

# fhuture

## Nachhaltige und gesunde Raumlüftung und Klimatisierung nicht nur zu Pandemiezeiten

Britta Füngers B.Eng.  
Christian Schlüter B.Eng.  
Jonathan Klein B.Eng.  
Yannick Hetkämper  
Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting

(Filtertechnik)  
(Berechnungsgrundlagen)  
(TGA-Systeme)  
(Schullüftung)



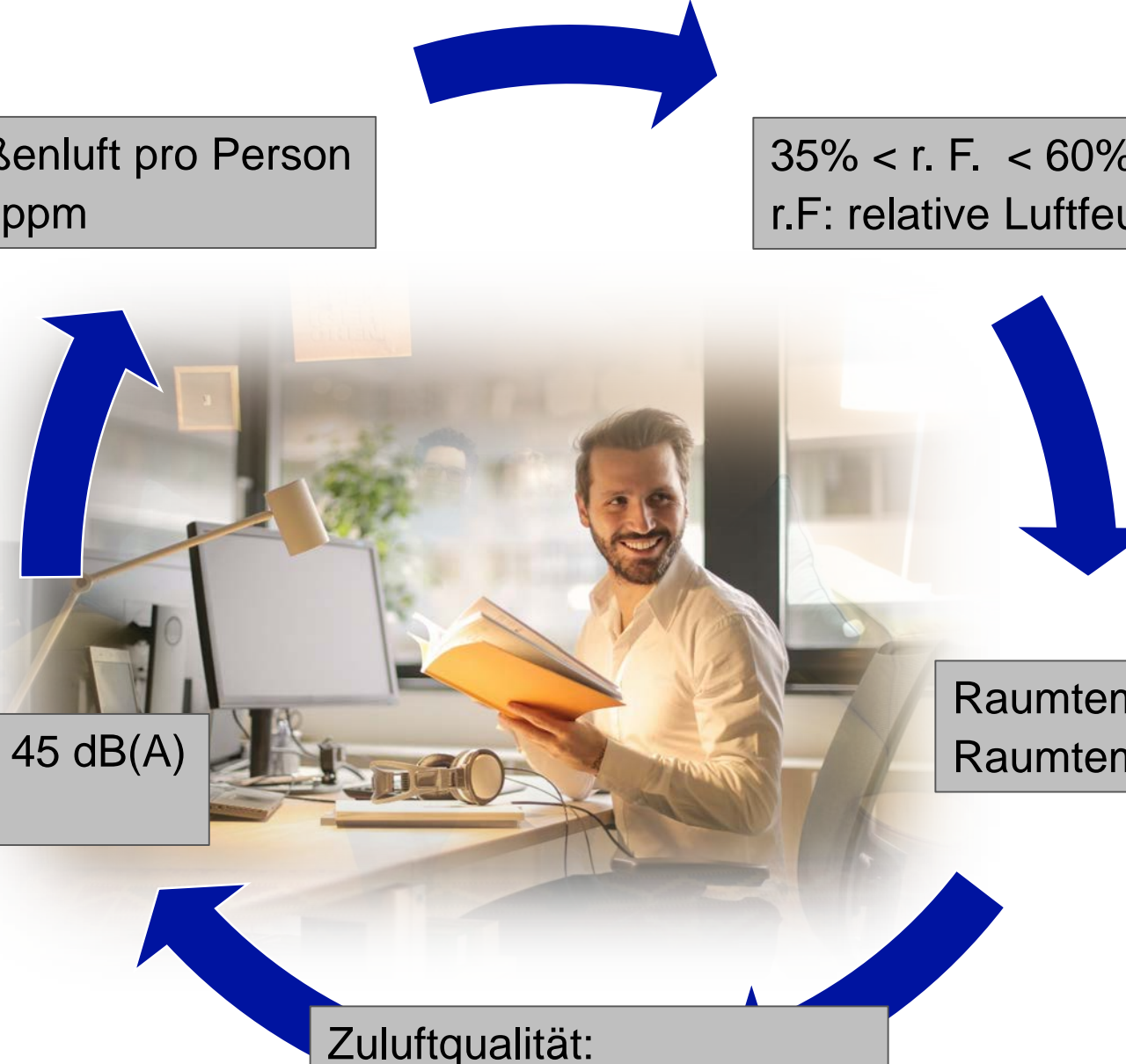
~40m<sup>3</sup>/h Außenluft pro Person  
CO<sub>2</sub> < 1000 ppm

35% < r. F. < 60%  
r.F: relative Luftfeuchtigkeit

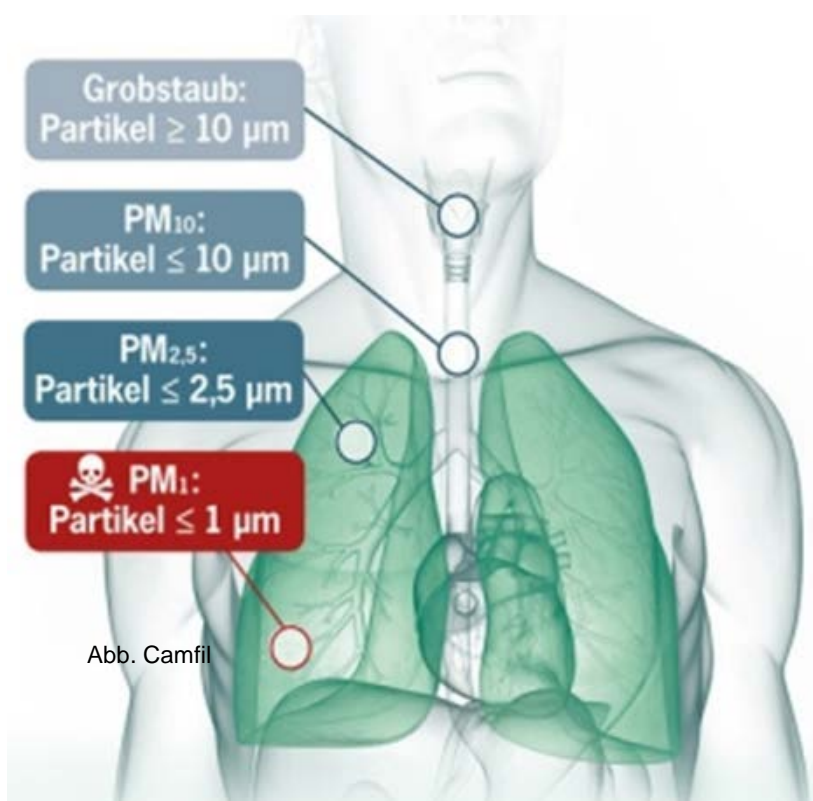
35 dB(A) < L<sub>p</sub> < 45 dB(A)

Raumtemp: > 20°C (Winter)  
Raumtemp. < 26°C (Sommer)

Zuluftqualität:  
SUP2, nach DIN EN 16798



# Aerosole und Staubpartikel



Je kleiner die Partikelgröße, desto tiefer können Feinstäube in den menschlichen Körper eindringen. Umso wichtiger ist es, Luftfilter einzusetzen, die in hohem Maße Partikel kleiner als  $1 \mu\text{m}$  abscheiden (PM1).

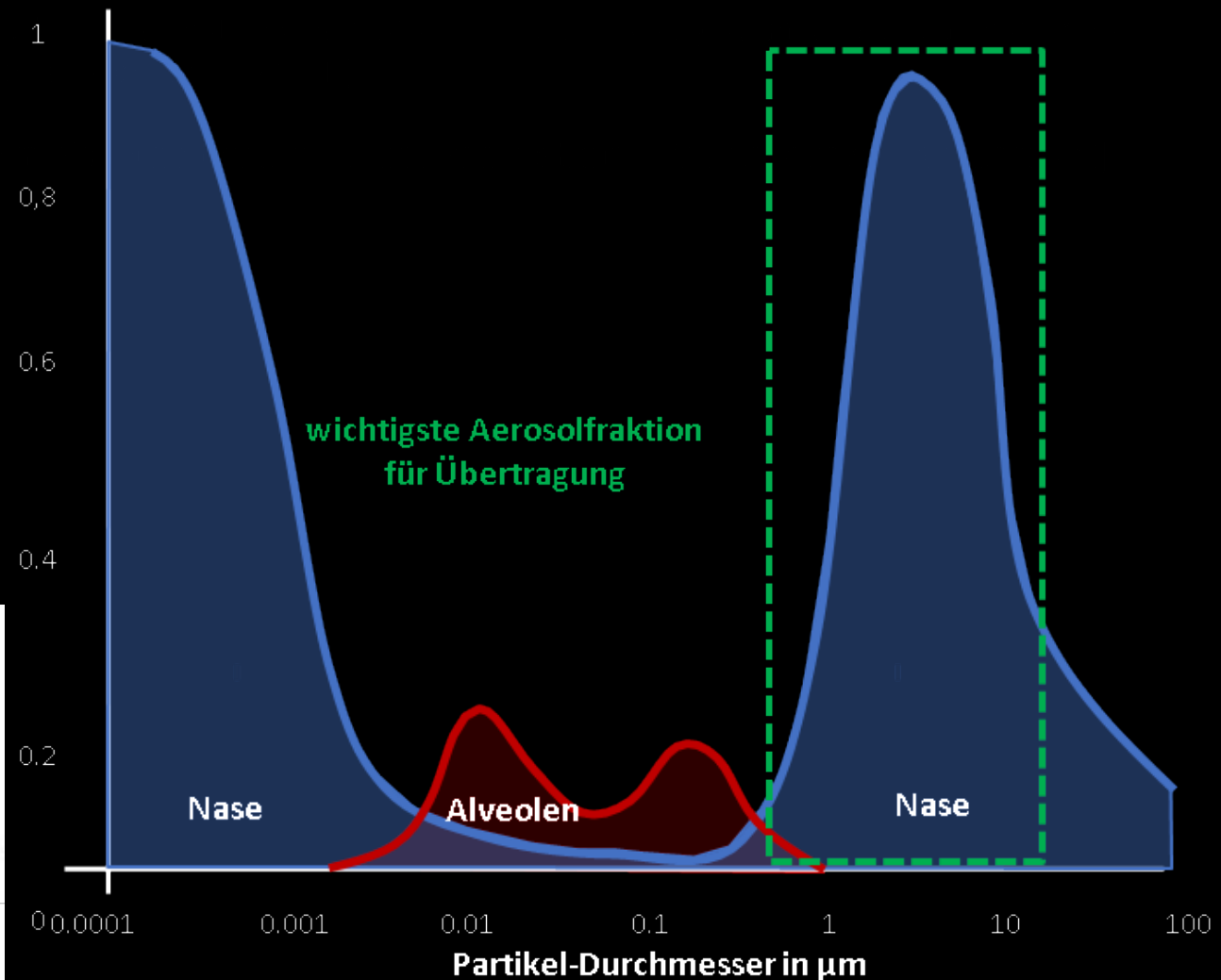
PM1-Luftschadstoffe haben sich in diesem Zusammenhang als die größten Krankheitsverursacher erwiesen. In städtischer Außenluft machen sie sogar mehr als 90 % aller darin befindlichen Feinstaubpartikel aus.

## Gefährlicher Feinstaub

Feinstaub ist generell gefährlich, weil der menschliche Körper keine natürlichen Schutz-mechanismen dagegen aufbietet. Feinstaub wird über die Atemwege aufgenommen und ein erheblicher Anteil seiner PM1-Partikel kann sogar über die Lunge in den Blutkreislauf gelangen. Die Konsequenzen sind fatal. So sterben laut internationaler Energieagentur **weltweit 6,5 Millionen Menschen** pro Jahr vorzeitig an den Folgen von Luftverunreinigungen in Innen- und Außenbereichen; davon **rund 600.000 in der Europäischen Union**. Die häufigsten Todesursachen sind Herz-Kreislauf-, Krebs- und Atemwegenerkrankungen. Auch der Einfluss auf Demenzerkrankungen ist inzwischen nachgewiesen. Mit den negativen Auswirkungen auf die Gesundheit sind außerdem immense Kosten für die Gesellschaft und Wirtschaft verbunden.



Ablagerungsfraktion



Unter der Schirmherrschaft des  
  
 Bundesministerium für Wirtschaft und Energie



**Dr.med. Walter Hugentobler**  
 Hausarzt, medizinischer Berater, Raumklima-Experte



# Das Risiko an COVID zu erkranken

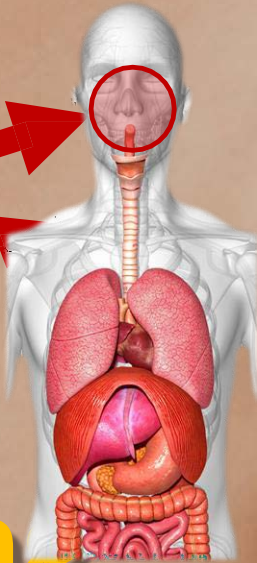
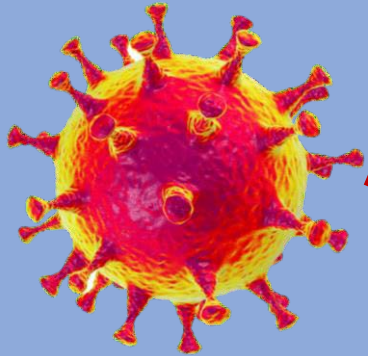
Unter der  
Schirmherrschaft des

Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie



**Dr.med. Walter Hugentobler**

Hausarzt, medizinischer Berater, Raumklima-Experte



**... ist am geringsten bei Nasenatmung  
weil dort unsere Abwehr am stärksten ist**

# Aktueller Stand in der Forschung

## Abschätzung der Außenluftmenge / Umluftfilterleistung, bei Mischlüftung

Neueste Erkenntnisse zeigen eine Abhängigkeit des Infektionsrisikos von der Zeitdauer zwischen der kompletten Raumlüftung und der Außen-, bzw. gefilterten Umluftmenge:

Je größer der Zeitraum zwischen einer kompletten Raumpülung, um so größer sind die geforderten sauberen Um-, bzw. Frischluftmengen:



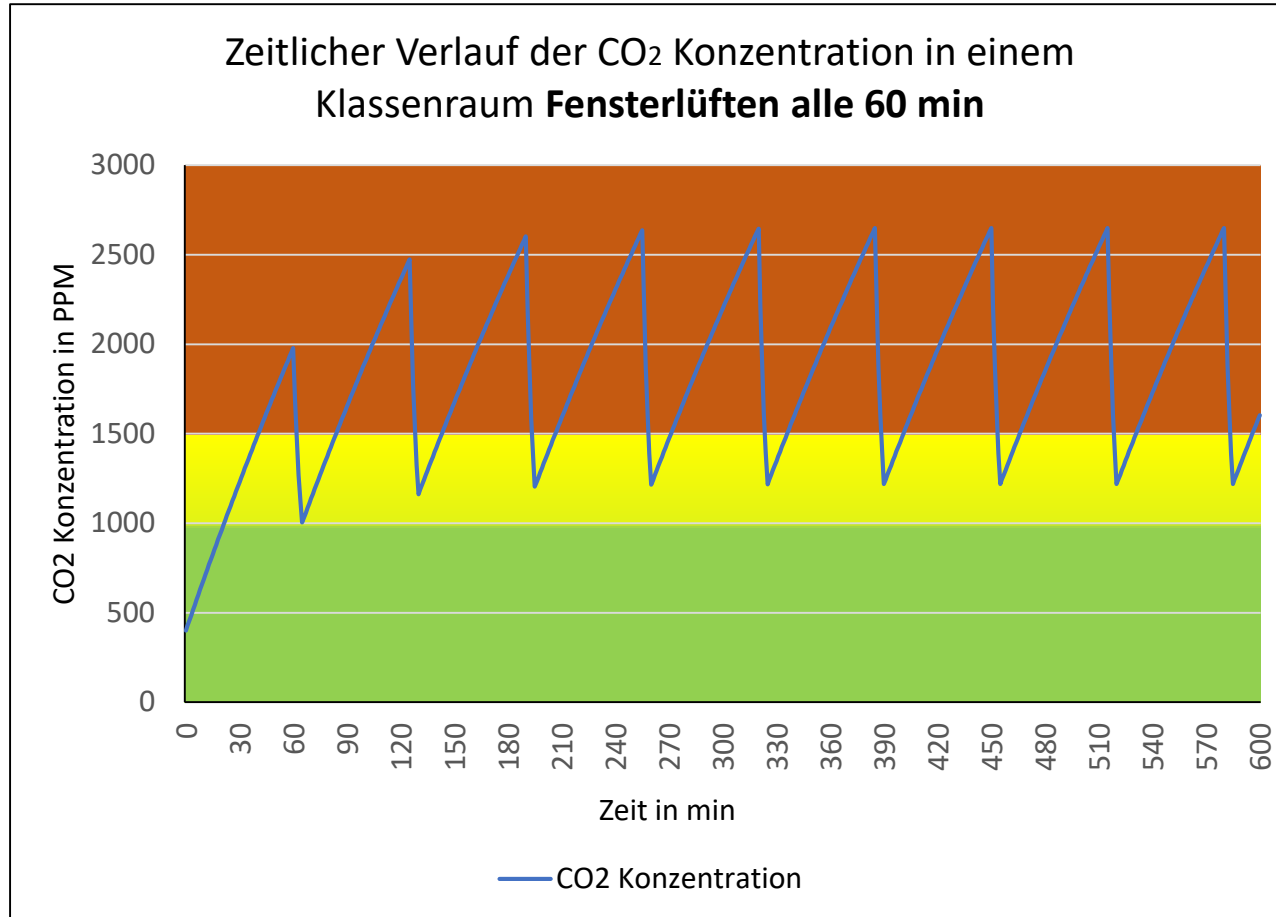
Quelle Kampmann:  
<https://www.ka-520.de/products/luftreiniger-ka-520-2xl>

*Required volume flow at a certain exposure time for a defined PIRA*

| Predicted Infection Risk<br>via Aerosols (PIRA) |   | PIRA                    |                        |                        |
|---|---|-------------------------|------------------------|------------------------|
|   |   | 1%                      | 5%                     | 10%                    |
| exposure<br>time in h                           | 1 | 7500 m <sup>3</sup> /h  | 1500 m <sup>3</sup> /h | 750 m <sup>3</sup> /h  |
|   | 2 | 15000 m <sup>3</sup> /h | 3000 m <sup>3</sup> /h | 1500 m <sup>3</sup> /h |
|   | 3 | 22500 m <sup>3</sup> /h | 4500 m <sup>3</sup> /h | 2250 m <sup>3</sup> /h |

Quelle:  
**PREDICTED INFECTION RISK FOR AEROSOL TRANSMISSION OF SARS-COV-2**  
Martin Kriegel<sup>1</sup>, Udo Buchholz<sup>2</sup>, Petra Gastmeier<sup>3</sup>, Peter Bischoff<sup>3</sup>, Inas Abdelgawad<sup>4</sup>, Anne Hartmann<sup>1</sup>

# Außenluftvolumenstrom

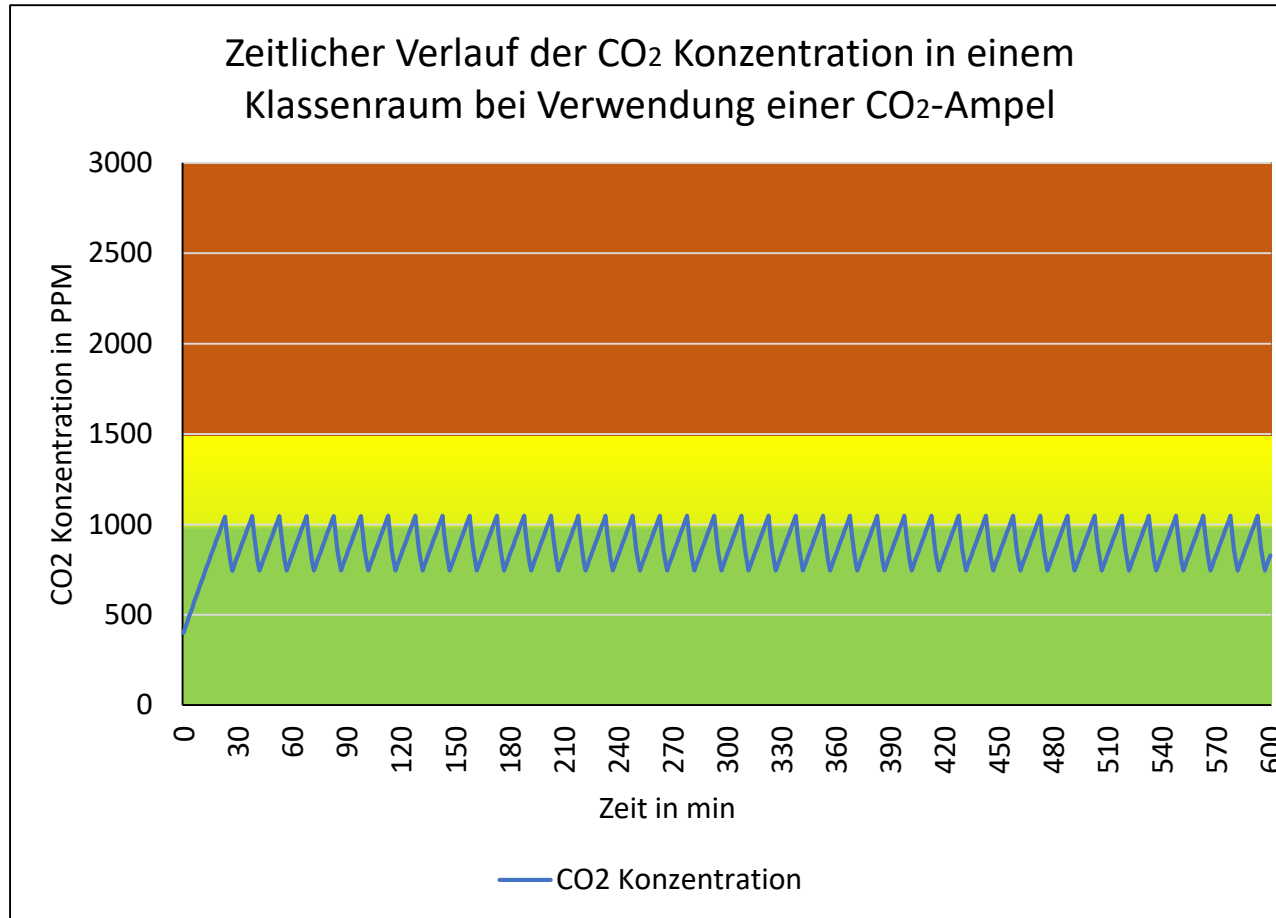


- 250 m<sup>3</sup> Raumvolumen
- 29 Personen
- alle 60 min für 5 min lüften

- Dauerhaftes Überschreiten des CO<sub>2</sub> Grenzwertes
- Kopfschmerzen
- Übelkeit
- Müdigkeit
- Konzentrationsschwierigkeiten



# Außenluftvolumenstrom



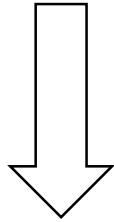
- 250 m<sup>3</sup> Raumvolumen
- 29 Personen
- Resultat: alle 15 min für 3 min lüften

- Energieverschwendung
- Behaglichkeit sinkt
  - Zugluft
  - Temperatur
- Raumluftfeuchtigkeit sinkt
- Staubbelastung steigt

# Fensterlüftung

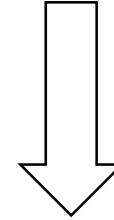
## Fensterlüftung Klassenraum

- keine Wärmerückgewinnung
- 10 kW Heizleistung gehen **verloren**

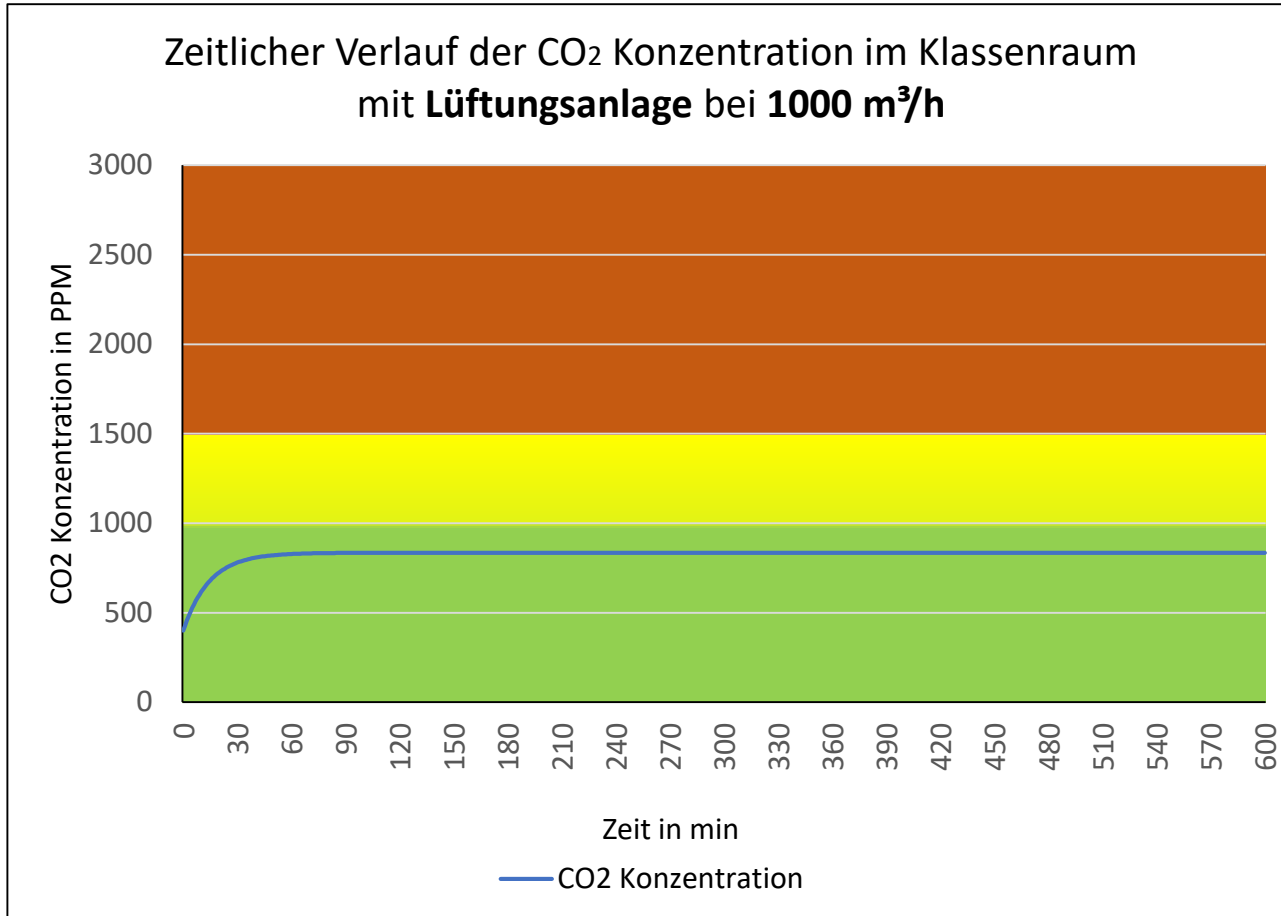


## Lüftungsanlage Klassenraum

- Wärmerückgewinnung 75 % +  
Personenwärme → **keine Heizung  
notwendig**



# Außenluftvolumenstrom

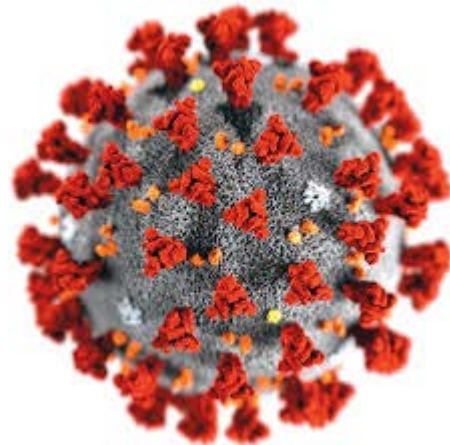


- 250 m<sup>3</sup> Raumvolumen
- 29 Personen
- 4-facher Luftwechsel, 1000 m<sup>3</sup>/h
  
- Behaglichkeit sehr gut
  - keine Zugluft
  - Temperatur
- Leise
- Wärme- und Feuchterückgewinnung
- Konzentriertes Arbeiten
- Definierte Außenluftmengen

# Auswirkungen der Luftfeuchtigkeit in Bezug auf Viren

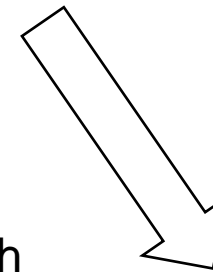
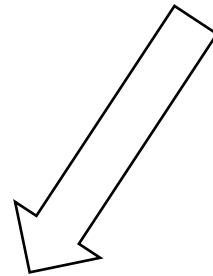
## Viren

- Inaktivierung
- Emission

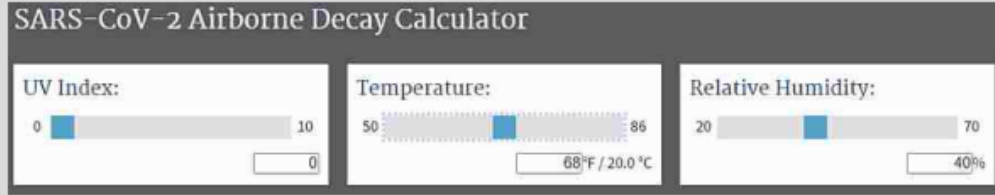


## Mensch

- Schleimfluss/Selbstreinigung
- Barrierefunktion
- lokale Immunabwehr



# «Überlebenszeit» resp. Infektionsdauer von SARS-CoV-2 Viren in Luftfeuchtigkeit zwischen 20 bis 70%, **in Aerosolen**

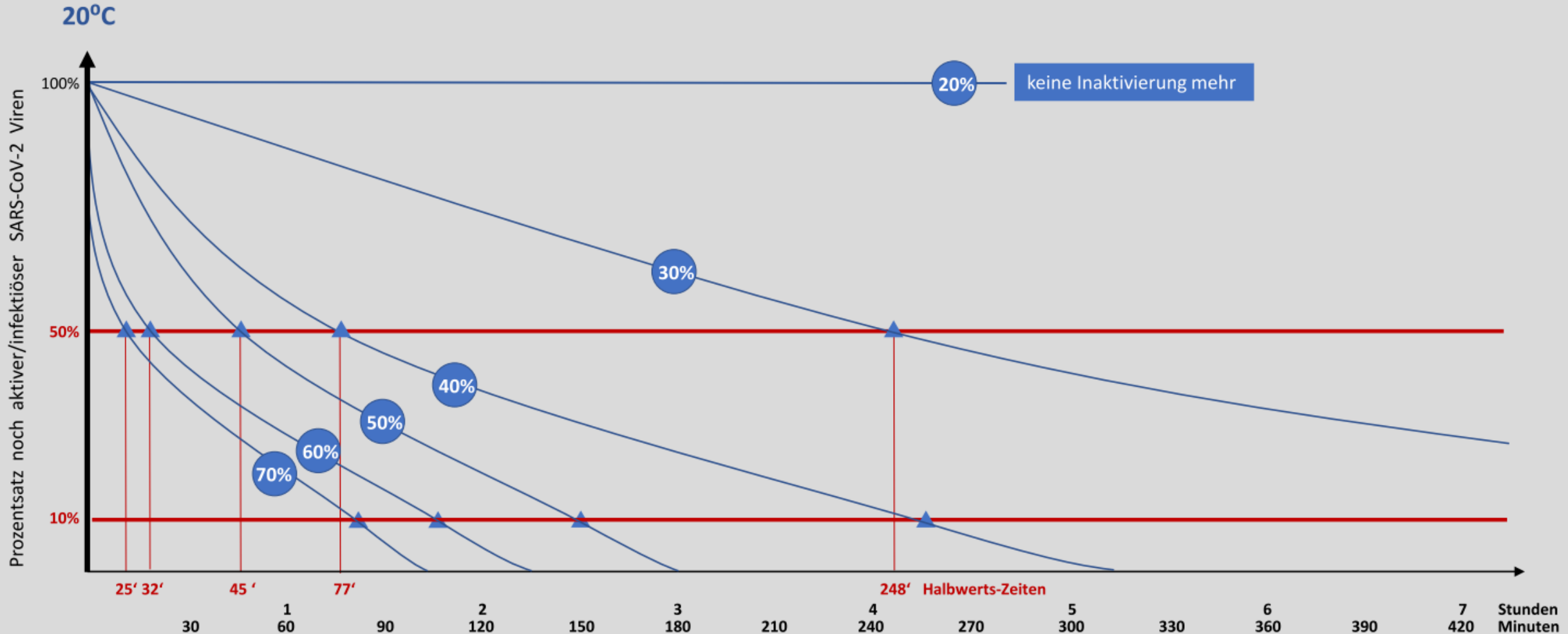


Temperatur: 10°C - 30°C  
Rel. Feuchte: 20 % - 70 %

Dep. of Homeland Security

Estimated **Airborne Decay** of SARS-CoV-2 (virus that causes COVID-19) under a range of temperatures, relative humidity, and UV index

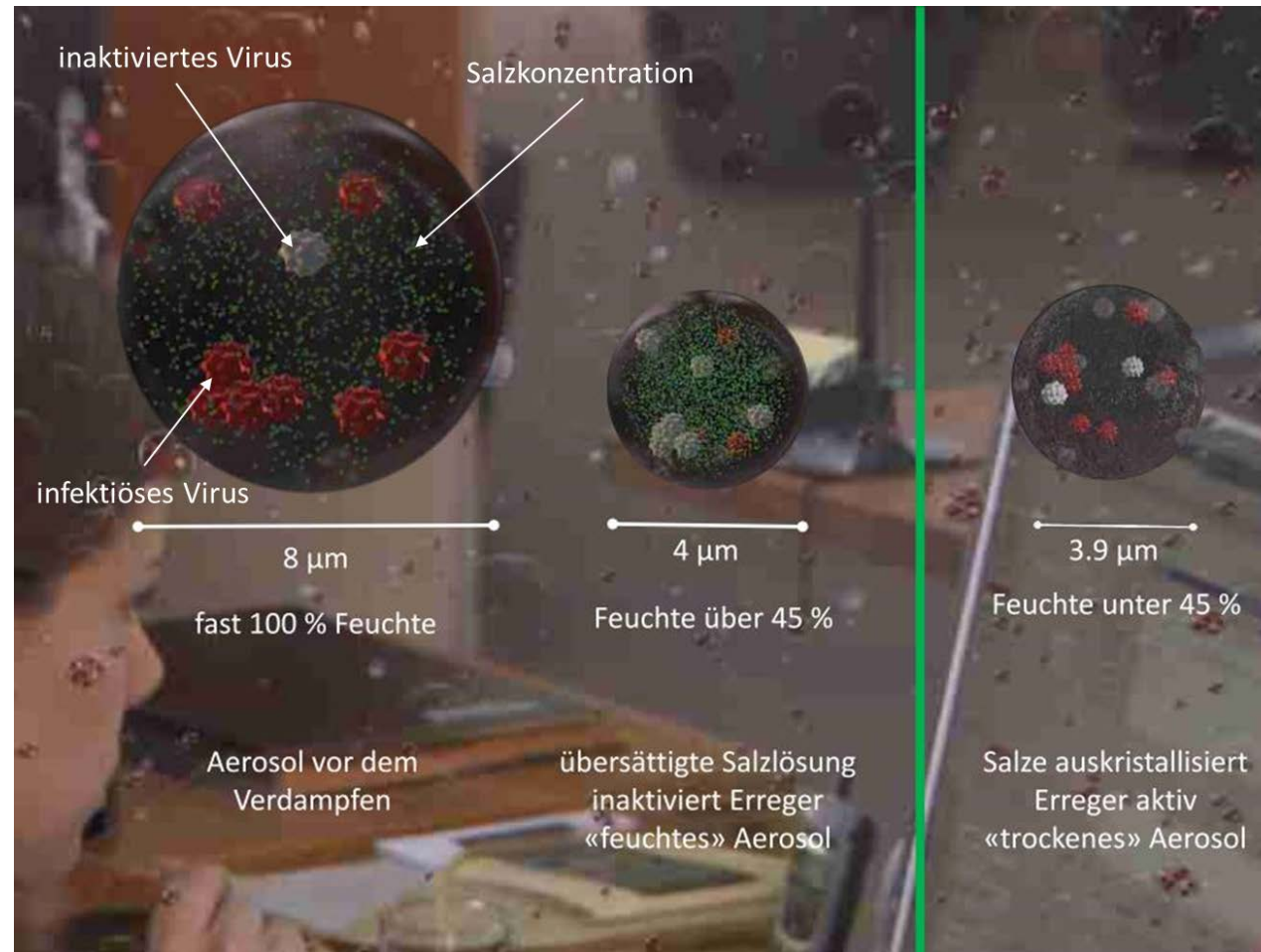
<https://www.dhs.gov/science-and-technology/sars-airborne-calculator>





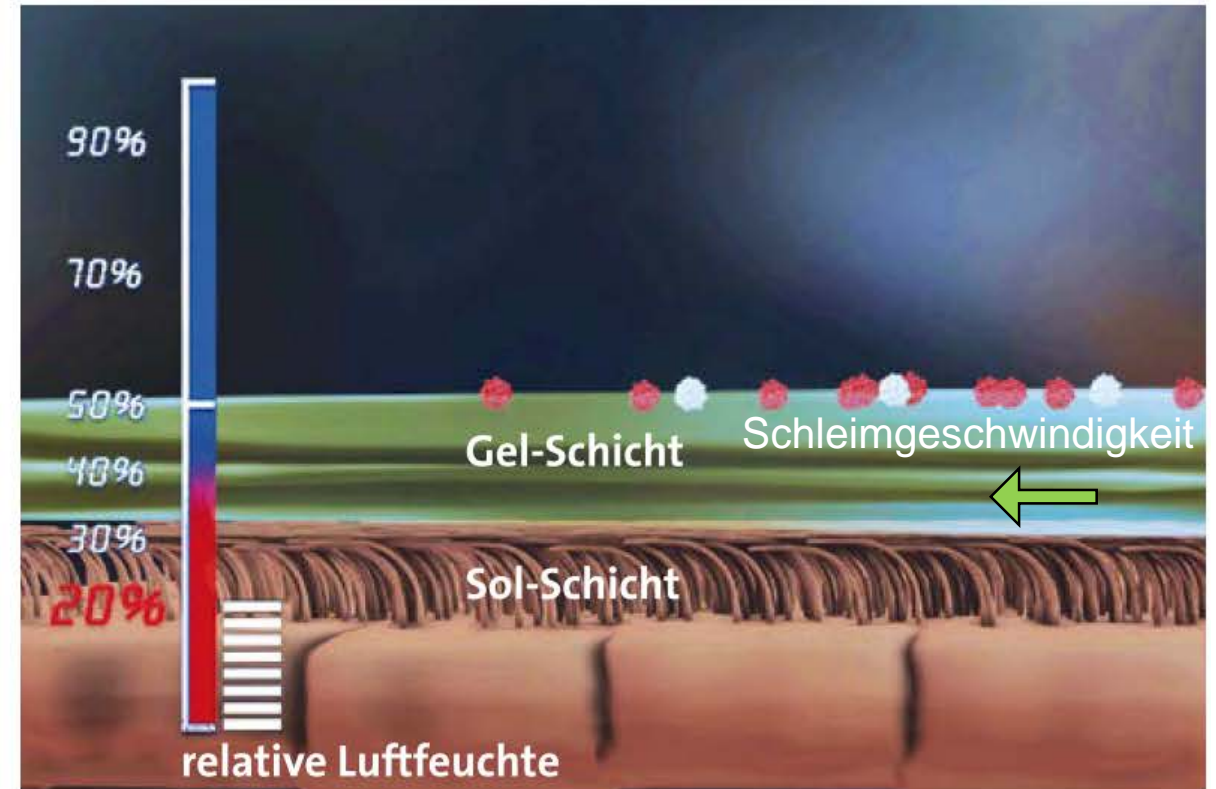
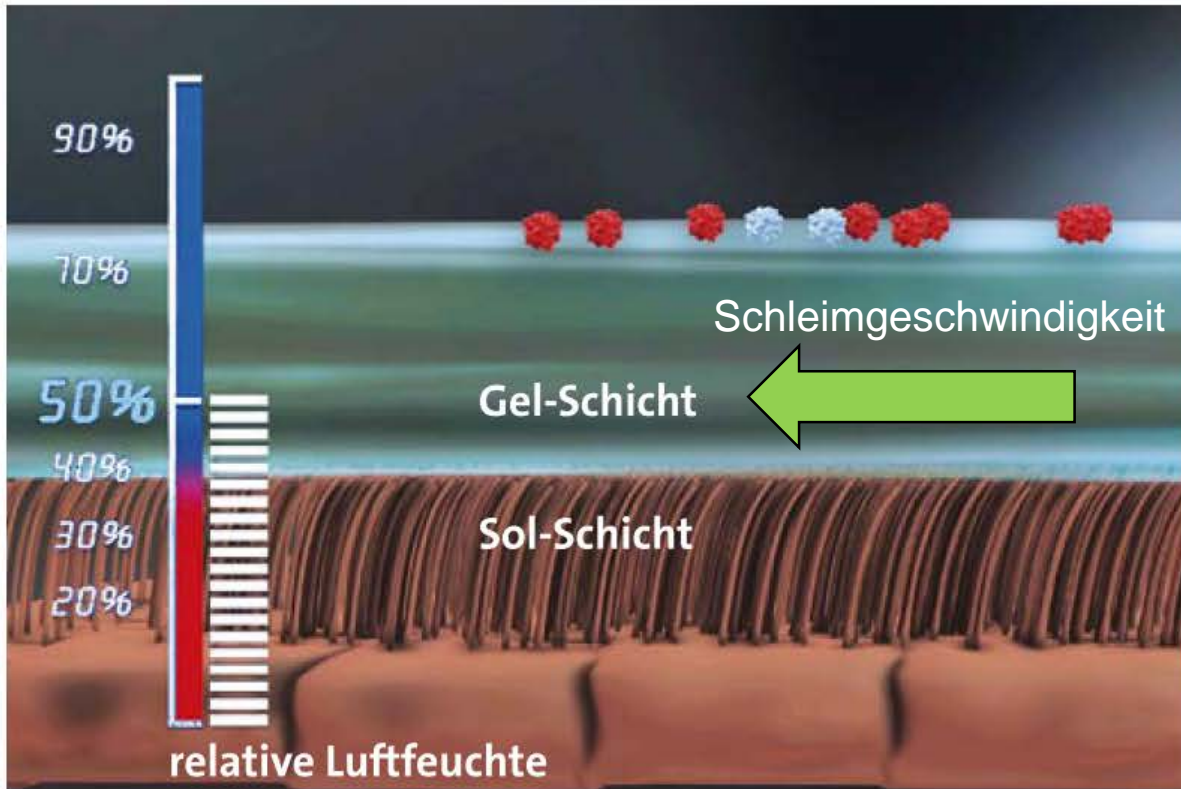
# Luftfeuchtigkeit

## Einfluss der Raumluftfeuchtigkeit beim Ausatmen von Viren:



# Luftfeuchtigkeit

Einfluss der Raumluchtfeuchtigkeit auf unsere Schleimhäute:





Weshalb schützt chirurgische Masken vor COVID-19 ?  
Ist es wirklich die bescheidene Filtrationsrate oder der Spritzschutz gegen grössere Tröpfchen?



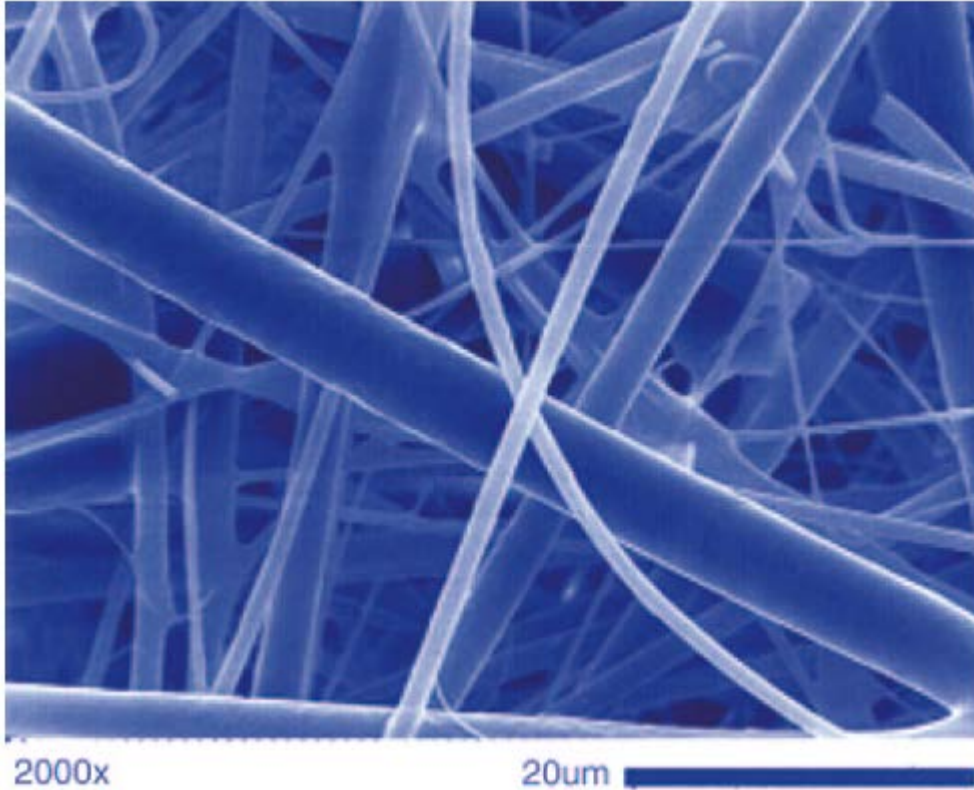
Die Wirkungsweise der Maske "Erwärmung" und "Befeuchtung" ist erfahrbar und einleuchtend zu erklären.

Die Leckage beträgt meist mehr als 50% denn weniger ...  
... trotzdem schützen diese Masken fast perfekt  
WESHALB?

Weil sie unsere Immunabwehr optimal unterstützt, auch wenn die Raumluft knochentrocken ist!  
Unter der Maske entsteht ein ideales Mikroklima von 37°C und 100% Feuchte in dem Infektionsabwehr  
und Konditionierung der Atemwege optimal funktionieren kann!

# Filter und Abscheider

mechanische Filter

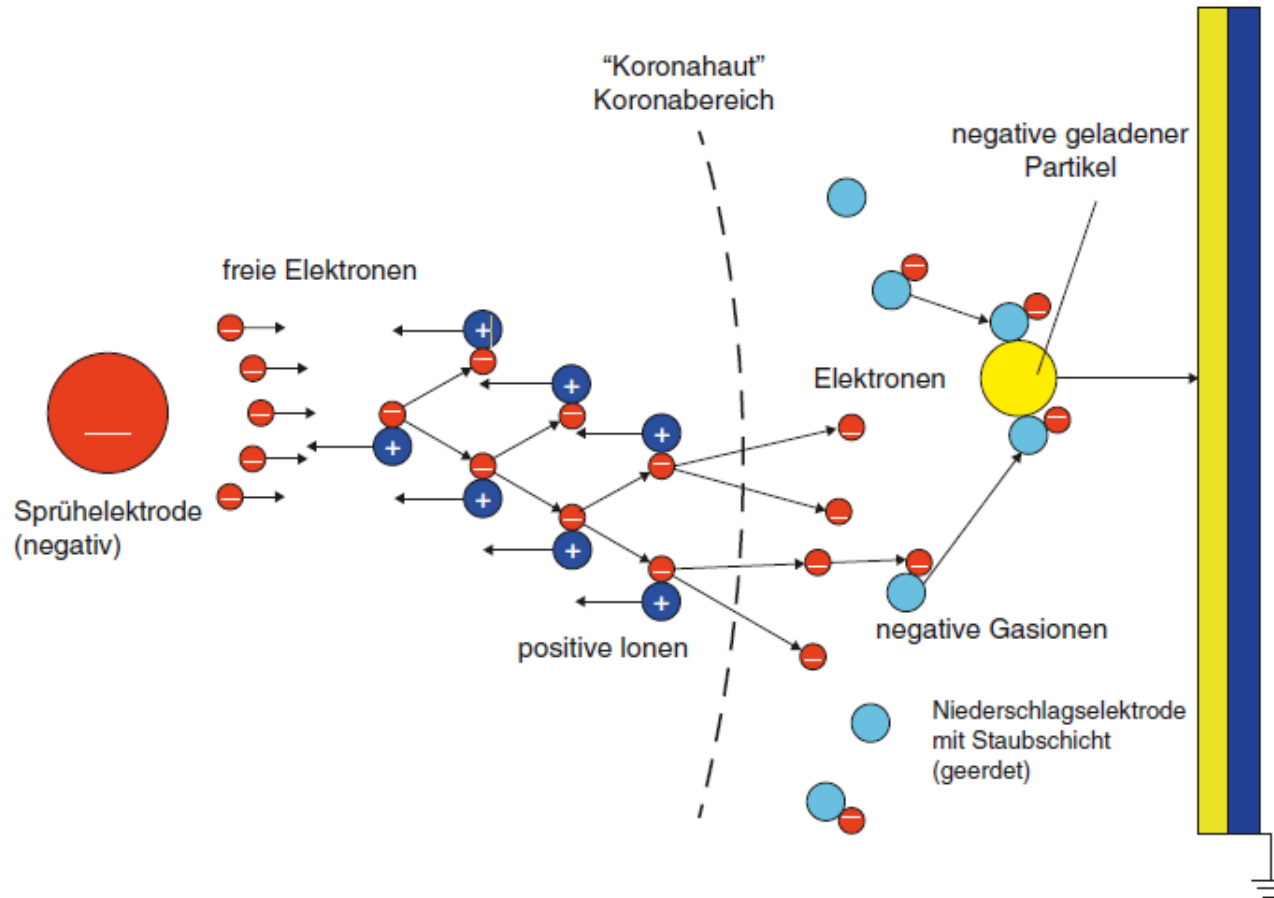


Quelle: Gail, Lothar; Gommel, Udo; Hortig, Hans-Peter (Hg.) (2012):  
Reinraumtechnik. 3., aktualisierte und erw. Aufl. Berlin, Heidelberg:  
SPRINGER (VDI)

- Feinstaubfilter
  - ePM-Klassen 10; 2,5; 1
- Schwebstofffilter
  - ePM1 > 99%
  - HEPA-Filter  
(*High-Efficiency Particulate Air*)
- hohe Druckverluste über die Lebensdauer

# Filter und Abscheider

elektronische Abscheider



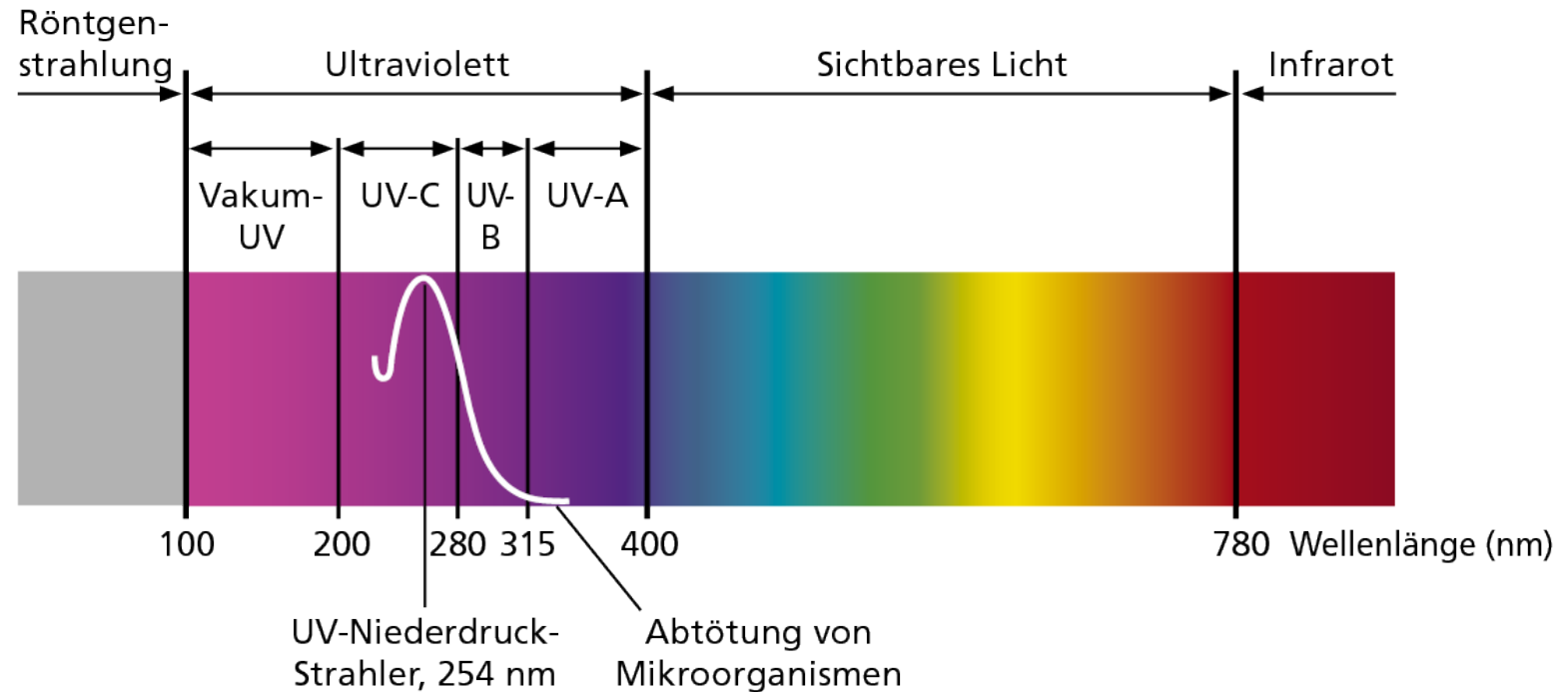
- Abscheidung durch Ionisierung
  - Partikel haften sich an Niederschlagselektrode an
- Niederschlagselektrode lässt sich reinigen
- Keine Grenzkorngröße
- nur geringer und konstanter Druckverlust

Quelle: Stackelberg, Josef von; Schmoch, Manfred (2018): Handbuch Elektrofilter. Physik, Hochspannungsversorgung, Erdung und Auslegung. Wiesbaden: Springer Vieweg



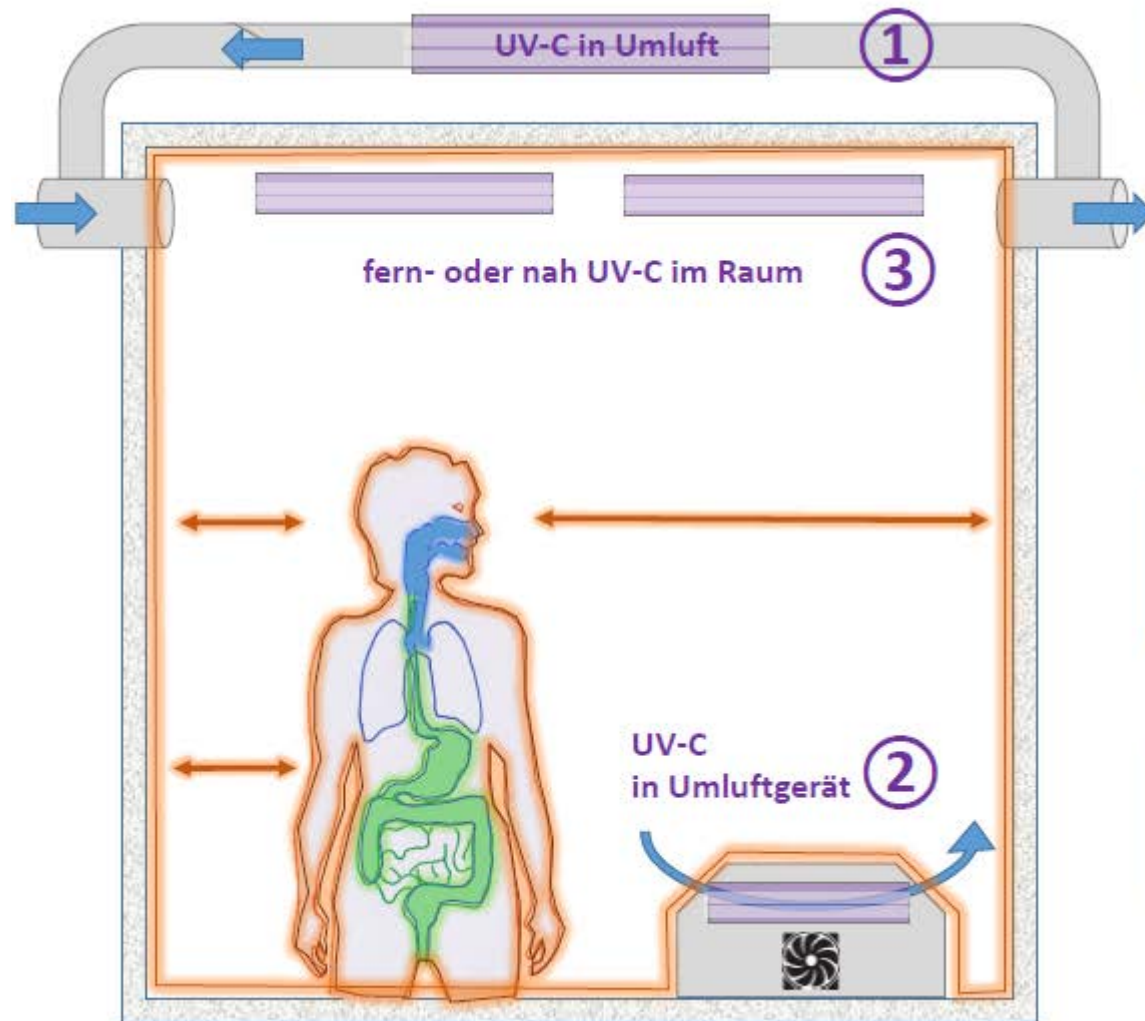
# Desinfektion

- Ozonierung
  - Gesundheitsgefahren
  
- chemische Maßnahmen
  - Gesundheitsgefahren
  
- UV-Bestrahlung
  - UV-C
  - UV-B



Quelle: Salzer, Michael (2020): Über UV. Online verfügbar unter <https://uv-hygiene.com/ueber-uv/>, zuletzt geprüft am 06.11.2020

# Desinfektion



① UV-C inaktiviert 99,99% aller Viren und Bakterien in der **Umluft** (in der Theorie)

③ Fern- und nah UV-C inaktivieren 99,99% aller Viren und Bakterien **in der Raumluft und auf allen erreichten Oberflächen** (in der Theorie)

Jeder Mensch lebt in Symbiose mit rund 100 Trillionen Mikroben in seinem Darm, den oberen Atemwegen und auf seiner Haut.

② UV-C im Umluftgerät inaktiviert 99,99 % aller Viren und Bakterien in der **Raumluft**, die das Gerät passieren (in der Theorie)



Quelle: Hugentobler, Walter (2020): UV-C Mikrobiome & Menschen. FGK Workshop. Web-Meeting, 24.09.2020

# Befeuchtung

- zentrale adiabate Luftbefeuchtung
  - Wasser wird über Düsen in den Luftstrom eingebracht
  - adiabater Kühleffekt
  - geringe Kosten
- zentrale Dampfbefeuchtung
  - Wasser wird im verdampften Zustand der Luft
  - höhere Energiekosten
  - hygienisch sinnvoller
- dezentrale Direktbefeuchtung
  - mobile oder fest verbaute Systeme



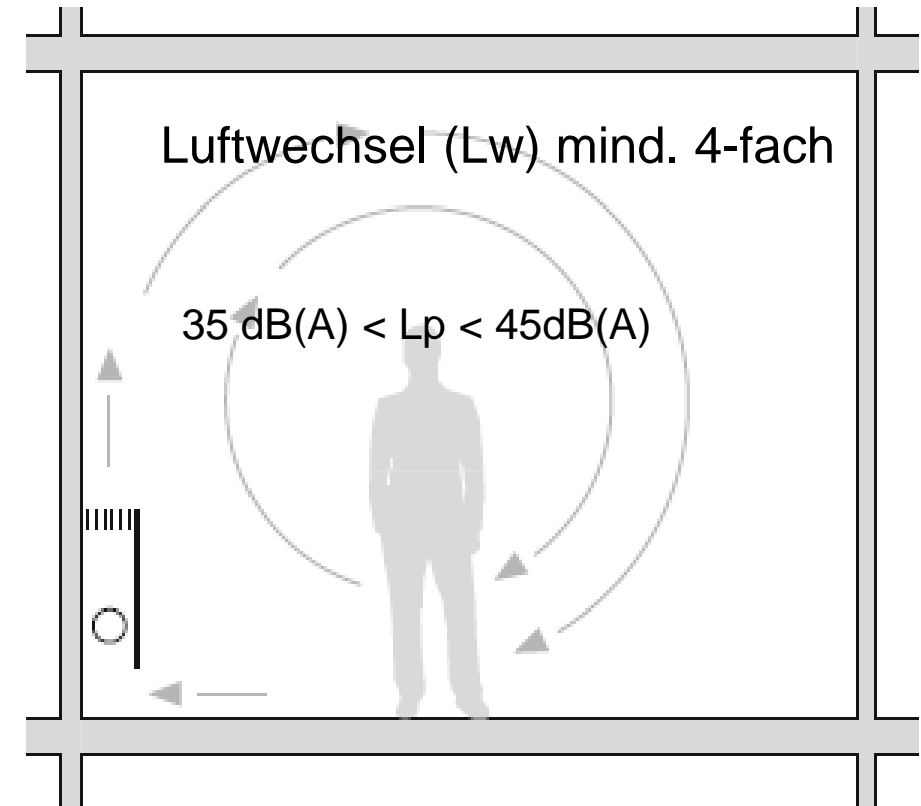
Quelle: Luftbefeuchtung, DRAABE (2021): DRAABE NanoFog für die leise und feine Luftbefeuchtung im Büro. Online verfügbar unter <https://www.condair-systems.de/luftbefeuchtung/hochdruck-duesen-systeme/nanofog>, zuletzt geprüft am 14.02.2021



Quelle :Condair (Hg.) (2021): Mobile Luftbefeuchter | Komfort Luftbefeuchter. Online verfügbar unter <https://www.condair.de/mobile-luftbefeuchter>, zuletzt geprüft am 14.02.2021

# Mobile Luftreiniger

- Luftwechsel beachten → hohe Volumenströme
- starke Geräuschentwicklung
- Luftströmung beachten
- **Kein Einfluss auf CO<sub>2</sub> – Konzentration!!**



Quelle :Bohne (2019): Technischer Ausbau von Gebäuden: Springer Fachmedien Wiesbaden

# Mobile Luftreiniger

| Luftreiniger, anonymisiert | Luftvolumenstrom<br>In m <sup>3</sup> /h | Draft Risk in %<br>Zielwert ≤ 20% | Schalldruckpegel in db(A)<br>Zielwert ≤ 45 db(A) | Abscheideleistung in % |
|----------------------------|--|-----------------------------------|--|------------------------|
| LR #1                      | 1375                                     | 27                                | 52,9   | 99,98                  |
| LR #2                      | 754                                      | 47                                | 59,1   | 99,997                 |
| LR #3                      | 2635                                     | 403                               | 51,1   | 99,97                  |
| LR #4                      | 1604                                     | 39                                | 45,0   | 99,87                  |
| LR #5                      | 573                                      | 25                                | 42,4   | 99,9998                |
| LR #6                      | 1333                                     | 53                                | 44,1   | 99,51                  |
| LR #7                      | 2138                                     | 49                                | 43,3   | 99,994                 |
| LR #8                      | 306                                      | 8                                 | 40,2   | 77,1                   |
| LR #9                      | 1492                                     | 23                                | 49,0   | 99,97                  |
| LR #10                     | 645                                      | 32                                | 43,8   | 87,5                   |
| LR #11                     | 1000                                     | 37                                | 50,0   | 81,1                   |

Quelle :Kurmann, Fabian (2020): Dezentrale Luftreiniger im Labortest. In: *VDI nachrichten*, 06.11.2020 (45), S. 8–9



## Lessons Learned:

- 1) Mindestens 750 m<sup>3</sup>/h (saubere, oder Außenluft) um PIRA 10 zu erreichen.

PIRA: PREDICTED INFECTION RISK FOR AEROSOL TRANSMISSION OF SARS-COV-2

- 2) RLT- und Umluftgeräte müssen mindestens ein Luftwechsel von 4 bis 6 pro Stunde erreichen.
- 3) Umluftfiltergeräte dürfen kein Planungsansatz sein.
- 4) Umluftfiltergeräte können eine Außenluftversorgung nicht ersetzen, um CO<sub>2</sub> in den Räumen zu begrenzen.
- 5) Bastellösungen sind ohne Wärmerückgewinnung Energieverschwender.
- 6) Aerosole und Feinstaub sind auch nach der Pandemie ein Problem → Kein Gebäude ohne RLT-Anlage mit geeigneter Filtertechnik.
- 7) Raumlufffeuchtigkeit im Winter von mindestens 40% rel. Feuchte anstreben
- 8) Durch Maskentragen in kalter Umgebungsluft kann die Immunabwehr in den Nasenschleimhäuten unterstützt werden.



FH MÜNSTER  
University of Applied Sciences

EGU

FB Energie · Gebäude · Umwelt  
Energy · Building Services ·  
Environmental Engineering

# Danke für Ihre Aufmerksamkeit

Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting

Stegerwaldstraße 39 fon +49 (0)2551.962-240  
D-48565 Steinfurt

boiting@fh-muenster.de  
www.fh-muenster.de

