

Wissenschaftliches Beratungsgremium COVID-19 (WiBeG)

*Saubere Luft im Zusammenhang mit 26. Mai 2023
der Zirkulation von Krankheitserregern*

In Auftrag gegeben von	Eigeninitiative WiBeG
<i>Kontakt</i>	kommunikation@ethrat.ch
<i>Webseite</i>	wiss-gremium-covid19.ch/

Weitere Mitwirkende (alphabetisch geordnet):

Prof. Dr. Tamar Kohn, EPFL – bestätigt

Prof. Dr. Dusan Licina, EPFL – bestätigt

Prof. em. Dr. Thomas Peter, ETH Zürich – bestätigt

Dr. Michael Riediker, Direktor SCOEH – bestätigt

Saubere Luft im Zusammenhang mit der Zirkulation von Krankheitserregern

1 Ausgangslage

Das Ziel des vorliegenden Dokuments ist es, darzulegen, dass die Überlegungen zu und die positiven Aspekte von sauberer Luft in der Akutphase der COVID-19-Pandemie auch in der postakuten Phase sowie bei anderen luftübertragenen Krankheiten gelten. Wir erläutern die gesundheitlichen positiven Effekte, die Belüftung und Luftfilterung in Gebäuden mit sich bringen. Insbesondere im Zusammenhang mit Infektionskrankheiten wird, basierend auf der aktuellen Studienlage, erwartet, dass eine gute Belüftung der Innenraumluft zu einer geringeren Belastung durch Krankheitserreger führt. Weiter gehen wir in diesem Bericht auf Herausforderungen und Unsicherheiten im Kontext sauberer Raumluft und Krankheitserreger

ein. Diese betreffen die Quantifizierung der Auswirkungen von Massnahmen für saubere Raumluft auf die Übertragung, die Sicherstellung sauberer Luft bei gleichzeitigem Komfort für die Menschen in den betreffenden Gebäuden sowie die Energieeffizienz. Abschliessend beschreiben wir potenzielle Risiken vorgeschlagener Massnahmen für saubere Raumluft.

Saubere Luft in Gebäuden wirkt sich sowohl auf die Gesundheit als auch auf das allgemeine menschliche Wohlbefinden, die Arbeitsleistung und das Lernen aus ([Link](#), [Link](#)). Infolgedessen kann saubere Luft auch eine hohe wirtschaftliche Relevanz haben ([Link](#)). «Saubere Luft» bezieht sich auf Luft, die «nicht verschmutzt» ist. Die WHO definiert Luftverschmutzung wie folgt: «Unter Luftverschmutzung ist die Verunreinigung der Innen- oder Aussenluft durch chemische, physikalische oder biologische Stoffe zu verstehen, die die natürlichen Eigenschaften der Atmosphäre verändern» ([Link](#)).

Die WHO weist darauf hin, dass die Luftverschmutzung in Innenräumen ein wichtiger Faktor für verschiedene Krankheiten wie Herz-Kreislauf-Erkrankungen und insbesondere Atemwegserkrankungen ist ([Link](#), [Link](#), [Link](#)). Im Zusammenhang mit Infektionskrankheiten kann saubere Luft – d. h. Luft ohne erregerehaltige Aerosole – die Übertragung durch die Luft verringern. Dies ist keine neue Erkenntnis, jedoch wurde ihre Bedeutung im Verlauf der Pandemie immer wieder verdeutlicht. Die WHO sowie Behörden und Organisationen im In- und Ausland haben im Zusammenhang mit SARS-CoV-2 die Bedeutung der Belüftung zur Gewährleistung von sauberer Luft und damit die Verringerung der Erregerbelastung hervorgehoben ([Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#)).

Wir fassen die wichtigsten Aspekte der Übertragung von Krankheitserregern über die Luft durch erregerehaltige Aerosole (Abschnitt 2) und mögliche Massnahmen zur Verringerung der Zahl erregerehaltiger Aerosole in der Luft (Abschnitt 3) kurz zusammen.

2 Aktueller Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse

2.1 Übertragung durch Aerosole und saubere Luft

Atemwegserreger werden (i) über kurze Entfernungen (in Expositionsmodellen auch als «Nahfeld» bezeichnet) bei engen Interaktionen durch Tröpfchen und Aerosolpartikel übertragen und (ii) über grosse Entfernungen durch Aerosolpartikel, die in das «Fernfeld» getragen werden und sich dort ansammeln (siehe auch [Link](#) zur Diskussion über Tröpfchengrösse und Übertragungsmodi im Zusammenhang mit SARS-CoV-2). Wir weisen darauf hin, dass

Schmierinfektionen einen dritten Übertragungsweg darstellen, auf den wir jedoch nicht weiter eingehen werden, da wir uns im vorliegenden Bericht auf die aerogene Übertragung konzentrieren.

Eine Übertragung ist wahrscheinlicher, wenn sich Menschen nahe beieinander aufhalten, als wenn sie weiter voneinander entfernt sind: Eine Tröpfchenexposition findet nur statt, wenn sich Menschen in unmittelbarer Nähe zueinander befinden. Die Aerosolkonzentrationen sind direkt bei der Quelle höher und nehmen mit der Entfernung ab ([Link](#)). Darüber hinaus gibt es Hinweise darauf, dass grössere Partikelgrössen höhere Viruszahlen aufweisen ([Link](#), [Link](#)), und dass eine Wolke aus verschiedenen Partikelgrössen mit hohen Konzentrationen einen Menschen sehr wahrscheinlich dem höchsten Infektionsrisiko aussetzt. Die Übertragung über weite Entfernungen könnte jedoch besonders in grossen, schlecht belüfteten Räumen mit hoher Belegung von wichtiger Bedeutung sein: In diesen Umgebungen sind Menschen dem Risiko einer Übertragung über kurze Entfernungen durch die Menschen in unmittelbare Nähe ausgesetzt. Es gibt jedoch sehr viel mehr Personen in grosser Entfernung, was bedeutet, dass möglicherweise sehr viele Menschen erregerehaltigen Aerosolkonzentrationen ausgesetzt sind. Bei der Betrachtung des Übertragungsrisikos sollten alle Innenräume miteinbezogen werden, in denen sich Menschen gemeinsam oder nacheinander aufhalten, also auch Korridore, Toiletten etc. Neben der Höhe der Aerosolkonzentration beeinflusst auch die Dauer des Aufenthaltes die daraus resultierende Dosis.

Das Risiko einer Übertragung über kurze Entfernungen kann durch das Einhalten von Abständen zu anderen Personen sowie durch das Tragen einer medizinischen Maske oder einer hochwirksamen Filtermaske (FFP2) verringert werden (siehe z. B. [Link](#)). Masken und FFP2-Masken (ohne Ventil) verhindern sowohl das Ausatmen von Tröpfchen (Kontrolle der Quelle) als auch das Einatmen von Tröpfchen oder Aerosolen (Infektionsvermeidung). FFP2-Masken sind insbesondere der bessere Schutz, wenn es darum geht, das Einatmen von Krankheitserregern zu verhindern. Wenn jedoch alle zumindest eine medizinische Maske tragen, wird eine gefährdete Person wirksamer geschützt, als wenn nur diese Person eine FFP2-Maske trägt und sonst niemand eine Maske ([Link](#)). Die Übertragung über kurze Entfernungen kann durch individuelle Belüftungssysteme weiter verringert werden, sofern die Räume über eine feste Anordnung der Sitzplätze verfügen.

Die Übertragung von Aerosolen über grosse Entfernungen kann durch die Verbesserung der Luftqualität mit Massnahmen für saubere Raumluft reduziert werden. Dabei sorgt manuelles (bzw. natürliches) Lüften (unterstützt durch CO₂-Sensoren) oder mechanisches Lüften für eine

Verdünnung und den Abtransport von erregerhaltigen Aerosolen. Eine Luftfilterung entfernt Aerosole aus dem vorbeiströmenden Luftstrom, und eine Desinfektion tötet oder inaktiviert die Erreger in den Aerosolen. Neue Konzepte für den Bau von Gebäuden ([Link](#)), bei denen diese Massnahmen eingesetzt werden, können die Konzentration von mit Krankheitserregern belasteten Aerosolen verringern, gleichzeitig Energieeffizienz gewährleisten sowie eine angenehme Umgebung für die Menschen im Gebäude schaffen.

Man geht davon aus, dass Massnahmen für saubere Raumluft die grösste Auswirkung auf die Verhinderung einer Übertragung bei weiten Entfernungen haben. Je weiter man von der Quelle entfernt ist, desto stärker werden die Erreger verdünnt und desto weniger müssen diese reduziert werden, um die Konzentration in der Luft unter die minimale infektiöse Dosis zu senken, als dies bei der Exposition über kurze Entfernungen der Fall ist. Darüber hinaus ermöglicht die Zeit, die ein Erreger benötigt, um das «Fernfeld» zu erreichen, eine effektivere Luftreinigung und Desinfektion. Die Wirkung der Massnahmen für saubere Raumluft und damit verbunden die erforderlichen Anstrengungen hängen auch von der Emissionsrate ab, d. h. wie hoch die Erregerkonzentration in einem bestimmten Raum ist und bei einer bestimmten Belüftung ansteigen kann.

Das generelle Ausmass der Reduktion der Übertragung über die Luft durch Massnahmen für saubere Raumluft hängt von der Bedeutung der Fernübertragung für den betreffenden Erreger (im Vergleich zur Nahübertragung) ab. Dies hängt wiederum unter anderem von der infektiösen Mindestdosis ab, sowie von der Fähigkeit des Erregers, in verschiedenen Partikelgrössen über längere Zeit zu überleben und von den Abständen zwischen den Menschen.

Medizinische Masken und insbesondere FFP2-Masken können auch die Konzentration von mit Krankheitserregern belasteten Aerosolen über grosse Entfernungen verringern, indem sie das Ausatmen der Aerosol-bildenden Tröpfchen (Kontrolle der Quelle) und das Einatmen der Aerosole (Infektionsvermeidung) verhindern. FFP2-Masken sind der bessere Schutz, wenn es darum geht, die Einatmung von Krankheitserreger zu verhindern. Masken sind somit sowohl für die Übertragung über kurze als auch über grosse Entfernungen wirksam.

Übertragungen erfolgen in verschiedenen Situationen und auf verschiedenen Wegen, sodass in der Regel ein «Schweizer-Käse-Modell» ([Link](#)) erforderlich ist, um die Ausbreitung einzudämmen. Hierzu muss der Weg der Erreger von einer infizierten zu einer gesunden Person unterbrochen werden. Massnahmen für saubere Raumluft stellen eine Schutzschicht dar.

3 Mögliche Vorgehensweisen

Massnahmen zur Reduktion der Konzentration pathogener Aerosole in der Luft sind: (i) die Verhinderung der Freisetzung und Inhalation von Aerosolen, (ii) die Sicherstellung des Luftaustauschs zur Verdünnung und zum Abtransport pathogener Aerosole, (iii) die Entfernung dieser Aerosole mit Filtern, (iv) die Inaktivierung der Erreger durch die Desinfektion der Luft und (v) die mögliche Veränderung des pH-Werts der Raumluft. Der Ansatz (i) kann durch das Tragen von medizinischen Masken und FFP-Masken erreicht werden. Auf die Wirkung und Folgen wurde bereits in anderen Dokumenten ([Link](#)) näher eingegangen, weshalb sie in dem vorliegenden Bericht nicht genauer beleuchtet werden. Wir konzentrieren uns vielmehr auf die sogenannten Massnahmen für saubere Raumluft (ii-v). Wir gehen darauf ein, wie sich vorgeschlagene Massnahmen für «saubere Luft» auf die Übertragung auswirken und diskutieren offene Fragen. Abschliessend weisen wir auf die Risiken und Vorteile von Massnahmen hin, die über die Verringerung der Übertragung hinausgehen. Einzelheiten zu möglichen Massnahmen finden sich unter [Link](#).

3.1 Lüftung

Durch den Luftaustausch wird die Aerosolkonzentration in einem bestimmten Raum und im Laufe der Zeit verdünnt. Ein Luftaustausch kann durch manuelles oder mechanisches Lüften erfolgen. Bei identischen Luftwechselraten pro Stunde führt eine konstante mechanische Belüftung in der Regel zu niedrigeren Konzentrationen, da sich die Aerosole in den nicht belüfteten Phasen aufbauen.

Ein Zusammenhang zwischen der Verringerung der Inzidenz/Übertragung von Infektionskrankheiten beim Menschen und einer verbesserten Belüftung wurde beispielsweise in folgenden Fällen festgestellt:

- Die Verringerung der Inzidenz von Tuberkulose in einer Beobachtungsstudie bei verbesserter Belüftung ([Link](#));
- In einer Krankenhausstudie wurde festgestellt, dass «die Tuberkulinkonversion bei Beschäftigten im Gesundheitswesen stark mit unzureichender Belüftung in allgemein zugänglichen Patientenzimmern sowie mit der Art und Dauer der Arbeit, nicht aber mit der Belüftung von Isolierzimmern für Atemwegserkrankungen in Verbindung steht» ([Link](#)).
- Eine in Italien durchgeführte Studie hat ergeben, dass bei SARS-CoV-2 «in Klassenzimmern, die mit mechanischen Lüftungssystemen ausgestattet sind, das relative Risiko

einer Ansteckung der Schülerinnen und Schüler um mindestens 74 % geringer ausfällt als in Klassenzimmern mit natürlicher Belüftung [...]» ([Link](#)).

- Die unterschiedlichen SARS-CoV-2-Ansteckungsraten in zwei Bussen lassen sich durch unterschiedliche Belüftung erklären ([Link](#)).
- Die Verringerung des Risikos der Übertragung von Influenza in einer computergestützten Studie ([Link](#));
- Der Ausbruch der Influenza in einem Flugzeug mit nicht funktionierendem Belüftungssystem ([Link](#));
- Eine gute Belüftung auf Krankenhausstationen mit isolierten SARS-Fällen kann die Viruslast auf diesen Stationen verringern und die Zahl der infizierten Beschäftigten im Gesundheitswesens reduzieren ([Link](#)) (mehr zum Thema SARS: [Link](#), [Link](#), [Link](#)).

Der Luftaustausch kann auch die relative Luftfeuchtigkeit in Innenräumen verändern, insbesondere in den kälteren Monaten. Wenn im Winter kalte Aussenluft ohne Rückbefeuchtung in einen Raum gelangt und dann auf Raumtemperatur erwärmt wird, führt dies zu einer niedrigen relativen Luftfeuchtigkeit in den Innenräumen. Dies begünstigt das Überleben von Krankheitserregern ([Link](#), [Link](#)) und die Übertragung von Influenzaviren ([Link](#)). Zudem kann die Austrocknung der Schleimhäute bei niedriger relativer Luftfeuchtigkeit die Immunreaktion verringern und damit eine Infektion mit dem Influenzavirus begünstigen (gezeigt in Mäusen; [Link](#)). Möglicherweise ist es vor allem der Rückgang der Luftfeuchtigkeit (und nicht der absoluten Werte), der die Schleimhäute anfälliger macht ([Link](#)). Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung und Feuchterückübertragung wirken dem entgegen. Zu hoch darf die Luftfeuchtigkeit allerdings auch nicht sein, denn sonst drohen Atemwegserkrankungen durch Bakterien und Schimmelbewuchs ([Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#)).

Andererseits kann die Aussenluft flüchtige Säuren (z. B. Salpetersäure) enthalten, die – wenn sie mit der Innenraumluft vermischt werden – die mit Krankheitserregern beladenen Aerosolpartikel versauern lassen. Dieser Prozess verringert die Persistenz einiger säureempfindlicher Krankheitserreger (z. B. Influenzaviren), kann aber auch zu immunmodulatorischen Wirkungen führen, die die Anfälligkeit der Personen innerhalb des Raums für Viren aus der Luft erhöhen.

Die Belüftung kann mit CO₂-Sensoren gesteuert werden, um in Zeiten hoher Belegungsdichte höhere Belüftungsraten zu unterstützen und in Zeiten geringer oder keiner Belegung Energie zu sparen. Die Luftaustauschrate muss im Verhältnis zur Virusinaktivierungsrate in den Aerosolpartikeln hoch sein. Hat der über die Luft übertragene Erreger beispielsweise eine Halbwerts-

zeit von 60 Minuten (wie für SARS-CoV-2 festgestellt wurde, siehe [Link](#)), würden vier Luftaustausche pro Stunde (air exchanges per hour, ACH) zu einer positiven Veränderung führen, während 0,2 ACH keine nennenswerte Wirkung hätten. Hierbei ist zu beachten, dass vier Luftaustausche pro Stunde in der Regel nur durch mechanisches Lüften erreicht werden. Eine Erhöhung des Luftstroms vor allem in schlecht belüfteten Räumen ist am wirksamsten. In Räumen, die bereits gut belüftet sind, ist eine überproportionale Steigerung des Luftstroms erforderlich, um eine ähnliche Wirkung zu erzielen ([Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#)), was allerdings wiederum zu einem überproportionalen Anstieg des Energieverbrauchs führt. Die Herausforderung besteht darin, einen optimalen Kompromiss zwischen Infektionsrisiko und Energieverbrauch zu finden. Darüber hinaus muss sichergestellt werden, dass Luftströme vermieden werden, die eine Person einem erhöhten Infektionsrisiko aussetzen ([Link](#), [Link](#)).

Manuelles (oder natürliches) Lüften erfolgt durch das Öffnen der Fenster. CO₂-Sensoren sind eine relativ kostengünstige Möglichkeit (< 100 CHF pro Sensor), um sicherzustellen, dass die Fenster oft genug geöffnet werden; gleichzeitig können sie vorbeugen, dass die Fenster zu viel geöffnet werden und dadurch zu viel Energie verloren geht ([Link](#)). Auch wenn diese Sensoren eine wertvolle Orientierungshilfe sein können, sind bei ihrer Verwendung einige Punkte zu beachten.

Zum einen messen die Sensoren zwar die CO₂-Konzentration, nicht aber die Konzentration von Krankheitserregern oder von Aerosolen in der Luft. Die mit Krankheitserregern belastete Aerosolkonzentration wird von der Anzahl der infizierten Personen im Raum beeinflusst, nicht aber durch die Anzahl der nicht infizierten Personen. Zum anderen korrelieren CO₂- und die ausgeatmeten Aerosolkonzentrationen zwar in vielen Fällen eng miteinander (siehe Beispiel [Link](#)), doch kann es vorkommen, dass die CO₂-Sensoren die Aerosolkonzentrationen nicht genau wiedergeben, z. B., wenn die Luft zusätzlich gefiltert wird oder beim Singen verstärkt Aerosole freigesetzt werden. Überdies hängt die optimale Lüftungsfrequenz von der Lebensdauer des infektiösen Virus in der Luft ab (siehe Beispiel [Link](#)), und es ist unklar wie in optimaler Weise gelüftet wird.

Das **mechanische Lüften** kann sowohl die Belüftung eines Raums als auch den Luftstrom optimieren. Mechanisches Lüften kann über mobile Systeme oder ein in das Gebäude integriertes Lüftungssystem erfolgen (siehe auch [Link](#), [Link](#) und [Link](#)). Derzeit gibt es zwei vorherrschende mechanische Lüftungskonzepte: die Verdrängungs- und die Mischlüftung. Bei der Verdrängungslüftung gibt es keine gleichmässige Durchmischung, sondern eine gerichtete Luftführung: Meist wird die Luft zum Boden geführt, steigt bei Wärmequellen wie Menschen

zur Decke und wird dort abgeführt. Während die Verdrängungslüftung im Idealfall (wenig Bewegung, wenig Sprechen, keine thermischen Unterschiede im Raum) besser funktionieren sollte, wird in der Praxis oft die Mischlüftung empfohlen ([Link](#)).

Die **personalisierte Lüftung** ist eine neue Entwicklung im Bereich der Lüftungssysteme. Bei diesem System wird die Exposition gegenüber erregungsbeladenen Aerosolen wesentlich besser reduziert als bei der üblichen Misch- oder Verdrängungslüftung ([Link](#), [Link](#)). In der praktischen Anwendung ist das System jedoch auf eine feste Sitzordnung beschränkt, da es sich nicht an variable Raumanordnungen oder variierende Raumaufteilungen anpassen lässt. Darüber hinaus ist ein erhöhter Aufwand für das Kanalsystem erforderlich, das je nach Installation eine ästhetische Herausforderung darstellen und höhere Installations- und Wartungskosten verursachen kann.

3.2 Luftfilter

Luftfilter können die Aerosolkonzentration in geschlossenen Räumen verringern ([Link](#), [Link](#)). Insbesondere können Luftfilter die Konzentration von SARS-CoV-2-RNA reduzieren, wie experimentelle Studien in Patienteneinrichtungen ([Link](#), [Link](#)), in Gemeinschaftseinrichtungen ([Link](#), [Link](#)) und in einer Schweizer Schule ([Link](#)) gezeigt haben. Darüber hinaus können Luftfilter das Infektionsrisiko in Flugzeugen verringern ([Link](#)). Mehrere Modellstudien deuten darauf hin, dass die Übertragung von SARS-CoV-2 durch Luftfilter reduziert wurde ([Link](#)). Allerdings konnte keine Praxisstudie eine direkte Wirkung von Luftfiltern auf die Übertragung von SARS-CoV-2 oder anderen Atemwegsviren von Mensch zu Mensch eindeutig nachweisen oder widerlegen ([Link](#)) (eine Schweizer Studie zur Bewertung der Wirkung liefert unserer Ansicht nach keine eindeutigen Ergebnisse, [Link](#)). Dass keine eindeutigen Ergebnisse erzielt werden konnten, ist vor allem auf die erheblichen methodischen Probleme bei Praxisstudien zurückzuführen.

In einigen Studien wurde lediglich das Vorhandensein oder Nichtvorhandensein eines Luftfiltergeräts untersucht. Es gilt jedoch auch zu beachten, ob die Geräte in Betrieb sind, auf welcher Stufe und mit welcher Art von Filter. Während Luftfilter in geschlossenen Räumen die Menge an Aerosolen reduzieren, bleibt unklar, inwieweit die Belüftung in nicht geschlossenen Räumen Luftfilter überflüssig macht ([Link](#)) (die für ein gutes Ergebnis erforderliche richtige Platzierung und Dimension ist nicht immer klar, siehe [Link](#)).

3.3 UV-Licht

Ultraviolettes Licht kann als Desinfektionsmittel verwendet werden, um Krankheitserreger, die sich in der Luft oder auf Oberflächen befinden, zu vernichten, siehe Beispiel [Link](#) (Abschnitt 4.10) und [Link](#). Die meisten UV-Frequenzen sind für die menschliche Haut und die Augen schädlich. Daher werden sie entweder in geschlossenen Systemen oder für die keimtötende UV-Bestrahlung im oberen Luftraum verwendet ([Link](#), [Link](#)). Eine Ausnahme scheint jedoch Fern-UV-Licht im Bereich von 200 bis 220 nm darzustellen, das bei hoher keimtötender Intensität unbedenklich für Haut und Augen sein soll ([Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#), [Link](#)). Bei Vorhandensein flüchtiger Luftschadstoffe, die häufig in Innenräumen vorkommen, kann UV-Licht jedoch zur Bildung von Partikeln und anderen sekundären Luftschadstoffen beitragen ([Link](#)), die in unzureichend belüfteten Räumen schädliche Auswirkungen auf den Menschen haben können. Um die Auswirkungen besser zu verstehen, werden derzeit Forschungsarbeiten durchgeführt, siehe Beispiel [Link](#). Weiter ist nicht bekannt, ob die Einhaltung minimaler Luftaustauschraten ausreicht, um die Sekundärrisiken von Luftdesinfektionsmethoden zu kontrollieren.

3.4 pH-Wert-Regulierung

Derzeit wird untersucht, ob die Regulierung des pH-Werts der Raumluft eine weitere Möglichkeit zur Verbesserung der Luftqualität darstellt. Säuren und Basen beeinflussen die Luftqualität in Innenräumen ([Link](#)). Jedoch ist unklar wie der pH-Wert reguliert werden sollte, um einen positiven Effekt zu generieren. Säure-bildende Gase senken den pH-Wert von Aerosolen. Eine Studie schlägt vor, dass sich dadurch die Lebensdauer einiger bakterieller und viraler Krankheitserreger in der Luft verringern lässt ([Link](#)); eine andere Studie kommt zum Schluss, dass die pH-Senkung die Lebensdauer verlängert ([Link](#)). Weiter sind diese Gase allerdings auch Luftschadstoffe, die nachweislich die Immunabwehr des Wirts verringern und das Infektionsrisiko erhöhen ([Link](#), [Link](#)). Es bestehen Unklarheiten über den optimalen Bereich für den möglichen Einsatz säurebildender Gase als Desinfektionsmittel. Weiter ist unklar, ob oben diskutierte Massnahmen für saubere Raumluft den pH-Wert der Luft signifikant verändern.

3.5 Zusammenfassung

Belüftung

Neben Masken kann eine gute Belüftung zu einem Rückgang der Übertragung von Krankheitserregern in Innenräumen führen. Dieser Rückgang wurde in einer Vielzahl von Studien festgestellt und lässt auf eine ursächliche Wirkung schliessen, auch wenn es schwierig

COVID-19

ist, diese Wirkung zu quantifizieren. Der Einfluss der Belüftung auf die Übertragung kann bei Erregern mit einem hohen Ausbreitungspotenzial in Innenräumen, wie SARS-CoV-2, besonders stark ausfallen. Die Belüftung kann ein wichtiges Instrument im Kampf gegen luftübertragene Infektionen sein.

Eine ausreichende Belüftung ist nicht nur wichtig für die Reduktion luftübertragener Infektionen, sondern auch für das allgemeine Wohlbefinden, die Arbeitsleistung und das Lernen ([Link](#), [Link](#)), was wiederum eine hohe wirtschaftliche Relevanz hat ([Link](#)).

Wird jedoch ohne Feuchterückgewinnung gelüftet, sinkt durch den Zustrom kalter Luft in den Wintermonaten auch die relative Luftfeuchtigkeit, sodass die Schleimhäute anfälliger für Infektionen werden, und daher möglicherweise eine Befeuchtung der Luft erforderlich ist. Lüften ohne Wärmerückgewinnung kann zudem sehr energieaufwendig sein und zusätzliches Heizen erfordern.

Luftfilter

Zwar belegen plausible Konzepte sowie Labor- und Feldstudien, dass Luftfilter die Menge der luftübertragenen Krankheitserreger reduzieren, jedoch gibt es keine schlüssigen epidemiologischen Studien über ihre Auswirkungen im Hinblick auf die Übertragung von Mensch zu Mensch. Luftfilter bieten jedoch generell enorme gesundheitliche Vorteile, da sie Pollen und andere Schadstoffe aus der Luft entfernen.

Ultraviolettes Licht als Desinfektionsmittel

Bei ultraviolettem Licht als Desinfektionsmittel ist die Unsicherheit hinsichtlich ihrer Auswirkungen auf die Übertragung ähnlich gross wie bei Luftfiltern. Zu beachten ist, dass ultraviolettes Licht als Desinfektionsmittel die Anzahl von Nanopartikeln und organischen Gasen in der Luft erhöhen kann, mit unbekanntem gesundheitlichen Folgen für den Menschen. Diese potenziellen Risiken sind noch nicht ausreichend erforscht. Offen bleibt, inwieweit Aspekte wie die Platzierung des Systems, die Einstellung der Intensität und begleitende Massnahmen abgestimmt werden müssen, damit die gewünschte Leistung erzielt wird und die Risiken unter Kontrolle bleiben.

Regulierung des pH-Werts

Zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind die Bedeutung und die Auswirkungen der Kontrolle des pH-Werts nicht ausreichend bekannt, um sie als Massnahme für saubere Luft einsetzen zu können.