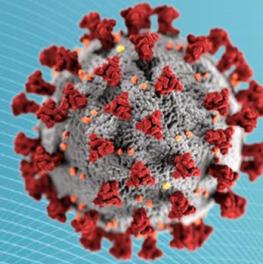


**Symposium Menschen in Räumen**  
**„Hybride multilokale Arbeitswelten“**  
**26. Oktober 2022, Messe Köln**  
**Andrea Burdack-Freitag**

**Einsatz von Viren-inaktivierenden  
Luftreinigern in Räumen**

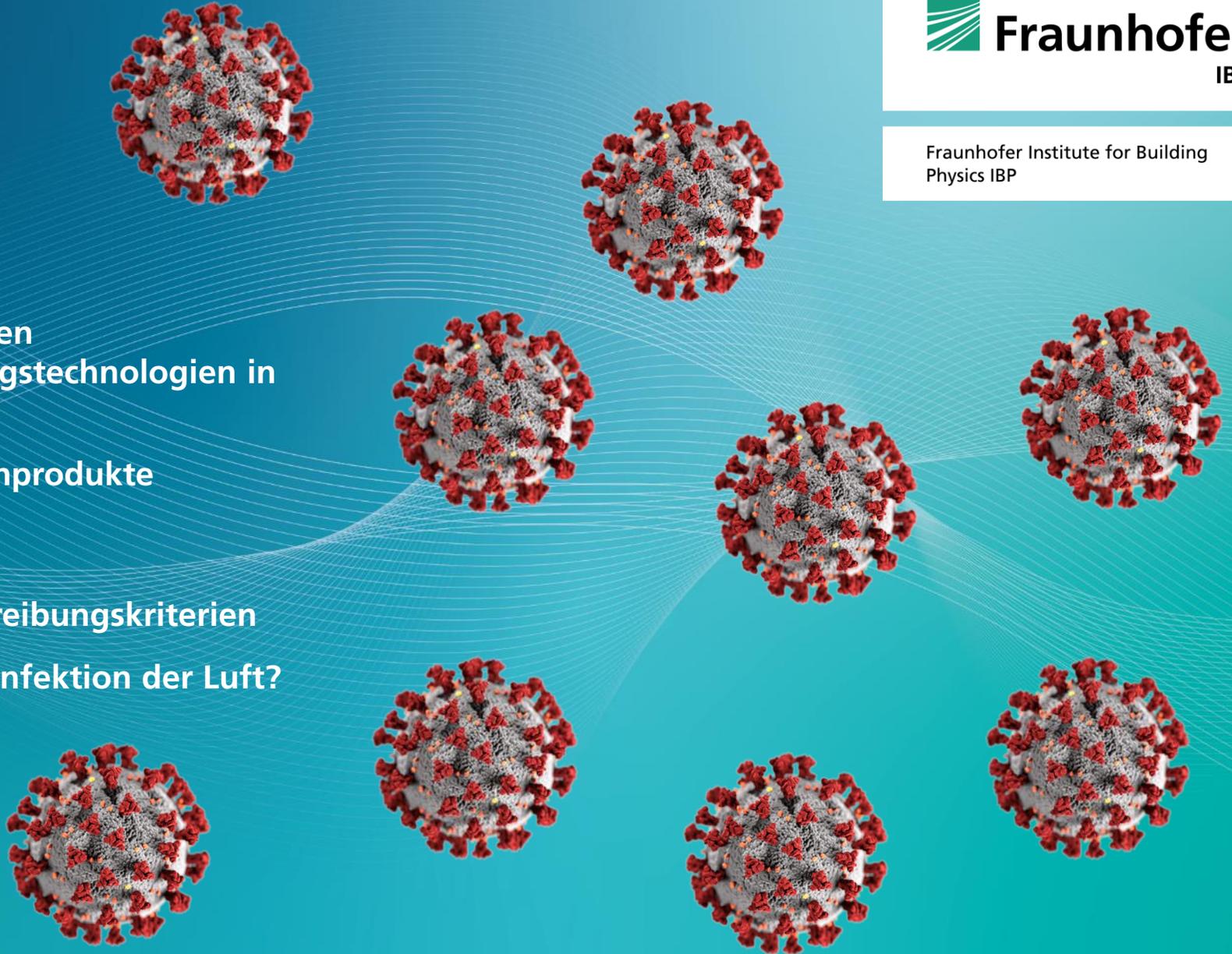


 **Fraunhofer**  
IBP

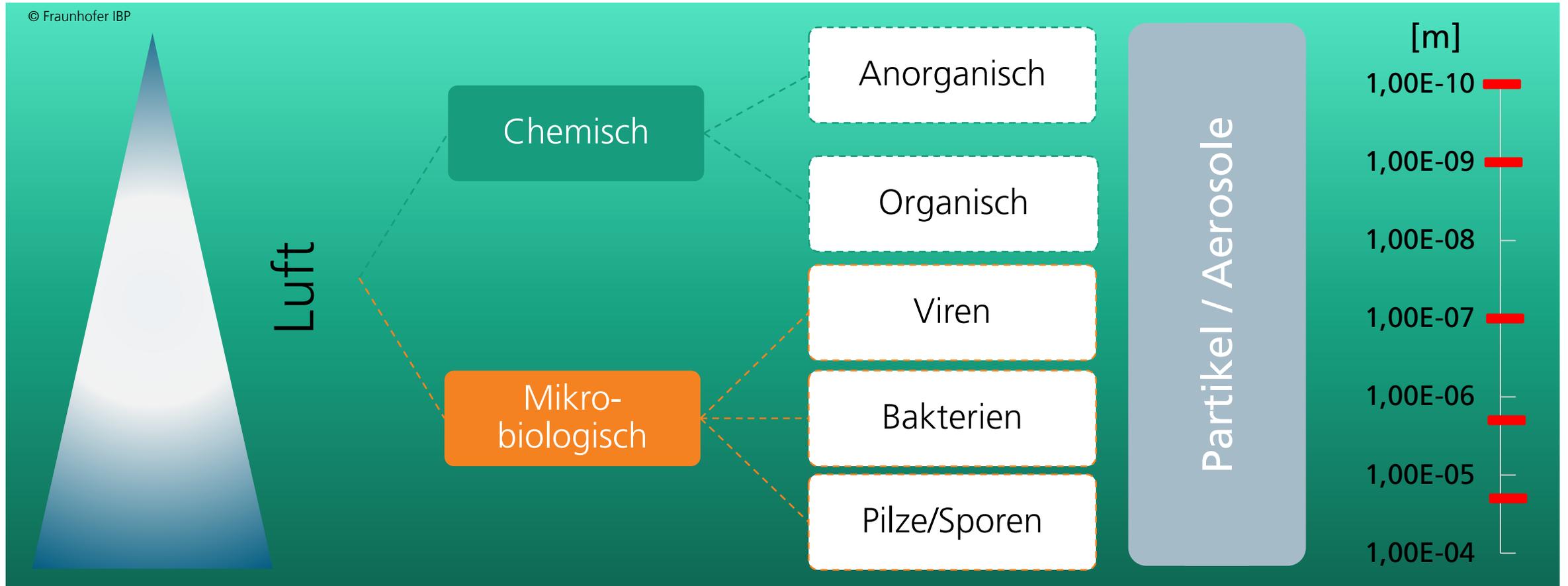
Fraunhofer Institute for Building  
Physics IBP

# Inhalt

1. Viren
2. Luftreinigungstechnologien
  - Abscheidetechnologien
  - Inaktivierende Technologien
  - Effizienz von Luftreinigungstechnologien in der Praxis
3. Gesundheitsschädliche Nebenprodukte
4. Fazit
  - Richtlinien
  - Bauvarianten und Ausschreibungskriterien
5. Warum keine chemische Desinfektion der Luft?



# Luftgetragene Schadstoffe



# Viren

## Allgemeine Kennzeichen von Viren

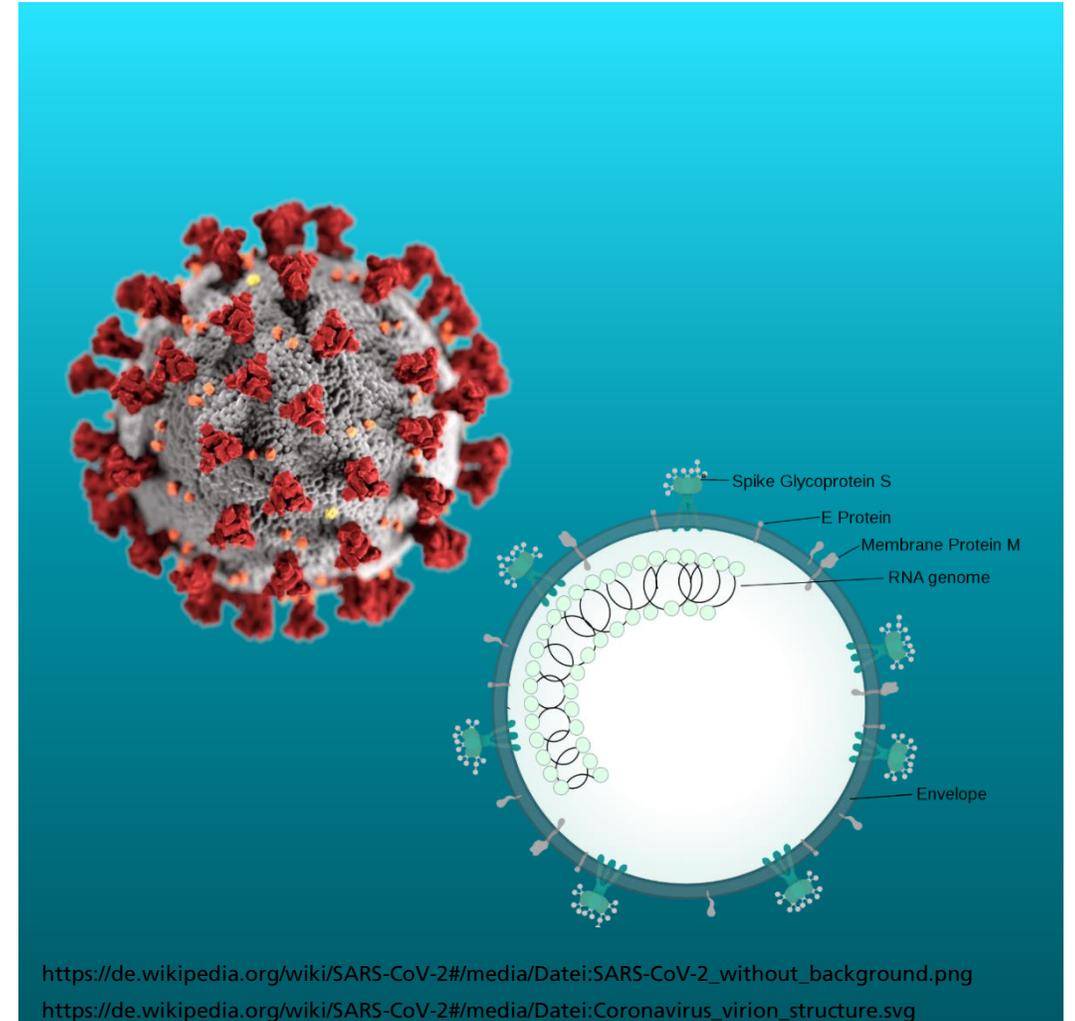
Kein eigenständiger Stoffwechsel; benötigen zur Vermehrung ein Wirtsbakterium bzw. eine Wirtszelle

Enthalten »Programm« zur Vermehrung und Ausbreitung  
DNA-Viren (Herpes, Pocken, Papilloma)  
RNA-Viren (Influenza, Corona, Noro)

Infektiosität ID<sub>50</sub>: Noro 5 Keime – Covid19 100 bis 1000 Keime

## Struktur und Aufbau des SARS-CoV-2 Virus

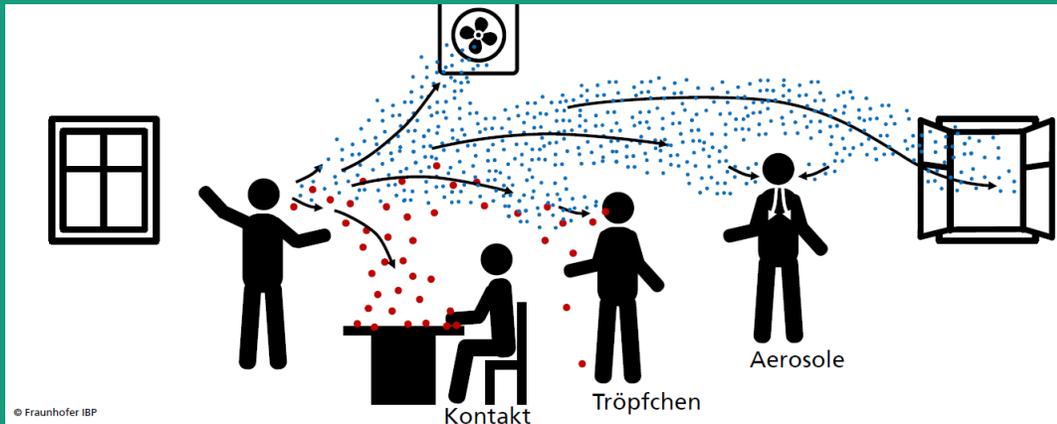
- Severe acute respiratory syndrome coronavirus type 2, (schweres akutes Atemwegssyndrom Corona-Virus Typ 2)
- Mittlere Größe: 100 nm (zwischen 60 und 140 nm)
- Einzelsträngige RNA



# Infektiöse Aerosole

## Reduktion der Virenlast

- Tröpfcheninfektion durch größere Partikel von 5 bis 500 µm bei Husten, Niesen, Spucken
- Aerosolinfektion durch »Schwebeteilchen« < 5µm bei Atmen, Sprechen, Singen
- Auslöser einer Infektion:
  - Hohe Anzahl an infektiösen Partikeln im Raum (Infektionsdosis): Tröpfchen haben höher Last, sinken jedoch schneller ab – Aerosole haben geringere Last, verweilen jedoch länger in der Luft
  - Anfälliger Empfänger: Eintritt über Schleimhäute (Augen, Nase, Mund/Rachen), Befall von vermehrungsfähigen Wirtszellen



### Verminderungsstrategien



Distanz von  
ein bis zwei Metern



Hygieneregeln



Mund-Nasen-Schutz



Impfung

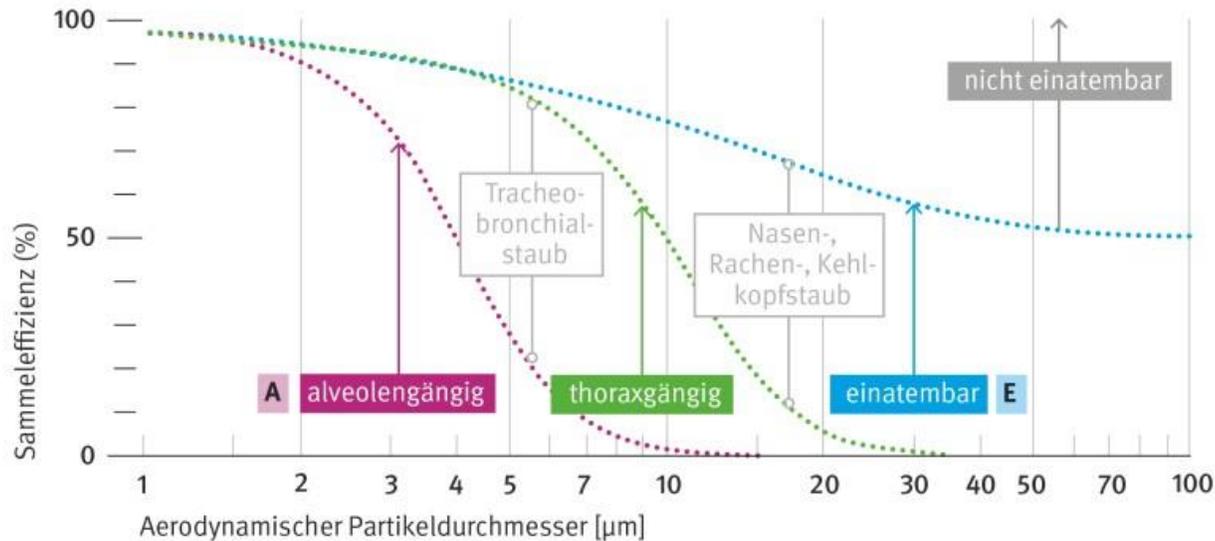


Lüften und Luft-  
reinigungstechnologien

# Abscheidende Luftreinigungstechnologien

## Partikeltransport im Körper

Teilchengrößenverteilung nach DIN EN 481



### E Einatembare Konvention (E-Fraktion):

Massenanteil aller Schwebstoffe, der durch Mund und Nase eingeatmet wird

### A Alveolengängige Konvention (A-Fraktion):

Massenanteil der eingeatmeten Partikel, der bis in die nichtcilierten Luftwege vordringt

Quelle: [www.dguv.de/staub-info/was-ist-staub/a-staub/index.jsp](http://www.dguv.de/staub-info/was-ist-staub/a-staub/index.jsp)

## Feinstaub (Particulate Matter PM)

> PM 10 (> 100 µm) Grobstaub

PM 2,5 bis PM 10 (1 bis 100 µm)  
Partikelklassen gemäß DGUV-Stäube

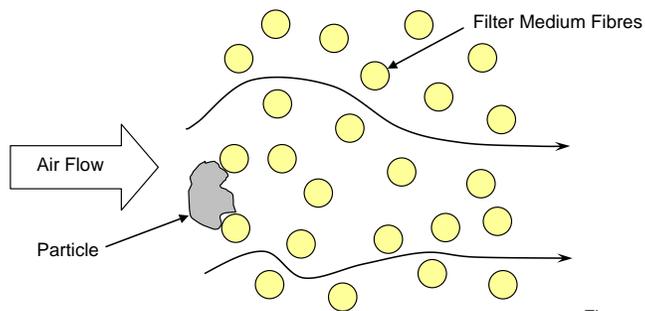
PM 1 (< 1 µm) blut- und gewebegängige  
Partikel (bis Herz-Kreislaufsystem)

<< PM 1 (< 0,1 µm) Ultrafeinpartikel  
Karzinogen Klasse 1

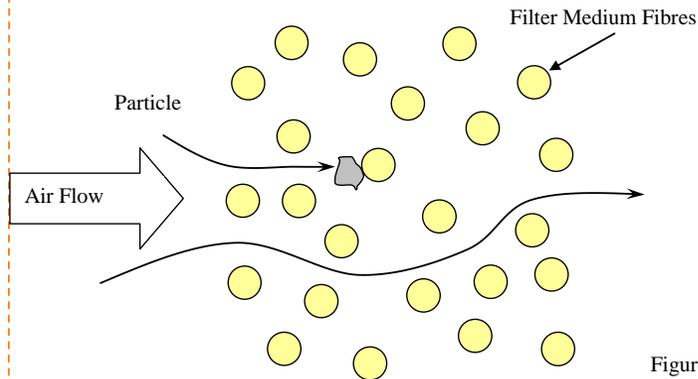
# Abscheidende Luftreinigungstechnologien

## Funktionsweise

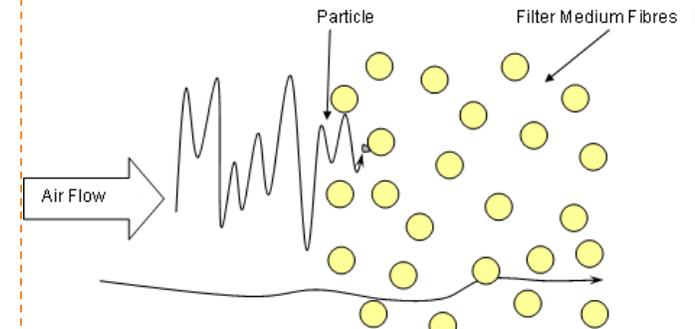
### Sperr- & Siebeffekt



### Trägheitseffekt



### Diffusionseffekt



### FAZIT

Der Filter muss genügend dicht sein, aber nicht notwendigerweise Poren in der Größe von Viren besitzen.

# Abscheidende Luftreinigungstechnologien

## Wirkung von Partikelfiltern

### Filterklasse / Abscheidevermögen

- Grobstaubfilter (ISO Coarse)
- EPA-Filter (Feinstaub- / Hochleistungs-Partikelfilter, ISO ePM10)
- HEPA-Filter (Schwebstofffilter bis H14)
- ULPA-Filter (Hochleistungs-Schwebstofffilter bis U17)
- Sonderfall elektrostatische Abscheidefilter/Elektrofilter

### Clean Air Delivery Rate CADR

Effizienzbeurteilung von Luftreinigungsgeräten entwickelt von der Association of Home Appliance Manufacturers (AHAM) auf Rauch ( $\varnothing$  0,09 $\mu$ m – 1,0 $\mu$ m), Staub ( $\varnothing$  0,5 $\mu$ m – 3,0 $\mu$ m), Pollen ( $\varnothing$  5,0 $\mu$ m – 11,0 $\mu$ m)

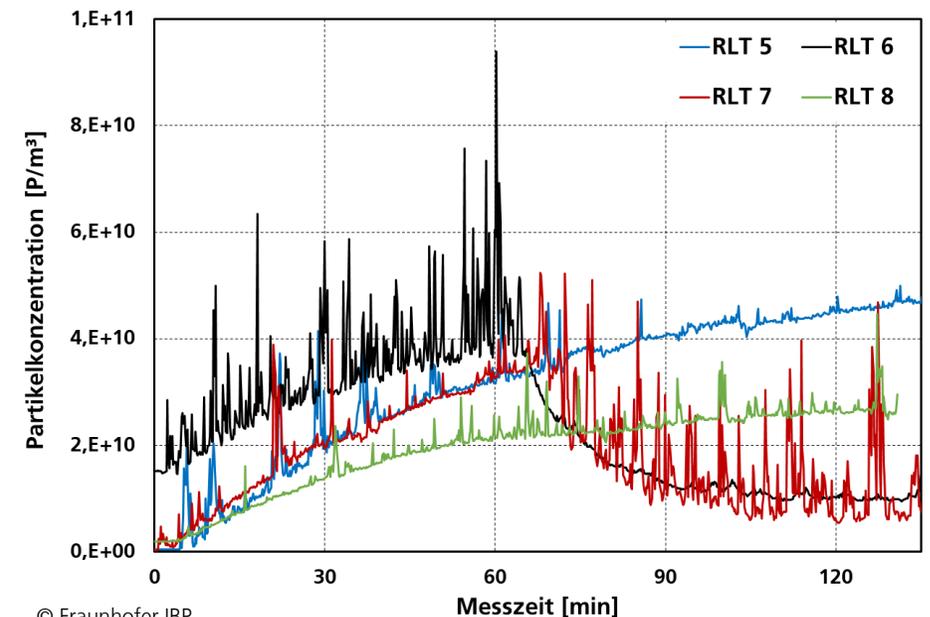
$$\text{CADR} = \eta p * V/t$$

$$C(t) = C_0 * e^{-k*t}$$

$$\text{CADR} = (k_{AC} - k_{nat}) * V_{Kammer}$$

$\eta p$  = Partikelabscheideleistung [%]  
 $V/t$  = Volumenstrom Luftreiniger  
 $k_{nat}$  = natürliche Abklingrate (Raumparameter)  
 $k_{AC}$  = Abklingrate im Raum mit eingeschalteter Raumluftreinigungstechnologie  
 $V_{Kammer}$  = Kammervolumen

### Luftreiniger mit und ohne Filtertechnologien



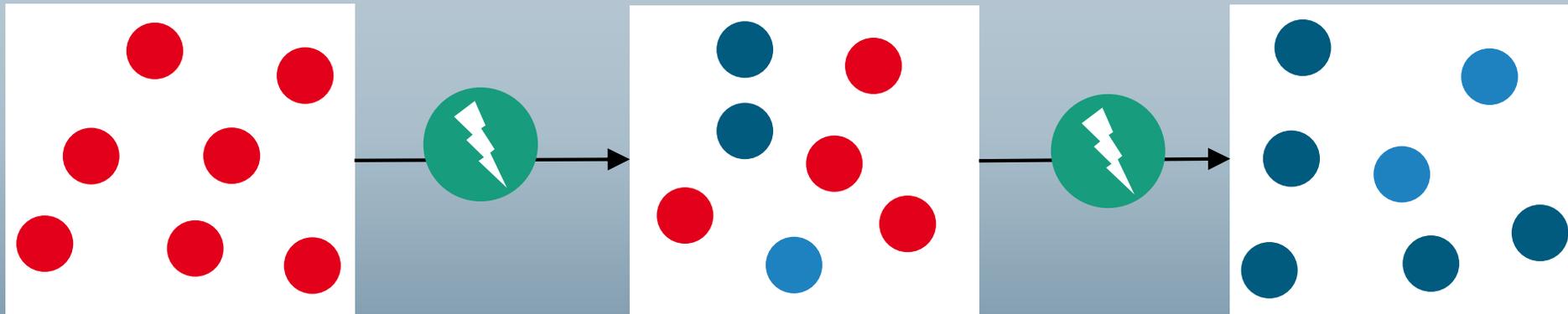
Halbwertszeit der Sedimentation kann mittels geeigneter Luftreinigungstechnologie von 3 bis 4 h auf 20 bis 30 min reduziert werden.

# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Funktionsweise

Aerosolstudien fokussieren nur die Anzahl der Virenpartikel und lassen keine Aussage über die Infektiosität der Partikel zu, d.h. wie viele der Virenpartikel im Raum sind virulent / infektiös, wie viele sind inaktiv / nicht infektiös?

**Inaktivierung durch Zerstörung der Virenhülle, der Spikeproteine, der RNA**



© Fraunhofer IBP

**Einwirkung von Energie (UVC, Plasma, Hitze) oder Desinfektion: infektiöse Viren, inaktive Viren**

# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Keimreduktion

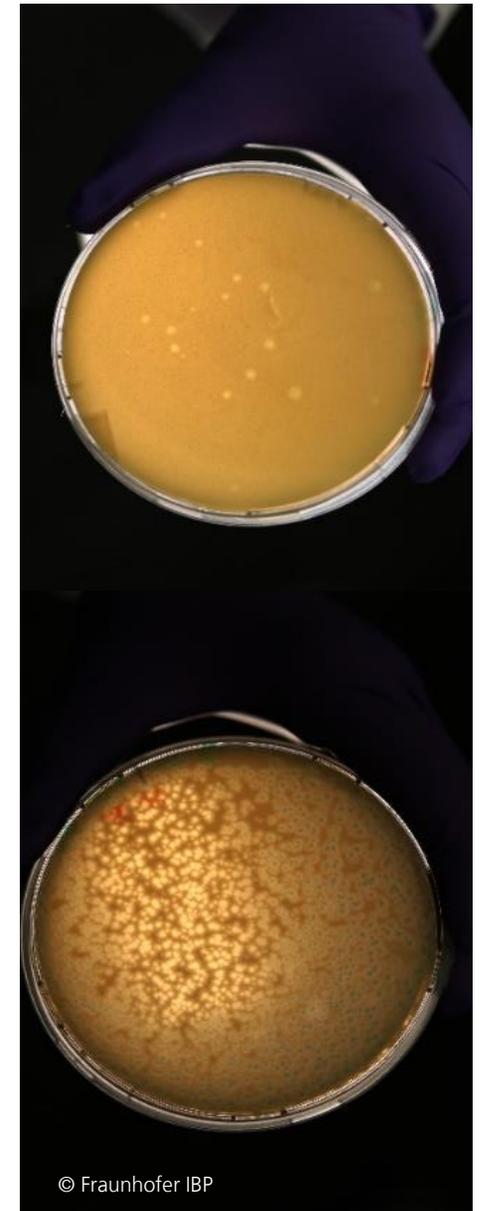
### Kennzeichen

**Virulenz:** Grad der Pathogenität, d. h. Fähigkeit Krankheit potenziell auszulösen

**Virenanwesenheit:** Nachweis der Viren-Erbsubstanz, keine Aussage zu Infektiosität

**Keimreduktion:** Aussage, um wieviel die Keimzahl virulenter Viren reduziert wurde, Reduktionsfaktor R

- **R = 1 log<sub>10</sub>-Stufe = Reduktion um 90% (Händewaschen)**
- **R = 2 log<sub>10</sub>-Stufen = Reduktion um 99% (Händewaschen mit Seife)**
- **ab R = 4 log<sub>10</sub>-Stufen = Red. um 99,99% (Desinfektion)**



# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Unübliche Verfahren zur Minimierung von SARS-CoV-2

### Thermische Verfahren

0°C – temporäre Inaktivierung  
(bis zu 72 Tagen) von SARS-CoV-2

20 °C – Stabilität von 3 bis 14 Tagen

56 °C – Inaktivierung innerhalb 1 h,  
ab 75 °C / 5 min

vgl. Hepatitis-Viren – mind. 90 °C / 30 min

### Chemische Desinfektion (FKI-Desinfektionsmittelliste)

z. B. Formaldehyd, Ozon, Wasserstoffperoxid

Abgeleitet aus flüssigen Oberflächen-  
desinfektionsmitteln

Raumbegasung / Vernebelung erfolgt nur  
unter Ausschluss gesundheitlicher Gefährdung  
(Gefährdungsbeurteilung, Einschalten zuständiger  
Stellen, PSA, ohne Anwesenheit von Personen,  
ausreichende Lüftung)

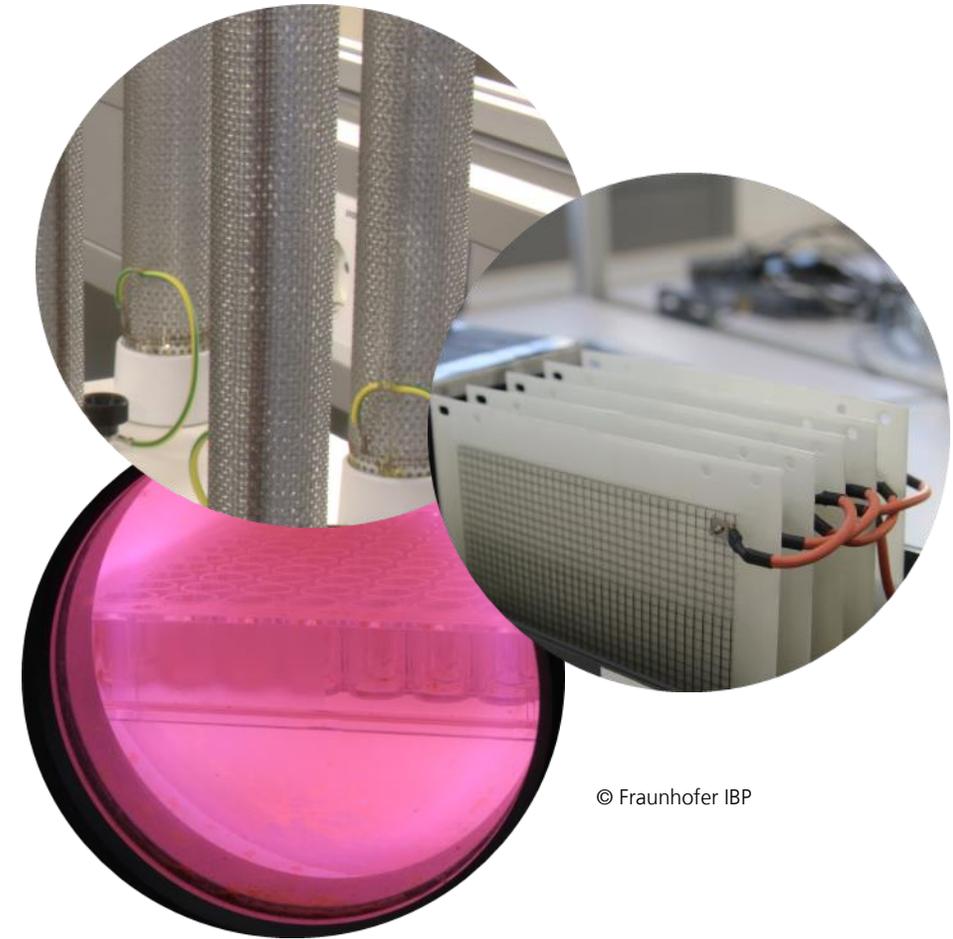
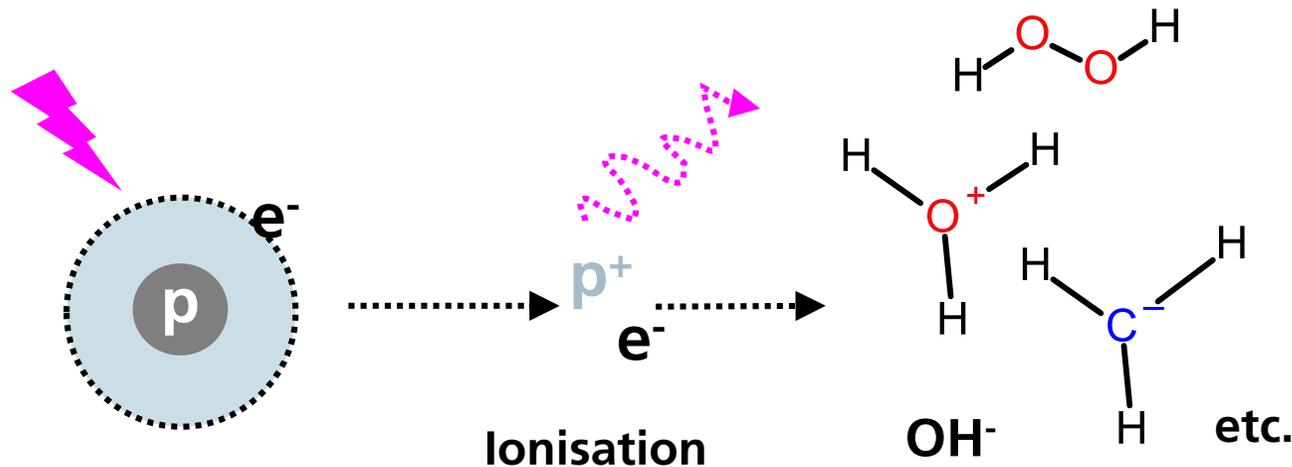
**Ungeeignet für Nutzer**

# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Plasmabestrahlung

### Kaltplasma/Ionisation

- Korona-, Mikrowellen-, Gleitlichtbogen-Entladung, dielektrische Barriereentladung
- Bildung eines Ionenplasmas aus Hydrogenium- und Hydroxylum-Ionen, Ozon und ionisierten Molekular-, Peroxid- und Nitroxid-Radikalen
- Mögliche Bildung von gesundheitsschädlichen Nebenprodukten



© Fraunhofer IBP

# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

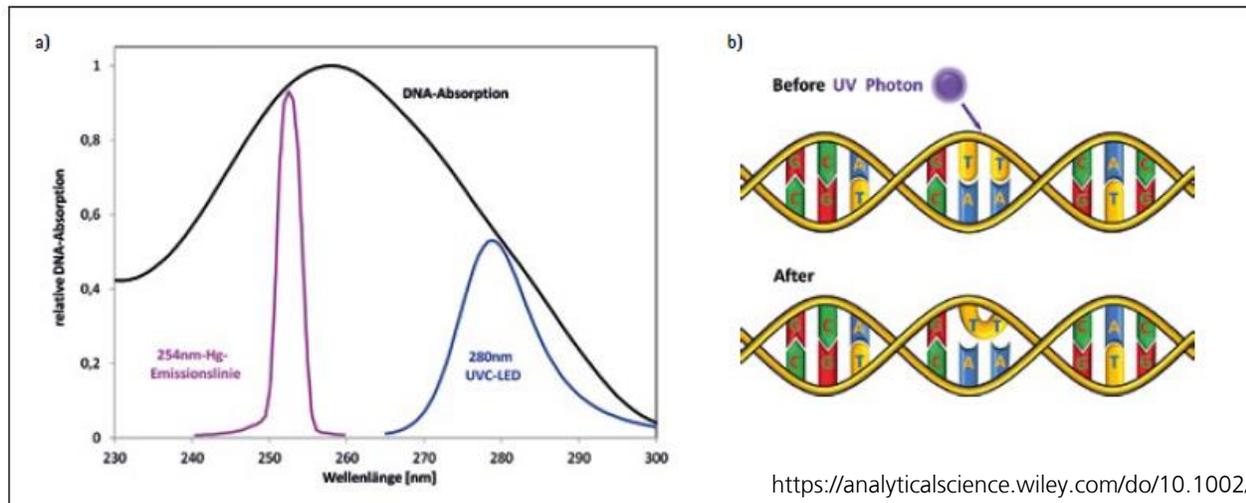
## UVC-Bestrahlung

### UVC-Wellenlängenbereich < 280 nm

- Bekannte Wirkung aus der Oberflächendesinfektion und Wasserentkeimung
- Zerstörung von RNA, DNA, Proteinen
- Verhinderung der Replikation von Mikroorganismen

### < 220 nm

- Gewebeschädigung (Augen, Haut)
- Bildung von schädlichen Nebenprodukten möglich, Bildung von Ozon
- keine unkontrollierte Freisetzung



# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Beispiele für untersuchte Geräte

Gerät Nr.	Inaktivierende Einheit	Zusätzliche Ausrüstungen
1_P	Plasma	-
2_P	Plasma	Grob- und Feinpartikelfilter, Aktivkohlefilter
3_UV	UVC ( $\lambda > 220$ nm)	-
4_UV	UVC ( $\lambda = 254$ nm)	-
5_UV	UVC ( $\lambda > 220$ nm)	Grobstaubfilter
6_UV	UVC ( $\lambda = 254$ nm)	Feinpartikelfilter

# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Laboruntersuchungen - Messaufbau

### Vernebler

- Aerosoloator für die nicht-pathogene Surrogat Viren, kontinuierliche Zudosierung (Konstant-Emitter, "Super spreader event")

### Online Sensoren und Detektoren

- Partikelmessgeräte (Nano- und Mikrometerbereich)
- Ozon und NOx-Analysatoren
- TVOC Analysatoren

### Luftkeimsammler

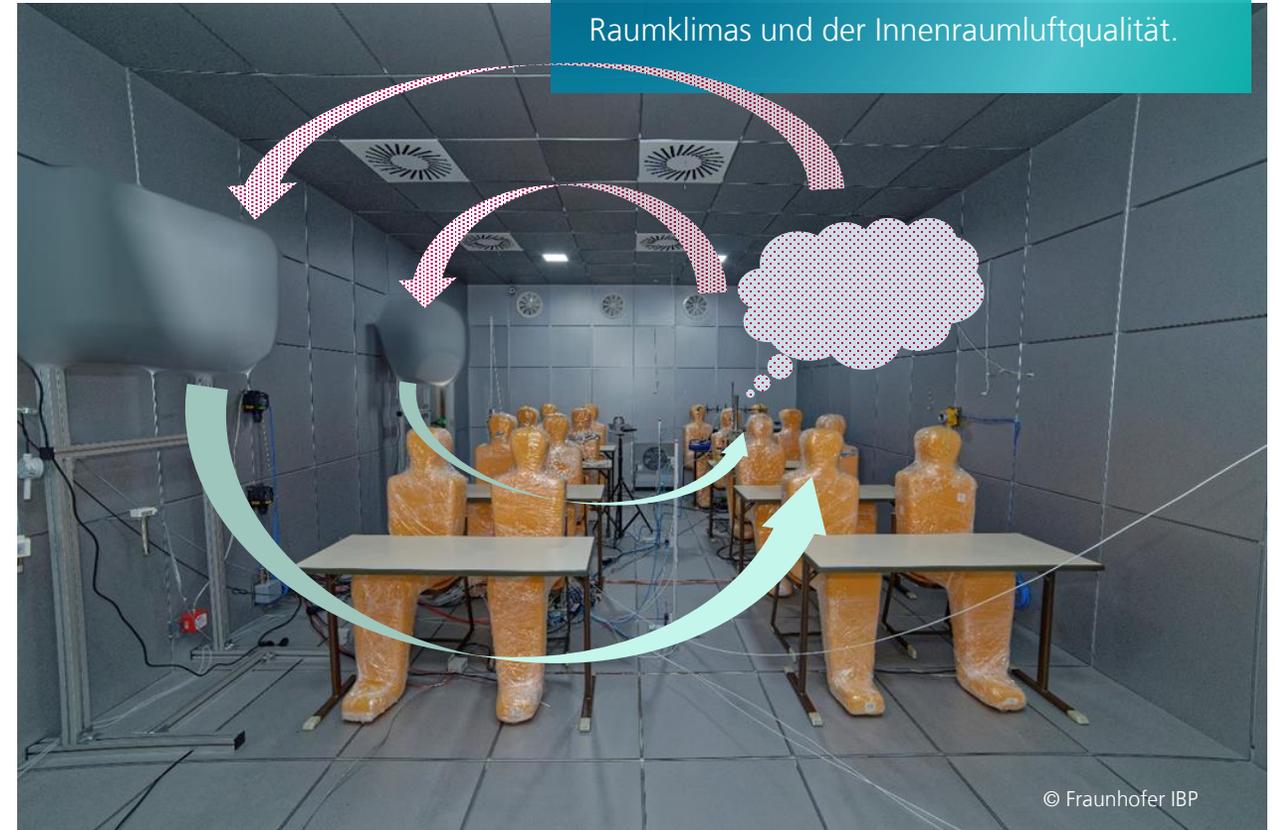
- VOC (Beiprodukte)
- Luftkeime (Viren, Bakterien, Sporen)

### Laboratory analysis

- Gaschromatographie-Massenspektrometrie
- Flüssigchromatographie
- Plaque Assay Test (Wirtszelle Pseudomonas spp.)

### Fraunhofer Indoor Air Test Center

Eine einzigartige Einrichtung zur Durchführung von Untersuchungen des Raumklimas und der Innenraumluftqualität.



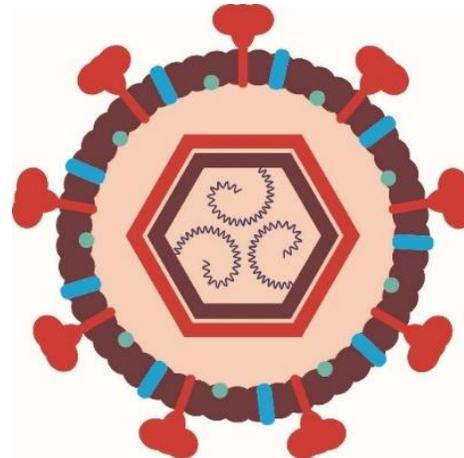
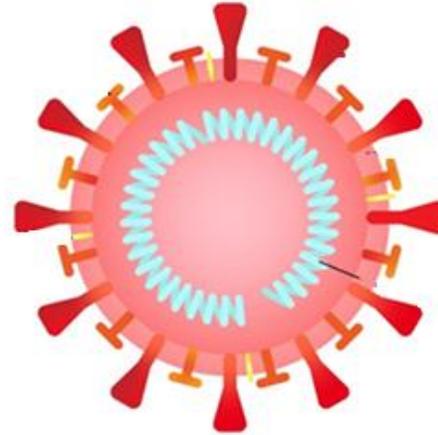
# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Laboruntersuchungen – Einsatz geeigneter Surrogatviren

### SARS-CoV-2 virus

#### Kritische Merkmale

- humanpathogen
- Biologische Sicherheitsstufe 3
- Behüllte Zellmembran, mittlere Partikelgröße 100 nm
- Bevorzugt Raumtemperatur und -feuchte
- Einzelsträngiger RNA Virus



© Fraunhofer IBP

### Phi6-Bacteriophage

#### Ein unkritischer Modellvirus

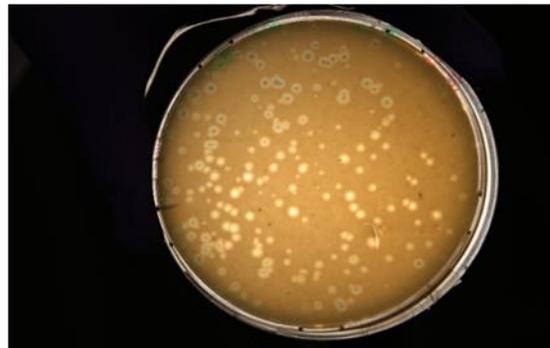
- Nicht humanpathogen
- Biologische Sicherheitsstufe 1
- Behüllte Zellmembran, mittlere Partikelgröße 85 nm
- Bevorzugt Raumtemperatur und -feuchte
- Dreistängiger RNA Virus

# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Laboruntersuchungen - Plaque Assay Test



© Fraunhofer IBP

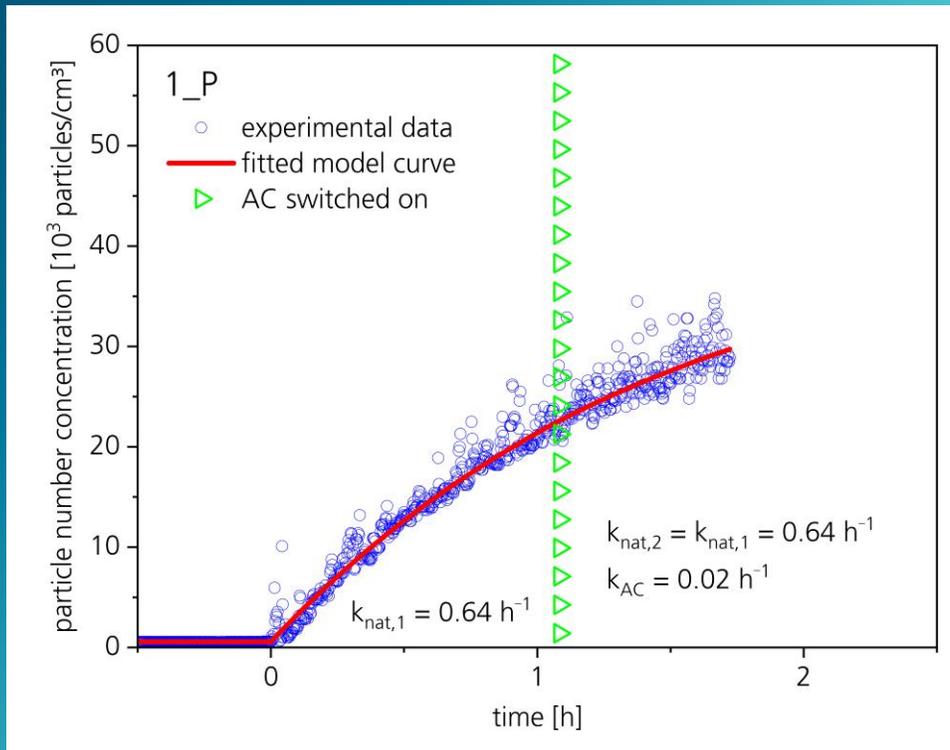


# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Partikelverteilung

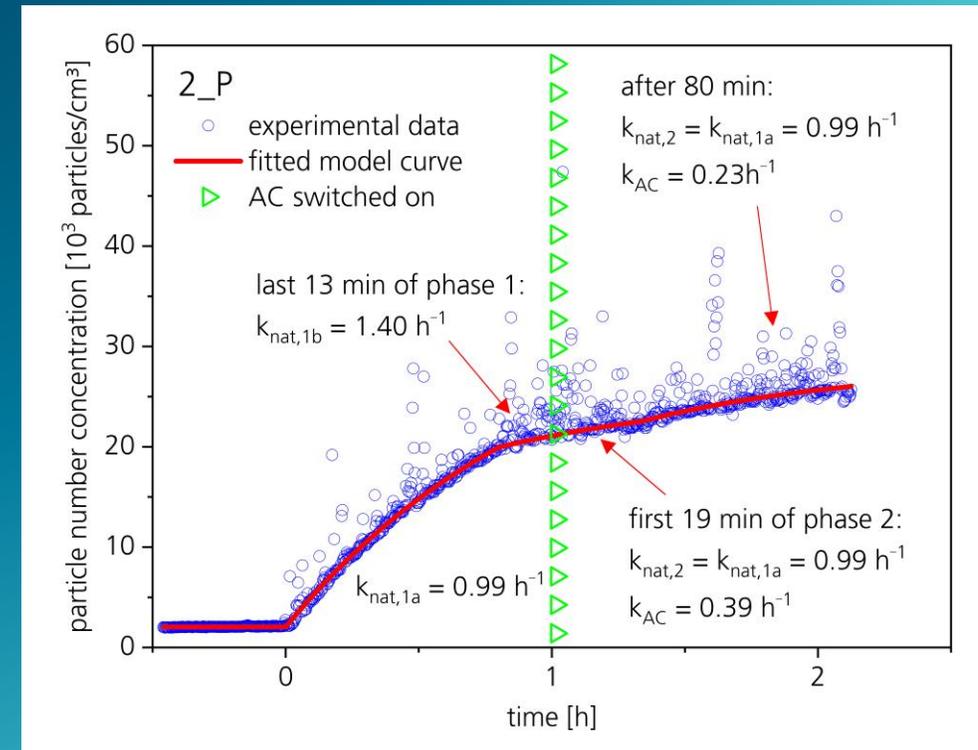
$$c_n(t) = \frac{S_n}{k_n} + \left( c_{n-1}(t_{n-1}) - \frac{S_n}{k_n} \right) \cdot e^{-k_n \cdot (t - t_{n-1})}$$

### Kaltplasma ohne Filter



© Fraunhofer IBP

### Kaltplasma mit Filter

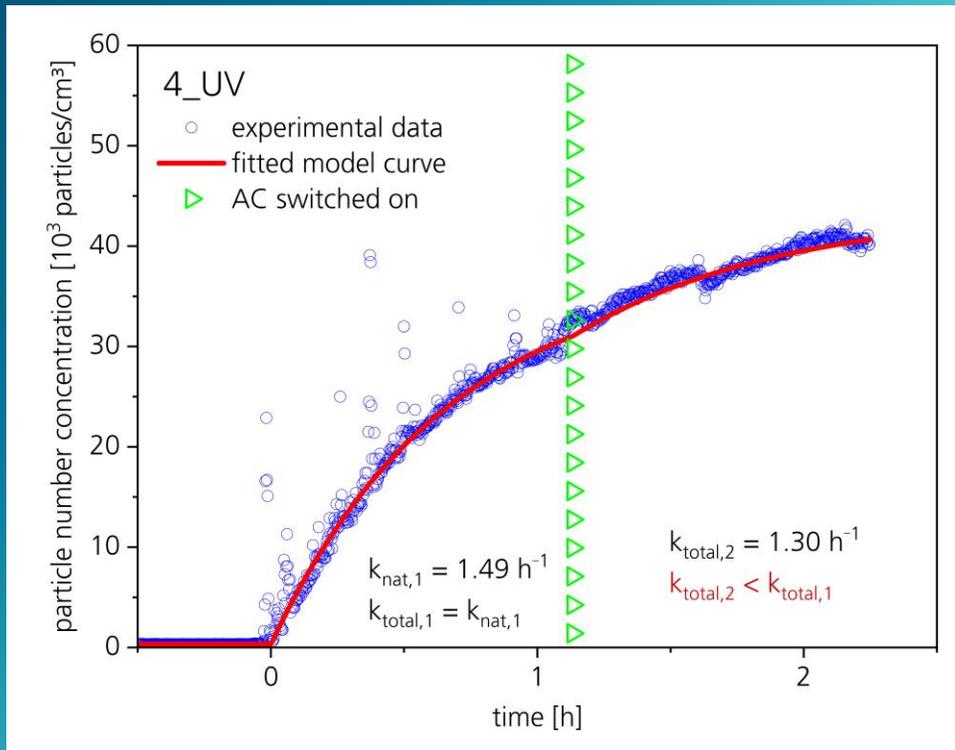


# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

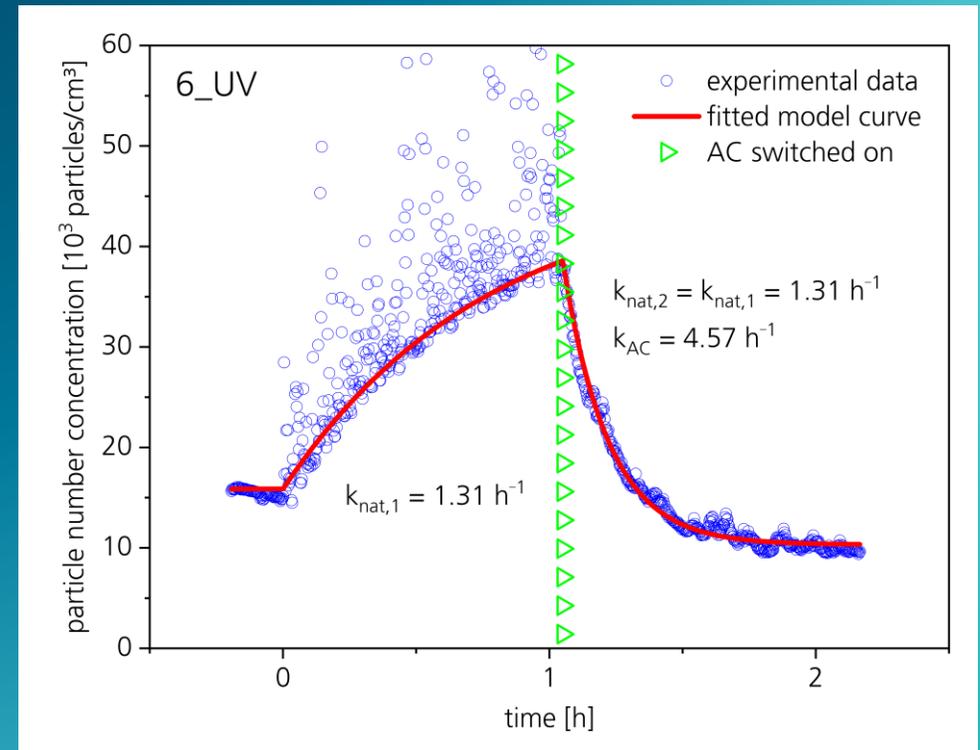
## Partikelverteilung

$$c_n(t) = \frac{S_n}{k_n} + \left( c_{n-1}(t_{n-1}) - \frac{S_n}{k_n} \right) \cdot e^{-k_n \cdot (t - t_{n-1})}$$

### UVC ohne Filter



### UVC mit Filter



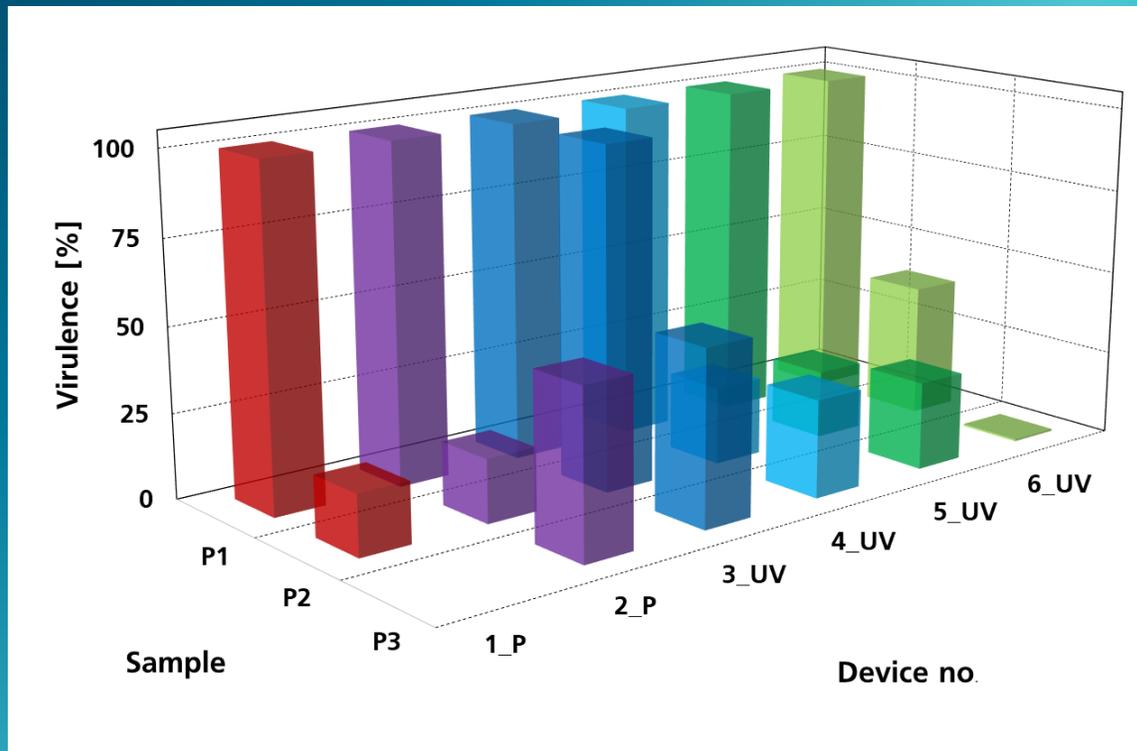
© Fraunhofer IBP

# Inaktivierende Luftreinigungstechnologien

## Virulenz vs. Partikel

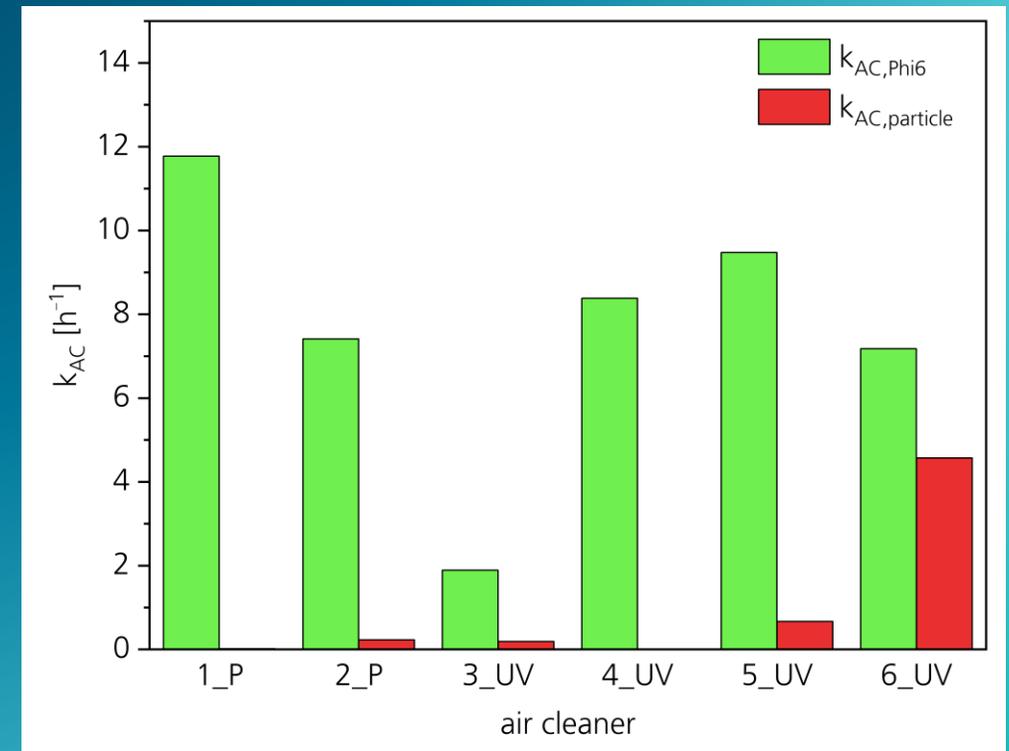
$$c_n(t) = \frac{S_n}{k_n} + \left( c_{n-1}(t_{n-1}) - \frac{S_n}{k_n} \right) \cdot e^{-k_n \cdot (t - t_{n-1})}$$

### Ergebnisse des Plaque Assay Tests



© Fraunhofer IBP

### Einfluss Filterwirkung vs. Inaktivierung



# Effizienz von Luftreinigungstechnologien in der Praxis

## Realmessungen

- Luftkeimmessung auf natürlich vorhandene Bakterien (vom Mensch) und Sporen (von der Umgebung), da der Nachweis von Viren rein zufällig wäre
- Zusätzlich CO<sub>2</sub>, Temperatur, Feuchte
- Sammlung natürlich vorkommender Keime
- Vergleichstage Luftreiniger aus / an

## ➤ Ergebnis

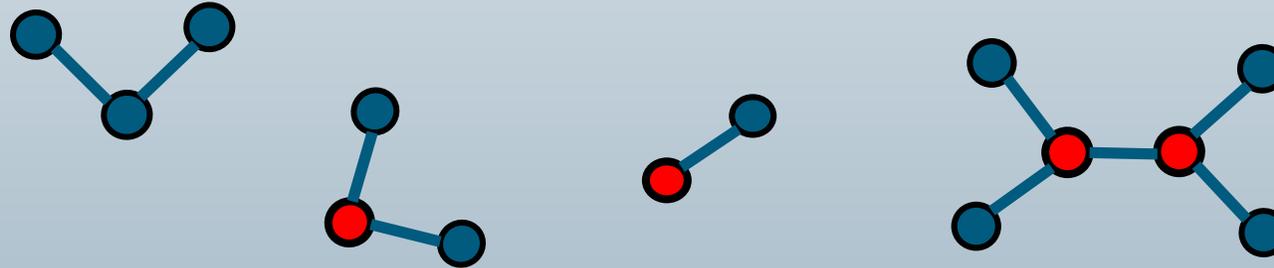
- Je nach Umfeld, Belegung, Fluktuation, bautechnische Ausführung (z.B. Anzahl, Dichte und Position)
  - Reduktion Bakterien und Pilzsporen von 20 bis 85 %
  - Berechneter Virenabbau von 25 bis 95 %



# Gesundheitsschädliche Nebenprodukte

Entstehen durch den Betrieb eines Luftreinigers gesundheitsschädliche Nebenprodukte?

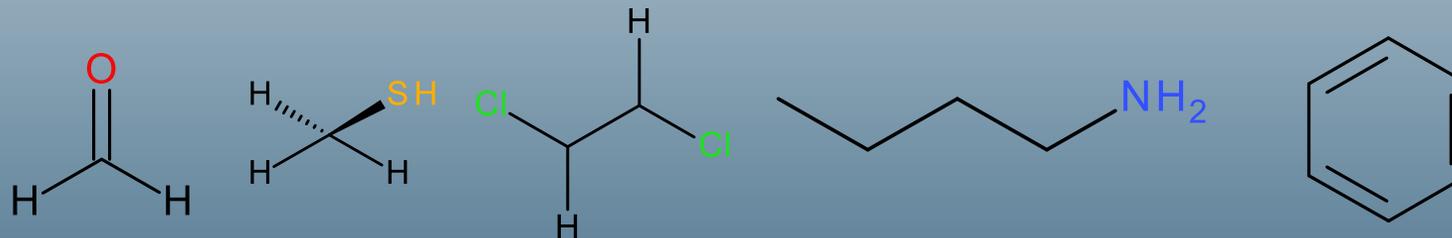
Ozon  $O_3$



Stickoxide

© Fraunhofer IBP

Flüchtige organische Verbindungen (VOC): Geruchsstoffe, Krebserregende Stoffe, Erhöhung der Gesamtemissionen



© Fraunhofer IBP

# Gesundheitsschädliche Nebenprodukte

## Flüchtige Organische Verbindungen VOC

Substanz [µg/m³]	1_P	2_P	3_UV	4_UV	5_UV	6_UV
Essigsäure				4		
Aceton	17			51		
Acetophenon	4					
Decanal	2					
Ethanol	54			2		
Heptanal				1		
Octanal	1		1			
1,2- Propandiol			1			
Toluol			1			

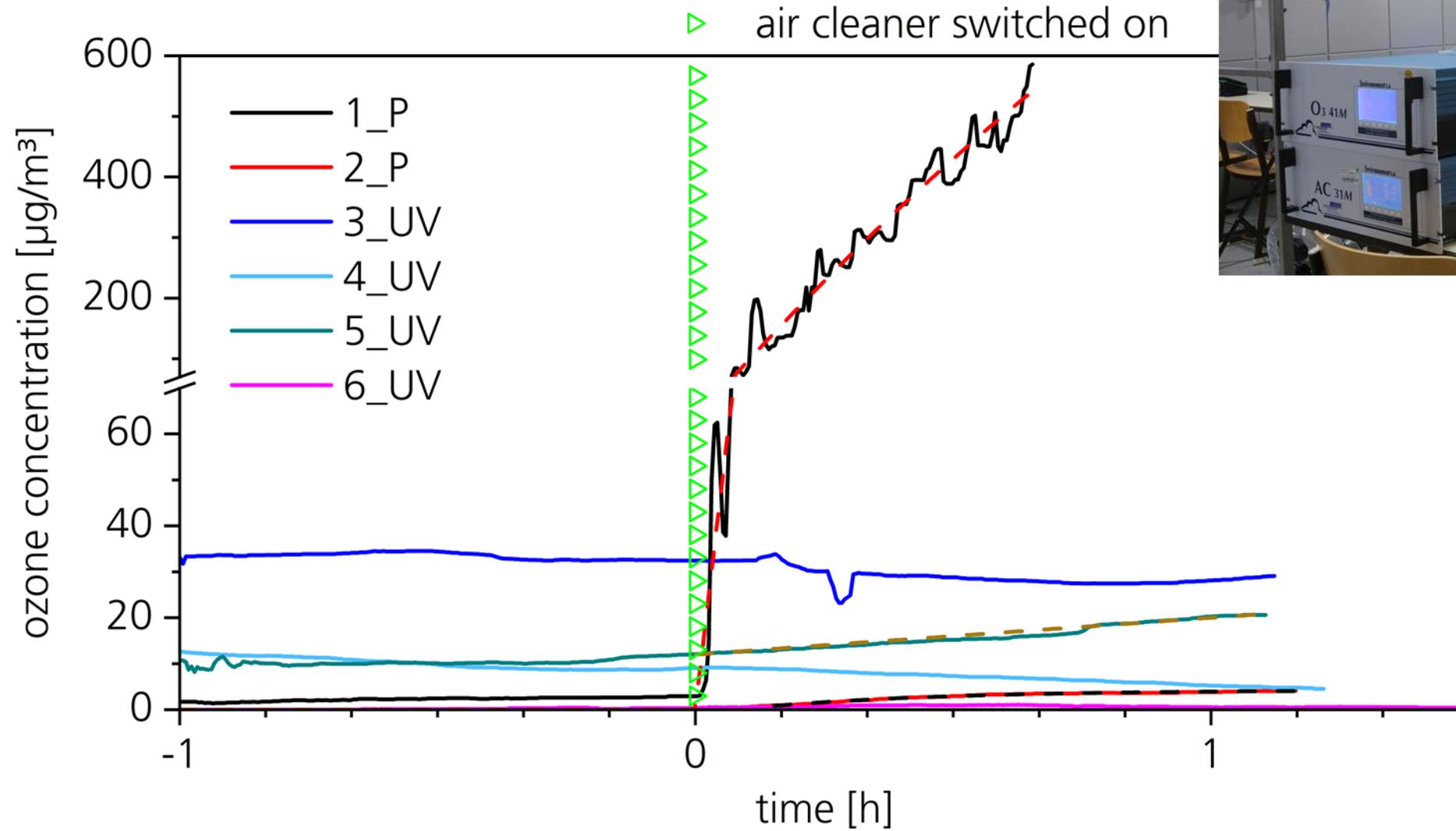


© Fraunhofer IBP



# Gesundheitsschädliche Nebenprodukte

## Ozon



# Fazit

## Richtlinien

### Stellungnahmen des Umweltbundesamts UBA (Kommission Innenraumlufthygiene IRK) und des European Centre for Disease Prevention and Control ECDC

Raumluftreinigungstechnologien können ergänzend zum Einsatz kommen.

Sie ersetzen in keiner Weise eine ausreichende Zufuhr von Frischluft und aktuelle Hygieneanforderungen.

Sie sind ein effizientes Zusatzmodul zur Risiko-Minimierung einer Ansteckung, wenn deren Wirksamkeit und Unbedenklichkeit bescheinigt werden.

Quelle (Link): [www.umweltbundesamt.de/themen/mobile-luftreiniger-nur-als-ergaenzung-lueften](http://www.umweltbundesamt.de/themen/mobile-luftreiniger-nur-als-ergaenzung-lueften)

VDI-EE 4300 Blatt 14: Messen von Innenraumluftverunreinigungen - Anforderungen an mobile Luftreiniger zur Reduktion der aerosolgebundenen Übertragung von Infektionskrankheiten

# Fazit

## Bauvarianten und Ausschreibungskriterien

### Fragestellungen und Kriterien:

- Einsatzbereich (Räume mit geringer/dichter Belegung, hohe/niedrige Fluktuation)
- Ausbauvariante (Aufstellgerät, Deckengerät, im Umluft, dezentrale Lüftungsanlage)
- flankierende Maßnahmen (Fensterlüftung, CO2-Ampel, sonstige Sensoren, vorhandene Gebäudeinfrastruktur)
- Kosten und Förderungen

1

Nachweis der Wirksamkeit gegenüber dem Abbau **luftgetragener Viren** gemäß VDI 4300 Blatt 14

2

Sicherheit und Schutz vor Vandalismus, Schutz vor unbefugter Bedienung, EMV-Sicherheit, CE-Kennzeichnung

3

Keine Bildung unerwünschter Nebenprodukte (VOCs und Ozon) bei UVC kein Strahlungsausstritt aus dem Gehäuse

4

Elektrische Leistungsaufnahme (Markt-Range von 50 bis 500 W/h)

5

Schallleistungspegel des Geräte bei empfohlenen Volumenstrom: 35 dB(A) für Klassenzimmer, 45 dB(A) für Büro- / Besprechungsräume

6

Behaglichkeitsnachweis – Vermeidung von Zugluft gemäß DIN EN ISO 7730 (Bestimmung der thermischen Behaglichkeit)

# Warum keine chemische Desinfektion der Luft?





**Dr. rer. nat. Andrea Burdack-Freitag**  
**Abteilung Umwelt, Hygiene, Sensorik**  
**Tel. +49 8024 643295**  
**[andrea.burdack-freitag@ibp.fraunhofer.de](mailto:andrea.burdack-freitag@ibp.fraunhofer.de)**

Fraunhofer Institut für Bauphysik  
Fraunhoferstraße 10  
83626 Valley  
Germany  
[www.fraunhofer.de](http://www.fraunhofer.de)

### **Veröffentlichungen**

Andrea Burdack-Freitag, Andreas Schmohl, Michael Buschhaus,  
Anna Nagele-Renzl, Wolfgang Hofbauer, Sabine Johann, Christan R.  
Scherer, Gunnar Grün

Indoor Air Conference 2022 (Kuopio, FL)

- Release of undesired by-products during the operation of virus inactivating air cleaning devices (Best Paper Award) ★
- Determination of the clean air delivery rate (CADR) of virus-inactivating air purifiers by surrogate virus plaque assay

Atmosphere

- Particulate Matter versus Airborne Viruses—Distinctive Differences between Filtering and Inactivating Air Cleaning Technologies (veröffentlicht Sept. 2022)
- Incremental Evaluation Model for the Analysis of Indoor Air Measurements (Review)