

Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten

Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten.

Teil 2A: Akustik von Zylinder, Konus, Hörnern und die Mensur von Blechblasinstrumenten, eine Einleitung

Projektstand 24.11.2024, Revision 20.0

Die aktuellste Version dieses Dokuments finden Sie auf der Projektseite:

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

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



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



Hermann Preisl

Altwaidhofen 45
3830 Waidhofen/Thaya, Austria

brassissima@preisl.at

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

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

| Inhalt Teil 2A: | Seite |
|--|-------|
| Vorwort & Einleitung, Hinweis auf weitere Teile und Sideletter #1-#3 | 3 |
| Von Stoßwellen zur Bildung von stehenden Wellen in Rohren | 5 |
| Zylindrisches Rohr, einseitig offen | |
| Wellenwiderstand / akustische Impedanz | 8 |
| Offene Rohrenden | |
| Endkorrektur an offenen Enden bei sprunghaftem Übergang | |
| Zylindrisches Rohr, beidseitig offen | |
| Sprunghafte Änderung des Durchmessers | 9 |
| Geschlossenes Rohrende | |
| Der Begriff „Klang“ | |
| Einfluß der Raumakustik auf Klang und Lautstärke | 10 |
| Sinus, Teiltöne, Fouriertransformation | |
| Impulseresponse | |
| Nicht sinusförmige (lineare) Anregung, Summenprinzip | |
| Eingangsimpedanz – Begriff | 11 |
| Verluste | 12 |
| Modellierung von Verlusten bei Simulation | 13 |
| Weitere Formen - Kegel (Konus mit geschlossener Spitze) | |
| Kegelstumpf – Konus mit nicht vorhandener Spitze, offen | 14 |
| Kegel / Konus mit geschlossenem kl. Ende und offenem gr. Ende | 15 |
| Reflektion und Abstrahlung | |
| Hörner = Impedanzwandler, Reflexion und Abstrahlung | |
| Besselhörner, Frequenzen und Impedanz Peak Magnituden | 16 |
| Duale von Formen haben selbe Frequenz | 18 |
| Der Einfluß vom Gesamtvolumen zur Länge – Stimmung und Ansprache | 19 |
| Bessel Flare Code 0,7071 | |
| Hörner in Kombination mit zus. zyl. Rohren – Frequenz, Impedanzänderungen | 21 |
| Typische Schallbecherdimensionen von Trompeten, Kornetts u. Flügelhörnern | 22 |
| Schallstück Endausladung/Durchmesser - Effekte auf das Instrument | 24 |
| Mundstück – Genereller Effekt auf das Gesamtinstrument „Trompete“ | 25 |
| Akustische Länge des MPC + Bechers variieren mit Frequenz | 26 |
| Trompetenmundstücke, innere Form, Volumen und deren Auswirkungen | |
| Nicht OFF-Topic: Luft! | 28 |
| Eingangs-Impedanzkurven verschiedener Grundformen im Vergleich | 28 |
| Vom Mundstück zum kompletten Instrument – am Beispiel eines Kornetts, Eingangsimpedanz Vergleich | 29 |
| Nochmals komplett zurück zu den Wurzeln um den Faden nicht zu verlieren! | |
| Longitudinale Wellen vs. Transversalwellendarstellung | 30 |
| Physik, Bernoulli, Trägheit und Steifigkeit/Speed/Particle Displacement | 32 |
| Ein paar Statements zu Blechblasinstrumenten generell – How it works: | |
| Impulse-Response einer Trompete mit Ventilen – Überblick: | 33 |
| Auswirkungen von lokalen Mensuränderungen - Überblick: | |
| Eine Standardkombination sieht in den meisten Fällen folgendermaßen aus | 34 |
| Engmensurierte Blechblasinstrumententypen vs. | 35 |
| Weitmensurierte Blechblasinstrumententypen und Gemeinsamkeiten | 36 |
| Ventile ergeben unterschiedliche zylindrische Anteile + Kombinationsfehler | |
| Die Eingangsimpedanzkurve und das Matching von subjektiven Empfindungen | 37 |
| Zusammenfassung, etwas Humor und etwas Kritik | 40 |

Vorwort - Worum geht es in dieser Dokumentation?

Eigentlich sollte diese nun mehrteilige Arbeit nur einige Notizen für mich selbst beinhalten, die sich im Zuge der Vermessung einer virtualisierten Trompete ergeben haben. Jetzt ist daraus aber eine stattliche Ansammlung an Resultaten geworden, ergänzt um einige fundamentale Hinweise und Thesen. Da zum Verständnis Vorwissen notwendig ist, habe ich Teil 1 und diesen Teil 2A als Einführung in die Materie erstellt.

Um die Stimmung und Ansprache bei Blasinstrumenten gezielt verändern zu können, muß man die exakte Lage der Druck- und Flußverläufe und vor allem die effektiven Auswirkungen, die eine kleine Durchmesser-Änderung im Rohrverlauf „Perturbation“ bewirken kann, genau kennen. Umso genauer diese Kenntnisse sind, desto besser können Auswirkungen auf Änderungen vorhergesagt werden und umso genauer sind die Ergebnisse von geplanten Optimierungsversuchen.

Natürlich gibt es zahlreiche wissenschaftliche, mathematische Abhandlungen und Berechnungsversuche darüber, diese sind für meine Zwecke und Optimierungsversuche einzelner Instrumente aus Komplexitäts- und Zeitgründen aber teils nicht verwertbar. Meist ist es dazu auch notwendig, die exakten Abmessungen zu kennen. (Simulation) Viele sind nur für Physiker & Mathematiker verständlich und diese überfordern mich leider. Diese Dokumentation soll so einfach wie möglich sein und nicht mit diesen Diplomarbeiten konkurrieren, sondern meine Erkenntnisse Interessierten verständlich zugänglich machen.

Mit dem Projekt sollten vor allem bei mir vorhandene MPC-Equivalent Kurven aktualisiert werden, die als Vorlage für andere Trompeten verwendet werden können und auch für viele andere Fragen hatte ich bisher keine verwertbaren Antworten recherchieren können. Ich denke diese Dokumentation kann für viele Interessierte eine Bereicherung sein.

Einleitung:

Im Teil 1 habe ich mich in das Thema einführend mit der Problematik von Stimmungssystemen, Ventilblasinstrumenten und Effekte im Ensemble beschäftigt.

Es wurden Teile von Musikkunde als auch psycho-physische Phänomene die beim Hören im Gehirn stattfinden skizziert. Ich habe versucht verschiedene Einzelthemen miteinander zu verlinken, jeweils aus der Sicht eines Komponisten, des Zuhörers, der Musiker. Teil 1 hat sich also bewusst mit dem mehr musikalischen Teil um das Thema „Stimmung“ befasst und mit Problemen anhand von Längen der Ventilschlaufen und deren Optimierung.

Die Akustik die für Blechbläser relevant ist wurde nur schemenhaft behandelt. Da diese teilweise doch sehr komplex ist, habe ich diesen Teil erstellt, um die Vorgänge in Blechblasinstrumenten einleitend zu beleuchten.

Die Wissenschaft trägt viele Blüten. Es gibt viel Forschung, man simuliert auf Computern, man versucht alles zu beweisen und berechnen, allerdings kommt man rasch zu dem ernüchternden Ergebnis, daß nicht erst seit der Einführung von Ventilinstrumenten speziell Intonationsprobleme nach wie vor bestehen und diese auch mit Computertechnik nicht ganz aus der Welt zu schaffen sind.

In den folgenden Kapiteln zeige ich warum es diese Problematik überhaupt gibt, wo die jeweiligen Ursachen liegen, und daß Mensur die veränderliche Grundlage für Klang als auch Tonproduktion darstellt.

Dazu ist es notwendig ein Verständnis dafür zu bilden, wie der ganze Kreislauf „Klang“ überhaupt funktioniert, d.h. wie die Tonproduktion abläuft, wie das Produkt „Klang“ geformt werden kann, wie dieser zu den Konsumenten gelangt und von diesen angenommen und bewertet wird.

Es folgt ein Vergleich der verschiedenen Grundformen von Zylinder, Konus, und Hörnern und Kombinationen daraus. Welche Rolle „Mensur“ und Volumen spielen, was man aus Impedanzkurven und Impulserespons ablesen kann, und welche resultierenden Auswirkungen und Funktionen Schallbecher und Mundstückdimensionen, als auch Ventilschlaufenlängen (gedrückte Ventile) auf das Gesamtsystem haben.

Anhand dieser Grundlagen kann man beginnen Instrumente zu vermessen, objektiv zu vergleichen und gezielt zu modifizieren. Wie ich das versuche und welche Ergebnisse erzielt werden können zeige ich in den weiteren Teilen meiner Dokumentation.

Dieser Teil 2A wurde möglichst „simple“ gehalten und soll einen groben Überblick bieten.

Teil 2B beschäftigt sich intensiv mit Grundlagenforschung anhand simpler Geometrien

Teil 2C mit Perturbationen von closed Cylinder und Frustum closed-open.

Teil 2D Mundstücke, Mundrohre und schwerpunktmäßig Hörner und Schallbecher

Teil 2E Mode matching, Erfindungen, Ideen und Schallbecherstürzen

Teil 2F Mundrohre als verbindende, korrigierende und gestaltende Elemente

Sideletter #1-#6 sind erst 2022-2024 entstanden, diese dienen als Referenz und Ergänzung zu den bereits vorliegenden Teilen der Arbeit.

Sideletter #1 beschäftigt sich mit Physik, Mathematik, Analogien aus Elektrotechnik

Sideletter #2

tiefgründige Forschung und Ergebnisse anhand zylindrischer Rohre

invers proportionales Potential von Querschnittflächen

Zusammenhänge von Rohrlänge und Querschnitt

Input Impedanzmagnituden, Resonanzfrequenzen und ihre Zusammenhänge sowie komplexer Impedanz, Phasen und der Ketten-Matrix Methode (TMM)

Sideletter #3-6

Änderungen durch Perturbationen an zylindrischen Rohren

Berechnung von Querschnittänderungen

Die weiteren Projektteile 4-8 befassen sich Messungen und Änderungen an Trompeten.

Von Stoßwellen zur Bildung von stehenden Wellen

Hier soll kurz und möglichst verständlich aufgezeigt werden, welche physikalischen Änderungen über der Zeit ablaufen, die entweder eine stehende Welle „Resonanz“ bilden oder eine „Antiresonanz“ in der großteils eingeschlossenen und gerne genannten „Luftsäule“ hervorrufen.

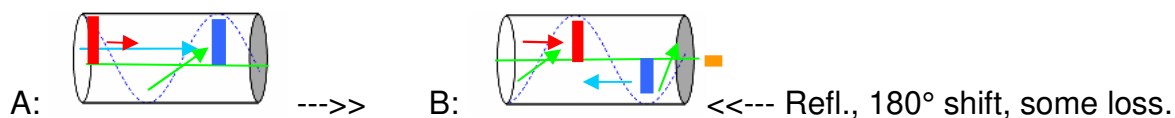
Simplees zylindrisches Rohr, einseitig offen

Die Grafiken zeigen hier jeweils Druckzustände und nicht die Partikel-Auslenkung am Beispiel eines idealen zylindrischen Rohres, das hier links geschlossen und rechts offen ist. Auswirkungen der Rohrlänge und Durchmesser werden später behandelt.

Die jeweils gezeigten Momentaufnahmen sind rein zufällig der zeitlichen Abfolge entnommen und mit Buchstaben durchnummeriert (A-D).

Damit in einem mit Luft gefüllten Rohr eine Schockwelle entstehen kann, die sich immerzu in der selben Richtung fortpflanzt, ist es notwendig, daß die einzelnen Luftmoleküle sich leicht aus ihrer Ruhelage bringen lassen, was bei Luft der Fall ist. Luft lässt sich mit verhältnismäßig geringem Energieaufwand etwas verdünnen, wie auch verdichten.

Ob der 1. initiale Impuls nun ein Über- oder Unterdruckimpuls ist spielt am Prinzip keine Rolle, wenn die weiteren Impulse ebenfalls phasengleicher Art sind. Anstelle eines Blasens in das Rohr wäre auch genauso ein Saugen denkbar. Ebenso können die Druckimpulse auch am offenen Ende zugeführt werden (Panflöte, gedeckte Orgelpfeife etc.), oder an einem beliebigen Punkt in der Rohrwand.



A: Ein 1. blauer Überdruckimpuls = „Spitze einer Schockwelle“ wurde Richtung offenes Ende losgeschickt, wird hier großteils reflektiert werden und wandert später bei Zeitpunkt B: schon als Unterdruck-Impuls retour. Es wandern aber nicht die Luftmoleküle selbst die ganze Strecke, sondern jedes wird in Flußrichtung angestoßen und gibt die seine Bewegungsenergie an seine Nachbarmoleküle weiter. Bei Überdruck werden Partikel zusammengedrückt (mehr Partikel bei gleichem Volumen, bei Unterdruck auseinandergezogen (weniger Partikel).

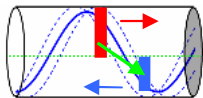
Der Impuls **behält seinen Überdruck**, durch den Überdruck fehlen nach diesem Impuls aber Luftpartikel, ein erster Unterdruck „Sog“ im Schlepp entsteht und der weiter laufende Überdruckimpuls erleidet über die Strecke bereits etwas Energieentzug. Der Sog wandert hinter dem Überdruckimpuls nach. Grüne Pfeile zeigen die momentane Flußrichtung der Moleküle.

Die grüne Mittellinie repräsentiert Umgebungsdruck, hier haben die Partikel ihren Ausgangsabstand (Dichte) zu einander.

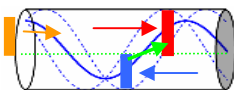
Die blau gestrichelten Kurven sind in diesem Moment nicht von Bedeutung, zeigen aber, was später passieren wird. Wir haben noch keine „stehende Welle“, sondern 1 Impuls samt Unterdruckregion im Schlepp und ein 2. zusätzlicher roter Überdruckimpuls begibt sich soeben auf die Reise....

In diesem Fall wurden der Zeitpunkt für den 2. Impuls bereits so abgestimmt, dass sich später 3 Druckknoten bilden werden, d.h. der ~ 3. mögliche Mode abgebildet wird. Die Geschwindigkeit über die Zeit = Frequenz entscheidet also über die weiteren Auswirkungen.

Zeitpunkt B: Der 2. Überdruckimpuls ist nun bereits ebenso weitergewandert. Überdruck Puls1 hat einen Teil seiner Bewegungsenergie zugunsten Schallabstrahlung etwas eingebüßt; dabei hat er einen Richtungswechsel erfahren; und wandert etwas reduziert und zudem nun als Unterdruck-Impuls in die entgegengesetzte Richtung – siehe Wellenimpedanz offenes Rohr weiter unten.



C: eine kurze Zeit später... sind diese am Weg um bald aneinander vorbeizuwandern. Die durchgehend blaue Linie zeigt den jeweils lokalen Druckzustand, den die resultierende stehende Welle = Summe von Über und Unterdruck später annehmen wird. Es zeichnet sich ab, dass an der Stelle des Aneinandertreffens für einen Übergangsmoment lokal Umgebungsdruck herrschen wird, was maximalen Partikelfluß/Auslenkung bedeutet.



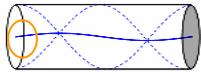
D: Hier sind die Impulse bereits aneinander vorbeigewandert, der Nulldurchgang mit kurzen Normaldruck bleibt allerdings bestehen, was bedeutet, daß dort nach wie vor die selbe Anzahl an Luftmolekülen vorhanden ist. Da diese zwangsläufig vom Unterdruckbereich in den Überdruckbereich gedrängt werden ändert sich die Flußrichtung, der Fluß nimmt aber mit der Entfernung ab. Das System beginnt zu pulsieren/schwingen.

Die zugeführten Schockwellen wandern weiter, ein 3. Überdruckimpuls wird in Kürze hinzugefügt und wird sich mit dem 1. jetzt noch Unterdruckimpuls kreuzen. Hier entsteht der 3. notwendige Druckknoten und zeitgleich in Summe am geschlossenen Rohrende ein Unterdruck. Der 2. Rundlauf hat soeben begonnen.

Die Schockwellen laufen weiter im Kreis, zusätzlich fließen Luftmoleküle an den 3 Druckknoten (Pressure Nodes) alternierend vor und zurück und bilden dazwischen alternierend Über- und Unterdruckbäuche (Pressure Antinodes). Endet die Zufuhr von Impulsen oder stimmt deren Zeitpunkt (Phase) nicht, so klingen die Schwingungen rasch ab. Die Schockwellen laufen ihre Runde zu Ende, bilden alleine aber so am geschlossenen Ende keinen Über- oder Unterdruckbauch mehr.

Die ausgebildete stehende Welle hat am offenen Rohrende **durch die Summe** der Druckdifferenzen immer einen Druckknoten = max. Partikelfluß, am geschlossenen Rohrbeginn und zwischen den Druckknoten Druckbäuche, die alternierend / pulsierend Überdruck oder Unterdruck aufweisen. Die Bildung einer stehenden Welle beginnt daher mit der 1. inversen Reflektion am offenen Rohrende.

Stehende Wellen für Resonanzen in einem einseitig geschlossenen Rohr können nur dann entstehen, wenn durch fortlaufend zugegebene, periodisch, zeitlich passende Druckimpulse in Summe am geschlossenen Ende ein Über- oder Unterdruck und zu gleicher Zeit am offenen Ende Umgebungsdruck vorliegen und Druckimpulse in entgegengesetzte Richtungen laufen. Siehe A: und B: die gestrichelte blauen Linien. Es zeigt das Szenario, das am geschlossenen Ende beim Impedanz Peak Maxima von Mode 3 vorliegt, d.h. hier ist das Verhältnis von Druck (max) zu Fluß (min.) am größten.



Wird eine Tonhöhe mit einer korrespondierenden Wellenlänge gewählt, die gerade Vielfache des Grundtones sind, dann löschen sich die Druckverhältnisse der entgegenlaufenden Impulse am geschlossenen Ende in Summe aus, dies sind die Input Impedanzminima zwischen den möglichen Input Maxima. Hier herrscht ein Verhältnis von wenig Druck zu sehr viel Fluß! Hier eine Situation, die das Impedanzminima unterhalb des Mode 3 beschreibt.

Selbstverständlich sind nicht nur diese 2 Extreme, sondern jeder Zustand dazwischen möglich, es sind dann die Flanken der Peaks in einer Eingangsimpedanzkurve (später..)

Einseitig geschlossene Zyl. produzieren stehende Wellen daher am effektivsten bei jeweils ~ ungeradzahligem Vielfachen des Grundtons. **Die Rohrlänge** entspricht beim Grundton **1/4 der Wellenlänge**. Hat das Rohr z.B. 1m Länge, so ist die Wellenlänge des Grundtones 4m lang. Die Wellenlänge ist zur Tonhöhe immer reziprok, d.h. 1/Frequenz.

Der 1. Mode = 1. ungerade # = 1 ist der Grundton, die tiefste Resonanzfrequenz = 4m.
 Der 2. Mode = 2. ungerade # = 3 hat somit eine Wellenlänge von $4m/3 = 1,33m$,
 Der 3. Mode = 3. ungerade # = 5 hat eine Wellenlänge von $4m/5 = 0,8m$ usw.
 Eine komplette Wellenlänge = Schwingung wird hier $1/0,8 = 1,25$ mal in das Rohr passen oder besser gesagt ist die Rohrlänge hier $5/4$ der Wellenlänge.

Der **3. Mode** wird an diesen Viertelabschnitten im Rohr also alle beginnend mit 0 und dann 5 x nach hier jeweils 0,2m pro Roundtrip **durch die Summe** der zugeführten Impulse insgesamt **6 markante Druckzustände** (doppelt so viele als die Mode #) haben, nämlich:

| | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------------------|
| 1./3./5. usw Roundtrip: | | 2./4.6. usw. Roundtrip: | |
| 1. Überdruck (geschlossenes Ende) | | Unterdruck | |
| 2. | Druckknoten | | Flußrichtung alternierend |
| 3. Unterdruck | | Überdruck | |
| 4. | Druckknoten | | Flußrichtung alternierend |
| 5. Überdruck | | Unterdruck | |
| 6. | Druckknoten (offenes Ende). | | |

Wellenwiderstand / akustische Impedanz:

Schallwellen breiten sich wenn Sie nicht behindert werden, möglichst kugelförmig aus. Eine Rohrwandung ist eine Behinderung und man kann einen Widerstand beschreiben, den die lokale Umgebung auf die Bewegung der Schallwelle ausübt. Im Fall des Rohres wird es vor allem durch den Durchmesser bestimmt. Ein enges Rohr hat einen höheren Wellenwiderstand als ein weites Rohr. Der freie Raum außerhalb des Rohres übt ebenfalls einen jeweils lokalen Widerstand auf die Schallwellen aus, dieser ist allerdings bei weitem geringer als der Widerstand im Rohr.

Offene Rohrenden:

Stellt man sich das offene Ende des Rohres als eine plötzliche Erweiterung auf ein unendlich weites Rohr (Umgebung) vor, ändert sich die Impedanz plötzlich in eine viel geringere, es kommt so zu einer ebenso plötzlich geänderten Bewegungsmöglichkeit.

Ein eben noch behinderter Überdruckzustand hat jetzt schlagartig weniger Widerstand ausserhalb des Rohres, Luftpartikel werden plötzlich mit wenig Gegenwehr abgegeben, dies bewirkt, dass einhergehend hier ein Unterdruck entsteht, der für einen Großteil der Moleküle die plötzliche Richtungsänderung = Reflektion hervorruft und nun als Unterdruck Impuls zum geschlossenen Ende zurückläuft. Ein kleiner Rest durchbricht diese Barriere aber und wird als Druckimpuls weiter in den freien Raum abgegeben.

Endkorrekturen an offenen Enden bei sprunghaftem Übergang:

Der abschließende Druckknoten bildet sich bei diesem Austausch erst etwas außerhalb der plötzlichen Öffnung. D.h. Der Austausch findet hier sogar vor dem Rohr statt. Pro offenem Rohrende muss für diese Vorgänge ein (nicht kleiner) fiktiver Betrag zur Rohrlänge gegeben werden – in einer Größenordnung von ca. 30% des Rohr- bzw. Horndurchmessers um dieser Tatsache gerecht zu werden.

Dieser Wert sollte für höhere Moden ebenso ident sein, bei einer Endung in einen Halbraum (Das offene Rohrende sitzt in einer glatten Wand) ca. 40%. Die Angaben gelten für Mensurverhältnisse, wo die Rohrlänge und somit Wellenlängen hoch gegenüber dem Durchmesser sind. Werden Mensurverhältnisse aber **sehr eng**, wie bei Blechblasinstrumenten, ergeben sich weitere Effekte durch Verluste / Reibung, die aber mit der Endkorrektur selbst nichts zu tun haben!

Zylindrisches Rohr, beidseitig offen:

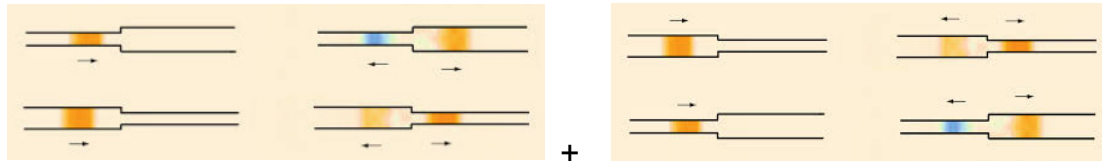
Im Gegensatz zu einem einseitig geschlossenen Rohr passen in ein beidseitig offenes Rohr $\frac{1}{2}$ Wellenlänge, damit die Bedingung erfüllt ist, dass es 1x einen Druckbauch für den Grundton gibt (In der Mitte). Der Grundton eines gleichlangen beidseitig offenes Rohr ist somit um 1 Oktave höher, dafür sind auch geradzahlige Vielfache des nun doppelt so hohen Grundtones möglich.

Im Gegensatz zum 1seitig geschlossenen zylindrischen Rohr (*wie müsste ein ideales geschlossenes Ende eines idealen theor. Rohres tatsächlich aussehen - abgerundet?*) sind hier an beiden Enden Druckknoten, mögliche Resonanzen sind hier daher an den Frequenzen der gemessenen Input Impedanzminima! Der Wellenwiderstand ist gleich dem geschlossenen Rohr, dh. man kann ein geschlossenes Rohr durch ein zusätzliches offenes Rohr mit selbem Durchmesser **ohne Reflektionen** verlängern (oder verkürzen).

Sprunghafte Änderung des Durchmessers:

Hier entstehen wie beim offenen Ende Reflektionen, eine plötzliche Erweiterung ergibt die die selben Grundvoraussetzungen wie ein offenes Rohr, allerdings sind die Impedanzunterschiede wesentlich geringer, ein Teil prallt zurück. (mit 180° Phase-Shift) Bei Verengung kann man hier bereits erahnen, was an einem geschlossenen Rohrende passieren würde, es gibt eine Teilreflektion zurück - aber ohne 180° Phasenumkehr.

Die Grafik links zeigt hier allerdings nur einen Impuls Richtung links nach rechts, es gibt auch einen Impuls von rechts nach links, dh. es passieren entgegengesetzte Reflektionen.



Situation für vorlaufenden Impuls ->

Situation für rücklaufenden Impuls ->

Sprunghafter Übergang, Reflektionen aufgrund Impedanz-Mismatch:

Enlargement = teilweise reflektiert als **negativer Impuls (180 Grad)**; IR: **negativ-**
Constriction = teilweise reflektiert als **positiver Impuls**, **Impulseresponse: positiv+**

Eine Koppelung bewirkt eine komplette Neuverteilung aller Positionen der Druckknoten und Druckbäuche vor als auch nach einem solchen Sprung in Abhängigkeit, wo dieser Sprung stattfindet. D. h. eine resultierende Änderung der Wellenlänge (Tonhöhe) ergibt über die komplette Rohrlänge neue Abstände, es gibt nie eine Zweiteilung bei den Abständen; es gibt nur 1 Wellenlänge, und die bestimmt die Abstände der Knoten! Druckmagnituden sind vor und nach einem Sprung aber sehr wohl zweigeteilt.

Geschlossenes Rohrende:

Dieser Punkt entspricht einer plötzlich viel höheren lokalen Wellenimpedanz, hier wird die Wellenbewegung ja sogar dermaßen behindert, daß diese nur in entgegengesetzte Richtung vorgesetzt werden kann. Negative rücklaufende Unterdruck-Impulse / Luftpartikel sind in der Sackgasse und können nicht weiterwandern, nachfolgende Partikel füllen dieses Vakuum, der dann maximal aufgestaute Überdruck wird aber mit den anderen entgegengesetzten Impulsen in Summe wieder abgezogen, es entsteht stetig mehr Unterdruck, der mit Beginn des 2. Durchlaufs seine maximale Kapazität erreicht hat und ab hier wieder Richtung Überdruck steigt.

Der Begriff „Klang“:

Ein Klang ist die Summe von gleichzeitig vom Ohr empfangenen Luftdruckschwankungen, in denen die tiefste wahrgenommene Frequenz den Grundton bezeichnet und höhere als Partialtöne beteiligt sind. Das Mischungsverhältnis aller beteiligten Frequenzen ergibt stationäre Klänge von obertonarm (vergleichbar mit dumpf) bis obertonreich (strahlend). Lässt man Ein- und Ausschwingvorgänge weg, ist es unserem Ohr oft nicht möglich zu bestimmen, welches Instrument (oder mehrere) diesen Klang produziert.

Ein „Klang“ entsteht also im Gehirn des Hörers, ebenso Differenztöne, Summationstöne, Konsonanz und Dissonanz. Bläser mit ihren Blechblasinstrumenten produzieren also keine Klänge, sondern liefern die Zutaten, die Klänge und das Empfinden ob strahlend, dumpf, zu hoch, zu tief entsteht erst im Kopf des Zuhörers.

Einfluß der Raumakustik auf Klang und Lautstärke:

Dieser „Klang“ beinhaltet noch weitere Zutaten in Form von Echos des Raumes in dem er sich befindet, als auch in Abhängigkeit der Positionen von Quelle und Hörer im Raum den Einfluß der Raummoden. Diese werden von den Raumdimensionen bestimmt. Im Raum bilden sich ebenfalls stehende Wellen. Materialien von Wänden, Boden, Decke sowie Einrichtung, Fenster, Gegenstände, Personen im Raum usw. reflektieren oder absorbieren (schlucken) Schallwellen frequenzabhängig sehr unterschiedlich. Ein voll besetzter Saal klingt wesentlich „dumpfer“ als ein leerer. Der Raum trägt daher einen großen Teil zum Klang- und Lautstärkeempfinden bei.

Sinus, Teiltöne, Fouriertransformation:

Eine rein sinusförmige Anregung wird es in der Praxis nie geben, sondern wiederum eine Summe aus Druckimpulsen, die aus der langsamsten bisher schon beschriebenen, und zusätzlich zeitgleich überlagerten schwächeren, aber mit einer harmonisch vielfachen Geschwindigkeit ablaufenden = Frequenz ($2x$, $3x$, $4x$, $5x$, etc. so schnell) bestehen.

Sinustöne, also Schwingungen ohne jeglichen Teiltongehalt kommen in der Natur nicht vor und ihre Produktion ist eine Erfindung der Mathematik. Werden diese verarbeitet d.h. verstärkt, von einem Medium in Schall umgewandelt =Lautsprecher, etc, so erleiden diese auch hier schnell Verzerrungen und ändern ihre Kurvenform, d.h. sie sind die Summe und Überlagerung mehrerer gleichzeitiger Frequenzen und Phasen.

Der Mathematiker Fourier hat es geschafft diese verzerrte Wellenform auf viele kleinere einzelne Sinuskurven zurückzurechnen. Der aufwendige mathematische Vorgang nennt sich Fourier-Transformation und liefert als Ergebnis das Frequenzspektrum = den Teiltongehalt von Schwingungen mit deren Magnituden im Frequenzbereich.

Bei Blechblasinstrumenten können die Druckschwankungen an der Lippenebene mit einem Mikrophon aufgenommen werden und mit dieser Fouriertransformation wird daraus die Eingangsimpedanzkurve errechnet. Als Quelle dienen z.B. Membranschwingungen eines Lautsprechers, der mit einem angepassten Signal jede Tonhöhe mit möglichst gleicher Amplitude = möglichst gleicher Volumenstrom im Meßbereich abgibt.

Impulseresponse:

Man kann Werte aus dem Frequenzbereich in den Zeitbereich transformieren, dies ergibt dann die Summe der Frequenzen in ihrer zeitlichen Abfolge und wird als Impulseresponse bezeichnet. Man kann sich diese als Antwortkurve vorstellen, die ein ganz kurzer Knall auf dem Weg durch ein Rohr und wieder retour zurücklegt. Das plötzliche Ende eines zylindrischen Rohres wird als negativer Reflex dargestellt, ebenso eine Loch, eine lokale Erweiterung ebenso mit einem beginnenden negativen Reflex und einem darauf folgenden positiven Echo/Ausschlag, eine Einengung dagegen hat einen positiv beginnenden Reflex mit darauf folgendem negativen Ausschlag. Anhand einer Zeitskala kann mit korrekter Schallgeschwindigkeit daraus die Position / akustische Länge ermittelt werden.

Nicht sinusförmige Anregung, Summenprinzip

Die Produktion von mehreren Frequenzen gleichzeitig entsteht durch nichtlineare Schwingungen der Lippenmaße und ist im simplen Fall das Resultat von gesteigerten Luftdurchfluss und/oder Manipulation der Lippenmuskulatur durch den Bläser und dem Bernoulli Effekt. Anders herum ist es nicht einfach diese komplett zu unterbinden. Wir können daher einer Trompete mit Lippen aus Fleisch keinen Blockflötenklang entlocken!

Bei closed-open Zylindern hätte das geringere Auswirkung, da geradzahlig Vielfache der Grundfrequenz (Impedanzmaxima) jeweils an höheren Impedanz Minimabereichen liegen.

Bei beidseitig offenen Zylindern, Konus oder modifizierten geschlossenen Rohren z.B. Blechblasinstrumente mit Mundstück und Schallbecher, wo die Frequenzen dadurch soweit verschoben sind, daß diese annähernd harmonische Verhältnisse bilden ist der Effekt hingegen groß. Die Summe entscheidet über die resultierende „Hauptfrequenz“. Summenprinzip nach Dr. Klaus Wogram, als Regime of Oszilation beschrieb es Dr. Benade. Ebenso wird damit das Phänomen von „Pedaltönen“ verständlich.

Eingangsimpedanz - Begriff:

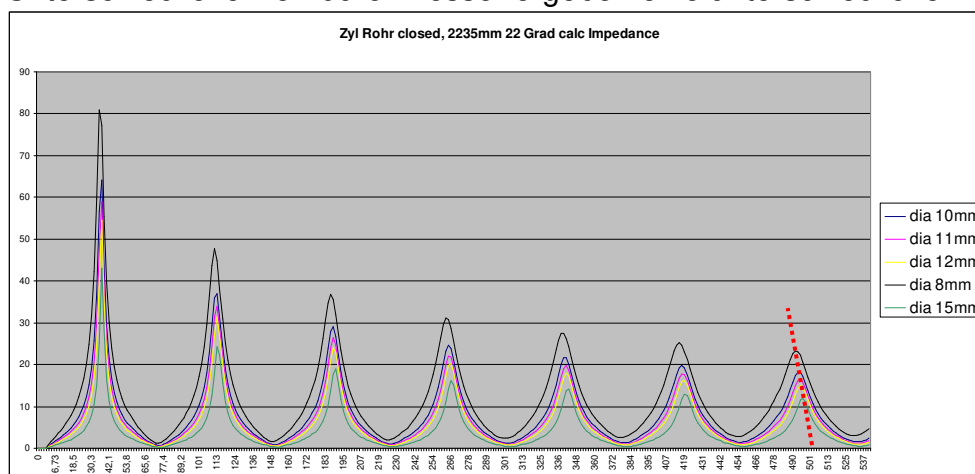
->Im weiteren Verlauf ist bei closed-open Zylindern immer das „closed“ Ende der Eingang! Einseitig geschlossene Rohre bilden stehende Wellen bei Frequenzen umso näher diese an Eingangsimpedanzmaxima liegen, in jedem Fall aber oberhalb der Wellenimpedanz = in der Nähe von ungeraden Vielfachen einer „Grundfrequenz“ = Druckbäuche am Eingang.

Impedanzwerte darunter werden bedämpft, bei $WI = \text{char. Impedanz}$ $Z_c = \text{Rohrwidestand}$, bei Impedanzminima verhindert = Pressure Node am Eingang bei dieser Frequenz. (beim closed-open Rohr hier die geraden Vielfachen der Grundfrequenz.)

Die Eingangsimpedanzkurve zeigt den Betrag von Z_{in} , dem komplexen Verhältnis von Druckschwankungen zu Flußraten am hier geschlossenen Ende, die eine aus Druckimpulsen produzierte exakt gleichförmige Sinusschwingung bei der jeweiligen Frequenz hervor ruft. (Siehe Sideletter #1 und spez. #2)

Es zeigt den jeweiligen Zustand bei einer bestimmten Frequenz. Magnitudenspitzen = Peak Maxima zeigen das Potential eines Druckbauches (alternierend Über/Unterdruck), die Minima dazwischen zeigen Druckknoten bei dieser Frequenz. Die **geometrische** Mitte zwischen Maxima und Minima-Magnitude = Z_c am Schnittpunkte der arithm. Mitte der Frequenzpos. ergibt die Wellenimpedanz bei dieser Frequenz (bei unmodifizierten Zylindern)!

Unterschiedliche Rohrdurchmesser ergeben eine unterschiedliche Wellenimpedanz Z_c :



Mit 8mm Durchmesser sind die Impedanzbeträge wesentlich höher als beim größeren Rohrdurchmesser. Mit beinahe doppelt so hohem Durchmesser 15mm sind die Impedanzmaxima annähernd auf die Hälfte reduziert. (Siehe dazu Sideletter #3)

Bei rein zylindrischen engmensurierten Rohren variiert die Wellenimpedanz nicht über die Frequenz, der Reflektionsfaktor nimmt allerdings zunehmend ab, was hier an den Maxima und Minima der höheren Frequenzen ablesen kann – diese nähern sich der char. Impedanz an.

Salopp kann man sagen es bleibt beim engen Rohr viel mehr Energie in der Röhre oder anders herum gibt ein weites Rohr viel mehr Energie am offenen Ende in den Raum ab. Generell gilt aber – ohne Durchmesseränderung: Umso mehr Zeit die Luftpartikel haben um sich zu bewegen (tiefe Töne), umso stärker können sich die max. möglichen Zustände Über- und Unterdruck ausbilden, tiefe Frequenzen haben daher höhere Input-Magnituden.

Was man ebenfalls feststellt, ist eine reduzierte Tonhöhe bei engeren Rohren, was konträr zur Endkorrektur ist. Wie man sieht überwiegen bei sehr engen Mensuren – das ist hier in allen Fällen gegeben 2200 mm Länge und nur 8-15 mm Durchmesser die gesteigerten Verluste (siehe unten) und der geänderte Wellenwiderstand bereits bei weitem.

Ist die Mensur nicht mehr sehr eng, dann überwiegt wieder die Endkorrektur und größere Durchmesser ergeben tiefere Frequenzen! Ab welchem Durchmesser und Längen das der Fall ist habe ich in Sideletter #3 untersucht.

Da sich aber die Wellenlängen und somit die Positionen und Abstände der Druckknoten und alternierenden Druckbäuche nicht ändern, ändert sich die Geschwindigkeit im Rohr: Ein höhere Wave Impedanz eines engeres Rohr hemmt die Geschwindigkeit noch mehr, als dies bei einem nicht ganz so engen Rohr der Fall ist. Vorgänge im engeren Rohr = mehr Reibungswiderstand müssen langsamer ablaufen, damit das selbe Resultat erzielt wird, die resultierende **Frequenz ist daher niedriger**. Eingangs-Impedanzspitzen, als auch Minimabeträge **sind dagegen höher; die char. Imp. ebenso, wie das Standing Wave Ratio**.

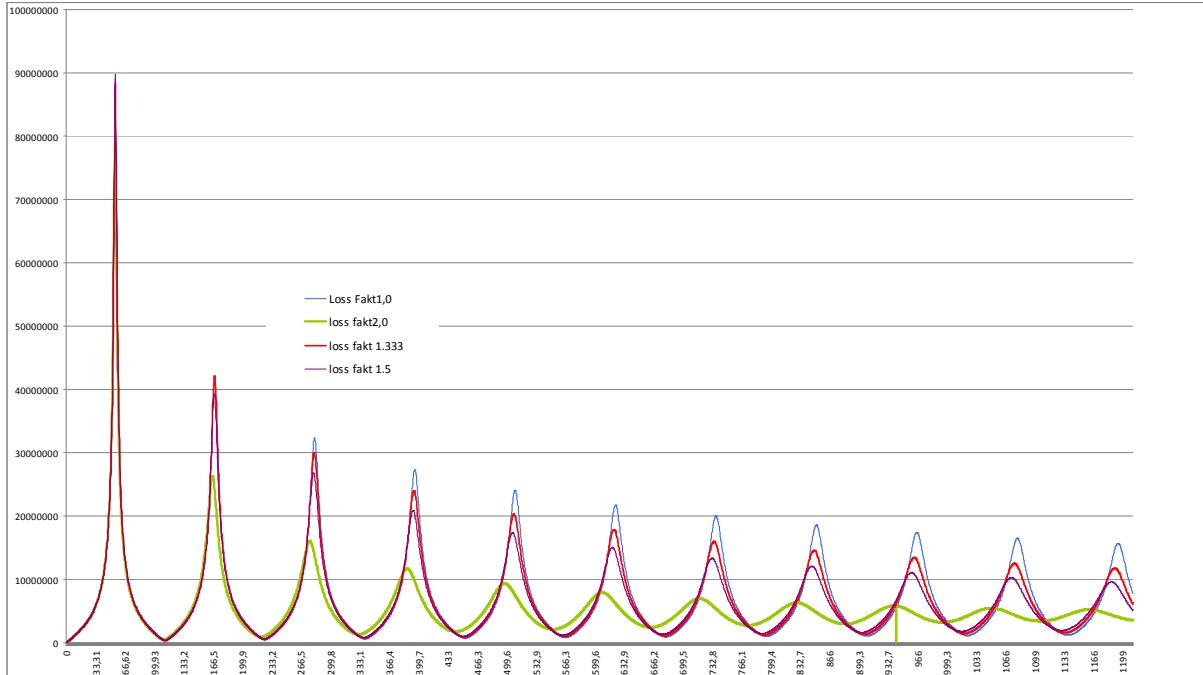
Verluste:

Jedes Rohr verursacht Verluste durch Reibung, die mit der Länge zunehmen. Diese Verluste sind mit kleinem Durchmesser (enger Mensur) höher als bei weitem. Verluste entstehen allerdings auch durch das parasitäre Mitschwingen der Instrumentenwandung, ebenso erhöht Rauigkeit der Innenwände Verluste. Unstetigkeiten im Durchmesser, zum Teil Biegungen der Rohre, sowie Undichtheiten (keine Löcher!) erhöhen die Verluste.

Frequenzen mit kurzer Wellenlänge (hohe Töne) sind mehr von diesen Verlusten betroffen. Verluste äußern sich in höheren Impedanz Minima Magnituden, und kleineren Impedanz Peak Magnitudenwerten. Sie unterscheiden sich somit von geänderten Verhältnissen aufgrund von Durchmesseränderungen (geänderte Wellenimpedanz) dadurch, daß die Peak Magnituden fallen, als auch die Frequenzen niedriger sind.

Bezieht man auch die abgestrahlten Schallwellen (produzierten hörbaren Schall) als Verluste mit ein, da diese Lippen nicht mehr zur Verfügung stehen, bekommt man einen Anteilswert, der im Instrument als Energie verbleibt (Fractional Return) über der Frequenz. Dieser ist mit zunehmender Rohrlänge kleiner, als auch mit zunehmender Frequenz.

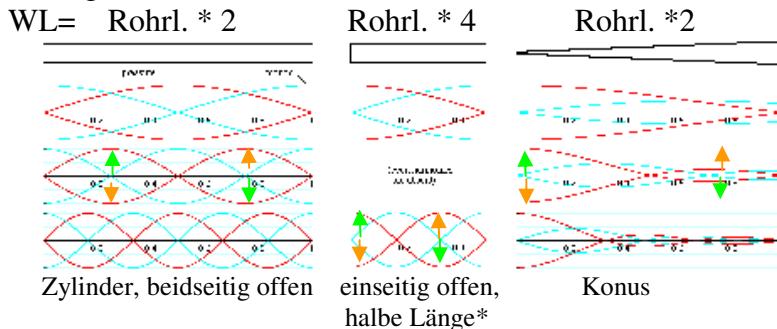
Modellierung von „Verlusten“ bei der A.R.T. Virtualisierung / Simulation



Lossfaktor 1,0 blau = Std. Verluste, rot 1,33 (später für die virtuelle ART Trp. verwendet) Hier die Grafik für einen einseitig geschlossenen Zylinder, Länge 150cm, Dia 11,0 mm Modell ebener Wellenfronten, umso mehr Verlustfaktor, umso tiefer werden höhere Peaks in Magnitude, aber auch Frequenz!

Weitere Grundformen - Kegel (Konus mit geschlossener Spitze):

Mögliche theoretisch stehenden Wellen in verschiedenen Rohren und Konus:



Pressure Max.Pot. = Fluktuation (Unter-/Überdruck)

Momentaufnahme 1. Cycle, Momentaufnahme next Cycle

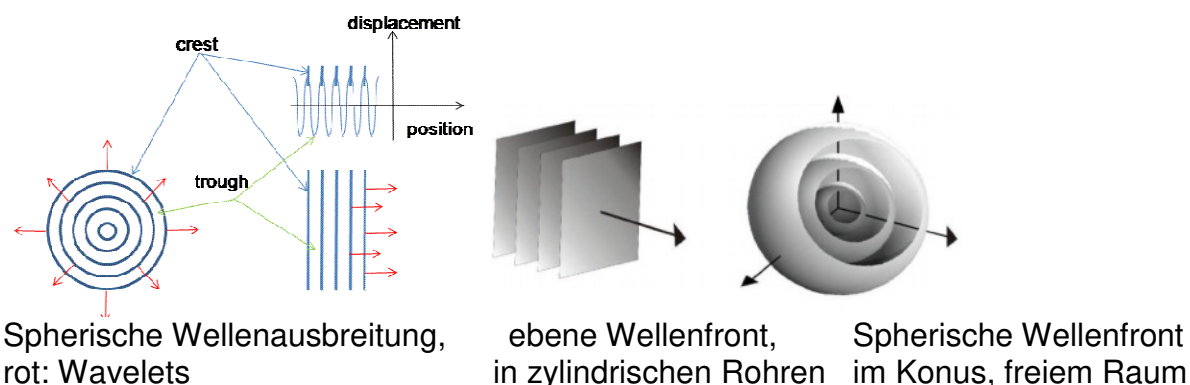
Between Cycle: Atmospheric Pressure -----

* Closed Zyl: verhält sich wie ein offener Zylinder, an dem die (hier linke) Hälfte weggelassen -> verschlossen wird!

Bei einem Konus (mit geschlossener und vorhandener) Spitze sind die Amplituden der Druckverläufe nicht Sinuskurven, sondern als $\sin(x)/x$ beschrieben, wo x eine Entfernung von der Spitze in Richtung offenes Ende beschreibt, (in angemessenen Einheiten) und bei $x = 0$ die geschlossene Spitze ist.

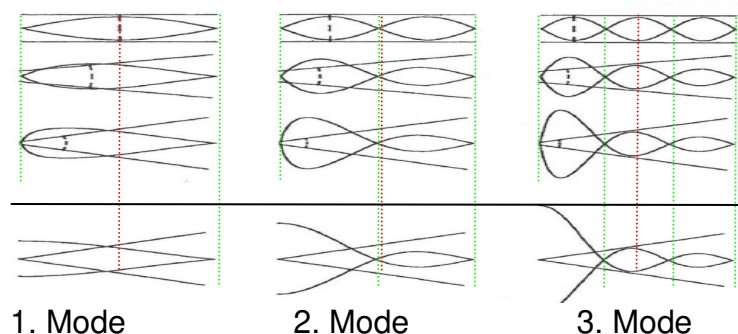
Wie beim Zylinder muß am offenen Ende ein Druckknoten sein. Die restlichen Druckknoten liegen auf selber Position wie bei einem beidseitig **offenen** Zylinder, somit auch die Stimmung, die Impedanzkurve ist aber eine völlig andere!

Erklärt werden die Unterschiede beim Konus von Wissenschaftlern damit, daß sich in zylindrischen Rohren ebene Wellenfronten fortbewegen, in konischen Rohren und Hörnern jedoch sphärische Wellenfronten, wie auch im freien Raum.



Kegelstumpf Frustum = Konus mit nicht vorhandener Spitze, offen:

Wird die Spitze weggelassen und **bleibt der kleine Teil offen**, so ändert sich die Frequenz **kurioserweise nicht** und ist nach wie vor die eines beidseitig offenen Zylinders, anders herum gesagt kann ein beidseitig offener Zylinder ein konisches Profil haben und bildet dennoch die selben Frequenzen. Als Länge wird hier allerdings die Seitenlänge verwendet, die Mittellinie ist somit minimal länger, pro offenem Ende muß eine Endkorrektur berücksichtigt werden.



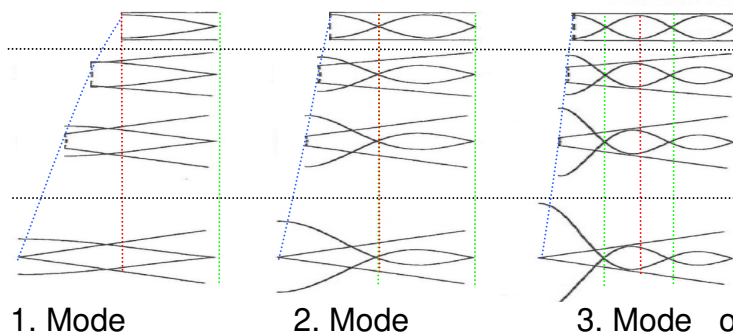
Konus mit **offenem kleinen** Ende und **offenem** großen Ende. Druckknoten sind grün eingezeichnet. Die Vergleichslänge ist hier jeweils die Seitenlänge, nicht die an einer Mittellinie / Kegelstumpfhöhe, die verglichenen Modelle haben bei diesem Vergleich jeweils genau in der Mitte den selben Durchmesser (rot).

Druckkurven der Moden 1-3 für einen geschlossenen Konus (unterste Reihe), der nach oben hin zu einem offenen Zylinder transformiert dargestellt wird. Bei Stadien 2 und 3 ist die Spitze bereits offen! **Der strichlierte Bogen** zeigt die jeweilige Position des 1. Druckbauches sobald das kleiner werdende Ende des Konus geschlossen wird.

Die für mich verständlichere Erklärung: Da sich exakt in der Mitte (XM) der Durchmesser nicht ändert, sondern jeweils davor und danach linear verändert wird, bleiben die Druckknoten an der selben Stelle und somit auch die Frequenzen.

XM: Bedeutet in meiner Dokumentation im Stil von Dr. Arthur Benade etwas „möglichst“ in der Mitte entlang der Instrumenten Achse!

Frustum / Konus mit (links) **geschlossenem** kleinen Ende und offenem großen Ende:



Hier stimmen die Veränderungen vor und nach der Mitte (XM) nicht mehr überein. Die Pressure Nodes sind in diesem Fall nicht mehr zentriert. Dies liefert daher keine harmonisch Vielfachen einer Grundfrequenz; die dazu **erforderlichen Rohrlängen (blau)** variieren. Dennoch wird diese Grundform für viele Instrumente (Fagott, Saxophon, etc. verwendet,) indem am geschlossenen Ende noch ein Mundstück als korrigierendes Volumen angebracht wird. Jede Frequ. hat in diesem Fall ihre eigene XM-Position!

Reflexion und Abstrahlung:

Bei **Zylindern** findet am offenen Ende ein plötzlicher Wechsel der Wellenimpedanz statt. Dazu ergibt sich eine durchmesserabhängige akustische Mehrlänge – der Druckknoten ragt etwas aus dem Rohr heraus. Die Abstrahlung ist größer, je größer der Durchmesser ist, was im Gegenschuß zu einer verminderten Reflexion führt.

Bei **Kegeln** (Konus) ändert sich die lokale Impedanz für die entgegenlaufenden Druckimpulse linear, was bedeutet daß an jeder Position entlang des Konus die Druckbedingungen vor und nach dieser Position sich jeweils gegenseitig aufheben.

Erst am offenen Konusende ändert sich die Wellenimpedanz und es kommt zu Abstrahlung und Reflexion. Die Abstrahlung ist am Ende des Konus höher, umso größer die Querschnittfläche (Durchmesser) ist, dagegen erfolgt eine verminderte Reflexion. Ein Konus strahlt tiefe Frequenzen im Vergleich zum Zylinder und Horn daher verhältnismäßig stärker ab, umso größer der Enddurchmesser ist.

Hörner = Impedanzwandler, Reflexion und Abstrahlung:

Bei **Hörnern** ist die jeweilige Position der Abstrahlung/Reflexion von den jeweiligen Querschnittunterschieden vor und nach dieser jeweiligen Position entlang der Hornachse abhängig, die hier nicht linear verläuft, sondern Richtung Öffnung ein immer größeres werdendes Ungleichgewicht erhält.

Tiefere Frequenzen erfahren eine Reflexion schon bei geringerem Ungleichgewicht der Impedanzunterschiede, der letzte Druckknoten ist weiter im Horn, die akustische Länge wird dadurch wesentlich kürzer, wegen der geringeren Querschnittfläche fällt die Abstrahlung gegenüber Konus geringer aus, der reflektierte Anteil ist dagegen größer.

Höhere Frequenzen werden erst bei stärkerer Krümmung reflektiert, sie bewirken eine akustische Verkürzung, aber bei weitem weniger kürzer als das bei tiefen Frequenzen der Fall ist. Die Reflexion findet immer näher am/im Hornende statt und höhere Frequenzen werden aufgrund des größeren Querschnittes vermehrt abgestrahlt und dadurch immer weniger zurückreflektiert.

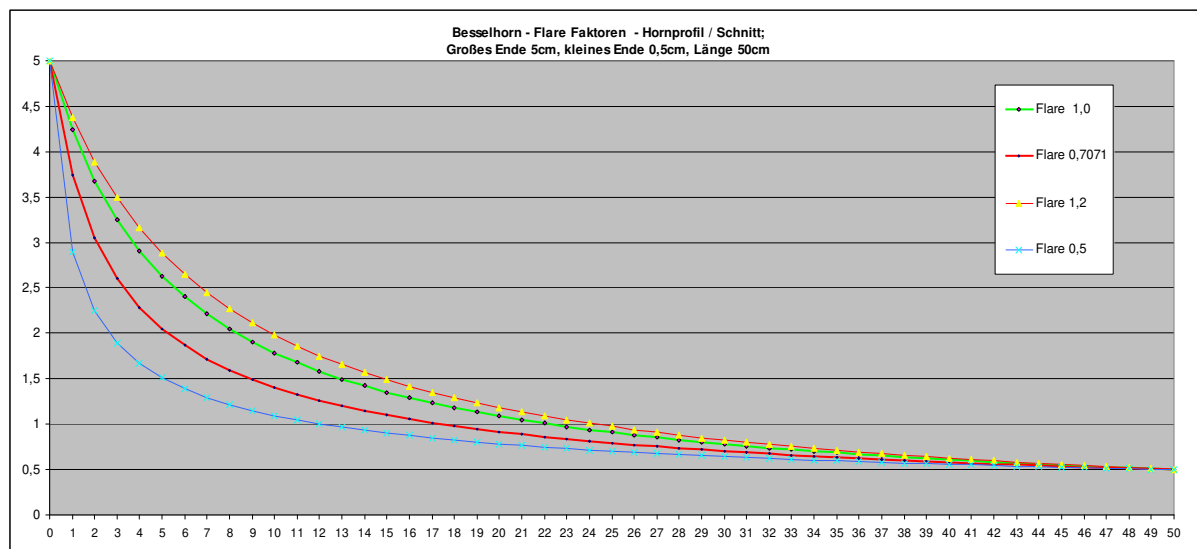
Oberhalb einer, dieser frequenzabhängigen Barriere, der sogenannten Cutoff Frequenz = das ist irreführend, denn es ist kein Schnitt bei einer Frequenz, sondern ein recht weicher Übergang; werden sie dann nur noch abgestrahlt und fehlen zur Unterstützung der Schwingkreise innerhalb des Horns/Gesamtinstruments.

Da es einigermaßen paradox klingt, daß in einem Horn tiefe Töne = lange Wellenlängen bei kleinerem Durchmesser reflektiert werden und höhere Töne = kürzere Wellenlängen bei einem wesentlich größeren Durchmesser hilft die Tatsache, daß es ja nicht nur diesen zwar dominierenden allerletzten Druckknoten gibt, sondern umso mehr Druckknoten im Abstand einer $\frac{1}{2}$ resultierenden Wellenlänge = Tonhöhe, umso höher die Naturtöne sind, nämlich so viele Druckknoten wie die Mode Nummer / Naturton Nummer ist.

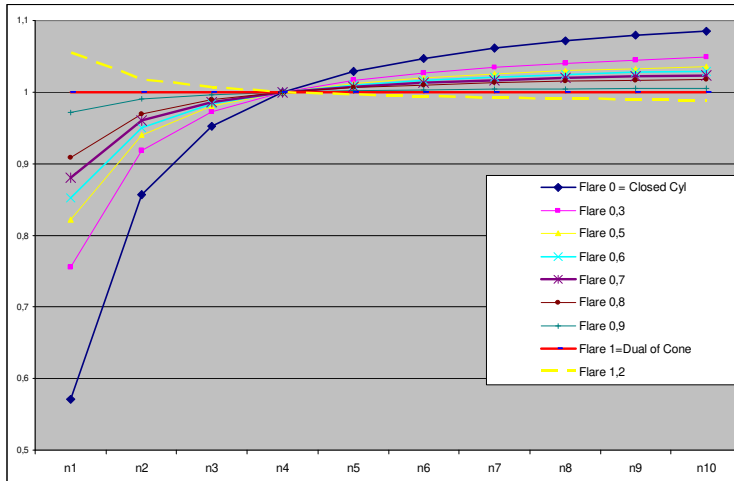
Und alle Druckknoten bilden „gemeinschaftlich“ diesem resultierenden Abstand und daraus die Positionen. D. h. jeder einzelne Druckknoten selbst besitzt ein Ungleichgewicht vor und nach seiner jeweiligen Position, die wiederum anhand seiner nicht linearen Umgebung zum Gesamtergebnis beiträgt. Um so weniger Druckknoten eine Frequenz besitzt, umso weniger entgegenwirkender Ausgleich ist gegeben und daher zeigen tiefe Frequenzen die größte einseitige Auswirkung bei einem geänderten Hornverlauf.

Besselhörner:

Bei diesen berechneten Hörnern sind anhand des „Flare-Faktors“ alle Formen zwischen zylindrisch über exponential bis konisch möglich.



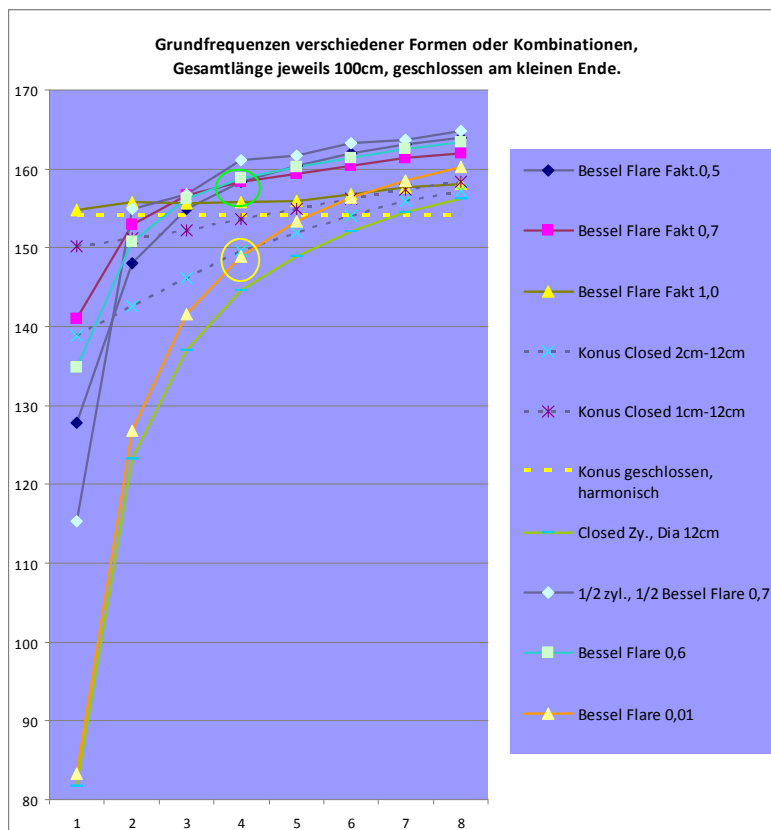
Besselhörner gleicher Länge, aber mit unterschiedlichen Flare Faktoren; Faktor 0,7071 liefert Frequenzen, die genau zwischen geschlossenem Zylinder und Konus liegen!
 y = Radius in cm, x = Länge in cm



Schema – überschlägig berechnet, $n=Mode \#$:
 Besselhörner mit gleicher Länge, gleichem Start- und Enddurchmesser,
 $y=Auswirkung$ des Flarefaktors auf die Frequenz der resonierenden Töne
 als Frequenzfaktor. Hier wurde die Grafik auf den 4. Resonanzmode normiert.

Die Durchmesser an der Position des letzten Druckknotens beim 4. Mode sind aber - wie bei allen anderen Druckknoten der restlichen Modes unterschiedlich groß und ergeben daher jeweils andere Input Impedanzmagnituden – je enger desto höher.

Besselhörner haben mit Ausnahme von Flarefaktor 0 sowie theor. Faktor +1 und -1 keine harmonischen Frequenzverhältnisse zueinander!



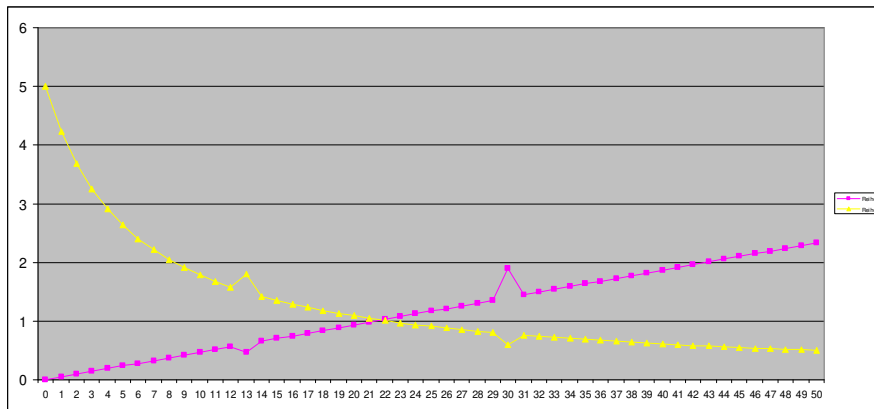
$x=Mode\#, y=Hz$ fikt. Grundton

Besselhörner, hier im Vergleich jeweils 100cm Länge und geschlossen am kleinen Ende, Startdurchmesser 1cm, Enddurchmesser 12cm, mit unterschiedlichen Flare-Faktoren, ergeben sehr unterschiedliche Formen und damit verbunden Gesamtvolumen. (Ergebnisse aus Simulation – Bessel Flare 1,0 ist nicht harmonisch).

Im Vergleich sind zusätzlich 2 Konusformen (hier die verbleibende Kegelstumpflänge) mit geschlossenem kleinem Ende, Start Durchmesser 1 bzw. 2cm, hier mit einem sehr großen Enddurchmesser 12cm (das größte Gesamtvolumen auf die jeweils gleiche Länge bezogen).

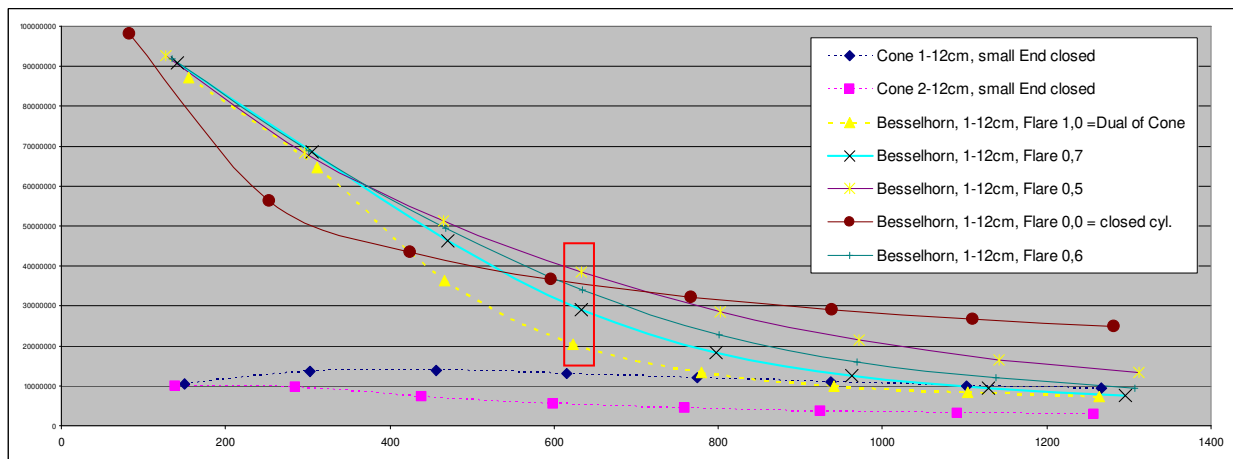
Dual eine Horns:

Bessel Flare Fakt 1,0 ist hier das Dual eines Konus mit fehlender Spitze, = Flare Faktor -1 geschlossen am kleinen Ende mit Startdiameter 1cm und daher mehr Volumen. Ein Dual (nicht auf Besselhörner beschränkt), hat die selben charakteristischen Frequenzen, aber unterschiedliche Impedanzwerte, Abstrahlung und frequenzabhängige Wellenwiderstände.



Besselhorn M Faktor 1 = Dual eines Konus, hier mit 2 gezielten Querschnittänderungen.

Es wird errechnet, indem das Produkt = Multiplikation der beiden Querschnittsflächen einen konstanten Wert ergeben, daraus lässt sich der Radius des „Dual“ bestimmen. Das Dual ist dann seitenverkehrt zum Original, eine Einengung entspricht dann einer Erweiterung, ein geschlossenes Ende wird dadurch zu einem offenen.



Aufgetragen sind jetzt die Peak Maxima Magnituden der Eingangsimpedanz pro möglicher Resonanz und deren Tonhöhe/Frequenz. Simulationsergebnisse aus ART-Software. D. h. die Linien sind die Hüllkurven der jeweiligen Peak Maxima Spitzen (Punkte).

Im Gegenzug, daß bei NT4 keine großartigen Frequenzänderungen stattfinden, sind aber die Eingangs-Impedanzmagnituden Peak Maxima NT4 bei Besselhörnern unterschiedlich.

Deutlich sichtbar der große Magnitudenunterschied von Konus zu Besselhorn, das zyl. Rohr ist durchgängig nur 1cm im Durchmesser und strahlt Frequenzen ab 800 Hz weniger ab. Mit Ausnahme des zyl. Rohres mit 1cm Durchmesser hat das Besselhorn mit Flare Faktor 0,5 das kleinste Volumen und entspricht hier dem „schlanksten Schallbecher“, Flare 0,7 ist in einer ungefähren Größenordnung wie diese bei Trompeten als teilweiser Schallbecher verwendet werden, Flare 1,0 erinnert an Becher von weitmensurierten Blechblasinstrumenten (hier geringste Endausschweifung und größtes Volumen).

Der Einfluß vom Gesamtvolumen zur Länge – Stimmung und Ansprache:

Betrachtet man Formen wie Hörner und Konus, so gibt ein größeres Gesamtvolumen verbunden mit einer größeren Öffnung zum freien Raum eine erhöhte Abstrahlung, aber auch immer eine größere Anzahl von Frequenzen, die vertieft werden.

Ein konisches Frustum mit geschlossenem kleinen Ende hat bei gleichbleibend großem Enddurchmesser ein viel größeres Gesamtvolumen wegen dem nun „aufgeweiteten“ kleinen Ende und produziert tiefere stehende Frequenzen, je größer die Wellenlänge ist; das hat bei höheren Frequenzen dafür aber die geringste Auswirkung (Canceling).

Zylinder offen oder geschlossen:

Prinzipiell liefern größere Volumen tiefere Töne, die notwendige Endkorrektur beim sprunghaften Übergang wird immer proportional zum Durchmesser (aber nicht Volumen) betrachtet. Folglich machen Rohre mit großem Durchmesser eine höhere Endkorrektur notwendig und geben somit tiefere resultierende Frequenzen. Ist die Mensur allerdings sehr eng, dann überwiegen Verluste und Auswirkungen der erhöhten Wellenimpedanz und größere Durchmesser produzieren höhere Frequenzen!

Die Impedanzmagnitude und Wellenwiderstand werden allerdings mit zunehmendem Rohrdurchmesser in beiden Fällen niedriger.

Besselhörner mit positivem Flare Faktor >0 haben ein größeres Gesamtvolumen als ein zylindrisches Rohr bei gleicher Länge; aber ein viel kleineres Volumen als ein Konus mit geschlossener Spitze und gleichem Enddurchmesser.

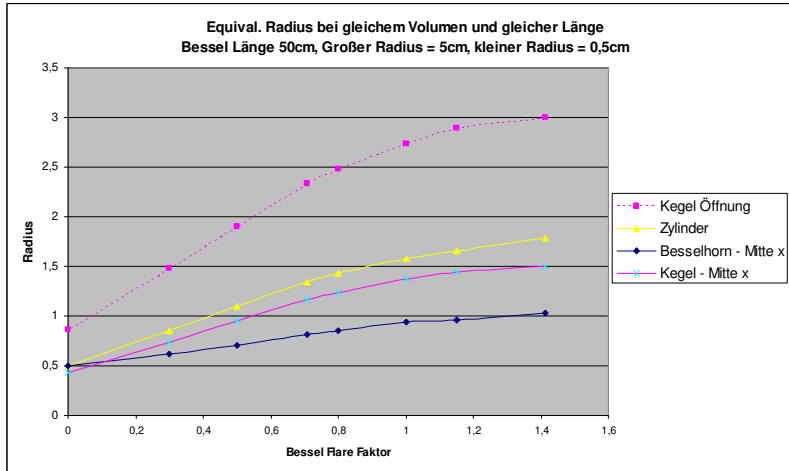
Umso höher der Flare-Faktor, umso größer das Volumen im Vergleich zum Zylinder, aber immer kleiner als beim Konus. Anhand der vorgegebenen Durchmesser und Länge kreuzen sich die Frequenzänderungen im Bereich bei NT4, tiefere Frequenzen werden mit mehr Volumen höher, höhere Frequenzen tiefer. NT4 verändert sich hingegen nicht. Die Eingangsimpedanz nimmt mit zunehmendem Volumen Frequ. und Flare abhängig ab.

Der Bessel-Flare Code:

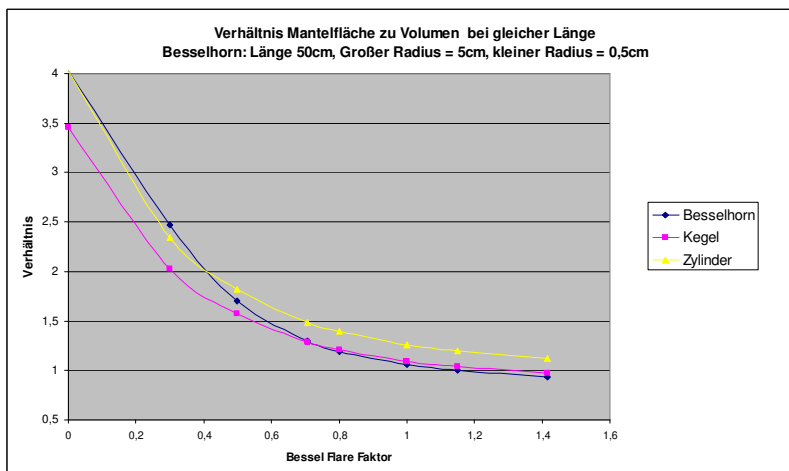
Flare-Faktor 0,7071.: Das ist die Quadratwurzel aus $\frac{1}{2}$ und somit auch der geometrische Mittelwert zwischen $\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{1}$. Der 4. Resonanz-Mode hat hier eine Wellenlänge, die genau $1x$ in ein einseitig geschlossenes Rohr, beziehungsweise genau $2x$ in einen Konus mit geschlossener Spitze passen würde, wobei hier dann in der Mitte der Druckknoten sitzt. **Es gibt daher aus diesem Grund jeweils links und rechts das selbe Frequenzveränderungspotential** = Pitch-Pot +/- für diese 4. Resonanz! Wie beim Konus mit geschlossener Spitze, oder modifizierten beidseitig offenen Zylinder. Einmal positiv und einmal negativ. Die Summe der Änderungen hebt sich auf, daher ist bei NT4 beim Besselhorn hier ~ keine **Frequenz-Änderung!**

Besselhörner > Faktor 0,7071 kommen daher näher an den harmonischen Verhältnissen eines Konus mit geschlossener Spitze, dessen Resonanzen ein Frequenzverhältnis von theoretisch 1:2:3:4:5:6:7:8 usw. zueinander abbilden. Das einseitig geschlossene zylindrische Rohr = Flarefaktor 0 hat die theoretischen Verhältnisse 1:3:5:7:9:11:13 usw.

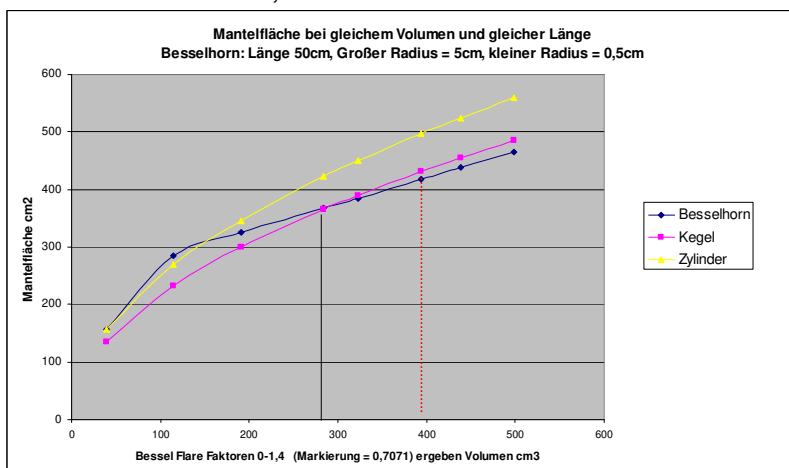
Betrachtung mit selbem Gesamtvolumen:



Berechnetes Volumen und Mantelfläche von Besselhörnern und zurückgerechnet Konus und Zylinder mit selbem Volumen ergeben korrespondierende Radien bei 1/2 Länge (zusätzliches Endkorrektur-Volumen bei Zylinder nicht berücksichtigt)

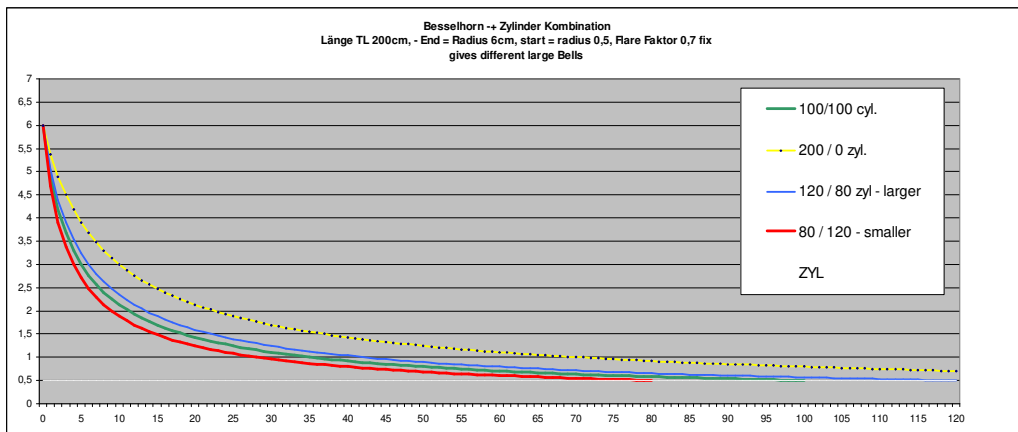


Besselhorn Flare 0,7 hat das selbe Verhältnis wie das Frustum bei gleichem Volumen

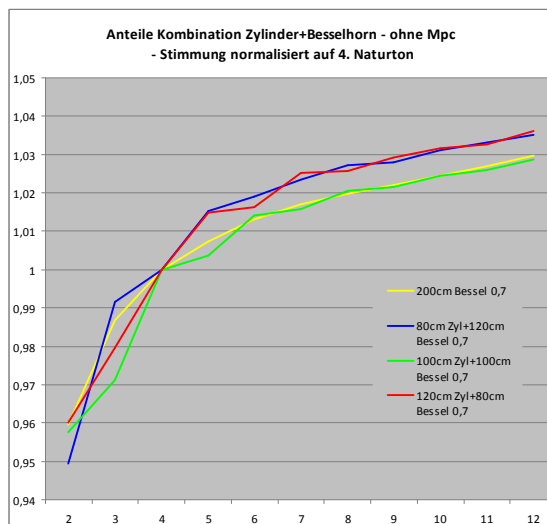
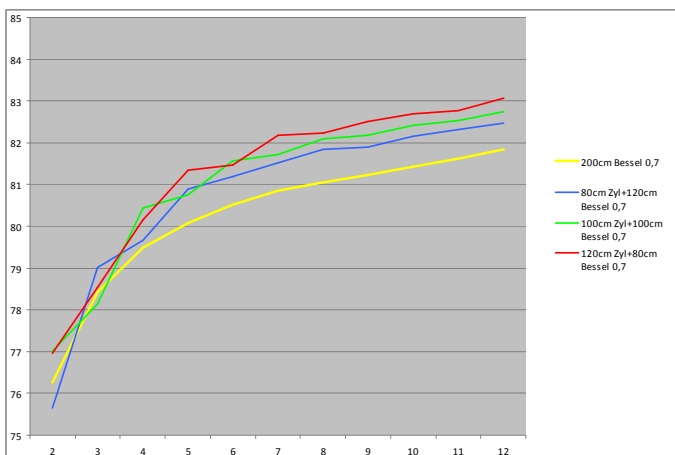


Volumen anhand Besselflares und die jeweilige Mantelfläche. Rot = M1 = Dual Konus

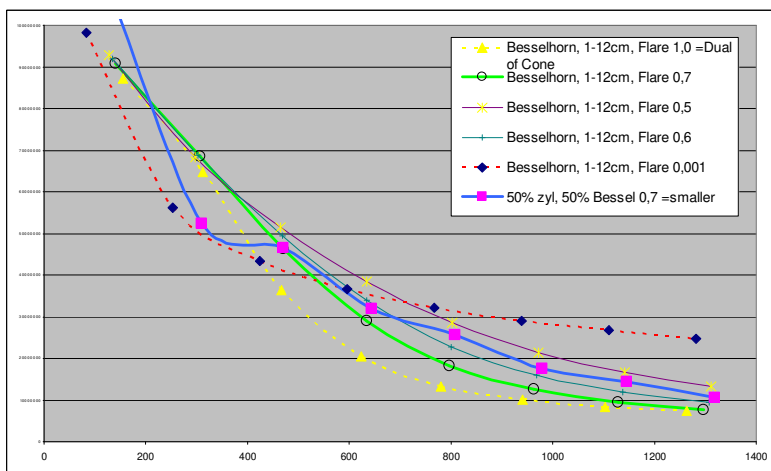
Hörner in Kombination mit zusätzlichen zylindrischen Röhren:



Hier mit einem zyl. Rohr, geschlossen mit unterschiedlichen Längenanteilen. (Geometrie/Profil/Schnitt, die Grafik endet bei 120cm, Gesamtlänge ist 200cm) Ergibt bei gleichem Flarefaktor unterschiedlich weite Mensuren.



ohne Vergleichsreferenz, fiktive Grundton-Frequenz in Hz, rechts: Faktor normiert auf NT4 Große Volumen / weite Mensuren geben eine tiefere Grundstimmung.



Vergleich |Z| Input Impedanz Peaks, Bessel 0,7 hat mehr Volumen als in Kombination mit dem 50% zyl. Rohr, die Impedanzwerte ab NT4 nähern sich den Werten eines Zylinders (Daten aus ART Simulation)

Stimmungsunterschied vorher gezeigter Kombinationen mit Bessel Flare Faktor 0,7: (Mode 1 = Grundton wird aus Übersichtlichkeitsgründen nicht angezeigt). Die größten Abweichungen sind wie zu erwarten unter NT4. Umso mehr zylindrischer Anteil, umso mehr nähert sich auch die Kombination den Frequenzverhältnissen von einseitig geschlossenen parallel laufenden Rohrwänden.

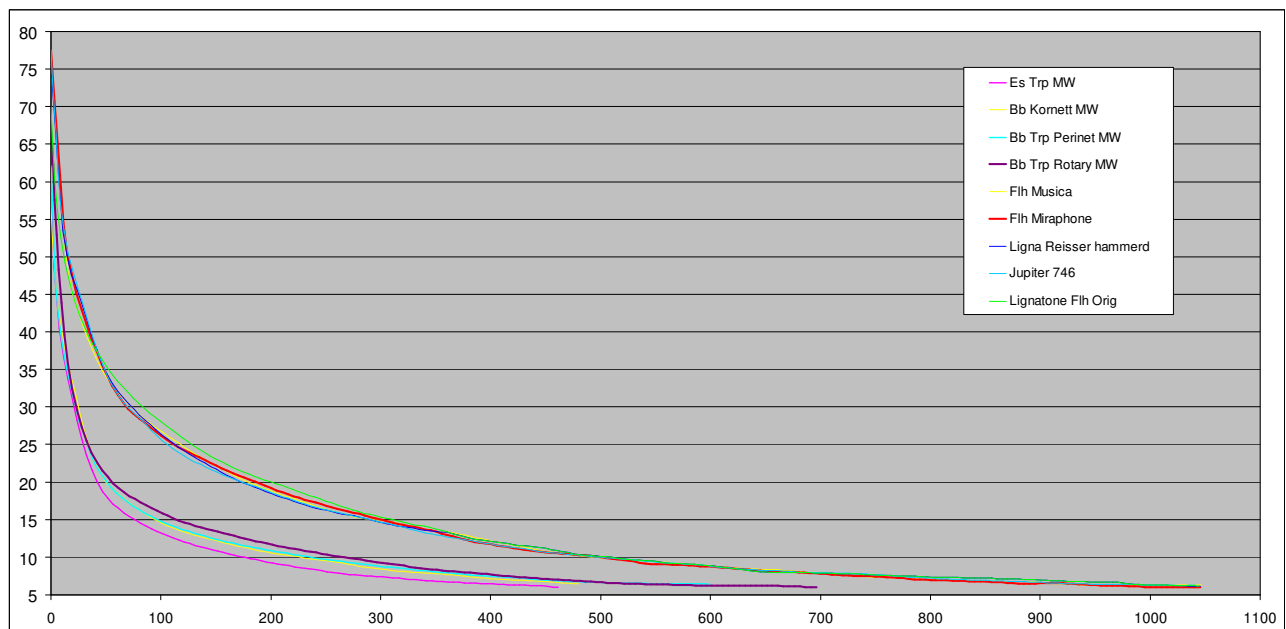
Die zufällig gewählte Rohrlänge entspricht in etwa der einer Bb-Trompete mit gedrückten Ventilen 1+2+3; Ebenso wie beim geschlossenen Zylinder sind tiefe Frequenzen viel zu tief, hohe Frequenzen zu hoch, möglichst harmonische Frequenzverhältnisse zwischen den Resonanzfrequenzen würden möglichst gleiche Frequenzabstände ein gemeinsamer Grundton, dieser würde eine waagrechte Linie bilden.

Die Berechnungen enthalten in dieser Kombination allerdings (noch) kein Mundstück. Ein solches wird tiefere Frequenzen anheben, höhere absenken, ergibt aber dann niemals in Summe völlig harmonische Frequenzabstände zwischen den einzelnen Naturtönen, es ist dann aber eine zusätzliche weitere Annäherung bei den meisten Tönen dadurch möglich.

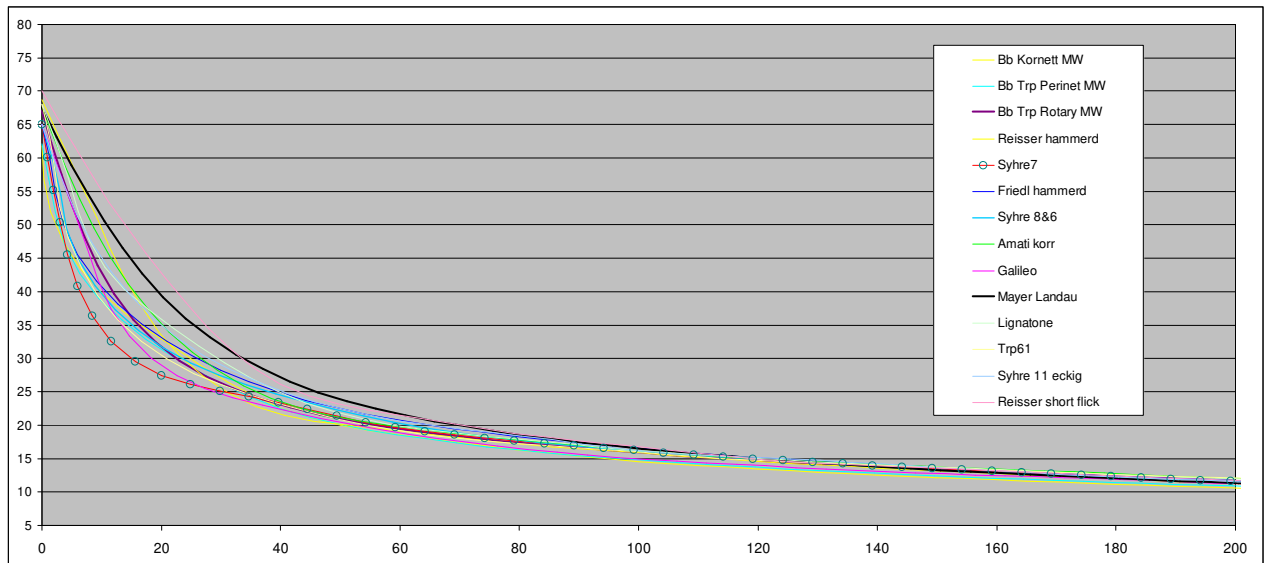
Warum die Naturtöne unter ~ NT8 viel stärker wechselseitig abweichen hat mit „Mode-matching“ zu tun, die für Töne mit kürzeren Wellenlängen geringer ausfallen, da sich die jeweiligen Durchmesseränderungen mit der Anzahl der involvierten Pressurenodes und Antinodes auscancelln. Vor und nach dem Übergang ist nicht das selbe Potential!

Hornkonturen, wie sie vor allem im Lautsprecherbau verwendet werden, sind für möglichst effiziente Schallabstrahlung konzipiert, was mit einer möglichst geringen Reflektion = Resonanz einhergehen sollte. Ich gehe darauf in einem eigenen Teil 2-D ein.

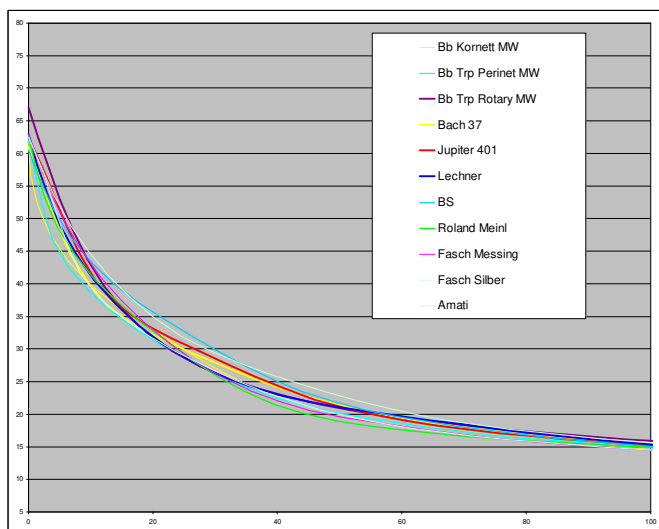
Schallbecherabmessungen von Trompeten und Flügelhörnern:



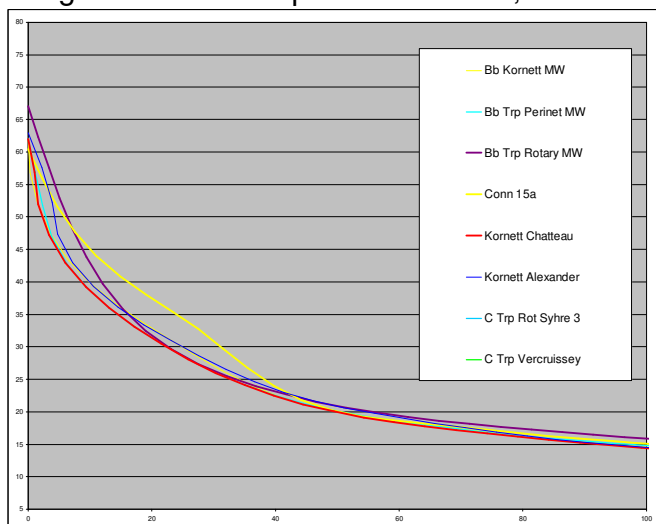
Auswertung von Schallbecherabmessungen, inkl. Mittelwerte von Instrumentenfamilien Flh = Flügelhorn in Bb, Es-Trp., Drehventil Trompeten in Bb, Perinet Trp + Kornett in Bb Bereits geringe Abweichungen von der jeweiligen Grundform bewirken massive Änderungen in Stimmung, Klang und Ansprache. Keiner der Schallbecher ist tatsächlich ein exaktes Besselhorn. Die meisten Formen sind historisch „gewachsen“.



Einige Drehventil Trompeten Schallbecher im Vergleich, die violette Linie ist der statistische Mittelwert, Schwarz: Für die ART Dokumentation verwendet. Variantenreich! Die Abweichungen sind rund 20mm vor Ende am größten und betragen bis 2cm Diameter



Einige Perinet Bb Trp. Schallbecher, Abweichungen hier max 1cm Durchmesser

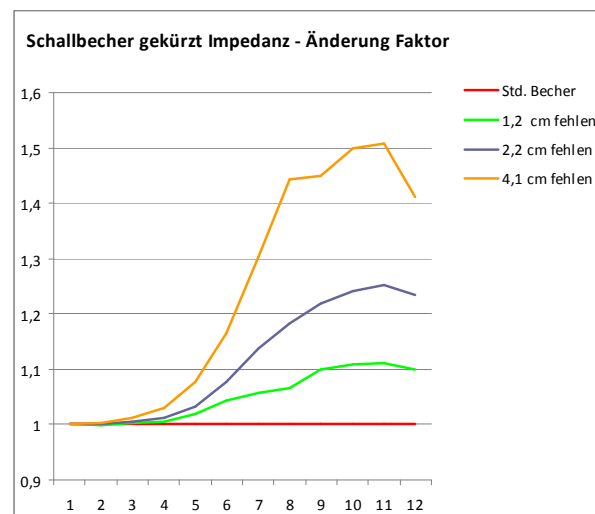
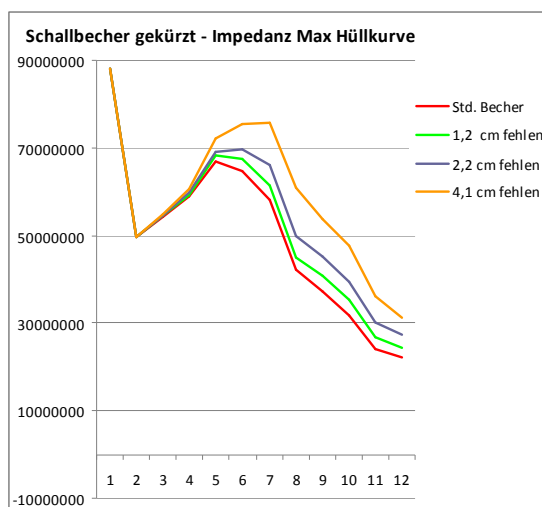


Bb Kornett und C Trp. Schallbecher, Conn 15A ist ein large Bore Bb Kornett

Schallstück Becher Endausladung / Durchmesser - Effekte auf das Instrument:

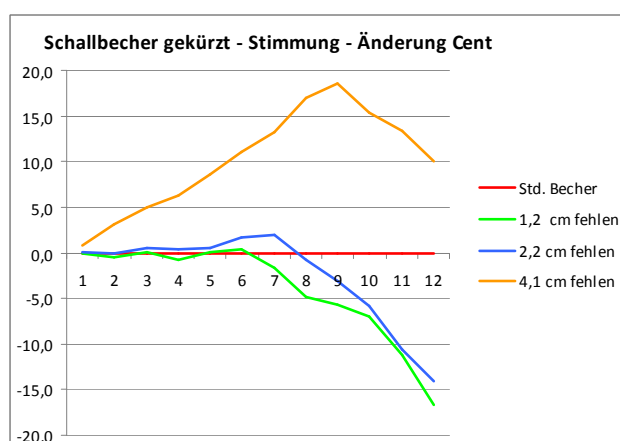
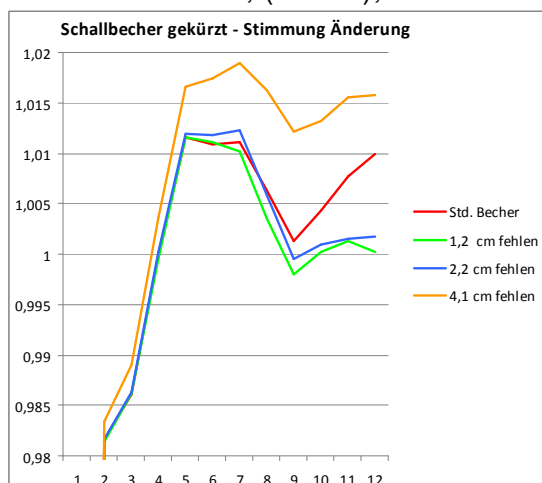
Betrachtet man das allerletzte Stück eines Horns, die Schallbecherausladung, so stellt man fest, man könnte es beliebig verlängern, ohne daß sich die Position der Druckknoten und somit die Frequenz der Naturtöne ändert. Ebenso könnte man einen Teil weglassen?

Der Schallbecher einer virtuellen Trompete wurde zu Testzwecken gekürzt, indem am virtuellen Instrument die letzten cm einfach stückweise weggelassen wurden (Instrument ist nicht ident mit den anderen Messungen, Schallbecherausladung = 130mm Durchmesser, die gekürzten Längenteile sind zufällig gewählt).



Umso kleiner die Endausladung, umso mehr Energie bleibt im Instrument, aber nur bei Tönen die davon betroffen sind! >NT4

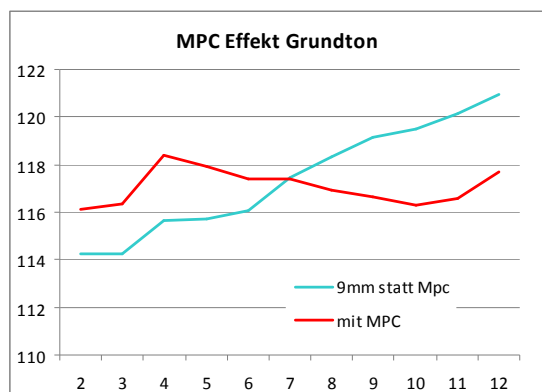
Tiefe Frequenzen reichen kaum in diesen Bereich und werden bereits früher im Becher reflektiert, (NT1-3), das Instrument strahlt höhere Frequenzen schlechter ab.



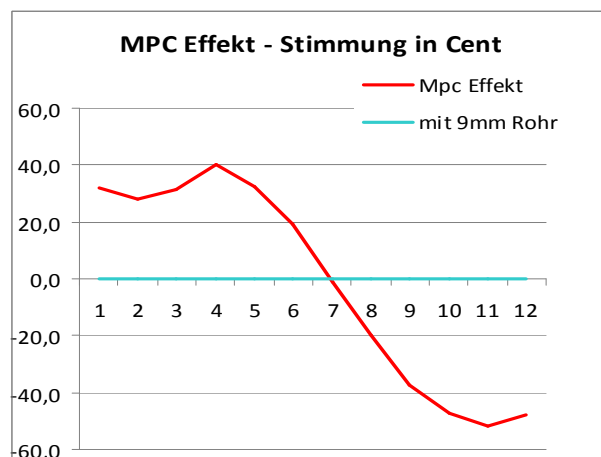
Interessant die Stimmung: obwohl weniger Gesamtlänge werden bei 1,2cm und 2,2 cm weniger „Becher“ hohe Frequenzen nicht wie erwartet höher, sondern sogar viel tiefer! Die Grundstimmung der Naturtöne bis ca. 600 Hz bleibt trotz kürzerer Gesamtlänge gleich! Erst bei Entfernen der beinahe gesamten Becherausladung ist eine max. Erhöhung bei ca 1000 Hz. Bei der ART Simulation wurden ebene Wellenfronten gewählt, Praxisergebnisse können abweichend ausfallen!

Mundstück – Genereller Effekt auf das Gesamtinstrument „Trompete“:

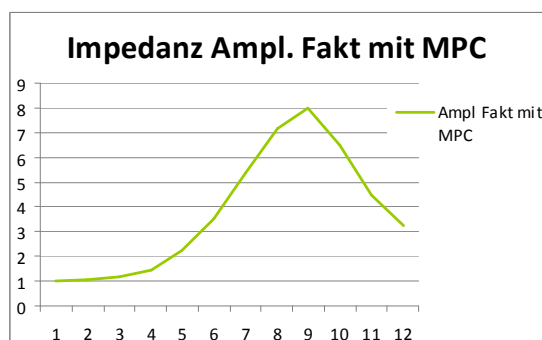
Das Mundstück ändert seine akustisch wirksame Länge mit der Frequenz. Testweise wurde anstelle des Mundstücks ein zylindrisches Rohr mit 9mm Durchmesser eingesetzt. Dieser Durchmesser entspricht der engsten Stelle am Beginn des verwendeten Mundrohres.



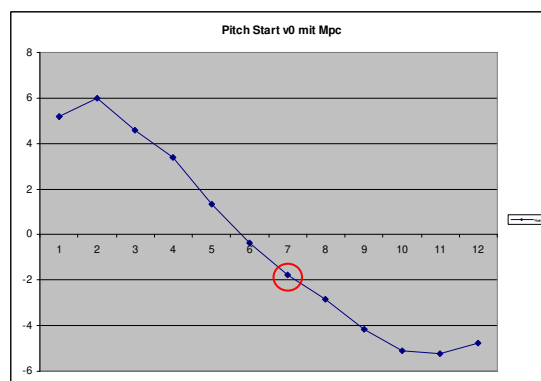
Stimmung bezogen auf Grundtöne, Hz
(FrequenzNT / NT#)



Intonationsänderung durch Mpc in Cent
(100 Cent = ein Halbton)



Impedanzpeak-Erhöhung durch Mundstück



Pitch Start in cm - (MPC Equiv. Length)

Faustregel Volumenverhältnis Kessel zu Hinterbohrung des Mundstückes:

wird das Stengelvolumen der Hinterbohrung erhöht, steigt die 1. MPC - Eigenfrequenz
wird das Kesselvolumen verringert, steigt die 1. MPC – Eigenfrequenz ebenfalls.

Intonation - Effekt durch Mundstück:

Das Mundstück „dreht“ die Frequenzen um einen Angelpunkt, der ziemlich genau der Eigenfrequenz (Popping Frequency) entspricht, hier bei ca. 850 Hz.

Tiefere Frequenzen werden durch das Mundstück erhöht, höhere erniedrigt.

50 Cent entsprechen einem $\frac{1}{4}$ Ton Abstand der gleichschwebend temp. Stimmung (ET)

Eingangsimpedanz |Z| – Effekt durch Mundstück:

die Impedanzspitzen werden frequenzabhängig angehoben, das gibt eine viel leichtere Ansprache höherer Naturtöne. (Bzw. ohne Mundstück wäre es wesentlich schlechter!)

MPC selbst hat seinen Scheitel bei ca 850 Hz, höhere NT (8,9) werden auch angehoben.

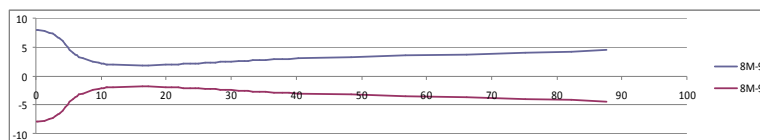
Hinweis: Bei Hörnern, als auch tiefem Blech sind diese Effekte unterhalb der Popp.Frequ.

Equivalent Length – akustische Länge des MPC + Bechers variieren mit Frequenz:

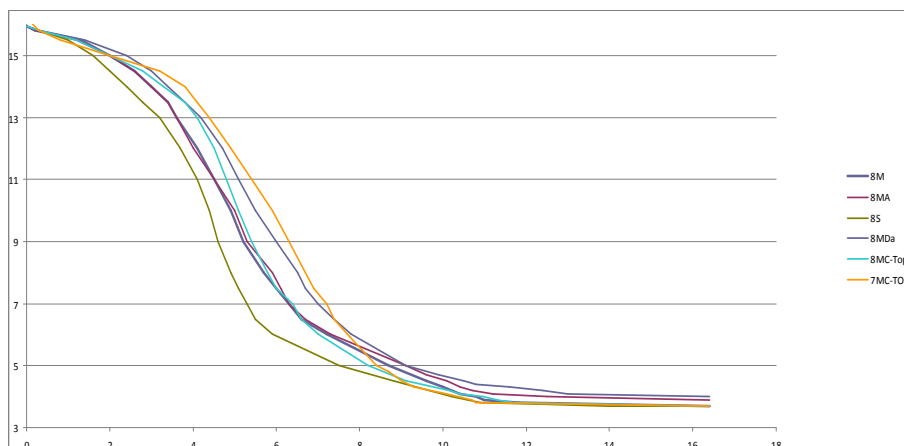
Wegen der Mouthpiece Equivalent Länge, als auch durch die Effekte des Schallbeckers ändern sich die Positionen der Druckknoten, Druckbäuche und Startpositionen. Für tiefe Töne wirkt das MPC akustisch kürzer, für hohe Töne länger, bei MPC 1. Eigenfrequenz = Popping Frequency - ist die Länge die selbe wie für einen Zylinder mit dem ~ selben Gesamtvolumen wie das gesamte Mundstück!

Die 1. Mundstückfrequenz liegt beim verwendeten Mundstück bei ca. 850 Hz, dh. ein Zyl. mit selben Gesamtvolumen Dia 11mm wäre hier ca. 1,7 cm kürzer als das Mundstück ist! Die gefundenen Abstände der Druckknoten bleiben jedoch immer $\frac{1}{2}$ Wellenlänge der jeweiligen Resonanz.

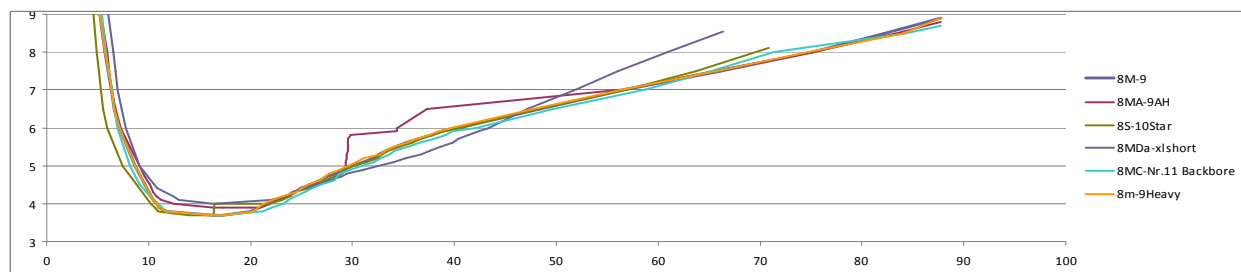
Trompetenmundstücke, innere Form, Volumen und deren Auswirkungen:



Innenkontur der Kombination Warburton 8M Kessel und Nr.9 Stengel (Backbore).

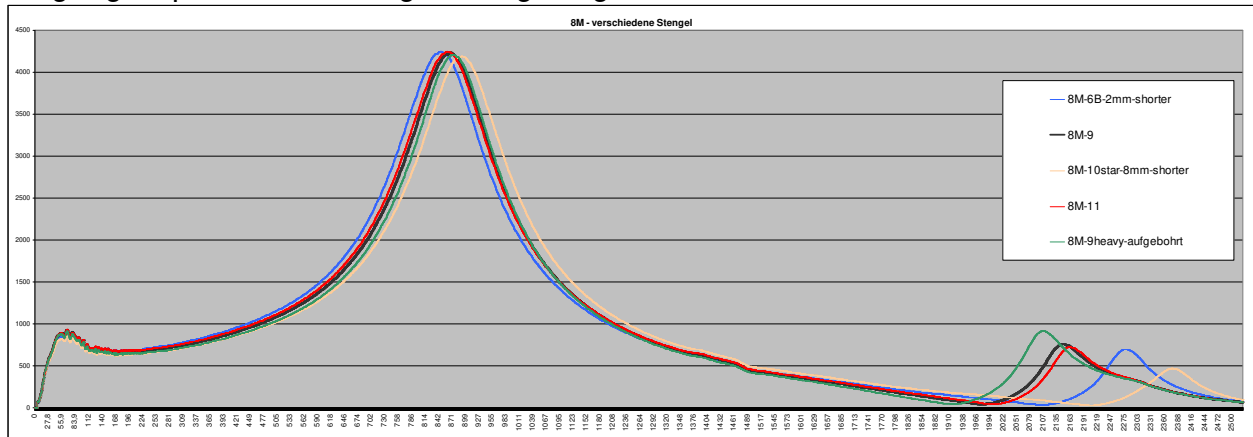


verschiedene Warburton Kessel inkl. Seele, Schnitt Innenkontur (Ecken sind Messfehler).

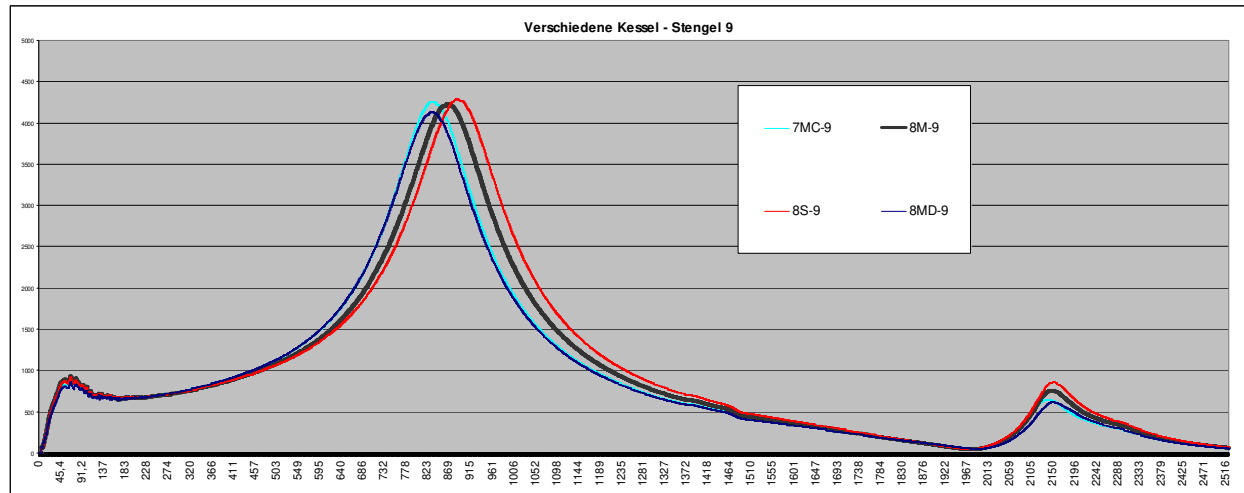


Kessel, Seele + verschiedene Backbores (not to scale)
9AH ist ein testweise modifizierter Stengel, detto xl short.

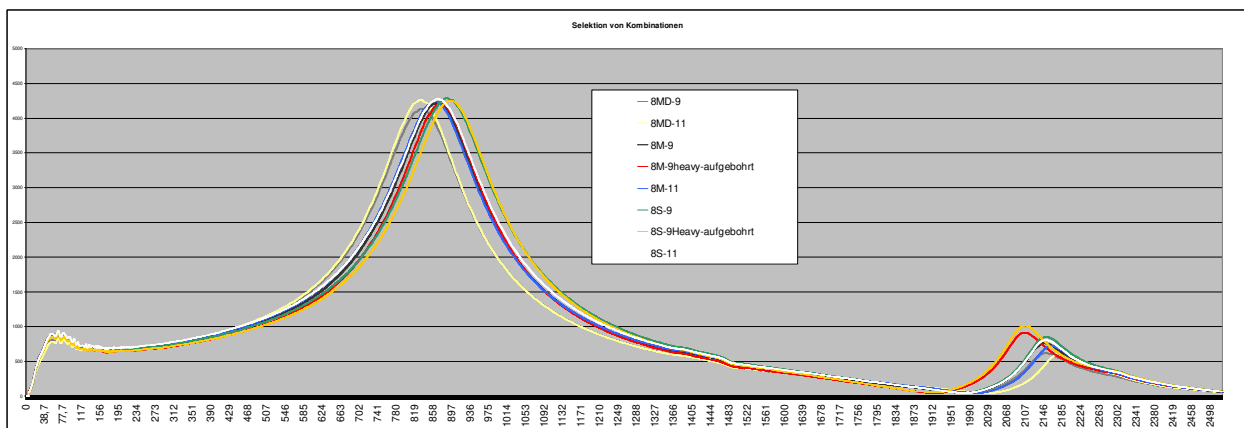
Eingangsimpedanz Messungen der gezeigten Mundstück Kombinationen:



Kessel 8M mit verschiedenen Stengeln, umso kleiner die Zahl umso weniger Stengelvol. Die 2. Mundstückresonanz oberhalb 2000 Hz ergibt sich aus der Länge, kürzere Kornett- und auch Flügelhornmundstücke haben diese 2. Resonanz nicht (sind zu kurz). Die Impedanzhöhung unter 150 Hz ist ein systematischer Meßfehler, keine Resonanz.



Stengel Nr.9 mit verschiedenen Kesseln; 7= größerer Durchmesser = mehr Volumen, 8MD etwas tiefer (mehr Vol.) als 8M; 8S = weniger tief (weniger Volumen)



Einige ausgewählte Kombinationen, „minimales Aufbohren der Seele“ erhöht die Freq. etwas, die Impedanz an den Flanken auf der linken Seite inkl. Maxima werden geringer, rechts aber nicht höher. Der Q-Faktor sinkt. Der Einfluß des Mundstücks wird vermindert.

Nicht OFF-Topic: Luft!

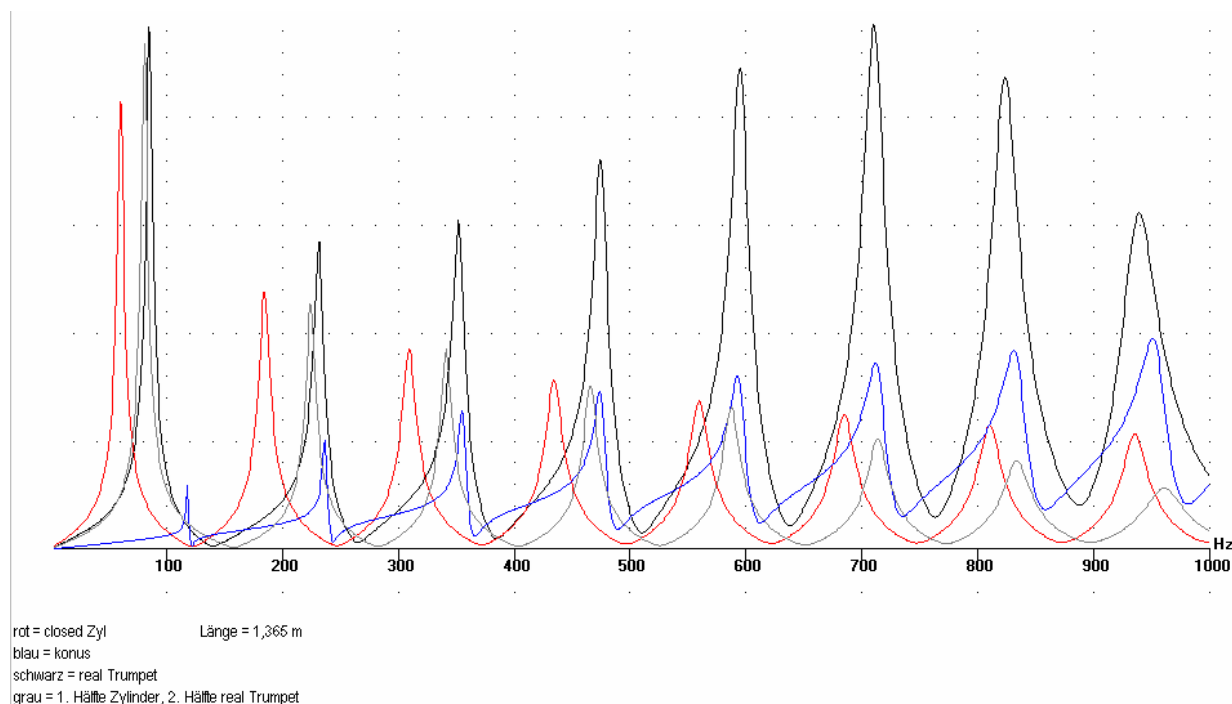
Auf etwas ganz Besonderes – oft missverstanden - möchte ich hinweisen – **Luft!**

Es ist keine zusätzliche Luft notwendig (zu der sich im Instrument befindlichen) um ein Blechblasinstrument oder besser gesagt die darin schwingende Luftsäule dazu anzuregen, 1. diese Schwingung erst aufzubauen, 2. diese zu erhalten und 3. Töne von sich zu geben! Auch für eine höhere Lautstärke ist nicht mehr Luft notwendig, ebenfalls nicht für höhere Töne!

Es ist prinzipiell überhaupt nicht notwendig Luft durch das Instrument zu blasen!

Versuche z. B. von Dr. Smith, et. al. beweisen das eindeutig und ebenso die Impedanzmessungen mittels Lautsprecher. Ein Blechbläser benötigt seine **Luft lediglich dafür, seine Lippen in Schwingung zu versetzen / zu erhalten!**

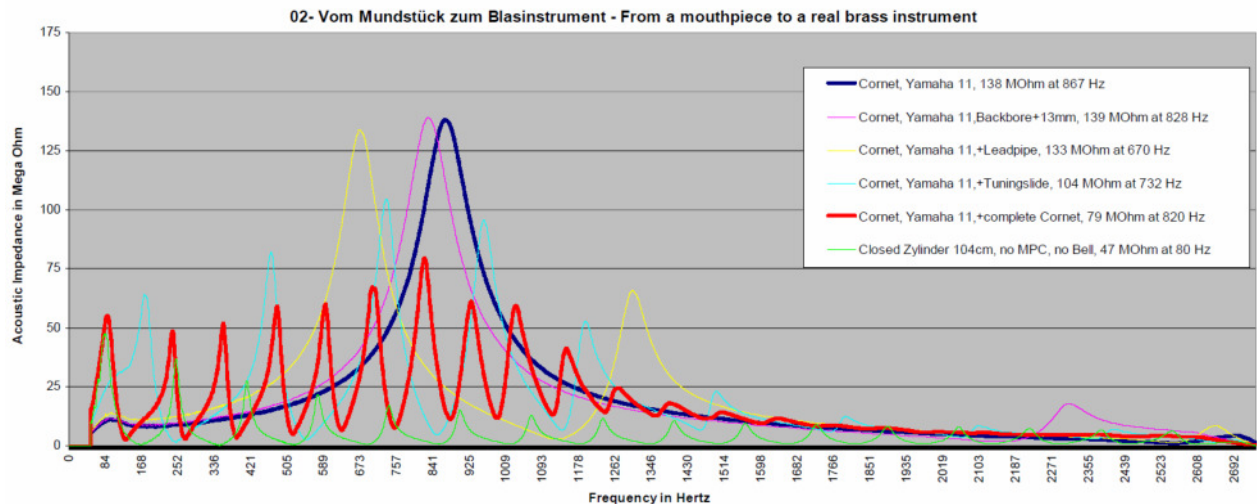
Eingangsimpedanzkurven $|Z|$ verschiedener Grundformen im Vergleich



Gegenüberstellung zyl. Rohr 1seitig geschlossen, Konus – jeweils ohne MPC und ohne Schallbecher, Kombination Rohr+Schallbecher (ohne MPC) sowie eine komplette Trompete mit MPC. Die Impedanzspitzen (Peaks) zeigen die Lage der Naturtöne (Hz).

(Stehende Wellen = resultierende Resonanzen = Naturtöne entstehen bei den Frequenzen, an welchen die Impedanz Spitzen sich ausbilden, man muß allerdings zusätzlich noch das Summenprinzip beachten, was in geänderter Frequenz bei höherer stärkerer Anregung resultiert.)

Vom Mundstück zum kompletten Instrument – Eingangs-Impedanz:



Gegenüberstellung Mundstück – bis zum fertigen Instrument (hier ein Bb Kornet)

- Hellgrün:** ein einfaches zyl. Rohr Dia 11mm, L=104cm nur für Vergleichszwecke.
Blau Nur Kornett Mundstück, ca. 13 mm kürzer als ein Trp. Mundstück (historisch bedingt, das Mundrohr beginnt dafür enger, kleinerer Schaft).
Rosa: Mundstück um 13mm verlängert auf eine Länge die einem Trp. Mundstück entspricht, ergibt eine tiefere 1st Popp. Freq., + 2. Resonanz
Gelb: Mundstück+ nicht unbedingt linear konisches Kornett Mundrohr
Hellblau: Mundstück+ Mundrohr + zyl. Stimmzugbogen
Rot: Mit Kornett Schallbecher = „Bessel – like Horn“ komplettiert.

Der Schallbecher strahlt wesentlich mehr Energie ab, hebt aber auch die Minima = Antiresonanzen gemeinsam mit dem Mundstück im Bereich und oberhalb der 1. Mundstückresonanz deutlich an. Ab ca. 1200 Hz werden die Reflektionen bereits sehr schwach und der Schallbecher „Impedanzwandler“ wandelt sich in ein Megaphon.

Das Mundstück dominiert das Gesamtergebnis in puncto Impedanz Magnitudenhöhe und Frequenz. Die Peak Magnituden scheinen offenbar wie von Geisterhand gelenkt in Richtung der 1. Mundstückresonanz gezogen zu werden. Es sind aber auch die Antiresonanzen = Minima, die das aber nicht im selben Umfang erfahren (siehe Konus)!

Wie man erkennen kann, sind sowohl Mundstück, „konische“ Teile als auch der Schallbecher an der Verschiebung = Verzerrung der Resonanz Maxima Peaks und somit auch an einer „äquivalenten akustischen Länge/Positionen“ über die Frequenz beteiligt.

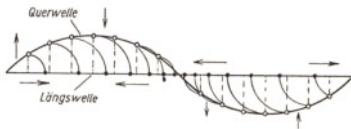
Simulationen mit Openwind zeigen, daß sich der Flußverlauf (Bäuche und Knoten) gleichsam mit den Druckbäuchen und Druckknoten mit verschiebt. D.h. Druckbäuche = Pressure Antinodes sind an den selben Punkten wo minimaler Fluß herrscht und ebenso sind Druckknoten = Pressure Nodes dort wo maximaler Fluß herrscht! Allerdings sind die die Verhältnisse bei lokalen Störungen (Perturbationen) nicht mehr ident und ergeben jeweils einerseits Positionen entlang der Instrumentenachse für Impedanz Maxima Magnitudenwerte und deren Schnittpunkte = Knoten = Nodes, an denen diese kein Veränderungspotential haben = **Impedanz Nodes (IN)** und versetzt dazu Positionen, an denen sich die Tonhöhe = WL = Frequenz = Pitch nicht verändert = **Pitch Nodes (PN)**. Max. Pitch Pot kann Pressure Nodes und Antinodes zugeordnet werden, Peak Magnitudenänderungen weichen ab.

Ohne jede Verzerrung/Versatz (beim Zylinder) wären diese jeweils „idealisiert“ 1/8 Wellenlänge Abstand voneinander entfernt, wobei sich aber zeigt, daß auch im Zylinder die gefundenen Magnitudenänderungen von dieser idealisierten Vorstellung bereits (auf komplexe Art) abweichen.

Nochmals komplett zurück zu den Wurzeln um den Faden nicht zu verlieren!

Longitudinale Wellen vs. Transversalwellendarstellung

Schallwellen breiten sich in freier Luft, aber auch in Röhren longitudinal als, als Variation der Kompression von Luftmolekülen. Transversalwellen treten z.B. in Saiten auf, diese werden folgend immer lediglich als grafisches Mittel verwendet.



<-1st cycle

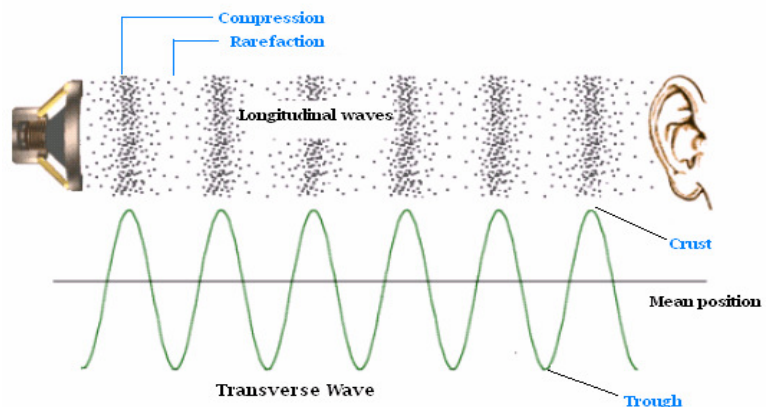
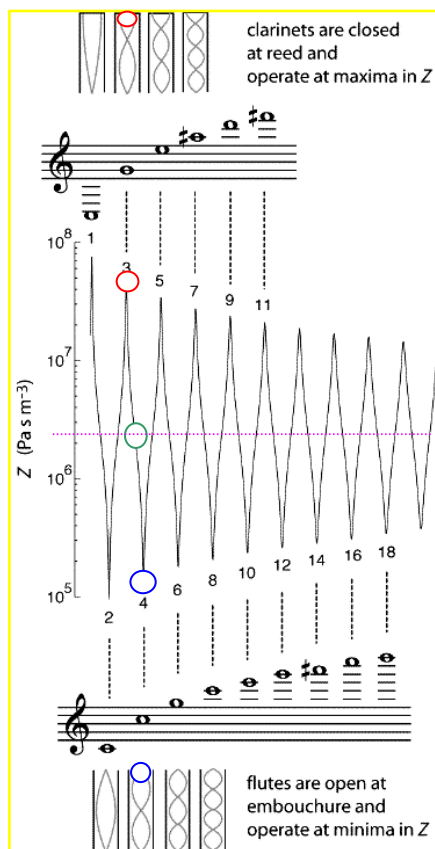


<-2nd cycle

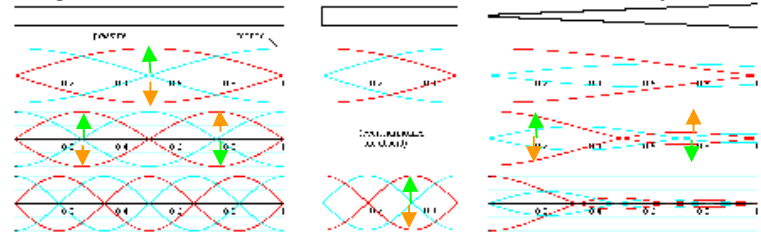
Eine gute visuelle Beschreibung, die ich gefunden habe sieht so wie oben aus.

Weitere folgende Grafiken sind dem Internet entnommen und sind nicht mein geistiges Eigentum. Ich bitte um Verzeihung in Anbetracht der nicht kommerziellen Verwendung und öffentlicher Zurverfügungstellung durch die Autoren!

Schallübertragung im freien Raum:



Mögliche stehende Wellen in verschiedenen Grundformen:

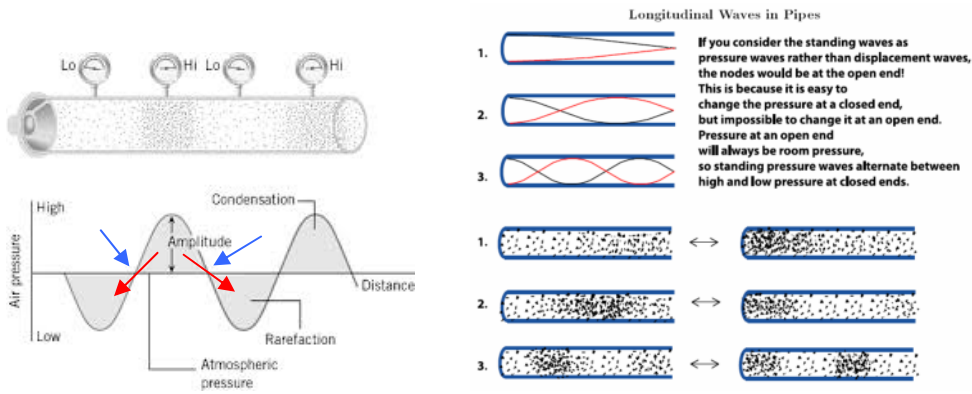


Zylinder, beidseitig offen einseitig closed Konus
 Pressure Max.Pot. = Fluktuation (Unter-/Überdruck)
 Momentaufnahme 1. Cycle, Momentaufnahme next Cycle
 Between Cycle: Ambient Pressure -----

Yellow Graphic – Situation within Woodwinds:

- logarithmic view - closed: Condition met = max. Impedance Magnitude
- logarithmic view - closed: Condition not met = min. Impedance Magnitude
- logarithmic view - between: Wave Impedance!
- logarithmic view - characteristic Impedance of tube

Note: Wrong numbering in graph for open cyl. (because of 1/2 WL; 2 >= 1, 4 >= 2; is then harmonic serie:)! Its not possible to tell the difference because of complete different boundary layers!

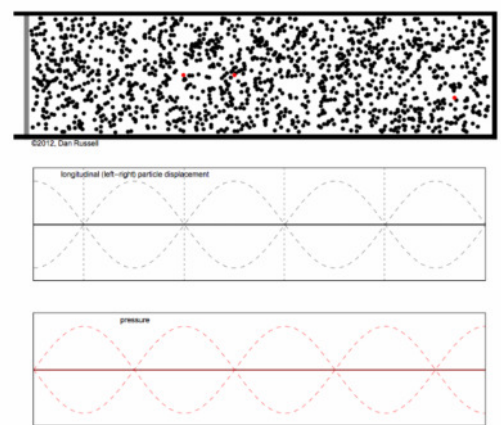
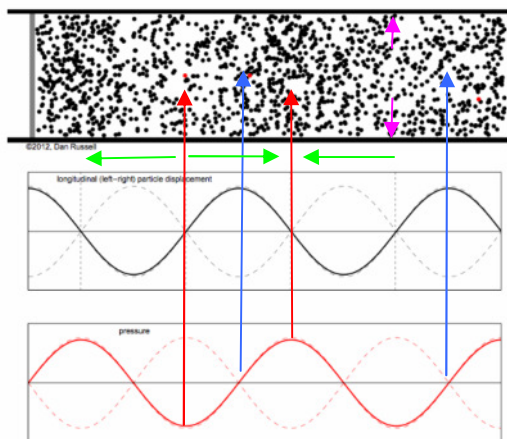


2 cycles/moments

Next cycle: over-/under-pressure reversed, **force** keeps oszilation / standing waves

Flow: Fluids tend to flow from high pressure Spots to low pressure Spots.

Points of max Displacement/Particle Velocity = Schallschnelle, proportional to Pressure



Air Molecule (red dot) is not moving <-> ! max moving <->

Pressure: Unterdruck zu Überdruck (this cycle!)

Moving to Walls: makes Collissions = Losses / Heat, defines also characteristic Wave Impedance of tube.

An einen Übergangsmoment gibt es einen Moment, wo ~ keinerlei Änderungen stattfinden. Atmosph. Pressure, Std. Velocity

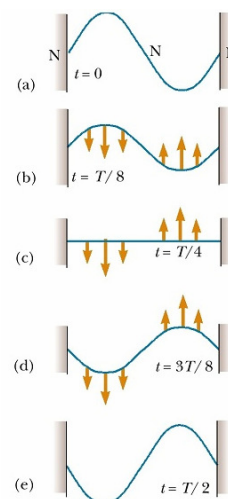
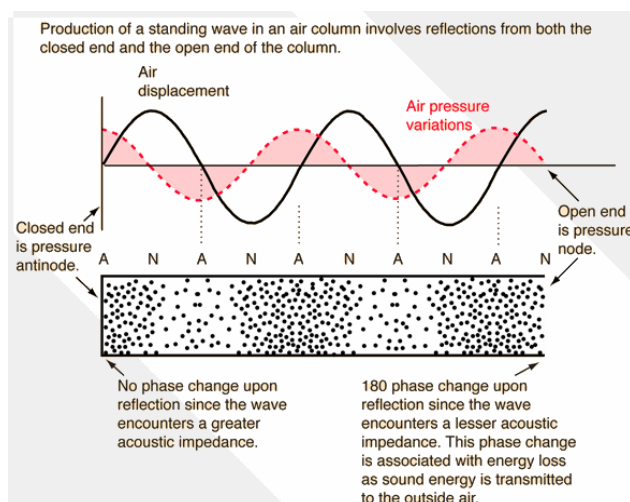
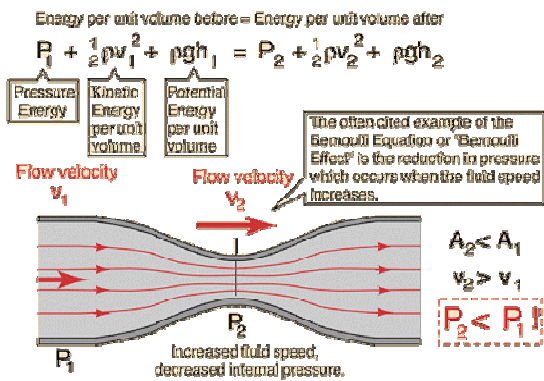


Figure 18.6 A standing-wave pattern in a taut string. The five "snapshots" were taken at half-cycle intervals. (a) At $t = 0$, the string is momentarily at rest; thus, $K = 0$, and all the energy is potential energy U associated with the vertical displacements of the string particles. (b) At $t = T/8$, the string is in motion, as indicated by the brown arrows, and the energy is half kinetic and half potential. (c) At $t = T/4$, the string is moving but horizontal (undeformed); thus, $U = 0$, and all the energy is kinetic. (d) The motion continues as indicated. (e) At $t = T/2$, the string is again momentarily at rest, but the crests and troughs of (a) are reversed. The cycle continues until ultimately, when a time interval equal to T has passed, the configuration shown in (a) is repeated.

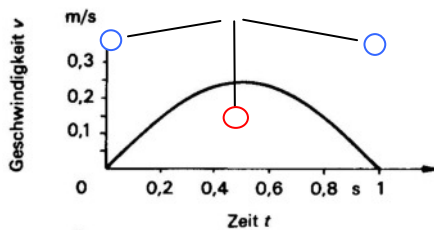
Bernoulli:



Das bezieht sich nicht auf Frequenzen stehender Wellen, weil gegenlaufende Impulse diese Verhältnisse neutralisieren können. Im Fall des Zylinders und des Kegels 1:1; bei Hörnern und Kombinationen gibt es Differenzen!

Generell gibt es bei Rohren einen Druckverlust welchen die vor- und zurücklaufenden Wellenberge erleiden, wir messen allerdings immer die Überlagerung, und somit die bereits reduzierten Mittelwerte *2. Dies wird durch den Reflektionsfaktor beschrieben.

Trägheit und Steifigkeit/Speed/Particle Displacement:



external Force applied (push) in perfect timing! -->>|<<--

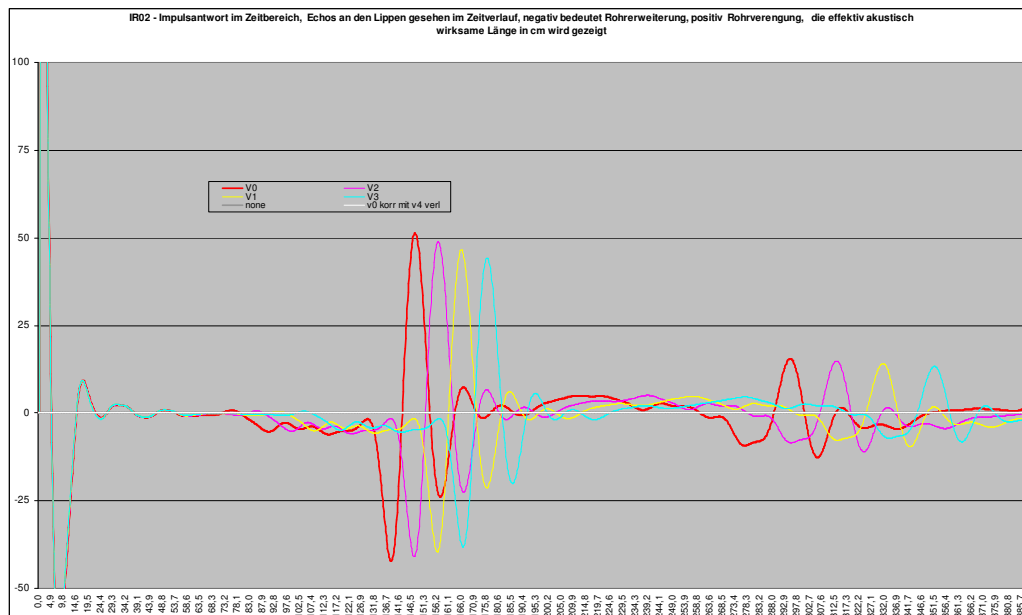
Pendulum: slow (spot with no motion <Acc.> Fastest <Slowdown>slow (spot with no motion)
Next Cycle slow (spot with no motion <Slowdown.> Fastest <Acc.>slow (spot with no motion)

Ein paar Statements zu Blechblasinstrumenten generell – How it works:

Beim Anspielen eines Tones wandert ein erster Druckimpuls bis zu einem gewissen Punkt vor dem Schallbecherende, wo es zu einer „Impedanzbarriere“ kommt. Ein Großteil der Impuls-Energie wird dadurch wieder Richtung Mundstück zurück reflektiert, um im Idealfall zu einer bestimmten Zeit zu den Lippen zurückzukehren. Passt dieser Zeitpunkt (Phase) mit der Geschwindigkeit der schwingenden Lippen **sehr gut** zusammen, so werden diese erneut angeregt und schwingen weiter (und stärker). Passt der Zeitpunkt nicht, so wird die Lippenschwingung dagegen gedämpft. Vergleichbar mit einer Schaukel, auch diese sollte im exakt richtigen Moment immer wieder angestoßen werden um nicht zu bremsen!

Bei einer Bb Trompete ohne betätigte Ventile, einer Rohrlänge von ~139cm und Raumtemperatur) beträgt die Zeit, die dieses erste Signal für diesen „Roundtrip“ zum Becher und retour zu den Lippen benötigt ca. 8,6 Millisekunden. (Also eine knappe Hundertstel Sekunde!) Während dieser Zeitspanne beim Anspielen des Tones sind die Lippen auf sich alleine gestellt und werden von der Luftsäule nicht unterstützt. Bei einem tiefen C1 (NT2) sind das 2 Schwingungen, beim hohen C3 (NT8) sind es 8 Lippenschwingungen!

Impulse-Response:



Impulse Response – von ms auf cm umgelegt, hier sichtbar 1. und 2. Pulsantwort.

Verschiedene Ventillängen: V0 139cm, V2 148cm, V1 157cm, V3 ca. 167cm

„Das simulierte Echo eines Knalls (Druckimpuls) am geschlossenen Eingang (links)“.

Mit zunehmender Rohrlänge (z.B.) durch Ventilschlaufen verlängert sich der Weg und auch die Zeitspanne. Dadurch sind Töne mit einer kürzeren Rohrlänge besser zu treffen und schwingen schneller ein - sprich auch präziser - (siehe Piccolo) oder schwerer (z.B.) barocke Langtrompete - auch ein hörbarer undefinierter Tonbeginn und Klang rührt daher.

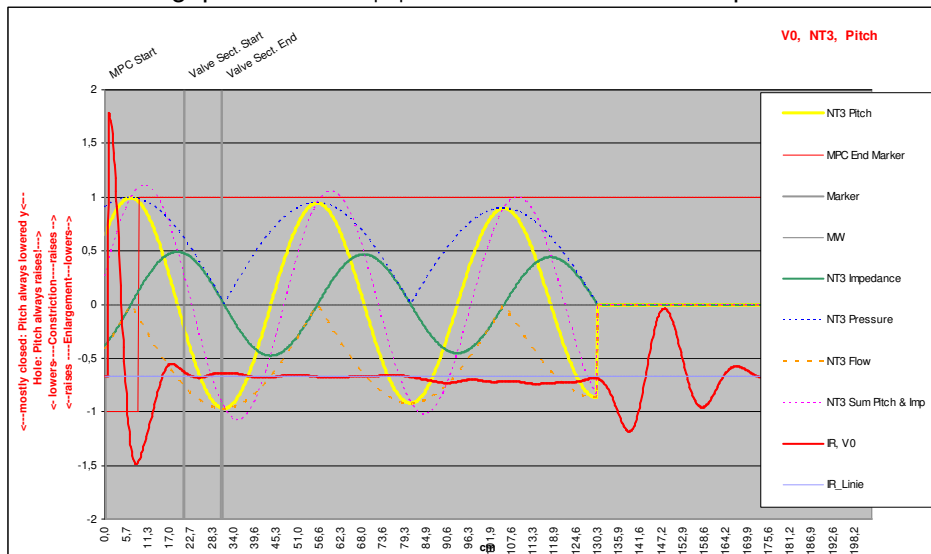
Im Instrument entstehen so bei passender zeitlicher Anregung durch die schwingenden Lippen des Bläusers „stehende“ Wellen. Diese sind longitudinale Luftdruckwellen und haben Druckbäuche und Druckknoten. Am Mundstück hat jeder Naturton einen Druckbauch, noch vor dem Ende des Bechers einen Druckknoten (Umgebungsdruck / Impedanzanpassung). Die Eingangsimpedanz Z am akustisch geschlossenen Ende (Lippen) beschreibt das Verhältnis von Schalldruck zu Schallfluß auf Lippenebene und wird in akustischen Ohm angegeben. Beide Größen sind komplex und üblicherweise als Betrag $|Z|$ und Phasenwinkeldifferenz über der Frequenz angegeben.

Die resultierende Tonhöhe wird primär neben der Anpassungsfähigkeit der Lippen des Bläusers / Zungenstellung, Ansatz generell – welches hier nicht betrachtet wird – weil rein objektiv betrachtet - vom Instrument als Resonator selbst durch die Länge der stehenden Luftsäule und der resultierenden Zeit beeinflusst, aber auch durch (und Änderungen am) Durchmesser oder anderer Umstände (Löcher, Undichtheiten, etc. nebst Temperatur.)

Auswirkungen von lokalen Mensuränderungen - Überblick:

Verengt man ein Instrument in der Region eines **Druckbauches** =max. Über-Unterdruck-Schwankungen, so steigt dadurch global die Tonhöhe/Frequenz des Naturtones. Wird ein Instrument in der Region eines **Fluß-Bauches** (~Umgebungsdruck) verengt, so fällt global dadurch die Tonhöhe. Bei Erweiterungen ist es umgekehrt. Dazwischen - an einem Nulldurchgang der Nulllinie ändert sich dafür die Tonhöhe gar nicht. (**Aber die Input Impedanz!**) Das war jetzt eine grobe schematische Vereinfachung vorab.

Stark vereinfachtes Schema Druck- und Fluss Verlauf in einer Bb Trompete, bei Mode #3 (g1) und Änderungspotential der |Z| in Peak Maxima und Frequenz durch lokale Querschnittänderungen



Änderungspotential hier für Naturton 3, Links sind die Lippen, bei ~139cm das physikalische Schallstückende, bei 147,2cm die akustisch wirksame „overall“ Länge = äquiv. Länge eines Konus.

Für unterschiedliche Hörner, „Röhren“ wie geschlossene oder offene Zylinder, offene und geschlossene als auch „truncated“ / „gekröpfte Konus, etc. gibt es (teils relativ einfache) Berechnungsformeln, welche Tonhöhen diese mit bestimmten Abmessungen produzieren.

Blechblasinstrumente sind vom Prinzip her einseitig geschlossene Zylinder, die nur ungeradzahlige harmonische als Schwingungsmodes zulassen (wie abgewandelt auch Klarinette, Panflöte).

Als Konus (mit Spitze) oder Frustum würden Sie annähernd harmonische Obertöne produzieren. **Konuse haben allerdings ihre Druck- und Flußböuche versetzt an anderen Positionen.**

Beidseitig offene Zylinder produzieren ebenfalls gerade- und ungeradzahlige Vielfache des Grundtones (Flöte als Beispiel) – nur sind Blechblasinstrumente an einer Seite während des Spielens durch die Lippen **zu einem sehr hohen Grad „verschlossen“**.

Blechblasinstrumente haben keine der oben genannten Form. Hier versucht man anhand Physik und Simulationsmodellen diese zu bestimmen, wie auch den Magnitudenbetrag |Z|

Blechblasinstrumente bestehen aus mehreren Teilen, die in Kombination hintereinander den einen oder anderen Typus (engemensuriert bis weitmensuriert) bilden.

Die Kombinationen und Dimensionen sind größtenteils historisch gewachsen und alle Kombinationen wurden nach „trial & error“ gewonnen und zum Teil weiter entwickelt.

Eine Standardkombination sieht in den meisten Fällen folgendermaßen aus:

Ein Mundstück – das als Helmholtz Resonator beschrieben seine akustische Länge mit der Frequenz verändert. Danach ein mehr oder weniger konisches, oder auch ein zylindrisches Mundrohr. (spez. bei älteren Instrumenten viele zylindrisch!).

Ein oder mehrere zylindrische Abschnitte, in diesem ist oft ein Ventilstock mit Undichtigkeiten, mit Kanten, Ecken, Gaps, unrundern Elementen, Durchmesseränderungen, engen Bögen etc. integriert.

Ein oder mehrere „Anstöße“ bei weitmensurierten Instrumenten, welche sich stetig oder langsamer/schneller erweitern – ich verzichte hier absichtlich auf „konisch“. Dieser ist meist nicht KONISCH – sondern er erweitert sich „konusähnlich“, stetig aber nicht konstant schnell, mit einem fortlaufend etwas größerem Winkel. Das macht akustisch wie in vorigen Kapiteln ausführlich betrachtet wurde einen sehr großen Unterschied (Hörner).

Zylindrische und „konische“ Rohre können gebogen werden, ohne daß dies einen gravierenden akustischen Unterschied macht, (es verursacht aber Unterschiede).

Ein Schallbecher – der sich ebenfalls mehr oder weniger schnell und unterschiedlich stark erweitert – sehr häufig mit unrunder Stellen an der Biegung, dieser endet zum Schluß in einen Bechermund und anschließend mehr oder weniger stark und rasant in den letzten Teil, die Schallbecher Endausschweifung, welche unterschiedlich groß sein kann.
Anmerkung: (Der Querschnitt muß nicht rund sein, ist so oft aber am einfachsten).

Schallbecher können nicht nur gebogen werden, sie können prinzipiell auch in sich gefaltet werden und verlieren ihre Funktion dadurch nicht, wie eigene Experimente gezeigt haben!

Der Schallbecher reflektiert die einzelnen Naturtöne an unterschiedlichen Stellen – ist also frequenzabhängig akustisch von etwas bis wesentlich kürzer als physisch. Tiefere Frequenzen werden nicht am Bechermund, sondern schon beachtlich früher reflektiert als hohe Töne – der Schallbecher hebt Frequenzen tieferer Töne dadurch stark an.

Hinzukommen ev. noch Verunreinigungen, Ablagerungen, Fehler durch die Produktion, (Rest-Blei, Teer, Lötzinn, Spalte), unrunder Bögen, spez. auch oft engere Zugbögen, Undichtigkeiten, usw., des weiteren: beachtliche Ablagerungen (Speichel) oder Reste davon durch den Bläser selbst, Fett von Stimmzügen, vorhandene Dellen, bzw. Abweichungen bei ausgedellten Stellen, Einengungen und Kanten bei Ventilen, usw.

Alle diese genannten Komponenten sowie Ihre Abmessungen und Ausprägungen tragen dazu bei, dass man die Instrumente als sehr stark modifizierte geschlossene Zylinder mit einem Schallbecher, der annähernd einem Besselhorn mit Flare Faktor zwischen 0,6-0,8 entsprechen kann (nicht muß). Solche mathematischen Besselhörner in Kombination mit zylindrischen Rohranteilen und Mundstück liefern Naturtöne mit annäherungsweise harmonischen Frequenzverhältnissen ihrer Nachbar-Resonanzen. (1. Mode bleibt zu tief).

Engmensurierte Blechblasinstrumententypen haben ihren theoretischen Ursprung im geschlossenen Zylinder und liefern ohne Modifikationen und Kombinationen mit Mundstück, Mundrohr und Schallbecher nur UNGERADZÄHLIGE Resonanzen / Naturtöne **und so bleibt es auch mitsamt Modifikationen.**

Durch die radikalen Modifikationen werden diese ungeraden Naturtöne allerdings größtenteils möglichst so weit verschoben, (siehe frequenzabhängige, akustisch wirksame Längen), dass diese annähernd die gleichen Schwingungen erreichen, als wären es „mathematisch harmonische“ eines fiktiven Grundtones.

Hätten alle Naturtöne den selben fiktiven Grundton wären die Schwingungsverhältnisse harmonisch, d.h. exakt 1:2:3:4:5... usw.

Achtung: Nicht verwechseln mit harmonisch in einem musikalischen Sinn!

Im weiteren werden sie „mathematisch harmonisch“ d.h. aneinanderfolgend nummeriert. Mit Mode #1=NT1 für Grundton, Mode #2=NT2 (notiert tiefes C), NT3 (notiertes G1), usw.

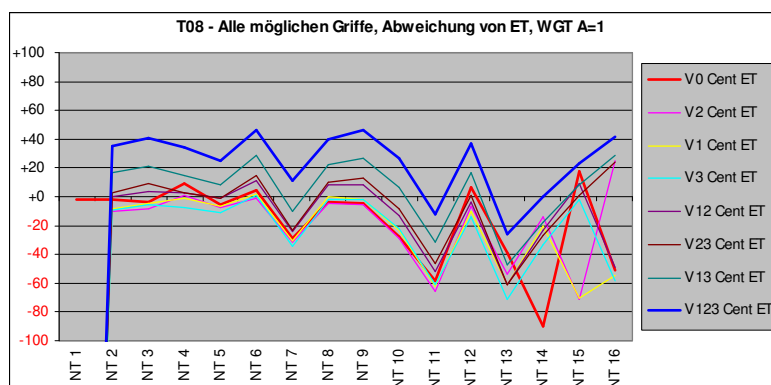
Betrachtet man die Eingangsimpedanzen eines engmensurierten Instrumententyps wie die einer Bb Trompete, wird klar dass der Grundton hier durch die Modifikationen nicht weit genug verschoben werden kann. Dieser bleibt wesentlich zu tief, hat keine passenden höheren Harmonischen, und spricht daher nicht an. Dagegen kann aber mit Übung ein fiktiver Grundton erzeugt werden, der nur aus den Impedanzen der oberen resonierenden Moden besteht, dieser fällt auf eine (höhere) Frequenz, wo die tatsächliche Frequenz ein Impedanzminima auf Lippenebene ergibt.

Weit mensurierte Blechblasinstrumententypen haben ihren theoretischen Ursprung im Konus mit geschlossener Spitze, der bereits die harmonischen Frequenzverhältnisse besitzen würde. Die Spitze muß allerdings durch ein Mundstück ersetzt werden, und für eine bessere Schallabstrahlung und Reflektion muß die große Öffnung mit einer Schallbecherausschweifung versehen werden. Bei Ventilinstrumenten müssen zudem lange Rohrabschnitte zylindrisch sein, dies alles verschiebt die Resonanzverhältnisse beträchtlich und es ergibt sich das gegenteilige Bild im Vergleich zu den engmensurierten Verwandten.

Bei weit mensurierten Instrumenten sind die tieferen Frequenzen und spez. die Frequenz des Grundtons durch Modifikation allerdings nicht so weit nach unten verschoben, haben passende höhere Moden mit Impedanzmaxima und können daher auch leichter angespielt werden. Bei sehr tiefen, weiten Instrumenten sogar ~ stimmend.

Ventile ergeben unterschiedlichen zylindrischer Anteil und Kombinationsfehler:

Nun kommen noch zusätzlich die Fehler durch die Verwendung von Ventilkombinationen und daraus resultierend zu kurze kombinierte Schlaufenlängen, sowie Abweichungen mit zusätzlich geänderter Mensur / zyl. % Anteil. Sehr oft wird zudem auch einem bestimmten Klangideal nachgeeeifert welches mit Stimmung eventuell nicht kompatibel ist. Stichwort zb. möglichst große Mundstück-Kessel bei Flügelhörnern und Trompeten.



*Testinstrument eine Bb Trompete, gewichtet auf ~ mf Level,
Abweichung in Cent von gleichmäßig schwebend temperierter Stimmung*

Ein Teil dieser Abweichungen ist auf Ventillängenfehler zurückzuführen, ein anderer auf geänderte „Mensur“ anhand der geänderten Gesamtlänge, ein anderer auf allgemeine physische Faktoren wie Mundstückvolumina, Mundrohr, zyl. Bohrung, enge Bögen, Verluste, Becherausformung und ein guter Teil auf das verwendete Stimmungssystem. (Siehe Teil1 der Arbeit).

Ziel des Projekts ist es Blasinstrumente zu verstehen und zu verbessern, aber sie können auch (lediglich) verglichen und damit objektiv bewertet werden.

Jedes vorliegende Blechblasinstrument muß als Summe zahlreicher bereits vorab vorhandenen Änderungen „Perturbationen“ angesehen werden. Bläser bzw. Meßkopf; Mundstück, Seele, Mundrohr, Stimmzug Gaps, Bögen, Ventile, Maschine, Dellen, Leaks, Mensur, Schallbecher usw. tragen dazu jeweils ihren Teil bei.

Perturbationen / Änderungen sollten daher vor allem vorhandene Schwachstellen beseitigen, erst danach kann über eine weitere Optimierung je nach Einsatzzweck gedacht werden!

Die Eingangsimpedanzkurve und das Matching von subjektiven Empfindungen:

Betrachtet und beurteilt man die akustisch gewünschte Qualität von Blechblasinstrumenten in ihrem „Ist-Zustand“, dann ist das entweder objektiv 1. z.B. mit Hilfe von Meßverfahren und damit verbundener möglicher Abweichungen, 2. durch Simulationen, oder 3. subjektiv möglich, wo es auf das Empfinden und die momentane Tagesverfassung von Testbläsern und Zuhörern ankommt. Im subjektiven Fall kommen über die Rückkopplung von Sinneswahrnehmungen durch Ohren /Wandschwingungen/Luftstrom/Lippen/Gehirn notwendige Korrekturen zur Beurteilung hinzu.

Die objektiven Ergebnisse sollen sich mit dem großen Erfahrungsschatz der subjektiven Beurteilung durch Bläser möglichst gut vermengen/„matchen“, d.h. es müssen die passenden Parameter aus objektiven Meßdaten mit den subjektiv empfundenen Ergebnissen in einer nachvollziehbar richtigen Art und Weise zusammengeführt werden, damit diese eine praktische und nutzbare Aussagekraft besitzen.

Es wird die im Instrument verbleibende, reflektierte „akustische Masse“ betrachtet, „standing“, „non standing“ Waves und alles dazwischen. Die Kurve wird immer stark vom verwendeten Mundstück dominiert. Wenn mehr Energie im Instrument bleibt, wird dafür weniger abgestrahlt. Die hörbare Klangfarbe (Spektrum) und Lautstärkeneindruck ändern sich.

Beurteilungen sind oft Vergleiche zu bereits gesammelten Erkenntnissen:

Neben den absolut bestimmbaren Größen wie Frequenz, Länge und Durchmesser können viele der objektiven Messwerte als auch bei subjektiver Bewertung nur anhand vorab gesammelter Referenzen, seien es Vergleichsmessungen, Durchschnittswerte, Erfahrungen, etc. gegenübergestellt, verglichen und beurteilt werden. Viele Auswertungen hätten ohne solche Vergleiche keinerlei Aussagekraft bezüglich deren Informationsgehalt.

Das richtige Matching von objektiven Messwerten zur subjektiven Beurteilung von Unterschieden durch Bläser ist dabei das wichtigste verbindende Glied. Messergebnisse, denen kein subjektiver Unterschied für den Bläser gegenübersteht sollten daher nicht überbewertet werden, diese haben aber unter Umständen einen großen Informationsgehalt für Forschungszwecke.

Resultierende Tonhöhen / Frequenzen:

Stimmungsabweichungen der Peak Maxima: Diese können neben objektiven Auswertungen auch subjektiv mittels Ohren und analytischem Hören erfasst/beurteilt werden (Hörer + Bläser).

Resultierende Tonhöhen lassen sich (von mir subjektiv empfunden) wesentlich kräfteschonender, einfacher und kontrollierter nach unten korrigieren /ziehen / benden als nach oben. Daher haben zu tiefe Naturtonfrequenzen oft einen stärkeren, negativen Impact als zu hohe (mit Ausnahmen).

Eingangsimpedanz Magnituden:

Die umhüllenden Kurven von Peaks, Minimas und Wave Impedanz bzw. WI-Crossings, als auch Fractional return, Q1-Faktor / Kreisgüte sollten, sofern vorab keine **groben** Mängel oder Fehler vorliegen, möglichst „ruhig“ verlaufen. Grobe Ausreißer sollten somit bereits identifizierbar sein.

Ansprache / Einschwingvorgang:

Eine subjektiv schlecht empfundene Ansprache einzelner Töne äußert sich unter anderem in der Impedanzkurve in einer reduzierten Magnitude der betreffenden Peak Maxima oder stark erhöhter Minima + Wave Impedanz. Die subjektive „Ansprache“ beschreibt aber eher den generellen Einschwingvorgang und wie rasch und komplikationsfrei dieser stattfindet. Der folgende stationäre Teil ist oftmals davon losgelöst. So kann ein schlecht ansprechender Naturton bei dem einen oder anderen Instrument durchaus mit wenig Energieaufwand „gehalten“ werden! (Siehe Wiener Klappen.)

Widerstand und Atemluft:

In Bläserkreisen wird oft über „Widerstand“ oder „Resistance“ ihrer Instrumente diskutiert. Was jeder für sich selbst da genau meint kann generell so nicht beantwortet werden, es sollte aber immer auf die Frequenz bezogen betrachtet werden.

Meint der eine damit, für eine gewisse Lautstärke eine gewisse Menge Luft oder Lippenkraft / Energie aufbringen zu müssen, meint ein anderer damit das „Slotting“, d.h. wie einfach sich Tonhöhen durch ziehen verändern lassen, ein dritter wird damit die Leichtigkeit von Bindungen meinen, weitere Kriterien wären ab welcher Frequenz es schwer wird Töne hervorzubringen, usw.

Jedes Instrument wird „eng“ und macht ab einer gewissen Tonhöhe „zu“, d.h. es finden weniger für die Lippen verwertbare zeitlich passende Druckschwankungen statt; der periodisch öffnende Lippenspalt wird kleiner. Es ergibt sich der subjektive Eindruck, als wolle die versucht zugeführte Luftmenge nicht in der beabsichtigten Geschwindigkeit durch das Instrument fließen.

Mancher schiebt diese mehr oder weniger vorhandene Enge vorschnell auf die engsten Stelle im Instrument: Die Seele des Mundstückes. Eine Großzahl weiterer Bläser wird den zylindrischen Bohrungsdurchmesser, die „Bore size“ oder einen bestimmten Ventil-Typus als Missetäter ins Visier nehmen, ohne die zahlreichen anderen Umstände mitzuberücksichtigen.

Merke: Es ist nicht notwendig überhaupt Luft durch das Instrument zu blasen! Luft wird lediglich dazu benötigt, die Lippen am Öffnen/Schließen = Schwingen zu halten. Dazu ist durchaus viel Druck im Mundraum notwendig, speziell mit steigender Tonhöhe. Der notwendige Luftdruck darf zwischen Lippen und Mundstück nicht entweichen, dies würde auch die hier vorherrschenden Druckböue schlagartig zunichte machen!

Ein oftmals propagiertes „**druckloses Spiel**“ ist daher nicht möglich, es sollte aber möglichst nur der tatsächlich notwendige Druck der Lippen auf das Mundstück angewendet werden.

Andererseits kann man nicht abstreiten, daß die angesammelte Luft irgendwie ausgeatmet werden muß. Es liegt auf der Hand, daß bei einem großvolumigen Instrument mit großem Mundstück die gesamte Luft während des Spiels ausgeatmet / aufgebraucht werden kann / muß; Es ist hier also generell eine große Luftmenge erforderlich. Das hat den Grund, daß bei tiefen Frequenzen die Zeitfenster, „Slots“ bei denen die Lippen geöffnet sind, länger andauern und vor allem die Lippenöffnung durch die tiefen Frequenzen wesentlich größer ausfällt und viel mehr Luftfluß stattfindet.

Bei allen Blechblasinstrumenten ist eine **Übermenge** eingeatmeter Luft hilfreich, da diese mittels „Stütze“ so dann einfacher auf einen höheren Level komprimiert werden kann als mit zuwenig Luftvolumen. Umso höher die gespielten Frequenzen (und ebenso wenn leiser), desto weniger Luftvolumen wird daher im Verhältnis zur notwendigen eingeatmeten Luftmenge verbraucht und muß somit zwischenzeitlich bei passender Gelegenheit ausgeatmet/ausgetauscht werden.

Die Menge an Luft die ein Instrument benötigt, wird subjektiv vom Bläser vor allem immer damit verbunden für welche Lautstärke und Klang die er selbst wahrnimmt, wieviel an Luft notwendig ist. Das wiederum ist stark davon abhängig in welche Richtung der Schallbecher zeigt, ob im Freien, ob in einem Raum und an welcher Position (Raumakustik), ob im Ensemble / Register, Tagesverfassung, Ansatz, usw. Man kann daher auf sehr unterschiedliche Ergebnisse kommen.

Andererseits hat ein erfahrener und geübter Bläser ein gutes Gespür dafür in dieser Hinsicht unterschiedliche Instrumente unter diesen gleichen Rahmenbedingungen miteinander zu vergleichen. Individuell wird ein Bläser mit einer Überschußmenge an Restluft besser zurechtkommen als ein anderer, das sind somit verschiedene Vorlieben, denen individuell nur unterschiedliche Mundstücke/Konfigurationen/Instrumente gerecht werden können.

Letztendlich könnte man den subjektiv empfundenen Widerstand damit beschreiben, wie wenig Energie und Anpassung notwendig ist um eine gewünschte Lautstärke und Klang hervorzubringen.

Zusammenfassung, etwas Humor und etwas Kritik:

Da aus allen zuvor genannten Gründen nur annähernd harmonische Verhältnisse über den gesamten Frequenzbereich erreicht werden können, kann es auch niemals vollständig perfekt stimmende Blechblasinstrumente geben, speziell wenn sie mit Ventilen oder Zügen ausgestattet sind. Weder nach dem Ideal der sogenannten „Reinen Stimmung“ noch nach dem Ideal der „gleichschwebend temperierten“ Stimmung, dies wurde in Teil 1 ausführlich erläutert. Ebenso kann Ansprache und Klang nicht gleich gut auf alle Töne verteilt werden.

Instrumentenhersteller, als auch Hersteller von Zubehör wie Mundstücken, etc. kehren das gerne unter den Teppich und die Hauptschuld an Missständen wird gerne dem jeweiligen Bläser mangels fehlendem Talent und Ansatzkraft, Können etc. untergejubelt.

Aber warum? Die Werbekataloge von großen europäischen und auch amerikanischen Instrumentenfabriken im 19. Jahrhundert haben damit bereits begonnen, vielleicht auch schon Sax zuvor. Immer kam ein z.B. „neues Wunder“ etc. dazu.

Das war allerdings auch die Zeit der großen Erfindungen und neuen Möglichkeiten durch die Industrialisierung. Damals gab es oft aber noch Zusätze wie „in vorzüglicher Qualität“, „gemeine Ware“, usw.; Heute sind es die Bezeichnungen „Student“, „Intermediate“, „Pro“, die den Kunden entzücken sollen!

Zugegeben ist es verständlicherweise für keinen Anbieter ein gutes Marketing, wenn heute auf einer Website oder in einer Produktbeschreibung in etwa zu lesen wäre:

Beipackzettel und Bedienungsanleitung „Blechblasinstrument“:

Achtung: Das Instrument wird akustisch und konstruktionsbedingt grobe Intonationsabweichungen und schlechte Ansprache von zahlreichen Tönen beinhalten! Dies ist aber auch bei allen anderen Herstellern der Fall. Eine Energie-Effizienzklasse kann nicht angegeben werden, wir versichern aber, daß wir uns sehr bemühen ein ausgezeichnetes Produkt zu verkaufen!

Durch den unsachgemäßen Gebrauch des Produkts kann es unter anderem zu Wirbelsäulenproblemen, Krämpfen, Zahnextraktion, Atemnot, Kreislaufbeschwerden, Herzstillstand des Benutzers und auch Hörverlust anwesender Personen und Tiere kommen. Der Benutzer hat es auf eigene Gefahr zu verwenden. Achtung: Bewahren Sie das Produkt an einem sicheren Ort auf. Vor allem Kleinkinder könnten es zwar nicht gänzlich verschlucken, aber sich und andere damit verletzen oder es zerstören.

Zur chemischen elektrolytischen Oberflächenveredelung sowie davor der inneren Formgebung wurden sehr giftige Stoffe eingesetzt. Es wird produktionsbedingt auch Reste von Blei, Nickel, Zink, Quecksilber und eine Vielzahl weiterer gesundheitsbedrohlicher Stoffe enthalten.

Dieses Produkt erfüllt keine vergleichbaren Gütesiegel oder Standards, da es solche nicht gibt, mit der Ausnahme daß wir in Millimetern oder Zoll messen. Zudem werden aus Kostengründen seit geraumer Zeit zahlreiche Komponenten aus Fernost verbaut, wie sie auch bei namhaften anderen Mitbewerbern ebenso verwendet werden, da Bestandteile aus dem ehemaligen Ostblock nun oftmals bereits zu teuer sind.

Ihr Instrument enthält Ventile zur Verlängerung der Instrumentenlänge. Bitte verlieren Sie diese nicht! Die verbauten Ventilschleifenlängen bzw. deren Faktoren können wir nicht bekanntgeben, da wir unsere Ventilstöcke fertig von externen Spezialisten fertig zukaufen und nicht nachgemessen haben.

Das Produkt hat zahlreiche interne Qualitätstests positiv durchlaufen die wir öffentlich aber nicht dokumentieren, es wird nicht von unabhängigen externen Gutachtern überwacht. Denn dafür haben wir hochqualifizierte „Endorser“, also namhafte Künstler im Einsatz, die wir dafür gut bezahlen. Diese können sogar einer Gießkanne zauberhafte Klänge entlocken! Solche haben zudem erst kürzlich entdeckt, daß unsere neue extragroße Logo Lasergravur sich besonders vorteilhaft auf den Klang auswirkt und einen großen Fortschritt darstellt, das belegen unsere Verkaufszahlen!

Der Anteil an fehlerhafter Ausschussware wird aus Wettbewerbsgründen nicht offenbart, ist aber anhand unserer Management Strategie und dank großzügiger Toleranzen als besonders gering einzustufen!

Zudem fehlen uns leider nach wie vor Computer Simulationsmodelle, um die erbrachte musikalische Wirkleistung 1:1 vorauszuberechnen, da die Art der Reflektion/Transmission bei Schallbechern noch nicht gänzlich erforscht ist und es dadurch leider zu großen nicht geplanten Abweichungen kommt. Das ist aber nicht bedenklich da wir uns stets bemühen, unsere Instrumente von bereits vorhandenen, bewährten Geometrien möglichst detailgetreu 1:1 zu übernehmen.

Wir bieten wechselbare Mundstücke, Mundrohre und Schallbecher an. Wir wissen, daß manche Kombinationen überhaupt nicht zusammen passen können. Bitte beachten Sie, daß sich Klang, Ansprache und Stimmung zahlreicher Töne dadurch ganz gravierend verändern kann.

Das war jetzt natürlich absichtlich total überspitzt, – oder vielleicht doch nicht so sehr? Und ich bitte die Leser das mit der notwendigen Portion Humor aufzunehmen.

Natürlich hat jeder Bläser selbst durch Lippenmasse, Ansatz, Rachenraum, Zahnstellung, Lungenvolumen, Statur, körperlicher Verfassung, innerer Einstellung, Ausbildung, Übung, Musikstil, verwendetem Mundstück usw. einen sehr großen Anteil am „Gesamtinstrument“.

Darüberhinaus gibt es ein „Super-Instrument“, das alle gewünschten Facetten ideal abdecken könnte selbstverständlich nicht. Es braucht spezialisierte Instrumente für den jeweiligen Einsatzzweck und Gebrauch und daher braucht es auch eine große Auswahl. Jeder Bläser hat zudem andere Vorlieben und finanzielle Möglichkeiten.

Nicht alle, aber viele Bläser (warum gerade darunter so viele Trompeter? Gesteigertes Ego?) sind jahrelang auf der Suche nach einem Instrument oder Mundstück, daß ihre Bedürfnisse besser erfüllt als die bisherigen nun angesammelten Teile, die oftmals dann aber doch liebgewonnen nur schweren Herzens wieder abgegeben werden und als Reserve oder als dekorativer Wandschmuck gehortet werden. Ist das möglicherweise der Hauptgrund für Hersteller so die Nachfrage anzuregen und Verkaufszahlen zu steigern?

Es wäre meiner Meinung an der Zeit, daß die Branche sich mehr dem Kunden öffnet. Es müsste nur ein engagierter und namhafter Instrumentenbauer dieses Risiko eingehen und **offensiv** damit beginnen! Wäre es ein Risiko oder vielmehr nicht ein Wettbewerbsvorteil? Manch kleine Hersteller und Meisterbetriebe der Zuft gehen ja bereits zaghaft darauf ein.

Ist die Kundschaft doch noch nicht so aufgeschlossen und ist es besser beim allgemeinen Woodoo zu bleiben? Die Spezies „Hohes Blech“ ist scheinbar besonders hörig auf Mythen und mancher Bläser fühlt sich in dieser Hexenküche sehr wohl. Dieses vom Schwarm gebildete, magische Umfeld inspiriert viele Trompeter, egal ob diese professionell Trompete spielen und davon leben (können/müssen/dürfen), aber noch viel mehr selbsternannte Experten, den einen oder anderen einmal aufgeschnappten Käse patriotisch weiterzugeben, ohne die Aussagen und Wahrheitsgrad zu hinterfragen.

Spieler, die in Internet Foren nur über eine #xy Mouthpipe und #yz Bell diskutieren und spekulieren, ob das jetzt ein Pfusch ist oder wenn im Jahr 1950 produziert Goldes wert ist? Oder doch besser nur ausschließlich vom Meister bei Vollmond von Hand gedengelt? Hilft solch sinnreicher Gedankenaustausch der Bläser-Community oder Personen, die auf der Suche nach Problemlösungen sind? Ich denke es schürt nur mehr Verunsicherung.

Ende der Kritik, jeder soll seinen Gedanken freie Luft geben, aber diese Punkte musste ich einmal loswerden und die passen in diesen Abschnitt sehr gut hinein!

Man könnte es jetzt beliebig lang fortsetzen. Es bleiben im Fall einer so genannten „Jazz-Trompete“ nur geringfügige Abweichungen einer sehr erfolgreichen Mensur der Firma French Besson aus dem frühen 20. Jahrhundert. Eine Trompete, die so ähnlich klingen soll muß folglich auch ähnliche Dimensionen besitzen! Entfernt man sich zu weit, ändert sich auch der Klang sehr.

Natürlich kann man auch auf einem weniger gut stimmenden Instrument spielen und mancher hat damit auch gar kein Problem, weil er vielleicht gar nichts anderes kennt oder braucht. Oftmals überwiegen vielleicht auch besondere Eigenschaften wie Klang, Gewicht, Haptik, Herstellermarke, Aussehen, etc. wo Intonationsmängel dafür bewusst in Kauf genommen werden. Oder es sind Dienstinstrumente, die man sich nicht aussuchen kann.

Letztendlich ist aber neben Klangeinbußen vor allem wesentlich mehr Energieeinsatz für teils extreme Korrekturen notwendig, sofern man trotzdem gut intonieren will, da man gegen die schwingende Luftsäule im Instrument umso mehr „ankämpfen muß“.

Es bleibt daher oft keine andere Möglichkeit als sich zu arrangieren, damit auszukommen und damit umzugehen. Man kann aber auch versuchen, die komplexen Zusammenhänge und Kombinationen zu verstehen, neu zu verteilen, und für musikalische Zwecke zu optimieren – und das ist seit Jahren das Ziel meiner Forschungen und Versuche.

Dieses Dokument war Teil 2A als einführende Dokumentation. Folgeteile dieser Einführung befassen sich jeweils intensiv mit:

Teil 2B: Zylinder und Konus + unbedingt Sideletter #1-#6 beachten, speziell #3

Teil 2C: Perturbationen an einseitig geschlossenen Zylindern und Frustum + Sideletter #3

Teil 2D: Mundstück, Mundrohr sowie sehr ausführlich mit Hörnern & Schallbechern

Teil 2E: Mode-Matching, Erfindungen, Ideen und Schallbecherstürzen

Teil 2F: Mundrohre als verbindende, korrigierende und gestaltende Elemente

Weiterführende Projektteile bauen auf Grundlagenverständnis der vorangegangenen Teile auf und ich befasse mich darin mit objektiven Meß- und Vergleichsmethoden, Forschung und Durchführung gezielter Modifikationen von Blechblasinstrumenten, vorerst im Speziellen am hohen Blech.