

Stimmung und Intonation Bei Blechblasinstrumenten

Brass Instrument Acoustics

Beschreibung Messzertifikat und Analysebericht

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

Objektive Messungen der akustischen Eingangsimpedanz Z

Es wird dafür ein selbst entwickelter Impedanz Messkopf samt selbst entwickelter Python Software verwendet. Da an der Messung kein Bläser involviert ist, erlauben die Ergebnisse und Analysen die rein objektive Beurteilung von Blechblasinstrumenten. Es ergibt sich dabei ein „Fingerprint“ der gemessenen Objekte. Es können verschiedene Instrumente verglichen werden, Änderungen können beurteilt werden, es zeigen sich vorhandene Fehler, Stärken und Schwächen, und es kann anhand von Referenzmessungen von (sehr guten) und von (schlechten) Instrumenten die musikalisch / akustische vorhandene Qualität anhand zahlreicher Parameter kategorisiert werden. Hier dazu eine sehr kompakte Anleitung, die erstellten Auswertungen beurteilen zu können.

Erklärungen und Definitionen der verwendeten Begriffe und Abkürzungen

Gemessen wird die komplexe Eingangsimpedanz Z . Es ist das Verhältnis von Schalldruck zu Schallfluss in das Instrument. Dieses kann im Frequenzbereich als Realteil und Imaginärteil, oder als Betrag von $Z = |Z|$ und Phasenwinkel (in Radian oder Grad) dargestellt werden. Aus der Phase kann die Gruppenlaufzeit abgeleitet werden. Phase und Gruppenlaufzeit werden im Analysebericht des ganzen Instrumentes nicht abgebildet. Der Betrag $|Z|$ kann zudem auch logarithmisch dargestellt werden (100 MOhm = 160 dB); hier wurde die lineare Darstellung gewählt.

V0-V123: Sind die Bezeichnungen, welche Ventillängen verwendet sind;

V0 = kein Ventil gedrückt, also „leer“; V1 = Ventil 1 gedrückt, V123 = alle Ventile gedrückt

MPC = Mouthpiece, Mundstück

Griffschema für Standardgriffe: V12 = V3 wird als alternativer Hilfsgriff verwendet.

V3 = (V12 wird als alternativer Hilfsgriff verwendet), User = eine Kombination aus V12 und V3

Frequenzbereich:

Grafik I01:

Übereinandergelegt die einzelnen Messungen aller Ventilkombinationen und Mundstück. Gezeigt wird Y = Betrag Z in akustisch MegaOhm, X = Frequenz in Hertz. Lokale Maxima der Kurven stellen die Resonanzfrequenzen = Naturtöne = NT dar, Minima sind Antiresonanzen.

Grafik R01:

Grün: Impedanzmaxima (in Mohm) der verwendeten Standardgriffe für notierte Tönhöhen.

Blau: Fractional Return from Bell (in %) = Sehr gute Ansprache / Spielbarkeitsbewertung.

Rot: Q-Faktor Q_0 = Resonanzgüte bei Dynamik ppp (in%),

kleiner Wert = leichteres Ziehen von Tönen, hoher Wert = besseres Einrasten/„Slotting“

Braun strichliert: max. absolute Änderungen (in Cent) mit zunehmender Stärke der Anregung

Grün strichliert: Impedanz Minima (in Mohm),

Grau: Wave Impedance in Mohm; ähnlich vergleichbar der charakteristischen Impedanz

Sichtbar wird, daß große Rohrlängen mehr (Reibungs-) Verluste bewirken.

Grafik R02:

Fractional Return from Bell (in %) = Sehr gute Ansprache / Spielbarkeitsbewertung, pro Ventilstellung, alle Resonanzmaxima x = Naturton Nr. (NT1 = Grundton, nicht gezeigt).

Grafik R03:

Rot: Q-Faktor Q_0 = Resonanzgüte bei Dynamik Wgt A = 1 = ~ piano/mf (in%),

kleiner Wert = leichteres Ziehen von Tönen, hoher Wert = besseres Einrasten/„Slotting“

x = Halbtonfrequenz-Achse: es wird die Frequenz angezeigt, die ein „Naturton“ ohne Stimmungsabweichungen zur gleichmäßig temperierten Stimmung (ET = Equal Tuning) mit dem verwendeten Kammerton klingend A1 haben müsste.

Zeitbereich – Impulse Response:

Aus den komplexen Werten der Eingangsimpedanz im Frequenzbereich kann mathematisch das Verhalten im Zeitbereich errechnet werden. Vereinfacht kann man sich das so vorstellen: Ein „Knall“ wird am Mundstückeingang in das Instrument geschickt und beobachtet, was an Reflektionen im Zeitverlauf retour kommt. Dieser Impuls ist allerdings nicht ideal unendlich kurz, sondern hat eine „Breite“.

Ein solcher „Roundtrip“ benötigt bei einer Bb Trompete mit der Ventilstellung V0 rund 8,5 Millisekunden. Bei anderen Verlängerungsventilstellungen entsprechend länger und es ergeben sich anhand der Länge höhere Verluste. Anhand der Raumtemperatur bei der Messung und Ermittlung der Schallgeschwindigkeit kann so auf eine Längenskala – hier in cm umgerechnet werden. Der gezeigte Betrag ist der Prozentsatz der ursprünglichen Anregung. (Die ansteigende Flanke des Impulses wird nicht angezeigt, da sie keine Bedeutung bei der Auswertung hat).

Eine Impulse-Response bei einem Blechblasinstrument samt Mundstück und Schallbecher zeigt immer folgende charakteristischen Eigenschaften:

Ein starker negativer Ausschlag am Beginn, ein starker positiver Ausschlag an der akustisch wirksamen Länge (Bb Trompete V0 ~ 147 cm), davor ein markanter, aber wesentlich schwächerer negativer „Vorläufer“, der im Fall einer Bb Trompete ziemlich exakt die tatsächliche physische Länge (entlang der Hornkontur) ergibt. Dazwischen finden sich immer sehr wellige Verläufe, diese zeigen „early“ Reflektionen, die bereits vor der Hauptreflektion am Mundstückbeginn ankommen.

Starke lokale „Einengungen“ äußern sich durch positive vorzeitige Reflexausschläge, lokale Aufweitungen „Gaps“ (z.b. am den Spalten die durch Stimmzuauszug entstehen) als negative vorzeitige Reflexausschläge, detto leichte Undichtheiten.

Löcher erzeugen hingegen negative Reflexe, die üblicherweise stärker als ein üblicher Hauptreflex sind und hier ist die Position des Loches nicht gleich der Position des angezeigten Reflexes. Wichtig ist zu betonen, daß eine gewisse Grundwelligkeit kein Fehler ist, sondern z.b. durch das Mundstück, aber auch konische Abschnitte im Mundrohr und Schallbecher solche Reflexe verursacht werden. Leider verdeckt das Ausschwingen des Mundstückes meist kleine Reflexe. Die Beurteilung dieser „early“ Reflektionen braucht daher sehr viel Erfahrung.

Die Höhe des positiven Hauptreflexes ist allerdings ein Wert, der sehr viel über die Qualität und Dichtheit sowie Spielbarkeit des Instrumentes aussagt. Ein undichtes Instrument oder eines mit Störstellen ergibt signifikant kleinere Reflektionswerte. Verschiedene Ventilkombinationen sind meist unterschiedlich stark betroffen. Anhand der Längendifferenzen der Hauptreflexion kann auch die akustisch effektiv wirksame Länge der Ventilschlaufen ermittelt werden.

Grafik IR02:

Zeigt die Messungen aller Ventilkombinationen übereinandergelegt. y = %, x = cm.

Grafik „Valve Path“:

Hier sieht man, welche gemeinsamen Rohrteile anhand der Ventilkombinationen tatsächlich verwendet werden und wo Reflektionen auftreten. Es wurden dazu die Positionen Beginn und Ende des Ventilstockes und Position der Wasserklappe (falls vorhanden) angegeben. Auch die Ventildurchgänge (bei Perinet = 3 pro Ventil) werden unterschiedlich verwendet und berücksichtigt.

Grafik IR Auswertung Bell - Absolut:

Grün: Reflektion % Anteil der positiven 1 Schallbecherreflexion (1st roundtrip)

Die restlichen Werte sind statistische Werte, wenn mehrere Instrumente verglichen werden.

Grafik IR Auswertung relativ zu V0: Als Faktor, gelb: Differenz zu invers prop. Längenänderung.

Objektive Intonation & deren Veränderungspotential durch Dynamik:

Hier kommt die Summenfunktion nach Dr. Klaus Wogram, aber in einer gewichteten Variante zum Einsatz. Diese besagt, umso höher die Anregungsdynamik – umso mehr höhere Teiltenschwingungen der Lippen und höherer Moden müssen berücksichtigt werden. Einfach gesagt wirken sich Stimmungsabweichungen hoher Resonanzen auf tiefere Resonanzen aus und die objektiv gemessene Stimmung wird sich inklusive Bläser mit der „Anregungsstärke“ verändern.

Folgende Gewichte (WGT=Weighting) sind angeführt und haben sich in der Praxis bewährt:

WGT = 0	keine Summe ~ ppp Dynamik	entspricht der Impedanzmessung ohne Bläser)
WGT A = 1	~ piano-mezzoforte	mit Bläser (zeigt Potential)
WGT B = 4	~ forte - fortissimo	mit Bläser (zeigt Potential)

Hinzugefügt werden muß aber noch folgendes:

Mundstück und Mundrohr und der Schallbecher verändern ihre effektive akustische Länge mit der Frequenz. Das ist eine der Ursachen für Stimmungsabweichungen, besser ist es der Hauptgrund, warum annähernd eine harmonische Naturtonreihe zustande kommt und geblasen werden kann. Ein zweiter Fehler ergibt sich bei Ventilblasinstrumenten durch (zu kurze) Ventilschlaufenlängen von Ventilen wenn diese kombiniert werden. Siehe Des1/D1/Es1. Bei den Messungen wird kein Trigger verwendet, der beim Spiel hier häufig zum Einsatz kommt um die notwendige Rohrlänge hinzuzufügen.

Bei ca. 1100 Hz = Eb3 / E3 erreichen Kesselmundstücke von Trompeten ihre akustisch effektiv größte Länge, was zu einer zu tiefen Stimmung in diesem Bereich führt (jede Trompete / Flügelhorn / Kornett ist davon betroffen). Bei einem menschlichen Bläser ragen die Lippen mehr oder weniger stark in den Mundstückkessel hinein; das Kessenvolumen wird kleiner und die Resonanzen steigen dadurch. Dadurch wird der zu tiefe Bereich oberhalb der Mundstück Popping Frequenz etwas entschärft. Die Messung mit dem Messkopf ist allerdings rein objektiv und zeigt die Resonanzen so, wie das Instrument diese auf eine obertonarme Anregung wiedergibt, bei vollem Kesselvolumen.

100 Cent entsprechen einem Halbtonschritt auf der gleichmäßig temperierten 12 Ton Skala (ET). Bei „reiner Stimmung“ (JI) weicht Mode #5 mit rund -14 Cent von der ET Skala am stärksten ab.

Grafik T05:

zeigt die jeweiligen Abweichungen der notierten Töne mit Standardgriffen zu Equal Tuning als Balkendiagramm mit den jeweiligen (simulierten) Dynamik Stufen.

Grafik T04:

zeigt als Liniendiagramm, die Gewichtungen mit Standardgriffen;
schwarz: (möglicherweise) besser stimmende Hilfsgriffe (WGT A);
Türkis: Wgt 0, wenn es die Ventilschlaufenfehler nicht gäbe
Bau: Wgt A, wenn es die Ventilschlaufenfehler nicht gäbe
Gelb-punktiert: RMS Werte in Cent – eine Einschätzung wie stark sich Töne ziehen lassen
Grün-punktiert: detto mit Gewichtung WGT=A

Grafik T01:

Mittlere Abweichung der einzelnen Ventile und Ventilkombinationen von Equal Tuning,
Türkis: mittlere Abweichung Wgt A von „Just Intonation“ / reiner Stimmung
Violett: Abweichung in Cent ET zu V0 anhand Impulse Response Messungen

Grafik IST Abweichung zu ET aus IR Auswertung:

Längenabweichung in mm Schleifenlänge, detto in Cent sowie Ventilschleifenfehler durch Ventilkombinationen.

Messaufbau V2026-2:

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.