

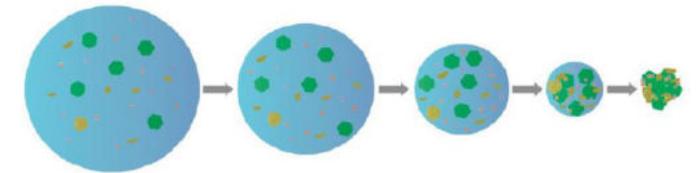
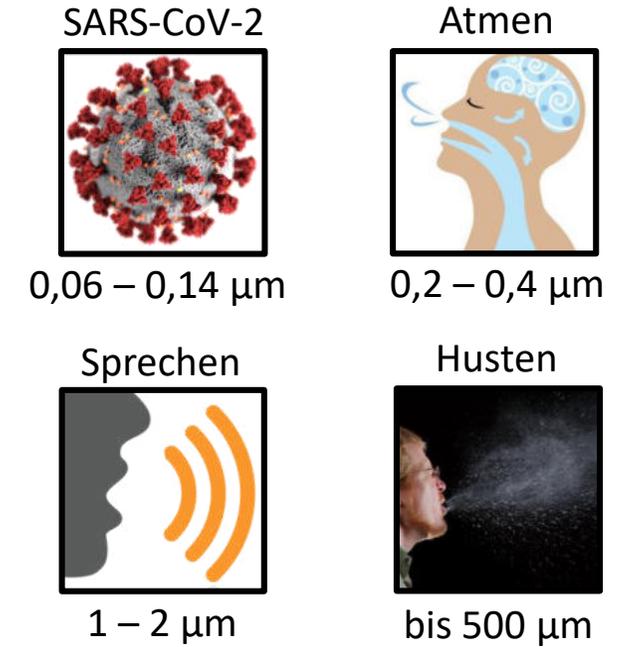
Berlin, 30. Mai 2023  
30. WaBoLu-Innenraumtage

# Untersuchungen an Luftreinigern in verschiedenen Räumlichkeiten

*S. Schumacher, K. Varzandeh, A.M. Todea, J. Lindermann, T. Hülser, C. Asbach*

Institut für Umwelt & Energie, Technik & Analytik e. V. (IUTA), Duisburg  
Abteilung Filtration & Aerosolforschung

- Ausatmung kleiner Tröpfchen beim Atmen, Sprechen und Husten
- Tröpfchen können potenziell Viren tragen und Infektionen verursachen
- große Tropfen sedimentieren, kleine schrumpfen weiter durch Verdunstung  
→ Anreicherung von Partikeln < 1 µm in Innenräumen
- Luftreiniger können luftgetragene Partikel durch Filtration entfernen
- Effizienz bestimmt durch das Produkt aus Filtereffizienz und Volumenstrom



Zuo *et al.* ACS nano **14** 16502, 2020

Melanthota *et al.* J. MRT **83** 1623, 2020

Xie *et al.* J. Royal Soc. Interface **6** 703, 2009

Asadi *et al.* Sci. Rep. **9** 1, 2019

Scheuch J. Aerosol Med. Pulm. Drug Del. **33** 230, 2020

Abscheideeffizienz [%] × Volumenstrom [m<sup>3</sup>/h] = CADR [m<sup>3</sup>/h]

The diagram shows a rectangular air filter on the left and a circular fan on the right. Below them is the equation: Abscheideeffizienz [%] × Volumenstrom [m<sup>3</sup>/h] = CADR [m<sup>3</sup>/h]. The text 'CADR' is written in large letters above the equation, and 'Clean Air Delivery Rate' is written below it.

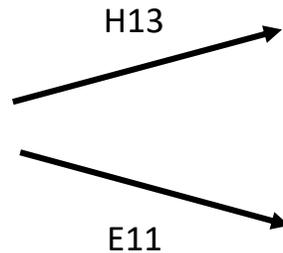
- Ausatmung kleiner Tröpfchen beim Atmen, Sprechen und Husten
- Tröpfchen können potenziell Viren tragen und Infektionen verursachen
- große Tropfen sedimentieren, kleine schrumpfen weiter durch Verdunstung  
→ Anreicherung von Partikeln  $< 1 \mu\text{m}$  in Innenräumen
- Luftreiniger können luftgetragene Partikel durch Filtration entfernen
- Effizienz bestimmt durch das Produkt aus Filtereffizienz und Volumenstrom
- Einsatz von hocheffizienten Filtern in Luftreinigern nicht sinnvoll

	Filterklasse	Effizienz
EPA	E10	> 85 %
	E11	> 95 %
	E12	> 99,5 %
HEPA	H13	> 99,95 %
	H14	> 99,995 %
ULPA	U15	> 99,9995 %
	U16	> 99,99995 %
	U17	> 99,999995 %

Beispielfoto



CADR = 380 m<sup>3</sup>/h



H13  
 Filtereffizienz >99,95 %  
 Volumenstrom 380 m<sup>3</sup>/h  
 Druckverlust 80 Pa



ca. 42 W Leistung

E11  
 Filtereffizienz >95 %  
 Volumenstrom 400 m<sup>3</sup>/h  
 Druckverlust 40 Pa



ca. 22 W Leistung

$$\text{Leistung} = \text{Volumenstrom} \times \frac{\text{Druckverlust}}{\text{Wirkungsgrad}}$$



Energieverschwendung



höhere Kosten

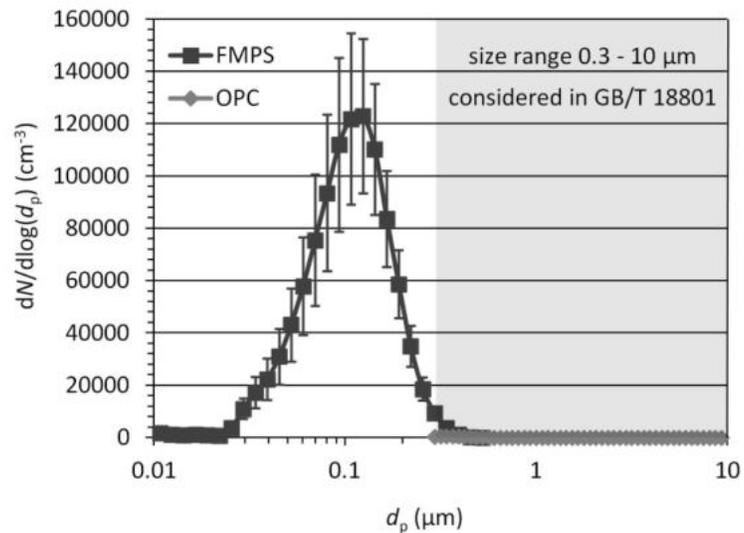
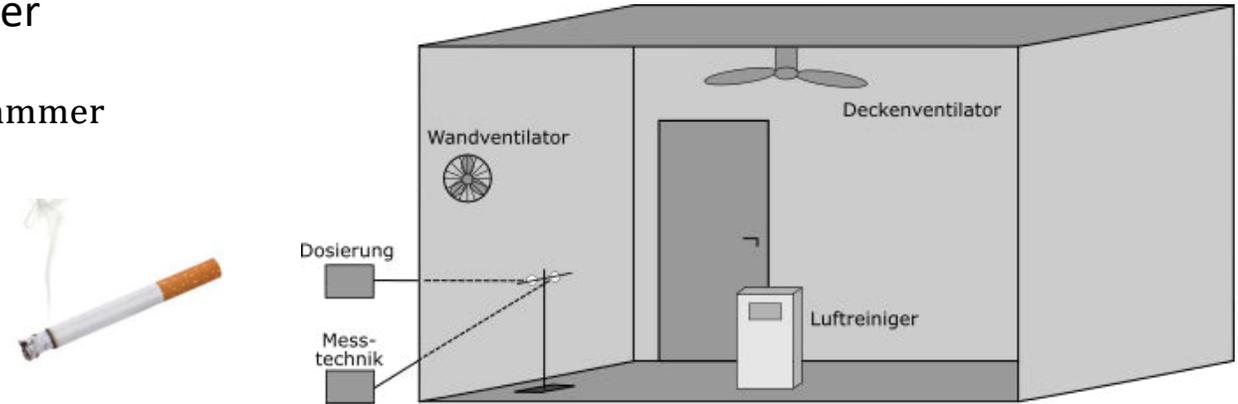


mehr Lärm

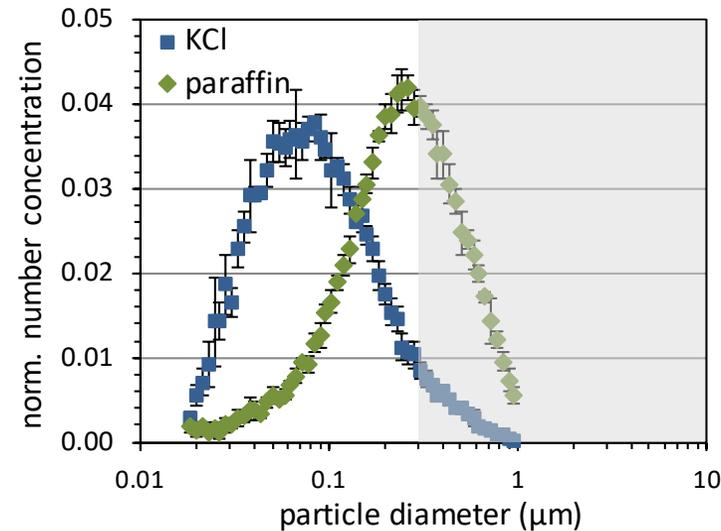
- Messung exponentieller Abklingraten in Prüfkammer

$$CADR = (k_{\text{mit Luftreiniger}} - k_{\text{ohne Luftreiniger}}) \cdot V_{\text{Kammer}}$$

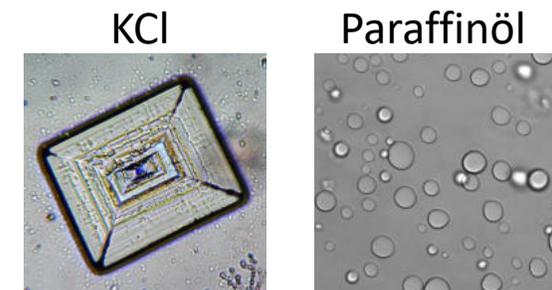
- oft Zigarettenrauch als Prüfaerosol verwendet
  - nur Partikel > 0,3 µm betrachtet
  - keine größen aufgelöste Messung
- KCl und Paraffinöl als alternative Prüfaerosole

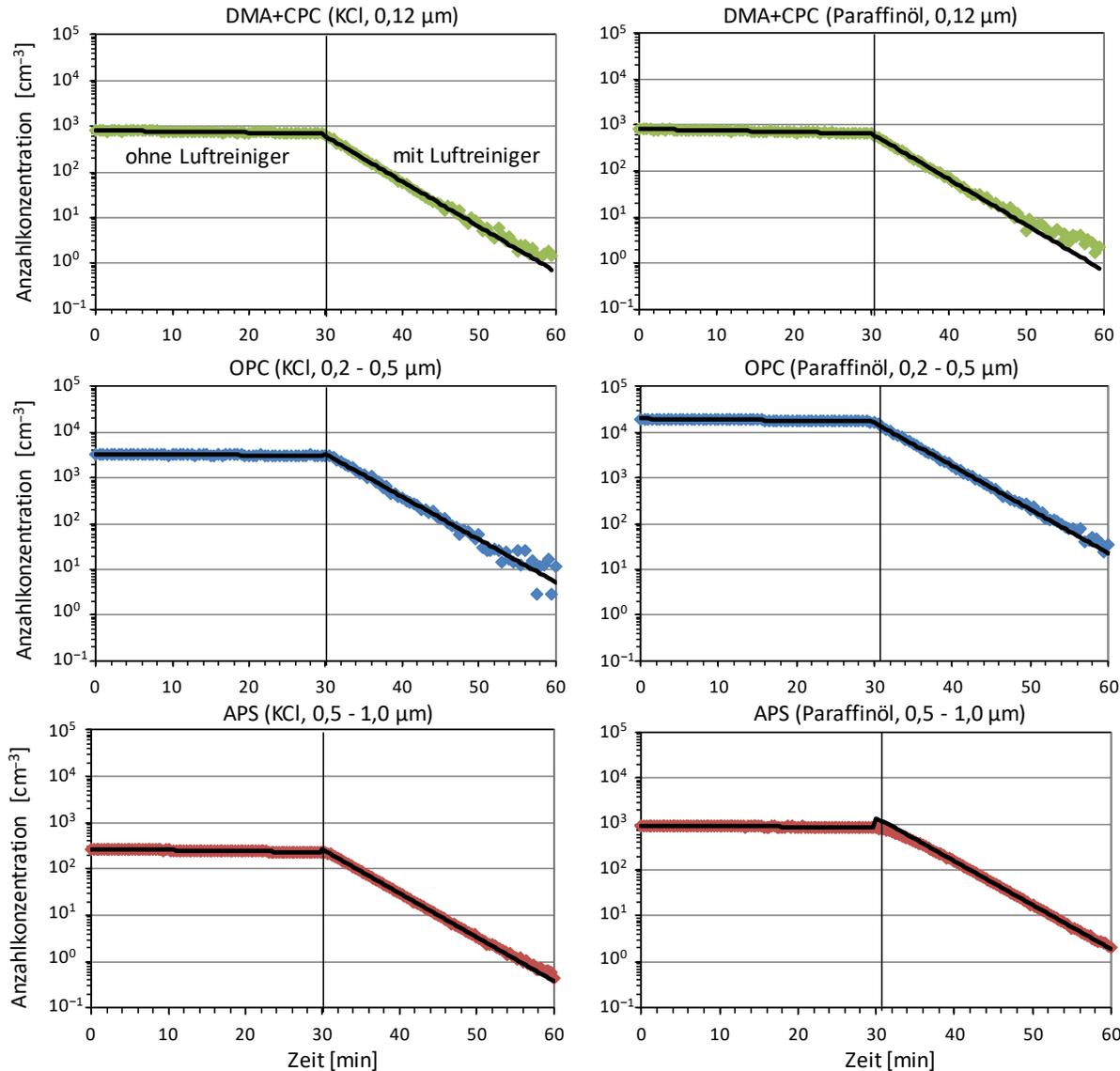


Schumacher *et al.* Chem. Eng. Technol. **41** 27, 2018



Schumacher *et al.* Atmosphere **13** 1538, 2022





TSI

## Differentieller Mobilitätsanalysator (DMA) + Kondensationspartikelzähler (CPC)

- geeignet für KCl und Paraffinöl
- Hintergrundpartikel berücksichtigen



Palas

## Optischer Partikelzähler (OPC)

- gut für den mittleren Größenbereich
- bessere Zählstatistik für Paraffin



TSI

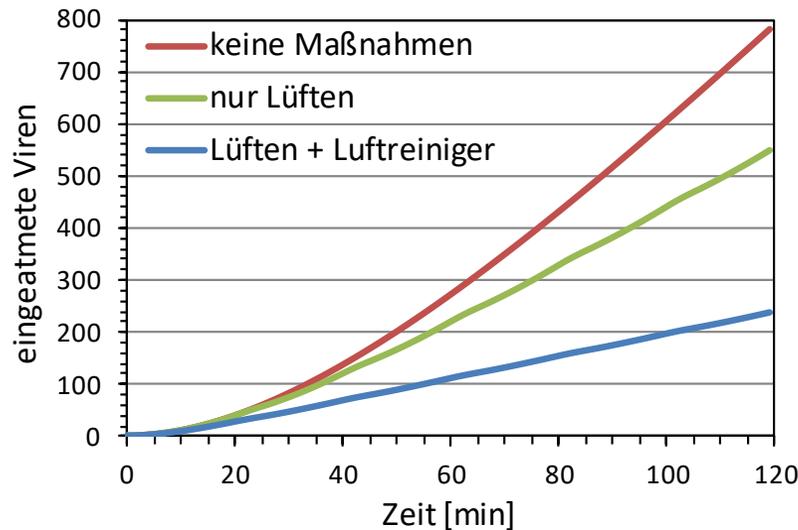
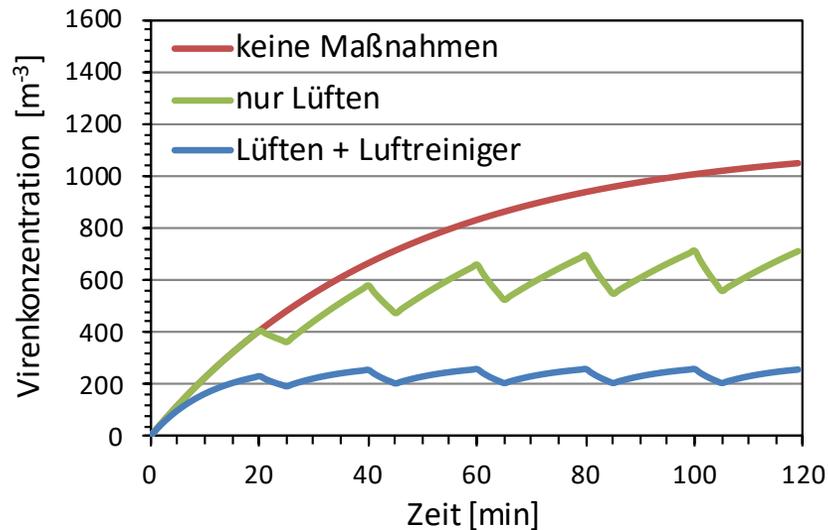
## Aerodynamic Particle Sizer (APS)

- ideal für niedrige Konzentrationen
- leichte Artefakte bei Paraffin

Schumacher *et al.* Atmosphere **13** 1538, 2022

Schumacher *et al.* Gefahrstoffe – Reinh. Luft **81** 16, 2021

- typischer 40 m<sup>3</sup> Wohnraum mit einer infektiösen Person
- alle 20 min Öffnen der Fenster für jeweils 5 min
- Annahme: vier Luftwechsel pro Stunde (ACH)
- optional zusätzlicher Luftreiniger mit gleicher Luftwechselrate



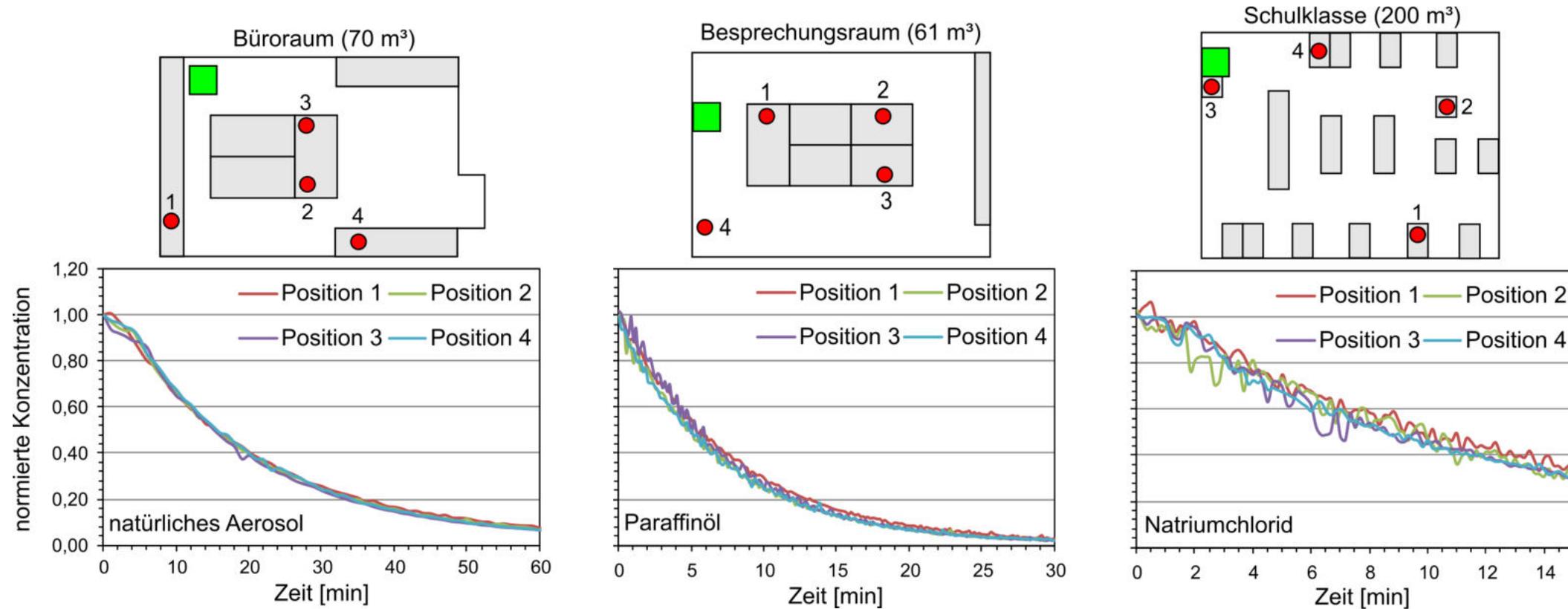
Schumacher *et al.* Atmosphere **13** 1538, 2022



1,3 h<sup>-1</sup> natürliche Effekte  
1.000 Viren/min exhaliert  
9 l/min Atemvolumenstrom

- zusätzlicher Luftreiniger reduziert die Zahl inhalierten Viren um mehr als Faktor 2  
→ Luftreiniger als hilfreiche Zusatzmaßnahme, aber nicht als Ersatz fürs Lüften

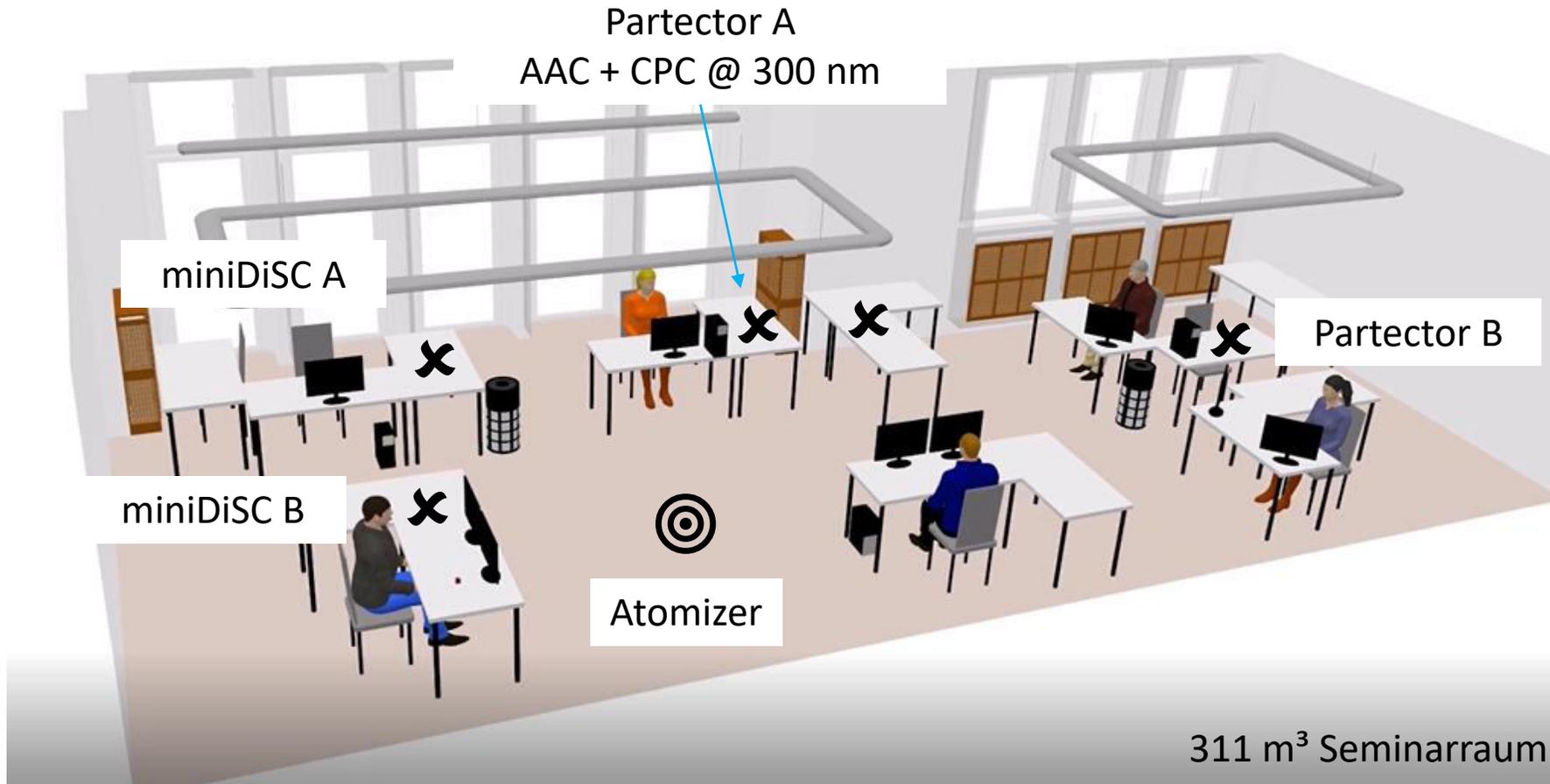
- Kann die gereinigte Luft gleichmäßig in realen Räumen verteilt werden?



Küpper *et al.* AAQR **19** 1655, 2019

- typischerweise nur geringe lokale Schwankungen in der gemessenen CADR  
→ Luft wird weitgehend unabhängig von der genauen Raumgeometrie verteilt

- Gilt das Modell auch für eine kontinuierliche Quelle?



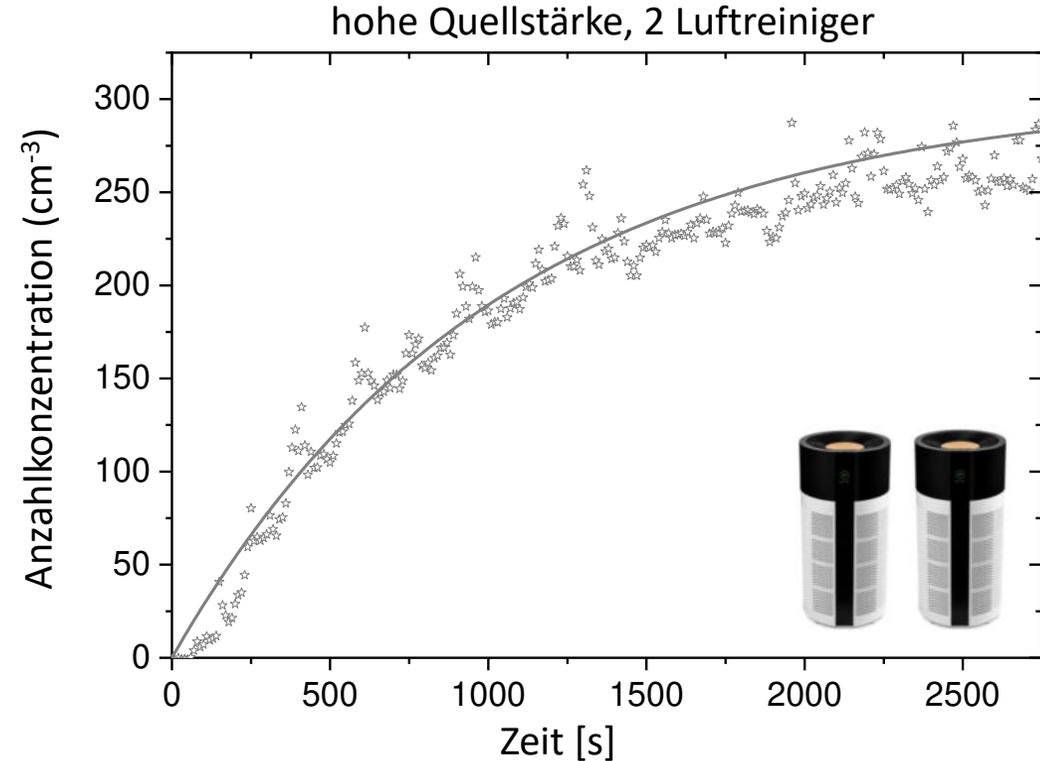
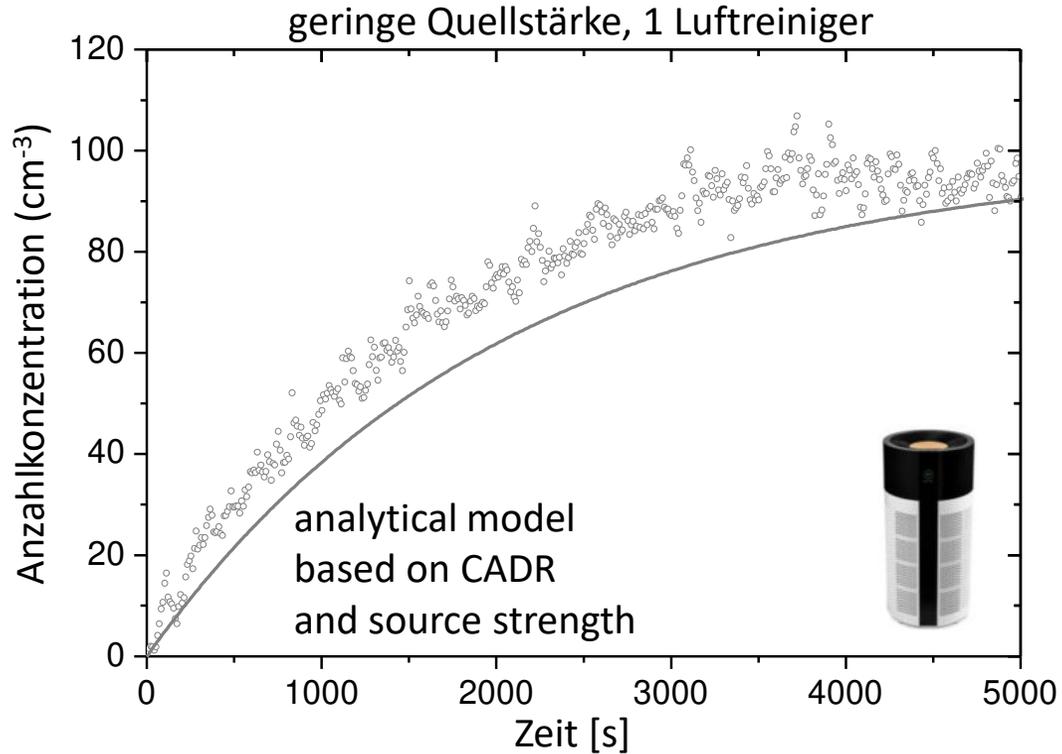
## Experimenteller Aufbau

- kontinuierliche Aerosol-erzeugung (Palas AGK 2000, 150 g/l NaCl)
- Dauerbetrieb von einem oder zwei Luftreinigern (Duux Tube Smart, CADR jeweils 550 m<sup>3</sup>/h)
- Messung an vier Stellen mit Partikelmesstechnik (AAC+CPC, Partector 2, miniDiSC)

in Zusammenarbeit mit



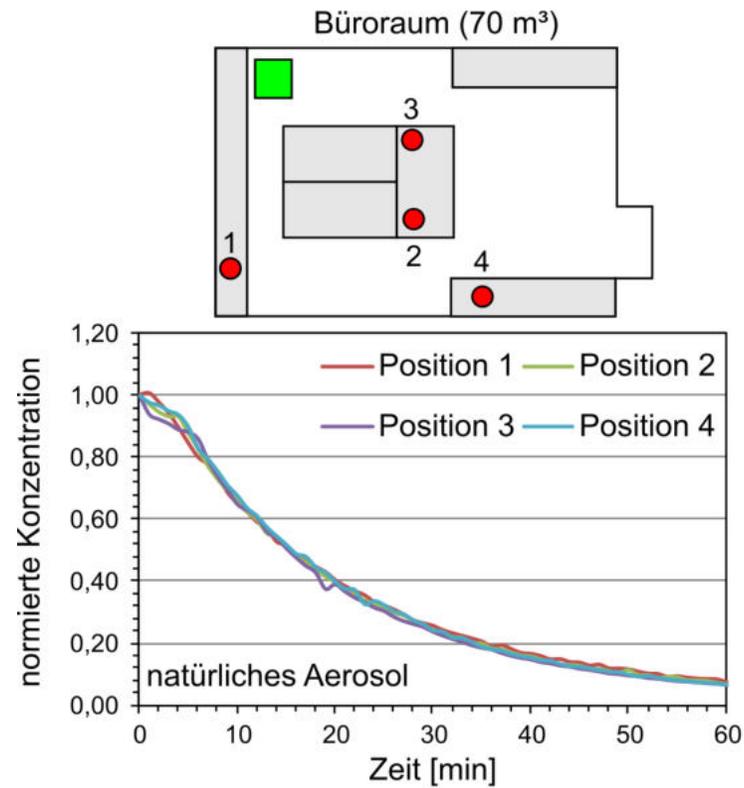
- Gilt das Modell auch für eine kontinuierliche Quelle?



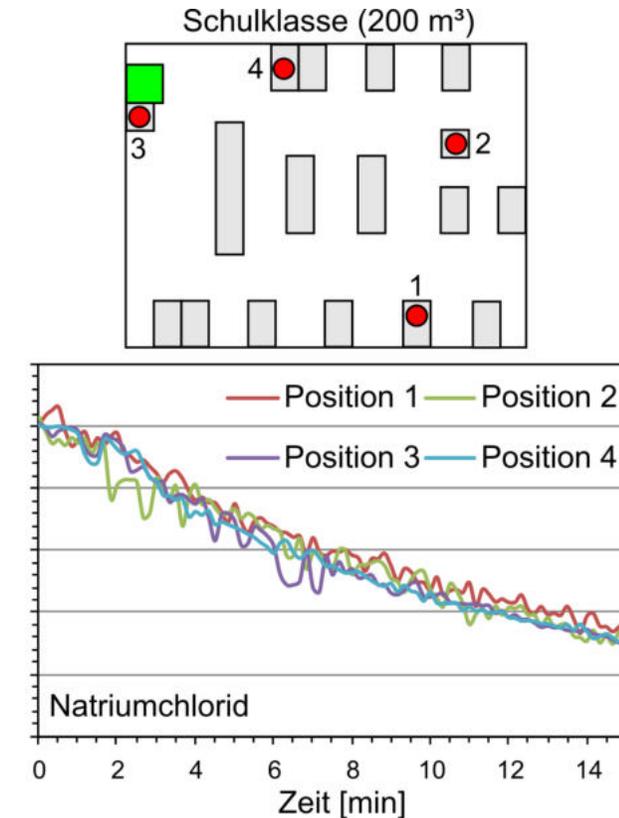
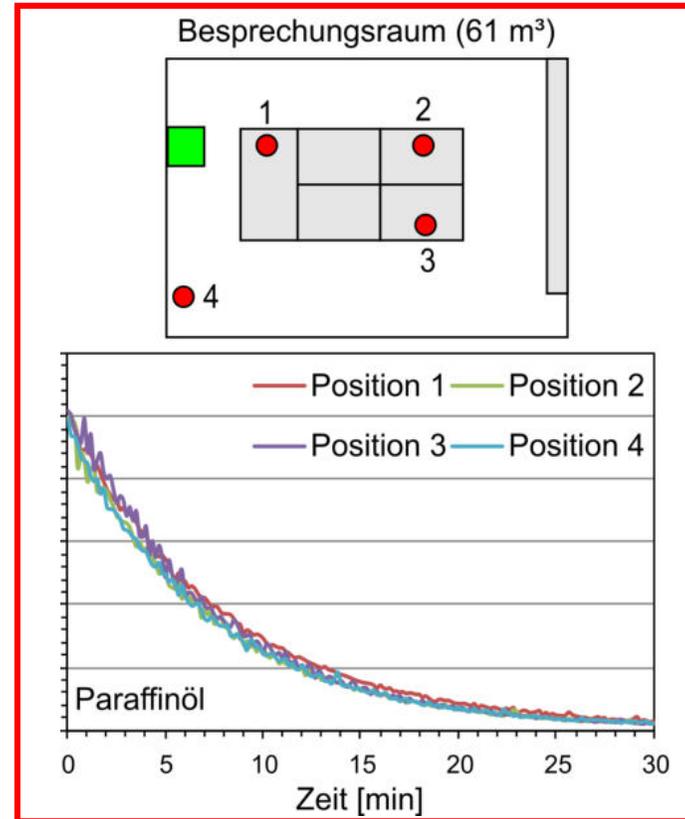
Quellstärke	Gesamtkonzentration	Konz. bei 300 nm
$\dot{S}$ (1 bar)	$1.44 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$	$1.31 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$
$\dot{S}$ (3 bar)	$8.66 \times 10^9 \text{ s}^{-1}$	$9.27 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$

- leichte Abweichungen bei einem Luftreiniger (1,8 ACH)
- gute Übereinstimmung bei zwei Luftreinigern (3,6 ACH)  
→ nahezu ideale Durchmischung erreichbar

- Kann die gereinigte Luft gleichmäßig in realen Räumen verteilt werden?



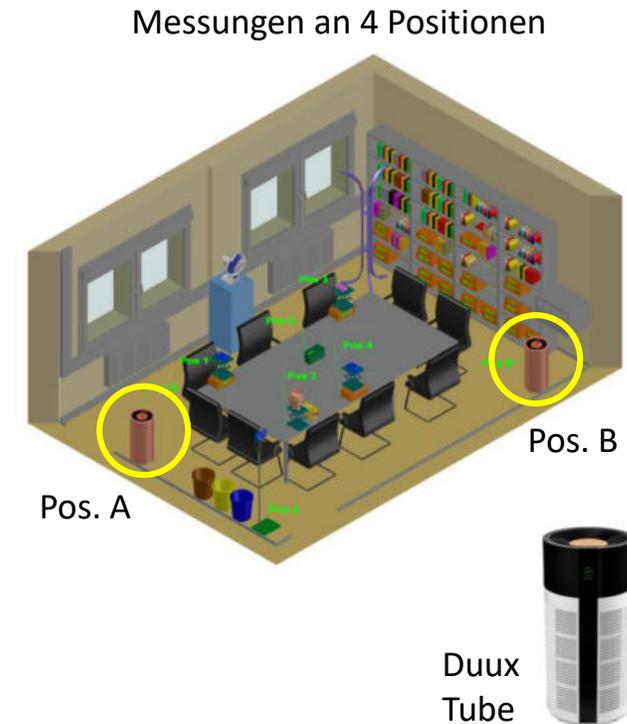
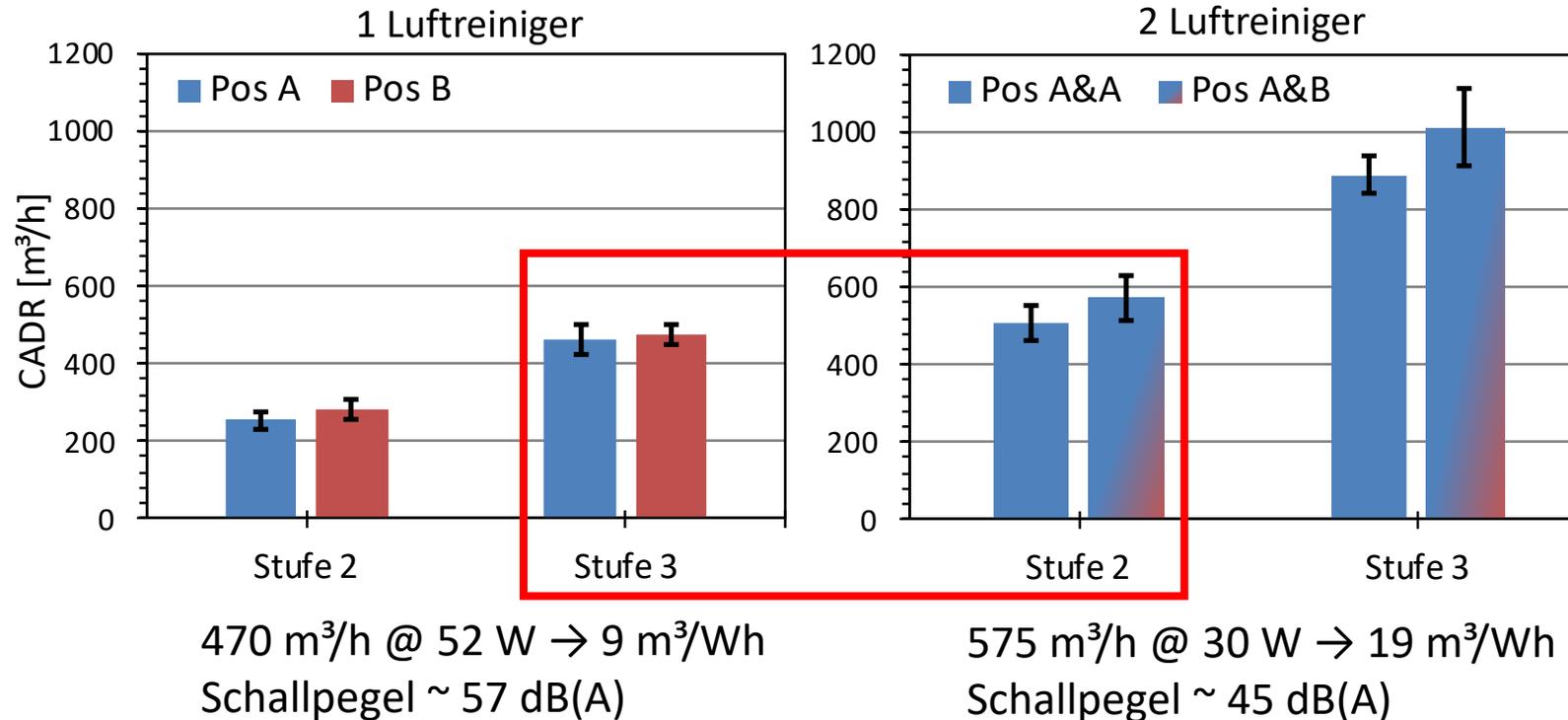
Küpper *et al.* AAQR **19** 1655, 2019



- typischerweise nur geringe lokale Schwankungen in der gemessenen CADR  
→ Luft wird weitgehend unabhängig von der genauen Raumgeometrie verteilt

# Lassen sich mehrere Luftreiniger kombinieren?

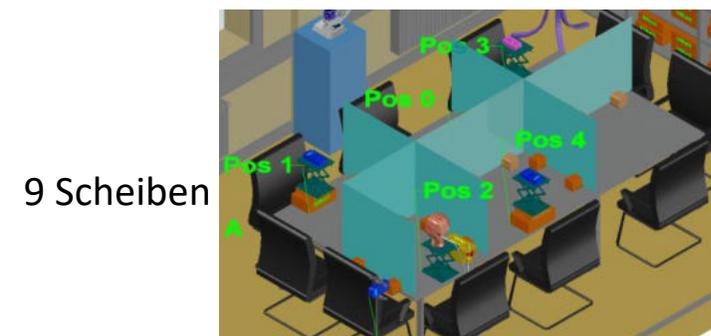
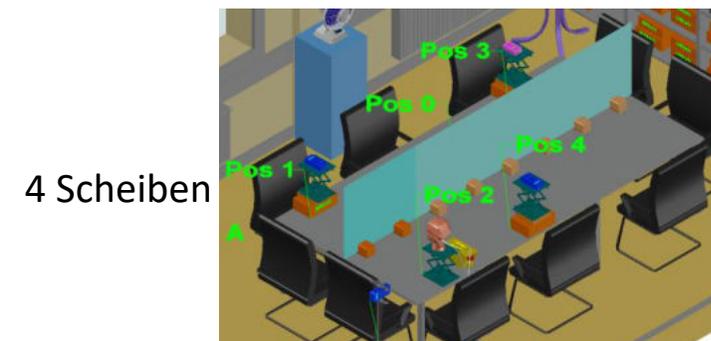
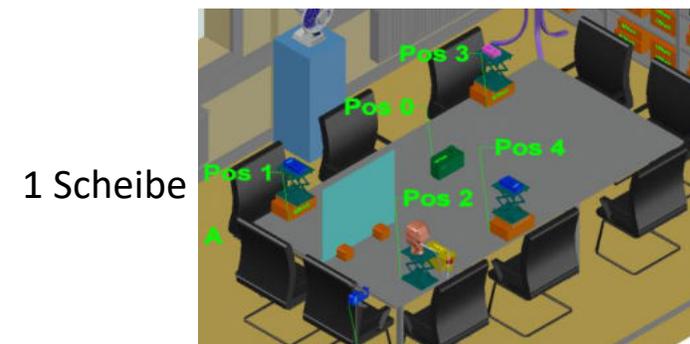
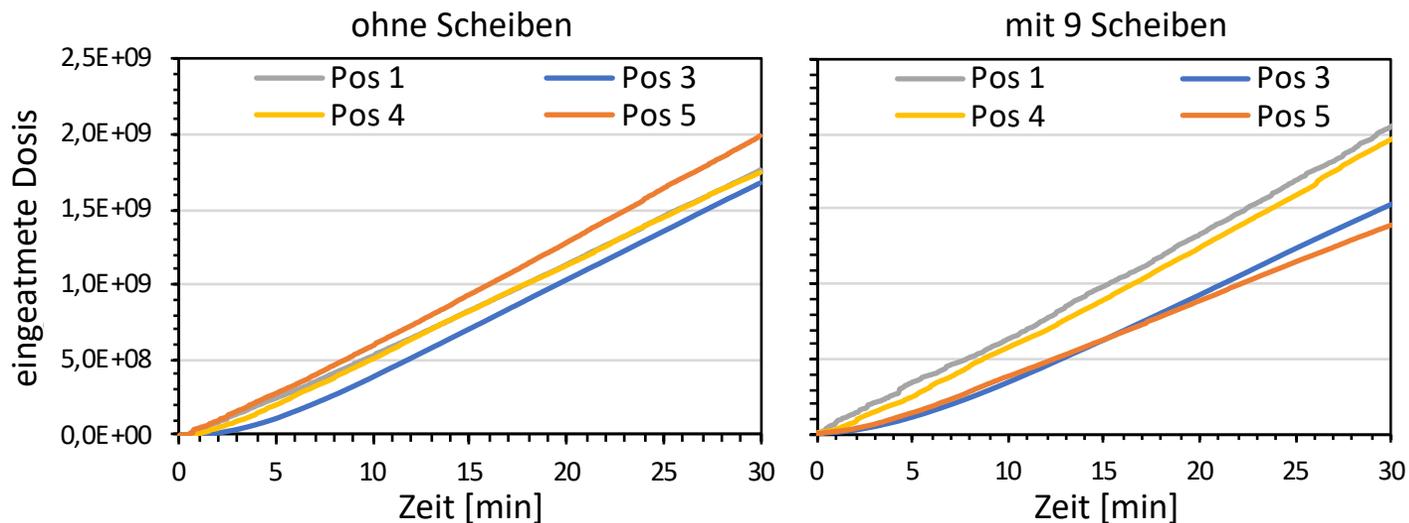
- Welche Auswirkungen auf Reinigungsleistung, Energieverbrauch und Lärmpegel?
- Untersuchung von einem bzw. zwei Luftreinigern auf verschiedenen Betriebsstufen



- zwei Geräte deutlich energieeffizienter und leiser
- Nachteil: höhere Kosten und mehr Platzbedarf

# Welchen Einfluss haben Trennscheiben aus Plexiglas?

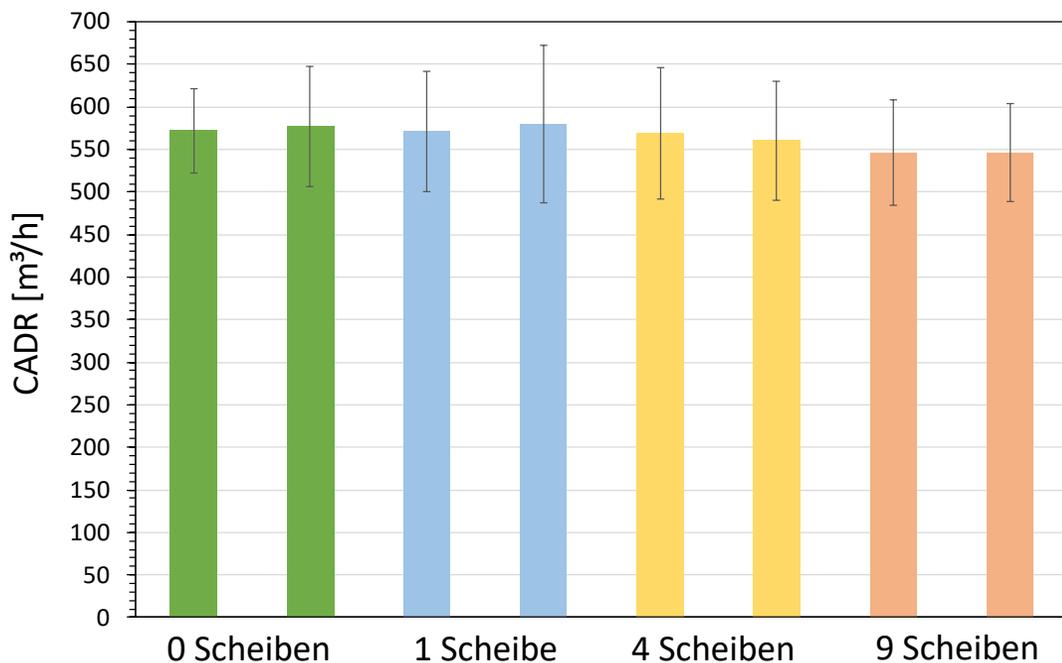
- sinnvolle Maßnahme zur Vermeidung direkter Infektionen
- Helfen die Scheiben bei der Vermeidung indirekter Infektionen?  
→ eingeatmete Dosis mit und ohne Scheiben vergleichbar



Masterarbeit K. Varzandeh IUTA/UDE 2022

# Welchen Einfluss haben Trennscheiben aus Plexiglas?

- sinnvolle Maßnahme zur Vermeidung direkter Infektionen
- Helfen die Scheiben bei der Vermeidung indirekter Infektionen?  
→ eingeatmete Dosis mit und ohne Scheiben vergleichbar
- Sind die Scheiben als Strömungshindernisse kontraproduktiv?  
→ kein signifikanter negativer Einfluss auf die CADR



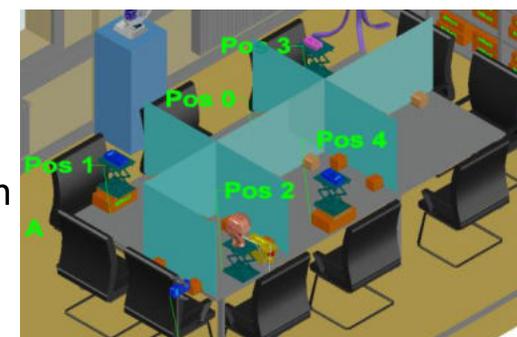
1 Scheibe



4 Scheiben

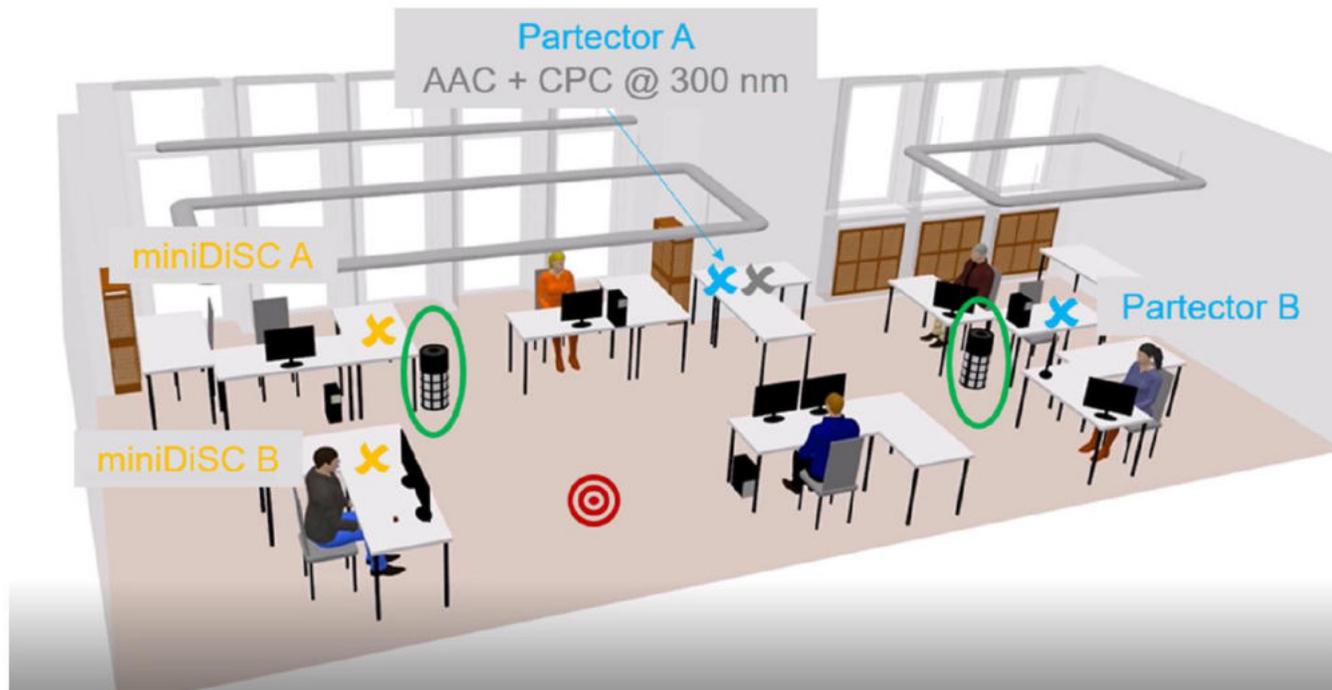


9 Scheiben

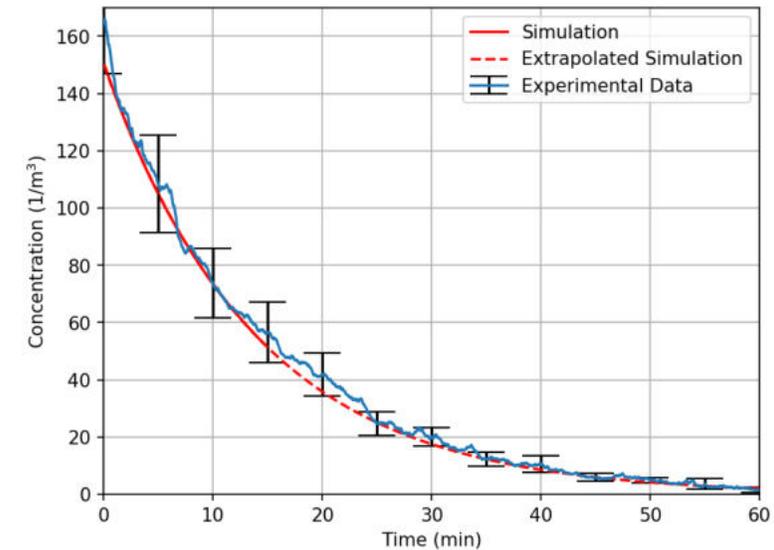
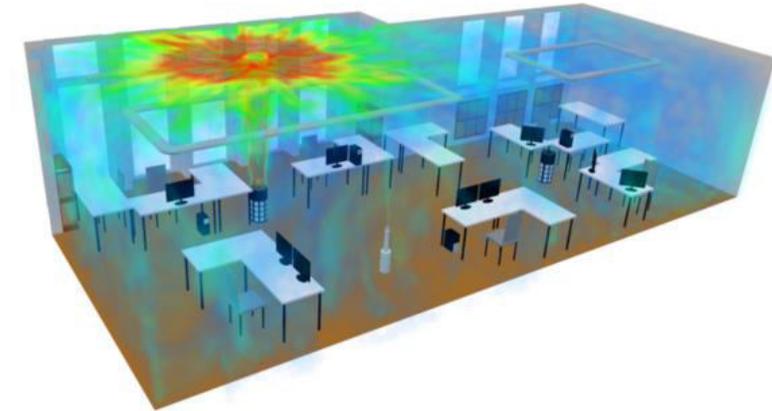


Masterarbeit K. Varzandeh IUTA/UDE 2022

- Ansatz: Lattice Boltzmann Very Large Eddy Simulation (VLES)
- gute Erfassung von Turbulenzeffekten auf allen relevanten Skalen  
→ Durchmischung der Partikel im Raum realitätsnah modelliert

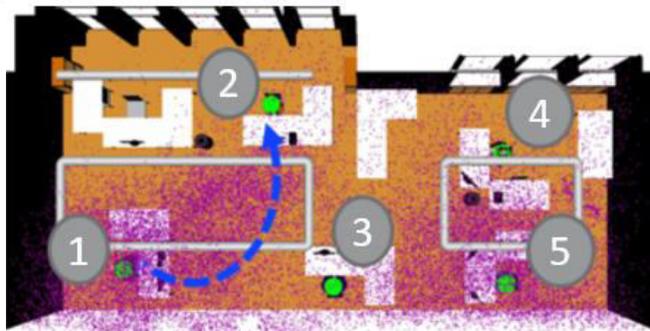


- sehr gute Übereinstimmung mit Experimenten auf langen Zeitskalen



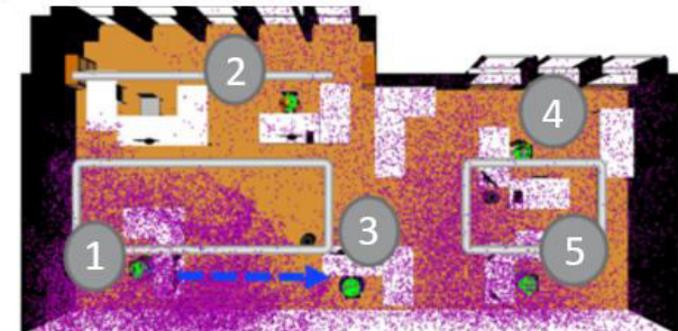
Quintero *et al.* Atmosphere **13** 2032, 2022

- Kann die Position des Luftreinigers einen Einfluss auf kurze Zeitskalen haben?
- Simulation der Partikelverteilung 75 s nach einem Hustenereignis

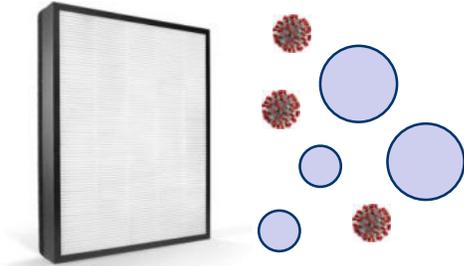


höchste Exposition für Person 2

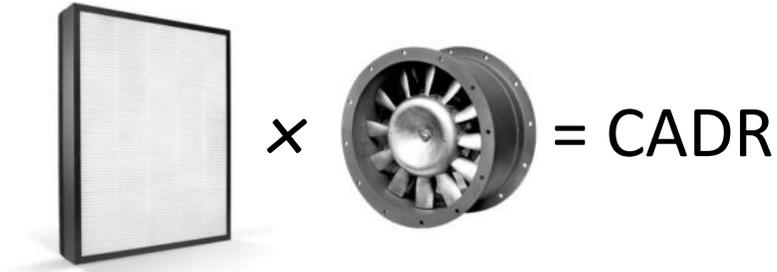
Quintero *et al.* Atmosphere **13** 2032, 2022



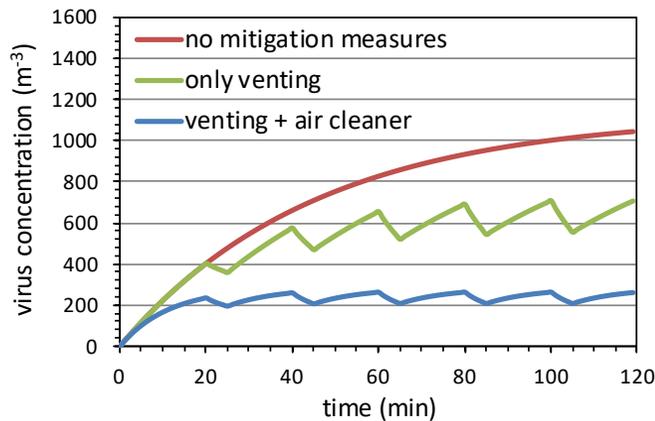
höchste Exposition für Person 3



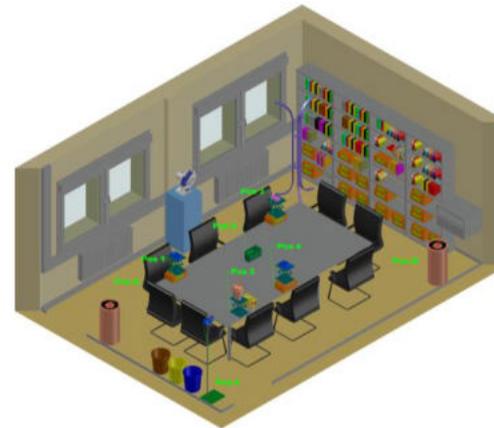
Luftreiniger funktionieren auch für Viren und Tröpfchen



Kombination aus Abscheideeffizienz und Volumenstrom entscheidend



Reduktion des Infektionsrisikos in Kombination mit anderen Maßnahmen



Ergebnisse aus Labor, Realräumen und Simulationen in guter Übereinstimmung

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Research on Indoor Air Cleaners for Particulate, Microbiological, and Gaseous Pollutants (2nd Edition)

**Guest Editor**  
Dr. Stefan Schumacher

**Deadline**  
30 November 2023



**Special** issue  
Invitation to submit