

Der Einfluss variierender Schallgeschwindigkeit auf Stimmung, Klang und Ansprache von Blasinstrumenten

IfM-Institut für Musikinstrumentenbau e.V. an der TU Dresden

Projektleiter: Holger Schiema, Projektabschluss: März 2022

Das IGF-Vorhaben 20811 BR der Forschungsvereinigung Forschungsgemeinschaft Musikinstrumente e.V., Brunnenstr. 31, 65191 Wiesbaden wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und –entwicklung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert. Der Bericht ist über die Forschungsgemeinschaft Musikinstrumente e.V., 65191 Wiesbaden, Brunnenstraße 31, verfügbar.

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Einleitung

Die Ausbreitungsbedingungen von Luftschall hängen stark von der Luftdichte und diese wiederum von Temperatur und Zusammensetzung der Luft ab. Damit werden auch die Eigenfrequenzen und die Dämpfungen der Eigenmoden von in Rohren eingeschlossenen Luftsäulen beeinflusst. Blasinstrumente können in allen Fällen als in Rohre eingeschlossene Luftsäulen betrachtet werden.

Entscheidend für die qualitätsgerechte Funktion der Blasinstrumente ist die Lage der Eigenfrequenzen der Luftsäule. Neben der bereits erwähnten Abhängigkeit von der Luftdichte, wird die Lage der Eigenfrequenzen von der Geometrie des Rohrrinnenverlaufs bestimmt. Wie man die Lage der Eigenfrequenzen durch Manipulation an der Innengeometrie bereits im Entwurfsstadium beeinflussen kann, ist seit langem bekannt. [1] Es stehen allerdings nur wenige Werkzeuge zur Verfügung mit denen entsprechende Innengeometrien bzw. erforderliche Veränderungen berechnet werden können. Dadurch motiviert wurde ein umfangreiches Forschungsprojekt im Auftrag der Forschungsgemeinschaft für Musikinstrumente durchgeführt, welches aus Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert wurde. Beteiligt waren die Instrumentenhersteller: Buffet Deutschland GmbH, Conrad Mollenhauer GmbH, F. Arthur Uebel GmbH und Miraphone eG. Ziel des durchgeführten Projektes war die Bestimmung des Einflusses der vom Spieler bzw. der Umgebung während des Spielens eingebrachten Wärme sowie des vom Spieler in das Instrument eingetragenen CO₂-Anteils auf die musikalisch relevanten, akustischen Eigenschaften der im Blasinstrument eingeschlossenen Luftsäule. Darüber hinaus wurden Werkzeuge entwickelt, um diese Einflüsse während des Spielens mit Hilfe von Simulationen [2] darstellen und bewerten zu können.

Lösungsansatz

Als Lösungsweg wurden zum einen systematische Messungen mit in die Blasinstrumente eingebrachten Temperatur- und CO₂-Sensoren vorgesehen, mit deren Hilfe die Temperatur- und CO₂-Verteilungen während realer Anspiele von Testpersonen erfasst wurden.

Ein zweiter Weg ging über die Ermittlung der Resonanzfrequenzen mittels Simulationsrechnungen, bei denen die Schallgeschwindigkeit über den Innenverlauf entsprechend den Ergebnissen der Messungen variiert wurde.

Die Untersuchungen wurden exemplarisch an Trompete, Flügelhorn, Klarinette, Fagott und Großbass-Blockflöte durchgeführt. Die Auswahl von Trompete und Flügelhorn erfolgte aus dem Grunde, da beide Instrumente im Labor auch in gestreckter Form „betrieben“ werden konnten, was die Abtastung der Zustände im Inneren

deutlich vereinfachte. Die Ergebnisse des Projektes führten zur Vorhersage der Intonation auf der Basis von Simulationen des Eingangsimpedanzverlaufs von Blasinstrumenten.

Zusammenfassung und Beurteilung der Ergebnisse

Im Forschungsprojekt wurden systematische Messungen mit in die Instrumente eingebrachten Wärme- und CO₂-Sensoren durchgeführt. Damit wurden die Temperatur- und CO₂-Verteilung während realer Anspiele von Testpersonen (Musikern) erfasst. In einem ersten Arbeitspaket wurde geklärt, wie die Analyse zu gestalten ist, ohne die Funktion der Instrumente zu stark zu beeinflussen.

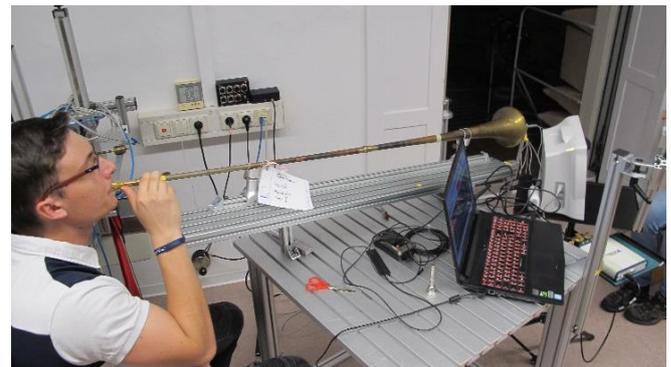


Abbildung 1: Musikeranspiel eines gestreckten Metallblasinstruments

Es wurden zunächst Verfahren der Temperaturmessung und CO₂ Messung für die jeweiligen Instrumenten ausgewählt und optimale Positionierungen gefunden. Zur Erhöhung der Messauflösung wurden für einige Messungen die Anzahl der Sensorpositionen auf 8 Messpositionen erhöht. Da sich jedoch das Anspiel der Instrumente dadurch deutlich verschlechterte erfolgte dies nur für einige orientierende Messungen.

Der Temperatureinfluss, hervorgerufen durch die Anblasluft konnte für die zur Auswahl stehenden Holz- und Metallblasinstrumente vollständig ermittelt werden. Ebenfalls ermittelt wurde der Effekt der Handerwärmung. Dieser tritt bei Holzblasinstrumenten im Gegensatz zu Metallblasinstrumenten verstärkt zu Tage. Eine Ursache ist die direkte Wärmeübertragung hervorgerufen über den Daumenhalter und der damit örtlich stark konzentrierten Erwärmung im Bereich der jeweiligen Handposition. Die mittleren Temperaturerhöhungen liegen bei den untersuchten Holzblasinstrumenten (Großbass-Blockflöte, Fagott und Klarinette) im Bereich zwischen 24°C bis 29°C und für Metallblasinstrumente (Flügelhorn und Trompete) zwischen 29 bis 31,5°C nach vollständigem Warmspiel.

Es konnten für alle zur Auswahl stehenden Holz- und Metallblasinstrumente Aussagen zur Luftzusammensetzung bezüglich des CO₂ Gehalts für unterschiedliche Messpositionen im Instrument ermittelt werden. Die Konzentrationen liegen für Metallblasinstrumente mit 6 bis 6,5 Vol% am höchsten.

Je nach Größe der Holzblasinstrumente ist die CO₂ Konzentration deutlich geringer, was auf das starke Entweichen der Atemluft über offene Tonlöcher der Instrumente zurückzuführen ist. Für Holzblasinstrumente liegen die CO₂ Konzentrationen bei ca. 2,5 Vol% beim Großbass, bis 5,5 Vol% bei der Klarinette.

Die Simulation des Impedanzverlaufs mit nicht konstanter Schallgeschwindigkeit über die Innengeometrie konnte für Metallblasinstrumente vollständig umgesetzt werden. Die Durchführung der Simulationen lieferten für Metallblasinstrumente sehr gute Ergebnisse. Für Holzblasinstrumente ist der Algorithmus jedoch noch zu ungenau und liefert noch keine ausreichende Genauigkeit. Hier sind weiterführende Forschungsarbeiten in einem Folgeprojekt geplant. Auf Basis der in den ersten Arbeitsschritten ermittelten Temperaturverläufe und Luftzusammensetzungen im Instrument konnten Simulationen dieser Zustände und ihr Einfluss auf den Stimmungsverlauf ermittelt werden.

Die Stimmungsverwerfung folgt zum einen durch die Temperaturerhöhung beim Spiel stimmungserhöhend und zum anderen durch das eingebrachte CO₂-Luftgemisch stimmungsabsenkend.

Beide Effekte sind gegenläufig und gleichen sich bei normaler Umgebungstemperatur zum Großteil aus. Abhängig von der Mensur und vom Anspiel kann der Temperatureinfluss überwiegen, in diesem Fall müssen Korrekturen der Stimmung vorgenommen werden.

Bei den untersuchten Instrumenten ist im Ergebnis eine reine Längenänderung der Mensur als Kompensationsmöglichkeit der auftretenden Stimmungsänderungen bei normaler Umgebungstemperatur ausreichend. Die Änderung des Mensurverlaufs ist hier nicht notwendig. Somit bestätigen die Untersuchungen, dass für Metallblasinstrumente eine Längenänderung über den Hauptstimmzug wie bisher üblich ausreicht, um die Effekte auszugleichen. Ähnlich verhalten sich die Effekte auch bei Holzblasinstrumenten. Auch hier müssen anstelle der Änderung der Innengeometrien und Positionen der Tonlöcher vielmehr Möglichkeiten geschaffen werden, die Mensurlänge am Instrument anzupassen, um die Effekte auszugleichen zu können.

Insgesamt kann als Ergebnis festgestellt werden, dass bei Messungen mit Hilfe der Impedanzmessung der Stimmungsverlauf für Metallblasinstrumente bei Raumtemperatur (20-23°C) in etwa dem warmgespielten Instrument inklusive des eingebrachten CO₂ Anteils entspricht. Somit muss bei Messungen im Bereich der Raumtemperatur nicht wie bisher üblich eine Korrektur des Temperatureinflusses erfolgen. Lediglich bei deutlich höheren Umgebungsbedingungen sollte eine Korrektur mit etwa 3 cent pro °C erfolgen. Ähnlich verhält es sich auch bei Holzblasinstrumenten, hier liegen die Stimmungsabweichungen zwischen der Messung bei Raumtemperatur und dem warmgespielten Zustand etwas weiter auseinander (5 bis 15 cent, je nach Instrumententyp). Dies lässt sich durch den deutlich geringeren CO₂ Anteil im Instrument erklären. Hier sollte eine Anpassung erfolgen. Die umfangreichen Messergebnisse geben Aufschluss über die im Instrument auftretenden Phänomene während des Warmspiels durch Musiker.

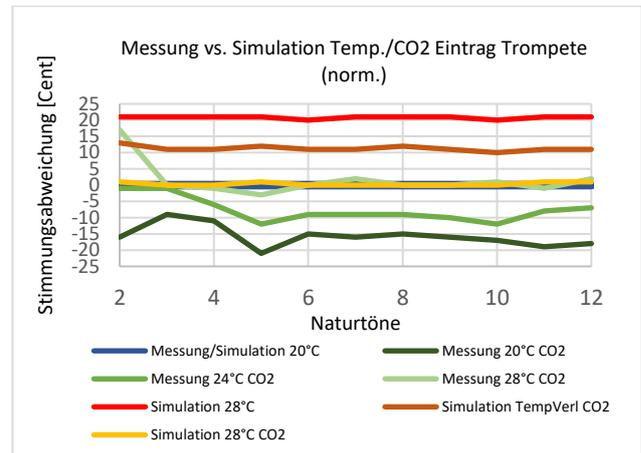


Abbildung 2: Gegenüberstellung von Messung und Simulation (Trompete)

Des Weiteren konnte mit dem Simulationstool ein modernes Werkzeug geschaffen werden Stimmungsabweichungen für bekannte Geometrien der Instrumente vorhersagen zu können. Dies ist hilfreich bei auftretenden Stimmungsproblemen und im Entwicklungsprozess bei den Herstellern von Blasinstrumenten. Die Ergebnisse sollen im Anschluss des Projektes in einem Messsystem für Blasinstrumente inklusive Simulationsmöglichkeiten einfließen. Die Simulation für Holzblasinstrumente soll in einem weiterführenden Projekt bearbeitet werden.

Fazit

Die Ergebnisse der Messungen sowie der Abgleich der Simulationen bestätigten eindeutig, dass nicht nur die Temperatur und deren Verlauf innerhalb des Blasinstrumentes einen wesentlichen Einfluss auf die Stimmung hat, sondern auch der durch den Musiker eingebrachte CO₂-Anteil.

Die bisherige Annahme, die Temperaturerhöhung durch die eingebrachte Wärme mit einem festen Faktor zu korrigieren, konnte prinzipiell widerlegt werden. Vielmehr folgt die Temperaturverteilung im Blasinstrument einer eher nichtlinearen Funktion und hat neben dem CO₂-Eintrag eine Verschiebung der Stimmungskurve zur Folge. Aus diesen Erkenntnissen wurde für eine Auswahl von Instrumententypen (Trompete, Flügelhorn, Klarinette, Fagott und Großbass-Blockflöte) der Einfluss dieser Effekte experimentell ermittelt, um mittlere Korrekturfunktionen in die Auswertung der Messsoftware und des Simulationstools integrieren zu können.

Bei bekannter Innengeometrie ist der Einsatz des im Projekt umgesetzten Simulationstools für örtlich variierende Schallgeschwindigkeitsanteile sehr hilfreich. Eine Fortführung der Untersuchungen für weitere Instrumentengruppen ist im Anschluss des Projektes geplant. Um die Simulation auch auf Holzblasinstrumente übertragen zu können, muss ein neuer Ansatz gefunden werden.

Literatur

- [1] Wogram, K.: Ein Beitrag zur Ermittlung der Stimmung von Blechblasinstrumenten, Diss. TU Braunschweig 1972
- [2] Plitnik, G. R.; Strong, J.W.: Numerical method for calculating input impedances of the oboe, J. Acoust. Soc. Am. 65(3), Mar.1979