

Für Mensch & Umwelt

Umwelt 
Bundesamt

Forum für den Öffentlichen Gesundheitsdienst 2022, BfR

Lüften und Luftqualität im Innenraum – Erkenntnisse aus Corona und künftige Anforderungen

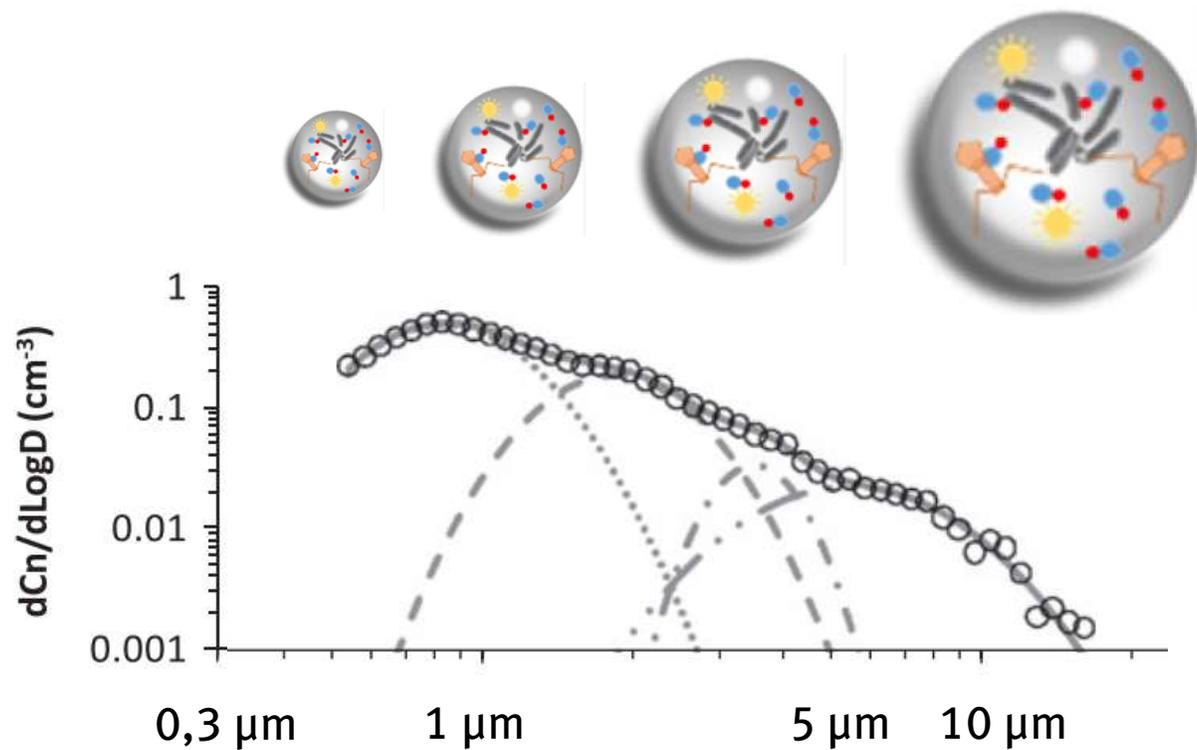
Wolfram Birmili und Wolfgang Straff, Abteilung II 1 „Umwelthygiene“
Umweltbundesamt (UBA), Corrensplatz 1, 14195 Berlin
Email: wolfram.birmili@uba.de; wolfgang.straff@uba.de

Mit Beiträgen von:

Heinz-Jörn Moriske, Hans-Christoph-Selinka, Anja Daniels, Alfred Trukenmüller



Infektiöse Aerosole (z.B. SARS-CoV-2)



Morawska et al.: (2009). Size distribution and sites of origin of droplets expelled from the human respiratory tract during expiratory activities. *Journal of Aerosol Science*, 40(3), 256-269.

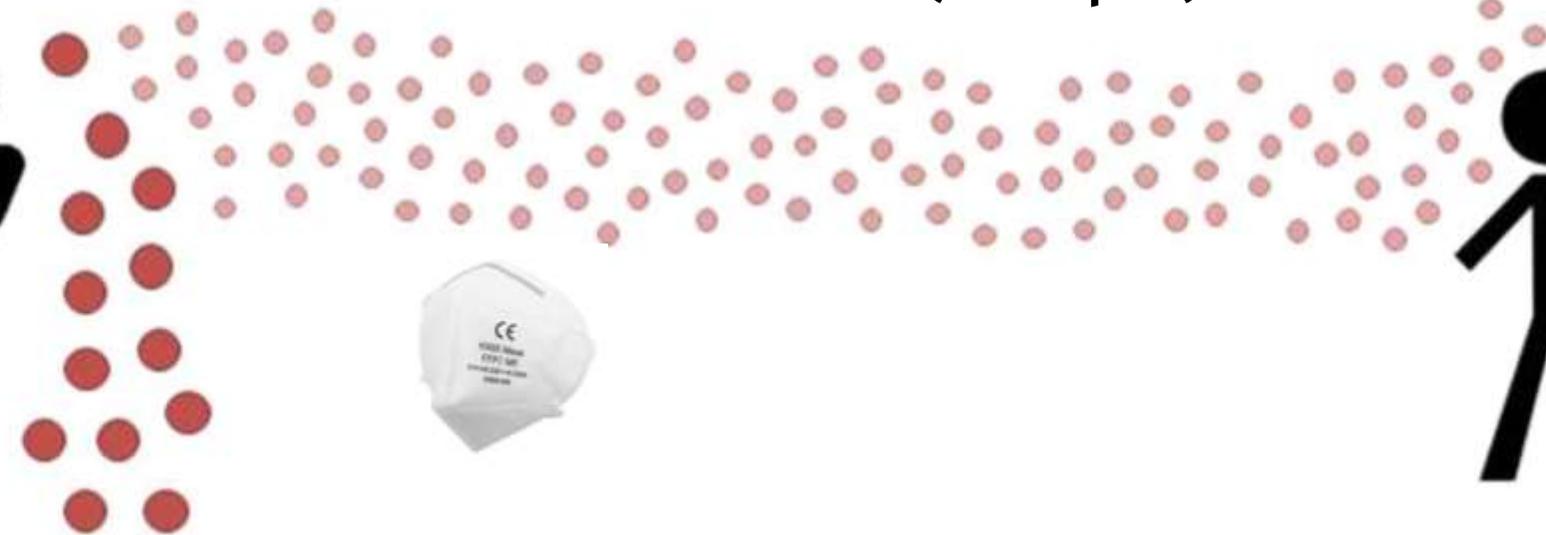
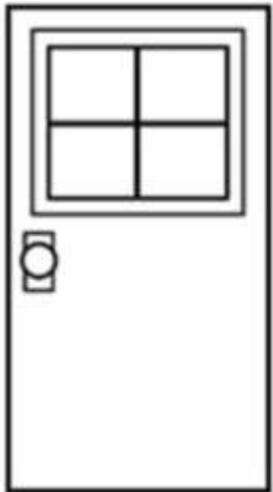
<https://www1.wdr.de/nachrichten/themen/coronavirus/corona-aerosole-innenraum-risiko-vergleich-100.html>

*Direkte
Infektion*

*Indirekte
Infektion*

„Aerosolpartikel“
($< 10 \mu\text{m}$)

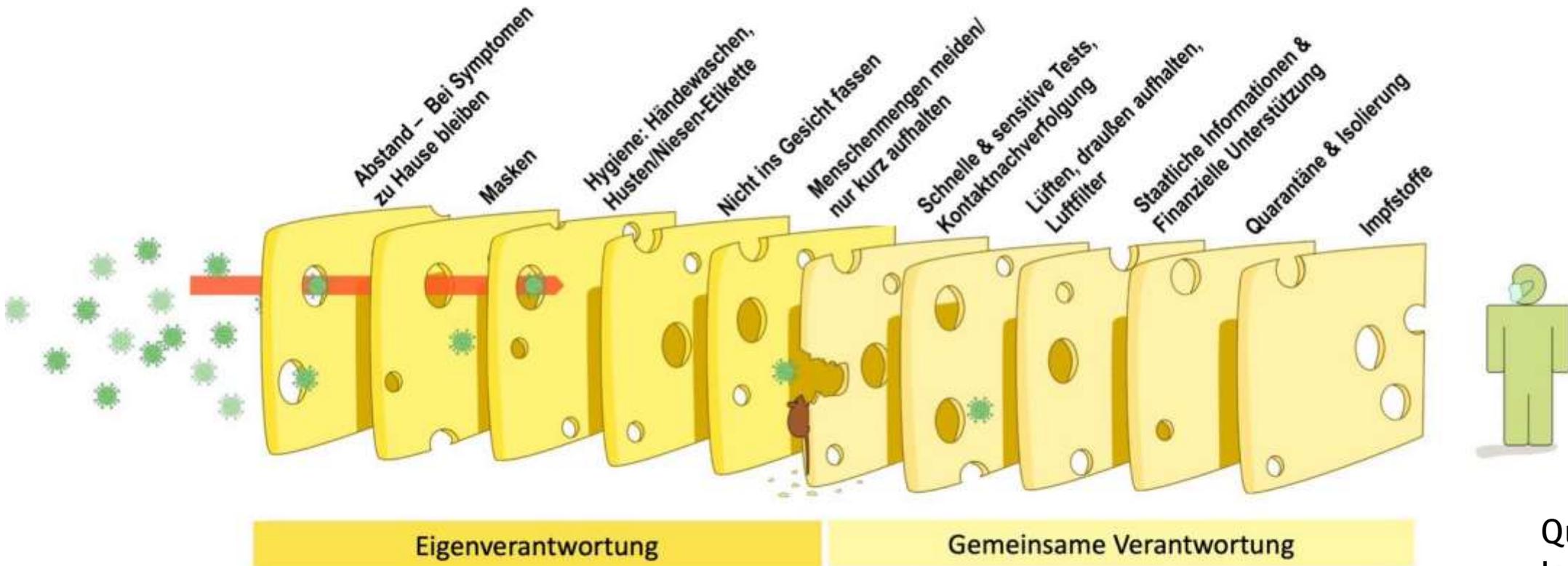
„Tröpfchen“
($> 10 \mu\text{m}$)



Keine Maßnahme allein reicht aus – additiver Schutz

Schweizer-Käse-Modell in der CORONA-Pandemie-Bekämpfung

Um eine Ausbreitung zu verhindern, bedarf es vieler Maßnahmen zusammen



Eine einzelne Maßnahme (Käsescheibe) ist nicht perfekt (Löcher).
Viele einzelne Maßnahmen (Scheiben) führen zum Erfolg!

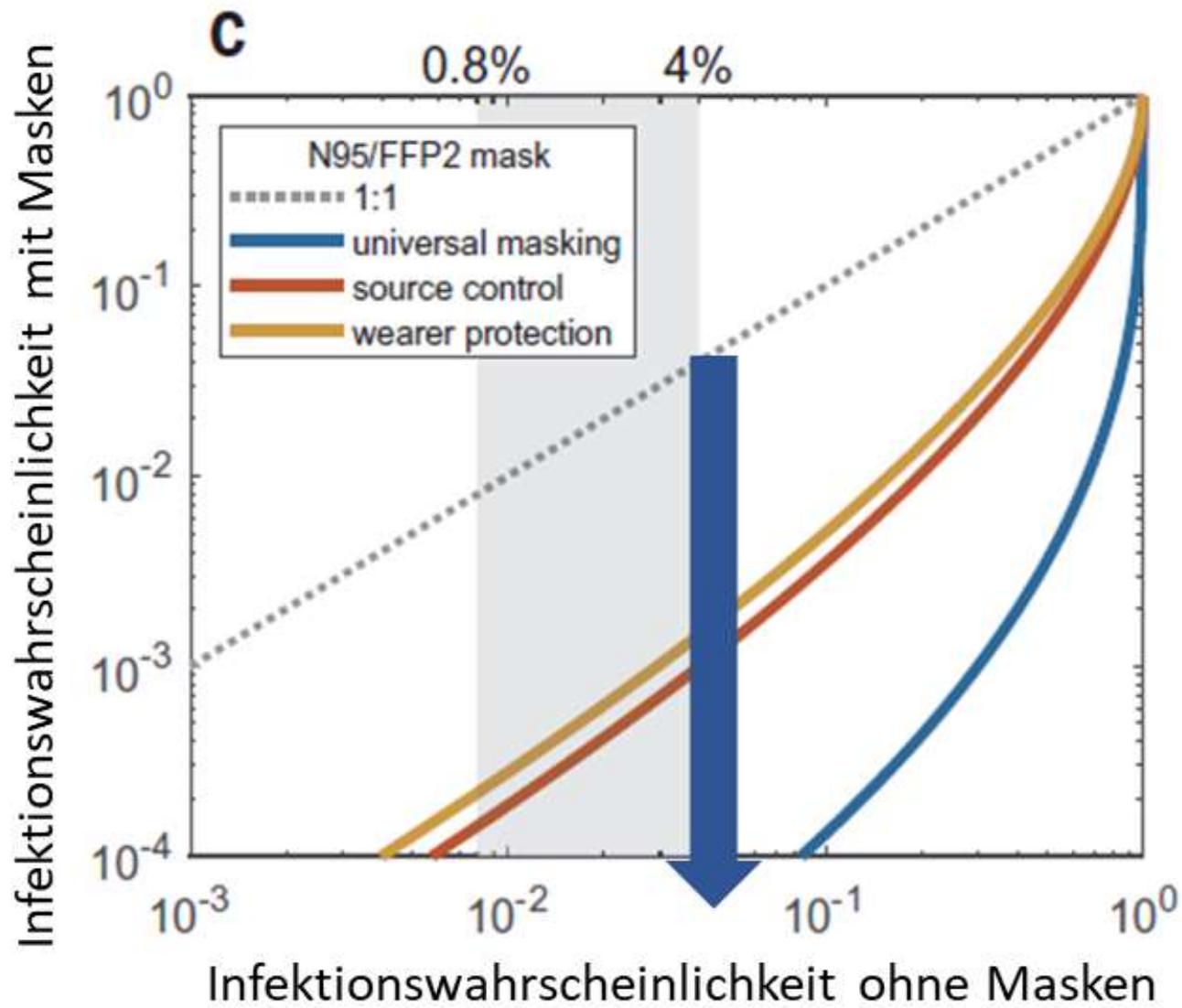
Quelle:
Ian M MacKay
CC-BY 4.0

Ian M MacKay
VIOLOGYDOWNUNDER.COM

Wirkungspotenzial von Maßnahmen

(Reduzierung Infektionswahrscheinlichkeit über Aerosole)

Maßnahme	Reduzierung in Größenordnungen	Reduzierung in %	Reduziert direkte Infektionen?	Reduziert indirekte Infektionen?	Reduziert Kohlendioxid?
OP-Masken	~ 1	~ 90 %	Ja	(Ja)	Nein
FFP2-Masken	~ 2	~ 99 %	Ja	Ja	Nein
Lüftung	~ 1	~ 90 %	Nein	Ja	Ja
Luftreiniger	~ 1	~ 90 %	Nein	Ja	Nein



FFP2-Masken:

Reduktion der Infektionswahrscheinlichkeit um mehr als zwei Größenordnung (> 99 %) gegenüber dem Fall ohne Masken



Quelle: Cheng et al. (2021) Science

Priorisierung UBA in der Pandemie

0. Hygiene / Abstand / Masken

1. Lüftung

- Raumlufotechnische Anlagen
- Fensterlüftung
- Einfache Zu- und Abluftanlagen

2. Luftreinigung

<https://www.umweltbundesamt.de/themen/lueftung-lueftungsanlagen-mobile-luftreiniger-an>

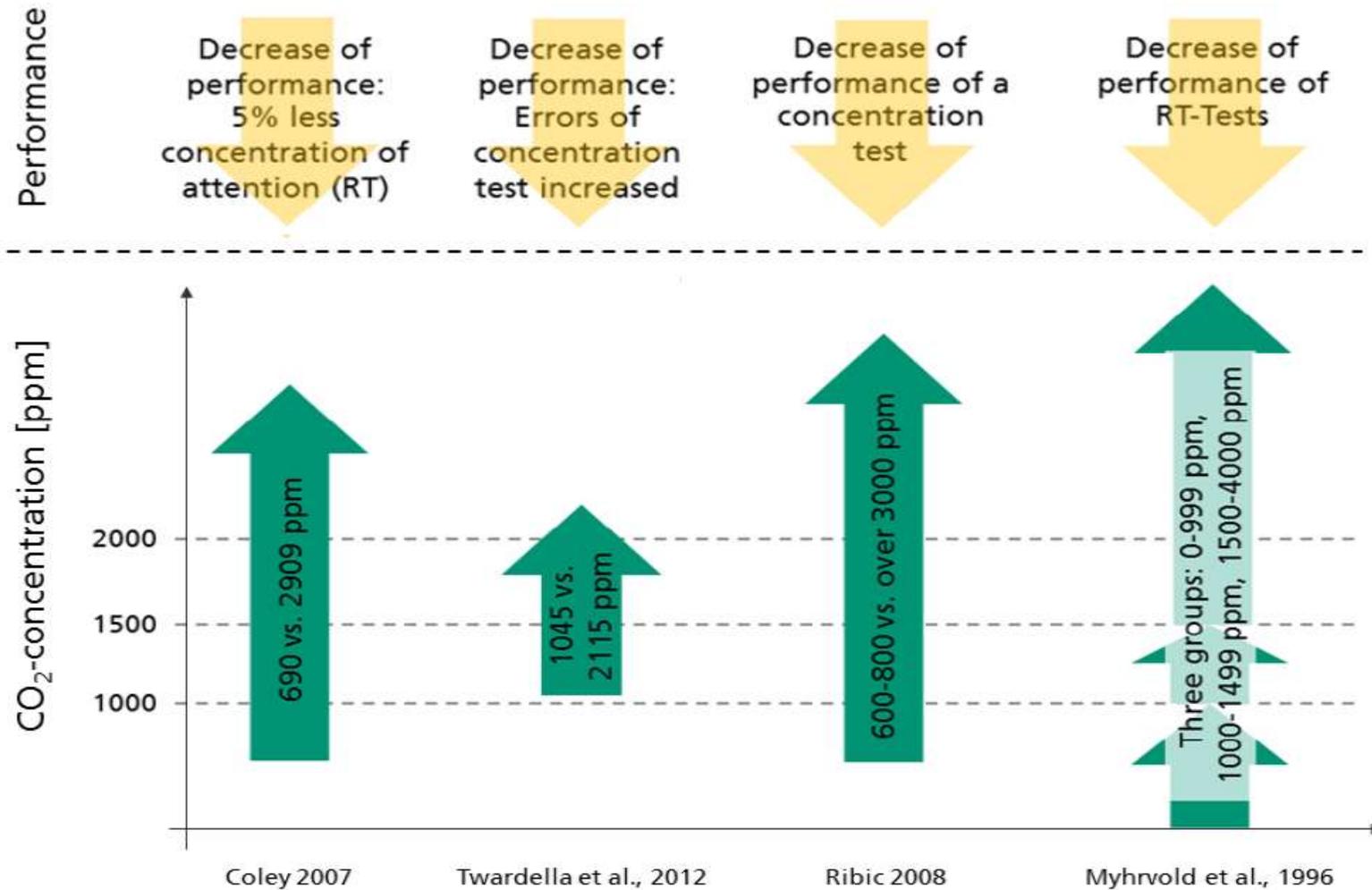
Warum Lüftung?

- **Menschliche Ausdünstungen:**
 - Aerosole (infektiös)
 - Kohlendioxid (CO₂)
 - VOC, Gerüche
 - Luftfeuchte
- **Chemische Stoffe, Staub**
- **Radon**



Bild: Umweltbundesamt

Wir müssen das CO₂ bedenken!



Grün und Urlaub (2015) Impact of the indoor environment on learning in schools in Europe. IBP, Holzkirchen, 9 S.

Anforderungen an Lüftung in stark belegten Räumen

- **Mindestens 3- bis 4-facher
Luftwechsel pro Stunde**
- **Personenbezogen:
Mindestens 30 m³ / Stunde**

Bild: Umweltbundesamt

Warum Lüftung?

- **Menschliche Ausdünstungen:**
 - Aerosole (infektiös)
 - Kohlendioxid (CO₂)
 - VOC, Gerüche
 - Luftfeuchte
- **Chemische Stoffe, Staub**
- **Radon**



Bild: Umweltbundesamt

1. Raumlufttechnische (RLT) Anlagen



zentral



dezentral

Empfehlungen des Umweltbundesamts



Für Schulen:
Zentrale bzw. dezentrale
raumluftechnische (RLT-)
Anlagen mit
Wärmerückgewinnung



„Komfortlüftung“

Thema der Kommission
für Innenraumlufthygiene
2022-2025



<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/anforderungen-an-lueftungskonzeptionen-in-gebaeuden>

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/anforderungen-lueftungskonzeptionen-wohngebaeude>

2. Fensterlüftung (freie Lüftung)

- Grundsätzlich wirksam
- Große Fensterflächen
- Effektiv bei kühlen Außentemperaturen

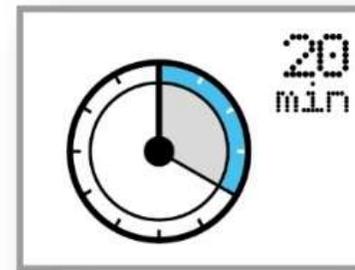
Querlüftung ›

Stoßlüftung ›

Kipplüftung

Richtig lüften im Schulalltag

So geht es schnell und effizient!



Stoßlüften: Während des Unterrichts alle 20 Minuten mit weit geöffneten Fenstern lüften.



Wie lange wird gelüftet?
Im Winter drei bis fünf Minuten, im Sommer zehn bis zwanzig Minuten.

2. Fensterlüftung (freie Lüftung)



Kipplüftung an Schulen
nur selten ausreichend

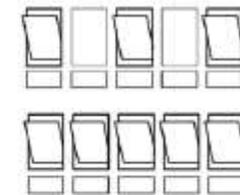
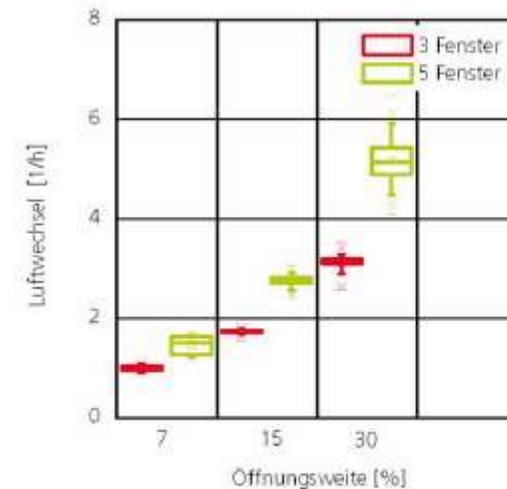


Bild 15:
Luftwechsel bei Winterbedingungen für Schwingflügel mit Übersicht der Öffnungsvarianten.

Kohlendioxid (CO₂) – ein Indikator

Leitwert: **1000 ppm**

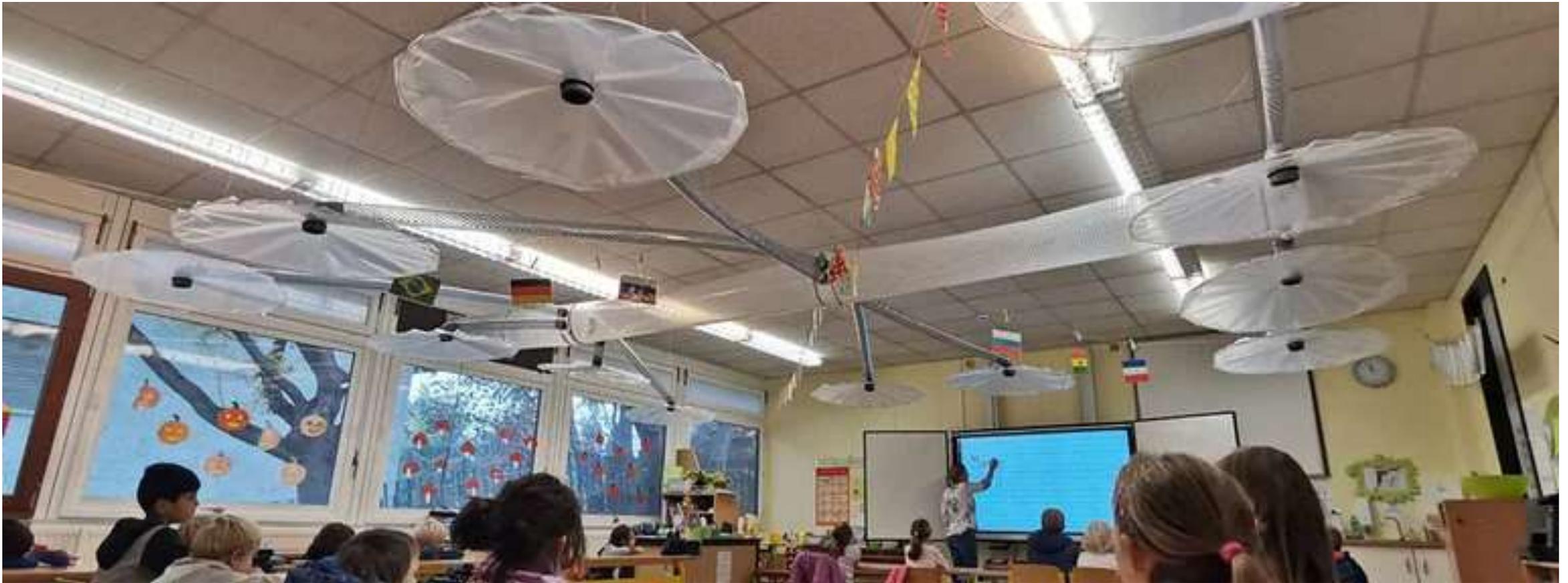
UBA (2008); ArbStättV ASR A3.6



CO₂ –
Indikator für Anteil der
verbrauchten Luft im Raum

Kein direkter Indikator für
Viruskonzentration

3. Einfache Zu- und Abluftanlagen



Quelle: MPI Mainz, <https://www.ventilation-mainz.de>

Wann Einsatz von Luftreinigern?

- **Räume Kategorie 1**
gute Lüftungsmöglichkeit
- **Räume Kategorie 2**
eingeschränkte Lüftungsmöglichkeit
Leitwert 1000 ppm CO₂ nicht erreichbar
ca. 15-25 %
- **Räume Kategorie 3**
Nicht belüftbare Räume



Gerätetypen

Stationäre Anlagen

z.B.

- Krankenhäuser
- lebensmittelverarbeitende Betriebe
- Reinraumanwendungen
- Fahrzeuginnenräume

Mobile Geräte

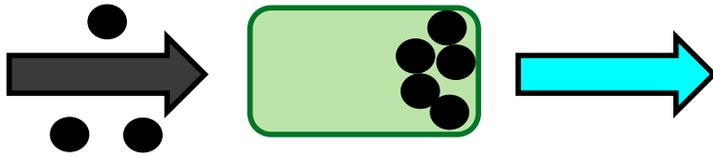
z.B.

- Privaträume
- Arztpraxen, Einzellabore
- Räume mit Publikumsverkehr
- Büros, Schulen

Bilder: DGUV, Autor

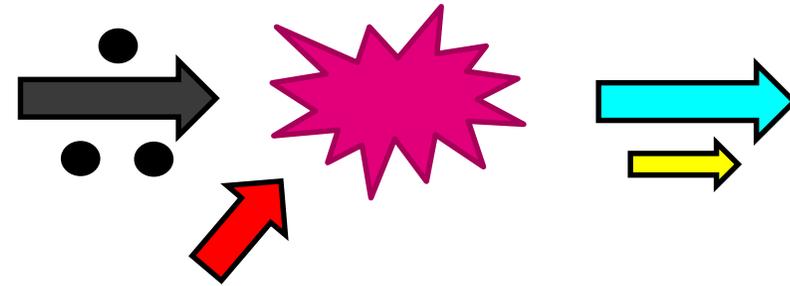
Verfahrenstypen

Passive Reinigungsverfahren



- Filtration (Partikel)
- Adsorption (Gase)

Aktive Reinigungsverfahren



- Vireninaktivierung durch UVC, Ionisation/Plasma; Photokatalyse
- Eintrag von Ozon bzw. Desinfektionsmitteln in den Raum

Kombinationsgeräte (z.B. UV-C + Partikel- bzw. Aktivkohlefilter)

Filtration



Sog. „Tiefenfilter“

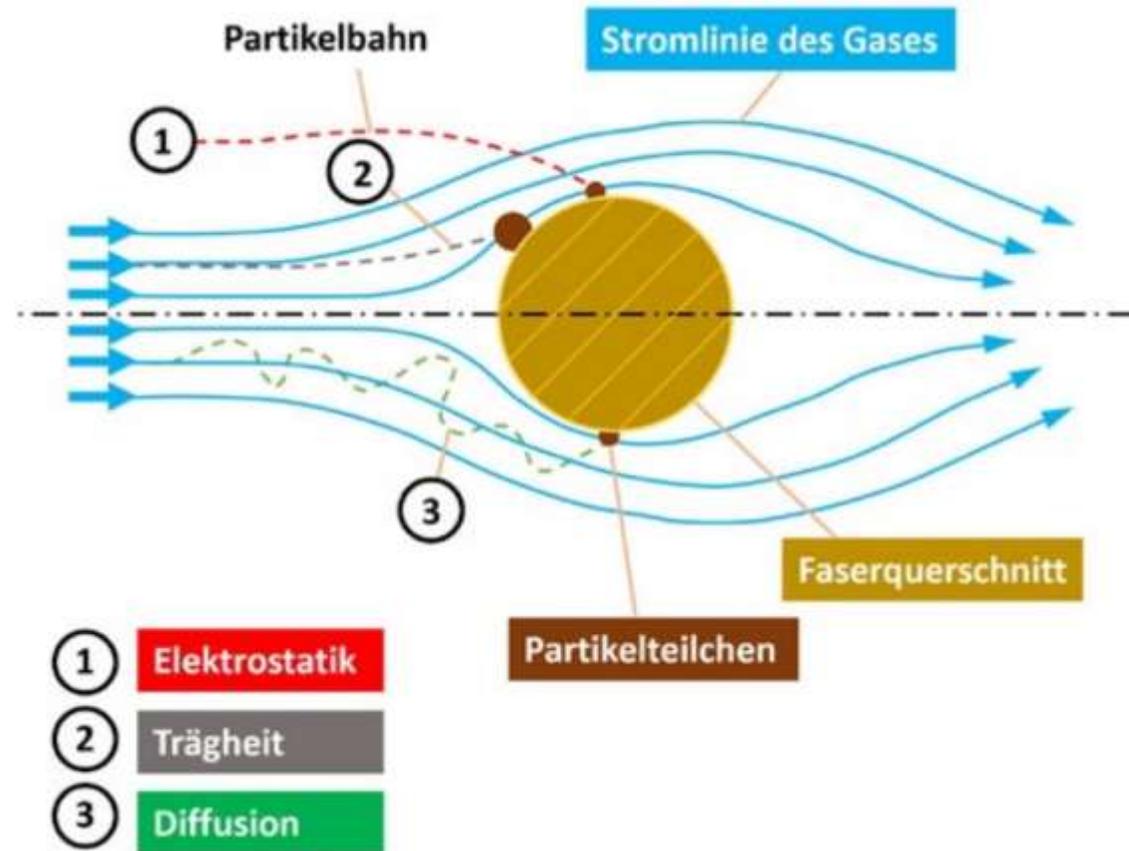


Abbildung: Wikipedia, <https://publikationen.dguv.de/widgets/pdf/download/article/3596>

Luftreinigung durch UV-C

Entscheidend für die Wirkung (Inaktivierung) ist die Dosis:
Bestrahlungsstärke x Bestrahlungszeit

Hängt stark von Zielorganismus ab
Generelle Wirksamkeit gegenüber SARS-CoV-2 inzwischen belegt

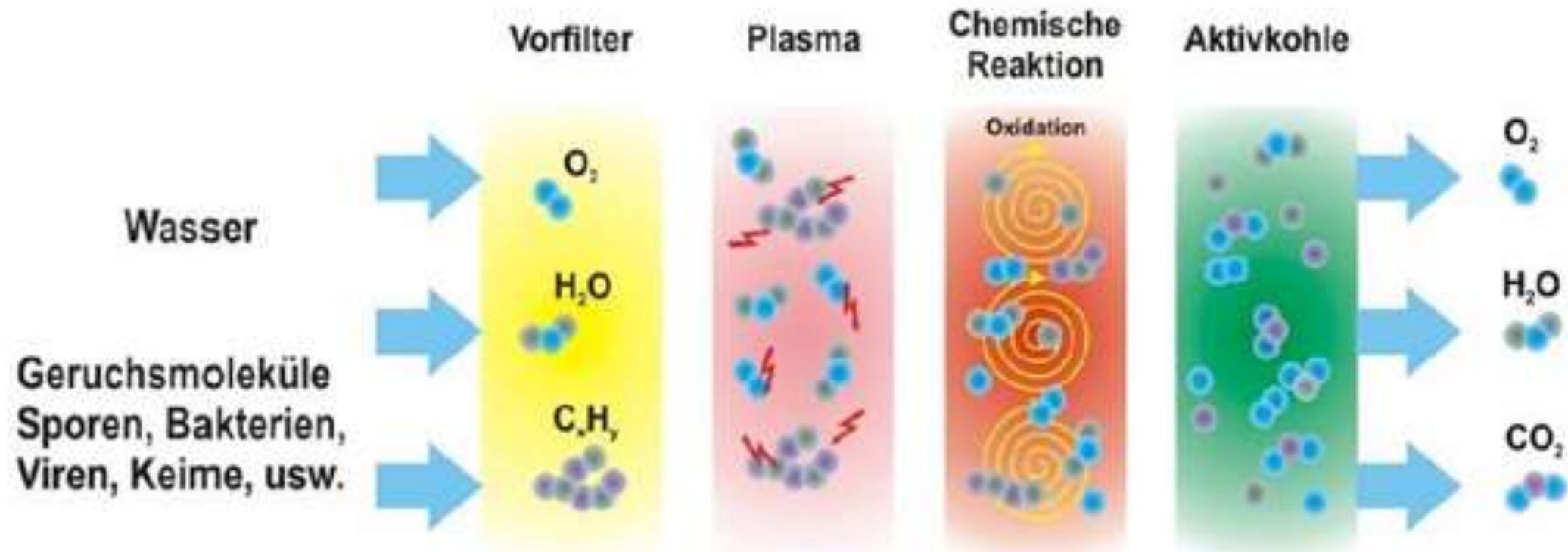
Teil von
RLT-Anlage

Geschlossene Systeme

(Teil-)offene Systeme

<https://www.baulinks.de/webplugin/2020/1075.php4>

Luftreinigung durch Ionisation/Plasma



Pierenkemper und Martin (2021) Luftdesinfektion mit Plasmatechnologie: Grundlagen und Potenzial in der Epidemiebekämpfung, 118 S., <https://www.aernovir.com/>

Mobile Luftreiniger



VDI-Expertenempfehlung 4300 Blatt 14
„Anforderungen an mobile Luftreinigungsgeräte“

- Betriebssicherheit
- Ausreichende **Reinigungsleistung** (4 x Raumvolumen/h)
- Geräusentwicklung (< 35 dB (A))
- Behaglichkeit
- Vermeidung unerwünschter Nebenprodukte (Ozon)

Luftreiniger können weder das Lüften noch
AHA-Maßnahmen ersetzen!



<https://www.vdi.de/news/detail/anforderungen-an-mobile-luftreiniger>

Was gibt es aus umweltmedizinischer Sicht zu bedenken?

Wirksamkeit von



Dynamische Prozesse!

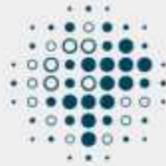
- Lüftung
- Luftreinigungsgeräten
- Masken
- Abstandsregelungen

Infektionsdosis und
andere Viruseigenschaften
relevant!

Was gibt es aus umweltmedizinischer Sicht zu bedenken?



MAX-PLANCK-INSTITUT
FÜR CHEMIE



ENGLISH

Suche



Eigenschaften der infizierten Person

Lautstärke [1=leise, 3=laut, 4..9=singen/schreien]	<input type="text" value="2"/>
Masken-Filtereffizienz (Ausatmen) [0-1; OP-Maske ~0.7, Alltagsmaske (zwei-lagiger Stoff) ~0.5]	<input type="text" value="0"/>
Redeanteil [0-100%]	<input type="text" value="10"/>
Atemzeitvolumen [l/min] [7.5-15; Erwachsener=10]	<input type="text" value="10"/>

Raumeigenschaften

Luftaustauschrate [pro h] [0.35=kein direktes Lüften, 2=einmaliges Stoßlüften pro h, 6=öffentliche Gebäude/z.B. Supermarkt]	<input type="text" value="0,35"/>
Reinluftfördermenge, Luftreiniger (CADR) [m³/h]	<input type="text" value="0"/>
Grundfläche [m²]	<input type="text" value="60"/>
Höhe [m]	<input type="text" value="3"/>

Veranstaltungsdetails

Aerosol-Eigenschaften (für Experten)

effektiver Volumendurchmesser [µm]	<input type="text" value="5"/>
Partikelausstoß beim Atmen [#/cm³]	<input type="text" value="0,06"/>
Partikelausstoß sprechen [#/cm³]	<input type="text" value="0,6"/>
Abscheideeffizienz Lunge	<input type="text" value="0,5"/>

1g

Viruseigenschaften (für Experten)

RNA Dosis für 50% Infektionsrate, D ₅₀ [100-1000]	<input type="text" value="316"/>	„Aerosol“
RNA Konzentration in Flüssigkeit, C _v [copies/mL] [1e8-1e11]	<input type="text" value="1e+10"/>	<u>0.3390</u>
Die angegebene virale RNA-Konzentration von etwa 5×10^8 /mL stellt die Kategorie hochinfektiöser Patienten dar und repräsentiert ungefähr 20% der positiv auf SARS-CoV-2 getesteten Personen.		
Überlebenszeit in Luft [h]	<input type="text" value="1,7"/>	
Immunisierungs Effektivität [%]	<input type="text" value="72"/>	

Was gibt es aus umweltmedizinischer Sicht zu bedenken?

Review April 2021: An accurate quantitative estimate of the **infective dose** of SARS-CoV-2 in humans is not currently feasible and **needs further research**. Our review suggests that it is small, **perhaps about 100 particles**.

Further work is also required on the **relationship between routes of transmission, infective dose, coinfection** and outcomes.

Dynamische Prozesse!

Infektionsdosis
und andere Viruseigenschaften relevant!

Karimzadeh S, Bhopal R, Nguyen Tien H (2021). Review of infective dose, routes of transmission and outcome of COVID-19 caused by the SARS-COV-2: comparison with other respiratory viruses. *Epidemiology and Infection* 149, e96, 1–8.

Was gibt es aus umweltmedizinischer Sicht zu bedenken?

Review Januar 2022: Higher viral load and infectivity increase risk of aerosol transmission for Delta and Omicron variants of SARS-CoV-2

From an aerosol transmission perspective, the shift towards a **larger proportion of very high emitting individuals, together with the strongly reduced critical dose**, seem to be two important drivers of the aerosol risk, and are likely contributing to the observed rapid spread of the Delta and Omicron variants of concern.

Swiss Med Wkly. 2022;152:w30133: Higher viral load and infectivity increase risk of aerosol transmission for Delta and Omicron variants of SARS-CoV-2

Dynamische Prozesse!

Infektionsdosis, **Ort der Virusreplikation** und andere Viruseigenschaften relevant!

Was gibt es aus umweltmedizinischer Sicht zu bedenken?

Table 2:

Consequences of lower critical doses for frequent public situations in the presence of a super-emitter. Everybody is wearing surgical masks unless otherwise indicated (partly reproduced from [2] under CC BY 4.0). ACH: air changes per hour. Vocal intensity: "talk" = low intensity vocal activity. Interpretation: "critical" = above critical dose, "very critical" = more than twice critical dose.

Scenario	Dose in far field [copies received]	Interpretation for virus variant		
		WT	Delta	Omicron
4 hours in small office (50 m ³ , 1 ACH), 5% talk	479	OK	Critical	Very critical
4 hours in open space office (1,000 m ³ , 1 ACH), 5% talk	24	OK	OK	OK
4 hours in open space call centre (1,000 m ³ , 1 ACH), 60% talk	100	OK	OK	Borderline
2 hours in meeting room (100 m ³ , 3 ACH), 50% talk, 5% loud	390	OK	Critical	Very critical
30 minutes in small shop / boutique (100 m ³ , 3 ACH), 20% talk	451	OK	Critical	Very critical
2 hours in restaurant (500 m ³ , 1 ACH), 20% talk, emitter no mask	153	OK	OK	Critical
2 hours in disco (300 m ³ , 3 ACH), 20% loud, 50% heavy dancing, receiver only FFP2	379	OK	Critical	Very critical
1 hour travel by train (57 m ³ , 7.1 ACH), 20% talk	40	OK	OK	OK
1 hour travel by train (57 m ³ , 7.1 ACH), 20% talk, emitter no mask	180	OK	OK	Critical
30-minute trolleybus ride (100 m ³ , 2 ACH), 20% talk, emitter no mask	220	OK	OK	Critical

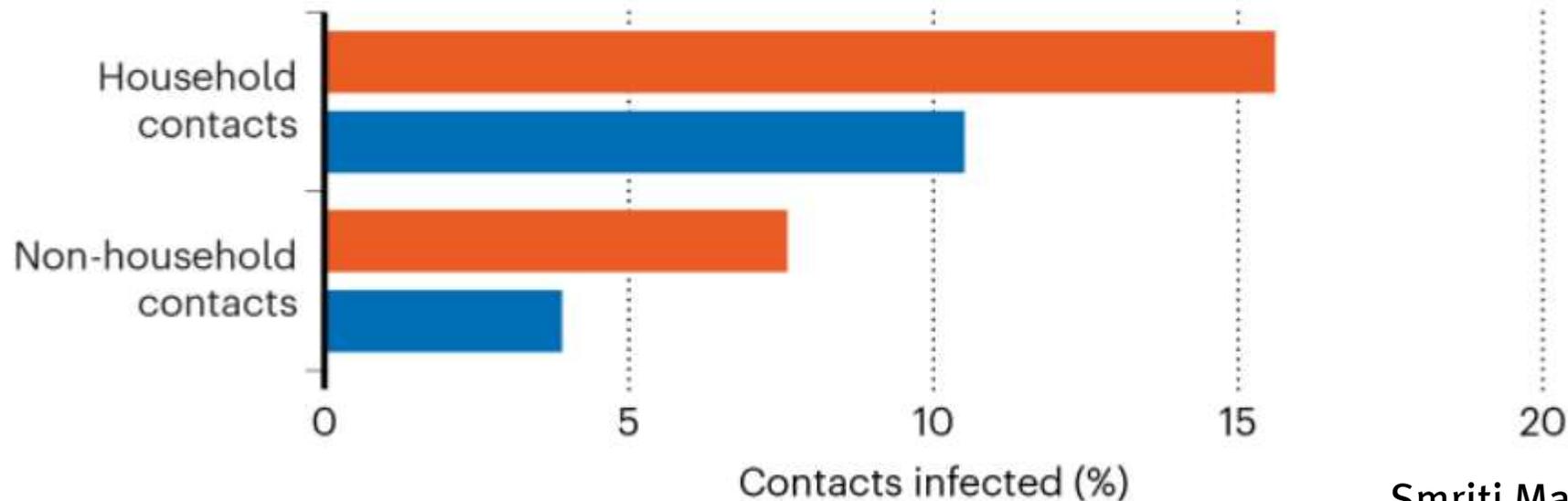
Swiss Med Wkly. 2022;152:w30133: Higher viral load and infectivity increase risk of aerosol transmission for Delta and Omicron variants of SARS-CoV-2

Was gibt es aus umweltmedizinischer Sicht zu bedenken?

COMPARING VARIANTS

People infected with the Omicron variant pass it on to more close contacts than people infected with Delta, regardless of their vaccination status.

■ Omicron ■ Delta



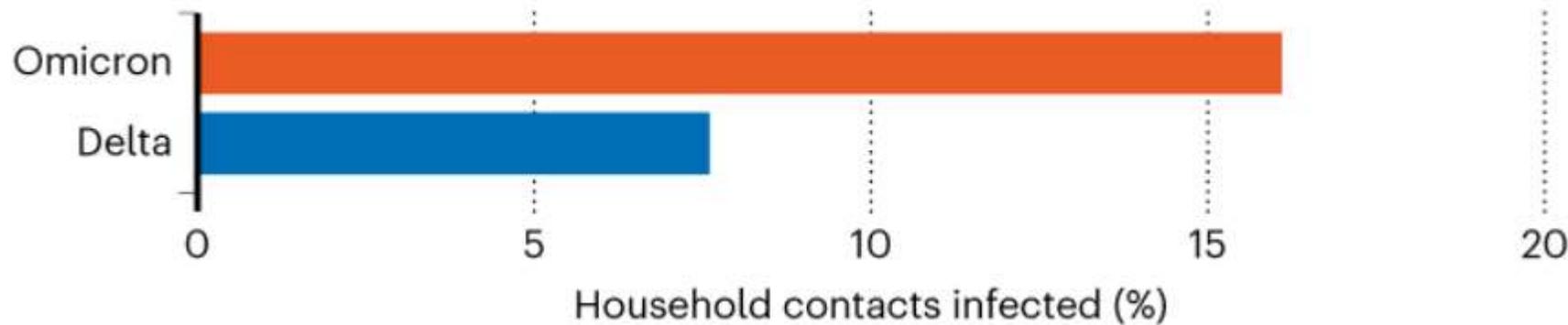
©nature

Smriti Mallapaty: COVID-19: How Omicron overtook Delta in three charts
<https://www.nature.com/articles/d41586-022-00632-3>

Was gibt es aus umweltmedizinischer Sicht zu bedenken?

THE VACCINE EFFECT

Someone who has received three vaccination doses is more likely to catch Omicron than Delta from someone in their household.



©nature

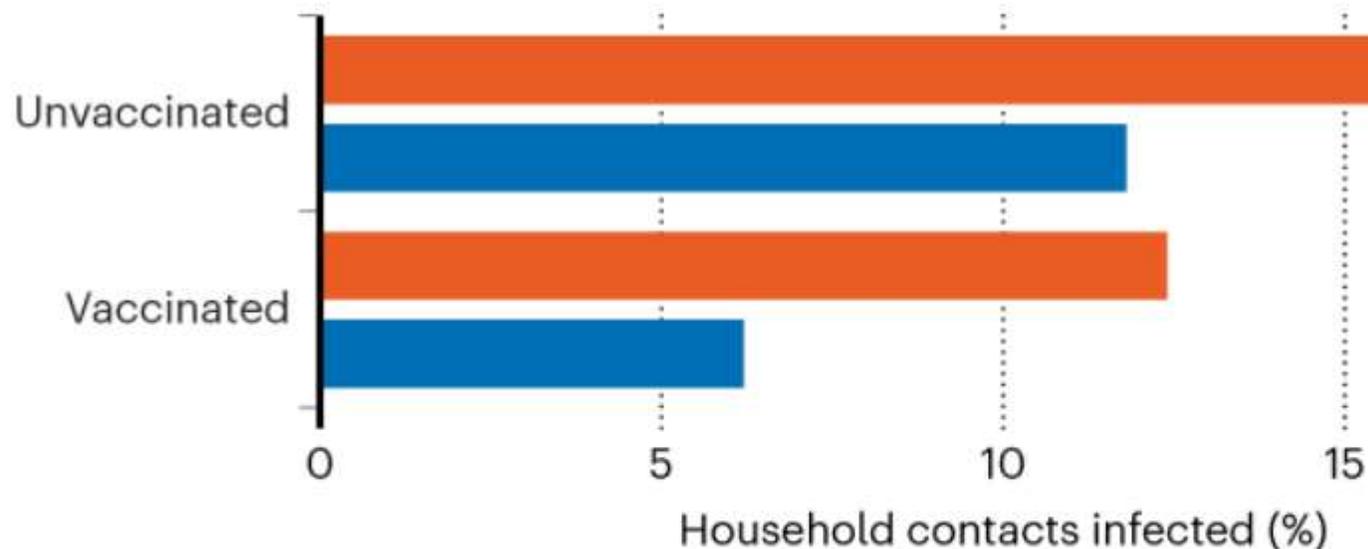
Smriti Mallapaty: COVID-19: How Omicron overtook Delta in three charts
<https://www.nature.com/articles/d41586-022-00632-3>

Was gibt es aus umweltmedizinischer Sicht zu bedenken?

BLOCKING TRANSMISSION

Someone who has received three vaccination doses is less likely to spread the Delta or Omicron variant to household members than an unvaccinated person. But vaccines are not as efficient at blocking transmission of Omicron.

■ Omicron ■ Delta



©nature

Smriti Mallapaty: COVID-19: How Omicron overtook Delta in three charts
<https://www.nature.com/articles/d41586-022-00632-3>

Keine Maßnahme allein reicht aus – Einzelmaßnahmen und deren Schwächen

Einzel-Maßnahmen	Probleme/Risiken	Wirksamkeit abhängig von
Lüften	Kälte, Zugluft	Außentemperatur, Wind
Luftreiniger	Anströmung, Funktion, Wartung	Aufstellort, Kapazität
Masken	Toleranz, korrekter Sitz, Disziplin, Art der Maske	Sitz und Dichtigkeit der Maske
Abstände	Praktikabilität	Anzahl der Personen in Räumen
Allg. Hygienemaßnahmen	Disziplin, Praktikabilität	Alter und Compliance
Testen	Durchführung, Kosten, Zeitliches Ansprechen der Tests	Sensitivität/Spezifität
Impfung	Abhängig von Zeit, Freiwilligkeit	Alter und individuelle Eigenschaften des Immunsystems

Empfehlungen des Umweltbundesamts



Für Schulen:
Zentrale bzw. dezentrale
raumluftechnische (RLT-)
Anlagen mit
Wärmerückgewinnung



„Komfortlüftung“

Thema der Kommission
für Innenraumlufthygiene
2022-2025



<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/anforderungen-an-lueftungskonzeptionen-in-gebaeuden>

<https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/anforderungen-lueftungskonzeptionen-wohngebaeude>

Leitthema

Bundesgesundheitsbl

<https://doi.org/10.1007/s00103-021-03452-4>

Eingegangen: 2. Juli 2021

Angenommen: 19. Oktober 2021

© Der/die Autor(en) 2021



Wolfram Birmili¹ · Hans-Christoph Selinka¹ · Heinz-Jörn Moriske² · Anja Daniels¹ · Wolfgang Straff¹

¹Umweltbundesamt, Abteilung II 1 „Umwelthygiene“, Berlin, Deutschland

²Umweltbundesamt, Beratungsstelle Umwelthygiene II BU, Dessau, Deutschland

Lüftungskonzepte in Schulen zur Prävention einer Übertragung hochinfektiöser Viren (SARS-CoV-2) über Aerosole in der Raumluft

<https://doi.org/10.1007/s00103-021-03452-4>