



Untersuchung über Aerosole durch Sprechen, Singen als Chor oder Solo, und Spielen von Blasinstrumenten

Dr. Thomas Eiche, Arbeitshygieniker SGAH, Gempenstrasse 50, 4133 Pratteln

25.06.2020 - Kurzfassung

Orchester Blasinstrumente:

Messung am 09.05.2020 im neuen Probezentrum des Sinfonieorchesters Basel am Picassoplatz, Basel mit Musikerinnen und Musikern der Sinfonieorchester Basel (SOB) und Tonhalle Orchester Zürich (TOZ) mit Unterstützung durch Cornel Anderes (SOB). Gespielt haben:

Markus Forrer, Klarinetten (SOB); Tilmann Zahn, Oboe EH (SOB); Julia Habenschuss, Flöten Piccolo (SOB); Magdalena Welten Erb, Fagott, Kontrafagott (SOB); David Bruchez-Lalli, Posaune (TOZ); Mischa Greull, Horn (TOZ); Philippe Litzler, Trompete (TOZ); George Monch, Tuba (SOB)

Schauspiel und Oper:

Messung am 14.05.2020 auf der Bühne des Schauspielhauses Basel.

Beteiligte: Untersuchungen zusammen mit Carina Braunschmidt (Schauspielerin), Mario Fuchs (Schauspieler), Jasmin Etezadzadeh (Mezzosopran) und Karl-Heinz Brandt (Tenor) vom Theater Basel.

Chorsängerinnen und -sänger:

Messung am 30.05.2020 im neuen Probezentrum des Sinfonieorchesters Basel am Picassoplatz, Basel mit 36 Sängerinnen und Sängern verschiedener Chöre aller Altersgruppen aus der Region Basel mit Unterstützung durch Cornel Anderes (SOB).

Danksagung

Diese Untersuchung wurde aus Anlass der Erstellung des Covid-19 Schutzkonzeptes des Schweizerischen Bühnenverbandes, Verband Schweizerischer Berufsorchester und schweizer verband technischer bühnen- und veranstaltungsberufe im Mai 2020 durchgeführt. Das Sinfonieorchester Basel und das Theater Basel stellten die Räumlichkeiten zur Verfügung. Zwei zusätzliche Aerosolspektrometer wurden von den Firmen Idorsia Pharmaceuticals LTD, Allschwil und Eco Analytics AG, Rheinfelden zur Verfügung gestellt. Stellvertretend für weitere Personen die mich mit wertvollen Informationen unterstützt haben, danke ich Prof. Dr.med. Dr.h.c. Joseph Sopko, Universität Basel.

Verwendung dieser Arbeit

Diese Arbeit wurde nach bestem Wissen erstellt. Sie soll einen Beitrag liefern um die Coronapandemie einzudämmen und dennoch künstlerisches Schaffen auf der Bühne ermöglichen. Ein Rechtsanspruch auf die Richtigkeit insbesondere der Interpretation in der Zusammenfassung kann nicht abgeleitet werden. Der Bericht (Untersuchung oder Kurzfassung) darf lediglich als Ganzes und ohne kommerzielle Verwertung weitergegeben werden.

Die beteiligten Personen haben eingewilligt, dass ihre Namen, Fotos und Messdaten in diesem Bericht erwähnt sind. Daraus kann nicht abgeleitet werden, dass Ausschnitte oder Fotos für andere Zwecke weiterverwendet werden dürfen. Bitte wenden Sie sich an den Autor.



1 SITUATION

Gibt es beim normalen und kräftigen Atmen, Singen, Sprechen und lautem Bühnensprechen bis Schreien Ansteckungsrisiken durch Sars-Cov-2? Und wie ist es mit den Holz- und Blechblasinstrumenten im Orchester? Bei diesen wurde der Verdacht geäussert, dass sie über grosse Distanzen „Virenschleudern“ sein könnten. Das gleiche gilt für das Singen, wo es auch Beispiele gibt von ganzen Chören die sich bei Singproben infiziert haben. In beiden Fällen gerieten sowohl Aerosole als mögliche Träger der Viren als auch sogenannte Superemitter oder Superspreader, in den Fokus. Für das Sprechen gibt es hierzu bereits Untersuchungen die überwiegend unter Laborbedingungen durchgeführt wurden (William D. Ristenpart).

Die Ansteckung über virushaltige Tröpfchen aus Mund und Nase gilt als Hauptübertragungsweg des Sars-Cov-2 Virus bei der Covid-19 Erkrankung. Die Tröpfchen können je nach Partikelgrösse und Beschleunigung unterschiedliche Reichweiten erreichen. Eine deutliche Grenze bildet die Partikelgrösse um fünf Mikrometer. Grössere Partikel als 5 μm sinken zu Boden und können so Reichweiten bis maximal einen Meter erreichen, bei starkem Aushusten oder Niesen auch zwei Meter¹. Partikel mit einem Durchmesser kleiner als 5 μm (Mikrometer) nennt man auch Aerosole. Diese sinken nicht durch die Schwerkraft zu Boden, sondern bleiben in der Luft schweben. Dort breiten sie sich mit der Luftbewegung und Diffusion in der Umgebung aus. Da es sich um Wassertröpfchen handelt, werden diese durch Verdunstung zunehmend kleiner bis nur noch nichtflüchtige Anteile wie Salze, Proteine, Wasser und auch Viren zurückbleiben. In der ersten Version dieser Arbeit habe ich noch zwischen Aerosolen und Tröpfchen unterschieden. Es gibt Untersuchungen die zeigen, dass auch die Tröpfchen bis 30 Mikrometer Durchmesser so rasch verdunsten, dass sie den Boden nicht erreichen, sondern als Aerosol in der Luft bleiben. Aus diesem Grund wurden alle gemessenen Partikel von eins bis 32 Mikrometer als „Aerosol“ ausgewertet.

Es stellt sich die Frage ob die beim Singen oder Musizieren entstehenden Aerosole ausreichen um solche Ansteckungen zu verursachen. Bei den im Sinfonieorchester üblichen Holz- und Blechblasinstrumenten interessiert, ob die Spielweise die Art der Tröpfchen Bildung verstärkt, abschwächt oder die Partikelgrösse verändert.

Bei dieser Untersuchung wurden mit Hilfe von Aerosolspektrometern wie sie auch für Feinstaubmessungen eingesetzt werden, die Partikelkonzentrationen im Atem- bzw. Wirkungsbereich der Blasinstrumente und beim Singen bzw. Sprechen gemessen. Das Sars-Cov-2 Virus hat selbst eine Partikelgrösse von etwa 0.1 Mikrometer. Die kleinste vom Grimm Aerosolspektrometers erfasste Partikelgrösse ist mit 0.25 Mikrometer zweieinhalb Mal grösser. Das Virus alleine kann mit der Methode somit nicht gezählt werden.

Die Arbeitshypothese für die Untersuchung war deshalb: Das Risiko einer Ansteckung in einer Orchestersituation, auf der Bühne oder im Chor besteht durch Speichel- und Sputumtröpfchen von infizierten Personen. Blasinstrumente im Orchester, Sänger und Schauspielerinnen würden das Risiko gegenüber normalem Atmen oder Sprechen verändern, wenn:

- sie mehr Tröpfchen erzeugen als dies durch Personen normalerweise der Fall ist
- diese weiter geschleudert werden als es sonst der Fall wäre
- der Speichelwurf eine andere Zusammensetzung hat als sonst, also z.B. mehr luftgetragene Aerosole oder mehr grosse Tröpfchen enthält als bei einer durchschnittlichen Person
- Personen mit erhöhtem Speichel- bzw. Sputumauswurf häufig sind.

Es wurden drei jeweils unterschiedliche Settings durchgeführt:

¹ Eigene Tests



- Je ein Profimusiker oder -musikerin mit ihren Blasinstrumenten
- je eine Schauspielerin, ein Schauspieler, ein Opernsänger und eine Opernsängerin
- insgesamt 36 Sängerinnen und Sänger aller Altersgruppen und verschiedener Singstile



Abbildung 1 Anordnung der Testsituation Probenraum des SOB



Abbildung 2 Anordnung der Messgeräte Schauspielhaus



Abbildung 3 Anordnung der Messgeräte mit zwei Spektrometern für die Messungen an Chorsängern und -sängerinnen



Abbildung 4 Uebersicht SOB Proberaum



2 ERGEBNISSE

Die Aerosolentwicklung wurde mit einer unteren Messgrenze von ca. 0.15 Nanoliter / Kubikmeter (ein Nanoliter ist ein Milliardstel Liter) gemessen. Der Messwert wird als Konzentration pro Kubikmeter Luft angegeben. Die absolute Menge wird erreicht, wenn ein Kubikmeter Luft ausgeatmet wurde. Ein aktiver Musiker, eine Musikerin, Schauspieler, Schauspielerin, Sänger oder Sängerin atmet etwa 2.4 Kubikmeter pro Stunde, ein sitzender Zuschauer oder Zuschauerin etwa 0.75 Kubikmeter pro Stunde. Die zusammengefassten Messergebnisse werden als Durchschnittswert während der jeweiligen Spielsituation und eine Stunde spielen, sprechen oder singen angegeben (mit 2.4 Kubikmeter Atemvolumen pro Stunde). Für Personen in Ruhe können die Werte somit durch 3.2 geteilt werden. Einzelergebnisse und Daten über impulsartige Situationen wie niesen und husten befinden sich in der Vollversion dieser Untersuchung.

Table 1 Ergebnis Blasinstrumente

	Aerosol 1-32 μm [nl/Stunde spielen]				
	Quelle	1 Meter	2 Meter	3 Meter	4 Meter
Klarinette B	1.8				
Bassetthorn (Bass Klar)	1.1				
Es Klarinette	1.3				
Oboe	0.5				
Oboe d`Amore	0.5				
Flöte	0.9				
Piccolo	0.8				
Fagott	0.3				
Kontrafagott	0.5				
Posaune	0.9	1.5	0.5		0.7
Horn	1.0		0.8		0.9
Trompete	0.5	0.4	0.4		0.5
Tuba	0.4	1.0	0.4		0.3

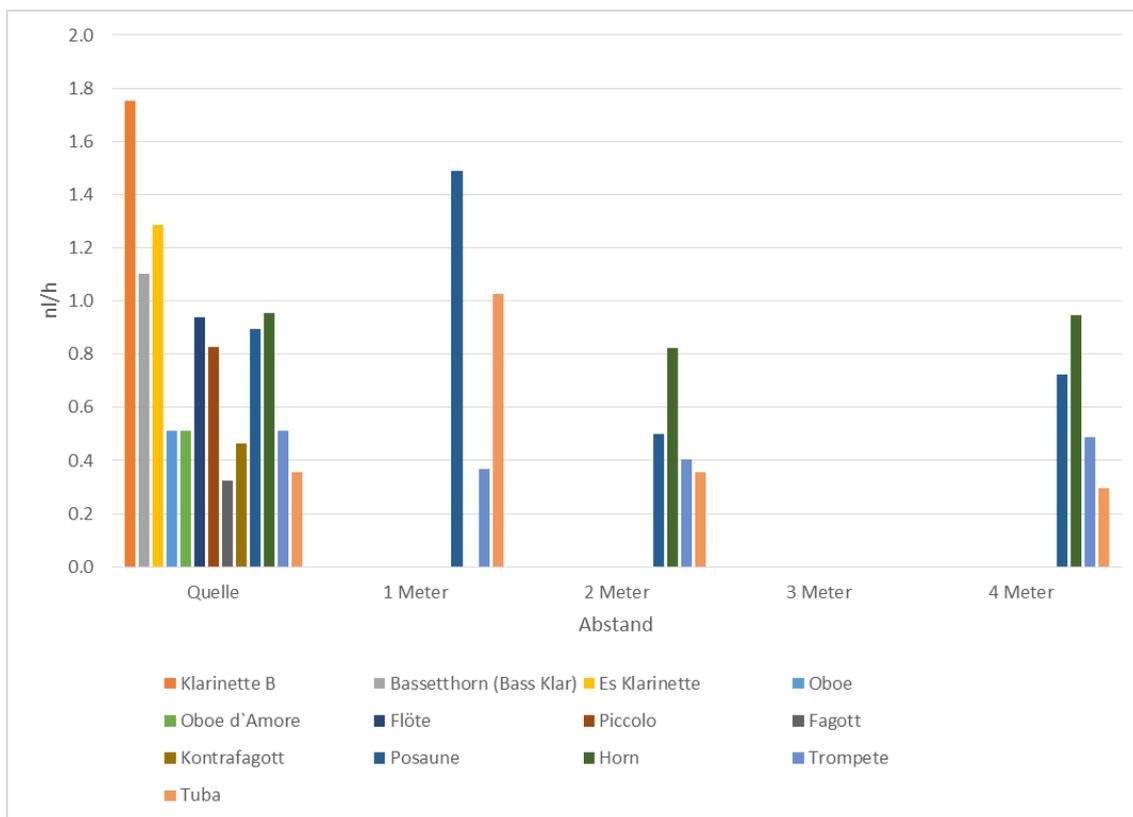


Abbildung 5 Ergebnis Blasinstrumente



Tabelle 2 Ergebnis Schauspiel, Oper

	Aerosol 1-32 µm [nl/Stunde sprechen, singen]						
	Quelle	1 Meter	2 Meter	3 Meter	4 Meter	5 Meter	7 Meter
Atmen, Präsenz vor Sensor	1.4	5.1	2.3	2.0	0.5	1.6	1.6
Sprechen (alle 4)	2.9	2.4					
Bühnensprechen (SP)	3.5	10.0	1.4	0.4	4.2		
Bühne wütendes Sprechen	6.8	4.5	0.6	1.6	0.0	0.4	
Bühne rufen schreien	40.4	2.6	40.6	31.2	7.0	0.0	1.1
singen Raumlautstärke (alle vier)	3.8						
singen vor Publikum (nur J.)	4.6	2.5					
singen fortissimo	4.5	1.3	11.8	0.2	0.7	1.8	0.4

Präsenz/atmen Schauspielerin	1.7		4.0	1.2	0.7		
Präsenz/atmen Schauspieler	1.1	0.5	0.4	0.9	0.1	0.7	
Präsenz/atmen Tenor	1.3	0.6	0.0	1.0	0.0	0.0	
Präsenz/atmen Mezzosopranistin	0.7	0.0	0.0	0.0	0.5	0.3	
singen Schauspielerin	0.9						
singen Schauspieler	12.4						
singen Tenor	4.6	1.3	2.6	0.1	1.1	0.6	0.5
singen Mezzosopranistin	1.3	2.5	24.8	0.5	0.1	3.6	0.3
sprechen Schauspielerin	7.4	13.0	71.8		13.0		2.2
sprechen Schauspieler	17.3	5.6	3.2	5.9	0.0	0.2	0.1
sprechen Tenor	3.1						
sprechen Mezzosopranistin	4.3						

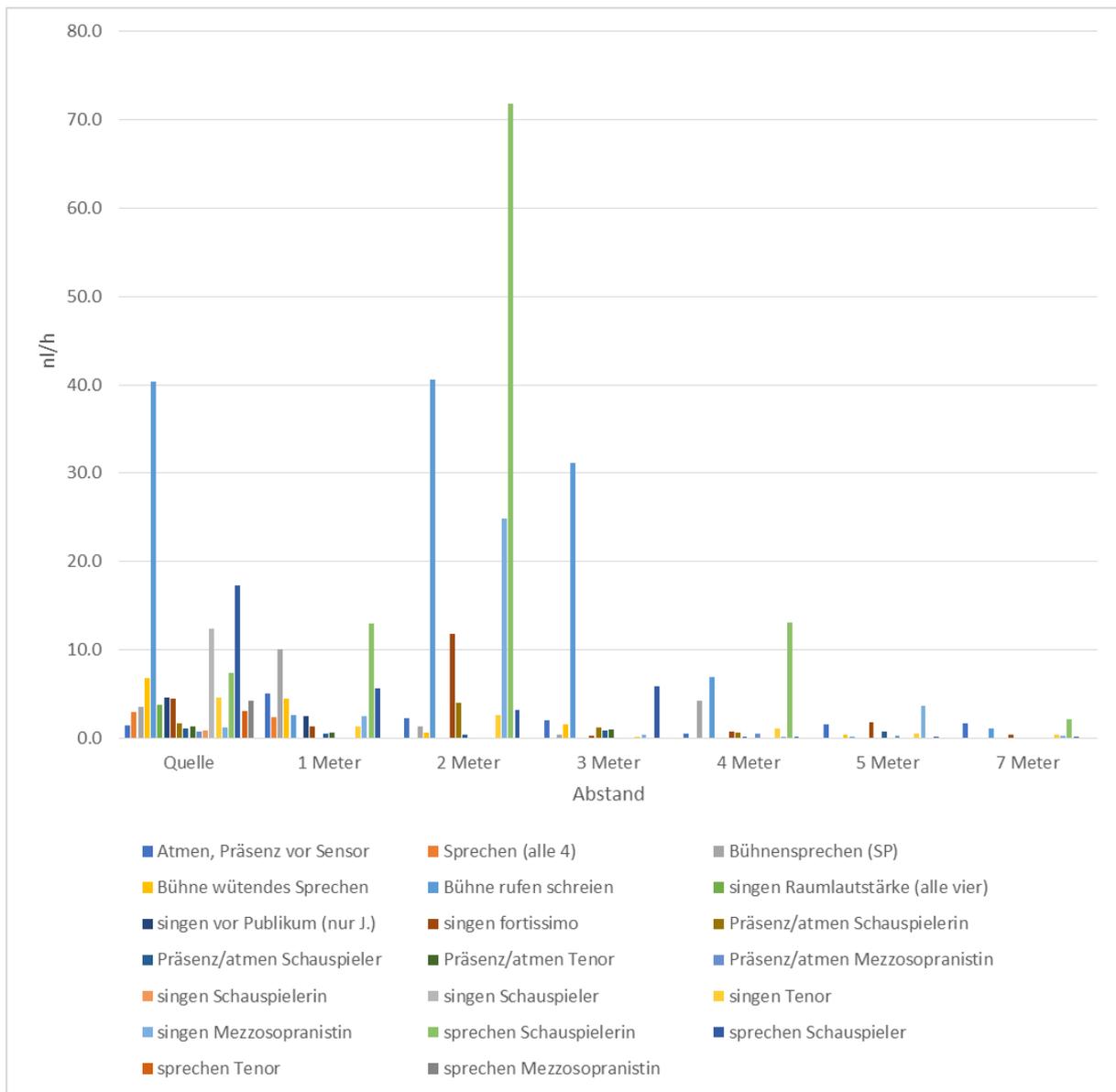


Abbildung 6 Ergebnis Schauspiel, Oper



Tabelle 3 Auswertung der einzelnen Stimmen und Gruppen, Messung in 25 und 50 cm Abstand und Angabe in Nanoliter pro Stunde singen oder sprechen

No	Profil	Emission nl pro Stunde 25	Emission nl pro Stunde 50
1	w, Jodeln, Sopran	0.73	0.43
2	w, Mezzosopran, 56 a, Oper, Gospel	0.35	1.08
3	w, Oper, Wagner	1.43	0.72
4	w,w Oper, Mezzosopran, Sopran	0.50	0.14
5	w, w, m Trio	0.10	1.01
6	m, w Duo	2.22	0.90
7	m, Oper	0.66	0.65
8	m, w Duo Jazz	0.29	0.54
9	m, Jazz	0.46	1.08
10	m, Bass	0.73	0.79
11	m, Tenor	1.74	0.79
12	m, Bass	2.09	0.72
13	w, w, w, w, "Opernchor"	5.33	1.21
14	w, Mezzosopran	0.19	0.50
15	w, Sopran	0.46	0.86
16	w, Sopran	0.19	0.86
17	w, Sopran	0.43	0.65
18	w	0.70	0.43
19	w, Alt	0.15	0.29
20	m, Tenor	0.27	0.94
21	w	0.27	0.22
22	m	0.43	0.29
23	w	0.15	1.30
24	m	0.89	0.43
25	w, Jodeln	0.31	2.38
26	m, w Jodelduo	1.58	0.07
27	m, Jodeln	0.43	0.29
28	w, Alt	1.20	0.43
29	w	0.23	0.65
30	m	2.43	3.17
31	m, m Duo	0.17	0.04
32	m, Tenor	0.27	1.58
33	m, Bass	1.04	0.36
34	m, Tenor	0.27	0.72
35	Duo 2 weibliche Jugendliche	0.14	0.50
36	m, Tenor	0.35	0.22
37	Mädchen 6 und 8 singen	5.53	0.79
38	w, Alt	0.77	1.22
12a	m, Bass schneller Sprechgesang	79.91	0.07
29a	w, sprechen, laut sprechen	3.40	0.43
37a	Mädchen, 6, 8 sprechen, albern	21.93	2.52
alle	atmen, teilweise sprechen	2.98	0.86
niemand	Messwert ohne Präsenz einer Person	0.31	0.29

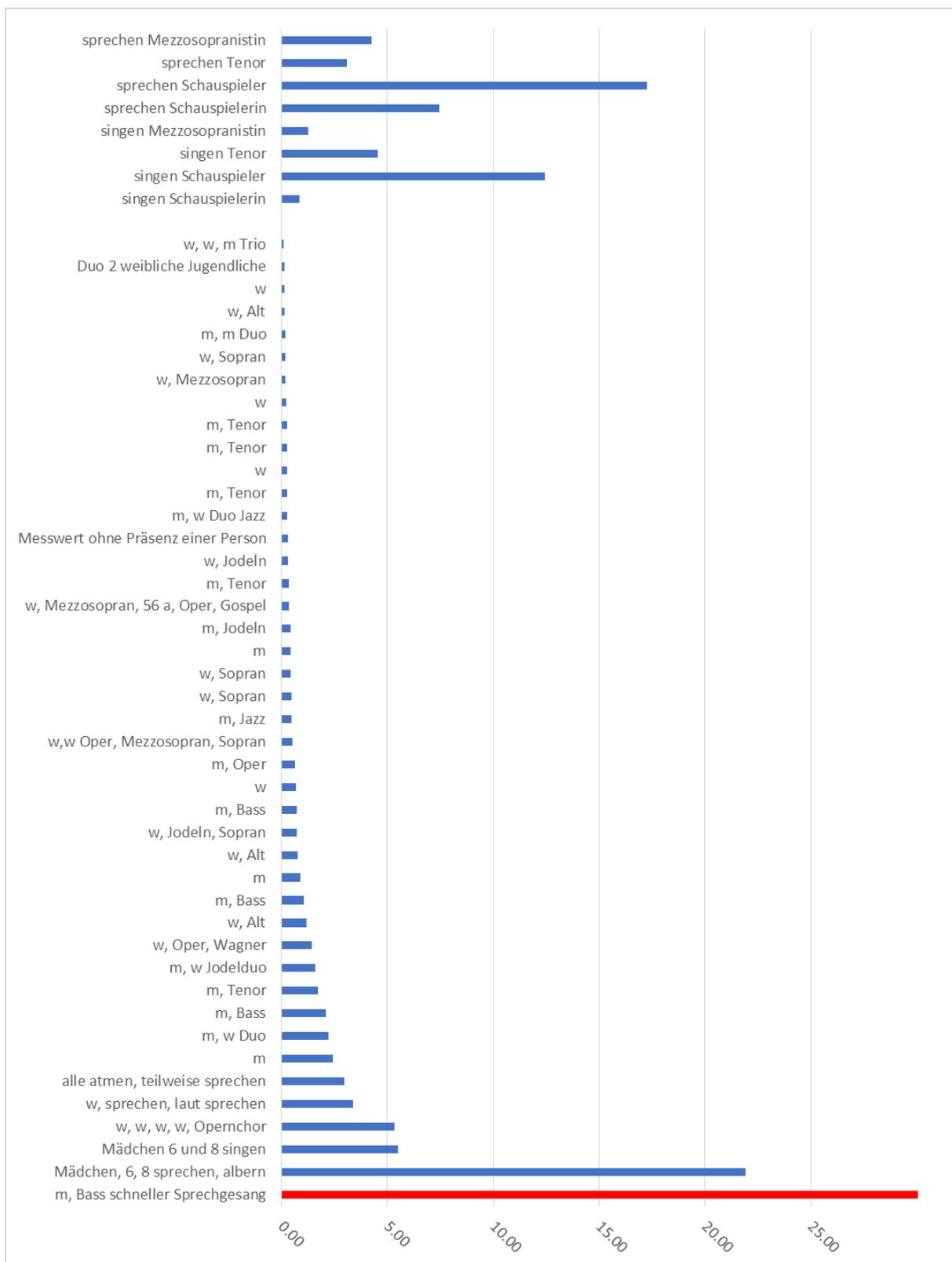


Abbildung 7 Chorstimmen einzeln inklusive Solostimmen, Darstellung der Messergebnisse in 25 cm Abstand in Nanoliter pro Stunde Aktivität. rot: gekürzter Balken, der Messwert ist 79.9



2.1 ZUSAMMENFASSUNG VERTEILUNG BLASINSTRUMENTE, SCHAUSPIEL, OPER, CHOR

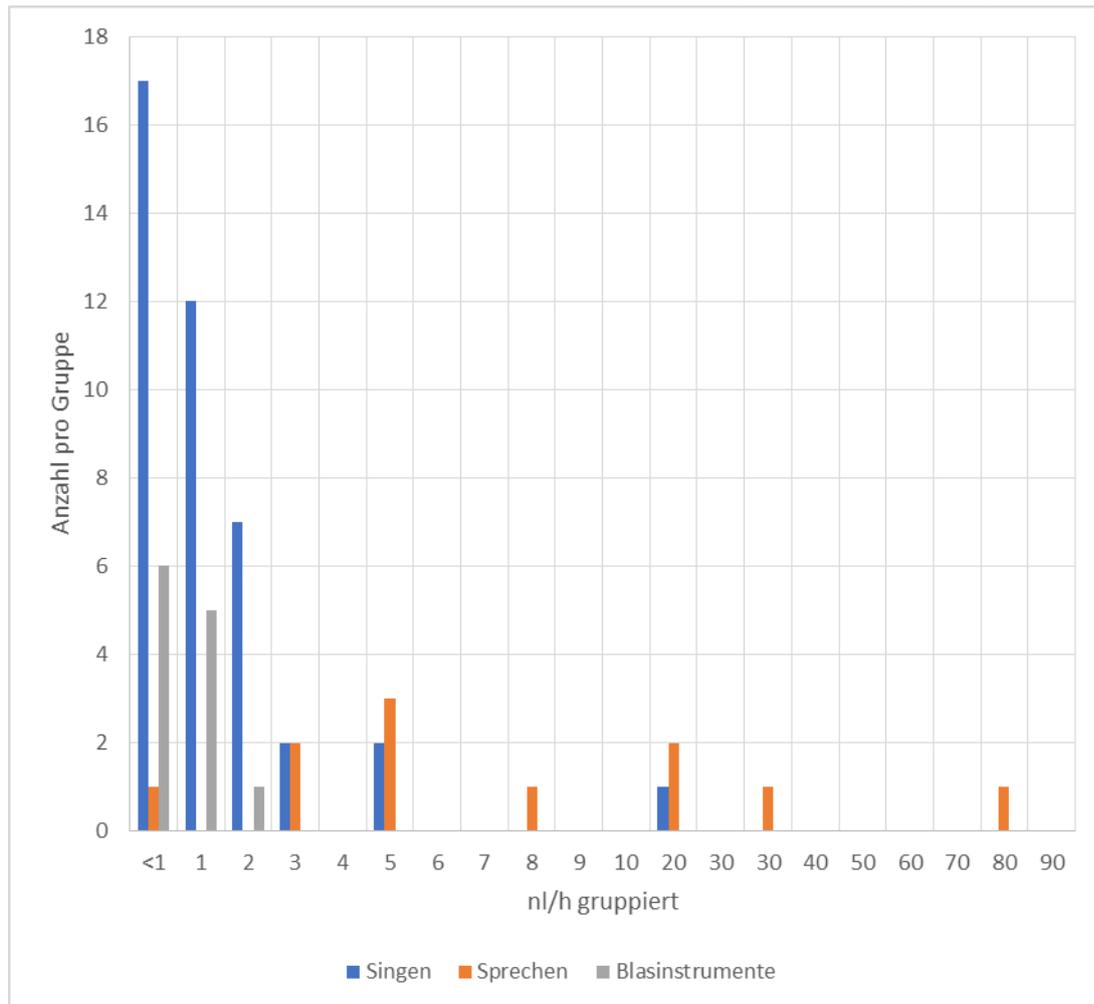


Abbildung 8 Absolute Anzahl Personen mit ähnlichem Ergebnis

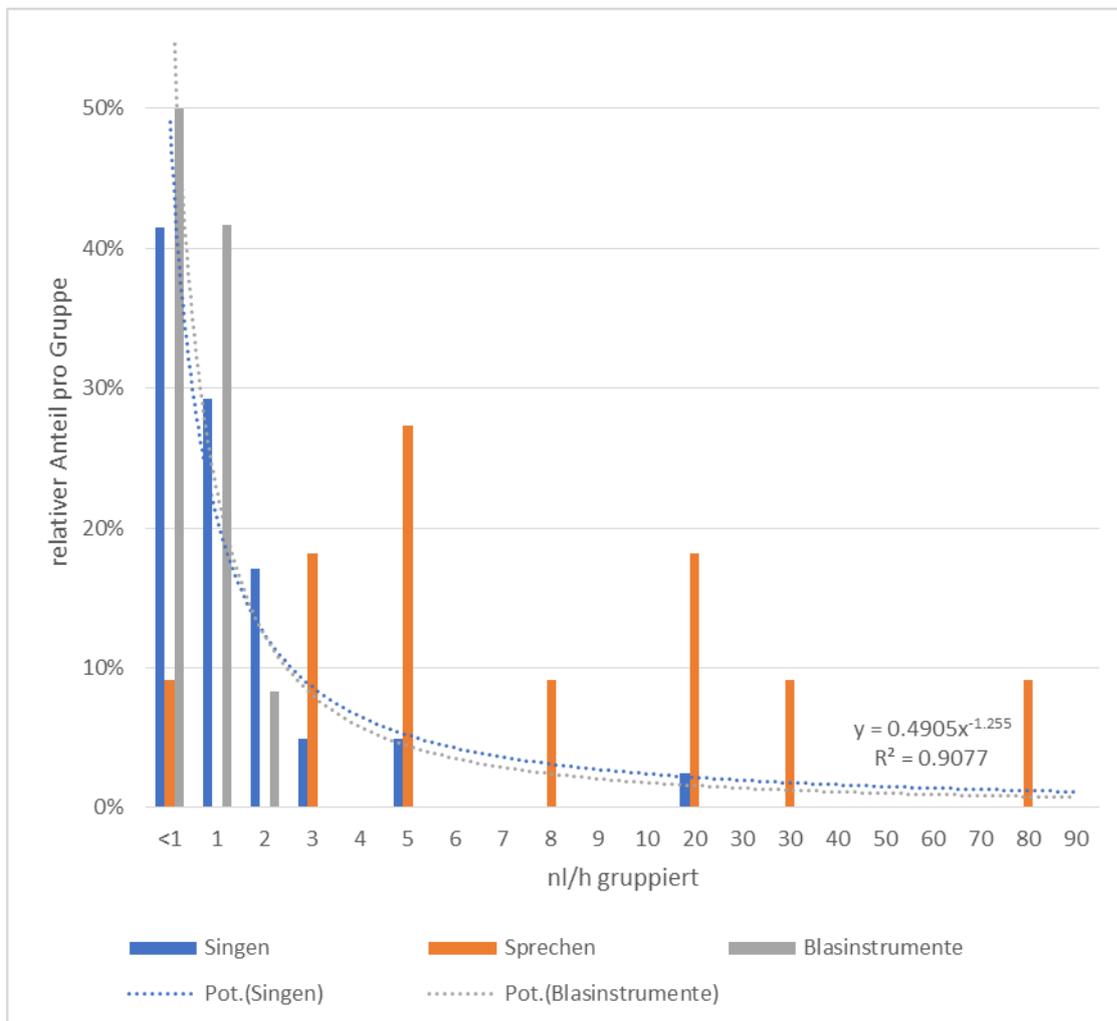


Abbildung 9 Relativer Anteil der insgesamt 48 untersuchten Personen in Gruppen mit ähnlichem Ergebnis



3 BEURTEILUNG UND SCHUTZMASSNAHMEN

Weil die Messungen bewusst unter realen Bedingungen erfolgt sind, ist nicht auszuschliessen, dass einzelne Abweichungen durch Staubpartikel verursacht wurden. Es ergibt sich dennoch ein klares Bild:

Die Aerosolemissionen unterscheiden sich von Person zu Person deutlich. Es gibt eine kompakte Hauptgruppe und etwa ein Zehntel der getesteten Personen (drei von 40) die teilweise deutlich nach oben abweichen.

Beim Spielen von Blasinstrumenten werden weniger Aerosole freigesetzt als beim Sprechen. Im Instrument werden offenbar keine oder praktisch keine zusätzlichen Aerosole erzeugt die das Problem verschärfen würden. Im Gegenteil scheint es, dass die Aerosole im Instrument hängen bleiben und dieses so wie ein Filter funktioniert. Wenig überraschend sind die Emissionen dann höher, wenn das Blasinstrument Klappen hat oder wie bei der Flöte über das Mundstück hinweg geblasen wird.

Je lauter und expressiver gesprochen wird, desto mehr Aerosole werden ausgeschieden. Beim Extremwert siehe Abbildung 9 mit 80 Nanoliter pro Stunde handelte es sich um lauten und sehr schnellen Sprechgesang von einem Sänger der auch beim normalen Singen leicht höhere Werte hatte als die übrigen (siehe dazu Abbildung 6).

Lauter oder leises Singen macht nur einen kleinen Unterschied und bei vielen Sängerinnen und Sängern war die Emission bei lautem Singen sogar tiefer als bei leisem Singen. Man kann das so interpretieren, dass lautes Singen auch eine saubere Stimmbildung erfordert und so die Emission tiefer ist.

Trainierte, gut ausgebildete Stimmen unterschieden sich nicht deutlich von weniger trainierten Stimmen.

Sowohl beim Spielen von Blasinstrumenten, singen und sprechen können die Aerosole in allen untersuchten Distanzen, also bis vier Meter bei den Bläsern bzw. sieben Meter bei Schauspiel, Oper nachgewiesen werden. Durch die Grösse der Räume und die raumluftechnischen Anlagen fand trotzdem keine Anreicherung der Aerosole statt. Dies zeigt die Wichtigkeit des dauernden oder regelmässigen Lüftens.

Für eine Risikoabschätzung, ob die gefundenen Aerosolmengen für eine Ansteckung mit Sars-Cov-2 ausreichen, müssten die Virenkonzentrationen bekannt sein. Solche wurden zum Beispiel von (Christian Drosten, 2020) veröffentlicht. Eine Virenlast von einer Million pro Milliliter entspricht einem Virus pro Nanoliter. Dies ist die Grössenordnung der meisten der hier präsentierten Resultate. Eine Virenlast von einer Milliarde wäre entsprechend 1000 Viren pro Nanoliter. Der Durchschnitt der Virenlasten bei Erkrankten ist etwa eine Million, wenige Erkrankte erreichen eine Milliarde Viren pro Milliliter. Es scheint dabei unabhängig davon zu sein, ob eine erkrankte Person Symptome hat oder nicht.

Husten, Niesen kann grosse Mengen an grossen Tröpfchen erzeugen. Die Menge an Aerosolen steigt ebenfalls deutlich an. Da es sich im Gegenzug um seltene Ereignisse handelt, würde eine Umrechnung auf Mengen pro Stunde die hier nicht erfolgt ist, nicht zu allzu grossen Mengen an Aerosol führen. Hingegen kann mit lokalen Wirkungen bevor die Aerosole ausreichend verdünnt sind gerechnet werden. Auf der Bühne sollte deshalb, wenn es passieren sollte „Niesetikette“ gelten, wobei die Person sich besser von der Gruppe kurz entfernen sollte. Aerosole durch Husten und Niesen scheinen so eher ein Problem bei dicht sitzendem Publikum als auf der Bühne zu sein. Das eigentliche Problem, welches durch Abstand halten genügend gelöst werden kann, dürften die hier



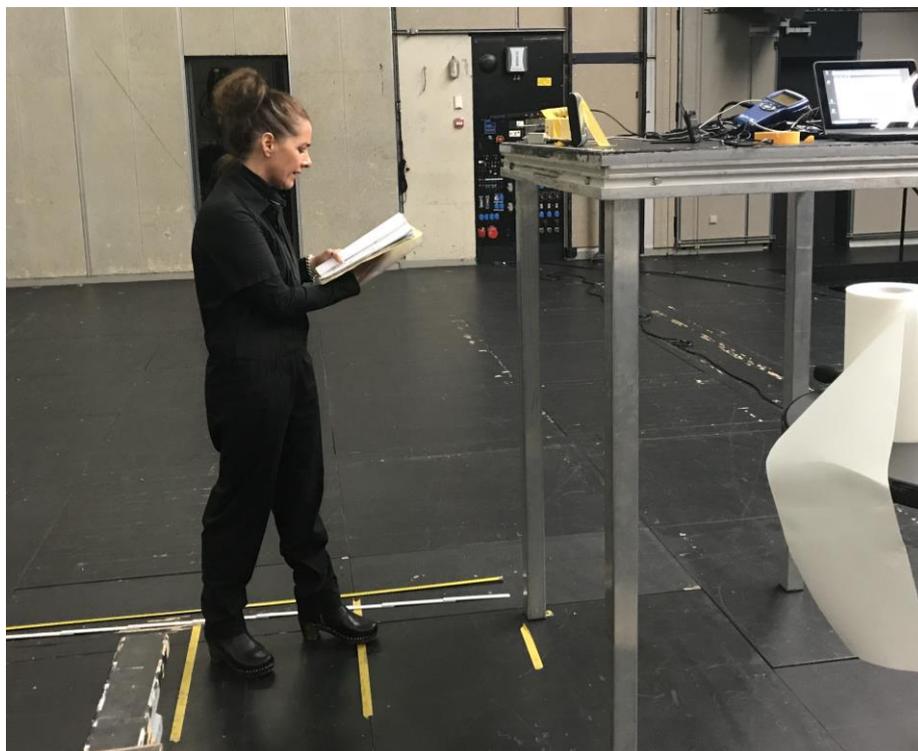
nicht untersuchten sehr grossen Tröpfchen sein die auf kurze Distanz Ansteckungen verursachen können.

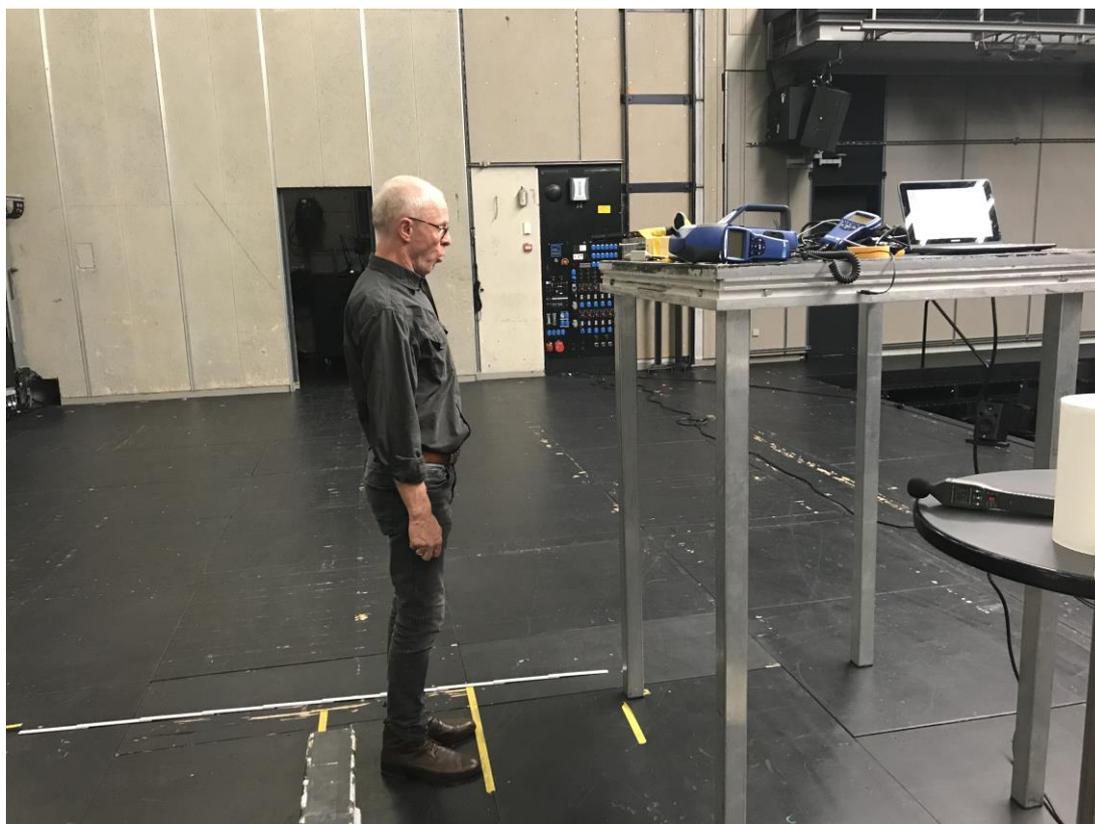
Schutzmassnahmen

- Die Räume sollten dringend mit Lüftungsanlagen dauernd gelüftet werden um die Aerosole abzuführen. Bei Luftrückführung müssten die Aerosole aus dem Luftstrom herausgefiltert werden, besser sind sicher Systeme mit Wärmetauschern (aus energetischen Gründen). Alternativ müssen Räume stündlich gelüftet werden. Die Luftqualität könnte z.B. durch eine CO₂ Überwachung oder Einzelmessungen getestet werden.
- **Es besteht ein durch mehr oder weniger strikte Massnahmen steuerbares Risiko einer Ansteckung durch Sars-Cov-2.** Dem kann mit Hilfe der Messergebnisse Rechnung getragen werden. **Als Dauermassnahme ist unbedingt darauf zu achten, dass der involvierte Personenkreis bekannt und Social Tracing möglich ist.**
- Bläserinnen und Bläser können gleich behandelt werden wie alle anderen Orchestermitglieder, d.h. gleiche Abstände halten. Zu beachten ist, dass bei den Bläsern der „Emissionspunkt“ das Instrument ist und nicht der Mund der Person.
- Das gleiche gilt für die Sängerinnen und Sänger.
- Beim Schauspielen sollte sehr lautes Schreien möglichst nur mit grosser Distanz und nicht in Richtung anderer Personen oder den Orchestergraben erfolgen.
- Die Abstandsregeln sollen den allgemeinen Vorgaben folgen.
- Für die Bühnenprofis sollen Massnahmen getroffen werden um Husten- und Niesereignisse zu verhindern oder zu kanalisieren. So ist vorstellbar, dass Prozeduren eingeübt werden wie rasches weggehen oder Husten/ Niesen in bereitstehende Taschentücher.
- Für Niesen und Husten beim Publikum gibt es aus meiner Sicht mit dem Tragen von Gesichtsschutz oder Verteilen von Lutschbonbons und dem Hinweisen auf die übliche Niesetikette Möglichkeiten das Risiko einer Ansteckung zu begrenzen.

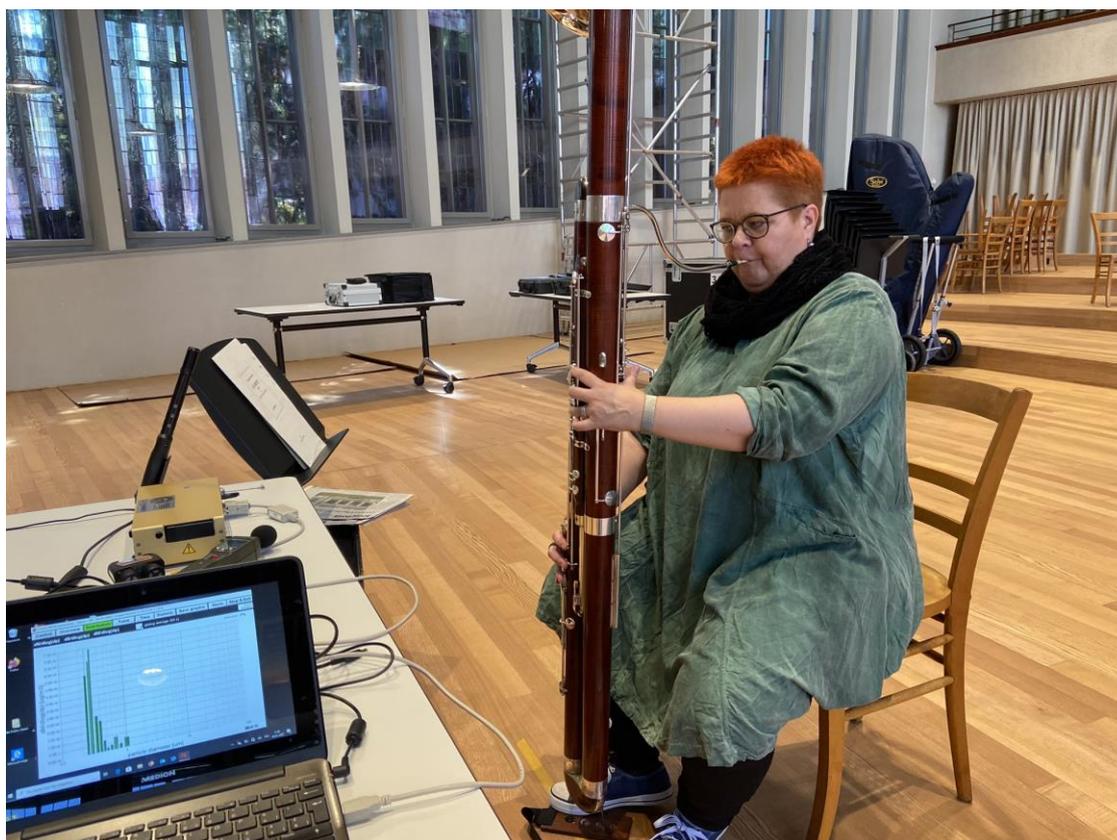


4 ANHANG BILDER

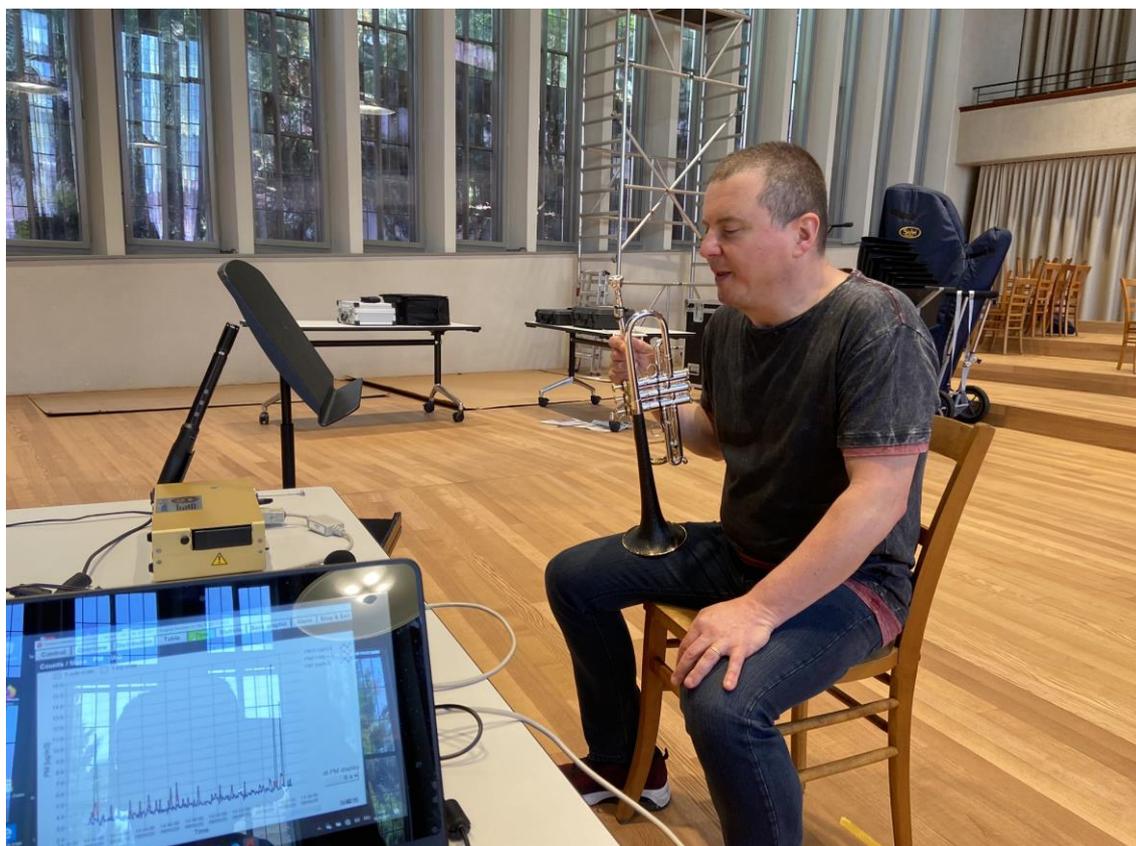
















5 LITERATURVERZEICHNIS

Bruns, F. K. (1953). 5. Speichel. *Untersuchung der Organe Körperflüssigkeiten und Ausscheidungen*.

Christian Drosten, e. a. (2020). *An analysis of SARS-CoV-2 viral load by patient age*. Von <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.06.08.20125484v1> abgerufen

Schwenzer, e. a. (2011). *Zahn-Mund-Kiefer-Heilkunde, Band 2: Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie*. Thieme Verlag.

Valentyn Stadnytskyi, C. E. (05 2020). The airborne lifetime of small speech droplets and their potential importance in SARS-CoV-2 transmission. *PNAS*. Von www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.2006874117 abgerufen

Wells, W. F. (11 1934). On Air-Borne Infection. *American Journal of Epidemiology*, S. 611 - 618.

William D. Ristenpart, e. a. (kein Datum). Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness. Von <https://www.nature.com/articles/s41598-019-38808-z> abgerufen

Zhang, H., & al., e. (2015). Documentary Research of Human Respiratory Droplet Characteristics. *Procedia Engineering*, S. 1365 - 1374.

<https://www.aiha.org/blog/commentary-covid-19-transmission-messages-should-hinge-on-science?amp>

G Aernout Somsen, Cees van Rijn, Stefan Kooij, Reinout A Bem, Daniel Bonn; Small droplet aerosols in poorly ventilated spaces and SARS-CoV-2 transmission; *The Lancet Respiratory Medicine*, 27.05.2020 / [https://www.thelancet.com/journals/lanres/article/PIIS2213-2600\(20\)30245-9/fulltext](https://www.thelancet.com/journals/lanres/article/PIIS2213-2600(20)30245-9/fulltext)

Prof. Dr. med. Dr. phil. Claudia Spahn, Prof. Dr. med. Bernhard Richter
Freiburger Institut für Musikermmedizin, Universitätsklinikum und Hochschule für Musik Freiburg;
Risikoeinschätzung einer Coronavirus-Infektion im Bereich Musik – Update vom 6. Mai 2020

<https://www.mh-freiburg.de/hochschule/covid-19-corona/risikoeinschaetzung/>

Prof. Dr. Michael Riediker, Dai-Hua Tsai, Estimation of SARS-CoV-2 emissions from non-symptomatic cases

<https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.27.20081398v1>

<https://scoeh.ch/en/some-of-the-virus-can-become-airborne-do-i-have-to-worry>

New England Journal of Medicine, Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1

<https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/NEJMc2004973>

The conversation, What we do and do not know about COVID-19's infectious dose and viral load

<https://theconversation.com/what-we-do-and-do-not-know-about-covid-19s-infectious-dose-and-viral-load-135991>

Aerosol emission and superemission during human speech increase with voice loudness

<https://www.nature.com/articles/s41598-019-38808-z>