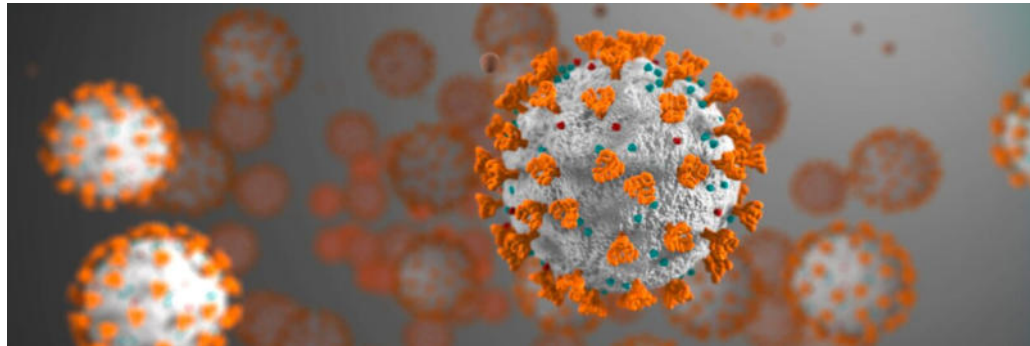


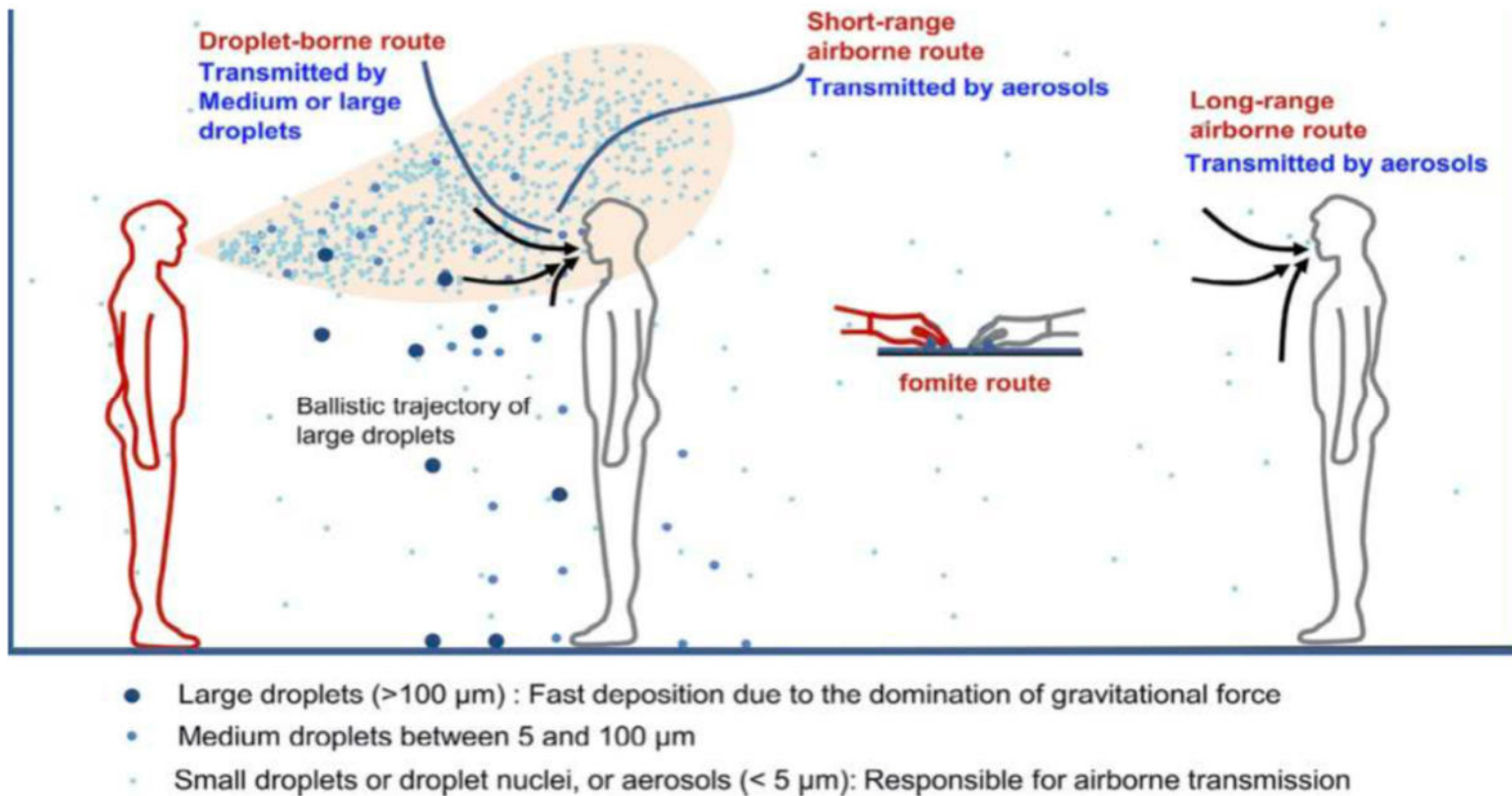
Lüften, Luftreinigung, Masken und Schnelltests



Joachim Curtius
Institut für Atmosphäre und Umwelt
Goethe-Universität Frankfurt am Main
curtius@iau.uni-frankfurt.de

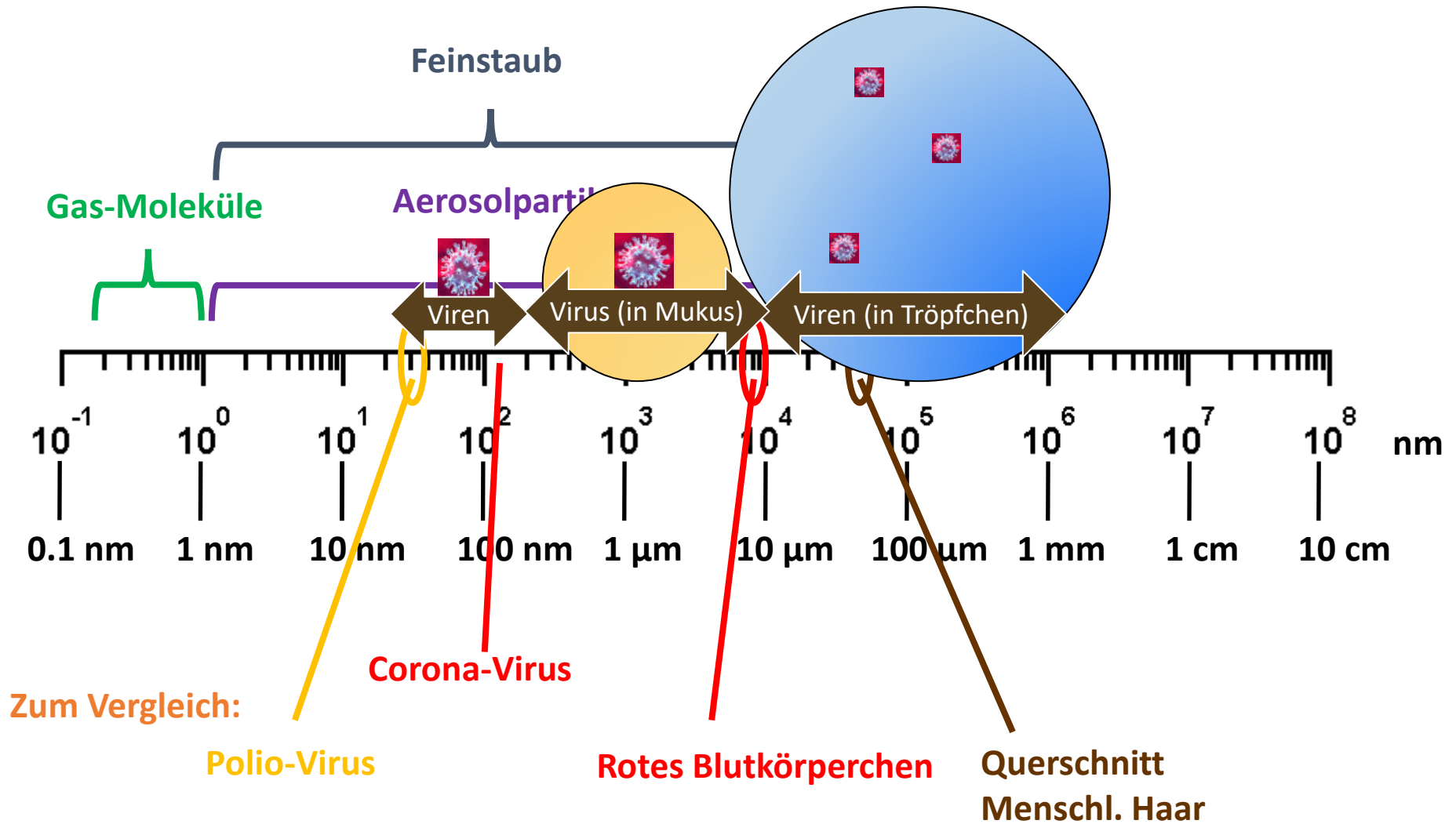
Luftgetragene Infektion/Aerosolinfektion vs. Tröpfcheninfektion

Prather et al., Science, Oktober 2020:
“airborne transmission is a major pathway of transmission”



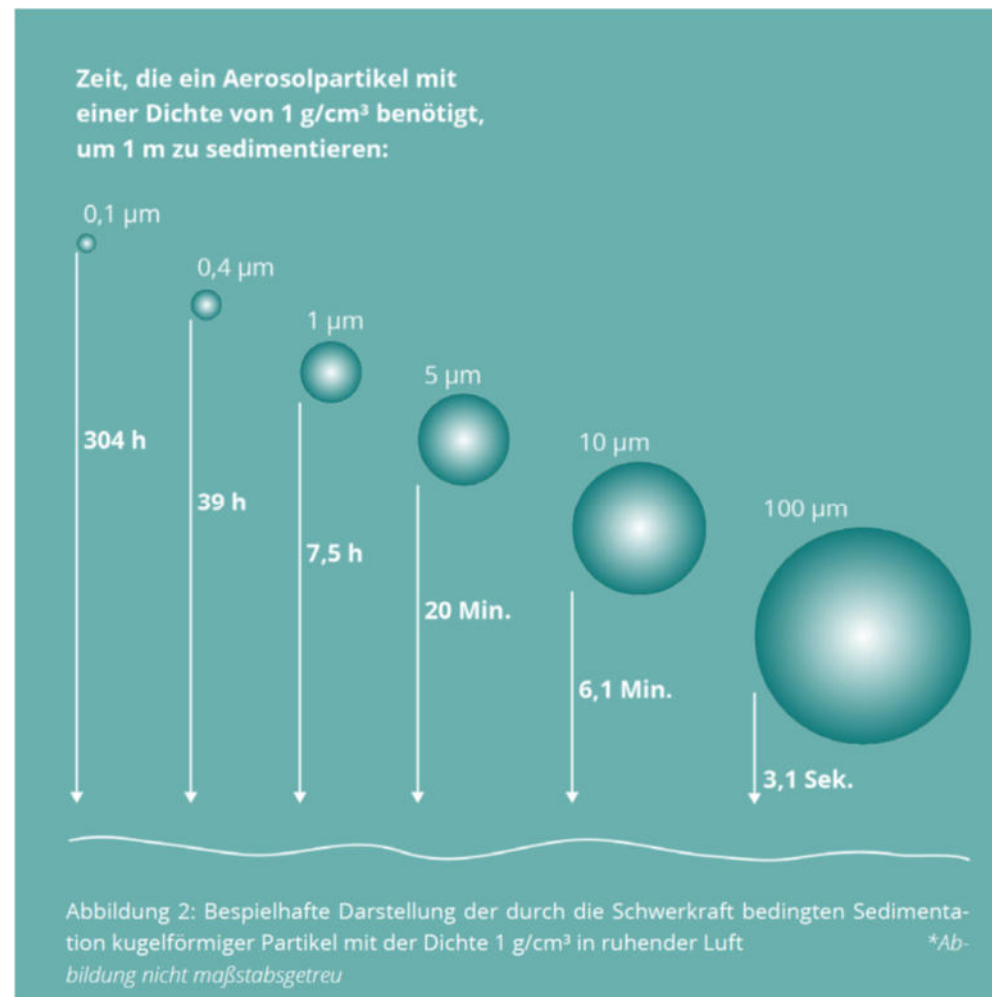
Wei and Liu, 2016

Größe vom Aerosolpartikeln



1 mm = 1 Millimeter = 10^{-3} m
 1 μ m = 1 Mikrometer = 10^{-6} m
 1 nm = 1 Nanometer = 10^{-9} m

„Aerosol“ vs. „Tröpfchen“



Achtung: auch Partikel $> 5 \mu\text{m}$ können noch lange in der Luft schweben!

Achtung: Partikel aus dem Atemtrakt schrumpfen schnell in trockener Luft ($< 1 \text{ s}$)!

→ Grenze zu „ballistischen“ Tröpfchen, die schnell absinken, eher bei $50\text{-}100 \mu\text{m}$.

Viele Personen, lange Zeit, geschlossener Raum

Call Center, Südkorea, Anfang März 2020

Infektions-Cluster

blau: Arbeitsplätze von
Personen, bei denen
Innerhalb weniger Tage
SARS-CoV-2-Infektion
nachgewiesen
wurde.



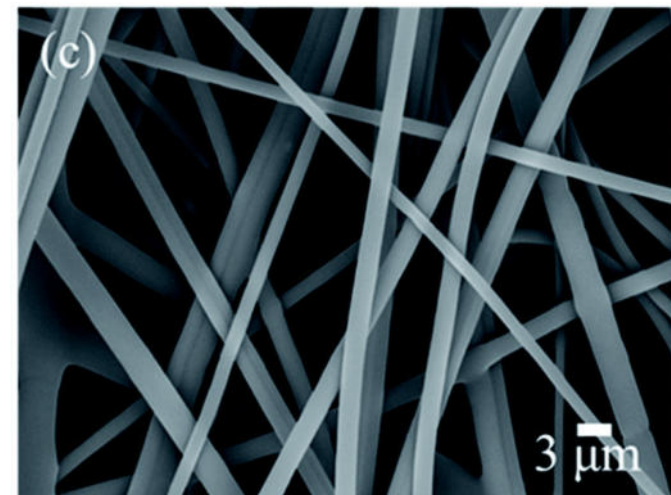
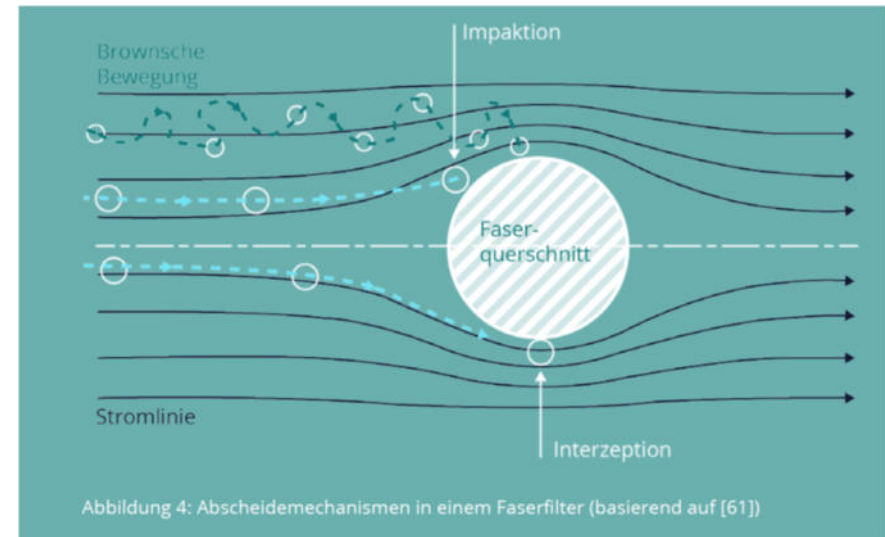
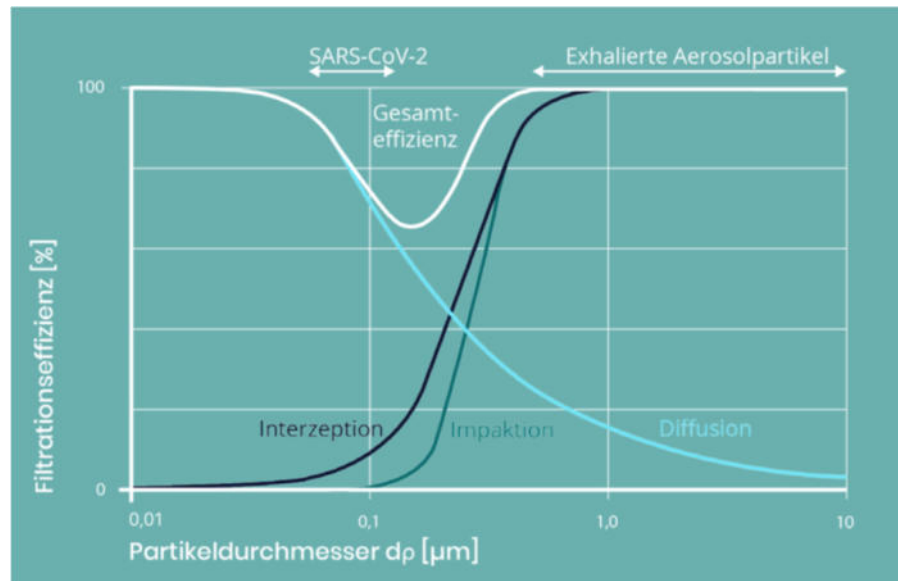
Figure 2. Floor plan of the 11th floor of building X, site of a coronavirus disease outbreak, Seoul, South Korea, 2020. Blue indicates the seating places of persons with confirmed cases.

[Park et al., Emerg. Infect. Diseases, 2020]

Abscheidung von Aerosolpartikeln auf Filtern

Achtung: Luftfilter/Maskenfließ ist kein “Sieb”,
Partikel $< 0,1 \mu\text{m}$ werden besser gefiltert als $0,1-0,3 \mu\text{m}$!

Hohe Effizienz der Filter im
Bereich $0,1-1 \mu\text{m}$ ist wichtig!



Arten von "Masken"

"FFP"-Masken:
Filtering facepiece respirators
FFP1, FFP2, FFP3 (Europe)
KN95 (China)
N95 (USA).



Stoffmasken



Bandanas,
Halstücher, etc.



OP-Masken

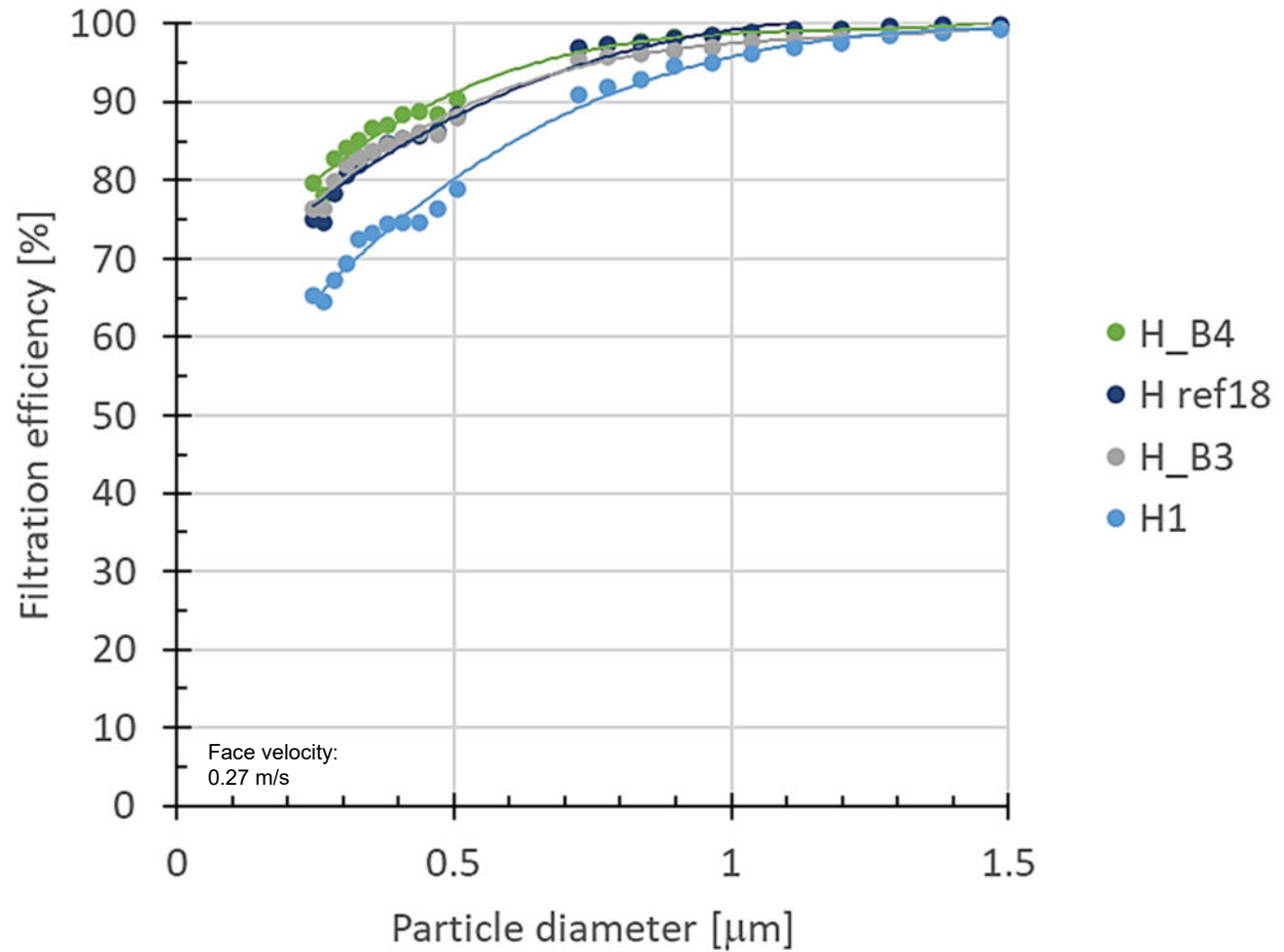


Resultate Maskentest

(nur Materialtest, Sitz der Maske nicht getestet)

Ernest Weingartner, FHNW

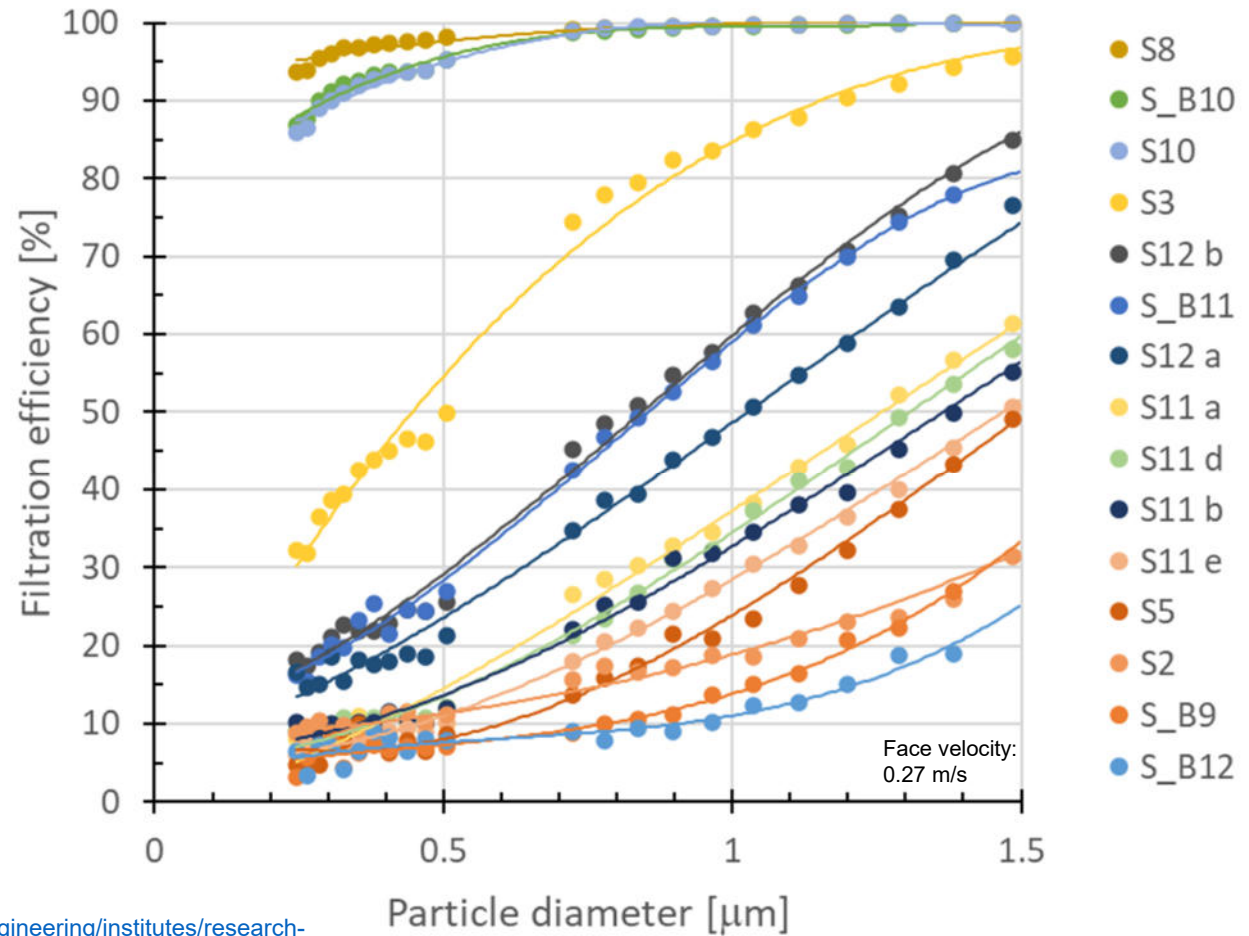
OP-Masken



<https://www.fhnw.ch/en/about-fhnw/schools/school-of-engineering/institutes/research-projects/evaluation-of-the-particle-filter-efficiency-of-fabrics-for-disposable-and-reusable-masks>

Stoffmasken

“große Bandbreite...”



<https://www.fhnw.ch/en/about-fhnw/schools/school-of-engineering/institutes/research-projects/evaluation-of-the-particle-filter-efficiency-of-fabrics-for-disposable-and-reusable-masks>

FFP-Masken

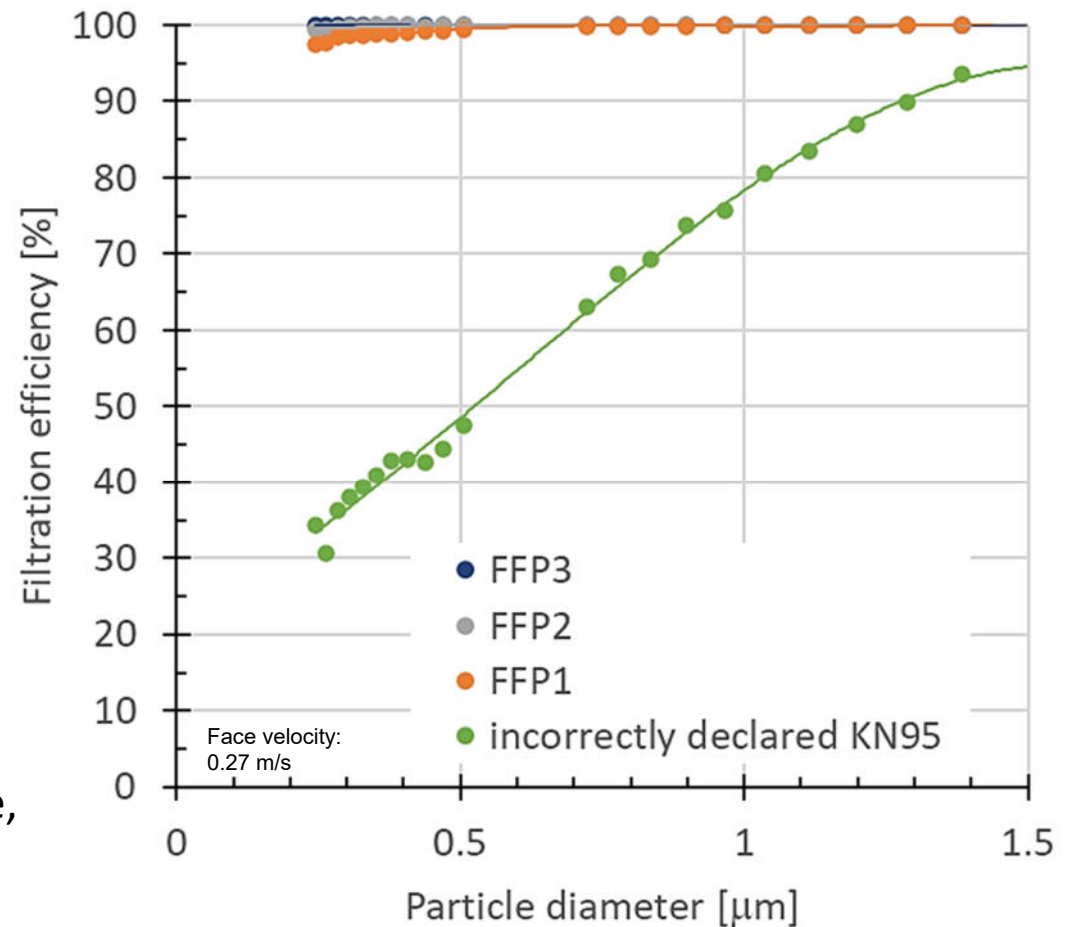


→ Auch FFP1-Masken schneiden sehr gut ab.

→ Vorsicht vor Fälschungen!

Wichtig: Kennzeichnung

CE-Zeichen mit vierstelliger Kenn-Nummer der Zertifizierungsstelle, die FFP Schutzstufe, die EN-Norm, Herstellername und Artikelnummer



Masken

entscheidend wichtig:

dichter Sitz am Gesicht!

(insbesondere bei FFP2-Masken)

Dichtigkeit testen... (“Maske atmet mit”)

Bartträger: keine gute Dichtigkeit gegeben!

möglichst große Filterfläche.

Wiederverwendung...

Stiftung Warentest Feb. 2021:
einzige mit “geeignet” geprüfte Maske:
3M Aura 9320+ (aber relativ unpraktisch,
zumindest für Brillenträger...)



© Benjamin Pritzkeleit



Lüften und Filtern

Ausbreitung von Aerosolpartikeln, die beim Atmen, Sprechen, Singen von einer Person abgegeben werden.

Höhere Konzentration in ca. 2 m Umgebung um die Person



Lüften und Filtern

Ausbreitung von Aerosolpartikeln

Gleichverteilung der Partikel im gesamten Raum innerhalb von 2-3 Minuten.

→ Vgl. Zigarettenrauch



Mobile Luftfilter

HEPA Filter oder ePM1 >90% um auch Partikel <1 µm effizient abzufiltern!



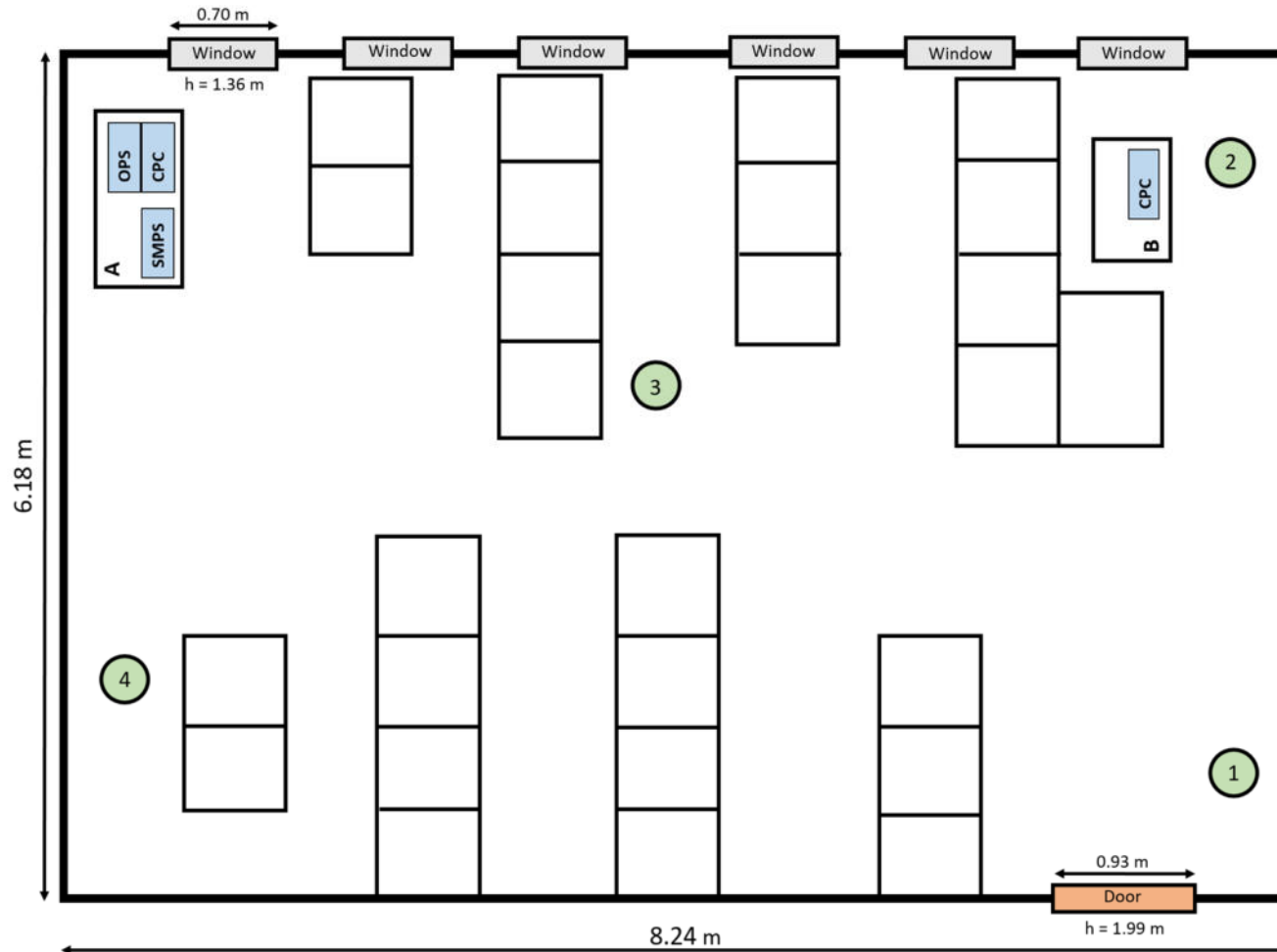
Komponenten:

- Vorfilter
- HEPA-Filter
- Gebläse



Tests an Leibnizschule Wiesbaden:

4 Philips Luftreiniger 2887/10,
27 Schüler, 1 Lehrer, 1 Wissenschaftler



Raum 1 (mit Filtern):

2 x Aerosolzähler

Aerosolgröße

CO₂ monitor

Raum 2 (ohne Filter):

1 Aerosolzähler

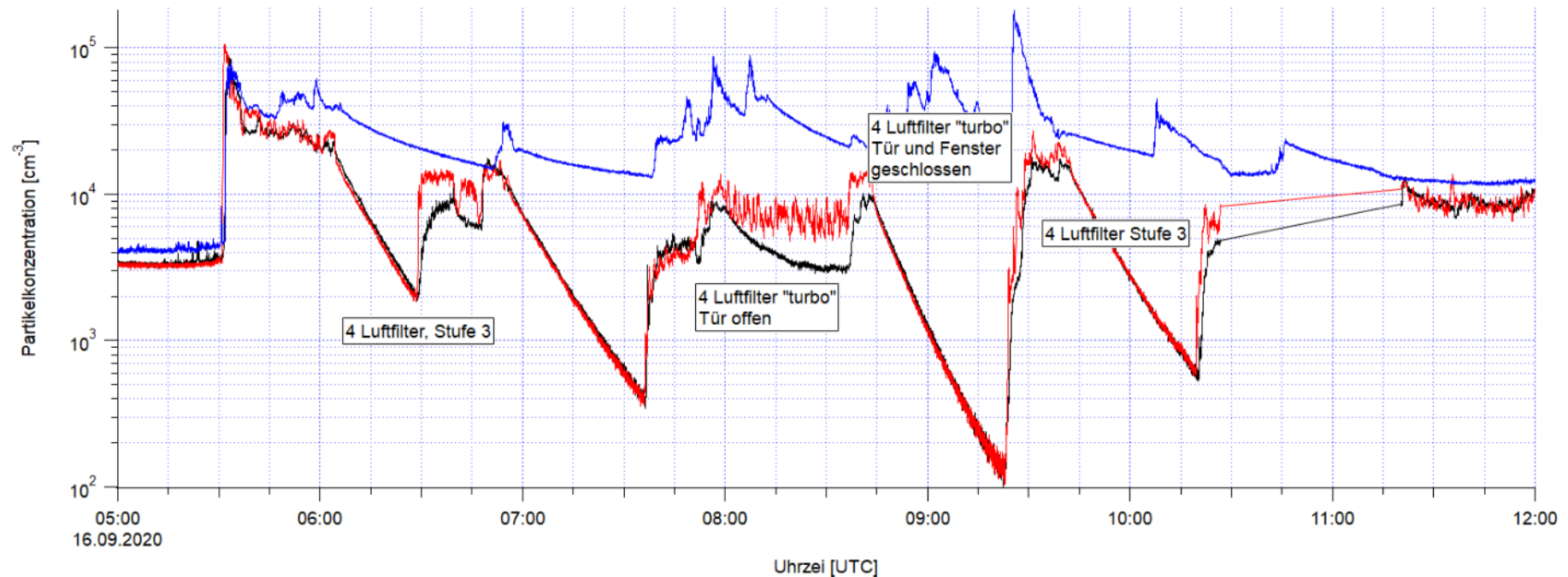
1 Aerosolgröße



Messungen:

Geschlossener Klassenraum, zeitlicher Verlauf der Aerosolkonzentration
mit (schwarz und rot) und *ohne* Luftreiniger (blau)

Mit Luftreinigern mehr als 90% Abnahme in unter 30 Minuten

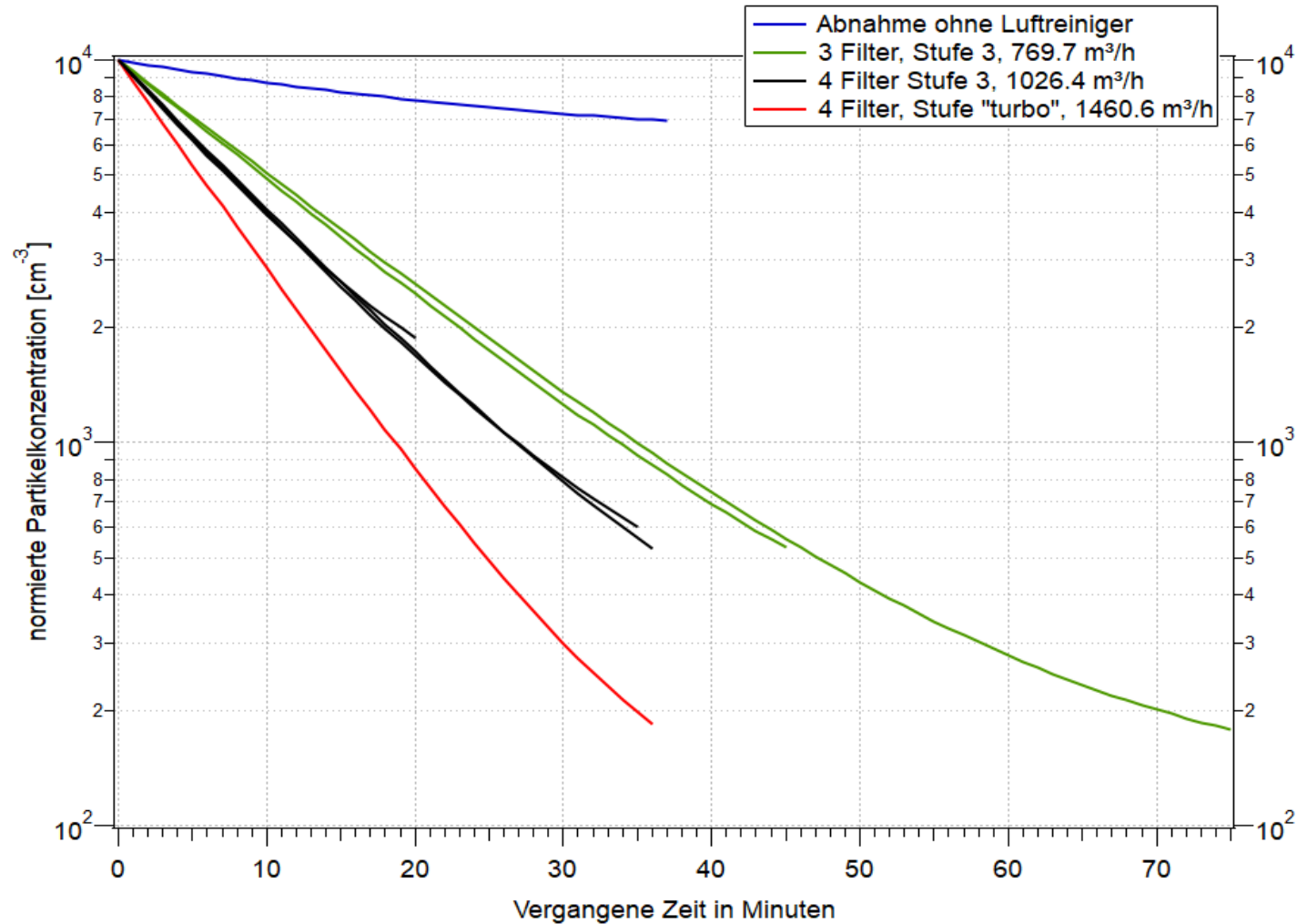


Sehr gleichmäßige Abnahme (rot, schwarz) an zwei Standorten

→ keine Totbereiche im Raum

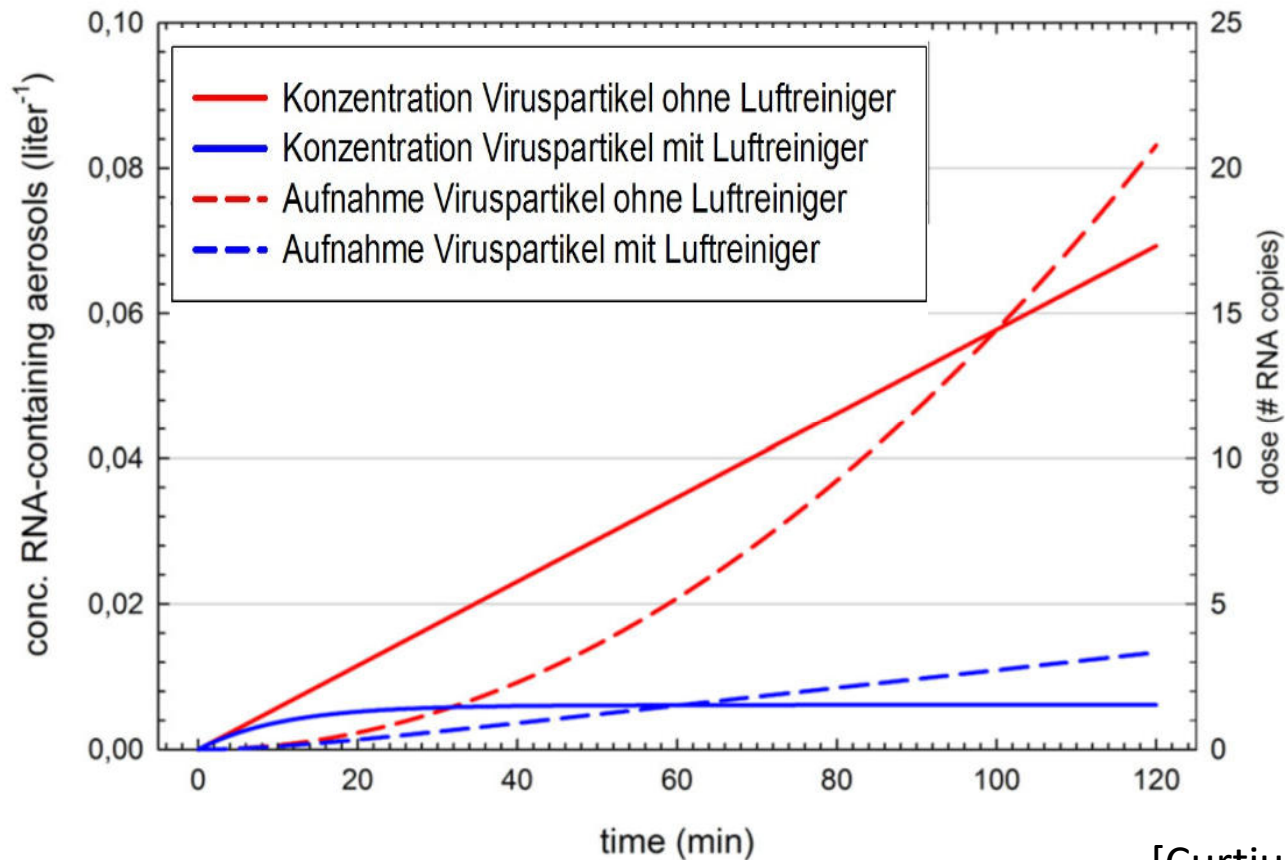
Gute Reproduzierbarkeit bei gleichen Einstellungen

Je höher der Volumenfluss, desto besser die Reduktion



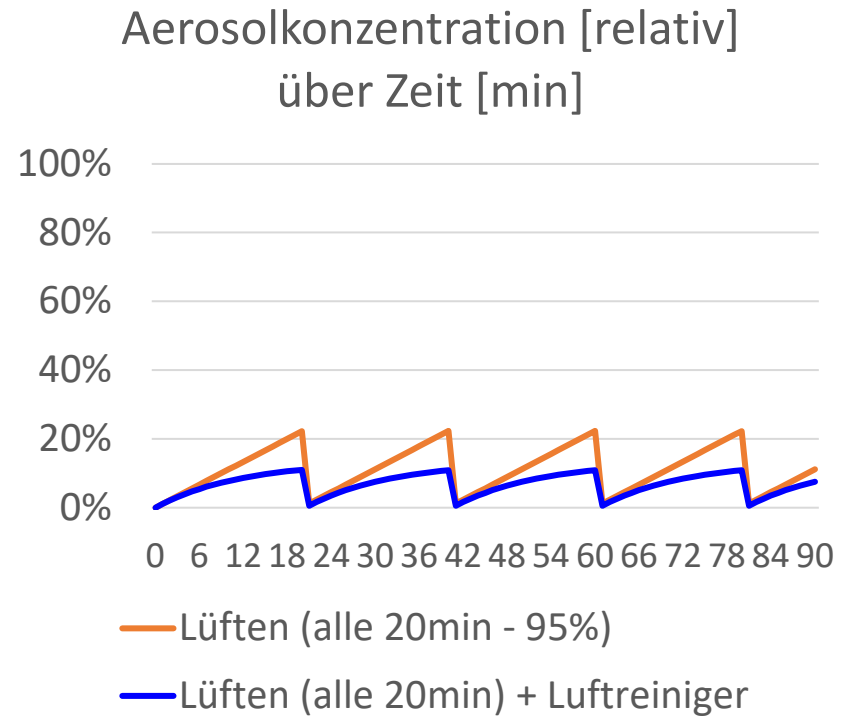
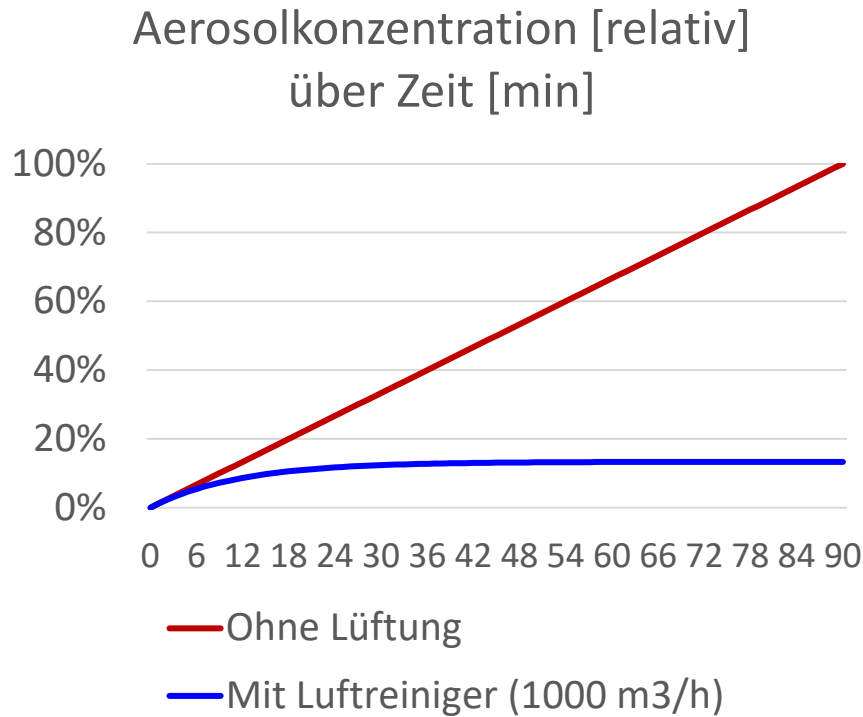
Abschätzung Konzentration und Dosis bei Anwesenheit einer infizierten Person:

- Geschlossener Raum für 2 Stunden mit und ohne Luftreiniger
- Konstante Emission von virus-haltigen Aerosolpartikeln (Spreader)
- Berechnung der Konzentration virus-haltiger Aerosolpartikel
- Aufnahme durch weitere Person(en)
- Infektionsrisiko steigt mit der Zeit (quadratisch, wenn kein Luftaustausch)!
- Unterschied mit/ohne Luftreiniger nimmt mit der Zeit zu
- Unterschied in der Dosis: nach 30 Minuten Faktor 2, nach 60 min Faktor 3, nach 2 Stunden Faktor 6.



[Curtius et al., AS&T, 2021]

Lüften und Luftfilter im Vergleich:

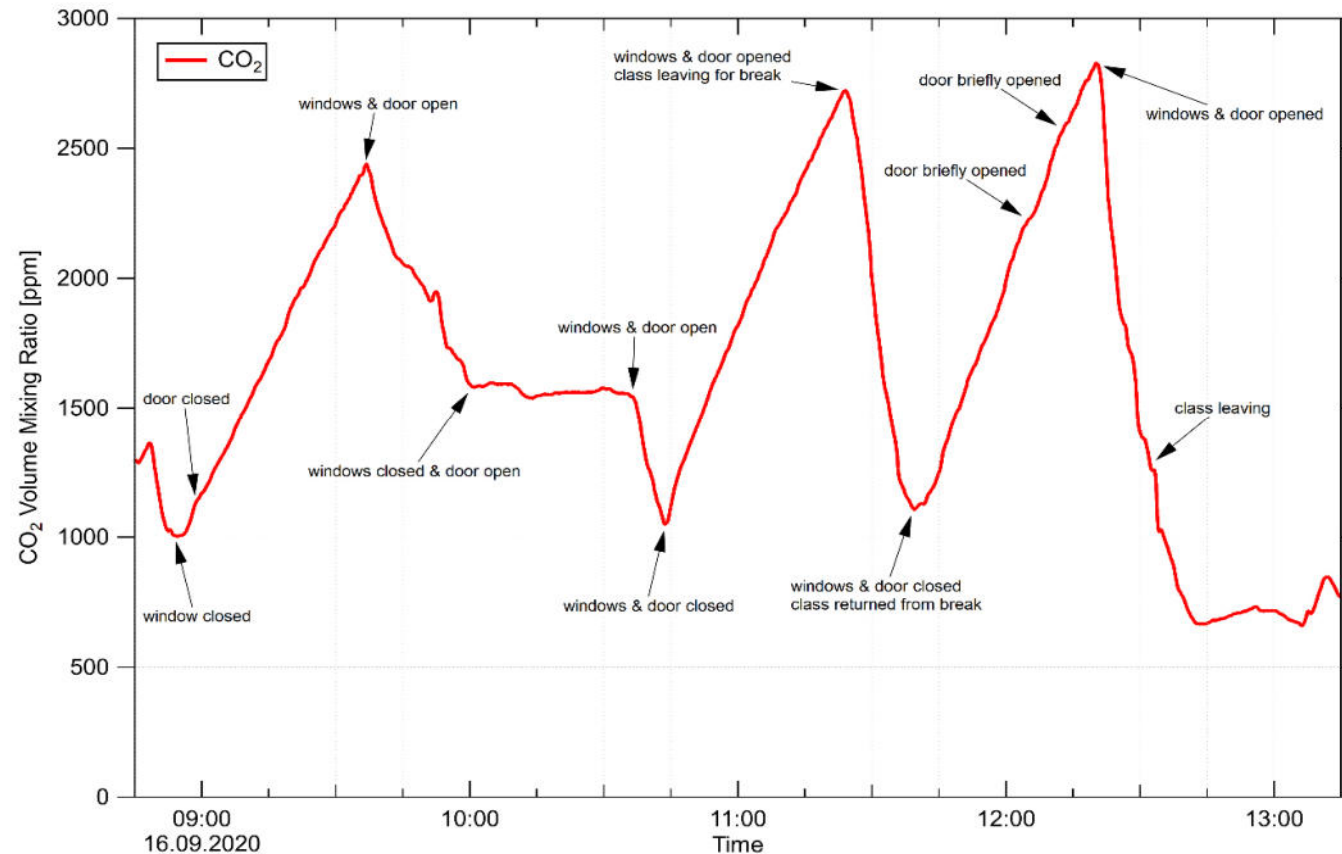


Effizienz des Lüftens ist abhängig von: Temperaturunterschied, Wind, Fenstergröße,...

Auch bei hoher Effizienz des Lüftens ist **das Beste die Kombination von Lüften und Luftfiltern!**

CO₂

CO₂ steigt bei geschlossenen Fenstern schnell über 1000 und sogar 2000 ppm.
Notwendigkeit für Frischluftzufuhr.



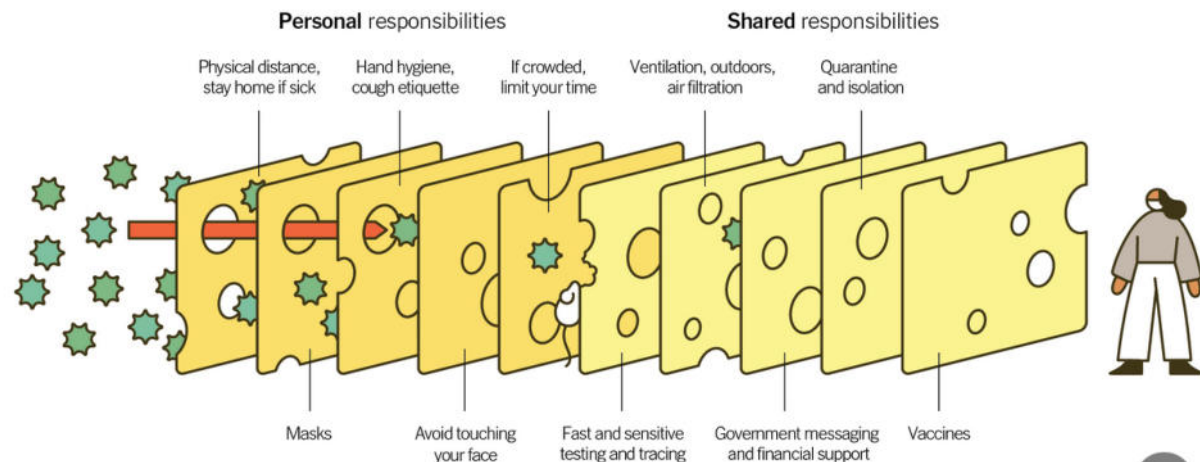
Zusammenfassung

- **Empfehlung** für Luftreiniger in Schulen (und Büros, Besprechungen...)
- Eigenschaften: **HEPA** Filter, großer **Luftumsatz** (1000 m³/h, **leise** (<55 dB (A))
- Energiekosten, Wartung, Aufstellung, ...
- empfehlenswert bzgl. **Feinstaub, Grippe, Allergien**
- Längerfristig: Lüftungsanlage mit Wärmetauscher + Filter
- Lüften zusätzlich (wenig zuverlässig; CO₂)
- Masken: FFP2 mit gutem Sitz
- Rolle der Aufenthaltszeit!

→ **Filtern und Lüften
und Masken
und Abstand
und Testen**
zusammen
reduzieren das Risiko
am besten...

Multiple Layers Improve Success

The Swiss Cheese Respiratory Pandemic Defense recognizes that no single intervention is perfect at preventing the spread of the coronavirus. Each intervention (layer) has holes.



Herzlichen Dank an:

Manuel Granzin und Jann Schrod

Goethe-Corona-Fonds

Goethe-Universität Frankfurt (M. Schubert-Zsilavec)



J. Curtius, M. Granzin & J. Schrod (2021):
Testing mobile air purifiers in a
school classroom: Reducing the airborne
transmission risk for SARS-CoV-2,
Aerosol Science and Technology,
<https://doi.org/10.1080/02786826.2021.1877257>

Positionspapier der Gesellschaft für
Aerosolforschung (GAeF), Asbach et al., 2020,
<https://www.info.gaef.de/positionspapier>



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

E-Mail: curtius@iau.uni-frankfurt.de

Abschätzung der Anschaffungs- und Folgekosten von Raumluftfiltern in Klassenräumen*

Prof. Dr. Anna Rohlfing-Bastian

Goethe-Universität Frankfurt

Fachbereich Wirtschaftswissenschaften

Professur für Rechnungswesen, insb. Management Accounting

*gefördert im Rahmen des Goethe-Corona-Fonds durch die Friedrich Flick Förderungstiftung

Einführung (1/2)

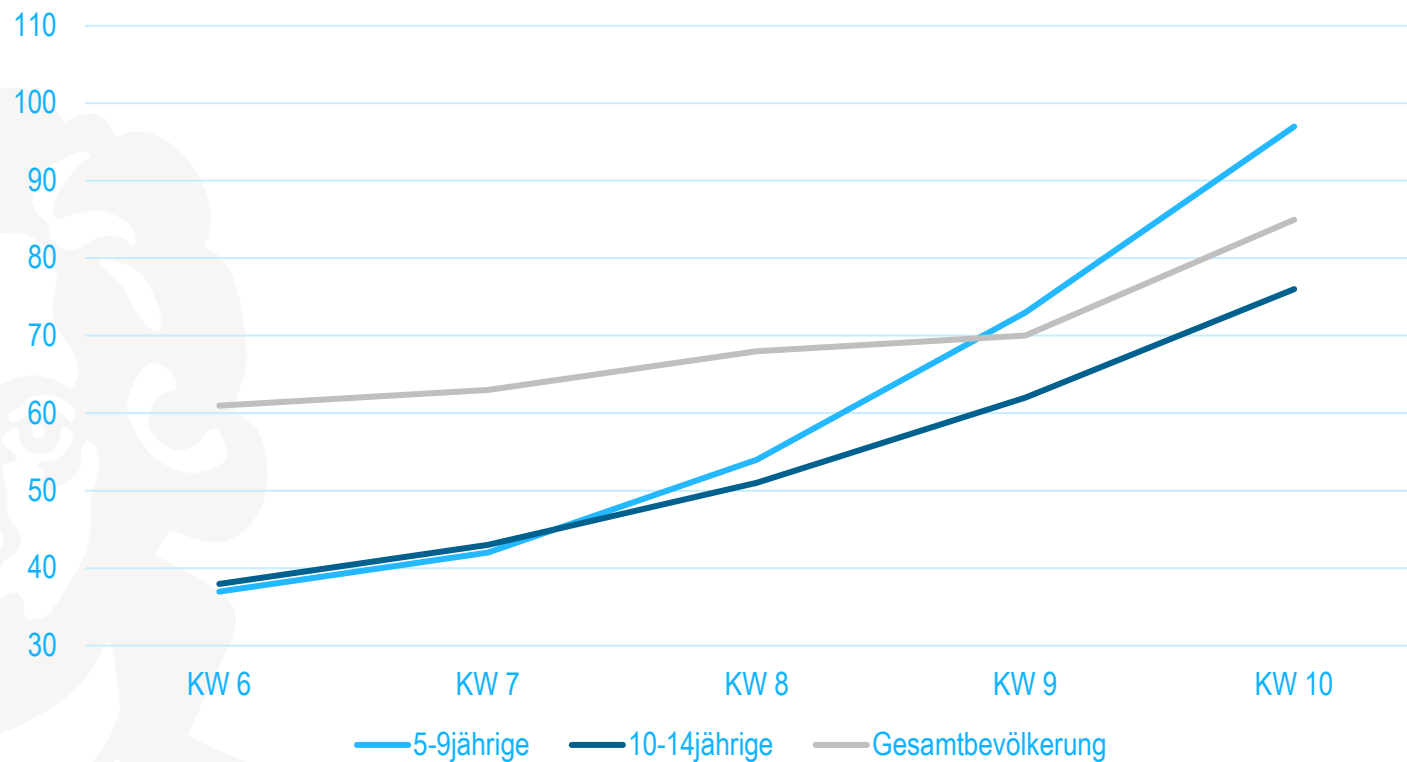
- **Mobile Raumluftfilter (RLF)** können dazu eingesetzt werden, die Aerosolkonzentration in Räumlichkeiten auf ein Niveau zu senken, von dem nur ein **sehr geringes bis kein Risiko** für eine Infektion mehr ausgeht (Curtius et al. 2020; Kähler et al. 2020)
- *„NRW-Schulministerin Yvonne Gebauer (FDP) hält Luftfilteranlagen in Klassenräumen gegen das Coronavirus zwar für eine gute Lösung – aber flächendeckend für zu teuer. Die Geräte würden bei rund 100 Euro Kosten pro Schüler "Unsummen verschlingen".“*
<https://www1.wdr.de/nachrichten/themen/coronavirus/schule-lueften-corona-virus-winter-100.html>
- RLF haben *„wahrscheinlich [eine] positive Wirkung auf den Infektionsschutz“*, aber *„hohe Kosten bei Anschaffung, Unterhalt, Wartung und Entsorgung“*
(S3-Leitlinie Maßnahmen zur Prävention und Kontrolle der SARS-CoV-2-Übertragung in Schulen vom 01.02.2021)

Wie hoch sind die **Anschaffungs- und Folgekosten von RLF** für den Einsatz in Klassenräumen und wie lassen sich Klassenräume unter Einhaltung eines **vorgegebenen Infektionsrisikos** mit dem SARS-CoV-2-Virus **kosteneffizient** ausstatten?

Einführung (2/2)

- **Kein Impfstoff** gegen das SARS-CoV-2-Virus ist bisher für **Kinder zugelassen**
- **Inzidenz** und **Fallzahlen** bei Schüler*innen steigen seit den teilweisen Schulöffnungen deutlich an

7-Tage-Inzidenz pro 100.000 Einwohner (Quelle: RKI)



Identifikation der Kosten von RLF

Anschaffungskosten

- Kaufpreis RLF (Mengenrabatte, Mietmodelle)
- Erste Filterausstattung (sofern noch nicht eingebaut)
- Versand/Lieferung/Aufbau
- [Ggf. notwendige bauliche Veränderungen zur Installation des Filters]

Fixkosten

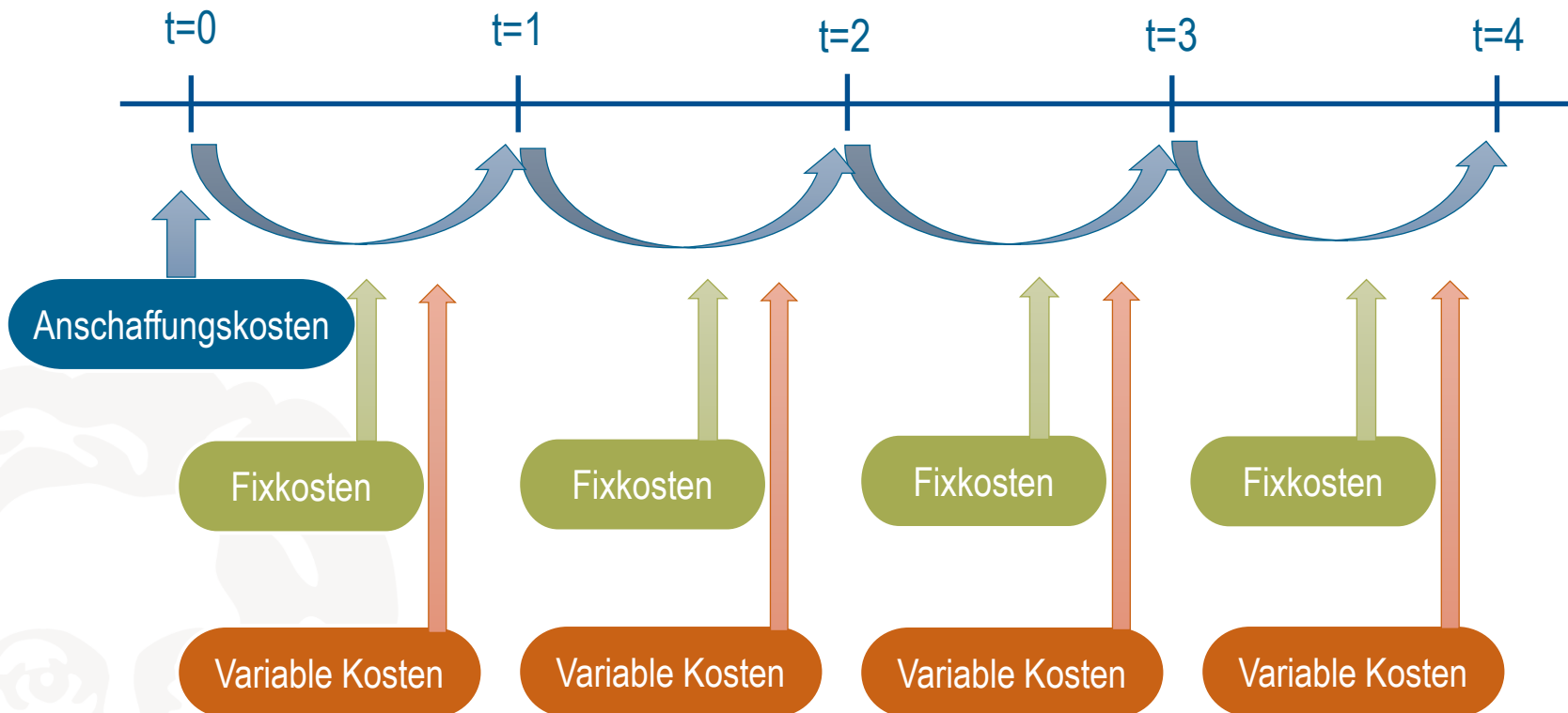
- Wartung
- [Versicherung]

Variable Kosten

- Filter plus Versandkosten
- Filterwechsel
- Entsorgungskosten gebrauchte Filter
- Strom

Datenerhebung: Fragebogen über soSci Survey an Hersteller mobiler RLF

Betrachtung von Lebenszykluskosten: Levelized Cost



- Zentrales Element der Bewertung: **Lebenszykluskosten pro produzierter Einheit**
(Reichelstein/Rohlfing-Bastian 2015)
- Anwendung auf RLF: **Volumen an gereinigter Luft**, d. h. zur Einhaltung eines Grenzwertes in Bezug auf die Aerosolkonzentration

Lebenszykluskosten Berechnungsbeispiele

Gerät	Viomed Virosafe 2500/F1000	Philips AC2887/10
Filterleistung	2.500m ³ /h	333m ³ /h
Anschaffungspreis (inkl. Lieferung/Installation)	4.869,-€	232,85€
Wartungskosten	0,-€	0,-€
HEPA-Filter	349,-€ (Wechsel alle 2 Jahre)	37,81€ (Wechsel jedes Jahr)
Vorfilter	179,-€ (Wechsel alle 2 Jahre)	-
Aktivekohlefilter	89,-€ (Wechsel alle 2 Jahre)	29,40€ (Wechsel jedes Jahr)
Wechsel durch Nutzer?	Ja	Ja
Stromverbrauch	0,23kW	0,06kW
Max. tägl. Betriebsdauer	24h	12h
Berechnete Lärmbelastung	33,89db	36,16db
Lebensdauer	10 Jahre	5 Jahre
Nutzungsabhängige Angaben: Kapitalkosten: 2%, Strompreis: 0,30€/kWh, Schultage pro Jahr: 184, Laufzeit pro Tag: 10h, Nutzungsdauer: 5 Jahre		
Levelized Cost	0,0002€/m³	0,0002€/m³

Notwendiges Filtervolumen

- Anwendung des Konzepts von Müller et al. (2021) zur Berechnung eines **relativen Infektionsrisikos** im Vergleich zu einer Referenzumgebung mit einem absoluten Infektionsrisiko von 1% bei einer anwesenden infizierten Person
- **Parameter:** Raumvolumen, Personenzahl im Raum, Aufenthaltsdauer im Raum, Luftwechselrate, körperliche Tätigkeit der Personen im Raum, Sprechaktivität der Personen im Raum, Mund-Nasen-Bedeckung
- **Vereinfachende Annahmen:** ideale Mischlüftung im Raum, Infektionsrisiko steigt linear mit der Anzahl eingeatmeter Viren
- Berücksichtigung der **aktuellen Infektionslage** bei der Berechnung der Wahrscheinlichkeit, dass sich unter den im Raum anwesenden Personen eine infizierte Person befindet
- Berücksichtigung des **Beitrags eines RLF** innerhalb der Kalkulation möglich
- Vorgabe eines gewünschten relativen Infektionsrisikos und **Berechnung des notwendigen Filtervolumens** zur Einhaltung eines Grenzwertes bzgl. der Aerosolkonzentration in einem Raum

Berechnung des notwendigen Filtervolumens im Schulalltag

Eingaben Nutzer:

- Raumvolumen: 200m³
- Raumbelugung: 22 Personen, 1 Lehrer (sitzend, sprechend), 21 Schüler (sitzend, atmend)
- Aufenthaltsdauer: 5 Schulstunden mit zwei großen Pausen
- Gewünschtes relatives Infektionsrisiko: 1 (entspricht bei aktueller Infektionslage in Deutschland einem absoluten Infektionsrisiko von ca. 0,03%)

Berechnungen:

- Durchschnittliche Luftwechselrate mit Lüftungsverhalten gemäß Vorgaben des Umweltbundesamtes: 1,85/h (vereinfachend linearisiert berechnet)

	Szenario 1	Szenario 2
Szenarien	wie oben	Schüler und Lehrer tragen MNB
Notwendiges Filtervolumen	2.724,35m ³ /h	1.177,27m ³ /h
Effektiv notwendiges Filtervolumen (Abscheidegrad)	2.731,18m³/h	1.180,22m³/h

Kosteneffiziente Raumausstattung

- Ausgehend von Raum und Raumnutzung ergibt sich ein zeitlicher **Bedarf an gereinigter Luft** und daraus das **notwendige Filtervolumen**
- Dieses Filtervolumen gilt es im Zeitverlauf **kosteneffizient** zu erreichen
- **Trade-off** zwischen Anschaffungspreis, laufenden Betriebskosten und Filterleistung
- **Lärmbelastung** im Raum unterliegt arbeitsschutzrechtlichen Bestimmungen



www.airfiltercalculator.com

Beispiel für die kosteneffiziente Ausstattung eines Klassenraums (1/2)

Eingaben Nutzer (Szenario 1):

- Raumvolumen: 200m³
- Raumbelastung: 22 Personen
 - 1 Lehrer, sitzend, sprechend
 - 21 Schüler, sitzend, atmend
- Aufenthaltsdauer: 5 Schulstunden mit zwei großen Pausen
- Keine Mund-Nasen-Bedeckungen
- Gewünschte Nutzungsdauer: 4 Jahre (à 184 Schultage)

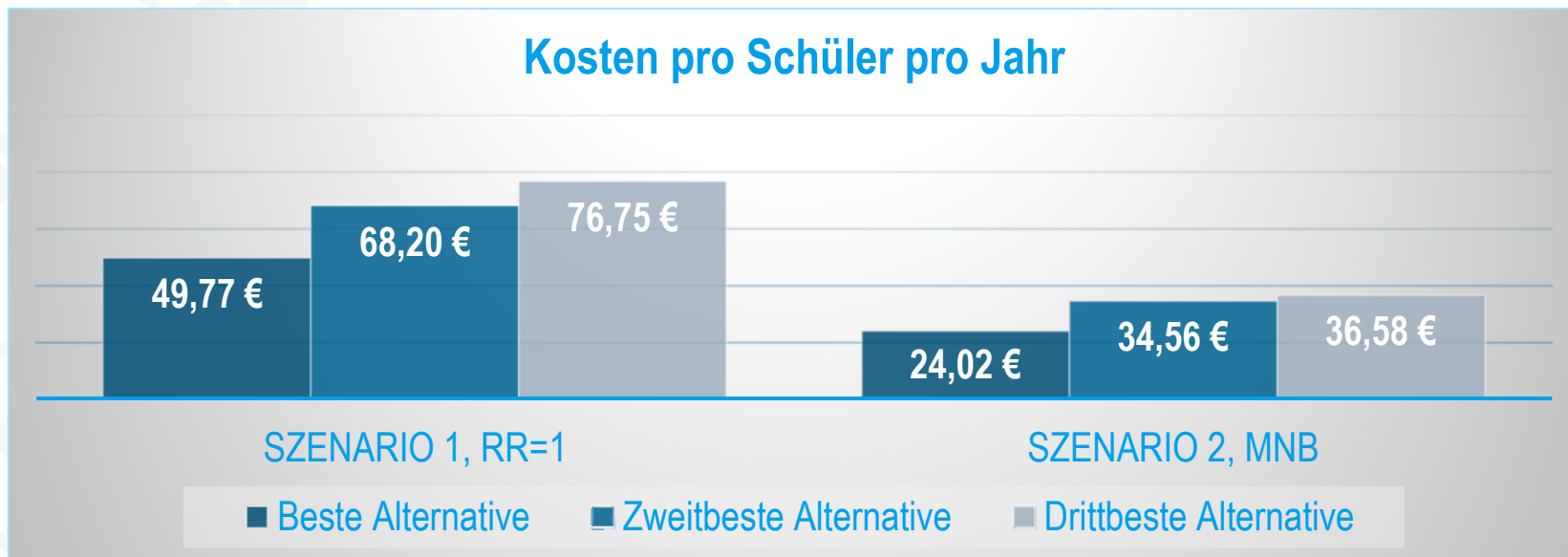
- Maximal erlaubte Lärmbelastung: 55db
- Wechsel der Filter durch Nutzer möglich: ja
- Lüftungsempfehlungen des Umweltbundesamtes umsetzbar: ja
- Gewünschtes relatives Infektionsrisiko: 1

Szenario 2: wie Szenario 1, aber Schüler und Lehrer tragen Mund-Nasen-Bedeckungen

Beispiel für die kosteneffiziente Ausstattung eines Klassenraums (2/2)

Kostengünstigste Ausstattung:

	Szenario 1	Szenario 2
Beste Option	1x Viomed Virosafe 2500/F1000 1x Philips AC2887/10	4x Philips AC2887/10
Zweitbeste Option	3x Viomed Akut 1000/F500	1x Wolf Airpurifier
Drittbeste Option	1x HEYLO PF3500 1x HEYLO PF1400	1x HEYLO HL400 1x Viomed Akut 1000/F500



Zusammenfassung und Ausblick

- **Kosten pro Schüler** für eine Rückkehr in einen **regulären Schulalltag** bei einem absoluten Infektionsrisiko von 0,03% liegen für Grundschüler unter **50,-€ pro Jahr** in der kostengünstigsten Variante, aber auch in der zweit- und drittbesten Variante noch **deutlich unter 100,-€ pro Jahr**
- **Mund-Nasen-Bedeckungen** reduzieren die Kosten um etwa die Hälfte
- Geplante Erweiterung: Kosteneffiziente Ausstattung von kompletten Schulen mit **mehreren Räumen** (Berechnung für verschiedene Räume, Berücksichtigung von Rabatten der Hersteller bei Mehrfachabnahme, etc.)

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr. Anna Rohlfing-Bastian
Professur für Rechnungswesen,
insbesondere Management Accounting

Goethe-Universität Frankfurt | Campus Westend
RuW-Gebäude | Raum 3.235 | Theodor-W.-Adorno-Platz 4
60323 Frankfurt am Main | GERMANY
Telefon +49 (0)69 798 34851
E-Mail: Rohlfing-Bastian@econ.uni-frankfurt.de

Schnelltests – Aktuelle Aspekte



Prof. Dr. Manfred Schubert-Zsilavec

Goethe-Universität Frankfurt

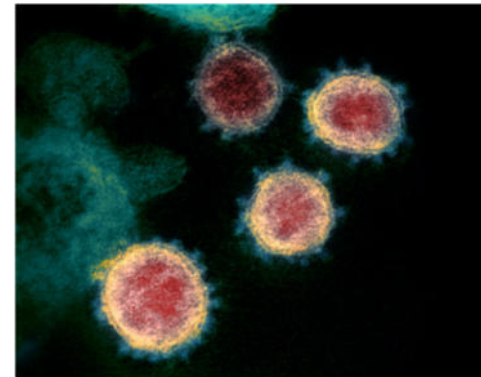
Fachbereich Biochemie, Chemie und Pharmazie

Professur für Pharmazeutische Chemie

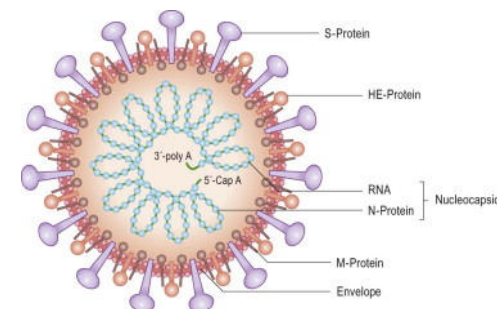
Wissenschaftlicher Leiter des Zentrallaboratoriums Deutscher Apotheker (ZL)

SARS-CoV-2

- Kugelförmige Struktur
- Lipiddoppelschicht
- „**Spikes**“ an der Oberfläche
- Genom besteht aus einem 28-32 Kilobasen großen, positiv orientierten RNA-Einzelstrang, der die klassische Struktur einer **mRNA** besitzt.



Quelle: NIAID, CC 2.0, Creative Commons



Huang et al (2020), *J Clin Med* 9: 1130

Maier et al (eds) (2015), *Coronaviruses: Methods and Protocols, Methods in Molecular Biology, Springer Science + Business Media New York*

- **PCR** steht für Polymerase Chain Reaction, Polymerasekettenreaktion, eine Nukleinsäure-Amplifikationstechnik (NAT)
- **Sensitivität** von Antigen-Tests beschreibt den Anteil der positiv getesteten Personen innerhalb einer Gruppe von Infizierten.
- Bei der **Spezifität** von Antigen-Tests geht es um den Anteil falsch-positiver Ergebnisse.

Tests mit Sonderzulassung zur Eigenanwendung durch Laien

Suchbegriff

Über das BfArM • Arzneimittel • Medizinprodukte • Bundesopiumstelle • Forschung • Service

Antigen-Tests auf SARS-CoV-2

STARTSEITE → MEDIZINPRODUKTE → ANTI-GEN-TESTS AUF SARS-COV-2

Tests zur Eigenanwendung durch Laien

Das BfArM hat die ersten Sonderzulassungen nach §11 Absatz 1 Medizinproduktegesetz (MPG) von Antigen-Tests zur Eigenanwendung durch Laien (Selbsttests) zum Nachweis von SARS-CoV-2 erteilt. Weitere Informationen zur rechtlichen Grundlage und den dabei geprüften Anforderungen finden Sie weiter unten auf dieser Seite unter dem Menüpunkt „Hinweise zur Sonderzulassung von Antigen-Tests durch das BfArM“.

Es handelt sich um folgende Tests, die Liste wird kontinuierlich aktualisiert:

Antig CoV-2 Anwe
Li SA
Abfra

Aktenzeichen der Sonderzulassung des BfArM	Hersteller	Antragsteller	Testname	BfArM-AT-Nummer*
5640-S-004/21	Healgen Scientific LLC	Siemens Healthcare Diagnostics Products GmbH	CLINITEST Rapid COVID-19 Self-Test	AT001/20
5640-S-007/21	Xiamen Bosen Biotech Co., Ltd	Technomed Service GmbH	Rapid SARS-CoV-2 Antigen Test Card	AT116/20
5640-S-009/21	Hangzhou Laihe Biotech Ltd., Co.	Lissner Qi GmbH	LYHER® Covid-19 Antigen Schnelltest (Nasal)	AT011/20
5640-S-025/21	SD BIOSENSOR, INC.	MT Promedt Consulting GmbH	SARS-CoV-2 Rapid Antigen Test	AT307/21
5640-S-062/21	AMEDA Labordiagnostik	AMEDA Labordiagnostik	AMP Rapid Test SARS-CoV-2 Ag	AT033/20

Corona-Schnelltests – Bewertung Robert-Koch-Institut (RKI)

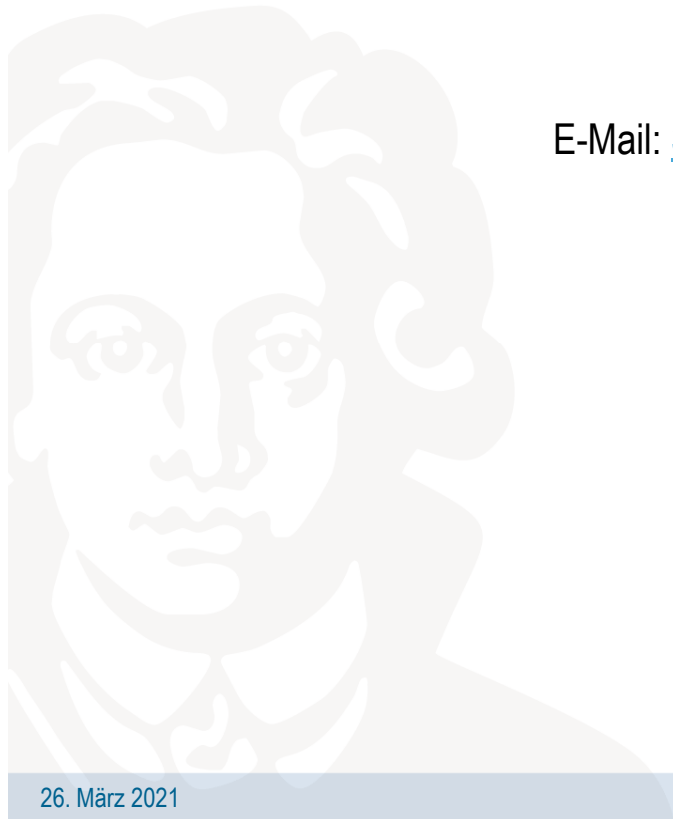
- Bereits das **Erkennen von Symptomen**, die mit CoViD-19 vereinbar sind, soll im Hinblick auf die Eindämmung des Infektionsgeschehens zum Arztbesuch oder (bei sehr gering ausgeprägten Symptomen) zur eigenverantwortlichen häuslichen Absonderung führen.
- Antigentests zur Anwendung vor Ort (PoC) oder zur Eigenanwendung erkennen nur eine sehr **hohe Viruslast** in den oberen Atemwegen.
- Ein **positives Ergebnis im Antigentest** löst zunächst einen Verdacht auf das Vorliegen einer Infektion mit SARS-CoV-2 aus, soll ebenfalls zur eigenverantwortlichen häuslichen Absonderung führen und muss durch einen PCR-Test bestätigt werden.
- Ein **negatives Ergebnis im Antigentest** hat nur eine zeitlich begrenzte Aussagekraft („Gültigkeit“). **Es ist immer nur eine Momentaufnahme.** Es darf nicht zu falscher Sicherheit und der Vernachlässigung von Schutzmaßnahmen führen.

Corona-Schnelltests – Bewertung Robert-Koch-Institut (RKI)

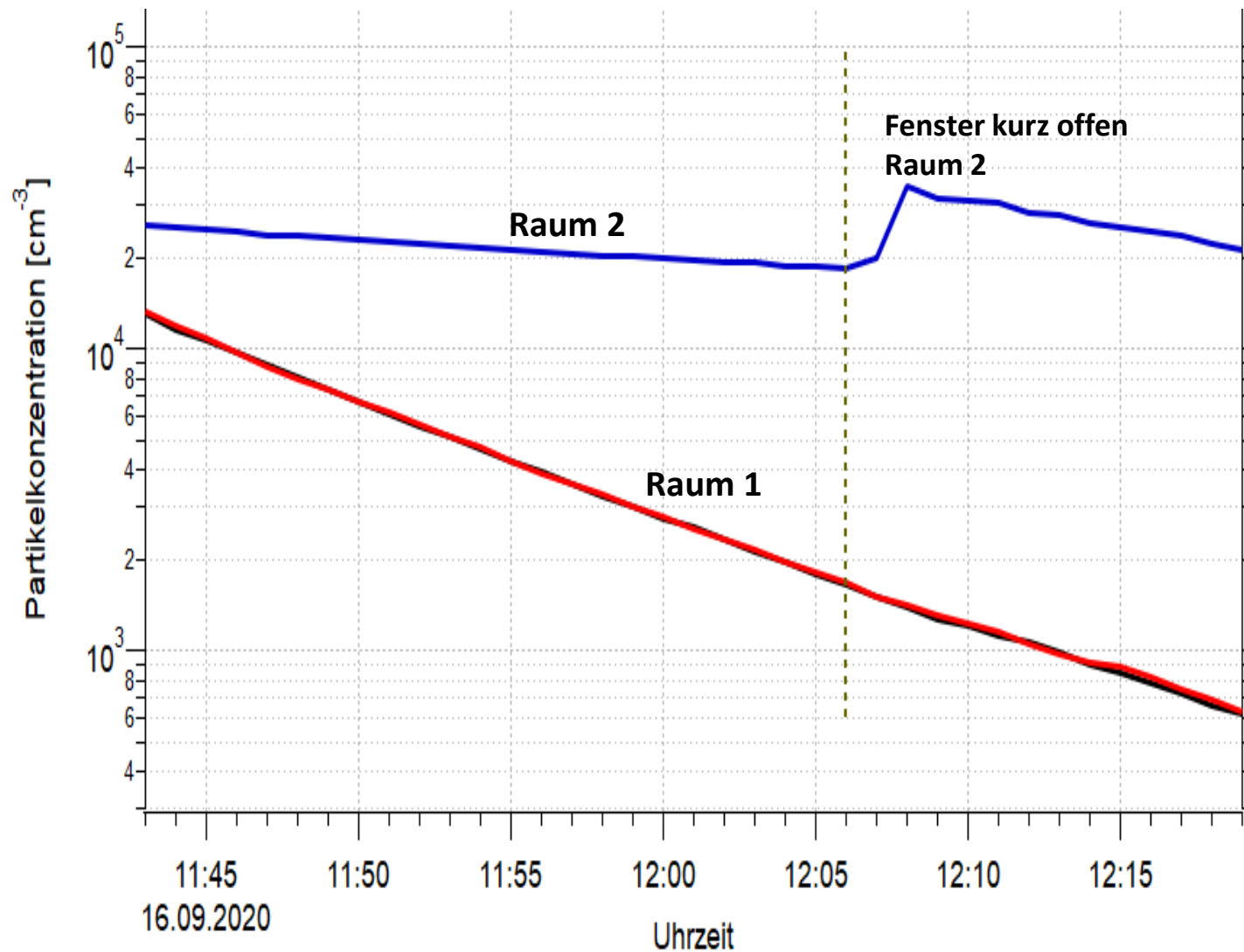
- Antigentests können bei serieller/**regelmäßig wiederholter Anwendung** Hygienekonzepte in bestimmten Einrichtungen ergänzen, so z.B.
 - in Heimen für die Betreuung älterer Menschen
 - beim Personal von Praxen und Krankenhäusern
 - in Schulen und Kindertagesstätten
 - in betrieblichen Kontexten
- **Die Einhaltung von Hygieneregeln und die Impfung sind der beste Schutz vor CoViD-19.**

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

E-Mail: Schubert-Zsilavec@pharmchem.uni-frankfurt.de



90 % Abnahme der Aerosolkonzentration in unter 30 Minuten



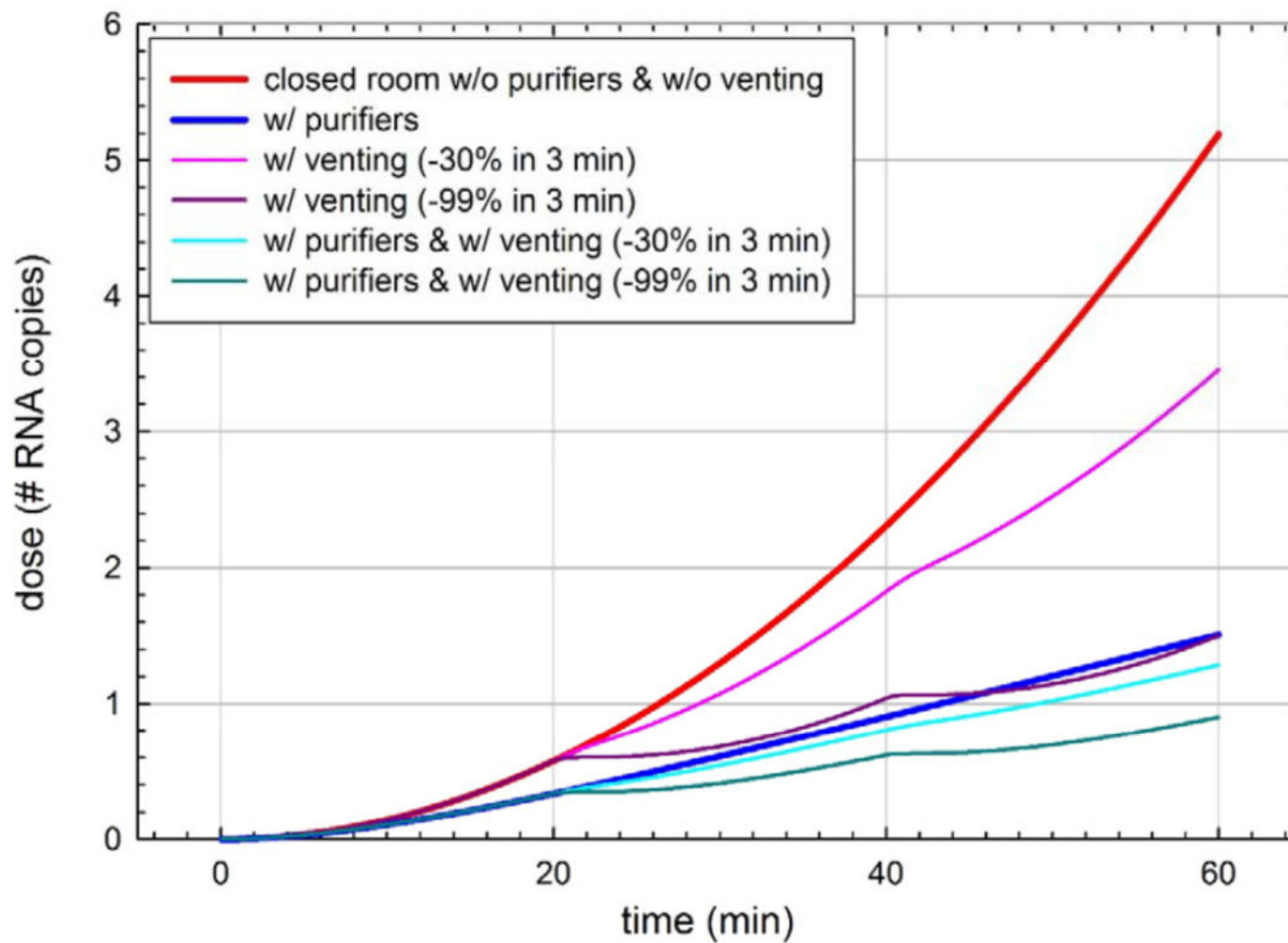
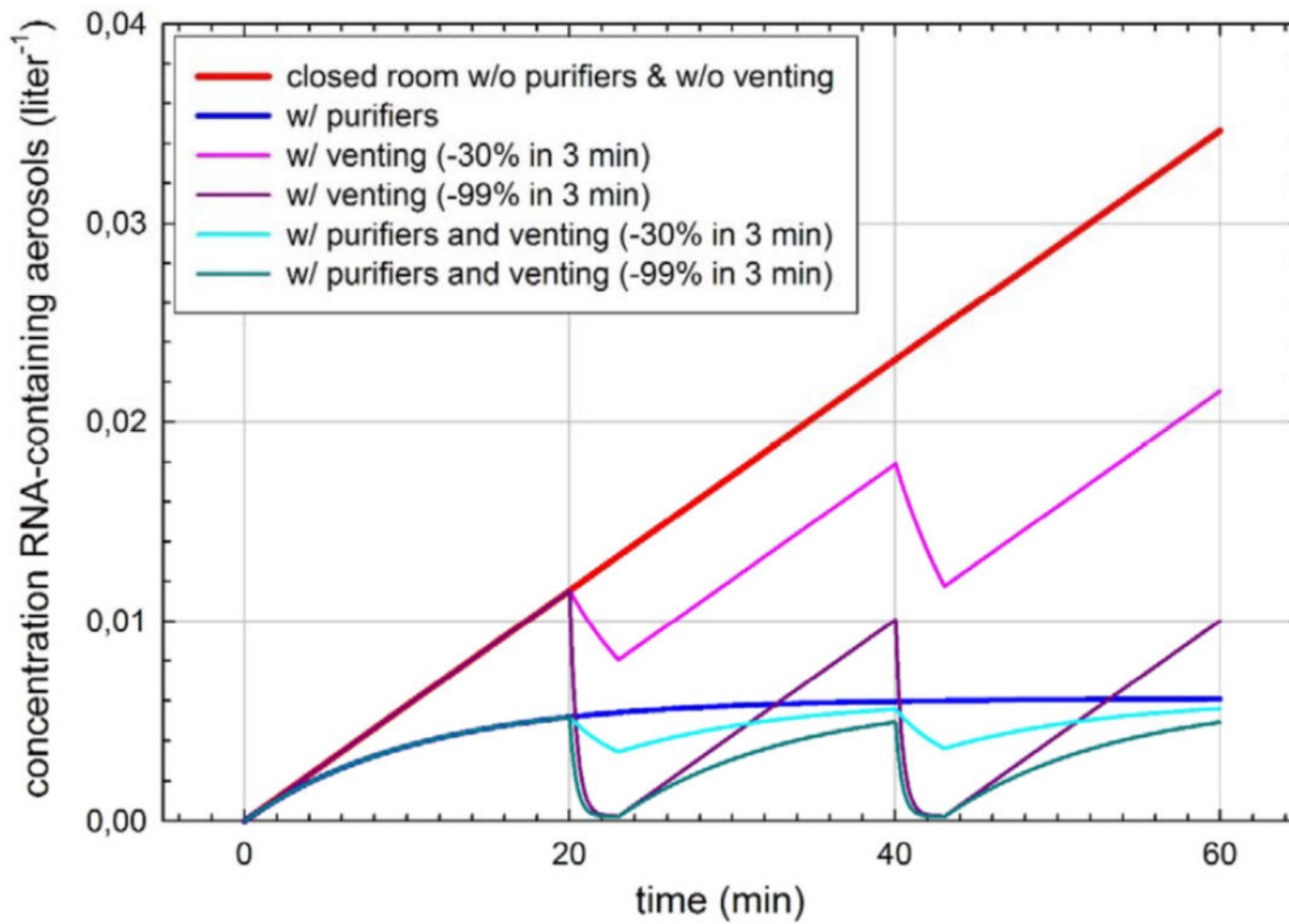


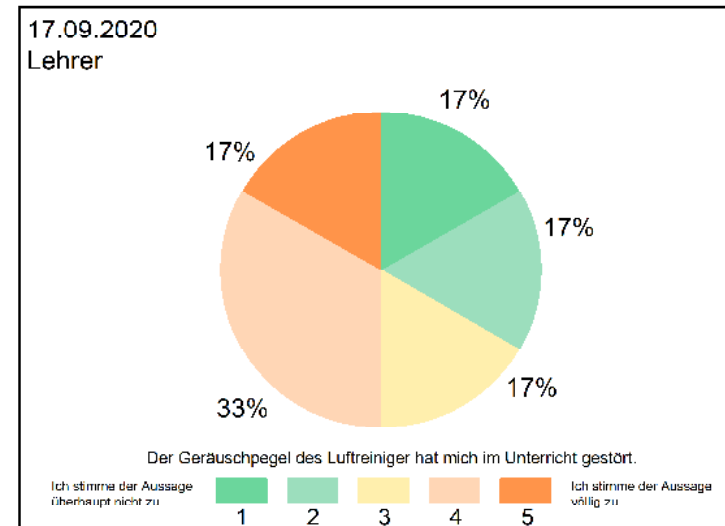
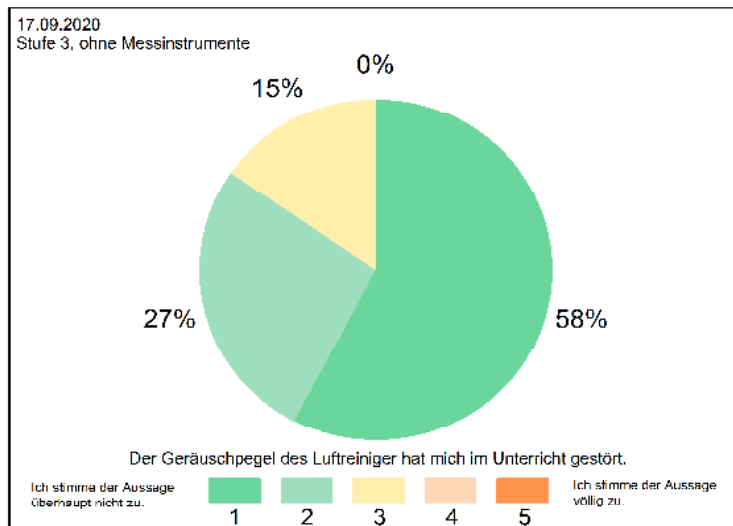
Figure S3: Dose of RNA copies taken up by a susceptible person in the room over 1 hour for the same conditions as in Figure S2.

[Curtius et al., AS&T, 2021]

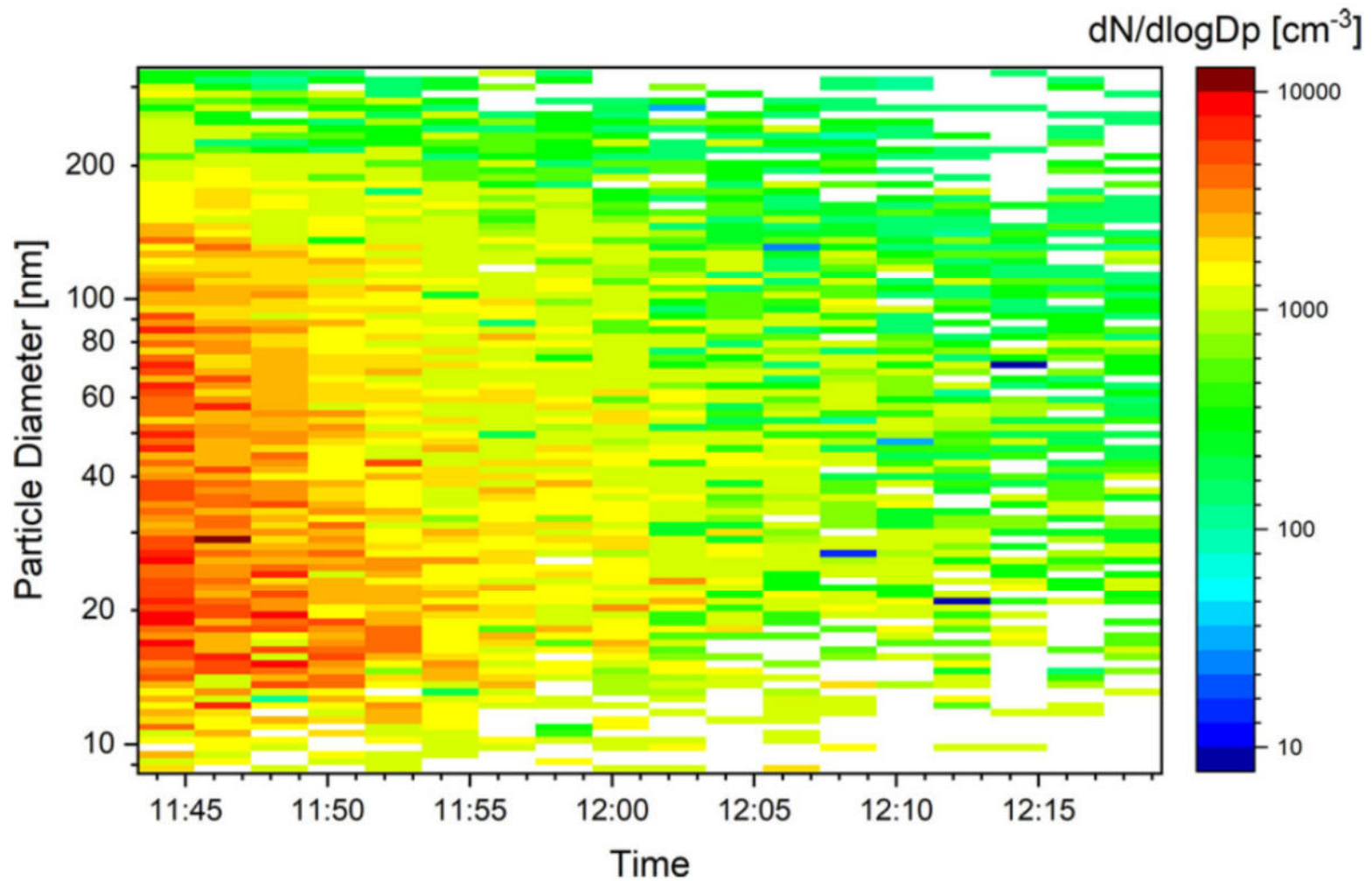


[Curtius et al., AS&T, 2021]

Lärmbelastung

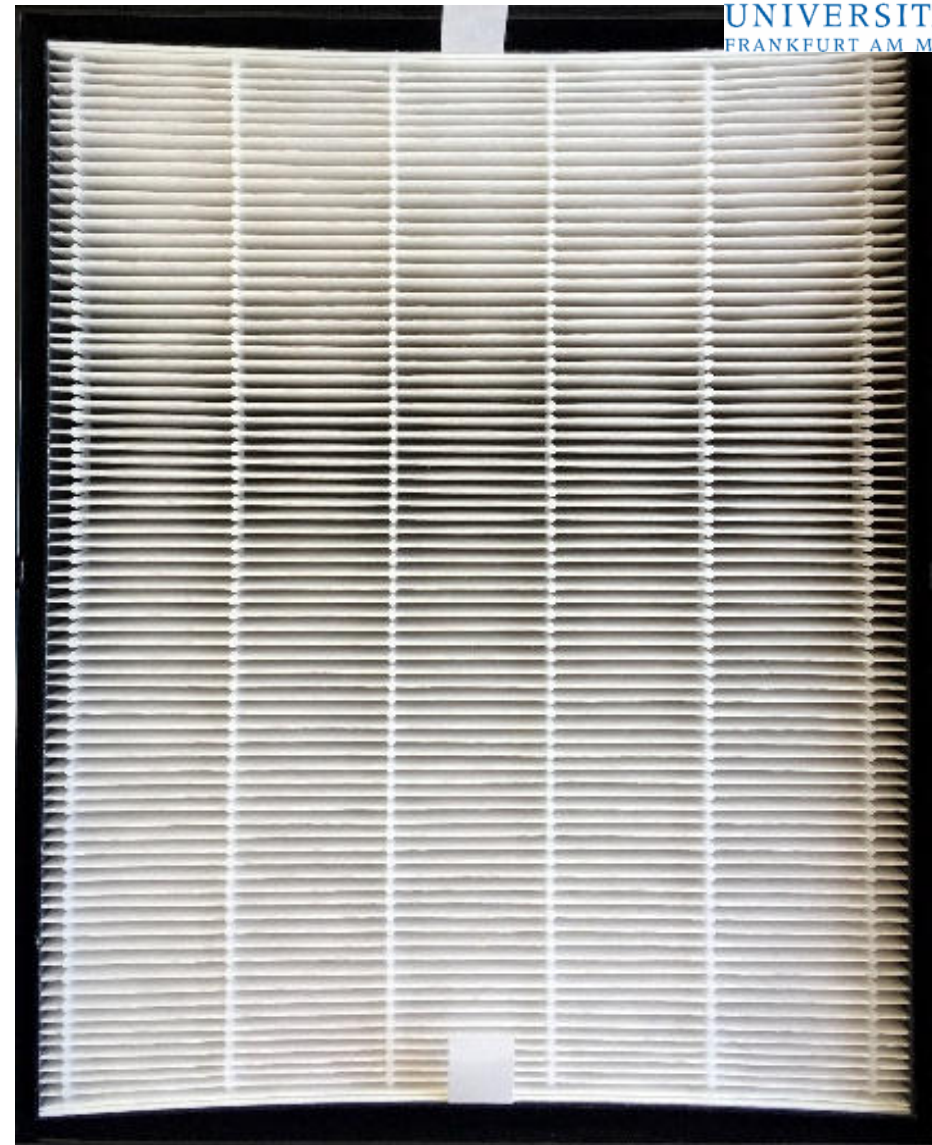
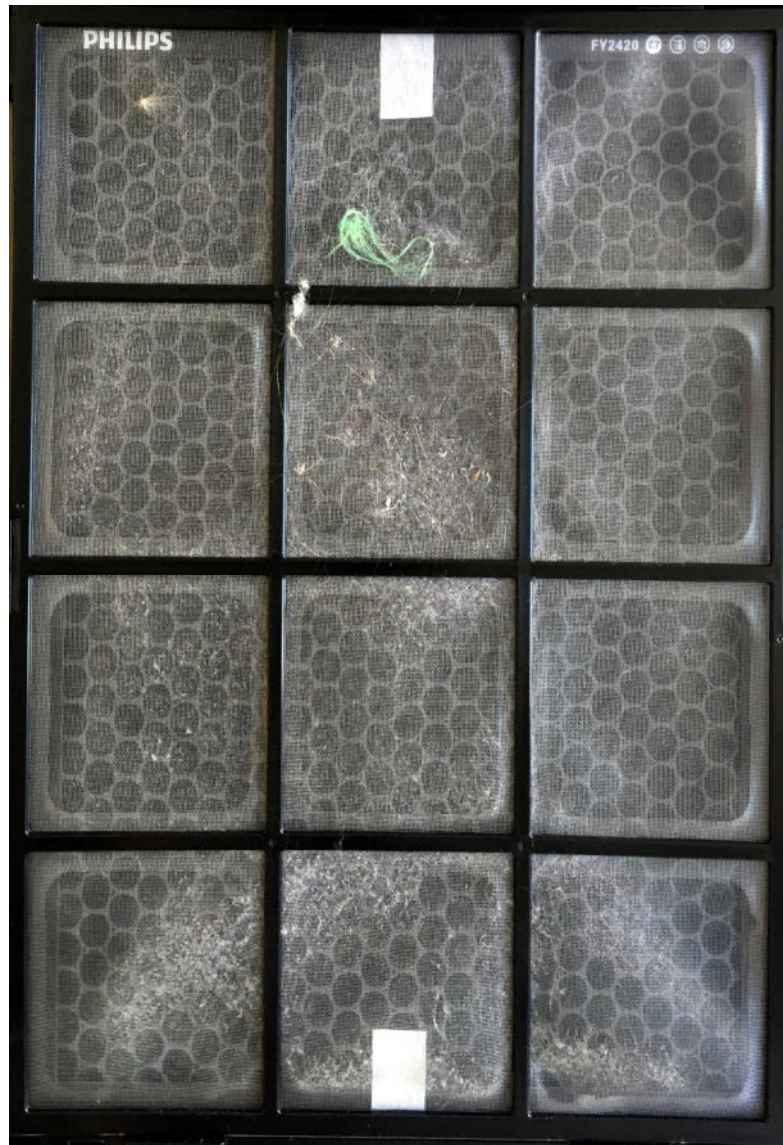


Alle Größen von Aerosolpartikeln werden sehr gut gefiltert



[Curtius et al., AST, 2021]

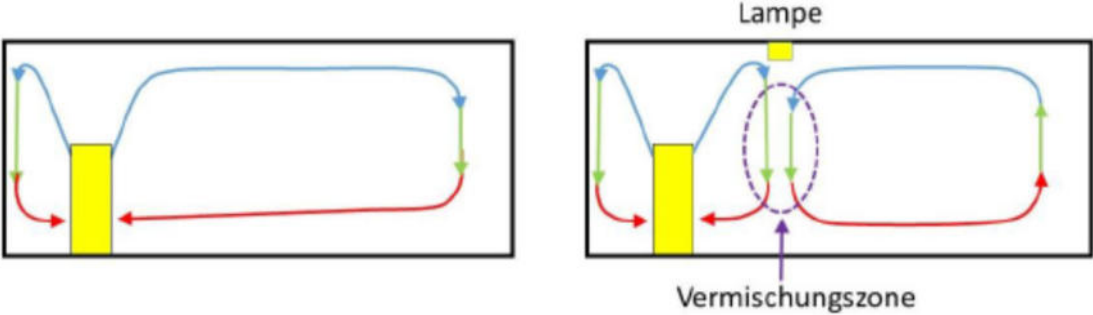
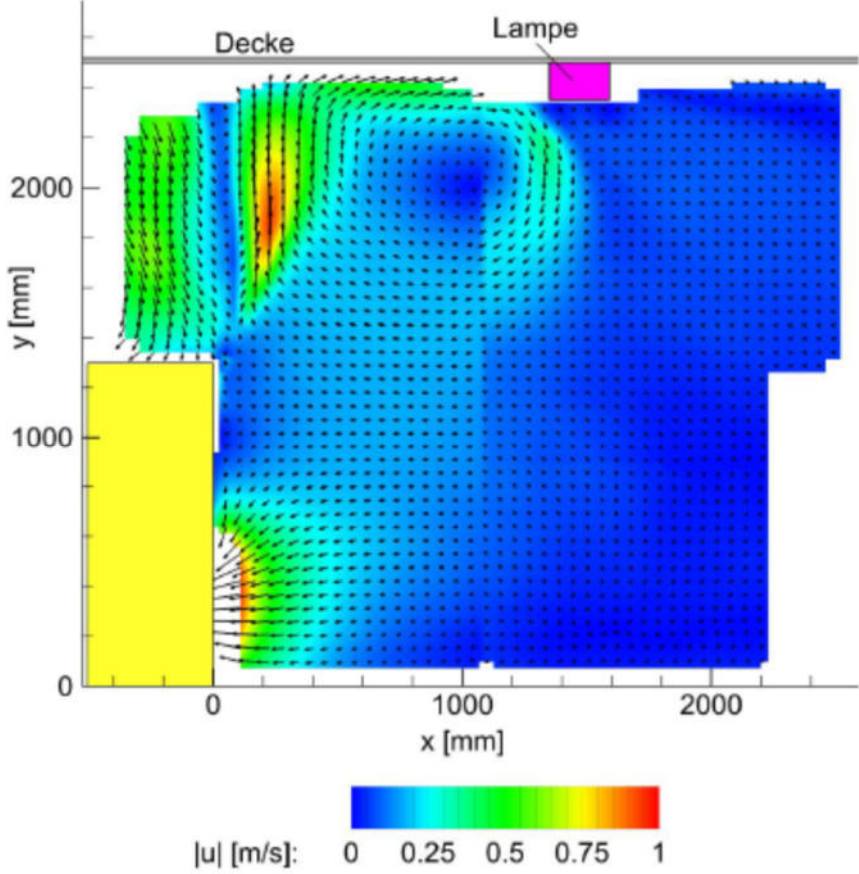
Reinigung und Wartung...



HEPA-Filter mehrere 1000 Betriebsstunden, Vorfilter regelmäßig 2 Wochen kontrollieren

[Curtius et al., AS&T, 2021]

Wird die Luft im Raum überall gleichmäßig gefiltert?



(Kähler et al., 2020)