Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten

Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten.

Inhaltsverzeichnis der einzelnen Projektinhalte und Dokumente

Projektstand per 19.11.2023, Revision 11.0

Die aktuellste Version dieses Dokuments finden Sie auf der Projektseite:
http://www.preisl.at/brassissima/

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

brassissima
The fantastic world of Brass Instruments

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

Hermann Preisl

Altwaidhofen 45
3830 Waidhofen/Thaya, Austria

brassissima@preisl.at

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

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

Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten - Rev. 10.0

Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten – Projektinhalt:

Teil 0:	Eine kompakte Projektübersicht	4
Teil 1:	Musikalische Grundlagen, Stimmungssysteme, Ventile und deren Auswirkungen im Ensemblespiel, eine Einleitung	5
Teil 2A:	Akustik von Zylinder, Konus, Hörnern und und die Mensur von Blechblasinstrumenten, eine Einleitung	7
Teil 2B:	Akustische Eigenschaften simpler Geometrien: Zylinder, Konus & Frustum im Vergleich	8
Teil 2C:	Perturbationen bei simplen Geometrien: Closed Cylinder & Frustum closed-open	9
Teil 2D:	Einzelkomponenten und ihre Eigenschaften: Mundstücke, Schallbecher, Hörner, die Hornfunktion	10
Teil 2E:	Mode matching, Ideen & Patente, das Bell Skirt – die Stürze	12
Teil 2F:	Mundrohre als verbindende Elemente, Lead Pipe Design & Valve Bore Size	13
Teil 3:	Grundlagenforschung mit Hilfe von Virtualisierung und Simulationen	14
Teil 4:	Optimierungstrategien kompletter Ventilblasinstrumente durch Perturbationen	15
Teil 5:	Kalibrierung Messkopf und Messungen realer Instrumente	22
Teil 5:	Fehlersuche Messkopf und Soundkarte - interne Dokumentation	23
Teil 6:	Informationen aus dem Zeitbereich / Impulseresponse	24
Teil 7:	Simulationsmodelle und Differenzen gegenüber realen Impedanzmessungen an einer Trompete	25
	Abschnitt A - Impedanzmessungen und Differenzen gegenüber Simulationen	25
	Abschnitt B – Versuche, Zusammenhänge im Frequenzbereich erforschen	26
Teil 8:	Der Informationsgehalt von Impedanzkurven – Fakten, Visionen, Thesen & praktischer Nutzen	27

Die Sideletter befassen sich mit mathematischen und physikalischen Grundlagen und Tatsachen:

Sideletter #1:	*Physik - Grundlagen:* *Komplexe Zahlen, Elektrizität, Wechselstrom, Impedanz,* *Mechanische Schwingungen, Wellenlehre, Ströhmungslehre*	*28*
Sideletter #2:	*Schall in Rohren – Sound in uniform Tubes*	*30*
Sideletter #3:	*Perturbationen, Equivalente Längen, W-Curves, Formeln und Versuche*	*32*
Sideletter #4:	*Next Steps – to do*	*36*

Diese Seite ist ein Platzhalter für künftige Arbeiten und Projektinhalte.

Teil 0: Eine kompakte Projektübersicht

Inhalt dieser kompakten Projektübersicht und Einführung

	Seite
Meine Motivation	**3**
Umfang, Inhalt und Struktur der gesamten Projekt Dokumentation	4
Einige Grundthemen und Aspekte, jeweils kurz angesprochen:	
Mögliche, stehende Wellen in engen Rohren und Blechblasinstrumenten	6
Manipulation stehender Wellen durch lokale Perturbationen	6
Druckverlauf in Blechblasinstrumenten	7
Frequenz Änderungspotential, akustische Mitte und Peak Symetrie	7
Notation, Instrument, „Naturtöne“, Messkopf, Impedanz und Stimmung	8
Die Eingangsimpedanz – ein „akustischer Fingerabdruck“ des Instruments	9
Gewichtung von Messergebnissen, Regimes of Oszillation	10
Stimmung – Hören – Feedback-Loop - Intonation	11
Einfluß von Bläsern aus Fleisch und Blut	11
Impulseresponse – Informationen aus dem Zeitbereich	12
Akustisch wirksame Länge vs. physische Abmessungen	12
Lokale Änderungen und deren globale Auswirkungen	13
Mundstücke und Mundrohre	14
MPC EL – equivalent Lenght / äquivalente Längen geschlossener Zylinder	15
Reflektionen, Schallbecher, die Horngleichung und Hornfunktion	16
Die Krümmung der Steigung, ebene und sphärische Wellenfronten	16
Luft und Lippenschwingungen	17

Teil 1: Musikalische Grundlagen, Stimmungssysteme,
Ventile und deren Auswirkungen im Ensemblespiel: Eine Einleitung

Inhalt: Seite:

Motivation & Vorwort 4

Eine simple Einführung in akustische Grundlagen:
Schall – Definition 5
Schallgeschwindigkeit
Berechnung der Schallgeschwindigkeit in Luft 6
Lautstärke
Tonhöhe 7
Resonanz – Definition
Überschlägige Berechung der Resonanz bei Blechblasinstrumenten 8
Berechnung der Resonanz bei Blechblasinstrumenten
Partialtöne und Obertöne 9
Unterschied zwischen Partialtönen und Obertönen
Ein kurzer Abstecher zu Holzblasinstrumenten 10
Ein kurzer Abstecher zum Orgelbau und Mensur
Mensur bei Blechblasinstrumenten und etwas Geschichte 11

Psycho-physische Grundlagen kurz umrissen:
Schwebungen und Kombinationstöne 12
Das Gehörsystem des Menschen 13
Wie funktioniert hören?
Schwelle der Erkennbarkeit 14
Absolutes Gehör
Frequenzbänder
Das „Zurechthören“ 15

Musikalische Grundlagen und abendländische Stimmungssysteme:

Die Einteilung in Tonleitern 16
Das 12-Tonsystem 17
Intervalle unseres 12-Tonsystems 18
Die Entwicklung unseres Zwölftonsystems
Der Unterschied zwischen Ton- und Stimmungs-Systemen 19
Stimmungs-System des Mittelalters
Pythagoräische Stimmung – Die Berechnung 20
Just Intonation – Die „Reine“ ? Stimmung 22
Der Anpassungsvorteil und Probleme durch Flexibilität 24

Die gleichschwebende Stimmung – Equal Tuning
Die Berechnung der Halbtöne in 12-Ton Equal-Temperament 25
Die Einheit „CENT“
Vergleich der vorgestellten Stimmungs-Systeme mit „CENT“ 26
Der Kammerton und Stimmtöne 27
Der Stimmton und die Praxis des Einstimmens in Ensembles 28

Naturtöne und fiktive Rohrlängen von Blechblasinstrumenten:
Zusammenfassung der bisher erläuterten Grundlagen
Das Prinzip von Resonanz und Rohrlänge 30
Berechnung von Grundschwingung und fiktiver Rohrlänge 32

Ventile 33
Das etablierte 3-Ventilsystem bei Blechblasinstrumenten
Die Berechnung von Verlängerungsfaktoren für Ventilschleifen 34
Problembereich Teil A: Mathematischer Art, + ist nicht *
Problembereich Teil B: Verschiedene Stimmungssystem als Grundlage 35
Problembereich Teil C: Geänderte Mensur durch andere Längen 36
Lösungsansätze zur Optimierung der Ventilverlängerungen
Ventillängen und Stimmungsabweichung aller Griffkombinationen 38
Unterschiedliche Faktoren durch Hauptstimmzug 39
Störungen, hier Erweiterungen durch Stimmzug-„Gaps“
Perturbationen / gezielte Störungen 40

Transponierende Instrumente und deren Notation, Stimmlagen 40
Griffsystem, Standard- und „Hilfsgriffe“ bei Blechblasinstrumenten 41
Obertöne/Naturtöne verschiedener Grundstimmungen Vergleich 42
Auswirkung von Ventilen im Ensemble zu anderen Instrumenten 43
Vergleich Ventilkombinationen im Ensemble, Stimmtöne, E.T., J.I 44

Zusammenfassung, analytisches relatives Gehör 45

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

Inhalt Teil 2A: Seite

Vorwort & Einleitung	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 Gesamtvol. 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,	
Eingangs-Impedanz 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

Teil 2B: Akustische Eigenschaften simpler Geometrien:
Zylinder, Konus & Frustum im Vergleich

Inhalt Teil 2B: Seite

Übersicht Grundformen - Zylinder & Konus (mit geschlossener Spitze)	3
Notw. Endkorrektur an offenen Enden & Hinweis auf weitere, teils viel stärkere Effekte	
Cone vs. not Cone =2:1 und eine Frage der jeweiligen Betrachtung	4
Grundformen und deren theor. Eigenschaften, auch in Bezug auf Antiresonanzen:	5
Einseitig geschlossener Zylinder	5
Beidseitig offener Zylinder	7
Schrittweise Transformation offener zu einseitig geschlossenem Zylinder	8
Berechnung Druckverlauf Zylinder, einseitig geschlossen (links)	10
Closed Zylinder – Positionsverhältnisse der Druck-Knoten zueinander:	11
Konus mit Spitze: Berechnung Druckverlauf	12
Konus mit Spitze: Druckverteilung	13
Konus mit Spitze: Positionsverhältnisse der Druck-Knoten zueinander:	14
Frustum open-open (offener Konus mit fehlender Spitze), Druckverlauf:	15
Frustum open-open: Die Positionen der Druckbauchmaxima	17
Frustum closed-open: Berechnung Druckverlauf, Flussmaxima & Frequenzen	19
Resonanzfrequenzen & Versatz der Druckverteilung, Vergleich aller Geometrien	21
Bias© Simulationen:	24
Closed Zyl. vs. Frustum closed-open, beinahe geschlossene Spitze:	25
Closed Zyl. vs. Frustum closed-open, selbes TL Volumen vs. Mensur	26
Closed Zyl. vs. Frustum closed-open, selber Start Dia. vs. Diff. Volumen & Winkel	27
Frustrum closed-open:	
Zusammenhänge Druck und Fluß zu Input Impedanz:	29
Impedanzkurve des geschlossenen Zylinders als Referenz	30
Druckknoten / Druck Maxima Positionen entlang der Rohrlänge	33
Ableitung der Druckknoten Positionen anhand der Impedanzkurve	33
Grafische Übersicht Druckverteilung in den verschiedenen Geometrien	37
Tabellen Positionen Druckverhältnisse Closed Zyl. und Konus mit Spitze	41
Closed Zyl. vs. Frustum closed-open, B=0,2 Vergleich Lage Druckknoten/Druckbäuche	42
Zusammenfassung	
Die beinahe alles aussagende, umfassende Bierdeckel-Formel:	42

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Teil 2D: Einzelkomponenten und ihre Eigenschaften:
Mundstücke, Schallbecher, Hörner, die Hornfunktion

Inhalt:

Streifzug und Überblick 4
Begriffe richtig gedeutet, Formel-Sammlung, Zusammenhänge Zeit und Raum 5
Äquivalente Längen von Blechblasinstrumenten 6
Unterschiedlichste Mensuren und Formen anhand historischer Signalhörner 7
Ein Cruix mit einseitig geschlossenen „Zylindern“ oder doch nicht? 8

Komponenten von Blechblasinstrumenten und deren grundlegene Funktion

Mundstück
Das Mundstück und dessen Abschnitte, Messungen 9
Modellbezeichnungen können irreführen 10
Q-Faktor und „Aufbohren“ der Seele – Auswirkungen 12
Gewichte, Booster und Masse generell 13
Mundstück Receiver & „GAP“ 13
Helmholtz Resonanzen und äquivalente Längen von closed Zylindern 14
Ermittlung der eL CC, Beispiele gängiger Modelle (inkl. Mundrohr) 15
Simulierte Änderung der MPC Eq. CC Länge Mundstück, Kesseldvolumen / Seele 16
Berechnungen lt. Cardwell (Patent 1970), Resonatoren 16
Abstecher zum Gesamtinstrument: Phasengeschwindigkeit in „flaring Horns“ 17
Mundstück, generelle Formel und experimentielle Ermittlung MPC EL über Frequenz 17
Einige besonders interessante Simulationen an Trompeten Mundstücken + Instrument 18
Vergrößern, Verkleinern von Durchmessern (Volumen), völliges Weglassen des Kessels 19

Mundrohr / zylindrische Abschnitte
Mundrohr/Leadpipe/Leaderpipe, verwendete Geometrien, Patente 21
Zylindrischer Rohrabschnitt, Gaps, Boresize, Brassiness-Faktor, Schmettern 23

Schallbecher
Schallbecher = Impedanzwandler, höhere Phasengeschwindigkeit = akustisch kürzer 23
Schallbecherformen, Übersicht und Patente 24
Salmon Hörner – Schalltrichter mit konstanter Cutoff Frequenz 26
Salmon Hörner – Berechnung Geometrie 27
Hörner als passive Verstärker, Transmission Coeffizient, Abstrahlung, Richtcharakteristik 28
Hörner als Resonatoren - welche Variablen ändern sich? 29
Transmission Coefficient ist nicht gleich einem Längen-oder Geschwindigkeits-Faktor 29
Längenfaktoren von Exponentialhörnern, ein Korrektur- und Anpassungsversuch 30

Horngestalt und Differentialrechnung
Horngestalt und Differentialrechnung 31
Wachstum / Krümmung der Steigung 31
Ableitungen mit Hilfe der zentralen Differenzen-Formeln 32
Die Bedeutung der abgeleiteten Werte / Funktionskurven, Limes 32
Radius oder Querschnitt-Änderung: 34
Graphisches Ableiten – Beispiel 34
Kurvendiskussion - geometrische Bedeutung der höheren Ableitungen 34

Hörner im Detail:
Katenoid Hörner 35
Exponential Hörner 36
Konisches Frustum (Kegelstumpf), closed-open 37
Hyperbolic cosine & Hyperbolic sine Waveguides 38
Weitere Formeln für einfachere Geometrien, der Vollständigkeit halber 38
Konus mit Spitze, Frustum open-open, Zylinder open-open, closed-open
Endkorrektur an offenen Horn- / oder Rohrenden, Viskothermale und Abstrahlungsverluste

„Webster“ Horngleichung - ein Annäherungsversuch 39
Wellenfunktion Ψ (PSI) / Schrödingergleichung Quantenmechanik, Tunneleffekt 39
Ebene Wellenfronten, Hornfunktion 39
Schallbecher in der Praxis, Radius der äußeren Hornkontur, Hornfunktion „U“ 40
Sphärische Wellenfronten am Schallbecherende, Modellierung, Berechnung, Koordinaten 41
Beispiel Berechnung mit ~in etwa Bb-Trompeten Dimensionen eines Besselhorns 42
Tunnel-Effekt und Potential-Barriere von Schallbechern unter Annahme spährischer Fronten 44

Bessel Hörner, Berechnung Geometrie und Resonanzen 44
Bessel Hörner, Fitting Parameter und die Hornfunktion „U“ 47
Berechnungsergebnisse des beispielhaften Besselhorns mit ~ Bb-Trompeten-Dimensionen 47
Weitere, aber sehr überschlägige Gedanken zur Dimensionierung von Schallbechern 47

Hörner im direkten Vergleich:
Teil A: Hörner – (closed-open) im direkten Vergleich, Hornlänge 1m, B=0,2 48
Transmission Coefficient, Einfluß als „Potential-Generatoren“, Längenfaktoren 48
Vorhandenes Potential das abstrahlt, wird weniger reflektiert 49
Formeln vs. ART Simulation (Ebene Wellen), Abweichungen
Teil B: Kürzere Hörner - Hornlänge 0,5m, B=0,2 (selber Endurchmesser wie im Teil A:) 51
Teil C: Hörner mit größerem Ende, Hornlänge 1,0m, B=0,1 (2facher Endurchmesser gegen A:) 53
Vergleich der Hörner, Fazit: 54

Teil 2E: Mode matching, Ideen & Patente, das Bell Skirt – die Stürze

Teil 2E: Das ist die unmittelbare Forsetzung von Teil 2D

Zylinder + Hornsegmente in Kombination miteinander, die „Mode-Matching“ Problematik:

Verlängern oder Verkürzen von Rohren 3
Querschnittsprünge „Borejumps“, Impedanzmissmatch und ihre akustischen Auswirkungen 4
Einzelsegmente für sich, lokale Perturbation vs Borejump, lokale und globale Auswirkungen 6
Kreiswellenzahl k, Pi(), Tangens, Cosinustangens, Bedeutung und Zusammenhänge 7
Längenanteile von Zylindern mit selbem Radius = 1:1 Mode matching 8
Kombinationen Zylinder + Frustum oder Zylinder + Hörner: 9
Var A: Kombination einseitig geschlossener Zylinder + konisches Frustum
Var B: Kombination einseitig geschlossener Zylinder + Salmon-Hörner 10

Mode-Matching: ART-Simulation, Längenanteile 50/50, V0, closed Zyl.+Hörner B=0,2 12
Die Auswirkungen durch das „nicht“ Mode-Matching, Längenanteile 50/50, enge Mensuren 13
Mode-Matching: ART-Simulation, Längenanteile 30/70, V0, hohes, sehr weites Blech 13

Schallbecherdimensionen Flügelhörner vs. Trompeten, Mode-Matching und Impdanz V0 16
Mode-matching in Verbindung mit Ventilkombinationen, Hornanteile 16
Mode-matching Schallbecher, Ventilkombinationen, enge Mensur / Bb-Trompete, 50-35% 17
Mode-matching Schallbecher, Ventilkombinationen, weite Mensur / Bb-Flügelhorn, 70-50% 18
Prototyp Bb / C shortening Path V0-16, ascending valve loop ©Brassissima, Trumpet 56% 19

Wir sind lange noch nicht fertig - Ausblick: 19

Ideen und Patente:

Cardwell, 1-Segment Katenoid Schallbecher Design, 1970 20
Versuche mit Plane Wave Simulation, hoch F Trompete 23

Das Bell Skirt – Die Stürze **25**
Grundlegende Ergebnisse Bell-Skirts 27
Optimierungsversuche der Schallbecher Schürze 28
Katenoid - Parameter-Skirt 29
Weitere Versuche, Skirtlänge und Parameteränderung in Richtung Exponentialform 30
Idee: Das Beste aus 2 Welten kombinieren: Die überdrüber „Super-Skirts“ 32
Super-Skirts – Ergebnisse der Simulationsversuche 34
Bell-Skirts, Zusammenfassung und weiterführende Gedanken zu truncated Skirts 37
Auswirkungen von Änderungen der Bell-Stem-Kontur gegenüber der Katenoidform: 38

Cardwell - Single Mode Tuning (Perturbationen) 39
Cardwell - Multiple Helmholtz Resonator Mouthpiece Idea, 1968 40
Versuche, das Cardwell “Double-Resonator-Device” virtuell abzubilden 43

Kent (C.G Conn) - Brass Instruments of the Cup Mouthpiece Type, 1961 44
Bell Design anhand von 3 oder mehr Salmon Horn Segmenten 45
Mouthpiece / Mundstücke 46
Mouthpiece Gap 47
Konische Mundrohre 47
Korrekturen der zyl. Länge anhand verändertem Konusanteil 48

Teil 2F: Mundrohre als verbindende Elemente,
Lead Pipe Design & Valve Bore Size

Mundrohre als verbindende, korrigierende und gestaltende Elemente: 3
Konventionelle Mundrohre bei Bb-Trompeten, Kornetts und Flügelhörnern 4
Mundstück + nur 1 Zylinder: Wie diese (miteinander) wirken – Modematching: 5
Mundstück und Mundrohre - Bore-Size-Steps verschieben: 6
Mundstück und Mundrohre Bore-Size-Step aufteilen = 2 Steps + 1 Zwischengröße: 6
Kombination Mundstück und „Wave-Guides"; Konisches Frustum + Zylinder 8
Versuch „K" - Kurze linear konische Mundrohre in Bb 9
Zwischenvergleich - kurze Mundrohr-Varianten: 10
Versuch „L" – Längere linear konische Leadpipes in Bb 11
Mundrohre mit absichtlichen Bore-Steps = Stufen 12
Gegenüberstellung Mundstück+ linear konische oder gestufte Mundrohre + Zylinder: 13
Gene Pilczuk Accusonic © Leadpipe Patent 1985 unter der Lupe 14

Ein neues Mundrohr Konzept Serie K11-3BS – Entwicklung und Design: 16
Ausgangslage und Ergebnisse lokaler Perturbationen an Trompeten Mundrohren: 16
Bore-Steps verhalten sich anders als lokale Perturbationen – Single Bore-Step 17
Druckbäuche und Flußbäuche im Mundrohr, Single Bore-Steps gezielt platzieren 18
2 Segmente, Steigung und Single Step-Höhe daraus 19
Step Splitting – Das Grundkonzept, Fixierung der Mundstück Popping Frequenz 20
Step #1, Höhe entscheidet über Änderungspotential 22
Abstände der beiden Boresteps entscheiden das Korrektur Potential Mode 7 + Mode 9 24
Ändern des Perturbationszentrums und Form Step 2 erlaubt eine individuelle Feinjustierung 26
Eine Perturbation am Mundrohrbeginn ergibt einen 3. Bore-Step + Overall-Kontrolle 27
Unterschiedliche Formen können sich im Spielbereich akustisch gleich verhalten 29
Mittelwerte in der Geometrie ergeben auch akustische Mittelwerte bei den Abweichungen 30
Ein stufenloser, zentrierter kürzer Konus mit höherer Steigung liefert das maximale Potential 30
Das Potential kurzer Mundrohre, Zusammenfassung 31

Stimmvorrichtungen – Stimmzüge, Stimmzugbögen, Positionen 32
Kurze Mundrohre, Teleskop, Kluppenzug 32
Stimmzugbögen und Gaps an traditionellen Positionen 33

Brass Clinics, Meinungen und Erfahrungen von Reynold Schilke 34
Dr. Richard Smith, Mundrohre, Schallbecher, Boresize – Der Bezug zum Bläser 34
Smith, Schallbecher – Material, Wandstärke, mechanische / parasitäre ? Schwingungen 35

Die Krümmungen der Steigungen F''(x) im Mundrohr - vs. Perturbationen und Boresteps 36
Alle Rohrteile an Blasinstrumenten sind nicht anderes als (viele kleine) Boresteps 38

Lange Mundrohre und ihre besonderen Eigenarten
Längere Mundrohre vs. kurze Mundrohren, Perinet-Valves vs. Rotary-Valves 38
Einzelne konische Segmente als Mundrohre in Verbindung mit größerer Boresize 40
Korrekturversuche der MPC Equ. Länge bei langen Mundrohren 42
Es braucht keine Steps, es braucht nur passende Steigungen am richtigen Ort 43
Mittelwerte in der Geometrie ergeben auch akustische Mittelwerte bei den Abweichungen 43

Eine neue Trompeten Leadpipe, Konzept Serie T22-3S – Entwicklung und Design: 44
Imaginäre Steps sind ein erster Lösungsansatz für 3 passende Segmente und Steigungen 44
Möglichkeiten durch Anpassungen – Segment A + Segment B: 45
Möglichkeiten Anpassung – Segment C, Tuning Slide Gaps, Boresize: 46

Akustische Effekte, die nicht von der Mundrohrlänge und Form abhängen:
Änderungen durch einen Schallbecher 48
Unterschiede durch geringfügig andere Main Bore Size 48
Effekte durch geringfügig abgeänderte äqivalente Längen des Mundstücks 49
Der Bläser verursacht in der Praxis selbst unterschiedliche MPC-Equiv. Längen 49

Zusammenfassung Mundrohr Konzepte 50

Teil 3: Grundlagenforschung mit Hilfe von Virtualisierung und Simulationen

Ziele und Ergebnisse in Teil 3: 4
Verwendete Begriffe und Definitionen, Abkürzungen

Impedanz – Messungen der Eingangsimpedanz an realen Instrumenten
Bisherige Messungen realer physischer Instrumente mit Impedanz-Messkopf 5
Bisher verwendete äquivalente Kurven 6

Das Testinstrument – Dimensionen, Digitalisierung, IST-Messwerte
Abmessungen, Messwerte, Parameter und Auswertungen des IST Standes 7
Datenerfassung virtuelles Instrument / Geometrie, ART Software Kalkulation
Ergebnisse, Auswertungen Impedanz und diverser Parameter, Gewichtung, etc.

Simulationsmodell ART im Vergleich
zum kommerziellen Bias7 © IWK / Artim GmbH (Demoversion) 13
Verfügbare Simulationsmodelle
Vergleich weiterer Simulationsmodelle von Bias©
Wellen Modelle 18
Radiation Modelle 19
Zusammenfassung 20

Grundlagen Druckverteilung und Perturbationskurven
Druckverlauf / Stehende Wellen in Blechblasinstrumenten 21
Perturbationskurven stehender Wellen in Blechblasinstrumenten, Prinzipien:

Positionen von Pressure Nodes und Antinodes / Druckbäuchen:
Etwas Physik zusätzlich – Dr. Benade erklärt es so: 23
Simulation der Druckverteilung: Wo sind welche Nodes?
Simulation mit der Bios7© Demoversion, Pressure – Druckverteilung: 24
Pressure – Auswirkung von unterschiedlichen Verlusten simuliert: 25
Pressure – geänderte Druckverteilung durch Perturbationen 27
Druckverlauf im Bereich um XM-IN1 und XM-PN 36
Druckverlauf - Hüllkurven 42

Was passiert nun tatsächlich bei einer lokalen Perturbation und warum?
Ergebnis der geänderten Druckverhältnisse und Geschwindigkeiten 46
Peak Magnituden und Peak Pitch Potential 47
Das Paradox von lokalen Druck- zu Flußverhältnissen, meine Erklärung dazu 48
Situation bei Impedanz-Peak Magnitude Nodes 51
Situation bei Impedanz-Peak Pitch Nodes 52
Perturbationen – Auswirkung auf den gesamten Naturton & seine Nachbarpeaks 53

Der Perturbation Kompass ➲↗⌂↖➲↙⌂↘ 54
Unterschiede Potential daraus für Constr. und Enlargement
Die Perturbation – Potential Spiralen 56
Unterschiede Potential und Versatz
Unterschiede im Bereich XM (Mitte des Instruments) 58

Kennkurven und besondere „Regions of Interest“ 60
Kennkurven, Diagramm - Überblick, XM-Pitch Node, Definition
Kennkurven, von XM Richtung Becher, Definition, Potential 61
Kennkurven, von XM rückwärts Richtung bis Mundstück Start 64

Impedanz - Peak Magnituden Potential & Hüllkurven 67
Der Perturbation–Volumen-Faktor (für Impedanz als auch Pitch gültig) 68
Impedanz Amplitude Hüllkurven Potential
Impedanz Amplitude max Potential anhand ¼ WL, fractional Potential 69
Perturbation Effects anhand Länge + Radius der Perturbation
Impedanz - Positionen, Amplitude XM, Ampl./Pressure Max Start 70

Impedanz - Pitch (Tonhöhe/Frequenz)
Pitch - Hüllkurven – Abschwächung Richtung Becher 72
Pitch - Max Potential anhand ¼ Wavelenght, fractional Potential 74
Pitch - Effekte bei sehr langen Perturbationen – Lösch/Umkehreffekte. 75
Pitch - Positionen, Pitch XM, Pitch Start 77
Pitch - Ursprung, Versatz horizontal ⟲ ⟳ durch Perturbation Radius 78
Pitch - Ursprung, Versatz vertikal ⬆⬇ bedingt durch Radius+Länge 79

Mundrohr und der Mouthpiece-„GAP“
Mythos und akustische Auswirkungen 79

Wiener Klappen / Löcher:
beste Positionen, Effekte und Ergebnisse 80

XXL-Störungen in der Simulation:
XXL- sehr starke kurze Erweiterungen (2mm * Dia *3) – Ergebnisse 82
XXL- sehr starke kurze Einengungen (2mm*Dia /4 quasi Verstopfung) – Ergebnisse

Musterwiederholung nach ½ WL GT, Synergie-Effekte Grundton+Harmonische 83

Ergebnisse und Daten mit mehreren Ventil-Kombinationen (Längen):
Calculated Equivalent Length Curves including extra and less Valve-Lengths 83
Vertikaler Versatz Pitch zu Impedanz - Null-Linie/Angelpunkte 84
Horizontaler Versatz Angelpunkte mit Radius-Änderung 85
Effekte bei anderen Ventillängen / Hüllkurven, Werte über Frequenz 86
Pitch + Impedanz Potential mit verschiedenen Ventilkombinationen / Längen 88
Aufbereitung / Splines Pitch Pot., / Nullversatz – abhängig von Frequenz + Länge 91
Vergleich Messung und Rechnung mit Hüllkurven, Pitch und Amplitude 93

Zusammenfassung & Ausblick:
Hinweise für weitere Verwendung und Auswertungen. 95

Anhang:
Herzlichen Dank meinen Ideengebern im Lauf der Jahre, Quellen, 96
verwendete Shortcuts / Ausdrücke, ausgedeutscht / „verenglished“ 97

Teil 4: Optimierungstrategien kompletter Ventilblasinstrumente durch Perturbationen

Inhalt Teil 4:

Perturbation – Definition der Ziele

Abweichungen und Tendenzen die alle Bb-Trompeten generell aufweisen: 8
Ansprache/Ton/Klang
Stimmung / Intonation / Ursachen
Korrekturmöglichkeiten – Stimmung/Pitch & Impedanz allgemein
Die besonderen Abweichungen dieser virtuellen Trompete zum Durchschnitt
Implementation in vorhandene Software, Sampling
Definition Valvepath / Valvecluster; 3 Valves = 7 Instruments
Beispiel berechnet MPC Equiv. Länge für V1, Valvepath V1, Boreprofile V1
Tabelle Std. Griffe, ¼ WL und Zusammenhänge Längenmaße

Perturbation Basics

Perturbation Basics – Pitch-Potenial: 13
Schallbecher – Grundlegende Funktion
Pitch Nodes
Pitch Pot. – harmonische und nicht so harmonische Muster
enharmonische Umdeutungen / harmonische Funktionen
Perturbation Basics – Single Perturbation = fixing Pitch-Nodes: 15
Mundrohr / Beginn des Instruments
Impedanz zu Pitch - frequenzabhängig extra Versatz zu 1/8 WL
Positionen Pitch-Nodes im Bereich Mundstück/Mundrohr
Fixe Angelpunkte / Pitch-Nodes - generell
Pitch-Nodes / Angelpunkte sind unabhängig von Perturbation Länge
Beispiele mit verschiedenen Perturbationslängen Mundrohr
Zusammenfassung Mundrohr
Pitch-Nodes, Single Valves / Ventillose Instrumente & Nummerierung 20
Pitch-Nodes, Nummerierung, Reverse/Cancelling Effekte
Pressure / Flow
Impedanz-Nodes / Summierungs-Effekte
Valvecluster-Position definiert die Pitch-Pot. Distribution & ändert vieles. 22
Valvecluster-Position at Perinet-like Position has nearly no Offset.
Pitch Pot ist dadurch bei XM-Pitch abhängig vom Versatz / Offset, ist seitenverkehrt
Clusterversatz bei Kornett typischen Positionen + gr. Terz versetzt.

Die Valvecluster Position definiert die Pitch-Pot. Distribution & teilt die Typen in typische Positionen von Rotary Valves und in Perinet Style Position.

Einige Perturbationen sind nur mit der einen oder anderen Cluster-Position möglich und würden sich im anderen Fall widersprechen oder das Gegenteil bewirken!

Es werden zuerst die Varianten auf einer Seite des Valveclusters behandelt, (Rotary Std. Pos.) inkl. dazugehöriger Advanced Perturbation Technics, dann Unterschiede.

Perturbation Rotary Valvecluster at Std. Position

Pitch-Nodes Schallbecher und zylindrische Rohrteile, Rotary Std. Pos. 23
Schallbecher Ende - Vertiefungspotential
Becherende zurück bis XM-PN V0
Pos. Pitch-Nodes Bell down to Valvecluster
Pitch-Nodes at Magic Spot1 nach XM-PN
Pitch-Nodes at XM-PN
zur Info: XM-PN up to Magic-Spot2 – Case B: Valvecluster@ Perinet Position
Rotary Valves at Std. Pos.:
XM-PN up to Magic-Spot2 – Case A: Valvecluster@ Std. Rotary Position
Valvecluster-Position Offset bei Rotary Trp. Pos. ergibt Quint längere Bell-Nodes
Durch den Clusterversatz sind nicht alle Nodes "shared"
Bell-Pitch-Nodes Positionen Becherende up to Magic Spot2 27
Pitch-Nodes Magic Spot2 vor XM-PN are all in the Valvecluster
Perturbations bei Magic Spot2 innerhalb Ventilschleifen und Durchgänge
Moving-Speed der kombinierten Nodes zueinander mit 1 Perturbation 30
Moving Speed =Schrittgeschwindigkeiten der verschiedenen Knoten
Knotenverfolgung V0 Rotary Std. Pos. 31
Richtungswechsel Rotary @ Std. Pos., ab Vstop visuell
Anzahl möglicher Angelpunkte Rotary / Pitch-Nodes - Überblick

Perturbations – Valvecluster @ Perinet Pos.

Position change of whole Valvecluster to Perinet like Position 34
Small vs Large Position Change
Positions of Valvecluster-Parts in General. Rotary-Stye vs. Perinet Pos. Style.
Changing Valvepath Scheme from Rotary to Perinet type
Each Perinet Valve has 3 Valvepathes instead of 2 on rotary valve
Perinet Valvecluster-Pos: Unterschiede skizziert, Pos. XM-Ampl.,
Exkurs: Does the Position of XM-Pitch Nodes correlate with harmonic tuning?
Extended Mpipe-Pitch-Nodes with Perinet-like Position of Valvecluster 37
Mouthpipe = diff. Pitch-Node Pos. before new Position of Valvecluster
Modewechsel "extended Mouthpipe" & Main Bore
Positionen of XM-PN & XM-IN1+2 bei Perinet-Ventilen
Positionen of XM-PN bei Rotary-Ventilen @ Perinet-like-Position
Bell to Vstop Pitch-N. - same Sampl.Nrs, but diff. Valvepath-Pos. Nr up to Bell. 40
Pitch cancelling with Perinet style-Pos. is very easy; Impedance is summing up.
Magic-Spots are home of the "perfect" Balance of Pitch/Impedance Pot.
Discovering the „extended" Mouthpipe – Pitch, dealing with ANTI-NODES. 41

Perturbation Advanced Technics, Rotary @ Std. Pos.

Sharing Pitch-Nodes of more then 1 Perturbation 42
Übersicht Shared Nodes Rotary & Perinet., Differences
Perinet style Pos. of Valvecluster: Each Intervall with it self; but Pot. is cancelled
Octaves are sharing most; only here are add. harmonic nodes possible, all are odd
Schwingungs-Verhältnisse von Intervallen
Possible shared Nodes
Shared Pitch Nodes have the „extra fixing“ function.
Unshared Pitch Nodes have or add Pitch-Pot to make changes.
Possible shared Pitch-Nodes within the playing range even/odd
Shared Pitch Nodes -Harmonische Funktionen nicht fertig
Perturbation is lowering the root frequency 45
Perturbation is generally lowering Frequencies – Enlargements & Constrictions!
Slope Faktor anhand Perturbation Länge ist frequenzabhängig
Very long Perturbations = Great source for false results 46
Ev. Geänderte Equiv. L durch single Perturbation
Perturbation Splitting in 2 parts with same Perturbation Lenghts 47
- wenn nicht durch Valvecluster getrennt
Turn Single Perturbations in 2 Parts – the “Splitting” - Effects
Split Perturbation – Examples and Differences in Pitch/Impedance
Split Perturbation – Cancelling Effects, Locking of Nodes
Split Perturbation - Energy Distribution
Anmerkungen zu Nodes / general lowering Effect with splitting
Perturbation Längen-Effekte Full Length – Perturbation without splitting /lowering
Split Perturbation with 2 different Perturbation Pots = Node Manipulation 55
Node shifting with 2 different Perturbation Pots.
Node shifting Case Pert. A >B, Case Pert A < B, Examples
Node shifting – Versatz = Kompensation; over- & undersizing effects

Combined Perturbations Constr. & Enlargements 69
- wenn nicht durch Valvecluster getrennt
behandeln wie 2 hintereinander erfolgende Perturbationen
Kombinationen mit gleichem Potential 69
Richtungsänderung abhängig von XM-PN Pos der korr. Töne
Impedanz wird fixiert
Pert. A fixiert die Knoten – wie single Pert.
Pert. B bringt neue Knoten ins Spiel
Kombinationen mit unterschiedlichem Potential 68
Case A: Small corrections to one good fitting Single Pert.
Pert. A ist die Haupt-Perturbation - fixiert die Knoten – wie single Pert.
Pert. B ist eine wesentlich kleinere Zusatzperturbation
Case B: Equalizing diff. Pert. Pot. A Enl. > B Constr or A Constr. < B Enl.
für Korrekturen oder Verstärkungseffekte / Hüllkurven Pitch+Imp.
Summary Rotary@Std. Pos: Single, Split- und Combined Perturbations 75
Single / Split / Split diff. Pot / Combined / Combinend diff. Pot.

Wenn durch Valvecluster getrennt (Perinet-like Cluster-Position, no Cluster-Offset):

Dealing with diff. Pitch & Impedance Pots. with longer distance (see Part 1) 76
Same Perturbation Lengths could have nearly same Pitch Pot, but they do not have same Impedance Pots - as farer they are away from each other!

Combined Pert. Constr.+Enl. or Enl.+Constr., Overview 77
Gleicher „Key"-Abstand (same Key, Pitch-Nodes)
Pitch Pot doubles, Impedance Pot. mostly canceled
All Nodes / Pitch and Impedance are "double fixed".
A<B: Pitch Pot no change, Impedance gets fully cancelled
A>B: Pitch Pot no change, Impedance gets less cancelled
Pitch Pot Canceling mit Moving / Versatz
Impedance is dominant, can explode
Finding usefull Perturbation Length-Ratios, golden Ratio

Case A<B can fully cancel Impedance-Pot! 79
Teilungsverhältnisse Intervalle / Keys:
Combined Pert. + Moving: –> Richtung Bell same Lenghts = Versatz: 80
A: tieferer Key, B: höherer Key
resulting Key stays initial Key, less Pitch Pot,
more Imp. Pot. where Pitch is canc.
Combined Pert. + Moving to Bell End with diff. Pert. Lenghts: 81
A<B: Pitch goes to stronger higher Key, Imp. goes to weaker lower Key
B>A: Pitch goes to stronger lower Key, Imp. goes to weaker higher Key.
Combined Pert. + Moving: –> Richtung Mundstück same Lenght= Versatz 81
A: höherer Key, B: tieferer Key
Comb. Pert. + Moving to Mouthpiece End with diff. Pert. Lenghts: 82
A<B: Pitch goes to stronger lower Key, Imp. goes to weaker higher Key
B>A: Pitch goes to stronger higher Key, Imp. goes to weaker lower Key

Case A<B Comb. Pert. + diff. Lengths + Moving ONE Pert .to Bell Side: 83
Impedanz Pot. exakt in die selbe Richtung wie das Pitch Pot!
Imp.-Nodes jetzt dort wo bei gleicher Länge Antinodes waren =Pitch–Nodes
Case A<B Comb. Pert. + diff. Lengths + Moving ONE Pert. to Moutpiece Side: 84
Impedanz Pot. exakt in entgegengesetzt wie das Pitch Pot!
Impedanz-Nodes jetzt dort wo bei gleicher Länge Antinodes waren. = Pitch –Nodes

Case A>B without moving - Overview 85
Vergleich Case A<B, A=B, A>B
here are the Imp. Nodes and Pot. at positions, we find to be "normal behavior".
Pitch Pot stays nearly the same. Larger Imp. Pot of Pert. A gets dominating.
Overview Impedance Pot. same Pitch Node Keys, without moving.

CASE A>B
Comb. Pert. + diff. Lengths + Moving both Perturbations in same direction: 86
Resulting Pitch Node Keys stay, Pitch starts cancelling - much,
Imp. Nodes turn into Imp. Pot; Imp. Pot. is raised much;
no great Difference to Perturbations with same Pert. Lengths.

Case A>B Comb. Pert. + diff. Lengths + Moving one Pert. to Bell Side: 87
Much cancelling Pitch Pot + Pitch Nodes are moving <-- (lower)
Impedance Pot starts going mostly same direction as Pitch Pot.
Case A>B Comb. Pert. + diff. Lengths + Moving one Pert. to Mouthpiece Side: 88
Pitch Pot nearly not canceling + Pitch Nodes are moving --> (higher)
Impedance Pot starts going mostly different direction as Pitch Pot.

Moving has Limits because Valve Cluster/M.Spot2 Pos.; 89
but moving into Bell Region beyond Magic Spot1 is possible.

Double in Constriction+Constriction oder Enl+Enl,with same Pert. Lenghts

Double mit gleicher Perturbation Länge (large deviation gives diff. Pots.) 90
Richtungen entgegengesetzt = Gleicher Abstand
zu XM-Pitch Node V0 = same PN. Keys
Pitch Canceling, Impedance Pot. could be doubled.
Resulting Pitch-Nodes are always ODD.
Double mit unterschiedlicher Perturbation Länge 91
Imp.Pot stays summend up, Pitch cancelling can be somewhat removed
Ausgangslage Constrictions, selbe Länge Imp.Pot Key ODD go UP
A<B at Magic Spot V23 gives Ab Pitch-Pot; Odd 3+7+11 up
A>B at Magic Spot V23 gives Ab Pitch-Pot; Odd 3+7+11 down
Ausgangslage Enlargements, selbe Länge Imp.Pot Key EVEN go UP
A<B same Keys, Pitch Pot Odd 3+7+11 down
A>B same Keys, Pitch Pot Odd 3+7+11 up

Double + Moving in same Directions = Versatz = Different Pitch-Node-Keys: 93
Beide **Richtung Bell:**
Resulting Key is Pitch Pot (single Values), Pitch-Nodes are ODD (Double Values);
Case A<B loweres Pitch Key P.Nodes get stretched, Case A>B raises Pitch Key
Beide Richtung Mundstück:
Case A<B raises Pitch Key, Case A>B lowers Key; P. Nodes get stretched

Similarity of comb. Pert.; but diff. Imp.-Pots – depends on Valvecluster Pos: 95
4 possible Combinations with nearly same Pitch-Pot. but;
Impedance Pot in high regions is only canceled, when 2 Pert. are at same VC side.
Nearly same Pitch Pot, when there is no Valvecluster – Offset: 96

Table of all Perturbation Possibilities, general & Rotary Style Valvecluster Pos. 97
Table of all Perturbation Possibilities, Perinet like Valvecluster Pos. –no Offset

Perturbation – Rotary @ Std. Pos. - Changing whole Parts, Boresize

Change Boresize of single or whole components & Effects, Rotary Std. Pos: 98
V1A-trough/in and V3A-trough-out are used at any Valve Combination
Valve Rotors Constrictions, Enlargement
Valve Cluster Tubing + Crooks enlarge, (excluding Rotors)
Valve Cluster complete Rotor+Tubing+Crooks, Enlargement
Constricted Crooks (often found)
Enlarge Boresize whole Valvecluster + all Tubing up to Bell Start
Enlarge Boresize without Valvecluster – from VStop to Bell Start

V3 Rotary at Std. Pos. – optimize/low. Des1/D1 only poss. with Enlargements 103
Positions with optimum Pitch-Pot. corrections for V3 Combinations inkl. NT8 V3
Best Pos. for progressive triggering D1/Des1
V3 Perinet at Perinet like Pos. – optimize/low. Des1/D1, only poss. with Enl. 104
Positions with optimum Pitch-Pot. corrections for V3 Combinations inkl. NT8 V3
Best. Pos for progressive triggering D1/Des1
Tuning Gaps = Enlargements – Positionen und Auswirkungen 106
Std. Pos. bei Rotary Trad. Bauart
resulting in Pitch Node Keys kl. A – kl. As
Bereich B1 und H1 immer vertieft, much Imp. Change Pot A2-Eb3
Kluppenzug am Mundohr (Drehv.-Flügelhorn, Picc. Trp., or Telescopic 107
1 Gap nach dem engeren Mundrohr – should/must fit Design of Mouthpipe
Teleskop-System mit „Ersatz-Gap“, Borejump, kein Gap (Eigenentwicklung)
Std. Pos. Perinet Style Pos. of Valvecluster 108
1st Gap Pitch Key C2-Bb1, 2nd Gap Pitch Key Des1-D1; NT5 tiefer, NT6 höher
Reversed upper Slide Std. Pos. Perinet Style Pos. of Valvecluster 109
1st Gap Pitch Key G-Ab1, 2nd Gap Pitch Key Des1-D1, resulting Key ~E1
1st Gap dominates, ~C2 dn, F-F#2 up, A-B2 dn; Imp. always Ab2 up, H2 dn
Double reversed (upper and lower pos.): ~C1 raised, ~B2 lowered, ~F#2 canc.
Reversed lower Slide: Canceling ~Ab1,~ F#2 dn, ~A2 up, ~C3 dn; much Imp Pot!
More “exotic” solutions – (because not very easy/quick to change and build :) 110
Tuning Bell at Std. Pos. Perinet stype Position of Valvecluster:
1 single Gap completely after Valve Cluster gives Pitch Node **Key ~D1**
or reversed slide – behind gives Pitch Node **Key ~Eb1** (between is slide)
must fit situation to be an improvement! Tuning Slide only for maintenance
Telescopic Mouthpipe OR Moving Valvecluster with fixed bell
Single Gap vor Valvecluster, jede Pos. vor ODER nach Stimmzugbogen denkbar!
Comb. Tuning Bell + Tuning Gap before Valvecluster 111
2 Gaps witch Vcluster between can cancel Pitch Pot, but much Imp. Pot.
Bell – Nodes Key D1 or Es1 are fix, before V-Cluster most is possible as 2nd Pos.!
Complete Re-arrangement of bows, 2 add. small bows, slides, gaps
Is also possible, see C-Des-D-Es Trumpet Prototype; or simply “Cornets”.
Divide Tuning Gaps in 2 or more parts, combine with telescopic Mouthpipe
most all is possible!
Double Slide (like Trombones) instead of valves “Slide-Trumpet” 112
Both increasingly longer gaps are before XM-PN = Split Pert.
1st gap moving to mouthpiece, 2nd gap moving to XM-PN and beyond -> Bell
Std. Length Trumpet Bell is to long for 7. slide pos., must be trombone like **~33%**
High Pot because of length; much cancels, but rest is “exploding” 113
Reverse slide construction (2nd Gap at Bell End) is practically not a usefull design.
Die jeweiligen **starken** Abweichungen sind anhand des jew. notw. durch Verlängerung resultierenden 1/4WL Abstände der Gap-Center „**vorprogrammiert**“.

Die Walther Krüger Skizze von 1971 (DDR) 114
nach Abschluß der Dokumentation entdeckt.

Add. Effects I am aware, but witch are not covered in this experiments: 116
Thermal Losses, effects of mass (braces, weight), curved paths, the material itself; Mouthpipe & Bell shapes, optimal valve lengths, Constr. or Enl. in the valve cluster (always existing), brassiness factor, etc. **At least the blowing human**,
but this should be an very objective study of the instrument at all (=Resonator) only!

Teil 5: Kalibrierung Messkopf und Messungen realer Instrumente

Inhalt Teil 5:

Fehlersuche vorhandener Meßkopf und Audio D/A A/D Wandler – Soundkarte 3
Messkopf Aufbau, neuer Lautsprecher
Erarbeiten eines angepassten Anregungs-Signals 4
Vorbereitungen für die Messungen 5
Abweichungen mit verschiedenen Lautstärke Pegeln 6
FFT Einstellungen 6

Anregungssignal, Meßkopf Kalibrierung – anregungsseitig – Stand 2018 7
Unkorrigiertes lineares Chirp-Signal, 1. Korrektur und Anpassungen
Logarithmisches Signal für tiefe Frequenzen 11
Kombiniertes, zusammengesetztes Anregungssignal 15
Anzahl Mittelungen / Messdauer 16
Keulen-Problem mit 8192 Samples, Vergleich Fenster / Mittelungen
Flimmern mit 16384 Samples, Spikes 19
Log. Anregungssignal, Meßkopf Kalibrierung – Änderungen – Stand 9/2023 21
Mundstück = Helmholtz-Resonator und die Wirkung auf die Kapillare: 24

Rechnerische Korrekturen der Roh-Messungen: 27
Die „Today“- Artefakte
Masse-Effekte / mechanische Rückkopplung – (als Option)
Volt nach Akustisch MegaOhm – Faktor Grob Skalierung

Kalibrierungsvarianten und ihre jeweiligen Vor- und Nachteile 30
Kalibrierung mit Hilfe eines einseitig geschlossenen, 2935mm langen Zylinders
Var. A: Kalibrierung anhand Peak – Hüllkurve (bisher verwendet)
Var. B: 2 Stufige Kalibrierung anhand der ermittelten Wave-Impedanz 36
Var. C: „Simple“ Kalibrierung 41
Reihenfolge Korrekturen und Kalibrierung, Fehlerkontrolle 44

Überlegungen, wie die Pitch-Abweichungen weiter reduziert werden können: 45
Part 1:
Kurven-Glättung mit gleitendem Durchschnitt 45
Savitzky-Golay Filter zum Glätten von Messdaten 46
Vergleich der Glättungsverfahren und Auswirkungen auf die Ergebnisse 47
Part 2:
Fehlerfall quantisieren 55
FFT-Auswertung – um statistische Daten und Module ergänzt 57
Statistische Funktionen und Fehlerkorrektur - Fazit 62

Impulse-Response Auswertungen - Zeitbereich: 63
Notizen Eliott, IR, Autocorrelation, Complex Cepstrum, Real Cepstrum 64
Meine Implementierung - Phaseninformation fehlt wegen FFT Mittelung 67
Unvollständige und falsche Impedanzdaten verschlechtern die Ergebnisse
IR Messergebnisse bei Rohren systematisch um 1 % zu lang (Verluste). 69
Implementierte Korrektur der Zeit/Länge (Schallgeschwindigkeit)
Oversampling Faktor entscheidet über IR Glättung, Länge / Zeit, Fazit 70
regelbares „Fade out“ ab 1500 Hz bis 2756 Hz verbessert die Ergebnisse 71
Die Reihenfolge der FFT-Mittelung und Auswertung, Weiterverarbeitung 72

Teil 5: Dokumentation Fehlersuche Messkopf und Soundkarte

Dieser Part wird nicht veröffentlicht, er dient der Dokumentation der Fehlersuche, letztendlich war der Lautsprecher im Meßkopf defekt und musste ausgetauscht werden, auch die Soundkarte wurde ausgetauscht, ein komplettes Neu Kalibrieren notwendig, dieses beschreibe ich in Part 5. Versuche bis zu diesem Punkt – bis November 2018 beschreibe ich in diesem Dokument.

Angegebene Messungen und Behauptungen sind daher großteils falsch.

Part 5 – Extra Notizen
Defekte Soundkarte, Defekter Lautsprecher im Meßkopf,
Fehlersuche, fehlerhafte Messungen und Versuche

Unterschiede A.R.T. Auswertungen - Ebene Wellen virtuell zu FFT physisch

Verlustfaktor bei Simulation

Impedanzmessungen und Toleranzbereich, Einschränkungen und Fehlerquellen

Fehlersuche - Ursachen für diese Unterschiede in den Meßergebnissen:
Anregung, Meßobjekt

Äussere Einflüsse, Mikrophon und Auswertung, Anzahl der Mittelungen

Undichte Valvecluster durch Valvecluster Ersatz ausschließen

Rohrverlängerung vor Valvecluster zur Fehlersuche

Stress- & Dämpfung des sehr dünnen Becherbogens und Becher

Becherbogen – Problem Restblei, Reparatur

Messkopf – FFT – Mittelungen und Tests mit Hülse 28.10.2018

FFT Messungen Signal, Dauer, Window und Mittelungen noch mal optimieren
Verschiedene Fenster, Tests und Vergleich, Meß-Umgebung optimieren

Messpunkte für Pitch und Amplitude, RMS Werte für Vergleiche mit einbeziehen 27

Messung der Perturbationen und Vergleich zu Berechnung

Hülsentest Nr. 3 am 28.10.2018, 5 Uhr Morgens
Ergebnisse und Auswirkung auf Impulse-Response sowie Pos. der Hülsen

Auswertung und Vergleich zu Berechnung/Vorhersage Pitch / Impedanz

Hinweis:
Ergänzungen Messkopf neues logarithmisches Mess-Signal 2023 am Ende der Fehlerdokumentation.

Teil 6: Informationen aus dem Zeitbereich / Impulseresponse

Inhalt Teil 6:

Projektinhalt – Teil 6 – Kurzüberblick und Ergebnisse 3

Analyse und Interpretation von Informationen aus dem Zeitbereich

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

Globale Effekte - objektive Beurteilung (Reflexgüte, Abschwächung, Verluste) 8
IR-Experimente Zylinder, Mundstück + Zylinder, Schallbecher, Gesamtinstrument 9
Effektive Mehrlänge durch Mundstück und Mundrohr 11
Lokale Effekte durch Druckänderungen verursachen global entgegengesetzte Effekte 11
IR-Reflex Potential über die Achse bei Kombinationen aus Rohr / MPC / Schallbecher 12

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

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

Lokale Effekte in der akustischen Mitte des Instruments, von XM-IN1 bis XM-IN2:
Reflex Maxima und Minima IR, Analyse Magnitudenwerte, Positionsabweichungen 30
Rechnerische Ermittlung Nulldurchgang / Flankensteilheit 32
Globale Effekte - Bell Maxima und Minima IR Änderungen durch Constrictions 34
Matching mit der physischen Positionen mit unterschiedlichen Proben 35
Matching IR-Ergebnisse im Zeitbereich zu Impedanzänderungen im Frequ.-Bereich 37
Fazit Impulseresponse zur Positions- und Längenbestimmung 38
Ursprung phys. Pos. XM-PN mittels Bell-IR Minima und equiv. Länge MPC ? 38

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

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

Abschnitt A - Impedanzmessungen und Differenzen gegenüber Simulationen

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

Versuchsobjekt, handgefertigte Trompete, signiert Mayer Landau PF

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

Sonden-Messungen der Druckverteilung: Wo sind welche Nodes?

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

Vergleich Simulation Plane Wave Berechnung und reale Messungen

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

Simulationen Plane Wave / Levine-Schwinger und reales Instrument

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

Simulationen und Ergebnisse mit anderen Wellen- u. Radiation-Modellen 37

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

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

Abschnitt B – Versuche, Zusammenhänge im Frequenzbereich erforschen

Grundlagenforschung:

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

Impedanzkurve: Mögliche Vergleichsparameter identifizieren

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

Impedanzkurve – weitere Vergleichsparameter definieren:

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

Auswertung von Impedanzkurven – Vergleichsparameter physischer Positionen

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

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

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

Fehlerquellen bei Perturbation-Tests 87
Fazit: - Das Problem der Positionsfindung mit Perturbationen ist noch nicht gelöst. 88

Teil 8: Der Informationsgehalt von Impedanzkurven – Fakten, Visionen, Thesen & praktischer Nutzen

Übersicht zu diesem Teil meiner Projektarbeit und Dokumentation 3

Fakten: Wie Instrumente und Messungen besser verstanden werden können 4

Interessante FFT der stehenden Wellen jeweils am Perturbationspunkt mit Sondenmikrophon 4
Eingangsimpedanz = Sicht auf die Lippenebene des Instruments 6
Pedaltöne und Sub-Pedal bei hohem Blech 8
Eine neue Sicht auf Gestalt & Informationsgehalt der Eingangsimpedanzkurve 9
Unterschiedliches Potential entlang der Instrumentenachse 9

Meine Definition von Funktionspositionen auf der physischen Instrumenten Achse 10
Positionsbestimmung an der physikalischen Instrumentenachse bei Bb-Trompeten 11
Äquivalente Zylinderlängen bedeutet Wellenlängen bzw. Frequenz 13
Es ergeben sich 2 Frequenzdomänen 13
Veränderungspotential bei Simulationen und bei Messungen, Unterschiede 14
Verluste und Bedämpfung des Potentials durch vorhandene Ausgleichseffekte von MPC+Bell 14
Schallgeschwindigkeit, Frequenzen, Wellenlängen und Positionen 15
Vorhandene Differenzen zwischen Simulationen und Messungen 16

Visionen: Magnituden–Positionen anhand der Impedanzkurve bestimmen

Berechnung Impedanz Peak –Kurven Start Pos. für die jeweilige Frequenz 17
Kann man die Lage von Magn.- / Pitchnodes aus der Impedanzkurve ermitteln? 18
Zusammenhänge; FFT Messung und Simulation, Vergleich über Frequenz 18
Äquivalente Zylinderlängen für Impedanz Peaks und Minima 21
Impedanz-Minima und deren starker Einfluß in einer closed-open Peak-Geometrie 22
Mundstück + Rohrverlängerung: Wie diese (miteinander) wirken = Modematching 23
Symetrie - sind diese Informationen nun brauchbar? 24
Die Definition und physische Position einer akustischen „Mitte“ 24
Peak Magnituden – Funktionspositionen 25
Peak Frequenz – Pitch Funktions-Positionen 26
Peak Magnituden Nodes, Druckknoten und Druckbäuche 27
Startpositionen Peak Magnituden Nodes, Druckbäuche - eine grobe Annäherung 28
Peak-Pitch Positionen und der Versatz zu Peak Magnituden-Positionen 29
Ein Erklärungsversuch anhand der Minima-Frequenzen, XM-IN1 und XM-IN2 30

These – Magnituden- & Pitch-Node Positionen anhand Impedanzkurve, Simulation 31

Geometrischer Mittelwert vs. arithmetischer Mittelwert (Durchschnitt) 32
Wave-Impedanz - Zusammenhänge und Formeln für Frequenzfaktoren 33
Fiktive Grundton-Frequenzen, reziprok WI-Crossings, WI-Mitte, Peak Maxima 35

Die Wave Impedanz-Mitte liefert Positionen für Magnituden-Nodes & Pitch-Pot 36
Magnituden-Nodes : Nur eine einzige IR - Referenzposition gibt den Grundversatz 37

Wave Impedanz Crossings unterhalb der Peaks liefern den Pitchversatz 40
Wave Impedanz Crossings oberhalb der Peaks ergeben ebenfalls Pitchversatz 42

Ergebnis und Zusammenfassung – mit Daten aus der plane Wave Simulation 45
Zielsetzung, Goal mit 1 Referenzpunkt, Treffer- / Fehlerquote: 46

Simulation vs FFT-Messungen 47
Umsetzung Impedanzwerte aus FFT Messung zu MPC Equiv. Länge – Praxistest #1: 47
Gegenüberstellung der gewählten Maxima als Referenzwerte Test A-C: 51
FFT-Auswertung mit neuen Funktionen und Formeln 52
Modifikationen ändern Funktionspositionen entlang der Instrumentenachse 53
Was passiert an der akustischen Mitte bei Perturbationen 54
Peak Maxima sind nur ein Teil eines elastischen Gesamtkorsetts 55

Quick & dirty - but straight forward! Praktische Lösungen sind gefragt

Funktionierende Lösungen mit dennoch kleinstmöglichen Positionsfehlern bei Bb-Trompeten 56

Sideletter #1: Physik - Grundlagen:
Komplexe Zahlen, Elektrizität, Wechselstrom, Impedanz,
Mechanische Schwingungen, Wellenlehre, Ströhmungslehre

Inhalt:

Wozu eine Sideletter zu Physik & Elektrizität, wenn es um Blechblasinstrumente geht? 4
Formelräder Vergleich von Elektrizität und Akustik, der Tangens ist kein Winkel! 5

Mathematische Grundlagen, die komplexe Zahlenebene
Integrale, Stammfunktionen, speziell für Sinus, Cosinus, numerische Möglichkeiten 6
Trigonometrie: Cosinus, Sinus, Tangens von Winkeln, Einheitskreis 9
Die Zahl Pi und die Eulersche Zahl e, Eulersche Identität, Zusammenhänge
Komplexe Zahlenebene, Imaginäre Zahlen, Darstellungsvarianten und Umwandlungen 10
Komplexe Zahlen, Euler- u. Polar- bzw. trigonometrische Darstellung und Berechnung 12
Phasor Diagramme und Berechnung 13

Elektrizität, Stromversorgung und Frequenz von Wechselspannung
Energie, Arbeit, Leistung und SI-Größen 17
Atome, Gleichstromkreis DC = direct current, SI - Größen und Ohmsches Gesetz:
Wofür wird Gleichspannung, wofür Wechselspannung verwendet und benötigt 19
Strom - Wo ist es egal wenn sich die Polung permanent wechselt? 19
Wechselstrom - Verbundnetze – der Blackout Begriff: 20
Wechselstromversorgung in Europa: 21

Wechselspannung, Strom und Impedanz
Wechselstrom AC alternating current – komplexer Widerstand - Impedanz: 22
Wechselstrom Schein-, Blind- und Wirkleistung 23
Wasserkreislauf vs. Wechselstrom R-L-C Schaltung, Differentialgleichungen 28

Mechanische Schwingungen vs. elektrische Schaltungen und Akustik
Erzwungene mechanische Schwingung, Feder-Masse System, Dämpfung 30
Feder / Masse / Kraft vs. Wechselstrom 32
Wechselstrom – zeitlich veränderte Spannung+Strom –> Differentialgleichungen 33
Wechselstrom – harmonische Anregung, Herleitungen, komplexe Impedanz Z
Impedanz – Frequenz – Resonanz Reihenschwingkreis, Band-Pass-Filter 35
Admittanz - Frequenz – Parallelschwinkreis, Band-Stop-Filter 39

Wellen
Wellen sind Störungen, die sich im Raum mit der Zeit ausbreiten, Wellengleichung 40
Von harmonischen Schwingungen zu harmonischen Wellen 41
Harmonische Wellen, Kreiszahl, Winkelgeschwindigkeit 42

Phasen und alles was damit zusammenhängt 43
Phasenwinkel, Phasenlaufzeit, Phasengang - Zusammenhänge: 43
Begriff, Winkeldifferenz, Zeitversatz
Phasendifferenz von 2 harmonischen Wellen bzw. Funktionen (Druck und Fluss):
Phasengeschwindigkeit 45
Gangunterschied 45
Phasengeschwindigkeit / Dispersionsrelation w(k) 46
Phasen: Winkel Differenzen von 3 Sinuswellen in Oktavabstand 47
Der Winkel $\varphi(j\omega)$ eines Frequenzfaktors, wenn durch ein Filter verändert 48
Beispiel Low Pass Filter damit berechnet, Auswirkungen 49

Phasen Änderung durch Systeme und Filter **50**
RC-RL Filter, analoge Filter 50
Tiefpass, Hochpass, Allpass, Bandpass Filter, Güte, Bandbreite, Grenzfrequenzen
Laplace Transformation, Übertragungsfunktion H(s) von Filtern 52
Beispiele, Ableitungen und Formeln Tiefpass 52

Phasenwinkel bei der Eingangsimpedanz von Rohren: 53
Phasenlaufzeit – phase delay 53
Gruppengeschwindigkeit – Group velocity 54
Addition von 2 Sinuswellen mit unterschiedlicher Frequenz =Einhüllende 54

Dispersionsrelation, normale und anormale Dispersion 55
Gruppenlaufzeit – group delay 56
Rohre, Phasen- und Gruppenlaufzeiten: 57
Group Velocity = Roundtrip Time & Attack - Benade / Besselhörner 58
Phasen- und Gruppengeschwindigkeit von Katenoid- und Besselhörnern 58

Physik, Druck, Akustik, Schall
Gravitation, Beschleunigung, Kraft, Schalldruck und Schallintensität, dB Pegel: 59
Impedanz – wie kann man sich diese in Luft und Wasser vorstellen 60
Akustische u. mechanische Impedanz, Feld-, Fluß-, Strahlungs-Impedanz 61
Schallschnelle / Schallfluß / Auslenkung, kinetische und potentielle Energie 62

Ströhmungslehre
Bernoulli Gleichung, Kontinuitätsgleichung 63
Venturi Effekt , Effekt auf die Lippenschwingungen von Blechbläsern 65
Einschränkungen der Bernoulli Gleichung in Nähe der Schallgeschwindigkeit 66
Hagen-Poiseuille Gesetz, Druckdifferenz, Viskosität, Fluss, Querschnitt, Länge 68

Experimente
Quincke Interferenz-Rohr, Kundt'sches Rohr, Ruben'sches Rohr 69
Differenzen, Faktoren und Prozent Rechnung 69
Summations- und Differenztöne die physikalisch nicht vorhanden sind 70
Diverses 70

Sideletter #2: Schall in Rohren – Sound in uniform Tubes

Inhalt: 2

Musikus vs. Physikus / eine Sache der zeitlichen Möglichkeiten 5
Vertiefung in einige Begriffe, die bei Wellengleichungen verwendet werden 5
Zusammenhang mit Schallwellen in Rohren 6
Akustische Flußimpedanz, Resonanz, Vergleich mit elektrischem Schwingkreis 7
Spezifische Impedanz, charakteristische Impedanz Zc eines Rohres 9
Dezibell, Wave-Impedanz, Q1-Faktor 9
Äquivalente, invers proportionale Querschnittflächenänderungen 11

Zylindrische Rohre, Mensur und Input Impedanz Magnituden
Der Übergang vom Raum zum Rohr und grundlegende akustische Eigenheiten: 12
Zylinder - Längenänderungen = Mode # Änderung
Spezialfall: Perturbationslänge = Rohrlänge =1/4 WL = Mode #1 14
Konstante Wellenlänge in unterschiedlichen Rohrlängen, höhere Modes
Auswirkung von Verlusten und Endkorrektur / ZL 15
Magnituden-Verluste anhand Reibung sind invers proportional zur Frequenz

Auswirkung von (stärkeren) modellierten Verlusten
Die Magnituden Hüllkurve in einem closed-open Zylinder nimmt
mit dem Kehrwert (1/) der √(Frequenz) = √(1/Frequenz) ab: 18
Doppelt logarithmische Darstellung und Abkling-Konstante / viskothermale Verluste 19

Zylinder - Querschnitt / Boresize / Mensur Änderungen:
Wird der gesamte Querschnitt abgeändert, Magnituden Änderungspotential = 1/q0 20
Boresize und Resonanzfrequenzen höherer Modes 21

Wie kommt man generell zu Magnitudenwerten der Peaks in akustischen MegaOhm? 22
Lösung: Über eine charakteristische Frequenz = Dichte r * Schallgeschwindigkeit c
Berechnung der Input Impedanz Minima, Maxima Peak u. Hüllkurven Werte, Zc 23
Der Zusammenhang von Rohrlänge, Querschnitt, Frequenz und Impedanz Magnitude 24
Übersicht Input Impedanz Magnituden typischer zylindrischer Rohrquerschnitte 25
Zc, q1 Magnituden Faktor sowie Zmin aus Zmax Werten anhand Querschnitt ermitteln
Beidseitig geschlossener Zylinder, Magnituden und Effekte einer Undichtheit 26

Zylindrische Rohre, Mensur und Resonanzfrequenzen
Globale Änderung der Resonanzfrequenzen bei Boresize Änderung 27
Endkorrektur, Verluste, Inharmonizität, ART Simulation Rohre mit 1m Länge 28
Zin Peak Änderungen closed-open Zylinder 1m Länge gegenüber Dia 10mm 29
Frequenzänderungen closed-open Zylinder 1m Länge gegenüber Dia 10mm 30
Einfluss von Endkorrektur offenes Ende, entflechten wandnaher Verluste 31
Harmonizität von closed-open Zylindern, Querschnitt- bzw. Mensurabhängigkeit 32
Änderung der Grundstimmung (Resonanzfrequenz Mode #1) mit Boresizeänderung 33
Endeffekt: Halbe Querschnittfläche = logarithmisch doppelt starke Frequ. Vertiefung
Näherung, Variante A anhand Log2 und Konstante (√2) *2, alternativ Pi 33
Näherung, Variante B anhand Flächendifferenzfaktor Xe und Konstante 34
Näherung, bei kleiner Änderung q0<1,1: Geomittel Pot. +/-Cent mit qcent=1/(1-*dDia*+)

Closed-open Zylinder, Impuls und 4 halbe Roundtrips, Einschwingvorgang: 35
Open-open Zylinder: Nur 2 halbe Roundtrips = ½ Wellenlänge = doppelte Frequenz
Schwingungsmode 0=eindimmensionale, ebene harmonische Longitudionalwellen 38

Wellengleichungen 39
Harmonische Welle – partielle Ableitungen nach Zeit und Ort 40
Mathematische Ableitungen harmonischer Wellen und Zusammenhänge: 41

Die Zeit läuft ... Phasen: Zeit-Differenzen von Druck und Volumenfluß 42
Druck-Verlauf im closed-open Zylinder, Phasen = zeitliche Zustände 43
Volumenfluss im closed-open Zylinder, Partikel-Velocity begreifen 44
Energie-Übergang und warum Impedanz-Missmatch nicht schlecht ist! 45
Die reaktiven Anteile von Impedanz – Trägheit und Federsteifigkeit 45
Helmholtz Resonator, Okarina und Eingangsimpedanz Trompetenmundstück 47

Physik und Berechnungsformeln (© Universität New South Wales, Australien)
Akustische Impedanz, Intensität, Power (Leistung) 49
Volumenfluß und charakteristische Impedanz Zc bzw. Z0 (in einem Rohr): 50
Luft als elastisches Medium, Druck und Volumen: 51
Wie Druckvariationen Partikeldisplacement hervorrufen, Energieerhaltung: 52
Kompression / De-Kompression: Wie Partikeldisplacement den Druck beeinflusst: 53
Acoustic Compliance = geschlossene Cavity = Höhle / Federkraft: 54
Acoustic Inertance = Trägheit (Masse u. Beschleunigung, kurzer offener Zyl., constr.) 55
Radiation Impedanz an offenen Enden (Strahlungswiderstand, Inertance) 56
Reflektion an offenen Enden und Reflektionsfaktor; geschlossene Enden 57
Energie einer wandernden harmonischen Welle 58
Formelsammlung Zylinder infiniter Länge, finiter Länge, Eingangsimpedanz 59

Reverse-Engineering: von Z zu den Einzelkomponenten und Phasenwinkel
Z=Druck/Fluss, die wundersame Wandlung des Imaginärteiles ^2 62
Alles nur imaginär? Wie kommt es zu Phasenwinkel 0 bei Impedanz Min und Max? 64
Die |Z| Beträge der Funktionen Druck F(**w / p**) und Fluss F(**w / p**) über Frequenz 67
Z = Druck/Fluss, die komplexe Division und Metamorphose der Potentiale p und U: 68
|Z(**w**)|= p/U, Druck |p(**w**)|= Z*U, Fluss |U(**w**)|= p/Z, jeweils komplex multipliziert/dividiert 68
|Z(**w**)| Betrag=Impedanz, |z1(**w**)| Betrag = Druck, |z2(**w**)| Betrag = Fluss 68
Die komplexen Einzelkomponenten Druck z1 und Fluss z2 und das Verhältnis Z: 69
Fluss Impedanz am Eingang eines closed-open Zylinders, Real, Imag. Teil, Phase 70

Kann man den Winkel Phi anhand des Zeigers (Z-Betrages) errechnen?
Lösungsansatz in 4 Schritten 70

Simulation – Kettenmatrix Transfer Methode 74
Ergebnisse Druck- und Flusskomponenten mit der Matrix 74

Die Analogie elektrischer Wellenleiter und akustischer Eigenschaften von Rohren 75
Funktion, Ausbreitungskoeffizient und Formeln für analytisch bekannte Elemente 76
Behandlung von thermoviskosen Verlusten und Radiation Impedanz 77
Querschnittsprünge – Boresteps – Bore Discontinuities (nicht auf Zylinder beschränkt) 77
Konsequenz für lokale Querschnittänderungen = Perturbationen: lokal Z/Zc 78

Simulationssoftware und wie diese unter der Haube funktioniert: 78
Excel, schrittweise Berechnung anhand der vorgestellten Kettenmatrix Methode 79
pw = Z*U, Uw= p/Z, proportional zu Frequenz w 84
Phasenlaufzeit, Gruppenlaufzeit 86

Vertiefung in einige Themen:

Reflektionsfaktor / Reflektionskoeffizient, SWR = Standing Wave Ratio 86
Fractional Return % nach 1 Roundtrip ergibt die Verluste durch Abstrahlung+Reibung 87
Behandlung von Strahlungswiderstand = Zrad, wenn << ka = 1,0: 88
Reflektion Realteil Zrad ist proportional zu w², Imaginärteil = Trägheit proportional zu w 89
Abstrahlung, Reflektion, Verluste innerhalb des Rohres, Q 90
Verluste und Beispiele Zc sowie Cutoff, Phasengang MPC, Hand in Bell bei Waldhorn 90

Druck- und Flusszustände, Phasen = Impedanz im Rohr

Schwingungen Momentzustände im closed-open Zylinder – Phasen im Zeitraffer: 91

Druck und Fluss im Rohr, Winkel und Steigungen - Resonanzfall + Flanken 93
- Anti-Resonanz Fall 95

Auswertung Zylinder: Modes gleicher Phase verhalten sich akustisch gleichartig 98

Situation Anregung unter / über der lokalen max. Resonanzfrequenz eines Rohres 99
Zu kurze oder zu lange Rohre geben Versatz von Druck- und Flussknoten 102

Merke Phasenwinkel – Ein Mundstück verhält sich wie ein Filter
und ändert so den Phasengang, siehe dazu Sideletter 1 – Basic Physik, Filter 104

Sideletter #3: Zylinder – Perturbation Theorie, Impedanz Potential

Inhalt: 2-5

Intro – Sideletter #3 6
Verwendete Abkürzungen und Synonyme 6
Äquivalente, zueinander invers proportionale Querschnittflächenänderungen 7

Perturbationen und äquivalente Längen - Pitch:

Teil 1: Äquivalente Längenänderungen / Resonanzfrequenzen:

Grundlegende Gedanken und Überblick zu Weighting W*n*(x) Kurven 8
Effekt – Beschreibung globale Pitchänderungen durch lokale Perturbationen 9
Einschränkungen bei Thesen, Modellen, Vorhersagen und Simulationen 9

Perturbation – Weight Curves W*n*(x) – Vereinfachte Formeln für einen Einstieg 10
Dr. Benade, open-open Zylinder, potentielle und kinetische Energiedichten 11
Basic Perturbation Theorie – mehrere Ansätze, (Dr. Smith siehe Anhang) 12

HAL – Open Science – Änderung der Inharmonizität durch Perturbationen:

HAL open Science – closed-open Zylinder, Definition äquiv. Länge, Inharmonizität 13
HAL Version #1 mit äquiv. Längenänderung
Original und abgeänderte Version
k(*n*) der DL*(n) bei x* -> DL(n) -> WL(n) = 2Pi / k(n) 15

HAL Version #2, wenn eine Perturbation nicht mehr als klein angesehen werden kann 16
HAL Version #2, abgeänderte Version – Analyse der Formel 17

Zusammenhänge und Lösungswege über geometrische Mittelwerte und q0² 19
Pitch Potential, wenn Querschnittflächen Differenzen gleich stark: -X = +X 19
Pitch Potential, wenn Querschnittflächen Diff. X, zueinander invers proportional sind 20

Unterschiedliches Pitch Potential aufgrund konstanter Durchmesser Änderung 21
Perturbationslängen – Potential Anteil, max. bei Länge = ¼ Wellenlänge sin(pi/2)=1,0 22
Querschnittpotential X=1,0 bei doppelter Querschnittfläche, Durchmesser* Wurzel (2) 23
Durchmesser, Querschnittfläche, Potentialverschiebung und Pitchversatz down 24
XM-Pitchnode als Beispiel und akustische wirksame Mitte wenn –X = +X 25

Kürzen und Verlängern eines Rohres, Mode matching – Basics 26
Akustische Masse bzw. Feder anhand Volumenänderung
Vergleich offener Rohrenden und Druckknoten
Vergleich geschlossener Rohrenden und Druckbäuche

Ergebnisse Zylinder aus Simulationen ART Teil 2C im Vergleich dazu 27
Ergebnisse Frustum aus Simulationen ART Teil 2C im Vergleich dazu 28
Abweichende Ergebnisse mit Trompete inkl. Mundstück, Mundrohr und Schallbecher 28

Diskussion, Globale und lokale Auswirkungen, Potential, Vergleich mit Simulationen 29
Pitch Potential mit Std. Perturbationslänge 20mm – Größenordnungen: 30

HAL / Pitch - Boresteps 31
Borestep / Querschnittänderung: Absorptionsfaktor und Reflektionsfaktor, q0² 32
HAL / Pitch - Inharmonizität von Registern / Naturtönen 34
HAL / Pitch - Einengung am geschlossenen Ende (Konus) 36
HAL -Ausgangbasis ist die „Admittance“, der komplexe „Scheinleitwert“ Yc=S/ r*c 36
Komplexe Input Impedanz und komplexe Admittance gegenübergestellt 37

Teil 2: Proportionalität und Vergleichbarkeit:

Differenzen vs. direkte und inverse Proportionalität – was ist wann wo das Gegenteil? 39
Differenzen, Prozente und Faktoren / Quotienten = q
Zueinander invers proportionale Größen, Kehrwerte und das geometrische Mittel
Arithmetisches Mittel (Durchschnitt), Faktor (q0 + 1/q0)/2 größer als geom. Mittel 41
Harmonisches Mittel = Kehrwert des arithmetischen Mittelwerts

Logarithmische Differenzen – Eine andere Sicht auf Proportionalität: 42
Logarithmus zur Basis 10
Logarithmus zur Basis e
Logarithmus zur Basis 2; Faktor = Basis 2 ^ Exponent (=Log; Basis 2): 43
Die musikalische, logarithmische Differenz Einheit Cent = Log(q0;2)*1200 43

Wellenlänge, Frequenz, Kreiswellenzahl, Proportionalitätskonstante c 44
Wellenlängen sind direkt proportional zu Querschnittränderungen an Druckbäuchen
Gleiche Cent + / - Differenzen bedeuten invers proportionales Potential 45
Vergleich Änderung Hz, Cent, Frequenzfaktor 46
Fazit: Das max. Pitch Potential lokaler Perturbationen ist global q0² stärker vertiefend 47

Vergleich Änderung Differenz Input Impedanz in Mohm vs. Magnituden-Faktor 47
Fazit: Input Impedanz Magnituden Potential ist generell invers proportional zu q0

Teil 3: Perturbationen und Input Impedanz-Magnitudenänderungen Peaks:

Übersicht - Perturbationen zentriert, global, lokal: 48
Lokale Perturbationen, Perturbations-Spiralen, Beispiel nicht inv. prop. Constrictions 50
Perturbations-Spiralen: x-Achse Pitch in Cent = logarithmisch, y-Achse = direkt prop. 51
Was Zin Magnituden-Nodes tatsächlich bedeuten 53
Peak Hüllkurven, globale und lokale Perturbationen, viskothermale Verluste 54

Magnituden-Potential – generelle Abhängigkeiten und Komponenten 55

1. Potential anhand Entfernung vom geschlossenen Ende 55

2. Potential (eine Sinusfunktion) anhand Perturbationslänge zu ¼ WL 56
Zentrierte Perturbationen ~ ¼ WL
ART Simulation Zylinder, Perturbationslängen 60

3. Potential anhand Querschnitt-Faktor q0²:
Magnituden-Potential durch Querschnittflächenänderung 62

4. Potential Korrektur anhand der Perturbation selbst (bei Zentrum 50% RL)
+ / - Notwendige Korrektur Mode #1 Xhe/2 bzw. Xhc/2 64
+ / - Notwendige Korrektur Mode odd/even Modes >#1
Enlargements: Xhe/2, Constrictions „best fit“ = Xc/2 64

Gründe findet man im Verhalten höherer Modes bei Boresize Change 65

Zentrierte Perturbationen mit Perturbationslänge = ¼ WL 65

Zusammenfassung closed-open Zylinder – Boresize & Perturbationen,
Pitch und Magnitudenänderungen, bisher 67

Input Impedanz Magnituden
zentr. Perturbation PL=RL enstpricht abgeänderter Boresize 68
zentr. Perturbation PL=1/4 WL 68
zentr. Perturbation PL<1/4 WL 69
zentr. Perturbation PL>1/4 WL 69
Canceling nicht bei Perturbationslängen-Verdoppelung! 70
Das max. mögliche Magn. Potential liegt invers bei ~ q0^3 70

Teil 4: Die letzte ¼ Wellenlänge im closed-open Zylinder

(QWR = Quater Wavelenght Resonator =closed-openZylinder, Mode #1):
Auswirkungen lokaler Perturbationen: 74
Lokale, lange Perturbationen vs. Boresteps, Effekte sind 90° bzw. 1/8 WL versetzt 75
Auswirkungen zentrierter Perturbationen Volumen bei Enlargement: 76
Auswirkungen zentrierter Perturbationen Volumen bei Constriction = invers: 76
√2 = 1,4142 – 1 = Differenz X= 0,4142 1-X= 1-0,4142 = 0,5858 =2-√2 mit Pot =1/q0 =1,0 79

Boresteps vs. zentriere Perturbationen – Volumen: 80
Helmholtz Resonator vs. closed-open Zylinder (QWR), Feder/Masse - Modell: 81
Gemeinsamkeiten 82

Die letzte ¼ Wellenlänge und davor im closed-open Zylinder, höhere Modes:
Auswirkungen zentrierer Perturbationen auf höhere Modes 83
Lokale Perturbationen, Lage von Magnituden-Nodes: 85
letzter vorgezogener Magnitudennode bei 35% Druckpotential 85
Lokale Perturbationen nicht zentriert, letzte ¼ WL, Verhalten höherer Modes 86
Das Positionspotential verschleiert starke Effekte am offenen Rohrende, Experiment

Teil 5: Boresteps und deren Auswirkungen im Detail

Sprunghafte Rohr-Querschnitterweiterung = positiver Step 89
Sprunghafte Rohr-Querschnitteinengung = negativer Step 91

Zusammenhänge zwischen Boresteps und zentrierten Perturbationslängen
gegenüber lokalen Perturbationen <¼ WL am Beispiel Mode #2 93
Daraus Schätzung von Zin Magnitude durch lokale Perturbationen, letzte ¼WL Länge 94

Teil 6: Input Magnituden Potential lokaler Perturbationen, Hüllkurven:

Input Impedanz Magnituden Potential, lokale Perturbationen, beliebige Position 96
Magnituden Änderungen bei nicht inversem Potential, Enlargements 97
Magnituden Änderungen bei inversem Potential, Enlargements 98
Unperturbierte Restlänge und Potential - Zusammenhänge 98
Korrektur der Perturbationsstelle ebenfalls vom Positions Pot. abhängig 103
Berechnung des Magnitudenpotentials Zin, mit Perturbationscenter =x, Enlargements 105
Berechnung des Magnitudenpotentials Zin, mit Perturbationscenter =x, Constrictions 106

Teil 7: Querschnitt-Potential Zylinder - Concept IQ:

Pitch:

-Xc invers proportional zu +Xe, Flächen zueinander invers proportional 109
Pitch Potential UP ($q0^2$ schwächer) als DN

-Xc = +Xe, HAL#2 Ergebnisse, gleiche Flächenänderung
gleiches Pitch Potential nur an Druckbäuchen, dafür UP/DN an DB gleich

gleiche Durchmesseränderung, gibt komplexe „intermediate“ Ergebnisse

Magnituden: X / q0

-Xc invers proportional zu +Xe, Flächen zueinander invers proportional 110
gibt vergleichbares Potential, eine Einengung muß schwächer,
eine Aufweitung zur Einengung invers prop. stärker ausfallen

Zusammenfassung closed-open Zylinder – Querschnittpotential 111
Lösung für alle 3 Querschnitt-Szenarien

Concept IQ = Reduktion auf q = Durchmesser invers proportional zueinander 112

Concept IQ - Beispiele mit gängigen Boresize Größen hohes Blech und
vollständig vorhandene Simulationen Zylinder, sowie extreme Beispiele:

Boresize 10mm -Xc invers prop. zu X (11:9,09) 113
Boresize 11mm -Xc invers prop. zu X (12:10,08) 114

Boresize 10mm +/- Durchmesser 1,0 mm (10,0 %) 115
Boresize 11mm +/- Durchmesser 1,0 mm (9,09%) 116
Boresize 11,7mm +/- Durchmesser 1,0 mm (8,55%) 117

Boresize 10mm -Xc = +Xe, selbe Flächenänderungen (11:8,888) 118
Boresize 10mm -Xc invers prop. doppelt/halbe Fläche (1,41:0,707) 119
Boresize 10mm -Xc invers prop. doppelt/halber Durchmesser (2:0,5) 120

Teil 8: Änderungspotential lokaler Perturbationen gezielt kontrollieren:
Magnitudenpotential steuern und kontrollieren 121
Pitch-Potential steuern und kontrollieren 124
Zusammenfassung berechnete Perturbationen am closed-open Zylinder 125

Anhang:
Systematic approach to the correction of intonation in wind instruments,
© Dr. Richard Smith, in Nature 1976 126

Weiter gehende Fragen:
Ungelöst: Differenzen physikalischer Experimente gegenüber Simulationen und dieser Berechnungen - am Beispiel Trompete / Projektteil #7 129

Was ist lokal nach einem Druckbauch anders als vor einem Druckbauch, global? 131
Immer wo viel Pitch Pot. wirksam wird, da ist wenig Magn. Pot. und vs. 133
Änderung Phasenwinkelversatz von Druck zu Fluss am geschlossenen Ende 134

Sideletter #4: Intern – next Steps – to do

Inhalt: