

Stimmung und Intonation Bei Blechblasinstrumenten

**Brass Instrument Acoustics
Akustische Eingangsimpedanz Messungen**

Kurzbeschreibung Neue Hardware und Messverfahren 2026

Projektstand per 13.09.2026, Hard- & Software Release V2026.2a

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

Messkopf Neubau 2026:

Nach vielen Jahren Pause habe ich nun das ganze Meßverfahren erneuert und verbessert. Das alte System war ein 1 Mic Setup, mit einer FFT Analyse Software, die auf neueren Betriebssystemen nicht mehr läuft. Die Entwicklung hat rund 9 Monate in Anspruch genommen.

Ich habe 3 Messköpfe neu gebaut, diese unterscheiden sich durch Druckkammervolumen, Kapillarenlänge, Lautsprechermodell und Größe, sowie verwendete Elektret Mikrophon Modelle.

Head #1 wird nochmals komplett überarbeitet und muß dann kalibriert werden, Head #2 und Head #3 sind „production ready“, wobei Head #3 der Master Head ist, Head #2 als Reserve und für Vergleiche zur Verfügung steht; dieser ist wesentlich anfälliger auf Körperschall von den Messobjekten – warum weiß ich aber aktuell nicht; d.h. Head #3 ist wesentlich zuverlässiger.

Als Audio Hardware verwende ich nun ein Rode AI Compact. Dieses USB 2.0 Interface hat 2 Mikrophoneingänge, die Plug-in Power für Elektret Mikrophone zur Verfügung stellen, simultan beide Mikrophone aufnehmen kann mit 48 kHz, und den Lautsprecher mit genügend Leistung ansteuert. Beide Mic Eingänge sind auf 16dB Verstärkung eingestellt, Ausgabe Mixer auf 50%. Das ergibt für Head #2 und Head #3 eine sehr gute Aussteuerung mit Reserve.

Für die Messungen habe ich mit KI Unterstützung mehrere Python Scripts erstellt. Eines ist für die Messungen zuständig, weitere Scripts übernehmen die Automatisierung, Berechnung, Kalibrierung, Impulse Response Berechnung und erzeugen von CSV Dateien, die mein bisheriges Excel Auswerteprogramm (entsprechend adaptiert) einlesen und analysieren kann.

Generell wäre es auch möglich, Messdaten aus dem kommerziell erhältlichen Produkt Bias 6.0/7.0 der Firma Artim zu exportieren, und dann in meiner Analyse Software weiterzuverarbeiten. Bias bietet einen Export an, der in meine Analysepipeline integriert werden könnte.

Es erfolgt jetzt eine echte 2 Mic Messung. P2 ist das Objekt Mikrophon am Instrumenten Eingang, P1 das Mikrophon in der Lautsprecherdruckkammer, beide sind durch 4 parallele Kapillaren mit einer Länge von rund 40mm und einem Innendurchmesser von rund 0,7mm voneinander getrennt.

Prinzipiell ergibt komplex $P2 / P1$ einen komplexen Übertragungsfaktor H , aber noch nicht die komplexe Eingangsimpedanz Z ; denn es sind noch sämtliche Messparameter (Soundkarte, Druckkammer, Lautsprecher, Mikrophone und Kapillaren) als Effekte mit enthalten.

Erst durch Kalibrierung anhand bekannter Referenzobjekte kann daher von Impedanz; also dem komplexen Verhältnis Schalldruck zu Schallfluss am Eingang des Meßobjektes gesprochen werden. Nachdem sehr kleine Volumen im Tieftonbereich die Grenzen meiner Messmöglichkeiten überschritten haben, wurden die beiden Messköpfe anhand der Messung von zylindrischen Rohren und Openwind Simulationen derselben kalibriert. Ein rund 3 m langes Rohr mit Innendurchmesser 14mm in closed-open und closed-closed Konfiguration, ein rund 1 m langes Rohr mit Innendurchmesser 11,0mm in closed-open und closed-closed Konfiguration, so wie ein kürzeres rund 0,5m Rohr mit Innendurchmesser 11,0mm. Prinzipiell wurde festgestellt, daß closed-closed Varianten nochmals wesentlich anfälliger für kleinste Micro-Lecks an der Messebene sind.

Letztendlich wurde das Kalibrierziel so definiert, daß Rohr 977mm mit Dia 11 mm am besten getroffen werden soll, weil es Impedanzbeträge liefert, die denen von Blechblasinstrumenten am nächsten sind und die Messköpfe offenbar sehr stark lastabhängig reagieren. Für Head #2 und Head #3 wurden daher Kalibrierdaten erstellt, die sowohl Betrag als auch Phase korrigieren und daraus auch Real- und Imaginärteil entsprechend in der kalibrierten Version liefern.

In wissenschaftlichen Dokumenten wird ein Fehler von rund 10% bei den absoluten Impedanz Z Betragswerten als „akzeptabel“ bezeichnet, und gefühlsmäßig wird diese Toleranz mit meinem System im Bereich der Messung von Blechblasinstrumenten erreicht.

Ein Anpassen des Anregungssignal an Druckkammerresonanzen ist mit diesem Setup nicht mehr notwendig, da sich diese bei P2/P1 bereits heraus dividieren. Am besten geeignet wurde letztlich eine Konstellation gefunden, wo 3 x hintereinander ein linearer Sweep von 10-3000 Hz abgespielt wird – mit Vor- und Nachlaufzeiten, die Dauer aber etwas unterschiedlich ist: 4,8s 5,0s und 5,2 Sek., bis 25 Hz wird leicht eingeblendet, oberhalb 2756 Hz leicht ausgeblendet. Eine höhere Anzahl an Sweeps hat keine merklichen Vorteile gebracht; Das vermindert FFT Artefakte mit endlichem Frequenzbereich ein systematisches Zigzag wurde so zu einem nicht mehr systematischen Effekt bei Mittelung und kann nun besser statistisch geglättet werden, das Python Script findet hier pro Messung das passende notwendige Muster und wendet es an (rund 2 Hz).

Die Messung pro Objekt / Ventilstellung dauert daher rund 20 Sekunden + manueller Start der nächsten Messung ~ 25 Sek.; 9 Messungen für ein 3 ventiliertes Instrument erfordern daher rund 4-5 Minuten, das verringert das Risiko von Temperaturschwankungen. Die Auflösung ist nachwie vor abhängig von der Sweep Länge samt Vor- und Nachlaufzeit 5,944 sek. und beträgt 0,168 Hz. Die IR Auflösung ist von der Frequenzbandbreite abhängig und beträgt 63,3 mm, Zero Padding ergibt eine interpolierte Auflösung von rund 1mm (temperaturabhängig), HF Fade out ab 2400 Hz.

Neu ist, daß ich die vollständigen komplexen Informationen erhalte, also neben Betrag auch Phase und daraus abgeleitet auch die Gruppenlaufzeit. Diese liefert aber zur Bestimmung der Peak Frequenzen im LF höhere Hz Werte, im HF niedrigere Hz Werte. Diese werden daher aktuell in Excel übernommen aber momentan nicht weiter ausgewertet.

Bei der Umrechnung in den Zeitbereich ergibt sich nunmehr ebenfalls die tatsächliche Impulse Response Funktion, die bisherige Phase 0, sowie eine zusätzliche Autocorrelation Funktion wird ebenfalls berechnet (zu Forschungszwecken, wobei Phase0 und Autocorrelation IR Max Werte liefern die rund 1 cm länger sind als die IR Werte). Die Impulseresponse Berechnung wird nun vollständig von Python gemacht und fertig an Excel übergeben.

Neu ist die Summenfunktion in mehreren Varianten; Variante orig. Wogram: ermittelt dieses (ohne Gewichte) aus dem Realteil – wie in seiner Doktorarbeit beschrieben; Python errechnet dann auch die gewichteten Varianten aus Betrag (wie Bias © Artim), allerdings habe ich aus Kompatibilitätsgründen die bisherige Berechnung der gewichteten Summenfunktionen in Excel belassen, denn die Ergebnisse sind ident.

Die Entwicklung auf der „Excel“ Ebene ist ebenfalls vorangeschritten; alte / obsolete Teile wurden entfernt, Macros optimiert; und in FFT-Analysis.xls ein Zertifikat / Analyse Bericht neu gestaltet, samt einer Kurzbeschreibung, wie die hier komprimierten aber wichtigsten Werte zu interpretieren sind.

Zusammengefasst: Ich habe das Mess System komplett ersetzt; Die tatsächliche brauchbare Essenz ist, daß ich nun tatsächlich die komplexe H Funktion bzw. $Z(in)$ bestimme, die bisherigen Ergebnisse aber auch mit der 1 Mic Methode erstaunlich gut waren, solange die (alten) Messköpfe und Soundkarte mitgespielt haben.

Neu entwickelte Hardware:



Links: Head #3 mit eingespanntem Mundstück 8M9; angeschlossen an das Audio Interface Rode AI Compact USB; Rechts: Head #2, man erkennt die 4 Kapillaren und das Messmikrophon P2 an der Messfläche des Objektes. In der Druckkammer befindet sich der Lautsprecher und Mic P1.



Head #3 mit Messobjekt.