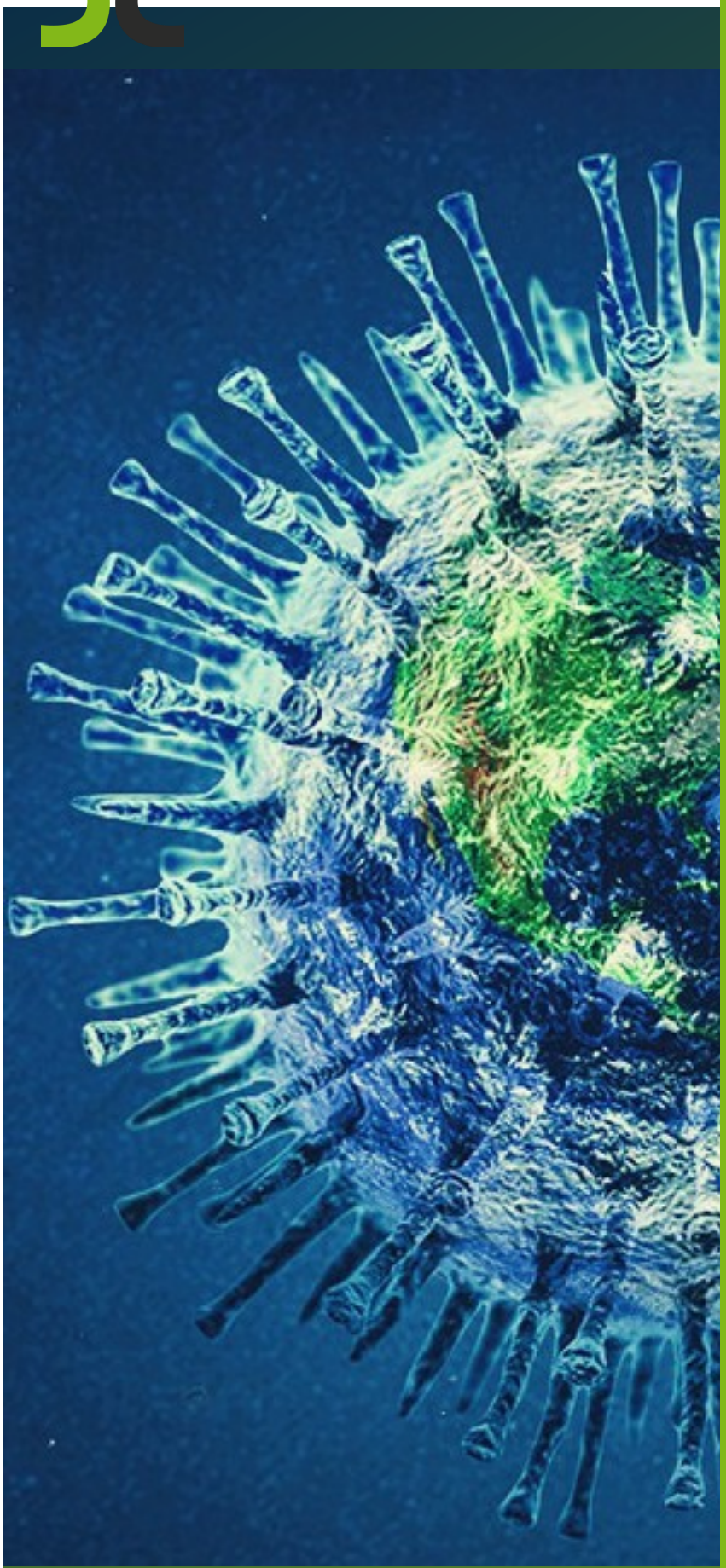
REHVA

Maschinelle Übersetzung durch SVLW.

Offiziell gültig ist die englische Originalversion.

Einsprache zum Thema Feuchte ist erfolgt.



REHVA COVID19 GUIDANCE

version 4.0

Bedienung von HLK- und anderen gebäudetechnischen Anlagen zur Vermeidung der Ausbreitung des Coronavirus (SARS-CoV-2) (COVID-19) an Arbeitsplätzen

REHVA
Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations

REHVA COVID-19 Leitfaden

Bedienung von HLK- und anderen gebäudetechnischen Anlagen zur Vermeidung der Ausbreitung des Coronavirus (SARS-CoV-2) an Arbeitsplätzen

November 17, 2020

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

Inhaltsverzeichnis

1 Introduction 3

2 Übertragungswege 5

3 Heizungs-, Lüftungs- und Klimasysteme im Kontext von COVID-19 9

4 Praktische Empfehlungen für den Betrieb der Haustechnik während einer Epidemie zur Reduzierung des Infektionsrisikos 11

5 Zusammenfassung der praktischen Massnahmen für den Betrieb der Haustechnik während einer Epidemie 17

Anhang 1 - Bewertung des Übertragungsrisikos über die Luft und weitreichende Massnahmen zur Verringerung der Ausbreitung von Viruserkrankungen in zukünftigen Gebäuden mit verbesserten Lüftungssystemen 18

Anhang 2 - Inspektion von rotierenden Wärmetauschern zur Begrenzung der internen Leckagen 28

Anhang 3 - Belüftung in Patientenzimmern 31

Anhang 4 - COVID-19 Lüftungs- und Haustechnikanleitung für Schulpersonal 33

Feedback 37

Literature 38

1 Einführung

In diesem Dokument fasst die REHVA Ratschläge für den Betrieb und die Nutzung gebäudetechnischer Anlagen während einer Epidemie einer Coronavirus-Erkrankung (COVID-19) zusammen, um das Risiko einer Übertragung von COVID- 19 in Abhängigkeit von HLK (Heizung, Lüftung und Klima)-systembezogenen Faktoren zu reduzieren. Die nachstehenden Hinweise sind als *vorläufige* Richtlinien zu betrachten; das Dokument kann durch neue Erkenntnisse und Informationen ergänzt werden, sobald diese verfügbar sind.

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 an Entscheidungen über die Nutzung von Gebäuden beteiligt 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, und es werden einige Ratschläge für temporäre 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 drückt die Ratschläge und Ansichten der REHVA-Experten aus, die auf den zum Zeitpunkt der Veröffentlichung verfügbaren wissenschaftlichen Erkenntnissen über COVID-19 basieren. In vielen Aspekten sind die Informationen zu SARS-CoV-2 nicht vollständig, und es kann sein, dass einige Erkenntnisse1 aus früheren luftübertragenen Viren für Empfehlungen zu bewährten Verfahren verwendet wurden. 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

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

Zusammenfassung

In jüngster Zeit haben sich neue Erkenntnisse über die luftgetragene Übertragung von SARS-CoV-2 und die allgemeine Anerkennung der aerosolbasierten Fernübertragung entwickelt. Dies hat Lüftungsmassnahmen zu den wichtigsten technischen Kontrollen bei der Infektionskontrolle gemacht. Während physischer Abstand wichtig ist, um einen engen Kontakt zu vermeiden, **kann das Risiko einer luftgetragenen Übertragung und Kreuzinfektion über Entfernungen von mehr als 1,5 m von einer infizierten Person mit angemessener Belüftung und effektiven Luftverteilungslösungen reduziert werden.** In einer solchen Situation sind mindestens drei Ebenen der Anleitung erforderlich:
(1) wie man die HLK- und andere Gebäudetechnik in bestehenden Gebäuden gerade jetzt 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 weiter zu reduzieren. Jeder Raum und jeder Betrieb eines Gebäudes ist einzigartig und erfordert eine spezifische Bewertung.

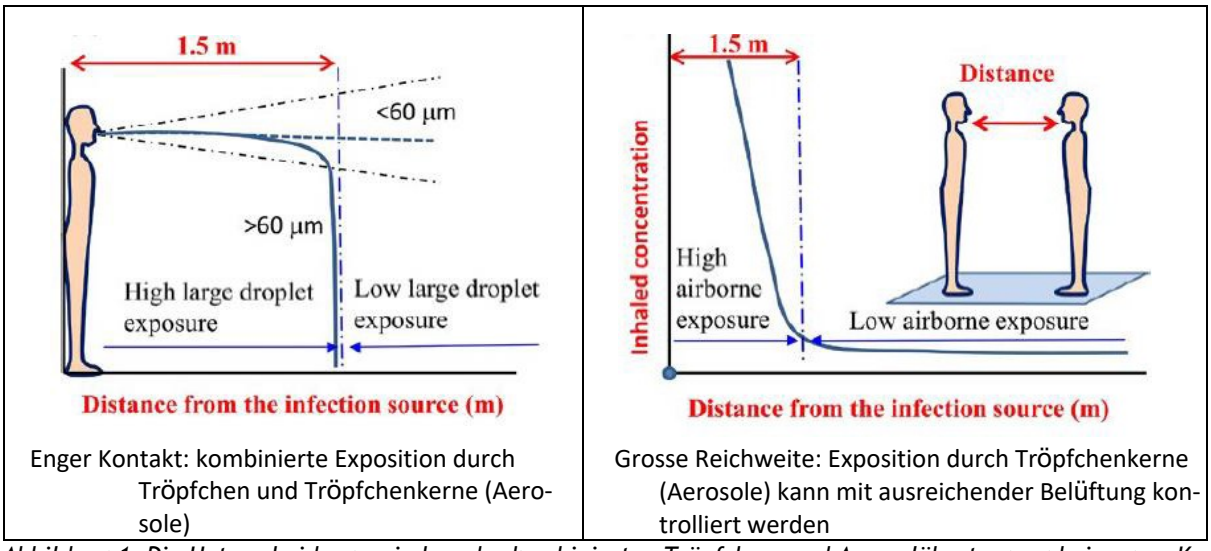
Wir geben 15 Empfehlungen, die mit relativ geringem Aufwand in bestehenden Gebäuden angewendet werden können, um die Zahl der Kreuzinfektionen in Innenräumen zu reduzieren. Was die Luftstromraten betrifft, so ist mehr Belüftung immer besser, aber nicht die einzige Überlegung. Grosse Räume wie z. B. Klassenzimmer, die nach den aktuellen Standards belüftet werden, sind in der Regel einigermassen sicher, aber kleine Räume, die von ein paar Personen bewohnt 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 Standards entspricht und eine Risikobewertung wie in diesem Dokument beschrieben durchgeführt wird.

2 Übertragungswege

Für jede 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); und (3) Oberflächenkontakt (Fomite) durch Hand-Hände-, Hand-Oberflächen- usw. Kontakte. Die Mittel zur Bewältigung dieser Wege sind körperliche 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 Nanometer2[,i] und es bleibt auf Oberflächen für viele Stunden oder einige Tage aktiv, sofern keine spezifische Reinigung erfolgtii[,iii,iv]. In der Innenraumluft kann SARS-CoV-2 bei üblichen Innenraumbedingungen bis zu 3 Stunden und auf Raumoberflächen bis zu 2-3 Tage aktiv bleibenv. 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 den Luftströmen in den Räumen und in Abluftkanälen von Lüftungsanlagen sowie in den Zuluftkanälen, wenn die Luft umgewälzt wird. Es gibt Hinweise darauf, dass die Übertragung über die Luft in der Vergangenheit u. a. bekannte Infektionen mit SARS-CoV-1 verursacht hatvi[,vii].

Ausgestossene Atemtropfen, die in der Luft schweben (also airborne), haben einen Durchmesser von weniger als 1 m (Mikrometer = Mikron) bis zu mehr als 100 m, 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.



Enger Kontakt: kombinierte Exposition durch Tröpfchen und Tröpfchenkerne (Aerosole)

Grosse Reichweite: Exposition durch Tröpfchenkerne (Aerosole) kann mit ausreichender Belüftung kontrolliert werden

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

Die Übertragung über die Luft hängt von der Tröpfchengrösseviii[,ixx] ab und wird üblicherweise wie folgt in Nahkontakt- und Fernbereiche unterteilt:

1. Der Nahbereichs-Tropfenübertragungsbereich für Nahkontakt-Ereignisse kann durch die zurückgelegte Strecke definiert werden, bevor die Tropfen und grosse Tropfen (bis zu 2000 m = 2 mm) auf Oberflächen fallen. Bei einer anfänglichen Tropfengeschwindigkeit von 10 m/s fallen grössere Tropfen innerhalb von 1,5 m herab.

[2] 1 Nanometer = 0,001 Mikrometer

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. Ausgestossene Tröpfchen verdunsten und trocknen in der Luft aus, so dass die endgültigen Tröpfchenkerne auf etwa die Hälfte oder ein Drittel des Anfangsdurchmessersxi schrumpfen. Tröpfchen mit einem Anfangsdurchmesser von weniger als 60 m 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 m. Die Tröpfchentrocknung ist ein schneller Prozess; z. B. trocknen 50-m-Tropfen in etwa zwei Sekunden und 10
   m-Tropfen in 0,1 s zu Tröpfchenkernen mit etwa der Hälfte des Anfangsdurchmessers3. Tröpfchenkerne
   <10 m können von Luftströmungen über grosse Entfernungen getragen werden, da die Absetzgeschwindigkeiten für 10 m, und 5
   m-Teilchen (Gleichgewichtsdurchmesser von Tröpfchenkernen) sind nur 0,3 cm/s und 0,08 cm/s, so dass es etwa 8,3 bzw. 33 Minuten dauert, um 1,5 m zu fallen. Wegen der sofortigen Austrocknung wird der Begriff "Tröpfchen" oft 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 Tropfen gilt, wenn keine Luftbewegung im Raum vorhanden ist. Üblicherweise verursachen die Luftverteilung der Lüftung und die Konvektionsluftströme der Wärmegewinne 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 Absetzgeschwindigkeiten der Partikel ermöglicht eine Abschätzung, wie weit sich Tropfen bewegen können, bevor sie unter dem Einfluss der Schwerkraft 1,5 m weit fallen. Diese Schätzungen verdeutlichen, dass selbst grössere Tropfen als 30 m weit mehr als 1-2 Meter zurücklegen können.

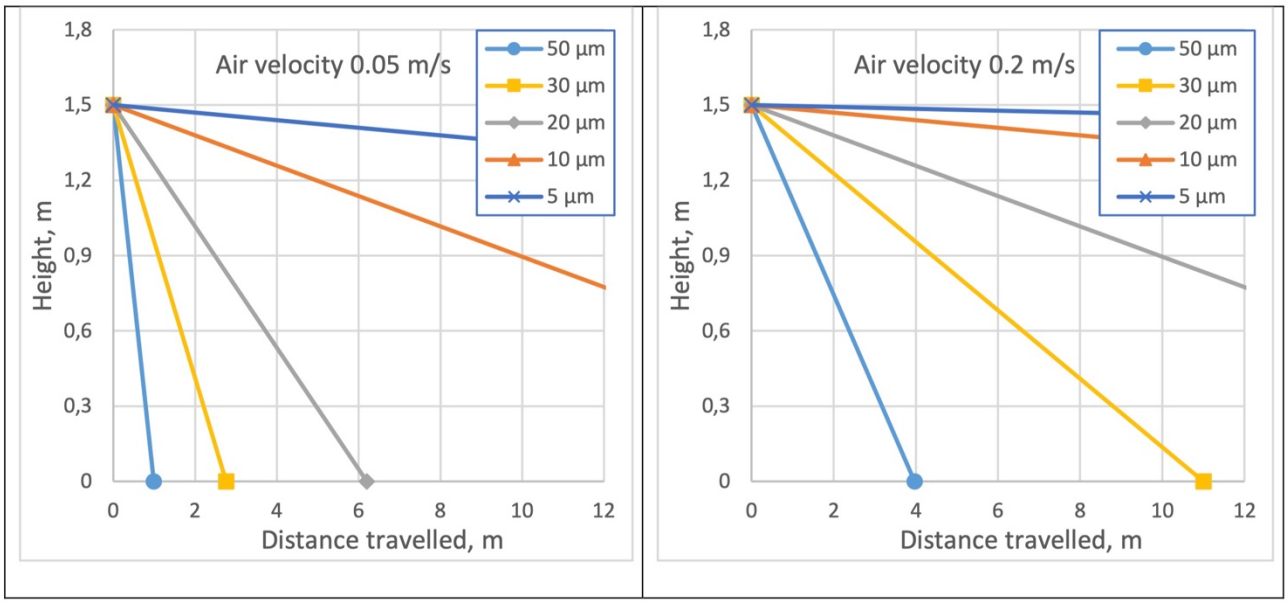


Abbildung 2. Abgeschätzte Laufstrecke für verschiedene Tröpfchengrössen, die von Raumluftgeschwindigkeiten von 0,05 und 0,2 m/s, bevor sie sich unter dem Einfluss der Schwerkraft 1,5 m absetzen. Die zurückgelegte Strecke berücksichtigt die Bewegung nach dem Abklingen des Anfangsstrahls und wird mit dem Gleichgewichtsdurchmesser vollständig ausgetrockneter Atemtropfen berechnet (m-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, bei der eine niedrige, nahezu konstante Aerosolkonzentration erreicht wird. Wie in der Abbildung gezeigt

[3] Die Physik der schwebenden Atemtropfen in Luft zeigt, dass ein Tropfen mit einem Anfangsdurchmesser von 20 m in Raumluft mit 50 % relativer Luftfeuchtigkeit innerhalb von 0,24 Sekunden verdampft und dabei zu einem Tropfenkern mit einem Gleichgewichtsdurchmesser von etwa 10 m schrumpft. Für diesen Tropfenkern von 10 m, der noch etwas Flüssigkeit enthält, dauert es 8,3 Minuten, bis er in ruhender Luft 1,5 m tief fällt.

1, rechts, nimmt die Konzentration der Tröpfchenkerne innerhalb der ersten 1-1,5 Meter nach der Ausatmung einer Person schnell abxii. Dieser Effekt ist auf die Aerodynamik der Ausatemströmung und die Strömung in der Mikroumgebung um Personen (Fahne) zurückzuführen. Die Verteilung der Tröpfchenkerne ist abhängig von der Position der Personen, der Luftwechselrate, der Art des Luftverteilungssystems (z. B. Misch-, Verdrängungs- oder Personenlüftung) und anderen Luftströmungen im Raumxiii. 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 wirdxii. 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 Abbildung3 dargestellt.

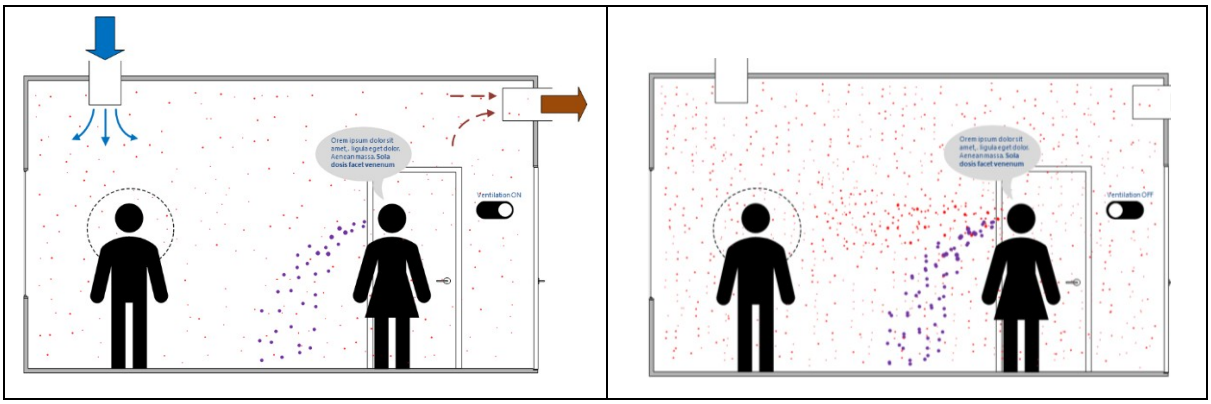


Abbildung 3. Veranschaulichung, wie eine infizierte Person (sprechende Frau rechts) zu einer Aerosolbelastung (rote Spikes) im Atembereich einer anderen Person (hier Mann links) führt. Die Ausatmung grosser Tröpfchen ist mit lila Spikes gekennzeichnet. Wenn der Raum mit einer Mischlüftungsanlage belüftet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

Für SARS-CoV-2 wurde der aerosolbasierte Ferninfektionsweg mit Exposition gegenüber Tröpfchenkeimpartikeln erstmals von der WHO für Aerosol-erzeugende Verfahren in Krankenhäusern anerkannt und in der Anleitung zur Erhöhung der Belüftungxiv angesprochen. Japanische Behörden waren eine der 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, die Infektion auch ohne Husten oder Niesen zu übertragenxv. Daraufhin folgten viele andere Behörden, darunter das US CDC, die britische Regierung, die italienische Regierung und die chinesische Nationale Gesundheitskommission. Wichtige Hinweise lieferte eine Studiev , 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 beitrugenxvi. Bekannte Superspreading-Ereignisse, bei denen eine Aerosol-Übertragung festgestellt wurde, stammen aus einem Restaurant in Guangzhouxvii und dem Skagit Valley Chorale-Ereignisxviii, bei dem die Belüftungsrate der Aussenluft nur 1-2 L/s pro Person betrug. Die Tatsache, dass schnell erhebliche Beweise aufgetaucht sind, die darauf hindeuten, dass SARS-CoV-2 über Aerosole übertragen wird, musste von vielen Wissenschaftlern erst allgemein anerkannt werdenxixxx. Bislang haben sowohl das European Centre for Disease Prevention and Control (ECDC) in seinem Review zu HVAC-Systemen im Rahmen von COVID-19 als auch das deutsche Robert-Koch-Institut den Aerosoltransport anerkanntxxixxii. Schliesslich hat die WHO im Juni 2020 nach einem offenen Brief von 239 Wissenschaftlernxxiii die Aerosolübertragung in ihr wissenschaftliches Merkblatt zu den Übertragungsmodi aufgenommenxxiv. Generell bedeutet ein auf Aerosolen basierender Übertragungsmechanismus mit grosser Reichweite, dass es nicht ausreicht, einen Abstand von 1-2 m zu einer infizierten Person einzuhalten, und dass eine Konzentrationskontrolle mit Lüftung erforderlich ist, um die Partikel in Innenräumen effektiv zu entfernen.

Eine Übertragung durch Oberflächenkontakt (Fomite) 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 CDC und andere sind zu dem Schluss gekommen, dass dieser Weg vermutlich nicht der Hauptverbreitungsweg dieses Virus istxxv.

Die WHO erkennt für SARS-CoV-2-Infektionen den fäkal-oralen, d. h. Aerosol-/Abwasser-Übertragungsweg anxxvi. Die WHO schlägt als Vorsichtsmassnahme vor, Toiletten mit einem geschlossenen Deckel zu spülen. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, ausgetrocknete Abflüsse und U-Fallen 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 den 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 REHVA vor, dem ALARP-Prinzip (As Low As Reasonably Practicable) zu folgen und eine Reihe von HLK-Massnahmen anzuwenden, die helfen, den Aerosolweg in Gebäuden zu kontrollieren. Bis heute gibt es Belege für die aerosolbasierte Übertragung von SARS-CoV-2, und dieser Übertragungsweg ist inzwischen weltweit anerkannt. Der relative Beitrag der verschiedenen Übertragungswege bei der Verbreitung von COVID-19 wird noch diskutiert. Es ist auch sehr situationsabhängig, ob der eine oder der andere Übertragungsweg dominant ist.

In Krankenhäusern mit einer exzellenten Belüftungsrate von 12 Luftwechseln pro Stunde (LW/h) beispielsweise ist die Übertragung über Aerosole weitgehend ausgeschlossen, in schlecht belüfteten Räumen kann sie jedoch dominant sein. Die Übertragungswege bleiben ein wichtiges Forschungsthema, und es wurde bereits berichtet, dass der aerosolbasierte Kurzstreckenweg die Ansteckung mit Atemwegsinfektionen bei engem Kontakt dominiert[xxxi].

In der medizinischen Literatur wird inzwischen von einem neuen Paradigma infektiöser Aerosole gesprochen. Man kommt zu dem Schluss, dass es keine Beweise gibt, die das Konzept stützen, dass die meisten Atemwegsinfektionen in erster Linie mit der Übertragung durch grosse Tröpfchen verbunden sind, und **dass Aerosole mit kleinen Partikeln entgegen den aktuellen Richtlinien eher die Regel als die Ausnahme sind**[xxxii].

Im Zusammenhang mit Gebäuden und Innenräumen besteht kein Zweifel daran, dass das Kreuzinfektionsrisiko bis zu einem Abstand von 1,5 m zu einer Person mit physischem Abstand und darüber hinaus mit 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 Kontrollen", wie sie in der traditionellen Infektionskontrollhierarchie (Abbildung 4.) beschrieben werden, 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 gebäudetechnische 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.

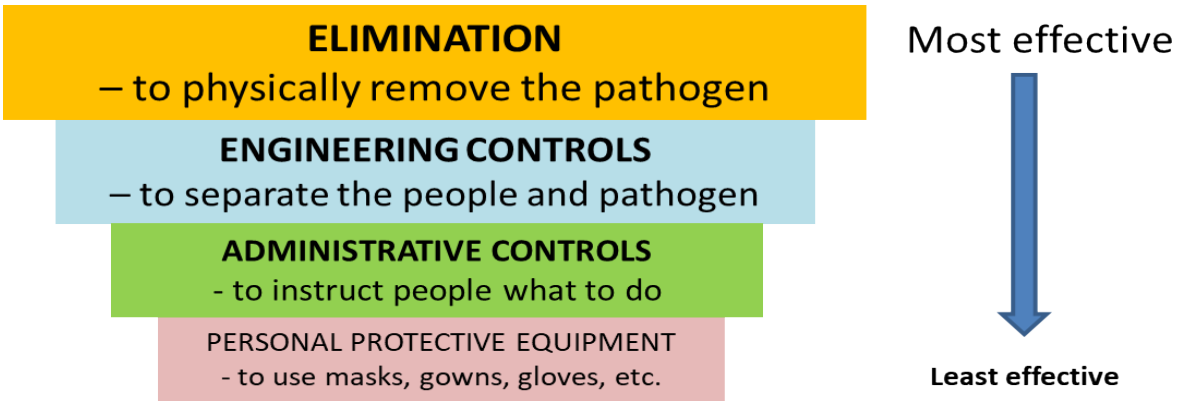


Abbildung 4.Traditionelle Pyramide der Infektionskontrolle, angepasst von den US Centers for Disease Controlxxxiii.

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-19xxi 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 Luftkanäle der Lüftungsanlage verteilt werden. Das Risiko wird als sehr gering eingestuft.***
- *Gut gewartete HLK-Systeme, einschliesslich Klimaanlagen, 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 Klimaanlagen verbreiten, wenn die Luft umgewälzt wird.*
- ***Der von Klimaanlagen 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 Klimaanlagen gemäss den aktuellen Anweisungen des Herstellers warten, insbesondere was die Reinigung und den Wechsel von Filtern betrifft. Es gibt keinen Nutzen oder Bedarf für zusätzliche Wartungszyklen in Verbindung mit COVID-19.*
- *Energiesparende Einstellungen, wie z. B. bedarfsgesteuerte Lüftung per Zeitschaltuhr oder CO_2*

Detektoren, sollte vermieden werden.

- *Es sollte in Erwägung gezogen werden, die Betriebszeiten von HLK-Anlagen vor und nach dem regulären Zeitraum 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-/Wartungsteams 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 Mindestanzahl von Luftwechseln pro Stunde, entsprechend den geltenden Bauvorschriften, sollte jederzeit gewährleistet sein. Eine Erhöhung der Anzahl der Luftwechsel pro Stunde verringert das Risiko einer Übertragung in geschlossenen Räumen. Dies kann durch natürliche oder mechanische Belüftung erreicht werden, je nach Einstellung.*

In der Leitlinie[xxxiv] betont das ECDC die Bedeutung der Belüftung, indem es zu dem Schluss kommt, dass die Sicherstellung der Implementierung einer optimalen Belüftung, die an die jeweilige Innenraumumgebung angepasst ist, für die Verhinderung von Ausbrüchen und Übertragungs-Verstärkungsereignissen entscheidend sein könnte. In der Leitlinie wird gefordert, dass die Mindestanzahl von Luftwechseln pro Stunde gemäss den geltenden Bauvorschriften jederzeit gewährleistet sein muss. Es wird festgestellt, dass eine Erhöhung der Anzahl der Luftwechsel pro Stunde durch natürliche oder mechanische Belüftung das Risiko einer Übertragung in geschlossenen Räumen verringert**. Die Belüftung 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 Haustechnik während einer Epidemie zur Reduzierung des Infektionsrisikos

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

1. Lüftungsraten
2. Betriebszeiten der Lüftung
3. Überschreiben der Einstellungen der Bedarfssteuerung
4. Fensteröffnung
5. Toilettenbelüftung
6. Fenster in Toiletten
7. Toilettenspülung
8. Umwälzung
9. Ausrüstung zur Wärmerückgewinnung
10. Gebläsekonvektoren und Splitgeräte
11. Heiz-, Kühl- und eventuelle Befeuchtungssollwerte
12. Kanalreinigung
13. Aussenluft- und Abluftfilter
14. Wartungsarbeiten
15. Überwachung der Raumluftqualität (IAQ)

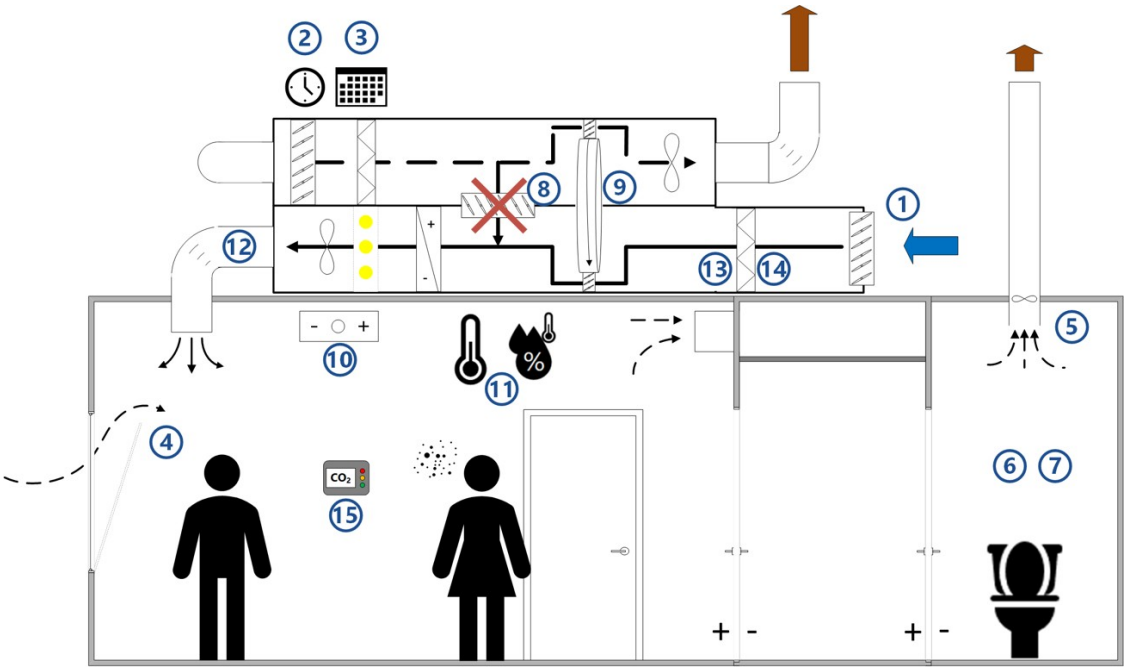


Abbildung 5. Hauptpunkte der REHVA-Anleitung für den Betrieb der Haustechnik.

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 Gebäudeöffnungszeit mit der Nenndrehzahl gestartet und 2 Stunden nach der Gebäudenutzungszeit abgeschaltet oder auf eine niedrigere Drehzahl umgestellt wird. Ändern Sie bei bedarfsgesteuerten Lüftungsanlagen den CO2-Sollwert auf 400 ppm, um den Betrieb mit Nenndrehzahl aufrechtzuerhalten. In Gebäuden, die aufgrund der Pandemie geräumt wurden (einige Büros oder Bildungsgebäude), wird empfohlen, die Lüftung nicht abzuschalten, sondern während der normalen Betriebszeit mit reduzierter Drehzahl weiter zu betreiben. Eine verlängerte Betriebszeit hilft, Virenpartikel aus dem Gebäude zu entfernen und freigesetzte Virenpartikel 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 Gesamtaussenluftvolumenstrom, der typischerweise als Zuluftvolumenstrom pro Quadratmeter Bodenfläche oder pro Person bemessen wird. Die Reinluftfördermenge eines Luftreinigers addiert sich zum Zuluftvolumenstrom (siehe Anhang 1 für Details).

Wenn die Anzahl der Insassen reduziert wird, konzentrieren Sie die verbleibenden Insassen nicht in kleineren Bereichen, sondern halten Sie den räumlichen Abstand (min. 2-3 m zwischen den Personen) zwischen ihnen aufrecht oder vergrössern Sie ihn, um den Verdünnungseffekt der Belüftung zu verbessern. Weitere Informationen zu Lüftungsraten und Risiken in verschiedenen Räumen finden Sie in Anhang1.

Die Abluftanlage für Toiletten sollte in einem ähnlichen Modus wie die Hauptlüftungsanlage betrieben werden. Sie sollte mindestens 2 Stunden vor der Gebäudeöffnungszeit 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 Aufklappbare Fenster mehr verwenden

Die allgemeine Empfehlung lautet, sich von überfüllten und schlecht belüfteten Räumen fernzuhalten. In Gebäuden ohne mechanische Lüftungssysteme wird empfohlen, aktiv zu öffnende Fenster zu verwenden (viel mehr als normal, 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 Belüftung kann das Öffnen der Fenster auch dazu verwendet werden, die Belüftung weiter zu erhöhen.

Offene Fenster in Toiletten mit einem passiven Schornstein oder mechanischen Abluftsystemen können einen kontaminierten Luftstrom von der Toilette in andere Räume verursachen, was bedeutet, dass die Belüftung in umgekehrter Richtung zu arbeiten beginnt. Offene Toilettenfenster sollten vermieden werden, um den Unterdruck in den Toiletten und die richtige Richtung der mechanischen Lüftung aufrechtzuerhalten. Wenn keine ausreichende Abluft 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 (RH) und die Temperatur tragen zur Lebensfähigkeit des Virus, zur Bildung von Tröpfchenkernen und zur Anfälligkeit der Schleimhäute der Bewohner 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 gegen 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, was in Gebäuden aus Gründen des thermischen Komforts und der Vermeidung von mikrobiellem Wachstum nicht erreichbar und akzeptabel ist. SARS-CoV-2 wurde für 14 Tage bei 4°C als lebensfähig befunden; für einen Tag bei 37°C und für 30 Minuten bei 56°C[xxxv].

Die Stabilität (Lebensfähigkeit) von SARS-CoV-2 wurde bei einer typischen Raumtemperatur von 21-23 °C und einer relativen Luftfeuchtigkeit von 65 % getestet, wobei eine sehr hohe Virusstabilität bei dieser Temperatur und relativen Luftfeuchtigkeit festgestellt wurde[xxvi]. Zusammen mit früheren Nachweisen zu MERS-CoV ist gut dokumentiert, dass eine Befeuchtung bis zu 65 % nur sehr begrenzte oder gar keine Auswirkungen auf die Stabilität des SARS-CoV-2-Virus haben kann. Die aktuelle Evidenz stützt nicht die Ansicht, dass eine moderate Luftfeuchtigkeit (RH 40-60%) bei der Reduzierung der Lebensfähigkeit von SARS-CoV-2 von Vorteil ist, und daher ist die Befeuchtung KEINE Methode zur Reduzierung der Lebensfähigkeit von SARS-CoV-2.

Kleine Tröpfchen (0,5 - 50 m) verdampfen bei jeder relativen Luftfeuchtigkeit (RH) schneller[xxxvii]. Nasal

Systeme und Schleimhäute sind bei einer sehr niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit von 10-20 %[xxxviii,xxxix] empfindlicher für Infektionen, und aus diesem Grund wird manchmal eine gewisse Befeuchtung im Winter empfohlen (auf Werte von 20-30 %), obwohl die Verwendung von Luftbefeuchtern mit einem höheren Gesamt- und Kurzzeitkrankenstand in Verbindung gebracht wurde[xl].

In Gebäuden, die mit zentraler Luftbefeuchtung ausgestattet sind, müssen die Sollwerte der Befeuchtungssysteme (normalerweise 25 oder 30 %[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 Sicherer Einsatz von Wärmerückgewinnungsabschnitten

Die Übertragung von Virenpartikeln über Wärmerückgewinnungsgeräte ist kein Problem, wenn ein HLK-System mit einem Doppelrohrschlangengerät oder einem anderen Wärmerückgewinnungsgerät ausgestattet ist, das eine 100 %ige Lufttrennung zwischen der Rück- und der Zuluftseite gewährleistet.

Einige Wärmerückgewinnungsgeräte können über Leckagen Partikel- und Gasphasenschadstoffe von der Abluftseite auf die Zuluftseite übertragen. Rotierende Luft/Luft-Wärmetauscher (d.h. Rotoren, auch Räder genannt) können bei schlechter Konstruktion und Wartung zu erheblichen Leckagen führen. Bei ordnungsgemäss arbeitenden rotierenden Wärmetauschern, die mit Spülsektoren 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 verstärkte Aussenlüftung kompensiert werden. Viele Rotationswärmetauscher sind jedoch nicht ordnungsgemäss installiert. Der häufigste Fehler ist, dass die Ventilatoren so montiert wurden, dass ein höherer Druck auf der Abluftseite 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 bei ordnungsgemäss konstruierten, installierten und gewarteten Rotationswärmetauschern die Übertragung von partikelgebundenen Schadstoffen (einschliesslich luftgetragener Bakterien, Viren und Pilze) nahezu Null ist und sich die Übertragung auf gasförmige Schadstoffe wie Tabakrauch und andere Gerüche beschränktxliv. Es gibt keine Hinweise darauf, dass virusbeladene Partikel, die grösser als etwa 0,2 m sind, über das Rad übertragen werden. Da der grösste Teil der Leckage durch die Druckunterschiede zwischen Zu- und Abluft 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 Verschleppungsleckage bei niedrigem Luftstrom am höchsten ist, daher sollten höhere Belüftungsraten verwendet werden, wie in Abschnitt4.1 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 Umwälzung

Virales Material in Abluftkanälen (Rückluft) kann wieder in ein Gebäude gelangen, wenn zentrale Lüftungsgeräte mit Umluftbereichen ausgestattet sind. Die allgemeine Empfehlung lautet, eine zentrale Rezirkulation während einer SARS-CoV-2-Episode zu vermeiden: Schliessen Sie die Rezirkulationsklappen entweder über das Gebäudemanagementsystem oder manuell. Dies ist besonders wichtig in Gebäuden, die von anfälligen Endnutzern4 genutzt werden (z. B. Pflegeheime).

[4] In Krankenhäusern ist die Verwendung von Umwälzungen in vielen Ländern strengstens verboten.

Manchmal sind Lüftungsgeräte und Umluftstrecken mit Rückluftfiltern 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 (G4/M5 oder ISO-Grob-/ePM10-Filterklasse).

Bei Luft- und Luft-Wasser-Systemen, bei denen eine zentrale Umluftführung aufgrund begrenzter Kühl- oder Heizleistung nicht vermieden werden kann, muss der Aussenluftanteil so weit wie möglich erhöht werden und es werden zusätzliche Massnahmen zur Rückluftfilterung 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 Kanalinstallation von Desinfektionsgeräten, wie z. B. ultraviolette keimtötende Bestrahlung (UVGI), auch keimtötende Ultraviolettstrahlung (GUV) genannt, verwendet werden. Es ist wichtig, dass diese Geräte richtig dimensioniert und installiert werden. Wenn technisch möglich, ist es vorzuziehen, einen 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 Rückluftfilter mit niedrigem Wirkungsgrad 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 Umwälzung auf Raumebene: Fan Coil, Split- und Induktionsgeräte

In Räumen mit reinen Gebläsekonvektoren oder Split-Geräten (All-Water- oder Direktexpansionssysteme) hat die Erzielung einer ausreichenden Aussenlüftung oberste Priorität. In solchen Systemen sind die Gebläsekonvektoren oder Split-Geräte in der Regel unabhängig von einer mechanischen Lüftung, die in einigen Fällen sogar nicht vorhanden sein könnte, und es gibt zwei mögliche Optionen, um eine Lüftung zu erreichen:

1. **Aktive Steuerung der Fensteröffnung in Verbindung mit der Installation von CO2-Monitoren als Indikatoren für die Aussenlüftung;**
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-Monitore wichtig, da Gebläsekonvektoren und Split-Geräte mit Kühl- oder Heizfunktion den thermischen Komfort verbessern und es zu lange dauern kann, bis die Bewohner eine schlechte Luftqualität und mangelnde Belüftung wahrnehmen[xlv]. Lassen Sie während der Nutzungszeiten die Fenster teilweise geöffnet (wenn sie sich öffnen lassen), um die Belüftung zu erhöhen. Siehe ein Beispiel für einen CO2-Monitor in Anhang4, Abbildung 17.

Gebläsekonvektoren haben grobe Filter, die kleinere Partikel praktisch nicht filtern, aber dennoch potenziell verunreinigte Partikel auffangen können. Es sind die Standard-Wartungsverfahren mit den Empfehlungen in Abschnitt 4.9 zu befolgen.

Splitgeräte und manchmal auch Gebläsekonvektoren können hohe Luftgeschwindigkeiten verursachen. In Aufenthaltsräumen (grössere Räume mit Gebläsekonvektoren oder Splitgeräten, die von vielen Personen genutzt werden) sollten bei lokalen Luftgeschwindigkeiten von 0,3 m/s oder mehr gerichtete Luftströmungen von einer Person zur anderen durch Arbeitsplatzanordnungen oder Luftstrahlanpassungen vermieden werden.

4.7 Kanalreinigung hat keine praktische Wirkung

Es gab einige überzogene Aussagen, die die Reinigung von Lüftungskanälen empfehlen, um eine SARS-CoV-2-Übertragung über Lüftungsanlagen zu vermeiden. Die Reinigung von Lüftungskanälen ist nicht wirksam gegen eine Raum-zu-Raum-Infektion, da das Lüftungssystem keine Kontaminationsquelle darstellt, wenn die oben genannten Hinweise zur Wärmerückgewinnung und Rezirkulation befolgt werden. Viren, die an kleinen Partikeln haften, setzen sich nicht leicht in Lüftungskanälen ab und werden normalerweise vom Luftstrom mitgerissen. [xlvi]. Daher sind keine Änderungen an den normalen Kanalreinigungs- und Wartungsverfahren erforderlich. Viel wichtiger ist es, die Aussenluftzufuhr zu erhöhen und eine Luftrückführung 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 Filterwechsel und zur Schutzwirkung in sehr seltenen Fällen von Aussenvirus-Kontaminationen gestellt, z. B. wenn sich Luftabzüge in der Nähe von Lufteinlässen befinden. Moderne Lüftungsanlagen (RLT-Geräte) sind mit feinen Aussenluftfiltern direkt nach der Aussenluftansaugung ausgestattet (Filterklasse F7 oder F85 bzw. ISO ePM2.5 oder ePM1), die Feinstaub aus der Aussenluft gut filtern. Die Grösse der kleinsten viralen Partikel in Atemluft-Aerosolen beträgt ca. 0,2 m (PM0,2) und ist damit kleiner als die Erfassungsfläche von F8-Filtern (Erfassungsgrad 65-90% für PM1). 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-Aussenluftfeinfilter einen angemessenen Schutz für eine geringe Konzentration und ein gelegentliches Auftreten von Virenmaterial in der Aussenluft bieten.

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

Aus Sicht des Filterwechsels können die normalen Wartungsverfahren verwendet werden. Verstopfte Filter sind in diesem Zusammenhang keine Verschmutzungsquelle, aber sie reduzieren den Zuluftstrom, was sich negativ auf die Reduzierung der Verschmutzungswerte im Innenraum auswirkt. Daher müssen die Filter gemäss den normalen Verfahren ausgetauscht werden, wenn Druck- oder Zeitgrenzen überschritten werden, oder gemäss der geplanten Wartung. 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 Sicherheitsverfahren für das Wartungspersonal

Das HLK-Wartungspersonal 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, Abluftkanälen 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 Raumluftreiniger und UVGI können in bestimmten Situationen nützlich sein

Raumluftreiniger entfernen Partikel aus der Luft, was einen ähnlichen Effekt wie bei der Aussenlüftung hat. Um effektiv zu sein, müssen Luftreiniger eine HEPA-Filter-Effizienz aufweisen, d. h. als letzte Stufe einen HEPA-Filter besitzen. Leider sind die meisten preisgünstigen Raumluftreiniger 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 zu wählen, muss die Luftstromkapazität des Geräts (bei einem akzeptablen Geräuschpegel) mindestens 2 ACH betragen und wirkt sich bis 5 LW/h[xlvii] positiv aus (berechnen Sie die Luftstromrate durch den Luftreiniger in $^{m3/h}$, 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 sollten nicht in der Ecke und ausser Sichtweite platziert werden. Spezielle UVGI-Desinfektionsgeräte können in Rückluftkanälen 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 gewartet werden. Daher sind Luftreiniger eine einfach anzuwendende, kurzfristige Massnahme, aber längerfristig sind Verbesserungen des Belüftungssystems erforderlich, um eine angemessene

[5] Eine veraltete Filterklassifizierung der EN779:2012, die durch die EN ISO 16890-1:2016, Luftfilter für die allgemeine Raumlufttechnik - Teil 1: Technische Spezifikationen, Anforderungen und Klassifizierungssystem basierend auf der Partikeleffizienz (ePM), ersetzt wird.

Aussenluft-Lüftungsraten erforderlich sind.

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 minimierenxlviii,xxvi. Die Gebäudenutzer sollten eindeutig angewiesen werden, die Deckel zu benutzen. Wasserdichtungen müssen jederzeit funktionierenxxvii. Kontrollieren Sie die Wasserdichtungen (Abläufe und Geruchsverschlüsse) regelmässig, mindestens alle drei Wochen, und fügen Sie bei Bedarf Wasser hinzu.

4.12 Legionellose-Risiko nach Ausserbetriebnahme

Während der gesamten Dauer der SARS-CoV-2 (COVID-19)-Epidemie wurden viele Gebäude über längere Zeiträume nur eingeschränkt genutzt oder komplett abgeschaltet. Dazu gehören z. B. Hotels/Resorts, Schulen, Sportanlagen, Turnhallen, Schwimmbäder, Badehäuser 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 vollen Betriebs erhöht.

Vor der Wiederinbetriebnahme des Systems sollte eine gründliche Risikoanalyse durchgeführt werden, um alle damit verbundenen Legionellose-Risiken zu bewerten. Mehrere einschlägige Behörden stellen Informationen zu entsprechenden Risikobewertungen und Wiederanlaufverfahren zur Verfügung, darunter[xlixlliliiliii].

4.13 IAQ-Überwachung

Das Risiko einer Kreuzkontamination in Innenräumen über Aerosole ist sehr hoch, wenn die Räume nicht gut gelüftet werden. Wenn die Lüftungssteuerung Aktionen durch die Bewohner erfordert (hybride oder natürliche Lüftungssysteme) oder es kein dediziertes Lüftungssystem im Gebäude gibt, wird empfohlen, CO2-Sensoren an der Aufenthaltszone zu installieren, die vor Unterlüftung warnen, insbesondere in Räumen, die oft 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 auch in Situationen mit reduzierter Belegung eine ausreichende Lüftung zu erreichen. In einigen Fällen können eigenständige CO2-Sensoren oder "$_{CO2\text{-}Ampeln}$" 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 Belüftungssysteme 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 Haustechnik während einer Epidemie

1. **Sorgen Sie für eine ausreichende Belüftung der Räume mit Aussenluft**
2. Schalten Sie die Lüftung mindestens 2 Stunden vor der Gebäudeöffnungszeit auf Nenndrehzahl ein und 2 Stunden nach der Gebäudenutzungszeit aus oder auf niedrigere Drehzahl
3. Setzen Sie die bedarfsgesteuerten Lüftungseinstellungen ausser Kraft, um die Lüftungsanlage zu zwingen, mit Nenndrehzahl zu arbeiten
4. **Öffnen Sie regelmässig die Fenster** (auch in mechanisch belüfteten Gebäuden)
5. Halten Sie die Toilettenlüftung in ähnlicher Weise wie die Hauptlüftungsanlage mit Nenndrehzahl in Betrieb
6. Vermeiden Sie das Öffnen von Fenstern in Toiletten, um einen Unterdruck und die richtige Richtung der mechanischen Lüftungsluftströme aufrechtzuerhalten
7. Weisen Sie die Nutzer des Gebäudes an, Toiletten mit geschlossenem Deckel zu spülen
8. **Schalten Sie Lüftungsgeräte mit Umluft auf 100 % Aussenluft um**
9. Prüfen Sie Wärmerückgewinnungsanlagen, um sicherzustellen, dass Leckagen unter Kontrolle sind
10. Sorgen Sie in Räumen mit Gebläsekonvektoren oder Split-Geräten für eine ausreichende Belüftung mit Aussenluft
11. Ändern Sie die Sollwerte für Heizung, Kühlung und eventuell Befeuchtung nicht
12. Führen Sie die planmäßige Kanalreinigung wie gewohnt durch (eine zusätzliche Reinigung ist nicht erforderlich).
13. Tauschen Sie zentrale Aussenluft- und Abluftfilter wie gewohnt, gemäss Wartungsplan, aus.
14. Regelmässige Filterwechsel und Wartungsarbeiten sind mit den üblichen Schutzmassnahmen einschliesslich Atemschutz durchzuführen
15. **Einführung eines IAQ- (CO_2-) Sensor-Netzwerks, das es den Bewohnern und Gebäudemanagern ermöglicht, zu überwachen, ob die Lüftung angemessen funktioniert.**

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

1 Einführung

Dieser Anhang fasst die verfügbaren Informationen über Lüftungsraten zusammen und bietet eine Methode zur Bewertung von Kreuzinfektionsrisiken, die für typische Räume in Nichtwohngebäuden angewendet werden kann. Die verfügbaren Informationen zu COVID-19 erlauben die Behauptung, dass die Übertragung dieser Krankheit mit unmittelbarer Nähe (für die die Belüftung keine Lösung ist) und mit Räumen, die einfach unzureichend belüftet sind, in Verbindung gebracht wurde. Letzteres wird durch Belege von Superspreading-Ereignissen gestützt, bei denen die Belüftung der Aussenluft so niedrig wie 1-2 L/s pro Personxvii,xviii war, also um den Faktor 5-10 niedriger als die allgemein empfohlenen 10 L/s pro Person in den bestehenden Normen. 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 1-2 m Nahkontakt und Oberflächenkontakt haben.

2 Auswirkungen von Lüftungsrate, Raumgrösse und Aktivität auf das Infektionsrisiko

Wie in Abschnitt2 erläutert, hängt die Kontrolle der virenhaltigen Aerosolkonzentrationen bei einem grösseren Abstand als 1,5 m zu einer infizierten Person von Lüftungslösungen ab. Die Gesamtdosis, wenn man einem Virus ausgesetzt ist (z. B. wenn man einen Raum mit einer infizierten Person teilt), ist gleich dem Produkt aus Konzentration und Zeit. Um die Dosis und das Infektionsrisiko zu reduzieren, muss also die Belüftung erhöht und die Aufenthaltszeit reduziert werden. Bei bestehenden Lüftungssystemen ist es in der Regel nicht möglich, die Ventilatorgeschwindigkeit deutlich zu erhöhen, damit das System die Leistung erbringen kann, für die es ausgelegt ist. Manchmal kann es möglich sein, den Gesamtluftstrom insgesamt um 10-20 % zu erhöhen und durch Ausgleichsmassnahmen in bestimmten Räumen möglicherweise noch deutlicher. Andere Verbesserungsmassnahmen sind auf die in Abschnitt 4.1 besprochenen beschränkt.

Aus rechtlicher Sicht muss die Aussenluftlüftungsrate mindestens die nationalen Mindestanforderungen erfüllen, die in der örtlichen Bauordnung oder anderen regulatorischen Dokumenten festgelegt sind (die auch spezifische Regelungen für COVID-19 enthalten können). 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 Boden ^{m2} (10-15 L/s pro Person) in Büros und zu etwa 4 L/s pro Boden ^{m2} (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 Aussenluftlüftung 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 Lüftung mit einer Rate von 6-12 ACH 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 niedrigere Lüftungsrate als in Krankenhäusern, z. B. eine Lüftungsrate der Kategorie I, als Ausgangspunkt für die Risikominderung betrachtet werden. Es ist auch erwähnenswert, dass 4 L/s pro Boden ^{m2} in Besprechungsräumen und Klassenzimmern 5 ACH entspricht und nicht viel unter der Luftwechselrate von Patientenzimmern mit Vorkehrungen gegen luftübertragene Risiken liegt.

Das Infektionsrisiko kann für verschiedene Tätigkeiten und Räume mit einem Standard-Wells-Riley-Modell für die Übertragung von Krankheiten durch die Luft berechnet werden, das auf COVID-19 mit korrekter Quellstärke, d. h. Quanten-Emissionsraten, kalibriert ist. In diesem Modell wird die emittierte Viruslast in Form von Quanten-Emissionsraten (E, Quanten/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 Quanten (*n*) gemäss Gleichung (1)[xi] verbunden:

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

Die eingeatmeten Quanten (*n*, Quanten) sind abhängig von der zeitlich gemittelten Quantenkonzentration (C_{avg}, Quanten/m3), der volumetrischen Atemfrequenz eines Bewohners (*Qb*, $^{m3/h}$) und der Dauer der Belegung (*D*, h):

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

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

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

wobei

Äquanta-Emissionsrate (Quanta/h);

VVolumen des Raums (^{m3});

λ Verlustkoeffizient erster Ordnungliv für Quanten/h aufgrund der summierten Effekte von Ventilation (λv, 1/h), Ablagerung auf Oberflächen (λdep, 1/h), Viruszerfall (*k*, 1/h) und Filtration durch tragbare Luftreiniger, falls angewendet (*kfiltration*, 1/h), λ = λv + λdep + *k* + *kfiltration*;

C zeitabhängige luftgetragene Konzentration von infektiösen Quanten (Quanten/m3).

Die Verlustrate der Oberflächenablagerung von 0,3 1/h kann anhand der Daten von Thatcherlv und Diapoulilvi geschätzt werden. Für den Viruszerfall zeigt Fearslvii keinen Zerfall im virushaltigen Aerosol für 16 Stunden bei 53 % relativer Luftfeuchtigkeit, während Van Doremalenv die Halbwertszeit von luftgetragenem SARS-CoV-2 auf 1,1 h schätzt, 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 (*kfiltration*) von der Luftstromrate durch den HVAC-Filter (*Qfilter*) und der Abscheideleistung des Filters (ηfilter) ab:

$$k_{filtration} = \frac{Q_{filter} \eta_{filter}}{V}$$

Für tragbare Reiniger mit einem HEPA-Filter (High-Efficiency Particle Air) wird die Clean Air Delivery Rate (CADR, $^{m3/h}$) angegeben, und die Abscheiderate kann als *kfiltration* = *CADR*/*V* berechnet werden. Es ist zu beachten, dass die Abscheideleistung von Filtern und die CADR 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 Quantenkonzentration zu Beginn der Belegung 0 ist, wird Gleichung (3) gelöst und die mittlere Konzentration wie folgt bestimmt:

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

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

wobei

tZeit (h).

Berechnungsbeispiele finden sich in Arbeiten zur Analyse der Skagit Valley Chorale-Veranstaltunglviii und der Quantenerzeugungsraten für SARS-CoV-2lix. Die Quantenemissionsraten variieren über einen grossen Bereich von 3 - 300 Quanten/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
Light Aktivität, singing (or laut sprechend)	270

Tabelle 1. 85. Perzentil der Quantenemissionsraten für verschiedene Aktivitätenlx.

Aktivität	Atemzuggeschwindigkeit, $^{m3/h}$
Stehend (Büro, Klassenzimmer)	0.54
Reden (Besprechungsraum, Restaurant)	1.1
Leichte Bewegung (Einkaufen)	1.38
Schwere Belastung (Sport)	3.3

Tabelle 2. Volumetrische Atemfrequenzlxilxii.

Obwohl die SARS-CoV-2-Quanta/h-Emissionswerte 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 Abbildung6 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 Quantenemissionsraten verwendet, die aus den in Tabelle 1 aufgeführten Tätigkeiten berechnet wurden: 5 Quanten/h für Büroarbeit und Klassenraumbelegung, 15 Quanten/h für ein Restaurant, 10 Quanten/h für Einkaufen, 21 Quanten/h für Sport und 19 Quanten/h für Besprechungsräume. Während typische COVID-19-Infektionsraten in der Allgemeinbevölkerung in der Grössenordnung von 1:1000 oder 1:10 000 lagen, 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, ist sehr valide.

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 Einkaufsfahrten oder Besprechungen in einem grossen Besprechungsraum recht gering ist (unter 5 %). Kleine Büroräume, die mit 2 bis 3 Personen besetzt sind, und kleine Besprechungsräume weisen eine höhere Infektionswahrscheinlichkeit auf, da auch in gut belüfteten kleinen Räumen der Luftstrom pro infizierter 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 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 Quantenerzeugung verbunden, aber auch körperliche Übungen erhöhen die Quantenerzeugung und die Atemfrequenz, 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 Aussenlüftungsraten ausgelegt sind.

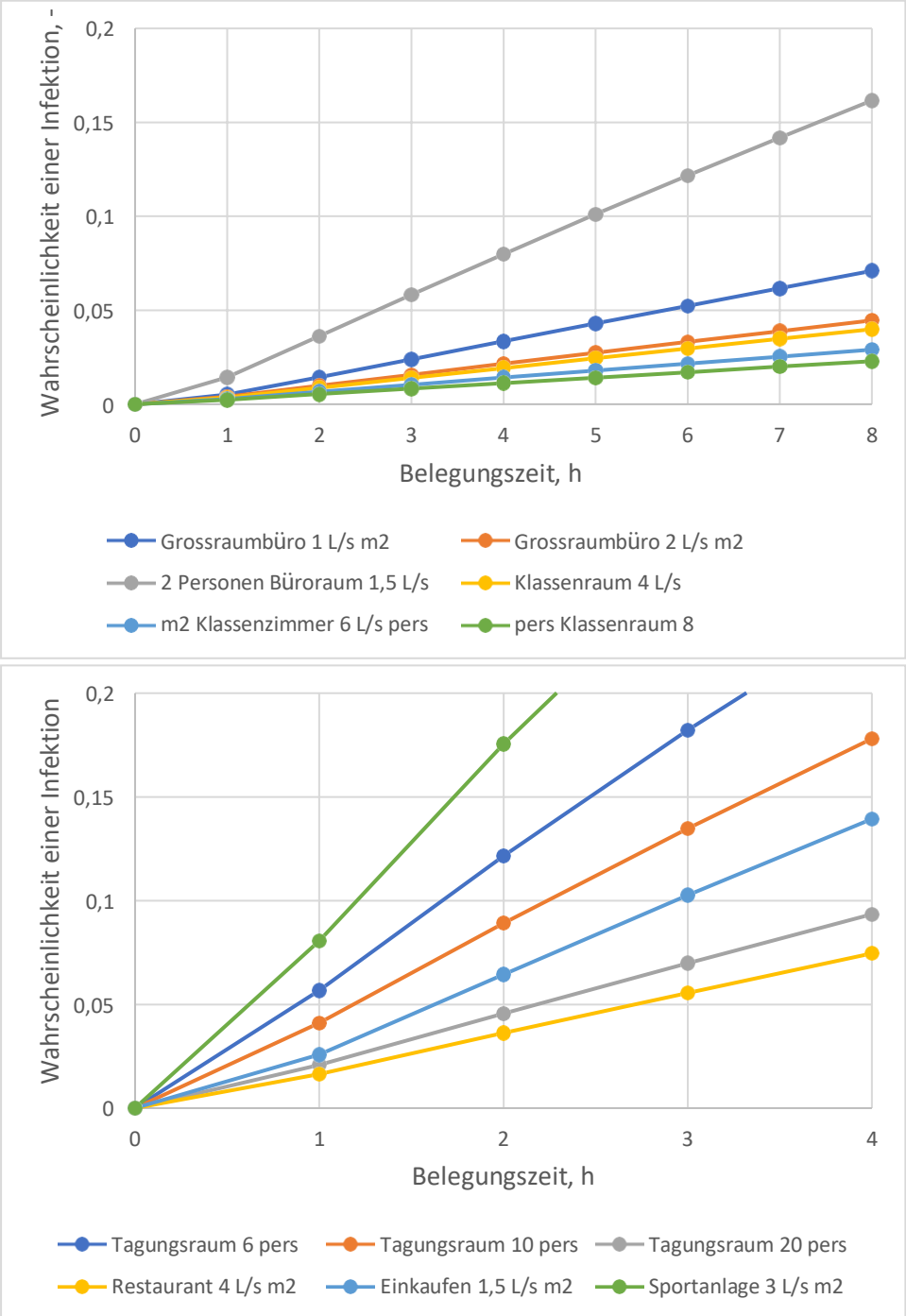


Abbildung 6. Bewertung des Infektionsrisikos für einige übliche Nicht-Wohnräume und mit dem REHVA COVID-19-Lüftungsrechner berechnete Lüftungsraten. Die Lüftungsrate von 1,5 L/s pro m2 wird in einem 2-Personen-Büroraum von 16 m2 und 4 L/s pro m2 in Besprechungsräumen verwendet. Die detaillierten Eingabedaten sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Der Arbeitsablauf zur Berechnung der Infektionswahrscheinlichkeit ist in Tabelle 3 dargestellt. Die Gesamtluftrate wird als Produkt aus dem Wert der Lüftungsrate L/s pro Bodenfläche und der Bodenfläche berechnet, daher ist die Gesamtluftrate pro infizierte Person umso grösser, je grösser der Raum ist (in allen Räumen wird 1 infizierte Person angenommen). Es ist zu beachten, dass die Anzahl der Insassen keine Auswirkung hat, da die Berechnung pro infizierter Person erfolgt. Die Raumhöhe (Volumen) spielt für die Konzentrationsentwicklung eine Rolle, so dass die Quelle E zum Zeitpunkt t = 0 eingeschaltet wird und die Konzentration beginnt, sich aufzubauen. In der Berechnung wurde eine 8-stündige Belegung berücksichtigt und die durchschnittliche Konzentration kommt dem Fliessgleichgewicht recht nahe, da der Wert in den Klammern in allen Fällen grösser als 0,9 ist (1,0 entspricht dem Fliessgleichgewicht).

Fallspezifische Eingangsparameter													
	Bodenfläche	Höhe	Lüftungsrate pro Bodenfläche	Quanta Emissionsrate	Atemfrequenz	Belegungszeit	Luftwechselrate	Gesamtverlustrate erster Ordnung	Raumvolumen	x Steady-State-Konz. tration	Mittlere Konzentration	Quanta inhaliert (Dosis)	Wahrscheinlichkeit einer Infektion
	A (m^2)	h (m)	L/($s\ m^2$)	Quanten/h	m^3/h	Δt (h)	kven (h^{-1})	ktot (h^{-1})	V (m^3)	[]	Quanten/m3	Quanten	-
Grossraumbüro 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
Grossraumbüro 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-Personen-Büro 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
Tagungsraum 6 pers	18	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	54	0.98	0.06	0.56	0.428
Tagungsraum 10 pers	25	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	75	0.98	0.05	0.40	0.331
Tagungsraum 20 pers	50	3	4	19	1.1	8	4.8	5.42	150	0.98	0.02	0.20	0.182
Klassenzimmer 4 L/s pers	56	3	2	5	0.54	8	2.4	3.02	168	0.96	0.01	0.04	0.040
Klassenzimmer 6 L/s pers	56	3	3	5	0.54	8	3.6	4.22	168	0.97	0.01	0.03	0.029
Klassenzimmer 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
Einkaufen 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
Sportanlage 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. Arbeitsablauf 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 Quantenemissionsraten, die über einen grossen Bereich variieren können, wie in Tabelle 1 dargestellt. Die Unsicherheit dieser Werte ist hoch. Ausserdem gibt es wahrscheinlich Super-Spreader, die weniger häufig vorkommen, aber höhere Emissionsraten haben können (wie im Fall des Chorsviii). 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 %). 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 m^2 verwendet. Generell könnten bis zu 4 m hohe Räume mit einem maximalen Volumen von 300 m^3 recht gut durchmischt werden; genauer ist es jedoch, die Konzentrationen mit CFD-Analysen zu simulieren. Manchmal können thermische Fahneneffekte von Insassen 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, sondern die relative Wirksamkeit von Lösungen und Beatmungsstrategien zu 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, wie Gebäude während eines Ausbruchs genutzt werden sollten, sehr nützlich ist. 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 pro m^2) bei einer Personendichte von 10 m^2 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 pro m^2 das relative Risiko auf 34 % reduziert und eine Verdoppelung dieses Wertes auf 4 L/s pro m^2 eine relativ geringere weitere Reduzierung auf 19 % ergibt.

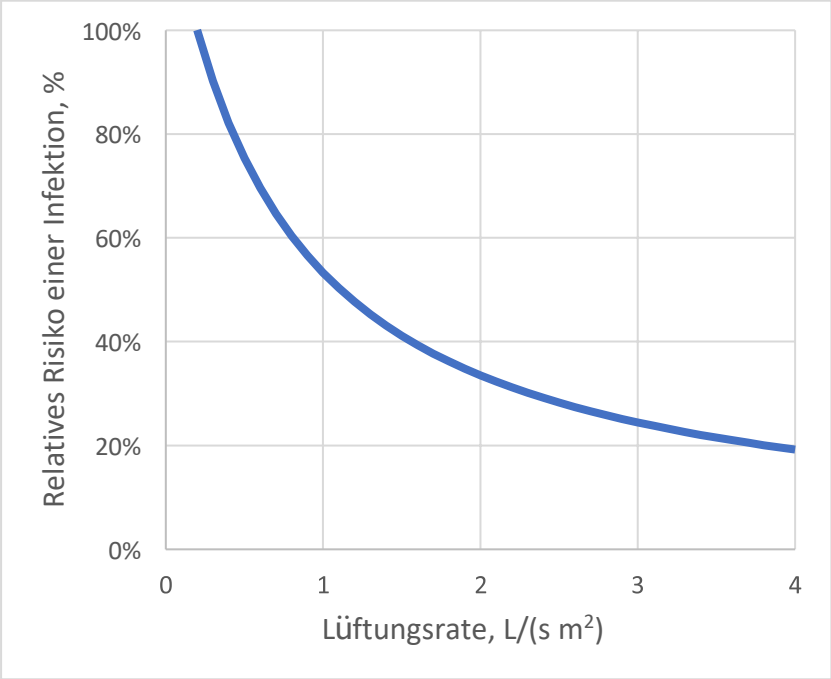


Abbildung 7. Relatives Risiko in einem Grossraumbüro von 50 m2, bei dem eine Lüftungsrate von 2 L/s pro Person (0,2 L/s pro m2) als Referenzwert für ein Superspreading-Ereignis mit 100 % relativem Risiko betrachtet wird.

Schliesslich lässt sich anhand von Abbildung7 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 pro ^{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 tiefe Steigung aufweist.

3 CO2-Konzentration als Lüftungsindikator

Eine einfache Möglichkeit, die Lüftungsleistung zu überwachen, ist der Einsatz von CO2-Sensoren, wie sie in Abschnitt 4.13. CO2-Messwerte beschreiben die Aussenlüftungsrate bei normaler Personendichte ausreichend. Wenn Personen einen Raum betreten, dauert es einige Zeit, bis sich die Konzentration aufbaut und den Steady-State-Wert 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 Raumzeitkonstante ab, die reziprok zur Luftwechselrate ist (63% der Konzentrationsänderung geschieht innerhalb einer Zeitkonstante und 95% innerhalb von 3 Zeitkonstanten). Somit geben die CO2-Messwerte nach der Zeit des Paares der Zeitkonstanten einen zuverlässigen Hinweis auf die Ausreichendheit der 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 pro ^{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 pro ^{m2} werden mindestens 10 ^{m2} pro Person benötigt, um die CO2-Konzentration unter 1000 ppm zu halten.

Zum $_{CO2}$: Unterm Strich deutet ein hohes $_{CO2}$ ohne Frage auf eine schlechte Lüftung hin. Niedriges $_{CO2}$ ist gut, aber es ist nicht allein eine Bestätigung für ein geringes Risiko der Aerosolübertragung; auch die Personendichte, die Belegungsdauer und die Raumgrösse müssen berücksichtigt werden.

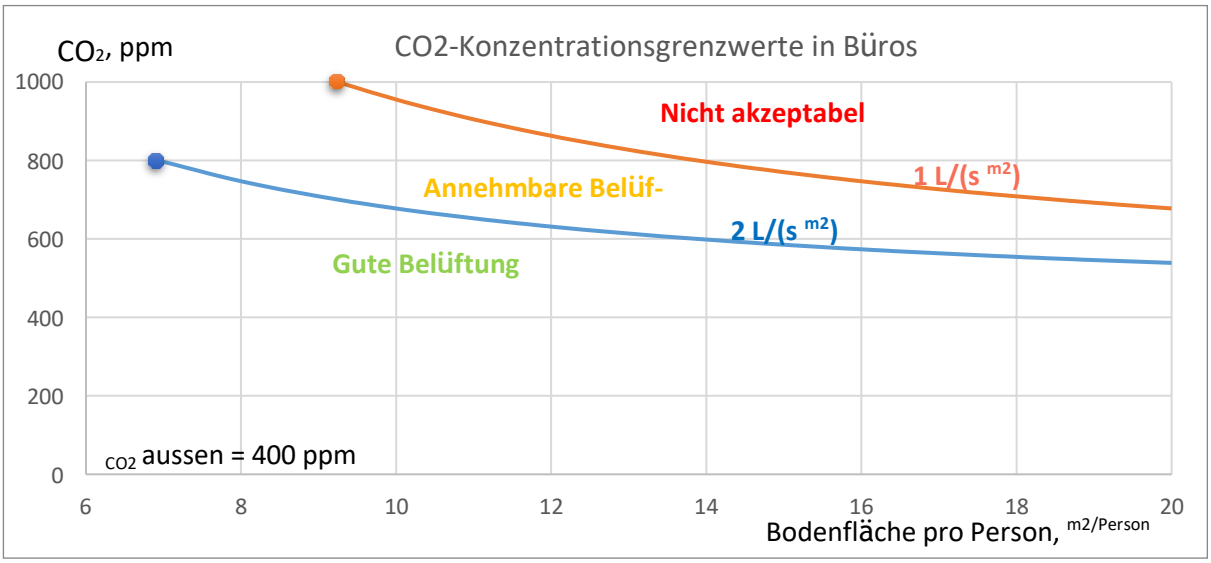


Abbildung 8. CO2-Konzentration (absolute Werte, die die Aussenkonzentration beinhalten) in Abhängigkeit von der Lüftungsrate und der Belegung in Büros.

4 Ausbreitung und Verbreitung durch auf eine Person gerichtete Luftströmungen

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 empfänglichen 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 Abschnitt3) und kommt zu dem Schluss, dass "der von Klimaanlagen 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, welche relativen Beiträge der gerichtete Luftstrom der Split-Einheit 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 in dem Restaurant war.

Obwohl das Klimagerät 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 die Luftverteilung mit niedriger Geschwindigkeit, die weder starke Luftströme noch Zugluft erzeugen, sind bereits weit verbreitet und sollten nun in grösserem Umfang angewendet werden.

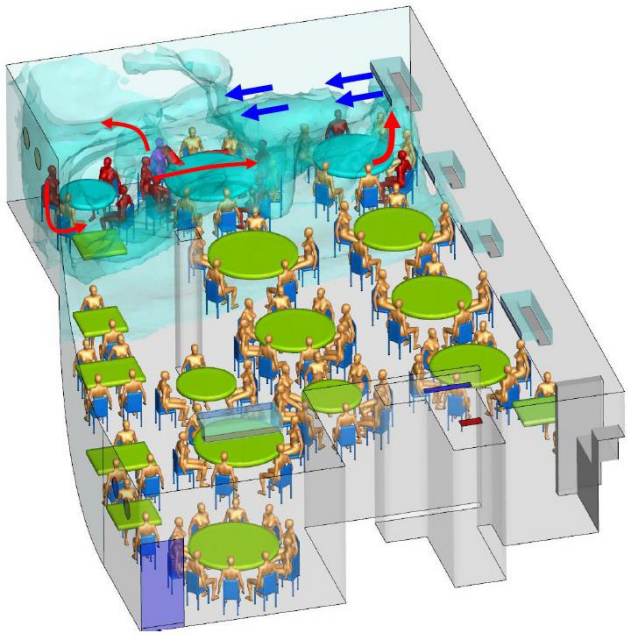


Abbildung 9. CFD-simulierte Luftverteilung durch Split-Gerät in einem Restaurant in Guangzhouxvii. Die Indexperson ist mit magenta-blau und neun infizierte Personen mit rot dargestellt. (Abbildung: mit freundlicher Genehmigung von Yuguo Li

Die Luftverteilung kann einen entscheidenden Einfluss auf die Konzentration des viralen Materials in der Raumluft haben. Sie kann die Konzentrationen sowohl 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, die 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 Verdrängungs- und Unterflursysteme berichtet-lxiiilxiv.

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 in einer Hand 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 persönliche Belüftungslösungen 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 der Schadstoffentfernung und die Effizienz des Luftwechsels für alle möglichen Arten der Luftverteilung einschliesslich persönlicher Belüftungslösungen Gegenstand der Luftverteilungsforschung 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 Kreuzkontaminationsaspekte von Lüftungs- und Klimaanlagen

Hohe lüftungshygienische Standards und die strikte Vermeidung jeglicher Kreuzkontamination sind bekannte Aspekte der Lüftungsplanung in Krankenhäusern und Industriegebäuden. 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 Rezirkulation und möglichen Leckagen in Wärmerückgewinnungsanlagen sowie zu sicheren Abständen zwischen Ab- und Zuluftöffnungen auf. Rezirkulation ist technisch leicht in jedem Klima zu vermeiden, und es gibt verfügbare Alternativen, wie z. B. energieeffizientere Wärme, Kälte,

und Lösungen zur Feuchterückgewinnung. Allerdings könnte weitere Forschung zum Schadstofftransfer erforderlich sein. Zum Beispiel sind Studien zum Schadstofftransfer von Rotoren (Enthalpierädern) 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 Belüftungsraten 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 infizierter Person entscheidend**. Dies macht grosse Räume, die nach den aktuellen Standards belüftet werden, einigermassen sicher, aber kleinere Räume, die von weniger Personen bewohnt 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 Belüftungsraten der Kategorie I empfohlen werden, da diese im Vergleich zu den üblichen Belüftungsraten der Kategorie II eine deutliche Risikominderung bieten.

Vorgeschlagene Forschungsagenda:

- Zukünftige Forschungen sollten sich vorrangig mit den Aspekten Kreuzkontamination, Luftverteilung und Aussenlüftungskapazität 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 IAQ-Überwachungssystemen verbessert werden, die nicht nur darauf ausgelegt sind, Situationen mit hoher CO2-Konzentration zu erkennen, sondern auch darauf, CO2-Konzentrationstrends (abhängig von der Raumgrösse, einer normalen Anzahl von im Raum anwesenden Personen usw.) in eine Bewertung des Wells-Riley-Infektionsrisikos umzusetzen;
- Forschungsförderer 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 die Bereitschaft für zukünftige Epidemien zu verbessern;
- Die vorgeschlagenen Massnahmen bieten gleichzeitige Vorteile für die Verringerung des Risikos der Übertragung von Viruskrankheiten durch die Luft und die allgemeine Gesundheit in Zeiten zwischen Epidemien.

Anhang 2 - Inspektion von rotierenden Wärmetauschern zur Begrenzung interner Leckagen

Der Hauptindikator für die interne Leckage der verunreinigten Luft, die den Raum verlässt und durch den Tauscher in die Zuluft gelangt, wird durch das Abluftübertragungsverhältnis (EATR) in % ausgedrückt. EATR ist eine Funktion der Druckdifferenz zwischen der Zuluftseite hinter dem Tauscher (p22) und der Abluftseite vor dem Tauscher (p11), und ihr Wert hängt von der Art der Abdichtung und den Bedingungen ab. Aber auch die Rotordrehzahl und der Spülsektor haben einen Einfluss auf die EATR. Das Hauptziel ist es, einen Überdruck auf der Zuluftseite zu halten und auf diese Weise jede mögliche Leckage von der Zuluft zur Abluft zu vermeiden (d.h. EATR = 0%). In gut ausgestatteten Lüftungsgeräten (AHUs) sind normalerweise Druckabgriffe zur Messung von p11 und p22 vorhanden.

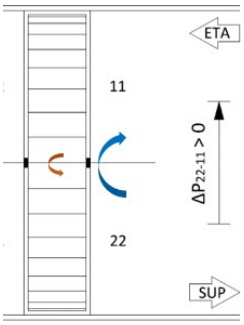


Abbildung 10. P22-11 im RLT-Gerät

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

Massnahmen, um die Abluftleckage gering zu halten

Die Luftleckage über einen rotierenden Wärmetauscher 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 Beseitigung 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 Lüfter. Die verfügbaren Konfigurationen der Lüfterpositionen sind in den Abbildungen 11-14 dargestellt. Die am meisten empfohlene Konfiguration umfasst beide Ventilatoren, die sich stromabwärts innerhalb des Tauschers befinden (siehe Abbildung 11). In dieser Konfiguration liegt die EATR bei korrekt ausgeglichenen Drücken (p22-11 > 0) und richtig eingestelltem Spülsektor normalerweise unter 1%. Im Gegensatz dazu umfasst die ungünstigste Konfiguration in Bezug auf die Leckage beide Ventilatoren auf der Gebäudeseite (siehe Abbildung12). Im schlimmsten Fall kann die EATR bei dieser Konfiguration bis zu 10-20 % betragen6.

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

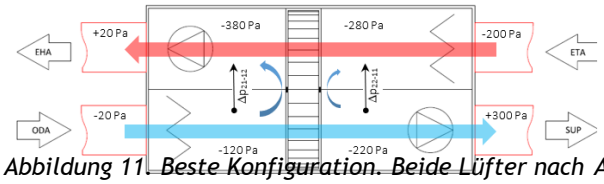


Abbildung 11. Beste Konfiguration. Beide Lüfter nach dem Rotor

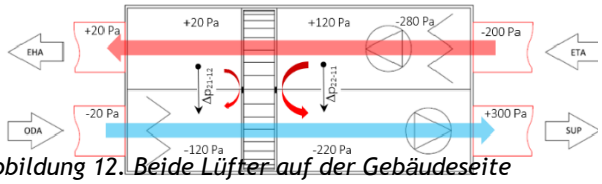


Abbildung 12. Beide Lüfter auf der Gebäudeseite

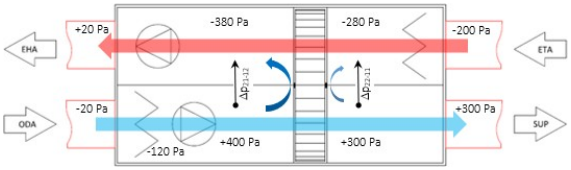


Abbildung 13 Beide Ventilatoren auf der Aussenseite

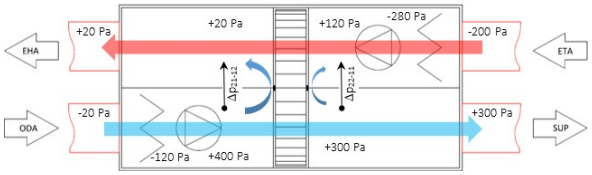


Abbildung 14 . Beide Lüfter stromaufwärts des Tauschers.

Druckdifferenz ausgleichen

Der nächste Schritt zur Minimierung einer Leckage ist die Einstellung der richtigen Differenz zwischen den Drücken p22 und p11. Der Druck p11 sollte mindestens 20 Pa kleiner sein als der Druck p22. Abhängig von der Konfiguration der Ventilatoren kann dies durch Drosselung wie folgt erfolgen:

- Wenn beide Ventilatoren hinter dem Rotor platziert sind (Abbildung 11): Stellen Sie die Drossel in der Abluft so ein, dass p11 mindestens p22 - 20 Pa wird. Wenn die Drosseleinrichtung (z. B. Klappe) in einem RLT-Gerät nicht vorhanden ist, sollte sie im Kanalnetz installiert werden.
- Beide Ventilatoren auf der Gebäudeseite (Abbildung12): In diesem Fall gibt es keine Möglichkeit, die Drosselung zu verwenden.
- Beide Ventilatoren auf der Aussenseite (Abbildung13): 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 p11 mindestens p22 - 20 Pa wird. Wenn die Drosseleinrichtung (z. B. Klappe) in einem RLT-Gerät nicht vorhanden ist, sollte sie im Kanalnetz installiert werden.

Korrekte Anwendung des Spülsektors, Position und Einstellung

Der Spülsektor ist eine Vorrichtung, die die aus der Rotation des Rades resultierende Leckage (Verschleppungsleckage) praktisch eliminieren kann. Seine Lage und Einstellung (Winkel) muss nach den Vorgaben des RLT-Geräteherstellers in Abhängigkeit von der Konfiguration der Ventilatoren und Druckverhältnisse angeordnet werden.

Effektive Abdichtung des Rotors

Perimeter- und Mittelbalkendichtungen verhindern Luftleckagen von der Zuluft- zur Abluftseite. 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. Ein Entwurf der neuen, kommenden Norm prEN308 bietet jedoch eine einfache Methode zur Abschätzung der EATR im Betrieb mit Hilfe von Temperaturmessungen, die vor Ort durchgeführt werden können. Das Prüfverfahren umfasst

Messungen der Temperaturen t11, t21 und t22 im stationären Zustand bei stehendem Rotor (Wärmeübertragung deaktiviert). Anschliessend wird EATR wie folgt berechnet:

$$EATR = \frac{t22 - t21}{t11 - t21}$$

Wo,

t11ist Temperatur Ablufteinlass; t21ist Temperatur Zulufteinlass; t22ist Temperatur Zuluftauslass.

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

Anhang 3 - Belüftung in Patientenzimmern

Belüftungssysteme für spezielle Patientenzimmer wie luftübertragene infektiöse Isolationsräume (AIIR) wurden für die Kontrolle von Infektionsrisiken gut entwickelt7. Diese Räume wenden zwei Prinzipien an: durch die Verhinderung der Ausbreitung von luftgetragenen Mikroben in angrenzende Räume und die Umgebung und durch die Reduzierung der Menge an luftgetragenen Mikroben im Patientenzimmer durch effiziente 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 mit Unterdruck im Vergleich zu den angrenzenden Räumen in Krankenhäusern zu halten. Patientenzimmer mit Unterdruck werden auch als "Isolierzimmer der Klasse N", "Isolierung gegen luftübertragene Infektionen" und "infektiöse Isoliereinheiten" bezeichnet. Es werden hier einige Empfehlungen speziell für den Betrieb von Patientenzimmern bei COVID-19 temporären Krankenhauseinstellungen gemäss verschiedener nationaler Vorschriften/Normen89101112 vorgestellt. Im Allgemeinen haben Krankenhauslüftungssysteme, die gemäss diesen Vorschriften/Normen entworfen wurden, eine angemessene Kontrolle des luftübertragenen Infektionsrisikos für COVID-19-Erkrankungen geboten, so dass keine Kreuzinfektionen aus modernen Krankenhäusern berichtet wurden.

Für Normalbereiche/Patientenräume:

- Normale Patientenzimmer, die nicht für Patienten mit Infektionskrankheiten vorgesehen sind, benötigen mindestens 4 Luftwechsel pro Stunde (ACH).
- Wenn es für die Luftübertragungsvorsorge verwendet wird, sollte es aktualisiert werden, um die Anforderungen für Isolierräume zu erfüllen, bei denen eine angemessene Belüftung als mindestens 6 ACH (entspricht 40 L/Patient für einen 4x2x3 ^{m3} Raum) angesehen wird.

Für temporäre Bereiche/Stationen für Patienten mit Infektionskrankheiten:

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

Für Isolierräume mit luftübertragenen Infektionen:

- AIIR-Luft muss direkt ins Freie abgeleitet werden, und zwar unter Verwendung von HEPA-Filtern, wann immer dies möglich ist, um eine mögliche Kreuzkontamination zu vermeiden, wenn sich der Abluftauslass in der Nähe von Fenstern oder Aussenlufteinlässen befindet.
- Stellen Sie sicher, dass die Zuluftkanäle unabhängig vom gemeinsamen Gebäudezuluftsystem sind.
- Der Zuluftvolumenstrom sollte bei bestehenden Isolierräumen 6-12 ACH (z. B. entsprechend 40-80 L/Patient für einen 4x2x3 ^{m3} -Raum) betragen, bei Neubauten idealerweise mindestens 12 ACH. Siehe Abbildung 15 zur Veranschaulichung der Auswirkung von hohen Luftstromraten.
- Empfohlene negative Druckdifferenz ist ≥5 Pa, um sicherzustellen, dass die Luftströme aus dem Korridor

[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%20Ro om-Guide_web.pdf
[8] ASHRAE-Norm 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

in das Patientenzimmer.

- Die Abluft 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 Patientenraum und der Toilette sollte nicht umgewälzt und in den Raum zurückgeführt werden.
- Bringen Sie einen lokalen akustischen Alarm oder eine lokale optische Einrichtung an, falls der Ventilator ausfällt und der negative Differenzdruck nicht aufrechterhalten wird.
- Ein separates Abluftsystem für jeden Raum, das eine grössere Luftmenge abführt als das Versorgungssystem.
- Wenn möglich, sollte ein Vorraum oder eine Schleuse verwendet werden, um die Übertragung von Infektionserregern durch die Türöffnung des AIIR zu verhindern.

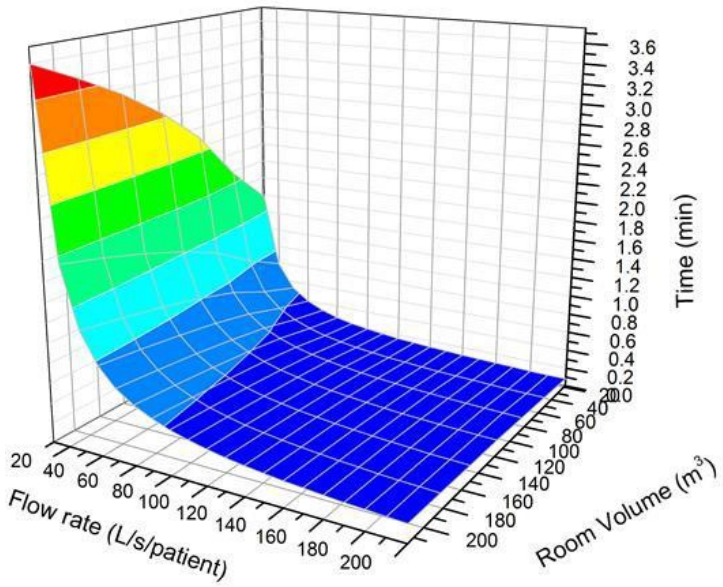


Abbildung 15. Darstellung von hohen Luftstromraten. Zeit zum Austausch der Luft im Raum als Funktion der Luftstromrate und des Raumvolumens.

Bei natürlicher Belüftung werden wegen des instabilen Betriebs der Belüftung, bei dem eine ausreichende Belüftung nicht zu jeder Zeit gewährleistet werden kann, höhere Belüftungsraten empfohlen. Natürliche Lüftung ist nur bei günstigen Klimabedingungen für den Einsatz geeignet. Umfassende Hinweise zur natürlichen Belüftung werden von der WHO13 bereitgestellt.

[13] Natürliche Beatmung zur Infektionskontrolle in Gesundheitseinrichtungen. WHO 2009. https://www.who.int/water_sanitation_health/publications/natural_ventilation.pdf

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

In diesem Dokument fassen wir Hinweise zum Betrieb und zur Nutzung der Haustechnik in Schulen zusammen, um die Verbreitung des Coronavirus (COVID-19) Virus (SARS-CoV-2) zu verhindern. Dieser Leitfaden richtet sich vor allem an Schulleiter, Lehrer 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. über Oberflächenkontakt (Hand-Hand, Hand-Fläche etc.);
4. über den fäkal-oralen Weg.

Weitere Hintergründe zu den Übertragungswegen von SARS-CoV-2 finden Sie in Abschnitt 2 dieses Dokuments.

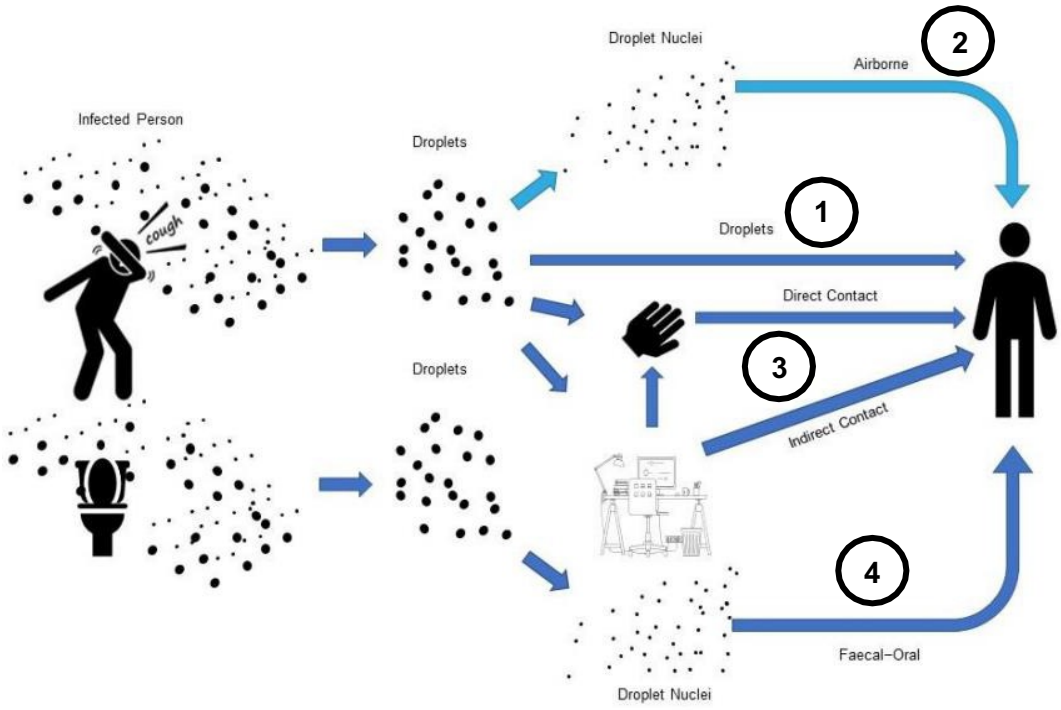


Abbildung 16. Expositionsmechanismen von COVID-19 SARS-CoV-2 Tröpfchen. (Abbildung: mit freundlicher Genehmigung von Francesco Franchimon)

Allgemeine Anleitungen für Arbeitgeber und Gebäudeeigentümer, die z. B. im WHO-Dokument "Guidance-forCOVID-19preventionandcontrolinschools" (LeitfadenzurPräventionundKontrolle von COVID-19Schulen) 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, werden zusätzlich Massnahmen zur Belüftung (luftgetragene Übertragung) und zu sanitären Anlagen (fäkal-orale Übertragung) empfohlen.

Belüftung

In vielen europäischen Schulen ist eine ausreichende Belüftung eine Herausforderung. Heute sind viele Schulen in Europa

natürlich belüftet (z. B. über Fenster). Die natürliche Lüftung hängt wesentlich von der Temperaturdifferenz zwischen der Innen- und der 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:

- Sichern Sie die Belüftung der Räume mit Aussenluft. Prüfen Sie, ob die natürlichen oder mechanischen Belüftungssysteme in den Klassenräumen 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 Wartungsfirma auf ihre Funktion überprüfen;
- Installieren Sie einen CO2-Monitor mit Ampelanzeige (Abbildung 17) zumindest in den Klassenräumen, in denen die Lüftung vom Öffnen von Fenstern und/oder Aussengittern 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 Klassenraum, entfernt von Frischlufteinlässen (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.

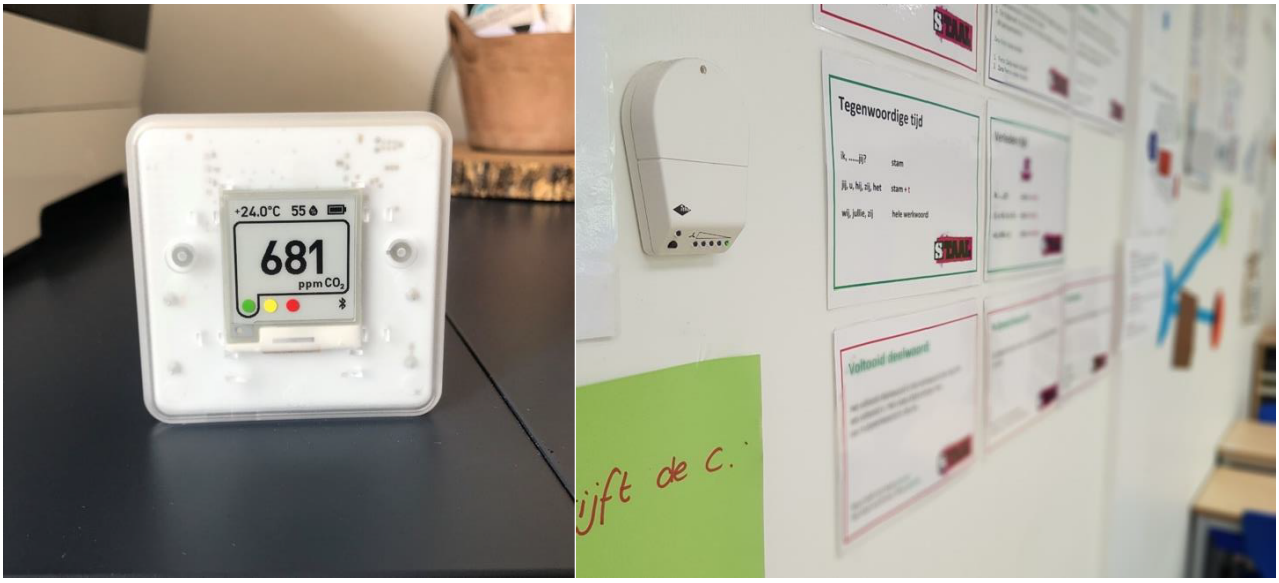


Abbildung 17. Beispiele für CO2-Monitore mit Ampelanzeige zur Darstellung der Raumluftqualität.

- Betriebsstunden der mechanischen Lüftungsanlagen prüfen. Schalten Sie die Lüftung mindestens 2 Stunden vor Schulbeginn auf Nenndrehzahl und 2 Stunden nach Belegung ab oder auf niedrigere Drehzahl. Halten Sie die Toilettenlüftung in ähnlicher Weise wie die Hauptlüftungsanlage in der Nenndrehzahl. [14]
- 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 Menge des Luftaustauschs bei geringerer Belegung automatisch reduziert, um Energie zu sparen. Um das Risiko der Übertragung von Infektionskrankheiten zu verringern, ist eine vollständige Lüftung 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 Lehrern Anweisungen, wie sie die Lüftungsanlagen benutzen sollen:
  - ✓ Öffnen Sie Fenster und Lüftungsgitter während der Schulzeit so weit wie möglich. Das Öffnen von Fenstern bis knapp unter die Decke reduziert die Zugluftgefahr. In Räumen mit mechanischer

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

Be- und Entlüftung ist dies in der Regel nicht notwendig, aber eine zusätzliche Belüftung ist positiv und stört das Lüftungssystem nicht.

- ✓ Sorgen Sie für regelmässiges Lüften mit Fenstern in den Pausen (auch in mechanisch belüfteten Gebäude).
- ✓ Stellen Sie sicher, dass die Lüftungseinrichtungen nicht durch Vorhänge oder Möbel verdeckt oder blockiert werden.
- ✓ Behalten Sie eventuell installierte CO2-Monitore im Auge (Schüler zur Mithilfe auffordern). Seien Sie sich bewusst, dass mehr Aerosole werden bei Aktivitäten wie Singen oder Sport freigesetzt.
- ✓ Verwenden Sie wie üblich lokale Kühlsysteme, wie Gebläsekonvektoren oder Splitgeräte15. Stellen Sie jedoch sicher, dass ***stets*** frische Aussenluft durch mechanische Lüftungssysteme oder öffenbare Fenster zugeführt wird.

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

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 Wartungsfirmen 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 des Klimasystems 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.

Sanitär

[15] Ausführlichere Hinweise zu Gebläsekonvektoren und Split-Geräten finden Sie in Abschnitt 4.6.

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

- Spülen Sie alle Toiletten, Wasserhähne und Duschen, bevor die Schule wieder geöffnet wird. Wenn die Wasserhähne nicht gespült wurden
  mehrere Wochen lang verwendet, 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 trocken laufen, um einen offenen Anschluss an den Abwasserkanal zu vermeiden. Füllen Sie die Abflüsse regelmässig mit Wasser auf. Fügen Sie etwas Öl hinzu, damit die Wasserversiegelung nicht schnell verdunstet.
- Geben Sie die Anweisung, Toiletten mit geschlossenem Deckel zu spülen und sich nach der Toilettenbenutzung die Hände zu waschen.

Mehr 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- für-Schulen-Arbeitsplätze-Institutionen

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 Zwischendokument' an.

Kolophon
Dieses Dokument wurde von der COVID-19-Taskforce des REHVA-Ausschusses für Technologie und Forschung erstellt, basierend auf
über die erste Version des Leitfadens, die in der Zeit vom 6. bis 15. März 2020 von REHVA-Freiwilligen entwickelt wurde.

Mitglieder der Task Force sind:
Prof. Jarek Kurnitski, Vorsitzender der REHVA COVID-19 Task Force, Tallinn University of Technology, Vorsitzender des REHVA Technologie- und Forschungsausschusses
Dr. Atze Boerstra, REHVA-Vizepräsident, Geschäftsführer bba binnenmilieu
Dr. Francesco Franchimon, Geschäftsführer Franchimon ICM
Igor Sikonczyk, Senior Technical and Regulatory Affairs Manager bei Eurovent
Ir. Froukje van Dijken, Spezialistin für gesundes Bauen bei bba binnenmilieu
Prof. Catalin Lungu, Vizepräsident der REHVA, Vizepräsident des AIIR
Prof. Guangyu Cao, Norwegische Universität für Wissenschaft und Technologie (NTNU)
Dr. Hywel Davies, Technischer Direktor von CIBSE
Prof. em. Olli Seppänen, Aalto Universität
Frank Hovorka, REHVA-Präsident, Direktor Technologie und Innovation FPI, Paris
Jaap Hogeling, Manager Internationale Projekte bei ISSO
Prof. Ivo Martinac, REHVA-Vizepräsident, KTH Royal Institute of Technology
Prof. Livio Mazzarella, Polytechnische Universität Mailand
Prof. em. Francis Allard, Universität La Rochelle
Henk Kranenberg, Vizepräsident von Eurovent, Senior Manager bei Daikin Europe NV
Mikael Borjesson, Vizepräsident der Eurovent Association, Competence Director Swegon Group
Francesco Scuderi, stellvertretender Generalsekretär der Eurovent Association
Prof. Dr. Marija S. Todorovic, Universität Belgrad Serbien
Dr. Benoit Sicre, Hochschule für Technik und Architektur Luzern
Prof. Manuel Gameiro da Silva, Vizepräsident der REHVA, Universität Coimbra
Dr. Kemal Gani Bayraktar, REHVA-Vizepräsident, Präsident des TTMD
Juan Travesi Cabetas, Vizepräsident von REHVA, Vizepräsident von ATECYR
Prof. Manuel Ruiz de Adana, ATECYR Technischer Ausschuss. Universität von Cordoba
Prof. Pedro G. Vicente Quiles, Vorsitzender des Technischen Ausschusses ATECYR. Universidad Miguel Hernández de Elche
Prof. Cristina Tanasa, Politehnica Universität Timisoara
Ioan Silviu Dobosi, AIIR - Rumänischer Verband der Gebäudetechnik-Ingenieure

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.

Literatur

- [i] Monto, 1974. Medizinische Berichte. Coronaviruses. The Yale Journal of Biology and Medicine 47(4): 234-251.
- [ii] Doremalen et al, 2013. Stabilität des Middle East Respiratory Syndrome Coronavirus (MERS- CoV) unter verschiedenen Umweltbedingungen. 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- und Oberflächenstabilität von SARS-CoV-2 im Vergleich zu 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-Zonen-Modellierung der wahrscheinlichen SARS-Virusübertragung durch Luftströmung
  zwischen Wohnungen in Block E, Amoy Gardens. Indoor Air 15(2): 96-111.
- [viii] Luongo et la, 2016. Rolle der mechanischen Lüftung bei der luftgetragenen Übertragung von Infektionserregern in Gebäuden. 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. Luftgetragene Kurzstrecken-Übertragung von exspiratorischen Tröpfchen zwischen zwei Personen. 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] Japanisches Ministerium für Gesundheit, Arbeit und Soziales. Q & A zum neuartigen Coronavirus (für die allgemeine Öffentlichkeit)
- [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. Übertragung von SARS-CoV-2 durch Inhalation von Atemwegsaerosol im 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. Wie kann die luftgetragene Übertragung von COVID-19 in Innenräumen minimiert werden? Umwelt International, 142. https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.105832
- [xxi] ECDC 2020a. Heizung, Lüftung und Klimaanlagen im Kontext von COVID-
  19. Europäisches Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten, Technischer Bericht, 22. Juni 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 und Milton, et al, 2020. Es ist an der Zeit, die luftgetragene Übertragung von COVID-. 19. Klinische Infektionskrankheiten.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-Pressemitteilung: https://www.cdc.gov/media/releases/2020/s0522-cdc-updates-

covid-uebertragung.html

- [xxvi] WHO, 2020b. Wasser, Sanitärversorgung, Hygiene und Abfallmanagement für COVID-19. Weltgesundheitsorganisation, Geneve.
- [xxvii] Hung, 2003. Die SARS-Epidemie in Hongkong: Welche Lehren haben wir gezogen? 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). Weltgesundheitsorganisation, Geneve.
- [xxix] Zhang et al, 2020. Molekulare und serologische Untersuchung von 2019- nCoV infizierten Patienten: Implikation von multiplen Shedding-Routen. Emerging Microbes & Infections 9(1): 386- 389.
- [xxx] Guan W-J et al, 2020. Klinische Merkmale der 2019 neuartigen Coronavirus-Infektion in China. l J Med. 2020 Apr 30;382(18):1708-1720. doi: 10.1056/NEJMoa2002032.
- [xxxi] Wenzhao et al, 2020. Kurzstreckige luftgetragene Route dominiert die Exposition von Atemwegsinfektionen bei engem Kontakt. Bauen und Umwelt 176 (2020) 106859.
- [xxxii] Fennelly KP, 2020. Partikelgrössen von infektiösen Aerosolen: Implikationen für die Infektionskontrolle. *Lancet Respir Med* 2020. https://doi.org/10.1016/S2213-2600(20)30323-4
- [xxxiii] US CDS 2015. Hierarchy of Controls. Centers for Disease Control and Prevention.
- [xxxiv] Richtlinien für die Durchführung von nicht-pharmazeutischen Massnahmen gegen COVID-19. Europäisches Zentrum für die Prävention und die Kontrolle von Krankheiten, 24. September 2020. https://www.ecdc.europa.eu/en/publications-data/covid-19-guidelines-non- pharmaceutical-interventions
- [xxxv] Chin et al, 2020. Stabilität von SARS-CoV-2 unter verschiedenen Umweltbedingungen. The Lancet Microbe. https://doi.org/10.1016/S2666-5247(20)30003-3
- [xxxvi] Doremalen et al, 2020. Aerosol- und Oberflächenstabilität von SARS-CoV-2 im Vergleich zu SARS-CoV-1. N Engl J Med 2020; 382:1564-1567. DOI: 10.1056/NEJMc2004973
- [xxxvii] Morawska, 2006. Tröpfchenschicksal in Innenräumen, oder können wir die Verbreitung von Infektionen verhindern? Indoor Air 16(2): 335-347.
- [xxxviii] Salah et al, 1988. Der nasale mukoziliäre Transport bei gesunden Probanden ist langsamer, wenn sie trockene Luft atmen. European Respiratory Journal 1(9): 852-855.
- [xxxix] Kudo et al, 2019. Niedrige Umgebungsfeuchte beeinträchtigt Barrierefunktion und angeborene Resistenz gegen Influenza-Infektion. 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. Stand der Technik Untersuchung von rotierenden Luft-Luft-Wärmetauschern. 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 (Das schwedische nationale Prüf- und Forschungsinstitut) Energiteknik (Energietechnik) SP RAPPORT 1993:03
- [xlv] Wargocki, P., & Faria Da Silva, N. A. (2012). Einsatz von CO2-Rückführung als Nachrüstlösung zur Verbesserung der Luftqualität in natürlich belüfteten Klassenräumen. Healthy Buildings, Brisbane, Australien.
- [xlvi] Sipolla MR, Nazaroff WW, 2003. Modellierung von Partikelverlusten in Lüftungskanälen. Atmospheric Environment. 37(39-40): 5597-5609.
- [xlvii] Fisk et al, 2002. Leistung und Kosten von Technologien zur Partikel-Luftfiltration. Indoor Air 12(4): 223-234. https://doi.org/10.1034/j.1600-0668.2002.01136.x
- [xlviii] Best et al, 2012. Potenzial für die Aerosolisierung von Clostridium difficile nach der Toilettenspülung: die Rolle von Toilettendeckeln bei der Verringerung des Risikos einer Umweltkontamination. 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.
- l https://www.hse.gov.uk/coronavirus/legionella-risks-during-coronavirus-outbreak.htm
- [li] CIBSE 2020, https://www.cibse.org/coronavirus-covid-19/emerging-from-lockdown

- [lii] ECDC 2020b, https://www.ecdc.europa.eu/en/legionnaires-disease
- [liii] ESCMID 2017, https://www.escmid.org/fileadmin/src/media/PDFs/3Research_Projects/ESGLI/ESGLI_Eur opean_Technical_Guidelines_for_the_Prevention_Control_and_Investigation_of_Infections_ Caused_by_Legionella_species_June_2017.pdf
- [liv] Yang W, Marr LC. Dynamik von luftgetragenen Influenza-A-Viren in Innenräumen und Abhängigkeit von der Luftfeuchtigkeit. *PLoS ONE*. 2011;6:e21481
- [lv] Thatcher TL, Lai ACK, Moreno-Jackson R, Sextro RG, Nazaroff WW. Auswirkungen von Raumausstattung und Luftgeschwindigkeit auf Partikeldepositionsraten in Innenräumen. *Atmospheric Environment*. 2002;36:1811–1819.
- [lvi] Diapouli E, Chaloulakou A, Koutrakis P. Estimating the concentration of indoor particles of outdoor origin: A review. *Journal of the Air & Waste Management Verein*. 2013;63:1113–1129.
- [lvii] 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.
- [lviii] Miller et al, 2020 Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. Innenraumluft, https://doi.org/10.1111/ina.12751
- [lix] G. Buonanno, L. Stabilea, L. Morawska. (2020) Schätzung der luftgetragenen Virusemission: Quanten-Emissionsrate von SARS-CoV-2 für die Bewertung des Infektionsrisikos. Umwelt International 141.
- [lx] 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
- [lxi] Adams, W.C., 1993. Messung der Atemfrequenz und des Atemvolumens bei routinemässig ausgeführten täglichen Aktivitäten. Abschlussbericht. Human Performance Laboratory, Physical Education Department, University of California, Davis. Vorbereitet für das California Air Resources Board, Vertrag Nr. A033-205.
- [lxii] Binazzi B, Lanini B, Bianchi R, et al. 2006. Atmungsmuster und Kinematik bei normalen Probanden während des Sprechens, Singens und lauten Flüsterns. *Acta Physiologica*. 2006; 186: 233–246.
- [lxiii] Jovan Pantelic & Kwok Wai Tham (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] Zhecho D. Bolashikov , Arsen K. Melikov , Wojciech Kierat , Zbigniew Popiołek & Marek Brand (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