

Risikobewertung von Probenräumen für Chöre hinsichtlich virenbeladenen Aerosolen

Autoren: Anne Hartmann¹, Dirk Mürbe², Martin Kriegel¹, Julia Lange¹, Mario Fleischer²

¹ Technische Universität Berlin, Hermann-Rietschel-Institut

² Charité Universitätsmedizin Berlin, Klinik für Audiologie und Phoniatrie

DOI: <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10372>

Einleitung:

Nach aktuellem Kenntnisstand bilden Aerosole einen der Übertragungswege von SARS-CoV-2-Viren [RKI2020]. Aerosole entstehen auch beim Sprechen und Singen, denn die Atemwege dienen in Doppelfunktion neben dem Austausch von Atemluft auch als Entstehungsorte von Stimm- und Lautsprache. Berichte über hohe Infektionsraten bei Chorproben in geschlossenen Räumen [Hamner2020] sprechen für eine besonders starke Aerosolproduktion beim Singen, die in den charakteristischen stimmphysiologischen Mechanismen und in der größeren Kontinuität der Stimmproduktion im Zeitverlauf begründet liegen könnte.

Aktuelle Untersuchungen zur Partikelemission während des Sprechens [Hartmann2020] und Singens [Mürbe2020] zeigen die Steigerung der Aerosolproduktion für beide Situationen. Im Vergleich des Sprechens zum Atmen durch die Nase stellt sich eine mittlere Steigerung der Aerosolproduktion um etwa Faktor 10 dar, und für das Singen findet sich eine mittlere Steigerung um etwa Faktor 30 im Vergleich zum Sprechen. Auffällig ist die große Variabilität der Aerosolbildung zwischen verschiedenen Personen, die für eine besondere Rolle der „high-emitter“ bei der Virusübertragung sprechen.

Für die Risikoabschätzung einer Ansteckungsgefahr mit SARS-CoV-2-Viren beim Singen und für ein bestmögliches Risikomanagement bei der Wiederaufnahme des Proben- und Konzertbetriebes sind neben der Beurteilung der aktuellen Prävalenz der Erkrankung eine Reihe von Faktoren zu beachten, die über allgemeine Hygienemaßnahmen und Abstandsregeln hinausgehen. Diese Faktoren schließen die Anzahl der Sängerinnen und Sänger, die Proben- bzw. Konzertdauer, aber insbesondere die räumlichen Bedingungen und Lüftungskonzepte ein. Gerade die beiden letztgenannten Faktoren wurden bislang beim Risikomanagement unbefriedigend adressiert und sollen in der vorliegenden Arbeit durch eine analytische Risikobewertung auf der Basis real erhobener Partikelzahlen und typischer Raumkonstellationen untersucht werden.

Grundlagen und Methoden

Je länger sich Personen in einem Raum aufhalten, umso mehr steigt die Aerosolkonzentration an. Entscheidend für den Verlauf des Anstiegs ist die freigesetzte Schadstoffkonzentration (Anzahl infizierter Personen und Partikelemission dieser), der Luftwechsel (zugeführter Frischluftvolumenstrom im Verhältnis zur Raumgröße) sowie die Wirksamkeit der Lüftung (Lüftungswirksamkeit). Basierend auf bekannten Gleichungen zur Bestimmung von Schadstoffkonzentrationen in Räumen unter dem Einfluss verschiedener Luftwechsel wird eine analytische Risikobewertung für verschiedene Szenarien erstellt. Die detaillierte Vorgehensweise ist unter anderem in [Kriegel2020] zu finden.

Untersuchte Fälle

Für die Beurteilung des Risikos wurden drei typische Anwendungsszenarien im Konzertbereich sowie ein Vergleichsszenario ausgewählt:

- Chorprobenraum
- Konzertsaal I
- Konzertsaal II
- Vergleichsszenario: Büro

Für die Berechnungen wurden der Chorprobenraum des Berliner Philharmonischen Chores (Aula Clara-Grunwald-Schule Berlin), der Große Saal des Konzerthauses Berlin (Konzertsaal I – Format „Schuhkarton“) sowie der Konzertsaal der Dresdner Philharmonie (Konzertsaal II – Format „Weinberg“) ausgewählt. Die Anzahl der Choristen und Choristinnen wurde anhand einer Aufstellung der Sängerinnen und Sänger mit einem radialen Abstand von 2 m und der Größe des Bühnenbereiches ausgewählt. Es wurde jeweils davon ausgegangen, dass sich ein infizierter Chorist/eine infizierte Choristin im Raum aufhält, und nur die von dieser Person abgegebenen Aerosole als potentiell kritisch einzustufen sind, da sie Viruslast tragen. Als mittlere Emissionsrate beim Singen wurden 2000 P/s angesetzt [Mürbe2020]. Die Zuschauerzahl entspricht dem aktuell gültigen Hygienekonzept der beiden Konzerthäuser. Die Randbedingungen der einzelnen Szenarien können Tabelle 1 entnommen werden.

Tabelle 1: Randbedingungen der untersuchten Fälle

	Raum- volumen in m ³	Personen- anzahl Chor	Personen- anzahl Zuschauer / Büro	Aktivität	Emissions- rate in P/s	Luft- wechsel in 1/h	Lüftungs- system
Chor- proben- raum	2.250	20	-	Singen	2.000	Probe: 0,05 Pause: 2	Fenster
Konzert- saal I	18.000	40	350	Singen	2.000	2,2	maschinell
Konzert- saal II	21.500	50	498	Singen	2.000	2,9	maschinell
Büro	60	-	2	Sprechen	130	2,4	maschinell
Büro	60	-	2	Sprechen	130	Arbeit: 0,05 Pause: 2	Fenster

Ergebnisse der Risikobetrachtung

Der Verlauf der Aerosolkonzentration, der potentiell infektiösen Aerosole (abgegeben von der infizierten Person), während 30 min Chorgesang mit konstanter Belegung und konstantem Luftwechsel in den beiden Konzertsälen und fehlender Belüftung im Chorprobenraum sind in Abbildung 1 zu finden. Für alle drei Anwendungsszenarien und das Vergleichsszenario erfolgt nach 30 min eine Lüftungspause von 15 min, in der alle Personen den Raum verlassen. Schließlich ist die Konzentration nach einer erneuten Chorprobe von 30 min aufgelistet. Der Luftwechsel wird als konstant für beide Konzertsäle über die komplette Zeit angenommen, die Fensterlüftung im Bereich des Chorprobenraumes sowie des Büroraumes erfolgt nur während der Pause.

Zusätzlich wurde noch der Fall einer längeren Probe von 60 min und einer anschließenden Pause von 15 min sowie einer weiteren Probe von 60 min untersucht. Das Ergebnis ist in Abbildung 2 dargestellt.

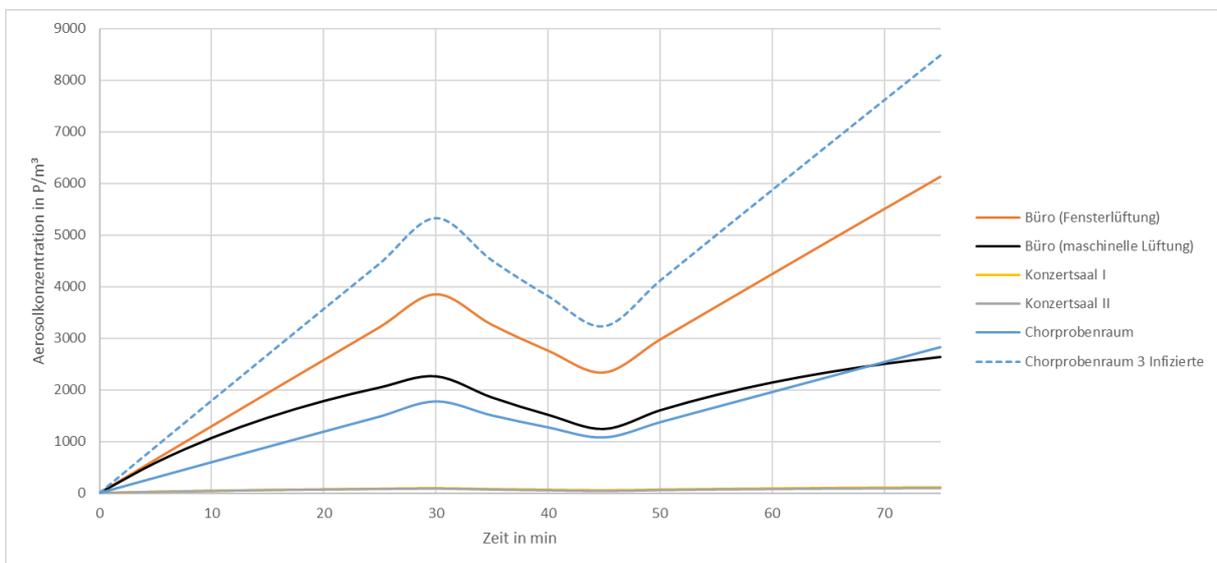


Abbildung 1: Verlauf der Aerosolkonzentration während einer Probe von 30 min mit einer Pause von 15min in der Mitte für die drei untersuchten Räume sowie das Vergleichsszenario Büro

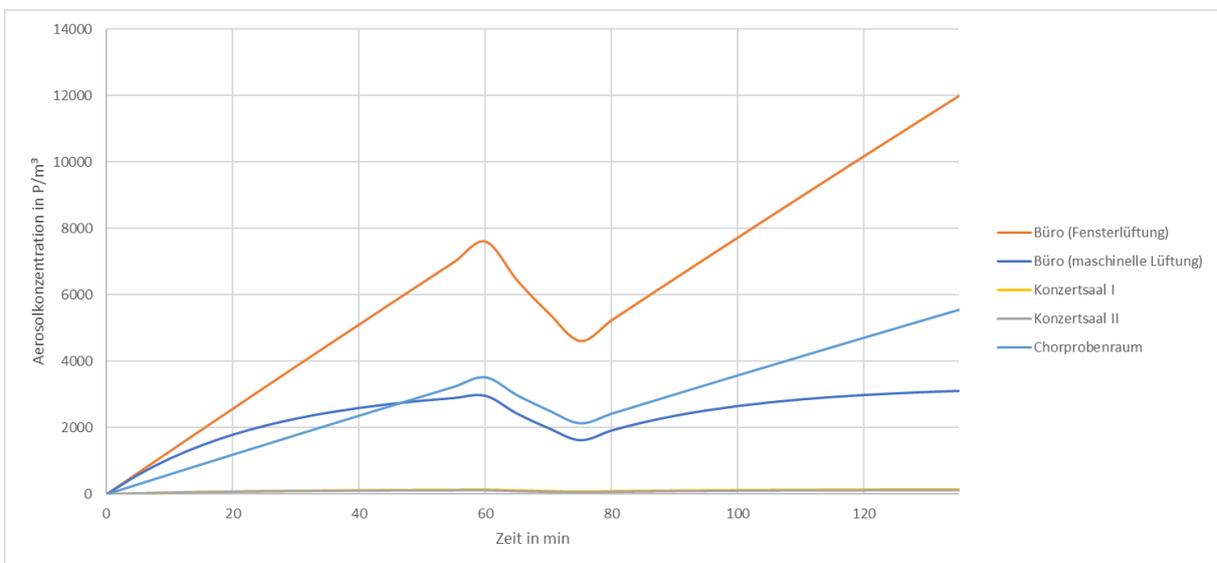


Abbildung 2: Verlauf der Aerosolkonzentration während einer Probe von 60 min mit einer Pause von 15min in der Mitte für die drei untersuchten Räume sowie das Vergleichsszenario Büro

Diskussion

Mit einfachen analytischen Gleichungen konnten unter vereinfachten Randbedingungen Betrachtungen zur Aufkonzentration von potentiell infektiösen Aerosolen angestellt werden. In realen Umgebungen können die Ergebnisse dennoch stark abweichen. Dies hängt mit der tatsächlichen Lüftungswirksamkeit zusammen. Es wird Orte geben, an denen die Aerosolkonzentration höher und Orte, an denen sie kleiner ist. Dies betrifft z.B. Orte im Nahfeld von Personen sowie durch den thermischen Auftrieb um Personen (die Person ist wärmer als die Umgebung) auch Punkte oberhalb von Personen. Dadurch, dass die Aerosole ideal luftgetragen sind, bewegen sie sich mit der Raumluftströmung.

Es wird deutlich, dass Fensterlüftung unter Umständen nicht ausreichend sein kann, um das Infektionsrisiko über Aerosole signifikant zu senken und eine trügerische Sicherheit entstehen kann. Es bleibt bei Fensterlüftung für den Nutzer in der Regel völlig unklar, wie hoch der Volumenstrom an Frischluft ist, der durch ein geöffnetes Fenster in den Raum gelangt. Dies hängt maßgeblich von der Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur und der außen vorherrschenden Windgeschwindigkeit ab. Lediglich mit maschinell betriebenen Lüftungsanlagen (Außenluft) lassen sich Risiken in den Griff bekommen.

Große Räume haben zusätzlich einen positiven Effekt auf die Aufkonzentration der Aerosole. Während im Büroraum ($60\text{m}^3_{\text{Raumvolumen}}/\text{infizierter Person}$) mit Fensterlüftung sofort ein signifikanter Anstieg der Konzentration potentiell infektiöser Aerosole zu erwarten ist, ist im Probenraum ohne Lüftung ($2270\text{m}^3_{\text{Raumvolumen}}/\text{infizierter Person}$) ein deutlich verlangsamer Anstieg zu erwarten, da die potentiell infektiösen Aerosole sich zunächst im gesamten Raum in niedriger Konzentration ausbreiten.

Mit zunehmender Anzahl an infizierten Personen im Raum wird der Anstieg deutlich steiler. Schon bei drei infizierten Personen des Chores (gestrichelte, blaue Linie) im Probenraum (ohne Lüftung, $757\text{m}^3_{\text{Raumvolumen}}/\text{infizierter Person}$) übersteigt die Kurve des Probenraums die des Büros mit Fensterlüftung. Wenn dagegen für den Konzertsaal I mit weiteren infizierten Personen im Publikum gerechnet wird, steigt beispielsweise bei fünf infizierten Zuschauern die Konzentration im Raum nach 30 min nur um 10 % an und bleibt dabei deutlich unter der Konzentration im Probenraum oder im Büroraum.

Des Weiteren fällt auf, dass im Chorprobenraum auch in der Pause trotz geöffneter Fenster nur ein geringer Abfall der Aerosolkonzentration zu erkennen ist und diese sehr schnell nach dem wieder Eintritt die maximale Konzentration aus dem Probenabschnitt vor der Pause übersteigt.

Resümee und Empfehlungen für das Risikomanagement

Die Übertragung des SARS-CoV-2-Virus erfolgt überwiegend über die Atemwege in Form von Tröpfchen und Aerosolen. Beim Singen entstehen Tröpfchen und Aerosole in höherer Anzahl, was die Gefährdung beim Chorgesang begründet.

Bisherige Maßnahmen zur Risikoreduktion thematisierten insbesondere den Schutz vor Tröpfchen, der auch beim Singen mit einer Abstandsregel von 2 Metern effizient adressiert wird. Dieser Abstand reduziert zwar auch das Übertragungsrisiko durch Aerosole im Nahbereich, lässt aber keine Bewertung der weiteren Verbreitung dieser Partikel im Raum zu. Für eine Beurteilung der Aerosolkonzentration im Raum wichtige Faktoren flossen daher in die vorliegenden Berechnungen zur Aufkonzentration von potentiell infektiösen Aerosolen ein, die typische Konstellationen beim Chorgesang mit einer Bürosituation als Referenzszenario vergleicht.

Eine Möglichkeit der Risikoreduktion liegt in einer Verkürzung der Probenzeit, wobei mit den im vorliegenden Beispiel gewählten 2 Probensegmenten von jeweils 30 Minuten und zwingender Zwischenlüftung ein auch aus künstlerischer Sicht praktikabler Kompromiss für die Modellrechnung angesetzt wurde. Zur Erhöhung des Luftvolumens pro Person sollten für Chorproben möglichst große Räume ausgewählt werden. Die Anzahl der Sängerinnen und Sänger muss reduziert werden, wobei sich allein aufgrund des zum Schutzes vor Tröpfchen ratsamen Abstandes eine Begrenzung der Anzahl der Personen im Raum ergibt. Ein wesentlicher Faktor zur Risikoreduktion liegt in den zur Verfügung stehenden Lüftungsoptionen, wobei sowohl Fensterlüftung als auch maschinelle Lüftung verglichen wurden. Insbesondere eine adäquate maschinelle Belüftung hat ein erhebliches Potential zur Risikoreduktion und sollte nach Möglichkeit bevorzugt werden. Auch durch Fensterlüftung kann eine erhebliche Risikoreduktion erreicht werden, die allerdings erheblich von den Witterungsbedingungen abhängig und schwer einzuschätzen ist. Gerade bei sehr kurzen Pausenzeiten muss beachtet werden, dass eine Fensterlüftung unter Umständen für eine relevante Senkung der Aerosolkonzentration nicht ausreicht.

Die Betrachtungen zeigen, dass unter bestimmten Voraussetzungen bei optimaler Ausschöpfung der verschiedenen Handlungsoptionen Chor- und Ensemblesang realisierbar ist, auch wenn ein verbleibendes Restrisiko einer Infektion adressiert werden muss. Ensemblegröße und -aufstellung, Probenkonzeption, Raumgröße und Lüftungskonzept sind effektive Instrumente der Risikoreduktion in Ergänzung der grundlegenden Hygienemaßnahmen und Abstandsregeln. Aufgrund des hohen Stellenwertes des Singens in den Bereichen Kultur und Bildung ist ein bestmögliches Risikomanagement von besonderer Bedeutung, um in Zusammenarbeit mit privaten und öffentlichen Entscheidungsträgern individualisierte Proben- und Aufführungskonzepte für den Chorgesang zu ermöglichen.

Literatur:

[Hamner2020] Hamner, L., Dubbel, P., Capron, I., Ross, A., Jordan, A., Lee, J., Lynn, J., Ball, A., Narwal, S., Russell, S., Patrick, D., Leibrand, H. (2020): High SARS-CoV-2 Attack Rate Following Exposure at a Choir Practice – Skagit County Washington, March 2020, in: MMWR Morbidity and Mortality Weekly Report, Early Release 69, p. 606-610
<https://dx.doi.org/10.15585/mmwr.mm6919e6>

[Hartmann2020] Hartmann, A., Lange, J., Rotheudt, H., Kriegel, M. (2020): Emissionsrate und Partikelgröße von Bioaerosolen beim Atmen, Sprechen und Husten, in: Preprint,
<http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10332>

[Kriegel2020] Kriegel, M., Hartmann, A. (2020): Risikobewertung von Innenräumen zu virenbeladenen Aerosolen, in: Preprint, <http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10343.2>

[Mürbe2020] Mürbe, D., Fleischer, M., Lange, J., Rotheudt, H., Kriegel, M. (2020): Erhöhung der Aerosolbildung beim professionellen Singen, in: Preprint,
<http://dx.doi.org/10.14279/depositonce-10374>

[RKI2020] Robert-Koch-Institut (2020): SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19),
https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html#doc13776792bodyText1, letzter Zugriff: 22.06.2020, 12:00Uhr