

# Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten

**Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten.**

## **Teil 6: Analyse und Interpretation von Informationen aus dem Zeitbereich**

Projektstand per 24.11.2024, Revision 20

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!

**Inhalt Teil 6:**

Projekthinhalt – Teil 6 – Kurzüberblick und Ergebnisse	3
--------------------------------------------------------	---

**Analyse und Interpretation von Informationen aus dem Zeitbereich****Globale Effekte - Generelle Längenbestimmung**

Impulse Response Auswertungen, akustisch wirksame Längen, metrische Skalen	4
Schallgeschwindigkeit, Temperatur und Luftfeuchte	5
Schallgeschwindigkeit, Längenkorrektur sprunghaft offenes Ende, Verluste	6
Woher kommt 1% systematische Längenabweichung, sind das Fehler oder Verluste?	7

**Globale Effekte - objektive Beurteilung (Reflexgüte, Abschwächung, Verluste)** **8**

IR-Experimente Zylinder, Mundstück + Zylinder, Schallbecher, Gesamtinstrument	9
Effektive Mehrlänge durch Mundstück und Mundrohr	11
Lokale Effekte durch Druckänderungen verursachen global entgegengesetzte Effekte	11
IR-Reflex Potential über die Achse bei Kombinationen aus Rohr / MPC / Schallbecher	12

**Lokale Effekte - Störstellen Analyse:**

Interpretation von Reflexen und Störungen	14
Auswirkungen Borejumps & typische Tuningslide Gaps	15
Akustische und physische Längenskala für zylindrische und leicht konischen Teile	15
Auswirkungen & Positionen einzelner Löcher in der Impulsresponse-Auswertung	16
Auswirkungen von Undichtheiten, Praxisfälle	17
Auswirkungen grober Design- oder Produktionsfehler, Praxisbeispiele	19

**Lokale Effekte - Positionsfindung von Perturbations-Proben:**

Welche akustische Länge haben der Rotary-Valvecluster und Bögen tatsächlich?	22
Phys. Positionskontrolle – praxistaugliche Möglichkeiten ermitteln	22
Bestimmung des phys. Perturbationszentrums aus positivem und negativem Reflex	24
Messreihe C: - zyl. Rohr 11mm Diameter	25
Messreihe B: - MPC, MR und zyl. Rohr	26
Messreihe A: - MPC, MR, Valvecluster, Rohr	27
Messreihe D: - zyl. Rohr 11mm +Schallbecher, (kein Mundstück/Mundrohr)	28
Messreihe E: - kompl. Bb-Trompete, MPC, V0	28
Ergebnis Längenauswertungen, akustische Mehrlänge durch das Mundstück	29

**Lokale Effekte in der akustischen Mitte des Instruments, von XM-IN1 bis XM-IN2:**

Reflex Maxima und Minima IR, Analyse Magnitudenwerte, Positionsabweichungen	30
Rechnerische Ermittlung Nulldurchgang / Flankensteilheit	32
Globale Effekte - Bell Maxima und Minima IR Änderungen durch Constrictions	34
Matching mit der physischen Positionen mit unterschiedlichen Proben	35
Matching IR-Ergebnisse im Zeitbereich zu Impedanzänderungen im Frequ.-Bereich	37
Fazit Impulsresponse zur Positions- und Längenbestimmung	38
Ursprung phys. Pos. XM-PN mittels Bell-IR Minima und equiv. Länge MPC ?	38

**Anhang - Dokumentation weiterer Versuche und Fehler:**

Bolzen Dia 7,25mm Positionstest über die ganze Instrumentenlänge:	39
Kugel Dia 8mm, Bolzen Dia 4,8mm	42
IR-Reflex Positionsabweichungen; Pitch Pot down hat Übergewicht	43
Auswirkungen unterschiedlicher Perturbationen an selber Position im Vergleich	44
1. Reflex + 13mm liefert die physische Position Kugelmitte mit +/- 2mm Fehler	46
Kugel Long Term: Impulse Response, phys. Position - Verknüpfung zu Impedanzmagnituden	46
Übersicht durchgeführter IR-Messungen, Positionsabweichungen (inkl. Messfehler)	48

**Projekthinhalt Teil 6 – Kurzüberblick und Ergebnisse:****Messungen, Analyse und Interpretation:**

Um Blechblasinstrumente besser verstehen zu können, und um diese auch gezielt objektiv beurteilen oder verändern zu können, müssen zahlreiche Positionen und Parameter möglichst exakt bestimmt werden. Dazu ist es erforderlich die vorhandene physikalische Lage von Druckknoten und Druckbäuchen zu ermitteln.

**Lokale Perturbationen und Betrachtung der globalen Änderungen auf Lippenebene:**

Eine Perturbation - hier als eine Querschnittsänderung in Form einer lokalen Verengung „Constriction“ an einem Flußbauch vertieft die resultierende globale Naturtonfrequenz, die globale Peak Impedanzmagnitude auf Lippenebene wird aber (kaum) geändert. Eine lokale Verengung an einem Druckbauch bewirkt eine max. höhere globale Peakfrequenz bei kaum geänderter globaler Peak Magnitude auf der Lippenebene. Lokale Erweiterungen „Enlargements“ des Querschnitts bewirken an diesen Positionen jeweils maximale globale Tonhöhenänderungen in entgegengesetzter Richtung.

Druckknoten und Druckbäuche treten für jeden Naturton abwechselnd im Abstand von 1/4 Wellenlänge der Naturtonfrequenz auf der physikalischen Instrumentenachse auf. Dazwischen finden sich im selben Abstand Nulldurchgänge für Tonhöhenänderungen, sogenannte „PITCH-NODES“. Hier entstehen bei einer lokalen Querschnittsänderung keine globalen Tonhöhenänderungen, allerdings werden hier die globalen Impedanzmagnituden der Peaks abwechselnd erhöht oder erniedrigt.

**XM-Pitchnodes und Magnitude Antinodes / Pitchversatz (XM=Mitte):**

In der vereinfacht „akustischen Mitte =XM“ des Instruments hätten, (wäre kein Pitchversatz) alle Naturtöne bei einer lokalen „Constriction“ einen Frequenz-Nulldurchgang, die Peakmagnituden aller geradzahligen Naturtöne wären max. reduziert, die Peakmagnituden aller ungeradzahligen Naturtöne wären maximal erhöht. Eine 1/8 Wellenlänge davor Richtung Mundstück bei „XM-IN1“ haben alle geradzahligen Naturtöne einen lokalen Druckknoten, alle ungeraden einen Druckbauch; eine 1/8 Wellenlänge danach bei „XM-IN2“ sind die lokalen Druckverhältnisse umgekehrt. (Abkürzungen und verwendete Begriffe siehe Teil 3).

Durch „Mensur“, Schallbecher und spez. die Verwendung eines Mundstückes + Mundrohres liegen diese Pitch-Nodes und Impedanzmagnituden-Antinodes nur noch bei einer ganz bestimmten Frequenz ohne einen Versatz zueinander an der selben XM-Position. Bei allen anderen Frequenzen liegen diese Punkte verzerrt an anderen physischen Positionen, um so weiter sie von jener Frequenz entfernt sind. Es kommt zu einem „Pitch-Versatz“ zu Magnituden, aber auch die Magnitudenpositionen selbst sind verzerrt an anderen Stellen.

**IR - Impulse-Response / Zeitauswertung/ equiv. Längen:**

Eine Umwandlung der Impedanzmessung in den Zeitbereich ergibt eine IR-Reflexkurve, welche akustisch wirksame Positionen wiedergibt. Das Instrumentenende wird dabei durch einen negativen Reflex „Bell-Minima“ Reflex, sowie einen positiven „Bell-Maxima“ Reflex gekennzeichnet. Der Maxima-Reflex gibt die akustisch wirksame Gesamtlänge des Instrumentes an, diese ist immer wesentlich länger als physisch. Wir sprechen von der effektiven Länge ebener Wellen selber fiktiver Grundfrequenz und harmonisch Vielfacher, die sich in freien Umgebung im Medium Luft ausbreiten. Äquivalente Längen siehe Teil 2D.

**Ein Schlüssel zum Erfolg:**

Der Bell Minima-Reflex hingegen liefert über eine Umrechnung die physikalische Position des XM-Pitch Ursprung-Nulldurchgangs für jene Frequenz, die den geringsten (oder keinen) Versatz hat!

Das verwendete Trp. Mundstück+Mundrohr bewirken eine akustisch wirksame Mehrlänge von ca. 20mm gegenüber einem Rohr bei jener Frequenz, wo es zu keinem Versatz von Pitch-zu Magnitudenwerten kommt, (bei Trompetenmundstücken ~ MPC Popp. Frequenz) und welche berücksichtigt werden muß. Die Mehrlänge kann durch Messung MPC+MR+Zyl. Boresize gegen nur zyl. Boresize ermittelt werden!

Die physische XM-Pitchnode Position ohne Versatz bzw. der Ursprung durch den Grundversatz liegt bei:

$$= ( \text{Bell-IR Minima akustische Position} - \text{akust. Mundstückmehrlänge hier 20mm} ) / 2$$

Weitere physische Positionen für andere Frequenzen können dann anhand IR Reflexbreiten, der Impedanzkurve und der Peak Symetrie, etc. ermittelt bzw. ziemlich genau eingeschätzt werden.

## Interpretation von Messdaten aus dem Zeitbereich

### Impulse Response Auswertungen, akustisch wirksame Längen, metrische Skalen:

Daten aus dem Zeitbereich können unter anderem für folgende Zwecke verwendet werden:

- Global: für Längenbestimmungen (z.B. Ventil-, und Rohrlängen, Mpc-Equiv. Grundversatz)
- Global: zur objektiven Beurteilung und Dokumentation (Reflexgüte, Abschwächung, Verluste)
- Lokal: in der Praxis zur Fehlersuche und Qualitätskontrolle (Leaks, Undichtheiten, Störstellen)
- Lokal+global: Zur Ermittlung der Position XM-PN für die Frequenzen ohne Pitch-/Magnitudenversatz

In dieser Reihfolge versuche ich auch die folgenden Ergebnisse möglichst verständlich und lesefreundlich aufzubereiten. Einen ersten einleitender Teil zu Impuls Response Auswertungen habe ich in Teil 5 bereits behandelt und dieser sollte vorab beachtet werden. Dabei muß man sich mit der Bedeutung von Schallgeschwindigkeit und mit in der Praxis auftretenden Verlusten und Problemen auseinandersetzen.

### Längenbestimmung - Schallgeschwindigkeit, Wegstrecken und Zeitdauer:

Mit Beispiel 345 m/Sek. Schallgeschwindigkeit:

1 Sekunde	Dauer	= 345m zurückgelegte Strecke pro Sekunde
->1 Millisekunde	Dauer	= 0,345m oder 34,5cm

Für 1000 mm =1m Strecke benötigt der Schall daher mit dieser Geschwindigkeit:  
 345mm.... in 1 ms -> 1000mm = 1000/345 = 2,898 ms Zeitdauer zur Übertragung eines Impulses.

In einem idealen, zylindrisches Rohr, physikalisch 1000mm lang, beidseits geschlossen, benötigt der Schall		
1.	2,898 ms	vom Meßkopf (Lippenebene) bis zum Rohrende ->
+	2.	2,898 ms wieder zurück zum Meßkopf (zu den Lippen). <-
=	<b>5,797 ms</b>	für den 1. Roundtrip.

Ist das Rohr am Ende nicht geschlossen, sondern sprunghaft offen, so muß eine Endkorrektur zusätzlich berücksichtigt werden. Das Rohr wird akustisch länger und produziert tiefere stehende Wellen / Frequenzen. Bei zylindrischen Rohren mit sprunghaftem Ende wird in der Literatur eine zusätzliche Länge von 0,3 \* Durchmesser pro offenem Ende genannt, um welches die Druckknoten aus dem Rohr „herausragen“ sollten.

In diesem Fall bei Durchmesser 11mm wäre das eine zusätzliche akustisch wirksame Länge von 1x3,3 mm. Die Roundrip Time verlängert sich daher minimal auf 5,8 ms. (Die Schallgeschwindigkeit bleibt unverändert).

1/1000 Sekunde = 1 ms Zeitdauer entsprechen bei dieser Geschwindigkeit somit  
 1000 mm /5,8ms = 172,44 mm (17,24cm) Länge (zurückgelegte Strecke \*2) pro ms.

### Längenbestimmung - Zeitdauer und Auflösung in Samples (Messwerten):

Meine gesammelten Messdaten liegen in fixen Zeitabständen (Samples) vor.

Die verwendete Sampling Rate beträgt 11025 Werte pro Sekunde. Diese wird bei der Umwandlung vom Frequenz- in den Zeitbereich nochmals um den Faktor 8 geglättet, was zwar zu einer kürzeren maximal auswertbaren Strecke führt (weniger Roundtrips), aber zu einer höheren Glättung im nun kürzer auswertbaren Bereich.

D.h. es sind somit 88.200 Punkte pro Sekunde, oder 88,2 Punkte pro Millisekunde.  
 1 Millisekunde besteht demnach fix anhand definierter Samplingrate aus 88,2 Punkten.

Fixwert:	Fixwert:	abhängig von Geschwindigkeit, Endkorr.:
88,2 Samples	= 1 ms	= 172,44 mm
1 Sample	= 0,011337ms	= 1,9551 mm (172,44 / 88,2)

D.h. die metrische Skala besteht bei dieser Geschwindigkeit aus Abständen von 1,9551mm mit einzelnen Messwerten. Die Länge einer Trompete mit z.B. 1390 mm besteht hier aus ~ 711 einzelnen Samples.

Ein markanter Wert (z.B. ein Reflex Minima oder Maxima) behält immer seine fixe Sample Nummer und somit fixe Position in Millisekunden, anhand der Skala kann seine Position nun auf der metrischen X-Achse zugeordnet werden. Dafür ist eine möglichst realistische Schallgeschwindigkeit notwendig – und diese wird durch vorhandene und auftretende Verluste aber niedriger, auch beim zyl. Rohr, umso enger desto mehr.

Geschwindigkeitsunterschiede, die aus Temperaturunterschieden entstehen verursachen Längendifferenzen bei unterschiedlichen Temperaturen von z.B. 20 und 26 Grad von ca. 15mm ermittelter Längendifferenz, rund 2,5 mm pro Grad Celsius bei einer Bb-Trompete mit Mundstück mit einer gemessenen physischen Gesamtlänge von 137,0 cm.

Eine zu hoch angesetzte Schallgeschwindigkeit ergibt höhere Skalen / Abstände der Samples, was in einer größeren errechneten Länge resultiert. Die gemessenen Frequenzen bleiben und auch die Grundstimmung gleich. Durch eine **fälschlich** höher angenommene Geschwindigkeit würde die akustische Länge bei höherer Temperatur folglich zu lang sein.

### Schallgeschwindigkeit und Faktoren die Einfluß haben:

Quellen geben Werte von 331,3 – 331,6 m/Sek. bei 0 Grad und **trockener** Luft an.

Üblicherweise wird auf 331,5 m/Sek als anerkannte Referenz verwiesen. Der Luftdruck und Seehöhe spielt keine Rolle, allerdings die Zusammensetzung und somit die Dichte der Luft. **Die Temperatur hat die größte Auswirkung darauf, allerdings auch z.B. die relative Luftfeuchtigkeit und der CO2 Gehalt.**

<b>Schallgeschwindigkeit:</b>	Wurzel aus	Adiabatic Konstant x	Druck	/	Dichte	Dichte = Masse pro Volumen
	Wurzel aus	für Luft = 1,4	x	Pascal	/	kg/m <sup>3</sup>
<b>0m Seehöhe</b>	1 ATM = 1 Bar =	1,4 x			101325 pascal (Newton/m <sup>2</sup> )	
Dichte für trockene Luft bei 0° Celsius und 1 ATM=					<b>1,291677086</b> kg/m <sup>3</sup>	= <b>331,395</b> m / sek bei 0 ° Celsius
<b>Seehöhe:</b>	weniger Druck, weniger Dichte		mehr Druck, mehr Dichte			Luft wird in den Bergen dünner.....weniger Moleküle pro Volumen...weniger Dichte
<b>Temperatur:</b>	weniger Dichte (leichter)		mehr Dichte (schwerer)			warme Luft ist leichter als kalte, warme Luft steigt auf...
<b>Luftfeuchtigkeit:</b>	weniger Dichte, (Leichter)		mehr Dichte (schwerer)			Wasserdampf Moleküle sind leichter als Sauerstoff und Kohlendioxidmoleküle
Schallgeschwindigkeit ändert sich nicht mit Luftdruck (Seehöhe) da sich die Dichte auch gleichzeitig ändert. Atomgewichte:.. Wasserdampf 18, Oxygen=32, Nitrogen=28, Anzahl Atome bleibt gleich!						
...ausgetratete Luft =weniger Sauerstoff, mehr Kohlendioxid, mehr Feuchtigkeit...weniger Dichte aber selber Druck....= höhere Schallgeschwindigkeit!						
<b>Luft besteht aus ca:</b>	21% Sauerstoff	Oxygen o <sub>2</sub>				109822,340
	78% Stickstoff	Nitrogen n <sub>2</sub>				78444,5285
	1% sonstige Gase					1,291677086
	0,03% Kohlendioxid	Co <sub>2</sub> (wir verbrennen beim Atmen sauerstoff und als abfallprodukt bleibt co <sub>2</sub> übrig.				
<b>Bulk Modulus =</b>	Measure of how the medium reacts to changes in Pressure and Volume					
	Dry Air at 0° C and 1 ATM					
<b>schallgeschwindigkeit=</b>	Wurzel aus	Bulk Modulus	/	Density		
	Wurzel aus	141855 /		1,291677086 kg/m <sup>3</sup>		<b>331,39453815</b> m / sek
<b>reverse = c^2 * density = Bulk Modulus =</b>		141855				
<b>reverse = bulkmodulus / c^2= Dichte bei dieser Temp</b>				<b>1,203553117</b> kg / m <sup>3</sup>	<b>20 grad</b>	<b>343,3125607</b> m / sek
<b>Schallgeschwindigkeit =</b>	Wurzel aus	Adiabatic Constant for Air x	Ideal Gas Konstant x	(273,15 Kelvin+GradC)	/ average molecular weight (of Air)	
<b>bei 0 ° C =</b>	Wurzel aus:	1,4 for air x	8,314 x	273,15	/	0,2895
						<b>331,3945381</b> m/sek at 273 K = 0 ° Celsius
<b>bei 20 ° C =</b>	Wurzel aus:	1,4 for air x	8,314 x	(273,15+20)	/	0,2895
						<b>343,3125607</b> m/sek
		1,4 for air x	8,314	/	0,2895	<b>20,05140199</b> x Temp in K = m/sek.

Bei meinen Messungen herrschen immer Temperaturen zwischen 21 und 27 Grad Celsius, sowie eine relative Luftfeuchtigkeit die zwischen ca. 35-55% schwankt.

Temperature (°C) (deg F)	Speed of Sound (m/s) (ft/min)								
	Relative Humidity (%)								
	10	20	30	40	50	60	70	80	90
0	331.5	331.5	331.5	331.6	331.6	331.6	331.7	331.7	331.7
5	334.5	334.6	334.6	334.7	334.7	334.7	334.8	334.8	334.9
10	337.5	337.6	337.7	337.7	337.8	337.9	337.9	338.0	338.0
15	340.5	340.6	340.7	340.8	340.9	341.0	341.1	341.2	341.2
20	343.5	343.6	343.7	343.9	344.0	344.1	344.2	344.4	344.5
25	346.4	346.6	346.8	347.0	347.1	347.3	347.5	347.6	347.8
30	349.4	349.6	349.9	350.1	350.3	350.5	350.8	351.0	351.2

Luftfeuchte: Die Dichte der Luft wird mit zunehmender Luftfeuchte geringer, die Schallgeschwindigkeit steigt.

Bisher habe ich bei IR-Berechnungen die Luftfeuchtigkeit nicht berücksichtigt.

Wie man sieht ist die Auswirkung von Luftfeuchtigkeit bei niedrigen Temperaturen sehr gering, allerdings steigt der Einfluß mit zunehmender Temperatur doch deutlich.

Vergleiche (Quelle: Sengspiel Audio) zeigen im Bereich zwischen 20 und 26 Grad C und 45% relativer Luftfeuchtigkeit, daß die Luftfeuchtigkeit den selben Effekt auf die Schallgeschwindigkeit hat, als wäre die Temperatur um ca. 1-1,5 Grad Celsius höher.

Bei 20 Grad beträgt der Effekt einen Geschwindigkeitsanstieg wie bei 21 Grad Celsius, bei 26 Grad wie bei 27,5 Grad Temperatur. Der Zuwachs ist in diesem schmalen Bereich ziemlich linear, d.h. pro Grad Differenz zu 20 Grad Faktor \*0,0833 zuzüglich 1 Grad.

Bisher verwendete Geschwindigkeit (trockene Luft), und passend umgerechnet: mit ~ 45% Luftfeuchte berücksichtigt und passend umgerechnet: (20-26 Grad) wäre

0 Grad	331,395	m/Sek.	außerhalb Bereich – Basis = 331,5 m/Sek.
20 Grad	343,308	m/Sek.	344,007 + ~ 0,7 m/Sek. od. 0,20%
22 Grad	344,477	m/Sek.	345,272 + ~ 0,8 m/Sek. od. 0,23%
24 Grad	345,642	m/Sek.	346,532 + ~ 0,9 m/Sek. od. 0,26 %
26 Grad	346,803	m/Sek.	347,787 + ~ 1,0 m/Sek. od. 0,28 %

Auf die Länge einer Trompete V0 von 139cm bezogen bedeutet dies einen Laufzeit / Längenunterschied von 0,2-0,4 cm Gesamtlänge (1 oder 2 Samples, wegen Raster), um den die ermittelte Gesamtlänge unter Berücksichtigung der Luftfeuchte größer würde.

*Die möglichst korrekte Schallgeschwindigkeit ist neben der Impulse-Response auch für die Berechnung der Wellenlängen und folglich auch für Abstände von Druckknoten, sowie für andere Vergleichsberechnungen erforderlich!*

Bias/Bios© verwendet die Luftfeuchte nicht als Parameter, eine Arbeit aus 2015 vom IWK zeigt, dass Versuche in die Richtung angestellt werden, ebenso betreffend CO2 Gehalt der ausgeatmeten Luft von Bläsern, welche die Schallgeschwindigkeit wiederum erheblich senken soll.

Auch das damit verbundene Temperaturgefälle der Luft im Instrument, welches bei FFT-Messungen nicht vorhanden ist, wird betrachtet. Eine dünne Instrumentenwand soll Luft im Instrument schneller abkühlen als mehr Masse (auch Maschinenstock). Bias scheint 343,3 m/Sek bei 20 Grad zu verwenden. In einer Beschreibung von Bios findet sich allerdings der Wert von 345m/Sek. für 23,6 Grad, was etwas weniger wäre als meine bisherigen Geschwindigkeitswerte.

### Schallgeschwindigkeit, sprunghaft offenes Ende und Verluste:

Wäre das Kapitel nun geschlossen, wäre alles viel zu einfach. Die wahren Hürden folgen. Bei der Kalibrierung des Impedanz Messkopfes wurde eine systematische Abweichung der ermittelten Länge von zylindrischen Rohren mit Berücksichtigung der kleinen Endkorrektur am offenen Ende von Messungen gegenüber der physikalischen Länge festgestellt, die einer effektiv geänderten Geschwindigkeit von ~-1% entsprechen.

Um dieses 1% sind alle IR-Ergebnisse bei Rohren länger – sprich die Geschwindigkeit zu hoch - sofern man als Referenzpunkt für das akustische Ende des offenen Rohres jeweils die Spitze der Reflexminima wählt. Durch die Berücksichtigung der Luftfeuchte würde sich die Differenz auf ~1,25% erhöhen. Es stellt sich die Frage ob es überhaupt Sinn macht, Luftfeuchte mit zu berücksichtigen, wenn vorhandene Verluste so groß sind, daß sie dann eine Reduktion von -1,25% bei FFT Messungen von glatten – zylindrischen Rohren mit Dia 11mm zur berechneten Endkorrektur notwendig machen. Luftfeuchte wird daher nur als Option integriert.

#### Hinweis:

Wie ich soeben feststelle, verwendet die ART Simulation 80% Luftfeuchtigkeit als Standardvorgabewert! Dieser wurde bei allen Simulationen der ART Bb Trompete in Teil 3 verwendet. D. h. bereits vorhandene Simulationen aus Teil 3 müssen etwas reduziert werden. (Ca. 1m/Sek. entspricht trockener Luft ~ 2 Grad °C zu hoch angesetzt)!



## Woher kommt diese systematische Abweichung, sind das Fehler oder Verluste?

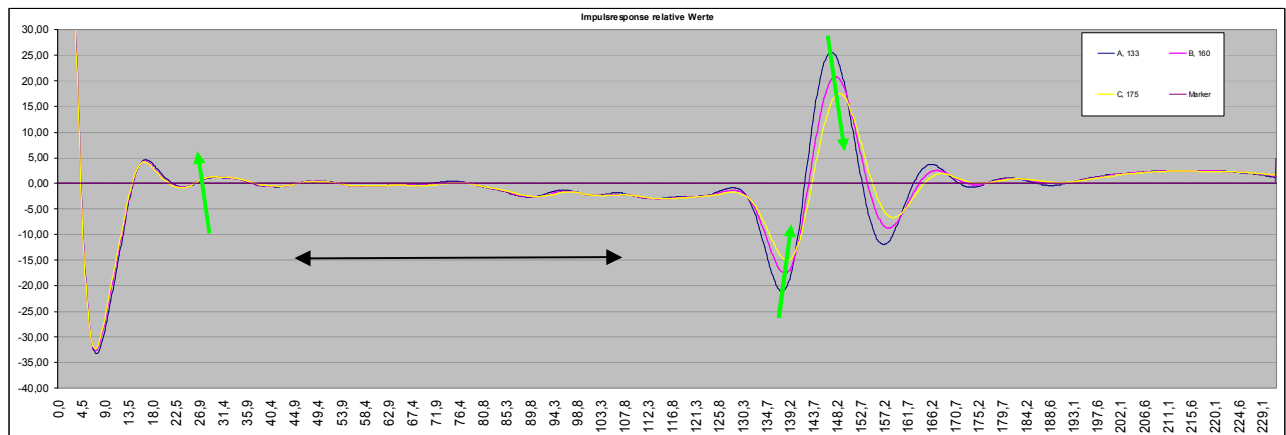
Falsche Temperaturmessung, falsche Längenmessung können so gut wie ausgeschlossen werden: 2 digitale Thermometer reagieren zum Teil unterschiedlich träge, max. Differenzen 0,3 Grad.

Maßband: wurde mit 2. Maßband u. Schiebelehre kontrolliert. Soundkarte: Lautsprecher, Mikrophone: Generierte Sinus Test Frequenz ist exakt gleich gemessener FFT- Grundfrequenz.

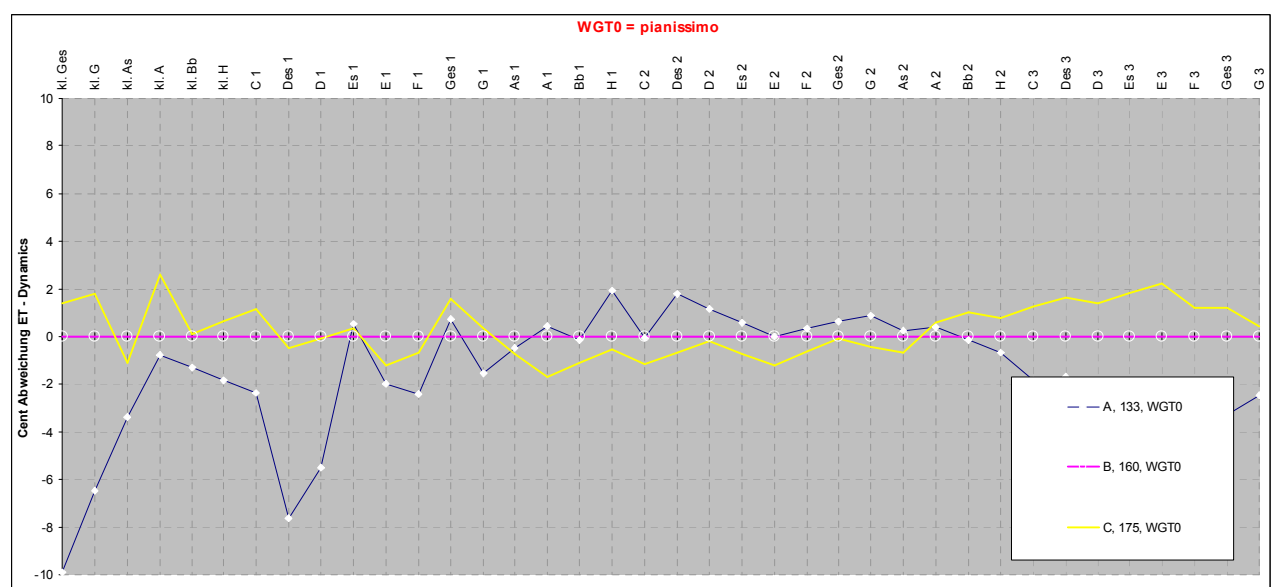
Oversampling: - Tests zeigen keinen Unterschied, Kalibration Modell Simple oder Tube: detto keine Auswirkung, Auslassen unterschiedlicher Frequenzbereiche, Fade-out Faktor: keine Auswirkung.

Daß die Kapillare im Messkopf die Messungen derart stark beeinflussen, kann ich nicht ganz ausschließen – nur die tieferen Frequenzen wären betroffen, diese können durch die Kapillare tunneln und die Anregung wie Tests gezeigt haben beeinflussen. Fehlende Phaseninformation: Kann ein Thema sein, betrifft dann aber auch die IR Auswertungen der ART-Simulationen. Alles + das Rohr selbst trägt in Summe zu Verlusten bei.

Abweichung der Stimmung: Durch Verluste wird die Grundstimmung generell tiefer. Die IR wird ja aus dem Frequenzbereich gewonnen und **tiefer Frequenzen stehen für längere Rohre, sofern Verluste in eng mensurierten, langen Rohren nicht berücksichtigt werden!**



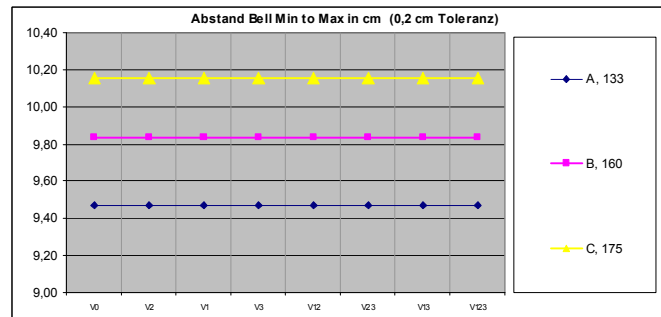
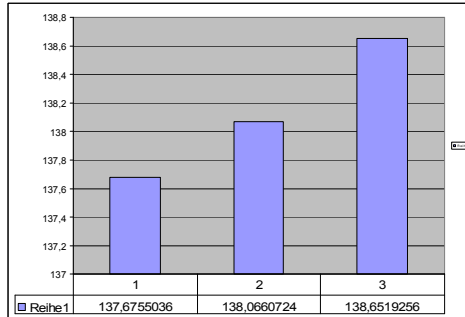
ART Versuch: Auswirkung unterschiedlicher Verlustmodelle für kplt. Trompete; umso höher die Verluste, umso tiefer die Grundstimmung (Lage IR Min + Max), umso länger die akustisch wirksame Länge, umso geringer alle IR Reflexe, vor allem auch die Bell Min. + Max. IR Reflexe.



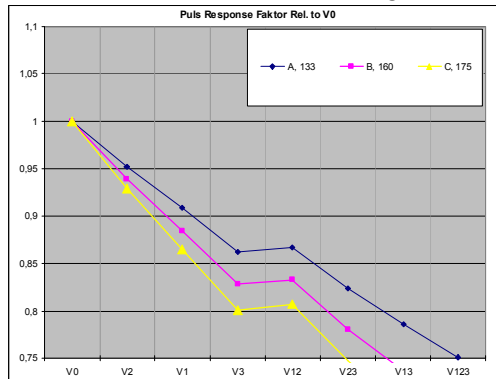
Die Stimmungsunterschiede sind nicht gleichförmig, die Grundstimmung nimmt aber stark ab  
**Loss 133 = A1=442,6 Hz, Loss 160 = 440 Hz, Loss 175 = 437,88 Hz (MW aus NT3,4,5,6,8)**

Perturbations on a Bb Trumpet – Notices & Results, ©Hermann Preisl, [www.preisl.at/brassissima/](http://www.preisl.at/brassissima/)

## Daten zur objektiven Beurteilung und Dokumentation (Reflexgüte, Abschwächung, Verluste)



Umso höher die Verluste, umso länger die ermittelte akustische Länge (hier Bell Minima IR)  
 Umso höher die Verluste, umso größerer Abstand von Bell Minima zu Bell Maxima IR.



Umso länger das **Rohr (durch Ventile) + Verlustfaktor**, umso kleiner auch der Impulseresponse Betrag.

ART TEST Rohr Länge 2930mm physisch **Dia 14mm**, Simulation mit 22,3 Grad und 80% Luftfeuchtigkeit, Lossfaktor 1,33 akustische Längenskorektur =  $14 \cdot 0,3 \text{ mm} = 2934,20 \text{ mm}$   
 Hier beträgt die ermittelte akustische Mehrlänge durch Verluste ~ 16 mm bzw. (**nur rund ~0,5%.**)

D. h. die Abweichung hängt mit den Verlusten und damit einhergehender tieferer Frequenzen / Stimmung zusammen. Ein Einfluß der FFT-Messung selbst kann insofern eingegrenzt werden, als daß bei realen Instrumenten/Rohren höhere Verluste tragend werden als bei Simulationen, beide Methoden aber in jedem Fall wesentlich weiter von einem idealen, mathematisch berechneten Zylinder ohne Verluste liegen müssen.

**Verluste vertiefen zusätzlich zu einer „Endkorrektur“ bei Zylindern am offenen Ende und würden wenn nicht kompensiert - für unsere Zwecke - fälschlich als „Rohrverlängerung“ gesehen. Perturbationen (Enlargement wie Constrictions), aber spez. starke (Kugel, Bolzen) verursachen noch zusätzlich Verluste, wodurch die Grundstimmung fällt, die physische Länge bleibt allerdings gleich!**

Das bedeutet im Endeffekt, daß alle längenbezogenen Werte wenn nicht korrigiert, wegen der Verluste immer etwas zu groß ausfallen. Die Längenskala wäre ohne Korrektur immer etwas zu groß. Es muß auch davon ausgegangen werden, daß komplette Trompeten inkl. Mundstück, Maschine, Stimmzugbögen und Schallbecher sowie die Messmethode selbst immer wesentlich mehr reelle Verluste haben als rein zylindrische Rohre (auch bei Simulation) und die Kompensation daher nicht geringer ausfallen sollte.

Eine Bb Trompete mit Mundstück und Schallbecher ist bei ca. 139cm (Mittellinie, nicht Konturlinie) physikalisch zu Ende. Der letzte Teil der Stürze ist oberhalb einer notwendigen Krümmung aber nur „Zierde“. Siehe Teil 2e. Die akustische wirksame Länge eines zugrundeliegenden „fiktiven Konus mit geschlossener Spitze“ der alle harmonischen Teiltöne resoniert liegt aber bei rund 147cm. Folglich kann die IR-Skala niemals eine vollständig richtige physische Position anzeigen, speziell im Bell-Skirt Bereich mit immer größerer Krümmung der Steigung.

Die Impulseresponse Skala zeigt prinzipiell immer eine akustisch wirksame Länge, auch wenn diese für Verluste kompensiert wird (-1% Korr. Speed). Sie zeigt aber nicht die physische Position, die oftmals viel praktischer wäre. Schallbecher heben die Phasengeschwindigkeit für tiefe Frequenzen stark. Bei einem Zylinder ohne Flare und Verluste sind Schallgeschwindigkeit und Phasengeschwindigkeit gleich. Mundstücke haben ebenfalls frequenzabhängig unterschiedliche akustisch wirksame Längen. In der Impulse Response Auswertung sind aber alle Frequenzen im Spielbereich vertreten!

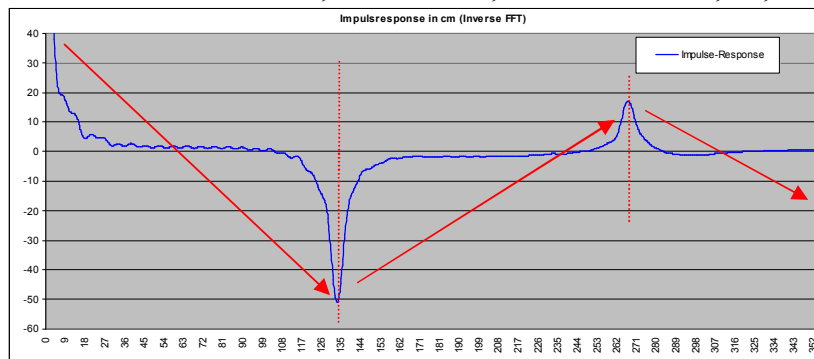


Mit Perturbationsversuchen soll die Abweichung akustisch wirksam zu physisch ermittelt werden!  
Das Ergebnis wäre eine zweite „physikalische IR-Skala“, die zumindest im zyl. Borebereich und am Beginn des Bell-Stems übereinstimmen soll.

## Impulse Response Experimente mit Rohr Dia 11,0 mm und Varianten

1% Speed-Korrektur durch Verluste sind hier nicht inkludiert.

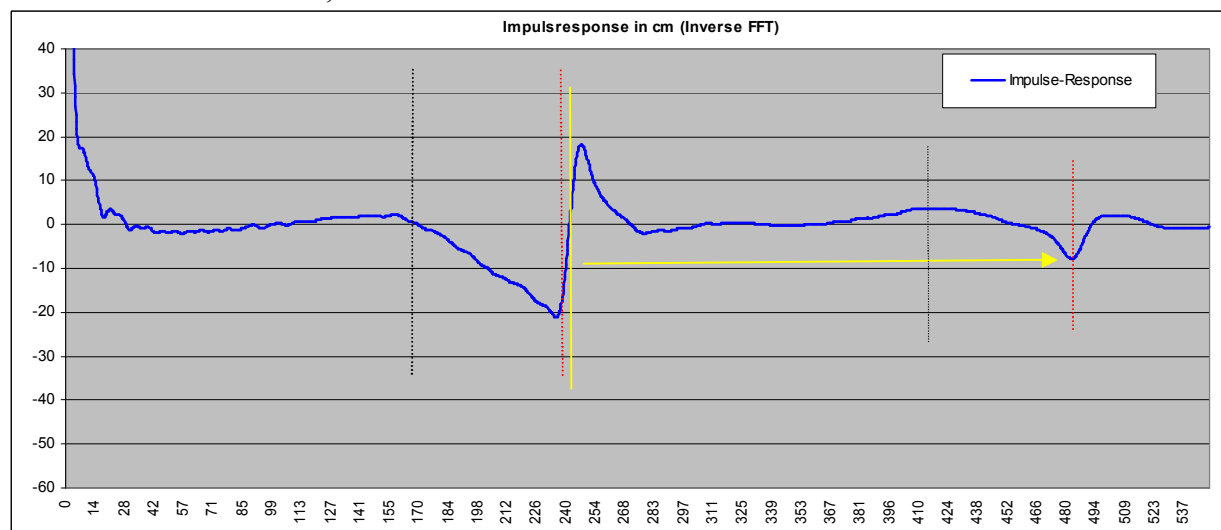
Serie C: nur Rohr 11mm, kein Becher, kein Mundstück, 24,8 Grad C, Endkorr. wäre ~0,3 \* 11mm



Der sprunghafte Übergang verursacht einen negativen Ausschlag 180° Phase ohne folg. pos. Echo, beim 2. Roundtrip wiederum 180 Grad Wende, usw. !

11mm Rohr, phys. L	= 132,0 cm	IR-Fakt.	Diff.	Diff m. End.Corr. L = 132,3cm
1. Roundtrip Min	= 133,6 cm	~50%	+1,6cm	<b>-1,3 cm (=LOSSES ~ 1%)</b>
2. Roundtrip Max	= 266,8 cm	<+20%	+2,8cm	(2 Samples Differenz)

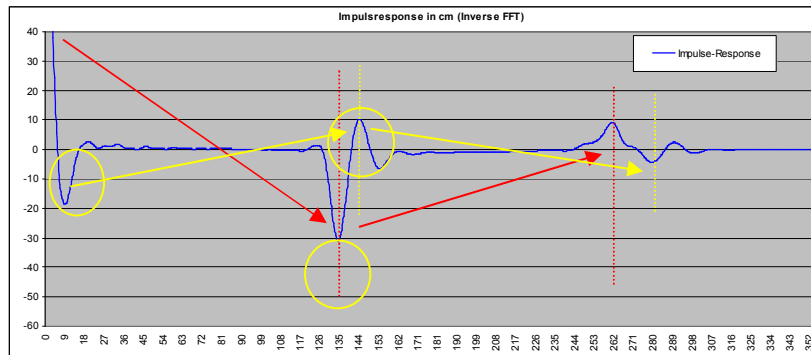
Serie D: kein Mundstück, nur Rohr Dia 11.0mm+Schallbecher



kein MPC/MR, Dia 11mm + 67cm Bell, phys. L Mittellinie = 236,8cm / Becher hier ab 170cm!  
*Ohne MPC wird der „konische“ Verlauf und der prinzipielle Reflex des Schallbechers sichtbar!*

1. Roundtrip Min.	= 235,5cm	<b>-1,3cm</b>	> -20%/<+20%
1. Roundtrip Max.	= 247,6cm		höhere Losses verbreitern den Positionsabstand Min to Max.
Abstand Min. zu Max.	= 12,1cm		Mittelwert Min/Max. = 241,55cm
Roundtrip 2	≈ 2 * MW aus Min/Max von Roundtrip1;		= 483cm Node wird Min.; <-10%

Serie B: Mundstück+Mundrohr, kein Valvecluster, +11mm Rohr, kein Schallbecher



MPC+MR, + 11mm Rohr, phys. L=131,3 cm (m.End.Corr=**131,6cm**) IR-Fakt. involved

1. zus. neg. Reflexion + **reversed Echos** involved, Diff. < -20%

*Rücklaufende Wellen behalten die Form des durch MPC gefilterten Anregungssignals (Wogram)*

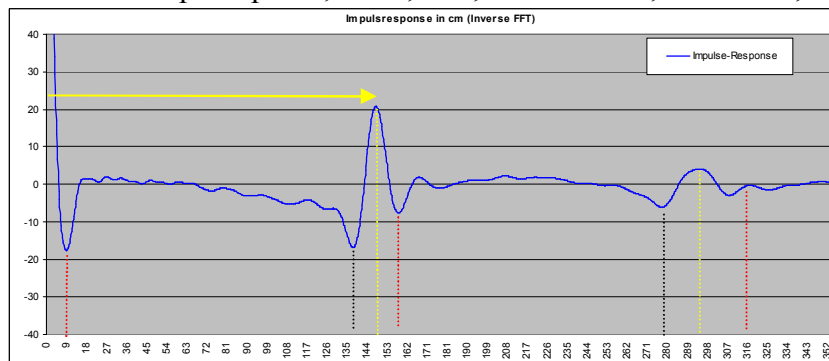
1. Roundtrip Min.: 134,8 cm **+3,2cm** -30% (~ 50% - 1. zus. neg.)

2. Roundtrip: not clear, Pos. Refl. more +10% (1/2 von 1. zus. neg.)

-> **-1,3 cm Losses von Tube**

**=Mundstück und Mundrohr ~ +1,9cm eff. akustisch länger als das zyl. Rohr  
nahe der MPC 1. Popp. Frequ. = höchste Magnituden!**

Serie E: kompl. Trp. V0; MPC, MR, Valvecluster, Rohr 11.0, Schallbecher ab 70cm



Die Einfluss der einzelnen Diagrammabschnitte:

**Rot:** Einfluss des Mundstücks auf die Kurve

**schwarz:** Schallbecher (Horn) + **Ende überlagert von MPC, der Reflex ist geringer**

**gelb:** MPC+ **überlagert von Bell,**

*Akustisch wirksame Länge, die ein idealer fiktiver Konus mit geschlossener Spitze hätte, der den selben (fiktiven) Grundton und dazu harmonische mit Frequenzverhältnissen 1:2:3:4:5 etc. ohne Verluste hätte, was nicht der Fall ist.*

***Wir haben keinen Konus, sondern MPC +MR+11mm Rohr + Schallbecher, die Kombination soll einem Konus mit Spitze akustisch nahe kommen wegen harmonischer Verhältnisse!***

2. und weitere Roundtrips sind für Längenmessungen nicht mehr auswertbar.

Physische Länge – Mittellinie: 137,0cm Diff. zu Phys. Impulse-Response ~

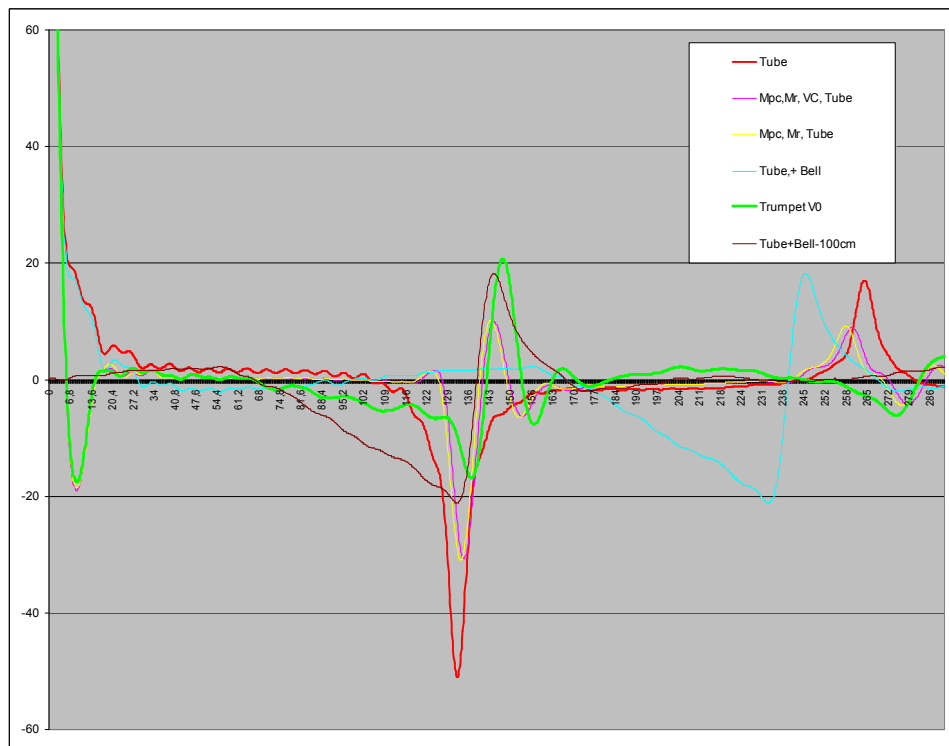
1. zus. Minima Mpc: (nicht die Länge des Mundstücks) <-20%

Minima Bell: 138,3cm **+1,3cm** <-20% depends on Bell Shape

Maxima Bell: 148,7cm ~ +20%

**-1,3cm Losses Tube ~0 cm zusätzlich**

## Grafische Überlagerung und Vergleich der verschiedenen kombinierten Objekte:



Die gemessenen Objekte haben unterschiedliche Längen, Magn. Start jeweils auf 100 normiert.

Zylinder Dia 11,0mm Abweichung(mit Endkorrektur)	akustisch länger ( <b>LOSSES</b> )	-1,3cm
Das Mundstück (+ Tube) vertieft in Summe zahlreiche Peaks,		
gibt eine längere akustische Länge in Summe mit Endkorr. bei Rohr		+3,2cm
<b>=Mundstück und Mundrohr</b>	<b>eff. akustisch länger als Rohr</b>	<b>~ +1,9cm</b>

Der Schallbecher erhöht tiefere Peaks, gibt eine kürzere akustische Länge (Bell Minima), aber transformiert gemeinsam mit dem Mundstück in einen Gesamtzustand, wo die Bell Maxima IR die **akustisch wirksame Länge angibt**. Der Bell Minima IR kann nicht mehr als Position für eine Längenfunktion gesehen werden, **allerdings als Quelle der Lage der XM-Pitchnodes ohne einen Pitch-Versatz!**

Messungen mit und ohne Rotary - Valvecluster differieren um  $\pm 0,4\text{cm}$ , (2 Samples), um welche die Windungen (Verluste) innerhalb des Valveclusters akustisch länger sind!

### Lokale Effekte durch Druckänderungen verursachen global entgegengesetzte Effekte!

Siehe geänderte Druckverteilung z.B. in Teil 3. Im Zeitbereich ersetzt die Bell-IR Minima und Maxima den globalen Beobachtungspunkt Lippenenebene im Frequenz/Impedanzbereich. Ein ev. lokal „verbrauchtes“ Reflexpotential fehlt dann bei den globalen Hauptreflexen!

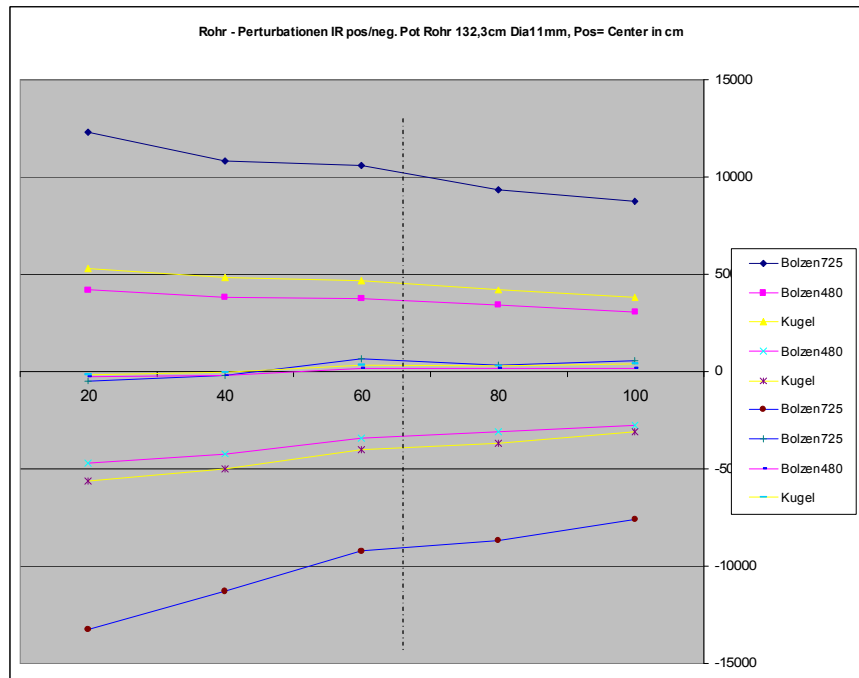
### Globale Auswirkungen über die Zeitachse, 1 Roundtrip

Es werden die Auswirkungen nach einem 1. Roundtrip betrachtet. Mundstück-Rohr, Schallbecher-Reflexion. Bell Minima und Maxima Reflexe zeigen globale Auswirkungen, können beobachtet und verglichen werden. Die Zeitdauer umgerechnet in Wegstrecken steht für Länge, Frequenz und Stimmung. Die globalen Reflexmagnituden Bell Minima und Bell Maxima nach einem 1. Roundtrip geben Auskunft über Verluste und sind das zeitliche Synonym für die Impedanz Hüllkurven im Frequenz Bereich.

### Lokale Auswirkungen im Zeitverlauf durch lokale Impedanz Änderungen

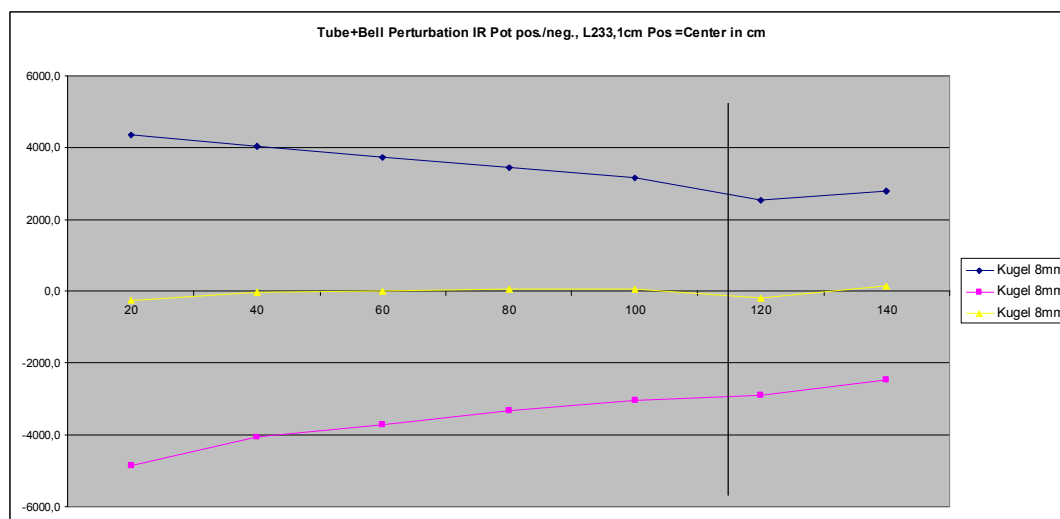
Positive und negative Reflexe vor und nach einer lokalen Änderung stehen für geänderte Peak Magnituden im Frequenzbereich. Ungerade gegen gerade Mode Nummern in Summe. An 3 prominenten Positionen kann man das erklären: XM-IN1+2 = kaum geänderte Peak Magnituden ergibt schwache lokale Reflexe, dazwischen bei XM-PN: **Maximale Peak Magnituden Änderungen ungerader gegen gerader Modes ergeben die stärksten lokale Reflektionen**, vor und nach der Perturbation, 1 x negativer, 1 x positiver Reflex. **Der globale Bell IR-Minima Reflex ist hier dann am schwächsten, der Bell Maxima Reflex stark reduziert.**

## Generelles lokales IR-Reflex Potential bei div. Kombinationen aus Rohr / MPC / Bell entlang der Instrumentenachse



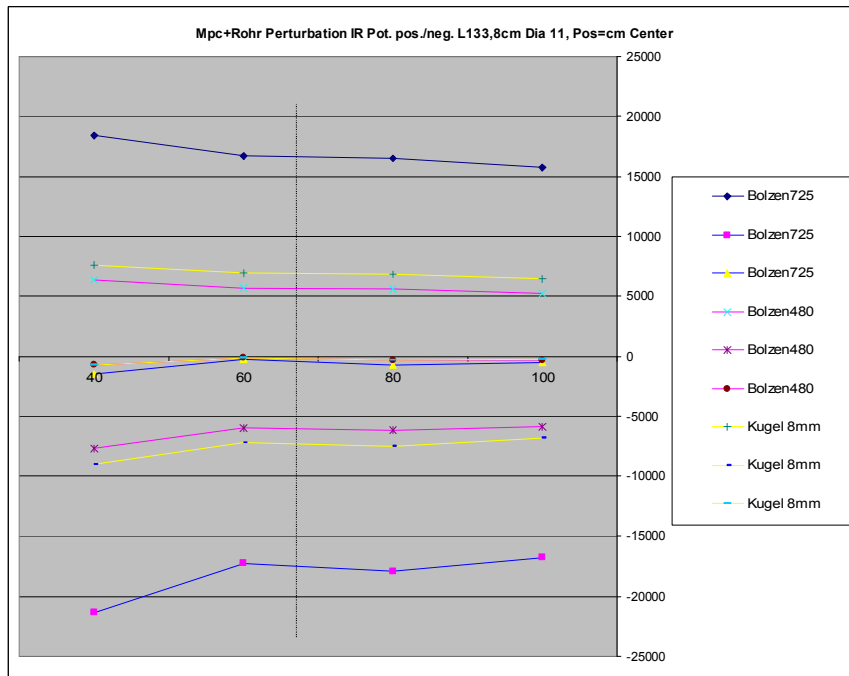
**Zyl. Rohr TL 132,3cm**, kein Mundstück, kein Schallbecher, pos. und folgender negativer Ausschlag, anhand verschiedener Proben (Constrictions). Beträge an Positionen vom geschlossenen Ende: bei 20,48,60,80 und 100cm

Das IR Reflex Potential fällt, umso weiter die Pert. vom geschlossenen Rohrbeginn entfernt ist auf ca. die Hälfte am offenen Ende. Hinweis: Auch globale Magnitudenänderungen am MPC werden schwächer, je weiter sie vom Messkopf entfernt sind (Strichliert = Mitte des Rohres  $\approx$  XM-PN)



**Rohr+Schallbecher:** (kein Mundstück), zylindrischer Teil, TL 233,1cm markiert: Mitte der Kombination  $\sim$  XM, der Schallbecher beginnt hier erst bei  $\sim$ 160cm

Das Reflex Potential wird durch den Schallbecher etwas reduziert. (Mehr Abstrahlung), weniger Reflexion; bei Pos/Neg. Potential sind kaum Unterschiede

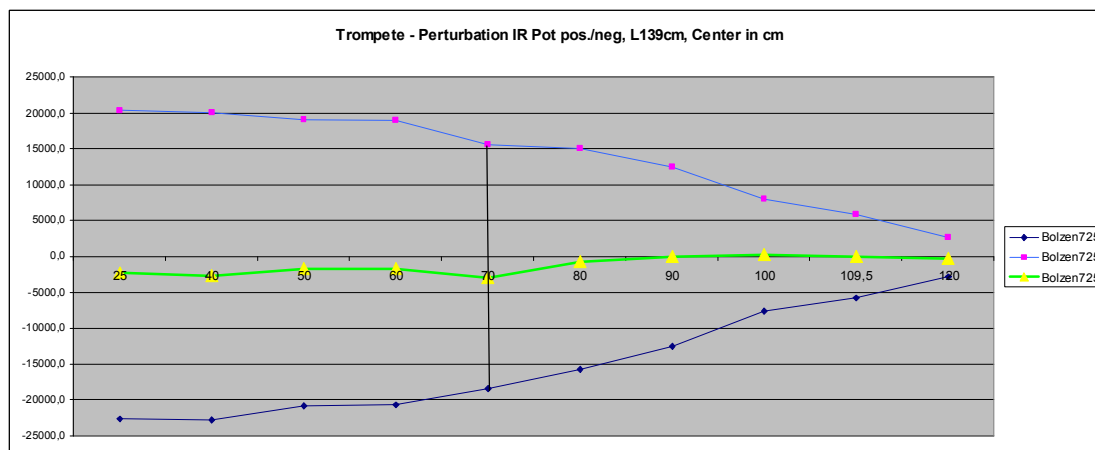


**Mundstück, Mundrohr + Rohr** in Bore Size 11mm, kein Schallbecher:

**Wesentlich** mehr Reflex Potential;

(Input Imp. Magnituden werden erst durch einen Mundstück-Kessel wesentlich höher)

Pos+Neg. Effekt aber ausgeglichener, Negativ Reflex ist leicht stärker, ausgenommen bei ~ XM-IN1.  
(strichliert ~ XM)



**Komplette Bb-Trompete V0**, TL 139cm:

IR Pot. vergleichbar mit MPC+MR+Rohr aber etwas stärker,

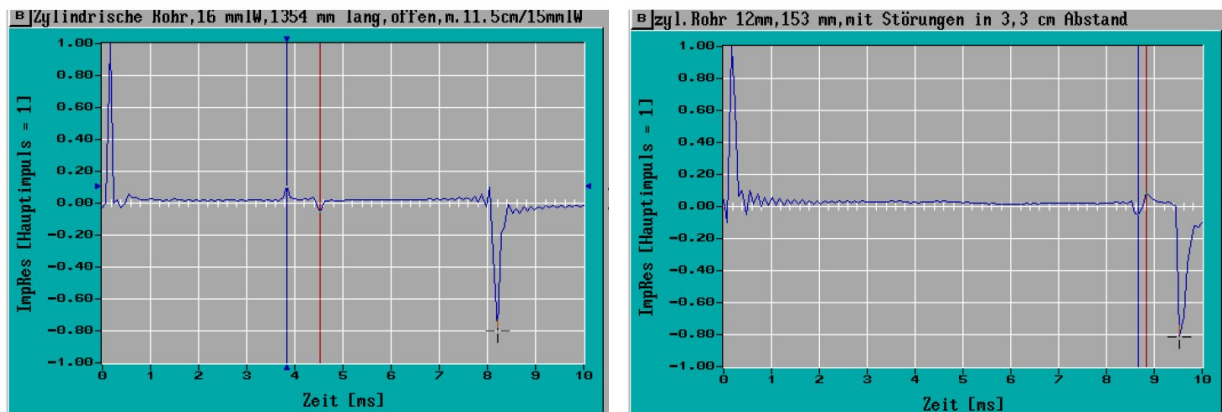
Negativ Reflex auf eine Constriction ist am Beginn ca. 10% stärker.

Ab 70 cm (~XM) hier zus. Abschwächung wegen zunehmendem Querschnitt des Schallbechers.  
Kurz nach 70 cm liegt XM-IN2 bei einer Bb-Trp., d.h. gegenüber XM-IN1 fallen die Reflexe etwas weniger stark aus anhand Entfernung + Durchmesser.

## Interpretation von Reflexen und Störungen – Positionen:

In der Vergangenheit war ich davon ausgegangen, daß ein IR – **Reflexmaximum** exakt die Position der Störung anzeigen sollte, was aber nie übereingestimmt hat.

In diesem Projekt hatte ich ursprünglich die Startposition der Perturbation gewählt, wie das in vielen Beschreibungen und anderen Quellen dargestellt wird und dadurch Ergebnisse an falschen Positionen verglichen und bewertet. Der Zusammenhang mit relativ großen Abständen von pos. zu neg. Reflex war mir unklar. Dieser entstehende Abstand beschreibt eine „Breite“ mit einem Schnittpunkt dazwischen (Mittelwert, aber nicht unbedingt auf der Null-Linie) und hat kaum mit der Perturbationslänge selbst zu tun!



© Quelle: Dr. Klaus Wogram, **beidseits offenes Rohr**, Dia 16mm, (kein Mundstück, kein Schallbecher)  
 Constriction Start bei 3,8 ms bis Stop bei 4,6ms  
 Perturbationslänge = 11,5 cm  
 Enlargement Start bei 8,7ms,  
 Perturbationslänge = 3,3 cm

Links: Hier sind 2 Störechos durch die Durchmessersprünge deutlich voneinander getrennt zu erkennen. Rücken die beiden Störungen nun aber immer stärker aufeinander zu, dann verschwimmen die Unterschiede, und man kann nicht sicher sein, wodurch die Störungen hervorgerufen werden.

Rechts: Zwei Störungen die im Abstand von nur 3,3 cm voneinander liegen. Hier handelt es sich um eine Erweiterung mit nachfolgender Einengung. Der Sachverhalt=**Position** kann nur noch errahnt werden. Dass die einzelnen Störimpulse jeweils eine „Breite“ aufweisen, wird durch die Frequenzbegrenzung des Anregungsspektrums verursacht.  
**(Und die Filterfunktion eines hier nicht vorhandenen. Mundstück+Mundrohres!)**

Das bedeutet bei einer sehr kurzen Perturbation z.B. Kugel (hier Constriction), daß das max. positive Echo nicht den physikalischen Beginn der Perturbation anzeigt, sondern durch die Breite eine viel frühere Position, das max. negative Echo nicht das Ende der Perturbation sondern eine viel spätere Stelle anzeigt!

Ein Durchmessersprung = „Borejump“ – auf den nicht unmittelbar ein Rücksprung folgt, hat ebenfalls eine „Breite“, das Reflex-Maxima zeigt hier aber die akustische Position des Sprunges. Negativ (180 Grad) bei plötzlicher bzw. sehr rascher/sprunghafter Erweiterung, positiv bei plötzlicher bzw. sprunghafter Verengung.

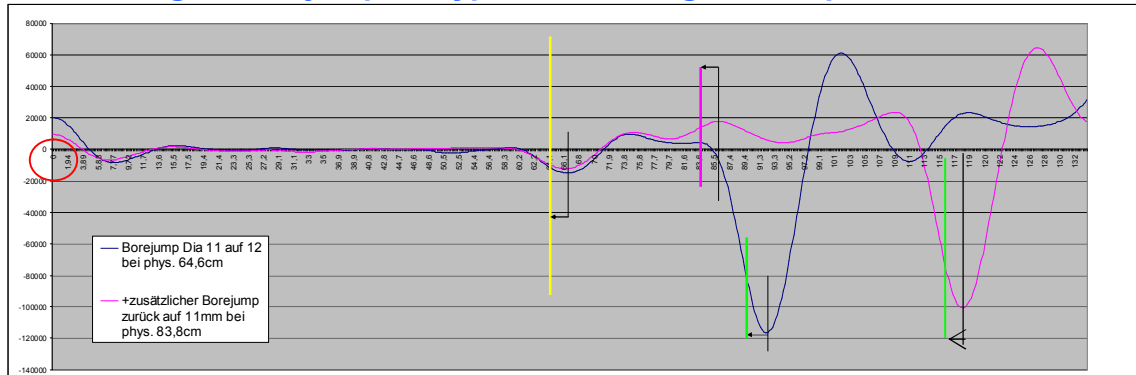
Werden Rohrverluste (~1% Speed Korrektur bei Mainbore Size ~11mm) vorab mit berücksichtigt und die Center Position der Perturbation mit dem Mittelpunkt beider Reflexe verglichen, ergeben diese Abweichungen zum Lineal einen „akustisch wirksamen Grundversatz“ aufgrund eines vorhandenen Mundstückes/Mundrohres, zuzüglich einer Abweichung durch die Perturbation und deren Position!

Der akustisch wirksame Grundversatz entspricht der akustischen Mehrlänge des Mundstück/Mundrohres, gegenüber einem Zylinder selber Länge, diese beträgt beim 8M9 Mundstück + ART-Mundrohr ~19mm bzw. 10 Samples. (Siehe vorhergehende Versuche). Beginnt die Skala also bei **-19mm** anstelle 0mm am Mundstückbeginn, so ist bei Perturbationen die Mitte beider Reflexe die physische Center-Position. Sind die Perturbationen sehr stark (z. B. Kugel Dia 8mm oder Testbolzen mit Dia 7,25mm), dann müssen 4-6mm (2-3 Samples) für dadurch zusätzlich entstehende Verluste abgezogen werden, um die tatsächliche physische Center-Position ab dem Mundstückstart zu erhalten.

**Bei Skala Start 0mm -19mm für das Mundstück - extra Länge Verluste = phys. Position Perturbation Center.**



## Auswirkungen Borejumps & typischer Tuningslide Gaps:



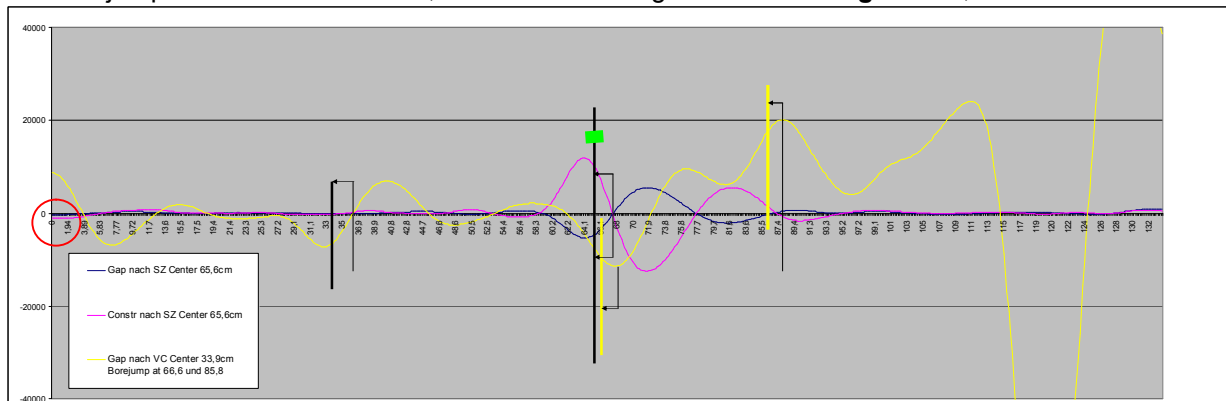
Mpc + Mundrohr + zyl. Rohr in Boresize 11,0mm. Gaps sind Dia 12mm.

**Die Skala beginnt hier bei 0cm = akustisch wirksame Länge**

Markierung schwarz: Borejumps in IR angezeigt als max. Ausschlag mit etwas kleinerem Echo, abzüglich MPC akustische extra Länge = -2cm gibt jeweils die physische Position am Lineal.

Markierung gelb + rosa: Phys. Position Borejump am metrischen Lineal. Grün: Ende zyl. Rohr.

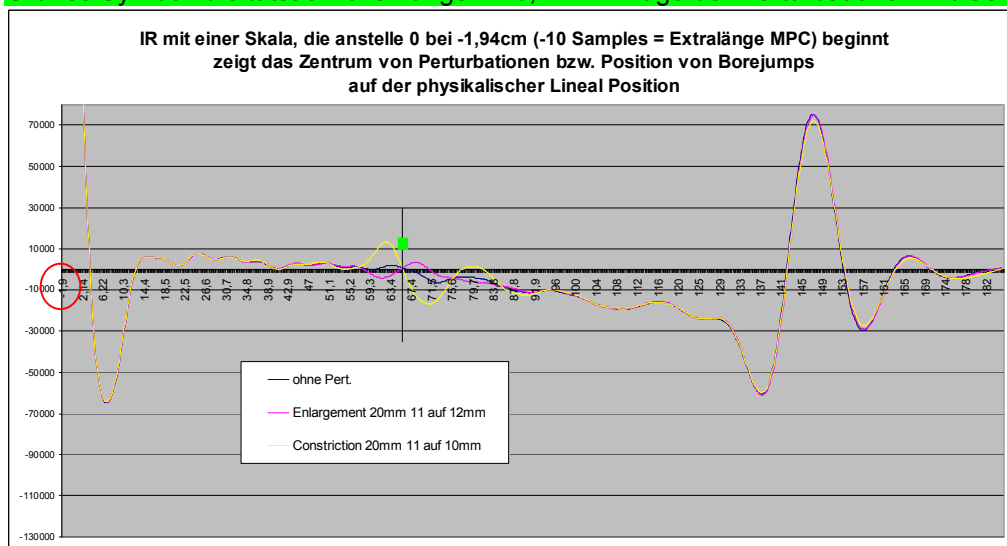
Ein Borejump ist daran zu erkennen, daß der Ausschlag mit MPC nie enger als 7,5 cm ist!



**Skala Start 0 = akustisch wirksame Länge: Rosa: Constr., Blau=Enlargement** bei 65,6cm = akustische Mitte der Perturbation, - 2cm akustische Extra Länge Mpc = phys. Position des Perturbationszentrums.

Gelb: Enlargement bei 33,9cm, dann 2 x Borejump: Bei 66,6mm Jump von Dia 11mm auf 12mm, bei 85,8cm ein Rücksprung auf 11mm, + Ende Zyl. bei 118cm

**Grünes Symbol: die tatsächliche Länge = 20,4mm + Lage der Perturbationen mit Center 65,6cm**



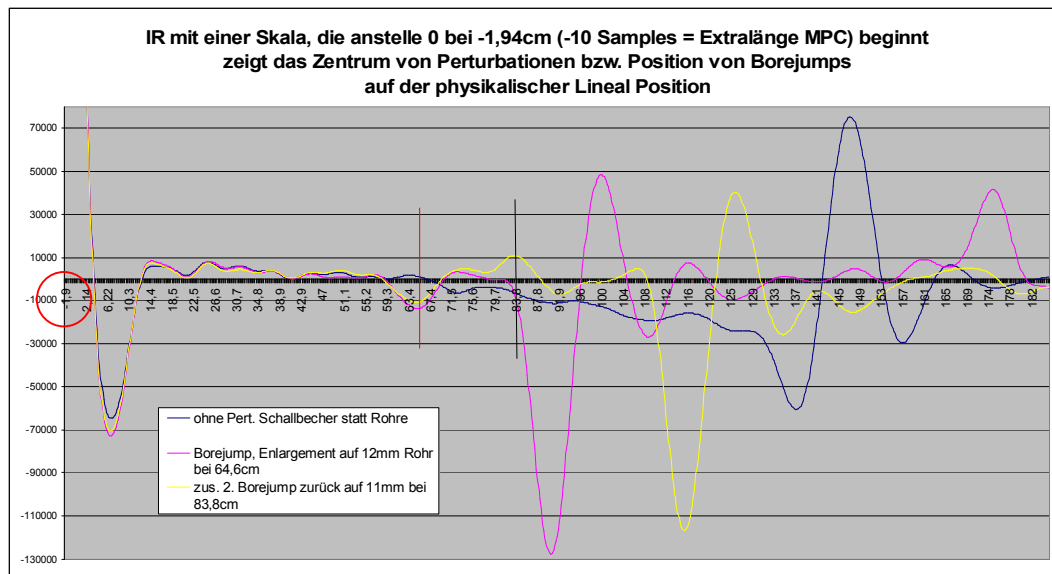
Komplette Trompete in Bb, V0

**Skala Start -1,9cm:** Gelb = Constriction, Rosa = Enlargement bei phys. Center Pos. 65,6cm

Das Zentrum der Perturbationen befindet sich so nun am **Schnittpunkt bei physisch 65,6cm.**

**Grün: die tatsächliche Länge + Position der Perturbationen.**

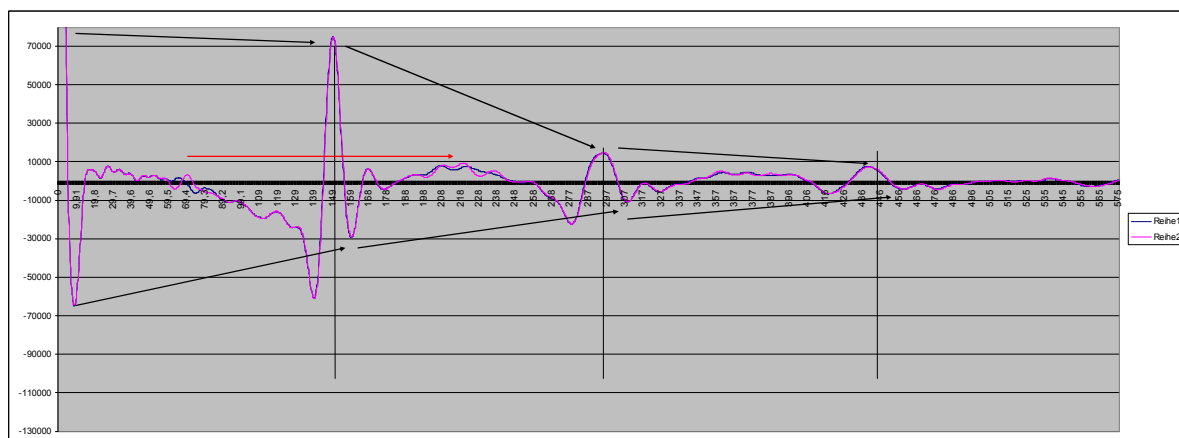
**Beachten: Das wesentlich stärkere lokale IR-Potential einer Verengung gegenüber Erweiterung!**



Borejumps befinden sich dann am phys. Scheitel des IR Max., neg.=Erweiterung, pos.=Einengung.

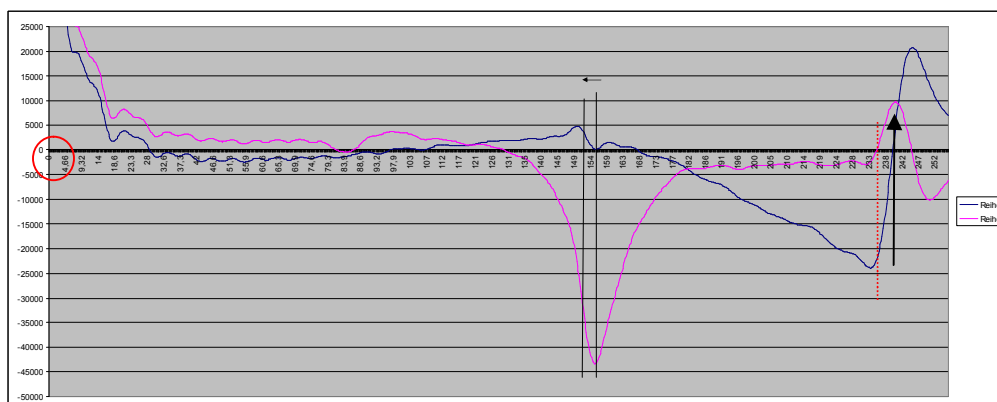
MPC+Mundrohr+Zylinder in Boresize 11,00 mit sprunghaften Enden (rosa, gelb ist länger)

Ohne Perturbationen: Die blaue IR-Kurve fällt ab 71cm wegen konischem Schallbecher anstelle Zylinder.



Roundtrips, blau ohne Pert., rosa Enlargement nach Stimzug. Im Gegensatz zu einem rein zylindrischen Rohr ist keine Seitendrehung pro Roundtrip, sondern eine starke Dämpfung.

## IR-Positionsbestimmung von einzelnen Löchern

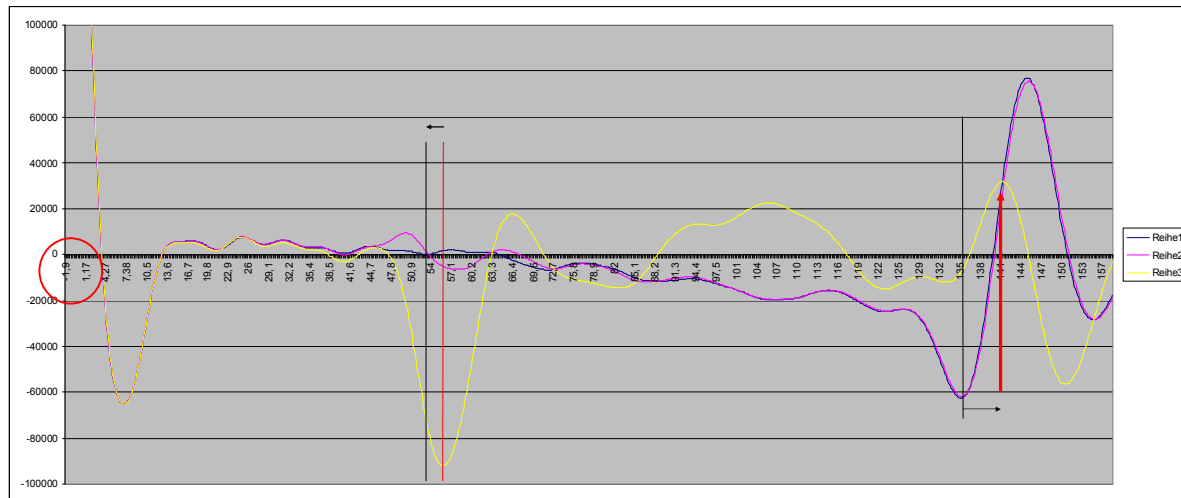


**Skala Start 0cm: akustisch wirksame Länge:** Tube + Bell (kein Mundstück, kein Mundrohr)

Blau: Kugel bei physischen Center 152cm, Rosa: Loch (Wasserklappe) bei 152cm.

Die angezeigte Stelle liegt hier +3,3cm von physischer Pos. weiter Richtung Schallbecher.

Anstelle der Bell Minima bei ~ 237cm erscheint (hier nach ca. 3,3 cm) eine positive Reflektion.



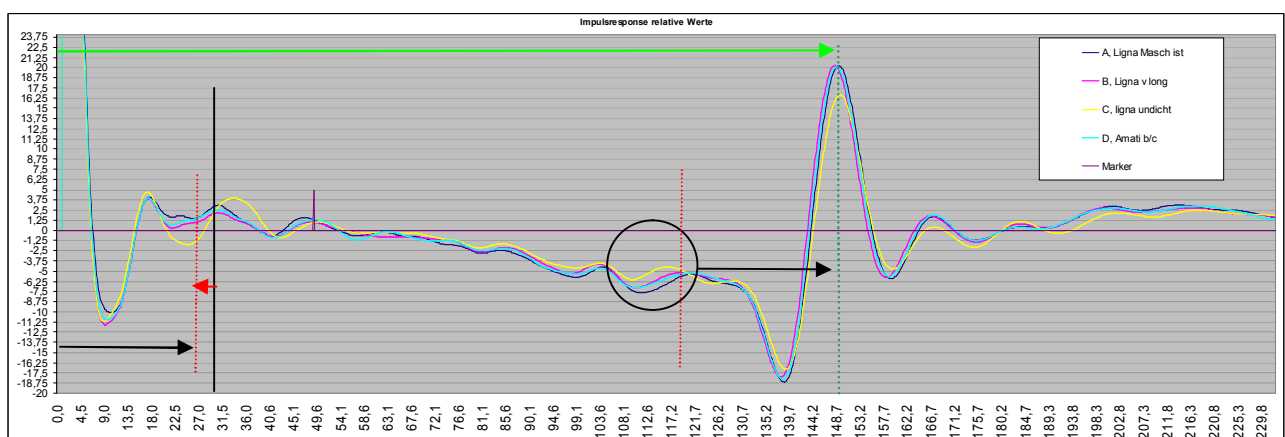
**Skala: - Start bei -2cm MPC extra Länge**, Messung Serie E: Trompete komplett V0 Länge  
 Rosa: Kugel bei physischen Center 53,5cm **Gelb: Loch (Wasserklappe) bei 53,5cm.**  
 Der angezeigte Stelle liegt hier -> +2 cm von physischer Pos. weiter Richtung Schallbecher.  
 Anstelle der Bell Minima erscheint dafür (hier nach ca. 6 cm) eine positive Reflektion.

Die IR Reflex Positionen von Löchern hängen stark von der Position ab und welche Frequenzen damit eingeebnet werden und wie die Längenverhältnisse vor und nach dem Loch zueinander sind. Schwingungen, die in der Nähe des Loches einen Druckknoten haben, werden weniger verändert, andere extrem modifiziert. Siehe dazu Teil 3 Impedanzänderungen durch Löcher.

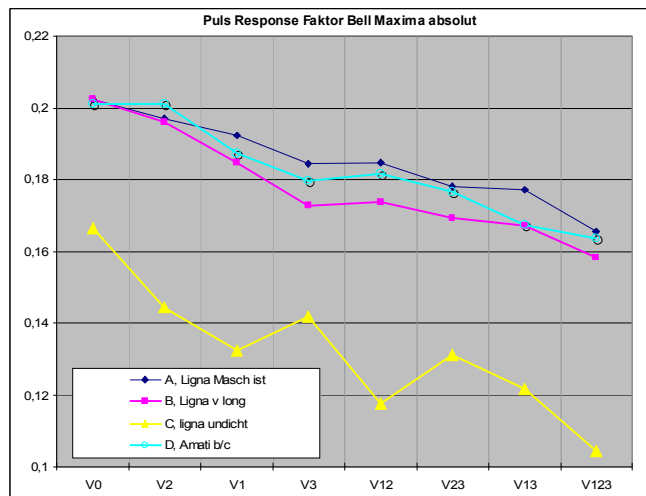
Für den restlichen Teil nach dem Loch ist es quasi ein 2. Zylinder/Konus oder Rohr und Becherkombination die akustisch 2 offene Enden besitzt mit eigenen Rahmenbedingungen, andererseits tunneln aber oben genannte Frequenzen der Teiltöne teilweise durch. Daher der positive – aber immer abgeschwächte Ausschlag am Becher.

Der gezeigte Effekt von Löchern ist aus der Erfahrung und durch etliche Versuche immer ähnlich. Es wird in jedem Fall akustisch später angezeigt, meistens ist der negative Maxima Ausschlag durch ein Loch (plötzliche Reflektion 180°) wesentlich stärker als der sonst positive Becher Reflex!

### Auswirkungen von Undichtheiten, hier als Parade-Praxisbeispiel Ventile:

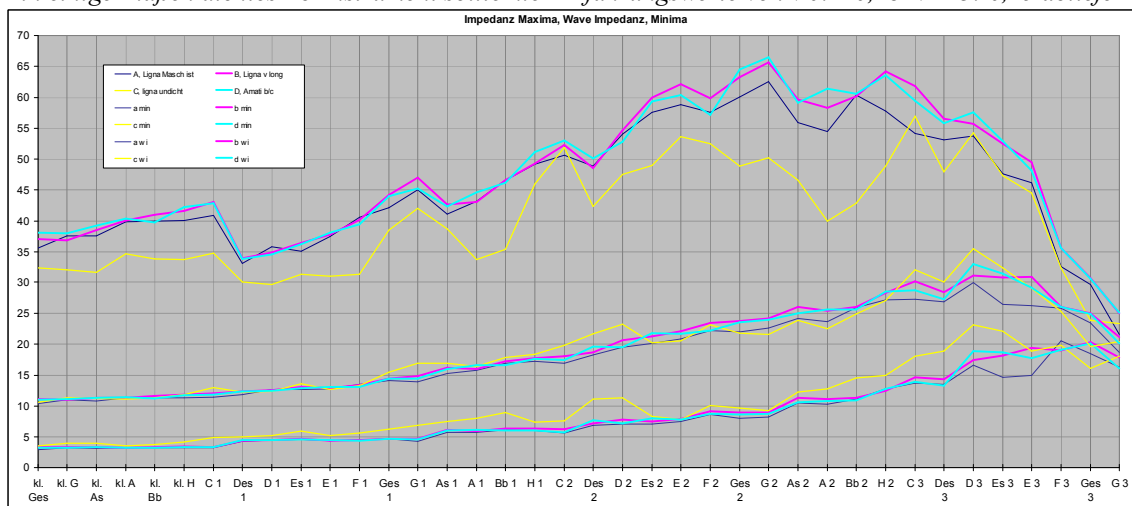


Aus Vergleich von 2015: Ein Rotary Maschinenstock – **hier C=gelb ist undicht** und wurde dann aufgearbeitet. In diesem Fall waren alle 3 Ventile betroffen (starke Abnutzung), beispielhaft V0 IR-Vergleich mit A = „instandgesetzt“. Deutlich sichtbar so undicht, dass es sogar scheinbar ein „Enlargement“ um 27 cm gibt, aber vor allem – das reduzierte Impulse Echo vom Becher.  
**Zum Großteil werden Störungen immer vom stark ausschlagenden MPC/Mundrohr verdeckt!** Bei ~117cm war keinerlei Änderung, es ist ein <--> Echo der undichten Maschine beim Zurückwandern der Impulse zu den Lippen! **Grün = Roundtrip-Time = 8,5 ms!**

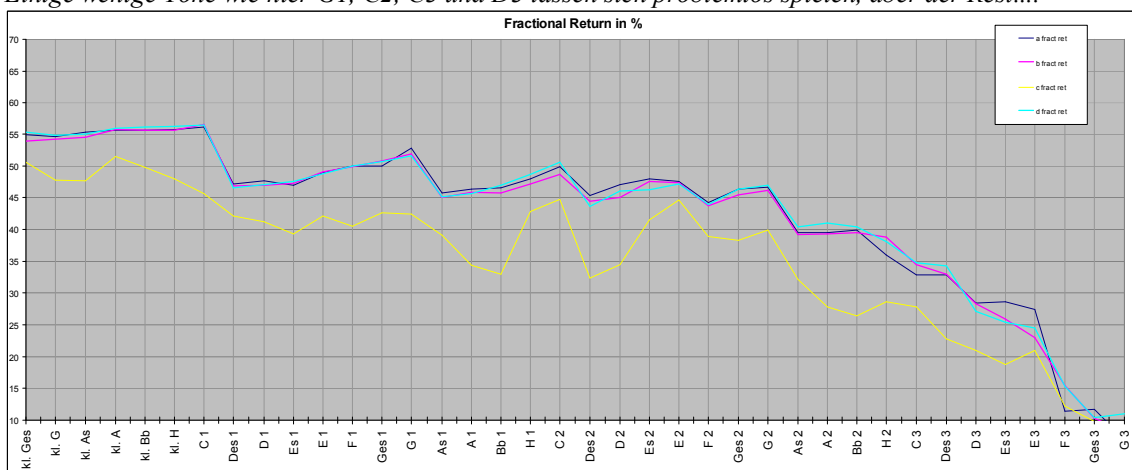


Alle Ventilkombinationen im Vergleich. V3 ist hier etwas weniger betroffen als V2 und V1.

Ein einigermaßen dichtes Bb-Instrument sollte hier Erfahrungswerte von V0: >0,18- V123: 0,15 abliefern!



Einige wenige Töne wie hier G1, C2, C3 und D3 lassen sich problemlos spielen, aber der Rest....



Fractional Return: Diese eingesetzte Menge an Energie in % kommt zu den Lippen zurück.

Was nicht zurückkommt würde als Schall abgestrahlt – **oder sind wie hier extreme Verluste**, und die Unterschiede merkt man als Bläser schnell bei der Beurteilung von Instrumenten!

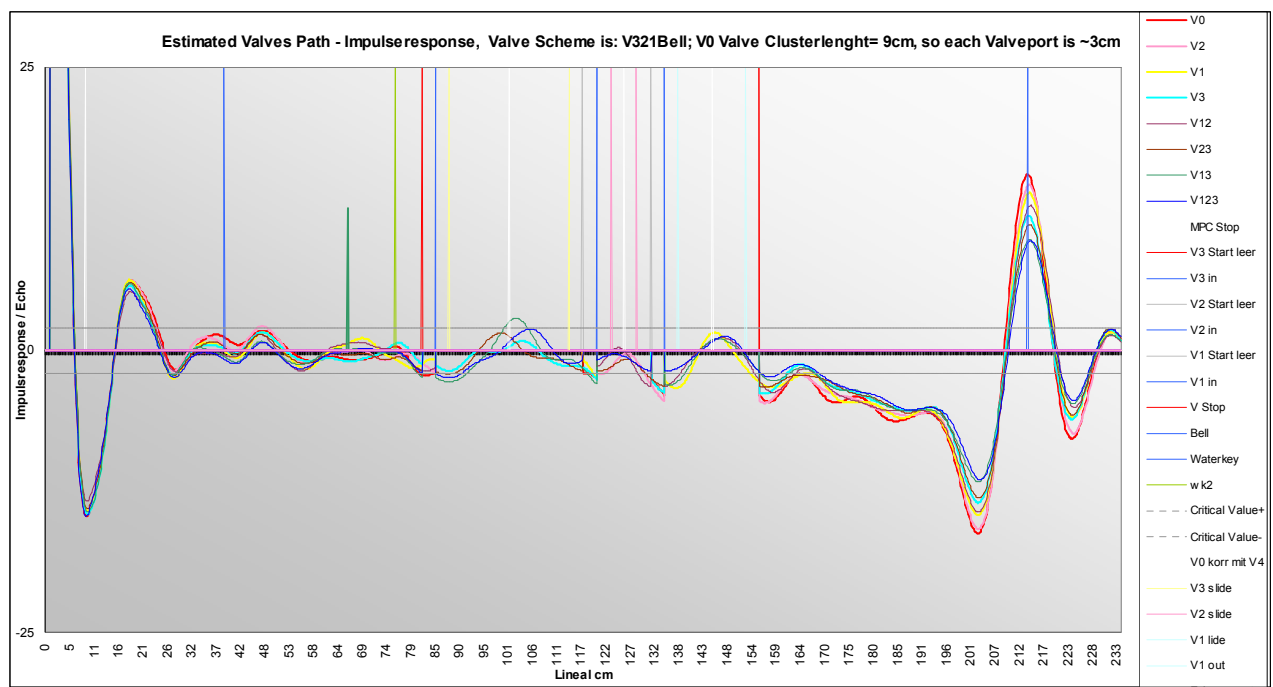
### Die offene Frage - wie undicht darf ein Instrument sein?

Eine „akustisch relevante“ Dichtheit ist notwendig, zu hohe Undichtheiten zeigen sich in jedem Fall im Zeitbereich als stark reduzierte Reflexantworten, im Frequenzbereich als ein stark verminderter „fractional return“ Wert, soweit man Vergleichswerte heranziehen kann! Sind die Ergebnisse so unregelmäßig wie „gelb“, kann man sich Vergleiche sparen.

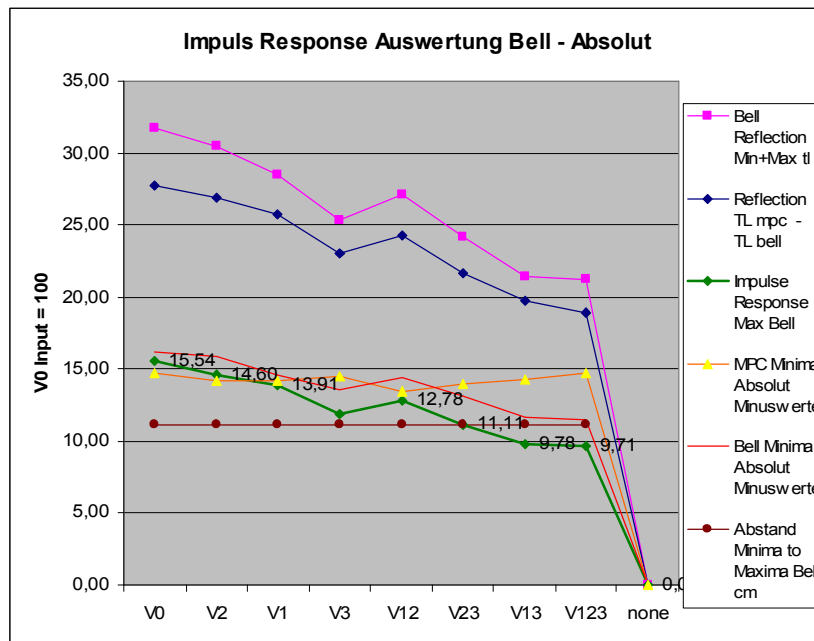
## Grobe Mensur / Design / Produktionsfehler - Beispiele:



Kornett Alexander Perinet, Modell „Arban“. Hier ein Bild in noch unrestauriertem Zustand, (man beachte zusätzlich auch die 2 Wasserklassen-Türme mit einer extremen Höhe.)

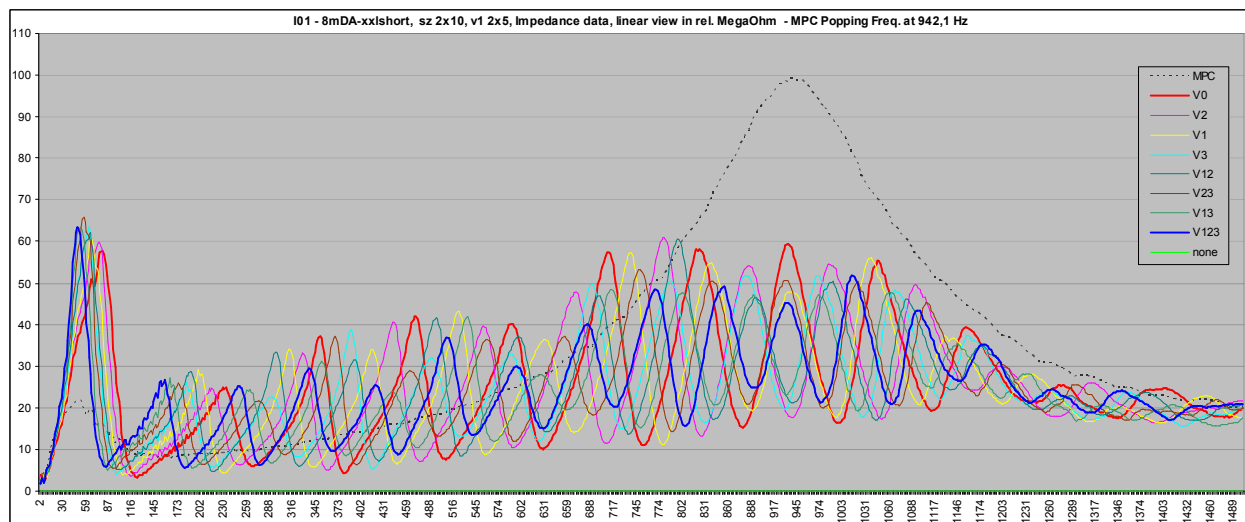


Sorgfältig restauriert: Kornett Alexander Perinet, Neusilber, Baujahr um 1920. Alle Ventile sind aber leider komplett undicht – eine Reparatur nicht möglich! – Dies scheint hier auf den ersten Blick gar nicht so dramatisch und ist die Schwierigkeit, das Bild zu bewerten. „Konische“ Rohre verursachen generell abenteuerliche IR-Grafiken. Rein zufällig? erkennt man hier aber nach sehr langer Betrachtung bei jedem Ventileingang einen negativen Ausschlag...



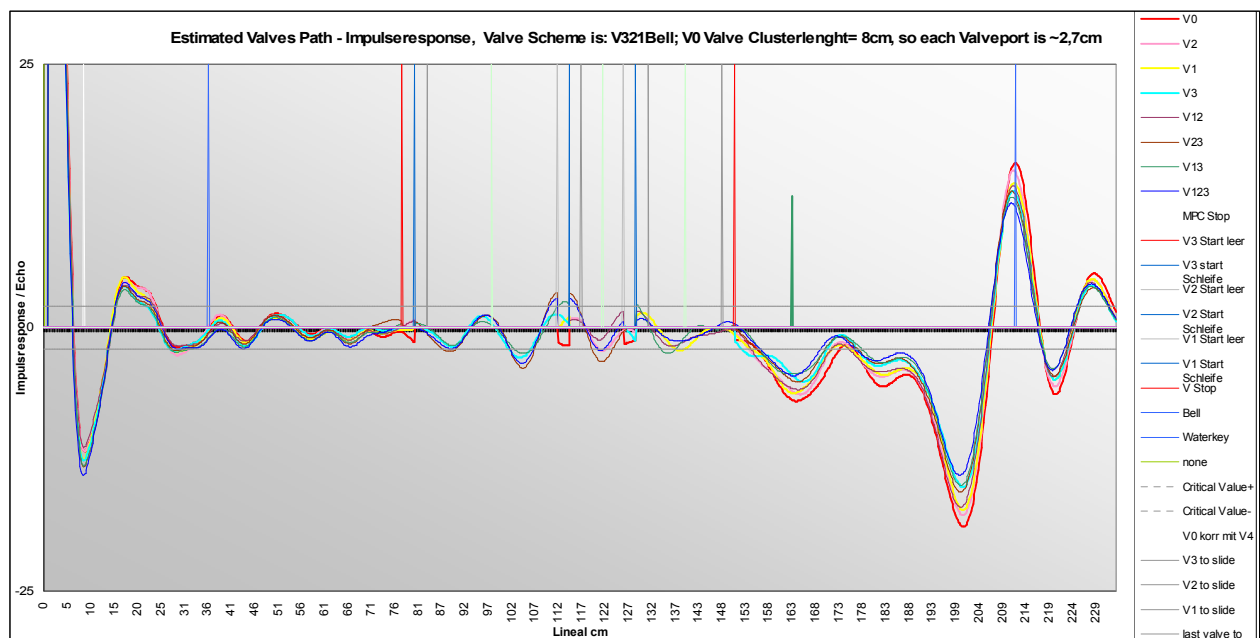
*Erfahrungswerte: Die grüne Kurve sollte bei einem gut spielbaren Bb-Instrument mit Werten um mindestens ~18 beginnen und mit der längsten Ventilkombination V123 bei ca. 15 enden.*

*D. h. hier sind es ca 40% weniger.*



*Impedanzkurve Alexander Kornett Bj ca. 1920 mit total undichter Maschine. Hier ist nicht ein Leck, sondern die ganze Maschine ist leider extrem undicht (das war sie scheinbar schon immer etwas). Die Toleranzen sind dermaßen groß, daß ein Verschleiß alleine ausgeschlossen werden kann!*



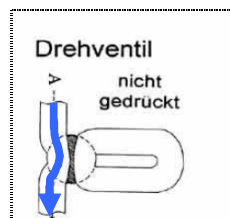


*Plastik Kornett Neuware – teures Plastikspielzeug! Neben zahlreichen anderen Design- und Produktionsproblemen ist der Schallbecher – auch wegen einer tief klaffenden Erweiterung - unbrauchbar. Die Stelle ist dort, wo die Plastikteile chinesisch zusammengeklebt worden sind. Reflexe um Lineal ~117cm (Ventildurchgang V2 trough ) lassen keine eindeutigen Schlüsse zu.*

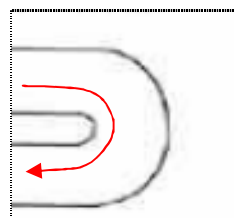
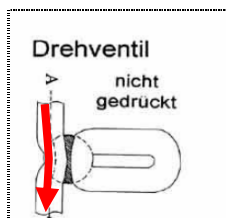
Das waren jetzt einige zufällige Beispiele, weil diese hier zum Thema passend sind. Andere teils noch schlimmere Ergebnisse mit zylindrischen oder zu großen Mundrohren, falschen Ventillängen, völlig falscher Mensur, etc. möchte ich jetzt dem Interessierten und mir vorerst nervenschonend ersparen. Ich denke aber, man bekommt beim Anblick der IR-Auswertungen ein Gespür für eine Fehlersuche und das Verlangen, offensichtlich schlecht spielbare Instrumente verbessern zu wollen! Manchmal ist das nicht möglich und man erhält hier Hinweise darauf, warum das so ist!

## Welche effektive Länge haben Valvecluster und Bögen tatsächlich?

Ein etwas flexibler Plastik-Stab durch die Maschine zeigt einen **kürzest möglichen physikalischen Weg**, der ca. 2mm länger als der Rotary Valvecluster mit 3 Ventilen in Reihe bei V0 an Abmessungen hergibt.



bisher vermutet festgestellt: Losses ~1mm pro Ventil.



Bögen effektive Länge – etwas übertrieben:

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Windungen im Drehventilstock in Summe kaum messbare Auswirkungen auf eine Längenänderung haben, die Schwingungen suchen sich in Summe scheinbar den kürzest möglichen physikalisch / akustischen Pfad und Windungen herum werden eher als einseitige Constrictions oder Enlargements gesehen. Ventildurchgänge verursachen so zusätzliche Störungen in der Geometrie = **Verluste**, diese haben in Summe immer auch eine etwas frequenzvertiefende Wirkung.  
-> Bei einem 3-ventiligen Rotary Valve Cluster +0,4mm (2 Samples) als Extralänge mit berücksichtigen.

### Bei Stimmzug- und Becherbögen verhält es sich teilweise umgekehrt:

Eine Längenbestimmung anhand der Mittellinie der Bögen kann dadurch große Differenzen in Summe von ca. 0,4 cm = 2 Samples hervorrufen; Hauptstimmzug- und Becherbogen sind jeweils **akustisch** um ca. 2mm **kürzer** als an deren Mittellinie gemessen -> als **Minderlänge berücksichtigen!**

**Sehr enge (Ventilzugbögen) wirken akustisch etwas kürzer, aber etwas weiter.** Ich habe bisher aber sowieso nur sehr selten enge Bögen vorgefunden, in denen eine Stahlkugel mit Boresize Durchmesser durchgepasst hätte. Meist überschüssiges Lötzinn, Ablagerungen und eine generell unrunde Form. etc. dies gilt auch für (sonstige) Stimmzüge.

## Physische Positionskontrolle – praxistaugliche Möglichkeiten mit Proben ermitteln:

Eine möglichst genaue Position der Perturbationszentren ist maßgeblich für alle weiteren Auswertungen notwendig. Die genannten Probleme wie Rohrverluste, akustische Extralänge Mundstück, Valvecluster extra Länge, Bogen Minderlänge und Extra-Verluste durch die Perturbation selbst, sowie Temperaturbestimmung und Positionierungsfehler erschweren dies allerdings und es muß von einem realistischen Restfehler in der Größenordnung mindestens +/- 0,5 cm ausgegangen werden, ganz egal wie sorgfältig man vorgeht!

### Welche Möglichkeiten gibt es:

Magnituden Nulldurchgänge, IR  
**mit Test Hülsen in Wandstärke**  
oder Test-Erweiterungen

Magnituden Nulldurchgänge, IR  
Bolzen mit zentriertem Magnet geführt

Stahlkugel mit Magnet geführt, z.B. Dia 8mm

Druckmessungen mit  
Sondenmikrophon

Kontaktmikrophon, Rohraussenwand

Löcher auf Ersatzrohr+Mikro außen

Echte Impulseresponse Messungen mit sehr langen vorgeschalteten Rohren, mehrere Mikrophone....

### Vor / Nachteil dieser Probe:

zeitaufwändig, Positionierungs- u., Temp. Fehler  
nicht auf konische Teile anwendbar (Flügelhorn)  
durch geringes Potential viele Ausreisser. (Messtoleranz)

erscheint effektiv und mit geringem  
Zeitaufwand erreichbar, aber Positionierungsfehler

Genau zu positionieren, aber kurze XXL Verengung!

sehr zeitaufwändig, etwas schwierig zu positionieren,  
nur nach dem Maschinenstock möglich  
**Kabel + Mikrophon verfälschen Ergebnisse stark.**  
(wirken in Summe vertiefend.)

sehr ungenau anhand parasitärer Schwingungen  
geringer Signalstärke und sehr hohem Rauschpegel.

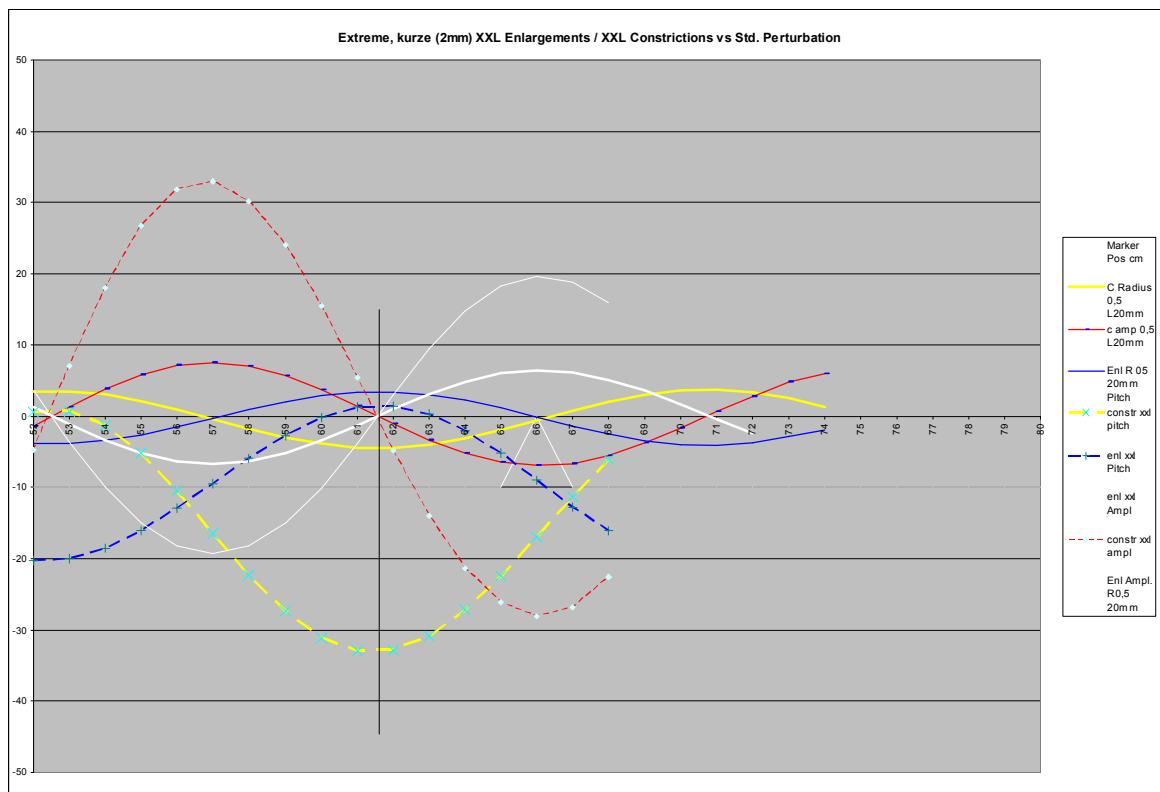
in Serie nur experimentell möglich, sehr zeitaufwändig



Testhülse Dia 11mm R 0,5mm, L 24mm, Bolzen Dia 7,25mm, L22mm, rechts: Sondenmikrophon

Die Kugel ist das beste Beispiel; diese hat nur einen maximalen Punkt als „Zentrum“, der Anstieg und Abfall dahin werden „eingeblenet“. Die Kugel lässt sich auch am allerbesten mittels Magnet exakt positionieren und liefert die geringsten Positionierungsfehler gegenüber Bolzen und Hülsen.

Darüber hinaus ist es auch die einzige Möglichkeit in Bögen und konischen Teilen möglichst positionsfehlerfrei zu messen. Die 8mm Kugel hat geringfügig mehr IR-Reflex-Potential als die Standardhülse oder ein Bolzen mit Dia 4,8mm, vertieft allerdings stark. (Pitch + in der Praxis auch Magnituden Verluste)

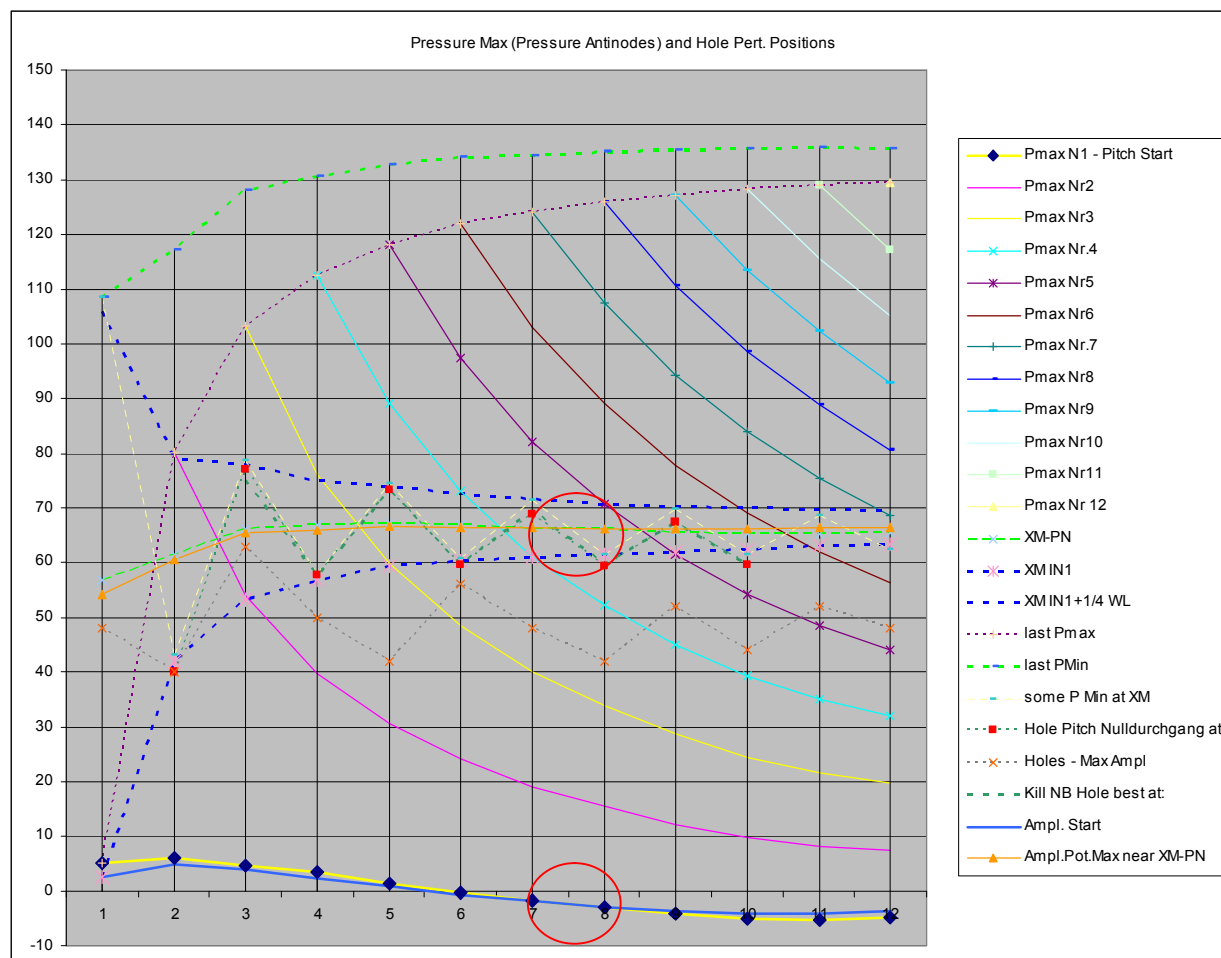


**NT8:** Die ART-Simulation ergibt, dass **extreme, kurze** Einengungen zwar das Pitchpotential stark unter die Grundlinie verschieben, die Position der Magnituden Nodes und Maxima um ~NT7/8 allerdings kaum beeinflusst würde.

**Der Pitch Nullversatz ergibt sich auch aus zusätzlichen Verlusten durch die Perturbation!**  
**Bei starken Perturbationen (Radius) wird das Instrument „akustisch“ länger, und die IR-Reflex Start Positionen verschieben sich Richtung Mundstück!**

Perturbationen mit „Proben“ können im Frequenz-, als auch im Zeitbereich ausgewertet werden.

Die lokal stärkste gemessene positive und negative IR-Reflektion an Messpunkten steht für die Position, wo in Summe kein Pitchversatz zu Impedanz-Magnituden auftritt, aber ein Grundversatz durch das Mundstück + Mundrohr. Hier werden durch lokale Einengung ungerade Peakmagnituden in Summe erhöht, und gerade Peakmagnituden in Summe am stärksten reduziert. Das ist der Punkt zwischen XM-IN1 und XM-IN2, wo ganz kurz bei einer bestimmten Frequenz (nahe der MPC Popp. Frequenz) auch XM-PN kreuzt:



**Rote Kreise: Grundversatz; Magnituden Potential kreuzt mit Pitch Node-Potential. ~ 67,5cm.**

**XM-IN1:** Gerade NT wie 8 haben hier Pressure Nodes,

**NT7 ein Pressure Maxima;** XM-IN2 – ist bereits im flaring Bell-Stem-Beginn.

Pressure Nodes sind in dieser Grafik fälschlicherweise als „PMin“ bezeichnet!

### Bei Bb-Trompeten:

XM-IN1s liegen ab NT5 bei V0 jeweils zwischen 59 und 63 cm vom Mundstückbeginn,

XM-IN2s liegen ab NT5 bei V0 jeweils zwischen 74 und 69 cm vom Mundstückbeginn.

Bei Bb Trompeten mit Rotary Valves und traditioneller Bauart liegen XM-IN1 Positionen nach dem Stimmzugbogen am Ende des Stimmzuges, bei Perinet Trompeten in traditioneller Bauart kurz vor dem Ventilstock.

Kornette können unterschiedlichste Valvecluster Positionen haben. In einer kurzen „modernen“ Bauart beginnt der Valvecluster bei rund 80 cm. Conn 15A und 15B haben XM-IN1s mitten im Valvecluster. Bei Flügelhörnern ist es jeweils im konischen Bereich gegen Ende des Anstoßes.

### Bestimmung des Perturbationszentrums aus positivem und negativem Reflex:

Var. A: Mittelwert aus Position pos.+neg. Reflex und abrunden (Samples)

Var. B: Nulldurchgang bestimmen\*

Var. C: nur den positiven Reflex als Anhaltspunkt verwenden

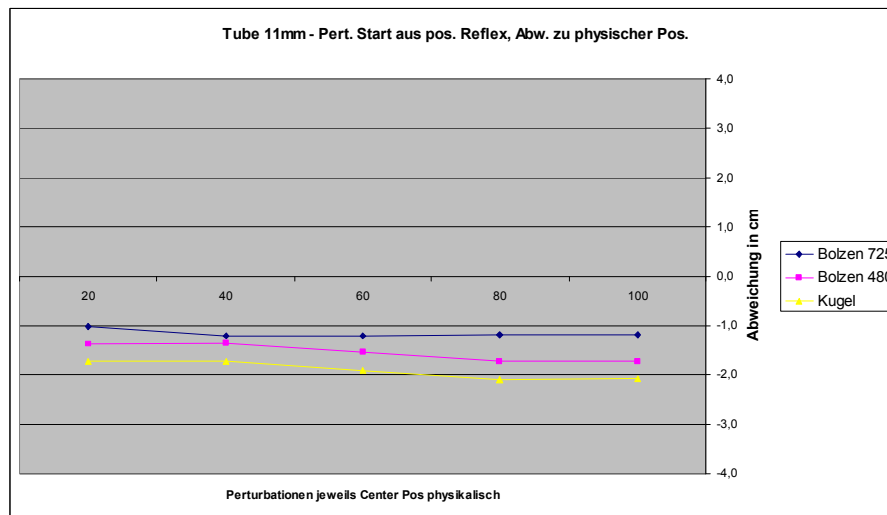
**End-Var.:** eine statistische Anordnung obiger Werte ermitteln und verwenden.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigen Positionsabweichungen, die sich bei allen nachgerechneten Messungen an der Toleranzgrenze +/-2 mm bewegen.

*\*IR-Reflex Nulldurchgänge sind generell weniger weit Richtung Bell versetzt, bei XM-IN1 gleich.*

## Grundlegende IR-Versuche mit Rohren und Kombinationen:

### Messreihe C: - zyl. Rohr 11mm Diameter, mit 1,0 % Speed Korrektur (Losses)

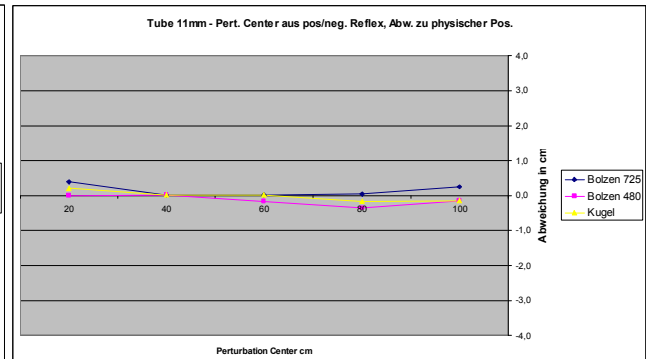
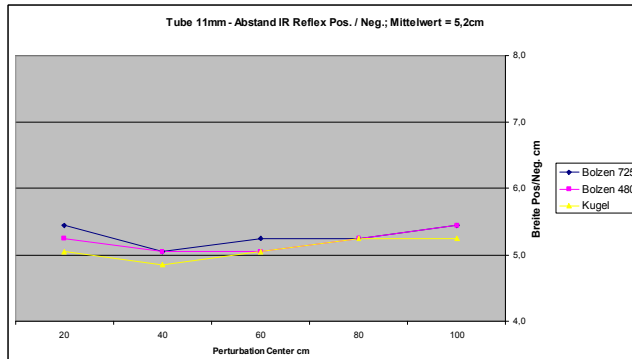


Die Annahme, daß die 1. Reflektionsspitze **der Beginn** einer kurzen Perturbationen ist, wird mit dem rein zylindrischen Rohr ohne Mundstück und Schallbecher gänzlich widerlegt.

Schallgeschwindigkeit bei 24,8 Grad; mit 1 % Geschwindigkeitsverlust durch Losses berücksichtigt 346,22 m/Sek., korrigierte Geschwindigkeit: 342,76 m/Sek.

Lineal Sample-Auflösung (Breite) 0,19620 cm; korrigiert (Losses 1,0%): 0,19426 cm.

Die Auflösung / Fehlertoleranz ist daher ~ 2mm.



Die Perturbationslänge hat kaum Einfluss auf „Breite“ | max. Abweichung: +/- 4mm = 2 Samples

Perturbationslängen: Bolzen 725 = 22mm; Bolzen 480 = 19mm; Kugel Durchmesser 8mm.  
Das IR – Reflex Potential ist mit Bolzen 725 am Größten, gefolgt von Kugel, dann Bolzen 480.  
Die 1. Reflektion am offenen Ende wird bei Perturbationen mit Bolzen 725 um ~ 5% reduziert.

Gesamtlänge physisch 132,0 + Endkorr. = 132,3cm, entspricht exakt dem errechneten Wert.

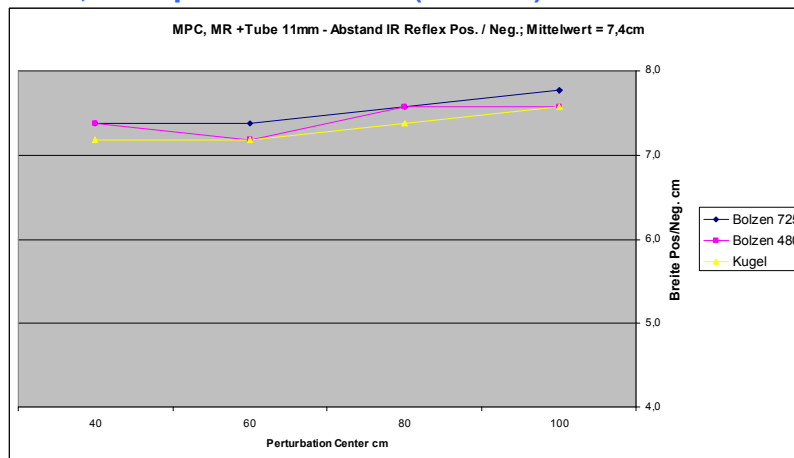
**Die Perturbation selbst verursacht aber je nach Potential und Position zusätzliche Verluste.**

Bolzen 480:	+ 0,0 mm	errechnete	Gesamtlänge 132,3 cm
Kugel:	+ 0,2 mm	errechnete	Gesamtlänge 132,5 cm
Bolzen 725:	+ 0,4 mm	errechnete	Gesamtlänge 132,7 cm

Das ermittelte Zentrum von Bolzen 480 liegt daher minimal vor den beiden anderen Perturbationen.



## Messreihe B: - Mundstück, Mundrohr und zyl. Rohr 11mm Diameter mit 1,0 % Speed Korrektur (Losses)



Die „Breite“ der IR-Reflexe bei Perturbation ist mit dem Mundstück um ~ 2,2cm breiter als beim Rohr oder Rohr+Schallbecher: zwischen 7,0 bis 7,8 cm gegenüber 5,0-5,4 cm. Die Kugel hat wiederum eine etwas geringere Breite.

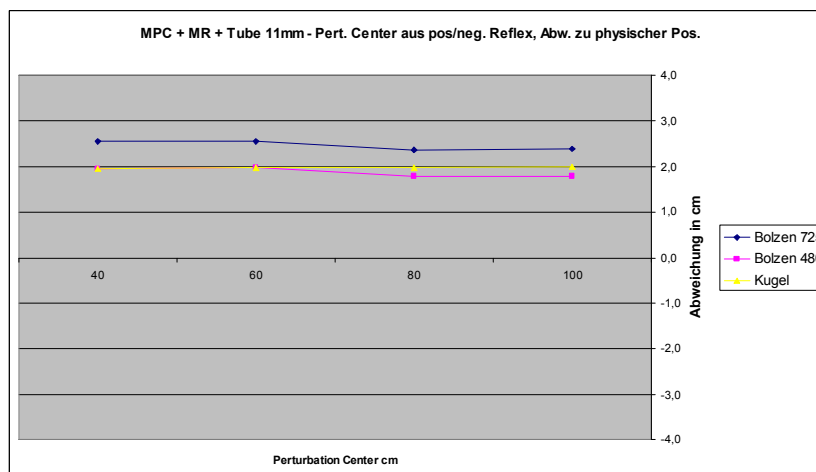
Physische Länge inkl. Endkorrektur gemessen 131,6cm

Das Mundstück +MR verursacht eine akustisch wirksame Länge: 133,5cm = **1,9 cm länger**

Die Perturbation selbst verursacht aber je nach Potential wieder **zusätzliche** Verluste – die Abweichung ist gleich wie beim Rohr ohne Mundstück:

	durch Perturbation		
Bolzen 725:	+ 0,4 mm / 2 Samples,	errechnete	Gesamtlänge 133,8 cm
Bolzen 480:	+ 0,0 mm	errechnete	Gesamtlänge 133,5 cm
Kugel:	+ 0,2 mm / 1 Sample	errechnete	Gesamtlänge 133,7 cm

Die Reduktion der Reflexe am Rohrende ist ~1% (Ausreißer Bolzen 725 bei 100cm mit 5%).



Das ermittelte Zentrum von Bolzen 725 liegt um ~ 0,5 cm weiter vom Mundstück entfernt als bei den beiden anderen Perturbationen (wesentlich mehr Pert. Pot, akustisch länger/tiefer!)

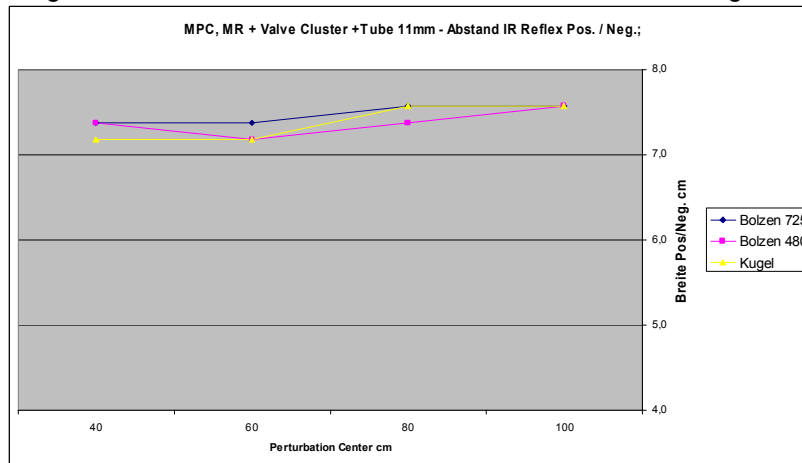
Die Abweichungen betragen im Mittel (Schwankungsbreite 1 Sample ~ 0,2cm):

	Abweichung zu Zentrum physisch:	gegenüber Rohr:	Diff.
Bolzen 725	2,5 cm weiter Richtung Becher	1,9cm akustisch länger	<b>+0,6 cm</b>
Kugel	2,0 cm	1,9cm akustisch länger	+0,1 cm
Bolzen 480	1,9 cm –,-	1,9cm akustisch länger	0



## Messreihe A: - Mundstück, Mundrohr, Rotary Valvecluster und zyl. Rohr 11mm Diameter mit 1,0 % Speed Korrektur (Losses)

Vom Valvecluster wurde bewusst die kürzeste physische Abmessung ohne Kurven genommen. Dies soll mit Vergleichen zu Messreihe B eine tatsächliche akustische Länge anhand der Abweichungen liefern:



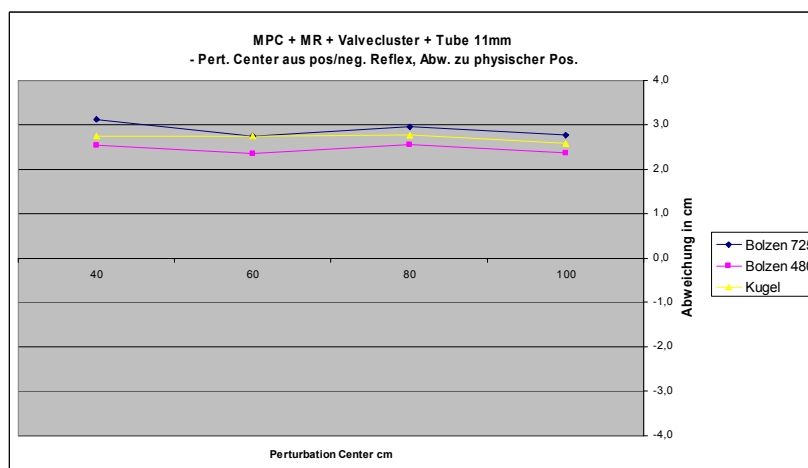
Die „Breite“ der IR Reflexe ist mit 7,4 cm im Durchschnitt ident wie ohne Valvecluster.

Physikalische Länge 132,1 cm (ohne Windungen im Rotary Valvecluster), inkl. Endkorrektur.  
 Das Mundstück verursacht eine längere akustisch wirksame Länge: 134,4cm = 2,2 cm länger  
 Die akustisch wirksame Länge ohne Valvecluster bei Serie B wurde mit **1,9 cm ermittelt**  
**Die Windungen im Rotary Valvecluster verursachen eine zusätzliche Länge von ~0,3 cm.**

Die Perturbation selbst verursacht je nach Potential noch zusätzliche Verluste  
 – die Abweichung ist ~ gleich wie beim Rohr ohne Mundstück:

Bolzen 725:	+ 0,2 cm	errechnete Gesamtlänge 134,6 cm
Kugel:	+ 0,2 cm	errechnete Gesamtlänge 134,6 cm
Bolzen 480:	+ 0,0 cm	errechnete Gesamtlänge 134,4 cm
<b>Valvecluster</b>	<b>statt Rohr</b>	<b>verwendet:</b>

IR-Reduktion  
 5%  
 2%  
 2%  
**zusätzlich ~1%**

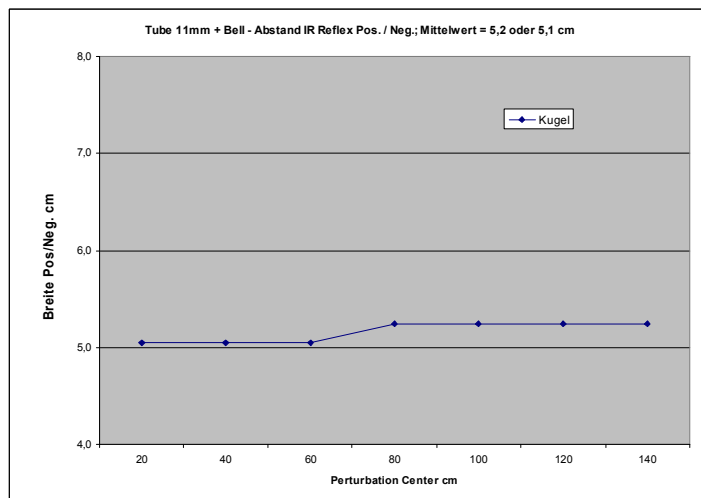


Abweichungen vom physikalischen Perturbationszentrum, dieses muß um die tatsächliche Länge des Valveclusters korrigiert werden: **Abweichung TL ermittelt – 0,3 cm:**

Die Abweichungen vom physikalischen Perturbationszentrum betragen im Mittel somit:

	Abweichung zu Zentrum physisch:	gegenüber Rohr:	Diff.
Bolzen 725	<b>2,5 cm</b> weiter Richtung Becher	1,9cm akustisch länger	<b>+0,6 cm</b>
Kugel	<b>2,2 cm</b>	1,9cm akustisch länger	<b>+0,3 cm</b>
Bolzen 480	<b>2,1 cm</b> –,-	1,9cm akustisch länger	<b>+0,2 cm</b>

## Messreihe D: - zyl. Rohr 11mm Diameter und zusätzlich Schallbecher (-1% Losses) – kein Mundstück, kein Mundrohr



Die Breite ist ident dem Rohr ohne Becher

Die Gesamtlänge beträgt physisch 236,8cm gemessen an der Mittellinie des Schallbechers

Errechnete Länge Bell Minima Reflex: 233,1 bzw. 233,3 cm d.h. **-3,5 bzw. 3,7 cm kürzer**

Errechnete Länge Bell Maxima Reflex: 245,2 bzw. 245,4 cm =Abstand 12,0 cm; **+8,5cm Maxima**.

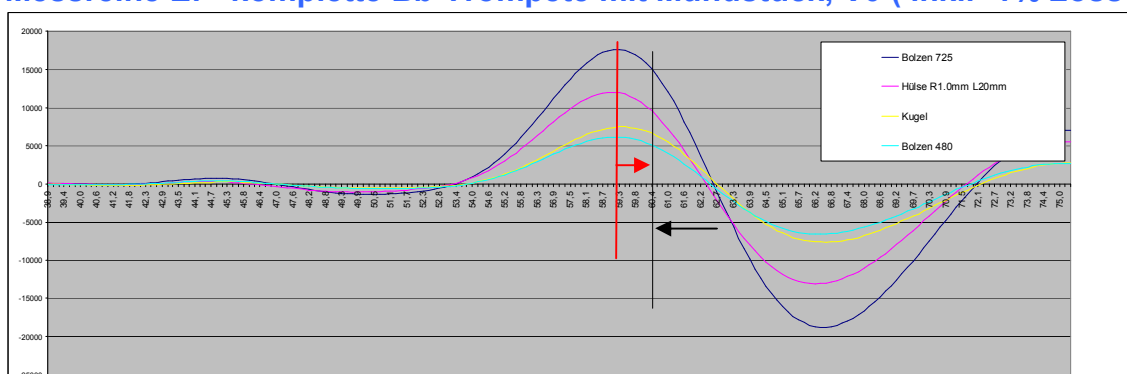
### Der Bell Minima Reflex entspricht jetzt nicht mehr der Instrumentenlänge,

keine Endkorrektur, Reflexionspunkte sind frequenzabhängig und innerhalb des Schallbechers. Tiefe Frequenzen werden früher, hohe später reflektiert, oberhalb der Cut off Frequenz dann aber nur noch abgestrahlt. Der allerletzte ausschweifende Teil des Schallbechers könnte teilweise entfernt oder verlängert werden, ohne dass es zu einer wesentlichen Änderung der akustischen Länge käme, allerdings mit anderer Abstrahlcharakteristik - siehe dazu Teil 2E!

Die Perturbation mit der Kugel verursacht eine Reduktion der Bell IR Minima als auch IR Maxima im Bereich von 2 %. Eine Längenänderung durch Verluste liegt bei 2-4mm.

Der Schallbecher hat einen minimalen, kaum messbaren Einfluß auf die „Breite“ als auch Positionsabweichung der Perturbationen gegenüber dem reinen Zylinder in Mess-Serie C.

## Messreihe E: - komplette Bb-Trompete mit Mundstück, V0 ( inkl. -1% Losses)



Perturb. bei phys. Center 60,4cm:

<- Crossing abzügl. Mpc Eq. EXTRA Lenght ~2cm = tatsächl. Zentrum!

Nur 1. Reflex bei Kugel:

Kugel 8mm: +13mm ->

Physikalische Gesamtlänge, Schallbecher Mittellinie, 4mm für Valvecluster eingerechnet=**137,4cm**.

*Hinweis: Die Gesamtlänge ist hier um ca. 2 cm kürzer als eine Bb-Trompete mit KT A1= 442 Hz.*

*Dies ergab sich rein zufällig. Der Becher ist in diesem Fall nicht der Mayer Landau PF Becher, sondern eine Kombination aus Stimmzug mit Wasserklappe und Syhre Leipzig Nr. 7 Stem mit Trp.61L Bogen Teilen, welche geringfügig etwas kürzer ausfallen.*

## Ergebnis Längenauswertungen Meßreihe E (komplette Trompete Bb):

	IR Bell Minima	Maxima	Abstand Refl.	Reduktion IR Reflexe:
ohne Perturbation	137,0 cm	147,1cm	10,1cm	
Bolzen 725	137,2 cm+0,2cm	147,4cm	10,2cm	4-7%
Kugel Dia 8mm	137,0 cm	147,3cm	10,3cm	2-4%
Hülse R1.0 L20mm	137,0 cm	147,1cm	10,1cm	2%
Bolzen 480	137,0 cm	147,1cm	10,1cm	0-1%

Ergebnis Abweichung Perturbation Center zu physischem Zentrum komplettes Instrument V0:

	phys. Center at	IR-Mitte Reflexe später	Abweichung
Bolzen 725 bei	60,4cm	+2,3cm =62,7cm	Richtung Schallbecher
Kugel 8mm bei	60,4cm	+2,1cm =62,5cm	Richtung Schallbecher
Hülse R 1.0mm bei	60,4cm	+2,0cm =62,4cm	Richtung Schallbecher

Mit Hilfe der zylindrischen Rohre und der damit ermittelten reellen Verluste können die bekannten Abweichungen dazu verwendet werden, Positionen mit einer Genauigkeit unter ~ 0,5cm auf der Instrumentenachse einzugrenzen, sofern Referenzmessungen möglich oder vorhanden sind.

**Dabei wird jeweils das Zentrum der Perturbation ermittelt, nicht Start- und Stop-Positionen.**

Ein Umstand dabei:

Man muß die akustisch wirksame **Längenzunahme** durch das verwendete Mundstück/Mundrohr möglichst genau kennen. Diese kann wiederum aus der Impedanzkurve / Mitte der Wave-Impedanz Crossings ermittelt/geraten werden. Der geringste Versatz Pitch Nodes zu Impedanz Nodes liegt bei Bb Trompeten mit geeigneten Mundstück in der Größenordnung zwischen NT7 und NT8 V0.

Fazit:

Die akustisch „over-all“ wirksame zusätzliche Länge des vorhandenen Trompeten-Mundstückes Warburton 8M/9 und Mundrohr, bezogen auf IR-Auswertungen und das metrische Lineal beträgt **~2cm +/- 10%**. Starke Perturbationen mit Bolzen 725 und auch teilweise mit Kugel 8mm verursachen durch zusätzliche Verluste akustische wirksame Längen- und Positionszuwächse in der Größenordnung von 2-4 mm.

**Die Mundstückgeometrie (Volumenverhältnisse) als Helmholtz Resonator entscheidet beinahe alleine über die akustisch zusätzlich wirksame Länge und damit die Abweichung zu einem metrischen Lineal.**

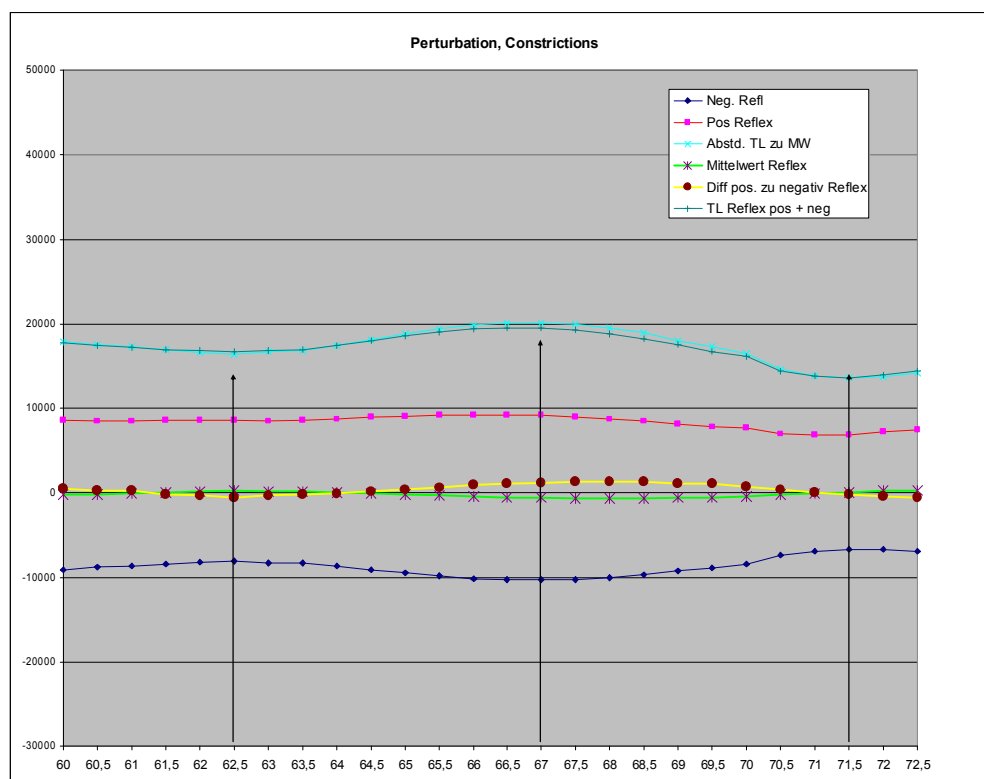
Der Schallbecher hat beinahe keinen Einfluß darauf. Ebenso die genaue Breite einer „kurzen“ Perturbation. Die beiden „Frequenzfilter“ Schallbecher aber vor allem aber **Mundstück/Mundrohr** verwässern das Gesamtergebnis.

IR-Messungen einer Referenz und einer Perturbation und die Auswertung beider Reflexe der Perturbation liefern als Ergebnis einen akustisch wirksamen Positionsbetrag nahe der Reflexnulldurchgänge, der bei der Kugel um **~ 2,2 cm\* reduziert werden muß**, um die physische Position des Perturbationszentrums zu erhalten, das gilt für Zylinder und sehr leicht konische Bereiche. Die Abweichung vom metrischen Lineal gilt unmittelbar ab dem Mundstückstart.

**\* Die akustische Mehrlänge des Mundstückes: ~ 1,9 cm + etwas Zugabe anhand Pert.Potential, hier 0,3 mm.**

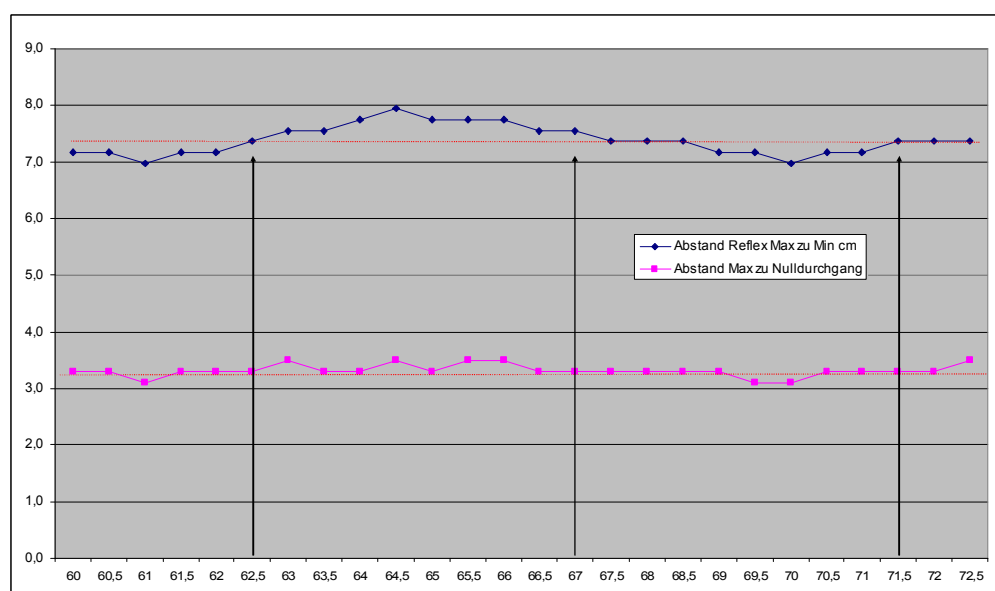
**Die Schallgeschwindigkeit sollte um 1% reduziert sein (Verluste), für die phys. Centerpositionen muß für einen Rotary Valvecluster ~ +0,4cm zugegeben werden, für den Stimmzug sollten ~0,2cm abgezogen werden.**

## Reflex Maxima und Minima IR-Magnitudenwerte - Kugel 8mm Test, 23. Feb. 2020

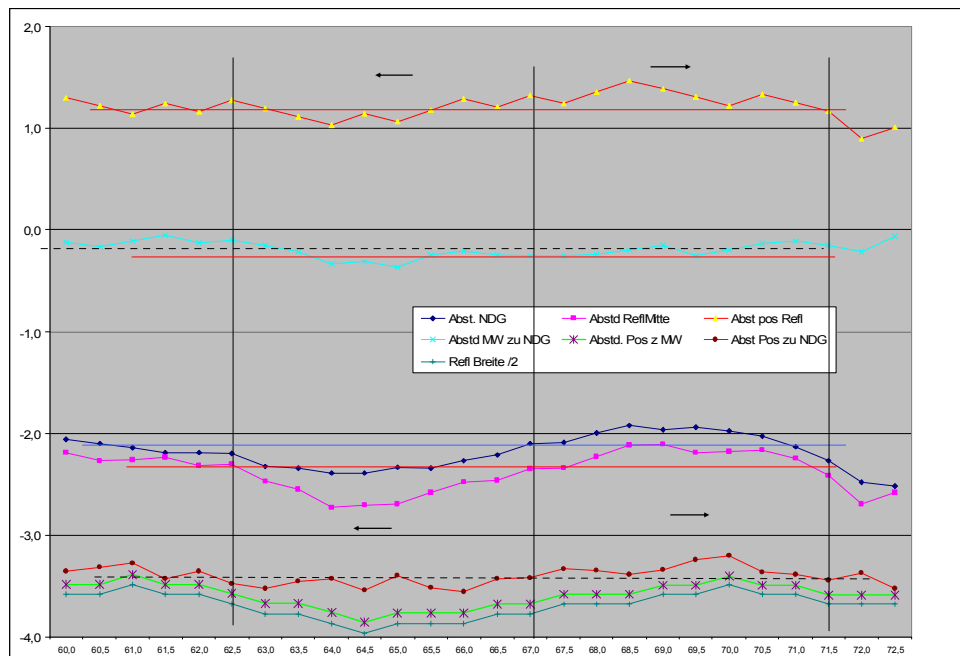


Die **lokal** gebildeten Reflexe positiv vor Zentrum und negativ nach Zentrum durch die Perturbation sind bei ~XM-IN1+IN2 am kleinsten,

**bei XM-PN** aber am größten -> Global = Bell Reflexe TL hier am geringsten, Bell Minima am kleinsten  
**= XM-Magn. max. Pot odd/even** Lokal= Pert. Reflexe TL am größten, Pert Minima Reflex am größten  
**= das selbe** hier hat keiner der Resonanz Modes einen Druckknoten oder Druckbauch!



Die Breite der Reflexe und Abstand positiver Reflex zu Nulldurchgang pos./ neg. Reflex, wo Abweichung von der „Standard“-Breite, dann auch Pos. Differenzen beim Nulldurchgang;  
**vor XM-PN sind die Reflexe etwas breiter, danach schmaler!** (0,2cm Toleranz wegen Sampling)  
 bei XM-IN1 und XM-IN2 aber wieder gleich breit.



Die phys. Pos. mit dem kleinsten neg. Reflex (XM-IN1) und größten (XM-PN) kann man aus Vergleichen bestimmen. **An diesen Positionen müssten auch die geringsten Abweichungen IR gegen phys. sein.**

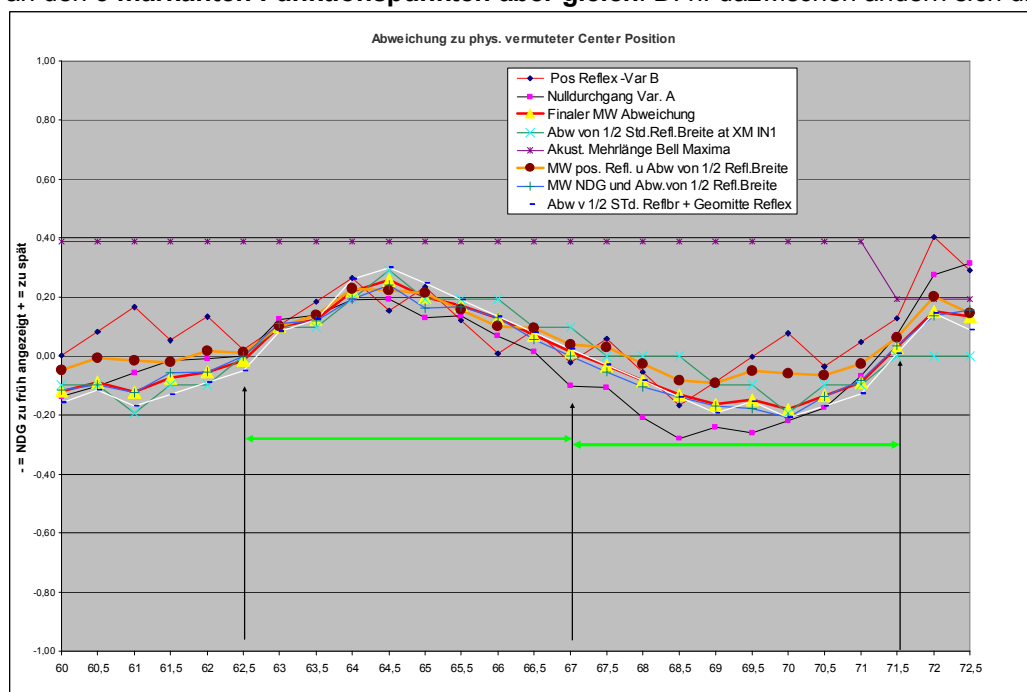
Man kann dann die IR Positionen davon ablesen und die Reflexbreite an diesen Stellen, wie auch die (arithm.) oder geom. Mitte bestimmen. = IR Position.  
Ebenso den Nulldurchgang und die Abstände dazu und wir erhalten jeweils einen mittleren Wert.

Abstand Positiver Reflex zu NDG liefert einen mittleren Versatz (3,4 cm)

Abstand Positiver Reflex zu MW ist immer die halbe Reflexbreite (3,7cm)

Abstand MW zu NDG liefert ein mittleren Versatz (~0,3cm)

An diesen Punkten haben die Reflexe ein bestimmtes Verhältnis zur Reflexbreite.  
Nach XM-IN1 und vor XM-PN ist die Breite größer, zwischen XM-PN und XM-IN2 schmaler, an den **3 markanten Funktionspunkten aber gleich**. D. h. dazwischen ändern sich die Verhältnisse.



Bei XM-IN1, XM-PN und XM-IN2 sind die geringsten Abweichungen; vor XM-PN akustisch länger, danach akustisch kürzer, die „Knoten-Abstände“ sind ca. 4,5cm (etw. kürzer als NT8)  
= Die Constriction mit der Kugel macht höheren NT mehr zu schaffen als tieferen Frequenzen!

Mit Hälfte der Reflexbreiten, Abweichung vom Wert bei der kleinsten Reflexstelle XM-IN1:  
Wo der Reflex sehr breit ist, da sind die Abweichungen der pos. Refl. Spitze + Standard Abw. groß,  
die Rechnung mit Std. Abweichung pos +1,3cm / neg. -2,2 cm NDG (3,4) liefert hier zu geringe Werte.

Das Instrument wird durch das Mundstück/Mundrohr um 1,9cm akustisch länger + durch die Kugel anhand Verlusten nochmals 0,3cm = 2,2cm – sofern man vom Reflex-Nulldurchgang ausgeht.  
Die Std. Abweichungen, welche bei XM-IN1 und XM-IN2 passen, liefern mit Constr./ Kugel

vor XM –PN zu große IR-Positionswerte (weiter Richtung Schallbecher),  
als die tats. physische Position ist, (**bis +2mm**) **Instrument wird akustisch noch länger**  
=mehr Vertiefungs- als Erhöhungspot.

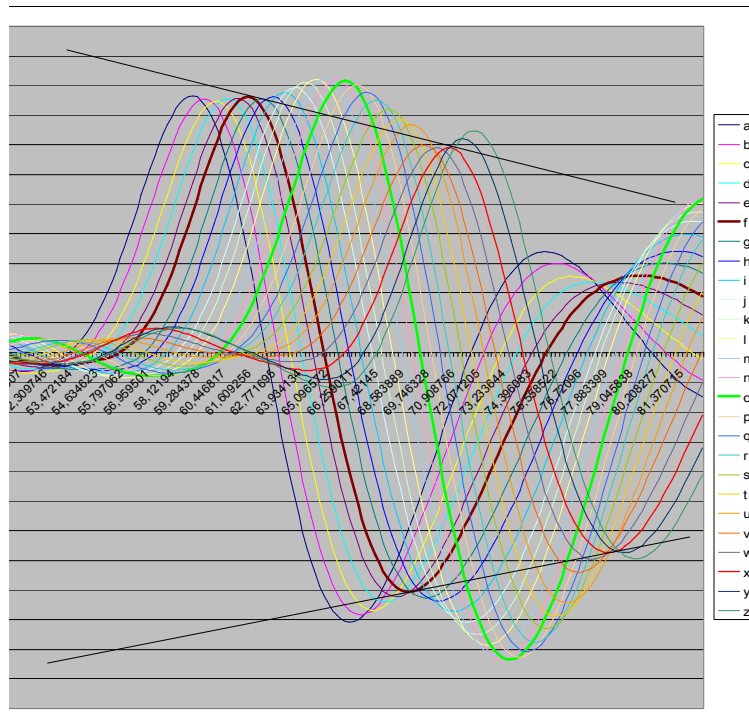
Nach XM-PN zu kleine IR-Positionswerte (weiter Richtung Mundstück),  
als die tats. physische Position ist (**bis -2mm**) **Instrument wird akustisch etwas kürzer**  
=weniger Vertiefungs- als Erhöh. Pot.

Die Abweichungen bei der Breite, als auch beim pos. Reflex stammen von der Samplebreite 0,2 cm,  
Nulldurchgang als auch Mitte Reflex sind dagegen bereits gemittelt und liefern daher geringere statistische Abweichungen.

Ein Mittelwert aus ½ Breite und pos. Reflex Std. Abweichung +1,3 cm mit Kugel liefert einen Kompromiss;  
vor, bei und nach XM-PN sind die Reflexe breiter, dies verschiebt den Mittelwert hier etwas nach hinten,  
aber in die richtige Richtung für eine WL von > 4,5cm auf <5, was der shared Minima von NT7/8 entspricht.  
**Größere Abweichungen davon sind Fehlmessungen oder falsch positionierte Constrictions!**

### Nulldurchgang / Flankensteilheit:

Richtung Schallbecher nimmt das Reflex Potential zudem stetig und deutlich ab  
(Die Reflexwinkel werden dadurch auch stetig flacher (~20 Prozent Abnahme auf 9cm):



Centerpos. Kugel phys. bei  
 $a = 60,0 \text{ cm}$

(Schrittweite 0,5cm)

XM IN1 =  $f = 62,5 \text{ cm}$

XM PN bzw. Magnituden-Pot.  $o = 67,0 \text{ cm}$

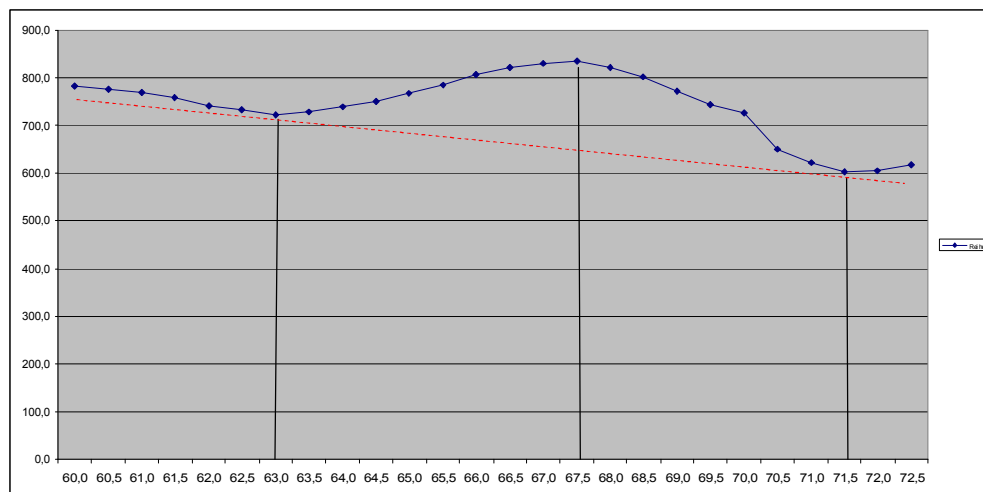
XM IN2 =  $x = 71,5 \text{ cm}$

$z = 72,5 \text{ cm}$

Reduktion Reflex Pot XM-IN2 zu IN1: **ca. 20%**



Kleinsten positiver Reflex-Wert oder 0 gibt letztes Sample /Position unmittelbar VOR Nulldurchgang  
 + 1 Sample später = größter negativer Reflex-Wert unmittelbar NACH Nulldurchgang  
 Durch die Excel Funktion Schätzer kann damit eine lineare Nulldurchgangs-Position bestimmt werden.

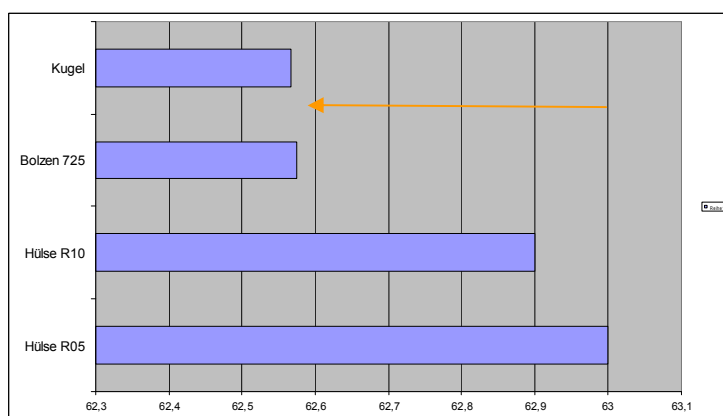


Hier die Reflexunterschiede über 1,94 mm beim jeweiligen Nulldurchgang, phys. Center Pos.

Hohe Werte bedeuten eine „steile“ Querung / Steigung, niedrige Reflexe eine „flache“ Querung/Steigung.  
 Bei XM-PN sind die stärksten negativen Reflexe und somit auch die steilste Querung.  
 Bei XM-IN1 und XM-IN2 sind die geringsten Reflexe und somit auch die flachsten Querungen.  
 Die steilsten Steigungen sind aber immer ~0,5cm hinter den bereits ermittelten Nullpunkten mit Kugel und Bolzen, dh. die steilste Steigung zeigt den Ursprung von XM PN.

**Bei 67,0 – 67,5cm = (~XM-PN) ohne Versatz ist auch die Bell IR Minima am stärksten „reduziert“.  
 Die starken negativen Perturbations-Reflexe entziehen hier dem Bell Minima Reflex „Potential“.**

Bei XM-IN2 sind ist der Bell Minima Reflex beinahe kaum reduziert,  
 bei XM-IN1 ist dieser Effekt bei Bell Reflexen nicht bemerkbar. Hier ist keines der Extreme ausgebildet.

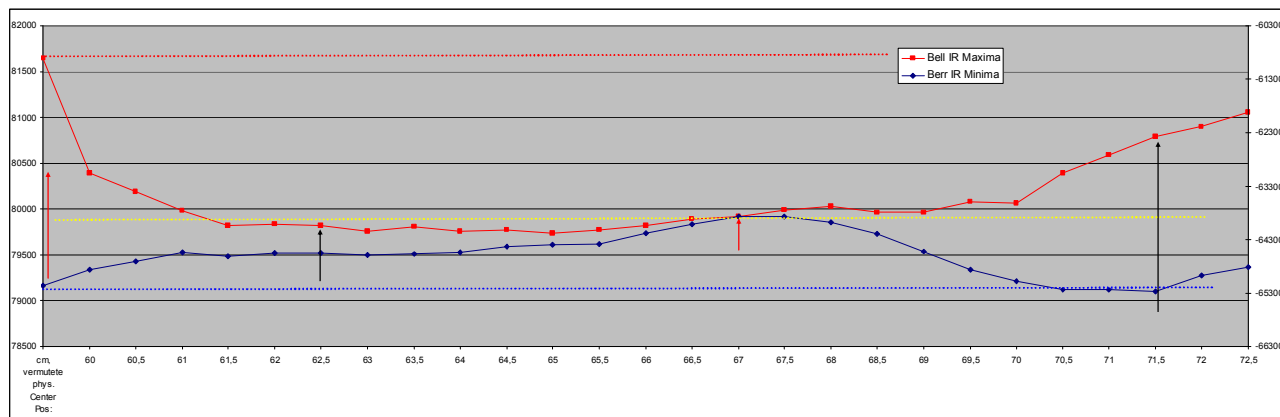


Kumulierte Auswertung aller Messungen von 2019 bis Feb. 2020 -  
 kleinster IR-Reflex @ phys. Center Position in cm. (ART Bb Trp. V0, FFT-Messungen)

Die Kugel wie auch Bolzen 725 haben diesen Punkt um 4-5 mm vor einer weniger starken Perturbation.  
 D. h. der wahre „**Ursprung**“ liegt immer um ~ 0,4 cm später, bei ca. 63cm, allerdings

**Auch im Frequenzbereich bei XM-IN1 Amplituden-Nulldurchgängen besteht dann diese Differenz!**

## Globale Bell Maxima und Minima IR-Reflexwerte - Kugel Test, 23. Feb. 2020



~shared XM PN 67cm: Bell Minima kleinster Negativ Reflex, **geringster Abst. zu Maxima**

**TL Refl. am kleinsten**

**Minima Refl. hier am kleinsten**

Peak Magn: Even NT: down Odd NT: up

shared Min. Magn. 7/8 = Crossing up down

~shared XM IN2 71,5cm: Bell Minima größter Negativ Reflex, größter Abstand zu Bell IR Maxima

**TL Refl. am größten**

**Minima Refl. hier > 1,0 sonst kleiner**

Pitch Peak: Even NT: up Odd NT: down

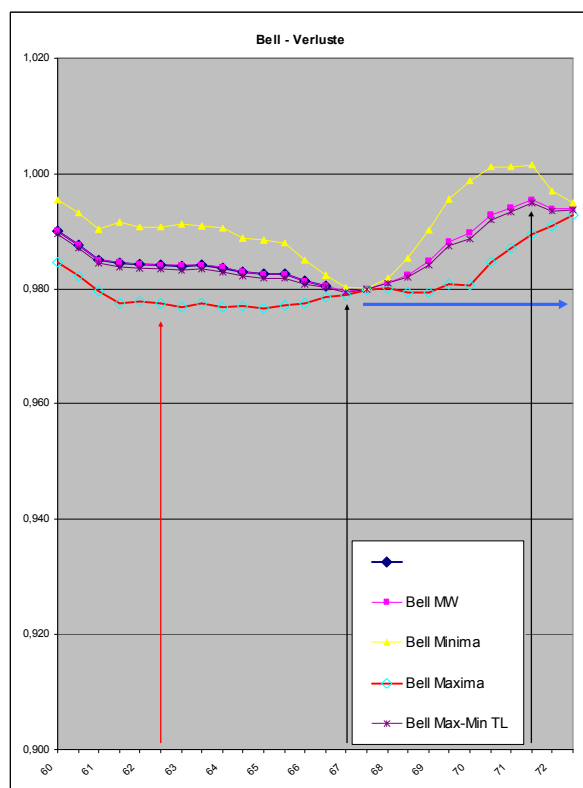
shared Min. Magn 7/8: max down

~shared XM IN1 62cm: **Bell Max. IR im Bereich starker Reduktion,**

Bell Min weniger reduziert, Werte sind mittelmäßig – Situation gegenüber den beiden anderen Extremwerten unklar.  
pos + neg. IR habe in etwa das selbe Pot.

Pitch Peak: Even NT: down Odd NT: up

shared Min. Magn 7/8: max up (vorher)

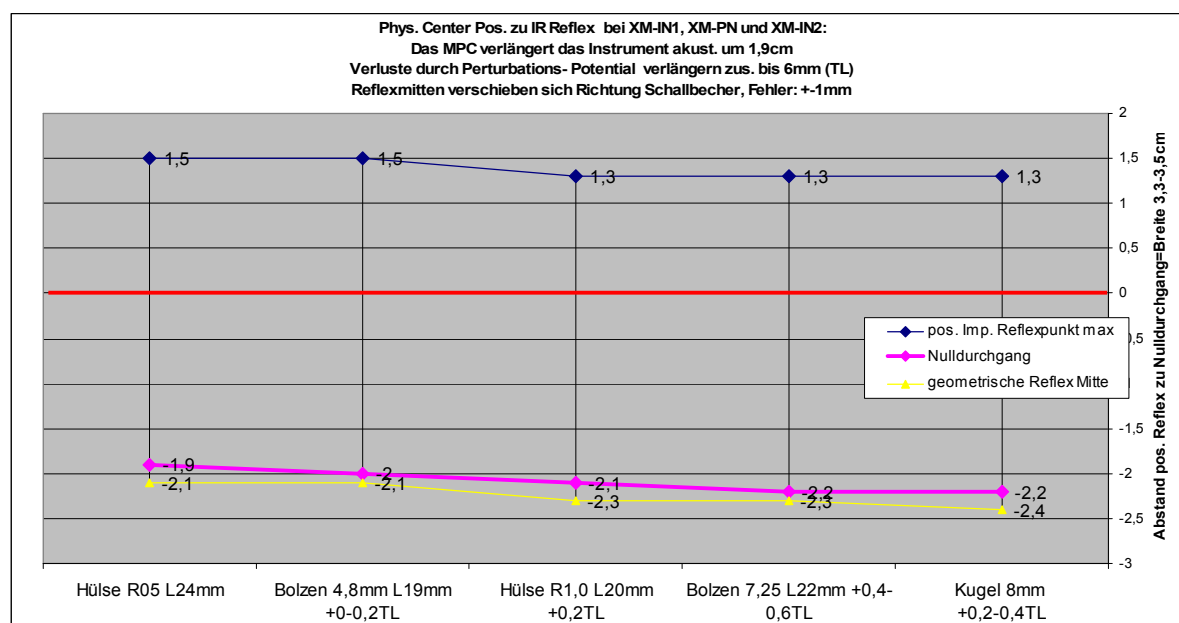


Hier ist die negative Minima reverse als positive Kurve eingetragen, = jeweils Reflex – Potential

## Zusammenfassung Referenzpunkte Ermittlung IR / XM-IN1 / Grundversatz; Möglichkeiten und deren weitere Verwertbarkeit.

### Impulse-Response:

Es wird ein Geschwindigkeitsverlust von 1% berücksichtigt und miteinberechnet (Verluste).  
Ein Trp. Mundstück verursacht eine akustisch wirksame Mehrlänge von ~19mm gegenüber Rohr.  
Durch Mundstück **plus** Perturbation (Verluste) wird das Instrument zusätzlich **akustisch** länger.



Perturbation (Constriction): in cm	pos. Refl + gibt phys.Center	Abstd v. Crossing geom. Refl.Mitte	Zus.Verluste von	bis	Breite IR+ zu Cross/TL
Kugel 8mm +0,2-0,4TL	1,3	-2,2	-2,4	0,2	0,4 3,5 7,5
Bolzen 7,25 L22mm +0,4-0,6TL	1,3	-2,2	-2,3	0,4	0,6 3,5 7,5
Hülse R1,0 L20mm +0,2TL	1,3	-2,1	-2,3	0,2	0,2 3,4 7,5
Bolzen 4,8mm L19mm +0-0,2TL	1,5	-2	-2,1	0	0,2 3,5 7,4
Hülse R05 L24mm	1,5	-1,9	-2,1	0	0 3,4 7,3

pos Refl+ fällt mit gr. Rad+Pert

Cross - Abstand steigt mit Radius+Pert.Volumen wegen zus Verluste

Bolzen 725:	- anh. kleinerer Breite,	+ anhand mehr Verluste - akustisch länger = weiter Richtung Bell
-------------	--------------------------	------------------------------------------------------------------

### Matching mit der physischen Position (der phys. Lineal Start bleibt immer 0mm):

**Var. A: Ermittelter Nulldurchgang pos. zu neg. IR Reflex gegenüber Referenzmessung o. Pert.**  
(Abweichung weniger als bei Mitte der Reflexe), **gibt metrisches phys. Perturbationszentrum mit geringster Pos. Abw. bei XM-IN1, bei XM PN und bei XM-IN2.**

**Gegeben:** IR-ermittelter IST Nulldurchgang

**Gesucht:** phys. Center Pos SOLL (immer früher/kleiner)

**IR-Skalen Start mit: 0mm: -19mm (10 Samples):**

Hülse R 0,5mm L 24mm	-0mm = IR-Skala	-19mm -0mm
Bolzen 4,8mm L19mm	-1mm = IR-Skala	-20mm -1mm
Hülse bis R1,0mm L 20mm	-2mm = IR-Skala	-21mm -2mm
Bolzen 7,25mm L 22mm	-3mm = IR-Skala	-22mm -3mm
Kugel 8mm	-3mm = IR-Skala	-22mm -3mm gibt phys. Center Soll
<b>Borejump/Rohrende Zyl.</b>	<b>so nicht möglich!</b>	<b>-</b>

Diese Werte müssen von den IR-Skalenwerten **abgezogen** werden, um die phys. CenterPos. zu erhalten.

**Var.A: Reverse:****Gegeben:** Vorab angenommene phys. IST Centerposition**Gesucht:** IR Soll Nulldurchgang (immer später/größer)

	IR-Skala Start mit:	0mm: -19mm (10 Samples):
Hülse R0,5mm L 24mm	+0mm = phys.Center	+19mm +0mm
Bolzen 4,80mm L19mm	+1mm = phys.Center	+20mm +1mm
Hülse R1,0mm L 20mm	+2mm = phys.Center	+21mm +2mm
Bolzen 7,25mm L 22mm	+3mm = phys.Center	+22mm +3mm
Kugel 8mm	+3mm = phys.Center	+22mm +3mm gibt IR Skala NDG Soll
Borejump/Rohrende Zyl.	so nicht möglich!	- -

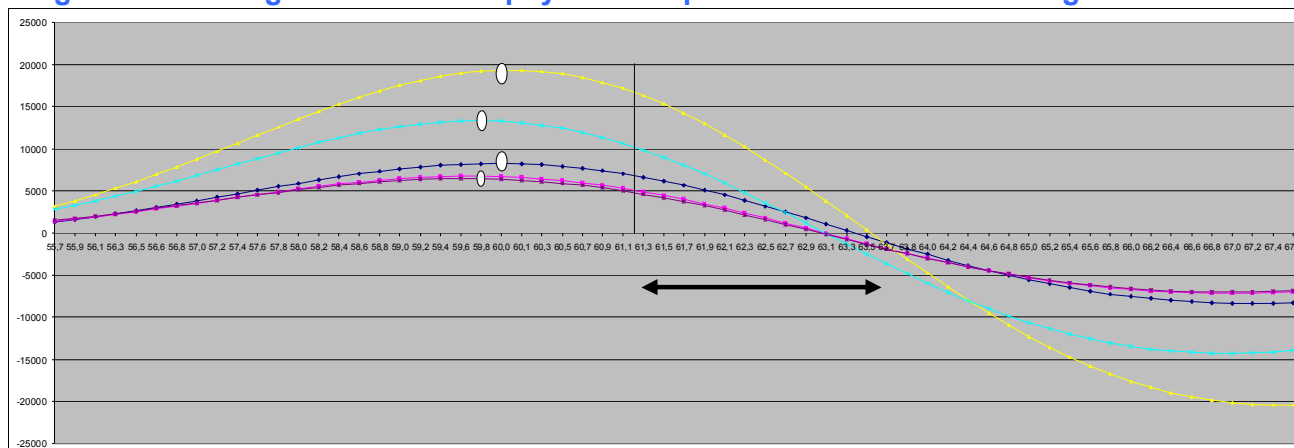
**Var. B: Verwendung nur des 1. pos. Reflex-Max.:****Gegeben:** IR ermitteltes 1. Reflex Max.**Gesucht:** Phys. Centerpos. Soll (bei Pert. immer später, Borejump früher)

	IR Skala Start mit:	0mm -19mm (10 Samples)
Bolzen 4,80mm/Hülse bis R1,0mm		+15mm +34mm
Bolzen 7,25mm	1. Reflex Max. lt. IR Skala	+13mm +32mm
Kugel 8mm	1. Reflex Max. lt. IR Skala	+13mm +32mm gibt phys. Center
Borejump Pos. od. Ende zyl. Rohr:	Reflex Maximum	-19mm 0mm gibt phys. Pos.

**Var. B: Reverse:****Gegeben:** Vorab angenommene phys. IST Centerposition**Gesucht:** IR Soll 1. Reflex Max. (bei Pert. immer früher, Borejump später)

	IR-Skala Start mit:	0mm -19mm (10 Samples)
Bolzen 4,80mm/Hülse bis R1,0mm	-15mm	-34mm zu große Abw.
Bolzen 7,25mm	phys. Center -13mm	-34mm gibt 1. Refl. Max
Kugel 8mm	phys. Center -13mm	-32mm gibt 1. Refl. Max
Borejump Pos. od. Ende zyl. Rohr:	phys. Pos. +19mm	+ 0mm gibt 1. Refl. Max

**Merke: Phys. Lineal Pos:** Valve-Cluster: +1mm pro Ventil dazugeben, SZ Bogen: -2mm von Mittellinie. Passen obige Abstände bei XM-IN1 nicht zusammen (2 Samples Toleranz wegen VC+MR+SZ-Bogenmitte eq. L. etc.), so ist die angenommene phys. IST Center Pos. falsch, und muß eine neue angepasste tatsächliche phys. Lineal-IST Meßposition ermittelt werden!

**Vergleichsmessungen aus BT7#2 – phys. Centerposition und IR-Abweichungen dazu:****BT7#2: Tests an selber physische Centerposition bei 61,2cm; 1 Punkt = 2mm Abstand.**

Blau=Kugel 8mm, Hellbau=Hülse R 1,0mm; Gelb=Bolzen 7,25mm ; Rosa=Bolzen 4,8mm , Braun=Hülse R0,5mm  
 akustisch tiefer = länger: Bolzen 7,25mm: +4mm Kugel 8mm+ 2mm

Durch Perturbationen ändert sich anhand von Verlusten die Gesamtstimmung und Länge.

Die Reflex Nulldurchgänge sind um diesen Betrag weiter Richtung Schallbecher, als mit Hülse R 0,5mm u. Bolzen 480, welche keine messbare Vertiefung der Gesamtstimmung hervorrufen.

## Matching IR-Ergebnisse im Zeitbereich zu Impedanzänderungen im Frequ.-Bereich:

Alle IR-Positionsauswertungen zeigen **bei XM-IN1+2, Skala phys. Centerpos.** ~63,0 cm (Bb, V0):  
(aber immer ca. 1 cm später als shared XM-IN1 NT7/8:) *bei XM-PN: (blau)*

A: die kleinste ABS TL-Summe Neg.+ Pos. IR Reflex Magn.

TL Peak Magn. Pot. smallest  
shared Min 7/8 Magn. max up,  
mit XL-Constr.Kugel aber früher!

B: die kleinste Differenz Neg. - Pos. IR Reflex Magn.

C: den Mittelwert Abw. von 0 Pos. / Neg. IR Reflex Magn.

*TL Imp. Magn. down (even NT) ist hier größer als  
up (odd NT)*

**gegen 0** bei XM-IN1+2,  
kleinste Peak Magn. Änd.  
*max. neg. bei XM-PN, hier  
größte Peak Magn. Änd.  
hier shared Min. Magn. Node*

D: der schmalste Abstand Neg. - Pos. IR Reflex  
*breiteste Abstand*

(=Std. Breite 7,2-7,6cm)  
Even NT Pitch hier mehr down.

Hier sind die Stellen, wo die geringsten Positionsabweichungen akustisch zu physisch vorliegen  
Peaks ohne Pitchversatz (NT7/8) ihre Imp. Magn. Nodes haben =XM IN1+2.

**NT8 hat hier mit Ausnahme Kugel (beinahe Verstopfung) max. Pitch pot down, mit Kugel früher**

## Impedanz Magnituden Nulldurchgänge = XM-IN – generell:

Die Kugel verfälscht Ergebnisse schon sehr (auch Minima Magn.), Perturbationen mit Hülсен liefern zu viele Ausreißer/Falschmessungen; Bolzen 725 liefert kaum bessere Ergebnisse.

**Die Änderungsgeschwindigkeit steigt stetig mit der Frequenz -> kürzere Wellenlänge, vor (langsamer) und nach Peak (schneller), alle Änderungen sind daher niemals symmetrisch! 1 Ganzton = ~ +/-12,2 % Unterschied; Geomittel geben selbe Faktoren zuvor und danach.**

**Man braucht starke Perturbationen zur Positionsbestimmung, aber eventuell später folgende Korrekturen / Perturbationen werden dann wesentlich geringer ausfallen!**

Das Instrument wird durch die starke Perturbation mit Bolzen 725 (Verluste) akustisch ~ 0,4cm länger, d.h. minimal größere Wellenlängen! Alle Knotenabstände werden weiter, Versatz WL zu Nodes; die betroffenen Nulldurchgänge rücken etwas zusammen, NT8 <-- stärker als NT7 -->.

**Bei NT7 muß die Ursprungs-Pos. des Nulldurchgangs immer vor NT 8 liegen. Starke Pert. wie Bolzen 725 liefern je einen zu frühen Magnitudennulldurchgang, der Ursprung ist weiter hinten, spez. bei NT8.**

## Magnituden Peaks:

Eine Betrachtung der ermittelten Magnituden Nulldurchgänge selbst zeigt, daß **ungerade NT**, die bei XM-IN1 alle einen **Druckbauch** haben, **bei unterschiedlichen Perturbationen immer weniger** Abweichungen aufweisen als alle geraden NT, die hier an Pressure Nodes liegen! **NT7 scheint vorerst aus diesem Grund der bessere Kandidat bei Bb Trompeten um den Grundversatz zu ermitteln. (Dieser liegt hier auch am nächsten zur 1st MPC Popp. Freq.)** Dennoch passieren immer wieder Meßfehler. Daher die Strategie eines „**Mesh-Networks**“, das einzelne oder mehrere Ausreißer isolieren könnte um konsistentere Ergebnisse zu liefern.

## Fazit Impulseresponse zur Positions- und Längenbestimmung:

Es ging in diesem Kapitel um die Impulse-Response Auswertung und die Möglichkeiten daraus auszuloten, wie ich diese besser verstehen und gestalten kann, speziell um Störpositionen und Magnituden Nulldurchgänge zielgenauer herauszufinden. Es sind zahlreiche neue Erfahrungen und Informationen für mich hinzugekommen. Andere wurden gefestigt oder werden in Zukunft anders behandelt. Das Mundstück verursacht einen Grundversatz phys. zu akustisch von ~1,9 cm.

Ein großes Problem das sich herauskristallisiert hat ist die **scheinbar simple** Aufgabe mit einem Lineal (Zentimeterband, wie es auch ein Schneider verwendet), speziell bei Bögen so anzulegen, dass diese tatsächlich richtig abgelesen werden. Hier schleichen sich immer wieder große Fehler ein. Alle Messungen von 2019 bis Feb. 2020 wurden anhand der aus den anderen Versuchen bekannten MPC akustischen Extralänge + Korrekturwerte nochmals durchgerechnet und die in Frage kommenden physikalischen Positionswerte ermittelt.

Mögliche Verbesserungen sind nun durch diese langwierigen und fundamentalen Messungen bekannt. Die vorigen Kapitel sind überarbeitet und fehlerkorrigiert. Die physischen Positionen mussten anstelle vorhandener Notizen und Anmerkungen rekonstruiert werden, da diese aus vorgenannten Gründen teils stark abweichen (Start/Center Pos., Speed korr.,) und auch durch **Positionierungsfehler** wegen vorab **falsch angenommener effektiver Valvecluster- und Stimmzugbogenlängen**.

Eventuelle Positionsdifferenzen in einigen Grafiken ergeben sich daher aus diesen Abweichungen! Veränderungen, welche die Perturbation zur Positionsbestimmung selbst auslösen, verursachen dadurch auch jetzt bekannte Positionierfehler. Bei Positionen kurz nach dem Rotary Ventilstock (**~V0 Magic Spot2!**) sowie vor und nach **XM-PN** kommt es zu systematischen Abweichungen von bis zu +/-2mm. Bei Perinetinstrumenten mit ausgeprägt langen Mundrohren und Flügelhörnern wird das nochmals eine Herausforderung!

**Insgesamt rückt eine Perturbation die ermittelten Magnituden Nulldurchgänge (bei NT8 noch stärker) Richtung Mundstück, umso größer der Perturbationsradius ist. D. h. mit Kugel oder Bolzen ermittelte IR Magnituden Nulldurchgänge von NT7 müssen geringfügig ~5mm nach hinten korrigiert werden, um einem tatsächlichen „Ursprung“ zu entsprechen.**

Der Bolzen mit Dia 7,25mm schien vorab für IR und Magnituden der bestmögliche Kompromiss zwischen Aussagekraft und Schlagkraft zu sein. Er verfälscht trotz großem Volumen weniger stark als die sehr exakt positionierbare Kugel, allerdings bereitet der Bolzen größere Positionsprobleme als erwartet. Hülsen und kleiner Bolzen 4,8mm liefern zu geringe Messunterschiede und verursachen damit zu viele zufällige Positionsfehler und Ausreißer. Sie zeigen aber die Richtung zum „Ursprung“ ohne Perturbation an.

## Ursprung XM-PN mittels Bell-IR Minima und equiv. Länge MPC ?

**Nach unzähligen Versuchen erscheint es effektiver und vor allem wesentlich einfacher, für die Ermittlung der shared XM-PN Position die akustische Länge der Bell Minima Position zu wählen, diese durch 2 zu dividieren und davon die bekannte akustische Extralänge des Mundstücks (20mm) abzuziehen.**

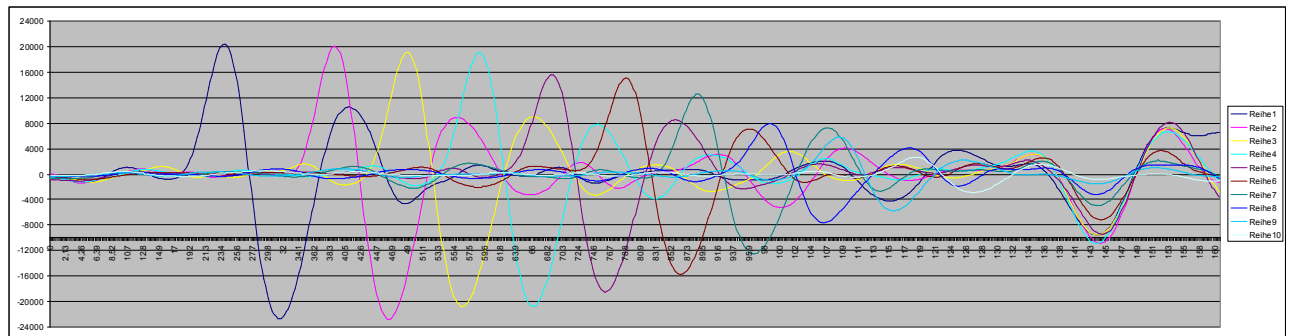
Dies sollte die physikalische Position „XM-PN“ und XM-Impedanz Antinode für diejenige Frequenz ergeben, bei welcher sich die Peak Symetrie (geometrische Mitte der Frequenz-Crossings) mit der Peak Frequenz deckt und es keinen Pitch-Versatz gibt. (Dies ist im Bereich der NT7 Frequenz bei Bb-Trompeten der Fall.) Diese kann bei jeder Messung automatisch ermittelt werden, und würde bei anschließenden Korrekturen / Messungen ebenfalls automatisch aktualisiert und angepasst!



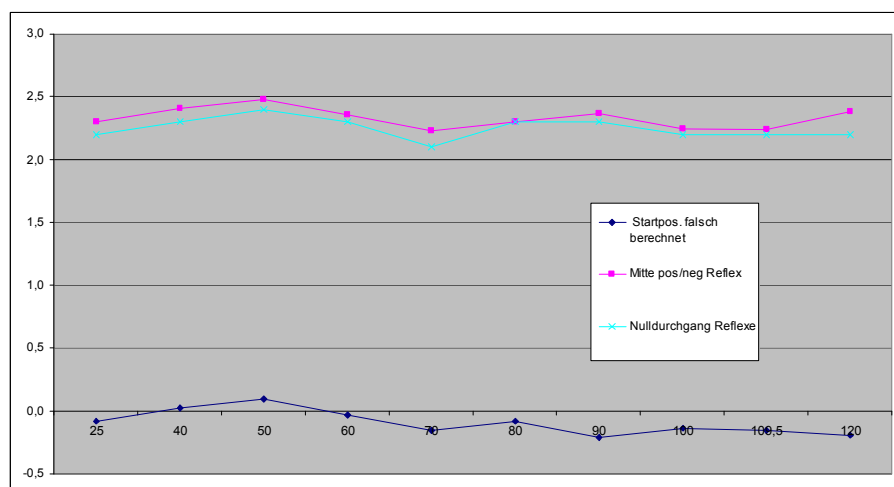
## Anhang - Dokumentation von weiteren Versuchen und Fehlern:

### Tatsächliche physische Position von Bolzen, Hülsen, Kugel: Bolzen Dia 7,25mm – Positions-Tests über die ganze Instrumentenlänge:

Differenzen zur Referenzmessung ohne Perturbation. Der Bolzen hat eine Länge von 22mm, der Beginn der Constriction ist daher hier jeweils 1,10 cm vor dem Zentrum.

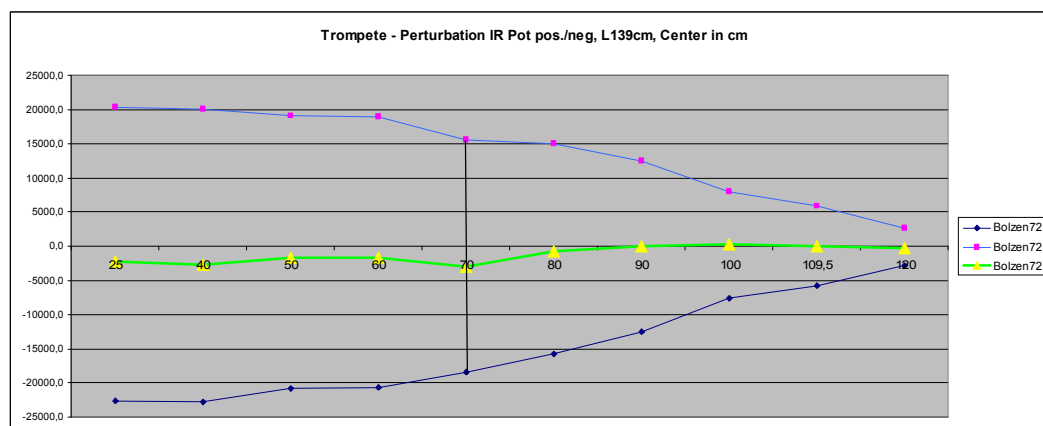


Der 7,25mm Bolzen - jeweils mit Zentrum positioniert, Magnet bei: 25, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 109,5 und 120 cm lt. physischem Lineal und dem Valveclusterersatz.

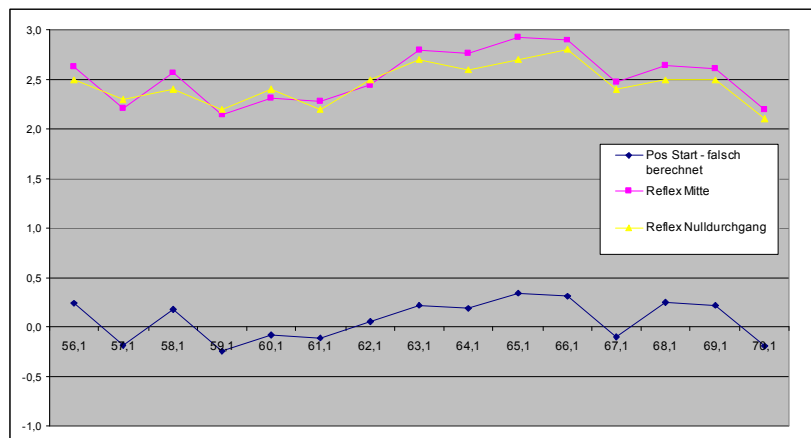


Abweichung der IR Reflexe zu physischer Position in cm.

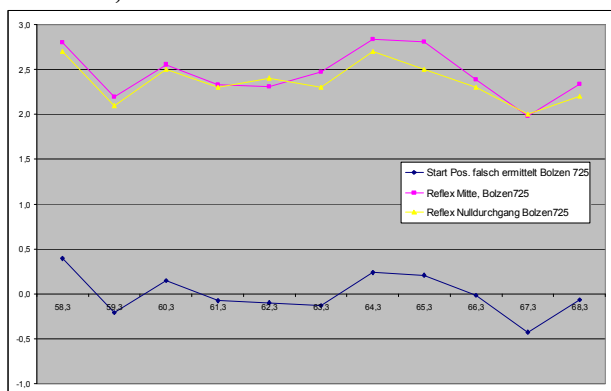
Im letzten Becherbereich gibt es Ausreißer - das „Reflex“-Potential wird bereits sehr gering und dadurch nicht mehr eindeutig auswertbar.



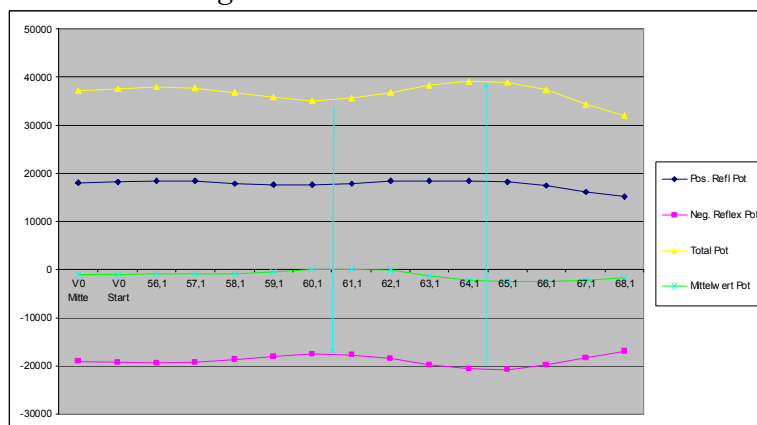
IR-Reflex Potential, max. Positiv/Negativ Ausschlag beim Start der Perturbation. Der Betrag, um den der 2. negative Reflex größer ist (grün), wird im konischen Bereich gegen Null. (BT-6 revidiert, Teil 2)



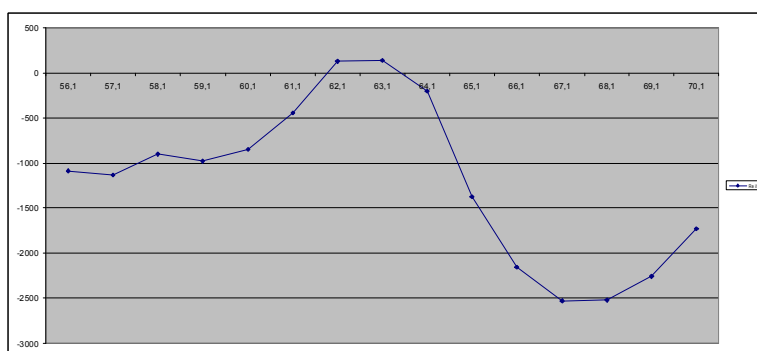
*Bolzen 7,25mm Center im Bereich XM-IN1 und XM-Pitch, Differenz zum Lineal*



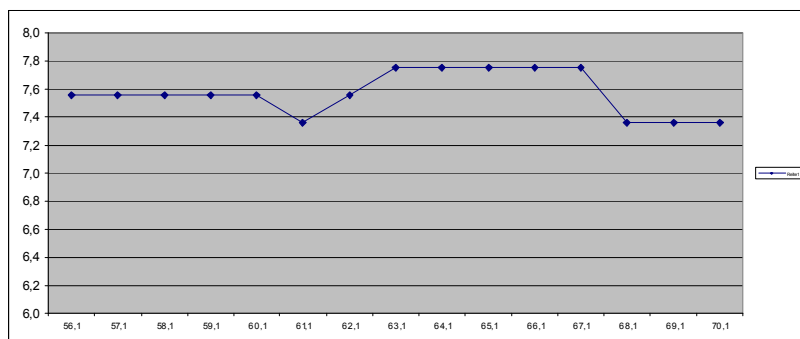
*Andere Messung aus BT#7*



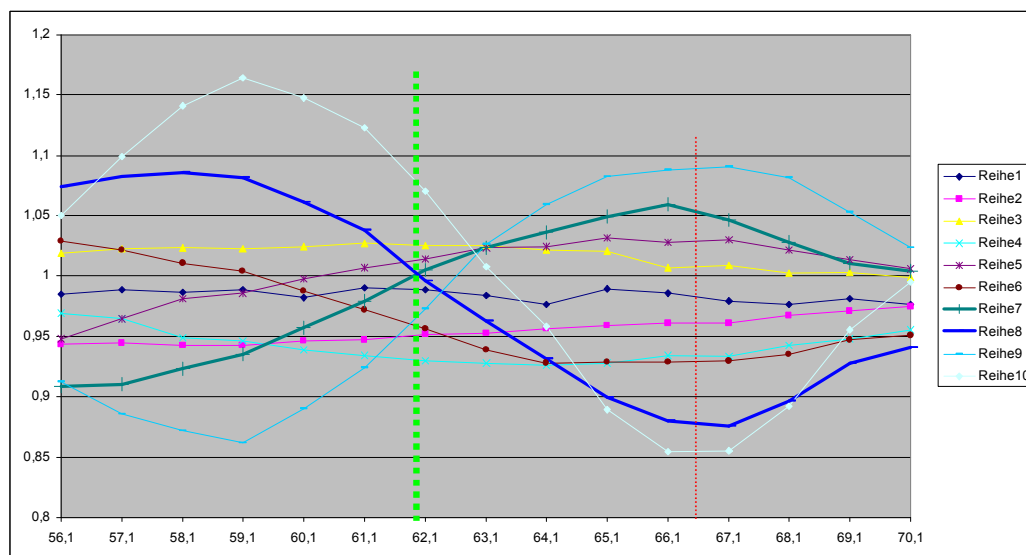
*Summe Bolzen Dia 7,25mm L22mm, Summe max. pos. + negativer Reflex um XM-IN1  
Hier haben Naturtöne in Summe **die geringste Peak Magnituden-Veränderung**.*



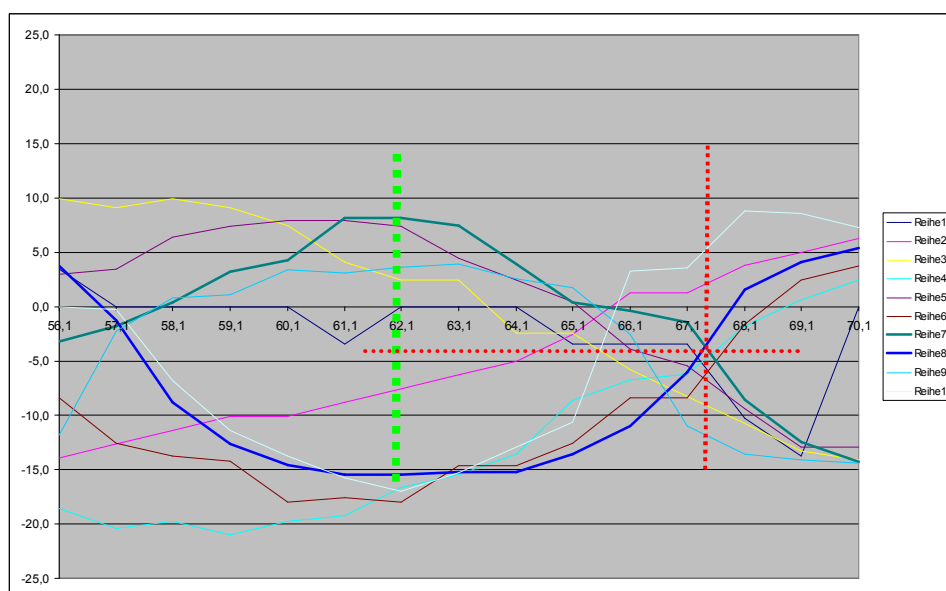
*Bolzen Dia 7,25mm – Abweichung der 2. negativen Reflexion **ist bei XM-IN1 gegen Null, bei ~ XM-PN am stärksten**, hier gibt es in Summe die größte Reflex Magnituden Veränderung.*



*Bolzen Dia 7,25mm Abstand Reflexspitzen in cm (2 Samples Differenzen, aus BT6-Teil1)*

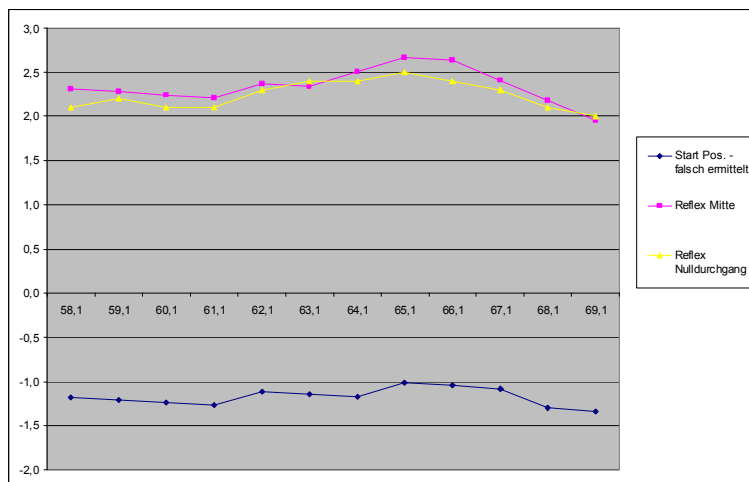


*Impedanzänderung Peak-Magnituden; Schnittpunkt NT7/ NT8 bei phys. 62,0cm = XM-IN1  
Max. Imp. Pot. odd gegen even NT, bei ~66,5 cm ist in Summe kleiner 1. (2.Reflex größer)*

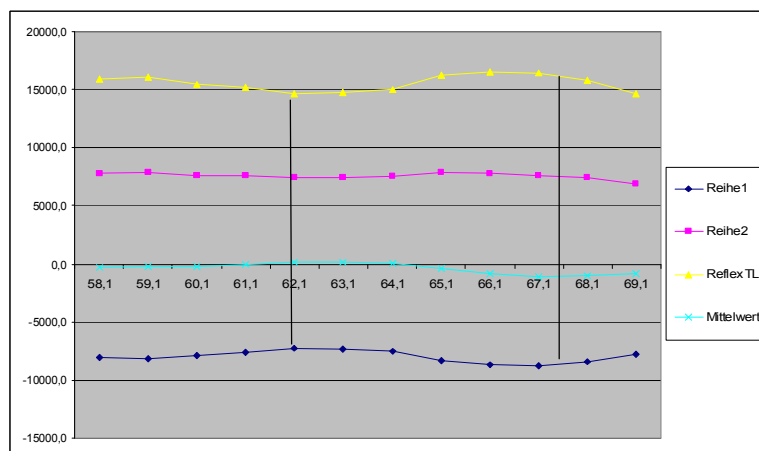


*Pitch Änderungen durch den Bolzen, sind stark nach unten verschoben –  
Pitch Node Positionen stimmen dadurch nicht mehr.*

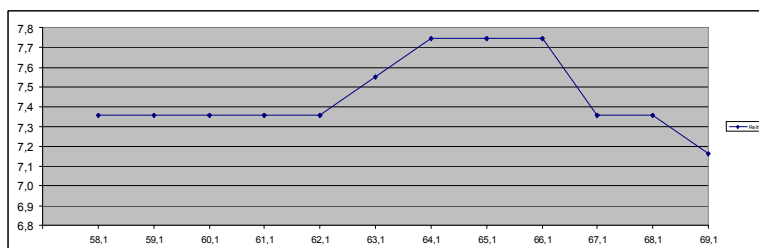
## Kugel 8mm Durchmesser



Abweichung Kugel-Mitte zum physischen Lineal in cm



Kugel IR Reflex Potential, wiederum bei XM-IN1 die geringste pos./neg. Abweichung.



Abstand Reflexe in cm, 2 Samples Unterschied

## Bolzen mit weniger Potential Dia 4,8mm ~ Standard-Perturbation:

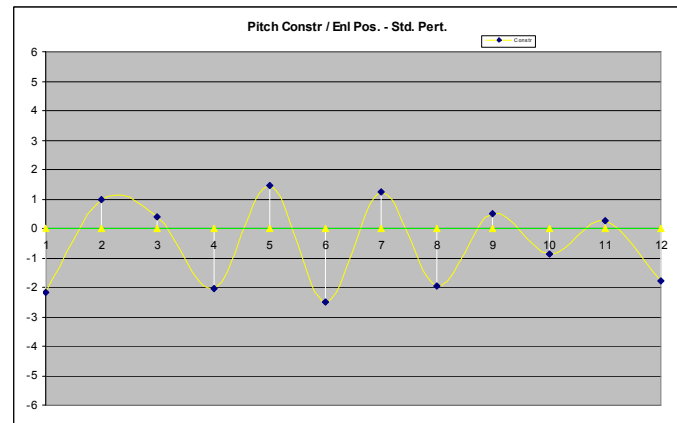
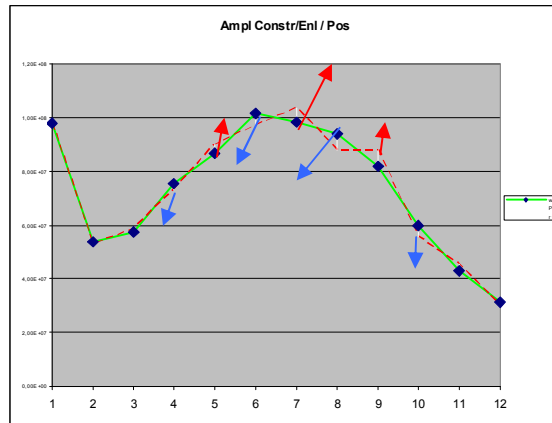
Es wurden nochmals Meßreihen mit einer neuer Konstellation durchgeführt. Der kleinere Bolzen ist 19mm lang und hat einen Durchmesser von 4,8 mm. Er verursacht eine Reduktion des durchströmten Fläche von 19 %, etwas mehr als das Potential der Standard-Perturbationshülse mit Innendurchmesser 10mm und Länge 20 mm (16,5% bei Constriction). Das generierte Perturbationsvolumen entspricht in etwa der Standardperturbation aus den ART Versuchen. Das magnetische Zentrum ist schmaler, was Positionierfehler nochmals reduzieren soll, liefert aber wie Hülse Radius 0,5mm die meisten Messfehler wegen zuwenig Potential.

## IR Reflex-Positionsabweichungen:

Auffällig ist ein akustischer IR-Mehrversatz um ~ 65cm kurz **vor XM-PN.** =max. Ampl. Änderungen

Hüllkurven der Impedanz Peak Maxima - Änderungen hier:

**Ungerade NT** erfahren hier durch Constriction Impedanz Peak Gewinne, **Pitch steigt kaum** noch  
**Gerade NT** erfahren hier durch Constriction Impedanz Peak Verluste, **Pitch fällt noch stärker**

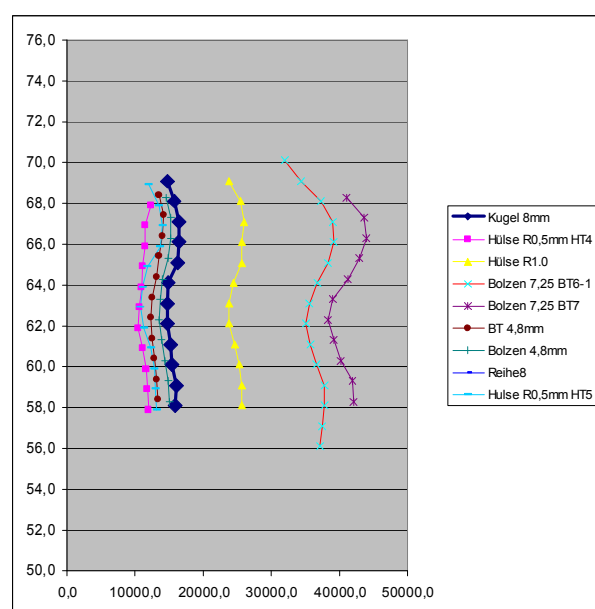
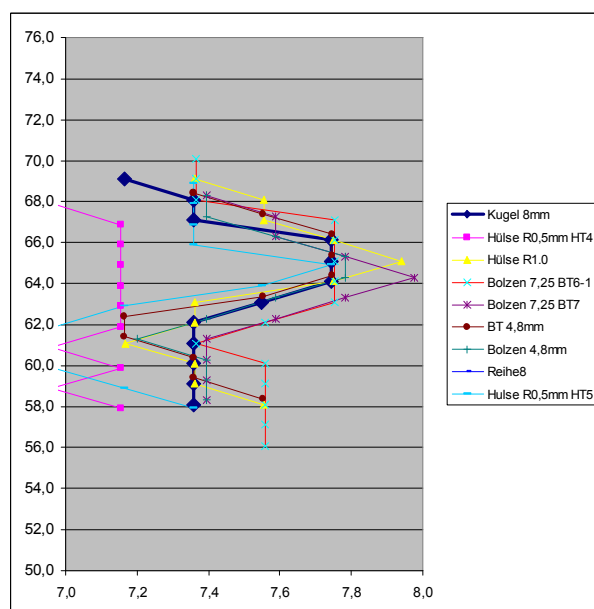


ART Sim. Imp. Hüllkurve: Constr. bei 65cm NT im Bereich der MPC 1st Popp. Frequ. haben in Magn. Pot NT7/NT8 ist „gestört“ Summe hier auch wesentlich mehr Vertiefungs-Pot.

**Pfeile: beide Effekte zusammen mit Std. Pert., mit Kugel und Bolzen noch viel mehr!**

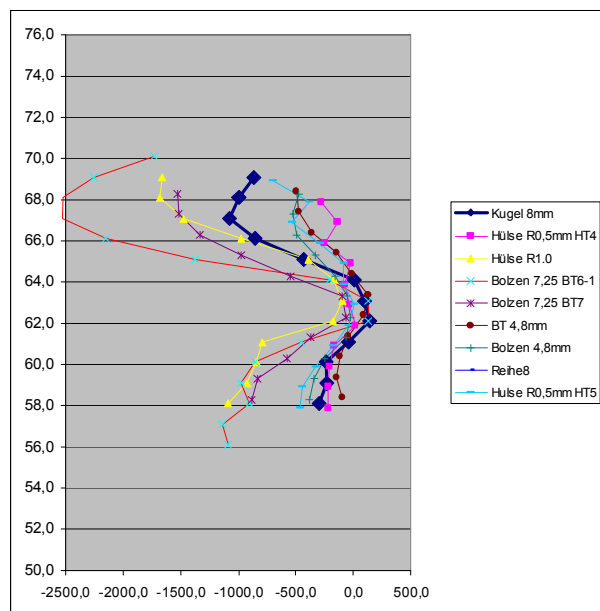
Eine einhergehende Auswirkung auf die akustische Gesamtlänge in diesen Bereichen habe ich aber nicht feststellen können, ebenso auch keinen Zusammenhang auf die Bell IR-Maxima Werte, allerdings **steigt in diesem Bereich der Abstand der Reflexe zueinander an**, was bei nur der Verwendung Reflex-Mitten als Referenz zu einer Abweichung Richtung Schallbecher führt.

Der 2. -IR Reflex (vom Schallbecher) hat **hier** immer ein Übergewicht zum 1. +IR Reflex. (Constr.) Das ist scheinbar durch eine vermehrte Impedanz-Reduktion (NT6+8 gegenüber NT7) zurückzuführen, der größere Abstand auf die ungleichen Pitch Pot. Verhältnisse.

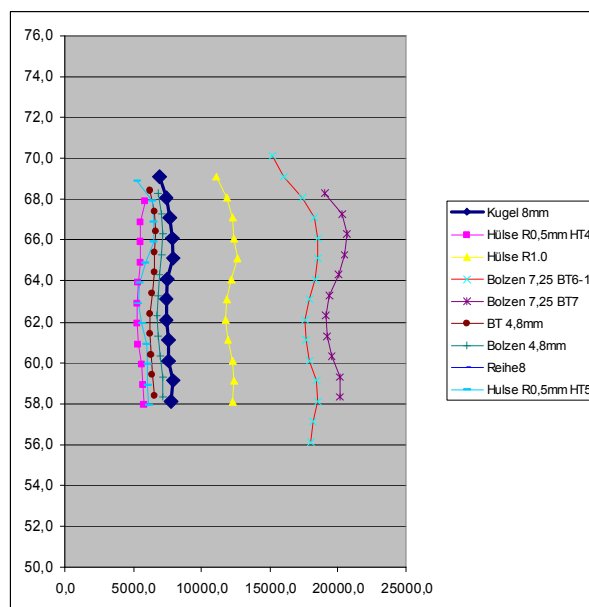


Abstand der IR-Reflexe in cm ist bei ~65cm am größten

Reflex TL: pos+neg.

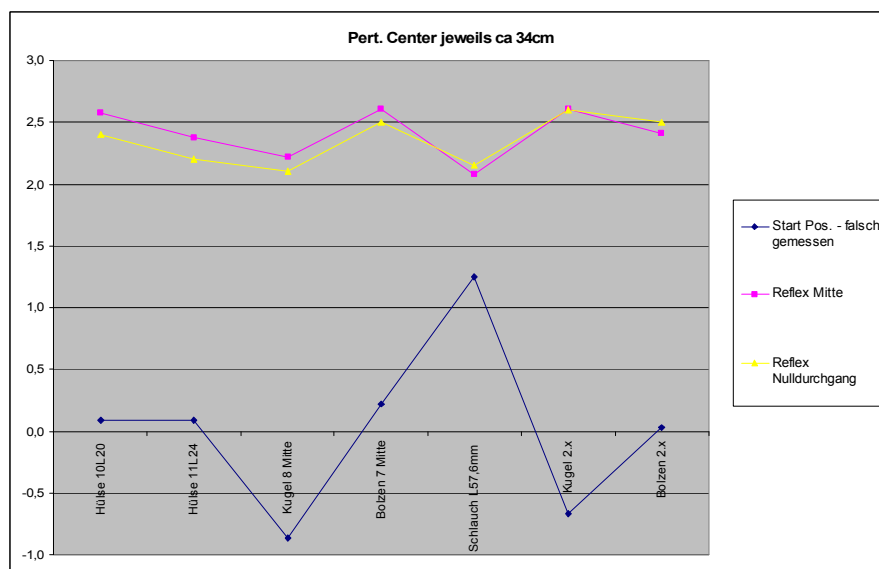


IR-Reflex Mittelwert / pos/neg. Abweichung  
bei XM-IN gegen Null, um XM-PN max. negativ

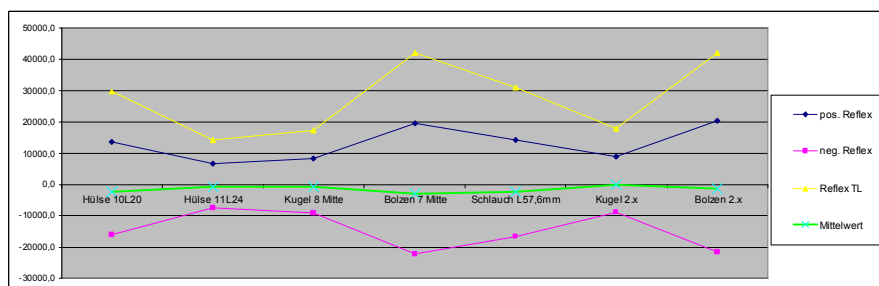


1. Positiver Reflex Pot.

### Unterschiedliche Perturbationen an selber Position im Vergleich:

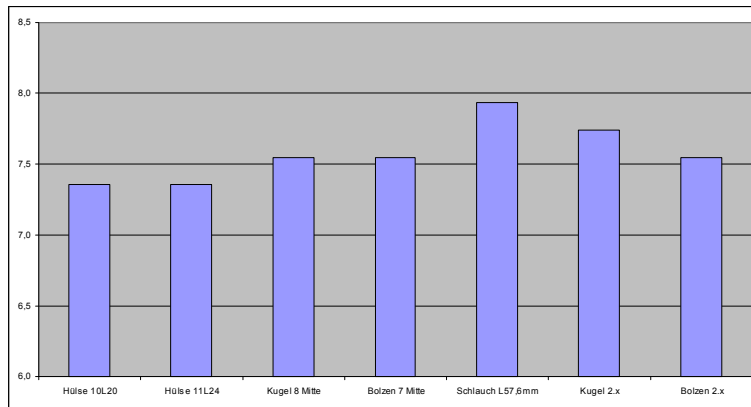


Unterschiedliche Perturbationen,  
Kugel und Bolzen 2. x war Temp. +0,2 Grad, dh. hier falsch bemessen,  
gegenteilige Differenzen zeigen die Ungenauigkeiten beim Positionieren!



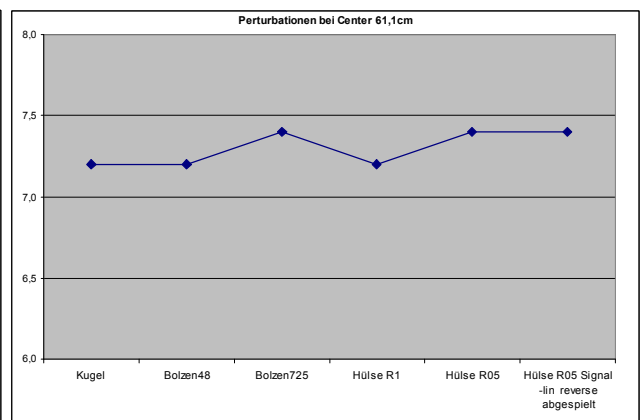
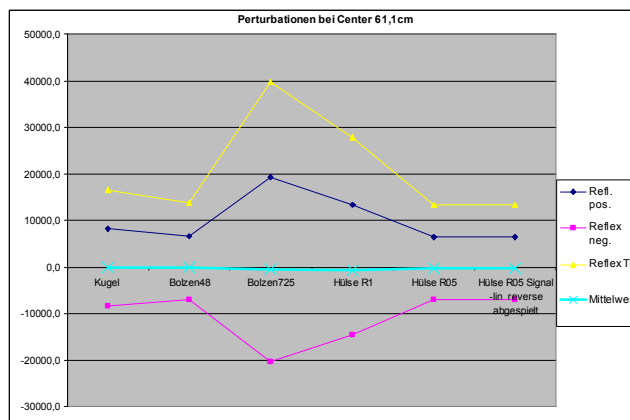
Unterschiedliche Perturbationen, Zentrum hier jeweils ca Pos. 34cm, IR-Reflex Potential





Abstand der Reflexe in cm bei unterschiedlichen Perturbationen, Zentrum hier jeweils ca 34cm, Die Länge der Perturbation reicht von <8mm (Kugel) bis sehr lang (Schlauch = 57,6mm)

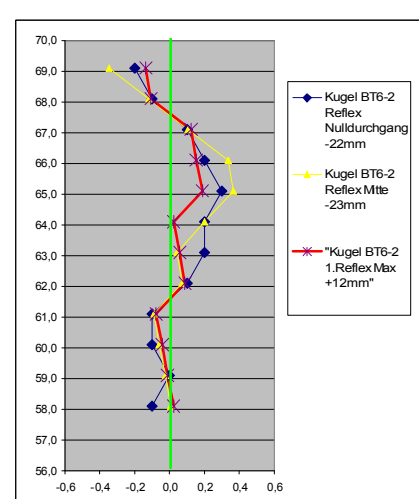
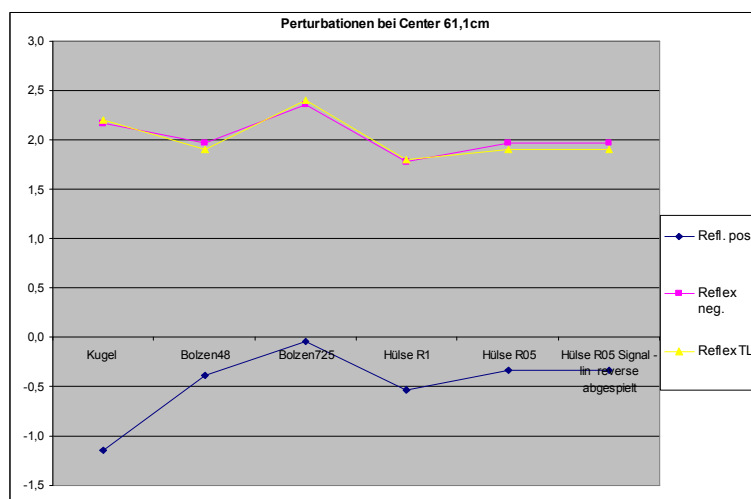
Das Reflex-Potential bildet sich nicht vollständig ab, erscheint aber teils in Summe. Das geringste Potential verursacht etwas weniger Abstand, eine große Länge erhöht diese etwas, so wie eine massive Einengung des Durchmessers (**Pitch Pot down**)!, auch wenn nur sehr kurz z.B. (Kugel).



Verschiedene Perturbationen, Center bei **XM-IN1 ~61,1cm**. Hier haben **pos. und negativer** Reflex bei allen Pertubationsarten **~ das selbe Potential**.

Der Abstand der Reflexe schwankt bei XM-IN1 nur 1 Sample zwischen 7,2 und und 7,4cm. (aus Bolzentest Nr.7)

Kugel 8mm, Bolzen 4,8mm und Hülse R0,5mm haben hier annähernd das selbe IR Reflex-Pot. Hülse 1,0mm hat fast das doppelte Potential, **Bolzen 7,25mm hat rund 2,5 mal soviel IR Pot.**



Um XM-IN1+2 haben die Reflexe den geringsten IR Reflex Potential Unterschied, als auch das geringste Impedanzmagnituden-Veränderungspotential even/odd.

Daher sind in diesem Bereich die Nulldurchgänge zur Mitte der Reflexabstände praktisch ident. Wird **nur die 1. Reflexspitze** als Indikator verwendet, ist dieser an diesen beiden Positionen von der Perturbationslänge abhängig, an allen anderen Positionen gibt es Abweichungen davon!

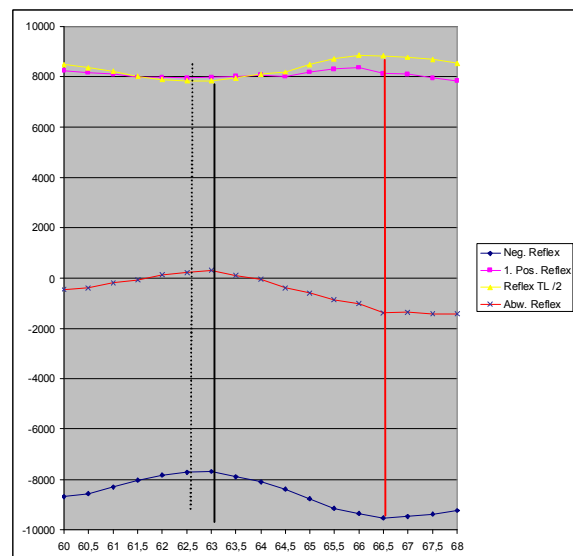
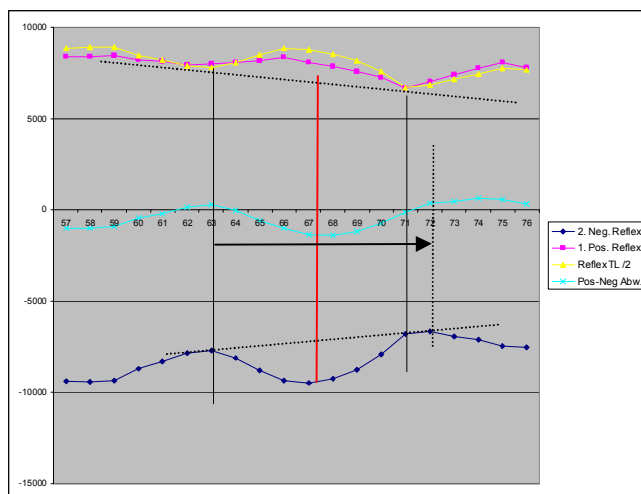
*Die „scheinbar geringeren“, aber falsch berechneten Startabweichungen mit Bolzen und Hülsen mit einer Perturbationslänge von je ~2cm und somit ~1cm früherer Startposition sind reiner Zufall! Bei der Kugel, bzw. bei Perturbationen an Rohren ohne Mundstück wird das ersichtlich.*

Die Kugel hat (neben einem Loch) als einzige Perturbationsart keine Start/Stop Position, sondern nur **ein** exakt definiertes Zentrum.

Betrachtet man die systematische Veränderung der 2. negativen Reflexspitze vor u. nach XM-PN, so wird erkennbar, dass die **Positionsabweichung geringer** ausfällt, wenn man **bei der Kugel nur die 1. pos. Reflexspitze verwendet** und den ermittelten Wert von **13mm dazu addiert**, dies entspricht dann der physikalischen Position der Kugelmitte +/- 2mm! (rot)

## Physische Position Impedanz Magnituden Nulldurchgänge mit Perturbation

### Kugel, Long Term Test Nr.9 Ergebnisse:



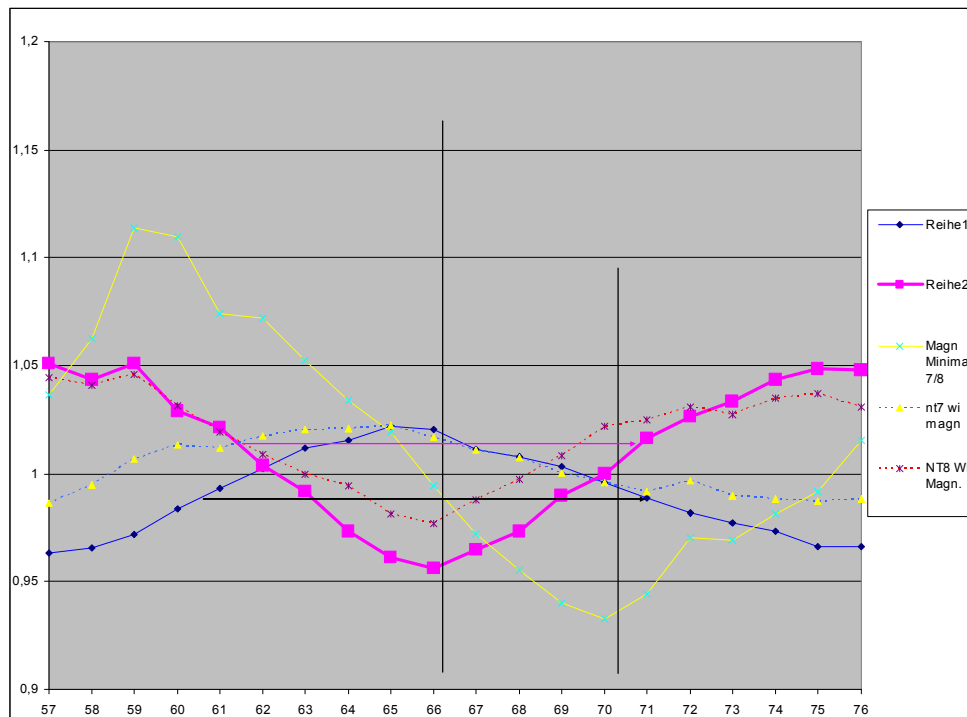
Impulse-Response Reflex Pot., phys. Pos. 57-76cm: phys. Pos. 60-68cm in 0,5cm Schritten:

Wo der TL-IR-Reflex auf der **IR-Skala mit Start bei 0cm** lokal am geringsten ist, = neg. Reflex ist hier am kleinsten, liegt die Position ~ -2,2 cm physisch, wo Peaks ohne Pitchversatz (NT7/8) Imp. Magnituden Nodes haben =XM IN1+2. (Die obigen Grafiken zeigen die physikalische Position.)

Die 1. pos. IR Reflexspitze erscheint bei der Kugel jeweils ca. 1,3cm vor diesen phys. Positionen. Der Nulldurchgang von 1. pos. zu neg. Spitze erscheint bei der Kugel ~2,2 cm nach der phys. Pos.

Obwohl das gesamte Impedanzspektrum als Quelle dient, entsprechen die „overall“ WL-Abstände und Positionen jenen von ~NT8 (mit einer Breite).

Wo der negative Reflex lokal am größten ist (rot), liegen die physischen Positionen für max. Magn. Pot. = um XM Pitch NT7/8



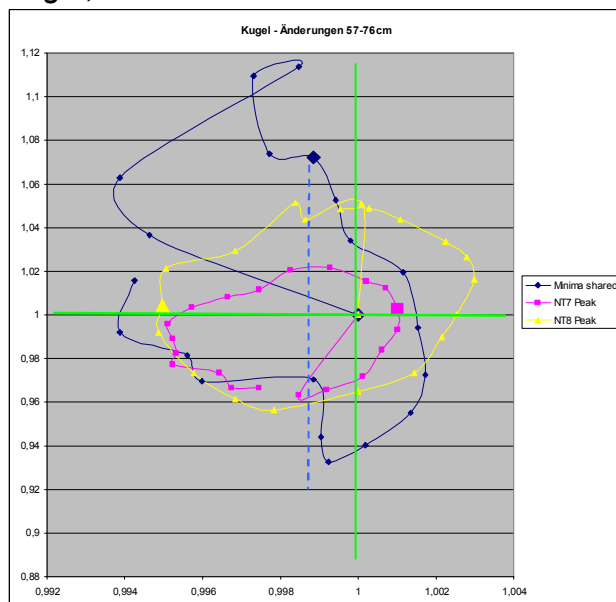
Rosa: Impedanz Magnitude Peak Maxima NT 8, Blau: NT7, Gelb: shared Minima Magnitude  
Pfeile zeigen die Wellenlänge und somit **einen vorhandenen Versatz** der Magn.Nulldurchgänge!

Peak NT7 ist nach unten verschoben, NT8 ist nach oben, beide Nullpunkte dadurch etwas später

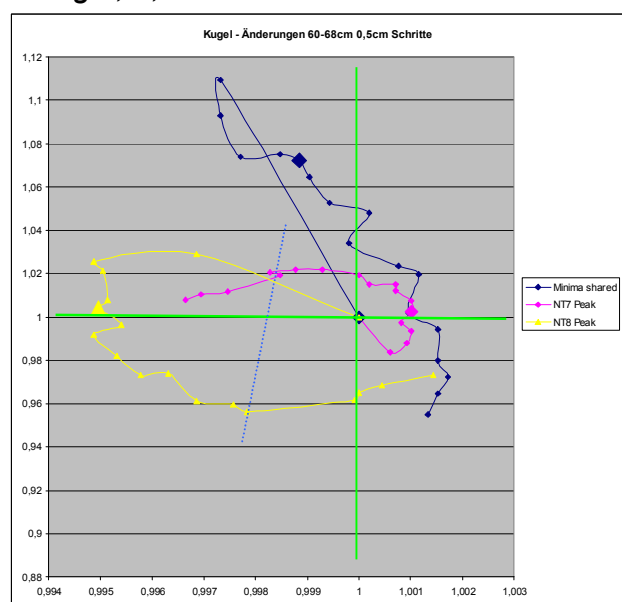
Shared Minima Magnitude quert bei Max. Magn. Pot., und hat ihr abs. Min. Magn. bei XM-IN2!  
Das absolute Max. liegt mit Kugel aber wesentlich vor der Position XM-IN1, mit Bolzen 725 nicht!

Wave Impedanz Magnituden sind versetzt (weil auch Minima vor NT7 und nach NT8 beteiligt sind).

**Kugel, 1 cm Abstände 57-76cm:**



**Kugel, 0,5 cm Abstände 60-68cm:**



**Positionsverlauf Constr.: Peak Maxima gegen den Uhrzeigersinn, shared Minima im Uhrzeigersinn!**  
jeweils Center-Pos. 62 cm markiert, starke Pitch Vertiefung (**..für ungerade NT um XM-IN2!**)  
mit Kugel Peak Magn. NT7 mehr down, auch shared Minima Freq. stark down.  
Deutlich größere Pitch Unregelmäßigkeiten **an Pressure Nodes**: NT8 um 62cm, NT7 um 71cm

## Übersicht durchgeführter IR-Messungen, Pos. Abw. in cm (inkl. Messfehler)

