – Mehrlänge MPC Popp. Freq. (hier 2cm)  $136,0/2 = 68,0 - 2 = 66,0$  cm ergibt bei Bb-Trompeten annähernd die physische globalbe XM-Pitchnode Center Position der MPC Popp. Freq. (zwischen Mode 7 und 8 V0).

Auswertungen im Zeitbereich werden im Teil 6 ausführlich behandelt, äquivalente Längen in Teil 2.

### Demonstration Änderungen der Input-Impedanz: XM-IN1 und XM-PN Positionen:



Ausschnitt Eingangsimpedanzkurve, für bessere Sichtbarkeit hier nur V0 NT4 - NT10:

Blau: Ausgangslage ohne Testhülse

Gelb: Hülse bei ~XM-IN1 ~ 62,6cm Ungerade Naturtöne werden höher, Gerade tiefer (Pitch)

Rosa: Hülse bei ~XM-PN ~ 67,6cm Ungerade: Peak stärker, Gerade: Peak schwächer

## Einzelne Auswertungen der Messungen nach Naturton, Hülsentest #5

Um einzelne Ausreisser besser zu finden und um den allgemeinen Trend zu bestätigen wurden die Veränderungen von folgenden Parametern beobachtet:

- \* gemessene Peak Maxima
- \* Centerfrequenz gebildet bei 98% Höhe der Peak-Magnitude
- \* -3dB RMS Startfrequ., RMS Stop Frequ. daraus Mittelwert RMS Freq.
- \* Mittelwert aus Peak Center+Peak Maxima in Cent
- \* **Ein Mittelwert aus obigen Werten = realistisches Pitch Pot + Pitch Nodes.**

### Zusätzlich:

Veränderung der Impedanz-Minima vor und nach einem Peak  
Wave-Impedanz ... Peak zu Mittelwerten aus Minima vor und nach dem Peak,  
sowie Druckmessungen mit Sondenmikrofon (die Positionen stimmen nicht exakt überein).

### ART-Simulation-Daten Plane Wave Modell:

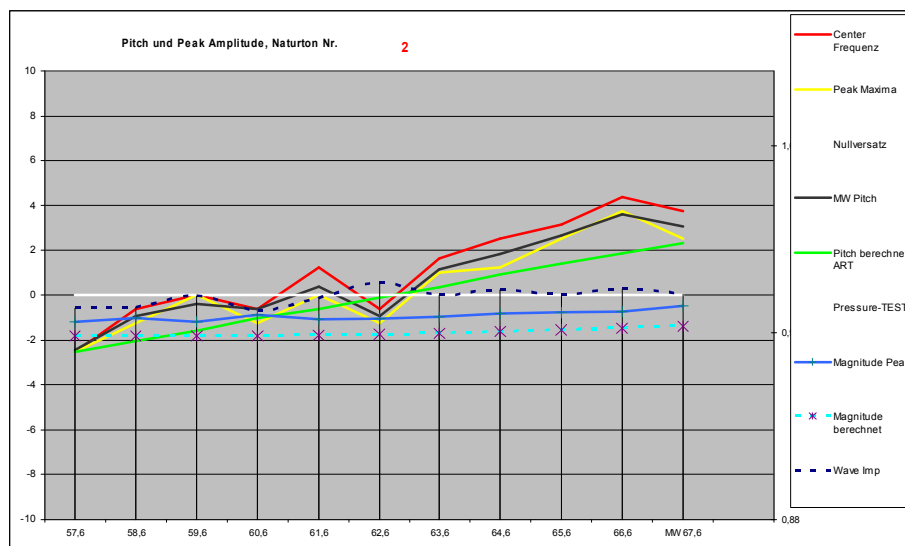
Zusätzlich wurden die aus der ART-Simulation gewonnenen Daten mit der aktuellen Konfiguration berechnet und eingefügt. Diese haben allerdings größere Differenzen zum aktuellen Instrument als erwartet, speziell bei Pitch Nodes und Amplituden-Potential, was leider weitere Korrekturen und Forschungen erfordert.

### ART-Simulation und die daraus berechneten Werte der aktuellen Konfiguration:

Calculated with data from ART01 TEST Virtual Mayer Landau, Tabelle V0-1390 with 24mm Constriction, Dia 1,0								
V0	Hz	Pitch Start cm	Press.Start cm	1/8 wl	Xm Ampl at cm	Xm Ampl+1/8wl	Xm Ampl korr Pos at cm	XM Pitch at cm
NT1	87,1	5,3	2,6	49,5	2,6	52,1	5,3	54,8
NT2	232,4	5,9	4,9	18,6	42,0	60,6	43,1	61,6
NT3	353,3	4,5	3,9	12,2	52,7	64,9	53,3	65,5
NT4	475,3	3,3	2,1	9,1	56,6	65,6	57,8	66,8
NT5	591,4	1,3	0,7	7,3	59,1	66,4	59,6	66,9
NT6	702,0	-0,4	-0,8	6,1	60,6	66,8	61,0	67,2
NT7	820,6	-1,8	-1,7	5,3	61,3	66,6	61,3	66,5
NT8	929,5	-2,8	-2,7	4,6	62,2	66,9	62,2	66,8
NT9	1036,4	-4,0	-3,5	4,2	63,1	67,3	62,6	66,8
NT10	1151,2	-5,0	-4,0	3,7	63,4	67,2	62,5	66,2
NT11	1265,5	-5,2	-4,0	3,4	64,1	67,5	63,0	66,4
NT12	1389,4	-4,8	-3,7	3,1	64,6	67,7	63,5	66,6

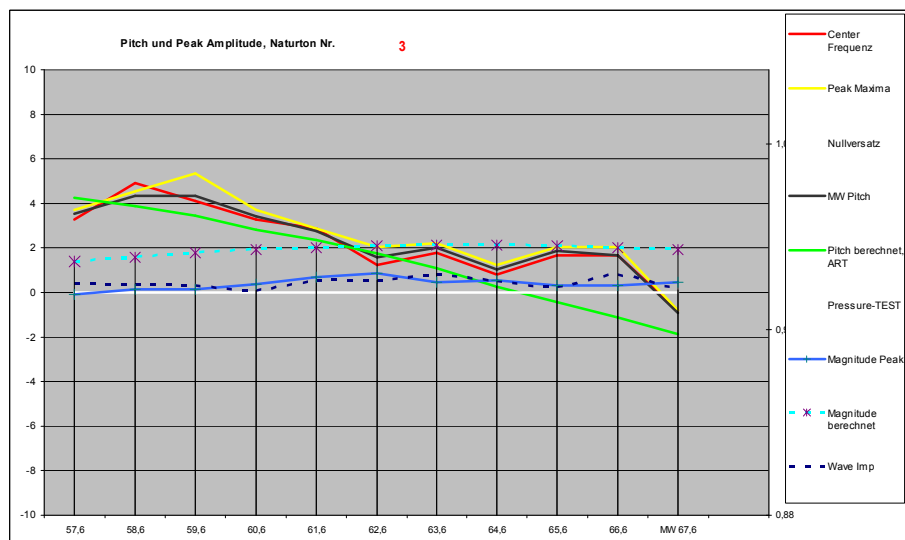
Versatz Xm Ampl to Xm Pitch cm		V0	Pitch Pot CENT at Xm Ampl korr Pos.				Ampl % Pot at Xm Pitch	
Nullversatz Cent down			Constr down	Constr. up	Enl down	Enl up	Constr down	Constr. up
2,6	-0,6	NT1	-5,5	6,3	-6,6	3,5	-0,5	0,6
1,1	-0,4	NT2	-5,5	4,6	-4,7	4,2	-1,8	1,5
0,6	-0,4	NT3	-5,2	4,2	-4,6	3,9	-2,4	2,1
1,2	-0,4	NT4	-5,2	4,3	-4,5	4,0	-2,9	2,7
0,5	-0,4	NT5	-4,7	3,9	-4,2	3,5	-3,8	3,6
0,4	-0,4	NT6	-4,8	3,9	-4,3	3,7	-4,6	4,4
-0,1	-0,4	NT7	-4,6	3,8	-4,1	3,5	-5,8	5,8
-0,1	-0,3	NT8	-4,5	3,7	-4,0	3,4	-6,7	6,8
-0,5	-0,3	NT9	-4,3	3,6	-3,9	3,4	-7,5	7,7
-1,0	-0,3	NT10	-4,7	3,8	-4,2	3,6	-7,3	7,6
-1,2	-0,4	NT11	-5,1	4,3	-4,6	4,0	-6,2	6,7
-1,1	-0,4	NT12	-5,7	4,7	-5,0	4,4	-5,4	6,1

Hinweis: Messpunkte 67,2cm und 68,2cm sind zu einem Mittelwert bei 67,6 cm zusammengeführt.



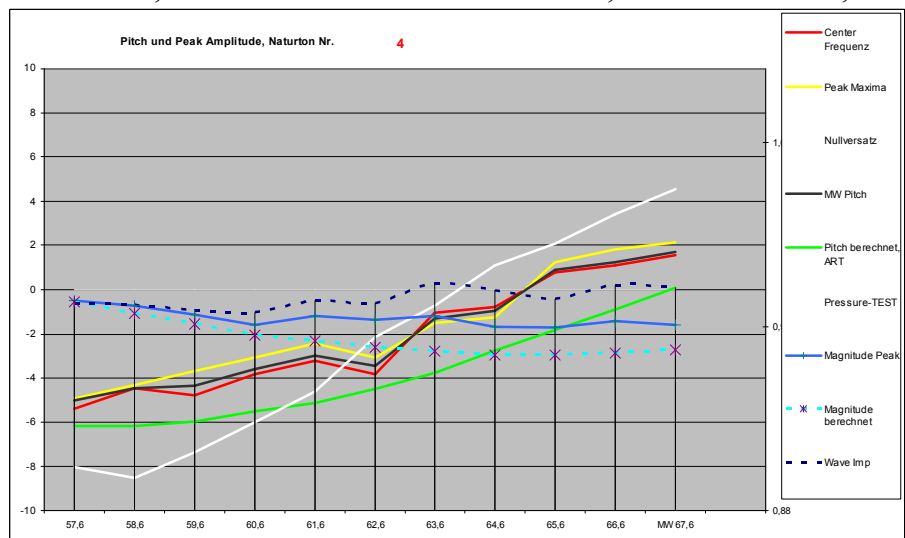
1/8 WL=18,6cm

Pressure-Test: PrMax bei ~78cm, gibt PrNode bei ~ 41 cm



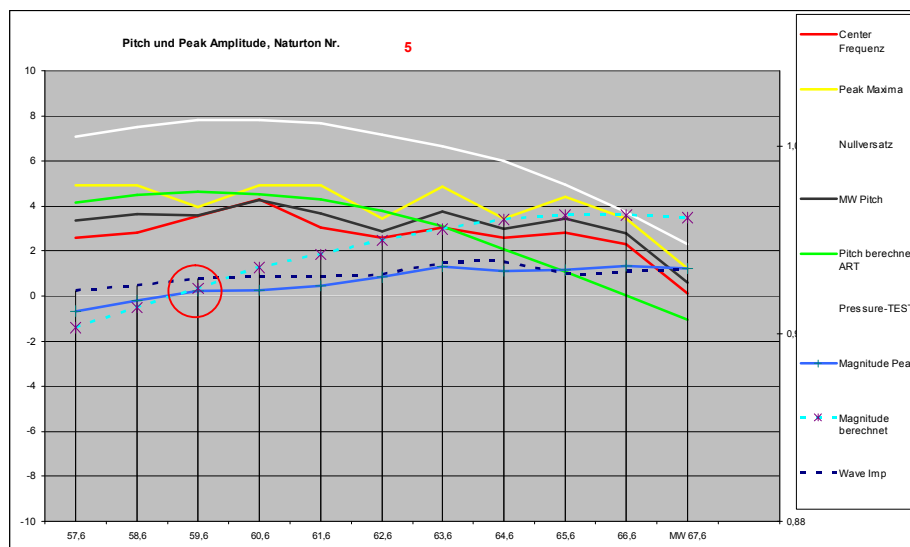
1/8 WL=12,2cm

Pressure-Test: PrMax 54,2 cm / PrNode 78,6cm



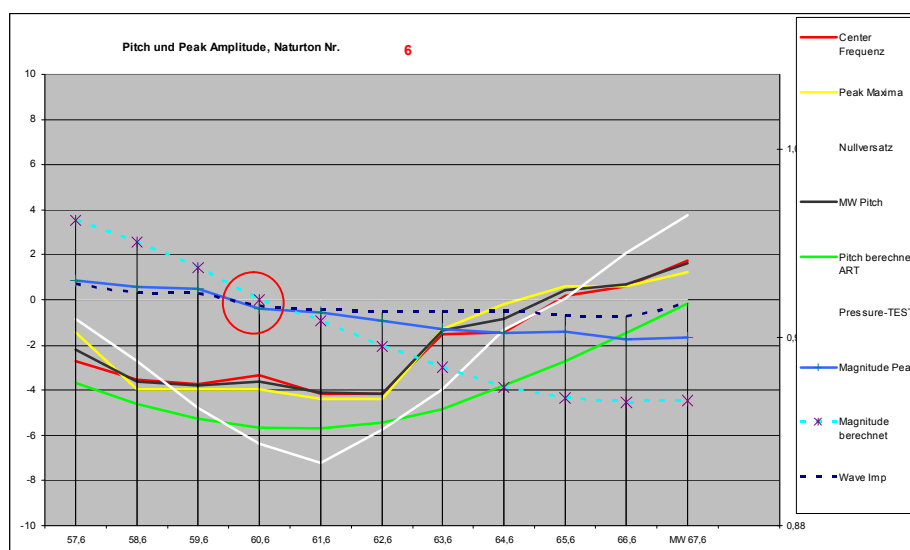
1/8 WL=9,2cm

Pressure-Test: PrNode 58,6 cm, PrMax. ~ 76,8 cm



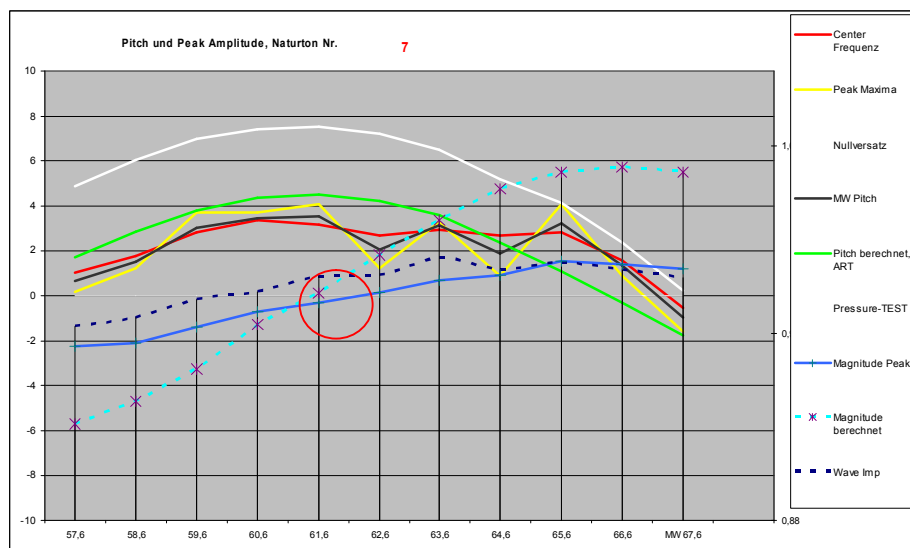
1/8WL = 7,3cm

Pressure-Test: PrMax 60,0 cm, PrNode 74,6cm

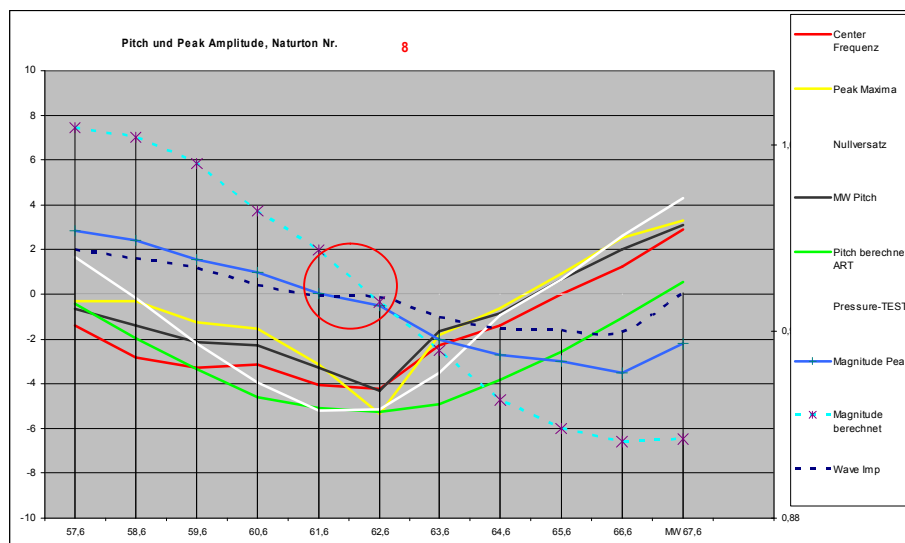


1/8 WL = 6,1cm

Pressure-Test: PrNode bei 61,6 cm PrMax bei 73,8cm

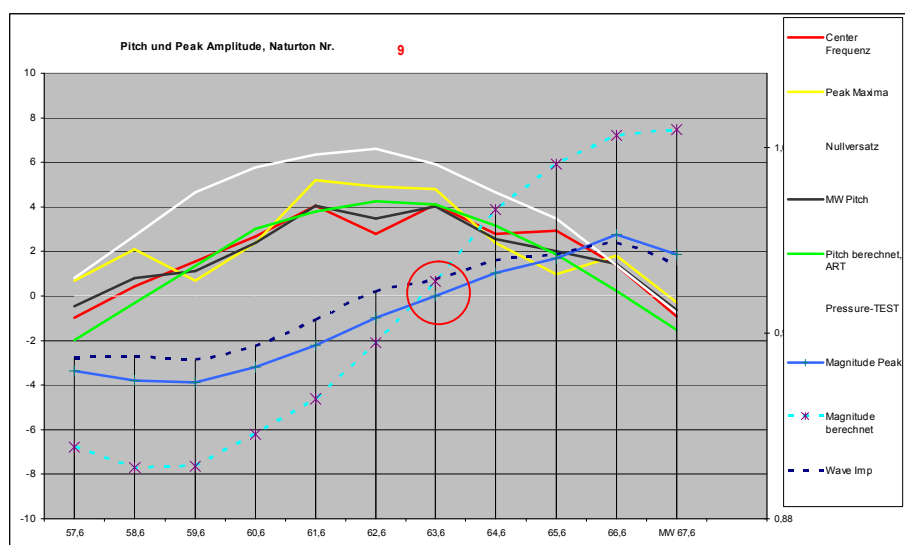


1/8WL=5,3cm Pressure-Test: PrMax bei 61,6 cm PrNode bei 72,2 cm



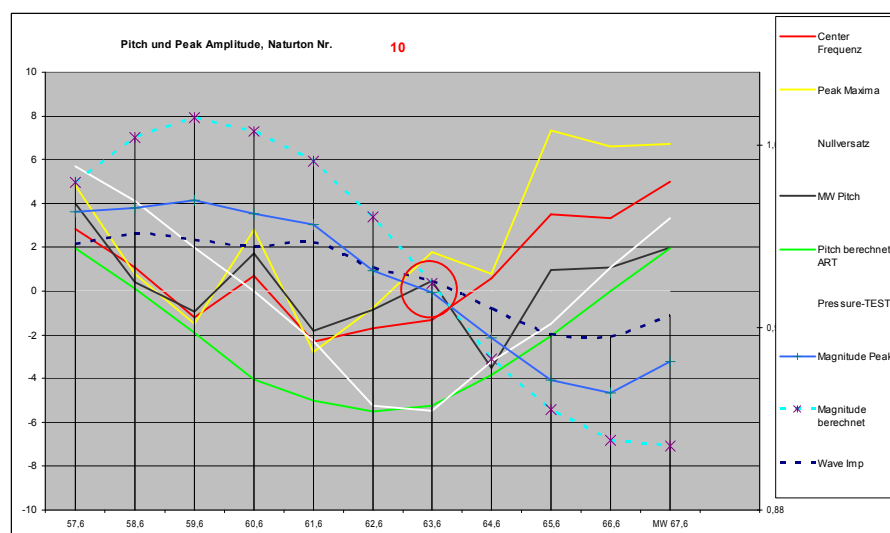
1/8 WL=4,65cm

Pressure-Test: PrNode bei 61,5 cm, PrMax bei 71,3cm



1/8 WL=4,2cm

Pressure-Test: PrMax bei 62,2cm Pr. Node 70,6cm



1/8 WL=3,7cm

Pressure-Test: PrNode bei 62,8 cm, 77,6cm PrMax. bei 70,2cm

Ab NT 10 sind nur noch die Amplituden Nulldurchgänge teilweise und einigermaßen auswertbar.

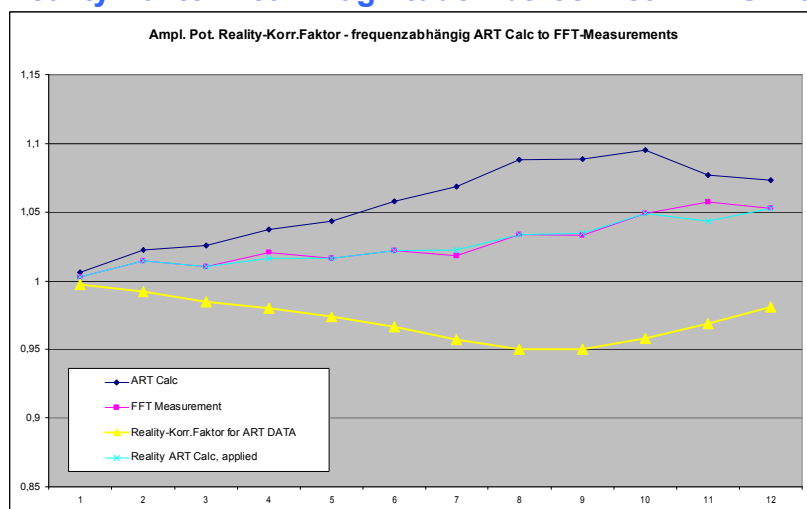
## Auswertung Peak-Magnituden Hülseentest Nr.5:

Die Impedanz Peak Magnituden Nulldurchgänge bei XM-IN1 stimmen im ~Halbzentimeterbereich, gerade NT Pos. (bei Druckknoten) sind aber bei der FFT-Messreihe größtenteils früher, ungerade NT Pos. (bei Druckbäuchen) sind aber bei der FFT-Messreihe später als bei Simulation.

	Pos.Mess.cm	ART-Potential	Ist-Messung #5:
NT11:	?	1,077	1,057
NT10: Pr. Node	- 0,3	1,095	1,049
NT9: Pr. Max	+0,2	1,089	1,033
NT8: Pr. Node	- 0,6	0,92	0,958
NT7: Pr. Max	+0,6	1,0685	1,0184
NT6: Pr. Node	- 0,5	0,9456	0,9788
NT5:	0	1,0435	1,0162
NT4:	?	0,964	0,9795
NT3:	?	1,0254	1,0101
NT2:	?	0,978	0,9856

Das berechnete Magnituden-Potential ist bei Simulationen immer wesentlich zu hoch.

## Reality-Faktor Peak Magnituden berechnet ART-Simulation zu aktueller Messung:



So eine „Reality“-Faktor-Kurve muß künftig zur verwendeten ART-Simulation für ein realistisches Amplituden-Potential angewendet werden. Das entspricht bei NT 8 – NT9 in etwa einer Halbierung des mit ART errechneten Potentials! (Loss Faktor 1,33 ART Simulation zu gering!)

## Position von ermittelten Pitch-Nodes und Pitch-Potential:

Das Pitch-Pot. ist in der Simulation speziell vertiefend überdimensioniert, allerdings stimmen auch Pitch-Nodes nicht mit der Simulation überein: Alle odd Modes später, alle even Modes viel früher!

Die Plane Wave Simulation ergab, dass Constrictions mehr Pot. als Enlargements haben, speziell zum Vertiefen, was beim Simulationsmodell Mapes-Riordan aber nicht der Fall ist.

Plane Wave Simulation, Std. Perturbation=R 0.5mm, L20mm, Pot. Mittelwert NT2-12, V0, near XM-IN1:				
Constriction bei PrMax (odd NTs):	raises Pitch	+3,9 Cent		
Enlargement bei PrMax (odd NTs):	lowers Pitch	-4,2 Cent	(Faktor x1,11)	
Enlargement bei PrNode (even NTs):	raises Pitch	+3,8 Cent		
Constriction bei PrNode (even NTs):	lowers Pitch	-4,9 Cent	(Faktor x1,27)	

Es scheint, als ob ein Pitch Nullversatz nach unten in der Realität nicht gegeben ist und sogar ein teils großer Versatz in die andere Richtung – nach oben – stattfindet. Rund +2 Cent anstelle -0,35 Cent. Beim ART-TEST closed-open Frustum ist das ebenfalls der Fall. Beim Closed Zyl. ART-Test ~ -0,7 Cent.

### Gemessene Pitch Nulldurchgänge liegen gegenüber der ART-Simulation bei XM-PN:

Pitch Nodes ungerade NT -> **weiter Richtung Schallbecher** = -> Richtung Flußbauch  
 Pitch Nodes gerade NT <- **weiter Richtung Mundstück** = <- Richtung Flußbauch  
 Magnit. Nodes ungerade NT -> **weiter Richtung Schallbecher** = -> **Press. Max ist ev. später**  
 Magnit. Nodes gerade NT <- **weiter Richtung Mundstück** = <- **Flußbauch ist ev. früher**

FFT Messungen ergeben gegen ART-Simulation:

Mode 2	Pitchnode ca cm	mehr pot up +2c	Pitchänderungen:	
Mode 3	2,5 später	od. Versatz nach oben	mehr pot up	Peak Freq. höher +30C
Mode 4	2,5 früher	od. Versatz nach oben +2c	~ weniger pot down.	
Mode 5	1,5 später	etw Versatz nach oben	~	
Mode 6	2,0 früher	od. Versatz nach oben +2c	tiefer, weniger pot down	
Mode 7	1,0 später			Magn. 0,6 cm später
Mode 8	2,5 früher	oder Versatz nach oben +3c	tiefer, weniger pot down	Magn. 0,6 cm früher
Mode 9	breiter –später	oder versatz nach oben +2c		
Mode 10	schmäler –früher	versatz nach oben +3c	viel weniger pot down.	

### Kommen bei der ART Plane Wave Simulation falsche Ergebnisse heraus? Es sieht beinahe so aus.

*Würde man die in der ART-Simulation mit Lossfaktor 1,33 ermittelte +/-5,5% 1/8WL Regel anwenden, wären alle ermittelten Abweichungen um diese +/- 5,5% noch größer!*

Das könnte auf einen Versatz nach oben und somit auf geänderte Positionen des „Ursprungs“ schließen lassen. Der Ursprung selbst wiederum ist, wo ein Gleichgewicht von Druck zu Fluß Potential ohne Perturbation vorliegt.

### Die Suche nach Lösungen in Verbindung mit realistischen Verlusten:

Mode-matching Zylinder + Schallbecher V0 verursachen prinzipiell (auch bei der ART Simulation):

Tendenz Peaks: even Modes ↘ odd Modes ↗ = odd Modes sind dadurch mächtiger, aber tiefer!

Andererseits können Druckknoten global nur jeweils gleiche Abstände =  $\frac{1}{2}$  WL anhand Peakfrequenz haben (Ausnahme nahe Bell-Skirts).

Mit höheren Verlusten = der Magnituden Abstand Pressure Antinode zu Pressure Node wird kleiner:  
 Faktor 0,7071 = Wurzel aus  $\frac{1}{2}$  wandert dann näher an Positionen von Pressure Nodes; besser von Flußbäuchen. (Nur beim Zylinder sind Druckknoten und Flußbäuche prinzipiell ident = kein Versatz.)

Das Gleichgewicht von Druck : Fluß Verhältnissen, wo sich Pitchnodes – (=immer als ein Nebenprodukt) ergeben können, verlagert sich von der Druckbauch-Domäne in Richtung Flußbauch-Domäne. Insgesamt können sich Druck- und Flußbäuche weniger stark ausbilden. Globale Magnitudenänderungen fallen schwächer aus. (Ähnlich wie bei weiterer Entfernung vom Messkopf)

Das führt offensichtlich auch dazu, daß Peak Magnituden-Nodes bei starken Perturbationen nicht mehr strikt auf der Null-Linie kreuzen, sondern bei starken Constrictions einen Versatz nach unten erleiden, genauso wie das Pitch-Nodes erfahren, wenn das Druckbauch-Regime dominiert!

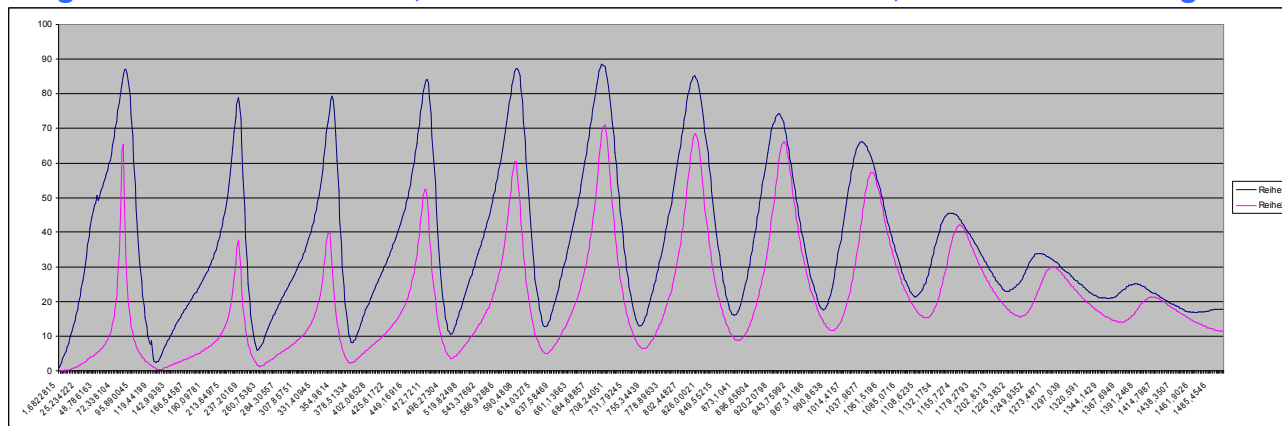
Immer wenn wenig Magnituden-Potential vorliegt, dann ergibt sich daraus mehr Pitch-Änderungspotential: Das global resultierende Magnituden-Änderungspotential fällt zugunsten Pitch Pot., das nicht steigt, und offensichtlich ergibt sich auch ein resultierender +Nullversatz bei Perturbationen zu höheren Frequenzen!

Denkt man in Perturbations-Spiralen Logik, dann sind bei höheren Verlusten:

Magnitudenänderungen kleiner - die Spirale wird weniger hoch  
 Pitchänderungen größer - die Spirale wird breiter, durch +Nullversatz aber weniger Pitch Pot down  
 Dadurch ändern sich - die Neigungswinkel und Positionen, Nulldurchgänge, Nullversatz.



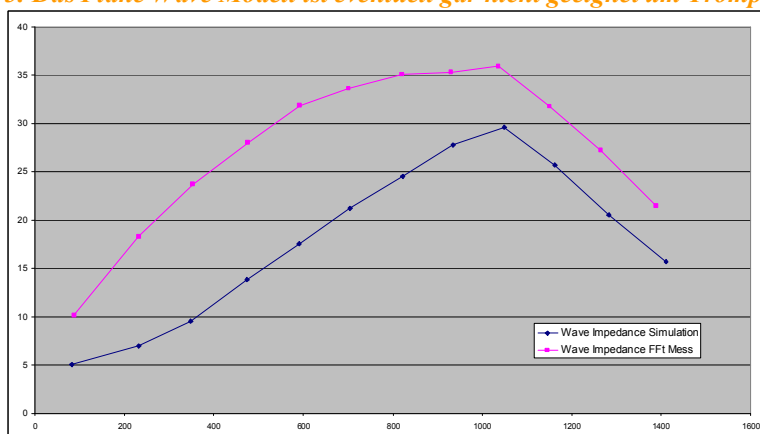
## Vergleiche Simulation ART, Plane Wave mit Loss Faktor 1,33 zu FFT-Messung V0:



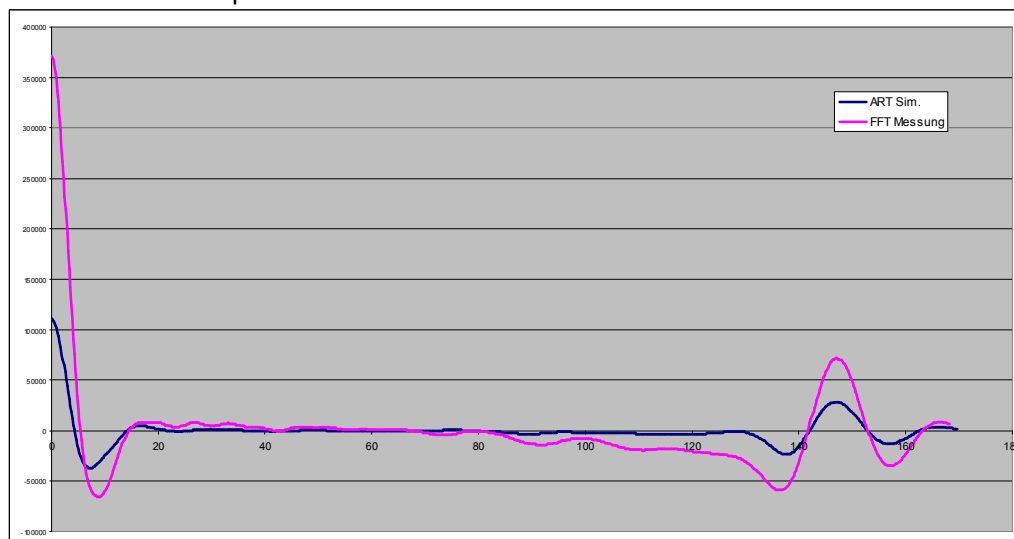
Große Unterschiede: Simulation (rosa) und Messung haben sehr unterschiedliche Kurvenformen; speziell die aufsteigende Flankenform unter der MPC-Popping Frequenz ist sehr unterschiedlich. Desweiteren liegen die Peak Frequenzen bei der Simulation oberhalb der MPC Popping Frequ. viel höher (zu hoch).

**Mögliche Ursachen neben geändertem Becherbeginn und generell Querschnittunterschieden:**

1. Der Loss-Faktor bei der Simulation ist scheinbar zu gering gewählt.
2. Das Mundstück Kesselvolumen ist bei der Simulation scheinbar minimal kleiner, das Mundrohr etwas anders. Die akustische Auswirkungen daraus sind ebenfalls eine Erklärung, siehe Teil 2F.
3. Das Plane Wave Modell ist eventuell gar nicht geeignet um Trompeten zu simulieren?

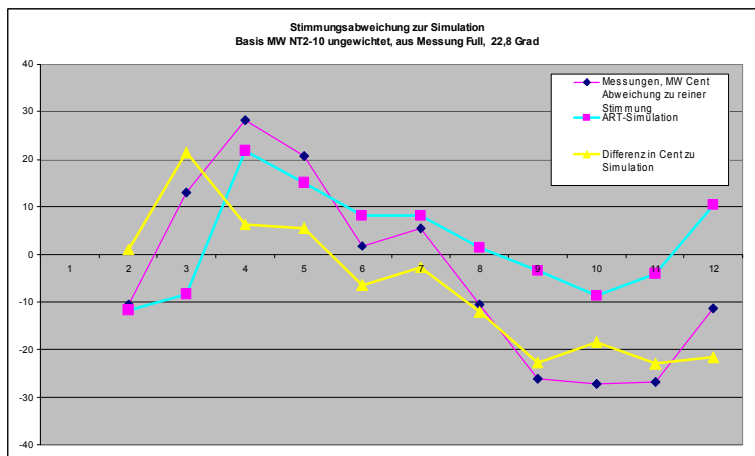


Ermittelte Wave-Impedanz Kurven sind daher natürlich ebenfalls sehr unterschiedlich.



Impulseresponse – Der Startwert bei der FFT-Messung ist aufgrund der unterschiedlichen Berechnung (Phasenwinkel) bei der Messung zu hoch, was einen max. Becher Reflektionsfaktor hervorbringt, der auf der Skala nur ca. ½ so groß erscheinen kann, das ist bekannt und kein Problem, siehe Teil 5. Der Verlauf ist durch die unterschiedliche Impedanzkurvenform wesentlich anders ausgeprägt.

## Große Stimmungsabweichung der FFT-Messung zum ART- simulierten Instrument:



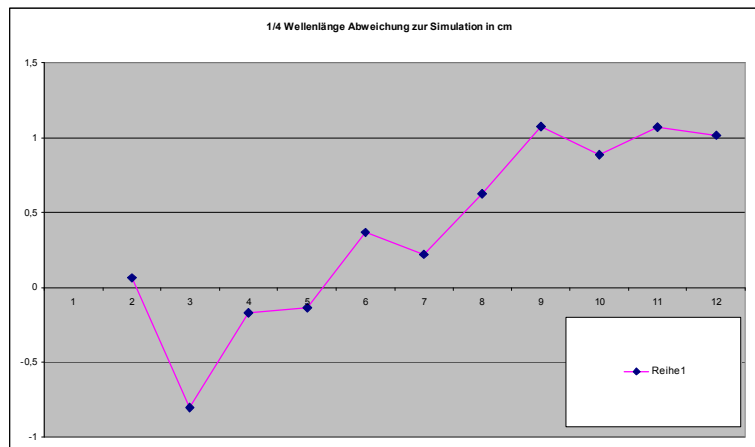
ART verwendet, als Standardwert einen Parameter für Luftfeuchte von 80 %, darauf bin ich leider erst nach der Simulation gestossen.

D.h. Die simulierten Frequenzen sind vergleichbar, also ob die Raumtemperatur ~1,5 Grad wärmer angenommen worden wäre (ca. 23,5 Grad statt 22 Grad.) Grundstimmung Simulation dadurch ~+3,5 Cent höher.

Die Abweichungen zwischen simulierten Instrument und Messung betragen aber bis zu +/-24 Cent!

Das simulierte Instrument ist nach oben viel höher, die Grundstimmung rund 10 Cent höher.

Simulation: Loss-Faktor zu klein gewählt, Mundstück Kesselvolumen eventuell zu klein. (Siehe Teil 2F)  
Die große Abweichung von Mode 3 muß aber an anderen Schallbecherabmessungen liegen.



Abweichung  $\frac{1}{4}$  Wellenlängen der Modes V0, Unterschiede Messung zum simulierten Instrument in cm sind jeweils die Abstände von Pitch Nodes; Magnitudennodes; Druckbäuchen zu Druckknoten; rund +/- 0,5 mm gegenüber der MPC Popp. Frequ. = Unterschiedliche Grundstimmung. Das physische Instrument ist um diese Beträge inharmonischer als in der Plane Wave Simulation. Mode 7-9 deuten auf Unterschiede im Mundrohr hin – siehe Teil 2F.

## Behandlung von Verlusten bei der Simulation

Bei der virtuellen Trompete ist ein „Loss Faktor“ bei jedem Rohrabschnitt auszuwählen. Dieser wurde von mir vorab willkürlich mit 1,33 über die ganze Länge festgesetzt. Wie sich zeigt ist dieser Wert offensichtlich mit dem Plane Wave Modell zu gering für realistische Ergebnisse. Ein Wert um 1,5-1,6 wäre scheinbar realistischer für ein altes, ausgebeultes Instrument mit etwas undichten Ventilen und dünnen Blechstärken beim Schallbecher. Daraus würde sich eine höhere Bedämpfung und somit ein niedrigerer Q-Faktor ergeben. (Breitere Resonanzen) sowie tiefere Resonanzfrequenzen.

Die Frage, in welchem Abschnitt Verluste = z.b. durch Erwärmung, schwingende Wandung etc. größer oder kleiner ausfallen kann ich derzeit nicht bewerten. (Mundstück wird sicherlich am wärmsten, schwingt wegen seiner großen Masse aber weniger als Schallstückteile, die nicht sonderlich erwärmt werden, dafür wird die kugelförmige Auslenkung wiederum im Mundstück sicher bei weitem mehr gehemmt als im Schallstück-Endbereich, etc.)

Die großen Abweichungen der Simulation machen es notwendig, nochmals die verschiedenen Simulationsmodelle zu analysieren, ebenso die Auswirkungen von simulierten Verlusten.

## Höhere Verluste beim Plane Wave Modell simulieren:

Bisher wurden die meisten Simulationen von mir mit ART und dem ebenen Wellenmodell durchgeführt, weil die Reihmessungen hier am einfachsten zu bewerkstelligen sind, ebenso die Auswertungen.

Nun ist aber ein strukturiertes Vorgehen notwendig:

1. Unterschied bei höheren Verlusten in ART ermitteln mit der Standard Perturbation.

ART: Hülse r0,5mm, Länge 20mm, Simulation mit Loss Faktor 1,66 22 Grad und Luftfeuchte 80%, entspricht einer Schallgeschwindigkeit bei rund 23,5 Grad mit „normaler“ Luftfeuchte ~ 30%.

Vergleich der Verlustfaktoren 1,33 und 1,66 auf die ermittelte Auswirkung mit der Standard-Perturbation: Hülse bzw. Erweiterung Radiusdifferenz 0,5mm mit Länge 20mm:

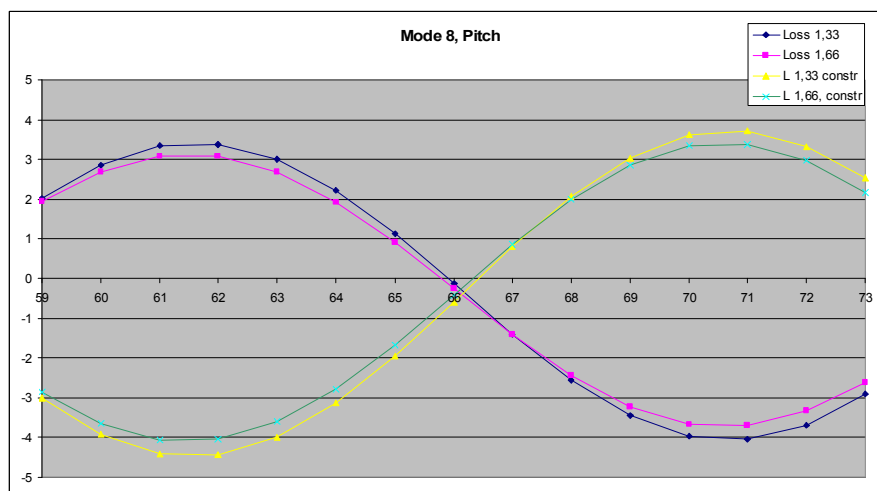
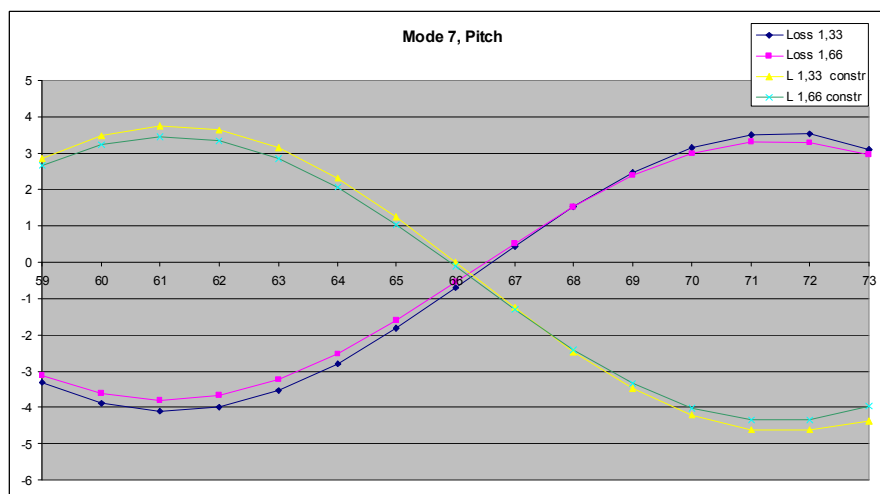
## Ergebnis - ART, Plane Wave Modell mit Loss Faktor 1,66 und Standard-Perturbation:

Alle Nulldurchgänge Pitch + Magnituden sind minimal um ~1-2mm Richtung Mundstück verschoben, =niedrigere Frequenzen und längere Wellenlängen – das Mundstück hat mehr effektive (negative Länge)

odd+even Magnituden Pot. ist geringer, spez. höhere Modes.

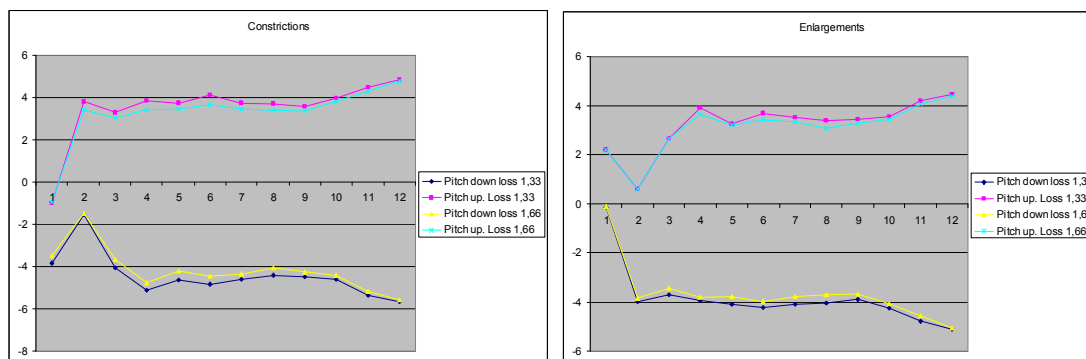
Das Änderungspotential ist gegen Messungen dennoch zu hoch.

Magnituden-Nodes in der Simulation haben nach wie vor keinen Versatz.

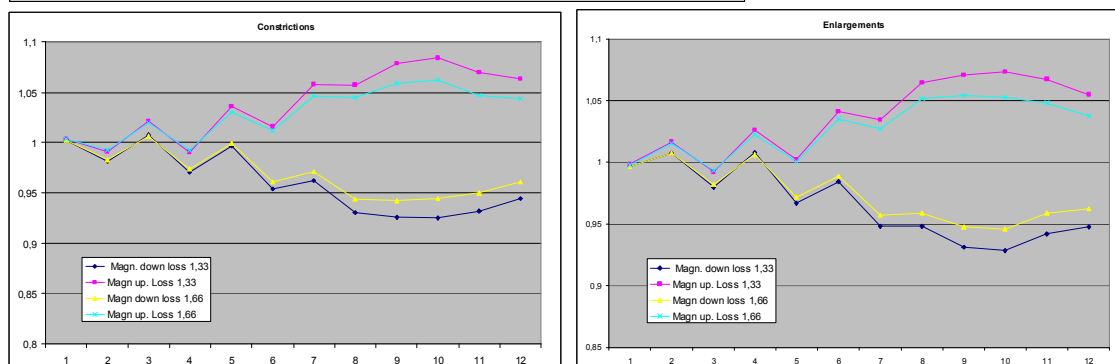
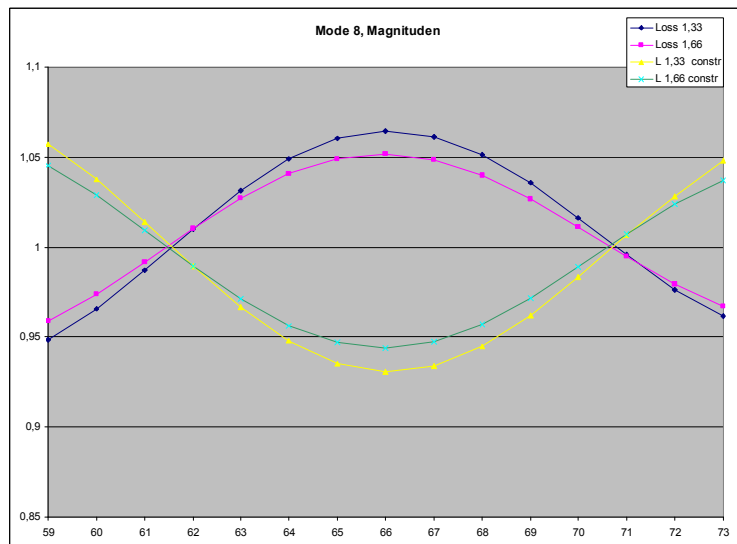
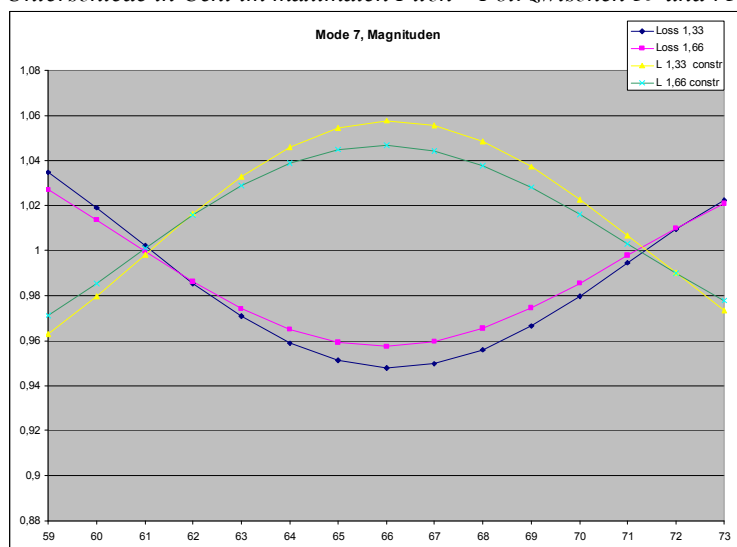


Pitch – Nullversatz bleibt bestehen, blau und rosa = Enlargements

Entgegen meiner Erwartungshaltung ist das mögliche Pitch Potential allerdings ebenfalls geringer (wenn auch nicht viel), relativ ist jedoch das Verhältnis der max. möglichen Veränderungen in Richtung Pitch Pot. gewandert. Das mögliche +/- Pot ist nun näher an den FFT-Messungen.



Unterschiede in Cent im maximalen Pitch – Pot. zwischen 59 und 73cm Centerposition mit Standard-Perturbation



Unterschiede im maximalen Magnituden – Pot. zwischen 59 und 73cm Centerposition mit Standard-Perturbation

## Simulation mit starken Verlusten, und 8mm Kugel

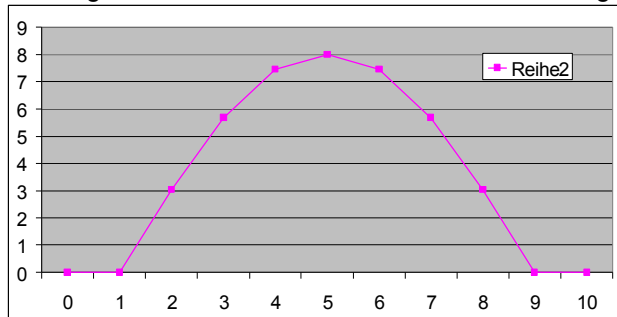
### Weitere Tests mit Plane Wave, Lossfaktor 1,66 und XXL-Perturbationen, 1.8.2021!

ART Perturbation 59-73cm, mit Lossfaktor 1,66 und simulierter Kugel Dia 8mm.

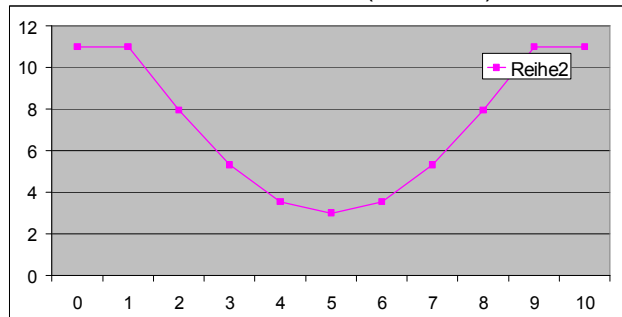
Hiervon gibt es mit Loss 1,33 und Hülsen 0,5 und 1mm bereits komplette Versuchsreihen für Vergleiche, die Luftfeuchtigkeit belasse ich daher bei 80%, was einer Schallgeschwindigkeit bei ~23,5 Grad entspricht.

Simulation Constriction mit Kugel 8mm Durchmesser:

Die Kugel als Probe muß ihre Querschnittänderung genau wie die einer Sinuskurve (Halbkreis) annehmen:

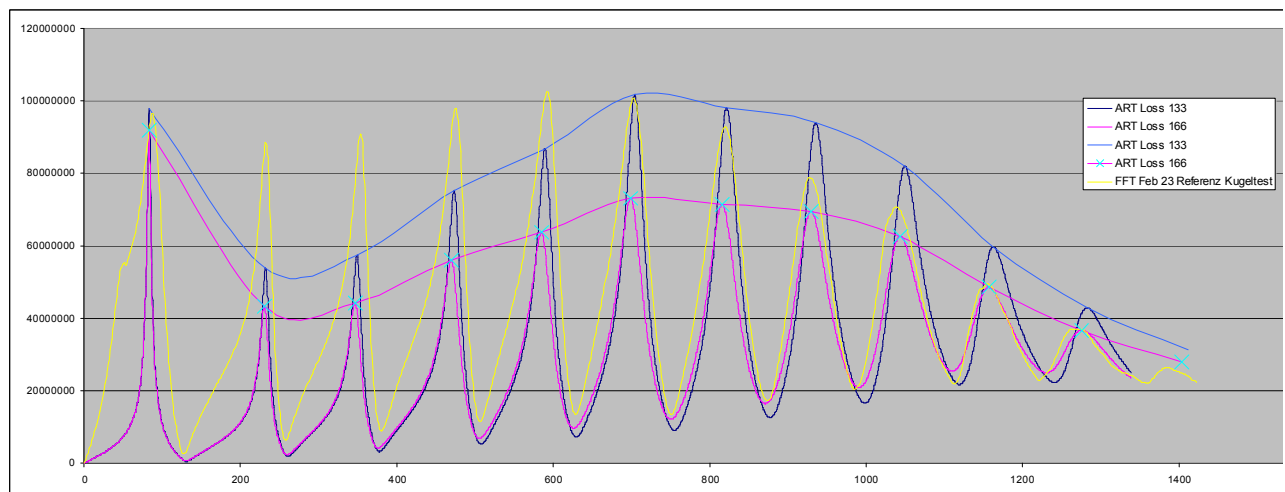


Kugel, Constriction Probe 8mm, Durchmesser

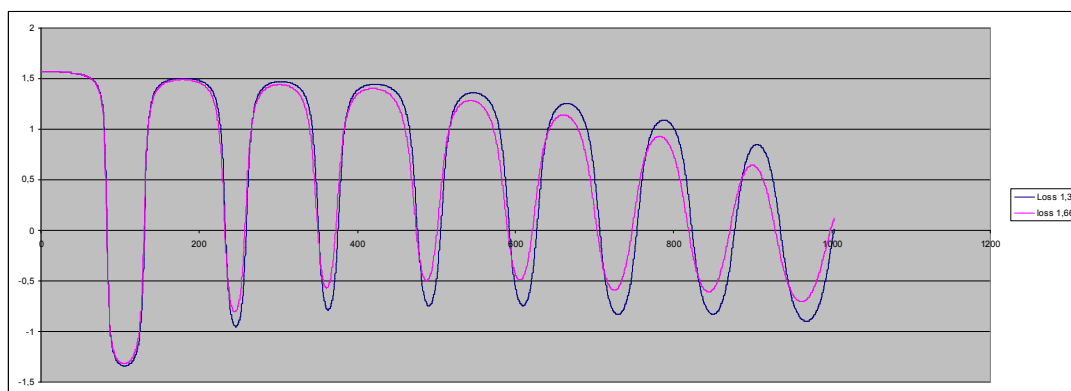


freie Restbohrung 11mm – Kugel, Dia in mm: kurz nur 3mm!

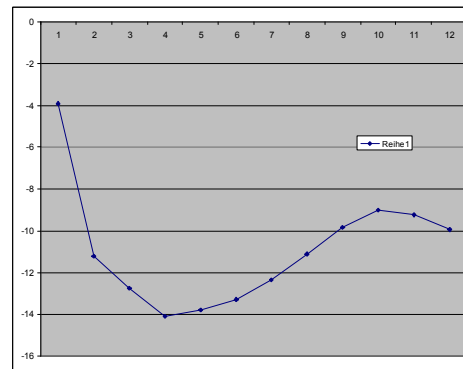
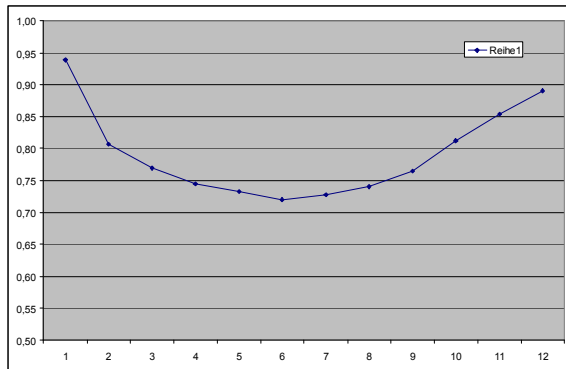
Da eine Länge von 10mm einfacher zu implementieren ist, am Beginn + Ende je 1mm mit Änderung 0 mm.  
y= Durchmesser Kugel 8mm; x = Zentrum bei 5mm. Zwischenwerte sind etwas aufgerundet.



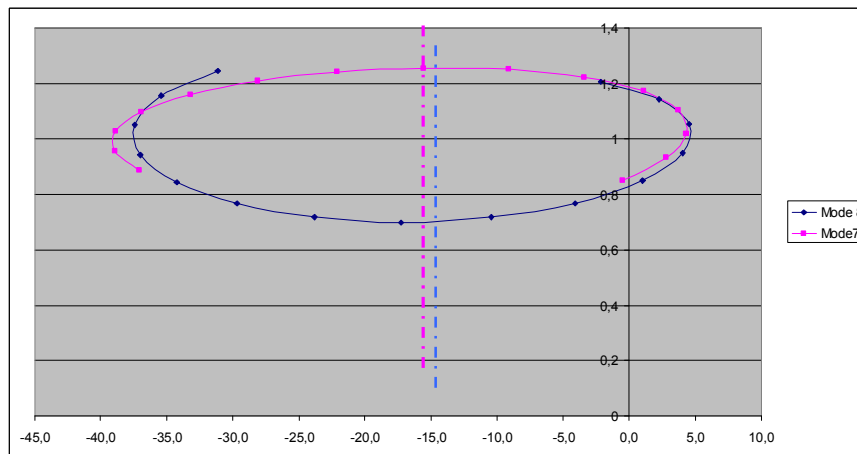
Vergleich ART V0, Lossfaktor 1,66 vs 1,33, sowie eine FFT Referenzmessung (Kugelttest) vom Feb. 23 2020



Phasen in Rad (1,57= 90 Grad), Phasenwinkel 0 und fallend: Peak Maxima, Winkel 0 und steigend: Imp. Minima.



Loss Faktor 1,66 anstelle 1,33: Faktor Änderung Peak Hüllkurve, Peaks 2+8 sind -11 Cent tiefer, Mode 4 -14C



59-73cm, Drehrichtung gegen den Uhrzeigersinn, jeder Punkt = 1cm Abstand.

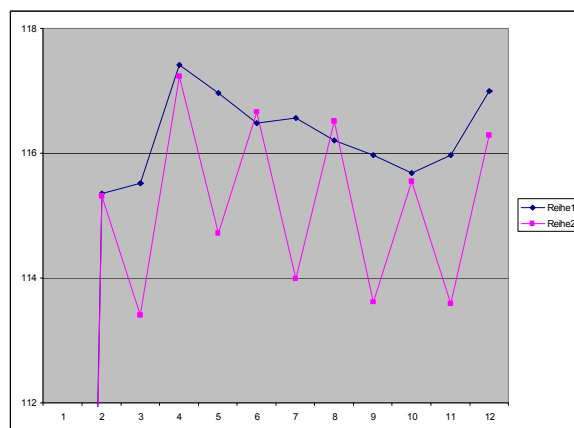
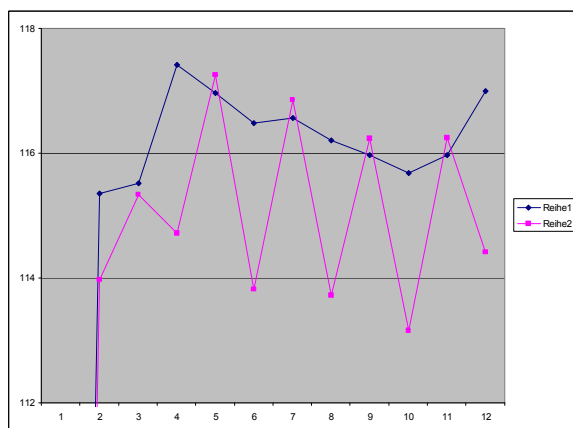
Die virtuelle Kugel ergibt bei der Simulation einen starken Versatz der Peakfrequenzen, von -15 Cent, das gesamte Pitch Potential wäre -40 Cent bei Mode 8 zu +5 Cent bei Mode 7 bei phys. Centerposition 62cm.

FFT-Messungen liegen hier bei ~ -8 Cent zu ~ 1 Cent = um das 5fache weniger Auswirkung bei Messung!

Magnitudenänderungen liegen bei XM-Pitchnode = 66-66,5cm +25% Mode 7 zu -30% bei Mode 8

FFT-Messungen liegen hier mit 8mm Kugel bei ~ +4% Mode 7 zu ~ -6% bei Mode 8

Der Nullversatz down und der Magnituden Potentialunterschied selbst stimmen beide ~ überein, aber die Plane Wave Simulation mit Lossfaktor 1,66 reagiert hier **5x heftiger** auf die starke Einengung – in alle Richtungen! Das scheint ein Fehler im zugrundeliegenden mathematischen Modell zu sein! Diese Abweichungen liefern auch alle anderen Simulationsmodelle, kein Magnituden Node Versatz.

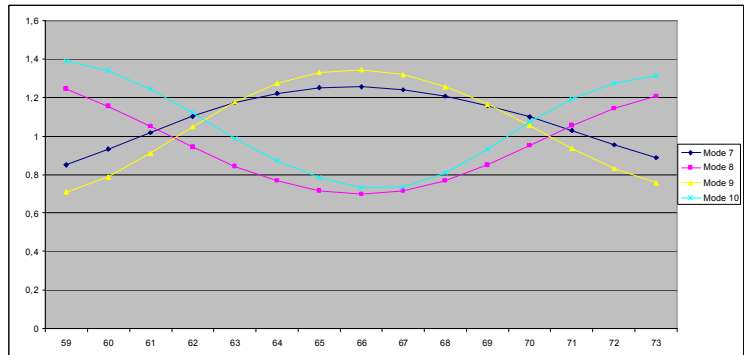
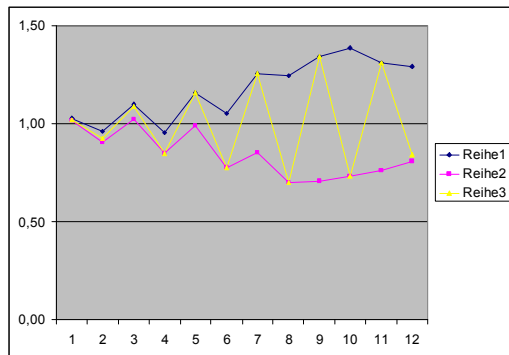


blau: ohne Kugel, EFP Loss 1,66

rosa: Kugel 8mm bei Position 61cm. (~XM-IN1)

detto bei Position 71cm (~XM-IN2).

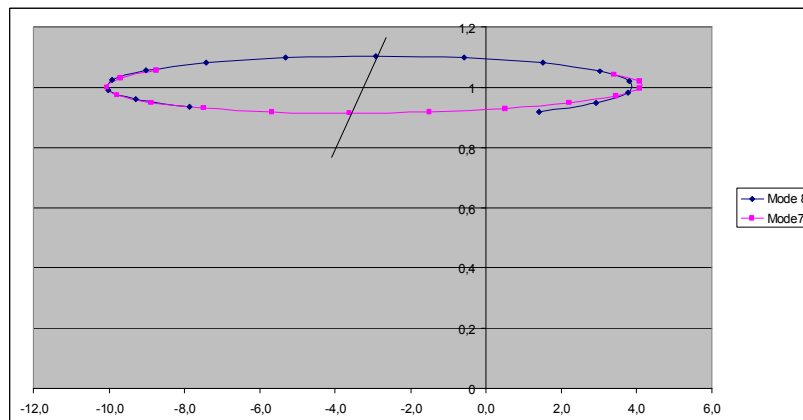
Perturbation / Einengung an Druckknoten vertiefen extrem nach unten (bereits bekannt.)



Zwischen 59 und 73cm: Magnituden max up (blau) u. max down (rosa), Gelb: Magnitude bei 66cm. (~XM-Pitchnode).  
In der ART-Simulation gibt es auch bei höheren Verlusten keine Änderung der Magnituden-Node Positionen.

Die Magnituden-Node Positionen mit geringeren Perturbationen stimmen relativ gut mit den FFT-Messungen überein. Bei FFT-Messungen hat sich hier auch gezeigt, daß verschiedene „Kaliber“ an Einengungsproben die kleinsten Fehler, und dies speziell bei Druckbäuchen (NT7, V0 bei XM-IN1) verursachen.

**Invertiert man die 8mm Kugel, daß daraus eine extrem starke Aufweitung „XXL Beule“ wird:**



Das gefundene maximale Magnituden Potential, **schrumpft auf  $\sim \pm 10\%$**   
Magnituden Nodes XM-IN1 sind nach wie vor nicht geändert, XM-IN2 Nulldurchgänge sind etwas später  $\sim 0,3\text{mm}$

Das Pitch Potential Mode 7 + 8 **schrumpft mit Aufweitung in der Simulation nun auf +4 und -10 Cent, ( $\sim 1/4$ )**  
es gibt wieder einen starken Nullversatz down, (durch Verluste) von ca. 3 Cent.  
Nulldurchgänge zur Referenzfrequenz sind aber versetzt: Pos. 66. ist markiert;

Es scheint, als ob das Plane-Wave Simulationsmodell in ART (das mathematische Modell dahinter) speziell auf kurze starke Querschnittänderungen viel zu heftig reagiert, und hier vor allem bei Einengungen, es zeigt sich aber, daß auch die anderen Simulationen eine derart große systematische Abweichung abliefern.

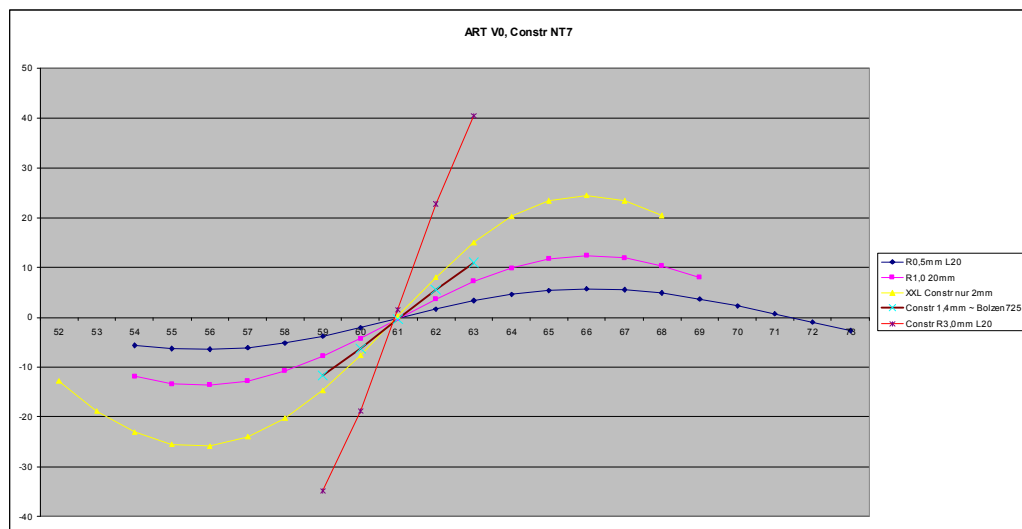
Der **extrem große Unterschied Faktor 5 mit Einengung** bei der Kugel kann nicht auf FFT-Messfehler zurückgeführt werden, ich kann die Kugel ja nicht verstecken!

Auch bei den IR-Auswertungen im Zeitbereich ist die Kugel sehr prominent vertreten, nur kommt es im Frequenzbereich =Gestalt der Impedanzkurven nicht zu solchen hohen Abweichungen bei meinen physischen Messungen!

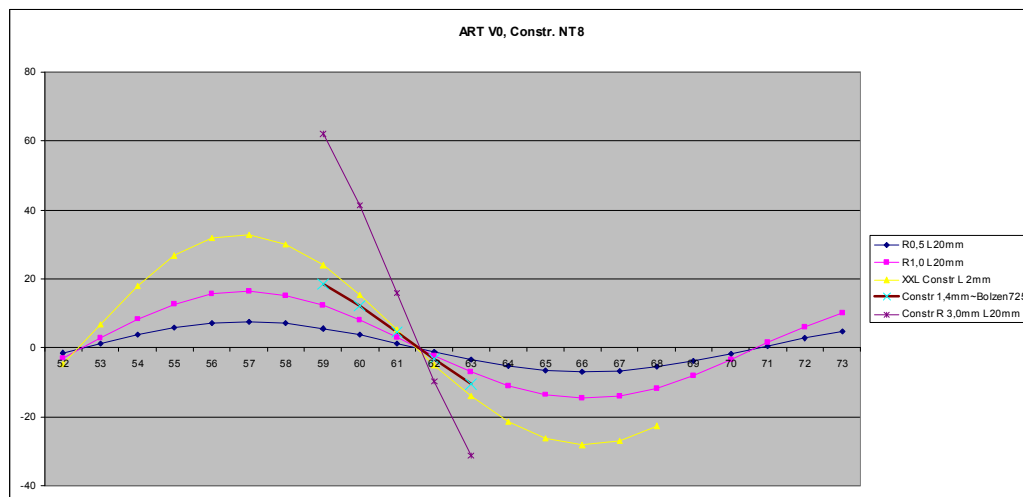
Diese Abweichungen der Simulation beginnen vermutlich bereits in sehr verkleinerter Form bei den „Ursprungspositionen“ ohne Perturbation, von wo aus die Effekte von Enlargements und Constrictions vorausgesagt werden sollen.



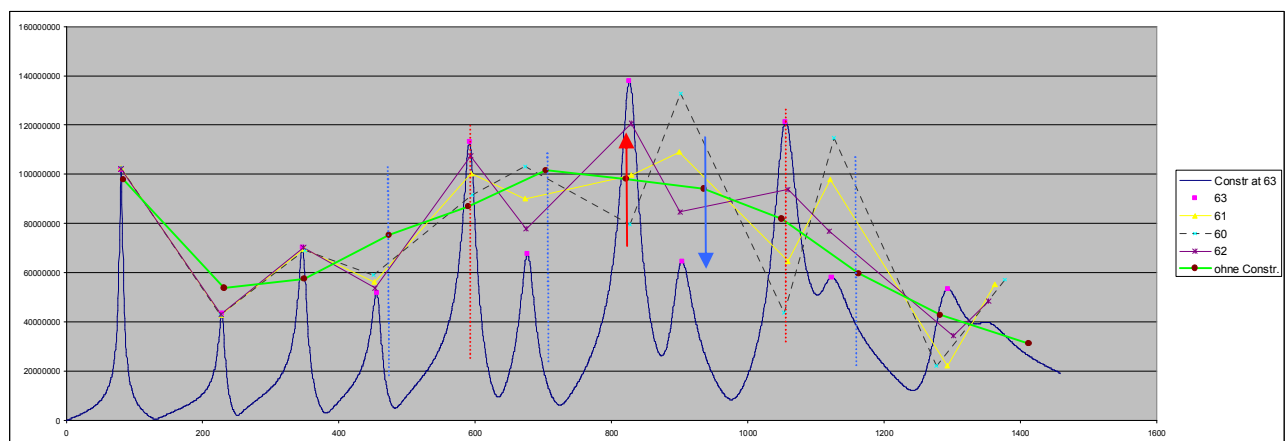
## XL-Störungen sind in der Simulation falsch modelliert:



Simulation: Praktisch keine Abweichung bei Magnituden Nulldurchgängen NT7



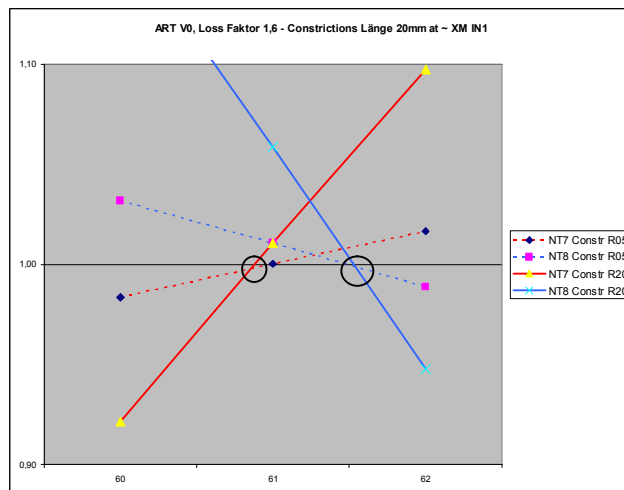
Simulation: Praktisch keine Abweichung bei Magnituden Nulldurchgängen NT8



ART V0, Loss Faktor 1,33 – Änderungen durch XXL Constriction Hülse Dia 3,0 mm L20mm

Der Nulldurchgang für NT 7 und 8 bleiben bei der Simulation auch bei **XXL Störungen** an selber Stelle!  
**Alle geraden NT =nahe Druckknoten** sind allerdings in der Frequenz **stark vertieft**. **Ungerade** = nahe Druckbauch und spez. NT7 sind dagegen in der Frequenz **kaum verändert**!  
 (Das Pitch Pot.+ ist nahe an der Null Linie)

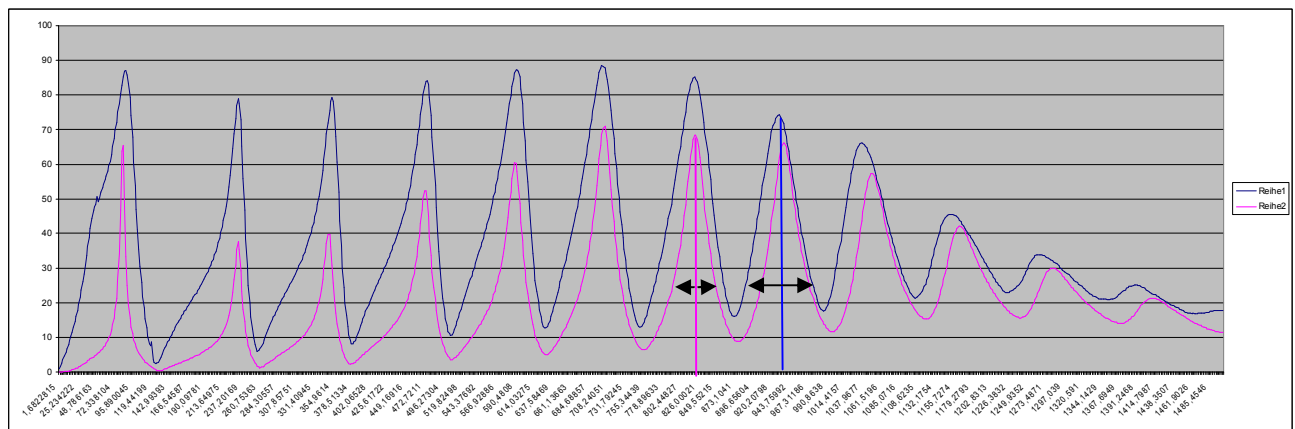
## ART Plane Wave Simulation V0 – Ergebnisse mit Loss Faktor 1,6:



Unterschiede bei mehr Verlusten:

ART Simulation Hülzen  
mit Wandstärke 0,5mm und 2,0mm

Hier weicht NT7 bei starker Constriction  
mit Hülse 2,0mm nur minimal nach links ab,  
NT8 bleibt aber unverändert.



ART Loss 1,33 (rosa) Simulation und Mayer Landau FFT – Messung. Die Minima, und so die Wave Impedanz liegen bei der realen FFT Messung wesentlich höher, Stimmung von NT 8 und aufwärts sind aber wesentlich tiefer. Peakspitzen sind bei der Simulation nicht stark „verformt“.

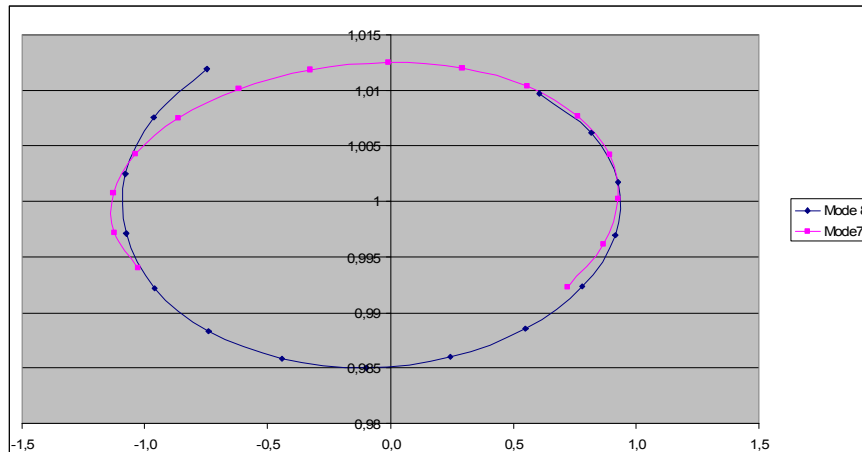
Das Instrument der Simulation ist viel „steifer“; Druckknoten und Druckbäuche sind extremer ausgeformt als in der Realität. mit mehr simulierten Verlusten werden Druckbäuche und Knoten „aufgeweicht“. Es ergibt sich weniger Potential. Allerdings zeigen im Folgenden andere Simulationsmodelle die selben Effekte.

Bei Messungen liegen Magnituden Nulldurchgänge jeweils näher am Mundstück, mit Bolzen 7,25mm gegenüber der Hülse mit Radius 0,5mm ~5mm, sowohl an Druckknoten als auch an Druckbäuchen.

Mit einer minimalen Perturbation sollten die Unterschiede zwischen Simulation und Messungen am wenigsten voneinander auseinander driften und am ehesten einer tatsächlichen Ursprungsposition entsprechen. Auf Radiusänderungen schlägt die Simulation wesentlich stärker an als auf die Länge der Perturbation.

## Eine simulierte kleine Beule: Länge 8mm und im Zentrum 1mm Diameter Einengung, Plane Wave Modell, Loss Faktor 1,66:

Die geometrische Form der Beule entspricht wieder der  $\frac{1}{2}$  Sinuswelle wie bei der Kugel, aber nun „platt“ gedrückt, vorerst als Einengung, das entspricht einer minimalen Perturbation und ~ Ursprungspositionen:



Einengungen durch die Beule: jeweils 59-73cm Centerposition  
Wir finden mit Constrictions für Mode 7 die XM-PN Position  
gegenüber der Referenzfrequenz bei 66,0cm, für Mode 8 bei 66,3cm.

Referenzfrequenz-Nulldurchgänge:

Mode 7 XM-IN1 bei 61,0cm

XM-PN 66,0cm

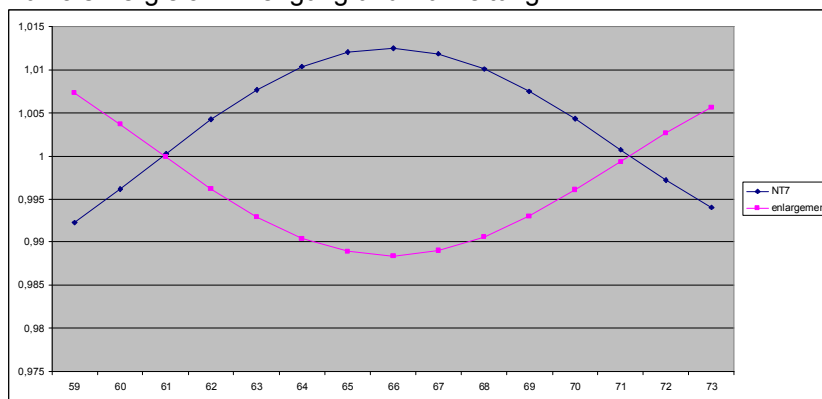
XM-IN2 bei 71,2cm = Abstand 10,2cm

Mode 8 XM-IN1 bei 61,5cm

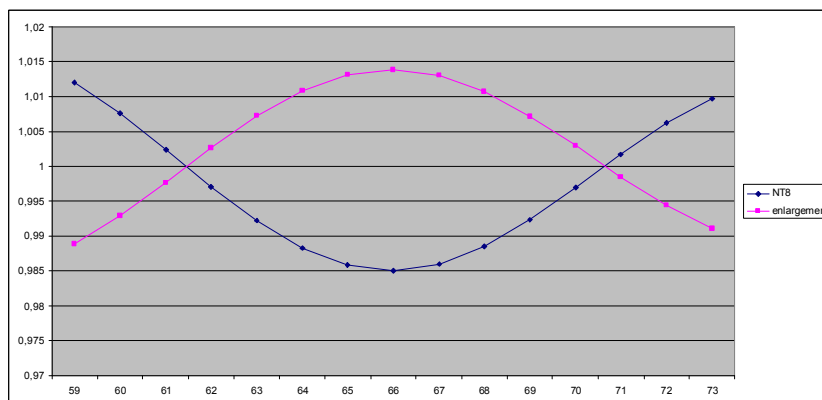
XM-PN 66,2cm

XM-IN2 bei 70,7cm = Abstand 9,2 cm  
=  $\frac{1}{4}$  WL.

Nun als Vergleich Einengung und Aufweitung:

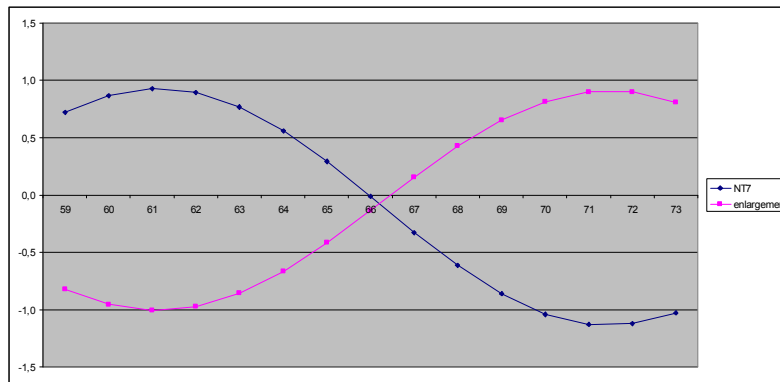


Mode 7 Magnituden Nodes: XM-IN1 bei 60,9cm XM-IN2 bei 71,2cm = 10,3cm Abstand =  $\frac{1}{4}$  WL Mode 7

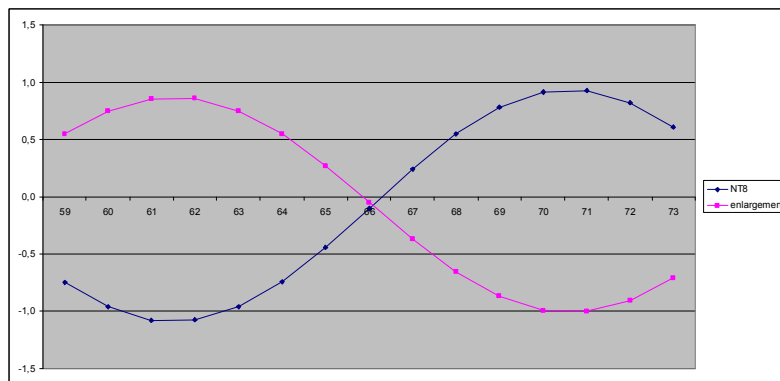


Mode 8 Magnituden Nodes: XM-IN1 bei 61,5cm XM-IN2 bei 70,7cm = 9,2cm Abstand. =  $\frac{1}{4}$  WL

Die größten Auswirkungen der Peak Maxima Magnituden beider Modes liegen bei ~ 66,0cm. +/- 2mm.



Ein Null-Versatz down durch Verluste kann „einseitig“ mit Constrictions alleine nicht bestimmt werden, nimmt man aber ein gleich großes Enlargement, dann ergibt sich in der Simulation ein Nullversatz Mode 7 down von rund 0,1 Cent, bzw. einer XM-Pitch Ursprungsposition von -->  $+2\text{mm} = 66,2\text{cm}$



Bei Mode 8 ergibt sich in der Simulation ebenfalls ein Nullversatz down von  $\sim 0,1$  Cent, bzw. einer XM-Pitch Ursprungsposition von <--  $-2\text{mm} = 66,0\text{cm}$

NT7 XM-PN: -> Richtung Schallstück, Ursprung =  $+2\text{mm} = 66,2\text{cm}$

NT8 XM-PN: <- Richtung Mundstück, Ursprung =  $-2\text{mm} = 66,0\text{cm}$

Der Nulldurchgang zur Referenzfrequenz mit Constrictions wird in der ART Simulation immer vom Potential, dieses vor allem vom Radius der Einengung bestimmt: An Druckknoten ist das Vertiefungspotential höher, der Vertiefungsbauch wird „breiter“, der Erhöhungsbauch zuvor und danach schmaler.

Nullldurchgänge (bei XM-PN) sind aufwärts nach einem Druckknoten und einer Constriction später (z.B. Mode 8) abwärts vor einem Druckknoten und einer Constriction früher (z.B. Mode 7) ergibt einen Nullversatz down, der eigentliche Ursprung ist dann jeweils in der anderen Richtung zu suchen.

Was immer schon etwas stutzig macht, ist der Umstand, daß gleiche Perturbationsradien in der Plane Wave Simulation nicht das selbe Potential haben – Constrictions haben immer ein Übergewicht und wirken in Summe vertiefend, obwohl der Perturbationsvolumen sogar geringer ist.

Wäre das bereits der eigentliche Simulationsfehler = am Ursprung, dann wäre der Nullversatz etwas kleiner, NULL oder sogar minimal positiv. Die +/- Zugabe für den Ursprung müsste dann eventuell ca. doppelt so groß ausfallen. Der  $\sim 5\text{x}$  größere Effekt bei der Simulation in alle Richtungen bliebe aber.

Von besonderem Interesse für mich und alle sind Perturbationsradien, die  $\sim$  Blechstärke entsprechen. Beim Vergleich mit Lossfaktor 1,33 und FFT-Messungen mit Hülse  $R=0,5$  haben die Magnitudenänderungen bei der Simulation eine mindestens  $2\text{x}$  zu großes Potential, bei Druckbäuchen noch mehr, rund  $3\text{x}$  zu groß.

*Es fehlen nun noch abschließende Versuche, Mapes-Riordan und Radiation Modell Helie – pulsating Sphere, nunmehr das vorausgewählte Standard Simulationsmodell bei den Testversionen von Bias 7 © und Bios 7©. Beide sind eingetragene Marken der Artim GmbH, einem Spin off des Instituts für Wiener Klangstil, (IWK) der Universität für Musik und darstellende Kunst in Wien. Auch ART stammt prinzipiell aus der selben Softwareschmiede. Auch das Levine-Schwinger Radiation Modell wird noch angeführt. Ich stelle hier nicht die Qualität der Software in Frage, sondern zeige, welche unterschiedlichen Ergebnisse mit den verschiedenen Simulationsmodellen ermittelt wurden.*

### Kommen eventuelle Abweichungen vom ebenen Wellenmodell oder vom Radiation Modell ?

Es liegt zumindest nicht an der ART Software selbst:

Bios© liefert bei gleichem Modell = Plane Wave und selben Verlusten auch selbe Ergebnisse.

Bios 7 Testversion, © Artim:

Die Druckmessungen für Teil 3 von 56-69cm TL V0 wurden mit Bios durchgeführt,

Modell Ebene Wellen, Radiation Modell Levine/Schwinger, Temp. 22 Grad, Loss Faktor 1,33.

Hier wurde nach einem Reset der Target-Funktion für jede Center-Perturbation die ermittelte Peakfrequ. und Magnitude jeweils im Programm abgelesen und händisch in Excel eingetippt, eine Exportfunktion dafür gibt es nicht.

Die Ergebnisse sind mit denen mit ART vergleichbar, Pitchversatz und Magnitudennulldurchgänge ohne Versatz, ebenso die gefundenen Positionen, auch das jeweilige Potential ident bei gleichem Loss Faktor gegenüber ART.

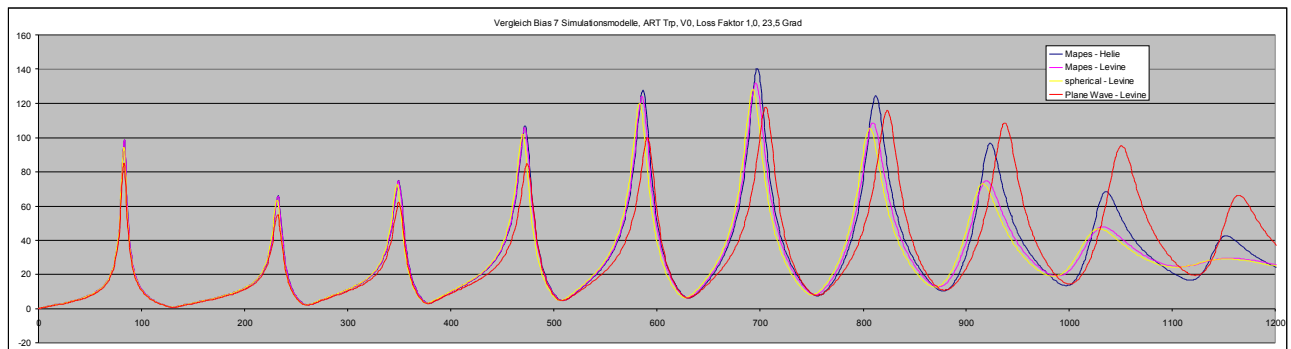
Standardmäßig wechselt Bios 7 immer in das Modell Mapes Riordan + Radiation Helie pulsating Sphere. Unter Optionen als auch bei Arrangement, Punkt Simulation sind die Einstellungen dann gleich geändert.

*Sobald ich in Bios ein anderes Modell wähle, würfelt es die Peak Nummern und Target Frequenzen durcheinander, nach Reset Target stehen dann in etwa die Frequenzen, die eigentlich bei act. stehen sollten, die act. sind WESENTLICH zu tief. Ein Ablesen der Kurven mit einem Cursor o. ä. habe ich bisher nicht entdeckt. Die Bios Testversion scheidet daher vorerst für Versuche mit anderen Wellenmodellen aus. Auch Bias 6 Testversion liefert die selben Abweichungen und stürzt regelmäßig oft ab. (Möglicherweise ist das in den Testversionen beabsichtigt)*

### Bias 7 Testversion, © Artim:

Die Ergebnisse der kompletten Impedanzkurven von verschiedenen Modellen in ART und Bias wurden ja bereits grob gegenübergestellt und es gibt unter den div. Modellen **extreme** Abweichungen zueinander.

Modell Mapes-Riordan + Radiation Levine/Schwinger werden als „Standard“ beschrieben, dennoch ist die Standardeinstellung in der Version 7 nun Mapes-Riordan + Radiation Modell Helie / pulsating sphere.



Was ergibt Bias mit einem anderem Simulationsmodell und mit der Standardperturbation?

Hier ergeben sich einige Probleme und Umstände:

Es gibt zwar Spalten für Temperatur und Lossfaktor, diese können aber nicht aus einer Excel Tabelle eingefügt werden. Es gibt aber einen Zwischenweg über den Windows Editor, Tabulator getrennt, dann funktioniert es, bzw. genügt es in der 1. Zeile, wenn nicht weiter geändert.

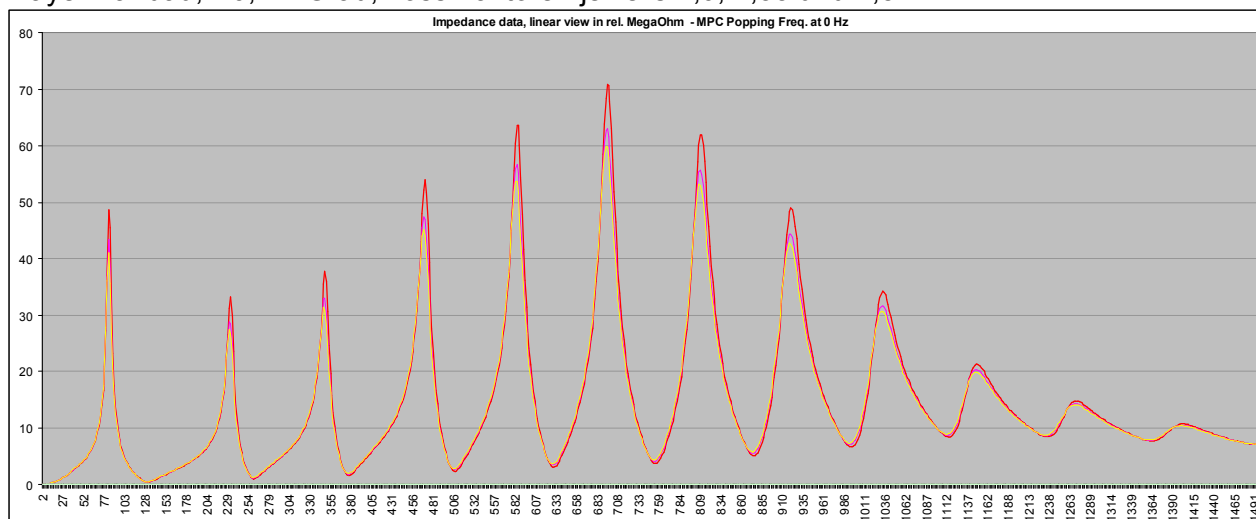
Da bei dem Mapes-Riordan Modell mit Levine/Schwinger Radiation die Peaks sowieso schon wesentlich schwächer sind, habe ich hier bei Versuchen den „Standard“ – Verlustwert = 1,0 verwendet.

Das Hauptproblem: Die exportierten Kurvendaten haben eine niedrige Frequenzauflösung von 0,5 Hz.

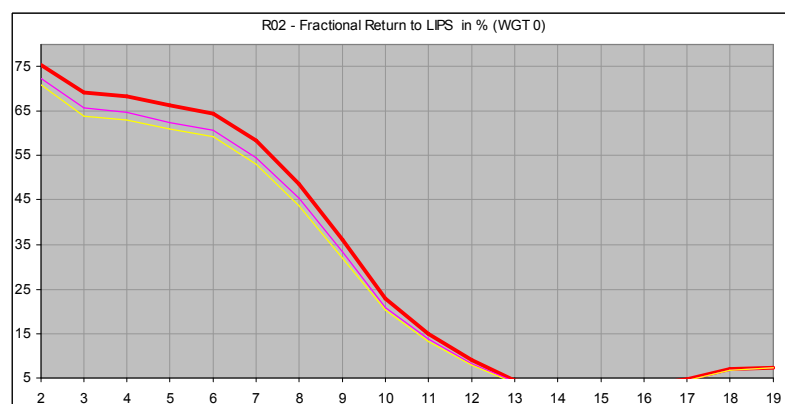
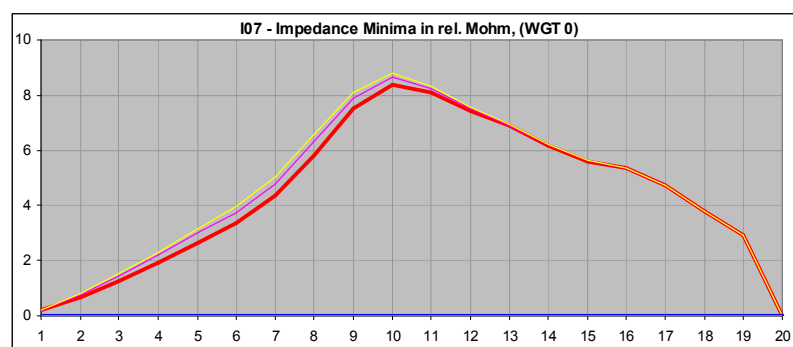
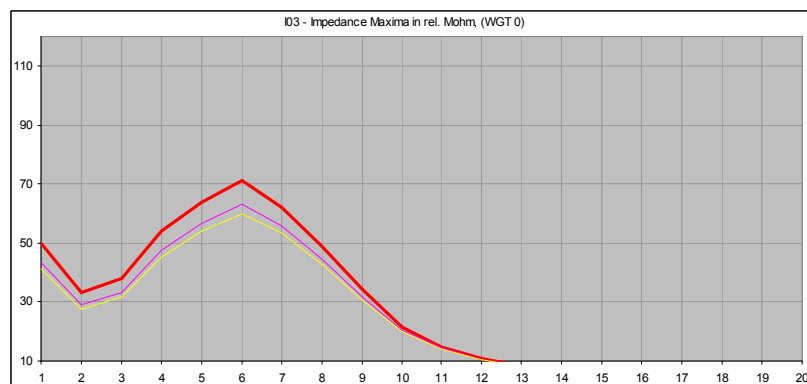
Um Mode 8 ~ 920 Hz entsprechen +/- 0,5 Hz Unterschied einem Auflösungsfehler von ~ 1 Cent.

Pitch Magnituden sind daher mit der verhältnismäßig kleinen Perturbation nicht eindeutig zu identifizieren, bei Nulldurchgängen ist es etwas besser. Die Simulation wurde mit Centerpositionen von 59-72cm in 1cm Schritten durchgeführt.

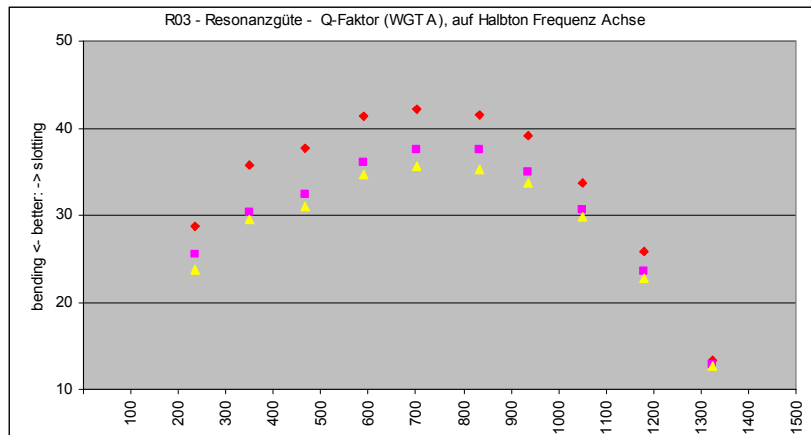
## Simulation Bias© Mapes mit Radiation Modell Pulsating Sphere, Helie – Verluste: Mayer-Landau, V0, 22 Grad, Loss Faktoren jeweils 1,0, 1,33 und 1,5:



Im Gegensatz zum Plane Wave Modell werden höhere Modes hier weniger vertieft, die Harmonizität höherer Modes steigt dadurch etwas.

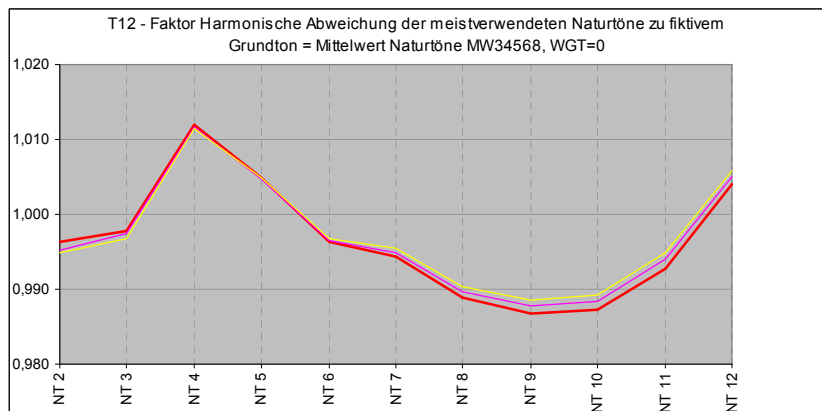


Rot: Loss Faktor 1,0    Lila: Loss Faktor 1,33    Gelb: Loss Faktor 1,5



Rot: Loss Faktor 1,0    Lila: Loss Faktor 1,33    Gelb: Loss Faktor 1,5

Fractional Return und Slotting Faktor werden über den ganzen Frequenzbereich beeinflusst.



Gesamtstimmung:    Lossfaktor 1,33    ca. 4 Cent tiefer,    Lossfaktor 1,5    ca. 5 Cent tiefer

Inharmonizität:

Es passiert jedoch eine monotone Verschiebung: unter ca 700 Hz tiefer, oberhalb höher

Die äquivalenten Längen ändern sich, die Pitch Perturbation Kurve wird etwas weniger „steil“.

Hohe Frequenzen haben offensichtlich von Beginn an mehr Verluste, größere Verluste wirken dann vermehrt vertiefend auf tiefere Modes.

*Verluste reduzieren die Impedanz Peak Magnituden.*

*Ähnliches habe ich beim Mundrohr Design versucht, kontrolliert steuerbar zu machen. Modes mit den längsten equivalenten Zylinderlängen werden kürzer/höher ,insgesamt dadurch weniger Inharmonizität, „Ein Gewinn!“ Aber um die MPC Popp. Frequenz „Verluste“! - Siehe dazu Teil 2F*

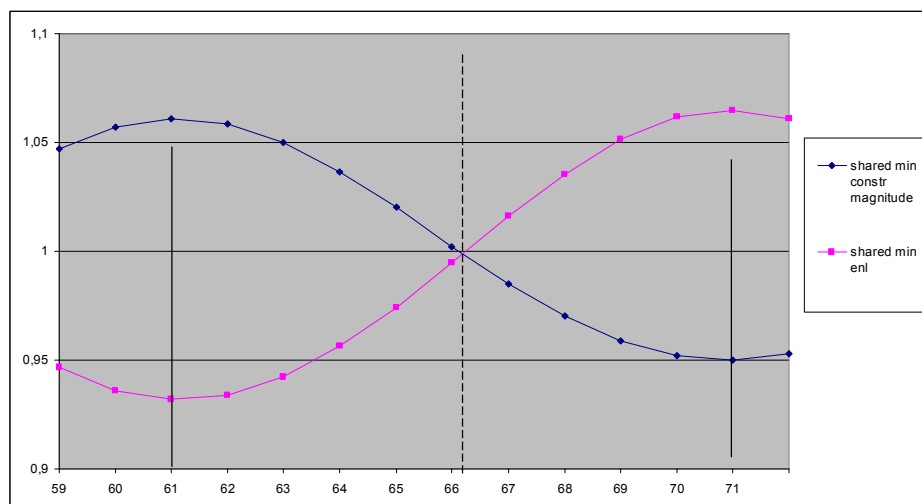
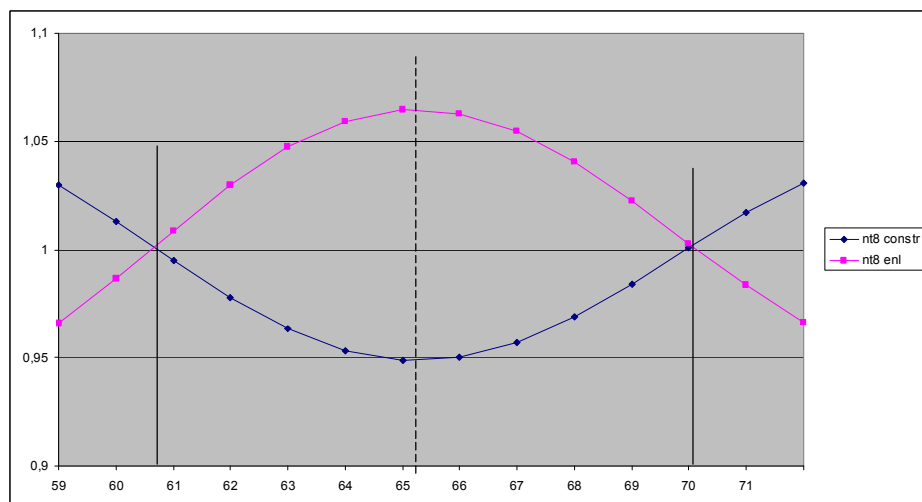
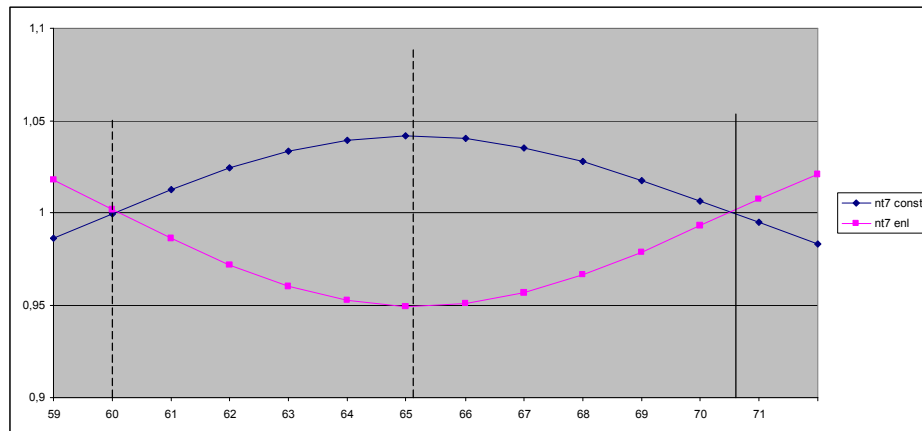
**Simulation mit Bias 7, Modell: Mapes-Riordan / Helie; Material: „starr“**

**Loss Faktor: 1,33** Temperatur: 23,5 Grad, Standard Perturbation: r0,5 L20mm, V0

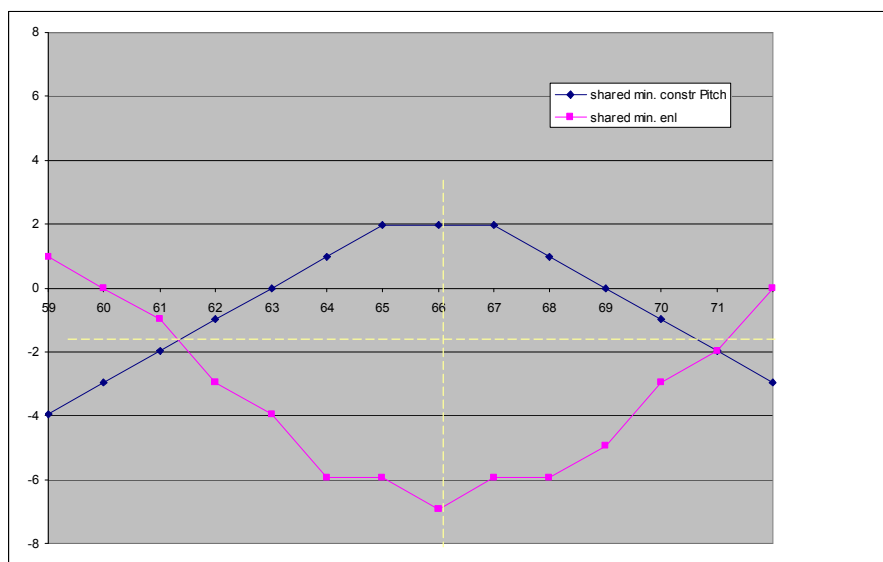
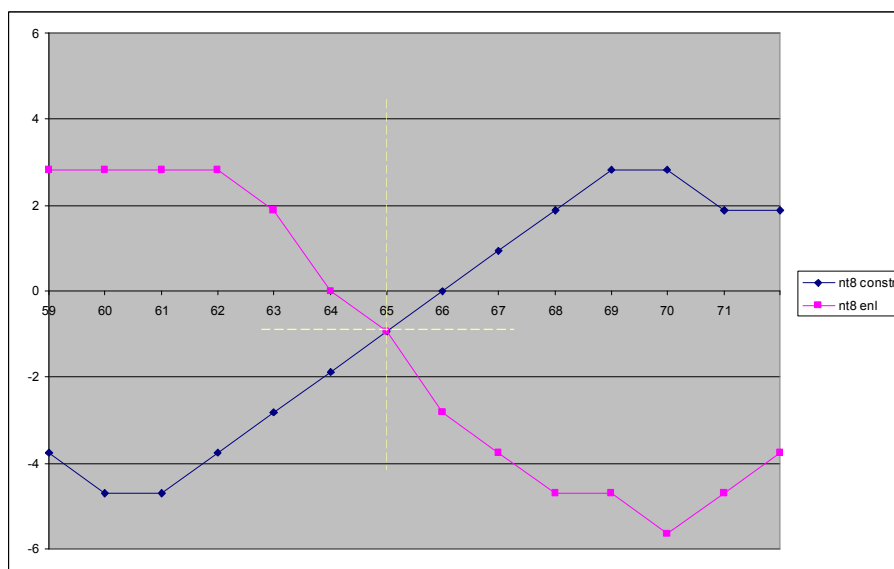
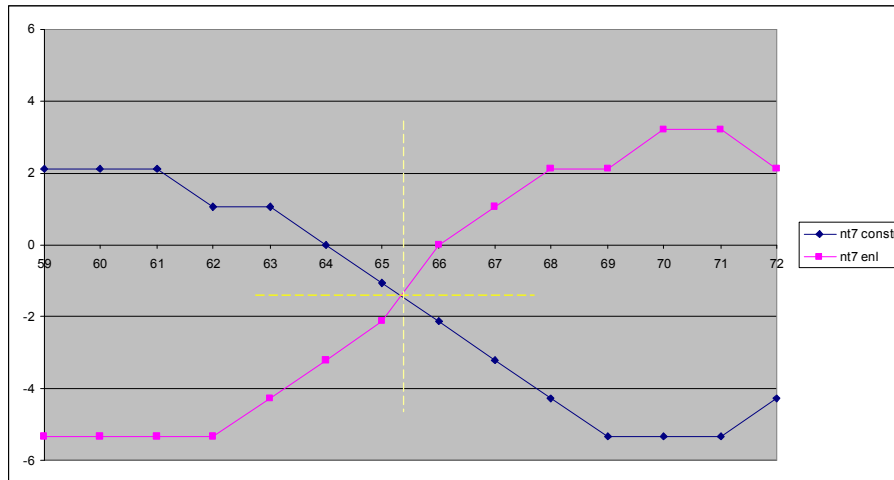
Magnituden: Kein Versatz bei Nulldurchgängen! **Enlargements haben hier mehr Potential als Constrictions!**

Beim Vergleich der Impedanzkurven V0 ohne Perturbation liegen die max. Peakmagnituden um die MPC Popp. Frequ. hier höher (Mode 6+7), höhere Modes 8 und aufwärts liegen zwischen dem Plane Wave Modell und Mapes-Riordan mit Levine-Schwinger Radiation.

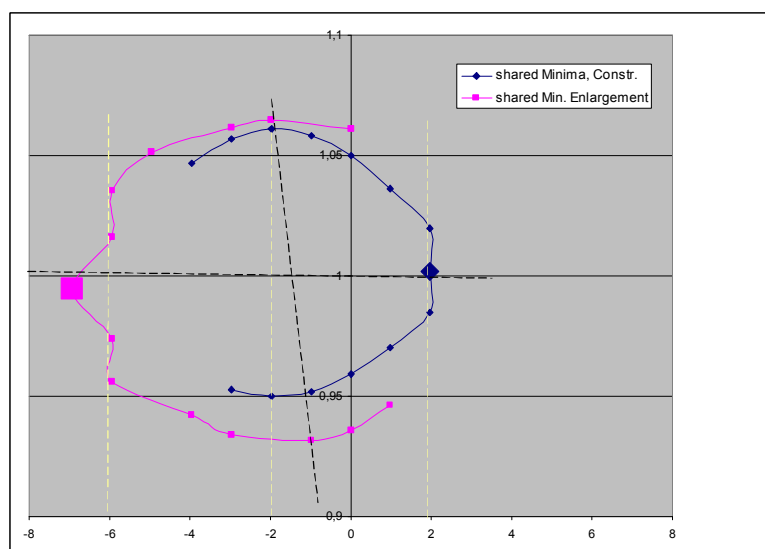
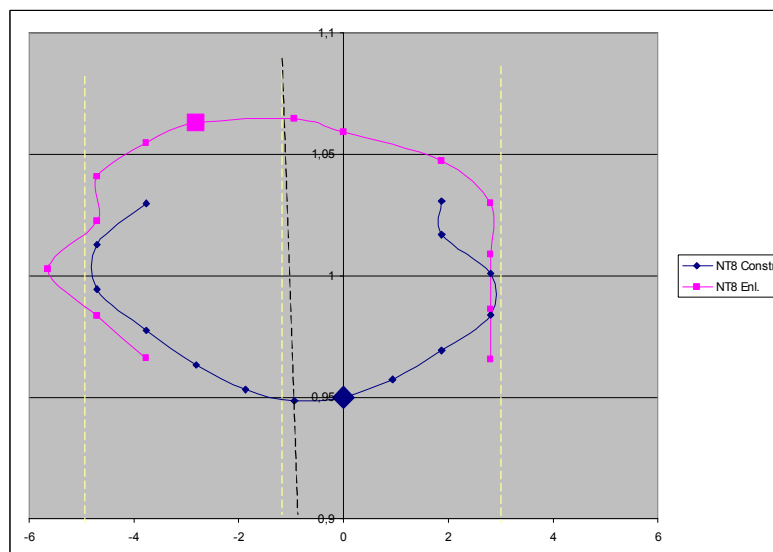
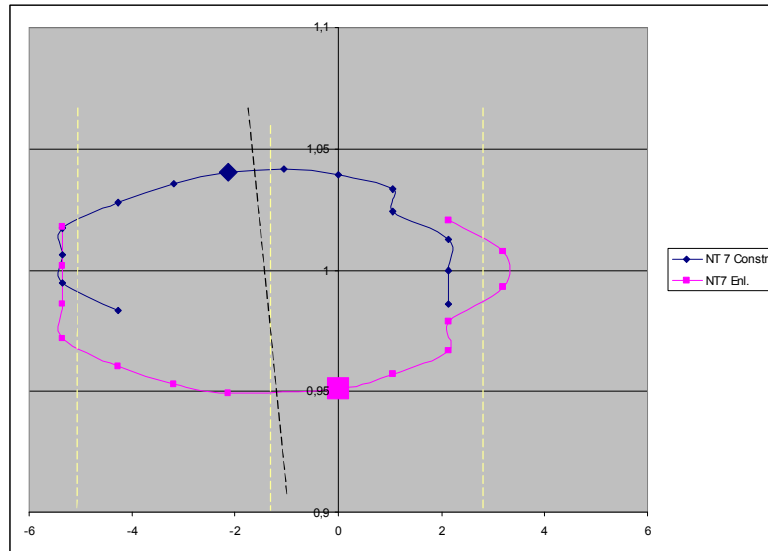




Alle gefundenen Positionen liegen mit dem Radiation Modell Pulsating Sphere hier früher als mit Levine Schwinger.



Starker Pitchversatz nach unten, Pitch Pot ist ca. doppelt so groß als bei FFT Messungen, Enlargements haben stärkeres Potential, das verschiebt die Pitch-Nodes Richtung Mundstück. Die geringe Auflösung erschwert eine Positionsauswertung der Maxima Beträge.



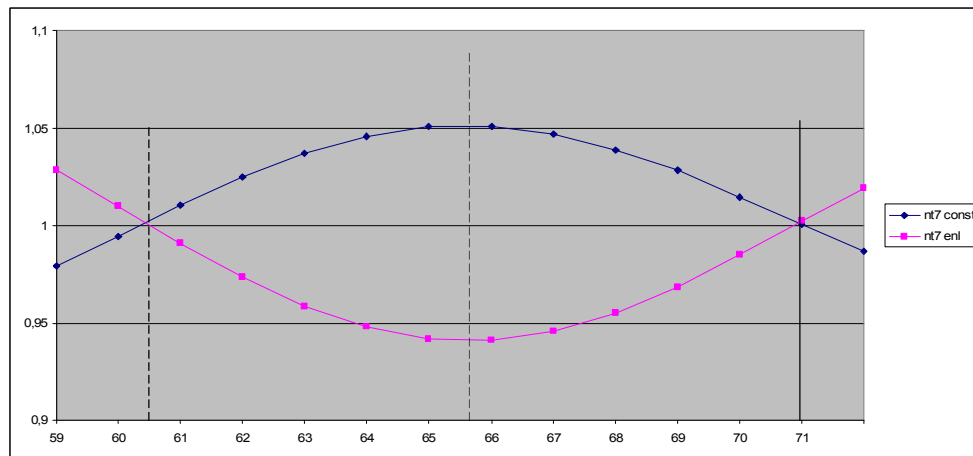
Positionen 61 und 66cm sind jeweils markiert, Abstände sind jeweils 1cm,  
Peaks: Drehrichtung gegen den Uhrzeigersinn, Minima Verlauf: Drehrichtung im Uhrzeigersinn,

Dieses Modell liefert den stärksten Pitch Versatz nach unten, bereits mit der Std. Perturbation.

**Simulation mit Bias 7, Modell: Mapes-Riordan / Schwinger-Levine; Material: „starr“**

Loss Faktor: 1,0 (Standard), Temperatur: 23,5 Grad, Standard Perturbation: r0,5 L20mm, V0

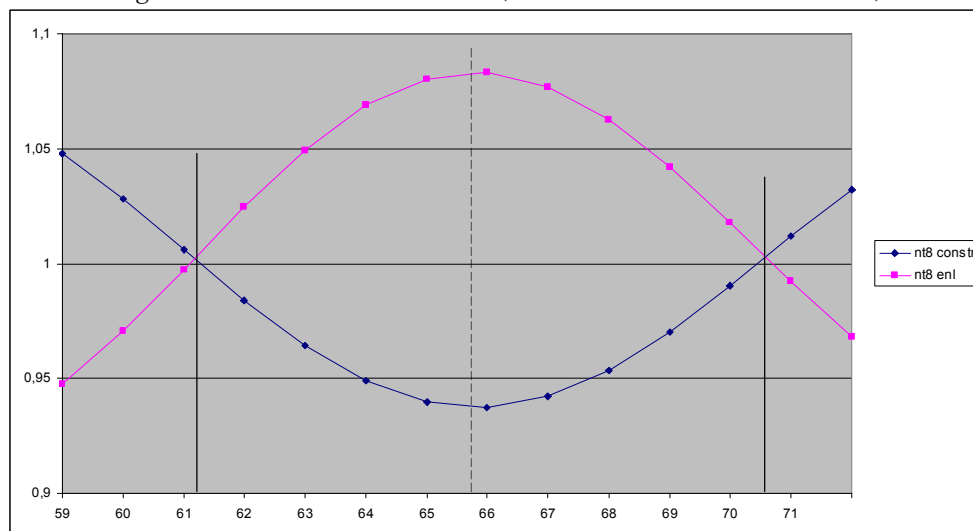
Magnituden: Kein Versatz bei Nulldurchgängen!

Enlargements haben hier mehr Potential als Constrictions!

Mode 7: Magnituden

 $\frac{1}{4} WL = 10,5cm$ 

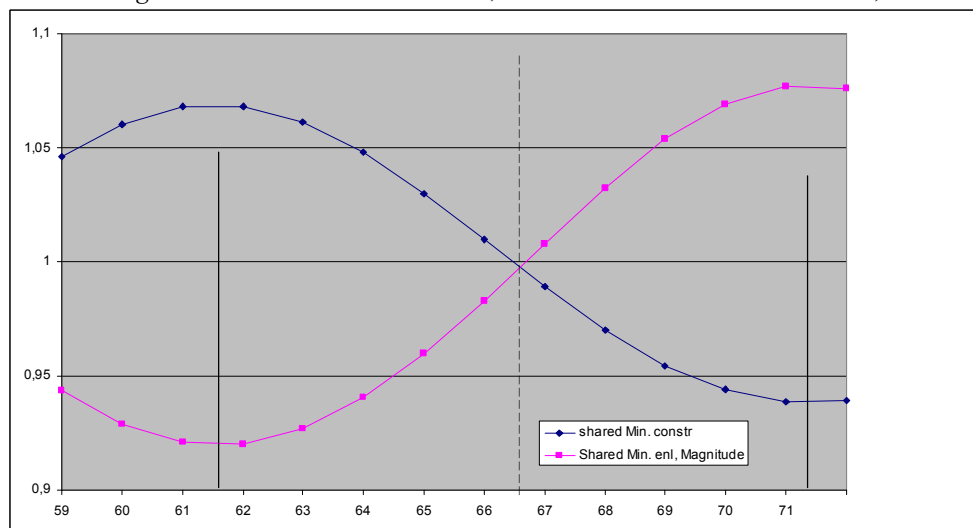
XM-IN1 Nodes: 60,5 cm XM-IN2: 71,0 cm



Mode 8: Magnituden

 $\frac{1}{4} WL = 9,4cm$ 

XM-IN1 Nodes: 61,2 cm XM-IN2: 70,6 cm



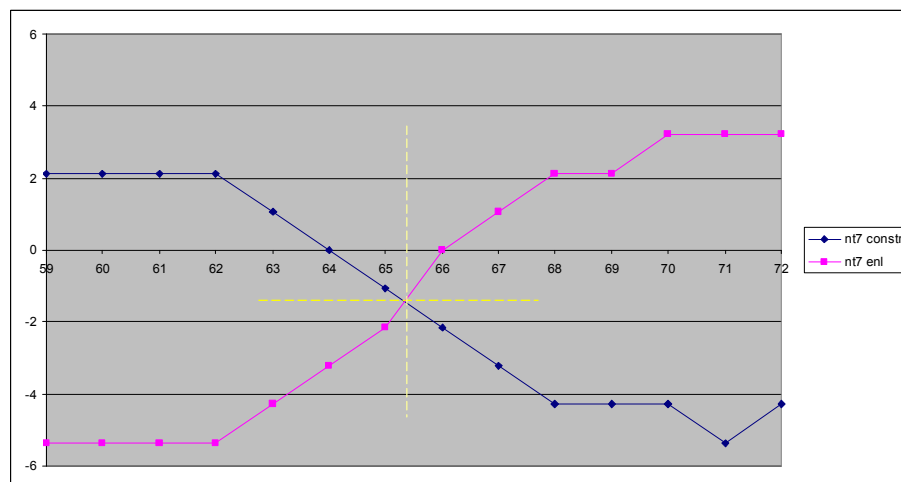
Shared Minima Mode 7/8: Magnituden-Verlauf

**Minima** Nodes + Extreme liegen ~ 1cm später,

Hier hat weder Mode 7 noch Mode 8 eine gleichmäßige Symetrie der Flanken, diese liegt bei tieferen Modes!

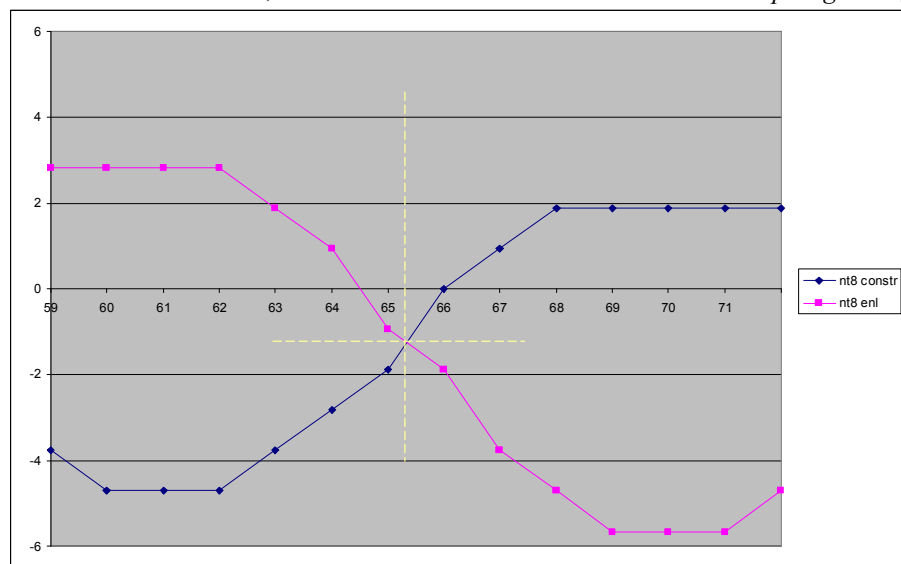
Pitch und starker Pitch-Nullversatz down (durch berechnete extra Verluste):

Enlargements haben hier mehr Potential als Constrictions!



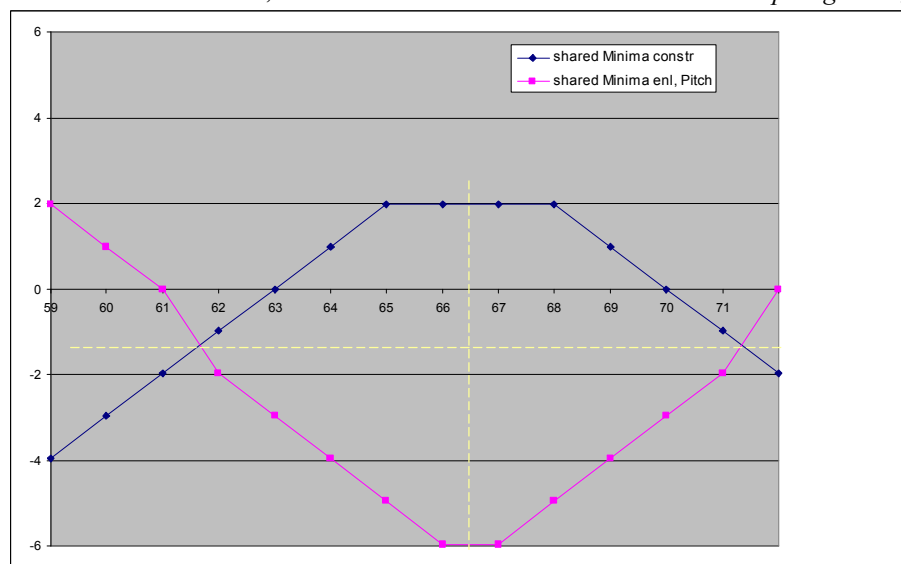
Mode 7: Versatz rund -1,5 Cent down

XM-Pitchnode Ursprung: ~ 65,4cm



Mode 8: Versatz rund -1,5 Cent down

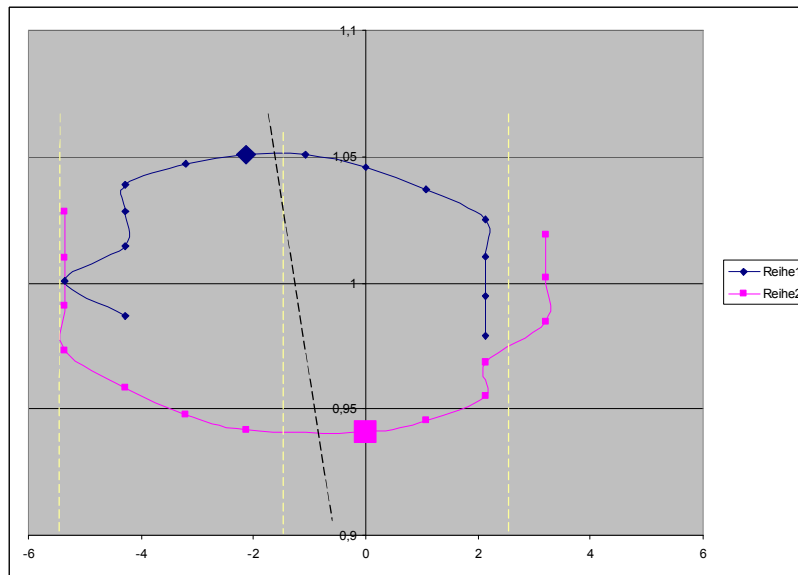
XM-Pitchnode Ursprung: ~ 65,3cm



shared Minima 7/ 8: Versatz rund -1,5 Cent down

Nodes + Maxima liegen ~ 1cm später,

Hier hat weder Mode 7 noch Mode 8 eine gleichmäßige Symetrie der Flanken, diese liegt bei tieferen Modes!

**Peakmaxima Mode 7:**

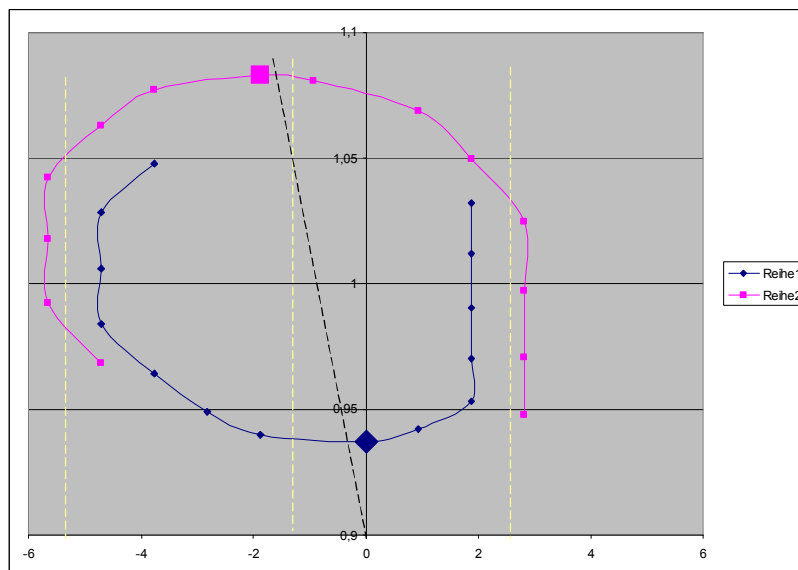
Blau = Constrictions,  
Rosa = Enlargements,  
Centerpos. 66cm markiert.

Gelb: Pitch Nullversatz down,  
und +/-4 Cent markiert.

Pos. 59-72cm, Abstand 1cm  
Drehrichtung gegen Uhrzeigersinn.

West: Druckknoten,  
Ost: Druckbauch, = Magnitudennodes.

Die Peakspitze ist nach links geneigt.  
(schwarz strichliert)

**Peakmaxima Mode 8:**

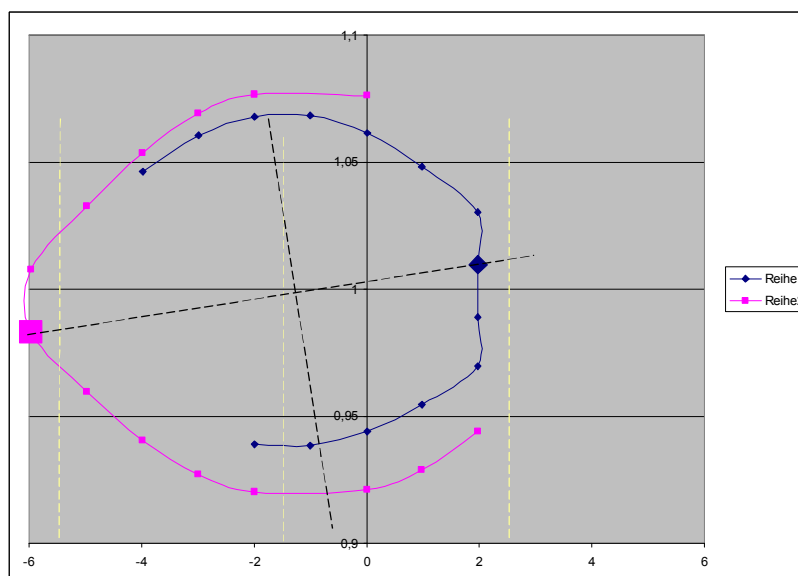
Blau = Constrictions,  
Rosa = Enlargements,  
Centerpos. 66cm markiert.

Gelb: Pitch Nullversatz down,  
und +/-4 Cent markiert.

Pos. 59-72cm, Abstand 1cm  
Drehrichtung gegen Uhrzeigersinn.

Ost: Druckknoten,  
West: Druckbauch, = Magnitudennodes.

Die Peakspitze ist nach links geneigt.  
(schwarz strichliert)

**Shared Minima Mode 7/8:**

Blau = Constrictions,  
Rosa = Enlargements,  
Centerpos. 66cm markiert.

Gelb: Pitch Nullversatz down,  
und +/-4 Cent markiert.

Pos. 59-72cm, Abstand 1cm  
Drehrichtung im Uhrzeigersinn.

Die Peakspitzen sind nach links geneigt,  
die shared Minima liegt daher nicht  
mehr symetrisch dazwischen,  
(schwarz strichliert)

Magn. Nulldurchgänge ~1cm später,  
+Pitch Nulldurchgänge ~1cm später.

### Zusammenfassung Modell Mapes-Riordan / Levine-Schwinger gegenüber Plane Wave und Messungen:

1. Die simulierte Intonation und Grundstimmung ist wesentlich tiefer, hohe Modes stark tiefer, 7/8, etc.
2. Die ideale Peaksymmetrie liegt bei tieferen Frequenzen/Peaks
3. **Enlargements haben beim Modell Mapes-Riordan mehr Potential als Constrictions**
4. Das Pitch-Potential mit der Std. Perturbation ist ca. doppelt so hoch als bei FFT Messungen
5. Der Pitch Versatz down ist auch dadurch noch wesentlich höher - wie scheint überbewertet.
6. **Wenn die Peak Symmetrie überschritten ist, liegen ermittelte Nodes prinzipiell früher**  
alle Peak Frequenzen sind bei diesem Modell zu tief, (mehr effektive zusätzliche. neg. Mpc Länge).

Das Plane Wave Modell liefert bei höheren Modes viel zu hohe Frequenzen, Mapes-Riordan liefert bereits mit Standard Verlustfaktor unrealistisch zu tiefe Frequenzen.

Lt. einer Diplomarbeit von Anglmayer, der darin die Kalibration des Bias © 5.1 Messkopfes dokumentiert hat, berechnet das Mapes-Riordan Modell zylindrische Abschnitte als Plane Wave, nicht zylindrische Abschnitte als sphärische Wellen, jeweils mit Verlusten.

Das rein sphärische Modell liefert dann noch unrealistisch tiefere Frequenzen. Dieses Modell scheidet daher komplett aus, ebenfalls alle Modelle in Kombination mit „Zorumsky“ Radiation = Halbsphäre. Die Kombination sphärisch + pulsating Sphere wird in ART, Bias und Bios nicht zur Auswahl angeboten.

Die tatsächlichen modematching Effekte zwischen zylindrischen und konischen Teilen sind in der Simulation offenbar nicht korrekt modelliert. Auch Dr. Benade hat vor über 50 Jahren schon die Ansicht vertreten, daß Wellenfronten in Blasinstrumenten weder eben noch sphärisch sind, sondern irgend etwas dazwischen.

Das Radiation Modell ist aber offenbar nicht für die Unterschiede zum Plane Wave Modell verantwortlich, denn dieses ist das gleiche wie bei der Plane Wave Simulation. Das Levine-Schwinger Radiation Modell beschreibt die Abstrahlung in den ganzen Raum (ein zylindrisches Ende, das nicht in einer Wand sitzt), trifft also für Blasinstrumente nicht wirklich zu, die größten Diskrepanzen ergeben sich oberhalb der MPC Popping Frequenz ~ 1000 Hz und höher. Das Plane Wave Modell ignoriert mehr oder weniger die „Cut off Frequenz“ und liefert Peaks von stehenden Wellen, die in der Praxis absolut nicht vorkommen. Alle anderen Radiation Modelle sind zum heutigen Stand wie ich vermute einfach ein Ratespiel und stimmen daher nicht.

Aufgrund der hohen Abweichungen der Simulationsmodelle bereits untereinander ist es also ziemlich egal welches Modell als Vergleichsbasis zu physischen Messergebnissen herangezogen wird. Es wird immer große Abweichungen geben, speziell was das Potential von Änderungen betrifft. Andererseits sind reale Messungen ihrerseits limitiert, es fehlt vor allem an Dynamik und auch Wiederholgenauigkeit durch diverse Einflüsse.

Alle gefundenen Abweichungen sind bei Simulationen immer stark überdimensioniert, unabhängig von den verwendeten Modellen oder beigefügten Verlusten. Speziell bei starken lokalen Querschnittänderungen (siehe Kugel) liegen die Simulationen dann aber definitiv komplett daneben. Es stellt sich daher natürlich die Frage ob solche Simulationen wirklich geeignet sein können um Instrumente zielgerichtet zu optimieren.

Dennoch bestätigen die Berechnungsmodelle einige grundlegende Ursachen und Effekte, die bei Perturbationen auftreten und haben über diese „Pionier-Arbeit“ daher eine gute Arbeit verrichtet.

Alle Simulationen erfordern eine möglichst exakte Mensurliste, diese ist aber schwierig zu generieren und selbst dann würden die verschiedenen Modelle die verschiedensten Abweichungen untereinander prognostizieren – vor allem Magnituden und Peakfrequenzen würden sich relativ stark unterscheiden – und das macht aber Unterschiede zwischen besser und schlechter spielbaren Instrumenten aus.

Die Plane Wave Experimente sind daher nicht minder schlecht gegenüber anderen Modellen. Da diese zu hohe Peaks und Frequenzen nahe der Cutt-off Frequenz des Schallbechers liefern war bekannt, allerdings zeigen sie die Richtung, in die normalerweise auch korrigiert werden muß um Inharmonizität zu beseitigen.

Meine Vision und Mission war und ist es aber, die globalen Effekte auf lokale Änderungen ohne einer solchen Liste bekannter Abmessungen (im praktikablen Rahmen gehalten) herauszufinden, speziell um bereits vorhandene Schwachstellen erkennen zu können und diese wenn möglich (wieder im praktikablen Rahmen gehalten) zu beseitigen. Dies ist dann bereits der Großteil an möglicher Optimierungsarbeit in der Praxis. Zusätzliche Optimierungen in eine bestimmte Richtung können dann nur vorgenommen werden, wenn alle Funktionspositionen möglichst exakt vorhersehbar und somit bestimmbar sind.



## Ermittelte Positionen mit den verschiedenen Simulationsmodellen

Vergleich Simulationsmodelle														
Frequenz Domäne Peak-Pitch / Minima-Magnituden														
Std. Perturbation, 23,5 Grad	Frequ.	Frequ.	Constr	Constr	Enlargement	Enlargement	shared Min.	Shared Min.	Pitch	Pitch Node	Pitch Node	Pitch Node	Pitch Node	Pitch Node
Simulationsmodell	Peak Mode 7	Peak Mode 8	Pitch Pot up	Pitch Pot dn	Pitch Pot up	Pitch Pot dn	Magn.	Magn.	Nullversatz dn	Ursprung	Nulldurchg.	Nulldurchg.	Ursprung	Nulldurchg.
			XM-IN1 Mode 7	XM-IN1 Mode 8	XM-IN1 Mode 7	XM-IN1 Mode 8			bei XM-PN	Mode 7	Mode 7	Mode 7	Mode 8	Mode 8
ART Plane Wave / Levine, Loss 1,33	821,822	935,693	3,8	4,5	3,5	4	12,58		Cent	0,3	66,3	66	66,6	66,4
ART Plane Wave / Levine, Loss 1,66	815,88	929,69	3,5	4,1	3,1	3,7	16,16		0,25	66,2	66	66,5	66	65,9
ART Plane Wave / Levine, Loss 1,66 1mm Beule	815,98	929,69	0,9	1,1	0,8	1	16,16		0,1	66,2	66	66,5	66,2	66,3
Bias Mapes / Helle, Loss 1,33	812	922	2,2	4,5	3	5,5	11,02	66,2	1,5	65,3	64	66	65	64
Bias Mapes / Levine, Loss 1,0	809,5	919,5	2,2	4,5	3	5,5	12,58	66,6	1,5	65,4	64	66	65,3	64,4

Frequenz Domäne Minima-Pitch / Peak Magnituden													
Std. Perturbation	Peak Magn.	Peak Mag.	Magn. Pot up	Magn. Pot dn	Magn. Pot up	Magn. Pot dn	shared Min.	shared Min		XM IN1	XM IN2	XM IN1	XM IN2
Simulationsmodell	Mode 7	Mode 8	Constr.	Enl	Constr	Enl	Frequ.	max Pitch	Pot	Mode 7	Mode 7	Mode 8	Mode 8
ART Plane Wave / Levine, Loss 1,33	98,2	94	1,06	0,95	1,065	0,93	877			61,15	71,6	61,6	70,7
ART Plane Wave / Levine, Loss 1,66	71,4	69,5	1,045	0,96	1,05	0,94	870,5			60,8	71,4	61,4	70,5
ART Plane Wave / Levine, Loss 1,66 1mm Beule	71,4	69,5	1,012	0,988	1,012	0,985	870,5			60,9	71,2	61,5	70,7
Bias Mapes / Hellic, Loss 1,33	124,5	96,6	1,04	0,95	1,07	0,95	876,5	66,1		60,1	70,6	60,7	70,1
Bias Mapes / Levine, Loss 1,0	108,6	74,9	1,05	0,94	1,08	0,94	873	66,5		60,5	71	61,2	70,6

Pitch Pot Angaben sind Hz bzw. Cent,

Magnitudenwerte sind MegaOhm bzw. der Faktor zur Referenz ohne Perturbation.

Positionsangaben sind physische Abstände in cm von der Lippenebene zur Mitte der Perturbationshülse

Das Instrument und Abmessungen sind jeweils ident (ART Bb-Trompete V0) mit Warburton 8M9 Mundstück

Die Standard Perturbation ist eine simulierte Hülse mit Wandstärke 0,5mm und Länge 20mm,

jeweils als Querschnitteinengung (=Constriction) oder als Querschnittenerweiterung (Enlargement).

### Notizen:

Wenn der Peak oberhalb der einer idealen Symetrie ist, dann ereignen sich Frequenz Nulldurchgänge früher, die erreichte maximale Magnituden Höhenänderung (positiv oder negativ) passiert erst später. Pitch Nodes liegen dann näher am Mundstück, mehr negative MPC extra Länge. Bei den Mapes-Riordan Modellen ist das so. Die selbe Symetrie zeigen höhere Modes 9, 10, daher sind auch diese näher an Magnituden Nodes. Die Abstände zu Magnitudennodes sind hier kürzer als 1/8 WL. Die XM-Pitchnode Position liegt daher früher.

Prinzipiell haben die XM-IN Positionen mit der Frequenz zu tun, tiefere Modes liegen näher am Mundstück – aber nur minimal! Es soll sich zeigen, daß sich die Magnitudennodes mit den Minimafrequenzen ändern, und diese sind im Vergleich zu den Peak Frequenzen bei den verschiedenen Simulationsmodellen kaum verändert/vertieft!

Impedanz Minima =Antiresonanzen liegen nicht symetrisch zwischen den Peaks, daher auch die „Zackenform“ der Impedanz-„Berge“ und „Täler“. Unterhalb einer optimalen Symetrie von Peaks ergeben sich Pitch Nulldurchgänge daher später, der Abstand zu Magnituden Nodes ist größer, Pitch-Nodes liegen weiter als 1/8 WL Richtung Schallbecher entfernt. Ich denke das ich schon am richtigen Weg bin mir das selbst zu erklären!

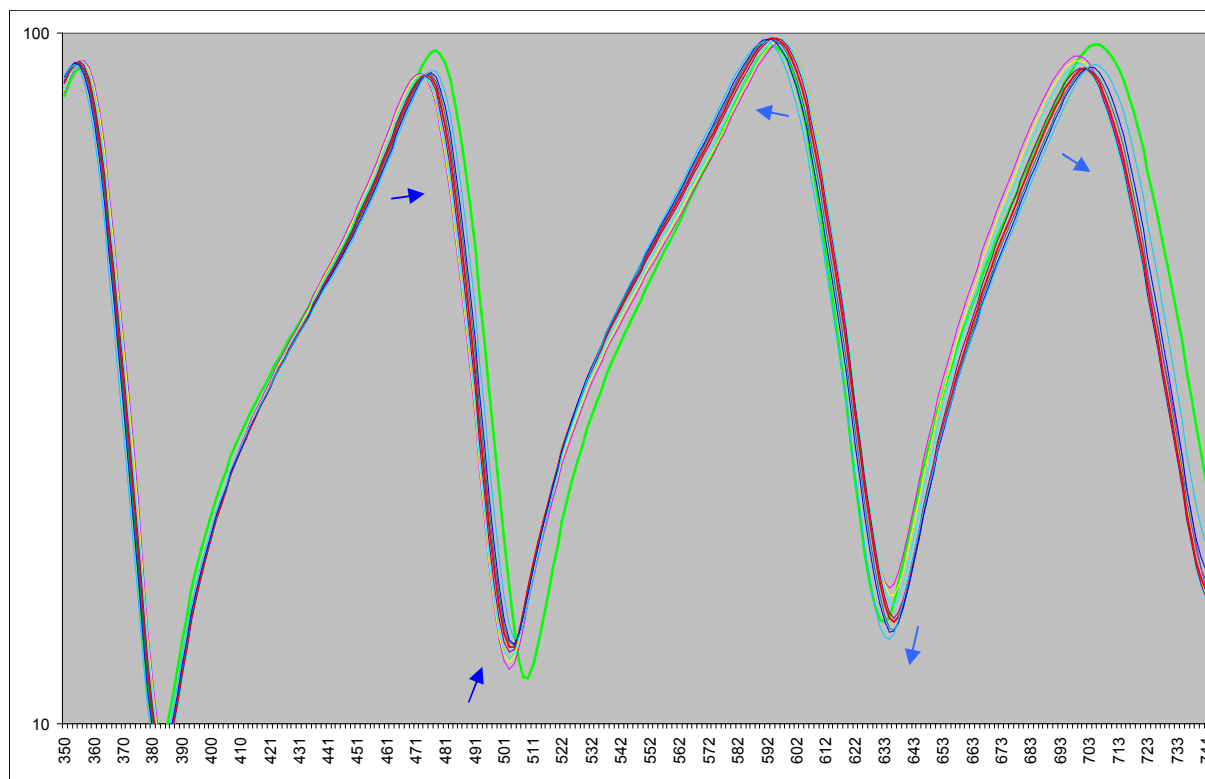
Diese optimale Symetrie liegt bei den Mapes-Riordan Modellen bei wesentlich tieferen Frequenzen gegebenüber dem Plane Wave Modell, d.h. der Frequenz Nulldurchgang bei Mode 7 und 8 liegt daher näher am Mundstück.

Dies führt mich zu der Idee, die tatsächlichen Funktions-Positionen anhand der Impedanzkurve ermitteln zu können.

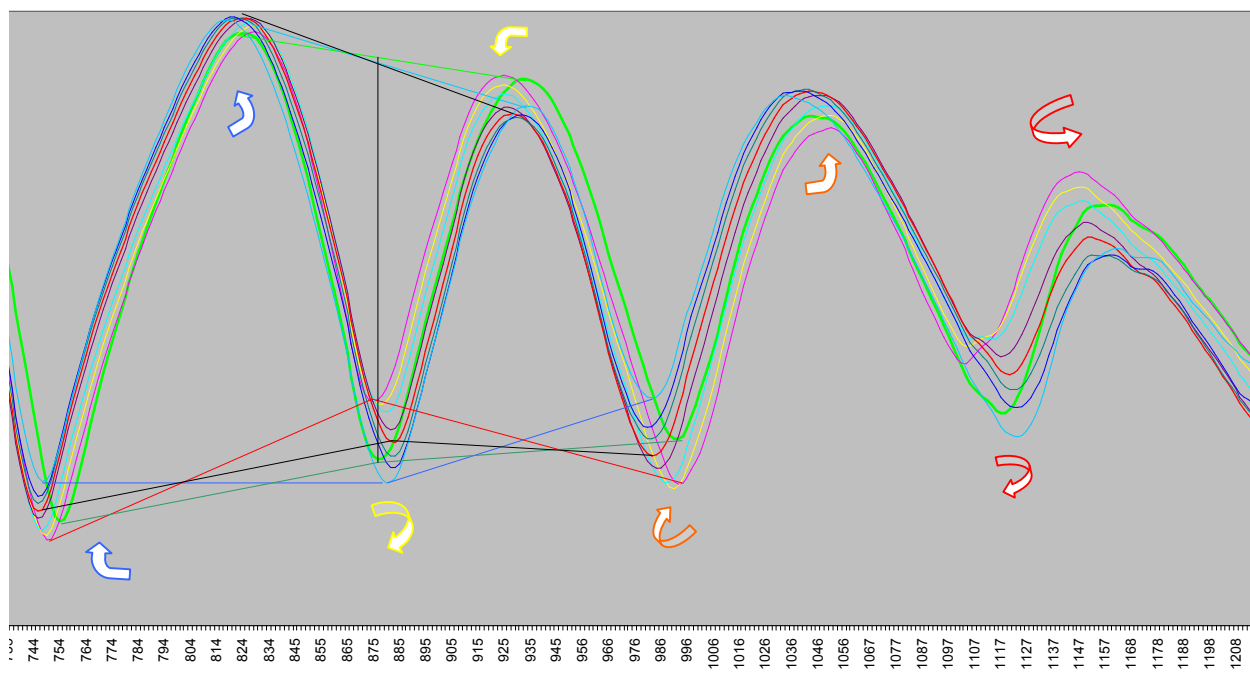
Wie man anhand der Ergebnisse sieht, kann man nicht davon ausgehen daß eine Simulation richtig liegt und Ergebnisse von Messungen dagegen komplett falsch sind. Es gibt Abweichungen und die gilt es herauszufinden. Die Lage und Bewegung der Minima und die generelle Gestalt der „Berge“ und „Täler“ hat einen großen Einfluß. Diese werden im Bereich um und oberhalb der MPC Popping Frequenz stark vom Mundstück und Mundrohr diktiert, höhere Modes zunehmend auch von der Abstrahlung durch den Schallbecher und dem „cut-off“ Bereich.

## Grundlagenforschung:

### Input-Impedanzkurven und deren Auslenkung mit Constriction, Bolzen 725:



Constrictions 61,3cm (rosa) bis 68,3cm (hellblau), jeweils 1cm Schrittweite Richtung Bell, NT3-NT6 Grün ohne Pert., Rot = 65,3cm

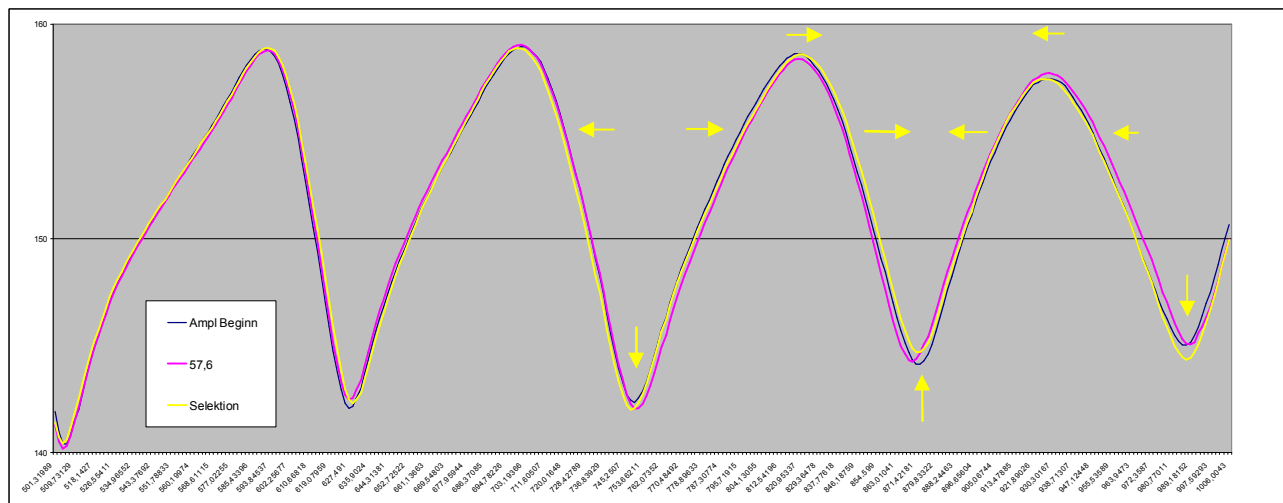
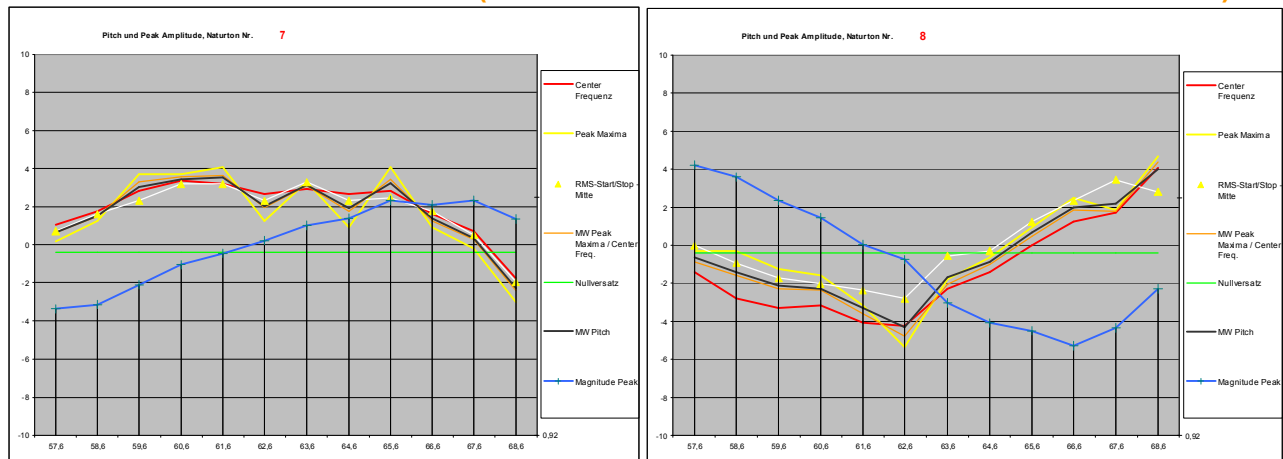


NT7-NT10; Grün ohne Pert., Rot = 65,3cm

**Die Änderungsgeschwindigkeit steigt stetig mit der Frequenz = kürzere Wellenlänge, vor (langsamer) und nach Peak (schneller); Änderungen sind so daher niemals symmetrisch!**

## Perturbation - was passiert bei einer Constriction im Detail?

**Nahe XM-IN1 = Max Pitch-Pot (NT 7 und NT8 haben hier kleinsten Pitch Versatz):**



**Logarithmische Ansicht in dB** ~830 Hz = NT7 = odd; ~932 Hz = NT8 = even

Ausschnitt NT5-8: rosa=57,6cm blau = ohne Pert. **Selektion gelb= 61,6cm= ~XM-IN1**  
150 dB bei NT 5-6 entspricht hier in etwa der Waveimpedanz, diese steigt mit Frequ.

**Bei XM-IN1 ~ 61,6cm:**

NT7: (odd = Press. Maxima)

Maxima Pitch

Maxima Ampl./ Peak

Min. Freq.  
davor / danach  
bleibt / bleibt

Min. Ampl.  
davor / danach  
tiefer / höher

höher

bleibt, **nicht schmaler** ->

NT8: (even = Press. Minima)

Maxima Pitch

Maxima Ampl./Peak

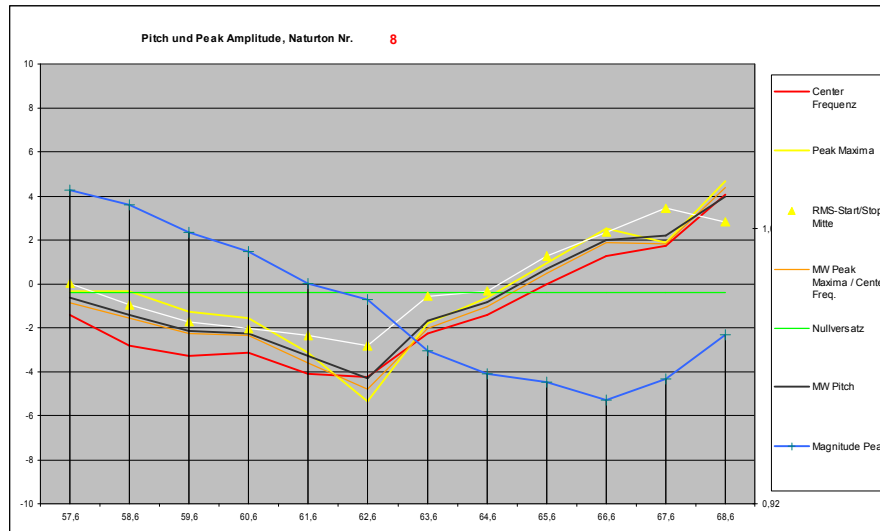
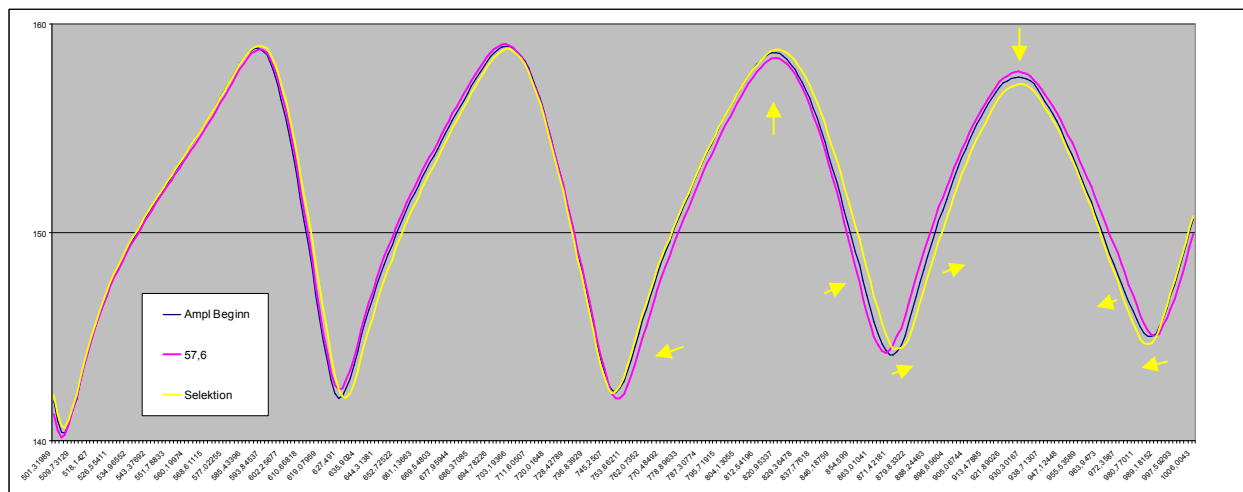
Min. Freq.  
davor / danach  
bleibt / bleibt

Min. Ampl.  
davor / danach  
höher / tiefer

tiefer

bleibt, **nicht breiter** ->

## Bei XM-PN bzw. bei weiteren Pitch Nodes

NT8:  $\frac{1}{4} WL = 9,2cm$ 

Ausschnitt NT5-8: rosa=57,6 blau = ohne Pert. Selektion gelb= 65,6cm ~XM-PN

## Bei XM-PN ~ 65,6cm:

NT7: (odd)

Maxima Pitch

bleibt (Node)

Maxima Ampl. / Peak

höher, breiter

Minima Freq.

davor / danach

tiefer / höher

Mininima Ampl.

davor / danach

tiefer / höher

NT8: (even)

Maxima Pitch

bleibt (Node)

Maxima Ampl. / Peak

tiefer, schmaler

Min. Freq.

davor / danach

höher / tiefer

Min. Ampl.

davor / danach

höher / tiefer

## Bei Pitch-Node mit Impedanz Peak Magnitude Max Pot+ bei 57,6 cm:

NT7: (odd)

Maxima Pitch

bleibt (Node)

Maxima Ampl. / Peak

tiefer, schmaler

Min. Freq.

davor / danach

höher / tiefer

Min. Ampl.

davor / danach

tiefer / höher

NT8: (even)

Maxima Pitch

bleibt (Node)

Maxima Ampl. / Peak

höher, breiter

Min. Freq.

davor / danach

tiefer / höher

Min. Ampl.

davor / danach

höher / ~ bleibt

## Die Rolle der Wave Impedanz

Impedanz-„Berge / Peaks“ bzw. Maxima liegen oberhalb der Wave Impedanz,  
Impedanz-„Täler / Dips“ bzw. Minima liegen unterhalb der Wave Impedanz.

Durch Perturbationen = gezielte Änderungen wird die vorhandene Wave Impedanz lokal abgeändert. Die Änderungen der Peaks als auch Minima in Frequenz und Input Impedanz Magnituden am Eingang sind globale Auswirkungen der lokal abgeänderten Wave Impedanz.

Die Waveimpedanz hat keine eigene „Frequenzpositionen“. Jeder Punkt in der Impedanz - Frequenzkurve hat aber diese Waveimpedanz. Um die Änderungen der Perturbation auf die globale Wave Impedanz „Magnitude“ darstellen zu können, wird diese aus dem Mittelwert der Minima und der Maxima berechnet und wird an der Frequenzposition der Maxima in den Grafiken angezeigt. Sie beschreibt die geometrische Mitte, von der die Maxima und Minima skalar abweichen. Der skalare Faktor dafür ist der „Q1-Faktor“.

Q1-Faktor = Wurzel aus Magnitude Maxima / Wurzel aus Mittelwert Magnitude Minimas.

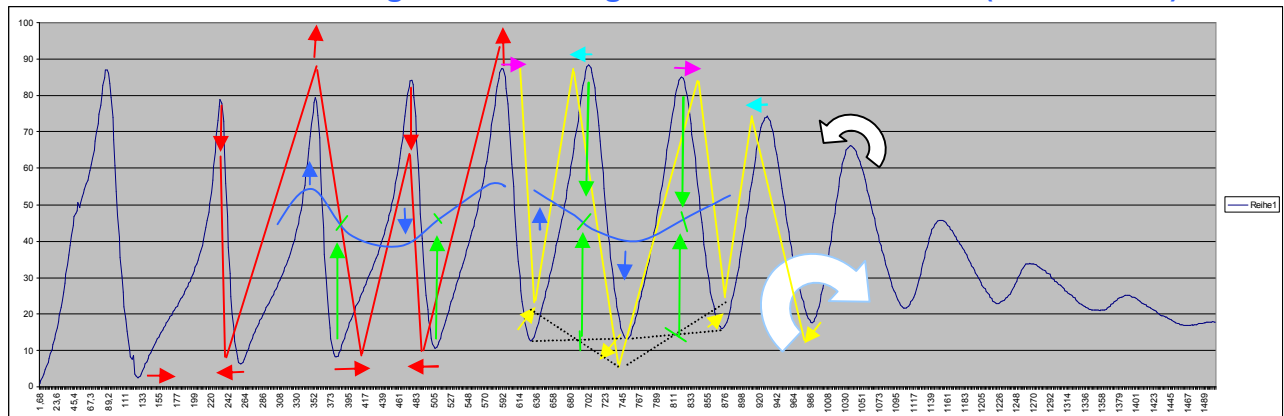
Peak Maxima / Q1 = Wave Impedanz, Wave Impedanz / Q1 = Minima,

Mittelwert Minimas \* Q1 = Wave Impedanz, Wave Impedanz \* Q1 = Maxima.

Da die **Minima** bei Blechblasinstrumenten im Gegensatz zu simplen Zylindern aber auch immer unterschiedlich hohe Magnituden haben, ist dies hier nur ein simpler Mittelwert in der Frequenzmitte der Minima, diese Mitte stimmt **nicht** mit den Frequenzpositionen der Maxima überein. Die Maxima haben einen teils sehr starken Versatz zur Mitte der Minima.

Nur in einem Bereich etwas oberhalb der MPC Popping Frequ. herrscht kurz ein Gleichgewicht.

## Schematische Darstellung der Änderungen durch Constrictions (übertrieben)



globale Auswirkungen:

Rot =

**Constrictions nahe XM-PN**

Peaks -> Amplitude, Minima -> Frequ.

-> Odd NTs nehmen Even NTs Potential und Frequenzraum weg.

Gelb =

**Constr. nahe XM-IN.1**

Peaks -> Frequenz, Minima -> Amplitude

Pfeile:

**ODD = Press. AN., EVEN = Press. Node**

Blau =

Wave Impedanz bei XM-PN

ändert sich mit Maxima, selbe Richtung

Globale

Wave Impedanz bei XM-IN

ändert sich mit Minima, selbe Richtung

(=immer wo sich Magnituden ändern); dazwischen - an den Flanken aber unterschiedlich.

Grün:

Symbolische Schnittpunkte Skizze Wave Impedanz ohne Perturbation

Schwarz:

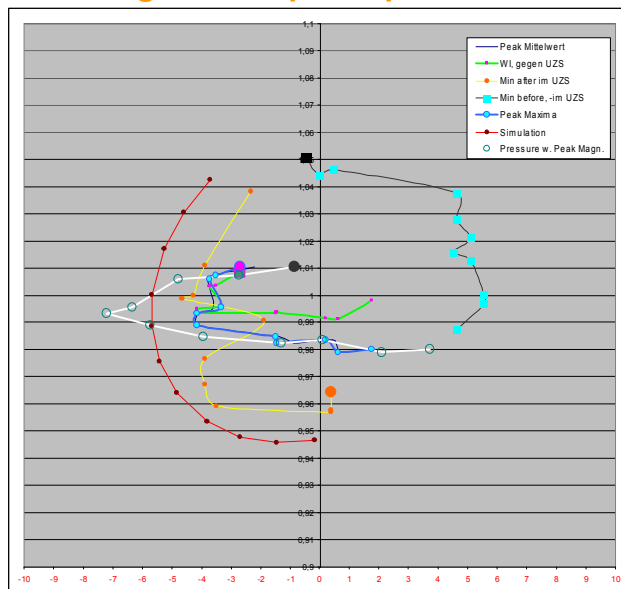
Drehrichtung Peaks und Waveimpedanz, Weg Mundstück -> Schallbecher

Hellblau:

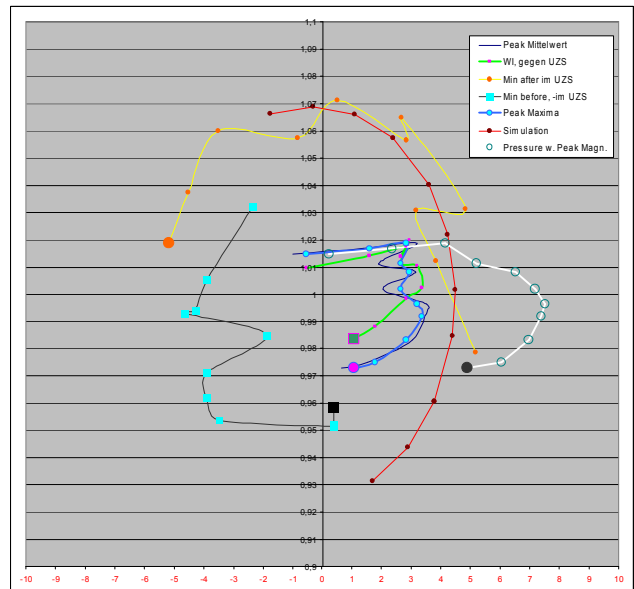
Drehrichtung Minima (mehr Potential), Weg Mundstück -> Schallbecher

## FFT Messungen Trp. V0 Hülstentest #5, Center Position 57,6-67,6cm (1 cm Schritte)

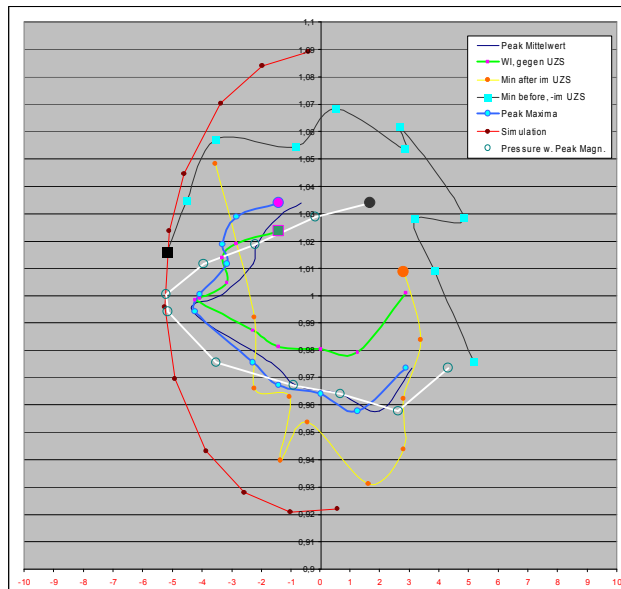
### Änderungen der Input Impedanz Maxima und Minima durch lokale Constrictions



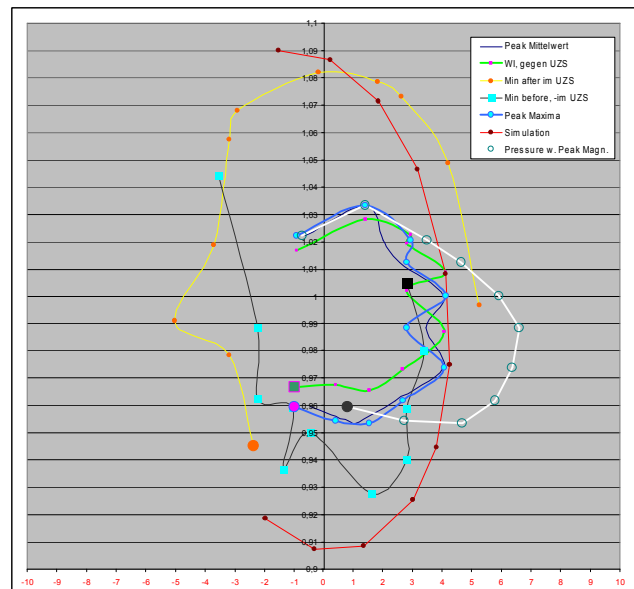
NT6 Press.Node bei ~61,0PN 65cm



NT7 Press.Max. bei 61,6 PN 67cm -odd



NT8 Press.Node bei 62,0 PN 65cm



NT9 Press. Max. bei 62,6 PN 67cm -odd

**Der Startwert bei 57,6cm ist jeweils mit einem Marker versehen, jeder Punkt +1cm**

**Rot:** Simulation ART, Peak Maxima Pos.(Magn.Pot=zu hoch)->**gegen** Uhrzeiger

**Blau fett:** Peak Maxima Center-Freq. Positionen,

-> **gegen** Uhrzeiger

**Hellgrün:** Wave Impedanz (Am Freq. Punkt Maxima)

-> **gegen** Uhrzeiger

**Weiß:** Pressure Messung auf Pos. von Peak Magnitude

-> **gegen** Uhrzeiger

**Blau-türkis:** shared **Minima** Positionen vor Peak

<- **im** Uhrzeigersinn!

**Gelb:** shared **Minima** Positionen nach Peak

<- **im** Uhrzeigersinn!

## Das bedeutet für Maxima, Minima und Peaks insgesamt mit Constrictions:

**bei XM-IN1:** Peak Maxima fast max. **Frequenzänderung**, Peak Magn. bleibt Fakt. 1,0:

NT unger.5/7/9 gerade 6/8	<b>Peak Max.:</b> Frequ. höher Frequ. tiefer	Minima <b>vor</b> Peak: <b>Frequenz tiefer</b> <b>Frequenz höher</b>	<b>Minima</b> Magnitude etwas tiefer Magnitude ist höher
NT unger. 5/7/9 gerade 6/8	<b>Peak Max.:</b> Frequ. höher Frequ. tiefer	Minima <b>nach</b> Peak: Frequenz kaum geändert, Frequenz kaum geändert,	<b>Minima</b> <b>Magnitude max. höher</b> <b>Magnitude max. tiefer</b>
NT ungerade: gerade:	<b>Peak Max.:</b> <b>Frequ. höher</b> <b>Frequ. tiefer</b>	<b>Der Peak gesamt:</b> <b>breiter, beginnt früher</b> <b>schmäler, beginnt später</b>	Minima Magnituden: <b>1: tiefer, 2: höher</b> <b>1: höher, 2: tiefer</b>

**bei XM-PN:** Peak Maxima fast max. **in Magnitude verändert**, Pitchnode = -/+ 0 Cent:

NT unger.5/7/9 gerade 6/8	<b>Peak Max.:</b> Magn. ist Max. Magn. ist Min.	Minima <b>vor</b> Peak: <b>Frequenz etwas tiefer</b> <b>Frequenz höher</b>	<b>Minima</b> Magnitude etwas höher Magnitude kaum geändert
NT unger. 5/7/9 gerade 6/8	<b>Peak Max.:</b> Magn. ist Max. Magn. ist Min.	Minima <b>nach</b> Peak: <b>Frequenz ist max. höher</b> <b>Frequenz ist max. tiefer</b>	<b>Minima</b> Magnitude kaum geändert Magnitude kaum geändert
NT ungerade: gerade:	<b>Peak Max.:</b> <b>Magn. ist Max.</b> <b>Magn. ist Min.</b>	<b>Der Peak gesamt:</b> <b>am breitesten, endet später</b> <b>am schmälisten, endet früher</b>	Minima Magnituden: <b>1: ~, 2: -</b> <b>1: -, 2: -</b>

### Zusammenfassung Minima sind „odd/even shared“:

shared 1/2 Minima nach NT1 = vor NT2  
shared 5/6 Minima nach NT5 = vor NT6  
shared 6/7 Minima nach NT6 = vor NT7 usw.

<b>XM-IN1</b>	<b>Magnituden Nulldurchgang (Node)</b>	<b>odd/even</b>
<b>Ungerade NT:</b>	<b>Gerade NT:</b>	<b>shared Minima</b>
<b>steigen in Frequenz, Peak breiter</b>	<b>fallen in Frequ., Peak schmaler</b>	<b>Frequ.+Magn.+</b>
<b>XM-PN</b>	<b>Pitch Nulldurchgang (Pitch-NODE)</b>	<b>odd/even</b>
<b>Ungerade NT:</b>	<b>Gerade NT:</b>	<b>shared Minima</b>
<b>steigen in Magn., Peak breiter</b>	<b>fallen in Magn., Peak schmaler</b>	<b>Frequ. max. höher</b>

**Minima > ~ NT 3 werden durch die Perturbation wesentlich stärker verändert als die Impedanzspitzen selbst.** Wie man sieht ist das ein „Streit“ der Natur um die gesamte Impedanzverteilung zwischen benachbarten Resonanzen im Wechselspiel odd/even, da sich diese vor allem die Minima teilen und anhand Potential unterschiedlich beeinflussen – ähnlich der Auslöschung von Frequenzen bei Löchern. Bei niedrigeren Frequenzen ist dieses Wechselspiel weniger bis gar nicht ausgebildet, da hier „genug und einfach viel mehr Platz“ ist.

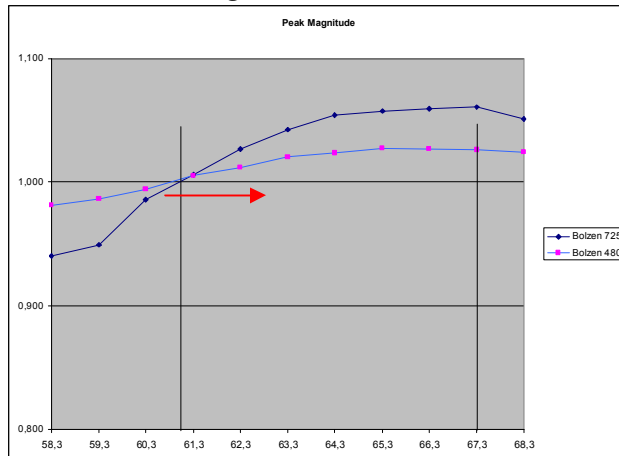


## Impedanzkurve: Mögliche Vergleichsparameter identifizieren

1. Wo Peak Magnituden Nulldurchgänge sind = an Positionen von Druckbäuchen und Druckknoten, sollten Minima Magnituden ~ maximal abweichen.
2. Wo Peak Magnituden max. Pot haben, sollten Minima Magnituden kaum geändert sein.

## Globale Änderungen: Impedanz Maxima / Peak Magnituden

Notiz: Diese hier verglichenen Messdaten sind aus Bolzentest #7



**Druckbauch -->** (FFT-Mess. gegenüber ART-Sim Trend)

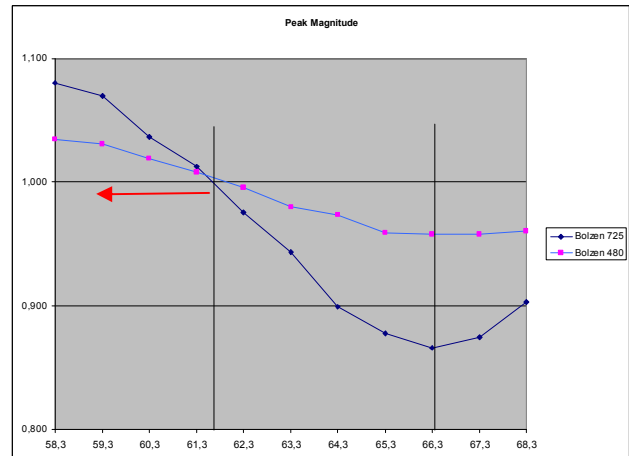
Peak Magn.Node / Minima max.Pot up

NT7: 60,8 / 62,0 cm

NT7: 61,0 / 61,3 cm

**Bolzen 480**

**Bolzen 725**



**<-- Druckknoten**

Peak Magn.Node / Minima max.Pot up

NT8: 62,0 / 62,0 cm

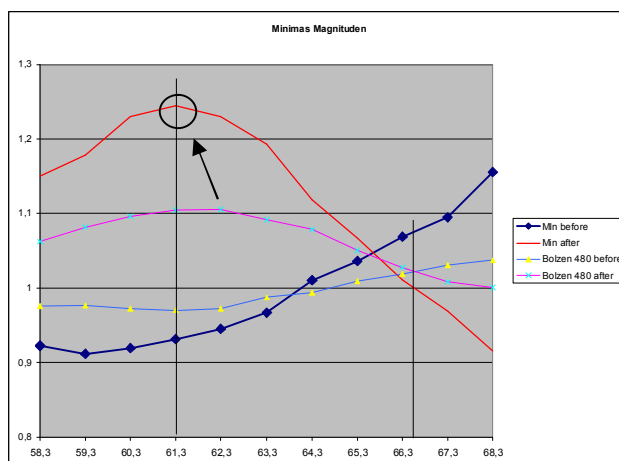
NT8: 61,5 / 61,3 cm

Das Instrument wird mit Bolzen 725 akustisch ~ 0,5cm länger = etwas größere Wellenlänge!  
Globale Druckknoten-Abstände werden weiter, dafür liegen hier ermittelte PEAK Magnituden-  
Nulldurchgänge etwas enger zusammen, als der Ursprung sein muß bzw. bei schwächerer Perturbation!

Bei XM-IN1 durch starke Perturbation, spez. Radius Verluste ermittelt: Druckbauch: -> <- Druckknoten:

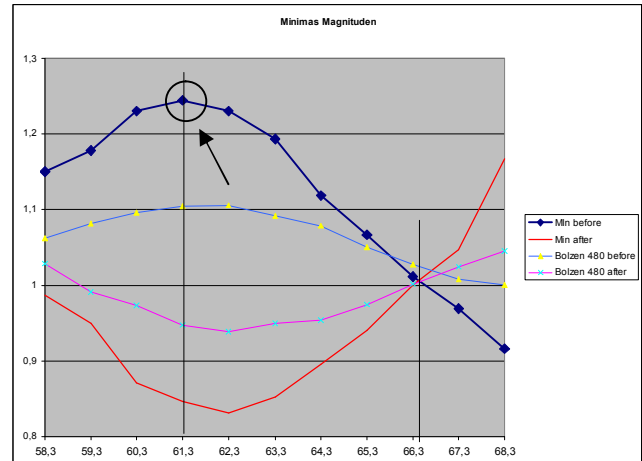
Für den Ursprung ist eine Korrektur in die andere Richtung ist erforderlich: für odd Modes <-- --> even Modes

## Das Verhalten der shared Impedanz Minima 7/8:



**Minima nach NT7**

=



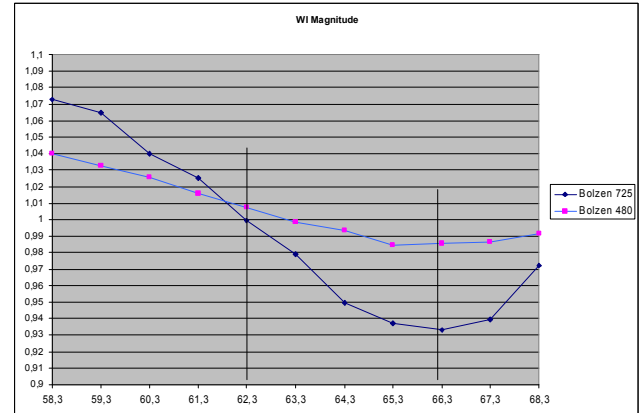
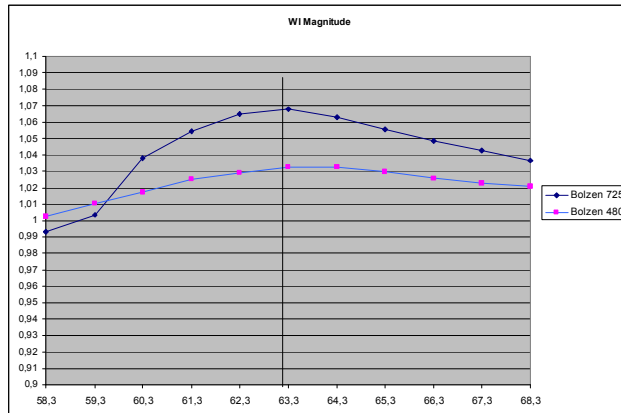
**Minima vor NT8 (mit NT7geteilt/“shared“).**

Minima liefern teils gute Kontrollwerte für NT8: max. Magn. kurz vor XM-IN1, Node bei XM-PN.

Mit Kugel u. Bolzen ist max. MINIMA Magn.Pot weiter vor XM-IN1, Node bei XM-PN, min. Magn. bei XM-IN2!

Für den Ursprung notwendige Korrektur = selbe Richtung wie Mode 8 = ->

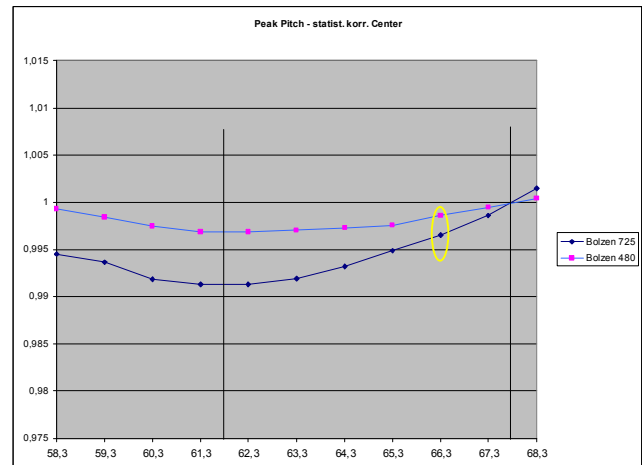
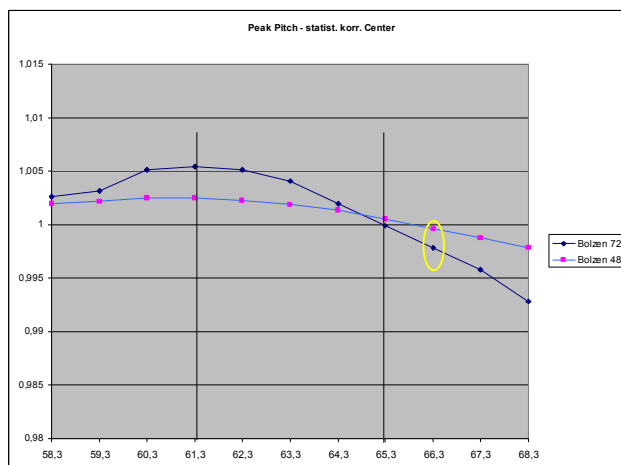
## WI - Wave Impedanz - Änderungen



NT7: **WI Magnitude** max Pot+ bei ~63/63,7cm NT8: Nulldurchgang bei 62,3cm / 63cm

*WI: Auch Minima vor NT 7 bzw. nach NT 8 sind hier berücksichtigt, liefern daher andere Werte, scheiden aus.*

## Pitchnode – Änderungen bei XM-PN:



NT7 Pitch max. Pot+ bei ~ 61cm

NT8 Pitch max Pot- bei ~ 62cm

(--> **FFT-Mess. gegenüber ART-Sim Trend: <--**)

**Pitch Nodes + Pot** sind bei Bolzen 725 schon stark nach unten versetzt / Nullversatz.

Die Anwesenheit der Bolzen sorgt für Verluste = Vertiefung bzw. weniger Erhöhung, egal wo der Bolzen sich befindet. Ähnlich der sichtbaren Spitze eines Eisberges. Der ermittelte Abstand von Pitch-Maxima zu Pitchnodes ist daher (z.B. um XM-PN)

Odd: Pitch-Node-Abstände sind schmaler  
1/8WL = 5,25cm

Even: Pitch-Node-Abstände sind breiter  
1/8WL = 4,66cm

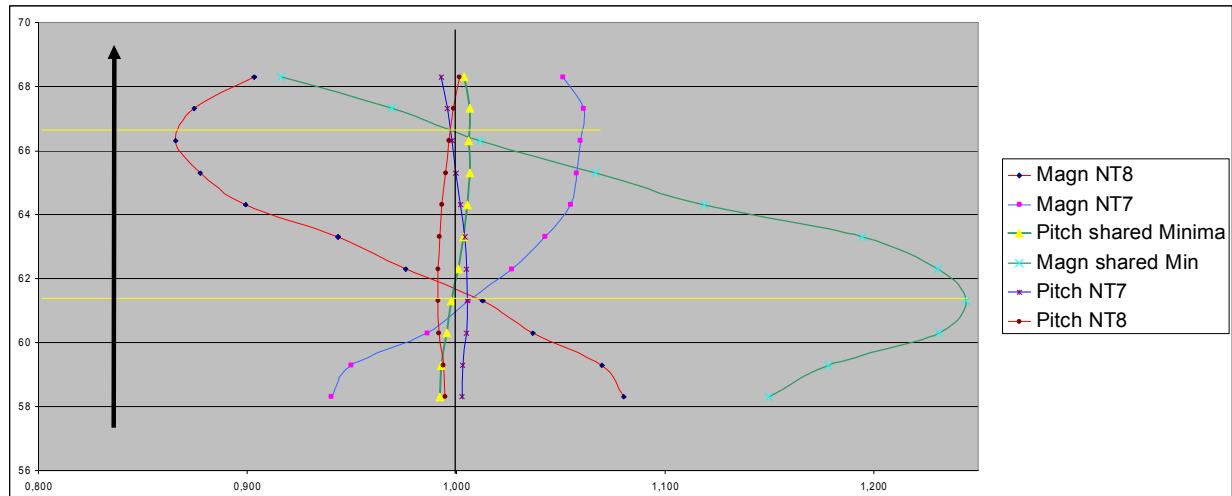
mit Bolzen 480: Null = ~65,8cm  
+5,5%\* = 0,3cm -> **=Node 66,1cm**  
mit Bolzen 725: Null = ~65,3cm  
+16,6%\* = 0,9cm -> **=Node 66,2cm**  
- 1/8 WL wäre max Pot ~ 61cm

mit Bolzen 480: Null = ~ 67,8cm  
-5,5%\* = 0,3cm <- **=Node 67,5cm**  
mit Bolzen 725: Null = ~67,8cm  
-16,6%\* = 0,8cm <- **=Node 67,0cm**  
- 1/8 WL wäre max Pot ~ 62,3-62,8cm

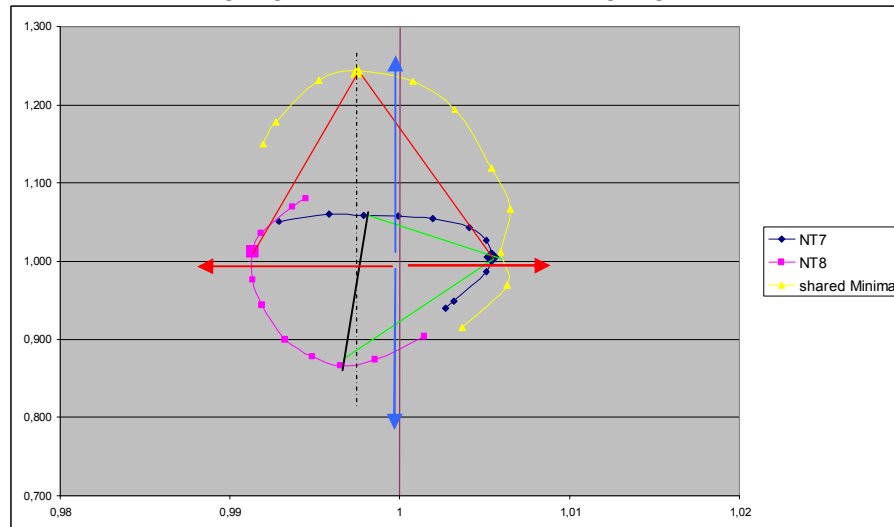
%\* einer 1/8 Wellenlänge; Bolzen 480 hat ~ das gleiche Pot. wie die Std. Hülse aus ART.

Bei XM-IN hat NT7 weniger Pitch Pot Versatz, Bei XM-PN ist es bereits größerer Versatz.

Pitch Pot ist allerdings wesentlich fehleranfälliger zu ermitteln und könnte nur für eine Gegenprobe sein. Bei einer C Trompete müssten dabei NT7 / NT8 durch NT6 / NT7 und deren gemeinsame Minima ersetzt werden.



Bolzentest 7, Bolzen 725: bei Pos. 61,3 ist die shared Minima Magn. stark erhöht, 67cm Nulldurchgang Peak7 Nulldurchgang früher, Peak8 Nulldurchgang später, da nicht symmetrisch



BT7 725, Pos 58,3-68,3cm je 1cm ;shared Minima im Uhrzeigersinn, Peaks gegen Uhrzeigersinn. Pos 61,3cm markiert; Blau = Druck/Magnitude, Rot = Fluß/Pitch, Zentrum = jeweils IST ohne Pert: Druck zu Fluß bzw. Magnitude / Pitch (Info: Final korr. Punkte sind 0,2mm später).

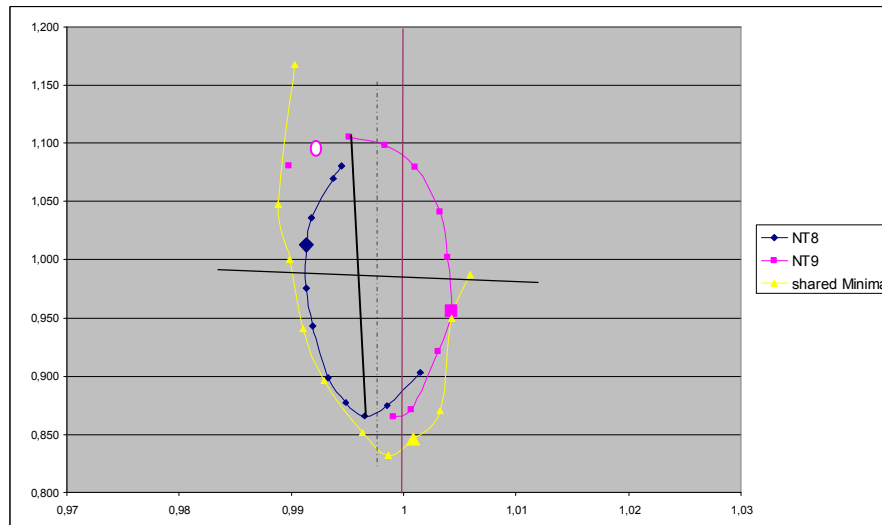
Shared Min. Magn. UP ist nur hier annähernd genau am Punkt von max. Pitch +/- Pot Peaks, dieser ist versetzt (lower Frequ), der shared min. Pitch Nulldurchgang ist später, hier ca 0,8cm; Imp. Magn. Node Peak NT7 hier, Imp. Magn. Peak Node NT8 minimalst später

shared Min Magn. **Nulldurchgang** ist bei **max Magn. +/- Pot der Peaks (eindeutig)** PN NT7 früher, PN NT8 später.

**Minima Magn. weichen nach oben stärker ab, ihre max. Magn. Auslenkung ist mit Constrictions immer bei einer tieferen Frequenz (früher).**

**Alle Max sind bei tieferer Frequenz (Versatz down durch xl Constr.); auch die shared Min.!**

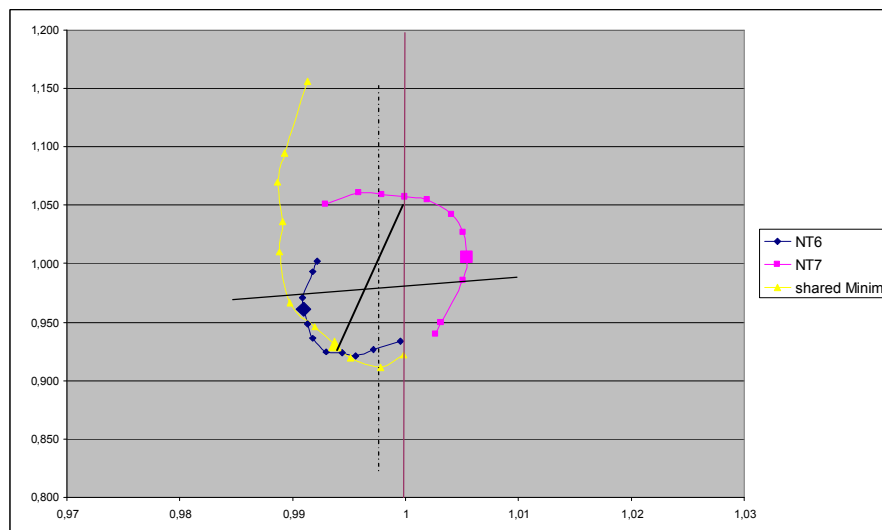
Shared Minima Magn. sind ebenfalls beinahe 90 Grad versetzt, wenn kein Versatz / Mpc eq. L; aber sobald ein Versatz gegeben ist sind dieses ebenfalls versetzt:



Shared NT 8-9 = Minima -Magn.etwas später, NT9 Magn. Node später (Mpc eq L)

**Shared Min. Magn. DOWN ist maximal am Punkt von max. Pitch +/- Pot Peaks**, dieser ist versetzt, der shared min. Pitch Nulldurchgang ist früher, hier ca 0,5cm IN NT9 später, IN NT8 minimal später

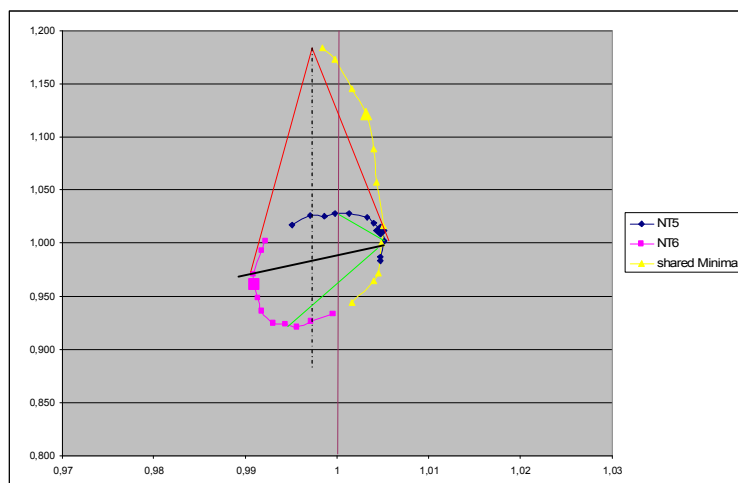
**Shared Min Magn. Nulldurchgang** ist bei **max Magn. +/- Pot der Peaks (eindeutig)** PN NT9 früher, PN NT8 später.



Shared NT 6-7 = Minima -Magn. viel früher. NT6 Magn.Node sehr viel früher (Mpc eq L)

**Shared min. Magn. DOWN ist hier maximal weit vor max. Pitch +/- Pot Peaks** dieser ist versetzt, der shared min. Pitch Nulldurchgang ist früher, hier ca 1cm IN NT7 viel später, IN NT6 minimal früher

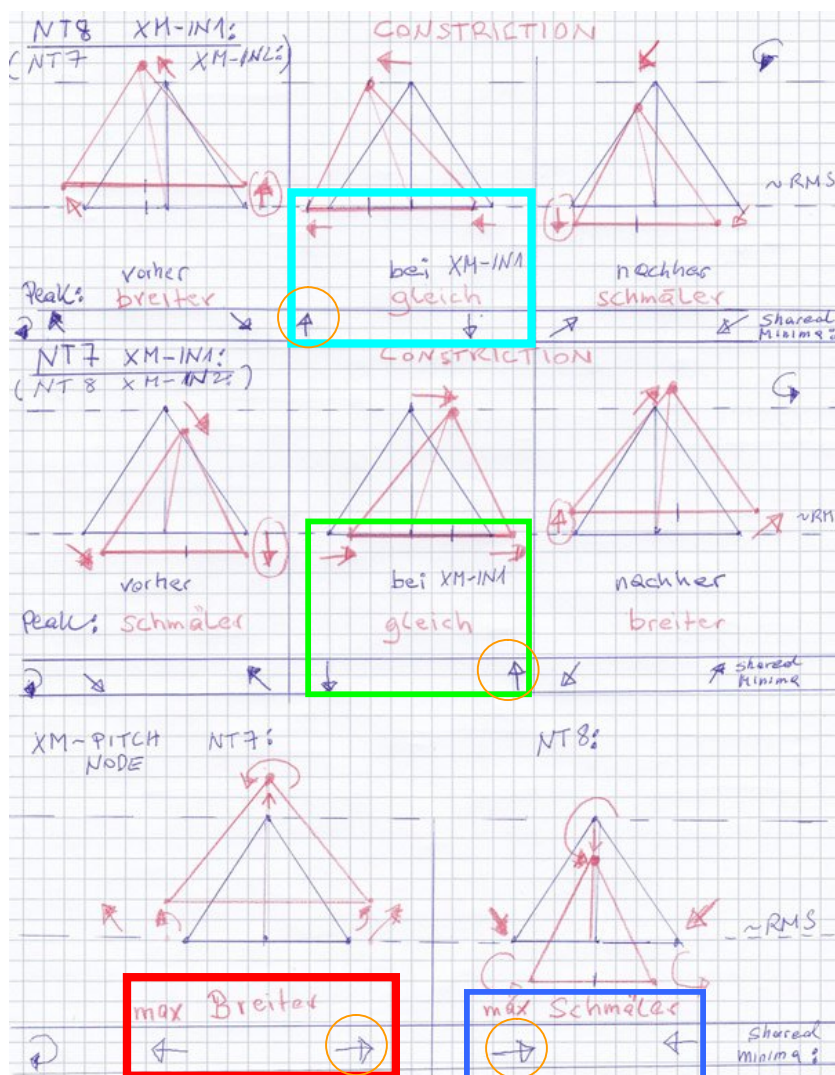
**Shared Min Magn. Nulldurchgang** ist bei **max Magn. +/- Pot der Peaks (nicht eindeutig)** PN NT7 früher, PN NT6 später.



Shared NT 5-6 Minima +Magn. sehr viel früher. NT6 Magn.Node viel früher (Mpc eql L)  
Nulldurchgang ~ bei max Magn. Pot, nicht Pitch XM

Shared Min. Magn. UP ist maximal **vor** max. Pitch +/- Pot Peaks >3cm  
dieser ist versetzt, der shared min. Pitch Nulldurchgang ist später, hier >1cm  
Shared Min Magn. Nulldurchgang ist bei **max Magn. +/- Pot der Peaks (eindeutig)**  
PN NT5 minimal früher, PN NT6 viel später.

### Schema Constrictions, Auswirkung auf Peaks, RMS Flanken (Peak -3dB) & Minima:



**Richtung = Mundstück->Bell:**

Peaks: gegen Uhrzeigersinn  
Minima: im Uhrzeigersinn

NT8 Steps: **ABCH->DEFG**  
NT7 Steps: **DEFG->ABCH**

**A B C** (lower Pitch)

**RMS Breite bei XM-IN:**  
~ gleiche Peak Breite (RMS)

größte Neigung, Peak mehr shift  
RMS weniger verschoben,  
Flanken werden dadurch steiler  
oder flacher

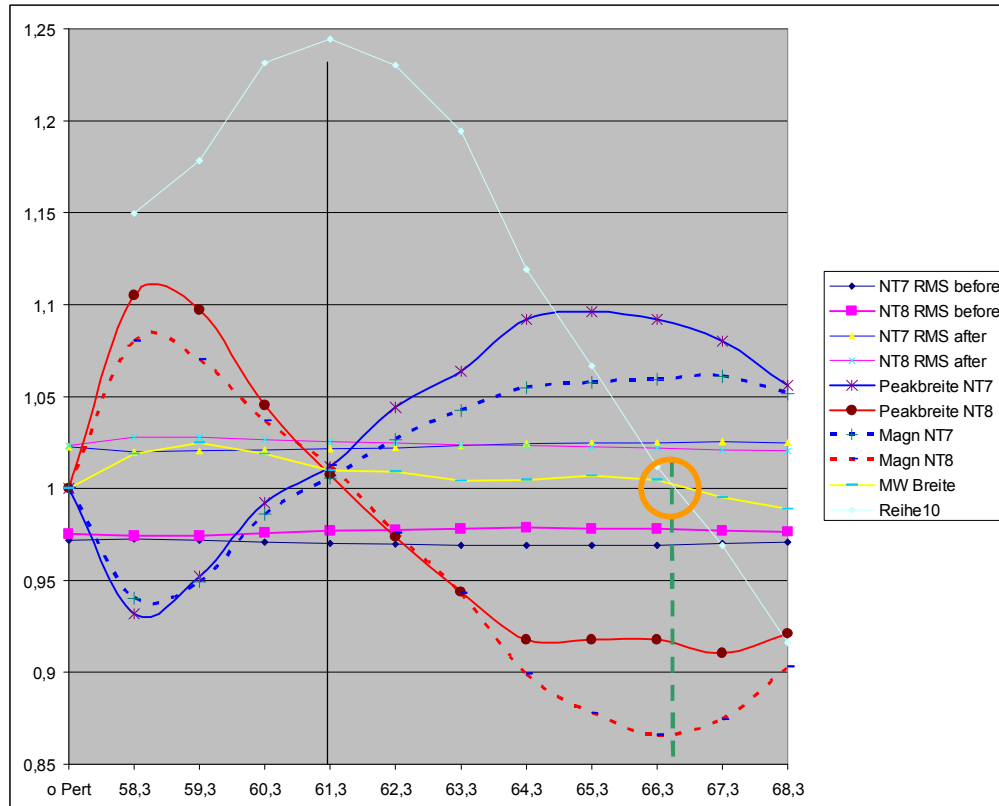
**D E F** (higher Pitch)

**RMS bei XM-PN:**  
max breiter+höher oder  
max schmaler + niedriger

geringste Neigung gegenüber  
nicht perturbierten Zustand

**G H**

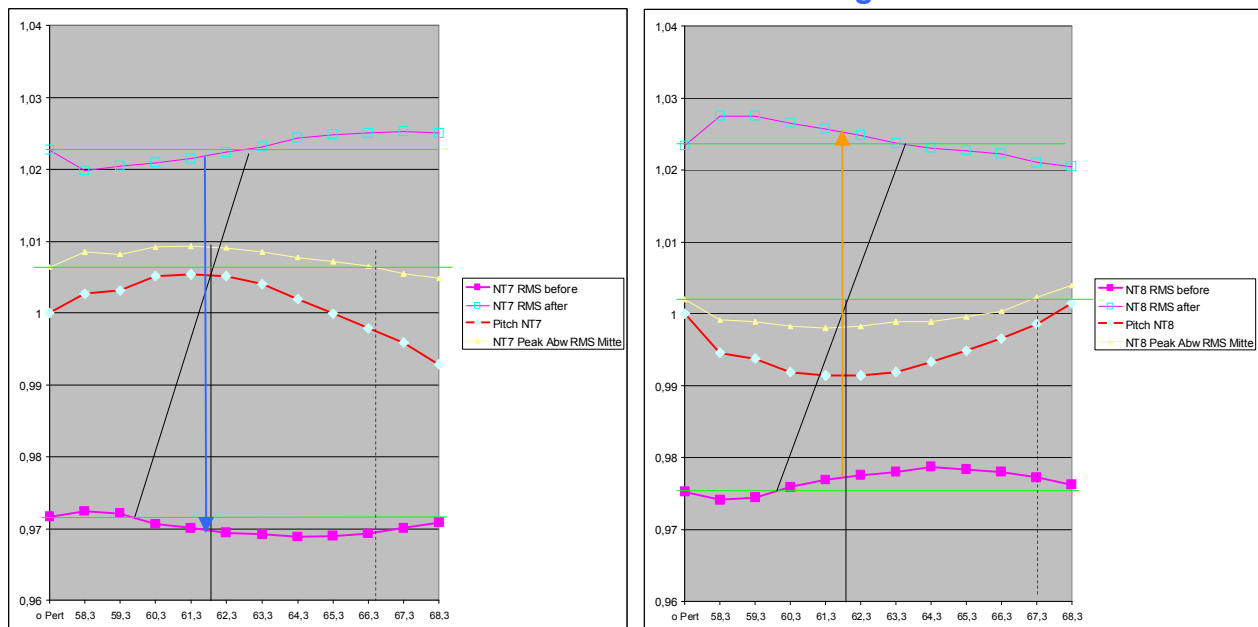
### RMS (-3dB) Peak-Breiten ändern sich:



NT 7/8: Umso höher die Peakmagnitude, ~ umso breiter wird generell auch der Peak  
Am Minima Magnituden Nulldurchgang bleibt **ihre „gemeinsame“ RMS Breite (Summe)** gleich.

Das Potential der „Peak Breiten“ hat mit Bolzen 725 eine Tendenz, daß Peakbreiten weniger stark reduziert werden bzw. bei Magnitude UP eine zus. verbreiternde Wirkung zeigen.

### Das RMS Start/Stop (-3dB) Pitch Potential kreuzt nahe XM-IN, ohne einen Versatz wäre die Position max. Pitch Pot +/- gleich XM-IN.



Pitch / Frequenzfaktoren NT7 & NT 8 zu geänderten Pitch durch Constriction Bolzen 725  
XM-IN1 bei ~62cm = Pressure Node = ~ max. Peak Pitch Pot down.

Grüne Linien: Standardabweichung vom Peak = jeweils Faktor 1,0

Rms Wert vor Peak: unter grüner Linie: Flanke ist flacher, über grüner Linie: Flanke ist steiler

Rms Wert nach Peak: unter grüner Linie: Flanke ist steiler, über grüner Linie: Flanke ist flacher

Gelb: Abweichung Peak Frequ. zu Mitte der RMS-Punkte = **Mehrauslenkung** Peakspitze zu RMS;

NT7 bei 62cm entspricht Ost / ; NT8 bei 62cm entspricht West. \ = max. Peak Neigung.

Bei ~ XM-PN: NT7 = Nord ; NT8= Süd: | = keine Mehrauslenkung Peak-Spitze.

**Peaks behalten bei XM-IN1 und XM-IN2 (ohne Versatz) neben ihrer Magnitudenhöhe auch ihre „Standardbreite“ um -3dB (RMS Peak Values).**

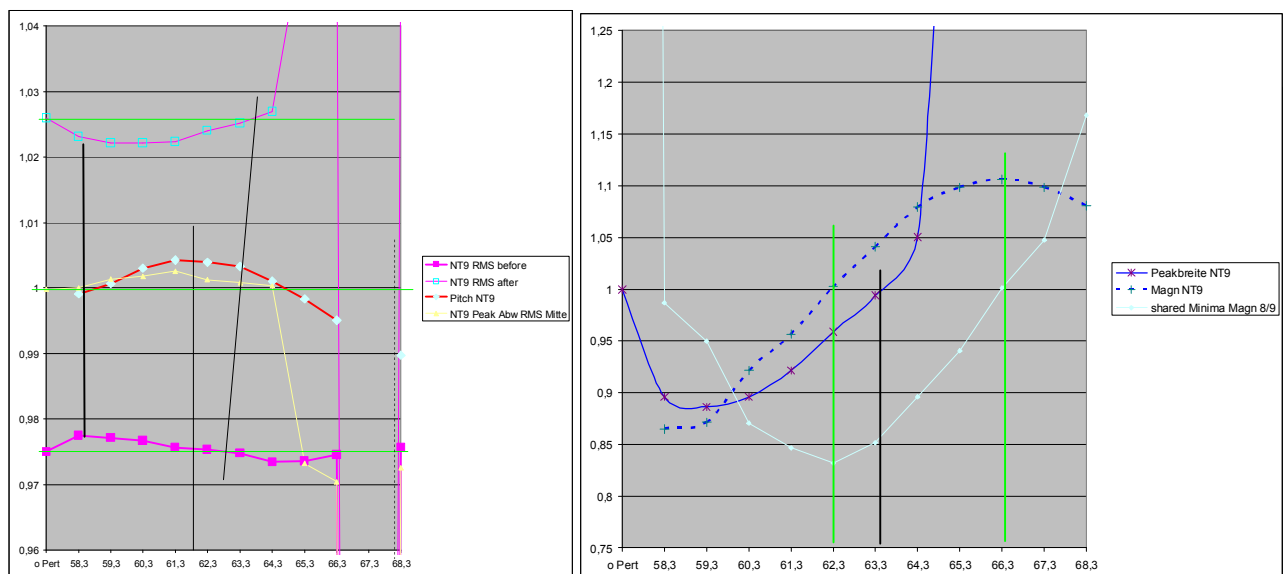
Wo die shared Minima Magnitude NT7/NT8 ihren höchsten Wert erreicht ~XM-IN1, **behalten** Peaks ihre „Standard“ **Breite und Standardpeakhöhe**, wie ohne Perturbation. Peak Spitzen haben hier ihre größte Auslenkung West/Ost, d.h. den Punkt mit der stärksten Neigung/Pitch-Pot.

Wo shared Minima Magnitude nicht verändert ist, sind die max. Magnitudenänderungen der Peaks. Die shared Minima Magnitude hat hier ihren Nulldurchgang zwischen den XM-PN Werten von NT7 und NT8. (Die Wellenlänge liegt ebenfalls zwischen jener von NT7 und NT8.)

Durch eine Constr. bei ~ XM-PN (= für Even NT nach Druckknoten) muß die Peakspitze niedriger und schmaler werden, bei Magnitudenerhöhung breiter (ODD NT nach Druckbauch). Dafür haben Peakspitzen hier die geringste Abweichung der Neigung gegenüber den RMS Werten.

### Andere Peaks zeigen jeweils Effekte durch Versatz:

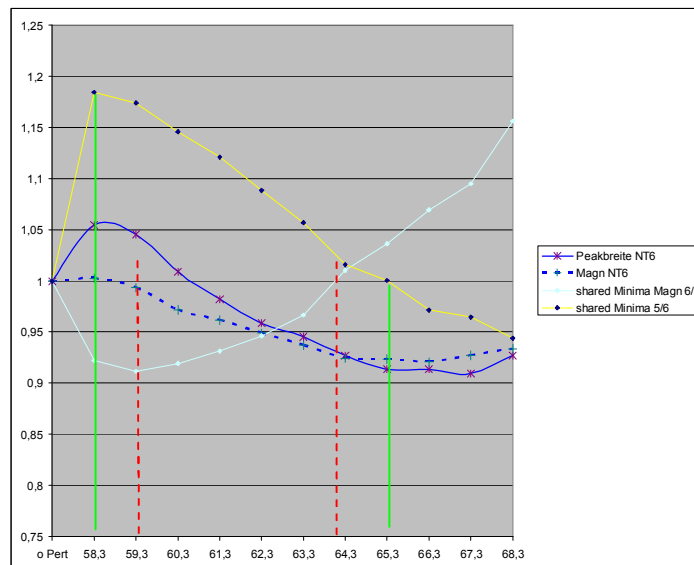
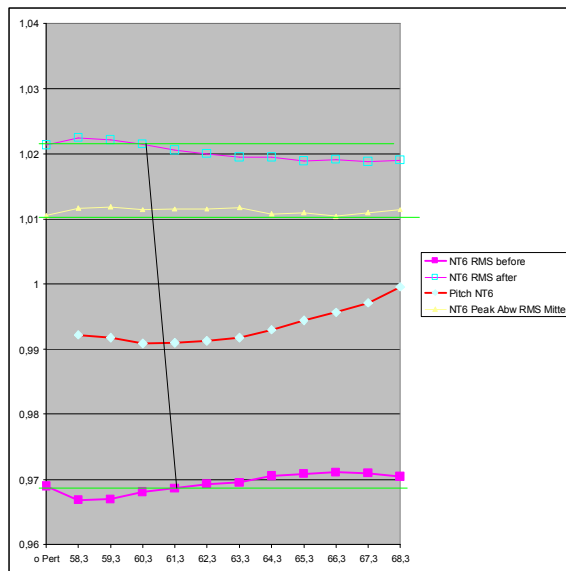
Oberhalb MPC Popp. Freq:



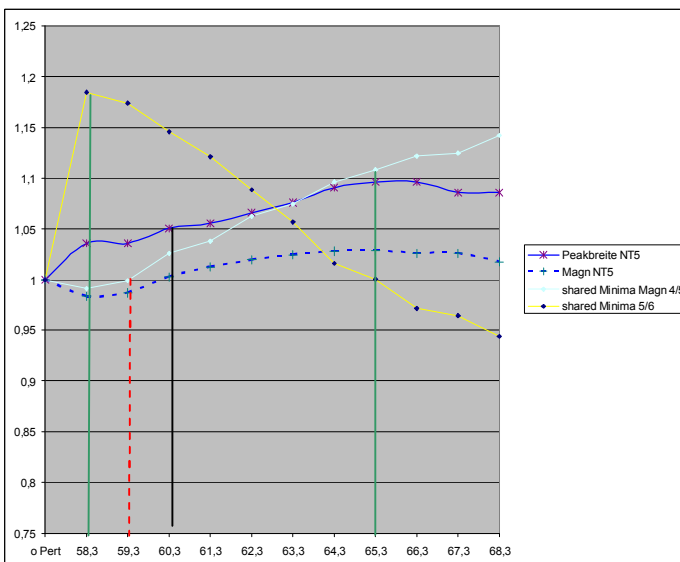
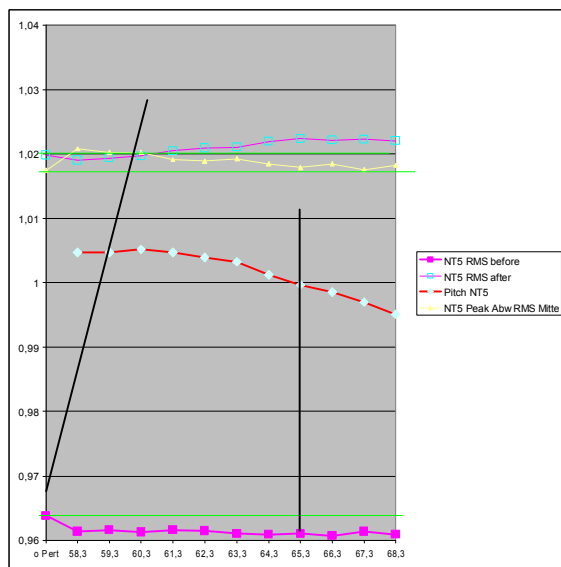
NT9 RMS Start ist höher (valid bis 64,3 cm), Peakbreite ist hier beim Magnituden Nulldurchgang ~4% schmaler, Peakhöhe und Nulldurchgang stimmt mit shared. Min. Magnitude gut überein



Unterhalb MPC Popp. Freq:

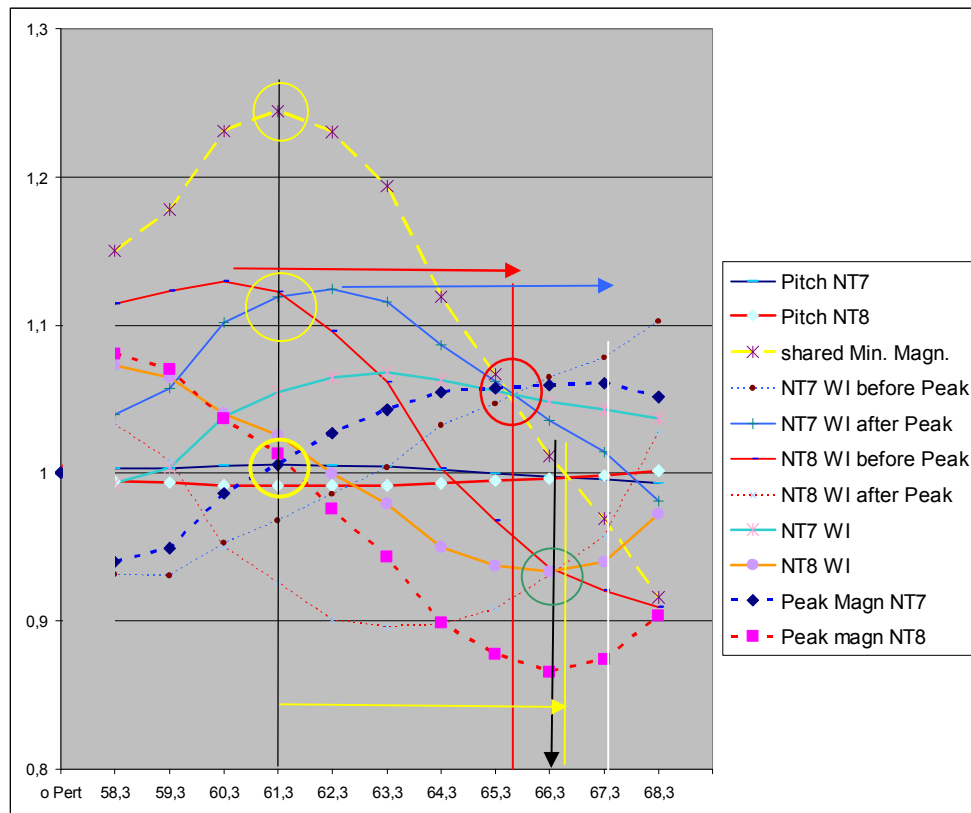


NT6: Peak ist bei Magn. Nulldurchg. ~5% breiter, shared **Min.6/7 stimmt nicht gut überein -1,3cm**  
hier ist schon ein starker Pitchversatz zu Magn., shared **Min. 5/6 stimmt hier viel besser überein!**



NT5: Peak ist bei Magn. Nulldurchgang ~5% breiter, shared Minima Nulldurchgang 5/6 stimmt hier gut mit Magnitude, Peakbreite und auch Pitch Node überein. Shared **Min 4/5 liegt hier 6cm vorher!**

## Wave Impedanzwerte (geometrische Mitten der Magnitude) vor und nach Peaks:



WI Crossings before und after Peaks =  
Geometrisch Mitten zwischen Peak und Minima **Magnituden**.

**Gelb: ~ shared Minima bei ~ XM-IN1:**

Die WI nach Peak NT7 und die WI vor Peak NT8 sind hier jeweils nahe ihres Zenits, da die Peak Magnituden hier kaum steigen oder fallen, aber die shared Minima maximal gestiegen ist, diese dominiert die WI-Werte und somit eine „shared“ Position XM-IN1 /mit Versatz.

+ Nulldurchgang: dieser ist näher an NT8 Magn.down = weniger Versatz.

**Green: = Max. Magn.Pot NT8 down:**

Schnittpunkt RMS Werte NT8 before/after/shared. (NT8 hat den kleinsten Pitchversatz)  
Pitchpot ist aber durch die starke Radiuseinengung down, Pitchnode NT8 daher erst später.

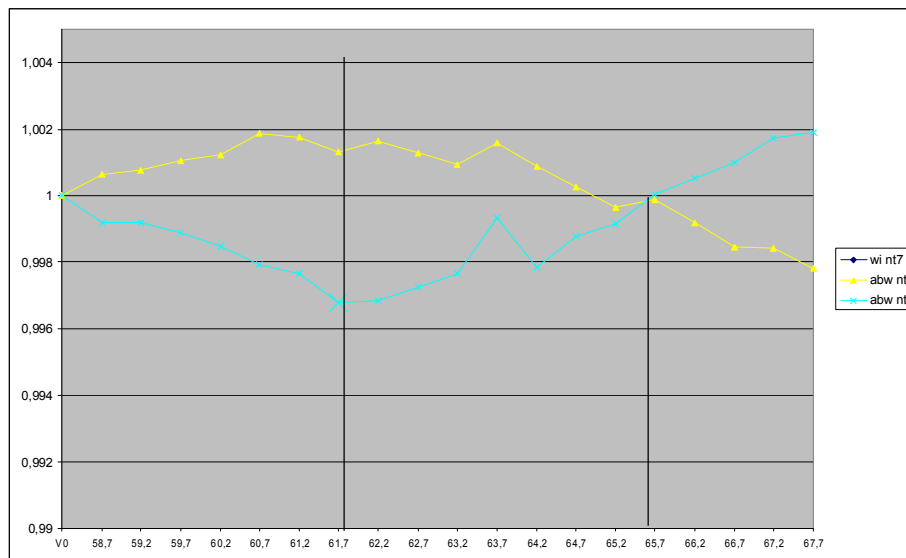
**Red: = Point of most IR-Pos. Deviation and Problems!**

Schnittpunkt RMS Werte NT7 before/after/shared; + ev. shared Minima Magnitude and also Pitch Node NT7, working against even Nodes?

## Perturbation mit Hülse, Auswirkungen auf die Wave-Impedanz:

Frequenzfaktor **Änderungen Peak Maxima** zu WI-Crossing **Geo-Mitte**:

Diese Mitte ist definiert als geometrischer Mittelwert der Crossing vor und nach dem Peak.

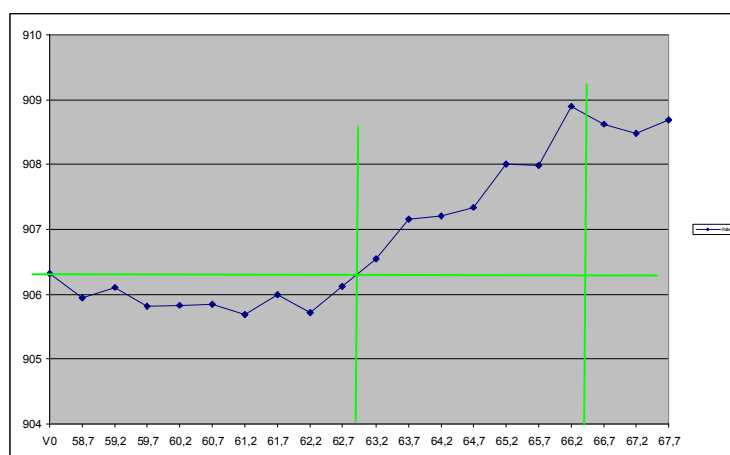


Constrictions durch Hülse L24mm, Wandstärke 0,5mm (FFT-Messungen)

Änderung durch die Constriction definieren die Verzerrungen der Peak-Symetrie;  
Der Peak von NT8 wird gegenüber seiner jeweiligen GEO-Mitte der FRQ-Crossings =1 wesentlich stärker verändert (zu tieferen Frequ. bei XM-IN1 „nach links gebeugt“) . \

Die Frequenz von Peak NT 7 liegt ohne Perturbation bereits um 1,5% höher (weiter rechts) als seine WI Crossings Geo-Mitte und wird deshalb nicht mehr so stark zu höheren Frequenzen „nach rechts gebeugt“ !.

**Vor XM-PN** ist das Verhältnis und die Peaksymetrie die gleiche wie ohne Perturbation!  
(D.h. durch einen Ausgleich der WI Crossings below und above Peak keine Pitchänderung Peak!).



Grün: **Waveimpedanz** Crossing **below** NT8 ohne Perturbation = 906,3 Hz

(Peak: bei ~ 58cm Pitchnode, bei ~62 max. Pitchpot down ~Press.Node, bei 66,5 Pitch Node)

Die Frequenzen (in Hz) der Wave Impedanz Crossings below NT8 liegen vor XM-IN1 (und zuvor) etwas unter dem Referenzpunkt, auch bei PN ~58cm, bei (und nach) XM-PN wesentlich höher.

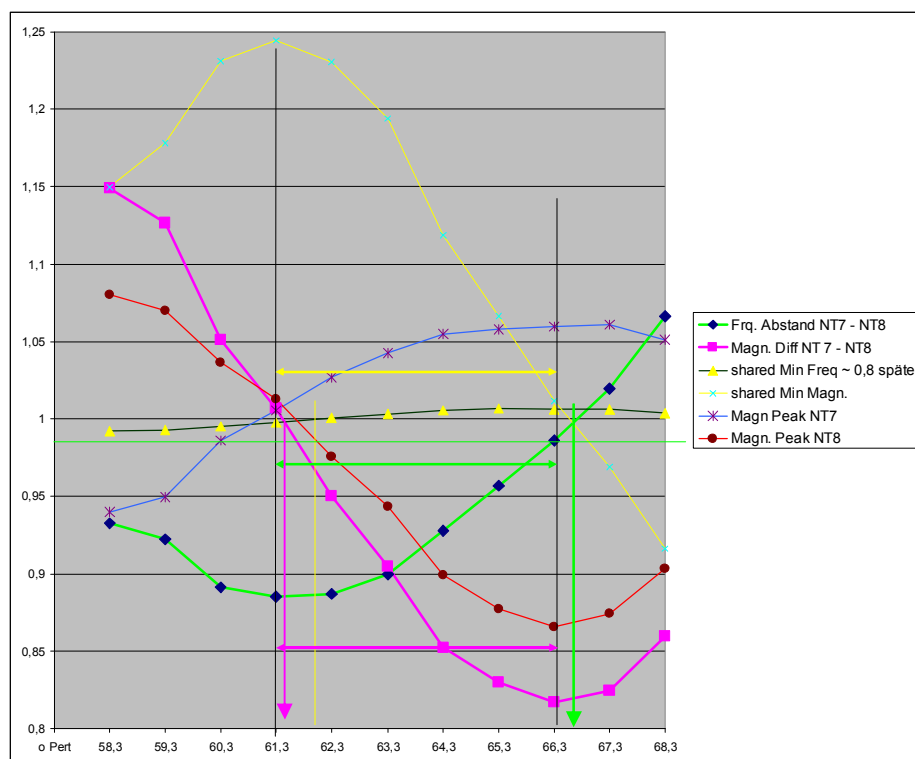
(Die WI Crossings below zeigen den Versatz von Pitchnodes zu Magnitude Nodes.)

## Impedanzkurve – weitere Vergleichsparameter definieren:

**Die shared Minima** NT7/8 bei Bb Trp. hat bei Perturbation mit Bolzen und Hülse ihr Magn. Max. bei XM-IN1, (mit Kugel ist das Magn. Max aber  $>\sim 1\text{cm}$  vor shared XM-IN1!), Magn. Nulldurchgang bei Max. Peak Magn. Pot. NT7/8 um XM-PN herum und ihr Magn. Min. bei XM-IN2. Bei weniger radikaler Radius-Constriction liegen auch die Magnituden Nulldurchgänge später. ( $\sim 4\text{mm}$ )

Shared Minima Magn. sind mit Bolzen 725: (Bb Trp. ART, FFT)	bei NT5/6	viel früher max up	( $\sim 4\text{cm}$ )
	bei NT6/7	früher max down	( $\sim 2\text{cm}$ )
	<b>bei NT7/8</b>	<b>etwas früher max up</b>	
	bei NT8/9	später max down	( $\sim +1\text{cm}$ )

**Shared Pos. zeigen immer den größten bzw. kleinsten gemeinsamen Nenner, ebenso noch mehr die Impulsresponse! Einzelwerte für NT7 und NT8 müssen daher zwangsläufig jeweils davon abweichen!**



eingezeichnete Abstandspfeile sind 5,0cm lang,  $\sim$ entspricht  $1/8\text{WL}$  von shared Min. NT7/8 Frequenz

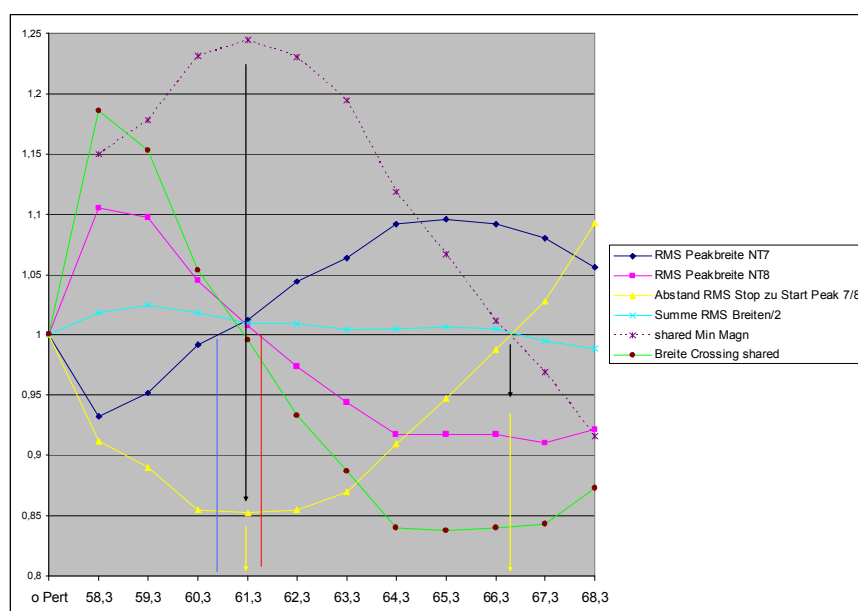
### # Referenz Messpunkte für Auswertung:

- |     |                                  |   |
|-----|----------------------------------|---|
| 01: | Shared XM-Pitch Pot near XM-IN1: | Frequenzfaktor Abstand Peak NT8 zu NT7, kleinster Wert    |
| 02: | Shared XM-IN1 near max Pitch Pot | Magnitudenfaktor NT8 zu NT7 muß 1,0 (1:1) sein            |
| 03: | Shared Minima NT7/8 Magnitude:   | Nulldurchgang = Wert 1,0 bei shared XM-PN                 |
| 04: | Mittelwert obiger Werte:         | Sollte XM-IN1 bzw. XM-max Pitch Pot schon gut eingrenzen! |
| 05: | Shared Minima NT7/8:             | Pitch-Nulldurchgang etwas später (ca 0,8cm).              |

**Der Abstand der ermittelten Knoten und Maxima sollte bei Verwendung von „shared Minima“, und „shared Abständen“  $1/8\text{WL}$  der shared Minima-freq. betragen – in diesem Fall 5,0 cm, ist aber mit Bolzen 725 etwas länger, eher die längere  $1/8\text{WL}$  von NT7 = 5,3cm,  $1/8\text{WL}$  von NT 8 ist hier 4,7cm.**

- |     |                                |  |
|-----|--------------------------------|--|
| 06: | Shared XM-Pitch Node:          | Frequenzfaktor Abstand Peak NT8 zu NT7 muß 1,0 sein      |
| 07: | Shared max Imp Pot near XM-PN: | Magnitudenfaktor NT8 zu NT7 muß kleinster Wert sein      |
| 08: | Shared Minima NT7/8:           | Magnitudenfaktor maximal gestiegen                       |
| 09: | Mittelwert obiger Werte:       | Sollte shared XM-PN bzw. XM-max Imp Pot. gut eingrenzen! |
| 10: | Shared Minima NT7/8:           | - Pitch max Pot up schwer auszuwerten                    |

## Gemeinsame RMS Werte, RMS-Band = Peak Breiten, NT7/8:



Daten aus BT7, Pert. = Constriction

später = höhere Frequ., früher = tiefere Frequenz als Abgrenzung zu Magnitudenwerten!

NT7	vor XM-IN1	bei XM-IN1	nach XM-IN1	bei XM-PN
NT7 Magn.	tief	gleich	höher	max. höher
NT7 Peak:	später	max. später	später	gleich
RMS:				
NT7 Start:	später	später	~gleich	früher
NT7 Stop:	~gleich	später	später	später
NT7 Breite:	=schmäler	~gleich +*	=breiter	vorher max. breiter
NT8	vor XM-IN1	bei XM-IN1	nach XM-IN1	bei XM-PN
NT8 Magn.	höher	gleich	tief	max. tiefer
NT8 Peak:	früher	max. früher	früher	gleich
RMS:				
NT8 Start:	früher	früher	~gleich	später
NT8 Stop:	~gleich	früher	früher	früher
NT8 Breite:	=breiter	~gleich +*	=schmäler	nachher max. schmaler
* MW jeweils breiter, ca. 1 %, rund 10% potent. RMS Breitenänderung mit Bolzen 725				

Der Breitenfaktor NT8 zu 7 ist bei shared XM-IN1 1,0, der RMS Abstand am kleinsten

Die Summe der RMS Peak Breiten NT7+8 bleibt um shared XM-PN gleich, RMS Abstand gleich

Abstand NT7 Stop – NT8 Start (Magn. bleibt)

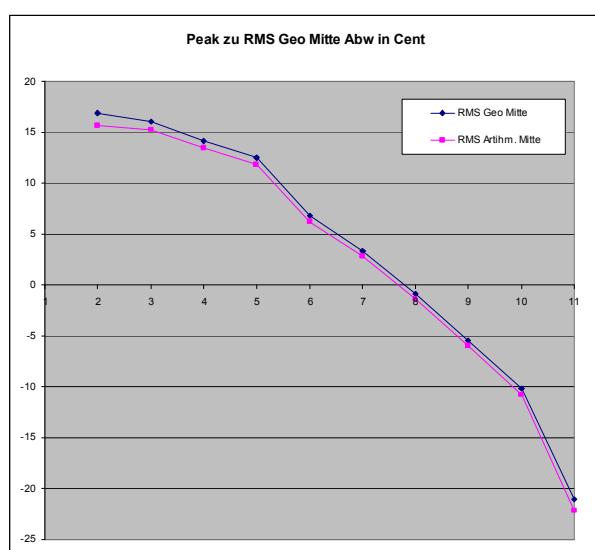
shared	vor XM-IN1	shared XM-IN1	nach XM-IN1	shared XM-PN
Peak Max.	kleiner	am kleinsten	kleiner	~gleich (Versatz)
RMS Abstand	kleiner	am kleinsten	kleiner	gleich

shared Min:	höher	~ höchste Magn.	höher	gleich
Min.Freq.	etw. früher	~gleich	etw. später	später
im UZS:	vor Nord	Nord	nach Nord	~ Ost

## # Referenz Messpunkte für Auswertung:

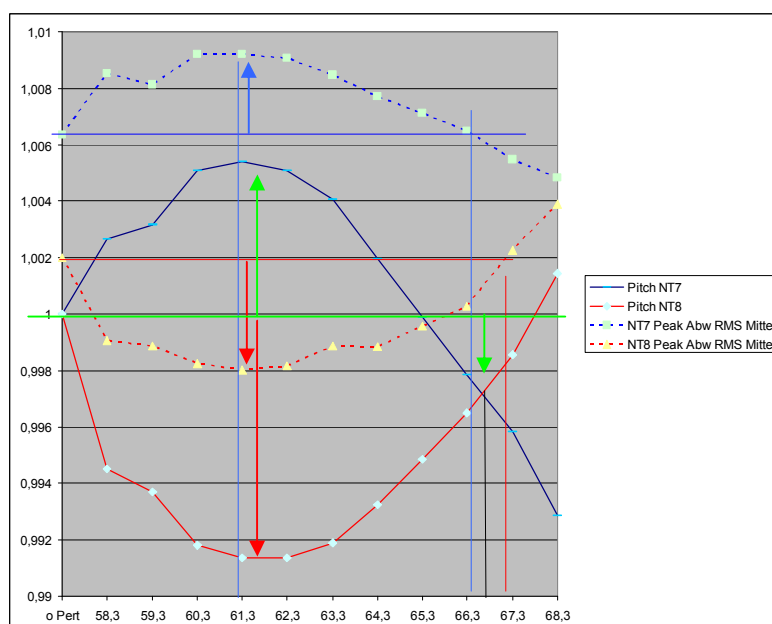
		Richtung davor:				
11	Peak Magnitude Node	NT7	aufsteigend	gleich 1,0	vor	shared XM-IN1, NT7
12	RMS Peakbreite Node	NT7	aufsteigend	gleich 1,0	vor	shared XM-IN1, NT7
13	Peak Magnitude Node	NT8	abfallend	gleich 1,0	nach	shared XM-IN1, NT8
14	RMS Peakbreite Node	NT8	abfallend	gleich 1,0	nach	shared XM-IN1, NT8
15	Peak Magnitude max up	NT7	aufsteigend	größter Fakt.	bei	XM-IN1, NT7 + 1/8WL*
16	Peak Magnitude max dn *etwas später als NT8	NT8	abfallend	kleinster Fakt.	bei	XM-IN1, NT8 + 1/8WL
17	RMS Abstand Peaks	shared	abfallend	kleinster Fakt.	bei	shared XM-IN1
18	RMS Breite Faktor Cross.	shared	abfallend	gleich 1,0	um	shared XM-PN
19	RMS Abstand Peaks	shared	aufsteigend	gleich 1,0	um	„-“

## Pitch-related, Peak Winkel/Auslenkung NT7/8:



Bolzentest BT7,

V0-Mitte, o. Perturbation (gemessene Peak Freq) zeigt die „Peak Neigung“ zu RMS Niveau in Cent

**+Werte:** Peakspitze liegt weiter rechts / (höhere Freq.) **-Werte:** Peak liegt weiter links \ (tiefere Freq.)

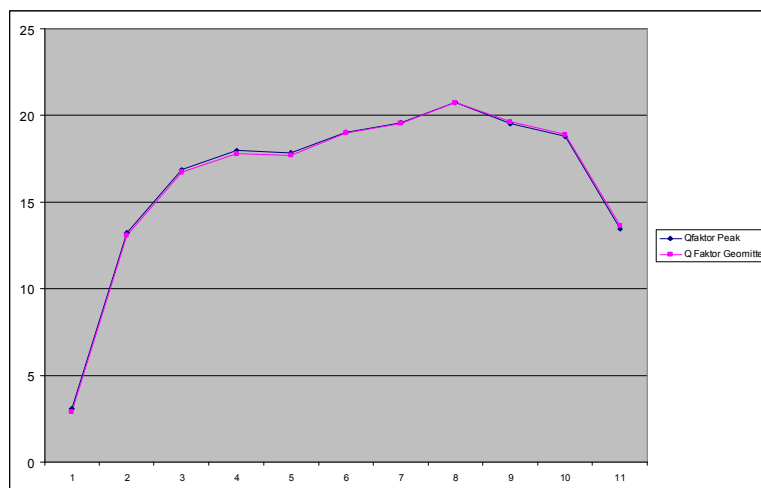
Peak Freq = statistisch korr. Werte

Daten aus BT7, Pert. = Constriction **Peak-Versatz = bereits** >1: Peak ist weiter rechts zur RMS Mitte  
 (aufgrund großer Breiten fehleranfällig) **vorhandene Auslenkung:** <1: Peak ist weiter links zur RMS Mitte

## # Referenz Messpunkte für Auswertung:

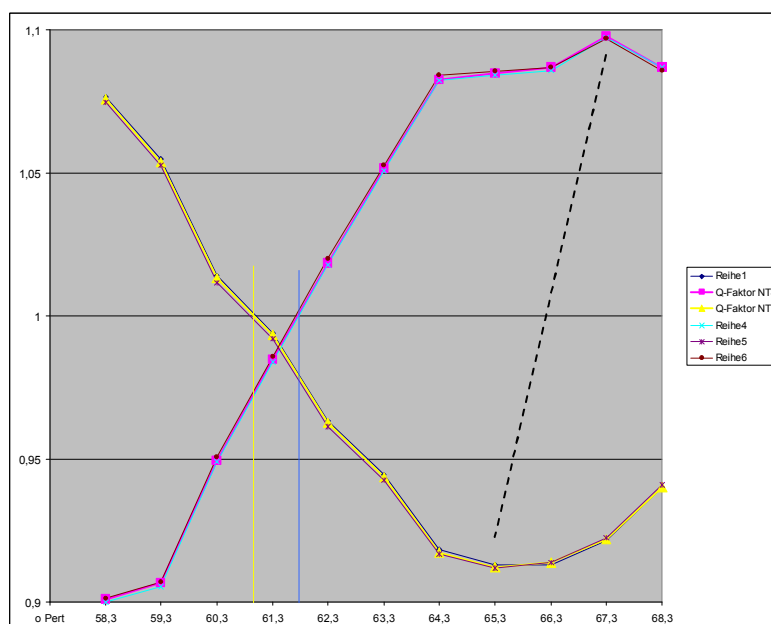
20	Peak Pitch Pot max up	NT7	aufsteigend	größter Fakt	+1/8WL = XM PN NT7
21	Versatz Peak zu RMS Mitte NT7		aufsteigend	größter Fakt	inkl. vorh. Versatz ->
22	Versatz Peak zu RMS Mitte NT7		abfallend	gleich 1,0	vor shared XM-PN&NT8
23	Peak Pitch Pot max down	NT8	abfallend	kleinster Fakt	+1/8WL = XM-PN NT8
24	Versatz Peak zu RMS Mitte NT8		abfallend	kleinster Fakt	inkl. vorh. Versatz <-
25	Versatz Peak zu RMS Mitte NT8		aufsteigend	gleich 1,0	nach shared XM-PN&NT7
26 shared XM PN – siehe shared Peak Abst., sollte auch Vergleich u. Größenordnung Pitchversatz geben.					
27	Nulldurchgang Pitch	NT7	abfallend	gleich 1,0	
28	Nulldurchgang Pitch	NT8	steigend	gleich 1,0	
29-32	zus. Änderungen RMS Geo Mitte Pitch NT7 / NT8				

**Q Faktor, Kreisgüte: (RMS = -3dB Peak Center Frequ. Hz / ermittelte Bandbreite RMS in Hz:)**



Bolzentest BT7, Centerfrequenz als arithmetisches Mittel oder mit geometrischem Mittel V0-Mitte ohne Pert., beschreibt das Verhältnis der Peak-Breite (kleiner Wert = breiter Peak)

um XM-IN1 sollte die Peaks die gleiche Breite haben aber max geänderte Peak - Referenzfrequenz.  
um XM-PN sollte NT7 max breiter sein, NT8 max schmaler, wobei die Frequ gleich sein sollte, dh. ergibt einen jeweils geänderten Q-Faktor:



BT7 Änderung Q-Faktor,

Die Wahl der Referenzfrequ. Geo Mitte RMS od. statist. korr. Center oder Peak ist ziemlich egal.



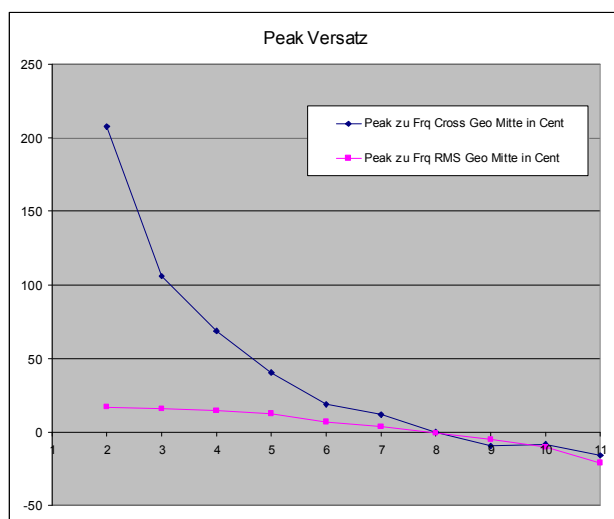
Der Q-Faktor von NT7 wird bei ~ XM-PN kleiner, die Bandbreite größer (aber Magnitude max up)  
 von NT8 wird bei ~ **XM-PN höher**, die Bandbreite kleiner (**aber Magnitude max down!**),  
 dadurch hat der Q-Faktor als „Ansprache-Wert“ keine Aussagekraft.

Bleibt die RMS Breite gleich (bei XM-IN1),  
 so muß bei NT7 der Q.Faktor etwas größer, bei NT8 etwas kleiner sein, die geänderten Peak Frequenzen  
 sind aber vergleichsweise klein; Breitenänderungen überwiegen daher.

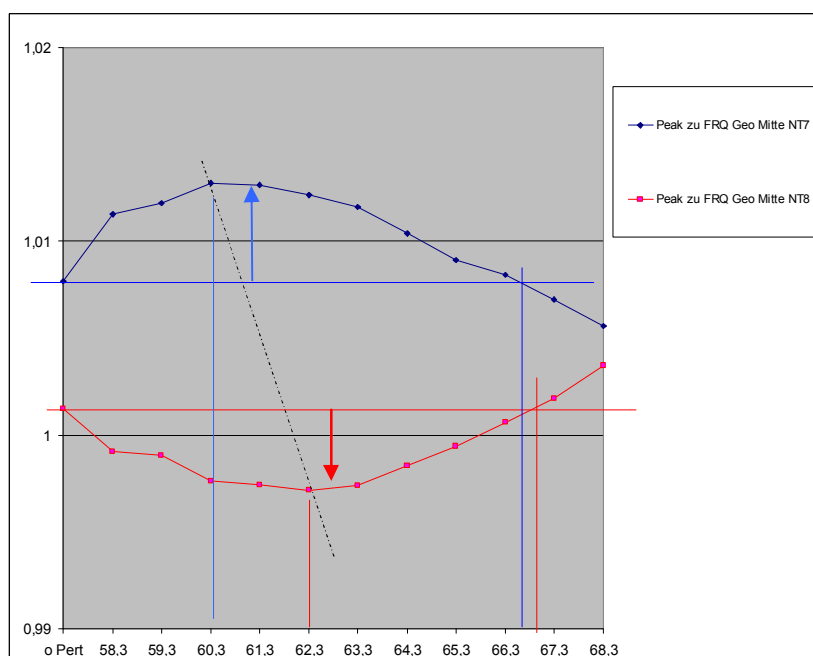
NT7 hat kurz vor XM-PN NT7 das max. Magn. Pot up, kleinster Q-Faktor daher vor Pitch Node NT7  
 NT8 hat kurz nach XM-PN NT8 das max. Magn. Pot down, größter Q-Faktor daher nach Pitch Node NT8

33 Q-Faktor RMS Geomitte	NT7	fallend	kleinster Fakt	vor XM-PN NT7
34 Q-Faktor RMS Geomitte	NT8	steigend	größter Fakt	nach XM-PN NT8
35 Q-Faktor RMS Geomitte	NT7	abfallend	gleich 1,0	vor XM-IN1 NT7
36 Q-Faktor RMS Geomitte	NT8	steigend	gleich 1,0	nach XM-IN1 NT8

### Frequenzmitten / Winkel der Flanken und FRQ Geomitte Center-Werte daraus:



BT7, V0 Mitte, ohne Perturbation, NT2 ~ 1 Ganzton, NT3 ~ ½ Ton vorh. Versatz der Peaks zu Minima.



Winkel und Lage der Peak Maxima Freq. zu jeweils geänderter FRQ Cross. Geo Mitte.

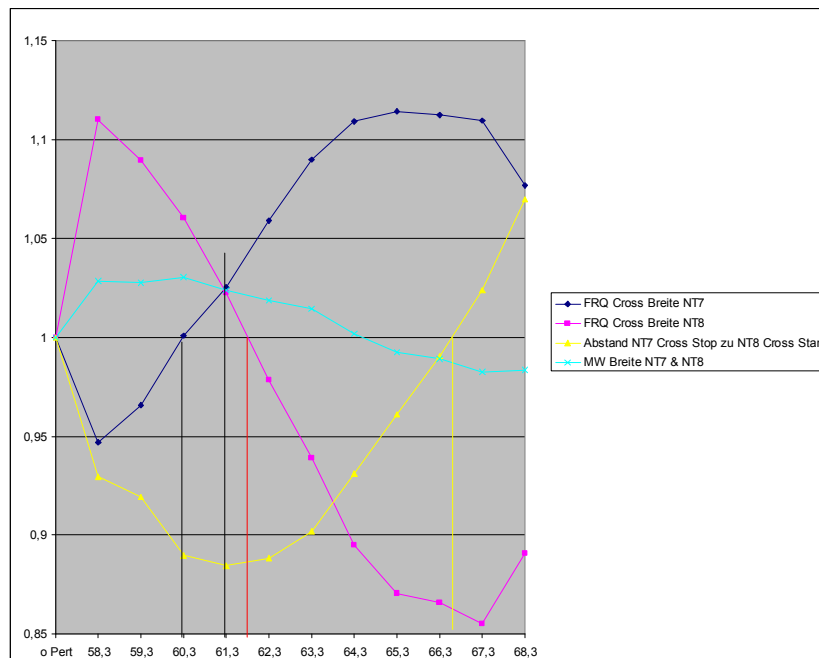
## # Referenz Messpunkte für Auswertung:

37 NT7 Frequ. max up (größter Winkel -&gt;&gt;) liegt ~ 1cm vor shared-XM IN1

38 NT8 Frequ. max dn (größter Winkel &lt;&lt;-) liegt ~ 1cm nach shared-XM IN1

39 NT7 Winkelfaktor Ausgangslage um XM-PN, Abstand wesentlich größer 1/8 WL

40 NT8 Winkelfaktor Ausgangslage um XM-PN, Abstand etw. kleiner 1/8 WL, nach NT7 (Abst. Diff 1/8WL)



FRQ-Crossings, Peak Breiten

41 NT7 vor shared XM-IN1 Breite 1,0 bei shared XM-IN1: breiter &gt;1 danach: breiter &gt;1

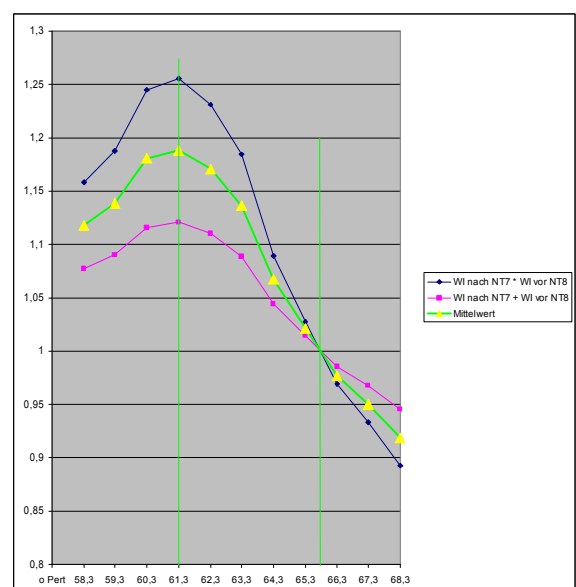
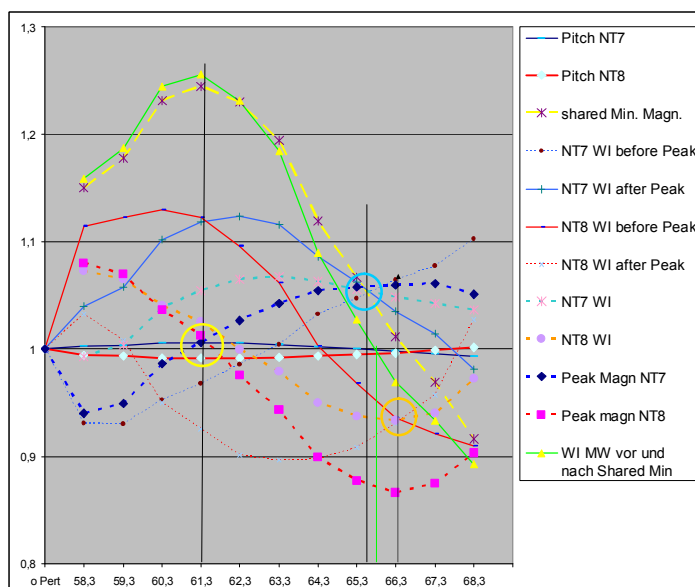
42 NT8 vor shared XM-IN1 breiter &gt;1 -- breiter &gt;1 danach: schmaler &lt;1

**43 Schnittpunkt bei shared XM-1, breiter >1 (arithm. MW Nulldurchgänge)**

44 Abstand NT7 Cross Stop zu NT8 Cross Start bei shared XM-IN1:kleinster Wert

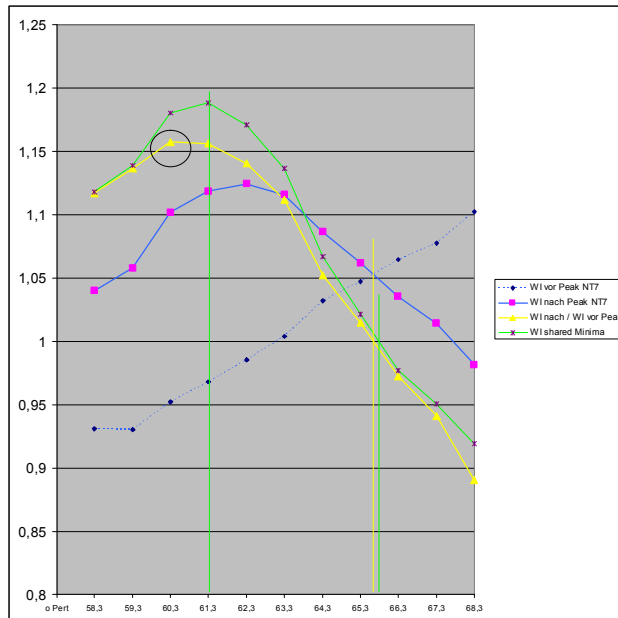
45 Abstand NT7 Cross Stop zu NT8 Cross Start bei shared XM-PN: Breite gleich 1,0

## Wave Impedanz Magnituden Werte vor und nach Peak:

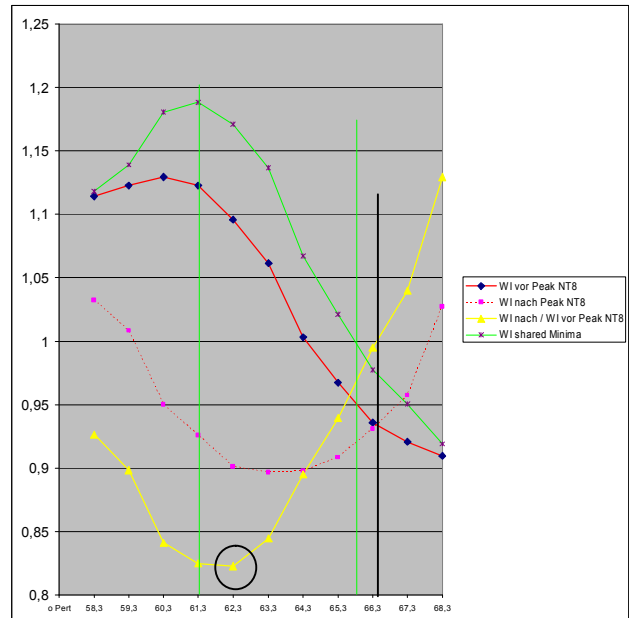


WI Kennzahlen, aus Magnitudenwerten bezogen (BT7) WI Magn. MW vor &amp; nach shared Minima

Die größte „shared WI“-Abweichung ist beim Shared Minima Magn.-Max., bzw. bei „shared XM-IN1“ die kleinste Abweichung liegt **vor** dem shared Min. Magn. Nulldurchgang. (~ 8mm)



WI Magn. Werte NT7



WI Magn. Werte NT8

Die geringste Abweichung der WI Werte von NT7 liegt **vor** max. Magn. Pot UP v. NT7 (nach WI max up)

Die geringste Abweichung der WI Werte von NT8 liegt **bei** max. Magn. Pot DN v. NT8 + WI NT8\*

\* Wegen einer besonders guten Symetrie NT8 in diesem Beispiel?

Abstand der beiden Nulldurchgänge zueinander ca. 8mm, shared WI liegt dazwischen hier näher an NT7

46	WI vor * WI nach shared Min, (MW) steigend	größter Faktor bei	shared Min. Nulldurchg.
47	WI vor * WI nach shared Min, (MW) fallend	gleich 1,0 vor (8mm)	shared Min. Nulldurchg.
48	WI nach / WI vor Peak NT7 fallend	gleich 1,0 etwas vor	shared WI der Minima*
49	WI nach / WI vor Peak NT8 steigend	gleich 1,0 bei	max. Magn. down NT8*

\*Die jeweiligen max. Abweichungen der WI-Magn. spiegeln sehr gut das ermittelte Peak Pitch Pot. wieder!

## Auswertung der Referenz Parameter - Dokumentation:

Es sind nun ca. 40 Messwerte für die Ermittlung der Positionen ohne Pitchversatz, shared und NT7/8 definiert. Diese Parameter werden auch für die restlichen Resonanzen ermittelt und mit jeder Messung abgelegt.

Einige werden mit Meßfehlern behaftet und unbrauchbar sein, andere schließen das aus, wobei einige sehr stimmig sind, andere zum Erkennen von Ausreißern und Meßfehlern dienen könnten.

XM-PN ist die akustische Mitte des Instruments. Von hier aus können anhand 1/8 WL weitere Pos. definiert werden. XM-PN ist andererseits anhand Nullversatz down mit Constrictions schwierig zu ermitteln.

Das Vermessen dieser Punkte kann zu einem Großteil automatisch erfolgen, erfordert allerdings aufwendigere Berechnungsvorgänge in Excel mit Funktionen Trend, Steigung, etc. um Crossings bzw. Nulldurchgänge (sind auch Crossings mit 0 oder Faktor 1,0) zu bestimmen.

### Teil1: Aufbereiten der Messdaten

Die notwendigen Werte sind in FFT-Auswertung.xls, Tabelle Output tabellarisch zusammengetragen.

Die ermittelten Zahlenwerte werden in die FFT-Instrument.xls exportiert – nun erweiterter Bereich, Steuerung von FFT-Mittelung aus, der Vorgang wird jeweils für „V0“ durchgeführt, anschließend die Tabelle V0 in der FFT-Instrument Tabelle kopiert. Diese Daten stehen dann auch im Modul FFT-Analysis (erweiterter Bereich) in späterer Folge pro Messung und Ventil zur Verfügung.

Peak-Freq. to use ist manuell in der FFT-Auswertung.xls einstellbar. (Standard = statist. korr. Center Pos).

**Teil2: Zusammenführen der Daten**

In der FFT-Instrument.xls Vorlagendatei gibt es nun zusätzliche Tabellen für Vergleichsauswertungen. Tabelle IR-Vergleich und Tabelle IMP-Vergleich.

Für die im Anschluß folgenden Formeln und Berechnungen ist eine standardisierte Benennung der Tabellen notwendig. Vorab ist eine genaue Centerposition, als auch die Anzahl der Messungen noch nicht bekannt. Es bieten sich daher Buchstaben für Tabellennamen anstelle von Zahlen an. Die Messungen sollten in ½ cm Abständen durchgeführt werden, sollen aber auch in 1cm oder anderen Abständen funktionieren, dieser vorab gewählte Meßabstand muß dann aber eingehalten werden. Die exakten Positionen sollen aus der IR-Vergleichstabelle kommen, hier muß dieser Abstand eingetragen werden.

Es sollen einzelne Positionen bzw. Bereiche (zwischen XM-IN1 und XM-Pitch) ausgelassen werden können, was am einfachsten erscheint, 2 separate Auswertungen für die jeweiligen Bereiche XM-IN und XM-PN zu erstellen, bei denen einer der Bereiche somit auch komplett fehlen kann, zb. der Bereich XM-PN, es sind dann weniger Vergleichswerte verfügbar.

Die Referenzmessung ohne Perturbation erhält den Tabellennamen „Referenz“, eine zweite optionale Referenz den Namen „Referenz2“ – um Ausreißer und Meßfehler feststellen zu können.

Wichtig ist eine Tabelle Dokumentation, wo alle zusätzlichen Notizen zur Messung stichwortartig vermerkt werden sollten, vor allem z.B. Abstände der Perturbationsmitte von markanten Punkten – z.b. Wasserklappe etc., als auch Notizen zu den erzielten Ergebnissen der Vergleiche/Auswertungen.

**Teil 3: Auswertung und Vergleich der Daten**

Zur Ermittlung von „Crossings“ kann zuerst mit Excel Matrix Funktionen z.B. wie „Vergleich“ ein Punkt herausgefunden werden, an der ein Wert höher als der andere ist. Danach können mit Bereich.verschieben passende Pos.Werte vor und nach einem Crossing ermittelt werden, aus diesen 4 Punkten dann die eigentliche Crossing Pos. mit linearer Regression (Gerade) – oder mit mehr Daten zuvor und danach mittels RGP mit Hilfe kleinster Quadrate. Dies könnte einzelne Ausreisser eliminieren / eingrenzen:

- Jede Gerade lässt sich durch ihre Steigung und die jeweilige Anfangsordinate (y-Achsenabschnitt) beschreiben:

Steigung (m):

Die Steigung einer Geraden (häufig als m bezeichnet) lässt sich aus zwei Punkten der Geraden, (x1,y1) und (x2,y2), gemäß der Beziehung  $(y2 - y1)/(x2 - x1)$  berechnen.

y-Achsenabschnitt (b):

Der y-Achsenabschnitt (häufig als b bezeichnet) ist der y-Wert des Punktes, in dem die Gerade die y-Achse schneidet.

Eine Gerade wird durch die Gleichung  $y = mx + b$  beschrieben. Sobald Sie die Werte von m und b kennen, können Sie jeden Punkt der Geraden berechnen, indem Sie den jeweiligen y- oder x-Wert in die Gleichung einsetzen. Sie können dafür auch die TREND-Funktion verwenden.

- Wenn nur eine unabhängige x-Variable vorliegt, können Sie die Steigung und den y-Achsenabschnitt direkt mit Hilfe der folgenden Formeln ermitteln:

Steigung:

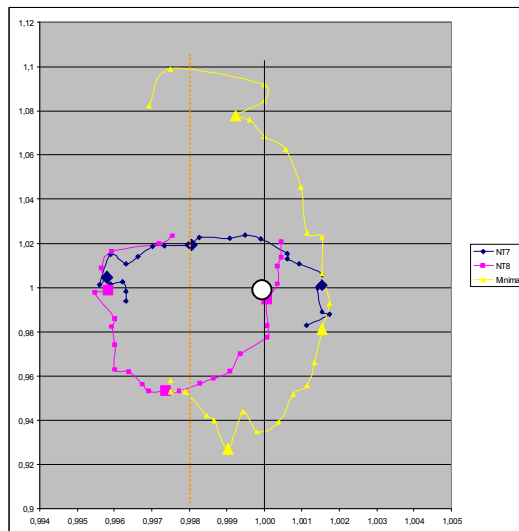
=INDEX(RGP(Bekannte\_y\_Werte;Bekannte\_x\_Werte);1)

y-Achsenabschnitt:

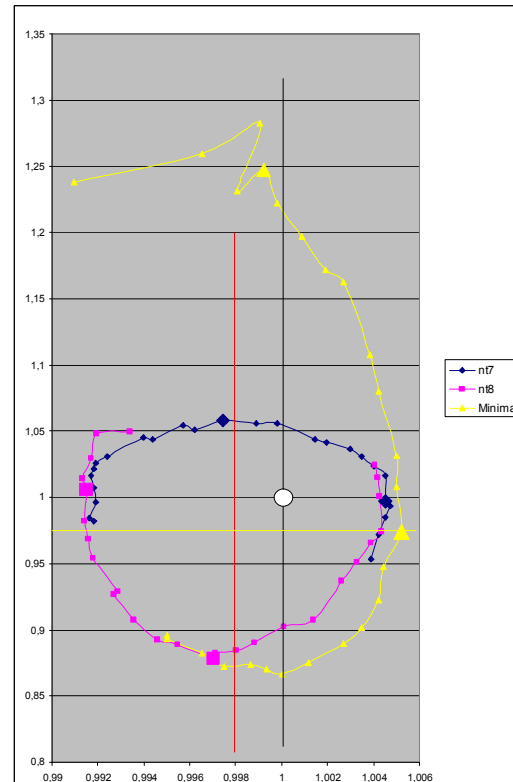
=INDEX(RGP(Bekannte\_y\_Werte;Bekannte\_x\_Werte);2)

- Die Genauigkeit einer von RGP berechneten Geraden hängt davon ab, wie sehr Ihre Daten streuen. Je linearer die Daten sind, desto genauer ist das von RGP ermittelte Modell. RGP verwendet die Methode der kleinsten Quadrate, um die für die jeweiligen Daten beste Anpassung zu ermitteln.

## Vergleich Perturbationen mit Kugel 8mm – vs Bolzen 7,25mm:



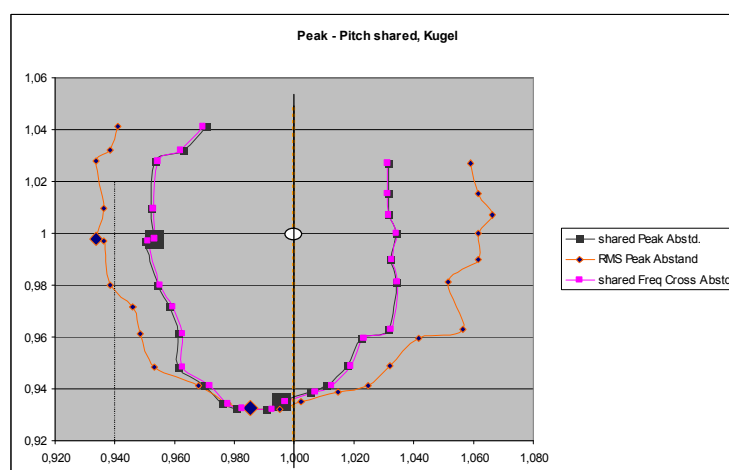
Kugeltest Feb. 23 2020;  
Markiert: 62cm, 66,5cm und 70cm.  
(60,0-72,5 cm in 0,5cm Schritten)  
NT8: Peak Pitch + Magn. quasi Totalversatz



Bolzen 725 Feb 23 2020  
Markiert: 62cm, 66,5cm  
(60,0-72,5 cm in 0,5cm Schritten)  
Magnitude: starker Versatz, Peak Pitch viel.

### Ergebnis:

Die Kugel verursacht eine beinahe „Verstopfung“ = totale Vertiefung; -3,5 Cent = Pitch Pot.+ der Kugel!  
**NT8 nicht nur bei Pitch, sondern auch rund 1/3 bei Magnitude NT8. = bei Druckbäuchen.**  
NT7 wiederum die größten Artefakte bei Nulldurchgängen XM-IN, detto bei Magn. Minima hier. = bei Druckknoten.



Kugel Feb 23, 2020: shared Pitch Werte zeigen in die selbe Richtung, Magnitude down, Pitch besser.  
Notiz: NT7 hat mehr Pitch-Versatz als NT8.

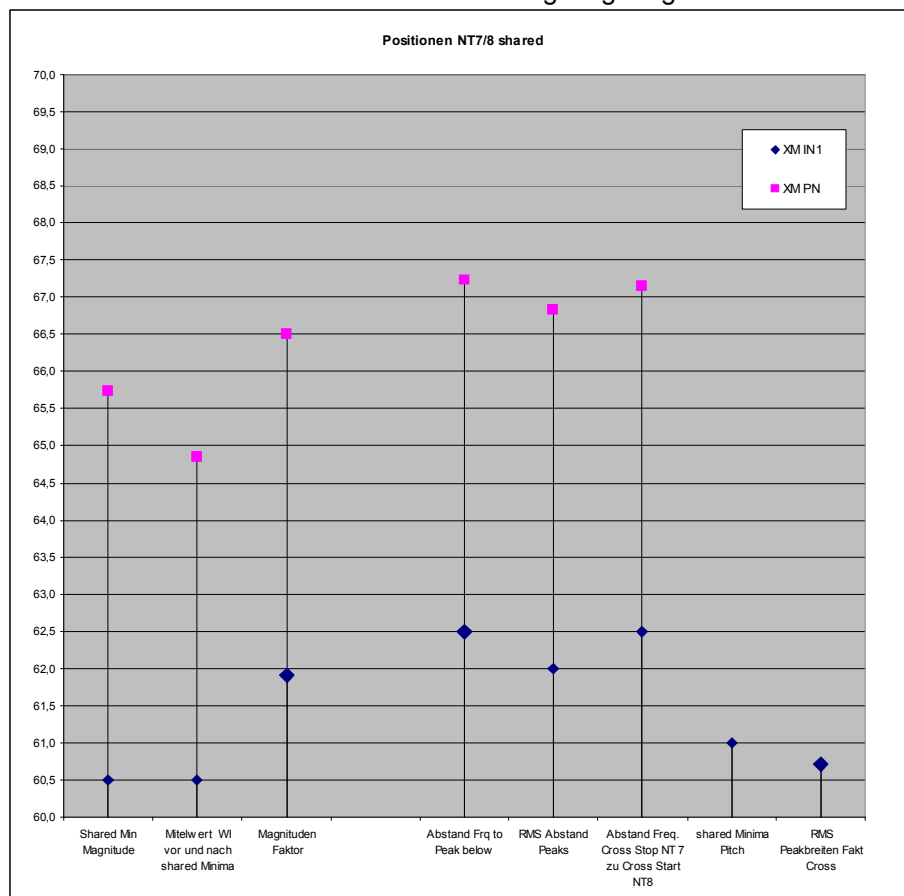
Viele Parameter hängen von der gemessenen Magnitudenhöhe der Peaks, oder der Minima ab.  
Die Positionsfindung mittels Perturbation bleibt dadurch sehr fehleranfällig. Grund also, eine ganz andere Strategie einzuschlagen (siehe nächster Teil). Dennoch im Anhang die Ergebnisse von Versuchen:

## Auswertung von Impedanzkurven – Vergleichsparameter physische Positionen

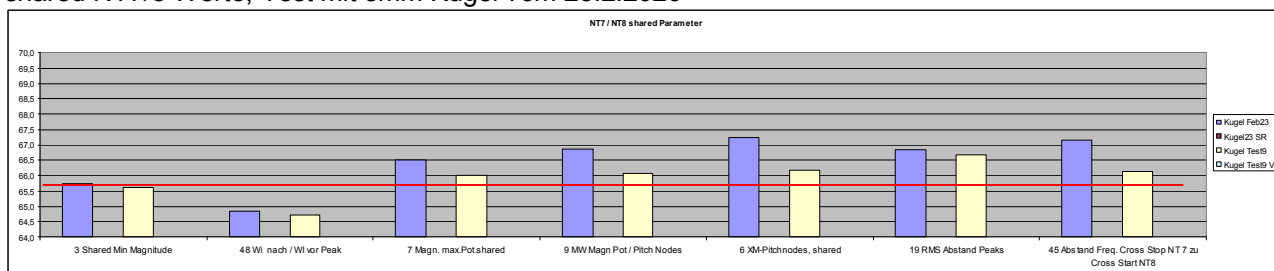
### Vorsicht Kugel!

Die folgenden Auswertungen stammen aus unterschiedlichen Messungen mit der Kugel 8mm. Diese verursacht wie soeben geschildert grobe Abweichungen. Dennoch zum Nachschlagen:

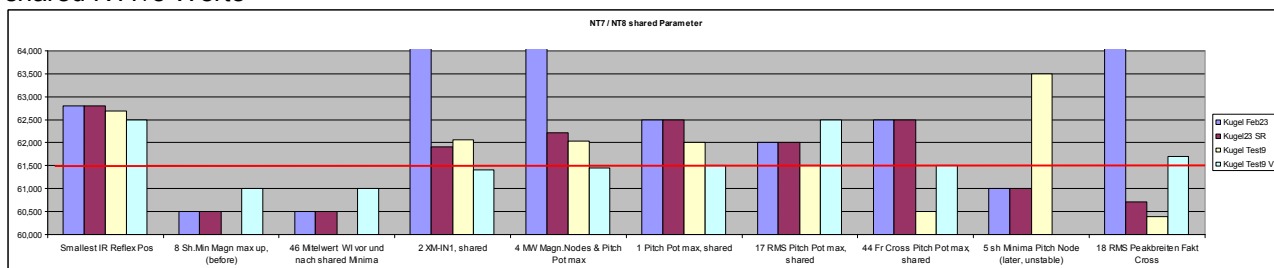
Vergleichsparameter stehen als Nummern in den Diagrammen oder sind als Beschreibung angeführt. Anhand der Beschreibungen im vorigen Kapitel liegen einige vor oder nach XM-IN, XM-PN, max. Pitch. Pot. Balken in Diagrammen, die über die y Skala hinausgehen wurden nicht gemessen oder sind Messfehler. Bei den einzelnen frühen Tests mussten Positionen teils rekonstruiert werden, und liegen ev. falsch. Rote Linien sind nur zur besseren Orientierung eingetragen.



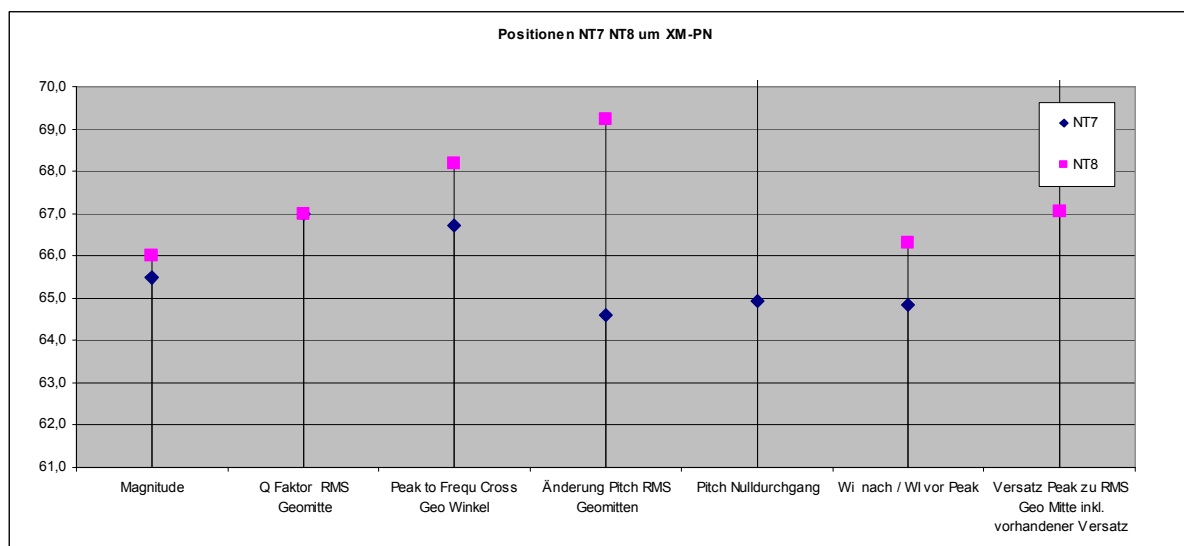
shared NT7/8 Werte, Test mit 8mm Kugel vom 23.2.2020



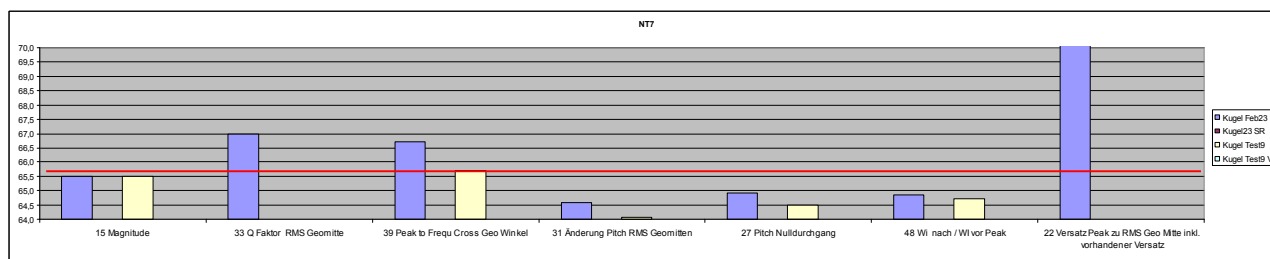
shared NT7/8 Werte



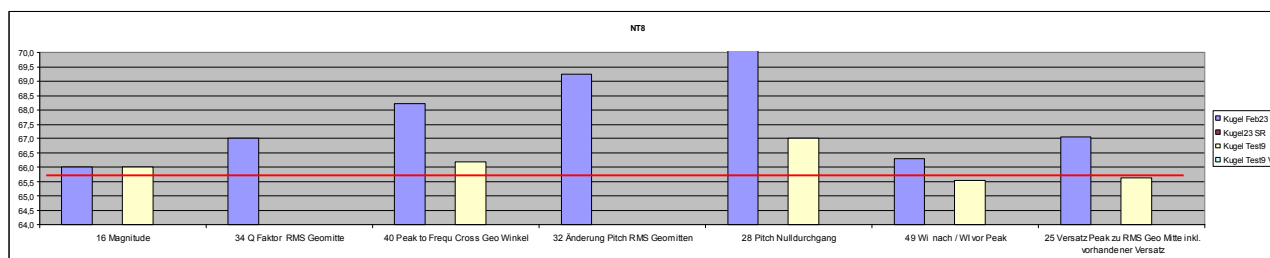
shared NT7/8 Werte



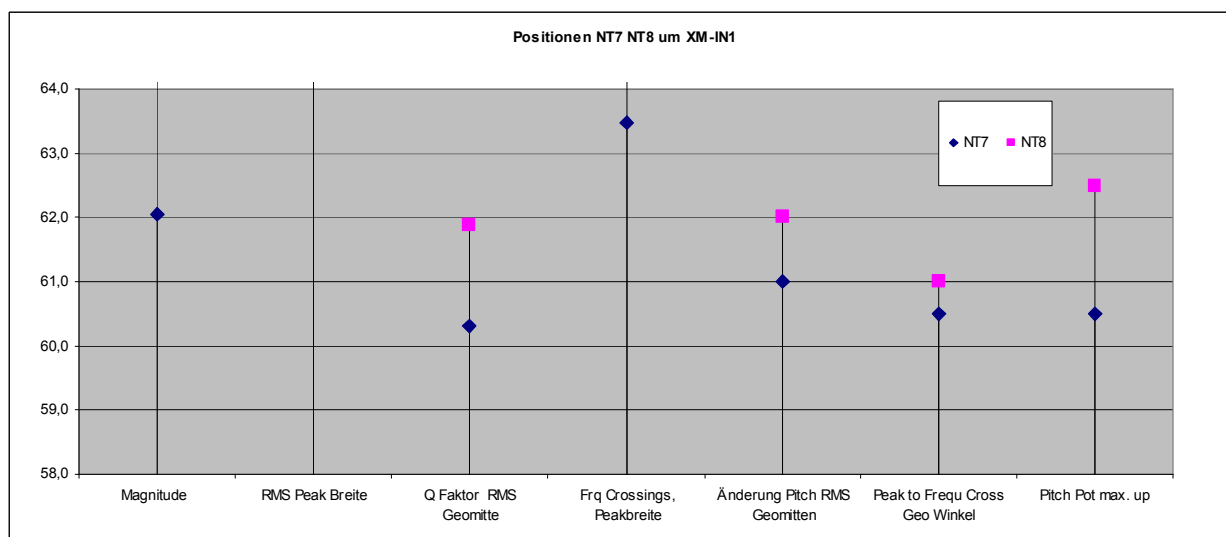
NT7 und NT8 einzeln, um XM-Pitch, Test mit 8mm Kugel vom 23.2.2020



NT7 um XM-Pitch

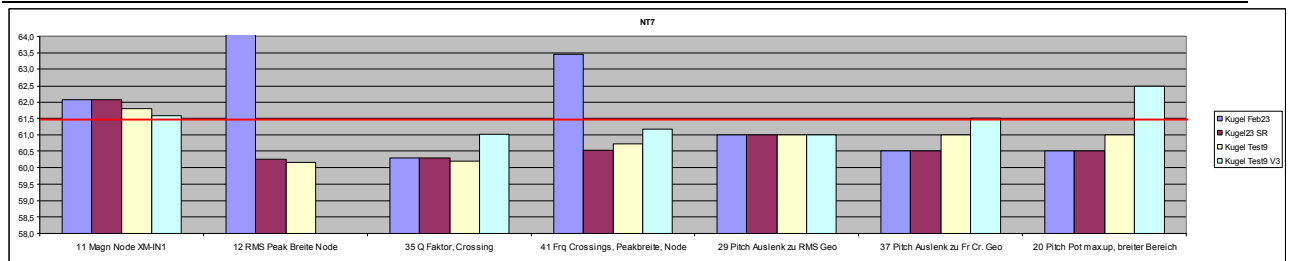


NT8 um XM-Pitch

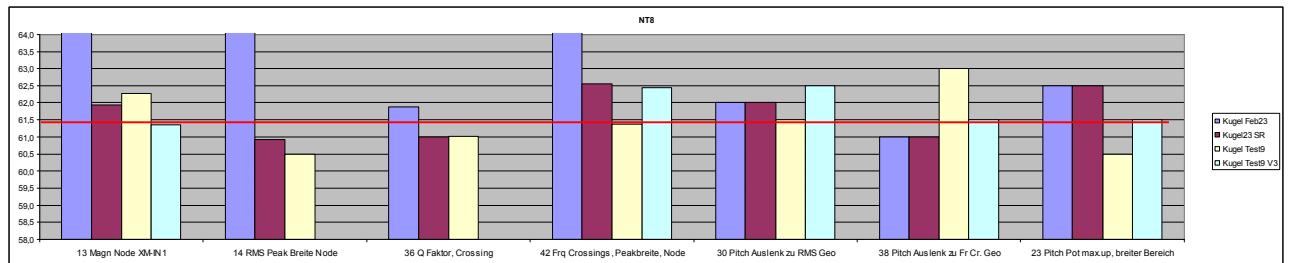


NT7 und NT8 einzeln, um XM-IN1, Test mit 8mm Kugel vom 23.2.2020



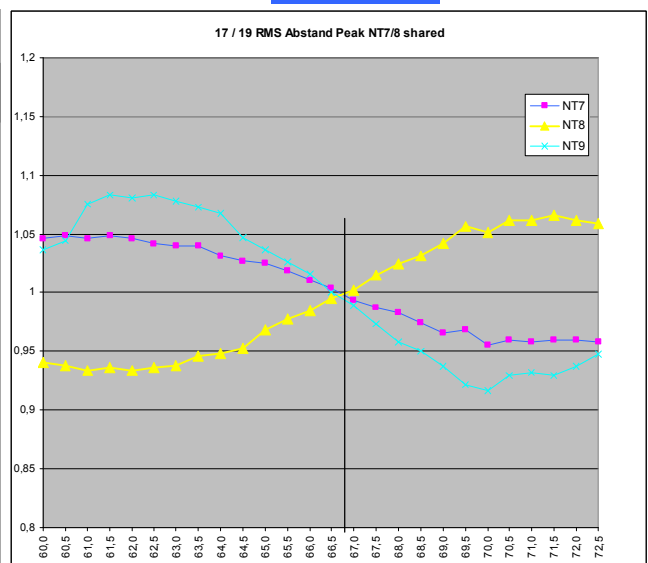
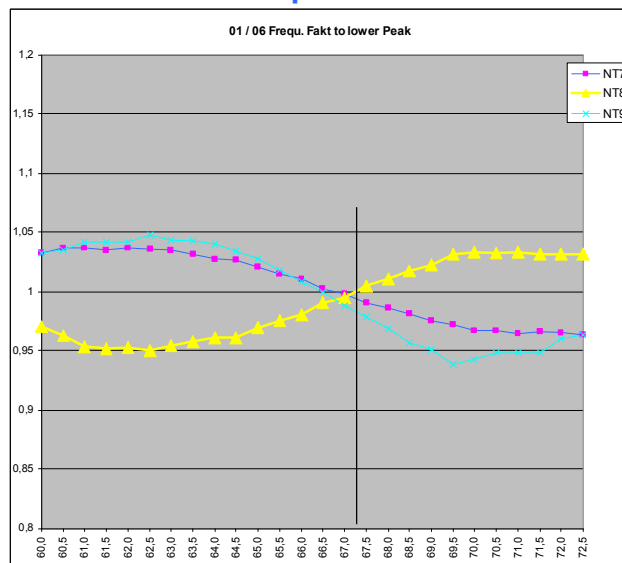


NT7 einzeln um XM-IN1



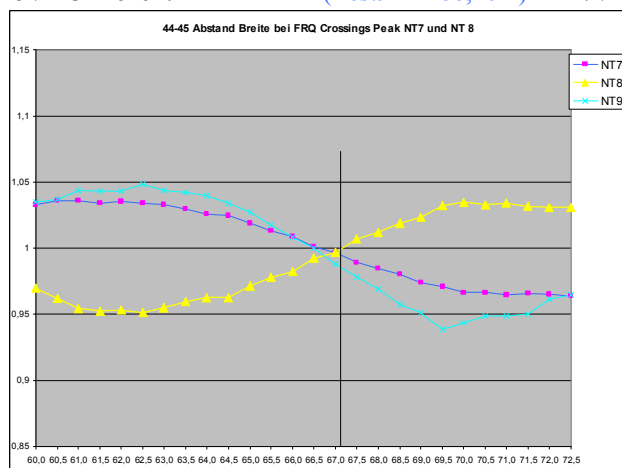
NT8 einzeln um XM-IN1

### Pitch: Shared Frequenzverhältnisse der Peaks NT 7 und 8 zueinander:



**gelb** Abstand NT7 zu NT8 Peaks, shared = 67,3cm  
-5 / + 3 Prozent (Test9 = 66,2cm)

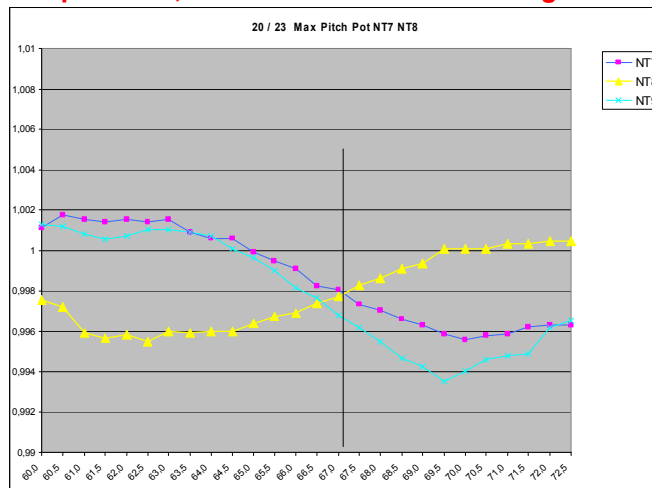
**gelb** Abstand bei RMS shared = 66,8cm 0,5 früher  
-7 / +7 Prozent (Test9 = 66,7cm)



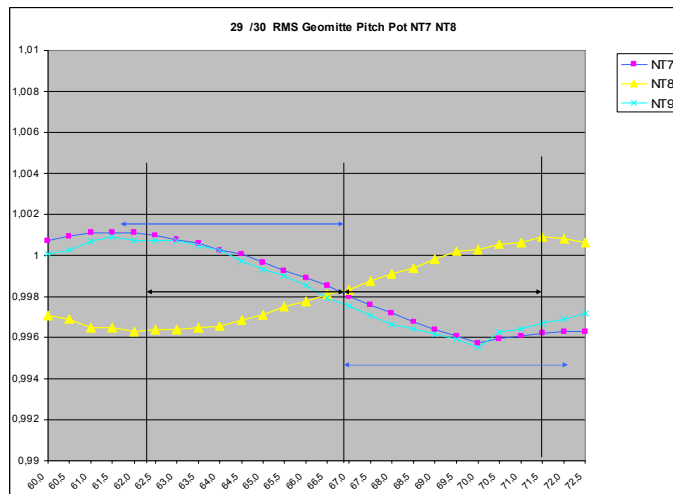
**gelb** - Abstand bei Peak NT7 zu NT8 bei Frq Cross. shared = 67,2cm  
-5 / + 3 Prozent (Test9 = 66,2)

**Pitch: Frequenzverhältnisse der Peak Änderung selbst:**

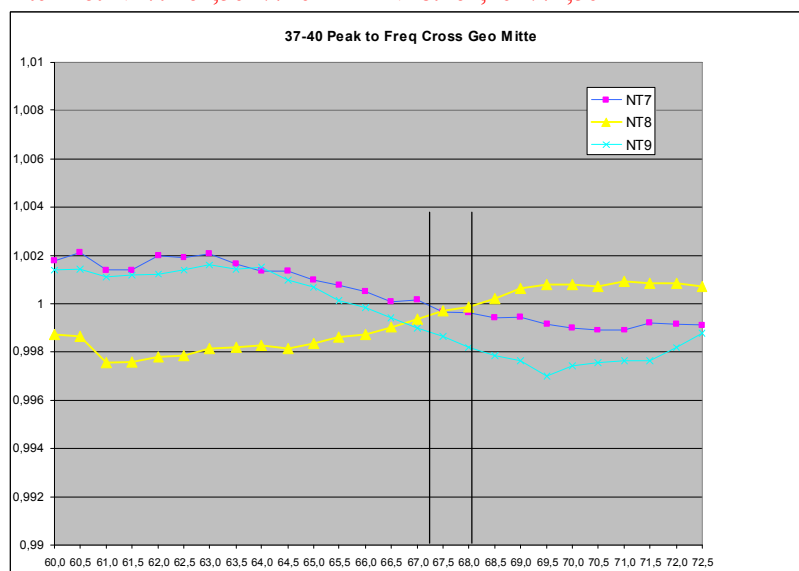
Die Kugel verursacht einen Pitchversatz nach unten (Verluste), der ~ dem +Pitch Potential von NT 8 entspricht! -3,5 Cent! Bei den FFT-Messungen sind auch Magnituden mit ca. 1/3 Versatz down.



PN NT8: bei Freq. Fakt. 0,998 Cross mit NT7 (beide sind durch Kugel tiefer) bei 67,3cm  
Frequenzfaktor 0,998 sind -3,5 Cent Versatz down (Kugel Test9 = 66,1cm)

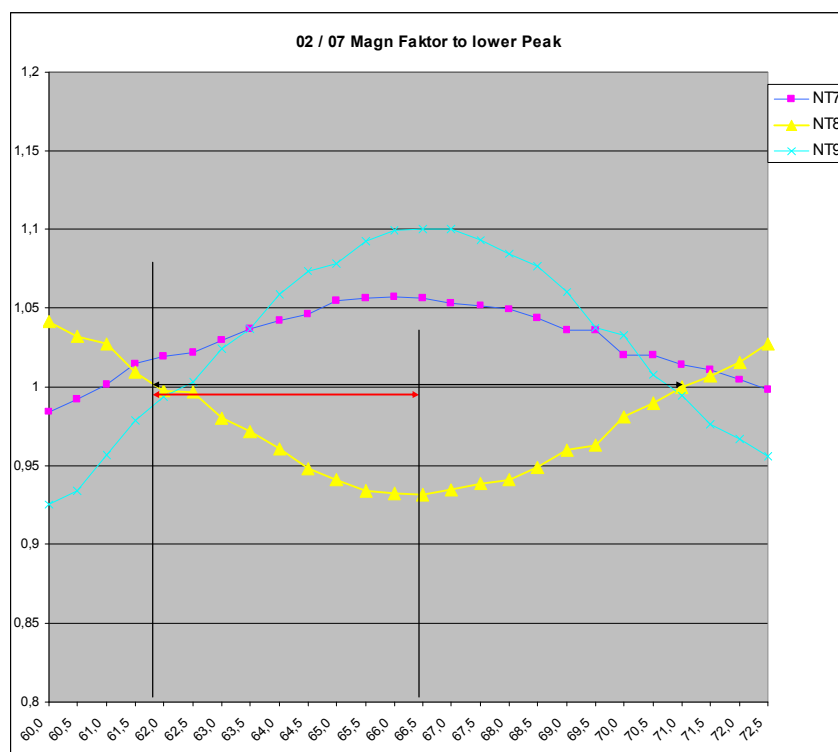


RMS Pitch Node: bei ~0,998 Cross mit NT7 um 5mm früher bei 66,8cm  
1/4 WL NT7 = 10,5cm 1/4 WL NT8 = 9,3cm 1/4 WL Geo Mitte = 9,9cm (Kugel Test9 = 66,5cm)  
Pitch Pot NT7: 61,5cm/72cm NT8: 62,2cm/71,5cm



Frequ.-Cross Pitch Nodes: minimal unter 1,0 shared bei 67,5 cm um max 5mm später (Test9: 66,1cm)

## Peak Magnitude: Magnitudenhöhen Verhältnis der Peaks 7 und 8 zueinander:



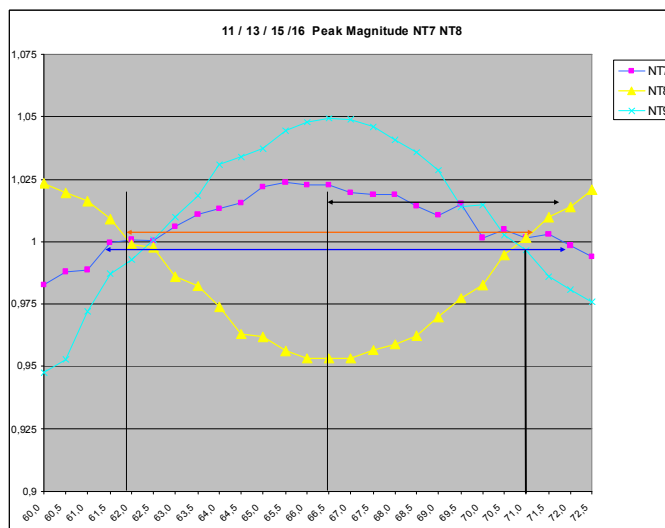
gelb: Größenverhältnis NT 8 zu NT7

Kugel Feb23; Max down at 66,5cm

XM-IN1: 61,8cm XM-IN2: 71,0cm

(Kugel Test 9 = 66,0cm)

## Peak Magnitude: Änderung Peaks selbst:

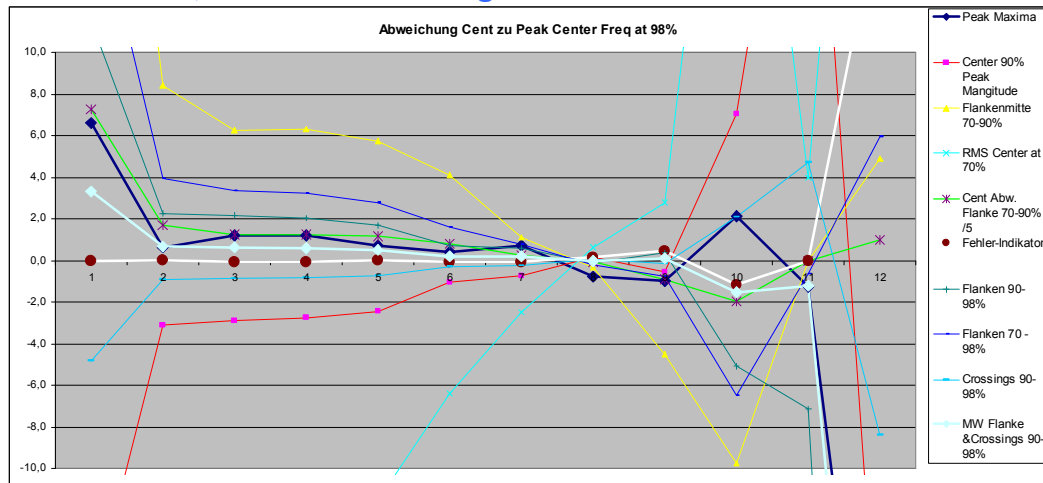


NT7: 61,5cm 66,75cm 72,0 cm  $\frac{1}{4}$  WL = 10,5cm bei Fakt 1,0

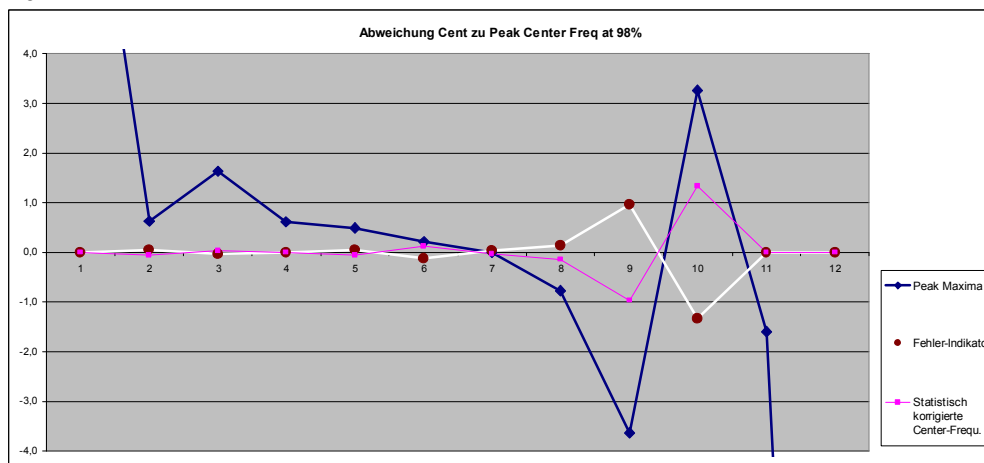
NT8: 61,9cm 66,50cm 71,1 cm  $\frac{1}{4}$  WL = 9,3cm etwas oberhalb Fakt.1,0

**Fehler-Dokumentation Teil 7:**

**Versuchsserie mit verbesserten Methoden aus Teil 5 Messkopf; (Pitch-related):  
Das Bestimmen von realistischen Peak Frequenzen soll so verbessert werden.**

**Bolzentest 7, mit neuer Glättung/Statistik - Versuch vom 15.6.2019 – 25,8°C**

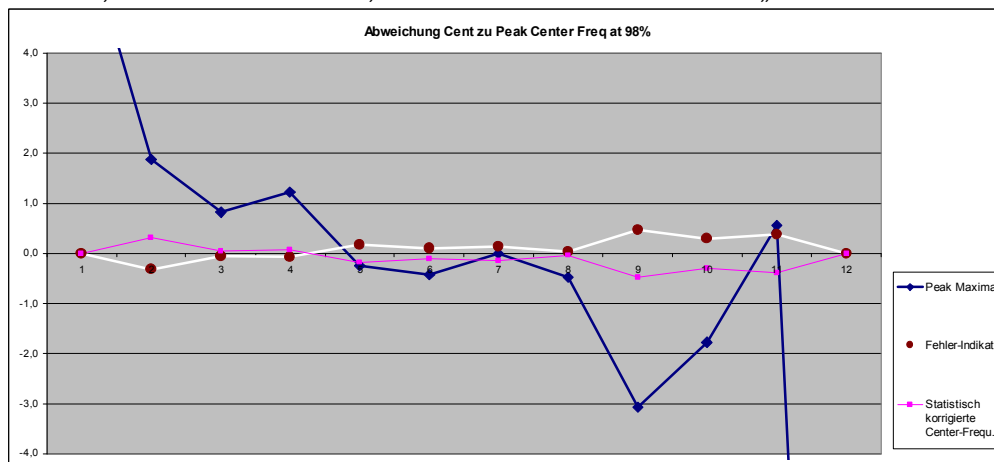
V0



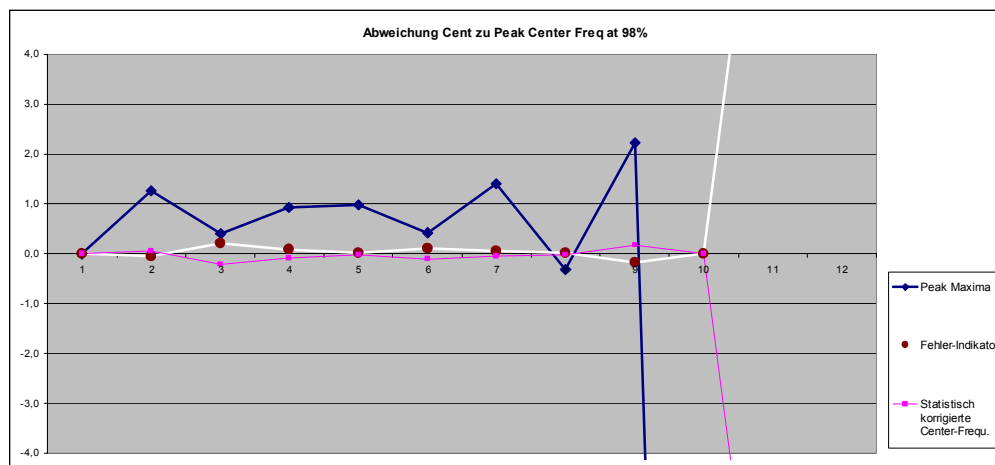
V0 Auch ohne Perturbation: Abweichungen spez. oberhalb der MPC Popp. Freq. deutlich sichtbar.

**Das letzte 1 % der Peak Magnitude verursacht wie vermutet die größten zufälligen Abweichungen. Diese kommen aber vor allem bei Perturbationen vor!**

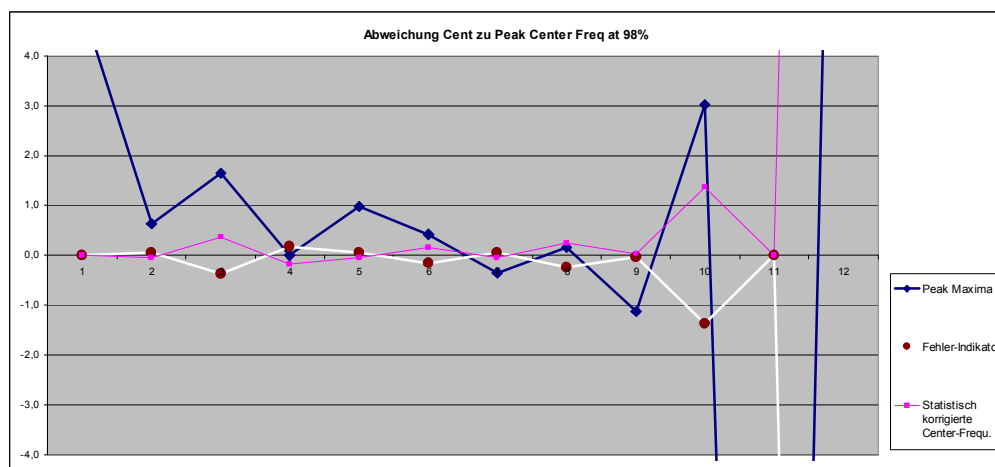
Alle NT, aber vor allem NT8, NT9 und NT10 sollten daher „fehlerbehandelt“ ausgewertet werden.



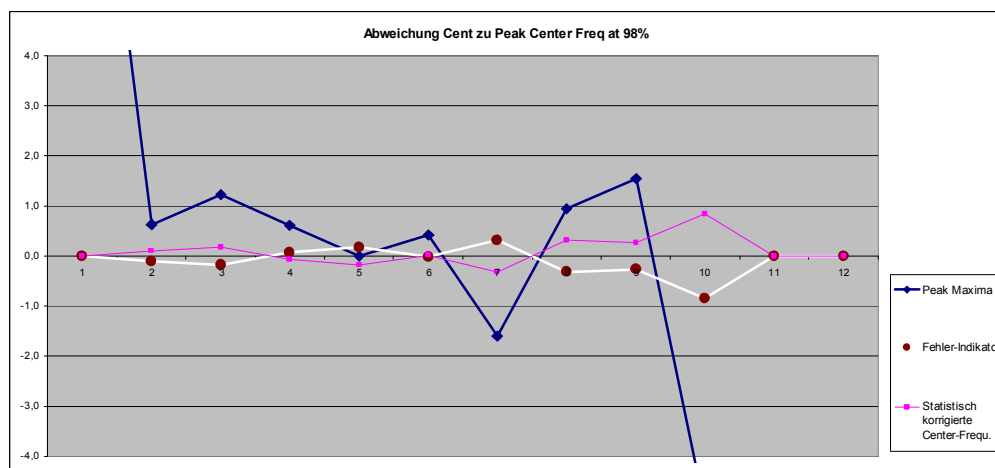
Bolzen Dia 4,8mm, Center bei 61cm



Bolzen Dia 7,25mm, Center bei 61cm



Bolzen Dia 4,8mm Center bei 67cm



Bolzen Dia 7,25mm Center bei 67cm

Peak Maxima NT9 + NT10 Messungen gehen **bei selber** Perturbationsart in **entgegengesetzte** Richtungen! NT10 wird durch die neue Statistikfunktion in die selbe Richtung fehlerbehandelt.

## Vergleichende Tests Magnitude mit Bolzen, Hülsen und Kugel um XM-IN1:

Den stärksten **Radius** abhängigen Versatz bei **Peak-Magnituden Nodes** sollten Bolzen und Kugel verursachen, bei **NT7-NT8** aber nur einen gemeinsam minimalsten, bzw. kaum Versatz.

Alle IR-Positionsauswertungen zeigen um XM-IN1 bei Center phys. ~62-63cm:

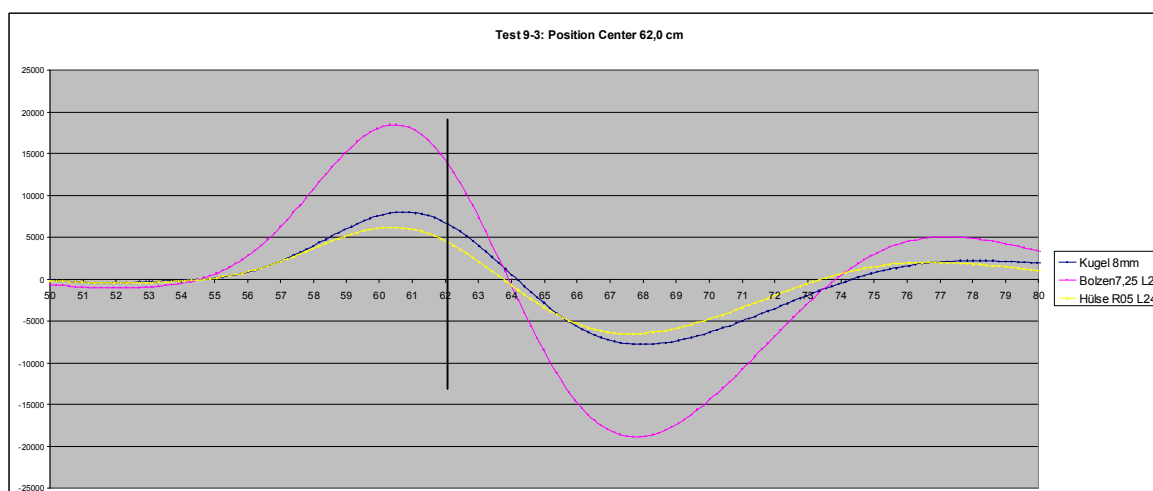
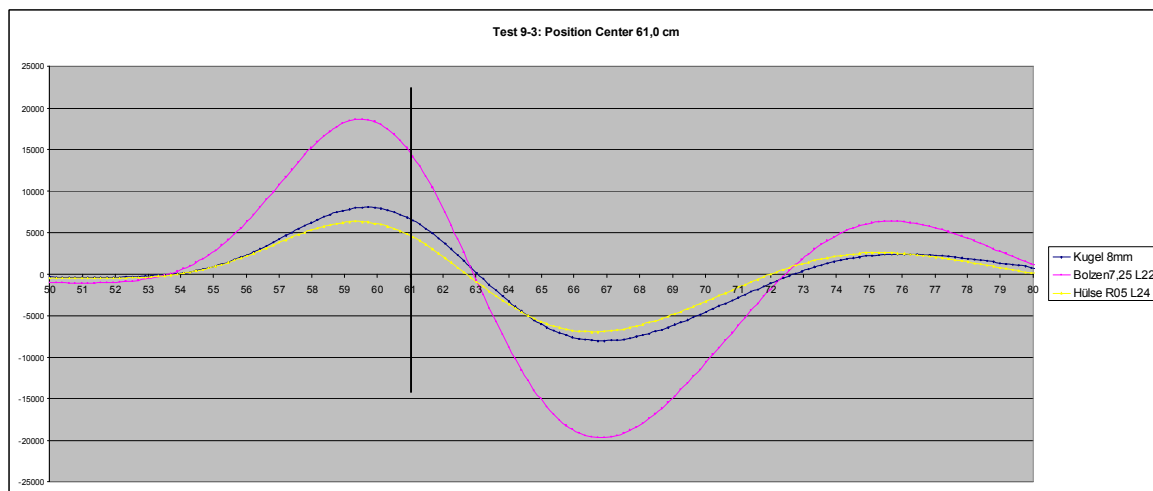
- \* die kleinste Summe von Pos.+Negativ IR Reflex
- \* die kleinsten Unterschied zwischen Pos.+Negativ IR Reflex
- \* den kürzesten Abstand zwischen Pos.+Negativ IR Reflex
- \* die geringsten Positionsabweichungen vom Lineal

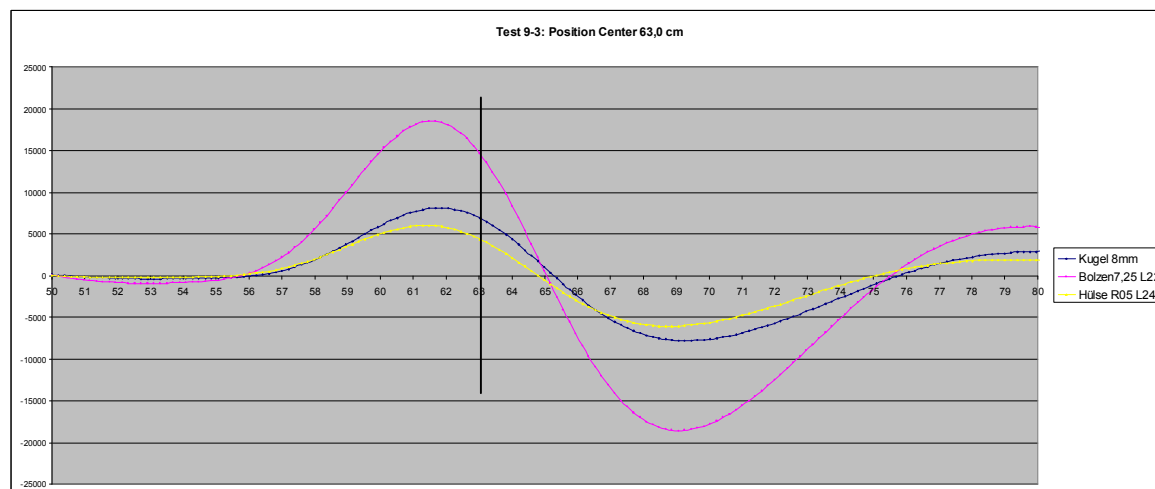
Eine Betrachtung der ermittelten Magnituden Nulldurchgänge zeigt aber, daß **ungerade NT**, die bei XM-IN1 alle einen **Druckbauch** haben, **bei unterschiedlichen Perturbationen weniger** Abweichungen aufweisen als alle geraden NT, die hier an Pressure Nodes liegen!  
**NT7 scheint daher aus diesem Grund der beste Kandidat bei Bb Trompeten um den Grundversatz zu ermitteln. (Dieser liegt auch am nächsten zur MPC Popp. Freq.)**

## Test #10, Trp. Mayer Landau, phys. Position:

+3mm für VC, -2mm für Stimmzug, ergibt Ende SZ Zwinge = 56,8cm physisch.

Die Positionen stimmen 100% überein, Temp. 25,5 Grad. Samstag 3.8.2019.





Abstand pos. Reflex – Nulldurchgang Reflex:

Hülse	3,3	–	3,4	cm
Kugel	3,3	–	3,5	cm
Bolzen	3,4	–	3,6	cm

Bell-Maxima IR länger:

+0,0 cm	
+0,4 cm	-5 Cent
+0,6 cm	-7 Cent

Abstand Position 1. pos. Reflex zu Zentrum phys. Meßposition:

Hülse	-1,5	-	-1,7	cm
Kugel	-1,1	-	-1,3	cm
Bolzen	-1,4	-	-1,6	cm

Mittelwert:

-1,6 cm
-1,2 cm
-1,5 cm

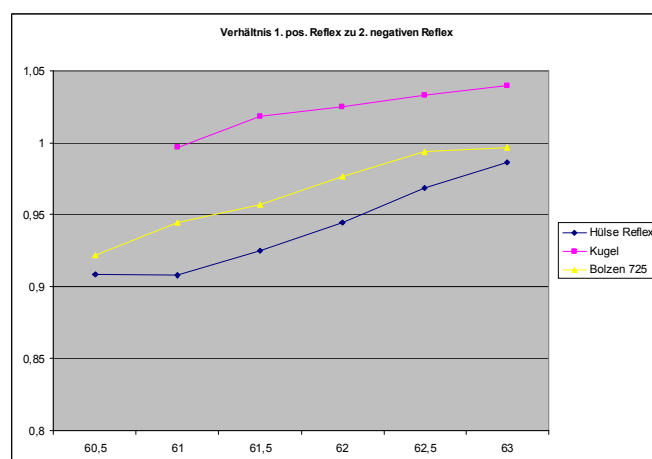
Abstand Nulldurchgang Reflex zu Zentrum phys. Linealposition:

Hülse	+1,7	-	+ 1,8	cm
Kugel	+2,1	-	+ 2,3	cm
Bolzen	+1,9	-	+ 2,2	cm

Mittelwert:

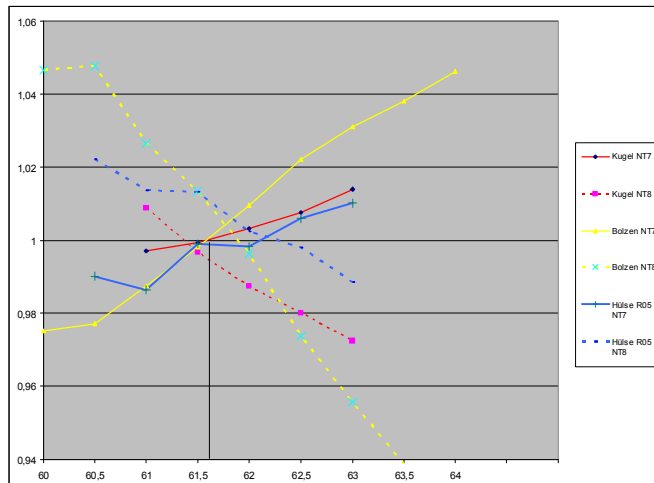
+1,75 cm
+ 2,2 cm
+ 2,1 cm

Schnittpunkt Reflex: Der Bolzen liegt immer nach der Hülse, 2-4mm  
Die Kugel liegt mit Ausnahme bei 62,5cm zudem hinter dem Bolzen ~2mm



Mit Ausnahme der Kugel in dieser Testreihe ist der 2. neg. IR - Reflex immer stärker.





NT7 Peak hat bei 61,6 cm phys. Pos. mit Bolzen, als auch Kugel den Magnituden Nulldurchgang, mit Hülse 0,5mm aber immer etwas später; = Druckbauch, +/- Druck wird davor und danach stärker (aufgestaut;) Hier ist aber bereits minimaler Fluß, kann kaum kleiner werden, daher weniger Differenzen.

NT8 = Druckknoten mit Flussmaximum, weicht je nach Perturbation (Constriction) stark ab:

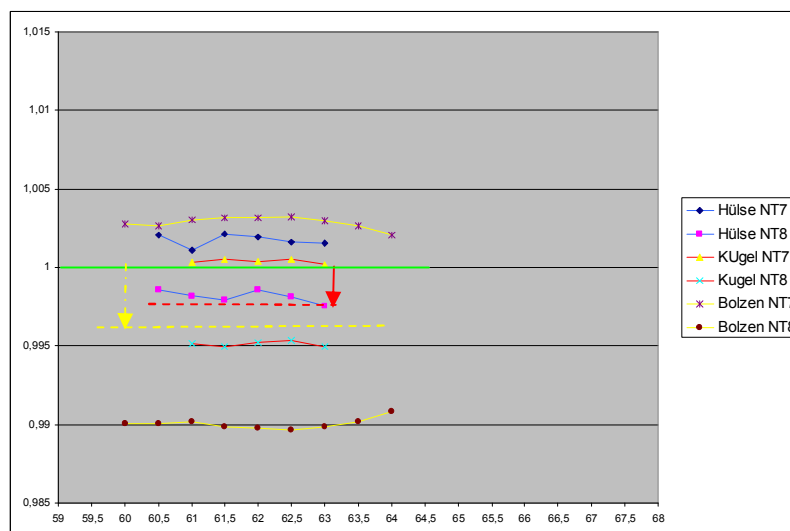
Hülse 62,3 cm

Kugel 61,5 cm

Bolzen 61,8 cm

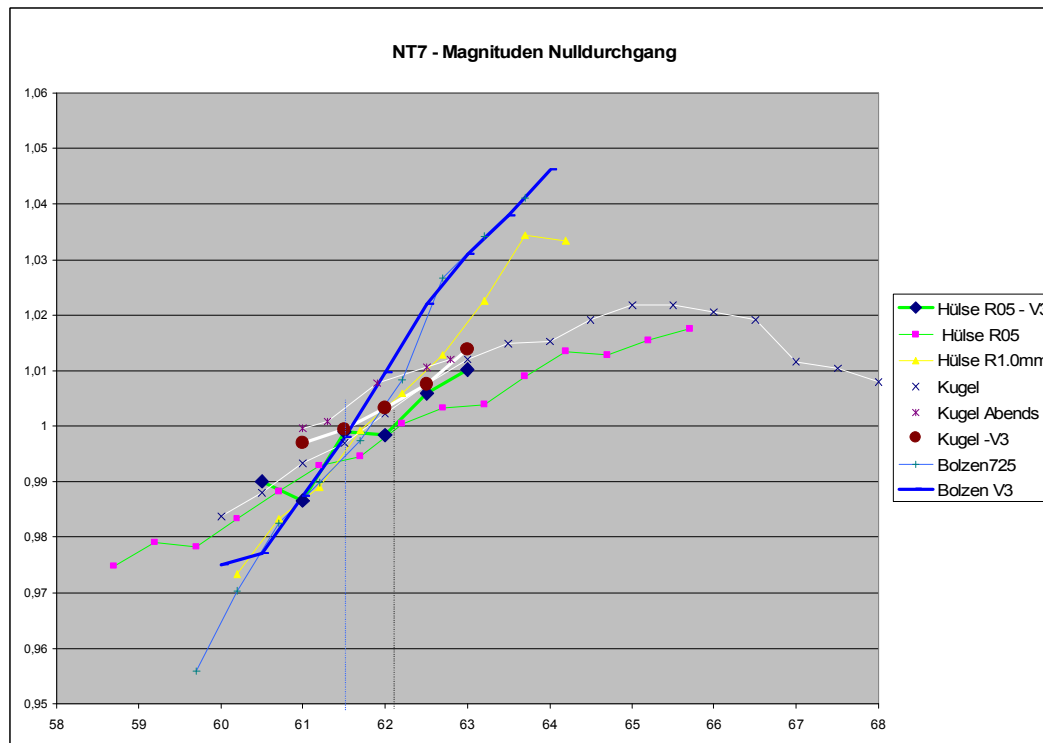
**-0,8 cm** Fluss wird stark behindert. +/- Druck davor u. danach steigt  
**-0,5 cm**

Mit der Kugel wäre Pos. XM-IN1 für NT8 so ermittelt bei dieser Messung sogar kleiner als für NT7, was nicht sein kann. Gerade NT (8) haben hier einen Druckknoten, das kann aber nicht mit geänderter Wellenlänge zu tun haben, sonst wäre es beim Bolzen noch stärker. Die Druckkurven werden Richtung Constriction gedrängt, Knotenabstände länger, der betroffenen Druckknoten bleibt aber an seiner Stelle, Pitch fällt, XM-IN1 ist allerdings vor XM-PN dh. Instrumentenlänge nach der Constr. hat mehr Anteil an Druckbäuchen und Druckknoten als „Gerüst“; diese Überzahl verschiebt den Magnitudennulldurchgang ausgleichend Richtung Mundstück. Das Magnituden Max. der shared Minima liegt **im Fall der Kugel** ebenfalls vor XM-IN1. (~60-61cm)

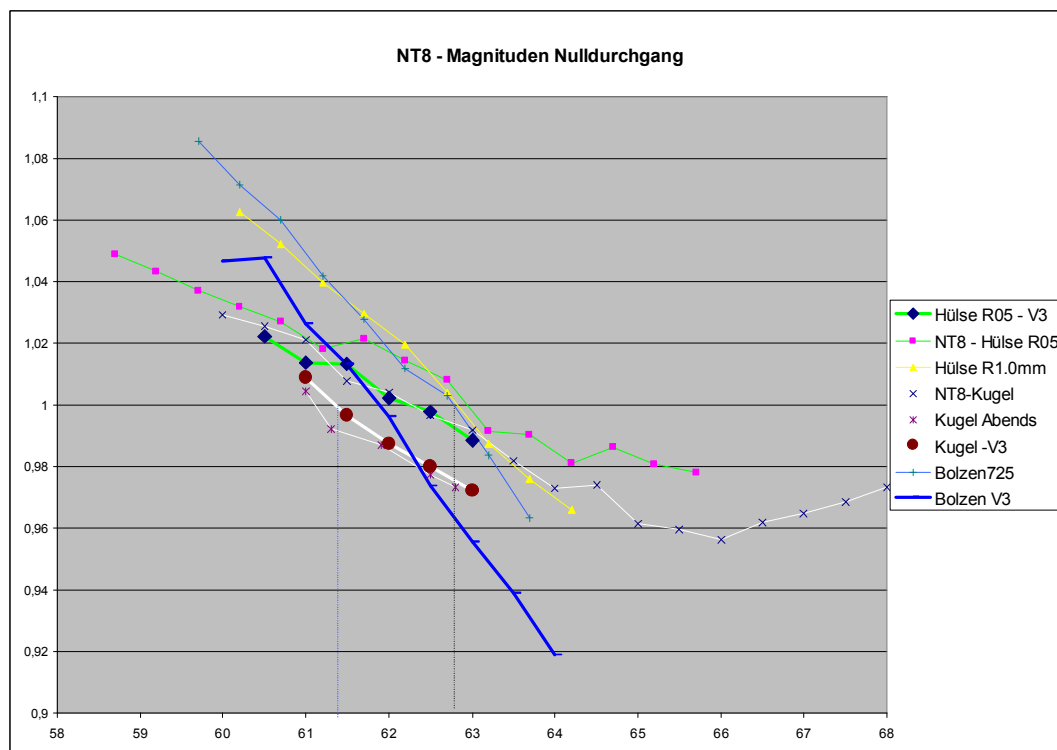


Pitch Veränderung: Gut erkennbar der Pitch Versatz down anhand Perturbations **Radius + Potential** anhand Länge, die Kugel ist beinahe nur unter der Null-Linie (Pitch stark vertiefend). Bolzen 725 hat wegen seiner größeren Länge mehr Potential und ist ebenfalls stark versetzt.

## Ergebnisse diverser Perturbationen und Messungen im Vergleich

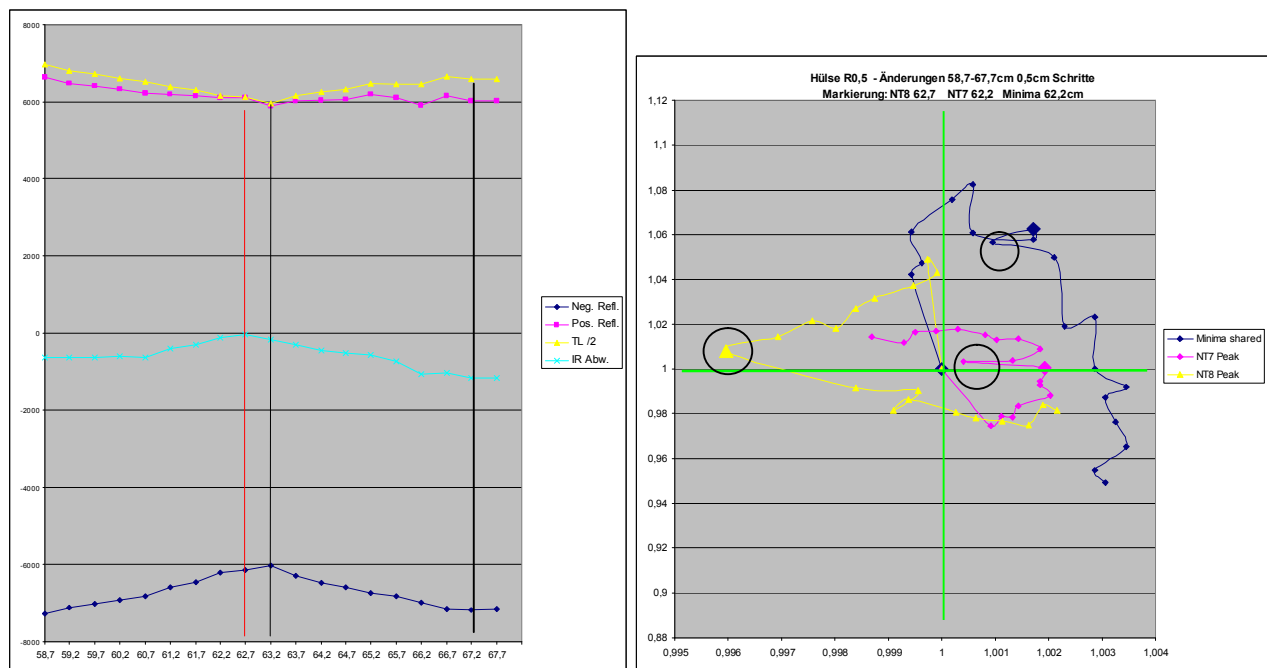


NT7: weniger Abweichungen, 61,5-62,1 cm (Trend FFT Positionen zu ART-Sim: Odd: = ->)  
 Aber bei späteren Wiederholungsmessungen sind teils große Abweichungen,  
 d.h. die Referenzmessungen sind leider eine große Fehlerquelle!



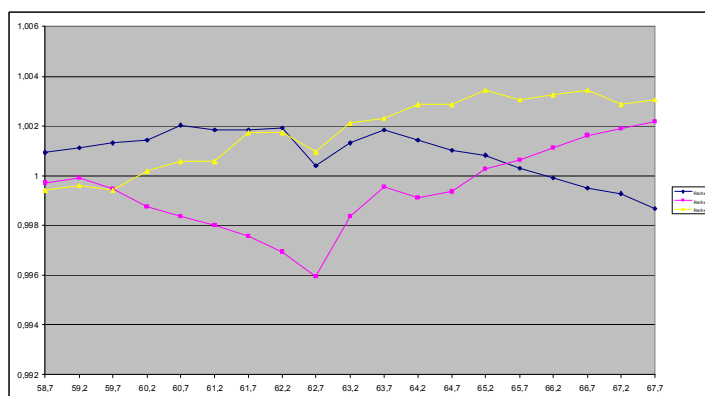
Magnituden-Nulldurchgang NT8: hohe Fehlerquelle – Bandbreite 61,3-62,8 cm  
 hängt noch stärker an der Referenzmessung, **Kugel verfälscht hier zudem am meisten.**  
 (Trend FFT Positionen gegenüber ART-Sim: Even: = <--)

## Test #9, Hülse 24mm, Wandstärke 0,5mm; Messfehler und Referenzprobleme

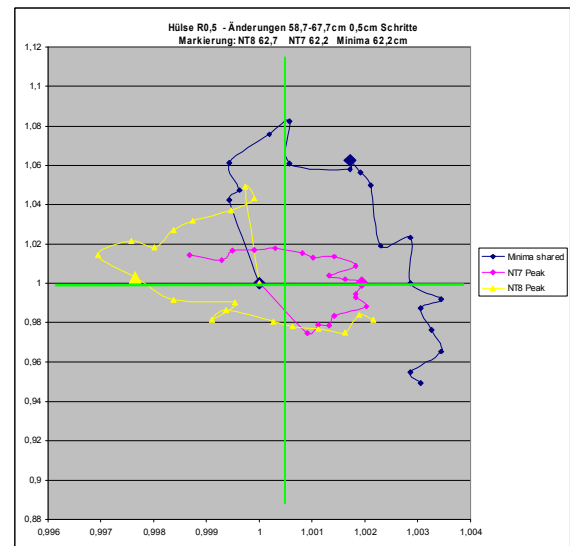
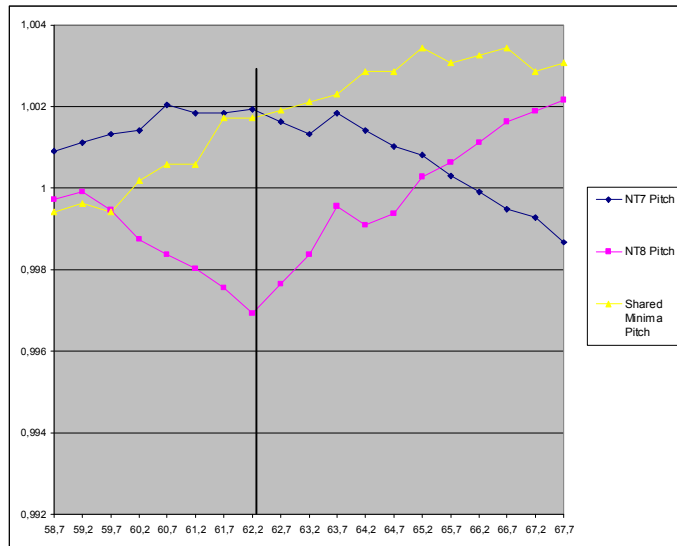


IR Test #9: Der kleinste negative Reflex ist hier nicht exakt gleich geringster Abweichung (rot)

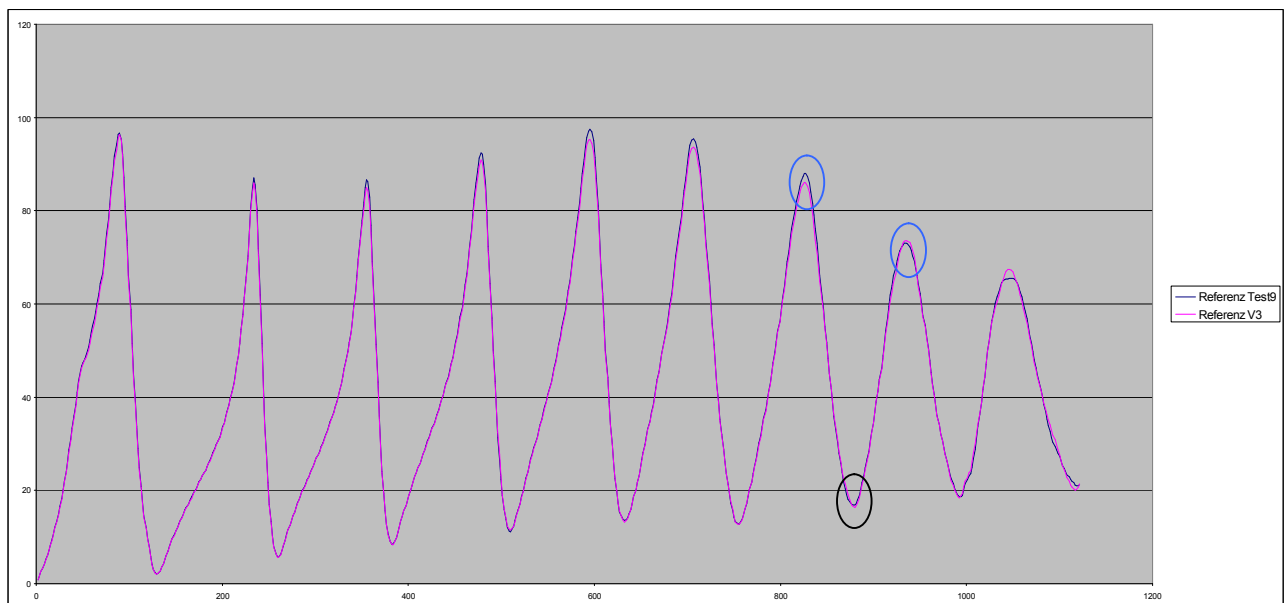
Peak NT 7 hat bei ~ XM PN 66cm nur +2 % höhere Magnitude, **d.h. Referenzmagnitude zu hoch**  
NT 8 -4 % niedrigere Magnitude. (2. neg. Reflex überwiegt)



Auswertung Magnituden+Pitch sind sehr fehleranfällig – hier Pitch NT7 bei 62,7cm!  
Pos. 62,7cm ist definitiv ein Ausreißer – exakt an der Stelle, die am meisten interessiert!  
D. h. ich muß zwangsläufig hier einen Mittelwert bilden, Magnituden sind kaum betroffen:



Hülse 0,5mm Pitch, Pos 62,7 und 66,2 cm sind hier korrigiert.



Ohne Perturbation hat **NT7** bei Referenztest #9 eine höhere Peak Magnitude, **NT8** eine kleinere als bei Referenzmessung # V3. Die shared Minima Magnitude dazwischen ist aber beinahe ident. Bedeutet: NT7 höhere Wave Impedanz, NT8 niedriger bei 2 verschiedenen Referenzmessungen.

### Gründe für die unterschiedlichen Messergebnisse hier:

Das Mundstück/Messkopf musste abgenommen werden – Messung #V3 hat minimal weniger Bell IR Max Reflex; IR-Kurve Abweichungen ~ 20-25cm = Maschine / Öl / Ventildeckel? Bell Bedämpfung?

Wegen der unterschiedlichen Ausgangslagen (Referenzmessungen) liegen die ermittelten Nulldurchgänge und Schnittpunkte **mit gleicher Perturbation** an unterschiedlichen Stellen und ergeben leider eine sehr große Fehlerquelle, in diesem Fall von **1cm Positionsunterschied!**

**NT7 zeigt insgesamt weniger Differenzen als NT8. Ein geschwächter / beeinträchtigter Peak NT7 bei der Referenzmessung verursacht hier einen zu früh ermittelten Magnituden-Nulldurchgang. Ebenso liegt der Nulldurchgang mit geringerem Perturbations-Radius (Hülsen) immer etwas später als mit Kugel und Bolzen. Bei der ART-Simulation ist das nicht der Fall, muß aber bei realen Messungen berücksichtigt werden!**

## Potentialmessungen anhand Magnituden unterschiedlicher Referenzen

Das Potential für Pitch, als auch Impedanz Magnituden müsste durch **eine Perturbation bei gleicher Methode** gleich stark sein, wenn man die Referenzmessung einmal aus dem Spiel lässt.

D.h. der Punkt wo 2 verschiedene Messungen das selbe lokale max. Pot. haben könnte weitere Rückschlüsse über die die Abweichung erlauben.

Ohne Perturbation, Peak Messungen:

Referenzpunkt NT7 Test #9: 88,12 Mohm ->

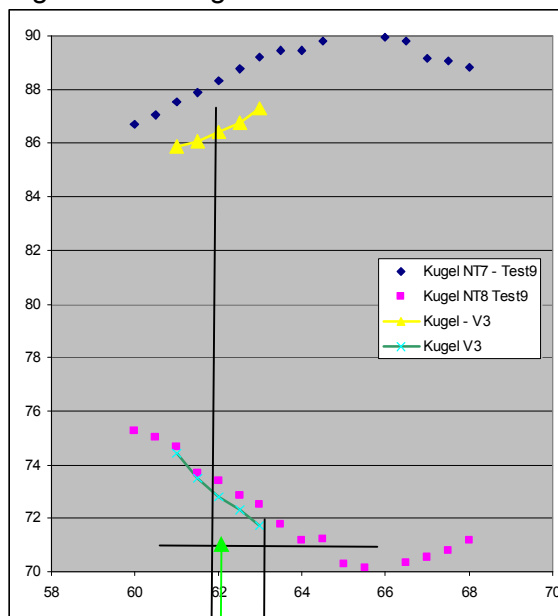
Referenzpunkt NT8 Test #9: 73,12 Mohm ->

Differenz:

Test #V3: 86,12 Mohm = **-2,0 Mohm**

Test #V3: 73,75 Mohm = **+0,5 Mohm**

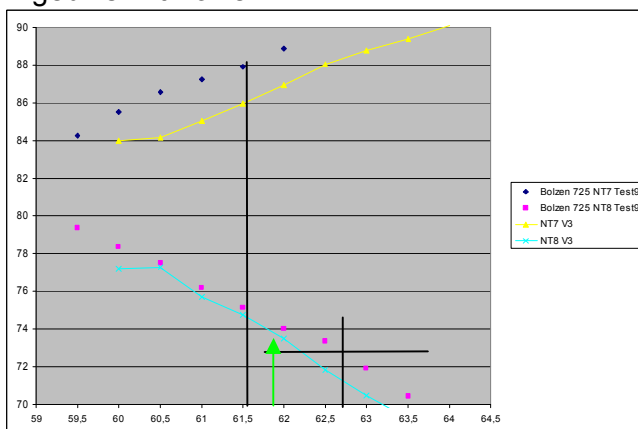
Ergebnis mit Kugel:



NT7 wird ohne nennenswerte Abweichung angezeigt, auch Pert. Pot. ist 2 Mohm weniger ~61,5cm

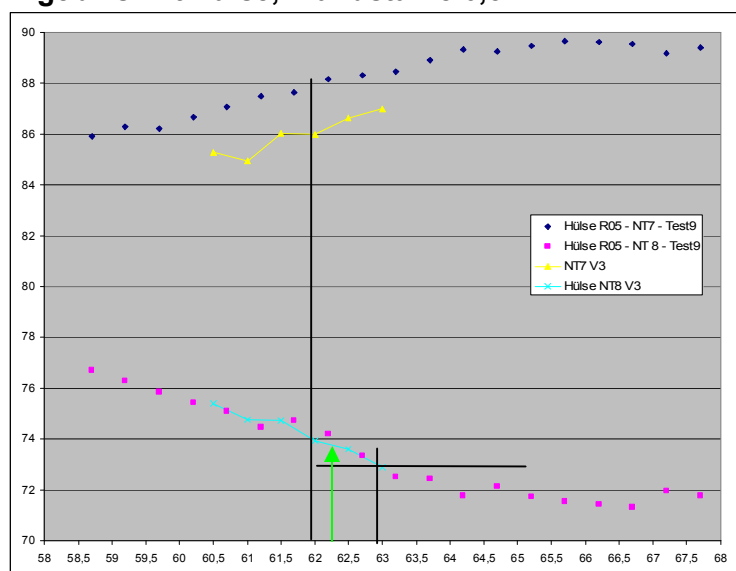
NT8 verursacht Positionsunterschiede von ~ 1cm, das Perturbationspotential ist aber bei ~61,5cm in etwa ident. (Messung #V3 ist hier um 0,5 Mohm stärker down).

Ergebnis mit Bolzen:



NT7 wird ohne nennenswerte Abweichung angezeigt, auch Pert. Pot. ist 2 Mohm weniger ~61,6cm

NT8 verursacht Positionsunterschiede von ~ 1cm, das Perturbationspotential ist aber bei ~61,8cm in etwa ident. (Messung #V3 ist hier um 0,5 Mohm stärker down).

**Ergebnis mit Hülse, Wandstärke 0,5mm:**

NT7 wird noch ohne große Abweichung angezeigt, auch Pert. Pot. ist 2 Mohm weniger ~62cm. Die 2cm Abweichungen variieren aber stärker umso geringer die Perturbation ausfällt.

NT8 verursacht Positionsunterschiede von ~ 0,8cm, das Perturbationspotential ist aber bei ~62,5 cm beinahe ident, aber Meßfehler häufen sich stark

**Fehlerquellen bei Perturbation-Tests:**

Peak Magnitude:	<b>Magn. max down um XM-PN</b> <b>NT8 mehr Pot – besser auswertbar.</b>	<b>Referenz nicht entscheidend</b> Messfehler Constr.
	Magn. Nulldurchgang NT7 weniger anfällig!	Messungen + Referenz,
Pitch:	<b>max. down or up</b>  Pitch Nulldurchgang	Referenz nicht entscheidend Messfehler Constr. Mess + Referenz Fehler möglich stark von Perturbation abhängig!
	<b>NT8 mehr Pot, bei der ART Trompete etwas weniger Versatz zu Magnitude</b>	
RMS Werte/Breiten:	von Peak Magn. abhängig Rms bei XM-IN1 NT8 schmaler <b>Max. Breite bei NT8 XM-PN down</b>	
Freq. Cross Werte	Max. Breite im XM-PN speziell um xm-in1 fehleranfällig	von Pitch Peak+Minima abhängig
Virtual Peak Magn.	<b>von Peak Mag. = Rms = +90 % Peak abhängig</b>	
shared:	Magnitude – max. Unterschied	<b>nicht von Referenz abhängig</b> Fehler durch Einzelmessungen
	Pitch – max. Abstand	<b>nicht von Referenz abhängig</b> Fehler durch Einzelmessungen

## Fazit Teil 7:

Das Positionsproblem konnte ich bisher gut nachvollziehen und beschreiben, aber noch nicht befriedigend lösen, weder bei Simulationen noch bei Druck- und Impedanz Messungen.

Alle bisherigen Versuche zeigen zwar in eine plausible Richtung, die beste und auch mit Abstand schnellste Möglichkeit scheint aber, die Bell IR Minima Werte abzüglich Mpc Eq. Länge als XM-PN mit Ausgangslage Versatz +/- 0 zu wählen. Diese ist quasi eine x-fache Mittelung aller Peaks und Dips sowie Flanken = der kompletten Impedanz Kurve und somit die beste „Glättung“.

$\sim$  XM-Pitchnode =  $\sim$  Magnitude Node +/- 1/8 WL bei resultierender MPC Equiv. Länge von  $\sim$ 2cm

= (Impulse Response Bell Minima Position / 2) - equiv. Mehrlänge Mundstück+Mundrohr  
Sie steht in gutem Einklang mit den ermittelten IR- Reflex-Nulldurchgängen bei Perturbationen.

Ob die Variante A	(Minima IR / 2 )	-20mm	(137/2) = 68,5cm – 2 = 66,5cm
oder B	(Minima IR -20mm)	/2	(137-2) = 135cm / 2 = 67,5cm
oder C	der Mittelwert dieser beiden Varianten		= 67,0cm

besser geeignet ist müssen weitere Tests noch zeigen, im Zweifel scheint Var. A ev. die bessere Wahl. Inwiefern starke Unterschiede in der Mundrohr und Schallbecherform (Flügelhorn zu Trp.) hier Unterschiede ergeben muß ebenfalls in der Praxis noch geprüft werden.