

Risikoeinschätzung zur Ausbreitung der Atemluft bei Blasinstrumenten und Sängern während der COVID-19 Pandemie

Lia Becher M.Sc., Amayu Wakoya Gena M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Conrad Völker
Bauhaus-Universität Weimar, Professur Bauphysik, Coudraystraße 11a, 99423 Weimar

in Zusammenarbeit mit der Thüringen Philharmonie Gotha - Eisenach unter der Leitung
des Chefdirigenten Markus Huber

und Prof. Dr. Bernhard Richter und Prof. Dr. Dr. Claudia Spahn, Leiter des Freiburger Institut
für Musikermedizin, Universitätsklinikum und Hochschule für Musik Freiburg

Weimar, den 23. Juni 2020

Hinweis der Autoren und Autorinnen:

Die folgende Einschätzung bezieht sich auf das Spielen von sowohl Holz- und Blechblasinstrumenten sowie das Singen. Mit dem im Folgenden vorgestellten Schlierenverfahren wird die beim Singen und Spielen der Instrumente erfolgende Ausbreitung der Luftströme, die infektiöse Aerosole enthalten könnten, sichtbar gemacht. Die tatsächliche Verbreitung von Aerosolen wird nicht erfasst. Die dargestellten Auswertungen können demnach nur herangezogen werden, um zu ermitteln, wie weit und in welchem Ausmaß die ausgeatmete Luft unmittelbar in den Raum transportiert wird. Auch ist anzumerken, dass jeder Bläser und jede Bläserin neben den individuellen physischen Eigenschaften eine eigene Blastechnik entwickelt hat. Weiterhin muss der Winkel berücksichtigt werden, in dem das Instrument gespielt wird, um einschätzen zu können, in welche Richtung die Luft aus dem Schallbecher, den Tonlöchern und beim Ausatmen zwischen den Phrasen (bspw. Oboe, Fagott) entweicht. Die unten dargestellten Abbildungen und Erläuterungen sind somit nur eine grobe Richtlinie dafür, wie weit und in welche Richtung die Luft aus den jeweiligen Instrumenten entweicht. Neben dem in diesem Bericht dargestellten Bildmaterial sei auf einen Zusammenschnitt der Videoaufnahmen vor dem Schlierenspiegel unter <https://vimeo.com/431505952> verwiesen.

Die Beseitigung von anfallendem Kondenswasser wird im Folgenden nicht berücksichtigt. Hier sei auf weitere Studien bzw. Einschätzungen von Willich et al. (2020), Spahn und Richter (2020) und Kähler und Hain (2020) verwiesen.

Weiterhin sollten die allgemeinen Hygienevorschriften (Desinfektion, häufiges Lüften etc.) in jedem Fall eingehalten werden, um sowohl im als auch außerhalb des Probenraumes mögliche Infektionsrisiken zu minimieren.

Schlierenverfahren



Abbildung 1 Versuchsaufbau des Schlierensystems an der Professur Bauphysik der Bauhaus-Universität Weimar

Das Schlierenverfahren ermöglicht als optische, nicht-invasive Technik die Visualisierung von Dichteunterschieden in transparenten Medien (bspw. Luft). Diese Dichtegradienten beruhen auf Unterschieden in Temperatur oder Druck und verursachen Unterschiede im Brechungsindex, sodass das Licht, welches das Messfeld passiert, entsprechend dem Gradienten abgelenkt wird. Der Versuchsaufbau, bestehend aus einem konkaven Spiegel in astronomischer Qualität mit 1 m Durchmesser, einer Kamera, die das Messfeld erfasst, sowie einer Lichtquelle (LED), sind in Abbildung 1 dargestellt.

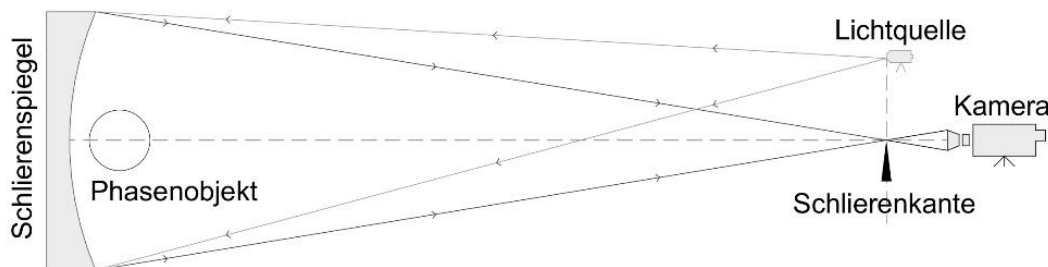


Abbildung 2 Schematische Darstellung des Schlierensystems

Die Funktionsweise des Schlierenverfahrens wird anhand der Abbildung 2 erklärt. Die Lichtstrahlen einer punktförmigen Lichtquelle werden am Schlierenspiegel reflektiert und auf die Schlierenkante (in diesem Fall eine herkömmliche Rasierklinge) gerichtet, die sich vor einer Kamera befindet. Dichteunterschiede in der Luft führen zu den erwähnten Brechungsindexgradienten, die eine Ablenkung der Lichtstrahlen zur Folge haben. Die Schlierenkante wird so in den Fokus der Kamera gebracht, dass etwa 50 % der Lichtstrahlen blockiert werden und somit von der Kamera nicht erfasst werden können. Dadurch entstehen dunkle Bereiche. Die andere Hälfte der Lichtstrahlen wird über die Schlierenkante abgelenkt und kann von der Kamera abgebildet werden, wodurch helle Bereiche entstehen. Aufgrund dieser Helligkeitsunterschiede sind die Dichteunterschiede und somit die Luftströmung sichtbar (Gena et al. 2020).

Die Atemluft, die aus den Instrumenten entweicht, weist eine höhere Temperatur bzw. Luftfeuchtigkeit als die umgebende Raumluft auf. Dies trifft umso mehr nach längerem Spielen zu, da sich die Instrumente aufwärmen. Dies ermöglicht, die entweichende Luft mit dem Schlierenverfahren zu

visualisieren. Dennoch zeigte sich bei einigen Instrumenten, dass durch die Weite der Mensur und die Länge des Instruments die Atemluft bereits soweit abgekühlt war, dass sie mit Hilfe des Schlierenverfahrens nicht abgebildet werden konnte (bspw. F-Tuba).

Die Schlieren, die in den Abbildungen über Körperteilen wie den Händen, dem Kopf oder am Torso zu sehen sind, sind auf die menschliche Wärmeabgabe zurückzuführen und in der Betrachtung zur Verbreitung der möglicherweise infektiösen Atemluft zu vernachlässigen. Die Luft, die aus den Instrumenten entweicht, ist durch geringere Volumenströme und Dichtegradienten definiert und demnach mitunter nur bei genauerem Hinschauen auf den Aufnahmen zu erkennen.

Bei manchen Instrumenten, wie dem Fagott, der B-Klarinette, der Quer- und Piccoloflöte, dem Horn mit Stopfdämpfer sowie beim Singen, ist erkennbar, dass der Luftstrom weiter in den Raum transportiert wird, als es der Spiegel erfassen kann. Um diese Luftströmungen dennoch vollkommen zu erfassen, könnte in zukünftigen Untersuchungen die sogenannte Background Oriented Schlieren (BOS) Methode zum Einsatz kommen (Becher et al. 2020). Im Vergleich zum Schlierenverfahren erlaubt die BOS-Methode eine theoretisch räumlich unbegrenzte Aufnahme der Dichtegradienten.

Holzblasinstrumente

Bei den Holzblasinstrumenten ist neben der aus dem Schallbecher austretenden Atemluft insbesondere auch die aus den Tonlöchern austretende Luft und die über das Mundstück geblasene Luft bei den Querflöten sowie die aus dem Fenster austretende Luft bei den Blockflöten zu beachten.

Oboe

Die Tonlöcher der Oboe sind mit Klappen versehen, die kleine Löcher aufweisen, sodass aus den Tonlöchern nur wenig Luft entweichen kann. Aufgrund der geringen Reichweite ist der Luftausstoß aus den Klappen vernachlässigbar. Es ist erkennbar, dass in den hohen Tonlagen die Luft weniger weit aus dem Schallbecher entweicht als in den tiefen Tonlagen, wenn die meisten Klappen geschlossen sind, siehe Abbildung 3 links und mittig.

Die Oboe wird mit hohem Atemdruck gespielt. Aus dem Schallbecher und den Tonlöchern des Instruments kann nicht die gesamte in das Instrument geblasene Luft entweichen, sodass zwischen den Phrasen stoßartig ausgeatmet werden muss. Die Luft gelangt hierbei bis zu etwa 60 cm in den Raum siehe Abbildung 3 rechts.



Abbildung 3 Oboe vor dem Schlierenspiegel: maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft beim Spielen der Note $b \approx 233$ Hz (links), Note $d''' \approx 1175$ Hz (mittig) und beim stoßartigen Ausatmen (Abatmen bei der Oboistenatmung, vgl. Richter et al. (2020)) (rechts) [cm]

Fagott

In den tiefen Registern des Fagotts entweicht fast die gesamte Atemluft aus dem Schallbecher des Instruments und verlässt den Rand des Schlierenspiegels, siehe Abbildung 4 links. In den hohen Tonlagen hingegen entweicht kaum Luft aus dem Schallbecher. Ein kleinerer Luftstrom ist hier aus den Tonlöchern zu beobachten, siehe Abbildung 4 mittig. Der größte Luftstrom, der aus den Tonlöchern entweicht, ist beim Spielen der Note $f \approx 175$ Hz zu beobachten, siehe Abbildung 4 rechts.

Das Fagott wird wie die Oboe auch mit hohem Atemdruck gespielt. Aus dem Schallbecher und den Tonlöchern des Instruments kann nicht die gesamte in das Instrument geblasene Luft entweichen, sodass zwischen den Phrasen stoßartig ausgeatmet wird. Die Luft gelangt hierbei bis zu 80 cm in den Raum.

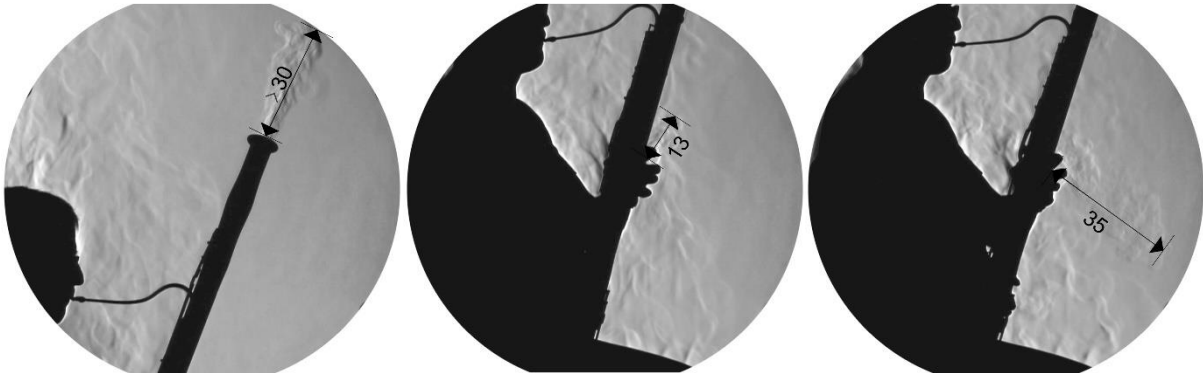


Abbildung 4 Fagott vor dem Schlierenspiegel: maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft beim Spielen der Note $B' \approx 58$ Hz (links) und aus den Tonlöchern strömenden Luft beim Spielen der Note $c'' \approx 523$ Hz (mittig) und Note $f \approx 175$ Hz (rechts) [cm]

B-Klarinette und Bassklarinetten

Die aus dem Schallbecher austretende Luft entweicht beim Spielen tiefer Töne etwa 20 cm in den Raum, beim Spielen hoher Töne verlässt sie den Rand des Spiegels, siehe Abbildung 5 links und mittig. An den Tonlöchern, die mit Klappen versehen sind, ist ein minimaler Luftstrom zu beobachten. Aufgrund der geringen Reichweite ist dieser vernachlässigbar. Zu beachten ist jedoch die Nebenluft, die über das Mundstück entweichen kann, wenn die Mundlippen erschlaffen, siehe Abbildung 5 rechts. Dies ist beim physiologisch „korrekten“ Spielen nicht zu beobachten, kann jedoch bei ungeübten Spieler*innen (bspw. Anfänger*innen sowie ältere Klarinettenist*innen) insbesondere bei längeren Proben und Konzerten beobachtet werden. Die Luft strömt hierbei über 90 cm in den Raum und verlässt den Rand des Spiegels.



Abbildung 5 B-Klarinette vor dem Schlierenspiegel: maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft beim Spielen der Note $cis \approx 139$ Hz (links), Note $e''' \approx 1319$ Hz (mittig) und der über das Mundstück entweichenden Nebenluft (rechts) [cm]



Abbildung 6 Bassklarinette vor dem Schlierenspiegel beim Spielen der Note $D \approx 73$ Hz (links), Note $b' \approx 466$ Hz (mittig) und die maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft (rechts) [cm]

Querflöte und Piccoloflöte

Der Luftausstoß sowohl der Querflöte als auch der Piccoloflöte ist ähnlich. Beim Spielen der Instrumente in den hohen sowie tiefen Tonlagen entweicht ein ähnlich großer Luftstoß mit einer Reichweite von unter 20 cm aus dem Ende des Rohrs, siehe Abbildung 7 und 8 links und mittig. An den Tonlöchern, die mit Klappen versehen sind, ist kaum ein Luftstrom zu beobachten. Zu beachten ist jedoch der große Anteil der Atemluft, der über das Mundstück geblasen wird, siehe Abbildung 7 und 8 rechts. Weil die Luft leicht nach unten in das Instrument geblasen wird und aufgrund des Coandă-Effekts wird die Luft leicht nach unten geführt. Die Luft gelangt hierbei über 100 cm in den Raum und verlässt den Rand des Schlierenspiegels.



Abbildung 7 Querflöte vor dem Schlierenspiegel: maximale Reichweite der aus dem Rohr strömenden Luft beim Spielen der Note $e' \approx 330$ Hz (links), Note $f''' \approx 1397$ Hz (mittig) und der über das Mundstück geblasenen Luft (rechts) [cm]



Abbildung 8 Piccoloflöte vor dem Schlierenspiegel: maximale Reichweite der aus dem Rohr strömenden Luft beim Spielen der Note $e'' \approx 659$ Hz (links), Note $gis'''' \approx 3322$ Hz (mittig) und der über das Mundstück geblasenen Luft (rechts) [cm]

Sopranblockflöte

In der Regel wird der Schnabel der Flöte vollkommen mit den Mundlippen umschlossen, sodass direkt am Mundstück keine Atemluft entweichen kann. Wird das Instrument in tieferen Tonlagen gespielt, sind die meisten Tonlöcher der Flöte geschlossen, sodass die Luft nur aus dem Ende des Rohrs entweicht, siehe Abbildung 9 links. In den höheren Tonlagen, wenn viele Tonlöcher geöffnet sind und Luft aus diesen entweichen kann, ist ein geringerer Luftausstoß aus dem Ende des Rohrs festzustellen, siehe Abbildung 9 mittig. Zu beachten ist der große Anteil der Atemluft, der am Labium geschnitten wird und aus dem Fenster des Kopfstücks entweicht, siehe Abbildung 9 rechts. An den Tonlöchern sind kaum Luftströmungen zu beobachten.



Abbildung 9 Sopranblockflöte vor dem Schlierenspiegel: maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft beim Spielen der Note $c'' \approx 523$ Hz (links), Note $g''' \approx 1568$ Hz (mittig) und der aus dem Fenster austretenden Luft (rechts) [cm]

Blechblasinstrumente

Die geblasene Luft strömt durch das Kesselmundstück in das Instrument und entweicht aus dem Schallbecher. Bei geübten Blechbläsern entweicht keine Luft zwischen Mund und Mundstück, sodass die gesamte Atemluft, mit der das Instrument bedient wird, aus dem Schallbecher entweicht. Die verschiedenen Naturtöne eines Blechblasinstruments können gespielt werden, indem der Druck der Mundlippen und der Atemluft variiert wird. Dies beeinflusst die Reichweite und den Winkel, mit der die Luft aus dem Schallbecher austritt.

Werden Dämpfer eingesetzt, so wird der aus dem Schallbecher tretende Luftstrom stark eingeschränkt. Die Luft kann nur durch den schmalen Zwischenraum zwischen dem Messing des Instruments und dem Dämpfer entweichen. Die Reichweite der ausgestoßenen Luft verringert sich erheblich.

B-Trompete

Die Höhe des gespielten Tons hat Auswirkungen darauf, wie weit und unter welchem Winkel die Luft aus dem Schallbecher entweicht. Es ist zu erkennen, dass in höheren Tonlagen die Luft weiter in den Raum transportiert wird als in tiefen Tonlagen, siehe Abbildung 10. Kommen Dämpfer zum Einsatz, so wird der aus dem Schallbecher austretende Luftstrom stark eingeschränkt, siehe Abbildung 11.

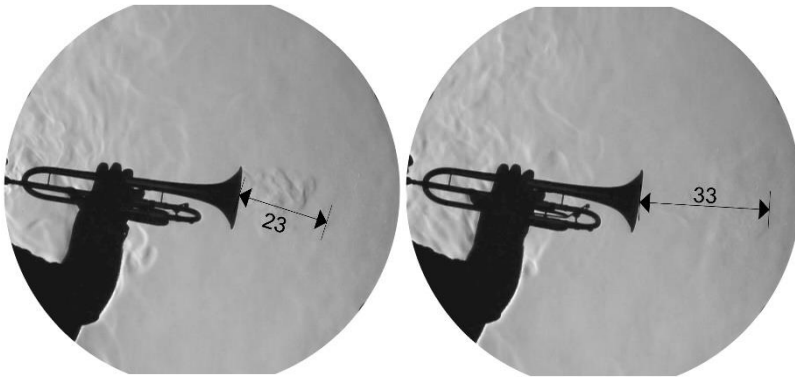


Abbildung 10 B-Trompete vor dem Schlierenspiegel: maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft beim Spielen der Note $b \approx 233$ Hz (links) und Note $b'' \approx 932$ Hz (rechts) [cm]

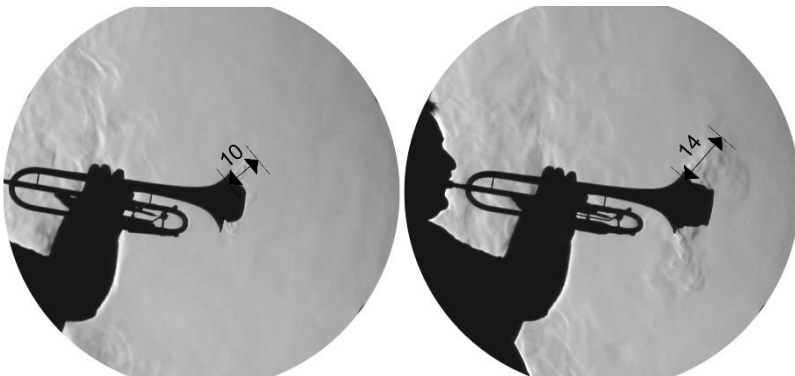


Abbildung 11 Die maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft mit Spitzdämpfer (links) und geschlossenem Cup-Dämpfer (rechts) [cm]

Tenorposaune

Die Höhe des gespielten Tons hat Auswirkungen darauf, wie weit und unter welchem Winkel die Luft aus dem Schallbecher entweicht, siehe Abbildung 12 links und mittig. Zu vermerken ist weiterhin, dass die entweichende Luft verwirbelt wird, wenn die Position des Posaunenzugs verändert wird. Beim Spielen in tieferen Tonlagen entweicht mehr Luft aus dem Schallbecher als beim Spielen in hohen Tonlagen. Werden jedoch nicht nur einzelne Töne, sondern eine Phrase gespielt, so sind die Unterschiede, auch aufgrund der Verwirbelungen durch die Bedienung des Zugs, kaum zu erkennen. Werden Dämpfer eingesetzt, so wird der aus dem Schallbecher austretende Luftstrom stark eingeschränkt, siehe Abbildung 13.



Abbildung 12 Tenorposaune vor dem Schlierenspiegel beim Spielen der Note $B' \approx 58$ Hz (links), Note $b \approx 233$ Hz (mittig) und die maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft (rechts) [cm]



Abbildung 13 Die maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft mit Dämpfer [cm]

Doppelhorn

Das Horn wird üblicherweise mit der rechten Hand im Schallbecher gehalten. Beim Spielen hoher Töne entweicht die Luft weiter in den Raum als bei tiefen Tönen, siehe Abbildung 14 links und mittig.

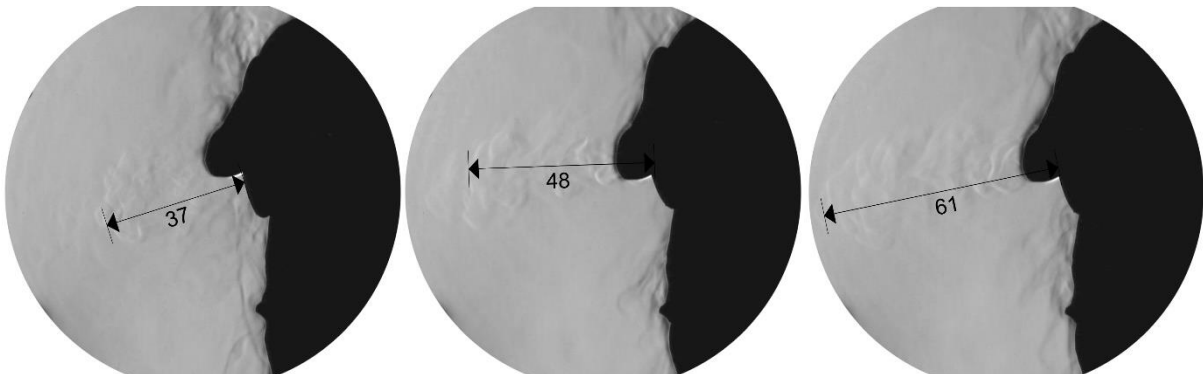


Abbildung 14 Doppelhorn vor dem Schlierenspiegel beim Spielen der Note C ≈ 65 Hz (links), Note dis'' ≈ 622 Hz (mittig) und die maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft (rechts) [cm]

Verringert sich die Geschwindigkeit des austretenden Luftstroms oder kommen Dämpfer zum Einsatz, wird die aus dem Schallbecher austretende Luft entlang der rechten Hand bzw. des Unterarms abgelenkt. Wie bei den anderen Blechblasinstrumenten auch wird der Luftstrom beim Einsatz von Dämpfern stark eingeschränkt, siehe Abbildung 15 links und mittig. Eine Ausnahme bildet der Stopfdämpfer, bei dem die Luft aus einem schmalen Rohr mit höherem Druck entweicht. Sie gelangt somit über 70 cm in den Raum und verlässt den Rand des Spiegels. Die Strömung ist jedoch aufgrund des geringeren Gradienten schwieriger zu erkennen, siehe Abbildung 15 rechts.

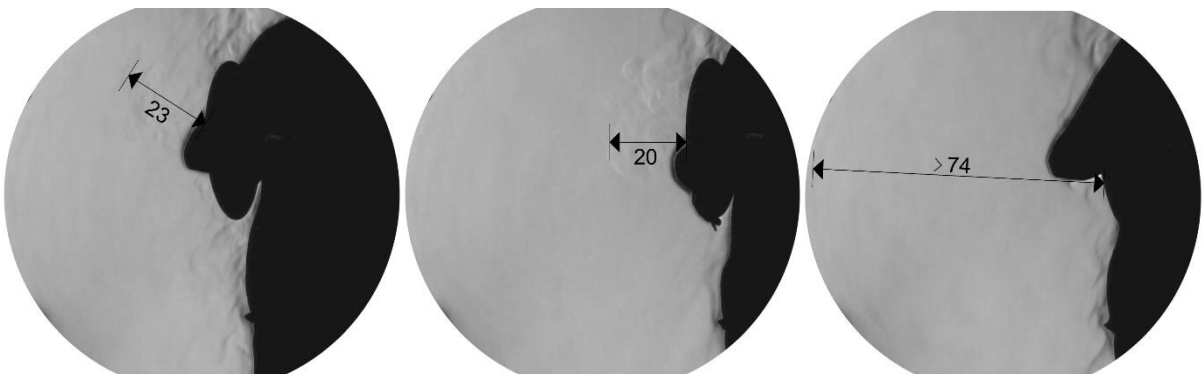


Abbildung 15 Die maximale Reichweite der aus dem Schallbecher strömenden Luft mit Dämpfer (links), Handstopfer (mittig) und Stopfdämpfer (rechts) [cm]

F-Tuba

Aufgrund der weiten Mensur und der Länge des Instruments kühlt sich die Atemluft ab, sodass sie mit Hilfe des Schlierenspiegels nicht mehr abgebildet werden kann. Die Schlieren, die in der Abbildung zu erkennen sind, sind die aufsteigenden Konvektionsströmungen durch die Wärmeabgabe des Tubisten.

Um die Luftströme darstellen zu können, könnte in weiterführenden Versuchen die Tuba über einen längeren Zeitraum gespielt werden, um die Temperatur des Instruments und somit der aus dem Schallbecher entweichenden Luft zu erhöhen. Schurig (2020) bspw. zeigt auf, wie sehr sich insbesondere Blechblasinstrumente beim Spielen über einen längeren Zeitraum aufwärmen.

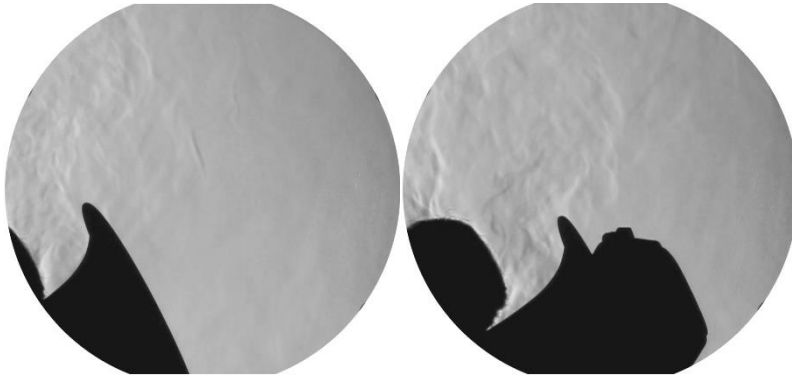


Abbildung 16 Tuba vor dem Schlierenspiegel (links) und mit Dämpfer (rechts)

Sänger – Bariton

Wird ein Ton gesungen, so ist der größte Luftausstoß zu Beginn des Tones zu bemerken. Wird ein Ton gehalten oder eine längere Phrase gesungen, so ist im Verlauf nur ein geringer Luftausstoß zu beobachten. Der größte Luftausstoß lässt sich erkennen, wenn mit viel Artikulation gesungen wird.

Die Auswertungen zeigen, dass sich die Reichweite der ausgeatmeten Luft in der Variation der Tonhöhe kaum unterscheidet (bspw. beim Singen von Tonleitern oder Einsingen), siehe Abbildung 17 links und mittig. Ein erhöhter Luftausstoß ist bemerkbar, wenn anspruchsvolle Stücke gesungen werden, die viel Artikulation sowie eine starke Beherrschung der Stimme erfordern, siehe Abbildung 17 rechts. Die Luft entweicht hierbei über den Rand des Spiegels.

Untersuchungen des Hermann-Rietschel-Instituts der TU Berlin unter der Leitung von Prof. Dr. Kriegel zeigen ferner, dass beim Singen deutlich mehr Aerosole verbreitet werden als beim normalen Sprechen.

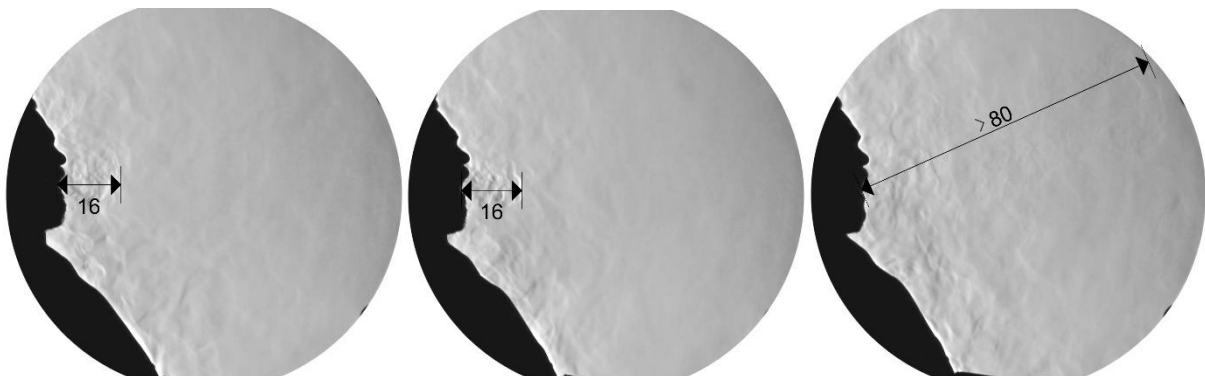


Abbildung 17 Bariton vor dem Schlierenspiegel beim Singen der Note $G \approx 98$ Hz (links), Note $dis'' \approx 622$ Hz (mittig) und die maximale Reichweite der aus dem Mund strömenden Luft (rechts) [cm]

Zusammenfassung

Tabelle 1 zeigt den Vergleich der maximalen Reichweiten der verschiedenen Instrumente einschließlich des Sängers. Es zeigt sich bei den Holzblasinstrumenten, dass die Atemluft, die aus dem Schallbecher entweicht, über deutlich geringere Distanzen nachweisbar ist als die Luft, die während verschiedener Aktivitäten (Nebenluft, Stoßatmung etc.) entweicht, die teilweise für die Tonerzeugung essentiell sind.

Weiterhin entweicht bei den tief gestimmten Blechblasinstrumenten die Luft weiter in den Raum als bei den Instrumenten, die in höheren Tonlagen gespielt werden.

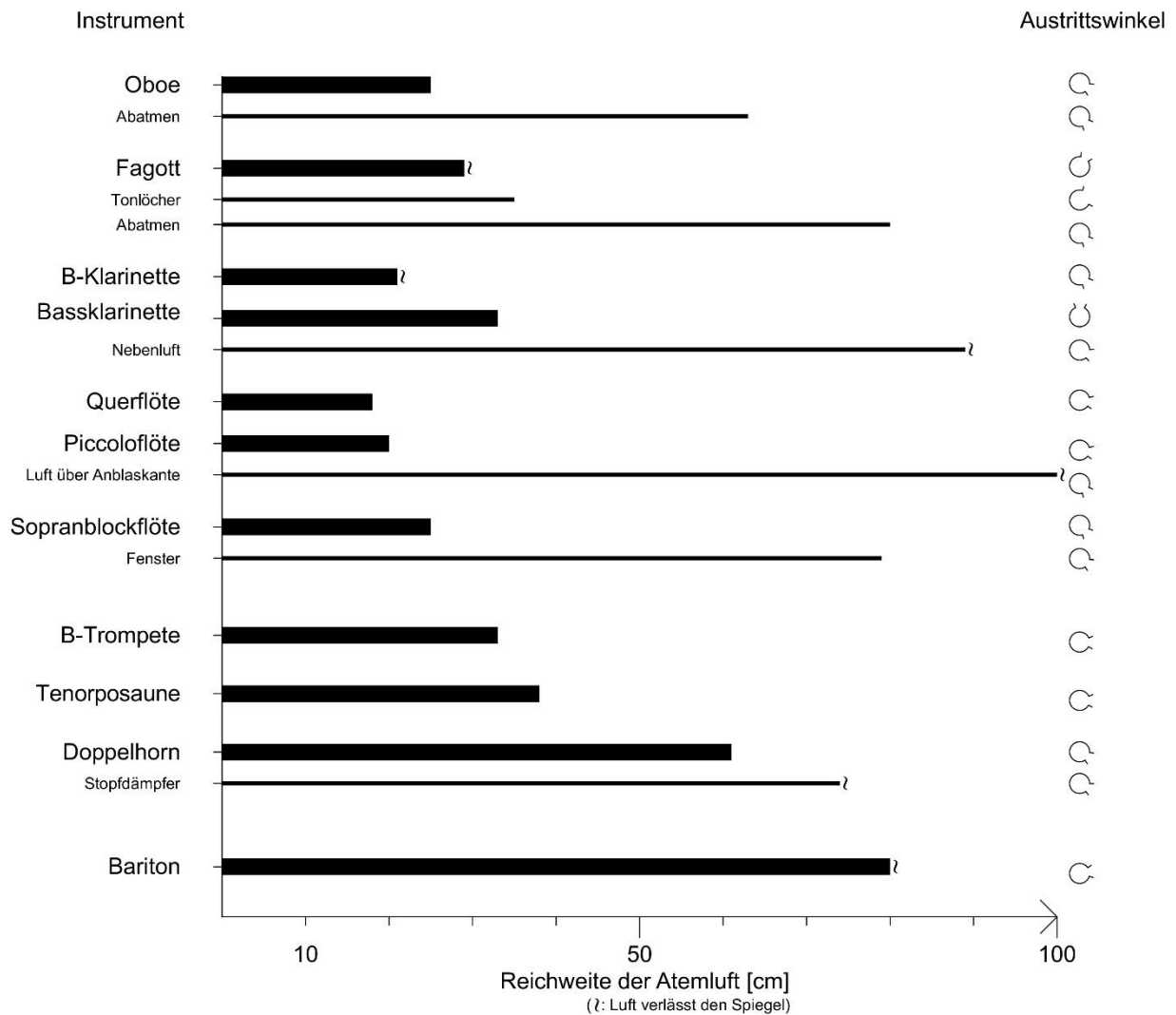


Tabelle 1 Maximale Reichweite der Atemluft bei Blasinstrumenten (ohne Dämpfer) und Sänger

Literaturverzeichnis

Becher, L.; Völker, C.; Rodehorst, V.; Kuhne, M. (2020): Background-oriented schlieren technique for two-dimensional visualization of convective indoor air flows. In: *Optics and Lasers in Engineering*.

Gena, A. W.; Voelker, C.; Settles, G. S. (2020): Qualitative and quantitative schlieren optical measurement of the human thermal plume. In: *Indoor Air*. DOI: 10.1111/ina.12674.

Kähler, C. J.; Hain, R. (2020): Musizieren während der Pandemie – was rät die Wissenschaft? Über Infektionsrisiken beim Chorsingen und Musizieren mit Blasinstrumenten. Universität der Bundeswehr München.

Richter, B.; Echternach, M.; Traser, L.; Burdumy, M.; Spahn, C. (2020): Die Stimme – Einblicke in die physiologischen Vorgänge beim Singen und Sprechen. DVD-ROM und App. 2. Aufl. Helbling, Esslingen, Innsbruck.

Schurig, J. (2020): "Heiße" Musik sichtbar gemacht. In: *Forschung und Lehre* 27 (6), S. 534.

Spahn, C.; Richter, B. (2020): Risikoeinschätzung einer Coronavirus-Infektion im Bereich Musik. Unter Mitarbeit von A. Schuster, H. Hengel und H. Bürkle. Freiburger Institut für Musikermedizin (FIM), Universitätsklinikum und Hochschule für Musik Freiburg.

Willich, S. N.; Berghöfer, A.; Wiese-Posselt, M. K.; Gastmeier, P. (2020): Stellungnahme zum Spielbetrieb der Orchester während der COVID-19 Pandemie. Charité Universitätsmedizin Berlin.