

Home › Lüftung, Lüftungsanlagen und mobile Luftreiniger an Schulen

## Lüftung, Lüftungsanlagen und mobile Luftreiniger an Schulen



**In Klassenzimmern sind viele Menschen auf engem Raum.**

Quelle: Photo by NeONBRAND on Unsplash

**Aerosolpartikel spielen eine wichtige Rolle bei der Verbreitung von SARS-CoV-2 Viren. Angesichts der aktuellen Ausbreitung von Mutationen stellt sich die Frage nach Maßnahmen zur Verminderung der Übertragung des Virus auch an Schulen. Im Folgenden fassen wir die Einsatzbereiche von Lüftung, Lüftungsanlagen und mobilen Luftreinigern an Schulen aus innenraumhygienischer und aktueller Sicht zusammen.**

09.07.2021

Generell kann man zwischen einer direkt übermittelten Infektion – durch ausgeschiedene Tröpfchen im Nahfeld einer Person – und einer indirekt übermittelten Infektion durch kleinere Aerosolpartikel, die sich in einem Innenraum anreichern, unterscheiden. In beiden Fällen handelt es sich um Aerosolpartikel, der Übergang zwischen beiden Ereignissen ist jedoch fließend.

- Weitere Informationen: "Infektiöse Aerosole in Innenräumen"

### Maßnahmen zum Infektionsschutz

Masken (FFP2 und medizinisch) tragen maßgeblich zur Vermeidung direkter Infektionen im Nahfeld (< 1,5 m) und zur Abschwächung der Emission virushaltiger Partikel (alle SARS-CoV-2-Varianten) in der Raumluft bei. Aktuelle Untersuchungen der Universität Bonn mit Bakteriophagen bestätigen die hohe Wirksamkeit von Masken (FFP2 und medizinisch); es wurde eine Reduzierung der infektiösen Aerosolpartikel im Raum um



mehr als 99 Prozent nachgewiesen. Die nachfolgend beschriebenen Schutzmaßnahmen helfen als Ergänzung vor indirekten Infektionen, d.h. der Ausbreitung von Viren über die Raumluft.

**Die nachhaltigste Maßnahme zur Verbesserung der Innenraumlufthygiene, deren Erfolg auch nach Beendigung der Pandemie anhält, ist der Einbau stationärer (= fest installierter) raumlufthechnischer (RLT)-Anlagen.** Diese können als zentrale Anlagen ein Gebäude versorgen, aber auch dezentral als Einzelraumbelüftung realisiert werden. Beide Varianten sichern eine wirksame Reduzierung von Virenbelastungen, sind für Wärme- und Feuchterückgewinnung verfügbar, schonen die Energiebilanz des Gebäudes und gewährleisten einen hohen Wohlfühlkomfort im Innenraum. Einzelraumbelüftungen sind baulich rascher umzusetzen als zentrale Lüftungsanlagen. Anlässlich der Erfahrungen mit der Pandemie empfiehlt das UBA, Schulräume in Deutschland sukzessive mit RLT-Anlagen auszustatten.

Allerdings besitzen bis heute erst rund 10 Prozent der Schulen solche fest installierten Lüftungsanlagen. Zentral gesteuerte RLT-Anlagen lassen sich zudem nur mit beachtlichem baulichem und technischem Aufwand und nach bauordnungsrechtlicher Genehmigung einbauen. Das kostet wertvolle Zeit, die in der aktuellen Pandemie oft nicht zur Verfügung steht.

**Neben der Einhaltung der Hygieneregeln („AHA“) bleibt daher die regelmäßige Lüftung über die Fenster die wichtigste Maßnahme zur Reduzierung der Virenmengen in der Luft sowie zur Aufrechterhaltung einer gesunden Raumluft („AHA+L“).** Aktuelle Untersuchungen mit Bakteriophagen belegten auch hier, dass das Lüften gemäß den UBA-Empfehlungen die Konzentration der infektiösen Aerosolpartikel über die Dauer einer Schulstunde um etwa 90 Prozent reduziert.

**Dort, wo nicht ausreichend gelüftet werden kann, helfen kontinuierlich betriebene, einfache Zu- und Abluftanlagen oder mobile Luftreiniger, die Virenlast im Raum ebenfalls in einer Größenordnung von bis zu 90 Prozent zu reduzieren.**

## Lüftung versus mobile Luftreiniger in Schulräumen

Das Umweltbundesamt teilt Schulräume aus innenraumhygienischer Sicht in drei Kategorien ein:

1. Räume mit guter Lüftungsmöglichkeit (raumlufthechnische Anlage und/oder Fenster weit zu öffnen) (**Kategorie 1**). Diese Voraussetzungen sind in der Mehrzahl der Schulräume gegeben.
2. Räume mit eingeschränkter Lüftungsmöglichkeit (keine raumlufthechnische Anlage, Fenster nur kippbar bzw. Lüftungsklappen mit minimalem Querschnitt) (**Kategorie 2**). Erhebungen in zwei Bundesländern zufolge liegt der Anteil solcher Klassenräume bei rund 15 bis 25 Prozent.
3. Nicht zu belüftende Räume (**Kategorie 3**).

In Räumen der **Kategorie 1** ist der Einsatz mobiler Luftreinigungsgeräte nicht notwendig, wenn ein Luftaustausch entweder durch regelmäßiges Stoß- und Querlüften oder durch raumlufthechnische Anlagen gewährleistet wird. Die gleichzeitige Anwendung von Lüftung und der Einhaltung der AHA-Regeln ist aus innenraumhygienischer Sicht umfassend und ausreichend für den Infektionsschutz gegenüber dem Corona-Virus. Modellrechnungen zufolge lässt sich mit mobilen Luftreinigern in Räumen der Kategorie 1 ein Zusatznutzen hinsichtlich der Reduzierung der Virenlast erzielen, insbesondere wenn die vom UBA empfohlene Lüftung und die Befolgung der AHA-Regeln nicht konsequent umgesetzt wird. Aufgrund der vielfältigen Einflussfaktoren (z.B. Gerätetyp, Aufstellungsbedingungen, Luftzirkulation, Umsetzung der Lüftungs- und AHA-Regeln) lässt sich diese Virenlastreduktion nicht exakt quantifizieren. Dies zeigt sich auch mit Blick auf die hinsichtlich der Methoden und Ergebnissen heterogene aktuelle Studienlage.

- Weitere Informationen: „Richtig Lüften in Schulen“

In Räumen der **Kategorie 2** kann als technische Maßnahme die Zufuhr von Außenluft durch den Einbau einfach und rasch zu installierender Zu- und Abluftanlagen erhöht werden. Alternativ ist der Einsatz mobiler Luftreiniger sinnvoll. Fachgerecht positioniert und betrieben ist ihr Einsatz wirkungsvoll, um während der Dauer der Pandemie die Wahrscheinlichkeit indirekter Infektionen zu minimieren.

**Räume der Kategorie 3** werden aus innenraumhygienischer Sicht für den Schulunterricht nicht empfohlen. In solchen Räumen reichern sich ausgeatmetes Kohlendioxid und Feuchtigkeit rasch zu hohen Werten an. Auch viele gasförmige chemische Schadstoffe verbleiben im Raum. Jenseits des hygienischen Leitwerts für Kohlendioxid von 1.000 ppm sinkt die Konzentration und Lernfähigkeit. Der Einsatz von Luftreinigern in



*Telefonisch erreichen Sie uns Mo - Fr zu den Servicezeiten 9.00 – 15.00 Uhr unter: +49-340-2103-2416*

*Fax: +49-340-2104-2285*

solchen Räumen ergibt keinen Sinn, da kein Luftaustausch mit der Außenluft (Lüftungserfolg) gewährleistet wird.

- Weitere Informationen: „Hygienische Leitwerte für die Innenraumluft“

Für **Räume der Kategorie 2** sind mobile Luftreinigungsgeräte somit, neben der eingeschränkten Lüftung, ein wichtiges Element eines Maßnahmenpakets, die Konzentration virushaltiger Partikel in Innenräumen durch Filtration zu reduzieren oder luftgetragene Viren mittels Luftbehandlungsmethoden (UV-C, Ionisation/Plasma) zu inaktivieren.

Es ist zu beachten, dass mobile Luftreinigungsgeräte die Notwendigkeit für das Lüften nicht ersetzen können. Die mobilen Geräte beseitigen nicht die sich in einem Schulraum durch Atmung anreichernde Luftfeuchte, das Kohlendioxid und weitere chemische Gase aus Mobiliar und Bauprodukten. Daher muss auch bei Nutzung mobiler Luftreiniger regelmäßig gelüftet werden.

## Voraussetzungen zum Betrieb von mobilen Luftreinigern

Die Wirksamkeit von mobilen Luftreinigern in Schulräumen hängt entscheidend von den technischen Spezifikationen ab. Zum einen müssen die Geräte in der Lage sein, einen ausreichenden Luftstrom an gefilterter bzw. aufbereiteter Luft bereitzustellen. Unter Pandemiebedingungen wird eine Förderleistung (Luftdurchsatz durch das Gerät) des fünf- bis sechsfachen Raumvolumens pro Stunde als notwendig erachtet, um die Konzentration infektiöser Partikel um eine Größenordnung von bis zu 90 Prozent im Raum bereits während des Unterrichtes (und nicht erst gegen Ende der Unterrichtsstunde) zu reduzieren. Durch die Aufstellung vor Ort soll jeder mit Personen besetzte Bereich des Raums von der erzeugten Luftströmung möglichst vollständig erfasst werden, ohne jedoch dauernde Zugerscheinungen zu verursachen. Auch die evtl. störende Geräuschentwicklung bei hohen Luftdurchsätzen ist zu beachten. Geräte, die nicht mit Filtersystemen arbeiten, haben hier Vorteile. Vor Beschaffung der Geräte sind die Filter- bzw. Inaktivierungswirksamkeit in einer Realraumsituation zu bestätigen und die zu erwartenden Geräuschpegel zu berücksichtigen. Bei Luftreinigern, welche die durchgeleitete Luft behandeln (z.B. mit UV-C oder Plasma/Ionisation), ist der Luftdurchsatz so zu wählen, dass die zu behandelnde Luft genügend lange im Wirkungsbereich des Geräts verweilt, damit die Inaktivierung erfolgreich ist. Darüber hinaus sind bei optischen Verfahren Sicherheitsaspekte (Verhinderung des direkten Kontakts mit der UV-Strahlungsquelle) zu berücksichtigen. Für alle Verfahren gilt, dass ihre Wirksamkeit möglichst vor Ort oder unter realraumnahen Bedingungen getestet werden soll.

## Technische Optionen bei mobilen Luftreinigungsgeräten

Im Grundsatz sind vier Technologien bei Luftreinigern zu unterscheiden.

- Filtertechnologien
- UV-C Technologien
- Ionisations- und Plasmatechnologien
- Ozontechnologien

Für Einzelheiten zu diesen Verfahren und Gerätetypen verweisen wir auf unser Kapitel: „Können mobile Luftreinigungsgeräte einen Beitrag leisten, um das Infektionsrisiko in Innenräumen durch SARS-CoV-2 zu reduzieren?“

Detaillierte Vorgaben zu den Prüf- und Einsatzbedingungen werden derzeit in einer Sonder-Arbeitsgruppe des Vereins Deutscher Ingenieure (VDI) unter Vorsitz des UBA erarbeitet.

Dieser Text stellt eine Überarbeitung und Ergänzung der Einschätzung des UBA zu mobilen Luftreinigern vom 11.02.2021 dar.



## Links

- Infektiöse Aerosole in Innenräumen (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/innenraumluft/infektioese-aerosole-in-innenraeumen>)
- Richtig Lüften in Schulen (<https://www.umweltbundesamt.de/richtig-lueften-in-schulen>)
- Hygienische Leitwerte für die Innenraumluft (<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/kommissionen-arbeitsgruppen/ausschuss-fuer-innenraumrichtwerte?sprungmarke=hygienische-leitwerte>)

---

„Für Mensch und Umwelt“ ist der Leitspruch des UBA und bringt auf den Punkt, wofür wir da sind. In diesem Video geben wir Einblick in unsere Arbeit.

## Umweltbundesamt

### Kontakt

Wörlitzer Platz 1

06844 Dessau-Roßlau

**Bitte kontaktieren Sie uns bevorzugt per E-Mail: [buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)**

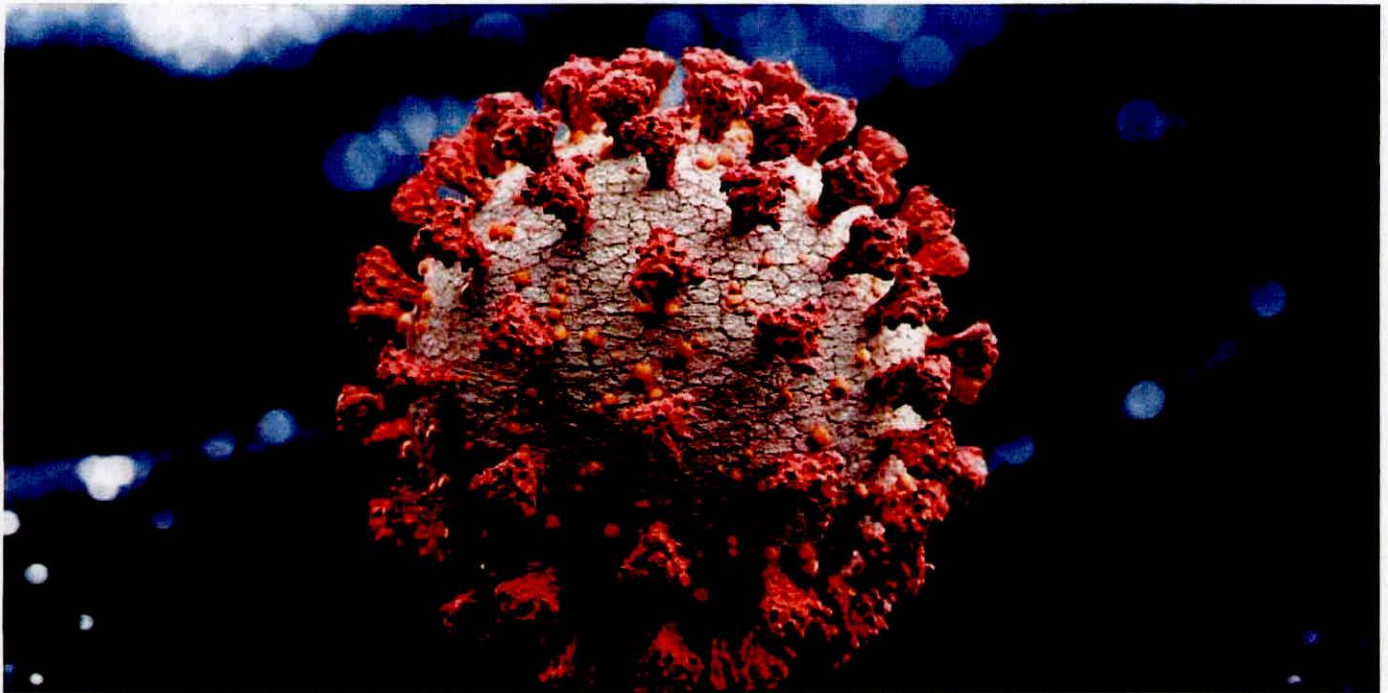
Telefonisch erreichen Sie uns Mo - Fr zu den Servicezeiten 9.00 – 15.00 Uhr unter: +49-340-2103-2416

Fax: +49-340-2104-2285



[Home](#) > [Richtig Lüften in Schulen](#)

## Richtig Lüften in Schulen



**Das neuartige Coronavirus**

Quelle: Getty Images / Radoslav Zilinsky

**Empfehlungen des Umweltbundesamtes zu Luftaustausch und effizientem Lüften zur Reduzierung des Infektionsrisikos durch virushaltige Aerosole in Schulen.**

12.02.2021

### Warum ist ein regelmäßiger Luftaustausch in Klassenzimmern wichtig?

Klassenzimmer sollten grundsätzlich regelmäßig gelüftet werden. Beim Lüften strömt frische Luft in den Raum und ersetzt die verbrauchte. So wird Feuchtigkeit aus dem Raum abtransportiert, was das Risiko von Schimmelbildung reduziert. Zudem werden Feinstaub, Gerüche und Ausdünstungen aus z. B. Möbeln oder von Kosmetika entfernt. Nicht zuletzt wird CO<sub>2</sub> nach außen abgeführt, welches müde machen und die Konzentration verringern kann.

Wegen des vergleichsweise geringen Luftvolumens im Klassenzimmer mit vielen anwesenden Schülerinnen und Schülern ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich infektiöse Partikel im Raum anreichern, vergleichsweise hoch. Wie wahrscheinlich eine Ansteckung ist, hängt von verschiedenen Faktoren ab: Wie viele Personen befinden sich im Raum und wie aktiv sind diese, wie groß ist der Raum, wie oft wird die Luft im Raum ausgetauscht, welche Lüftung ist vorhanden. Da die allermeisten Schulen in Deutschland keine zentralen



Lüftungsanlagen haben, ist das Lüften über die Fenster die beste und oft die einzige Möglichkeit, frische Luft ins Klassenzimmer zu bekommen.

## Wie funktioniert richtiges Lüften im Schulalltag?

Um sich vor infektiösen Partikeln zu schützen, sollte pro Stunde ein dreifacher Luftwechsel erfolgen. Das bedeutet, dass die Raumluft dreimal pro Stunde komplett gegen Frischluft von außen ausgetauscht wird. Dies wird idealerweise wie folgt erreicht:

Während des Unterrichts wird alle 20 Minuten mit weit geöffneten Fenstern gelüftet. Alle Fenster müssen weit geöffnet werden (Stoßlüften). Je größer die Temperaturdifferenz zwischen innen und außen ist, desto effektiver ist das Lüften. Daher ist bei kalten Außentemperaturen im Winter ein Lüften von ca. 3-5 Minuten ausreichend. An warmen Tagen muss länger gelüftet werden (ca. 10-20 Minuten). Bei heißen Wetterlagen im Hochsommer, wenn die Lufttemperaturen außen und innen ähnlich hoch sind, sollten die Fenster durchgehend geöffnet bleiben.

Zudem soll nach jeder Unterrichtsstunde über die gesamte Pausendauer gelüftet werden, auch während der kalten Jahreszeit.

Noch besser als Stoßlüften ist Querlüften. Das bedeutet, dass gegenüberliegende Fenster gleichzeitig weit geöffnet werden. In Schulen kann das Querlüften auch durch weit geöffnete Fenster auf der einen Seite und der Fenster im Flur auf der gegenüberliegenden Seite realisiert werden.

Sowohl beim Stoßlüften wie beim Querlüften sinkt die Temperatur im Raum nur um wenige Grad ab. Nach dem Schließen der Fenster steigt sie rasch wieder an.

### So soll nicht gelüftet werden!

Lüften ausschließlich über geöffnete Türen ohne gleichzeitiges Öffnen von Fenstern. Damit können virushaltige Aerosole unter Umständen von einem Raum über den Flur in andere Klassenräume transportiert werden, ohne dass zuvor eine deutliche Verdünnung durch Außenluftzustrom erfolgte.

Lüften mit gekippten Fenstern oder nur einem offenen Fenster. Unzureichend ist eine teilweise Öffnung von Fenstern oder eine Lüftung durch Kippstellung von Fenstern. Eine Kippstellung der Fenster führt nicht zu einem ausreichenden Luftaustausch, auch wenn das Fenster den ganzen Tag gekippt bleibt. In der kalten Jahreszeit führt dieses hygienisch ineffiziente Lüften zudem dazu, dass Wärme aus dem Raum unnötig entweicht; Kipplüftung erhöht zudem das Schimmelrisiko an den Fensterlaibungen.

## Was nützen CO<sub>2</sub>-Ampeln und wie setze ich sie richtig ein?

Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) ist ein guter Indikator für „verbrauchte“ Luft, weil jeder Mensch CO<sub>2</sub> ausatmet. In geschlossenen Räumen bei größerer Personenanzahl wie in Klassenräumen kann sich CO<sub>2</sub> in der Raumluft ohne Lüften rasch anreichern. Zu hohe CO<sub>2</sub>-Werte führen bei den Anwesenden zu Ermüdungserscheinungen. Eine erhöhte CO<sub>2</sub>-Konzentration lässt zwar keine Aussage über virushaltige Aerosole zu, aber sie deutet darauf hin, dass zu lange nicht gelüftet wurde und daher auch das Infektionsrisiko erhöht sein kann.

CO<sub>2</sub>-Ampeln sind meist recht einfache Messgeräte zur Bestimmung der Konzentration von CO<sub>2</sub> in der Innenraumluft. Sie zeigen über die Indikatorfarben grün-gelb-rot die Luftqualität bezogen auf CO<sub>2</sub> an. Manche Geräte zeigen auch die Konzentration gemessen in Parts per Million (ppm) an. Bis 1000 ppm gilt die Raumluftqualität als gut (grün). Wird diese Konzentration überschritten, schaltet die Ampel auf „gelb“ und bei mehr als 2000 ppm meist auf „rot“.

Die Geräte werden am besten in Atemhöhe (ca. 1,5 m bei sitzenden Personen) und mittig im Raum platziert. Eine Positionierung im Bereich der Fenster oder das Aufstellen direkt entlang einer Wand oder zum Flur hin ist nicht sinnvoll. Es ist nicht unbedingt erforderlich, in jeden Klassenraum eine CO<sub>2</sub>-Ampel dauerhaft zu installieren. Vielmehr reicht es, wenn in einem Raum zunächst mit Hilfe der Ampel das Lüftungsverhalten



einstudiert wird, das dann auch ohne Ampel beibehalten wird. Dann kann die CO<sub>2</sub>-Ampel anschließend im nächsten Klassenraum eingesetzt werden.

### **Kosten**

Es gibt bei CO<sub>2</sub>-Sensoren deutliche Preisunterschiede. Kostengünstige Geräte sind bereits für 50 bis 100 Euro zu erhalten; diese arbeiten meist nach dem o. a. Ampelprinzip. Teurere Geräte zeigen digital den aktuellen Verlauf des CO<sub>2</sub>-Gehaltes in der Luft im Klassenraum an und sind daher ideal geeignet, wenn man das kontinuierliche Ansteigen der CO<sub>2</sub>-Konzentration ohne Lüften „live“ miterleben möchte. Einfache Geräte reichen, um zu sehen, wann gelüftet werden sollte.

## **Was mache ich, wenn ich die Fenster nicht öffnen kann?**

Lassen sich in Unterrichtsräumen die Fenster nicht öffnen, ist zu prüfen, inwieweit die Lüftungssituation verbessert werden kann. Neben Maßnahmen mit dem Ziel, Fenster (wieder) öffnen zu können (wie z. B. Wiederanbringen von abgenommenen Griffen), sind stationäre, in die Fensterbereiche eingebaute Zu- bzw. Abluftanlagen als baulich schnell realisierbare Option denkbar. Sind solche Maßnahmen nicht möglich, sind solche Räume aus innenraumhygienischer Sicht nicht für den Unterricht geeignet.

### **Mund-Nasen-Bedeckung**

Das Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung (MNB) ist eine allgemeine und anerkannte Schutzmaßnahme zur Minimierung des direkten Infektionsrisikos (Tröpfcheninfektion). Das Tragen einer MNB verzögert auch die Verbreitung von ausgeatmeten Aerosolpartikeln im Raum. Das Tragen von MNB ist kein Ersatz für das Lüften in Unterrichtsräumen.

## **Können mobile Luftreiniger in Klassenräumen helfen?**

Mobile Geräte zur Luftreinigung dienen der Reduzierung von in Raumluft enthaltenen Partikeln bzw. Mikroorganismen. Je nach technischer Auslegung sind sie in der Lage, Viren aus der angesaugten Luft zu entfernen bzw. zu inaktivieren. Allerdings hängt die Effizienz neben der Gerätetechnik auch von den Aufstellbedingungen vor Ort, der Luftverteilung im Raum und weiteren Faktoren ab. Da mobile Luftreinigungsgeräte kein anfallendes Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) und keine anfallende Luftfeuchte aus der Raumluft entfernen, können sie Lüftungsmaßnahmen nicht komplett ersetzen.

Ein Typ mobiler Luftreinigungsgeräte verwendet Hochleistungsschwebstofffilter (bevorzugt HEPA-Filter der Klassen H 13 oder H 14), welche die Konzentrationen von Feinstaub und auch infektiösen Partikeln in der Luft reduzieren. Einige dieser Geräte verwenden zusätzlich eine UV-Desinfektion, welche auf den Filtern abgeschiedene Viren inaktivieren soll.

Weitere Typen von Luftreinigungsgeräten nutzen UV-C-, Ionisations- bzw. Plasmatechnologie. Diese Technologien sind in der Lage, Bakterien und Viren zu inaktivieren. Tendenziell sind diese Geräte wartungsärmer und geräuschärmer als solche mit Filtration. Vor Einsatz von UV-C-, Ionisations- und Plasmatechnologien sollte jedoch von den Herstellern der Nachweis der Wirksamkeit der entsprechenden Geräte unter praxisnahen Bedingungen eingeholt werden. Ebenso sollte die gerätetechnische Sicherheit gewährleistet werden. Generell sollte man anstreben, dass möglichst wenige unerwünschte Nebenprodukte wie z.B. Ozon oder andere Stoffe in den Innenraum gelangen. Gerätetypen, die Viren mittels Ozon inaktivieren sollen, sind wegen möglicher Gesundheitsgefahren nicht zu empfehlen. Ozon ist ein Reizgas und kann zudem mit anderen Stoffen in der Luft chemisch reagieren, wobei neue Schadstoffe entstehen können.

Mobile Luftreinigungsgeräte sind nicht als Ersatz, sondern als Ergänzung zum aktiven Lüften geeignet, da mit ihnen keine Raumluft gegen Außenluft ausgetauscht wird. Vor dem Einsatz solcher Geräte ist der Beitrag zum Infektionsschutz konkret durch Berücksichtigung der Leistungsdaten (z. B. Luftdurchsatz und Abscheidegrad)



sowie der Einsatzbedingungen (z. B. Raumverhältnisse, Belegungsdichte, Belegungsdauer, Anordnung des Luftreinigers im Raum) fachgerecht zu bewerten. Das gilt für alle verwendeten Gerätetechnologien. Auf dieser Seite finden Sie weitere Informationen des UBA zu mobilen Luftreinigungsgeräten.

### **AHA + L**

In Schulen ist auch bei Umsetzung der Lüftungsempfehlungen auf eine konsequente Anwendung der AHA-Regeln (Abstand, Händehygiene und Alltagsmaske) entsprechend der jeweiligen Vorgaben zu achten. Also: AHA + „L“ für Lüften.

---

## **Links**

- Häufig gestellte Fragen zu infektiösen Aerosolen in Innenräumen  
(<https://www.umweltbundesamt.de/themen/gesundheit/umwelteinfluesse-auf-den-menschen/innenraumluft/infektioese-aerosole-in-innenraeumen>)

---

„Für Mensch und Umwelt“ ist der Leitspruch des UBA und bringt auf den Punkt, wofür wir da sind. In diesem Video geben wir Einblick in unsere Arbeit.

## **Umweltbundesamt**

## **Kontakt**

*Wörlitzer Platz 1*

*06844 Dessau-Roßlau*

*Bitte kontaktieren Sie uns bevorzugt per E-Mail: [buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)*

*Telefonisch erreichen Sie uns Mo - Fr zu den Servicezeiten 9.00 – 15.00 Uhr unter: +49-340-2103-2416*

*Fax: +49-340-2104-2285*



Home › Themen › Gesundheit › Umwelteinflüsse auf den Menschen › Innenraumluft › Infektiöse Aerosole in Innenräumen

## Infektiöse Aerosole in Innenräumen



**Das Tragen von Mund-Nasen-Bedeckungen kann dabei helfen, die Verbreitung von Viren einzudämmen**  
Quelle: Luis Alvarez / Gettyimages

29.03.2021

### Was sind Aerosole?

Als Aerosole werden Mischungen von festen oder flüssigen Partikeln („Schwebeteilchen“) in einem Gas oder Gasgemisch (z. B. Luft) bezeichnet. Aerosolpartikel aus der Umwelt sind von sehr unterschiedlicher Größe und haben Durchmesser von etwa 1 Nanometer (nm) bis zu mehreren 100 Mikrometern ( $\mu\text{m}$ ). Größere Partikel sinken schnell zu Boden. Partikel kleiner als  $10\ \mu\text{m}$  können Stunden bis Tage in der Luft verbleiben. Aerosole sind generell nicht stabil und verändern sich in der Regel in Abhängigkeit von Luftfeuchtigkeit, Temperatur und weiteren physikalischen und chemischen Prozessen im Laufe der Zeit. Aerosole können auch Bakterien und Viren enthalten. Die Vielfalt der Partikel und Aerosole in unserer Umwelt sowie eine Größeneinordnung wird in Abbildung 1 ersichtlich.

Im medizinischen Bereich wird oft unterschieden zwischen der sog. „Tröpfcheninfektion“ und der Infektion „über Aerosole“ [1]. Größere, teilweise gerade noch sichtbare, flüssige Aerosolpartikel (meist größer als  $5\ \mu\text{m}$  bis ca.  $500\ \mu\text{m}$  Durchmesser) werden in diesem Zusammenhang als Tröpfchen und nur diejenigen kleiner als  $5\ \mu\text{m}$  als Aerosol bezeichnet. Physikalisch handelt es sich aber bei beidem um Aerosole und auch bezüglich ihrer Eigenschaften gibt es keine scharfe Grenze zwischen „Tröpfchen“ und sonstigen Aerosolen, der Übergang ist fließend. Im folgenden Text wird daher nur von Aerosolpartikeln oder auch kurz Partikeln gesprochen.



## Wie entstehen Aerosole, die SARS-CoV-2-Viren enthalten?

Mit der ausgeatmeten Luft verbreitet jeder Mensch eine Reihe von Gasen und auch Aerosolpartikel in seiner unmittelbaren Umgebung [3]. Beim Sprechen, Rufen, Singen, insbesondere aber beim Husten, Niesen oder unter körperlicher Anstrengung werden vermehrt Partikel emittiert. Wenn sich Krankheitserreger wie SARS-CoV-2-Viren in den Atemwegen befinden, entstehen Aerosole, die diese Krankheitserreger enthalten können. Im Fall von SARS-CoV-2-Viren ist die Bildung solcher Aerosole besonders problematisch, weil auch infizierte Personen ohne Symptome virushaltige Partikel ausscheiden können.

Das Spektrum der ausgeschiedenen Partikel ist beim Atmen, Singen, Husten oder Niesen unterschiedlich. Beim normalen Atmen entstehen vorwiegend kleine Partikel ( $< 5 \mu\text{m}$ ). Beim Sprechen und Singen werden im Vergleich zum Atmen vermehrt solche Partikel ausgeschieden, während beim Husten und Niesen zusätzlich größere Partikel bis  $100 \mu\text{m}$  Durchmesser und mehr entstehen. Feuchte Aussprache erzeugt noch größere, mit dem Auge sichtbare Speicheltropfen.

Coronaviren selbst haben einen Durchmesser von  $0,12\text{--}0,16 \mu\text{m}$ , werden aber in der Regel als Bestandteil größerer Partikel ausgeschieden, die sich je nach ihrer Größe unterschiedlich lange in der Luft halten und unterschiedlich weit mit der Luftströmung transportiert werden können.

Die ausgeschiedenen Aerosolpartikel verändern sich je nach Umgebungsbedingungen bezüglich ihrer Größe und Zusammensetzung. Partikel schrumpfen beim Übergang aus dem Atemtrakt in die Raumluft in der Regel durch Verdunstung an enthaltenem Wasser. Die genauen Prozesse, die zur Ausbildung und Veränderung solcher Aerosolpartikel führen, sind von einer Vielzahl unterschiedlicher Faktoren abhängig und im Einzelfall kaum vorherzusehen.

## Wann kann es über Aerosole zu COVID-19-Erkrankungen kommen?

Folgende Bedingungen müssen erfüllt sein, damit über Aerosolpartikel eine COVID-19-Erkrankung ausgelöst werden kann:

- Die Menge infektiöser SARS-CoV-2-Viren im Aerosol ist groß genug, dass es bei menschlichem Kontakt mit dem Aerosol prinzipiell zu einer Infektion kommen kann. Diese Menge an Viren (Infektionsdosis) ist derzeit noch nicht bekannt und vermutlich von individuellen Faktoren abhängig.
- Das virushaltige Aerosol trifft auf empfindliche Zellen (z. B. Zellen der Atemwege, aber auch der Bindehäute der Augen) einer nicht infizierten Person.
- Es kommt zu einer Vermehrung des Virus in diesen Zellen.

Bezüglich der Gefährdung durch virushaltige Partikel gibt es zwei gegenläufige Effekte:

Größere Partikel können absolut gesehen mehr Viren enthalten und somit potenziell infektiöser sein.

Gleichzeitig sinken größere Tröpfchen schneller zu Boden, stehen also nur für einen kürzeren Zeitraum für luftübertragene Infektionen zur Verfügung. Zur Verminderung eines Infektionsrisikos durch solche größeren Partikel wurde die Abstandsregelung von  $1,5 \text{ m}$  empfohlen.

Kleinere Partikel in einem Aerosol enthalten tendenziell weniger Viren, können aber länger im Schwebestadium in der Luft verbleiben. Damit können sie auch über größere Distanzen als  $1\text{--}2 \text{ m}$  und für längere Zeiträume ein Infektionsrisiko darstellen [4]. Der Bericht von Infektionen während einer mehrstündigen Chorprobe, bei der soziale Abstandsregeln bereits eingehalten wurden, legt den Schluss nahe, dass das dort beobachtete erhöhte Infektionsgeschehen durch eine Übertragung kleinerer Partikel mit langer Aufenthaltsdauer in der Raumluft hervorgerufen wurde [5].

## Wie kann das Infektionsrisiko über Aerosolpartikel vermindert werden?



Zum einen können Maßnahmen ergriffen werden, um das Ausscheiden von Aerosolpartikeln zu vermindern. Hierzu gehören die Niesetikette (Niesen in die Armbeuge oder in ein Tuch) und das Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung [1]. Durch das Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung wird die Menge der freigesetzten Aerosolpartikel deutlich reduziert, wobei der Wirkungsgrad mit der Partikelgröße zunimmt [5, 6]. Dies bedeutet, dass kleinere Partikel weniger gut von einer Mund-Nasen-Bedeckung zurückgehalten werden als größere.

Zum anderen können die bekannten Abstandsmaßnahmen ergriffen werden, um zu vermeiden, dass ausgeschiedene Aerosolpartikel unverdünnt von einer Person zur nächsten gelangen können (siehe Abbildung 2) [1]. In bestimmten Situationen, in denen sich kleinere Partikel in der Luft anreichern können, ist diese Maßnahme aber nicht ausreichend [4].

**In Innenräumen** ist aufgrund des beschränkten Luftvolumens die Wahrscheinlichkeit einer Anreicherung infektiöser Partikel generell höher als im Freien. Daher besteht beim Aufenthalt von mehreren Menschen in Innenräumen ein erhöhtes Infektionsrisiko. Für die Wahrscheinlichkeit, dass es in Innenräumen zu einer Infektion kommt, spielen zahlreiche Faktoren eine Rolle, die von Fall zu Fall sehr unterschiedlich sein können: u. a. Zahl der anwesenden Personen, Aktivität der Personen, Raumvolumen, Luftwechsel, Luftströmung, die Art der vorhandenen Lüftung (Fensterlüftung, Lüftungstechnik) und eventuell eingesetzte Filter. Besonders kleine Räume, wie Toilettenräume, Gemeinschaftsküchen, Umkleide- und Aufzugskabinen oder kleine Büros, sind in dieser Hinsicht problematisch, wenn sie von mehreren Personen genutzt werden. Hier müssen strikt einzuhaltende Nutzungspläne erarbeitet werden, um eine zeitliche oder räumliche Trennung der Nutzerinnen und Nutzer zu erreichen. Auch in Besprechungsräumen muss darauf geachtet werden, dass diese nicht von zu vielen Personen gleichzeitig genutzt werden und sich die Anzahl der Personen bzw. deren Aufenthaltsdauer nach den räumlichen Gegebenheiten (z.B. Raumgröße, Luftwechsel) richtet. Außerdem können angepasste Lüftungskonzepte zur Reduktion der Partikelkonzentration beitragen (siehe Frage unten). In Innenräumen sollten bei Zusammenkünften alle Aktivitäten vermieden werden, die dazu führen, dass vermehrt Aerosolpartikel ausgeatmet werden und sich damit die Konzentration infektiöser Partikel erhöht, sofern diese in der ausgeatmeten Luft vorhanden sind. Zu solchen Aktionen gehört das gelegentliche (nicht zwingend mit einer infektiösen Erkrankung assoziierte) Niesen und Husten, welches aus diesen Gründen in die Armbeuge erfolgen sollte. Aber auch Singen, Rufen und Schreien führen dazu, dass vermehrt Partikel entstehen und sich in Innenräumen anreichern. Auch beim Musizieren mit (Blas-)Instrumenten können Aerosolpartikel entstehen. Zu bedenken ist, dass auch sportliche Aktivitäten, die mit einer erhöhten Atemrate einhergehen, zu einer vermehrten Ausatmung von Aerosolpartikeln führen. Lassen sich erhöhte Aerosolfreisetzen nicht vermeiden, empfiehlt es sich, umso intensiver zu lüften (siehe unten) oder Aktivitäten nach Möglichkeit ins Freie zu verlagern.

## Wird durch das Tragen einer Maske vermehrt Kohlendioxid eingeatmet, was zu gesundheitlichen Problemen führt?

Es gibt sehr verschiedene Masken, die sich in ihrem Design, ihrer Schutzwirkung und möglicher unerwünschter Wirkungen teils deutlich unterscheiden. Eine detaillierte Übersicht zu den verschiedenen Typen und deren Verwendung steht auf der Internetseite des Bundesinstituts für Arzneimittel und Medizinprodukte (BfArM): Grob lassen sich die Masken unterteilen in

- Mund-Nasen-Bedeckungen (Synonyme: Alltagsmasken, Stoffmasken),
- medizinische Gesichtsmasken (Synonym: OP-Masken) und
- partikelfiltrierende Halbmasken (Synonym: FFP2- Masken).

Es gibt einige Studien, die die kurzzeitigen Auswirkungen des Tragens verschiedener Maskentypen auf eine mögliche CO<sub>2</sub>-Belastung hin untersucht haben [25-29]. Hier wurden begrenzte Stichproben untersucht und daher lassen sich keine Rückschlüsse auf die individuelle Situation jedes einzelnen ziehen. Bei allen drei oben genannten Maskentypen kann es zu Erhöhungen der CO<sub>2</sub>-Konzentration hinter der Maske bzw. in der Atemluft [25,27,28] oder zu einem Anstieg des CO<sub>2</sub>-Gehalts im Blut [25,26,28,29] kommen. Die beobachteten CO<sub>2</sub>-Veränderungen sind dabei vom verwendeten Maskentyp abhängig. So war zum Beispiel die Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehalts im Blut beim Tragen von FFP2-Masken am höchsten und bei Alltagsmasken am niedrigsten [26].



Insgesamt stieg der CO<sub>2</sub>-Gehalt im Blut nur wenig an, so dass die Autoren schlussfolgern: „Der Einsatz gängiger Gesichtsmasken führte zu einer messbaren, aber klinisch nicht relevanten Veränderung der Blutgase im Vergleich zur maskenfreien Belastung.“ [26]. Generelle Empfehlungen bezüglich des Masken-Tragens und der jeweiligen Einsatzbereiche sind auf den Internetseiten des Robert-Koch-Instituts (RKI) nachzulesen. Dort wird auch auf die speziellen Einsatzbereiche von partikelfiltrierenden Halbmasken hingewiesen. Durch ihre hohe Dichtigkeit verursachen diese Masken beim korrekten Sitz eine höhere Belastung mit CO<sub>2</sub> und einen erhöhten Atemwiderstand als andere Masken. Daher sind solche Masken grundsätzlich nicht für alle Menschen als geeignet anzusehen und die Tragezeit sollte begrenzt oder durch Pausen unterbrochen werden. Die Anwendung solcher Masken setzt eine Abwägung der persönlichen Risiken (Infektionsrisiken und andere Gesundheitsrisiken) voraus, die im Einzelfall, insbesondere, wenn solche FFP-Masken längere Zeit getragen werden, eine ärztliche Beratung erforderlich machen.

## **Kann ich im Selbstversuch die Kohlendioxid-Konzentration hinter meiner Maske mit einem Innenraumluftmessgerät messen?**

Mit einem Gerät für die Messung von CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Innenräumen ist dies nicht möglich. Für die Raumluftmessung gedachte Sensoren sind nicht dafür ausgelegt, große Kohlendioxid-Konzentrationsänderungen in Echtzeit anzuzeigen, da sich Konzentrationsänderungen in der Raumluft normalerweise wegen des großen Raumvolumens deutlich langsamer vollziehen als direkt im Atemluftstrom eines Menschen.

Im Umweltbundesamt wurde dieser Sachverhalt wie folgt nachgestellt:

Mit einem Gerät für die Messung von CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in Innenräumen wurde direkt vor dem Mund unter einer OP-Maske die CO<sub>2</sub>-Konzentration gemessen sowie ein weiteres Mal ohne Maske. In beiden Fällen zeigten die Messgeräte beim Ausatmen solch hohe Kohlendioxid-Konzentrationen an, wie sie normalerweise in Innenräumen nicht erreicht werden. Das liegt daran, dass die ausgeatmete Luft eines Menschen etwa vier Prozent (40.000 ppm) Kohlendioxid enthält. Da der Anteil von CO<sub>2</sub> an der Umgebungsluft im Außenbereich nur etwa 0,04 Prozent (400 ppm) beträgt, werden in Innenräumen, in denen sich die ausgeatmete Luft rasch verdünnt, solche Werte normalerweise nie erreicht.

Wurde während des Versuchs in normaler Atemfrequenz immer wieder ein- und ausgeatmet, blieb die CO<sub>2</sub>-Konzentration vor dem Mund hoch – ob mit oder ohne Maske. Dieser Effekt beruht auf der Trägheit der meisten in Kohlendioxidmessgeräten verbauten Sensoren, die aufgrund ihrer Bauweise relativ schnell hohe Konzentrationen anzeigen können, jedoch Konzentrationsverminderungen nur mit größerer Verzögerung widerspiegeln. So kann der falsche Eindruck entstehen, die Kohlendioxidkonzentration unter der Maske wäre unveränderlich hoch oder würde sogar immer weiter ansteigen.

Fazit: CO<sub>2</sub>-Messgeräte für die Raumluft sind für diese Art von Messungen nicht geeignet.

## **Welche Bedeutung haben Modellrechnungen für die Einschätzung eines Infektionsrisikos mit SARS-CoV-2 in Innenräumen?**

Aufgrund der weiter anhaltenden COVID-19-Pandemie wächst die Nachfrage nach Prognosemodellen, um die Wahrscheinlichkeit einer Übertragung des SARS-CoV-2 durch Aerosole in der Raumluft, auch bei unterschiedlich gestalteten Einzelsituationen, besser abzuschätzen.

Mathematische Modelle zur Simulation der Ausbreitung von Viruspartikeln in Innenräumen und einer anschließenden Infektion sind seit 2020 für SARS-CoV-2 entwickelt worden bzw. werden laufend weiterentwickelt [6–21]. Viele der Modelle sind online nutzbar [13–21]. Die Modelle beschreiben im Grundsatz einige oder alle der folgenden, für Infektionen wichtigen Prozesse:

1. Das Ausatmen bestimmter Mengen virushaltiger Partikel durch eine oder mehrere infektiöse Personen beim ruhigen Atmen, Sprechen, Singen, oder bei körperlichen Aktivitäten (Sport).



2. Die Ausbreitung bzw. Verteilung dieser virushaltigen Partikel in einem begrenzten Raumvolumen.
3. Die Minderung der Raumluftkonzentration virushaltiger, infektiöser Partikel durch Lüftung, Lüftungstechnik, den eventuellen Einsatz von Luftreinigern, aber auch natürliche Deposition (Absetzen auf Oberflächen) und Inaktivierung der Viren.
4. Die Bestimmung einer über die Atmung aufgenommenen Menge an Viren bei nicht infizierten Personen.
5. Die Bestimmung der Wahrscheinlichkeit, dass diese Personen durch diese aufgenommene Menge an Viren infiziert werden, erkranken und somit zu Überträgern werden können.

Bei der Anwendung der Modelle [13–21] sind zentrale Eingangsparameter durch Nutzerinnen und Nutzer wählbar bzw. werden im Modellansatz vorgeschlagen. Dies betrifft die geplante Anzahl der zusammenkommenden Personen, ihre jeweilige Aktivität (ruhiges Atmen, Sprechen, Singen etc.), ihre Aufenthaltsdauer im Raum, die Maße des Raums (Raumvolumen) und die Art und Qualität der Lüftung, in der Regel ausgedrückt durch die Luftwechselrate. Das Tragen von Mund-Nasenbedeckungen (MNB), Mund-Nasen-Schutz oder Schutzmasken nach Arbeitsschutzstandards (FFP2) kann durch einen Faktor zur Abschwächung der ausgeschiedenen bzw. inhalierbaren Menge an virushaltigem Material berücksichtigt werden.

Die meisten der Modelle bieten als Ausgabeparameter eine absolute Infektionswahrscheinlichkeit für ein gewähltes Szenario an [13–16; 19–21]. Die Modelle der RWTH Aachen [11] und der IBO Innenraumanalytik OG [18] beschränken sich darauf, eine relative Infektionswahrscheinlichkeit gegenüber einem Referenzszenario anzugeben, bei dem Infektionen als sehr unwahrscheinlich angenommen werden.

Die Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) am UBA hat sich mit der Nutzbarmachung der Modelle für praktische Aufgabenstellungen befasst und auch eigene Simulationen auf Basis des Modells der RWTH Aachen [17] durchgeführt. Insbesondere beschäftigte die IRK die Frage, ob die Rechenmodelle eine Hilfestellung dafür geben können, bei welcher Raumbelastung, Nutzungsart, Aufenthaltsdauer und Lüftungseigenschaften in einem bestimmten Raum ein erhöhtes Infektionsrisiko mit SARS-CoV-2 durch Aerosolpartikelübertragung entstehen kann, sobald sich eine infizierte Person im Raum befindet.

Eine wichtige Feststellung war, dass alle Modelle weitreichende und teilweise stark vereinfachte Annahmen bezüglich der ablaufenden Prozesse treffen müssen und die absolute Wahrscheinlichkeit, sich mit SARS-CoV-2 über Aerosole zu infizieren, nur mit beträchtlichen Unsicherheiten zu prognostizieren ist. So weiß man in der Praxis nicht, ob sich nur eine oder gleiche mehrere infizierte Personen in einem Raum aufhalten. Allgemeine Unsicherheit besteht auch bezüglich der Annahme zur nötigen Menge an virushaltigen Partikeln, die bei einer gesunden Person eine Infektion auslöst. Nach medizinischem Kenntnisstand hängt dieser Parameter stark von individuellen Faktoren, zum Beispiel vom Immunstatus ab. Die Aussagekraft der genannten Modelle ist insofern grundsätzlich begrenzt, als dass sie zwar Infektionen über die Ausbreitung von Aerosolen im Raum (indirekte Infektionen) abschätzen, nicht oder nur bedingt aber mögliche direkte Infektionen im Nahfeld (Sprechen und Husten zwischen Sitznachbarn).

Darüber hinaus unterscheiden sich die von individuellen Personen ausgestoßenen Mengen virushaltiger Partikel um mehrere Größenordnungen, sodass meist von statistischen Verteilungen und/oder von Personen ausgegangen wird, die besonders viele Viren ausatmen (eine Art „Worst Case“). Weitere Unsicherheiten bestehen methodenbedingt bei der räumlichen Verteilung der Partikel im Raum (meist wird eine unverzügliche und homogene Vermischung der Raumluft angenommen), bei der Lüftungseffizienz und auch bei der Annahme der Wirksamkeit eventuell verwendeter Mund-Nasen-Masken. Wegen dieser Unsicherheiten und Variabilität bei den Modellannahmen gelten die berechneten Ergebnisse, z. B. exakte Angaben zu Infektionsrisiken oder Raumnutzungszeiten, grundsätzlich nur für die im jeweiligen Modell vorausgesetzten idealisierten Szenarien und nicht für konkrete Einzelfälle.

Letztlich ist die Summe der aufgeführten Aspekte auch der Grund, warum die IRK vorläufig von einer eigenen Stellungnahme absieht, um nicht daraus politische Entscheidungen abzuleiten, welche die modellbasierten Abschätzungen gar nicht hergeben.

Eine Interpretation der Rechenergebnisse sollte daher auf ergänzende Prüfungen gestützt werden. Praktisch bieten sich etwa Sensitivitätsanalysen mit einer Variation der Eingangsparameter eines Modells und einem Vergleich zwischen den Ergebnissen verschiedener Modelle an. In der Regel werden in den Veröffentlichungen über die Modelle auch eines oder mehrere in der Literatur dokumentierte Infektionsereignisse rekonstruiert. Dann ist es aufschlussreich, mit welcher Wahl der Modellparameter die für ein Ereignis dokumentierte Zahl der Sekundärinfektionen reproduziert werden kann. Die aktuelle Entstehung und Verbreitung neuer Virusmutationen wie SARS-CoV-2 B.1.1.7, die möglicherweise infektiöser als das Ausgangsvirus sind, verändert diese Annahmen möglicherweise systematisch. Die Abhängigkeit der Modellergebnisse auf sich ändernde Eigenschaften des Virus kann provisorisch durch Anpassung der Modellparameter untersucht werden,



indem entweder die Emissionsrate der Viren um einen entsprechenden Prozentsatz erhöht oder die zur Auslösung einer weiteren Infektion erforderliche Infektionsdosis analog gesenkt wird.

Um zumindest Unsicherheiten bezüglich der infektiösen Eigenschaften des Virus zu vermeiden, hat sich die IRK insbesondere mit dem Modell der RWTH Aachen [12, 17] beschäftigt, welches keine absolute Infektionswahrscheinlichkeit angibt, sondern eine Infektionswahrscheinlichkeit relativ zum Risiko in einem Referenzszenario (Raumbelegung 25 Personen, eine sprechende Person, Raumvolumen 200 m<sup>3</sup>, Aufenthaltsdauer 1 h, maschineller Luftwechsel 4,4 h<sup>-1</sup>). Die IRK kommt zu dem Schluss, dass das RWTH-Modell für Nutzungsbetrachtungen in Innenräumen eine Hilfestellung bieten kann, indem bestimmte Raum- und Nutzungsparameter mit einer Referenzsituation verglichen werden.

Die Modelle erlauben es, bislang bekannte Aussagen nun auch quantitativ abzuleiten, z. B. ist das Infektionsrisiko umso niedriger,

- je größer das Volumen des Innenraums ist,
- je weniger Personen sich im Raum aufhalten,
- je kürzer Personen sich im Raum aufhalten,
- je weniger aerosolbildende Aktivitäten wie lautes Sprechen, Rufen, Singen etc. stattfinden,
- wenn möglichst gutschitzende und gut filtrierende Masken getragen werden und
- wenn eine möglichst hohe Luftwechselrate erzielt werden kann, bestenfalls durch eine raumluftechnische (RLT-)Anlage mit Außenluftzuführung.

Das UBA kommt zum Schluss, dass Modellrechnungen eine Hilfestellung beim *Vergleich von Infektionswahrscheinlichkeiten* durch Aerosole in verschiedenen Situationen bieten können. Das *absolute Infektionsrisiko* mit SARS-CoV-2 hängt im Einzelfall – selbst bei einem in der Zukunft fortschreitenden Stand des Wissens und der Modellentwicklung – immer von Unwägbarkeiten ab, die sich mit den diskutierten Modellen nicht auflösen lassen. Dies betrifft insbesondere die Infektiosität und die Positionen der Personen im Raum. Unbeschadet dieser prinzipiellen Grenzen können die Modelle die *Größenordnung des absoluten Infektionsrisikos* einordnen, eine Information, die zur Eingrenzung des sich dynamisch entwickelnden Infektionsgeschehens genutzt werden kann.

Modellergebnisse können Aspekte zur Risikoabwägung beitragen, wenn beispielsweise Prioritäten bei der Nutzung von Räumlichkeiten gesetzt werden müssen. Modellergebnisse eignen sich nicht als alleinige Begründung für den vermeintlich sicheren Aufenthalt in Räumen. Für die Dauer der COVID-19-Pandemie sollten Zusammenkünfte von Menschen daher auch weiterhin an allererster Stelle auf ihre Notwendigkeit geprüft werden.

## Welche raumlufthygienischen Maßnahmen können die Konzentration infektiöser Aerosolpartikel minimieren?

Durch wirksames Lüften (Austausch der Raumluft gegen Außenluft) kann die Konzentration an infektiösen Partikeln in der Innenraumluft reduziert werden.

Bei **Fensterlüftung** ist eine Querlüftung, die über einen Durchzug Raumluft schnell gegen Frischluft austauscht, optimal, leider aber nicht immer praktisch durchführbar. Als wirksam gilt die Stoßlüftung bei weit geöffnetem Fenster (besser mehrere in einem Raum gleichzeitig) über einige Minuten Dauer. Nur wenig wirksam ist das bloße Ankippen der Fenster, auch wenn dies dauerhaft erfolgt.

Für einen wirksamen Infektionsschutz sollten Räume, in denen sich viele Personen versammeln, so gut und so oft wie möglich gelüftet werden. An Schulen muss auch zur Verminderung der Kohlendioxidbelastung während des Unterrichtes gelüftet werden [22]. Bei Neubauten und aufwendigen Sanierungen ist es am nachhaltigsten, wenn in stark belegten Räumen von vorn herein baulich eine Grundlüftung über eine raumluftechnische (RLT) Anlage erfolgt. In Schulen gilt dies bereits als künftig anzustrebender Regelstandard [22]. Auch bei Wohngebäuden wird dies bei immer dichter werdenden Gebäudehüllen zunehmend erforderlich werden. Im Fall hochinfektiöser Erreger wie SARS-CoV-2-Viren ist zu beachten, dass jenseits des Lüftens die bekannten AHA-Maßnahmen wie das Tragen einer Mund-Nasen-Bedeckung, das Abstandhalten und ein angepasster Nutzungsplan wesentlich sind, um direkte Infektionen zu vermeiden.

Zur Auswirkung von dezentralen und zentralen Lüftungsanlagen finden sich FAQs unter:

<https://www.umweltbundesamt.de/coronaviren-umwelt#wie-wird-das-neuartige...>



## Können mobile Luftreinigungsgeräte einen Beitrag leisten, um das Infektionsrisiko in Innenräumen durch SARS-CoV-2 zu reduzieren?

Mobile Geräte zur Luftreinigung dienen der Reduzierung von in Raumluft enthaltenen Partikeln bzw. Mikroorganismen. Je nach technischer Auslegung (Prinzip; Dimensionierung) sind sie in der Lage, Viren aus der angesaugten Luft zu entfernen bzw. zu inaktivieren. Allerdings hängt die Effizienz neben der Technik auch von den Aufstellbedingungen vor Ort, der Luftverteilung im Raum etc. ab. [23]. Da mobile Luftreinigungsgeräte jedoch unter Anderem kein anfallendes Kohlendioxid und keinen Wasserdampf aus der Raumluft entfernen, sind sie kein Ersatz für die in den Empfehlungen der IRK vom 12.8.2020 beschriebenen Lüftungsmaßnahmen [24].

Im Grundsatz sind vier Technologien bei Luftreinigern zu unterscheiden:

- Filtertechnologien
- UV-C Technologien
- Ionisations- und Plasmatechnologien
- Ozontechnologien

Hierzu ist im Einzelnen anzumerken:

### 1. Filtertechnologie

Mobile Filtergeräte sollten möglichst mit hocheffizienten Gewebefiltern (Filterklassen H 13 oder H 14) ausgestattet sein, da nur diese eine vollständige Entfernung von Viren aus der durch das Gerät gesaugten Luft gewährleisten. Feinfilter der Klassen F7 bis F9 (alte Bezeichnung) bzw. ISO ePM2,5 65% bis ISO ePM1 80% (neue Bezeichnung), wie sie z.B. in herkömmlichen raumluftechnischen Anlagen (RLT-Anlagen) mit zwei Filterstufen zum Einsatz kommen, lassen einen Anteil der Aerosolpartikel in der behandelten Luft übrig. Filtergeräte mit hocheffizienten Filtern sind in der Lage, die Zahl der die Aerosolpartikel in einem Raum zu senken. Um die bestmögliche Wirkung mit Filtergeräten zu erzielen und über die Dauer der Betriebszeit zu erhalten, müssen die Filter in der Regel nach einer gewissen Betriebszeit gewechselt werden. Je nach Staub- und Partikelbelastung kann das nach einem halben bis einem Jahr der Fall sein. Hierzu sind Fachkenntnisse oder geschultes Personal erforderlich. Um keinen störenden Geräuschpegel im Raum entstehen zu lassen, sollten vor Beschaffungen entsprechende Kenndaten zur Geräuschentwicklung vom Hersteller eingeholt werden.

### 2. UV-C Technologie

UV-C Strahlung ist vom Grundsatz her in der Lage, Mikroorganismen wie Bakterien und Viren zu inaktivieren. Geräte mit UV-C Strahlungsquellen werden schon seit langem zur Entkeimung von Oberflächen z. B. in Laboren oder zur Raumlufdesinfektion in lebensmittelverarbeitenden Betrieben eingesetzt. Für die Wirksamkeit gegen infektiöse Aerosole in einem Innenraum ist entscheidend, ob ein Gerät einen ausreichend großes Luftvolumen desinfizieren und die gereinigte Luft gut im Raum zirkulieren kann. Die Wirksamkeit ist abhängig von der Bestrahlungsintensität und von der Bestrahlungszeit der Luft im Gerät. Für Augen und Haut stellt UV-C Strahlung ein gesundheitliches Risiko dar. Deshalb wird der Einsatz dieser Strahlungsquellen als offene UV-C Lampe und auch in mobilen Luftreinigern vom UBA für den nicht gewerblichen Einsatz als kritisch betrachtet. Geräte sollten in öffentlichen Bereichen wie Schulen nur eingesetzt werden, wenn gesichert ist, dass kein UV-Licht in den Raum freigesetzt werden kann. Die IRK empfiehlt in ihrer Stellungnahme vom 16.11.2020 daher a) den Nachweis der Gerätesicherheit und b) den Nachweis der Wirksamkeit – als Prüfung des eingesetzten mobilen Geräts. In privaten Wohnungen sieht das UBA den Einsatz solcher Geräte aus Sicherheitsgründen weiterhin kritisch, denn hier bestehen meist wenig Kontrollmöglichkeiten, was die sachgerechte Verwendung, Wartung und den bestimmungsgemäßen Gebrauch angeht. Mobile Geräte mit UV-



C-Technik haben gegenüber solchen mit Filtration den Vorteil der meist geringeren Geräuschentwicklung im Betrieb.

### 3. Ionisations- und Plasmatechnologie

Auch Ionisation und Plasma sind in der Lage, Mikroorganismen wie Bakterien und Viren zu inaktivieren. Im Rahmen von Luftreinigungsanlagen findet diese Technologie seit vielen Jahren Anwendung. Tendenziell sind auch die Geräte wartungsärmer als solche mit Filtration, weil keine Filter zu ersetzen sind. Auch die Geräuschentwicklung ist im Allgemeinen geringer als bei filtrierenden Geräten. Dem UBA liegen derzeit jedoch keine Daten vor, ob der Luftdurchsatz und die Effizienz der im Handel befindlichen Geräte ausreichen, um einen ausreichenden Schutz gegen eine Infektion mit SARS-CoV-2 in großen und dicht belegten Innenräumen wie Klassenräumen zu gewährleisten. Generell sollte vor Beschaffung entsprechender Geräte eine Wirksamkeitsprüfung vom Hersteller eingeholt werden. Bei Ionisations- und Plasmatechnologie kann aufgrund des physikalischen Prinzips im Gerät Ozon entstehen. Es wird empfohlen, Herstellerinformationen einzuholen, inwieweit Ozon als unerwünschtes Nebenprodukt bei einem bestimmten Gerät auch in den Innenraum gelangen kann.

### 4. Ozontechnologie

Eine gezielte Behandlung von Raumluft mit Ozon (auch während der Durchleitung der Luft durch einen mobilen Luftreiniger) lehnt das UBA grundsätzlich ab. Ozon ist ein Reizgas und kann mit anderen Stoffen, allen voran mit flüchtigen organischen Verbindungen (VOC), chemisch reagieren und dabei unbekannte Folgeprodukte bilden. Diese Kategorie von Luftreinigern ist ungeeignet für eine Anwendung in Räumen, in denen sich Personen befinden.

Für eine größtmögliche Wirksamkeit von mobilen Luftreinigungsgeräten (egal mit welcher Technologie sie arbeiten) ist die sorgfältige Planung und Realisation des Aufstellungsortes im Raum und die Berücksichtigung der Raumgegebenheiten (Raumvolumen, Luftführung und Luftströmungen im Raum) von entscheidender Bedeutung. Der Luftdurchsatz muss in Abhängigkeit der Raumgröße und der Anzahl der Personen im Raum einstellbar sein. Auch die Ansaug- und Abblasrichtung der durch das Luftreinigungsgerät hindurch geleiteten Luft sind entscheidend dafür, dass der Luftreiniger wirklich einen wesentlichen Anteil der Mischluft im Raum ansaugen und als gereinigte Luft wieder in den Raum abgeben kann.

In der Produktliteratur finden sich häufig Prüfberichte zu Luftreinigungsgeräten, wo zu Beginn des Experiments ein Raum einmalig mit Partikeln gefüllt wird, und anschließend Abklingkurven infolge der Luftreinigung ausgewertet werden. Solche Prüfberichte erwecken den Eindruck, man könne die Konzentration von Aerosolen in einem Realraum beliebig reduzieren. Die reale Situation ist jedoch verschieden, insofern eine infektiöse Person kontinuierlich virushaltige Aerosole in die Raumluft emittiert. Ein mobiles Gerät kann die Konzentration von Aerosolen in einer realen Situation somit reduzieren, aber zu keinem Zeitpunkt auf null bringen. Sind mehrere infektiöse Personen anwesend, würde die Reinigungswirkung mobiler Geräte in Bezug auf virushaltige Aerosole entsprechend weiter sinken. Mobile Luftreinigungsgeräte dürfen daher nicht als absoluter Schutz vor infektiösen Aerosolen angesehen werden.

Es ist zu beachten, dass die hier beschriebenen Luftreinigungstechniken nicht zu einer Minderung der Raumluftbelastung mit Kohlendioxid und Wasserdampf aus der Atemluft beitragen. In dicht belegten Räumen, wie an Schulen und Bildungseinrichtungen, entstehen ohne Lüftung unerwünscht hohe Konzentrationen an Kohlendioxid, die sich mindernd auf geistige Konzentration und Lernleistung auswirken können [21]. Daher ersetzen mobile Luftreinigungsgeräte nicht die Notwendigkeit eines aktiven Lüftens, welches entweder kontinuierlich durch raumlufttechnische Anlagen oder periodisch über Fenster zu erfolgen hat. Mobile Luftreinigungsgeräte sollen nach Auffassung des UBA daher nur im Verbund mit Lüftungsmaßnahmen und den allgemeinen Hygieneregeln (AHA-Regeln (Abstand, Hygienemaßnahmen, Mund- und Nasenschutz) eingesetzt werden.

## Kann durch verstärkte Lüftung über geöffnete Fenster bei niedrigen Außentemperaturen die Entwicklung von Erkältungskrankheiten



## begünstigt werden?

Infektionen der Atemwege sind gerade im Winter häufig und äußern sich üblicherweise in Form einer Erkältungskrankheit. Diese stehen grundsätzlich in einem ursächlichen Zusammenhang mit infektiösen Partikeln, gegenüber denen man ausgesetzt ist oder war. Sehr häufig sind Rhinoviren für Erkältungserkrankungen verantwortlich, aber auch viele andere Viren können zu Erkältungen führen.

**Nicht die Kälte verursacht also die Krankheit, sondern die Krankheitserreger.**

Allerdings haben Kälte und Luftfeuchte einen Einfluss auf unseren Gesundheitszustand und die Wahrscheinlichkeit, dass wir uns anstecken:

- Es hängt von den biochemischen Eigenschaften der Viren ab, ob diese eher bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit stabil und infektiös bleiben oder bei niedriger, jedoch ist zumeist eine kalte Umgebungsluft für die Stabilität und Infektiosität förderlich [30, 31].
- Trockene Luft begünstigt eine geringe Tröpfchengröße von virushaltigen Aerosolpartikeln. Kleinere Aerosolpartikel verbleiben lange in der Umgebungsluft – gerade in Innenräumen [32].
- Ausgekühlte obere Atemwege sind empfänglicher für Infektionen, weil die Kälteeinwirkung, besonders in Kombination mit einer Austrocknung der Schleimhäute, zu einer reduzierten Abwehr infektiöser Partikel führt [33, 34].

**Kalte Luft macht also nicht krank, aber sie begünstigt Erkältungen durch Krankheitserreger.**

Das UBA sieht grundsätzlich keine Gesundheitsgefährdung im Hinblick auf Erkältungskrankheiten, wenn in Innenräumen vermehrt gelüftet wird. Jedoch kommt es auf das Vorgehen bei der Lüftung an: So ist zu empfehlen, bei niedrigen Außentemperaturen nicht dauerhaft zu lüften, sondern gemäß den Empfehlungen der Innenraumlufthygienekommission lediglich regelmäßige Stoßlüftungen vorzunehmen. Auf diese Weise kommt es weder zu längerfristigem Absinken der Raumtemperatur noch zu einer dauerhaften Reduzierung der relativen Luftfeuchtigkeit im Innenraum. Es ist zwar denkbar, dass es – insbesondere bei unzureichender Bekleidung – durch Zugluft und Kälte vermehrt zu üblichen Erkältungssymptomen kommen kann. Diese meist harmlosen Symptome stehen jedoch, selbst wenn sie im Rahmen einer im Winter üblichen Erkältung auftreten, in keinem Vergleich – das gesundheitliche Risiko betreffend – zu einer COVID-19 Infektion.

Während Erkältungskrankheiten fast immer einen milden Verlauf haben und grundsätzlich vollständig ausheilen, handelt es sich bei COVID-19 um eine Infektionskrankheit der Atemwege, welche zu einer gefährlichen viralen Lungenentzündung führen kann. Fünf Prozent der Infektionen verlaufen kritisch und müssen im Krankenhaus teilweise intensivmedizinisch behandelt werden.

**COVID-19 ist keine harmlose Erkältung.**

Die Lüftungsempfehlungen des UBA leisten einen Beitrag sowohl zum Schutz vor COVID-19 als auch zur Prävention von Erkältungskrankheiten. Denn es gilt als wahrscheinlich, dass gerade der im Winter vermehrte Aufenthalt in schlecht belüfteten Innenräumen zu einer Infektion auch durch Erkältungsviren beiträgt [35-37].

### INFOBOX Luftfeuchtigkeit in Innenräumen und im Außenbereich

Grundsätzlich unterscheidet man zwischen relativer und absoluter Luftfeuchte.

Die **absolute Luftfeuchte** stellt den Anteil von Wasserdampf in einem Volumen Luft dar.

Dabei gilt generell: Warme Luft kann mehr Wasserdampf speichern als kalte Luft.

So kann z.B. ein Kubikmeter Luft bei 22 °C höchstens ca. 20 g Wasser in Form von Wasserdampf speichern; bei 0 °C nur ca. 5 g.

Die **relative Luftfeuchte** gibt an, in welchem Maß die Luft mit Feuchte gesättigt ist. Bei einer relativen Luftfeuchte von 50 % enthält die Luft nur die Hälfte der Wasserdampfmenge, die bei der entsprechenden Temperatur maximal enthalten sein könnte. So enthält ein Kubikmeter Luft bei 22 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % ca. 10 g Wasser.

Beim Lüften im Winter wird kalte Luft, die wenig Wasser in Form von Wasserdampf enthält, in den Raum gebracht. Erwärmt sich dann die Luft, so sinkt die relative Luftfeuchte in diesem Luftpaket. Dieser Effekt ist im Winter häufig dafür verantwortlich, dass nach Fensterlüftung die relative Luftfeuchte im Raum zeitweilig sinkt. Durch Feuchtequellen im Innenraum – z. B. durch das Atmen und die Transpiration der Raumnutzer, durch Zimmerpflanzen und den Luftaustausch mit angrenzenden Räumen (z.B. durch Duschen, Waschen, Kochen) – wird dieser Effekt in der Regel nach kurzer Zeit jedoch wieder ausgeglichen.



## Verwendete Quellen

- [1] SARS-CoV-2 Steckbrief zur Coronavirus-Krankheit-2019 (COVID-19). Stand: 09.02.2021.  
[https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges\\_Coronavirus/Steckbrief....](https://www.rki.de/DE/Content/InfAZ/N/Neuartiges_Coronavirus/Steckbrief....)
- [2] Luftmessnetz Umweltbundesamt.  
<https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/378/publikatio...>
- [3] Edwards, D. A., Ausiello, D., Salzman, J. et al. (2021). Exhaled aerosol increases with COVID-19 infection, age, and obesity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 118(8),  
<https://doi.org/10.1073/pnas.2021830118>
- [4] Morawaska, L., Milton, D.K. (2020). It is time to address airborne transmission of Covid-19.  
<https://doi.org/10.1093/cid/ciaa939>
- [5] Miller, S. L., Nazaroff, W. W., Jimenez, J. L., Boerstra, A., Buonanno, G. et al. (2020). Transmission of SARS-CoV-2 by inhalation of respiratory aerosol in the Skagit Valley Chorale superspreading event. *Indoor Air*. <https://doi.org/10.1111/ina.12751>
- [6] Prather, K. A. et al. (2020). Reducing transmission of SARS-CoV-2. *Science*,  
<https://doi.org/10.1126/science.abc6197>
- [7] Buonanno, Giorgio; Morawska, Lidia; Stabile, Luca (2020): Quantitative assessment of the risk of airborne transmission of SARS-CoV-2 infection: Prospective and retrospective applications. *Environment International* 145, 106112. <https://doi.org/10.1016/j.envint.2020.106112>
- [8] Lelieveld, Jos; Helleis, Frank; Borrmann, Stephan; Cheng, Yafang; Drewnick, Frank; Haug, Gerald; Klimach, Thomas; Sciare, Jean; Su, Hang; Pöschl, Ulrich (2020): Model Calculations of Aerosol Transmission and Infection Risk of COVID-19 in Indoor Environments. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 17, no. 21: 8114. <https://doi.org/10.3390/ijerph17218114>
- [9] Nordsiek, Freja; Bodenschatz, Eberhard; Bagheri, Gholamhossein (2020): Risk assessment for airborne disease transmission by poly-pathogen aerosols. <https://arxiv.org/abs/2011.14118>
- [10] Riediker, Michael; Monn, Christian (2021): Simulation of SARS-CoV-2 Aerosol Emissions in the Infected Population and Resulting Airborne Exposures in Different Indoor Scenarios. *Aerosol Air Qual. Res.* 21, 200531. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2020.08.0531>
- [11] Kriegel, Martin; Buchholz, Udo; Gastmeier, Petra; Bischoff, Peter; Abdelgawad, Inas; Hartmann, Anne (2020): Predicted Infection Risk for Aerosol Transmission of SARS-CoV-2. *medRxiv* 2020.10.08.20209106. <https://doi.org/10.1101/2020.10.08.20209106>
- [12] Müller, Dirk; Rewitz, Kai; Derwein, Dennis; Burgholz, Tobias Maria; Schweiker, Marcel; Bardey, Janine; Tappler, Peter (2020): Abschätzung des Infektionsrisikos durch aerosolgebundene Viren in belüfteten Räumen. White Paper, RWTH-EBC 2020-005, Aachen, 2020. <https://doi.org/10.18154/RWTH-2020-11340>
- [13] Jimenez, Jose-Luis; Human, Katy; Simpkins, Kelsey (2020): COVID-19 Airborne Transmission Tool Available: New model estimates COVID-19 transmission in classrooms, buses, protests, more, 25.6.2020. <https://cires.colorado.edu/news/covid-19-airborne-transmission-tool-avai...>, abgerufen am 2.2.2021.
- [14] Mikszewski, Alex; Buonanno, Giorgio; Stabile, Luca; Pacitto, Antonio; Morawska, Lidia (2020): Airborne Infection Risk Calculator. <https://www.cunybp.org/resources/airborne-infection-risk-calculator/>
- [15] MPI (2020a): Aerosol Übertragung von COVID-19 und Ansteckungsgefahr in Innenbereichen. Max-Planck-Institut für Chemie, Mainz. <https://www.mpic.de/4747361/risk-calculator>, abgerufen am 2.2.2021.
- [16] MPI (2020b) HEADS — Human Emission of Aerosol and Droplet Statistics. Abteilung für Fluidphysik, Strukturbildung und Biokomplexität, Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation Göttingen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Krankenhaushygiene und Infektiologie, Universitätsmedizin Göttingen. <https://aerosol.ds.mpg.de/de/>
- [17] RWTH Aachen, E.ON Energy Research Center (2020): RisiCo. Online-Tool zu [12]. <http://risico.eonerc.rwth-aachen.de/>
- [18] IBO Innenraumanalytik OG (2021): VIR-SIM 2.1. Beurteilung von Innenräumen in Hinblick auf die Exposition gegenüber virenbelasteten Aerosolpartikeln. <https://www.corona-rechner.at/>
- [19] Riediker, Michael; Monn, Christian (2020): Indoor Szenario Simulator für COVID-19 (seco-Tool zur Berechnung der Virenlast in einem geschlossenen Raum). <https://scoeh.ch/de/tools/>
- [20] Trukenmüller, Alfred (2020): Risikoanalyse der Übertragung von SARS-CoV-2 durch Aerosole. <https://www.magentacloud.de/share/e7esxr9ywc>



- [21] TU Berlin (2020): COVID-19 Infektionsrisiko durch Aerosole. Technische Universität Berlin, Hermann-Rietschel-Institut. <https://hri-pira.github.io> abgerufen am 2.2.2021.
- [22] Anforderungen an Lüftungskonzeptionen in Gebäuden. Teil I: Bildungseinrichtungen, Umweltbundesamt, November 2017. <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/anforderungen-an-lueftungsk...>
- [23] IRK (2020) Einsatz mobiler Luftreiniger als Lüftungsunterstützende Maßnahme in Schulen während der SARS-CoV-2 Pandemie. Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene (IRK) am Umweltbundesamt, 16. November 2020.
- [24] IRK (2020) Das Risiko einer Übertragung von SARS-CoV-2 in Innenräumen lässt sich durch geeignete Lüftungsmaßnahmen reduzieren Stellungnahme der Kommission Innenraumlufthygiene am Umweltbundesamt, 12. August 2020.
- [25] Butz U. Rückatmung von Kohlendioxid bei Verwendung von Operationsmasken als hygienischer Mundschutz an medizinischem Fachpersonal. Dissertation. 2005
- [26] Georgi C, Haase-Fielitz A, Meretz D, Gäsert L, Butter C: The impact of commonly-worn face masks on physiological parameters and on discomfort during standard work-related physical effort. *Dtsch Arztebl Int* 2020; 117: 674–5. DOI: 10.3238/arztebl.2020.0674
- [27] Goh DYT, Mun MW, Lee WLJ, Teoh OH, Rajgor DD. A randomised clinical trial to evaluate the safety, fit, comfort of a novel N95 mask in children. *Sci Rep*. 2019 Dec 12;9(1):18952. doi: 10.1038/s41598-019-55451-w. PMID: 31831801; PMCID: PMC6908682.
- [28] Roberge RJ, Coca A, Williams WJ, Powell JB, Palmiero AJ. Physiological impact of the N95 filtering facepiece respirator on healthcare workers. *Respir Care*. 2010 May;55(5):569-77. PMID: 20420727.
- [29] Roberge RJ, Kim JH, Benson SM. Absence of consequential changes in physiological, thermal and subjective responses from wearing a surgical mask. *Respir Physiol Neurobiol*. 2012 Apr 15;181(1):29-35. doi: 10.1016/j.resp.2012.01.010. Epub 2012 Feb 2. PMID: 22326638.
- [30] Morawska, L., Droplet fate in indoor environments, or can we prevent the spread of infection? *Indoor Air*, 2006. 16(5): p. 335-47.
- [31] Sooryanarain, H. and S. Elankumaran, Environmental Role in Influenza Virus Outbreaks. *Annual Review of Animal Biosciences*, 2015. 3(1): p. 347-373.
- [32] Fennelly, K.P., Particle sizes of infectious aerosols: implications for infection control. *The Lancet Respiratory Medicine*, 2020. 8(9): p. 914-924.
- [33] Audi, A., et al., Seasonality of Respiratory Viral Infections: Will COVID-19 Follow Suit? *Frontiers in Public Health*, 2020. 8.
- [34] Moriyama, M., W.J. Hugentobler, and A. Iwasaki, Seasonality of Respiratory Viral Infections. *Annual Review of Virology*, 2020. 7(1): p. 83-101.
- [35] Li, Y., et al., Role of ventilation in airborne transmission of infectious agents in the built environment - A multidisciplinary systematic review. *Indoor Air*, 2007. 17(1): p. 2-18.
- [36] Al Huraimel, K., et al., SARS-CoV-2 in the environment: Modes of transmission, early detection and potential role of pollutions. *Science of The Total Environment*, 2020. 744: p. 140946.
- [37] La Rosa, G., et al., Viral infections acquired indoors through airborne, droplet or contact transmission. *Annali dell'Istituto Superiore di Sanita*, 2013. 49(2): p. 124-132.





31.08.2020

## LMU: Infovideo zu Hitze und Covid-19

---

### Links

- alle Informationen des UBA zum Coronavirus (<https://www.umweltbundesamt.de/presse/pressedossiers/pressedossier-corona-umwelt?parent=63525>)
- 

„Für Mensch und Umwelt“ ist der Leitspruch des UBA und bringt auf den Punkt, wofür wir da sind. In diesem Video geben wir Einblick in unsere Arbeit.

## Umweltbundesamt

### Kontakt

Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau

Bitte kontaktieren Sie uns bevorzugt per E-Mail: [buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)