

## Infektionsrisiko durch aerosolgebundene Viren in geschlossenen Räumen und Verkehrsmitteln

Prof. Dr. med. Klaus Fiedler

Seit Beginn der COVID-19 Pandemie gibt es intensive Diskussionen über die erhöhte Gefahr, sich mit dem SARS-CoV-2-Virus in geschlossenen Räumen zu infizieren. Auch der Anstieg der Infektionszahlen im Herbst deutet darauf hin, dass die Verlagerung des Aufenthalts in Wohnungen bzw. in Innenräume verschiedener Einrichtungen im Infektionsgeschehen eine besondere Bedeutung hat.

Grundsätzlich werden Viren über Kontaktflächen, Tröpfchen und Aerosole übertragen:

- **Direkte Kontaktübertragung:** Das Virus wird durch direkten Haut- bzw. Schleimhautkontakt übertragen, ohne dass der Erreger ein anderes Transportmedium nutzt. Diese Form der Übertragung ist wirksam durch Verhinderung von direktem Körperkontakt einzudämmen.

- **Tröpfchenübertragung:** Durch das Versprühen von infektiösen Tröpfchen aus den Atemwegen infizierter Personen auf Schleimhäute (auch Bindehäute) nicht infizierter Personen, können Viren und Bakterien im Umfeld Infizierter übertragen werden. Die größeren Tröpfchen sinken innerhalb weniger Sekunden auf den Boden oder lagern sich an andere Flächen an und verbreiten sich damit ca. in einer Entfernung von 1,5 m. Es ist aber durchaus möglich, dass die Tröpfchen Entfernungen

bis zu 6 m zurücklegen können (Xi et al. 2007). Von den Oberflächen, auf denen die Tröpfchen sedimentieren, können Infektionserreger übertragen werden, wenn Personen diese Flächen berühren und dann die Schleimhäute des Mundes oder der Bindehäute kontaminieren. Wichtige Maßnahmen hiergegen sind das Husten/Niesen in die Ellenbogenbeuge, das Tragen eines Mund-Nasen-Schutzes, die Einhaltung eines Mindestabstandes zu anderen Personen und das gründliche Händewaschen.

- Bei der Aerosolübertragung können über infizierte Personen sehr kleine Tröpfchen über größere Entfernungen, auch auf eine größere Anzahl bisher nicht infizierter Personen übertragen werden. Aus diesen feinsten Tröpfchen verdunstet sehr schnell das Wasser, es entstehen die sogenannten Tröpfchenkerne (droplet nuclei), die sich unterhalb einer kritischen Partikelgröße von  $< 5 \mu\text{m}$  und einer Sinkgeschwindigkeit von weniger als 3 mm/Sekunde bis zu mehreren Stunden in der Raumluft halten und eingeatmet werden können. Diese mit Viren beladenen Aerosole führen häufig zu Infektion, insbesondere da sonst wichtige Maßnahmen der Prophylaxe, wie das Einhalten von Mindestabständen, die Händehygiene und das Tragen von Alltagsmasken hier kaum wirksam sind. Häufiges Lüften sowie das Tragen von FFP2 Masken (KN95) können entscheidend zur

Verhinderung dieser Form der Übertragung der Corona-Viren beitragen.

Chu et al. (2020) untersuchten Maßnahmen zur Bekämpfung der Corona-Pandemie in einer Metaanalyse mit 172 Beobachtungsstudien in 16 Ländern: Gut wirksam erwiesen sich Distanzierungsmaßnahmen von über 1 m sowie Masken mit guter Filtrationsfunktion für Viren. Nach den am effektivsten wirkenden FFP2 Masken, sind auch OP Masken erfolgreich zur Reduktion der Erkrankungszahlen einzusetzen. Vergleichbar in der Wirkung mit OP-Masken sind wiederverwendbare Baumwollmasken mit 12-16 Schichten. Allerdings haben die meisten der von der Bevölkerung getragenen Masken eine deutlich geringere Filterwirkung. Auch nach Leung et al. (2020) kann durch eine chirurgische Gesichtsmaske die Verbreitung der Corona-Viren in Tröpfchen verhindert und die Verbreitung durch Aerosole reduziert werden.

Beim Anlegen der Maske muss darauf geachtet werden, dass man deren Flächen nicht kontaminiert, bzw., dass beim Ablegen der Maske die Hände nicht kontaminiert werden. Daher ist es zweckmäßig, dass die Masken möglichst nur an den Befestigungsbändern angefasst werden. Als zusätzlicher Schutz wird vor dem Anlegen und Ablegen der Maske ein gründliches

Händewaschen empfohlen. Wenn die Masken wiederverwendet werden, könnten diese in einem Beutel luftdicht verschlossen bis zur Aufbereitung bzw. zum Wiedergebrauch aufbewahrt werden. Masken sollte aber nur kurzfristig luftdicht aufbewahrt werden, da sonst sich im feuchten Milieu der gebrauchten Masken Mikroorganismen, z.B. Schimmelpilze vermehren können.

Da man unterwegs oft keine Möglichkeiten des Händewaschens hat, ist es zweckmäßig, immer ein kleines Fläschchen mit Desinfektionsmittel mit sich zu tragen, so dass man erforderlichenfalls auf diese Weise die Hände dekontaminieren kann.



Abb. 1: Desinfektion der Hände unterwegs (Quelle: Renate Köppl auf Pixabay)

Grundsätzlich sollte man sich sowohl beim Tragen der Maske, als auch wenn man sich in Epidemiezeiten außerhalb der eigenen Räume findet, nicht mit den Händen ins Gesicht fassen. Bei unbedecktem Gesicht ist es möglich, dass auf diese Weise Bakterien und Viren in die Mundhöhle, Nasen und in die Augen gelangen. Bei einem mit Maske bedeckten Gesicht könnte zum einen die Maske durch die Finger der Hand kontaminiert werden, zum anderen ist es möglich, dass Verunreinigungen der Maske auch

auf die Hand gelangen.

Masken sind möglichst dicht anzulegen, so dass die Luft durch die filternden Schichten eingeatmet wird und nicht über Öffnungen an der Seite der Maske ein- bzw. ausströmt.

Verschiedentlich wird darüber diskutiert, ob man unter Masken genügend Luftsauerstoff bekommt und auch, ob das ausgeatmete Kohlendioxid gut abgeführt wird. Aus gesundheitlicher Hinsicht bestehen in dieser Beziehung keine Bedenken. Wenn in Ausnahmefällen bei bestimmten Erkrankungen der Atemwege hier Probleme auftreten, sollte der behandelnde Arzt konsultiert werden.

Das Tragen der Masken ist nur ein Faktor in der Infektionsprophylaxe und darf nicht dazu verleiten, dass man sich in Sicherheit glaubt und dadurch die anderen wichtigen Maßnahmen, wie Distanzierung, Händewaschen und Lüften nicht mehr beachtet! Zudem ist immer daran zu denken, dass die am meisten getragenen, nicht zertifizierten Masken im Wesentlichen zum Fremdschutz und nicht zum eigenen Schutz geeignet sind. Ein guter Eigenschutz ist nur durch zertifizierte Masken (z.B. FFP2 [KN 95]) zu erreichen.

Nach bisherigen Untersuchungen scheint die Übertragung der SARS-CoV-2-Viren durch Oberflächen oder Gegenstände eine untergeordnete Bedeutung zu haben. Wissenschaftliche Studien deuten aber darauf hin, dass bei Temperaturen unterhalb typischer Raumtemperaturen Viren länger

auf Oberflächen infektiös bleiben.

Experimentell erzeugter Aerosole mit SARS-CoV-2-Viren blieben über 3 Stunden infektiös (van Doremalen et al. 2020). Andere aktuelle Laborversuche mit künstlich hergestellten und mit SARS-CoV-2-Viren belasteten Aerosolen zeigen, dass die Infektiosität dieser Erreger bis zu 16 Stunden in lungengängigen Aerosolen erhalten bleiben kann (Fears et al. 2020).

In einer chinesischen Arbeit wurde eine Infektionskette in einem Restaurant in Guangzhou rekonstruiert und es konnte eine Übertragung der SARS-CoV-2-Viren über mehrere Tische nachgewiesen werden (Li et al. 2020). In Deutschland stellte man die Übertragung des Virus über eine Entfernung von bis zu 8 m fest. Begünstigend waren hierbei besondere klimatische Bedingungen bei der Frischfleischverarbeitung mit einer Raumtemperatur von 10 °C, einer hohen Luftfeuchte sowie einer geringen Außenluft-rate. Die Umluftkühlung erfolgte ohne zusätzliche Filtration der Raumluft (Guenter et al. 2020).

Eine entscheidende Bedeutung bei der Ausbreitung von Viren in Innenräumen kommt dem Raumluftaustausch zu. Bei einer freien Lüftung von Räumen durch geöffnete oder angekippte Fenster ist es sehr schwierig einen genauen Wert für die Luftwechselzahl anzugeben, da der Luftaustausch mit der Umgebung von Art und Größe der Fensteröffnung sowie den Wind- und Temperaturverhältnissen abhängt. Am effektiv-

ten zur Lufterneuerung ist eine Querlüftung, d.h. das Öffnen von gegenüberliegenden Fenstern in einem Raum.

Schon im Jahr 1858 hat der erste Hygieniker Deutschlands, Max von Pettenkofer, festgestellt, dass die Raumluftkonzentration an Kohlendioxid ein Gradmesser für die Raumluftqualität ist und legte eine obere Grenze von 0,1 Volumenprozent (1000 ppm) fest, die möglichst nicht überschritten werden sollte. Dieser Wert hat sich als Orientierungswert für die Raumluftqualität bis heute bewährt.

Die Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (2008) leitete aus den Ergebnissen von Interventionsstudien gesundheitlich-hygienisch begründete Leitwerte für CO<sub>2</sub> in der Raumluft ab. Danach gilt eine Raumluftkonzentration von unter 1000 ppm Kohlendioxid als unbedenklich, Konzentrationen zwischen 1000 bis 2000 ppm als auffällig und Konzentration über 2000 ppm als inakzeptabel.

In verschiedenen wissenschaftlichen Untersuchungen wurde festgestellt, dass bei Konzentrationen über 1000 ppm sich das Wohlbefinden, die Aufmerksamkeit und Leistungsfähigkeit von Schülern verschlechterte. Bei Konzentrationen über 1500 ppm klagten Schüler über Kopfschmerzen, Müdigkeit, Schwindel und Konzentrationsschwäche. Eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Konzentration in der Innenraumluft durch verstärktes Lüften erhöhte die Aufmerk-

samkeitsleistung, führte zu einer intensiveren Kommunikation zwischen Schülern und Lehrern und einem reduzierten Geräuschpegel. Eine Erhöhung der Lüftungsrate resultierte in einer weiteren Untersuchung in einer signifikanten Verbesserung der Leistungsfähigkeit der Schüler insbesondere in Bezug auf die Schnelligkeit und Fehlerfreiheit bei der Bearbeitung von Aufgaben im Schulunterricht. In Auswertung dieser Ergebnisse empfahl die Ad-hoc-Kommission des Umweltbundesamtes, dass bei Überschreitung eines Wertes von 1000 ppm CO<sub>2</sub> in der Raumluftkonzentration gelüftet werden soll. Die zur Senkung des Corona-Risikos in Schulen empfohlene Lüftung der Klassenräume alle 20 Minuten, kann damit gleichzeitig zur Verbesserung der Leistungen der Schüler beitragen. Hierbei ist jedoch das Erkältungsrisiko für die Schüler und Lehrkräfte in den Herbst- und Wintermonaten zu beachten.

In Schulen und anderen Gemeinschaftsräumen werden zurzeit vermehrt CO<sub>2</sub>-Messgeräte eingesetzt, um bei Erreichen des Orientierungswertes eine Frischluftzufuhr durchzuführen. Man muss jedoch beachten, dass die Kohlendioxid-Raumluftkonzentration keine eindeutige Korrelation zu einer möglichen Viruslast darstellt, da CO<sub>2</sub> von allen Personen im Raum emittiert wird, infektiöse Viren aber meist nur von einzelnen Personen.

Die Lüftung von Räumen senkt aber nicht nur die Viruslast und die Kohlendioxidkonzentrationen, sondern es werden auch die aus

Einrichtungsgegenständen des Raumes emittierten flüchtigen organischen Substanzen (VOC) abgeführt, die bei mangelnder Lüftung im Raum häufig ein kritisches Niveau erreichen, welches auch mit gesundheitlichen Beschwerden verbunden sein kann.

In einer wichtigen Arbeit der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (RWTH) Aachen und der Heinz Trox Wissenschafts gGmbH wurde das Infektionsrisiko durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen eingeschätzt (Müller et al. 2020). Hierbei ging man vereinfachend davon aus, dass das Infektionsgeschehen mit der Anzahl der eingeatmeten Viren linear steigt d.h., dass das Infektionsrisiko proportional zur Anzahl der eingeatmeten Viren ist. Als Referenzumgebung wurde eine Wohnung der durchschnittlichen Wohnsituationen in Deutschland betrachtet mit einer Wohnfläche von 46 m<sup>2</sup> pro Kopf zweier anwesenden Personen, bei einem Austausch der gesamten Raumluft alle 2 Stunden und einer Aufenthaltsdauer von 8 Stunden. Dieses Szenario entspricht auch in etwa dem Home-Office. Eine Übertragung des Virus durch Kontaktflächen oder Tröpfcheninfektion ist hierbei nicht berücksichtigt.

Um die Wahrscheinlichkeit zu berechnen, einer infizierten Person zu begegnen, wurde für Anfang August 2020 von etwa 10.000 aktuell infizierten Personen und einer Bevölkerungszahl von 83.000.000 Einwohnern ausgegangen. Weiterhin legte man verschiedene unterschiedliche

Raumparameter und Nutzungen fest. Betrachtet wurden hierbei das Einfamilienhaus, Klassenräume, Büros, Hörsäle, Messehallen und Fahrzeuge.

Der Vergleich des relativen Infektionsrisikos in unterschiedlichen Umgebungen ergab:

- Im Falle eines mit 4 Personen bewohnten Einfamilienhauses liegt bei einer angesetzten Luftwechselrate von 0,5/h das Infektionsrisiko bereits um ein Drittel höher als in der Referenzwohnung. Wenn bei einer Familienfeier oder einem anderen Anlass 20 Personen anwesend sind, liegt das relative Infektionsrisiko bei gleichem Lüftungsverhalten bei etwa 6,6. Um das relative Risiko wieder auf 1 abzusinken, wäre ein 3,3-facher Luftwechsel pro Stunde notwendig.

- Wenn man im Fall von Klassenräumen von einem halben Luftwechsel pro Stunde ausgeht – was bei ungünstigen Außenbedingungen und unzureichend genutzter Fensterlüftung durchaus realistisch ist – ergäbe sich bei einer angenommenen maximalen Besetzung von 35 Personen ein fast 12-fach so hohes Infektionsrisiko wie in der Referenzumgebung. Reduzierte man die Belegung auf 18 Personen, wäre für ein relatives Risiko von 1 noch ein dreifacher Luftwechsel pro Stunde, d.h. ein Volumenstrom von 630 m<sup>3</sup>/Stunde notwendig. Ein solcher Volumenstrom ist ganzjährig nur durch eine lüftungstechnische Anlage bereitzustellen. Hierbei muss jedoch nach Ansicht der Autoren gesichert werden, dass die Lern-

umgebung nicht durch das von der Lüftungsanlage ausgehende Strömungsgeräusch negativ beeinflusst wird.

- In einem Mehrpersonenbüro wäre für ein relatives Risiko von 1 ein etwa 2,5-facher Luftwechsel pro Stunde notwendig, während für ein Großraumbüro in einer Besetzung mit 33 Personen etwa der 1,5-fache Luftwechsel pro Stunde ausreichen würde.

- In einem Hörsaal für 1000 Personen genügt wegen des großen Raumvolumens bei Vollbesetzung ein 3,3-facher Luftwechsel pro Stunde aus, um ein relatives Risiko von 1 zu erreichen. Diese Luftwechselzahl ist mit einer guten raumluftechnischen Anlage meist problemlos zu erreichen.

- In einer Messehalle liegt das Infektionsrisiko bei typischen Luftwechselraten deutlich unterhalb des Risikos in der häuslichen Referenzumgebung. Die flächenbezogene Personendichte ist ähnlich der eines Klassenraums, jedoch steht jeder Person eine deutlich größere vertikale Luftsäule zur Verfügung, welche jedoch durch Standaufbauten verringert werden würde. Allerdings ist nicht immer zu erwarten, dass die Durchmischung der Raumluft homogen ist und es können lokal höhere Aerosolkonzentrationen auftreten. Für die Berechnung wurde eine Luftwechselrate von 3/h angenommen.

- In einem mit 2 Personen besetzten Fahrzeug sind etwa 25 Luftwechsel pro Stunde erforderlich, um einem vergleichbaren Risiko

wie in der Referenzumgebung ausgesetzt zu sein. Bei 4 Personen würde sich das relative Risiko verdoppeln. Bei 5 Personen im Fahrzeug müsste der Luftwechsel auf 32/h erhöht werden, um das Risiko der Referenzwohnung zu erreichen. Für den Vergleich unterschiedlicher Transportmittel wurde eine Strecke von Düsseldorf nach Berlin angenommen. Die hohen Luftwechselzahlen sind wegen des geringen Luftraums in der Fahrzeugkabine erforderlich. Allerdings kann man im Auto durch Erhöhen der Gebläsestufen bzw. durch Fenster öffnen die Luftwechselzahl gut beeinflussen und auch kurzfristig schnell erhöhen.

- In einem Flugzeug würde für Kurz- und Mittelstreckenflüge auch bei einer Vollbesetzung mit 180 Personen ein 6,4-facher Luftwechsel pro Stunde für ein relatives Infektionsrisiko von 1 ausreichen. Bei 60 Reisenden, d.h. 1/3 Besetzung der Plätze des Flugzeugs, reduziert sich auch das Risiko auf 1/3. Realistisch ist im Flugzeug eine Luftwechselrate zwischen 11 und 15/h, woraus ein geringes relatives Infektionsrisiko bei maximaler Besetzung auf etwa 0,58 bzw. 0,42 berechnet wurde.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit, dass ein relatives Infektionsrisiko durch Aerosole bei ausreichend großen Luftwechselraten in allen betrachteten Vergleichsumgebungen von <1 erreicht werden kann, d.h. in diesen Fällen ist das Infektionsrisiko durch belastete Aerosole geringer als in der Referenzumgebung einer typischen Wohnung.

Ergänzend ist hier aber aus wohnmedizinischer Sicht hinzu-zufügen, dass ein angenommener Luftwechsel von 0,5/h zwar über übliche Fenster in Altbauwoh-nungen problemlos erreicht wird, dass aber natürlich belüftete Räu-me mit ökonomisch optimierten, d.h. abgedichteten Fenstern im allgemeinen Luftwechselzahlen erheblich unter obigem Wert ha-ben. In diesen Fällen ist der aus hygienischer Sicht erforderliche Luftwechsel – auch ohne jede Be-trachtung der Corona-Infektions-gefahr – nur durch regelmäßiges, täglich mehrmalig erfolgendes, aktives Lüften durch Bewohner (Fenster öffnen) zu sichern!

Müller et al. (2020) betonen, dass zwar die berechneten Werte ihrer Untersuchung keine abso-lute Sicherheit indizieren, dieser Bezug aber eine Abwägung weitergehender Schutzmaßnah-men erlaubt. Für Klassenräume empfehlen die Autoren wegen der hohen Belegungsdichten und der langen Aufenthaltsdauer hohe Luftwechselraten, um das Risiko im Bereich von 1 zu halten, sowie zusätzlich in der Praxis eine CO<sub>2</sub>-Ampel als Indikator für die per-sonengebundene Außenluftmenge zu verwenden.

Abschließend geben Müller et al. (2020) einen Ausblick, um das Rechenmodell der vorliegenden Studie in einem nächsten Schritt zu verbessern. Berücksichtigt werden sollten dabei künftig un-terschiedliche Infektionsgesche-hen unter Einbeziehung lokaler Hotspots und Infektionsherde, verschiedene Aktivitätslevel mit unterschiedlichen Atemvolumen-

strömen, verschieden laute Sprechanteile, lokale Effekte realer Mischlüftungen und insta-tionäre Effekte der Raumluftströ-mungen, wie Speicherkapazität des verfügbaren Raumvolumens und natürliche Lüftungsszenarien mit Quer- und Stoßlüftung.

Die in der Studie von Müller und Mitarbeiter nicht berücksichtigte Intensität des Ausströmens der Atemluft ist zumindest aber für den Gesangsaktivitäten inzwi-schen durch wissenschaftliche Daten belegt. Ausgangspunkt der Forschung in dieser Beziehung war die Feststellung, dass lokale Ausbrüche von Erkrankungen durch SARS-CoV-2-Viren auf Veranstaltungen mit Chorsingen zurückgeführt werden konnten.

Tröpfchen und Aerosole werden beim Singen intensiv von der Mundöffnung an die umgebende Luft abgegeben. Das damit zu-sammenhängende Risikoprofil wurde von Mürbe et al. (2020) aus der Klinik für Audiologie und Phoniatrie der Charité sowie dem Institut für Hygiene und Umwelt-medin in Berlin untersucht:

Stimmklang entsteht durch das Zusammenwirken der Atmung, der Phonation (Klangentstehung im Kehlkopf) sowie der Artiku-lation, d.h. der Klangformung im Vokaltrakt. Die aufgespannten Stimmlippen im Kehlkopf werden hierbei durch einen wechselnden Anblasedruck zum Schwingen gebracht. Dieser primäre Stimm-schall breitet sich durch den Vokaltrakt, d.h. die luftgefüllten Räume des Rachens, bis zur Mund-öffnung aus und wird durch die

Artikulation d. h. die Einstellung dieser luftgefüllten Räume akus-tisch verstärkt oder gedämpft. Der Stimm-schall selbst wird nicht durch den Atemstrom transpor-tiert, sondern dieser breitet sich durch eine Verdichtung bzw. Ver-dünnung der Luft aufgrund von schwingenden Molekülen aus.

Mikroaerosole entstehen bereits in der Lunge, aber auch durch die Berührung der schwingenden Stimmlippen und werden mit dem Atemstrom nach außen getragen. Hierbei können insbesondere grö-ßere Partikel bei der Artikulation von Konsonanten im Vokaltrakt entstehen. Man unterscheidet Rei-belaute, sog. Frikative (wie f) oder Verschlusslaute, sog. Plosive (wie p und t), welche zu „feuchter Aus-sprache“ führen können. Es wird angenommen, dass unterschied-liche Arten der Stimmgebung wie Sprechen oder Singen sowie verschiedene Stimmintensitäten zu unterschiedlichen Größen und Dichten der Tröpfchen und Aero-sole führen. Für eine Übertragung infektiöser Erreger durch das Sprechen und Singen sind auch das individuelle Risikoprofil des potentiellen Empfängers (Immun-status, Vorerkrankung, Alter) und die Anzahl der übertragenen Viren (Viruslast) zu beachten.

Zusätzlich zu den prinzipiellen Maßnahmen zur Verringerung der Infektionsgefahr (Händehygiene, Hustenetikette, Abstandsregeln, Raumgröße, Lüftung, Mundna-senschutz) geben Mürbe et al. für das Singen folgende Empfehlung:

Für Einzelunterricht Gesang:

- Begrenzung auf zwei im Raum befindliche Personen

- wählen des größtmöglichen Unterrichtsraumes

- Abstand zum Lehrenden von mindestens 3 m und ggf. Einsatz eines Spritz- und Spuckschutzes = Tröpfchenschutz (Plexiglasaufsteller/-Aufhänger)

- permanente oder häufige Lüftung bzw. Reduktion/Unterbrechung der Unterrichtszeit

- Mundnasenschutz des Lehrenden

- Verringerung des Kontaktes zu Oberflächen.

Für Gemeinsames Singen im öffentlichen Raum (z.B. Gottesdienst):

- vergleichsweise großes Raumvolumen

- ggf. zusätzliche Lüftung

- Mundnasenschutz der mit Abstand platzierten Zuhörer (z.B. Gemeindemitglieder)

- so wenig wie möglich Kontakt zu Oberflächen

Besonders kritisch wird der Chor-/Ensemblegesang gesehen. Oft genug ist hier das Halten des erforderlichen Abstands schwierig bzw. nicht möglich, die Zeit des Singens lang und die Raumgröße sowie Lüftungsmöglichkeiten sind unbefriedigend. Die Praktikabilität des Tragens eines Mundnasenschutzes für die Sänger wird

im künstlerischen Kontext als fraglich angesehen. Im professionellen Bereich von Oper und Konzert bestehen ähnliche räumliche Probleme. Im solistischen Bereich ist aufgrund der höheren Stimmstärken das Risiko einer Verbreitung von Infektionen aber nicht höher, da man von einer professionellen Kontrolle der artikulatorischen Aktivität, d.h. einer hohen Effizienz der Stimmlippen-schwingungen mit geringem „Luftverbrauch“ ausgeht.



Abb. 2: Chorauftritt (Quelle: Peter Markl auf Pixabay)

Intensiv wird in den letzten Monaten der Einsatz von Luftreinigern zur Reduzierung infektiöser Aerosole in Schulklassen diskutiert. Atmosphärenforscher der Goethe-Universität Frankfurt fanden heraus, dass handelsübliche Luftreiniger der Filterklasse HEPA (H 13) die Aerosolkonzentration in einem Klassenzimmer in einer halben Stunde um 90 % senken können (Curtius et al. 2020). Hierzu wurden 4 Luftreiniger (Philips AC2887/10) mit einer Filterleistung von 99,95 % der Partikel in der Größenordnung von 0,1-0,3 µm, in einer Schulklasse mit 27

Schülern getestet. Die Geräte waren mit einem Vorfilter für groben Staub sowie einem HEPA- und einem Aktivkohlefilter ausgestattet und setzten zusammen zwischen 760-1460 m<sup>3</sup> Luft pro Stunde um. Ein Gerät hat die Abmessungen 24 × 35,9 × 55,8 cm und ist online für ca. 300 € erhältlich. Für die 4 Geräte müssten also 1200 € pro Klassenzimmer ausgegeben werden. Hinzu kommt, dass laut Herstellerangaben der ca. 45 € teure Nano-Filter des Gerätes mindes-

tens alle 2 Jahre und der Aktivkohlefilter (30 €) alle 12 Monate ausgetauscht werden muss.

Es wird eine Luftwechselrate zwischen 4-10/h empfohlen und auf Basis der Messdaten eingeschätzt, dass bei einem Aufenthalt in einem geschlossenen Raum mit einem „Superspreader“ durch die reduzierte Menge an Aerosolen die Ansteckungsgefahr sehr deutlich – bei einer Luftaustauschrate von insgesamt 5,4/h um den Faktor 6 – reduziert würde.

Die Forscher weisen darauf hin, dass es vorteilhaft sein kann, mehrere kleinere Geräte in einem Raum zu platzieren, um eine homogene Luftaustauschrate zu erhalten. Lärmmessungen sowie eine Umfrage unter Lehrern und Schülern zeigten, dass die Geräusche der eingesetzten Geräte vorwiegend nicht als störend empfunden wurden, wenn sie nicht auf der höchsten Stufe liefen.

Regelmäßiges Lüften der Klassenräume ist aber trotzdem erforderlich, denn diese Geräte ändern nichts an der Kohlendioxid-Konzentration im Unterricht!

Wie ist nun das Infektionsrisiko für Coronaviren im Zugverkehr einzuschätzen?

auszusetzen. Zu dieser Frage beauftragte die Deutsche Bahn Fernverkehr AG die Charité in Berlin wissenschaftliche Untersuchungen durchzuführen. Studiendesign: Es wurden im Rahmen einer prospektiven epidemiologischen Studie zwischen dem 29. Juni und 3. Juli 2020 1073 Mitarbeiter des Fernverkehrs auf akute Infektionen und überstandene Sars-COV-2-Infektionen untersucht (Charité Research Organization GmbH). Hierzu erfolgten Nasen-/Rachenabstriche, PCR Tests und Bluttests auf IgG-Antikörper sowie eine Befragung mittels Fragebogen. Das Ziel war die Bestimmung von Prävalenz und Inzidenz innerhalb einer repräsentativen Stichprobe aus Zugbegleitpersonal (58 %

positiv – diese Person arbeitete in einem Werk der Bahn, bei den Antikörpertests fielen 24 von 1064 positiv aus, dabei hatten Zugbegleiterinnen und -begleiter mit 1,3 % den niedrigsten Wert aller Mitarbeitenden. Das widerspricht der Erwartung, dass Zugbegleiter mit einer hohen berufsbedingten Kontaktexposition im Vergleich mit den anderen beiden Gruppen eine relativ hohe Seroprävalenz aufweisen sollten. Eine Erklärung hierfür könnte sein, dass die Zugbegleiter im Vergleich zu den anderen Berufsgruppen während der Arbeitszeit am häufigsten einen Mund-Nasen-Schutz getragen haben, was sich auch bei der Auswertung der Angaben in den Fragebögen zeigte.



Abb. 3: Reisende im öffentlichen Nahverkehr (Quelle: TheOtherKev auf Pixabay)

Viele Reisende treten nicht oder nur ungern eine Zugfahrt an, um sich nicht einem erhöhten Risiko für eine COVID-19-Infektion

der Teilnehmenden), Triebfahrzeugführern (23 %) und Werkhandwerkern (19 %). Ergebnis: Von den Infektionstests war einer

Ein interessanter Nebenbefund war, dass Mitarbeitende die sich nach eigenen Angaben im Winter 2019/2020 gegen Grippe impfen



Abb. 4: Beim Husten und Niesen besser in die Ellenbogenbeuge (Quelle: Pexels auf Pixabay)

ließen, eine deutlich niedrigere Seroprävalenz aufwiesen, als diejenigen ohne Grippeimpfung. Die Autoren konnten jedoch gegenwärtig noch nicht mit Sicherheit die Frage beantworten, ob diese Beobachtung zufälliger Natur ist, oder ob tatsächlich hier ein kausaler Zusammenhang vorliegt.

In der Diskussion wird zusammenfassend beurteilt, dass von Zugbegleitern mit hohem Personenkontakt offenbar kein erhöhtes

Infektionsrisiko ausgeht und umgekehrt, dass diese durch hohen Personenkontakt anscheinend auch nicht gefährdet sind, sich verstärkt anzustecken.

Passagiere haben hinsichtlich Dauer und Frequenz von Personenkontakten während der Reise ein anderes Risiko als die Zugbegleiter. Es kann gegenwärtig noch nicht eingeschätzt werden, ob dieses Risiko höher ist, beispielsweise durch längeren Kontakt mit

einem infizierten Sitznachbarn, oder geringer ist wegen der insgesamt kürzeren Aufenthaltsdauer im Zug. Es gibt jedoch keine Anzeichen in der Studie dafür, dass längere Aufenthalte im Zugabteil zu einem erhöhten Infektionsrisiko führen. Auf die Notwendigkeit des Tragens eines Mundnasenschutzes während der Bahnfahrt für Passagiere und Mitarbeiter der Bahn wird noch einmal hingewiesen. Das Forschungsprojekt erfolgt in 3 Stufen: gegenwärtig



wird eine 2. Testrunde durchgeführt, eine 3. ist für Februar 2021 vorgesehen.

Zum Risiko der Ansteckungsgefahr im öffentlichen Personennahverkehr liegen noch keine speziellen Studien vor. Eine aktuelle Metaanalyse mit Meldedaten zu COVID-19-Fallzahlen in 149 Ländern der Welt vom 1. Januar bis 30. Mai 2020 untersuchte aber Maßnahmen der physikalischen Distanzierung auf deren Effekt zur Reduzierung der Corona-Pandemie (Islam et al. 2020). Hierbei zeigte sich, dass Schließungen von Schulen und Arbeitsplätzen, Reduzierung von Massenversammlungen und großen öffentlichen Veranstaltungen sowie Bewegungseinschränkungen (Lockdowns) die COVID-19-Fallzahlen deutlich reduzieren konnten. Die Schließung der öffentlichen Transportmittel war jedoch mit keinem zusätzlichen Effekt zur Reduktion der COVID-19-Inzidenz verbunden. Die Autoren weisen jedoch darauf hin, dass in dieser Zeit der Pandemie die Verkehrsmittel weniger ausgelastet waren, was sicher die Dichtheit der Kontakte deutlich reduzierte.

Diese Situation ist natürlich dann anders einzuschätzen, wenn sich in den Hauptverkehrszeiten Menschen in den Verkehrsmitteln so zusammendrängen, dass es kaum noch Distanzen zwischen ihnen gibt. Dieses zeitweilige, erhebliche Unterschreiten der empfohlenen Abstände kann dann eine Übertragung von Viren und anderen Mikroorganismen erheblich begünstigen. Hier könnte eine Schutzmaske mit zertifizierter,

viruswirksamer Filterkapazität ein guter Schutz sein.

Zusammenfassend zeigen die neuen Forschungsergebnisse, dass man das Risiko, sich an SARS-CoV-2-Viren zu infizieren, durchaus berechnen und daraus Schlussfolgerungen für die Prophylaxe ableiten kann. Die bewährten Maßnahmen der Hygiene: Abstand, gründliches Händewaschen, Disziplin beim Husten und Niesen, Masken tragen, ausreichend Lüften, Benutzen der Corona-App, sind fortzusetzen. Da sich inzwischen die Versorgungslage mit gut filternden Masken im Handel deutlich verbessert hat, sollten zumindest Risikopersonen mit einer erhöhten Disposition gegenüber Sars-COV-2-Viren (immungeschwächte und Personen im höheren Lebensalter) FFP2 (KN95)-Masken oder – wenn diese nicht ausreichend verfügbar sind – chirurgische Gesichtsmasken zur Corona-Prophylaxe benutzen.

In Schulen und vergleichbaren Räumen ist zu empfehlen, zur Senkung der Viruslast wirksame, bewegliche Raumluftfiltergeräte einzusetzen. Langfristig erscheint es sinnvoll, für Räume, in denen sich ständig viele Menschen aufhalten, stationäre raumlufttechnische Anlagen vorzusehen.

Die Intensität der Aerosolerzeugung durch stimmliche Aktivitäten ist zu beachten (Singen, Schreien).

Nach den gegenwärtig vorliegenden Untersuchungen bestehen bei Beachten der bewährten Hygiene-

konzepte weder im Flugzeug noch in der Bahn erhöhte Risiken an COVID-19 zu erkranken. Weitere Untersuchungen mit praxisnahen Szenarien werden empfohlen, um die Erkenntnisse zur Gefahr durch virusbelastete Aerosole im umbauten Raum noch weiter zu vertiefen.

#### Literatur

*Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden (2008): Gesundheitliche Bewertung von Kohlendioxid in der Innenraumluft. Mitteilungen der Ad-hoc-Arbeitsgruppe Innenraumrichtwerte der Innenraumluftthygiene-Kommission des Umweltbundesamtes und der Obersten Landesgesundheitsbehörden. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2008 • 51:1358–1369 DOI 10.1007/s00103-008-0707-2*

*Charité Research Organization GmbH (2020): Longitudinaluntersuchung über Corona-Infektionen und CoronaImmunitäten bei unterschiedlichen Mitarbeitergruppen der Deutschen Bahn Fernverkehr AG. <https://www.deutschebahn.com/resource/blob/5581114/836fa701a5b73aa513bc3fdb30419efd/Kurzfassung-Studie-Charite-data.pdf>*

*Chu, D. K., Aki, E. A., Duda, S., Solo, K., Yaacoub S. (2020): Physical distancing, face masks, and eye protection to prevent person-to-person transmission*

- of SARS-CoV-2 and COVID-19: a systematic review and meta-analysis. *Lancet* 395, ISSUE 10242, P1973-1987. DOI:[https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(20\)31142-9](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(20)31142-9)
- Curtius, J., Granzin, M., Schrod, J. (2020): Testing mobile air purifiers in a school classroom: Reducing the airborne transmission risk for SARS-CoV-2. Preprint: <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.10.02.20205633v2.full.pdf>
- Fears, A., Klimstra, C., William, B.; Duprex, P., Hartman, A., Weaver, S. C., Plante, K. S. et al. (2020): Persistence of Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2 in Aerosol Suspensions. In: *Emerging infectious diseases* 26 (9). DOI: 10.3201/eid2609.201806.
- Guenther, T., Czech-Sioli, M., Indenbirken, D., Robitailles, A., Tenhaken, P., Exner, M. et al. (2020): Investigation of a superspreading event preceding the largest meat processing plant-related SARS-Coronavirus 2 outbreak in Germany. In: *SSRN Journal*. DOI: 10.2139/ssrn.3654517.
- Islam N., Sharp S. J., Chowell G., Shabnam S., Kawachi I., Lacey B et al. (2020): Physical distancing interventions and incidence of coronavirus disease 2019: natural experiment in 149 countries. *BMJ*. Jul 15;370:m2743. doi: 10.1136/bmj.m2743. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32669358/>
- Li, Y., Qian, H., Hang, J., Chen, X., Hong, L., Liang, P. et al. (2020): Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. *Nature Medicine* <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0843>
- Leung, NH., Chu, DW., Shiu ,EY. et al. (2020): Respiratory virus shedding in exhaled breath and efficacy of face masks. *Nature Medicine* <https://doi.org/10.1038/s41591-020-0843>
- Müller, D., Rewitz, K., Derwein, D., Burgholz, T. M. (2020): Vereinfachte Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen, RWTH Aachen Institute for Energy Efficient Buildings and Indoor Climate (EBC), Heinz Trox Wissenschafts gGmbH. <https://publications.rwth-aachen.de/record/795437/files/795437.pdf>
- Mürbe, D., Bischoff P., Fleischer M., Gastmeier P. (2020): Beurteilung der Ansteckungsgefahr mit SARS-CoV-2-Viren beim Singen. Charité, Klinik für Audiologie und Phoniatrie, Institut für Hygiene und Umweltmedizin: [https://audiologie-phoniatry.charite.de/fileadmin/user\\_upload/microsites/m\\_cc16/audiologie/Allgemein/Singen\\_und\\_SARS-CoV-2\\_Prof.\\_M%C3%BCrbe\\_et\\_al.\\_04052020.pdf](https://audiologie-phoniatry.charite.de/fileadmin/user_upload/microsites/m_cc16/audiologie/Allgemein/Singen_und_SARS-CoV-2_Prof._M%C3%BCrbe_et_al._04052020.pdf)
- van Doremalen, N., Bushmaker T., Morris DH., et al (2020): Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as compared with SARS-CoV-1. *New England Journal of Medicine* 2020; 382(16): 1564-1567
- Xie, X, Li, Y., Chwang, A. T. Y., Ho, P. L., Seto, W. H. (2007): How far droplets can move in indoor environments--revisiting the Wells evaporation-falling curve. *Indoor air* 17 (3), S. 211–225. DOI: 10.1111/j.1600-0668.2007.00469.x.

Prof. Dr. med. Klaus Fiedler, Berlin