

Rainer Egger

Der gegenseitige Einfluss von schwingender Luftsäule und Instrumentenkonstruktion

Im Zentrum des Projekts »The Sound of Brass« stand der Nachbau einer romantischen deutschen Posaune mit dem Ziel, deren klangliche Feinheiten möglichst authentisch wiederzugeben. Da sich die feinsten klanglichen Unterschiede innerhalb einer Instrumentenfamilie weniger durch die Mensur als vielmehr durch die Schwingeigenschaften der Konstruktion erklären lassen, wurde der Fokus auf die komplexe Wechselwirkung dreier Schwingungssysteme gelegt: der Lippen des Spielers, der schwingenden Luftsäule und des vibrierenden Rohrmaterials. Zur gezielten Analyse dieser Zusammenhänge kamen drei Messmethoden zum Einsatz: die Impedanzmessung zur Bestimmung der Resonanzstruktur der Luftsäule, die Admittanzmessung zur Erfassung der Eigenvibrationen des Instrumentenkörpers und die Transfermessung zur Quantifizierung der Dämpfung im realen Spielverlauf. Diese objektiven Verfahren ermöglichen Rückschlüsse auf Klangfarbe, Ansprache und Modulationsfähigkeit – zentrale Faktoren für die musikalische Ausdruckskraft historischer Blasinstrumente.

The Mutual Influence of Oscillating Air Column and Instrument Design

At the heart of the project "The Sound of Brass" was the reconstruction of a Romantic-era German trombone with the goal of authentically reproducing its subtle tonal characteristics. The finest sound differences within a family of instruments are less a result of the bore profile and more closely linked to the vibrational behaviour of the instrument's construction. Therefore, the focus was placed on the complex interaction of three oscillating systems: the player's lips, the vibrating air column, and the resonating tubing material. To analyse these interactions precisely, three measurement methods were utilised: impedance measurement to determine the resonance structure of the air column; admittance measurement to capture the inherent vibrations of the instrument body; and transfer measurement to quantify damping under realistic playing conditions. These objective approaches allow conclusions to be drawn about tone colour, response and modulation capabilities – key elements of the musical expressiveness of historical brass instruments.

Einleitung

Das Forschungsprojekt »The Sound of Brass« beabsichtigte, eine frühe deutsche, romantische Posaune zu bauen, die den Posaunen, welche in der Zeit von circa 1850 bis etwa zum Beginn des Zweiten Weltkriegs in Deutschland gebaut worden sind, klanglich möglichst nahe kommt.¹ Einen Klang zu beschreiben, ist jedoch etwas sehr Heikles. Ein Teil der Klangfarbe wird durch die Mensur geprägt, nämlich der Teil, an dem wir unterschiedliche Instrumententypen, also

1 Vgl. Projektwebsite (Institut Interpretation 2015).

zum Beispiel Trompeten, Hörner, Posaunen oder Tuben, unterscheiden können. Geht es aber um Klangfeinheiten einer einzelnen Instrumentengruppe, dann spielt die Schwingeigenschaft des Instruments, seiner Konstruktion, eine große Rolle – darauf haben wir uns konzentriert.

Man kann den Klang auf wissenschaftliche Art definieren: Dann müsste das Instrument in einem schalltoten Raum angespielt werden, damit bei der Klangaufnahme keine Raumbeeinflussung mitgemessen wird. Auf diesem Weg bekämen wir Informationen darüber, wie stark jeder Teilton im geblasenen Spektrum vorhanden ist. In der Musizierpraxis nehmen wir den Klang aber subjektiv wahr, wir können sagen, ob er sich gut mit demjenigen anderer Instrumente mischt, ob die abgestrahlte Klangfarbe beispielsweise grundtönig oder farbenreich ist et cetera – all dies, ohne zu wissen, wie stark die einzelnen Teiltöne vertreten sind. Für das erwähnte Projekt haben wir uns entschieden, auf die wissenschaftliche Beurteilung mittels Klanganalyse zu verzichten. Stattdessen hat man sich in Bezug auf die Klangabstrahlung auf die Resultate der unten beschriebenen akustischen Messungen abgestützt. Die erhaltenen Messergebnisse wurden in der Folge mit Spieltests durch Musiker und der Beurteilung durch Zuhörer verglichen.

Die drei Schwingungssysteme eines Blechblasinstruments

Wenn wir die komplexe Wirkungsweise eines Blechblasinstruments einigermaßen verstehen wollen, müssen wir die Schwingung der Luftsäule und die Vibration der Rohrkonstruktion je für sich sowie deren gegenseitige Beeinflussung beobachten und verstehen lernen. Dies bildet die Basis, um beim Konzipieren eines Instruments Einfluss auf die Feinheiten des Klangs nehmen zu können.²

Die Funktionsweise eines Blasinstruments ergibt sich aus drei Schwingungssystemen, die sich gegenseitig beeinflussen, und aus der Tatsache, dass – wo schwingungsfähige Elemente einander berühren – eine Energieübertragung stattfindet. So regt das Öffnen und Schließen beziehungsweise Schwingen der Bläserlippen die Luftsäule im Instrument an, wobei diese die Energie an verschiedenen Stellen auf die Rohrkonstruktion überträgt. Umgekehrt wirkt das vibrierende Material auf die schwingende Luftsäule und diese auch wieder zurück auf die Bläserlippen (Abb. 1).

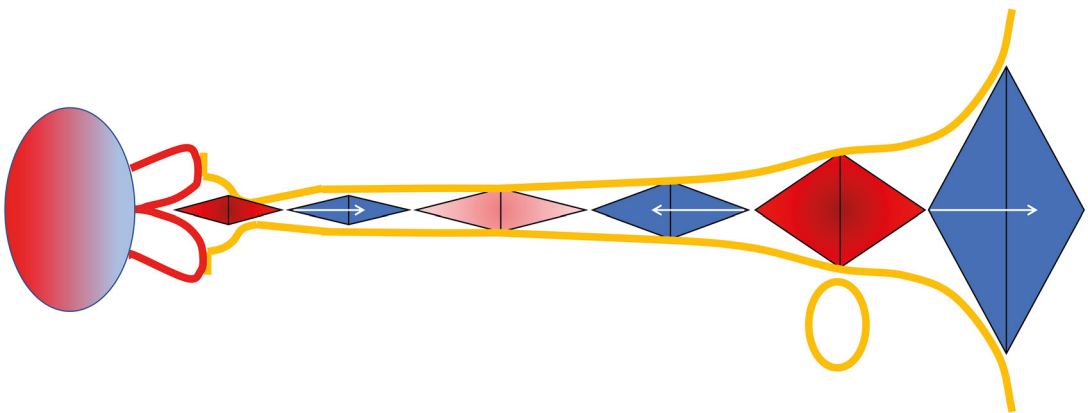


Abb. 1 Die drei sich gegenseitig beeinflussenden Schwingungssysteme Lippen, Luftsäule und Rohrkonstruktion. Die Minima und Maxima der Rohrvibrationen sind deutlich überspitzt dargestellt. Die Formänderungen werden durch die schwingende Luftsäule verursacht. Diese sind zwar in der Realität geometrisch minimal, haben aber doch einen Einfluss auf das innenliegende Schallfeld.

2 Vgl. z. B. Campbell et al. 2021, insb. Kap. 4.2: Measuring input impedance (ab S. 120) und Kap. 6.6.2: Experimental studies of Brass instrument wall vibrations (ab S. 312).

Während der Energiestrom von den Bläserlippen zum Schallstückausgang und wieder zurück wandert, werden primär die Luftsäule und sekundär die Rohrkonstruktion in Schwingung versetzt, wobei sich alle drei Schwingungssysteme gegenseitig beeinflussen.

Drei Messmethoden

Um die Schwingungen der Luftsäule und des Instrumentenkörpus möglichst isoliert und objektiv erfassen zu können sowie um die gegenseitige Beeinflussung zu eruieren, haben wir drei unterschiedliche Messmethoden angewendet:

1. Impedanzmessung für die Messung der Resonanzeigenschaften, die das Instrument dem Spieler vorgibt;
2. Admittanzmessung zum Erfassen der Vibrationsstruktur des Instrumentenkörpus;
3. Transfermessung für die Bestimmung des Dämpfungsgrads der schwingenden Luftsäule.

Wenn man charakteristische Eigenschaften eines Instruments durch eine Messung bestimmen kann, wenn sich also die gemessenen Unterschiede in Zahlen bzw. in Diagrammen darstellen lassen, haben wir im Vergleich zu reinen Spieltests objektivere Beurteilungsmöglichkeiten.

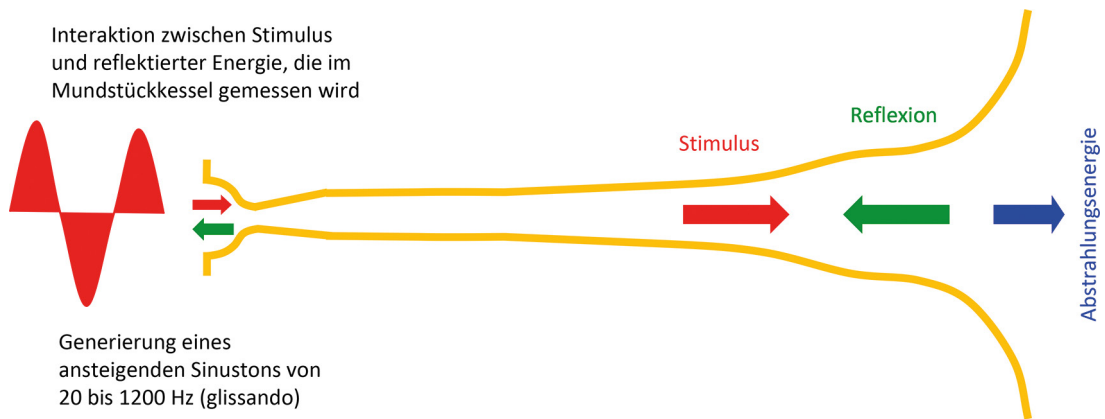


Abb. 2 Die Impedanzmessung gibt Auskunft darüber, wie viel von der Energie, die in das Instrument hineinfließt, zum Mundstück zurückkommt. Das schwache Anregesignal gewährleistet, dass der Einfluss der Materialschwingung auf die Luftsäule weitestgehend ausgeschaltet wird.

Unsere erste Messmethode bezieht sich darauf, was innerhalb des Instrumentenrohrs geschieht (Abb. 2). Damit die Schwingung der Rohrwand praktisch ausgeklammert werden kann, geschieht die Anregung der Luftsäule bei der Impedanzmessung mit einem leisen Ton bzw. Signal.³ Die Ergebnisse dieser Messungen werden deshalb hauptsächlich durch den Mensurverlauf beeinflusst. Die Form der Luftsäule, die durch die Rohrmensur vorgegeben ist, bestimmt den Tonumfang, die Grundtonhöhe, die Stimmung in sich, die Ansprache und bis zu einem gewissen Grad die Klangabstrahlung des Instruments. Im Mundstückkessel werden dabei die Eingangs- und Ausgangswerte der stehenden Welle gemessen, die sich aus der Überlagerung der vorwärts und rückwärts fließenden Energie im Instrument ergibt.

3 Vgl. auch Preisl 2024.

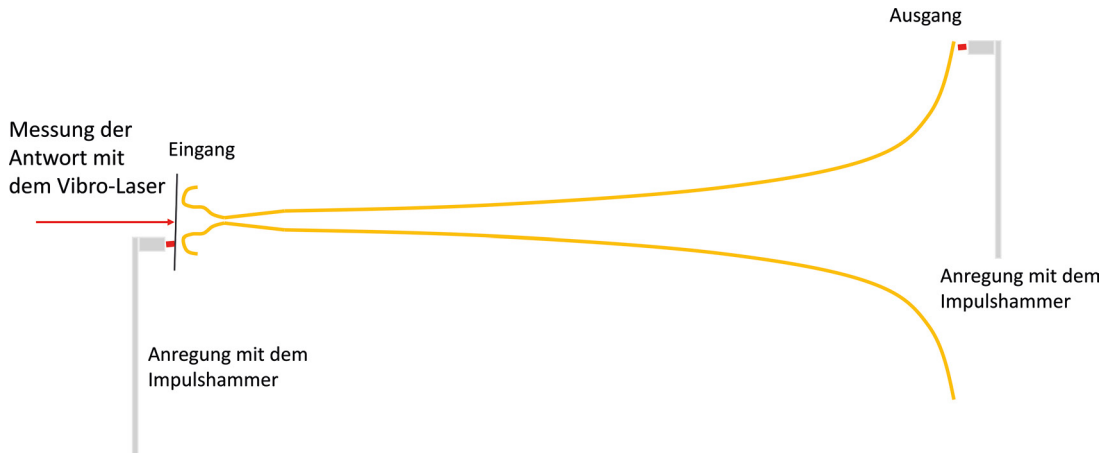


Abb. 3 Mit der Admittanzmessung wird die Schwingungsstruktur eines Instruments eruiert.

Die Admittanzmessung dient der Bestimmung der Vibration der Rohrkonstruktion (Abb. 3). Die direkte Anregung mittels Impulshammer ermöglicht es, die Eigenschaften des Schallfelds auszuschließen. Würden wir die schwingende Luftsäule anregen, so würde ihre akustische Eigenschaft die Messung beeinflussen. Mit den Informationen des Eingangs- und Ausgangssignals lässt sich das Schwingungsverhalten der Rohrkonstruktion in eine gezielte Richtung optimieren, zum Beispiel in Bezug auf die Ortsposition von Stützen. Zudem dient die Messung zur Bestimmung der Schwingungsstruktur des Instrumentenkörpus. Wird die Anregung am Mundstück vorgenommen, so ergibt das Messresultat schwerpunktmäßig Aussagen über den Eingangsbereich des Instruments. Das Umgekehrte ist der Fall, wenn man am Schallstückrand anregt.

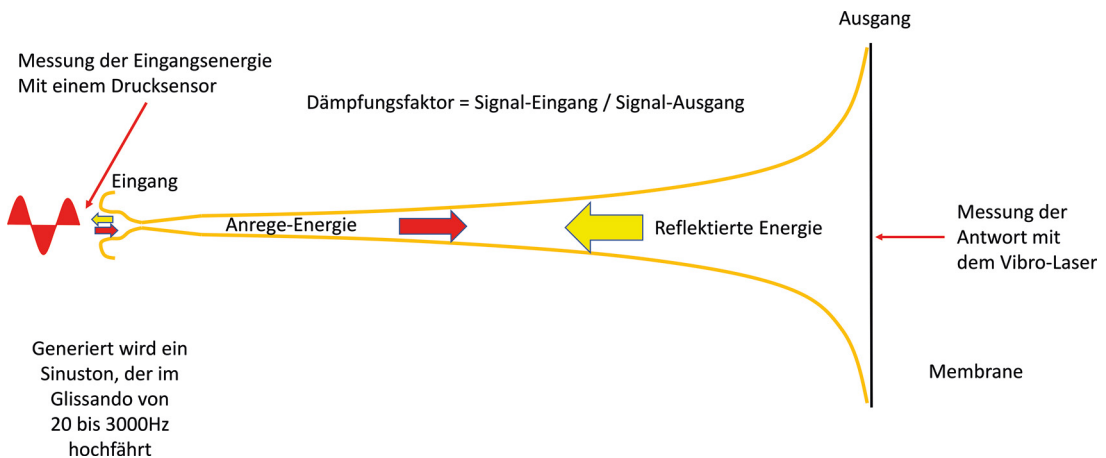


Abb. 4 Die Transfermessung ermöglicht es, die Dämpfung zu bestimmen: die Energiemenge, die der Luftsäule bei Anregung im Instrumentenrohr zwischen Eingang und Ausgang entzogen wird.

Bei der Transfermessung – so bezeichnet, da sich der Ort der Anregung und Ort der Messung unterscheiden – ist die Anregung grundsätzlich gleich wie bei der Impedanzmessung, allerdings wird das Anregesignal hier in verschiedenen Lautstärken generiert: je lauter die Anregung, desto stärker wird das Messergebnis durch die Wandschwingung beeinflusst.

Mit der Transfermessung beurteilen wir somit, wieviel Energie der Luftsäule von der Anrege-stelle bis zum Instrumentenausgang verlorengeht. Man spricht dabei von Dämpfung. Sie hat starken Einfluss auf die Spielcharakteristik eines Instruments, zum Beispiel auf die Bindungs-fähigkeit zwischen Tönen und auf das sogenannte Einrasten der Töne.

Die Idee war ursprünglich, das Ausgangssignal mit einem Mikrofon zu messen. Dabei ergab sich allerdings ein Problem: Da der akustische Abschluss des Instruments in diesem Fall nicht genau definiert ist, war es nicht eindeutig, wo das Mikrofon platziert werden sollte. Aus diesem Grund haben wir uns entschlossen, das Schallstückende mit einer Membrane abzudecken. Die Antwort auf das Anregesignal wird als Messergebnis von einem Laser-Vibrometer an der Membrane abgetastet. So ergibt sich der Dämpfungsfaktor, indem man das Spektrum der Eingangsenergie durch den Wert der Ausgangsenergie dividiert.

Abbildung 5 zeigt die Messdaten dreier Instrumente: der Tenorposaune von Kruspe (circa 1930), deren Nachbau von Egger und einer modernen Posaune von King. Das historische Instrument von Kruspe zeigt einen deutlichen Unterschied der Dynamik zwischen Piano und Forte. Der Dämpfungsfaktor wird bei zunehmender Frequenz tendenziell größer. Somit ergeben sich die deutlichsten Unterschiede im Obertonbereich. Im Spielbereich unter 500 Hz ist der Dämpfungsfaktor gering. Was wir beim Forte-Spielen an Klangfarben wahrnehmen, hängt größtenteils vom Obertonspektrum ab.

Die Posaune King ist im heutigen amerikanischen Stil gebaut und repräsentiert eine Dämpfung eines gut funktionierenden modernen Instruments, was sich im Diagramm in einem gleichmäßigeren Kurvenverlauf zeigt. Die Energieübertragung auf die Rohrkonstruktion ist bei dieser Posaune geringer, sie reagiert auf die Anregung träger. Folglich liegen die Messergebnisse des Dämpfungsfaktors vom Piano bis ins Forte fast in demselben Bereich.

Der Vergleich zwischen der historischen Kruspe-Posaune und deren Nachbau lässt erkennen, dass die beiden Instrumente eine ähnliche Tendenz aufweisen. Dies, obwohl zu bedenken ist, dass das Vorbild alt ist. Es ist jahrzehntelang zum Einsatz gekommen, repariert und maschinell poliert worden, das Original hat eine andere Vergangenheit als die Kopie. Ich kann mir gut vorstellen, dass sich durch die Jahre vieles an der Materialstruktur geändert hat. Ian Bousfield kann in der Tat beim Spiel-Vergleich einen deutlichen Unterschied zwischen den beiden feststellen, wenn auch einen wesentlich geringeren als im Vergleich mit einer heute üblichen modernen Posaune. Die Gegenüberstellung von historischem Original und Kopie zeigt große Ähnlichkeiten im Dämpfungsverhalten bis 5000 Hz und oberhalb 16000 Hz. Im Bereich dazwischen sind etwas größere Unterschiede vorhanden, die auf die beschriebenen Erfahrungen im Spiel-Vergleich schließen lassen.

Nun stellt sich die Frage, wie sich die Dämpfung des Instruments auf den Spieler auswirkt, und zwar aus dem Blickwinkel der Akustik gesehen. Gehen wir von einem Duett aus, bei dem ein dünnwandiges und ein dickwandiges Instrument gespielt werden: Da beim dünnwandigen durch die verstärkte Dämpfung die Anregung lauter sein muss, um die gleiche abgestrahlte Lautstärke zu erzielen, wird bei diesem die Klangfarbe obertöniger. Umgekehrt ist es beim dickwandigen: Durch den geringeren Energieverlust des Schallfelds im Instrument genügt für dasselbe Dynamikergebnis eine schwächere Anregung. Weil sich der mezzopiano-Klang, der durch die forte-Anregung entsteht, vom mezzopiano-Klang, der durch die mezzoforte-Anregung entsteht, unterscheidet, produzieren die beiden Instrumente nicht dieselbe Klangfarbe. Sie unterscheiden sich in ihren Obertonkomponenten.

Ein weiterer Unterschied, der von der Schwingungsfähigkeit des Materials herrührt, zeigt sich in der Stabilität von gehaltenen Tönen und der Modulierung von Tönen. Die rote Spur in Abbildung 6 repräsentiert ein Instrument mit schwacher Dämpfung, was zum Beispiel einem eher dickwandigen Instrument entspricht. Die schwache Dämpfung zeigt sich hier durch die schlanke hohe Spitze bei der Resonanzfrequenz. Das Schallfeld im Rohr wird hier kaum gedämpft. Da sich das Anspracheverhalten bei einem schwach gedämpften Instrument – der

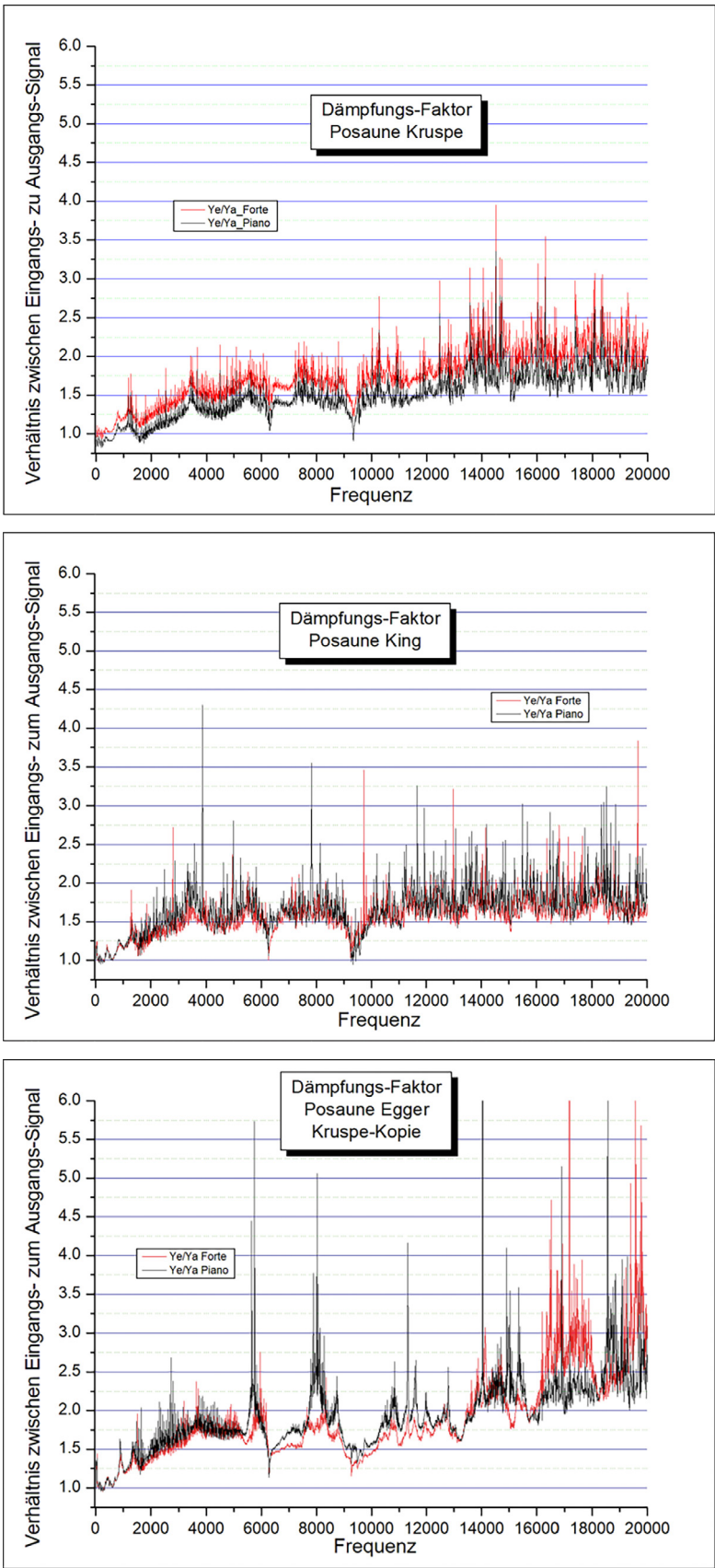


Abb. 5 Das Dämpfungsverhalten dreier Instrumente: Historisches Instrument, moderne Posaune und Egger-Nachbau. Die rote Spur zeigt die Dämpfung im Forte, die schwarze im Piano.

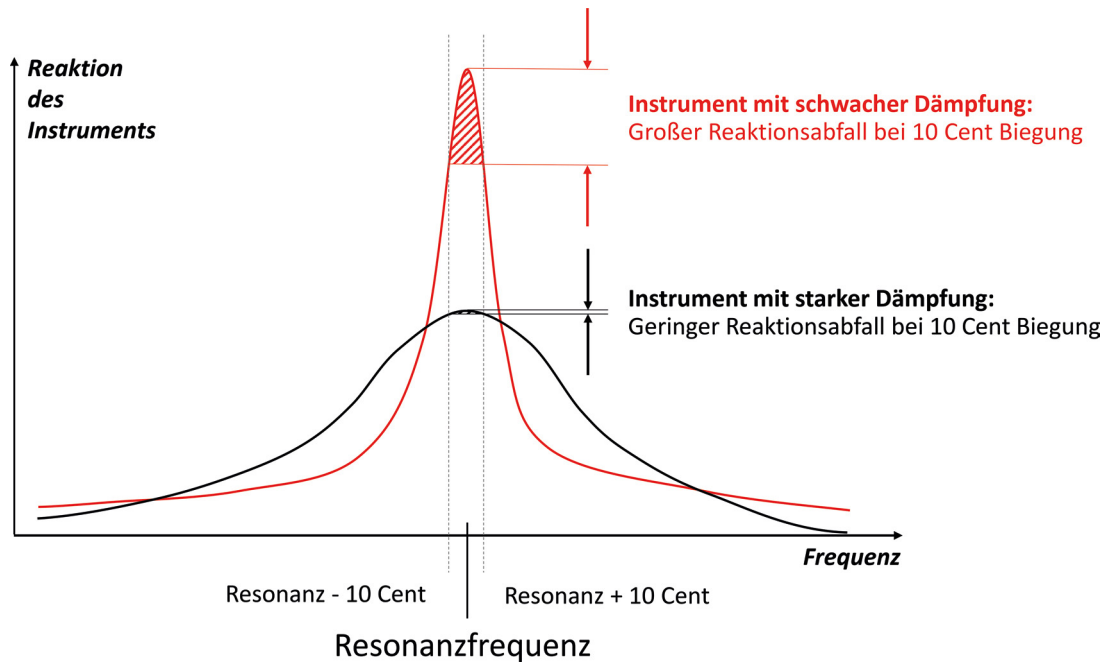


Abb. 6 Die charakteristische Auswirkung des Dämpfungsgrades auf die Spieleigenschaften eines Instruments, bezogen auf das Einrasten von Tönen bzw. die Modulationsmöglichkeiten.

Resonanzwert – aber schon bei einer geringen Tonbiegung (etwa zugunsten der Intonation) stark ändert, ist das Anpassen der Tonhöhe durch Lippenspannung nur mit einem höheren Energieaufwand möglich. Die bei so steil abfallenden Spitzen schnell deutlich abnehmenden Resonanzwerte führen dazu, dass auch die Obertonklangspektren sich wesentlich reduzieren. Dabei ändert sich die Klangfarbe in Richtung mehr Grundtönigkeit, die auch mit dem höheren Energieaufwand bei der Anregung nicht kompensiert wird. Versucht man diese Veränderung der Klangfarbe zu vermeiden, so erfordert dies noch einen zusätzlichen Energieaufwand. Diese Charakteristik verlangt deshalb ein gut stimmendes Instrument, das im Gegenzug mehr Spielraum zur lauterer Dynamikstufe hat.

Bei der schwarzen Spur handelt es sich um ein Schwingungssystem mit stärkerer Dämpfung. Die Resonanz wird hier im Spitzenbereich nicht so stark unterstützt, der Ton rastet weniger ein. Wird bei einem stärker gedämpften Instrument die Tonhöhe leicht angepasst, so ist die Reaktionsminderung – die Änderung des Resonanzwerts – geringer als bei einem schwächer gedämpften Instrument. Dadurch sind gehaltene Töne im Verhältnis instabiler. Der Biegebereich – die Möglichkeit, Töne etwas höher oder tiefer zu spielen – wird durch den geringeren Reaktionsabfall größer, wobei auch die Klangqualität beim Biegen länger erhalten bleibt. Diese Eigenschaft ermöglicht es dem Musiker, das Instrument mit geringerem Zungenimpuls anzuregen. Die Freiheit zu leiseren Dynamikstufen ist hier gegeben. Diese beiden Charakteristiken beschreiben den Unterschied zwischen einem üblichen modernen und einem historischen Instrument. Ersteres ist durch die Entwicklung moderner Fertigungstechniken auf Sicherheit und Präzision angelegt, hat dadurch allerdings an Flexibilität verloren. Das flexiblere und farbigere historische Instrument ermöglicht viel musikalische Freiheit, bringt aber auch höhere Risiken mit sich.

Folgerungen

Instrumentenbau ist primär Handwerk. Wenn jedoch Instrumente nach einer gezielten Spielcharakteristik gebaut werden sollten, braucht es Engineering, wie es die bekannten Instrumentenbauer Theobald Böhm, Vincent Bach, Renold Schilke etc. hatten.

Die oben diskutierten drei Messmethoden tragen dazu bei, das Schwingungsverhalten eines Instruments zu verstehen. Da die Natur der Schwingungen sehr sensibel reagiert, können schon kleinste Veränderungen eine große Auswirkung haben. Mit diesen Forschungen sind wir einen Schritt weitergekommen, die Resonanzqualität eines Instruments nicht ganz dem Zufall zu überlassen. Die Impedanzmessung wird in unserem Betrieb schon seit vielen Jahren zur Mensurbestimmung eingesetzt. Um die Schwingeeigenschaften des Instrumentenkörpers zu beeinflussen, arbeiten wir, angeregt durch dieses Forschungsprojekt, nun intensiver mit der Admittanzmessung. Das Ziel ist immer noch, auch die Transfermessung vermehrt in der Instrumentenentwicklung einzusetzen, da diese den realen Spielbedingungen eines Musikers am nächsten kommt. Allerdings wären dabei noch Verfeinerungen im Messaufbau anzustreben. Das oberste Ziel ist es, ein Instrument so zu designen, dass dessen Qualitätsmerkmale den Anforderungen der Musiker und Musikerinnen entsprechen. Es braucht also ebenso die Anblastests erfahrener Bläserinnen und Bläser, wie sie uns bei diesem Entwicklungsprozess beratend zur Seite standen.

Literatur

Alle Weblinks in diesem Beitrag wurden zuletzt am 28.5.2026 aufgerufen.

Campbell et al. 2021 | Murray Campbell/Joël Gilbert/Arnold Myers: *The Science of Brass Instruments*, Cham: Springer 2021.

Institut Interpretation 2015 | Institut Interpretation, Hochschule der Künste Bern: *The Sound of Brass*, online, 2015, www.hkb-interpretation.ch/projekte/the-sound-of-brass.

Preis 2024 | Hermann Preis: *Stimmung und Intonation bei Blechblasinstrumenten. Mensuränderungen und deren Auswirkung bei Trompeten*, Teil 5: Kalibrierung Impedanzmesskopf und Messung realer Instrumente [Stand 24. November 2024], online, 2024, www.preisl.at/brassissima/.

Rainer Egger hat als junger Instrumentenbauer die Pionierzeit der Nachbauten historischer Blechblasinstrumente im Atelier seines Vaters Adolf Egger hautnah miterlebt. Seine Leidenschaft gilt seither der ständigen Verbesserung der Blechblasinstrumente, vor allem was den Klangreichtum und die musikalische Funktionalität von Reproduktionen historischer Trompeten, Posaunen und Hörner betrifft. Um dem wachsenden und immer differenzierteren Interesse der Bläser gerecht zu werden, experimentiert er immer wieder mit Arbeitstechniken, Messuren, Materialien und Wandstärken. Er hat sich ein reiches akustisches Wissen angeeignet, steht in regem Austausch mit Fachleuten der musikalischen Akustik und konnte wichtige Erfahrungen sammeln als Partner in verschiedenen Forschungsprojekten am Institut für Wiener Klangstil, Wien, sowie an den Hochschulen in Bern und Lugano. Seit einigen Jahren widmet er sich auch vermehrt der akustischen Optimierung von Ventiltrompeten.