

Ersetzt:

–

Ausgabe: 2021-11

ICS-Code: 91.140.30

REHVA COVID-19 Leitfaden – Version 4.1

TRSWKI VA104-01

Referenznummer:
TRSWKI VA104-01:2021

Gültig ab:
2021-11-15

Herausgeber:
Schweizerischer Verein von
Gebäudetechnik-Ingenieuren
Solothurnstr. 13, CH-3322 Urtenen-Schönbühl
© SWKI

Anzahl Seiten:
48

Preisgruppe:
Z

In der vorliegenden Publikation ist für Personen- und Funktionsbezeichnungen immer die männliche Form gewählt. Die Bezeichnungen gelten sinngemäss auch für weibliche Personen.

Allfällige Korrekturen zur vorliegenden Publikation sind zu finden unter www.swki.ch/korrigenda.

Der SWKI haftet nicht für Schäden, die durch die Anwendung der vorliegenden Publikation entstehen können.

2021-11 1. Auflage

Nationales Vorwort

Die Verbände und Institutionen der Gebäudetechnik-Branche wurden in den vergangenen Monaten von der Öffentlichkeit und anderen Institutionen immer wieder aufgefordert, entsprechende Empfehlungen zum Umgang mit der Corona-Pandemie im Zusammenhang mit den gebäudetechnischen Anlagen abzugeben.

Bereits früh nach Ausbruch der Corona-Pandemie in Europa im Frühling 2020 veröffentlichte die REHVA (*Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations*) einen Leitfaden zum Umgang mit SARS-CoV-2.

Seitdem wurden von der REHVA vier weitere – immer wieder an den aktuellen Stand der Erkenntnisse aus Forschung und Praxis angepasste – Versionen des Leitfadens veröffentlicht. Die aktuelle Fassung des REHVA-Leitfadens sowie Tools und ergänzende Informationen können unter folgendem Link eingesehen werden:

www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance

Der Leitfaden wird seitens REHVA in englischer Sprache veröffentlicht. Viele Dokumente in der Schweiz und Europa referenzieren auf die Empfehlungen im REHVA-Leitfaden. Bis dato existierte keine offizielle deutsche Übersetzung. Ältere Versionen des REHVA-Leitfadens wurden u. a. von suissetec eigenständig übersetzt oder kommentiert.

Der Schweizerische Verein von Gebäudetechnik-Ingenieuren (SWKI) – als Gründungsmitglied der REHVA – möchte dazu einen Beitrag leisten und stellt mit der vorliegenden Publikation eine inhaltlich unveränderte Übersetzung des REHVA-Leitfadens frei zur Verfügung. Der SWKI dankt der REHVA für die Erlaubnis, den Leitfaden zu übersetzen und zu publizieren.

Die Publikation TRSWKI VA104-01:2021 umfasst die 42 Seiten des REHVA COVID-19 Leitfadens Version 4.1 und das vorliegende nationale Vorwort. Sie ergänzt die Richtlinienreihe SWKI VA104 *Raumlufttechnik – Luftqualität*.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Publikation mitgewirkt haben, sei gedankt.

Arbeitsgruppe TRSWKI VA104-01

REHVA COVID-19 Leitfaden

Betrieb von HLK- und anderen gebäudetechnischen Anlagen zur Vermeidung der Ausbreitung der Erkrankung (COVID-19) durch das Coronavirus (SARS-CoV-2) an Arbeitsplätzen

15. April 2021

Dieses Dokument aktualisiert alle vorherigen Versionen, d. h.: 17. November, 3. August, 3. April und 17. März. Weitere Aktualisierungen werden bei Bedarf folgen.

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung.....	3
2 Übertragungswege	5
3 Heizungs-, Lüftungs- und Klimasysteme im Kontext von COVID-19	10
4 Praktische Empfehlungen für den Betrieb der Gebäudetechnik zur Reduzierung des Infektionsrisikos während einer Epidemie	12
5 Zusammenfassung der praktischen Massnahmen für den Betrieb der Gebäudetechnik während einer Epidemie.....	19
Anhang 1 - Bewertung des Übertragungsrisikos durch die Luft und weitreichende Massnahmen zur Verringerung der Ausbreitung von Viruserkrankungen in zukünftigen Gebäuden mit verbesserten Lüftungssystemen.....	20
Anhang 2 - Inspektion von rotierenden Wärmeübertragern zur Begrenzung interner Leckagen.....	30
Anhang 3 - Lüftung in Patientenzimmern	33
Anhang 4 - COVID-19 Lüftungs- und Gebäudetechnikanleitung für Schulpersonal	35
Rückmeldung	39
Literatur.....	40

1 Einleitung

In diesem Dokument fasst die REHVA Empfehlungen für den Betrieb und die Nutzung gebäude-technischer Anlagen während einer Epidemie von Coronavirus-Erkrankungen (COVID-19) zusammen, um das Risiko einer Übertragung von COVID-19 in Abhängigkeit von HLK- (Heizungs-, Lüftungs- und Klima-)systembezogenen Faktoren zu reduzieren. Die nachstehenden Empfehlungen sollten als *vorläufige* Richtlinien behandelt werden; das Dokument kann durch neue Erkenntnisse und Informationen ergänzt werden, sobald diese verfügbar sind. Es sollte auch beachtet werden, dass das vorliegende Dokument keine Daten über SARS-CoV-2-Varianten (in Grossbritannien, Südafrika, Brasilien usw.) berücksichtigt, und dass spätere Forschung zu diesem Thema bei der Entwicklung und Aktualisierung des Dokuments nicht berücksichtigt wurde. Daher sollten die enthaltenen Empfehlungen unter Berücksichtigung dieser Einschränkung angewendet werden.

Die folgenden Vorschläge sind als Ergänzung zu den allgemeinen Leitlinien für Arbeitgeber und Gebäudeeigentümer gedacht, die im WHO-Dokument [«Getting workplaces ready for COVID-19»](#) vorgestellt werden. Der nachfolgende Text ist in erster Linie für HLK-Fachleute und Facility-Manager gedacht. Er kann auch für Arbeitsmediziner und andere Fachleute nützlich sein, die bei Entscheidungen zur Nutzung von Gebäuden involviert sind.

In diesem Dokument werden Vorsichtsmassnahmen für die Gebäudetechnik behandelt. Der Anwendungsbereich beschränkt sich auf gewerbliche und öffentliche Gebäude (z. B. Büros, Schulen, Einkaufszentren, Sportstätten usw.), in denen nur ein gelegentlicher Aufenthalt von infizierten Personen zu erwarten ist. Es werden einige Empfehlungen für provisorische Krankenhaus- und Gesundheitseinrichtungen gegeben. Wohngebäude fallen nicht in den Anwendungsbereich dieses Dokuments.

Der Leitfaden konzentriert sich auf temporäre, einfach zu organisierende Massnahmen, die in bestehenden Gebäuden umgesetzt werden können, die während oder nach einer Epidemie mit normaler oder reduzierter Belegungsrate in Betrieb sind. Es werden auch einige langfristige Empfehlungen vorgestellt.

Haftungsausschluss:

Dieses Dokument gibt die Ratschläge und die Ansichten der REHVA-Experten wieder, die auf den zum Zeitpunkt der Veröffentlichung verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen über COVID-19 basieren. In vielen Aspekten sind die Informationen zu SARS-CoV-2 unvollständig, und einige Erkenntnisse¹ zu früheren luftgetragenen Viren wurden möglicherweise für Best-Practice-Empfehlungen verwendet. Die REHVA, die Mitwirkenden und alle an der Veröffentlichung Beteiligten schliessen jegliche Haftung für direkte, indirekte, zufällige oder sonstige Schäden aus, die sich aus der Verwendung der in diesem Dokument dargestellten Informationen ergeben oder damit verbunden sein könnten.

¹ In den letzten zwei Jahrzehnten wurden wir mit drei Ausbrüchen von Coronavirus-Krankheiten konfrontiert: (i) SARS in den Jahren 2002–2003 (SARS-CoV-1), (ii) MERS in 2012 (MERS-CoV) und COVID-19 in 2019–2020 (SARS-CoV-2).

Zusammenfassung

In jüngster Zeit wurden neue Erkenntnisse über die luftgetragene Übertragung von SARS-CoV-2 und die allgemeine Anerkennung der aerosolbasierten Übertragung über grosse Entfernungen gewonnen. Dies hat Lüftungsmassnahmen zu den wichtigsten technischen Kontrollen bei der Infektionsbekämpfung gemacht. Während eine physische Distanzierung wichtig ist, um einen engen Kontakt zu vermeiden, kann das Risiko einer luftgetragenen Übertragung und Kreuzinfektion über Entfernungen von mehr als 1,5 m mit angemessener Belüftung und effektiven Luftverteilungslösungen reduziert werden. In einer solchen Situation sind mindestens drei Ebenen der Anleitung erforderlich: (1) wie man die HLK-Technik und andere Gebäudetechnik in bestehenden Gebäuden während einer Epidemie betreibt; (2) wie man eine Risikobewertung durchführt und die Sicherheit verschiedener Gebäude und Räume beurteilt; und (3) was weitergehende Massnahmen wären, um die Verbreitung von Viruserkrankungen in Zukunft in Gebäuden mit verbesserten Lüftungssystemen zu reduzieren. Jeder Raum und jeder Betrieb eines Gebäudes ist einzigartig und erfordert eine spezifische Bewertung. Wir geben 15 Empfehlungen, die mit relativ geringem Aufwand in bestehenden Gebäuden angewendet werden können, um die Zahl der Kreuzinfektionen in Innenräumen zu reduzieren. Was die Luftstromraten betrifft, so ist mehr Belüftung immer besser, aber nicht die einzige Massnahme. Grosse Räume, wie z. B. Klassenzimmer, die nach den aktuellen Normen belüftet werden, sind in der Regel einigermaßen sicher, aber kleine Räume, die von wenigen Personen belegt werden, weisen die höchste Infektionswahrscheinlichkeit auf, selbst wenn sie gut belüftet sind. Obwohl es viele Möglichkeiten gibt, die Belüftungslösungen in Zukunft zu verbessern, ist es wichtig zu erkennen, dass die derzeitige Technologie und das Wissen bereits die Nutzung vieler Räume in Gebäuden während eines COVID-19-Ausbruchs erlauben, wenn die Belüftung den bestehenden Normen entspricht und eine Risikobewertung, wie in diesem Dokument beschrieben, durchgeführt wird.

Die wichtigsten Ergänzungen in der aktualisierten Version (V4.1) sind die folgenden:

- Der Betrieb von mechanischen Lüftungsanlagen in gewerblichen Gebäuden 1 Stunde vor und nach der Gebäudenutzungszeit ist ausreichend, wenn das Gebäude in dieser Zeit mit einem 3-fachen Aussenluftwechsel belüftet wird.
- Empfehlung, bei bedarfsgesteuerten Lüftungsanlagen den CO₂-Sollwert auf 550 ppm zu ändern, um den Betrieb mit Nenndrehzahl aufrechtzuerhalten.
- In den Wärmerückgewinnungsabschnitten von RLT-Anlagen tragen Platten-Wärmeübertrager und Platten-Enthalpieübertrager mit permeablen Membranen nicht zur Virusübertragung bei.

2 Übertragungswege

In jeder Epidemie ist es wichtig, die Übertragungswege des Infektionserregers zu verstehen. Für COVID-19 und für viele andere Atemwegsviren sind drei Übertragungswege dominant: (1) Kombinierte Tröpfchen- und Luftübertragung im Nahkontaktbereich von 1–2 m durch Tröpfchen und Aerosole, die beim Niesen, Husten, Singen, Schreien, Sprechen und Atmen freigesetzt werden; (2) Übertragung über weite Entfernungen über die Luft (aerosolbasiert); (3) Oberflächenkontakt durch Hand-Hand-, Hand-Oberflächen- usw. Kontakte. Die Mittel zur Bewältigung dieser Wege sind physische Distanz zur Vermeidung des engen Kontakts, Belüftung zur Vermeidung der luftgetragenen Übertragung und Händehygiene zur Vermeidung des Oberflächenkontakts. Dieses Dokument konzentriert sich hauptsächlich auf Massnahmen zur Reduzierung der luftgetragenen Übertragung, während persönliche Schutzausrüstung wie das Tragen von Masken nicht Gegenstand des Dokuments ist. Zusätzliche Übertragungswege, die einige Aufmerksamkeit erlangt haben, sind der fäkal-orale Weg und die Resuspension von SARS-CoV-2, die ebenfalls in diesem Dokument behandelt werden.

Die Grösse eines Coronaviruspartikels beträgt 80–160 Nanometer^{2,i} und es bleibt auf Oberflächen viele Stunden oder einige Tage lang aktiv, sofern keine spezifische Reinigung erfolgt^{ii,iii,iv}. In der Raumluft kann SARS-CoV-2 bis zu 3 Stunden und auf Oberflächen bis zu 2–3 Tagen bei üblichen Raumbedingungen aktiv bleiben^v. Ein über die Luft übertragenes Virus ist nicht nackt, sondern befindet sich in ausgestossenen Atemflüssigkeitströpfchen. Grosse Tröpfchen fallen zu Boden, aber kleine Tröpfchen bleiben in der Luft und können weite Strecken zurücklegen, getragen von der Luftströmung in den Räumen und in Abluftleitungen von Lüftungsanlagen sowie in den Zuluftleitungen, wenn die Luft rezirkuliert wird. Es gibt Hinweise darauf, dass die Übertragung über die Luft in der Vergangenheit u. a. die bekannten Infektionen mit SARS-CoV-1 verursacht hat^{vi,vii}.

Ausgestossene Atemtröpfchen, die in der Luft schweben (also luftgetragen sind), haben einen Durchmesser von weniger als 1 µm (Mikrometer = Mikron) bis zu mehr als 100 µm, was die grösste Partikelgrösse ist, die eingeatmet werden kann. Sie werden auch als Aerosole bezeichnet, d. h. als in der Luft schwebende Teilchen, da Tröpfchen flüssige Partikel sind. Die wichtigsten luftgetragenen Übertragungsmechanismen sind in Abbildung 1 dargestellt.

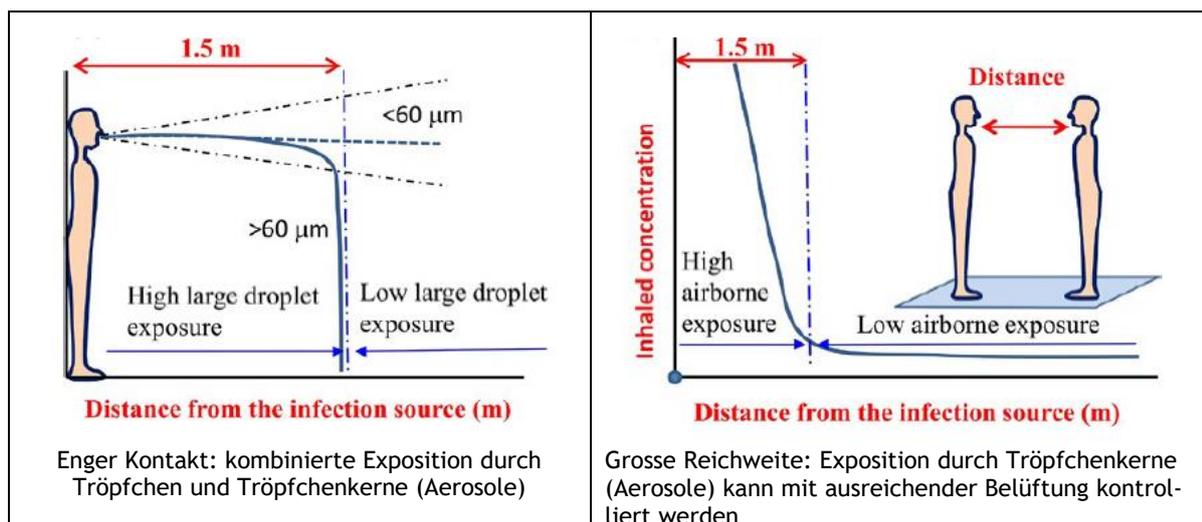


Abbildung 1. Die Unterscheidung zwischen der kombinierten Tröpfchen- und Aerosolübertragung bei engem Kontakt (links) und der Aerosolübertragung über weite Entfernungen (rechts), die durch Belüftung, die die Viruskonzentration auf ein niedriges Niveau verdünnt, kontrolliert werden kann. (Abbildung: mit freundlicher Genehmigung von L. Liu, Y. Li, P. V. Nielsen et al.^{xii})

² 1 Nanometer = 0,001 Mikrometer

In Abbildung 1 bedeuten *High large droplet exposure* «hohe Exposition gegenüber grossen Tröpfchen», *Low large droplet exposure* «niedrige Exposition gegenüber grossen Tröpfchen», *Distance from the infection source* «Distanz von der Infektionsquelle», *Inhaled concentration* «inhalierete Konzentration», *High airborne exposure* «hohe luftgetragene Exposition» und *Low airborne exposure* «niedrige luftgetragene Exposition».

Die Übertragung über die Luft hängt von der Tröpfchengrösse^{viii,ix,x} ab und wird üblicherweise wie folgt in Nah- und Fernbereiche unterteilt:

1. Der Nahbereich für Ereignisse mit engem Kontakt kann durch die zurückgelegte Strecke definiert werden, bevor die Tropfen und grosse Tröpfchen (bis 2000 μm = 2 mm) auf Oberflächen fallen. Bei einer anfänglichen Tröpfchengeschwindigkeit von 10 m/s fallen grössere Tröpfchen innerhalb von 1,5 m herab. Atmungsaktivitäten entsprechen einer Tröpfchengeschwindigkeit von 1 m/s bei normaler Atmung, 5 m/s beim Sprechen, 10 m/s beim Husten und 20–50 m/s beim Niesen. Ausgeschleuderte Tröpfchen verdunsten und trocknen in der Luft aus, so dass die endgültigen Tröpfchenkerne auf etwa die Hälfte oder ein Drittel des Anfangsdurchmessers schrumpfen^{xi}. Tröpfchen mit einem Anfangsdurchmesser von weniger als 60 μm erreichen den Boden nicht, bevor sie vollständig austrocknen und können von Luftströmungen weiter als 1,5 m getragen werden.
2. Die Fernübertragung über die Luft gilt ab 1,5 m Entfernung für Tröpfchen < 60 μm . Die Tröpfchentrocknung ist ein schneller Prozess, z. B. trocknen 50 μm -Tröpfchen in etwa zwei Sekunden und 10 μm -Tröpfchen in 0,1 s zu Tröpfchenkernen mit etwa der Hälfte des ursprünglichen Durchmessers aus³. Tröpfchenkerne <10 μm können von Luftströmungen über weite Strecken getragen werden, da die Absinkgeschwindigkeiten für 10 μm und 5 μm grosse Partikel (Gleichgewichtsdurchmesser von Tröpfchenkernen) nur 0,3 cm/s und 0,08 cm/s betragen, so dass es etwa 8,3 bzw. 33 Minuten dauert, um 1,5 m zu fallen. Aufgrund der sofortigen Austrocknung wird der Begriff «Tröpfchen» häufig für ausgetrocknete Tröpfchenkerne verwendet, die noch etwas Flüssigkeit enthalten, was erklärt, warum Viren überleben können. Tröpfchenkerne bilden eine Suspension von Partikeln in der Luft, d. h. ein Aerosol. Bei effektiver Mischlüftung ist die Aerosolkonzentration ab 1–1,5 m Entfernung nahezu konstant. Diese Konzentration wird am stärksten durch die Luftwechselrate in ausreichend belüfteten Räumen beeinflusst, aber auch durch Ablagerung und Zerfall von virusbeladenen Partikeln reduziert.

Die in Abbildung 2 links dargestellte Fallstrecke von 1,5 m für grosse Tröpfchen gilt, wenn keine Luftbewegung im Raum vorhanden ist. Üblicherweise verursachen die Luftverteilung der Lüftung und die Konvektionsluftströme durch Wärmequellen in typischen Räumen mit menschlicher Belegung Luftgeschwindigkeiten zwischen 0,05–0,2 m/s. Die Verwendung dieser Geschwindigkeiten als untere und obere Grenze zusammen mit den Absinkgeschwindigkeiten der Partikel ermöglicht eine Abschätzung, wie weit sich Tröpfchen bewegen können, bevor sie unter dem Einfluss der Schwerkraft 1,5 m fallen. Diese Schätzungen verdeutlichen, dass selbst grössere Tröpfchen (> 30 μm) deutlich weiter als 1–2 m getragen werden können.

³ Die Physik der in der Luft schwebenden Atemtröpfchen zeigt, dass ein Tröpfchen mit einem anfänglichen Durchmesser von 20 μm in Raumluft mit 50 % relativer Luftfeuchtigkeit innerhalb von 0,24 Sekunden verdampft und in der gleichen Zeit zu einem Tröpfchenkern mit einem Gleichgewichtsdurchmesser von etwa 10 μm schrumpft. Für diesen 10 μm grossen Tröpfchenkern, der noch etwas Flüssigkeit enthält, dauert es 8,3 Minuten, bis er in ruhender Luft 1,5 m tief fällt.

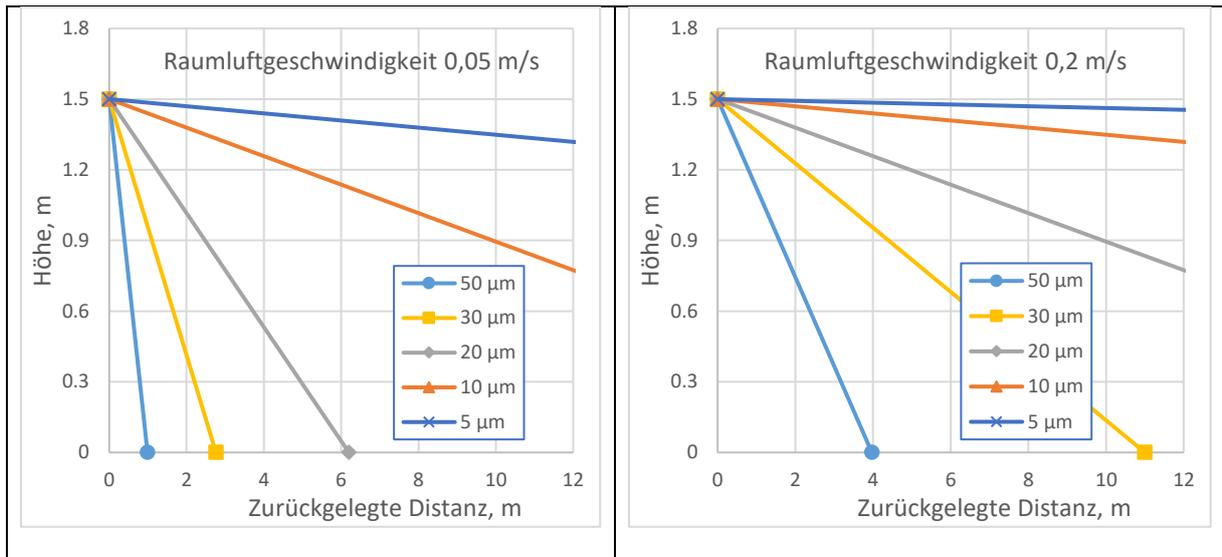


Abbildung 2. Schätzungen der zurückgelegten Distanz für verschiedene Tröpfchengrößen, die von Raumluftgeschwindigkeiten von 0,05 und 0,2 m/s getragen werden, bevor sie sich unter dem Einfluss der Schwerkraft nach 1,5 m absetzen. Die zurückgelegte Distanz berücksichtigt die Bewegung nach dem Abklingen des anfänglichen Strahls und wird mit dem Gleichgewichtsdurchmesser von vollständig ausgetrockneten Atemtröpfchen berechnet (μm -Werte in der Abbildung beziehen sich auf Gleichgewichtsdurchmesser). Bei Turbulenz ist die zurückgelegte Strecke geringer, aber die Absetzzeit ist länger.

Wichtiger als die Entfernung, die Tröpfchen unterschiedlicher Grösse zurücklegen, ist die Entfernung von der Quelle oder der infizierten Person, in der eine niedrige, nahezu konstante Aerosolkonzentration erreicht wird. Wie in Abbildung 1 rechts dargestellt, nimmt die Konzentration der Tröpfchenkerne innerhalb der ersten 1–1,5 Meter nach dem Ausatmen einer Person schnell ab^{xii}. Dieser Effekt ist auf die Aerodynamik der Ausatemströmung und die Strömung in der Mikroumgebung um Personen (Fahne) zurückzuführen. Die Verteilung der Tröpfchenkerne hängt von der Position der Personen, der Luftwechselrate, der Art des Luftverteilungssystems (z. B. Misch-, Verdrängungs- oder persönlichen Lüftung) und anderen Luftströmungen im Raum ab^{xiii}. Daher führt ein enger Kontakt innerhalb der ersten 1,5 Meter zu einer hohen Exposition sowohl gegenüber grossen Tröpfchen als auch gegenüber Tröpfchenkernen, was durch experimentelle und numerische Studien belegt wird^{xii}. Aerosolkonzentrationen und Kreuzinfektionen ab einem Abstand von 1,5 m zu einer infizierten Person können durch angemessene Belüftung und Luftverteilungslösungen kontrolliert werden. Die Wirkung der Belüftung ist in Abbildung 3 dargestellt.

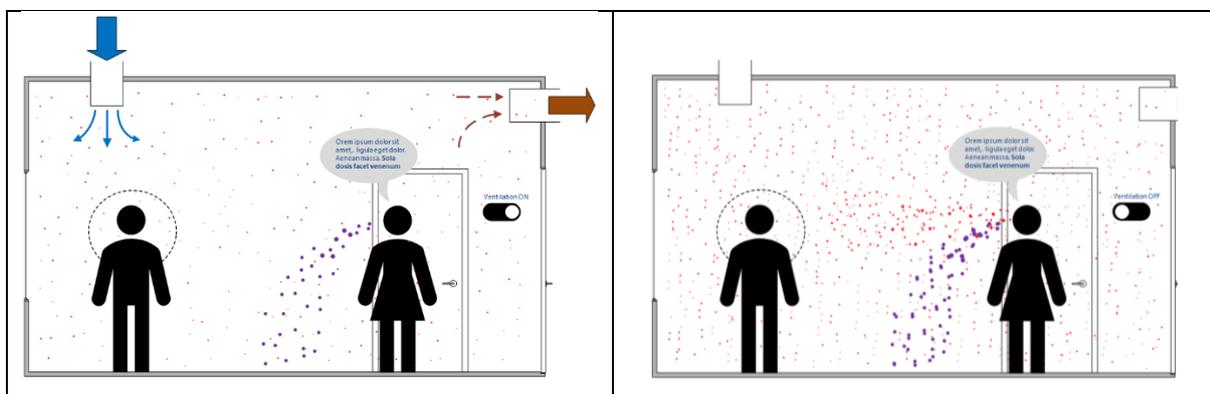


Abbildung 3. Veranschaulichung, wie eine infizierte Person (sprechende Frau rechts) zu einer Aerosolbelastung (rote Spikes) im Atembereich einer anderen Person führt (hier Mann links). Die Ausatmung grosser Tröpfchen ist durch lila Spikes gekennzeichnet. Wenn der Raum mit einer Mischlüftung belüftet wird, ist die Anzahl der virusbeladenen Partikel in der Atemzone viel geringer als bei ausgeschalteter Lüftungsanlage. Linke Abbildung: Lüftungsanlage ein, rechte Abbildung: Lüftungsanlage aus.

Bei SARS-CoV-2 wurde der aerosolbasierte Ferninfektionsweg durch die Exposition gegenüber Tröpfchenkernpartikeln erstmals von der WHO für Aerosol-erzeugende Verfahren in Krankenhäusern anerkannt und im Leitfaden durch Erhöhung der Belüftung angesprochen^{xiv}. Japanische Behörden gehörten zu den Ersten, die die Möglichkeit einer Aerosolübertragung unter bestimmten Umständen ansprachen, z. B. bei Gesprächen mit vielen Personen in kurzem Abstand in einem geschlossenen Raum, und das damit verbundene Risiko einer Infektionsverbreitung auch ohne Husten oder Niesen^{xv}. Danach folgten viele andere Behörden, darunter die US-amerikanische CDC, die britische Regierung, die italienische Regierung und Chinas nationale Gesundheitskommission. Wichtige Hinweise lieferte eine Studie^v, die zu dem Schluss kam, dass eine Übertragung durch Aerosole plausibel ist, da das Virus in Aerosolen mehrere Stunden lang lebensfähig bleiben kann. Analysen von Superspreading-Ereignissen haben gezeigt, dass geschlossene Umgebungen mit minimaler Belüftung stark zu einer charakteristisch hohen Anzahl von Sekundärinfektionen beitragen^{xvi}. Bekannte Superspreading-Ereignisse, bei denen eine Aerosol-Übertragung festgestellt wurde, stammen aus einem Restaurant in Guangzhou^{xvii} und dem Skagit-Valley-Chorale-Ereignis^{xviii}, bei dem die Aussenluftrate nur 1–2 L/s pro Person betrug. Die Tatsache, dass schnell erhebliche Beweise aufgetaucht sind, die darauf hinweisen, dass SARS-CoV-2 über Aerosole übertragen wird, musste von vielen Wissenschaftlern^{xix,xx} erst allgemein anerkannt werden. Bislang haben sowohl das Europäische Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (ECDC) im Rahmen des COVID-19-Reviews zu HLK-Anlagen als auch das deutsche Robert-Koch-Institut den Aerosoltransport anerkannt^{xxi,xxii}. Schliesslich hat die WHO im Juni 2020 nach einem offenen Brief von 239 Wissenschaftlern^{xxiii} die Aerosolübertragung in ihr wissenschaftliches Merkblatt zu den Übertragungswegen aufgenommen^{xxiv}. Generell impliziert ein auf Aerosolen basierender Übertragungsmechanismus über weite Entfernungen, dass ein Abstand von 1–2 m zu einer infizierten Person nicht ausreicht und eine Konzentrationskontrolle mit Belüftung für eine effektive Beseitigung von Partikeln in Innenräumen erforderlich ist.

Eine Übertragung durch Kontakt mit Oberflächen (Infektionsträger) kann auftreten, wenn ausgestossene grosse Tröpfchen auf nahegelegene Oberflächen und Gegenstände wie Schreibtische und Tische fallen. Eine Person kann mit COVID-19 infiziert werden, indem sie eine Oberfläche oder einen Gegenstand berührt, auf dem sich das Virus befindet, und dann ihren Mund, ihre Nase oder möglicherweise ihre Augen berührt, aber die US-amerikanische CDC und andere sind zu dem Schluss gekommen, dass dieser Weg vermutlich nicht der Hauptverbreitungsweg dieses Virus ist^{xxv}.

Die WHO erkennt für SARS-CoV-2-Infektionen^{xxvi} den fäkal-oralen, d. h. Aerosol-/Abwasser-Übertragungsweg an. Die WHO schlägt als Vorsichtsmassnahme vor, Toiletten mit geschlossenem Deckel zu spülen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, ausgetrocknete Abflüsse und Siphons in Fussböden und anderen Sanitäreinrichtungen durch regelmässiges Nachfüllen von Wasser (je nach Klima alle drei Wochen) zu vermeiden, damit der Wasserverschluss entsprechend funktioniert. Dies verhindert die Übertragung von Aerosolen durch das Abwassersystem und steht im Einklang mit Beobachtungen während des SARS-Ausbruchs 2002–2003: Offene Verbindungen mit dem Abwassersystem schienen ein Übertragungsweg in einem Wohnhaus in Hongkong (Amoy Garden)^{xxvii} zu sein. Es ist bekannt, dass bei Toilettenspülungen mit offenen Deckeln aufsteigende Luftströme entstehen, die Tröpfchen und Tröpfchenreste enthalten. SARS-CoV-2-Viren wurden in Stuhlproben nachgewiesen (in neueren wissenschaftlichen Arbeiten und von den chinesischen Behörden berichtet)^{xxviii,xxix,xxx}.

Schlussfolgerung über den aerosolen (luftgetragenen) Übertragungsweg:

In letzter Zeit wurden neue Erkenntnisse und eine allgemeine Anerkennung des aerosolbasierten Übertragungswegs entwickelt. Als die erste Version dieses Dokuments am 17. März 2020 veröffentlicht wurde, schlug die REHVA vor, dem ALARP-Prinzip (*As Low As Reasonably Practicable* bzw. so niedrig, wie vernünftigerweise praktikabel) zu folgen und eine Reihe von HLK-Massnahmen anzuwenden, die helfen, den Aerosolweg in Gebäuden zu kontrollieren. Heute gibt es Beweise für die aerosolbasierte Übertragung von SARS-CoV-2, und dieser Übertragungsweg ist nun weltweit aner-

kannt. Der relative Beitrag der verschiedenen Übertragungswege bei der Verbreitung von COVID-19 wird noch diskutiert. Es ist auch sehr stark situationsabhängig, ob der eine oder der andere Übertragungsweg dominiert. Beispielsweise in Krankenhäusern mit einer sehr hohen Lüftungsrate von 12 Luftwechseln pro Stunde ist die Übertragung über Aerosole weitgehend ausgeschlossen, in schlecht belüfteten Räumen kann sie jedoch dominant sein. Die Übertragungswege sind nach wie vor ein wichtiges Forschungsthema, und es wurde bereits berichtet, dass der aerosolbasierte Weg im Nahbereich die Ansteckung mit Atemwegsinfektionen bei engem Kontakt dominiert^{xxxii}. In der medizinischen Literatur wird inzwischen von einem neuen Paradigma der infektiösen Aerosole gesprochen. Man kommt zum Schluss, dass es keine Beweise gibt, welche die Hypothese unterstützen, dass die meisten Atemwegsinfektionen primär mit der Übertragung durch grosse Tröpfchen verbunden sind und dass Aerosole mit kleinen Partikeln eher die Regel als die Ausnahme sind, im Gegensatz zu den aktuellen Richtlinien^{xxxiii}. Im Zusammenhang mit Gebäuden und Innenräumen besteht kein Zweifel daran, dass das Kreuzinfektionsrisiko bis zu einem Abstand von 1,5 m zu einer Person durch physische Distanzierung und darüber hinaus durch Lüftungslösungen kontrolliert werden kann.

3 Heizungs-, Lüftungs- und Klimasysteme im Kontext von COVID-19

Es gibt viele mögliche Massnahmen, die ergriffen werden können, um COVID-19-Übertragungsrisiken in Gebäuden zu mindern. Dieses Dokument umfasst Empfehlungen für Lüftungslösungen als die wichtigsten ‘technischen Massnahmen’, die in der traditionellen Infektionskontrollhierarchie beschrieben werden (Abbildung 4), um die Umgebungsrisiken einer aerogenen Übertragung zu reduzieren. Gemäss der Hierarchie stehen die Belüftung und andere HLK- und Sanitärmassnahmen auf einer höheren Ebene als die Anwendung von administrativen Kontrollen und persönlicher Schutzausrüstung (einschliesslich Masken). Es ist daher sehr wichtig, Lüftungs- und andere gebäude-technische Systemmassnahmen zum Schutz vor luftgetragenen Übertragungen in Betracht zu ziehen. Diese können in bestehenden Gebäuden zu relativ geringen Kosten angewendet werden, um das Infektionsrisiko in Innenräumen zu reduzieren.



Abbildung 4. Traditionelle Hierarchie der Infektionskontrolle, adaptiert von den US Centers for Disease Control^[xxxiii].

Das Europäische Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten (ECDC) hat für die Gesundheitsbehörden in den EU/EWR-Ländern und im Vereinigten Königreich einen Leitfaden zur Belüftung von Innenräumen im Rahmen von COVID-19^[xxi] erstellt. Dieser Leitfaden richtet sich an Fachleute des öffentlichen Gesundheitswesens und dient als Grundlage für REHVA, um technische und systemspezifische Anleitungen für HLK-Fachleute bereitzustellen. Die wichtigsten Erkenntnisse und Schlussfolgerungen des ECDC lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- Die Übertragung von COVID-19 erfolgt in der Regel in geschlossenen Innenräumen.
- Es gibt derzeit keine Hinweise auf eine Infektion von Menschen mit SARS-CoV-2 durch infektiöse Aerosole, die über die Luftleitungen der Lüftungsanlage verteilt werden. Das Risiko wird als sehr gering eingestuft.
- Gut instandgehaltene HLK-Systeme, einschliesslich Raumklimageräte, filtern grosse Tröpfchen, die SARS-CoV-2 enthalten, sicher. COVID-19-Aerosole (kleine Tröpfchen und Tröpfchenkerne) können sich durch HLK-Systeme innerhalb eines Gebäudes oder Fahrzeugs und eigenständige Raumklimageräte verbreiten, wenn die Luft rezirkuliert wird.
- Der von Raumklimageräten erzeugte Luftstrom kann die Ausbreitung von Tröpfchen, die von infizierten Personen ausgeschieden werden, über längere Strecken in Innenräumen erleichtern.

-
- HLK-Systeme können eine ergänzende Rolle bei der Verringerung der Übertragung in Innenräumen spielen, indem sie die Luftwechselrate erhöhen, die Luftrückführung verringern und die Verwendung von Aussenluft erhöhen.
 - Gebäudeverwalter sollten Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage gemäss den aktuellen Anweisungen des Herstellers instandhalten, insbesondere in Bezug auf die Reinigung und den Wechsel der Filter. Es gibt keinen Nutzen oder Bedarf für zusätzliche Instandhaltungszyklen in Verbindung mit COVID-19.
 - Energiesparende Einstellungen, wie z. B. bedarfsgesteuerte Lüftung mit Zeitschaltuhr oder CO₂-Melder, sollten vermieden werden.
 - Es sollte in Erwägung gezogen werden, die Betriebszeiten von RLT-Anlagen vor und nach der regulären Belegung zu verlängern.
 - Der direkte Luftstrom sollte von Personengruppen weggeleitet werden, um eine Erregerausbreitung von infizierten Personen und eine Übertragung zu vermeiden.
 - Organisatoren und Administratoren, die für Versammlungen und kritische Infrastrukturen verantwortlich sind, sollten mit Unterstützung ihrer Technik-/Instandhaltungsteams Möglichkeiten prüfen, um den Einsatz von Umluft so weit wie möglich zu vermeiden. Sie sollten in Erwägung ziehen, ihre Verfahren für die Verwendung von Umluft in HLK-Systemen auf der Grundlage der vom Hersteller bereitgestellten Informationen zu überprüfen oder, falls dies nicht möglich ist, den Hersteller um Rat zu fragen.
 - Die minimale Luftwechselrate, entsprechend den geltenden Bauvorschriften, sollte jederzeit gewährleistet sein. Eine Erhöhung der Anzahl Luftwechsel pro Stunde verringert das Risiko einer Übertragung in geschlossenen Räumen. Dies kann durch natürliche oder mechanische Lüftung erreicht werden, je nach Einstellung.

In der Leitlinie^{xxxiv} betont das ECDC die Bedeutung der Lüftung und kommt zu dem Schluss, dass die Sicherstellung einer optimalen Belüftung, die an die jeweilige Innenraumumgebung angepasst ist, für die Verhinderung von Ausbrüchen und Übertragungs-Verstärkung entscheidend sein kann. In der Leitlinie wird gefordert, dass die Mindestanzahl von Luftwechseln pro Stunde in Übereinstimmung mit den geltenden Bauvorschriften jederzeit gewährleistet sein muss. Eine Erhöhung der Anzahl der Luftwechsel pro Stunde durch natürliche oder mechanische Lüftung verringert das Risiko einer Übertragung in geschlossenen Räumen. Die Lüftung wird als eine wichtige Methode angesehen, da es keine Beweise für die Wirksamkeit von Methoden zur Dekontamination der Luft (z. B. UV-Licht-Bestrahlung) für den Einsatz in Gemeinschaftseinrichtungen gibt.

4 Praktische Empfehlungen für den Betrieb der Gebäudetechnik zur Reduzierung des Infektionsrisikos während einer Epidemie

Dieser REHVA-Leitfaden zum Betrieb der Gebäudetechnik umfasst 15 Hauptpunkte, wie in Abbildung 5 dargestellt:

1. Lüftungsraten
2. Betriebszeiten der Lüftung
3. Ausser Kraft setzen von Einstellungen der Bedarfssteuerung
4. Fensteröffnung
5. Toilettenlüftung
6. Fenster in Toiletten
7. Toilettenspülung
8. Umluftbetrieb
9. Anlagen zur Wärmerückgewinnung
10. Ventilator-konvektoren und Splitgeräte
11. Heiz-, Kühl- und eventuelle Befeuchtungssollwerte
12. Reinigung von Luftleitungen
13. Aussenluft- und Abluftfilter
14. Instandhaltungsarbeiten
15. Überwachung der Raumluftqualität (RLQ)

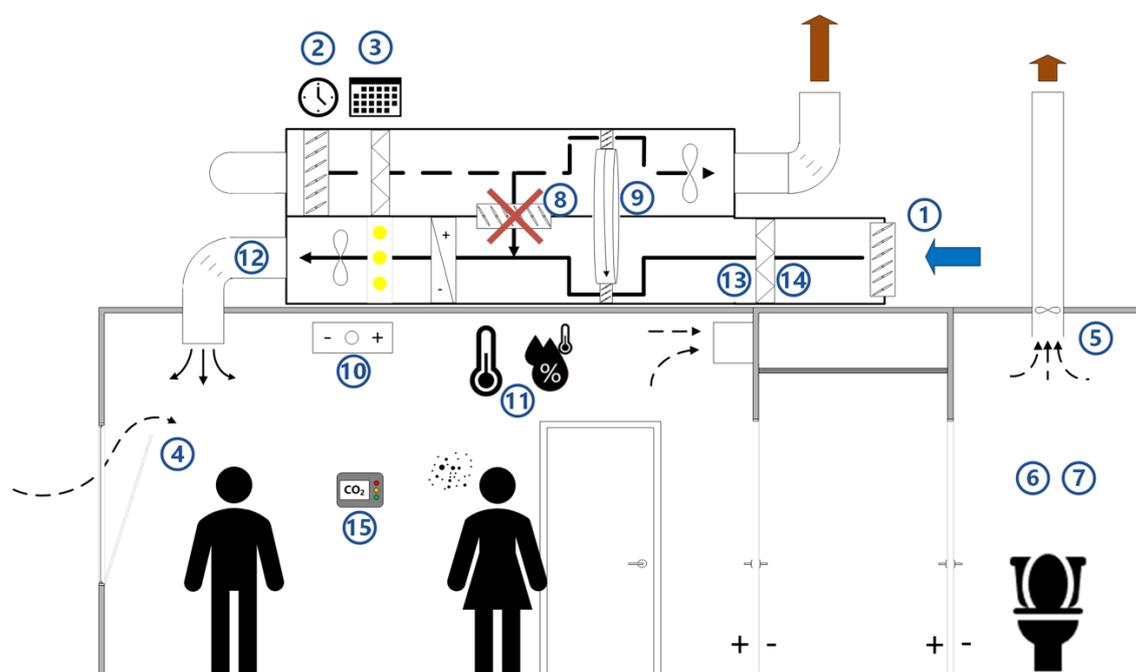


Abbildung 5. Hauptpunkte des REHVA-Leitfadens für den Betrieb der Gebäudetechnik.

4.1 Be- und Entlüftung erhöhen

In Gebäuden mit mechanischen Lüftungsanlagen werden für diese Anlagen verlängerte Betriebszeiten empfohlen. Stellen Sie die Uhrzeiten der Systemtimer so ein, dass die Lüftung mindestens 2 Stunden vor der Gebäudenutzungszeit mit der Nenndrehzahl beginnt und 2 Stunden nach der Gebäudenutzungszeit abgeschaltet oder auf eine niedrigere Drehzahl gebracht wird. In gewerblichen Gebäuden genügt 1 Stunde vor und nach der Gebäudenutzungszeit, wenn das Gebäude in dieser Zeit mit einem 3-fachen Aussenluftwechsel belüftet worden ist. Setzen Sie bei bedarfsgesteuerten Lüftungsanlagen den CO₂-Sollwert auf 550 ppm, um den Betrieb auf Nenndrehzahl

zu halten. In Gebäuden, die aufgrund der Pandemie geräumt wurden (einige Büros oder Bildungsgebäude), wird empfohlen, die Lüftung nicht abzuschalten, sondern während der normalen Betriebszeiten kontinuierlich mit reduzierter Drehzahl zu betreiben. Eine verlängerte Betriebszeit hilft, Viruspartikel aus dem Gebäude, und freigesetzte Viruspartikel von Oberflächen zu entfernen. Im Winter und im Sommer muss ein erhöhter Energieverbrauch in Kauf genommen werden, da Lüftungsanlagen über genügend Heiz- und Kühlleistung verfügen, um diese Empfehlungen zu erfüllen, ohne den thermischen Komfort zu beeinträchtigen.

Die allgemeine Empfehlung lautet, so viel Aussenluft wie möglich zuzuführen. Der Schlüsselaspekt ist der Gesamt-Aussenluftvolumenstrom, der typischerweise als Zuluftvolumenstrom pro Quadratmeter Bodenfläche oder pro Person bemessen wird. Die Förderleistung an gereinigter Luft (*clean air delivery rate*, CADR) eines Luftreinigers addiert sich zum Zuluftvolumenstrom (siehe [Anhang 1](#) für Details).

Wenn die Anzahl Nutzer reduziert wird, konzentrieren Sie die verbleibenden Nutzer nicht in kleineren Bereichen, sondern halten Sie den räumlichen Abstand (min. 2–3 m zwischen den Personen) aufrecht oder vergrössern Sie ihn, um den Verdünnungseffekt der Lüftung zu verbessern. Weitere Informationen zu Lüftungsraten und Risiken in verschiedenen Räumen finden Sie in [Anhang 1](#).

Fortluftanlagen für Toiletten sollten in ähnlicher Betriebsart wie die Hauptlüftungsanlage betrieben werden. Sie sollte mindestens 2 Stunden vor der Gebäudenutzungszeit auf die Nenndrehzahl geschaltet werden und kann 2 Stunden nach der Gebäudenutzungszeit ausgeschaltet oder auf eine niedrigere Drehzahl geschaltet werden.

Zusätzliche Hinweise zur Belüftung von Patientenzimmern finden Sie in [Anhang 3](#) und für Schulpersonal in [Anhang 4](#).

4.2 Öffnbare Fenster häufiger nutzen

Die allgemeine Empfehlung lautet, sich von überfüllten und schlecht belüfteten Räumen fernzuhalten. In Gebäuden ohne mechanische Lüftungssysteme wird empfohlen, öffnbare Fenster aktiv zu verwenden (viel mehr als üblich, auch wenn dies ein gewisses thermisches Unbehagen verursacht). Das Öffnen der Fenster ist dann die einzige Möglichkeit, die Luftaustauschrate zu erhöhen. Die Fenster sollten beim Betreten des Raumes für ca. 15 min geöffnet werden (vor allem, wenn der Raum vorher von anderen Personen belegt war). In Gebäuden mit mechanischer Lüftung kann das Öffnen der Fenster auch dazu verwendet werden, die Belüftung weiter zu erhöhen.

Offene Fenster in Toiletten mit natürlicher Abströmung oder mechanischen Fortluftsystemen können einen kontaminierten Luftstrom von der Toilette in andere Räume verursachen, was bedeutet, dass die Lüftung in umgekehrter Richtung zu arbeiten beginnt. Offene Toilettenfenster sollten vermieden werden, um den Unterdruck in den Toiletten und die richtige Strömungsrichtung der mechanischen Lüftung aufrechtzuerhalten. Wenn keine ausreichende Fortluft aus den Toiletten vorhanden ist und das Öffnen der Fenster in den Toiletten nicht vermieden werden kann, ist es wichtig, die Fenster auch in anderen Räumen offen zu halten, um Querströmungen im gesamten Gebäude zu erreichen.

4.3 Befeuchtung und Klimatisierung haben keine praktische Wirkung

Die relative Luftfeuchtigkeit (r. F.) und die Temperatur tragen zur Lebensfähigkeit des Virus, zur Bildung von Tröpfchenkernen und zur Anfälligkeit der Schleimhäute der Nutzer bei. Die Übertragung einiger Viren in Gebäuden kann durch Änderung der Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit verändert werden, um die Lebensfähigkeit des Virus zu verringern. Im Fall von SARS-CoV-2 ist dies leider keine Option, da Coronaviren ziemlich resistent gegenüber Umweltveränderungen sind und nur bei einer sehr hohen relativen Luftfeuchtigkeit von über 80 % und einer Temperatur von über 30 °C^{ii,iii,iv} anfällig sind, die in Gebäuden aus Gründen des thermischen Komforts und der Vermeidung von

mikrobiellem Wachstum nicht erreichbar und akzeptabel sind. SARS-CoV-2 hat sich 14 Tage lang bei 4 °C, einen Tag lang bei 37 °C und 30 Minuten lang bei 56 °C^{xxxv} als lebensfähig erwiesen.

Die Stabilität (Lebensfähigkeit) von SARS-CoV-2 wurde bei einer typischen Innentemperatur von 21–23 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % getestet, wobei eine sehr hohe Virusstabilität bei diesen Bedingungen^{xxxvi} festgestellt wurde. Zusammen mit früheren Erkenntnissen zu MERS-CoV ist gut dokumentiert, dass eine Befeuchtung bis zu 65 % r. F. nur sehr begrenzte oder gar keine Auswirkungen auf die Stabilität des SARS-CoV-2-Virus haben kann. Die aktuelle Evidenz unterstützt nicht die Ansicht, dass eine moderate Luftfeuchtigkeit (40–60 % r. F.) vorteilhaft ist, um die Lebensfähigkeit von SARS-CoV-2 zu reduzieren und daher ist die Befeuchtung KEINE Methode, um die Lebensfähigkeit von SARS-CoV-2 zu reduzieren.

Kleine Tröpfchen (0,5–50 µm) verdunsten bei jeder relativen Luftfeuchtigkeit (r. F.) schneller^{xxxvii}. Das Nasensystem und die Schleimhäute sind bei einer sehr niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit von 10–20 % anfälliger für Infektionen^{xxxviii,xxxix}. Aus diesem Grund wird manchmal eine gewisse Luftbefeuchtung im Winter empfohlen (auf Werte von 20–30 % r. F.), obwohl die Verwendung von Luftbefeuchtern mit einem erhöhten Gesundheitsrisiko in Verbindung gebracht wurde^{xl}.

In Gebäuden, die mit zentraler Luftbefeuchtung ausgestattet sind, müssen die Sollwerte der Befeuchtungssysteme (normalerweise 25 oder 30 % r. F.^{xli}) nicht geändert werden. In der Regel ist eine Anpassung der Sollwerte für Heiz- oder Kühlsysteme nicht erforderlich, und die Systeme können normal betrieben werden, da es keine direkte Auswirkung auf das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 gibt.

4.4 Sichere Verwendung von Wärmerückgewinnungsabschnitten

Die Übertragung von Viruspartikeln über Wärmerückgewinnungsgeräte ist kein Problem, wenn ein RLT-System mit einem Kreislaufverbund oder einem anderen Wärmerückgewinnungsgerät ausgestattet ist, das eine 100%ige Lufttrennung zwischen Abluft- und Zuluftseite gewährleistet^{xlii}. Ebenso sind Platten-Wärmeübertrager und Platten-Enthalpieübertrager mit durchlässigen Membranen nicht anfällig für die Virenübertragung. Der gebräuchlichste Test zum Nachweis der Dichtheit solcher Systeme ist die ASTM F-1671-Methode (Ability of Viral Penetration). Der Test misst, ob ein Virus die Membran bei einem Druckunterschied von 13'790 Pa passiert, was weit über den typischen Werten in Lüftungsanlagen liegt. Daher können Platten-Enthalpieübertrager in hygienisch anspruchsvollen Anwendungen immer dann eingesetzt werden, wenn Aluminiumplatten akzeptiert werden können.

Einige Wärmerückgewinnungsgeräte können über Leckagen Partikel- und Gasphasenschadstoffe von der Fortluftseite auf die Zuluftseite übertragen. Rotierende Luft/Luft-Wärmeübertrager (d. h. Rotoren, auch Wärmeräder genannt) können bei schlechter Konstruktion und Instandhaltung zu erheblichen Leckagen führen. Bei ordnungsgemäss arbeitenden rotierenden Wärmeübertragern, die mit Spülzonen ausgestattet und korrekt eingestellt sind, sind die Leckageraten sehr gering und liegen im Bereich von 0–2 %, was in der Praxis unbedeutend ist. Bei bestehenden Anlagen sollte die Leckage unter 5 % liegen und gemäss EN 16798-3:2017 durch erhöhte Aussenluftvolumenströme kompensiert werden. Viele Rotationswärmeübertrager sind jedoch nicht ordnungsgemäss installiert. Der häufigste Fehler ist, dass die Ventilatoren so montiert wurden, dass ein höherer Druck auf der Fortluftseite entsteht. Dies führt zu Leckagen aus der Abluft in die Zuluft. Der Grad der unkontrollierten Übertragung von verschmutzter Abluft kann in diesen Fällen in der Grössenordnung von 20 %^{xliii} liegen, was nicht akzeptabel ist.

Es hat sich gezeigt, dass Rotationswärmeübertrager, die ordnungsgemäss konstruiert, installiert und instandgehalten werden, fast keine Übertragung von partikelgebundenen Schadstoffen (einschliesslich luftgetragener Bakterien, Viren und Pilze) aufweisen. Die Übertragung beschränkt sich auf gasförmige Schadstoffe wie Tabakrauch und andere Gerüche^{xliiv}. Es gibt keine Hinweise darauf, dass virushaltige Partikel, die grösser als etwa 0,2 µm sind, über das Wärmerad übertragen werden. Da der grösste Teil der Leckage durch die Druckunterschiede zwischen Zu- und Fortluft verursacht

wird, hat das Anhalten des Rotors nur einen geringen Einfluss auf die Leckage. Daher ist es nicht notwendig, den Rotor abzuschalten. Durch den normalen Betrieb des Rotors ist es auch einfacher, die Lüftungsrate höher zu halten. Es ist bekannt, dass die Übertragungsleckage bei niedrigem Luftstrom am höchsten ist, daher sollten höhere Lüftungsraten verwendet werden, wie in [Abschnitt 4.1](#) empfohlen.

Wenn kritische Leckagen in den Wärmerückgewinnungsabschnitten festgestellt werden, kann eine Druckanpassung oder ein Bypass (einige Systeme können mit einem Bypass ausgestattet sein) eine Option sein, um eine Situation zu vermeiden, in der ein höherer Druck auf der Abluftseite zu einer Luftleckage auf der Zuluftseite führt. Druckunterschiede können durch Klappen oder andere sinnvolle Vorkehrungen korrigiert werden. Abschliessend empfehlen wir, die Wärmerückgewinnungsanlage zu inspizieren, einschliesslich der Messung der Druckdifferenz und der Abschätzung der Leckage anhand der Temperaturmessung, siehe [Anhang 2](#).

4.5 Keine Verwendung von zentraler Umluft

Virales Material in Abluftkanälen (Rückluft) kann wieder in ein Gebäude gelangen, wenn zentrale Lüftungsgeräte mit Umluftabschnitten ausgestattet sind. Die allgemeine Empfehlung lautet, eine zentrale Umluft während einer SARS-CoV-2-Episode zu vermeiden: Schliessen Sie die Umluftklappen entweder über das Gebäudemanagementsystem oder manuell. Dies ist besonders wichtig in Gebäuden, die von anfälligen Endnutzern genutzt⁴ werden (z. B. Pflegeheime).

Manchmal sind Lüftungsgeräte und Umluftabschnitte mit Abluftfiltern ausgestattet. Dies sollte kein Grund sein, die Umluftklappen offen zu halten, da diese Filter normalerweise virales Material nicht effektiv herausfiltern, da sie grobe oder mittlere Filtereffizienzen haben (Filterklassen G4/M5 oder ISO coarse/ePM₁₀).

Bei Luft- und Luft-Wasser-Systemen, bei denen eine zentrale Umluft aufgrund begrenzter Kühl- oder Heizleistung nicht vermieden werden kann, muss der Aussenluftanteil so weit wie möglich erhöht werden und es werden zusätzliche Massnahmen zur Abluftfilterung empfohlen. Um Partikel und Viren vollständig aus der Abluft zu entfernen, wären HEPA-Filter erforderlich. Aufgrund eines höheren Druckverlustes und spezieller erforderlicher Filterrahmen sind HEPA-Filter jedoch in der Regel nicht einfach in bestehende Systeme zu installieren. Alternativ kann die Kanalinstitution von Desinfektionsgeräten, wie z. B. ultraviolette keimtötende Bestrahlung (UV-Luftentkeimer), auch keimtötende Ultraviolettstrahlung (UV-Strahlung) genannt, verwendet werden. Es ist wichtig, dass diese Geräte richtig dimensioniert und installiert werden. Wenn technisch möglich, ist es vorzuziehen, ein Filter höherer Klasse in bestehende Rahmen einzubauen und den Druck des Abluftventilators zu erhöhen, ohne den Luftdurchsatz zu verringern. Eine Mindestverbesserung ist der Austausch bestehender Abluftfilter mit niedrigem Abscheidegrad durch ePM₁ 80 %- (früher F8-) Filter. Die Filter der ehemaligen F8-Klasse haben einen angemessenen Abscheidegrad für virusbeladene Partikel (Abscheidegrad 65–90 % für PM₁).

4.6 Luftumwälzung auf Raumebene: Ventilator-konvektoren, Split- und Induktionsgeräte

In Räumen mit reinen Ventilator-konvektoren oder Splitgeräten (Kaltwasser- oder Direktverdampfersysteme) hat die Erzielung einer ausreichenden Belüftung mit Aussenluft oberste Priorität. In solchen Systemen sind die Ventilator-konvektoren oder Splitgeräte in der Regel unabhängig von einer mechanischen Lüftung, die in einigen Fällen gar nicht vorhanden sein könnte, und es gibt zwei mögliche Optionen, um eine Belüftung zu erreichen:

1. Aktive Steuerung der Fensteröffnung in Verbindung mit der Installation von CO₂-Anzeigegeräten als Indikatoren für die Belüftung mit Aussenluft;

⁴ In Krankenhäusern ist die Verwendung von Umluft in vielen Ländern strengstens untersagt.

-
2. Installation einer eigenständigen mechanischen Lüftungsanlage (entweder lokal oder zentral ohne Umluft, je nach technischer Machbarkeit). Nur so kann jederzeit eine ausreichende Aussenluftzufuhr in den Räumen gewährleistet werden.

Wenn Option 1 verwendet wird, sind CO₂-Anzeigergeräte wichtig, da Ventilator-konvektoren und Splitgerä- te mit Kühl- oder Heizfunktionen den thermischen Komfort verbessern und es zu lange dauern kann, bis die Nutzer eine schlechte Luftqualität und einen Mangel an Belüftung wahrnehmen^{xlv}. Lassen Sie während der Nutzungszeiten die Fenster teilweise geöffnet (falls sie sich öffnen lassen), um die Belüftung zu erhöhen. Siehe das Beispiel für ein CO₂-Anzeigergerät in [Anhang 4](#), Abbildung 17.

Ventilator-konvektoren haben Grobstaub-Filter, die kleinere Partikel praktisch nicht filtern, aber dennoch potenziell verunreinigte Partikel auffangen können. Es sind die Standard-Instandhaltungs- verfahren mit den Empfehlungen in [Abschnitt 4.9](#) zu befolgen.

Splitgerä- te und manchmal auch Ventilator-konvektoren können hohe Luftgeschwindigkeiten verursachen. In Aufenthalts- räumen (grössere Räume mit Ventilator-konvektoren oder Splitgeräten, die von vielen Personen genutzt werden) sollten bei lokalen Luftgeschwindigkeiten von 0,3 m/s oder mehr gerichtete Luftströme von einer Person zur anderen durch Arbeitsplatzanordnungen oder Luftstrahlanpassungen vermieden werden.

4.7 Reinigung von Luftleitungen hat keine praktische Wirkung

Es gab einige überreagierende Äusserungen, welche die Reinigung von Luftleitungen empfehlen, um eine SARS-CoV-2-Übertragung über Lüftungsanlagen zu vermeiden. Die Reinigung von Luftleitungen ist nicht wirksam gegen eine Raum-zu-Raum-Infektion, da das Lüftungssystem keine Kontamina- tionsquelle darstellt, wenn die oben genannten Hinweise zur Wärmerückgewinnung und Umluft befolgt werden. Viren, die an kleinen Partikeln haften, setzen sich nicht leicht in Luftleitungen ab und werden normalerweise vom Luftstrom mitgerissen^{xlvi}. Daher sind keine Änderungen an den normalen Leitungsreinigungs- und Instandhaltungsverfahren erforderlich. Viel wichtiger ist es, die Aussenluftzufuhr zu erhöhen und eine Rezirkulation gemäss den oben genannten Empfehlungen zu vermeiden.

4.8 Ein zusätzlicher Wechsel der Aussenluftfilter ist nicht erforderlich

Im Zusammenhang mit COVID-19 wurden Fragen zum Filteraustausch und zur Schutzwirkung in sehr seltenen Fällen von Viruskontaminationen aus dem Aussenbereich gestellt, z. B. wenn sich die Fortluft-Durchlässe in der Nähe von Aussenluft-Durchlässen befinden. Moderne Lüftungsanlagen (RLT- Gerä- te) sind mit Feinstaubfiltern direkt nach der Aussenluftansaugung ausgestattet (Filterklasse F7 oder F8⁵ bzw. ISO ePM_{2,5} oder ePM₁), die Feinstaub aus der Aussenluft gut filtern. Die Grösse der kleinsten viralen Partikel in Atemluft-Aerosolen beträgt etwa 0,2 µm (PM_{0,2}) und ist damit kleiner als die Auffangfläche von F8-Filtern (Abscheideeffizienz 65–90 % für ePM₁). Dennoch befindet sich der Grossteil des viralen Materials bereits innerhalb des Erfassungsbereichs der Filter. Dies bedeutet, dass in seltenen Fällen von virusbelasteter Aussenluft die Standard-Aussenluft-Feinstaub- filter einen angemessenen Schutz für eine geringe Konzentration und ein gelegentliches Auftreten von Virenmaterial in der Aussenluft bieten.

Wärmerückgewinnungs- und Umluftabschnitte sind mit weniger effektiven mittleren oder groben Abluftfiltern (G4/M5 oder ISO coarse/ePM₁₀) ausgestattet, deren Ziel der Schutz der Gerä- te vor Staub ist. Diese Filter haben einen sehr geringen Abscheidegrad für virales Material (siehe [Abschnitt 4.4](#) für Wärmerückgewinnung und [4.5](#) für Umluft).

⁵ Eine veraltete Filterklassifizierung der EN 779:2012, die durch die EN ISO 16890-1:2016, Luftfilter für die all- gemeine Raumlufttechnik – Teil 1: Technische Bestimmungen, Anforderungen und Effizienzklassifizierungs- system, basierend auf Feinstaubabscheidegrad (ePM), ersetzt wird.

Aus Sicht des Filterwechsels können die normalen Instandhaltungsverfahren verwendet werden. Verstopfte Filter sind in diesem Zusammenhang keine Verschmutzungsquelle, aber sie reduzieren den Zuluftstrom, was sich negativ auf die Verringerung der Schadstoffbelastung im Innenraum auswirkt. Daher müssen die Filter gemäss den normalen Verfahren ausgetauscht werden, wenn Druck- oder Standzeitgrenzen überschritten werden, oder gemäss der geplanten Instandhaltung. Zusammenfassend ist es nicht empfehlenswert, vorhandene Aussenluftfilter auszutauschen und durch andere Filtertypen zu ersetzen, noch ist es empfehlenswert, sie früher als üblich zu wechseln.

4.9 Sicherheitsmassnahmen für das Instandhaltungspersonal

Das HLK-Instandhaltungspersonal kann bei der Durchführung von planmässiger Wartung, Inspektion oder Austausch von Filtern (insbesondere Abluftfiltern) gefährdet sein, wenn die Standardsicherheitsverfahren nicht eingehalten werden. Gehen Sie zur Sicherheit immer davon aus, dass sich auf Filtern, Abluftleitungen und Wärmerückgewinnungsanlagen aktives mikrobiologisches Material, einschliesslich lebensfähiger Viren, befinden kann. Dies ist besonders wichtig in Gebäuden, in denen kürzlich eine Infektion stattgefunden hat. Filter sollten bei ausgeschaltetem System und unter Verwendung von Handschuhen und Atemschutz gewechselt und in einem versiegelten Beutel entsorgt werden.

4.10 Raumlufreiniger und UV-Luftentkeimer können in bestimmten Situationen nützlich sein

Raumlufreiniger entfernen Partikel aus der Luft, was einen ähnlichen Effekt wie die Belüftung mit Aussenluft hat. Um effektiv zu sein, müssen Raumlufreiniger eine HEPA-Filter-Effizienz aufweisen, d. h. als letzte Stufe ein HEPA-Filter besitzen. Leider sind die meisten preisgünstigen Raumlufreiniger nicht effektiv genug. Geräte, die anstelle von HEPA-Filtern elektrostatische Filterprinzipien verwenden (nicht dasselbe wie Raumionisatoren!), arbeiten oft mit ähnlicher Effizienz. Da der Luftstrom durch Luftreiniger begrenzt ist, ist die Fläche, die sie bedienen können, meist recht klein. Um die richtige Grösse des Luftreinigers auszuwählen, muss die Luftstromkapazität des Geräts (bei einem akzeptablen Geräuschpegel) mindestens einen 2-fachen Luftwechsel pro Stunde betragen und wird sich bis zu einem 5-fachen Luftwechsel pro Stunde positiv auswirken^{xlvi} (Sie können die Luftstromrate durch den Luftreiniger in m³/h berechnen, indem Sie das Raumvolumen mit 2 oder 5 multiplizieren). Wenn Luftreiniger in grossen Räumen verwendet werden, müssen sie in der Nähe von Personen im Raum platziert werden und nicht in der Ecke und ausser Sichtweite. Spezielle UV-Luftentkeimer können in Abluftleitungen in Systemen mit Umluftbetrieb installiert oder im Raum aufgestellt werden, um Viren und Bakterien zu inaktivieren. Solche Geräte, die meist in Einrichtungen des Gesundheitswesens eingesetzt werden, müssen richtig dimensioniert, installiert und instandgehalten werden. Daher sind Luftreiniger eine einfach anzuwendende kurzfristige Entschärfungsmassnahme; aber längerfristig sind Verbesserungen des Belüftungssystems erforderlich, um angemessene Aussenluftraten zu erreichen.

4.11 Gebrauchsanweisung für den Toilettendeckel

Wenn Toilettensitze mit Deckeln ausgestattet sind, wird empfohlen, die Toiletten mit geschlossenen Deckeln zu spülen, um die Freisetzung von Tröpfchen und Tröpfchenresten aus Luftströmen zu minimieren^{xlvi,xxvi}. Die Nutzer des Gebäudes sollten eindeutig angewiesen werden, die Deckel zu benutzen. Wasserdichtungen müssen jederzeit funktionieren^{xxvii}. Kontrollieren Sie regelmässig die Wasserdichtungen (Abflüsse und Siphons) und fügen Sie bei Bedarf Wasser hinzu, mindestens alle drei Wochen.

4.12 Legionellosegefahr nach Ausserbetriebnahme

Während der gesamten Dauer der SARS-CoV-2- (COVID-19-)Epidemie wurden viele Gebäude über längere Zeiträume nur eingeschränkt genutzt oder komplett geschlossen. Dazu gehören z. B. Hotels/Resorts, Schulen, Sportanlagen, Turnhallen, Schwimmbäder, Kurhäuser und viele andere Arten von Gebäuden und Einrichtungen, die mit HLK- und Wassersystemen ausgestattet sind.

Abhängig von einer Vielzahl von Faktoren, einschliesslich der Systemauslegung und -konstruktion, kann eine längere reduzierte (oder keine) Nutzung zu einer Wasserstagnation in Teilen der HLK- und Wassersysteme führen, was das Risiko eines Ausbruchs der Legionärskrankheit (Legionellose) bei Wiederaufnahme des Vollbetriebs erhöht.

Vor der Wiederinbetriebnahme des Systems sollte eine gründliche Risikoanalyse durchgeführt werden, um alle damit verbundenen Legionellose-Risiken zu bewerten. Mehrere zuständige Behörden stellen Informationen zu entsprechenden Risikobewertungen und Wiederinbetriebnahmeverfahren zur Verfügung, darunter^{xlix,l,li,lii,liii}.

4.13 RLQ-Überwachung

Das Risiko einer Kreuzkontamination in Innenräumen über Aerosole ist sehr hoch, wenn die Räume nicht gut belüftet werden. Wenn die Lüftungssteuerung Aktionen durch die Nutzer erfordert (hybride oder natürliche Lüftungssysteme) oder es kein entsprechendes Lüftungssystem im Gebäude gibt, wird empfohlen, CO₂-Sensoren in der Aufenthaltszone zu installieren, die vor Unterlüftung warnen, insbesondere in Räumen, die häufig eine Stunde oder länger von Personengruppen genutzt werden, wie z. B. Klassenzimmer, Besprechungsräume und Restaurants. Während einer Epidemie empfiehlt es sich, die Standardeinstellungen der Ampelanzeige vorübergehend so zu ändern, dass das gelbe/orange Licht (oder die Warnung) auf 800 ppm und das rote Licht (oder der Alarm) auf bis zu 1000 ppm eingestellt wird, um sofortige Massnahmen auszulösen, um eine ausreichende Lüftung auch in Situationen mit reduzierter Belegung zu erreichen. In einigen Fällen können eigenständige CO₂-Sensoren oder «CO₂-Ampeln» verwendet werden, siehe ein Beispiel in [Anhang 4](#). Manchmal kann es besser funktionieren, CO₂-Sensoren zu verwenden, die Teil eines webbasierten Sensornetzwerks sind. Die Signale dieser Sensoren können verwendet werden, um die Gebäudenutzer zu warnen, damit sie bedienbare Fenster und mechanische Lüftungssysteme mit mehreren Einstellungen in der richtigen Weise verwenden. Man kann die Daten auch speichern und Facility-Managern wöchentliche oder monatliche Datenberichte zur Verfügung stellen, damit sie wissen, was in ihrem Gebäude und in Räumen mit hoher Konzentration vor sich geht, und ihnen helfen, das Infektionsrisiko zu erkennen.

5 Zusammenfassung der praktischen Massnahmen für den Betrieb der Gebäudetechnik während einer Epidemie

1. Sorgen Sie für eine ausreichende Belüftung der Räume mit Aussenluft
2. Schalten Sie die Lüftung mindestens 2 Stunden vor der Öffnungszeit des Gebäudes mit Nenndrehzahl ein und 2 Stunden nach der Nutzungszeit des Gebäudes wieder aus oder auf niedrigere Drehzahl
3. Setzen Sie bedarfsgesteuerte Lüftungseinstellungen ausser Kraft, um den Betrieb der Lüftungsanlage mit Nenndrehzahl zu erzwingen
4. Fenster regelmässig öffnen (auch in mechanisch belüfteten Gebäuden)
5. Halten Sie die Toilettenlüftung mit Nenndrehzahl in Betrieb, ähnlich wie die Hauptlüftungsanlage
6. Vermeiden Sie das Öffnen von Fenstern in Toiletten, um den Unterdruck und die korrekte Strömungsrichtung der mechanischen Lüftung beizubehalten
7. Weisen Sie Gebäudenutzer an, Toiletten mit geschlossenem Deckel zu spülen
8. Schalten Sie Lüftungsgeräte mit Umluftbetrieb auf 100 % Aussenluft um
9. Prüfen Sie Wärmerückgewinnungsanlagen, um sicherzustellen, dass Leckagen unter Kontrolle sind
10. Sorgen Sie in Räumen mit Ventilatorkonvektoren oder Splitgeräten für eine ausreichende Belüftung mit Aussenluft
11. Verändern Sie Heiz-, Kühl- und eventuelle Befeuchtungswerte nicht
12. Führen Sie die planmässige Reinigung der Lüftungskanäle wie gewohnt durch (eine zusätzliche Reinigung ist nicht erforderlich)
13. Tauschen Sie die zentralen Aussenluft- und Abluftfilter wie gewohnt gemäss dem Instandhaltungsplan aus
14. Regelmässiger Filterwechsel und Instandhaltungsarbeiten müssen mit den üblichen Schutzmassnahmen einschliesslich Atemschutz durchgeführt werden
15. Führen sie ein RLQ- (CO₂-)Sensornetzwerk ein, das es den Nutzern und Gebäudemanagern ermöglicht, die angemessene Funktion der Lüftung zu überwachen

Anhang 1 - Bewertung des Übertragungsrisikos durch die Luft und weitreichende Massnahmen zur Verringerung der Ausbreitung von Viruserkrankungen in zukünftigen Gebäuden mit verbesserten Lüftungssystemen

1 Einleitung

Dieser Anhang fasst die verfügbaren Informationen über Lüftungsraten zusammen und bietet eine Methode zur Bewertung von Kreuzinfektionsrisiken, die für typische Räume in Nicht-Wohngebäuden angewendet werden kann. Die verfügbaren Informationen zu COVID-19 lassen den Schluss zu, dass die Übertragung dieser Krankheit mit unmittelbarer Nähe (für die eine Belüftung keine Lösung ist) und mit Räumen, die einfach unzureichend belüftet sind, in Verbindung gebracht werden kann. Letzteres wird durch Belege von Superspreading-Ereignissen gestützt, bei denen die Belüftung mit Aussenluft 1–2 L/s pro Person^{xvii,xviii} entsprach, also um den Faktor 5–10 niedriger als die in den bestehenden Normen empfohlenen 10 L/s pro Person. Die Frage, wie viel Lüftung nötig wäre, um die Übertragung von SARS-CoV-2 über die Luft wesentlich zu reduzieren, und welche anderen Faktoren wie Luftverteilung und Raumgrösse eine Rolle spielen, wird in den folgenden Abschnitten diskutiert. Es ist wichtig zu verstehen, dass dieses Thema angesichts des aktuellen Wissensstandes hohe Unsicherheiten beinhaltet und wissenschaftliche Entwicklungen schnell neue Informationen liefern können. Der Anwendungsbereich dieses Anhangs gilt nur für die Reduzierung der Fernübertragung über die Luft, so dass die diskutierten Lüftungslösungen keine Auswirkungen auf die Übertragungsmodi Nahkontakt 1–2 m und Oberflächenkontakt haben.

2 Auswirkungen der Luftwechselrate, der Raumgrösse und der Aktivität auf das Infektionsrisiko

Wie in [Abschnitt 2](#) besprochen, hängt die Kontrolle der virenhaltigen Aerosolkonzentrationen bei einem Abstand grösser als 1,5 m zu einer infizierten Person von den Lüftungsmethoden ab. Die Gesamtdosis, der man einem Virus ausgesetzt ist (z. B. durch Teilen eines Raums mit einer infizierten Person), entspricht dem Produkt aus Konzentration und Zeit. Um die Dosis und das Infektionsrisiko zu reduzieren, müssen somit die Belüftung erhöht und die Aufenthaltszeit reduziert werden. Bei bestehenden Lüftungssystemen ist es in der Regel nicht möglich, die Ventilatorumdrehzahl deutlich zu erhöhen, somit kann das System die Leistung erbringen, für die es ausgelegt ist. Manchmal ist es möglich, den Gesamtluftstrom insgesamt um 10–20 % zu erhöhen. Durch Volumstrombilanzierung und Abgleich ist die Erhöhung in bestimmten Räumen möglicherweise noch grösser. Andere Verbesserungsmassnahmen sind auf die in [Abschnitt 4.1](#) besprochenen beschränkt.

Aus rechtlicher Sicht muss die Aussenluft rate mindestens die nationalen Mindestanforderungen erfüllen, die in der örtlichen Bauordnung oder anderen regulatorischen Dokumenten festgelegt sind (diese können auch spezifische Regelungen für COVID-19 enthalten). Wenn es keine nationale Lüftungsvorschrift gibt, dann enthalten die örtlichen Baugesetze typischerweise immer eine Bestimmung zur «guten Baupraxis», die sich auf die Anwendung nationaler, europäischer oder internationaler Normen und Richtlinien bezieht. Eine typische Dimensionierung nach ISO 17772- 1:2017 und EN 16798-1:2019 führt in der Standard-Innenraumklimakategorie II zu Aussenluftvolumenströmen von 1,5–2 L/s pro m² Bodenfläche (10–15 L/s pro Person) in Büros und zu etwa 4 L/s pro m² Bodenfläche (8–10 L/s pro Person) in Besprechungsräumen und Klassenzimmern.

Die Verbesserung der Lüftung in bestehenden oder neuen Gebäuden bringt die Frage mit sich: Sind die Lüftungsraten der Kategorie II ausreichend, oder ist mehr Aussenluft erforderlich, um das Risiko einer Kreuzinfektion zu reduzieren? Das Infektionsrisiko wird in diesen Normen derzeit nicht als Auslegungskriterium angesprochen. Andererseits ist das Kreuzinfektionsrisiko gut bekannt und wird bei der Auslegung von Krankenhausgebäuden angewandt, wo es zu einer Luftwechselrate von 6–12 pro Stunde führt (siehe [Anhang 3](#)). Krankenhauslüftungssysteme haben unter COVID-19-Bedingungen gut funktioniert, da Kreuzinfektionen unter Kontrolle waren, was zeigt, dass eine Lüftung

mit hoher Kapazität in der Lage ist, die Aerosolkonzentration auf einem niedrigen Niveau zu halten. In Nicht-Krankenhausgebäuden gibt es offensichtlich geringere Emissionsraten und eine geringere Anzahl infizierter Personen pro Bodenfläche. Daher könnte eine tiefere Lüftungsrate als in Krankenhäusern, z. B. eine Lüftungsrate der Kategorie I, als Ausgangspunkt für die Risikominderung in Betracht gezogen werden. Es ist auch erwähnenswert, dass 4 L/s pro m² Bodenfläche in Besprechungsräumen und Klassenzimmern einem 5-fachen Luftwechsel pro Stunde entspricht und nicht viel unter der Luftwechselrate von Patientenzimmern mit Vorkehrungen gegen luftgetragene Risiken liegt.

Das Infektionsrisiko kann für verschiedene Tätigkeiten und Räume mit Hilfe eines Wells-Riley-Standardmodells für die Übertragung von Krankheiten durch die Luft berechnet werden, das auf COVID-19 mit korrekter Quellstärke, d. h. Quanta-Emissionsraten, kalibriert ist. In diesem Modell wird die emittierte Viruslast in Form von Quanta-Emissionsraten (E , Quanta/h) ausgedrückt. Ein Quantum ist definiert als die Dosis luftgetragener Tröpfchenkerne, die erforderlich ist, um bei 63 % der empfänglichen Personen eine Infektion zu verursachen. Beim Wells-Riley-Modell ist die Infektionswahrscheinlichkeit (p) mit der Anzahl der eingeatmeten Quanta (n) gemäss Gleichung (1)^{xi} verbunden:

$$p = 1 - e^{-n} \quad (1)$$

Die eingeatmeten Quanta (n , Quanta) sind abhängig von der zeitlich gemittelten Konzentration (C_{avg} , Quanta/m³), der volumetrischen Atemrate eines Nutzers (Q_b , m³/h) und der Dauer der Belegung (D , h):

$$n = C_{avg} Q_b D \quad (2)$$

Die Konzentration der luftgetragenen Quanta steigt mit der Zeit von einem Anfangswert von Null an und folgt dabei einer «Eins minus exponentiell»-Form, welche die standardmässige dynamische Reaktion eines voll gemischten Raumvolumens auf eine konstante Eingangsquelle darstellt. Ein Materialbilanzmodell für den vollständig gemischten Raum (Gleichung (3)) kann zur Berechnung der Konzentration angewendet werden:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{E}{V} - \lambda C \quad (3)$$

wobei

- E Quanta-Emissionsrate (Quanta/h);
- V Volumen des Raumes (m³);
- λ Verlustkoeffizient erster Ordnung^{liv} für Quanta/h aufgrund der summierten Effekte von Belüftung (λ_v , 1/h), Ablagerung auf Oberflächen (λ_{dep} , 1/h), Viruszerfall (k , 1/h) und Filtration durch tragbare Luftreiniger, falls angewendet ($k_{filtration}$, 1/h),
 $\lambda = \lambda_v + \lambda_{dep} + k + k_{filtration}$;
- C zeitabhängige luftgetragene Konzentration von infektiösen Quanta (Quanta/m³).

Die Verlustrate der Oberflächenablagerung von 0,3 1/h kann auf der Grundlage der Daten von Thatcher^{lv} und Diapouli^{lvi} geschätzt werden. Für den Viruszerfall zeigt Fears^{lvii} keinen Zerfall im virushaltigen Aerosol für 16 Stunden bei 53 % r. F., während Van Doremalen^v die Halbwertszeit von luftgetragenen SARS-CoV-2 auf 1,1 h schätzte, was einer Zerfallsrate von 0,63 1/h entspricht. Ein Durchschnittswert dieser beiden Studien beträgt 0,32 1/h.

Bei tragbaren Luftreinigern hängt die Abscheiderate ($k_{\text{filtration}}$) von der Luftstromrate durch den Luftfilter (Q_{filter}) und der Abscheideleistung des Filters (η_{filter}) ab:

$$k_{\text{filtration}} = \frac{Q_{\text{filter}} \eta_{\text{filter}}}{V} \quad (4)$$

Für tragbare Reiniger mit einem HEPA-Filter (High-Efficiency Particulate Air) wird die Reinluft-Förderleistung (CADR, m³/h) angegeben, und die Abscheiderate kann als $k_{\text{filtration}} = \text{CADR}/V$ berechnet werden. Es ist zu beachten, dass die Abscheideleistung von Filtern und die Reinluft-Förderleistung partikelgrößenabhängig sind. Diese Parameter sind anhand der Grössenverteilung der virushaltigen Partikel zu schätzen. Die im Folgenden aufgeführten Berechnungsbeispiele werden ohne Luftreiniger durchgeführt.

Unter der Annahme, dass die Quanta-Konzentration zu Beginn der Belegung 0 ist, wird Gleichung (3) gelöst und die mittlere Konzentration wie folgt bestimmt:

$$C(t) = \frac{E}{\lambda V} (1 - e^{-\lambda t}) \quad (5)$$

$$C_{\text{avg}} = \frac{1}{D} \int_0^D C(t) dt = \frac{E}{\lambda V} \left[1 - \frac{1}{\lambda D} (1 - e^{-\lambda D}) \right] \quad (6)$$

wobei

t Zeit (h).

Berechnungsbeispiele finden sich in Arbeiten zur Analyse des Skagit-Valley-Chorale-Ereignisses ^{lviii} und der Quanta-Erzeugungsraten für SARS-CoV-2^{lix}. Die Quanta-Emissionsraten variieren über einen grossen Bereich von 3–300 Quanta/h, der stark von den Aktivitäten abhängt, so dass höhere Werte für lautes Sprechen, Schreien und Singen und auch für höhere Stoffwechselraten gelten, wie in Tabelle 1 dargestellt. Die volumetrischen Atemraten hängen von der ausgeübten Tätigkeit ab, wie in Tabelle 2 dargestellt.

Aktivität	Quanta-Emissionsrate, Quanta/h
Ruhende, orale Atmung	3,1
Starke Aktivität, Mundatmung	21
Leichte Aktivität, Sprechen	42
Leichte Aktivität, Singen (oder lautes Sprechen)	270

Tabelle 1. 85%-Perzentil der Quanta-Emissionsraten für verschiedene Aktivitäten^{lx}.

Aktivität	Atemrate, m ³ /h
Stehend (Büro, Klassenzimmer)	0,54
Reden (Besprechungsraum, Restaurant)	1,1
Leichte Bewegung (Einkaufen)	1,38
Schwere Belastung (Sport)	3,3

Tabelle 2. Volumetrische Atemraten^{lxi,lxii}.

Obwohl die Quanta-Emissionsraten pro Stunde für SARS-CoV-2 mit einigen Unsicherheiten behaftet sind, ist es bereits möglich, Abschätzungen des Infektionsrisikos zu berechnen und Vergleiche zum Einfluss von Lüftungs- und Raumparametern anzustellen. Die Ergebnisse solcher Berechnungen sind in Abbildung 6 für häufig verwendete Lüftungsraten und Räume dargestellt. Es wird angenommen, dass sich in allen berechneten Räumen eine infizierte Person befindet. Es wurden folgende zeitlich gemittelte Quanta-Emissionsraten verwendet, die aus den in Tabelle 1 aufgeführten Tätigkeiten berechnet wurden: 5 Quanta/h für Büroarbeit und Klassenzimmerbelegung, 15 Quanta/h für ein Restaurant, 10 Quanta/h für Einkaufen, 21 Quanta/h für Sport und 19 Quanta/h für Besprechungsräume. Während typische COVID-19-Infektionsraten in der Allgemeinbevölkerung in der Grössenordnung von 1:1'000 oder 1:10'000 liegen, ist die Annahme, dass sich nur eine infizierte Person in einem Raum befindet, der z. B. von 10 (Büro), 25 (Schule) oder 100 Personen (Restaurant) genutzt wird, sehr vertretbar.

Eine Risikobewertung, wie in Abbildung 6. dargestellt, hilft dabei, ein umfassenderes Verständnis dafür zu entwickeln, wie virusbeladene Aerosole durch die Lüftung entfernt werden können. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Lüftungsraten der Kategorie II gemäss ISO 17772-1:2017 und EN 16798-1:2019 die Infektionswahrscheinlichkeit für Grossraumbüros, Klassenzimmer, gut belüftete Restaurants und für kurze, nicht mehr als 1,5-stündige Einkaufsbummel oder Besprechungen in einem grossen Besprechungsraum recht gering ist (unter 5%). Kleine Büroräume, die mit 2–3 Personen besetzt sind, und kleine Besprechungsräume weisen eine höhere Infektionswahrscheinlichkeit auf, da auch in gut belüfteten kleinen Räumen der Luftstrom pro infizierte Person viel geringer ist als in grossen Räumen. Daher könnten kleine Räume in einer epidemischen Situation gefahrlos mit nur einer Person besetzt werden. In normal belüfteten Räumen, die mit einer Person belegt sind, besteht wegen der fehlenden Emissionsquelle überhaupt kein Infektionsrisiko. Es gibt auch einen sehr gut sichtbaren Unterschied zwischen 1 L/(s m²) und 2 L/(s m²) Lüftungsrate in einem Grossraumbüro (beachten Sie, dass 1 L/(s m²) unter der Norm liegt). Sprechende und singende Aktivitäten sind mit einer hohen Quanta-Erzeugung verbunden, aber auch körperliche Übungen erhöhen die Quanta-Erzeugung und die Atemrate, was sich direkt auf die Dosis auswirkt. Daher sind viele Sporthallen (mit Ausnahme von Schwimmbädern und grossen Hallen) Räume mit einer höheren Infektionswahrscheinlichkeit, wenn sie nicht speziell für hohe Aussenluftstraten ausgelegt sind.

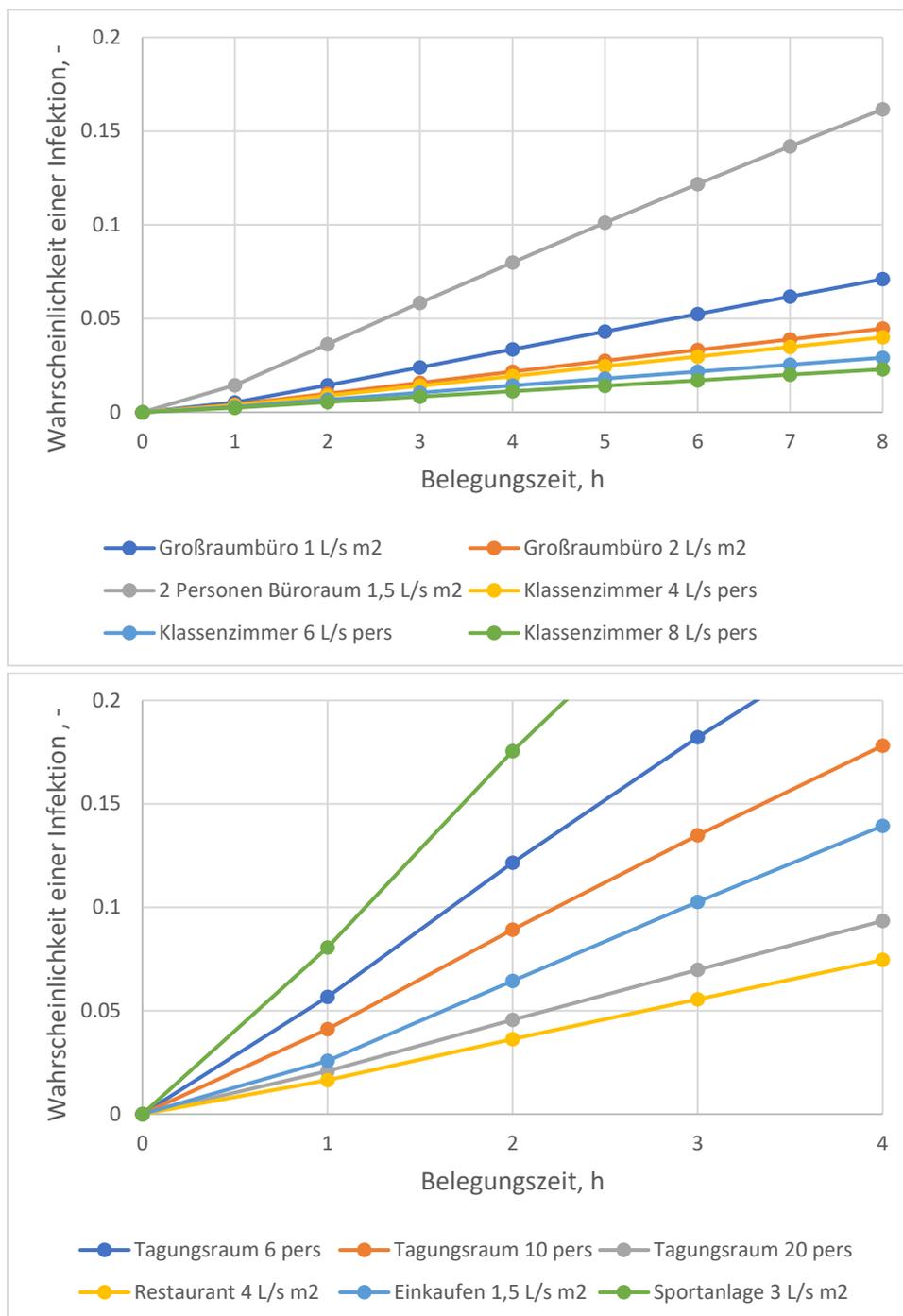


Abbildung 6. Bewertung des Infektionsrisikos für einige übliche Nicht-Wohnräume und mit dem REHVA-COVID-19-Lüftungsrechner berechnete Lüftungsraten. Eine Lüftungsrate von $1,5 \text{ L/(s m}^2\text{)}$ wird in einem 2-Personen-Büroraum von 16 m^2 verwendet, und $4 \text{ L/(s m}^2\text{)}$ in Tagungsräumen. Die detaillierten Eingabedaten sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Der Arbeitsablauf zur Berechnung der Infektionswahrscheinlichkeit ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Gesamtluftstromrate wird als Produkt aus dem Wert der Lüftungsrate in L/s pro Bodenfläche und der Bodenfläche berechnet, daher ist die Gesamtluftstromrate pro infizierte Person umso grösser, je grösser der Raum ist (in allen Räumen wird eine infizierte Person angenommen). Es ist zu beachten, dass die Anzahl der Personen keine Auswirkung hat, da die Berechnung pro infizierte Person erfolgt. Die Raumhöhe (Volumen) spielt für die Konzentrationsentwicklung eine Rolle. Die Quelle E wird zum Zeitpunkt $t = 0$ eingeschaltet und die Konzentration beginnt, sich aufzubauen. In der Berechnung wurde eine 8-stündige Belegung berücksichtigt und die durchschnittliche Konzentration

kommt dem Beharrungszustand recht nahe, da der Wert in der Klammern in allen Fällen grösser als 0,9 ist (1,0 entspricht dem Beharrungszustand).

Case Specific Input Parameters													
	Floor area	Height	Ventilation rate per floor area	Quanta emission rate	Breathing rate	Occupancy time	Air change rate	Total first order loss rate	Room volume	x steady state concentration	Average concentration	Quanta inhaled (dose)	Probability of infection
	A (m ²)	h (m)	L/(s m ²)	quanta/h	m ³ /h	Δt (h)	k _{ven} (h ⁻¹)	k _{tot} (h ⁻¹)	V (m ³)	∏	quanta/m ³	quanta	-
Open plan office 1 L/s m ²	50	3	1	5	0.54	8	1.2	1.82	150	0.93	0.02	0.07	0.071
Open plan office 2 L/s m ²	50	3	2	5	0.54	8	2.4	3.02	150	0.96	0.01	0.05	0.045
2 person office 1.5 L/s m ²	16	3	1.5	5	0.54	8	1.8	2.42	48	0.95	0.04	0.18	0.162
Meeting room 6 pers	18	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	54	0.98	0.06	0.56	0.428
Meeting room 10 pers	25	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	75	0.98	0.05	0.40	0.331
Meeting room 20 pers	50	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	150	0.98	0.02	0.20	0.182
Classroom 4 L/s pers	56	3	2	5	0.54	8	2.4	3.02	168	0.96	0.01	0.04	0.040
Classroom 6 L/s pers	56	3	3	5	0.54	8	3.6	4.22	168	0.97	0.01	0.03	0.029
Classroom 8 L/s pers	56	3	4	5	0.54	8	4.8	5.42	168	0.98	0.01	0.02	0.023
Restaurant 4 L/s m ²	50	3	4	15	1.1	8	4.8	5.42	150	0.98	0.02	0.16	0.147
Shopping 1.5 L/s m ²	50	3	1.5	11	1.38	8	1.8	2.42	150	0.95	0.03	0.32	0.272
Sports facility 3 L/s m ²	50	3	3	21	3.3	8	3.6	4.22	150	0.97	0.03	0.85	0.573

Tabelle 3. Prozess zur Berechnung der Infektionswahrscheinlichkeit für die in Abbildung 6. berichteten Fälle.

Es ist wichtig, die Grenzen der Wahrscheinlichkeitsberechnung zu verstehen:

- Die Ergebnisse sind empfindlich gegenüber den Quanta-Emissionsraten, die über einen grossen Bereich variieren können, wie in Tabelle 1 gezeigt. Die Unsicherheit dieser Werte ist hoch. Ausserdem gibt es wahrscheinlich Superspreader, die weniger häufig vorkommen, aber höhere Emissionsraten haben können (wie im Fall des Chors^{viii}). Dies macht absolute Infektionswahrscheinlichkeiten unsicher, und es ist besser, die Grössenordnung zu betrachten (d. h. liegt das Risiko in der Grössenordnung von 0,1 % oder 1 % oder 10 % oder nähert es sich 100 % an). Die relative Wirkung von Bekämpfungsmassnahmen lässt sich aus dieser Berechnung beim derzeitigen Kenntnisstand vielleicht besser verstehen;
- Die berechnete Infektionswahrscheinlichkeit ist ein statistischer Wert, der für eine grosse Gruppe von Personen gilt. Die Unterschiede im individuellen Risiko können jedoch je nach persönlicher gesundheitlicher Situation und Anfälligkeit des Einzelnen erheblich sein;
- Die Annahme einer vollständigen Durchmischung führt zu einer weiteren Unsicherheit, da in grossen und hohen Räumen die Viruskonzentration nicht unbedingt über das gesamte Raumvolumen gleich ist. In der Berechnung wird für ein Grossraumbüro eine Grundfläche von 50 m² verwendet. Generell könnten bis zu 4 m hohe Räume mit einem maximalen Volumen von 300 m³ recht gut durchmischt werden; genauer ist es jedoch, die Konzentrationen mit CFD-Analysen zu simulieren. Manchmal können thermisch aufsteigende Luftströme von menschlichen Körpern für eine gewisse zusätzliche Durchmischung in hohen Räumen wie Theatern oder Kirchen sorgen.

Aufgrund dieser Einschränkungen und Unsicherheiten ist die Berechnung nicht in der Lage, ein absolutes Infektionsrisiko vorherzusagen, kann aber die relative Wirksamkeit von Lösungen und Lüftungsstrategien vergleichen, um die am besten geeignete Wahl zu unterstützen. Das Berechnungsmodell kann zeigen, welche Strategie die geringste Belastung für nicht-infizierte Personen bietet. Das Modell kann angewendet werden, um Räume mit niedrigem und hohem Risiko in bestehenden Gebäuden aufzuzeigen, was bei der Risikobewertung von Gebäuden während eines Ausbruchs genutzt werden sollte. Die Berechnungsergebnisse lassen sich leicht in die Form des relativen Risikos umwandeln. In Abbildung 7 wird dies für ein Grossraumbüro durchgeführt, in dem eine Lüftungsrate von 2 L/s pro Person (0,2 L/(s m²)) bei einer Personendichte von 10 m² pro Person als relatives Risikoniveau von 100 % betrachtet wird. Diese Lüftungsrate, die die Hälfte eines absoluten Minimums von 4 L/s pro Person ist, kann zur Beschreibung von Superspreading-Ereignissen verwendet werden. Die Ergebnisse in Abbildung 7 zeigen, dass eine übliche Lüftungsrate von 2 L/(s m²) das relative Risiko auf 34 % reduziert und eine Verdoppelung dieses Wertes auf 4 L/s pro m² eine relativ geringere weitere Reduzierung auf 19 % ergibt.

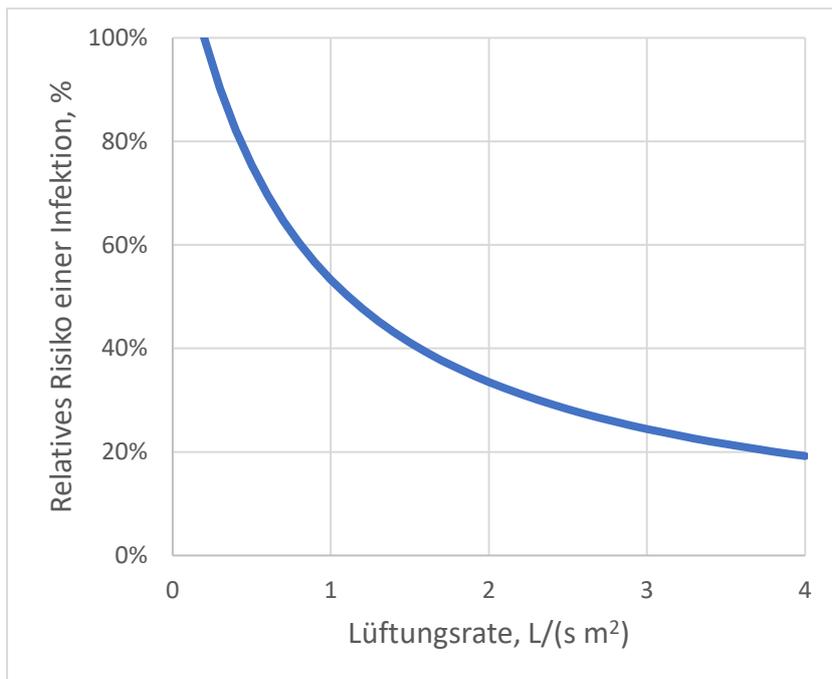


Abbildung 7. Relatives Infektionsrisiko in einem Grossraumbüro von 50 m², bei dem eine Lüftungsrate von 2 L/s pro Person (0,2 L/(s m²)) als Referenzwert für ein Superspreading-Ereignis mit 100 % relativem Risiko betrachtet wird.

Schliesslich lässt sich anhand von Abbildung 7 abschätzen, wie gross der Unterschied zwischen den Lüftungsraten von Kategorie II und I ist. Bei einer Belegungsdichte von 10 m² pro Person betragen die Luftstromraten 1,4 und 2,0 L/(s m²) in Kategorie II bzw. I, wenn schadstoffarme Materialien berücksichtigt werden. Somit führt die Lüftung der Kategorie II zu einem relativen Risiko von 43 % und die der Kategorie I zu 34 %, was eine deutliche Verbesserung darstellt, da die Kurve in diesem Bereich eine recht niedrige Steigung aufweist.

3 CO₂-Konzentration als Lüftungsindikator

Eine einfache Möglichkeit zur Überwachung der Lüftungsleistung ist die Verwendung von CO₂-Sensoren, wie in [Abschnitt 4.13](#) empfohlen. CO₂-Messwerte beschreiben die Aussenluftfrate bei normaler Personendichte hinreichend. Wenn Personen einen Raum betreten, dauert es einige Zeit, bis sich die Konzentration aufbaut und den Beharrungszustand erreicht. In gut belüfteten Räumen baut sich die CO₂-Konzentration schnell auf, in Besprechungsräumen und Klassenzimmern innerhalb von 30 Minuten und in Büros in weniger als einer Stunde. Genauer gesagt, hängt die Geschwindigkeit des Konzentrationsaufbaus von der Zeitkonstante des Raums ab, die reziprok zur Luftwechselrate ist (63 % der Konzentrationsänderung geschieht innerhalb einer Zeitkonstante und 95 % innerhalb von drei Zeitkonstanten). Somit geben die CO₂-Messwerte nach zwei Zeitkonstanten einen zuverlässigen Hinweis auf eine ausreichende Lüftung.

Bei gleicher Lüftungsrate ist die CO₂-Konzentration geringer, wenn die Belegung z. B. durch räumliche Distanzierung oder administrative Massnahmen reduziert wird. Die Abhängigkeit der CO₂-Konzentration von der Personendichte ist in Abbildung 8 für ein Büro mit zwei Lüftungsraten dargestellt. Eine Lüftungsrate von 2 L/(s m²) entspricht der guten Praxis der Raumklimakategorie I, die die CO₂-Konzentration unter 800 ppm halten kann, wenn mindestens 7 m² Bodenfläche pro Nutzer vorhanden sind. Bei der kleineren Lüftungsrate von 1 L/(s m²) werden mindestens 10 m² pro Person benötigt, um die CO₂-Konzentration unter 1000 ppm zu halten.

Eine hohe CO₂-Konzentration weist auf eine schlechte Lüftung hin. Eine niedrige CO₂-Konzentration ist gut, aber es ist nicht die alleinige Bestätigung für ein geringes Risiko der Aerosolübertragung; auch die Personendichte, die Belegungsdauer und die Raumgrösse müssen berücksichtigt werden.

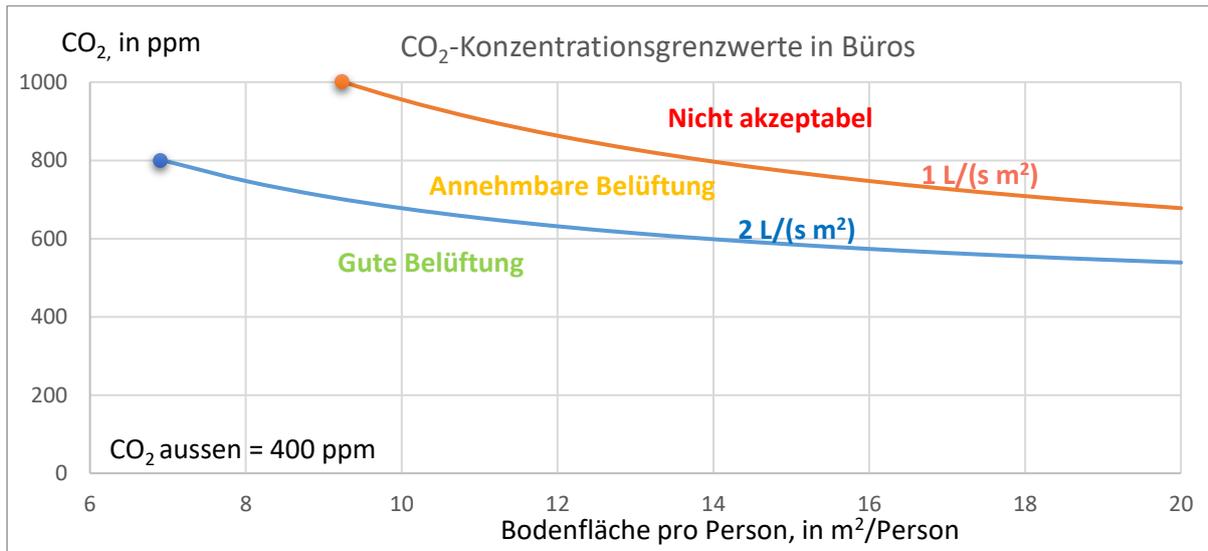


Abbildung 8. CO₂-Konzentration (absolute Werte, welche die Aussenkonzentration beinhalten) in Abhängigkeit von der Lüftungsrate und der Belegung in Büros.

4 Ausbreitung und Verbreitung durch auf eine Person gerichtete Luftströme

Während Luftbewegung üblicherweise als Zugluft behandelt wird, die ein lokales thermisches Unbehagen darstellt, kann dies in Räumen mit einer infizierten Person eine neue Bedeutung annehmen. Aufgrund von Studien in einem Restaurant in Guangzhou und einigen früheren Flugzeuginfektionen ist dieses Phänomen der Ausbreitung durch Luftbewegung bekannt. Ein stark gerichteter Luftstrom in Richtung einer infizierten Person kann wenig verdünntes virales Material in einem Aerosol in einer sehr hohen Konzentration in Richtung einer anfälligen Person tragen, wodurch sich das Virus innerhalb eines bestimmten Teils des Raumes ausbreiten kann, wie in Abbildung 9 dargestellt. Das ECDC geht auf diese Möglichkeit ein (siehe [Abschnitt 3](#)) und kommt zum Schluss, dass «der von Raumklimageräten erzeugte Luftstrom die Ausbreitung von Tröpfchen, die von infizierten Personen ausgeschieden werden, über grössere Entfernungen innerhalb von Innenräumen erleichtern kann.» In diesem speziellen Fall ist jedoch nicht bekannt, welchen relativen Beitrag der gerichtete Luftstrom des Splitgeräts und die schlechte Belüftung zu den Infektionen im Restaurant in Guangzhou hatten. Es ist nur der kombinierte Effekt dieser beiden Faktoren bekannt, zusammen mit der Tatsache, dass die Belüftung vernachlässigbar war, da sie nur etwa 1 L/s pro Person betrug. Dies deutet darauf hin, dass die sehr geringe Belüftung wahrscheinlich die Hauptursache für den Ausbruch im Restaurant war.

Obwohl das Raumklimagerät in diesem speziellen Fall wahrscheinlich nicht der Hauptverursacher war, sollte das Thema der gerichteten Luftströmung bei der zukünftigen Gestaltung der Luftverteilung ernst genommen werden. Lösungen für eine Luftverteilung mit niedriger Geschwindigkeit, welche weder starke Luftströme noch Zugluft erzeugen, sind bereits weit verbreitet und sollten nun in grösserem Umfang angewendet werden.

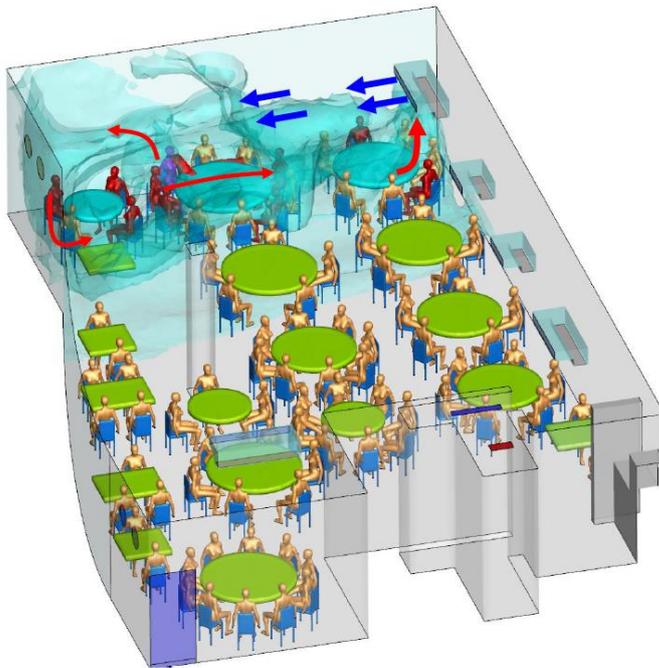


Abbildung 9. CFD-simulierte Luftverteilung durch ein Splitgerät in einem Restaurant in Guangzhou^{xvii}. Die Indexperson ist mit magenta-blau und neun infizierte Personen mit rot dargestellt. (Abbildung: mit freundlicher Genehmigung von Yuguo Li)

Die Luftverteilung kann einen entscheidenden Einfluss auf die Konzentration des viralen Materials in der Raumluft haben. Sie kann die Konzentrationen lokal deutlich verringern als auch erhöhen. Eine Reihe von Arbeiten zeigt, dass die Annahme einer gut durchmischten Luft in einem Raum in vielen Fällen eine zu starke Vereinfachung ist, welche bei Partikel- und Aerosolkonzentrationen versagt. Eine Erhöhung der Lüftungsrate kann in manchen Situationen sogar die Konzentration in der Atemzone aufgrund ungünstiger Luftströmungsmuster erhöhen. Solche Hinweise werden für einige Verdünnungslüftungs- und Unterflur-Systeme berichtet^{lxiii, lxiv}.

Generell ist die Kontrolle der viralen Aerosolkonzentration eine neue Überlegung für die Raumluftverteilung, bei der virales Material aus einer Punktquelle (eine infizierte Person mit unbekanntem Aufenthaltsort) effektiv verdünnt und gleichzeitig lokal entfernt werden sollte. Daher wäre ein vollständig mischendes Luftverteilungssystem von Vorteil, das in der Lage ist, die Kontamination aus einer Punktquelle in einem grossen Raum vollständig zu mischen, sowie eine vertikale Schichtung und Absaugungen, die in der Lage sind, die höhere Konzentration zu entfernen, bevor sie vollständig gemischt ist. Zusätzlich können Lösungen zur persönlichen Lüftung nützlich sein, da sie helfen, die Konzentrationen lokal an den Arbeitsplätzen zu reduzieren. Es gibt keine offensichtliche Möglichkeit, solche sich gegenseitig widersprechenden Eigenschaften zu kombinieren. Daher sollten die Verdünnungsraten, die Effektivität des Schadstoffabtransports und die Effizienz des Luftwechsels für alle möglichen Arten der Luftverteilung einschliesslich Lösungen zur persönlichen Lüftung Gegenstand der Forschung sein. Dabei sollte die Situation einer zufällig angeordneten Punktquelle berücksichtigt werden, anstatt einer üblichen Situation mit mehr oder weniger gleichmässig verteilten Emissionsquellen, die in Räumen ohne infizierte Personen verteilt sind.

5 Aspekte der Kreuzkontamination durch Lüftungs- und Klimaanlage

Hohe Lüftungshygienische Standards und die strikte Vermeidung jeglicher Kreuzkontamination sind wohlbekannte Aspekte bei der Planung von Krankenhaus- und Industrielüftungen. In anderen Nicht-Wohngebäuden ist das Thema aufgrund von Verunreinigungen mit geringeren Risiken und den verwendeten wirtschaftlicheren und energieeffizienteren Lösungen eher spekulativ. Die Notwendigkeit

einer umfassenderen Infektionskontrolle wirft jedoch neue Fragen zum Einsatz von Umluft und möglichen Leckagen in Wärmerückgewinnungsanlagen sowie zu sicheren Abständen zwischen Fortluft- und Aussenluft-Durchlässen auf. Umluft ist technisch leicht in jedem Klima zu vermeiden, und es gibt verfügbare Alternativen, wie z. B. energieeffizientere Lösungen zur Wärme-, Kälte- und Feuchterückgewinnung. Allerdings sind weitere Untersuchungen zum Schadstofftransfer erforderlich. Zum Beispiel sind Studien zum Schadstofftransfer von Rotoren (Enthalpieübertrager) mehr als 20 Jahre alt, und weitere Studien zum Partikel- und Gasphasentransfer sowie zu den Auswirkungen hygroskopischer Beschichtungen könnten ebenfalls erforderlich sein. Das Gleiche gilt für Luftreinigungstechnologien, für die Forschung und Normung in der Entwicklungsphase sind.

6 Zusammenfassung und die Forschungsagenda

Obwohl es viele Möglichkeiten gibt, die Belüftungslösungen in Zukunft zu verbessern, ist es wichtig zu erkennen, dass die derzeitige Technologie und das Wissen bereits die Nutzung vieler Räume in Gebäuden während eines COVID-19-Ausbruchs erlauben, solange die Lüftungsraten den bestehenden Standards entsprechen oder diese idealerweise übertreffen und eine Bewertung des Kreuzinfektionsrisikos durchgeführt wird (wie in [Abschnitt 2](#) gezeigt). Was die Luftstromraten betrifft, so ist mehr Lüftung immer besser, aber zur Verdünnung der Aerosolkonzentration ist die Gesamtluftstromrate in L/s pro infizierte Person entscheidend. Dies macht grosse Räume, die nach den aktuellen Standards belüftet werden, einigermaßen sicher, aber kleinere Räume, die von weniger Personen belegt werden und relativ niedrige Luftstromraten aufweisen, stellen ein höheres Risiko dar, selbst wenn sie gut belüftet sind. Die Begrenzung der Personenanzahl in kleinen Räumen, die Reduzierung der Belegungszeit und die Anwendung von räumlicher Distanzierung werden in den meisten Fällen die Wahrscheinlichkeit einer Kreuzinfektion auf ein vernünftiges Mass reduzieren. Für zukünftige Gebäude und die Verbesserung der Belüftung können Lüftungsraten der Kategorie I empfohlen werden, da diese im Vergleich zu den üblichen Lüftungsraten der Kategorie II eine deutliche Risikominderung bieten.

Vorgeschlagene Forschungsagenda:

- Zukünftige Forschungen sollten sich vorrangig mit den Aspekten der Kreuzkontamination, der Luftverteilung und der Belüftungsmöglichkeit mit Aussenluft befassen;
- Schnelle und erschwingliche Nachrüstlösungen für eine verbesserte Lüftungseffizienz, die zu einer Verringerung des Infektionsrisikos führen, sollten ein besonderer Schwerpunkt für bestehende Gebäude sein (die als Teil einer energieeffizienten, kohlenstoffarmen Nachrüstung entwickelt werden können, um die Ziele für 2030/2050 zu erreichen);
- Das Risikomanagement kann durch den gezielten Einsatz von RLQ-Überwachungssystemen verbessert werden, die nicht nur darauf ausgelegt sind, Situationen mit hoher CO₂-Konzentration zu erkennen, sondern auch CO₂-Konzentrationstrends (abhängig von der Raumgrösse, einer normalen Anzahl von im Raum anwesenden Personen usw.) in eine Bewertung des Wells-Riley-Infektionsrisikos umzusetzen;
- Forschungsfördereinrichtungen und die Industrie sollten in die Entwicklung praktischer technischer Lösungen zum Schutz vor der Aerosolübertragung von Infektionskrankheiten in Innenräumen, Gebäuden und in öffentlichen Verkehrsmitteln investieren;
- Bauvorschriften, Normen und Richtlinien sollten überarbeitet und aktualisiert werden, um für zukünftige Epidemien bereit zu sein;
- Die vorgeschlagenen Massnahmen verringern das Risiko der Übertragung von Viruskrankheiten über die Luft und bringen Vorteile für die allgemeine Gesundheit in Zeiten zwischen Epidemien.

Anhang 2 - Inspektion von rotierenden Wärmeübertragern zur Begrenzung interner Leckagen

Der Hauptindikator für die interne Leckage der verunreinigten Luft, die den Raum verlässt und durch den Wärmeübertrager in die Zuluft gelangt, wird durch das Fortluftübertragungsverhältnis (EATR) in % ausgedrückt. EATR ist eine Funktion der Druckdifferenz zwischen der Zuluftseite hinter dem Wärmeübertrager (p_{22}) und der Abluftseite vor dem Wärmeübertrager (p_{11}), und ihr Wert hängt von der Art der Abdichtung und den Bedingungen ab. Aber auch die Rotordrehzahl und die Spülzone haben einen Einfluss auf das EATR. Das Hauptziel ist, einen Überdruck auf der Zuluftseite zu halten und auf diese Weise jede mögliche Leckage auf jene von der Zuluft zur Abluft zu beschränken (d. h. $EATR = 0\%$). In gut ausgestatteten raumluftechnischen (RLT-)Geräten sind normalerweise Druckentnahmestellen zur Messung von p_{11} und p_{22} vorhanden.

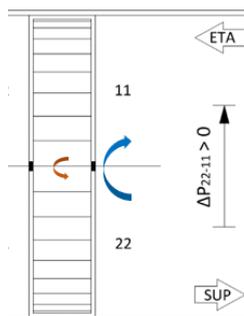


Abbildung 10. Druckdifferenz Δp_{22-11} im RLT-Gerät.

In Abbildung 10 bedeuten SUP (*supply air*) «Zuluft» und ETA (*extract air*) «Abluft».

Bei einem korrekt ausgelegten, eingestellten und gewarteten Rotationswärmeübertrager ist die Leckage von potenziell mit Krankheitserregern kontaminierter Abluft in den Zuluftstrom typischerweise sehr gering und ohne praktische Bedeutung. Bei falscher Auslegung der RLT-Ventilatoren oder nicht korrekter Druckausgleichseinstellung im RLT-Gerät kann die Leckage jedoch deutlich höher sein.

Massnahmen, um die Fortluftleckage gering zu halten

Die Luftleckage über einen Rotationswärmeübertrager hängt von einer Reihe von Faktoren ab, die im Folgenden beschrieben werden. Das Personal des Gebäudemanagements hat normalerweise keinen Einfluss auf den Standort der Ventilatoren, aber andere Massnahmen zur Vermeidung oder Minimierung der Leckage sollten bei der Inbetriebnahme, Inspektion und regelmässigen Wartung getroffen werden.

Richtige Position der Ventilatoren

Eine Voraussetzung für die Minimierung interner Leckagen ist die richtige Positionierung der Ventilatoren. Die möglichen Konfigurationen der Ventilatorenposition sind in den Abbildungen 11 bis 14 dargestellt. Bei der am meisten empfohlenen Konfiguration befinden sich beide Ventilatoren stromabwärts nach dem Wärmeübertrager (siehe Abbildung 11). In dieser Konfiguration liegt das EATR bei korrekt ausgeglichenen Drücken ($\Delta p_{22-11} > 0$) und richtig eingestellter Spülzone normalerweise unter 1 %. Im Gegensatz dazu hat die in Bezug auf die Leckage ungünstigste Konfiguration beide Ventilatoren auf der Gebäudeseite (siehe Abbildung 12). Im schlimmsten Fall kann das EATR bei dieser Konfiguration bis zu 10–20 % betragen⁶.

⁶ Eurovent-Empfehlung 6-15. Schätzung basierend auf Eurovent-Certified-Daten.

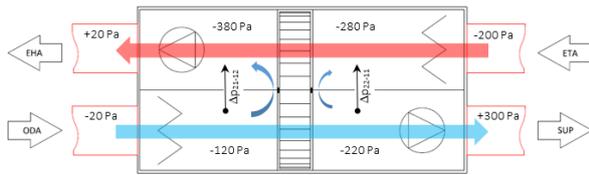


Abbildung 11. Beste Konfiguration:
Beide Ventilatoren nach dem Rotor

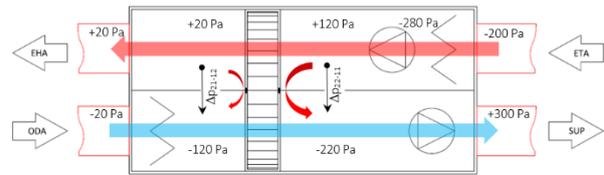


Abbildung 12. Schlechteste Konfiguration:
Beide Ventilatoren auf der Gebäudeseite

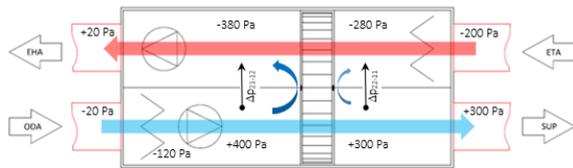


Abbildung 13. Beide Ventilatoren auf der
Aussenseite

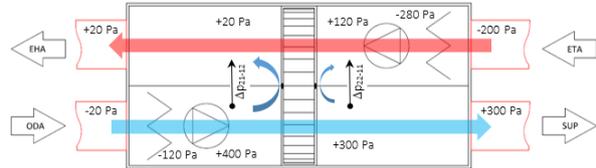


Abbildung 14. Beide Ventilatoren stromaufwärts des
Wärmeübertragers.

In den Abbildungen 11 bis 14 bedeuten ODA (outdoor air) «Aussenluft», SUP (supply air) «Zuluft», ETA (extract air) «Abluft» und EHA (exhaust air) «Fortluft».

Druckdifferenz ausgleichen

Der nächste Schritt zur Minimierung einer Leckage ist die Einstellung der richtigen Differenz zwischen den Drücken p_{22} und p_{11} . Der Druck p_{11} sollte mindestens 20 Pa kleiner sein als der Druck p_{22} . Abhängig von der Konfiguration der Ventilatoren kann dies durch Drosselung wie folgt erfolgen:

- Wenn beide Ventilatoren nach dem Rotor platziert sind (Abbildung 11): Stellen Sie die Drossel in der Abluft so ein, dass p_{11} mindestens $(p_{22} - 20 \text{ Pa})$ wird. Wenn keine Drossleinrichtung (z. B. Klappe) in einem RLT-Gerät vorhanden ist, sollte sie im Luftleitungsnetz installiert werden.
- Beide Ventilatoren auf der Gebäudeseite (Abbildung 12): In diesem Fall gibt es keine Möglichkeit, die Drosselung zu verwenden.
- Beide Ventilatoren auf der Aussenseite (Abbildung 13): Eine Drosselung ist in diesem Fall nicht erforderlich.
- Beide Ventilatoren vor dem Rotor (Abbildung 14): Stellen Sie die Drossel in der Zuluft so ein, dass p_{11} mindestens $(p_{22} - 20 \text{ Pa})$ wird. Wenn die Drossleinrichtung (z. B. Klappe) in einem RLT-Gerät nicht vorhanden ist, sollte sie im Luftleitungsnetz installiert werden.

Korrekte Anwendung der Spülzone, Position und Einstellung

Die Spülzone ist eine Vorrichtung, welche die aus der Rotation des Rades resultierende Leckage (Mitrotationsleckage) praktisch eliminieren kann. Ihre Lage und Einstellung (Winkel) muss nach den Vorgaben des RLT-Geräteherstellers in Abhängigkeit der Konfiguration der Ventilatoren und der Druckverhältnisse angeordnet werden.

Effektive Abdichtung des Rotors

Umlauf- und Mittelbalkendichtungen verhindern Luftleckagen von der Zuluft- zur Fortluftseite. Die Dichtungen unterliegen einem Verschleiss und ihre Leistung lässt mit der Zeit nach. Der Zustand der Dichtungen sollte bei der regelmässigen Inspektion überprüft und die Dichtung bei Bedarf gemäss den Anweisungen des Herstellers wieder in den ursprünglichen Zustand versetzt werden.

Methode zur Abschätzung der Leckage (EATR) für Vor-Ort-Tests

Die genaue Prüfung der internen Luftleckage muss im Labor durchgeführt werden. Der Entwurf der neuen kommenden Norm prEN 308 bietet jedoch eine einfache Methode zur Abschätzung des EATR im Betrieb anhand von Temperaturmessungen, die vor Ort durchgeführt werden können. Das Testverfahren umfasst Messungen der Temperaturen t_{11} , t_{21} und t_{22} unter stationären Bedingungen bei stehendem Rotor (Wärmeübertragung deaktiviert).

Anschliessend wird EATR wie folgt berechnet:

$$EATR = \frac{t_{22} - t_{21}}{t_{11} - t_{21}}$$

worin,

- t_{11} Temperatur Fortluft-Eintritt;
- t_{21} Temperatur Zuluft-Eintritt;
- t_{22} Temperatur Zuluft-Austritt.

Leckagen, die mit der Drehung des Rotors zusammenhängen (Mitrotation), können mit dieser Methode nicht ermittelt werden.

Anhang 3 - Lüftung in Patientenzimmern

Lüftungssysteme für spezielle Patientenzimmer wie Isolierzimmer für luftgetragene infektiöse Krankheiten (AIIR, *airborne infectious isolation rooms*) wurden zur Kontrolle des Infektionsrisikos gut entwickelt⁷. Für diese Räume werden zwei Prinzipien angewendet: Die Verhinderung der Ausbreitung von luftgetragenen Mikroben in angrenzende Räume und die Umgebung und die Reduzierung der Menge an luftgetragenen Mikroben im Patientenzimmer mit effizienter Belüftung. Um die Ausbreitung durch luftgetragene Übertragung von einem Ausgangspatienten auf anfällige Patienten und andere Personen in einem Patientenzimmer zu verhindern, ist es wichtig, das Patientenzimmer im Vergleich zu den angrenzenden Räumen in Krankenhäusern im Unterdruck zu halten. Patientenzimmer mit Unterdruck werden auch als «Isolierzimmer der Klasse N», «Isolierung gegen luftgetragene Infektionen» und «Isoliereinheiten für Infektiöse» bezeichnet. Es werden hier einige Empfehlungen speziell für den Betrieb von Patientenzimmern in temporären Krankeneinstellungen während COVID-19 gemäss verschiedener nationaler Vorschriften/Normen vorgestellt^{8,9,10,11,12}. Im Allgemeinen haben Lüftungssysteme von Krankenhäusern, die nach diesen Vorschriften/Normen ausgelegt sind, eine angemessene Risikokontrolle für luftgetragene Infektionen bei COVID-19-Erkrankungen geboten, so dass keine Kreuzinfektionen aus modernen Krankenhäusern gemeldet wurden.

Für Normalbereiche/Patientenzimmer:

- Normale Patientenzimmer, die nicht für Patienten mit Infektionskrankheiten vorgesehen sind, benötigen einen 4-fachen Luftwechsel pro Stunde.
- Falls das Patientenzimmer für die Luftübertragungsvorsorge verwendet wird, sollte es nachgerüstet werden, um die Anforderungen für Isolierzimmer zu erfüllen, bei denen eine angemessene Belüftung von mindestens 6 Luftwechseln pro Stunde erforderlich ist (entspricht 40 L/s pro Patient für einen 4 x 2 x 3 m³ grossen Raum).

Für temporäre Bereiche/Stationen für Patienten mit Infektionskrankheiten:

- Gesundheitseinrichtungen, die nicht über genügend Einzelisolierzimmer in den Notaufnahmen verfügen, sollten einen separaten, gut belüfteten Bereich einrichten, in dem Patienten mit Verdacht auf COVID-19 warten können.
- Wenn möglich, sollte das Belüftungssystem verbessert werden, um die Anforderungen an Isolierzimmer zu erfüllen.

Für Isolierzimmer mit luftgetragenen Infektionen:

- Luft aus Isolierzimmern (AIIR) muss wenn immer möglich direkt unter Verwendung eines HEPA-Filters ins Freie abgeleitet werden. So kann eine mögliche Kreuzkontamination vermieden werden, falls sich der Fortluft-Durchlass in der Nähe von Fenstern oder Aussenluft-Durchlässen befindet.

⁷ Guidelines for the classification and design of isolation rooms in health care facilities, Victorian Advisory Committee on Infection Control 2007.

[http://docs2.health.vic.gov.au/docs/doc/4AAF777BF1B3C40BCA257D2400820414/\\$FILE/070303_DHS_ISO%20RoomGuide_web.pdf](http://docs2.health.vic.gov.au/docs/doc/4AAF777BF1B3C40BCA257D2400820414/$FILE/070303_DHS_ISO%20RoomGuide_web.pdf)

⁸ ASHRAE-Standard 170-2013

⁹ VDI 6022 <https://www.vdi.de/richtlinien/unsere-richtlinien-highlights/vdi-6022>

¹⁰ <https://www.fhi.no/publ/eldre/isoleringsveilederen/>

¹¹ <https://www.cdc.gov/infectioncontrol/guidelines/environmental/appendix/air.html#tableb2>

¹² <https://www.who.int/publications/i/item/WHO-2019-nCoV-IPC-2020.4>

- Stellen Sie sicher, dass die Zuluftleitungen unabhängig vom gemeinsamen Zuluftsystem des Gebäudes sind.
- Der Zuluftvolumenstrom sollte bei bestehenden Isolierzimmern einem 6- bis 12-fachen Aussenluftwechsel pro Stunde entsprechen (z. B. 40–80 L/s pro Patient für einen 4 x 2 x 3 m³ grossen Raum), bei Neubauten idealerweise mindestens einem 12-fachen Aussenluftwechsel pro Stunde. Siehe Abbildung 15 zur Veranschaulichung der Auswirkung von hohen Luftstromraten.
- Die empfohlene Unterdruckdifferenz beträgt ≥ 5 Pa, um sicherzustellen, dass die Luft vom Flur in das Patientenzimmer strömt.
- Der Abluft-Durchlass muss sich direkt über dem Patientenbett an der Decke oder an der Wand befinden.
- Stellen Sie sicher, dass der Raum so luftdicht wie möglich ist.
- Abluft aus dem Patientenzimmer und der Toilette sollte nicht rezirkuliert und in den Raum zurückgeführt werden.
- Bringen Sie einen lokalen akustischen Alarm oder eine lokale optische Einrichtung an, falls der Ventilator ausfällt und die negative Druckdifferenz nicht aufrechterhalten wird.
- Ein separates Fortluftsystem für jeden Raum, das eine grössere Luftmenge abführt als zuführt.
- Wenn möglich, sollte ein Vorraum oder eine Schleuse verwendet werden, um die Übertragung von Infektionserregern durch die Türöffnung des Isolierzimmers (AIIR) zu verhindern.

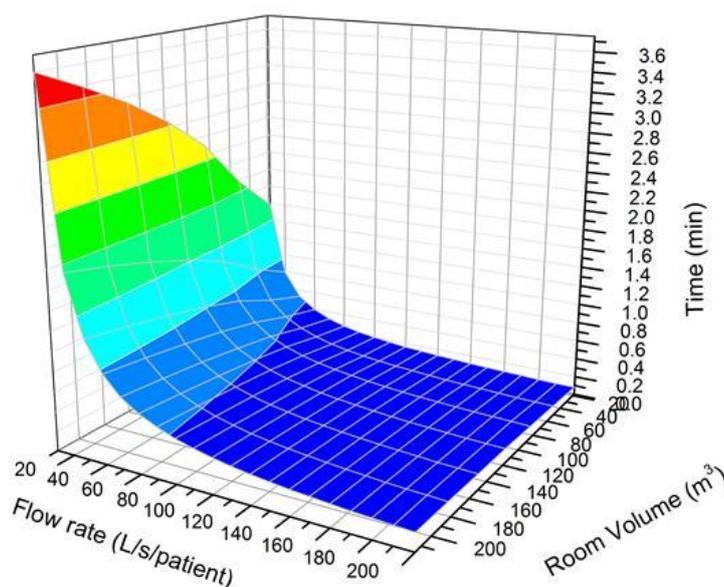


Abbildung 15. Veranschaulichung von hohen Luftstromraten. Zeitdauer (Time) zum Austausch der Luft im Raum als Funktion der Luftstromrate (Flow rate) und des Raumvolumens (Room volume).

Bei natürlicher Lüftung werden wegen des instabilen Betriebs höhere Lüftungsraten empfohlen. Eine ausreichende Lüftung kann nicht zu jeder Zeit gewährleistet werden. Natürliche Lüftung ist nur bei günstigen Klimabedingungen für den Einsatz geeignet. Eine umfassende Anleitung zur natürlichen Lüftung wird von der WHO bereitgestellt¹³.

¹³ Natural Ventilation for Infection Control in Health-Care Settings. WHO 2009. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation.pdf

Anhang 4 - COVID-19 Lüftungs- und Gebäudetechnikanleitung für Schulpersonal

In diesem Dokument fassen wir Empfehlungen zum Betrieb und zur Nutzung der Gebäudetechnik in Schulen zusammen, um die Verbreitung der Coronavirus-Krankheit (COVID-19) durch das Virus (SARS-CoV-2) zu verhindern. Dieser Leitfaden richtet sich vor allem an Schulleitungspersonen, Lehrpersonen und Facility-Manager.

Bevor präventive Massnahmen ergriffen werden, bedarf es eines grundlegenden Verständnisses der Übertragung von Infektionserregern. In Bezug auf COVID-19 können vier Übertragungswege unterschieden werden:

1. bei engem Kontakt von 1–2 m über grosse Tröpfchen und Aerosole (beim Niesen oder Husten oder Sprechen);
2. über die Luft durch Aerosole (ausgetrocknete kleine Tröpfchen), die über Stunden in der Luft bleiben und über weite Strecken transportiert werden können (Abgabe beim Atmen, Sprechen, Niesen oder Husten);
3. durch Oberflächenkontakt (Hand-Hand, Hand-Fläche usw.);
4. über den fäkal-oralen Weg.

Weitere Hintergründe zu den Übertragungswegen von SARS-CoV-2 finden Sie in [Abschnitt 2](#) dieses Dokuments.

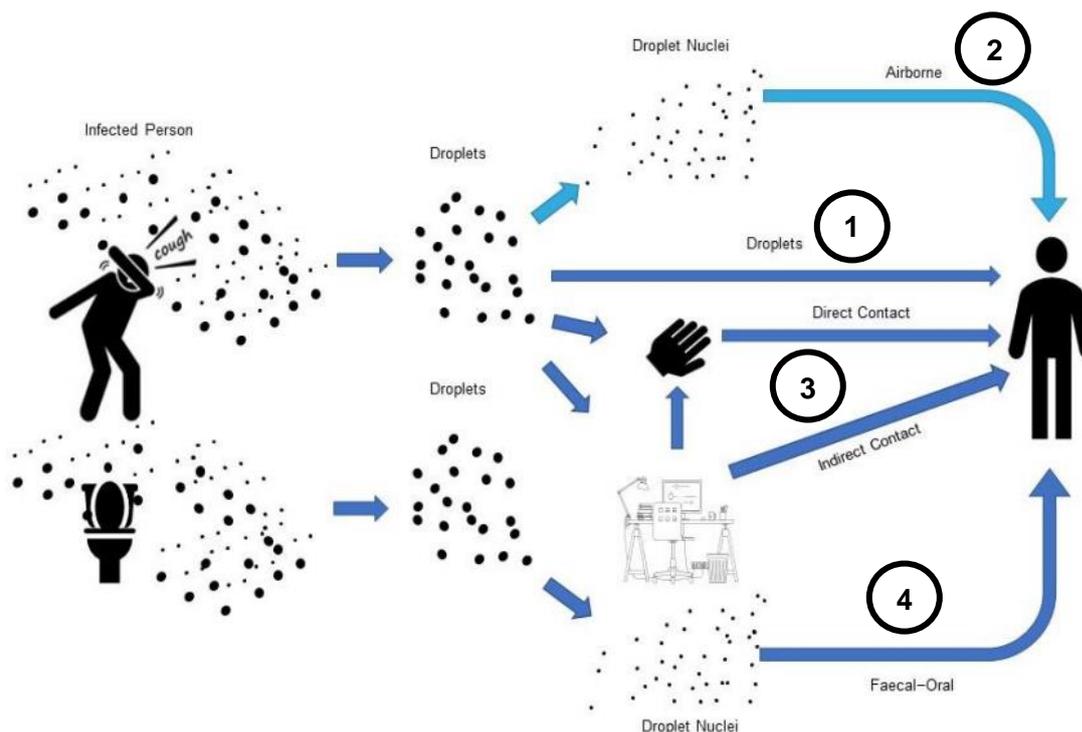


Abbildung 16. Expositionsmechanismen von COVID-19-/SARS-CoV-2-Tröpfchen. (Abbildung: mit freundlicher Genehmigung von Francesco Franchimon).

In der Abbildung 16 bedeutet *Infected Person* «Infizierte Person», *Cough* «Husten», *Droplets* «Tröpfchen», *Droplet Nuclei* «Tröpfchenkerne», *Airborne* «luftgetragen», *Faecal-Oral* «fäkal-oral» und *Direct/Indirect Contact* «direkter/indirekter Kontakt».

Allgemeine Anleitungen für Arbeitgeber und Gebäudebetreiber, die z. B. im WHO-Dokument «[Guidance for COVID-19 prevention and control in schools](#)» und in nationalen Richtlinien vorgestellt werden, konzentrieren sich auf die Überwachung von Symptomen, das Einhalten von Abstand und

gute Hygienepraktiken (Übertragungswege über grosse Tröpfchen und über Oberflächenkontakt). Um das Infektionsrisiko so gering wie möglich zu halten, empfehlen wir zusätzlich Massnahmen zur Lüftung (luftgetragene Übertragung) und zu sanitären Anlagen (fäkal-orale Übertragung).

Lüftung

In vielen europäischen Schulen ist eine ausreichende Belüftung eine Herausforderung. Heute werden viele Schulen in Europa natürlich belüftet (z. B. über Fenster). Die natürliche Lüftung hängt wesentlich von der Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und Aussenluft und der aktuellen Windsituation ab. Daher kann eine ausreichende natürliche Lüftung nicht zu jeder Zeit gewährleistet werden. Mechanische Lüftungssysteme können einen kontinuierlichen Luftaustausch über das ganze Jahr hinweg gewährleisten.

Nachfolgend werden einige praktische Hinweise zur kurzfristigen Optimierung der Belüftung gegeben:

- Stellen Sie die Belüftung der Räume mit Aussenluft sicher. Prüfen Sie, ob die natürlichen oder mechanischen Lüftungssysteme in den Klassenzimmern gut funktionieren:
 - ✓ Prüfen Sie, ob sich Fenster und Gitter öffnen lassen;
 - ✓ Reinigen Sie Lüftungsgitter, damit die Luftzufuhr nicht behindert wird;
 - ✓ Lassen Sie mechanische Lüftungsanlagen von Ihrer Instandhaltungsfirma auf ihre Funktion überprüfen;
- Installieren Sie einen CO₂-Monitor mit Ampelanzeige (Abbildung 17) zumindest in den Klassenzimmern, in denen die Lüftung vom Öffnen von Fenstern und/oder von Aussenbauteil-Luftdurchlässen abhängt. Damit wird der Bedarf an zusätzlicher Lüftung durch Öffnen von Fenstern visualisiert. Achten Sie darauf, dass der CO₂-Monitor an einer gut sichtbaren Stelle im Klassenzimmer, entfernt von Aussenluft-Durchlässen (z. B. geöffneten Fenstern), angebracht wird, typischerweise an der Innenwand in Aufenthaltsbereichshöhe von ca. 1,5 m. In Zeiten von Corona empfehlen wir, die Standardeinstellungen der Ampelanzeige (gelb/oranges Licht bis 800 ppm und rotes Licht bis 1000 ppm) vorübergehend zu ändern, um möglichst viel Lüftung zu fördern.



Abbildung 17. Beispiele für CO₂-Monitore mit Ampelanzeige zur Darstellung der Raumluftqualität.

-
- Prüfen Sie die Betriebszeiten der mechanischen Lüftungsanlagen. Schalten Sie die Lüftung mindestens 2 Stunden vor Schulbeginn auf Nenndrehzahl ein und 2 Stunden nach Belegung entweder aus oder auf Weiterbetrieb mit niedrigerer Drehzahl. Halten Sie die Toilettenlüftung in ähnlicher Weise wie die Hauptlüftungsanlage auf Nenndrehzahl¹⁴.
 - Schalten Sie Lüftungsgeräte mit zentraler Umluft auf 100 % Aussenluft um.
 - Passen Sie die Sollwerte von CO₂-gesteuerten Lüftungsanlagen an (falls vorhanden). Bei diesen Systemen wird die Luftwechselrate bei geringerer Belegung automatisch reduziert, um Energie zu sparen. Um das Risiko der Übertragung von Infektionskrankheiten zu verringern, ist ein vollständiger Luftaustausch erforderlich, auch wenn nur ein Teil der Schüler anwesend ist. Fragen Sie Ihre Wartungsfirma, ob in Ihrem Gebäude eine CO₂-gesteuerte Lüftung vorhanden ist. In der Regel sind sie auch diejenigen, die die Sollwerte einstellen.
 - Geben Sie den Lehrpersonen Anweisungen, wie sie die Lüftungsanlagen benutzen sollen:
 - ✓ Öffnen Sie Fenster und Lüftungsgitter während der Schulzeit so weit wie möglich. Das Öffnen von Fenstern knapp unter der Decke reduziert die Zugluftgefahr. In Räumen mit mechanischer Be- und Entlüftung ist dies in der Regel nicht notwendig, aber eine zusätzliche Lüftung ist positiv und stört die Lüftungsanlage nicht.
 - ✓ Sorgen Sie für regelmässiges Lüften mit Fenstern in den Pausen (auch in mechanisch belüfteten Gebäuden).
 - ✓ Achten Sie darauf, dass die Lüftungseinrichtungen nicht durch Vorhänge oder Möbel verdeckt oder blockiert werden.
 - ✓ Behalten Sie eventuell installierte CO₂-Anzeigergeräte im Auge (bitten Sie die Schüler um Mithilfe). Beachten Sie, dass bei Aktivitäten wie Singen oder Sport mehr Aerosole freigesetzt werden.
 - ✓ Verwenden Sie wie gewohnt lokale Kühlsysteme, wie Ventilator-konvektoren oder Splitgerätee¹⁵. Stellen Sie jedoch sicher, dass **immer** frische Aussenluft durch mechanische Lüftungssysteme oder offenbare Fenster zugeführt wird.

Langfristig ist es natürlich sinnvoll, die Belüftung baulich zu verbessern, da eine schlechte Raumluftqualität u. a. zu Kopfschmerzen, Müdigkeit und verminderter Lernleistung führt.

Einige Auftragnehmer und Instandhaltungsfirmen bieten jetzt den Austausch von Filtern an, aber dies ist NICHT notwendig, um Infektionsrisiken zu reduzieren. Tauschen Sie Filter nur aus, wenn dies notwendig oder bereits geplant ist. Ausserdem spricht man von Kühlung und Befeuchtung der Luft. Das Einstellen der Sollwerte der Klimaanlage auf niedrigere Werte ist NICHT notwendig und in Schulen nutzlos. Das Gleiche gilt für das Aufstellen von Luftbefeuchtern, denn es gibt KEINE Beweise, dass dies effektiv ist. Konzentrieren Sie sich auf die Dinge, die wirklich wichtig sind, wie z. B. richtiges Lüften.

¹⁴ Eine detailliertere Anleitung zum Betrieb der Lüftung finden Sie in [Abschnitt 4.1](#).

¹⁵ Ausführlichere Hinweise zu Ventilator-konvektoren und Splitgerätee finden Sie in [Abschnitt 4.6](#).



Abbildung 18. Öffnen Sie die Fenster während der Schulzeit so weit wie möglich und sorgen Sie für Belüftung in den Pausen.

Sanitär

Hinweise zu den sanitären Einrichtungen (Wasserhähne, Toiletten, Kanalisation):

- Spülen Sie alle Toiletten, Wasserhähne und Duschen, bevor die Schule wieder geöffnet wird. Wenn die Wasserhähne mehrere Wochen lang nicht benutzt wurden, kann das Wasser, das sich noch in den Leitungen befindet, von schlechter Qualität sein.
- Prüfen Sie, ob die Wasserhähne in allen Toiletten in Betrieb sind (mit Seifenspendern und Papierhandtüchern) oder stellen Sie andere Möglichkeiten zur Händedesinfektion nach dem Toilettengang zur Verfügung.
- Ersetzen Sie häufig benutzte Wasserhähne durch solche mit Sensor, so dass sie berührungslos bedient werden können.
- Achten Sie darauf, dass Bodenabläufe nicht austrocknen, um einen offenen Anschluss an den Abwasserkanal zu vermeiden. Füllen Sie die Abläufe regelmässig mit Wasser auf. Fügen Sie etwas Öl hinzu, damit der Wasserverschluss nicht schnell verdunstet.
- Geben Sie die Anweisung, Toiletten mit geschlossenem Deckel zu spülen und sich nach der Toilettenbenutzung die Hände zu waschen.

Zusätzliche Informationen

<https://www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance>

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/advice-for-public>

<https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/guidance-for-schools-workplaces-institutions>

https://www.unicef.org/media/66216/file/Key%20Messages%20and%20Actions%20for%20COVID-19%20Prevention%20and%20Control%20in%20Schools_March%202020.pdf?sfvrsn=baf81d52_4

Rückmeldung

Wenn Sie Spezialist für die in diesem Dokument angesprochenen Themen sind und Anmerkungen oder Verbesserungsvorschläge haben, können Sie uns gerne über info@rehva.eu kontaktieren. Bitte geben Sie in Ihrer E-Mail als Betreff 'COVID-19 interim document' an.

Verfasser

Dieses Dokument wurde von der COVID-19-Taskforce des REHVA-Ausschusses für Technologie und Forschung erstellt, basierend auf der ersten Version des Leitfadens, der im Zeitraum vom 6. bis 15. März 2020 von freiwilligen REHVA-Mitarbeitern entwickelt wurde.

Mitglieder der Taskforce sind:

Prof. Jarek Kurnitski, Chair of REHVA COVID-19 Task Force, Tallinn University of Technology, Chair of REHVA Technology and Research Committee

Dr. Atze Boerstra, REHVA vice-president, managing director bba binnenmilieu

Dr. Francesco Franchimon, managing director Franchimon ICM

Igor Sikoncezyk, Senior Technical and Regulatory Affairs Manager at Eurovent

Ir. Froukje van Dijken, healthy building specialist at bba binnenmilieu

Prof. Catalin Lungu, REHVA vice-president, vice-president of AIIR

Prof. Guangyu Cao, Norwegian University of Science and Technology (NTNU)

Dr. Hywel Davies, Technical Director of CIBSE

Prof. em. Olli Seppänen, Aalto University

Frank Hovorka, REHVA president, director technology and innovation FPI, Paris

Jaap Hogeling, manager International Projects at ISSO

Prof. Ivo Martinac, REHVA vice-president, KTH Royal Institute of Technology

Prof. Livio Mazzarella, Milan Polytechnic University

Prof. em. Francis Allard, La Rochelle University

Henk Kranenberg, vice-president of Eurovent, Senior Manager at Daikin Europe NV

Mikael Borjesson, Vice President of Eurovent Association, Competence Director Swegon Group

Francesco Scuderi, Deputy Secretary General at Eurovent Association

Prof. Dr. Marija S. Todorovic, University of Belgrade Serbia

Dr. Benoit Sicre, Lucerne School of Engineering and Architecture

Prof. Manuel Gameiro da Silva, REHVA vice-president, University of Coimbra

Kemal Gani Bayraktar, REHVA vice-president, Marketing Director at Izocam

Juan Travesi Cabetas, REHVA vice-president, vice-president of ATECYR

Prof. Manuel Ruiz de Adana, ATECYR Technical Committee. University of Cordoba

Prof. Pedro G. Vicente Quiles, Chair of ATECYR Technical Committee. Universidad Miguel Hernández de Elche

Prof. Cristina Tanasa, Politehnica University Timisoara

Ioan Silviu Dobosi, AIIR - Romanian Association of Building Services Engineers

Dieses Dokument wurde von Prof. Yuguo Li von der University of Hongkong, Prof. Shelly Miller von der University of Colorado Boulder, Prof. Pawel Wargocki von der Technical University of Denmark, Prof. Lidia Morawska von der Queensland University of Technology und Dr. Jovan Pantelic von der University of California Berkeley geprüft.

- ⁱ Monto, 1974. Medical reviews. Coronaviruses. The Yale Journal of Biology and Medicine 47(4): 234-251.
- ⁱⁱ Doremalen et al, 2013. Stability of Middle East respiratory syndrome coronavirus (MERS-CoV) under different environmental conditions. European communicable disease bulletin 18(38): 1-4.
- ⁱⁱⁱ Ijaz et al, 1985. Survival Characteristics of Airborne Human Coronavirus 229E. Journal of General Virology 66(12): 2743-2748.
- ^{iv} Casanova et al, 2010. Effects of Air Temperature and Relative Humidity on Coronavirus Survival on Surfaces. Applied and Environmental Microbiology 76(9): 2712-2717
- ^v Doremalen et al, 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. N Engl J Med 2020; 382:1564-1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973
- ^{vi} Li et al, 2005a. Role of air distribution in SARS transmission during the largest nosocomial outbreak in Hong Kong. Indoor Air 15(2): 83-95.
- ^{vii} Li et al, 2005b. Multi-zone modeling of probable SARS virus transmission by airflow between flats in Block E, Amoy Gardens. Indoor Air 15(2): 96-111.
- ^{viii} Luongo et al, 2016. Role of mechanical ventilation in the airborne transmission of infectious agents in buildings. Indoor Air 25(6): 666-678.
- ^{ix} Li et al, 2007. Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment - a multidisciplinary systematic review. Indoor Air 17(1): 2-18.
- ^x Xie et al, 2007. How far droplets can move in indoor environments - revisiting the Wells evaporation-falling curve. Indoor Air 2007; 17: 211-225.
- ^{xi} Nicas et al, 2005. Toward Understanding the Risk of Secondary Airborne Infection: Emission of Respirable Pathogens. Journal of Occupational and Environmental Hygiene, 2: 143-154.
- ^{xii} Liu et al, 2017. Short-range airborne transmission of expiratory droplets between two people. Indoor Air 2017; 27: 452-462, <https://doi.org/10.1111/ina.12314>
- ^{xiii} Nielsen V. P., et al. 2008. Contaminant flow in the microenvironment between people under different ventilation conditions. SL-08-064, ASHRAE Transactions, 632-638.
- ^{xiv} WHO, COVID-19 technical guidance: Guidance for schools, workplaces & institutions. <https://www.who.int/emergencies/diseases/novel-coronavirus-2019/technical-guidance/guidance-for-schools-workplaces-institutions> (Abgerufen am 21. März 2020)
- ^{xv} Japanese Ministry of Health, Labour and Welfare. Q & A on novel coronavirus (for general public)
- ^{xvi} Nishiura et al, 2020. medRxiv, <https://doi.org/10.1101/2020.02.28.20029272>
- ^{xvii} Li et al, 2020. Evidence for probable aerosol transmission of SARS-CoV-2 in a poorly ventilated restaurant. Preprint, <https://doi.org/10.1101/2020.04.16.20067728>
- ^{xviii} Miller et al, 2020. Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. Preprint <https://doi.org/10.1101/2020.06.15.20132027>
- ^{xix} Allen und Marr, 2020. Re-thinking Potential for Airborne Transmission of SARS-CoV-2. Preprints 2020, 2020050126 (doi: 10.20944/preprints202005.0126.v1)
- ^{xx} Morawska et al, 2020. How can airborne transmission of COVID-19 indoors be minimised? Environment International, 142. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832>
- ^{xxi} ECDC 2020a. Heating, ventilation and air-conditioning systems in the context of COVID-19. European Centre for Disease Prevention and Control, Technical report, 22 June 2020. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/heating-ventilation-air-conditioning-systems-covid-19>
- ^{xxii} Robert-Koch-Institut, 2020. https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief.html
- ^{xxiii} Morawska and Milton, et al, 2020. It is Time to Address Airborne Transmission of COVID-19. Clinical Infectious Diseases. 10.1093/cid/ciaa939. <https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>
- ^{xxiv} WHO, 2020d. Transmission of SARS-CoV-2: implications for infection prevention precautions. Scientific Brief, 9. Juli 2020. <https://www.who.int/publications/i/item/modes-of-transmission-of-virus-causing-covid-19-implications-for-ipc-precaution-recommendations>
- ^{xxv} US CDS press release: <https://www.cdc.gov/media/releases/2020/s0522-cdc-updates-covid-transmission.html>
- ^{xxvi} WHO, 2020b. Water, sanitation, hygiene and waste management for COVID-19. World Health Organization, Geneva.
- ^{xxvii} Hung, 2003. The SARS epidemic in Hong Kong: what lessons have we learned? Journal of the Royal Society of Medicine 96(8): 374-378.
- ^{xxviii} WHO, 2020a. Report of the WHO-China Joint Mission on Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). World Health Organization, Geneva.
- ^{xxix} Zhang et al, 2020. Molecular and serological investigation of 2019- nCoV infected patients: implication of multiple shedding routes. Emerging Microbes & Infections 9(1): 386-389.
- ^{xxx} Guan W-J et al, 2020. Clinical characteristics of 2019 novel coronavirus infection in China. l J Med. 2020 Apr 30;382(18):1708-1720. doi: 10.1056/NEJMoa2002032.

- ^{xxxi} Wenzhao et al, 2020. Short-range airborne route dominates exposure of respiratory infection during close contact. *Building and Environment* 176 (2020) 106859.
- ^{xxxii} Fennelly KP, 2020. Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control. *Lancet Respir Med* 2020. [https://doi.org/10.1016/S2213-2600\(20\)30323-4](https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30323-4)
- ^{xxxiii} US CDS 2015. Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention.
- ^{xxxiv} Guidelines for the implementation of non-pharmaceutical interventions against COVID-19. European Centre for Disease Prevention and Control, 24 September 2020. <https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/covid-19-guidelines-non-pharmaceutical-interventions>
- ^{xxxv} Chin et al, 2020. Stability of SARS-CoV-2 in different environmental conditions. *The Lancet Microbe*. [https://doi.org/10.1016/S2666-5247\(20\)30003-3](https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3)
- ^{xxxvi} Doremalen et al, 2020. Aerosol and Surface Stability of SARS-CoV-2 as Compared with SARS-CoV-1. *N Engl J Med* 2020; 382:1564-1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973
- ^{xxxvii} Morawska, 2006. Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air* 16(2): 335-347.
- ^{xxxviii} Salah et al, 1988. Nasal mucociliary transport in healthy subjects is slower when breathing dry air. *European Respiratory Journal* 1(9): 852-855.
- ^{xxxix} Kudo et al, 2019. Low ambient humidity impairs barrier function and innate resistance against influenza infection. *PNAS*: 1-6
- ^{xl} Milton et al, 2001. Risk of Sick Leave Associated with Outdoor Air Supply Rate, Humidification, and Occupant Complaints. *Indoor Air* 2001. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2000.010004212.x>
- ^{xli} ISO 17772-1:2017 und EN 16798-1:2019
- ^{xlii} Han et al, 2005. An Experimental Study on Air Leakage and Heat Transfer Characteristics of a Rotary-type Heat Recovery Ventilator. *International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration* 13(2): 83-88.
- ^{xliii} Carlsson et al, 1995. State of the art Investigation of rotary air-to-air heat exchangers. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut, Energiteknik (Energy Engineering) SP RAPPORT 1995:24.
- ^{xliv} Ruud, 1993. Transfer of Pollutants in Rotary Air-to-air Heat Exchangers, A Literature Study/ State-of-the-art Review. SP Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (The Swedish National Testing and Research Institute) Energiteknik (Energy Engineering) SP RAPPORT 1993:03
- ^{xlv} Wargocki, P., & Faria Da Silva, N. A. (2012). Use of CO₂ feedback as a retrofit solution for improving air quality in naturally ventilated classrooms. *Healthy Buildings*, Brisbane, Australia.
- ^{xlvi} Sipolla MR, Nazaroff WW, 2003. Modelling particle loss in ventilation ducts. *Atmospheric Environment*. 37(39-40): 5597-5609.
- ^{xlvii} Fisk et al, 2002. Performance and costs of particle air filtration technologies. *Indoor Air* 12(4): 223-234. . <https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2002.01136.x>
- ^{xlviii} Best et al, 2012. Potential for aerosolization of *Clostridium difficile* after flushing toilets: the role of toilet lids in reducing environmental contamination risk. *The Journal of hospital infection* 80(1):1-5.
- ^{xlix} La Mura et al, 2013. Legionellosis Prevention in Building Water and HVAC Systems. REHVA GB 18. <https://www.hse.gov.uk/coronavirus/legionella-risks-during-coronavirus-outbreak.htm>
- ^l CIBSE 2020, <https://www.cibse.org/coronavirus-covid-19/emerging-from-lockdown>
- ^{li} ECDC 2020b, <https://www.ecdc.europa.eu/en/legionnaires-disease>
- ^{lii} ESCMID 2017, https://www.escmid.org/fileadmin/src/media/PDFs/3Research_Projects/ESGLI/ESGLI_European_Technical_Guidelines_for_the_Prevention_Control_and_Investigation_of_Infections_Caused_by_Legionella_species_June_2017.pdf
- ^{lii} Yang W, Marr LC. Dynamics of airborne influenza A viruses indoors and dependence on humidity. *PLoS ONE*. 2011;6:e21481
- ^{lii} Thatcher TL, Lai ACK, Moreno-Jackson R, Sextro RG, Nazaroff WW. Effects of room furnishings and air speed on particle deposition rates indoors. *Atmospheric Environment*. 2002;36:1811-1819.
- ^{lii} Diapouli E, Chaloulakou A, Koutrakis P. Estimating the concentration of indoor particles of outdoor origin: A review. *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2013;63:1113-1129.
- ^{lii} Fears AC, Klimstra WB, Duprex P, et al. Comparative dynamic aerosol efficiencies of three emergent coronaviruses and the unusual persistence of SARS-CoV-2 in aerosol suspensions. *medRxiv* 2020 preprint doi: <https://doi.org/10.1101/2020.04.13.20063784>.
- ^{lii} Miller et al, 2020 Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. *Indoor Air* <https://doi.org/10.1111/ina.12751>
- ^{lii} Buonanno G., Stabile L., Morawska L.. (2020) Estimation of airborne viral emission: Quanta emission rate of SARS-CoV-2 for infection risk assessment. *Environment International* 141.
- ^{lii} Buonanno G, Morawska L, Stabile L, 2020. Quantitative Bewertung des Risikos der luftgetragenen Übertragung der SARS-CoV-2-Infektion: prospektive und retrospektive Anwendungen. *Umwelt International* 145 (2020) 106112 <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106112>
- ^{lii} Adams, W.C., 1993. Measurement of Breathing Rate and Volume in Routinely Performed Daily

Activities. Final Report. Human Performance Laboratory, Physical Education Department, University of California, Davis. Prepared for the California Air Resources Board, Contract No. A033-205.

- ^{lxi} Binazzi B., Lanini B., Bianchi R., et al. 2006. Breathing pattern and kinematics in normal subjects during speech, singing and loud whispering. *Acta Physiologica*. 2006; 186: 233-246.
- ^{lxiii} Pantelic J. & Tham K.W. (2013) Adequacy of air change rate as the sole indicator of an air distribution system's effectiveness to mitigate airborne infectious disease transmission caused by a cough release in the room with overhead mixing ventilation: A case study, *HVAC&R Research*, 19:8, 947-961, DOI: 10.1080/10789669.2013.842447
- ^{lxiv} Bolashikov Z.D., Melikov A.K., Kierat W., Popiolek Z., Brand M. (2012) Exposure of health care workers and occupants to coughed airborne pathogens in a double-bed hospital patient room with overhead mixing ventilation, *HVAC&R Research*, 18:4, 602-615
<https://doi.org/10.1080/10789669.2012.682692>

Mit Unterstützung von



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement des Innern EDI
Bundesamt für Gesundheit BAG



In Zusammenarbeit mit



In der Arbeitsgruppe TRSWKI VA104-01 vertretene Organisationen

BAG	Bundesamt für Gesundheit
ProKlima	–
REHVA	Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations
suissetec	Schweizerisch-Liechtensteinischer Gebäudetechnikverband

Arbeitsgruppe TRSWKI VA104-01

Obmann	Benno Zurfluh, dipl. HLK-Ing. FH/SWKI, Luzern	Vertreter von Projektierung
Mitglieder	David Burkhardt, dipl. HLK-Ing. HTL/SWKI, Luzern	Projektierung
	Gregor Mangold, dipl. Werkmeister/Betriebsmeister HLK TEKO, Zürich	suissetec
	Markus Maurer, dipl. Ing. HTL/SWKI, Luzern	ProKlima
	Uwe W. Schulz, Prof. Dr./SWKI, Horw	REHVA
	Roger Waeber, dipl. Natw. ETH, Winterthur	BAG
<hr/>		
Sachbearbeitung/ Fachlektorat	Aicher, De Martin, Zweng AG, Luzern	
Übersetzung	FREI WÜEST EXPERT, Willisau	
Sprachlektorat	Science Services Alfred Moser, Winterthur	
Qualitätssicherung	Thomas Pfeiffer, Fachverantwortlicher Lüftungs- und Klimatechnik	Technischer Vorstand SWKI

Genehmigung und Gültigkeit

Der Vorstand des SWKI hat die vorliegende Publikation TRSWKI VA104-01 am 17. September 2021 genehmigt.

Sie ist gültig ab 15. November 2021

Die englische Version dieser Publikation ist verbindlich: www.rehva.eu/activities/covid-19-guidance

© 2021 SWKI Urtenen-Schönbühl

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdrucks, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe und Speicherung sowie das der Übersetzung, sind vorbehalten.