

## COMMUNITY PAPER

# Bessere Innenraumlufthygiene für den Schutz vor Pandemien

ein Policy Brief der Hub Community zu  
Pandemievorsorge und Biosicherheit des Global Health  
Hub Germany

### **Autor\*innen:**

Dieser Policy Brief spiegelt die Ergebnisse der Diskussionen in der Hub Community zu Pandemievorsorge und Biosicherheit wider. Schriftliche Beiträge zu diesem Positionspapier wurden verfasst von: **Emil Iftekhar, Jasper Götting, Erik Jentzen, Sophia Seidler**

Dieser Policy Brief hebt die Chancen und Herausforderungen zur Verbesserung der Innenraumlufthygiene im Rahmen der Pandemieprävention hervor. Die Hub Community zu Pandemievorsorge und Biosicherheit des Global Health Hub Germany hat entsprechende Schlüsselpunkte herausgearbeitet und Handlungsempfehlungen für politische Entscheidungstragende und öffentliche Einrichtungen entwickelt.

## Key Messages

1. **Priorisierung der Innenraumlufthygiene:** Die Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen ist entscheidend, um die Ausbreitung von Atemwegsinfektionen zu verringern und zukünftige Pandemien zu verhindern.
2. **Maßnahmenkombination:** Effektive Innenraumlufthygiene erfordert eine Kombination aus Belüftung, Filtration und Desinfektion, um die besten Ergebnisse zu erzielen.
3. **Förderung von Innovationen:** Die Unterstützung und Weiterentwicklung von Technologien wie Fern-UVC-Desinfektion sind vielversprechend, um langfristig wirksame und kosteneffiziente Lösungen zu bieten.
4. **Regulierungen:** Um bessere Innenraumlufthygiene in Deutschland zu erreichen, sollten gesetzliche Vorgaben oder behördliche Empfehlungen festgelegt werden. Hierbei kann man sich an internationalen Beispielen orientieren.
5. **Öffentlichkeitsarbeit:** Es ist entscheidend, die Öffentlichkeit über die Vorteile und Grenzen der verschiedenen Technologien aufzuklären, um eine breite Akzeptanz und wirksame Umsetzung zu gewährleisten.

## Die Rolle von Innenraumlufthygiene bei der Ausbreitung von Atemwegsinfektionen

Die COVID-19-Pandemie hat mit u.a. mind. 7 Millionen Toten (Mathieu et al., 2020) weltweit erheblichen Schaden angerichtet, war aber keineswegs ungewöhnlich zerstörerisch. In der Vergangenheit gab es weitaus tödlichere Pandemien, wie z. B. die Spanische Grippe von 1918, die wahrscheinlich 17,4-100 Millionen Menschen weltweit tötete (schätzungsweise 1-5,4 % der damaligen Weltbevölkerung) (Roser, 2024). Das Risiko einer weiteren derartigen Pandemie steigt weiter (WHO, 2022). Hierbei spielen Atemwegsinfektionen die wichtigste Rolle (Madhav et al., 2017; Adalja et al., 2017). Auch endemische Atemwegsinfektionen belasten Gesundheitssysteme jährlich schwer: In Deutschland machen sie fast die Hälfte der Krankheitslast übertragbarer Krankheiten aus (RKI, 2020). Trotz dieser Gefahr gibt es in Deutschland wenig Vorgaben dazu, wie Raumluftqualität in dieser Hinsicht verbessert werden kann und sollte. Daher konzentrieren wir uns im Folgenden auf die Frage: *“Wie können wir in Deutschland Innenraumlufthygiene verbessern, um die Ausbreitung von Atemwegsinfektionen zu verringern und uns vor Pandemien zu schützen?”*

Der Großteil der Übertragung von Atemwegserregern durch Aerosole und Tröpfchen findet in Innenräumen statt. Dies gilt für alle Arten von Erregern, von endemischen (wie der saisonalen Influenza) bis hin zu potenziell pandemischen. Es gibt eine moderate Evidenzlage dafür, dass pathogene Bakterien (Nguyen et al., 2022) und Pilze (Xian Li, 2022) überwiegend in Innenräumen übertragen werden, und umfangreiche Belege dafür, dass dies bei respiratorischen Viren (Chia C. Wang, 2021) der Fall ist (siehe auch (Bulfone et al., 2021) und (Rowe et al., 2021)). Bei der COVID-19-Pandemie z. B. wurde geschätzt, dass wahrscheinlich mehr als 90 % der Übertragungen in Innenräumen stattfanden (Razani et al., 2021), dass die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung in Innenräumen mindestens 20-mal höher ist als im Freien (Olsson & Oremán, 2022) und dass es in Innenräumen mit unzureichender Belüftung zu Super-Spreading kam (Qian et al., 2021). Bei saisonaler Influenza liegen Schätzungen für aerosolbasierte Transmission zwischen 40 % (Cowling et al., 2013) und 80 % (Jordan, 1961).

## Maßnahmen zur Verbesserung von Innenraumlufthygiene bezüglich Atemwegsinfektionen

In Anbetracht der obigen Ausführungen könnte die Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen zukünftige Pandemieschäden erheblich verringern, indem

1. sie die Wahrscheinlichkeit verringert, dass eine Krankheit eine effektive Reproduktionszahl von  $>1$  hat und sich überhaupt ausbreiten kann,

oder wenn nicht,

2. die Zahl der auftretenden Infektionen begrenzen, "flattening the curve", und damit Gesundheitssysteme entlasten

3. sowie die Ausbreitung der Krankheit verlangsamen, um

a. mehr Zeit für die Entwicklung von Gegenmaßnahmen zur Verfügung zu stellen (z.B. Impfstoffentwicklung), und

b. Maßnahmen zu erörtern und umzusetzen, wie z. B. die Begrenzung großer Menschenansammlungen und Maskenpflichten.

Wie lässt sich also die Innenraumlufthygienqualität hinsichtlich Erregertransmission verbessern? Die Qualität der Innenraumluft hängt von der Menge der in der Luft vorhandenen Schadstoffe ab. Durch die Entfernung dieser Schadstoffe aus der Luft kann die Qualität der Luft verbessert werden.

Es gibt im Wesentlichen drei Strategien, um dies zu erreichen:

- **Belüftung:** Entfernung der kontaminierten Luft aus den Innenräumen und Ersatz durch Außenluft ohne Schadstoffe. Durch Belüftung können infektiöse Aerosole, CO<sub>2</sub> und andere Schadstoffe reduziert werden.
- **Filtration:** Herausfiltern von Schadstoffen aus der Luft. Dadurch können infektiöse Aerosole und Partikel reduziert werden, aber im Allgemeinen nicht CO<sub>2</sub>.
- **Desinfektion:** Abtötung oder anderweitige Inaktivierung von Krankheits-erregern direkt in der Luft. Die vielversprechendste Technologie zur Desinfektion ist UVC-Licht. Die Desinfektion kann infektiöse Aerosole entfernen, hat aber keinen Einfluss auf CO<sub>2</sub> oder andere Verunreinigungen.

Alle drei Methoden werden derzeit in irgendeiner Form in Gebäuden angewandt. Durch eine Änderung der Art und Weise, wie und wo sie eingesetzt werden - und idealerweise durch eine Kombination der drei Maßnahmen - könnte die Luftqualität in Innenräumen erheblich verbessert werden. Hierbei ist zu beachten, dass es deutliche Kosteneffizienzunterschiede zwischen den verschiedenen Maßnahmen gibt (vgl. Abbildung).

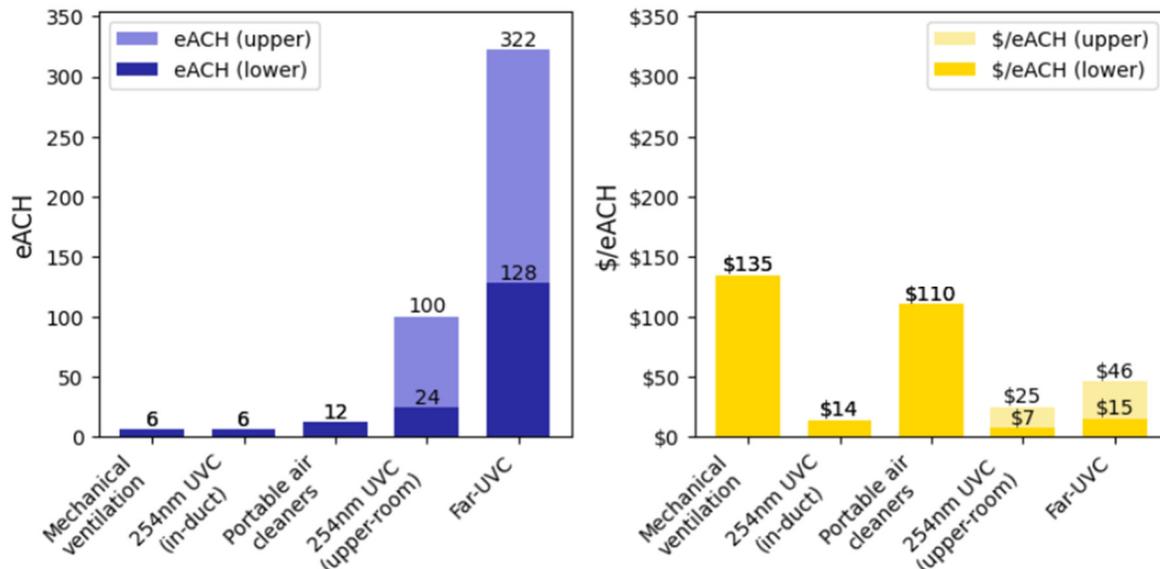


Abbildung (Kleinwaks et al., o. J.): Die Luftreinigungsleistung und Kosteneffektivität variieren stark zwischen den verschiedenen Maßnahmen. UVC-Desinfektionssysteme schneiden dabei besonders gut ab.

## Belüftung

Alle Gebäude verfügen über eine Art von Belüftungssystem - eine Methode zum Austausch und zur Wiederverwendung der Luft in einem Raum. Dabei kann es sich um Luft von außerhalb des Gebäudes oder um Umluft von einer anderen Stelle im Gebäude handeln.

Der Lüftungsbedarf wird oft in effektiven Luftwechseln pro Stunde (eACH) gemessen. Je mehr Luft in einem bestimmten Raum ausgetauscht wird, desto schneller sinkt die Schadstoffkonzentration. Ein eACH von 10 reduziert die Schadstoffkonzentration innerhalb weniger Minuten um 99,9 %. Bei einem ACH von 2 hingegen dauert es Stunden. Es ist klar belegt, dass Lüften Infektionen verringert (Li et al., 2007).

Es gibt mehrere Möglichkeiten, die Schadstoffkonzentration durch verstärkte Belüftung zu verringern. Die erste ist die Erhöhung des

Außenluftanteils, d. h. des Verhältnisses von Außenluft zu Gesamtluft in einem Belüftungssystem, wobei die Belüftungsrate konstant gehalten wird. Durch das Ersetzen von Innenluft durch Außenluft wird die Schadstoffkonzentration in den Innenräumen verdünnt. Daher kann eine Erhöhung des Außenluftanteils das Expositionsrisiko für die Bewohner\*innen wirksam verringern, solange die Qualität der Außenluft akzeptabel ist und das Lüftungssystem ordnungsgemäß gewartet wird.

Die andere, einfachere Methode zur Verringerung der Schadstoffkonzentration über die Belüftung ist die Erhöhung der Belüftungsrate. Eine Erhöhung der eACH von 2 (typisch für Büros) auf 6 würde dazu führen, dass die Schadstoffkonzentration in 69 Minuten statt 207 Minuten um 99,9 % sinkt.

## Filtration

Bei der Filtration werden Verunreinigungen aus der Luft mit Hilfe eines Filters entfernt (Corbat et al., 2017), entweder als Teil des mechanischen Systems oder über einen separaten, eigenständigen Filter. Auch die Filtration kann in effektiven Luftwechseln pro Stunde (eACH) gemessen werden.

Die meisten Standardfilter, die in gebäudetechnischen Anlagen verwendet werden, sind darauf ausgelegt, große Partikel wie Staub, Pollen und Schimmelsporen zu entfernen, die die Raumluftqualität und den Komfort der Bewohner\*innen beeinträchtigen können. Die meisten Krankheitserreger und infektiösen Aerosole sind jedoch viel kleiner als diese Partikel und können diese Filter problemlos passieren. Um Krankheitserreger herauszufiltern, müssten diese Filter durch HEPA-Filter (High

Efficiency Particle Air) oder ähnliche Typen ersetzt werden, die sehr kleine Partikel entfernen können. HEPA-Filter haben sich bei der Abscheidung von über die Luft übertragenen Viren wie Influenza und COVID-19 als wirksam erwiesen (Lindsay et al., 2021).

Die Filtration hat einige Synergien mit der verstärkten Belüftung - je mehr Luft durch das mechanische System zirkuliert, desto mehr Luft wird gefiltert. Die Filtration im mechanischen System ergänzt jedoch nicht die Verwendung von 100 % Außenluft, da die verunreinigte Luft direkt nach draußen und nicht durch den Filter strömt (obwohl eine Filtration notwendig sein kann, um Verunreinigungen aus der Außenluft zu entfernen, insbesondere in Gebieten mit hoher Luftverschmutzung).

## Desinfektion

Bei der Desinfektion werden Krankheitserreger in der Luft direkt abgetötet oder auf andere Weise inaktiviert. Wie bei der Filtration kann auch die Desinfektion in effektiven Luftwechseln pro Stunde gemessen werden.

Ultraviolettes (UV-)Licht ist die am weitesten verbreitete und vielversprechendste Desinfektionsmethode, obwohl es eine Vielzahl von Methoden gibt. UV-Licht ist eine elektromagnetische Strahlung, die eine kürzere Wellenlänge und eine höhere Energie als sichtbares Licht hat. Je nach Wellenlängenbereich kann es in vier Kategorien unterteilt werden: UVA (315–400 nm), UVB (280–315 nm) und UVC (200–280 nm) und darunter

Fern-UVC (200–235 nm). UVC ist die am stärksten keimtötende Art von UV-Licht, da es die DNA und RNA von Mikroorganismen schädigen kann und sie so daran hindert, sich zu vermehren oder andere Zellen zu infizieren. UVC kann eine Vielzahl von Krankheitserregern inaktivieren, darunter Bakterien, Viren und Pilze.

UV-Licht wird derzeit nur in begrenzten Fällen zur Desinfektion von Krankheitserregern eingesetzt: meist in speziellen Gesundheitseinrichtungen, wie z. B. in Tuberkuloseabteilungen (Riley et al., 1962), aber auch in begrenztem Umfang in öffentlichen Einrichtungen. Da die Exposition gegenüber UV-Licht für den Menschen meist schädlich ist,

müssen UV-Licht-Desinfektionssysteme so konzipiert sein, dass eine Exposition des Menschen verhindert wird. Die beiden Hauptarten, in denen Bei in-duct GUV Systemen desinfizieren UV-Lampen, die direkt in den Luftschächten angebracht sind, die Luft, während sie diese passiert. Bei der UR-UV werden die UV-Lampen in der Nähe der Decke installiert - mit Abschirmungen, die verhindern, dass Anwesende dem Licht ausgesetzt sind. Die Luft in Deckennähe wird dem UV-Licht ausgesetzt und desinfiziert. UV-Strahlung im oberen Teil des Raums kann Dutzende Luftwechsel pro Stunde erreichen (Mcdevitt et al., 2008).

Eine relativ neue Technologie, bekannt als Fern-UVC, könnte sich als weitaus wirksamer bei der Desinfektion erweisen. Während herkömmliches UVC im oberen Raum einen Wellenlängenbereich von 254 nm aufweist, hat Fern-UVC einen Wellenlängenbereich von 200-230 nm und wird höchstwahrscheinlich nicht die äußere Schicht der abgestorbenen

UV derzeit eingesetzt wird, sind UV in Luftschächten (in-duct UV) und UV im oberen Raum (upper-room UV; UR-UV).

Hautzellen oder die Tränenschicht des Auges durchdringen (Görlitz et al., 2024). Daher könnte es Krankheitserreger in der Luft und auf der Oberfläche inaktivieren, ohne das menschliche Gewebe zu schädigen. Fern-UVC hat sich in Laborstudien als wirksam gegen eine Vielzahl von Krankheitserregern erwiesen, darunter Bakterien (wie *Staphylococcus aureus*), Pilze (wie *Aspergillus niger*) und Viren (wie das Influenza-A-Virus und COVID-19) (Hessling et al., 2021). Eine Laborstudie zeigte, dass eine kontinuierliche Fern-UVC-Exposition in besetzten öffentlichen Räumen innerhalb der geltenden Grenzwerte in einem Raum mit einer Belüftungsrate von 3 ACH und mit 5 gefilterten Quellen die stationäre Erregerbelastung um 98,4 % reduzierte und damit zu zusätzlichen 184 eACH führte (Eadie et al., 2022).

## Vorteile, Nachteile und Herausforderungen der Maßnahmen

Im Allgemeinen ist die Verbesserung der Innenraumluftqualität eine kosteneffektive Pandemievorsorge. Eine angemessene Belüftung und Filtration in überfüllten öffentlichen Innenräumen kann die Krankheitskosten signifikant

reduzieren: Forschende der John-Hopkins-Universität gehen von einem Kosten-Nutzen-Verhältnis von 3:1 bis 100:1 aus, was ähnliche Verhältnisse für die meisten anderen öffentlichen Gesundheitsinterventionen übertrifft (Hodge et al., 2023).

## Belüftung & Filtration

Vorteile (über Pandemievorsorge hinaus)	Nachteile und Herausforderungen
Effektive anderweitige Schadstoffreduktion	Kosten (erhöhter Energieaufwand, Installation, Nachrüstung und Wartung)
Positive Nebeneffekte (z. B. erhöhte Konzentrationsfähigkeit)	Ungleichverteilung von Schadstoffen (→ dann weniger effektiv)
Infrastruktur teilweise schon vorhanden (z. B. Lüftungssysteme, Fenster)	Limit von maximalen Austausch & Skalierbarkeit (Mechanisches Maximum, "Luftzug", ggf. Erregerlasten zu hoch)

Die Verbesserung der Belüftung hat ihre Grenzen. Die zugeführte Außenluft muss auf die Innentemperatur erwärmt werden, so dass eine Erhöhung des Außenluftanteils den Energieaufwand für das Heizen oder Kühlen eines Raumes erhöht. Eine Erhöhung der Lüftungsrate hat ähnliche Auswirkungen. Diese Kosten können durch den Einsatz von Energierückgewinnungssystemen gesenkt werden, auch wenn diese kostspielig zu installieren und in älteren Gebäuden schwer nachzurüsten sein können (Calließ, 2023).

Eine angemessene Schadstoffbeseitigung durch Belüftung setzt auch voraus, dass sich die Luft im gesamten Innenraum vollständig und gleichmäßig vermischt und die Schadstoffkonzentration proportional zur Belüftungsrate abnimmt. Dies ist jedoch in der Realität nicht immer der Fall, da Variationen in den Luftströmungsmustern, Temperaturgradienten, die Dichte der Bewohner\*innen und Emissionsquellen zu einer ungleichmäßigen

Verteilung der Schadstoffe führen. Wenn beispielsweise die Luft in stehenden Bereichen nicht gut zirkuliert oder wenn infizierte Personen in einigen Bereichen mehr Aerosole ausatmen als andere, kann die Belüftung das Expositionsrisiko für alle Bewohner\*innen nicht wirksam verringern. Daher sollte die Belüftung mit anderen Strategien wie Filterung oder Desinfektion kombiniert werden, um eine angemessene Entfernung infektiöser Aerosole aus allen Teilen des Innenraums zu gewährleisten - insbesondere dort, wo sich Menschen aufhalten.

Es gibt auch praktische Grenzen dafür, wie stark die Belüftung erhöht werden kann. Mechanische Geräte können nur eine bestimmte Anzahl von Luftwechseln bewältigen, und die exponentielle Natur von Erregerkonzentrationsmodellen bedeutet, dass eine Steigerung der Erregerreduzierung immer schwieriger wird. Ein sehr hohes Maß an Belüftung kann auch für die Bewohner\*innen unangenehm sein.

Für die Filterung gelten im Allgemeinen dieselben Grenzen wie für die Belüftung, und zwar aus denselben Gründen - ihre Wirksamkeit hängt davon ab, wie viel Luft in einem Gebäude durch den Filter gedrückt wird und wie schnell. Wie bei der Belüftung gibt es auch hier praktische

Grenzen, wie viel Luft durch einen Filter gepresst werden kann. Bei der Filterung wird außerdem davon ausgegangen, dass die Luft im Innenraum gut durchmischt und homogen ist, was in der Realität nicht unbedingt der Fall ist.

## Desinfektion

Vorteile (über Pandemievorsorge hinaus)	Nachteile und Herausforderungen
Skalierbarkeit	Längerfristige Gesundheitsrisiken (Forschungslage noch uneindeutig)
Kosteneffektivität (mind. 5 mal so billig wie Belüftung oder Filtration (Kleinwaks et al., 2023))	Aktuelle Grenzwerte (reduzieren Wirksamkeit, wenn nicht angehoben)
Infrastruktur teilweise schon vorhanden (z. B. Lüftungssysteme, Fenster)	Kosten (erhöhter Energieaufwand, Installation, Nachrüstung und Wartung)

Es gibt bereits Belege für die Sicherheit von Fern-UVC unterhalb der derzeitigen Expositionsgrenzwerte. Bei höheren Bestrahlungsstärken, insbesondere bei Langzeitexposition, bleiben jedoch noch Fragen zur Sicherheit offen. Die Schließung der Datenlücken für akute und langfristige Wirkungen auf Haut und Augen im Fern-UVC-Spektralbereich und bei längeren UVC-Wellenlängen bis etwa 250 nm ist von entscheidender Bedeutung. Erst dann können bestehende Expositionsrichtlinien aktualisiert werden (Görlitz et al., 2024). Neben der Untersuchung der Sicherheit von Haut und Augen werden

auch die Auswirkungen von Fern-UVC auf die Chemie der Innenraumluft, einschließlich der Bildung von Ozon, oxidierten flüchtigen organischen Verbindungen und sekundären organischen Aerosolen, verstärkt untersucht. Diese Art von Studien sollte fortgesetzt werden (Peng et al., 2023).

Fern-UVC ist besonders effektiv, wenn es mit der Lüftung kombiniert wird, da es die erforderliche Luftwechselrate und den Energieverbrauch reduzieren kann, während gleichzeitig ein hohes Maß an Pathogeninaktivierung aufrechterhalten wird.

## Ausblick

### Inspiration für Regulierung aus anderen Ländern

Ein wichtiger Schritt in Richtung besserer Innenraumlufthygiene wäre es, gesetzliche Vorgaben oder zumindest behördliche Empfehlungen festzulegen. Hier lässt sich Inspiration aus dem Ausland nehmen:

- Das US Center for Disease Control sprach 2023 die Empfehlung aus, dass vielbesuchte Gebäude, wie Flughäfen, Bahnhöfe und Fitness-Studios, einen eACH-Wert von 5 anstreben sollten. Dieser Wert würde die Schadstoffkonzentration und die Wahrscheinlichkeit der Ausbreitung von Krankheitserregern in Innenräumen deutlich verringern und würde in den meisten Fällen die vorhandenen mechanischen Geräte und Filtersysteme nutzen. Auch die Lancet COVID-19 Kommission empfiehlt mind. 4 eACH (CDC, 2020; Azimi et al., o. J.).
- Einige Länder (z. B. Belgien, Thailand, Südafrika und die Niederlande) haben Konzentrations-Richtwerte für Bakterien und andere Mikroben festgelegt. Teilweise gibt es dort auch detaillierte Überprüfungsprotokolle. Ein Erfahrungsaustausch mit diesen Ländern könnte über Herausforderungen bei der Umsetzung aufklären (IEQ, 2024).
- Das Zentrum für Gesundheits-sicherheit der John-Hopkins-Universität formulierte 2023 einen Vorschlag für ein Gesetzespaket. Hierin werden Mechanismen zum Monitoring, Anreize und Maßnahmen zur Einhaltung besserer Innenraumlufthygiene erläutert (Hodge et al., 2023).
- Das Parlament des Vereinigten Königreichs hat 2023 einen Policy-Brief zu Innenraumluftqualität in Auftrag gegeben (Duffield & Bunn, 2023).
- Die Europäische Union hat 2024 eine Studie verfasst, in der Technologien - wie in diesem Dokument behandelt zur Investitionsförderung empfohlen werden (Ruiz et al., 2024).

### Forschung zu UVC-Desinfektionstechnologien

Ein weiterer entscheidender Schritt zur Verbesserung der Luftqualität in Innenräumen und zur Verhinderung der Übertragung von Krankheitserregern ist die Finanzierung von Forschung zu innovativen Technologien wie Fern-UVC-Licht. Zunächst sind mehr Studien am Menschen außerhalb des Labors - insbesondere groß angelegte epidemiologische Studien und

Langzeitstudien - erforderlich, um die Wirksamkeit und Sicherheit in der Praxis zu bewerten (Görlitz et al., 2024).

Außerdem würde es helfen, die Entwicklung erschwinglicherer, leichter herstellbarer und effektiverer Fern-UVC-Geräte, wie Fern-UVC-LEDs, zu fördern. Konkret braucht es Forschung zu Gerätedefekten, zur

Verbesserung der Geräteverkapselung, zu neuen Materialien für Filter und zu verbesserten Validierungsmethoden (Cambeiro & Potter, 2023).

Es ist auch wichtig, in die Aufklärung der Öffentlichkeit über die Vorteile und Grenzen von Fern-UVC-Licht zu

## Fazit

Die COVID-19-Pandemie hat gezeigt, wie wichtig es ist, die Innenraumlufthygiene zu verbessern, um die Ausbreitung von Atemwegsinfektionen zu verringern und uns vor zukünftigen Pandemien zu schützen. Durch eine Kombination von Belüftung, Filtration und Desinfektion lässt sich die Luftqualität in Innenräumen erheblich verbessern und die Übertragung von Krankheitserregern deutlich reduzieren. Gleichzeitig können diese Maßnahmen die kognitive Leistungsfähigkeit und Produktivität steigern (Thompson et al., 2023).

Obwohl jede dieser Methoden Vor- und Nachteile hat, ist insbesondere die Desinfektion mit Fern-UVC-Licht eine

investieren. Erst wenn klar und aktiv kommuniziert wird, wie Fern-UVC-Licht funktioniert und warum es für den Menschen sicher ist, können auf alle Bedenken eingegangen werden, die in der Öffentlichkeit hinsichtlich seiner Verwendung aufkommen könnten.

vielversprechende und kosteneffektive Technologie. Allerdings sind noch weitere Forschungen nötig, um die Sicherheit und Wirksamkeit von Fern-UVC-Licht in der Praxis zu bewerten. Zudem müssen erschwinglichere und effektivere Fern-UVC-Geräte entwickelt werden.

Um bessere Innenraumlufthygiene in Deutschland zu erreichen, wäre es wichtig, gesetzliche Vorgaben oder zumindest behördliche Empfehlungen festzulegen. Hier kann man sich an Beispielen aus anderen Ländern orientieren. Entscheidend ist auch, die Öffentlichkeit über die Vorteile und Grenzen der verschiedenen Technologien aufzuklären.

### **About the Global Health Hub Germany**

The Global Health Hub Germany offers all individuals and institutions active in the field of global health the opportunity to connect in an independent network across eight different stakeholder groups: International organisations, youth, politics, foundations, think tanks, business, academia, and civil society. The members of the Hub work together on current issues of global health. The interdisciplinary exchange generates themes, issues and solutions that the Hub brings to policymakers to support informed policy-making and advance global health.

Founded in 2019, the Hub now has around 2000 members. For more information: [www.globalhealthhub.de](http://www.globalhealthhub.de)

### **About the Hub Communities**

The Hub Communities are working groups led by the members of the Global Health Hub Germany themselves. They meet regularly to exchange ideas, share expertise, and work together on global health issues. If you would like to join a Hub Community or learn more about their work, contact our office: [info@globalhealthhub.de](mailto:info@globalhealthhub.de).

Published by:

Global Health Hub Germany  
c/o Deutsche Gesellschaft für Internationale  
Zusammenarbeit (GIZ) GmbH  
Köthener Str. 2-3, 10963 Berlin, Deutschland  
Phone: +49 30 59 00 20 210  
[info@globalhealthhub.de](mailto:info@globalhealthhub.de)  
[www.globalhealthhub.de](http://www.globalhealthhub.de)

Version:

August 2024

## Literaturverzeichnis

Adalja, A., Watson, M., Toner, E., Cicero, A., & Inglesby, T. (2017). The Characteristics of PANDEMIC PATHOGENS.

<https://centerforhealthsecurity.org/sites/default/files/2022-12/180510-pandemic-pathogens-report.pdf>

Azimi, P., Keshavarz, Z., & Jones, E. (o. J.). Proposed Non-infectious Air Delivery Rates (NADR) for Reducing Exposure to Airborne Respiratory Infectious Diseases. Lancet Commission on COVID-19. Abgerufen 17. Juli 2024, von <https://covid19commission.org/commpub/lancet-covid-commission-tf-report-nov-2022>

Bulfone, T. C., Malekinejad, M., Rutherford, G. W., & Razani, N. (2021). Outdoor Transmission of SARS-CoV-2 and Other Respiratory Viruses: A Systematic Review. *The Journal of Infectious Diseases*, 223(4), 550–561. <https://doi.org/10.1093/infdis/jiaa742>

Calließ, S. (2023, Oktober 10). Wärmerückgewinnung – für eine effizientere Nutzung von Wärmeenergie. Wärmerückgewinnung: Prinzip, Arten & Effizienz | thermondo. <https://www.thermondo.de/info/rat/heizen/waermerueckgewinnung/>

Cambeiro, J., & Potter, B. (2023, Juni 29). Indoor Air Quality Is the Next Great Public Health Challenge. Institute for Progress. <https://ifp.org/indoor-air-quality/>

CDC. (2020, Februar 11). Community, Work, and School. [Centers for Disease Control and Prevention. https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-cov/community/ventilation.html](https://www.cdc.gov/coronavirus/2019-cov/community/ventilation.html)

Chia C. Wang. (2021). Airborne transmission of respiratory viruses | Science. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.abd9149>

Corbat, Owen, & McGrath. (2017). ANSI/ASHRAE Standard 52.2-2017.

Cowling, B. J., Ip, D. K. M., Fang, V. J., Suntarattiwong, P., Olsen, S. J., Levy, J., Uyeki, T. M., Leung, G. M., Malik Peiris, J. S., Chotpitayasunondh, T., Nishiura, H., & Simmerman, J. M. (2013). Aerosol transmission is an important mode of influenza A virus spread. *Nature communications*, 4, 1935. <https://doi.org/10.1038/ncomms2922>

Duffield, G., & Bunn, S. (2023). Indoor air quality. Parliamentary Office of Science and Technology, UK Parliament. <https://doi.org/10.58248/PB54>

Eadie, E., Hiwar, W., Fletcher, L., Tidswell, E., O'Mahoney, P., Buonanno, M., Welch, D., Adamson, C. S., Brenner, D. J., Noakes, C., & Wood, K. (2022). Far-UVC (222 nm) efficiently inactivates an airborne pathogen in a room-sized chamber. *Scientific Reports*, 12(1), 4373. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-08462-z>

Görlitz, M., Justen, L., Rochette, P. J., Buonanno, M., Welch, D., Kleiman, N. J., Eadie, E., Kaidzu, S., Bradshaw, W. J., Javorsky, E., Cridland, N., Galor, A., Guttmann, M., Meinke, M. C., Schleusener, J., Jensen, P., Söderberg, P., Yamano, N., Nishigori, C., ... Esvelt, K. (2024). Assessing the safety of new germicidal far-UVC technologies. *Photochemistry and Photobiology*, 100(3), 501–520. <https://doi.org/10.1111/php.13866>

Hessling, M., Haag, R., Sieber, N., & Vatter, P. (2021). The impact of far-UVC radiation (200–230 nm) on pathogens, cells, skin, and eyes – a collection and analysis of a hundred years of data. *GMS Hygiene and Infection Control*, 16, Doc07. <https://doi.org/10.3205/dgkh000378>

Hodge, J., White, E., & Ghaith, S. (2023). Model Clean Indoor Air Act. <https://centerforhealthsecurity.org/sites/default/files/2024-07/240710-mciaa.pdf>

IEQ. (2024). Indoor Air Quality Database—IEQ Guidelines. <https://ieqguidelines.org/table?factor=iaq>

Jordan, W. S. (1961). The Mechanism of Spread of Asian Influenza. *American Review of Respiratory Disease*, 83(2P2), 29–40. <https://doi.org/10.1164/arrd.1961.83.2P2.29>

Kleinwaks, G., Fraser-Urquhart, A., Kraprayoon, J., & Morrison, J. (o. J.). Air Safety to Combat Global Catastrophic Biorisk.

Kleinwaks, G., Fraser-Urquhart, A., Kraprayoon, J., & Morrison, J. (2023, Mai 3). Air Safety to Combat Global Catastrophic Biorisks [REVISED]. *Rethink Priorities*. <https://rethinkpriorities.org/publications/air-safety-to-combat-global-catastrophic-biorisks-revised>

Li, Y., Leung, G. M., Tang, J. W., Yang, X., Chao, C. Y. H., Lin, J. Z., Lu, J. W., Nielsen, P. V., Niu, J., Qian, H., Sleigh, A. C., Su, H.-J. J., Sundell, J., Wong, T. W., & Yuen, P. L. (2007). Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment – a multidisciplinary systematic review Abstract. *Indoor Air*, 17(1), 2–18. <https://doi.org/10.1111/j.1600-0668.2006.00445.x>

Lindsley, W. G., Derk, R. C., Coyle, J. P., Martin, S. B., Mead, K. R., Blachere, F. M., Beezhold, D. H., Brooks, J. T., Boots, T., & Noti, J. D. (2021). Efficacy of

Portable Air Cleaners and Masking for Reducing Indoor Exposure to Simulated Exhaled SARS-CoV-2 Aerosols—United States, 2021. *Morbidity and Mortality Weekly Report*, 70(27), 972–976.  
<https://doi.org/10.15585/mmwr.mm7027e1>

Madhav, N., Oppenheim, B., Gallivan, M., Mulembakani, P., Rubin, E., & Wolfe, N. (2017). Pandemics: Risks, Impacts, and Mitigation. In D. T. Jamison, H. Gelband, S. Horton, P. Jha, R. Laxminarayan, C. N. Mock, & R. Nugent (Hrsg.), *Disease Control Priorities: Improving Health and Reducing Poverty* (3rd Aufl.). The International Bank for Reconstruction and Development / The World Bank. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK525302/>

Mathieu, E., Ritchie, H., Rodés-Guirao, L., Appel, C., Giattino, C., Hasell, J., Macdonald, B., Dattani, S., Beltekian, D., Ortiz-Ospina, E., & Roser, M. (2020). *Coronavirus Pandemic (COVID-19)*. Our World in Data.  
<https://ourworldindata.org/covid-deaths>

Mcdevitt, J., Milton, D., Rudnick, S., & First, M. (2008). Inactivation of Poxviruses by Upper-Room UVC Light in a Simulated Hospital Room Environment. *PloS one*, 3, e3186. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0003186>

Nguyen, T. T., Johnson, G. R., Bell, S. C., & Knibbs, L. D. (2022). A Systematic Literature Review of Indoor Air Disinfection Techniques for Airborne Bacterial Respiratory Pathogens. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 19(3), 1197.  
<https://doi.org/10.3390/ijerph19031197>

Olsson, C., & Oremán, J. (2022). Activity Risk. <https://www.microcovid.org/paper/5-activity-risk>

Peng, Z., Miller, S. L., & Jimenez, J. L. (2023). Model Evaluation of Secondary Chemistry due to Disinfection of Indoor Air with Germicidal Ultraviolet Lamps. *Environmental Science & Technology Letters*, 10(1), 6–13.  
<https://doi.org/10.1021/acs.estlett.2c00599>

Qian, H., Miao, T., Liu, L., Zheng, X., Luo, D., & Li, Y. (2021). Indoor transmission of SARS-CoV-2. *Indoor Air*, 31(3), 639–645. <https://doi.org/10.1111/ina.12766>

Razani, N., Malekinejad, M., & Rutherford, G. W. (2021). Clarification Regarding “Outdoor Transmission of SARS-CoV-2 and Other Respiratory Viruses: A Systematic Review”. *The Journal of Infectious Diseases*, 224(5), 925–926.  
<https://doi.org/10.1093/infdis/jiab298>

Riley, R. L., Mills, C. C., O'grady, F., Sultan, L. U., Wittstadt, F., & Shivpuri, D. N. (1962). Infectiousness of air from a tuberculosis ward. Ultraviolet irradiation of infected air: Comparative infectiousness of different patients. *The American Review of Respiratory Disease*, 85, 511–525.  
<https://doi.org/10.1164/arrd.1962.85.4.511>

[RKI. \(2020\). Burden 2020 – RKI.](https://www.daly.rki.de/en/treemap) <https://www.daly.rki.de/en/treemap>

[Roser, M. \(2024\). The Spanish flu: The global impact of the largest influenza pandemic in history.](https://ourworldindata.org/spanish-flu-largest-influenza-pandemic-in-history) *Our World in Data.* <https://ourworldindata.org/spanish-flu-largest-influenza-pandemic-in-history>

Rowe, B. R., Canosa, A., Drouffe, J. M., & Mitchell, J. B. A. (2021). Simple quantitative assessment of the outdoor versus indoor airborne transmission of viruses and COVID-19. *Environmental Research*, 198, 111189.  
<https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.111189>

Ruiz, M. A., Fumagalli, F. S., Valsesia, A., Desmet, C., Roncari, F., Colpo, P., Ashour, D., Prenner, A., De, M. A., Farinha, J., & Mochan, A. (2024, April 17). Suppressing indoor pathogen transmission: A Technology Foresight study. *JRC Publications Repository.* <https://doi.org/10.2760/745765>

Thompson, R., Smith, R. B., Karim, Y. B., Shen, C., Drummond, K., Teng, C., & Toledano, M. B. (2023). Air pollution and human cognition: A systematic review and meta-analysis. *Science of The Total Environment*, 859, 160234.  
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.160234>

WHO. (2022, September 4). Imagining the future of pandemics and epidemics: A 2022 perspective. <https://www.who.int/publications/i/item/9789240052093>

Xian Li. (2022). Aerosolization of fungal spores in indoor environments—*ScienceDirect.*  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969722000924>