



# *Humane Tröpfchen und Aerosole*

Max-Planck-Institut für Dynamik und Selbstorganisation  
Prof. Dr. Eberhard Bodenschatz



**Dr. Mohsen Bagheri**  
MPI- Dyn. Selbstorg.



**Prof. Simone Scheithauer**  
Universitätsmedizin Gö



**Dr. Mira Pölker**  
MPI – Chemie



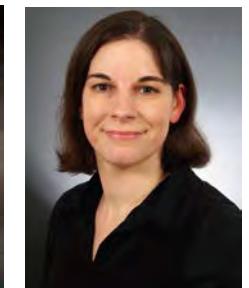
Dr. Laura Turco



Dr. Oliver Schlenczek



Dr. Freja Nordsiek



Dr. Sigrid Clauberg



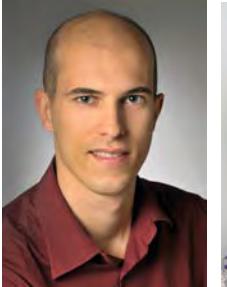
Dr. Christoph Pölker



Dr. Ovid Krüger



Katja Stieger



Dr. Jan Molacek



Guus Bertens



Dr. Kabi Hani

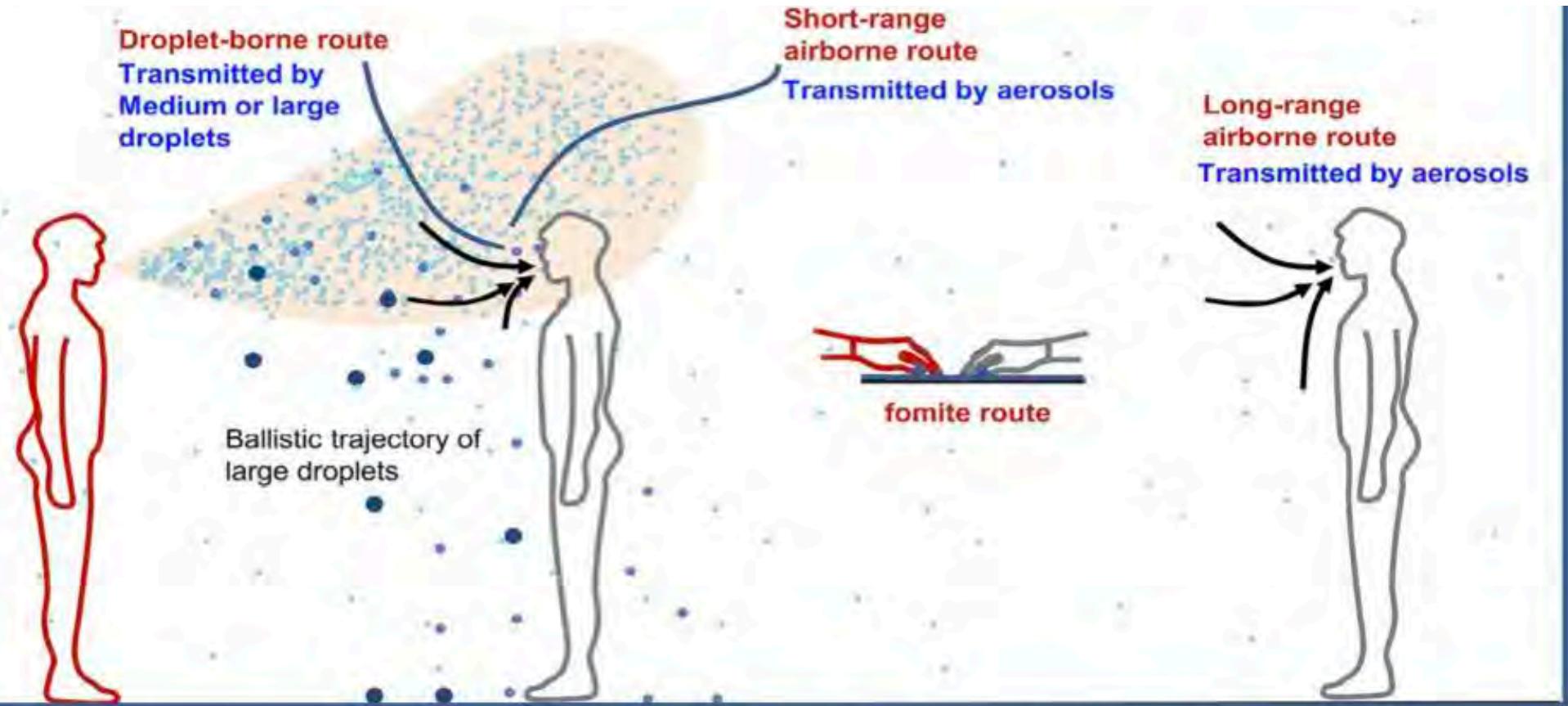


Jana Kosub



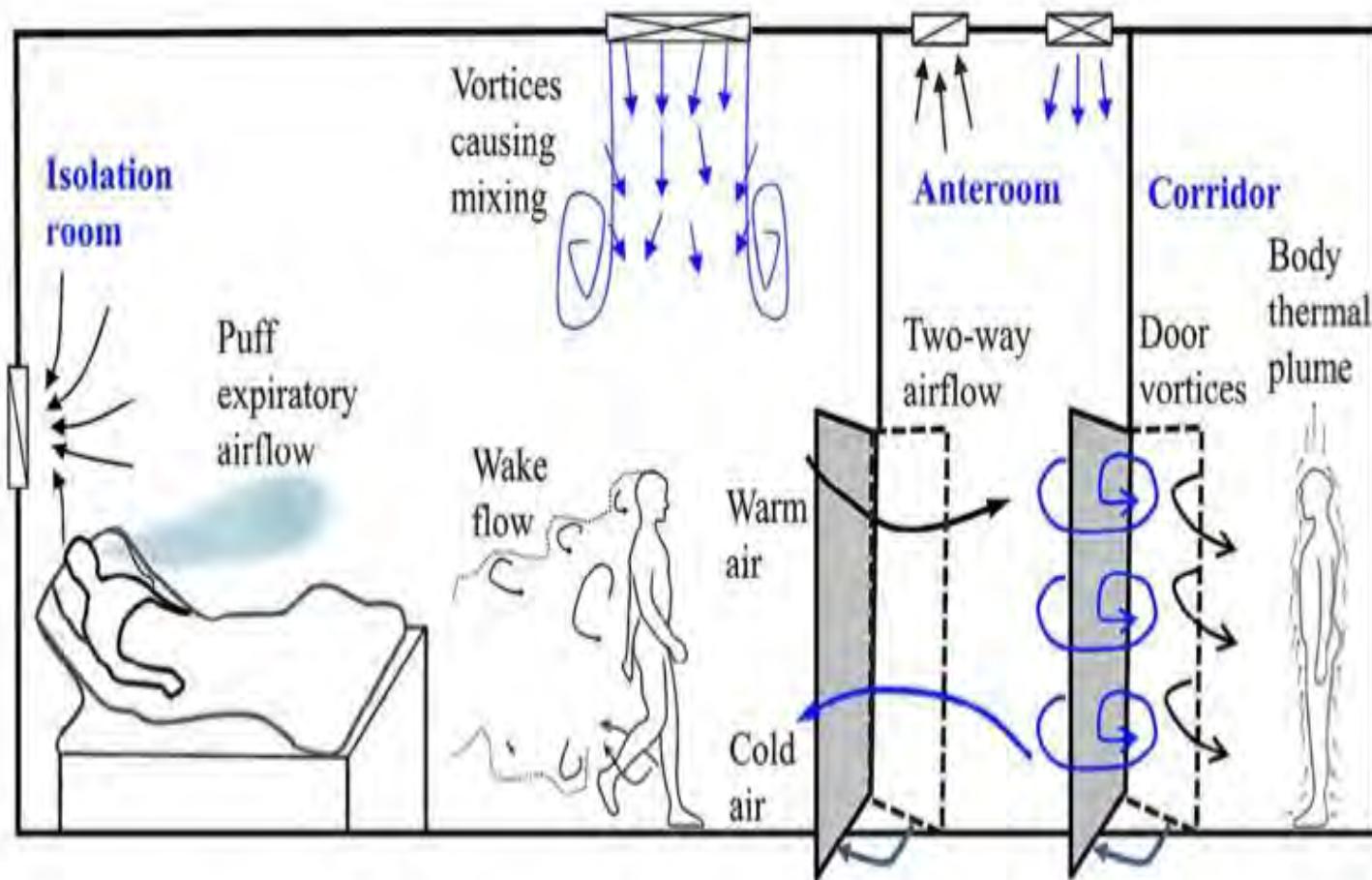
Kathia Walter





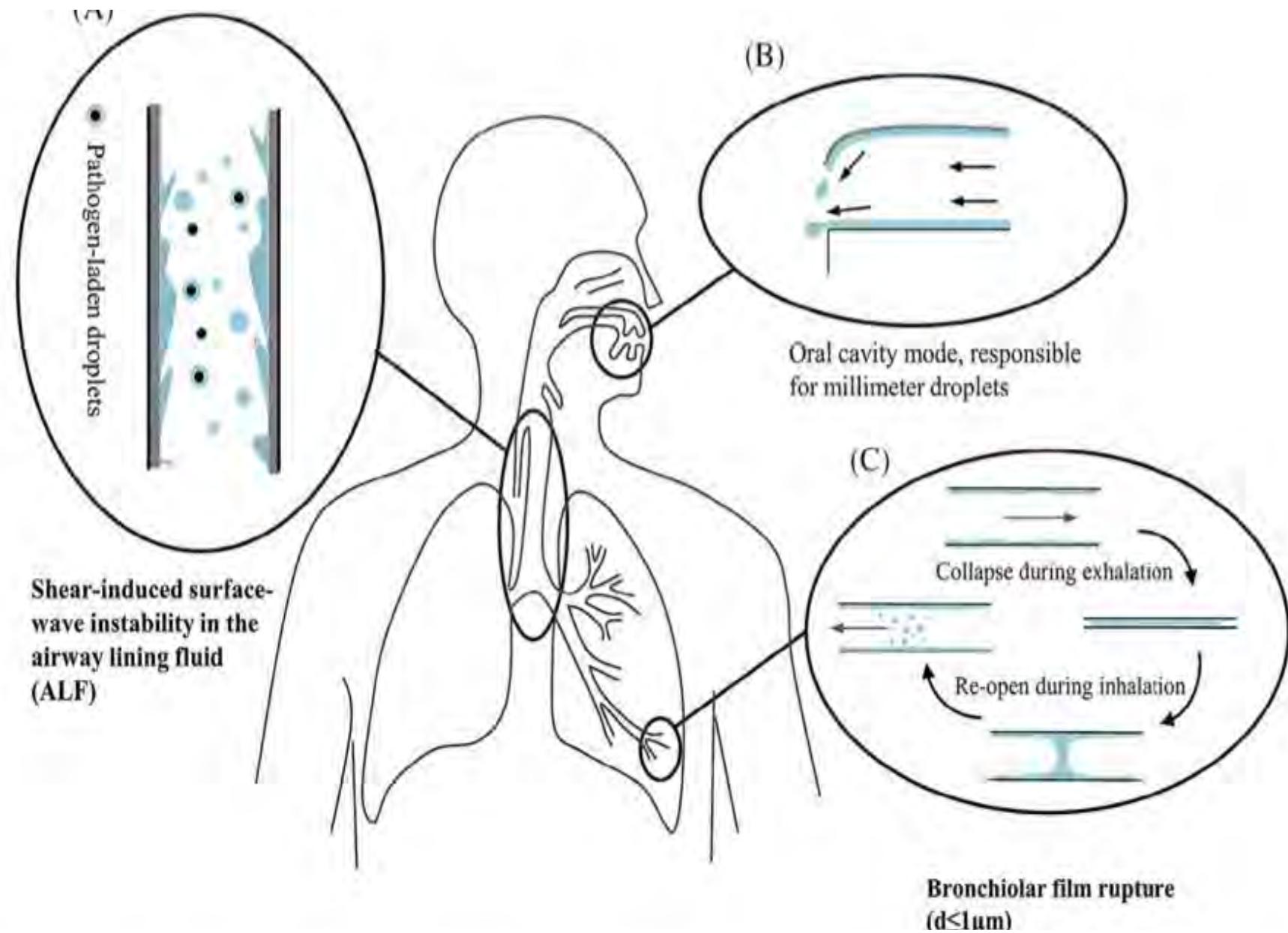
- Large droplets ( $>100 \mu\text{m}$ ) : Fast deposition due to the domination of gravitational force
- Medium droplets between 5 and  $100 \mu\text{m}$
- Small droplets or droplet nuclei, or aerosols ( $< 5 \mu\text{m}$ ): Responsible for airborne transmission

Airborne spread of infectious agents in the indoor environment, J. Wei amd Y. Liu, American Journal of Infection Control (2016) 44: S102-S108.



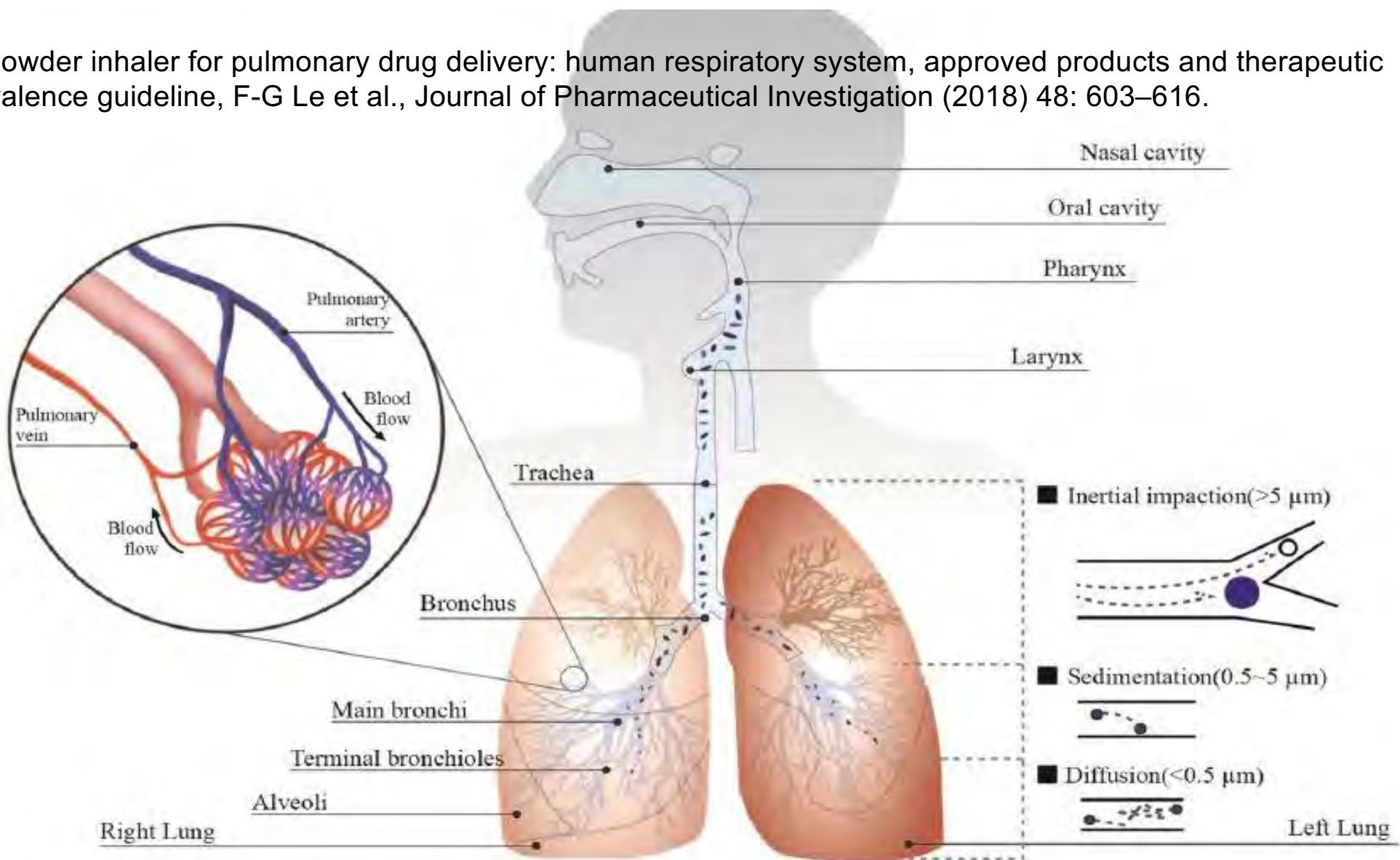
Droplet transport in an isolation room by expired airflow, thermal plume<sup>51</sup>, door vortices (adapted with permission from Elsevier<sup>57</sup>), human walking<sup>54</sup>, 2-way buoy airflow, and ventilation airflow.

Airborne spread of infectious agents in the indoor environment, J. Wei and Y. Liu, American Journal of Infection Control (2016) 44: S102-S108.

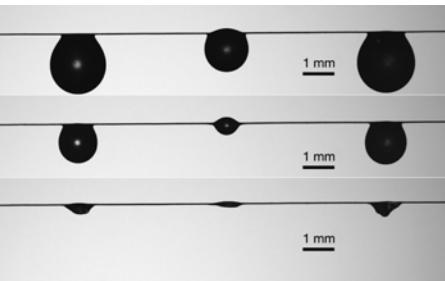


t

Dry powder inhaler for pulmonary drug delivery: human respiratory system, approved products and therapeutic equivalence guideline, F-G Le et al., Journal of Pharmaceutical Investigation (2018) 48: 603–616.



# *4 große Themen:*



**1. Tropfen und Aerosole**



**2. Ansteckungswahrscheinlichkeit**



**3. Masken**



**4. Lüften und Filtern**

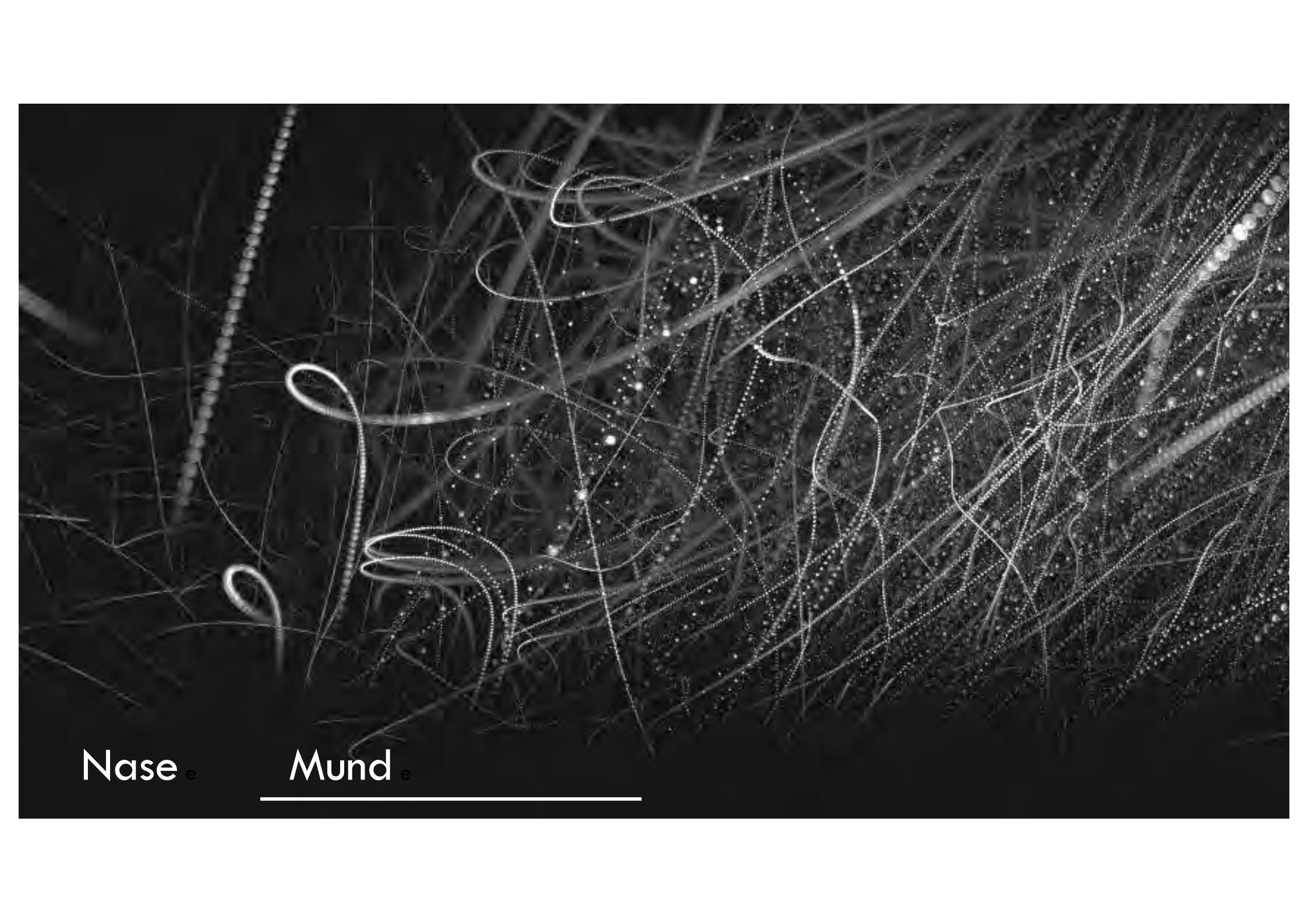
“TOR” 105,6 dB

Velocities in m/s. t = 0.060 s



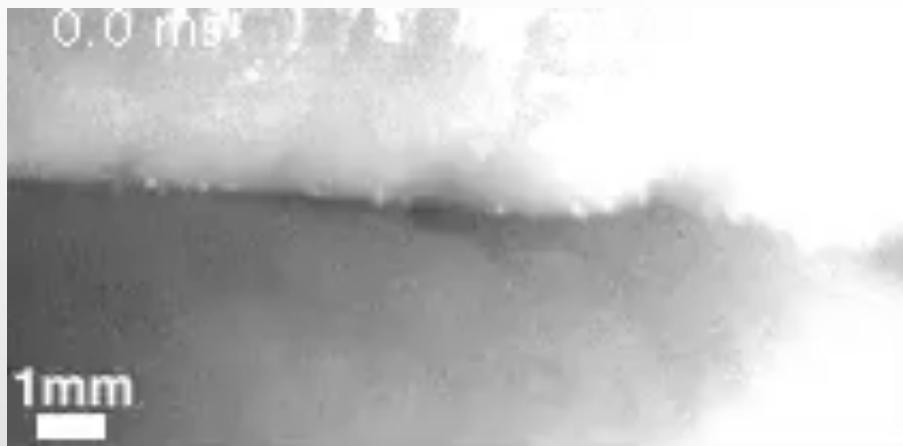
Velocities in m/s. t = 0.060 s





Nase

Mund

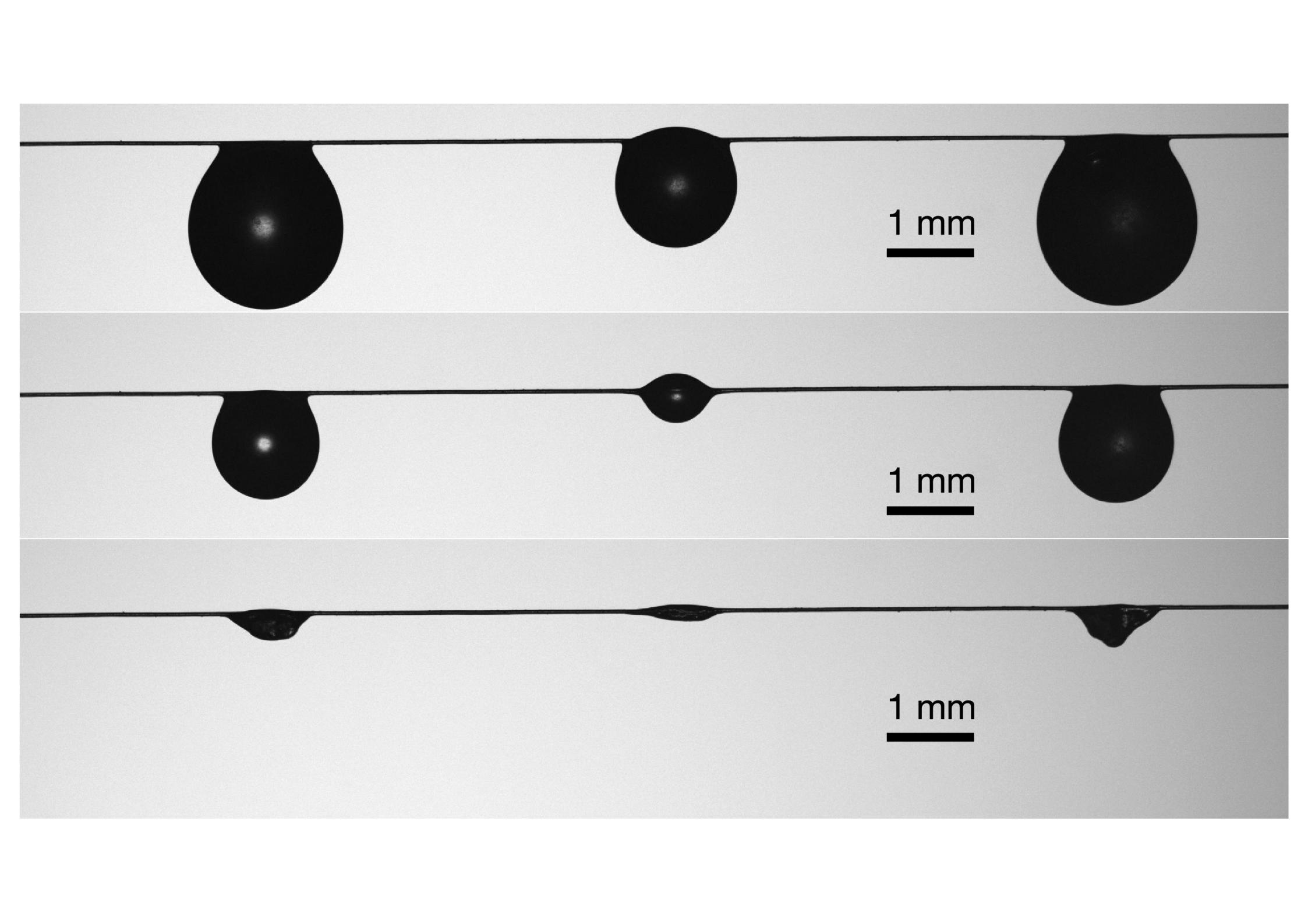


<https://physics.aps.org/articles/v13/157>

M. Abkarian and H. A. Stone

Phys. Rev. Fluids **5**, 102301(R) – Published 2 October 2020

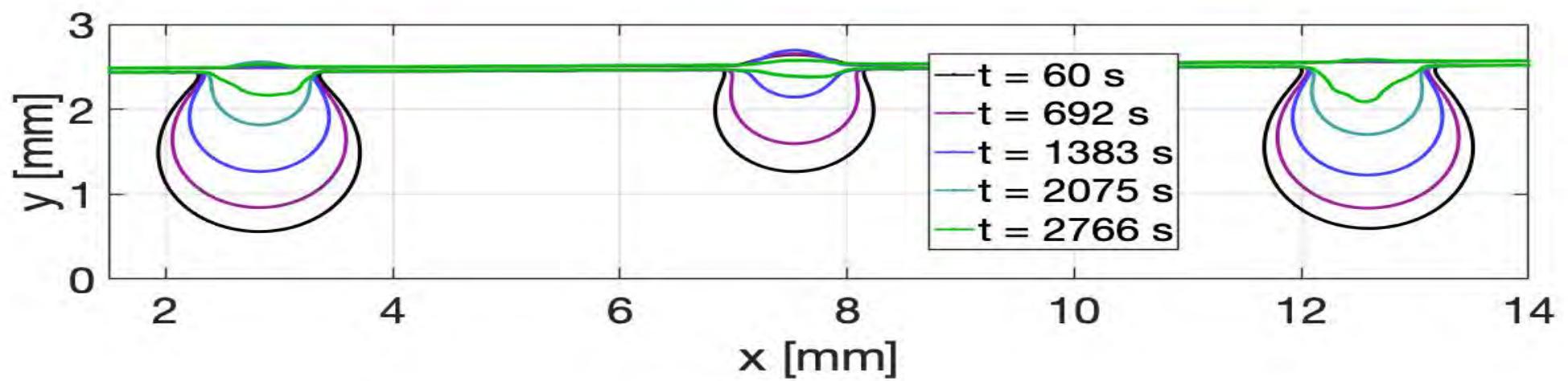
*Tropfen bestehen aus Wasser, Salz, Proteinen*

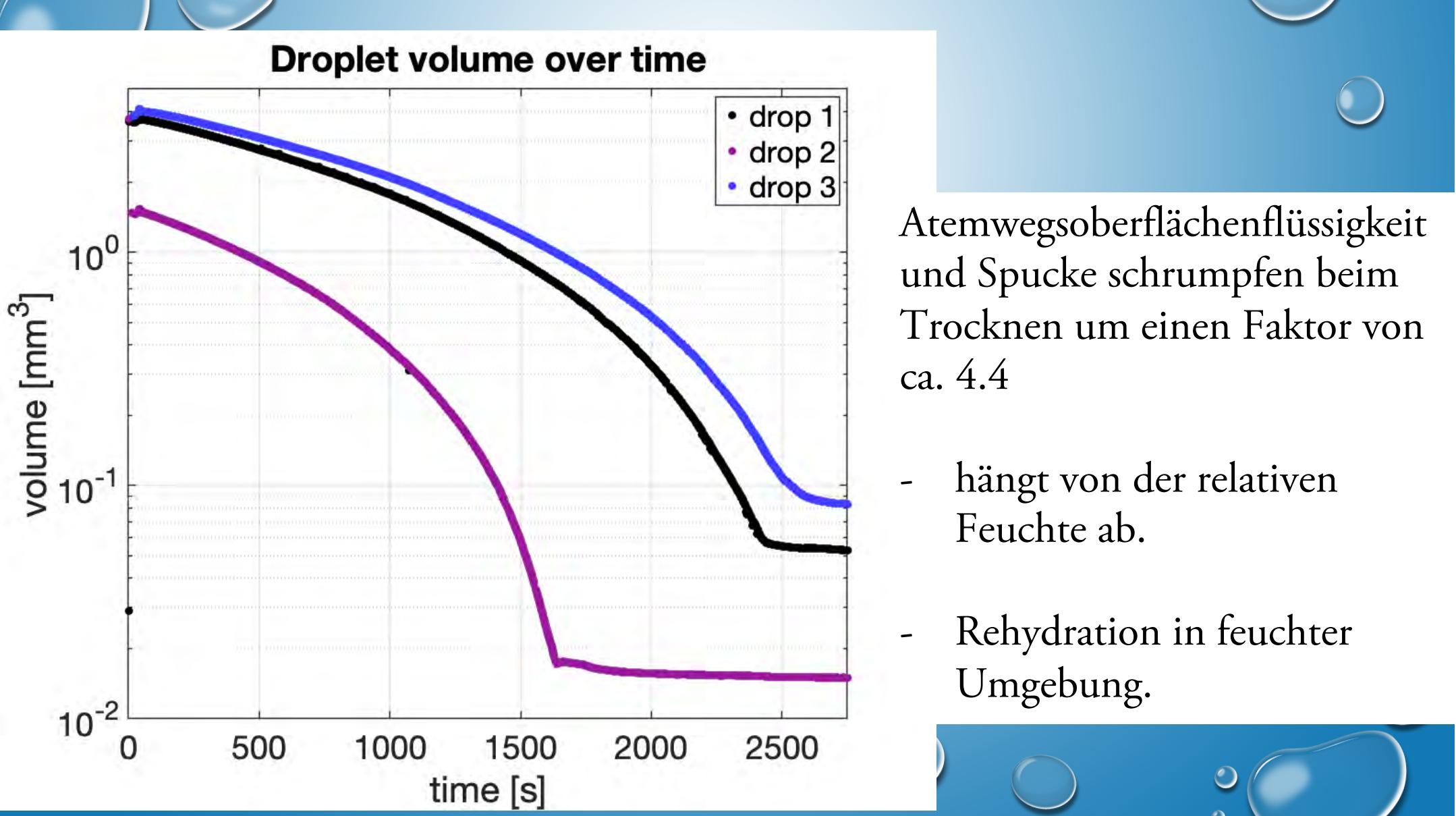


1 mm

1 mm

1 mm

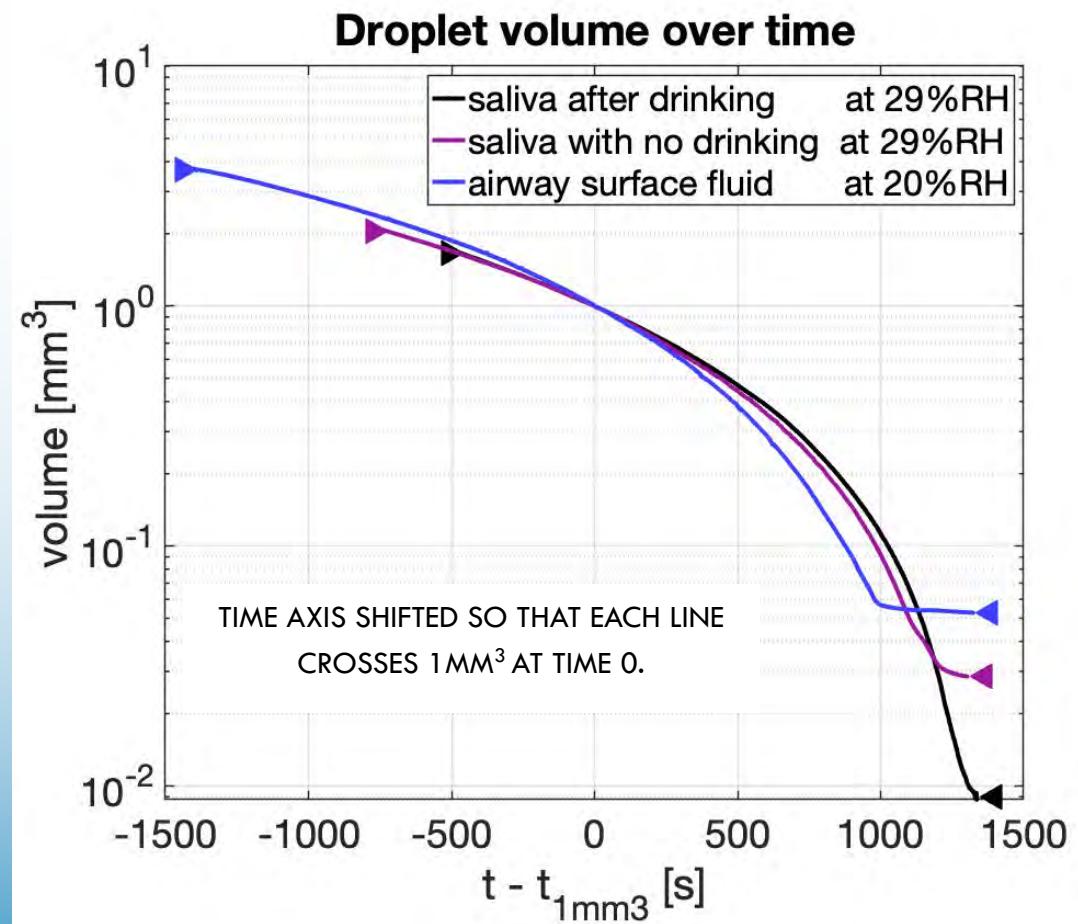




## Verdunstungsmessungen: Atemwegsoberflächenflüssigkeit & Speichel

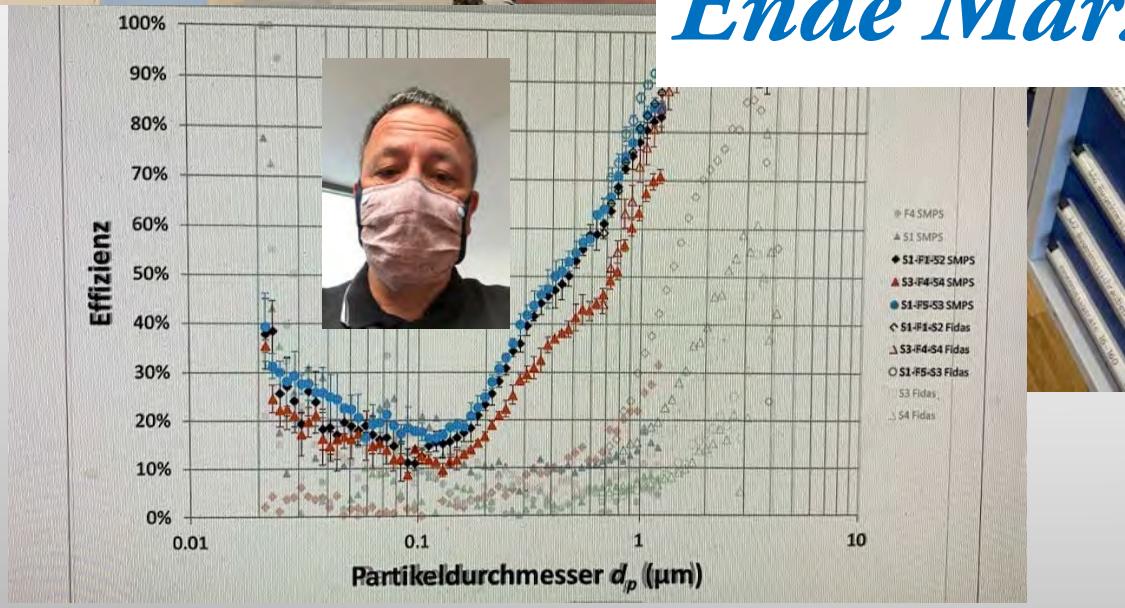
- Speichel nach Trinken eines Schluckes Wasser
- Speichel ohne vorheriges Trinken für 15min
- Atemwegsoberflächenflüssigkeit (ASF)

ASF und Speichel ohne Trinken zeigen ähnliche Trocknungsfaktoren





Ende März 2020



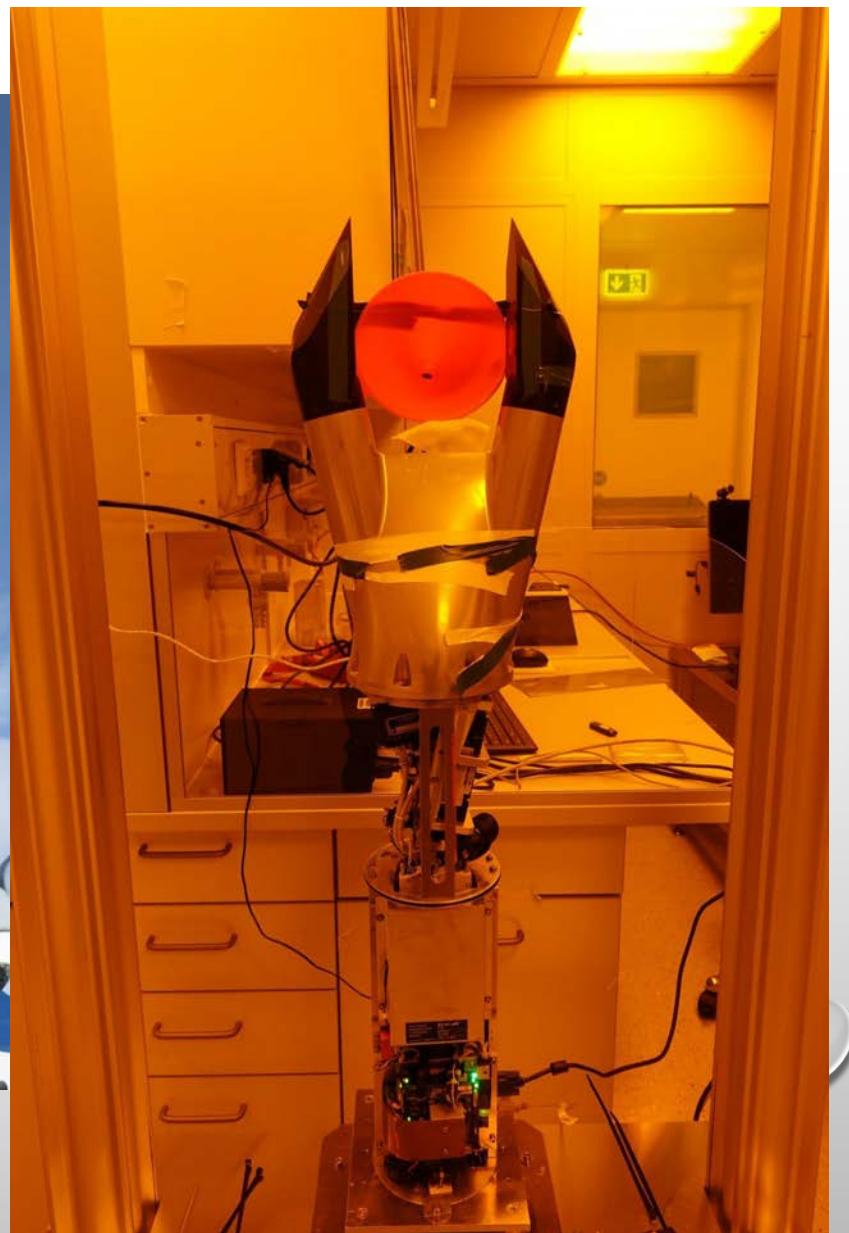






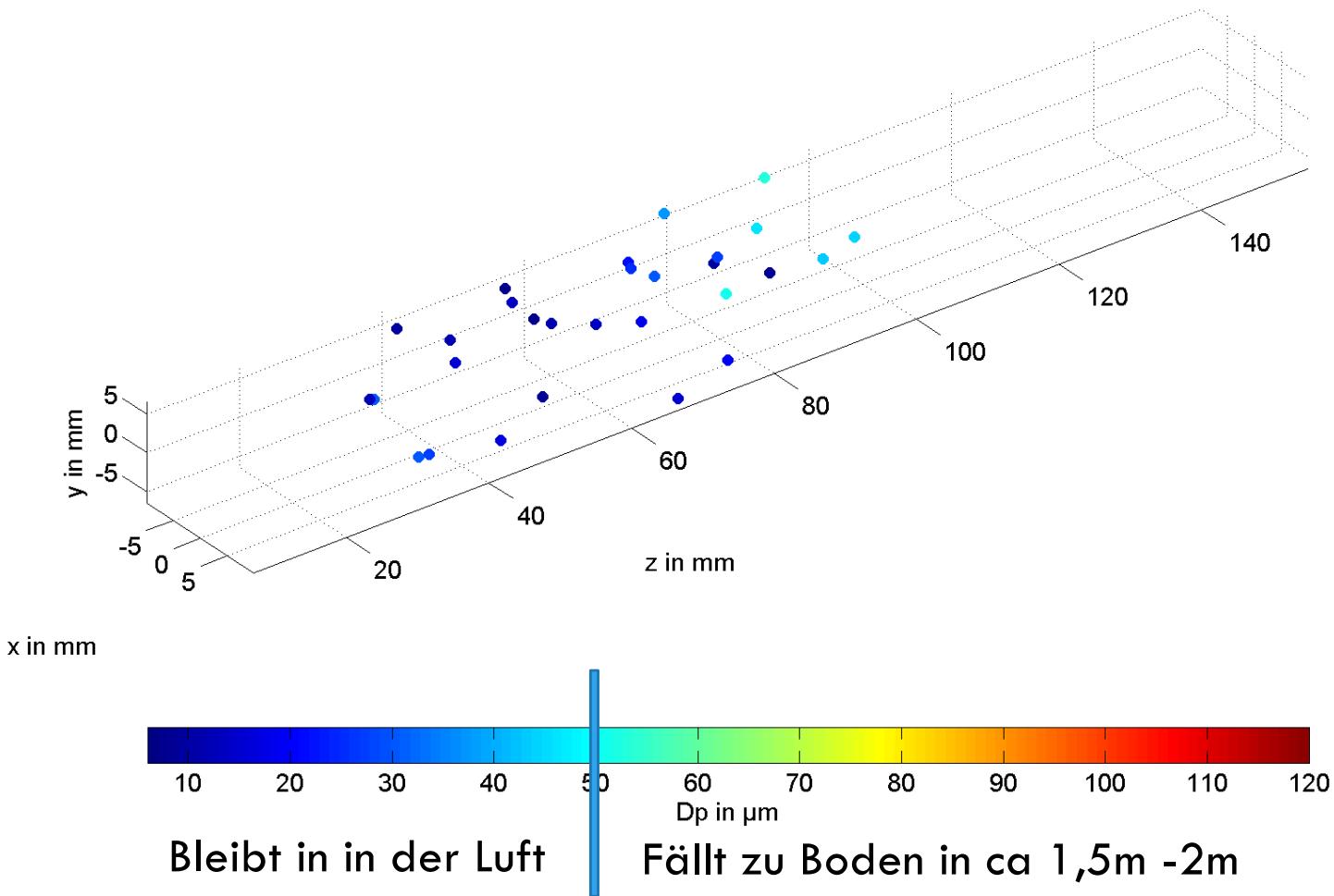


*HaloHolo Mainz*

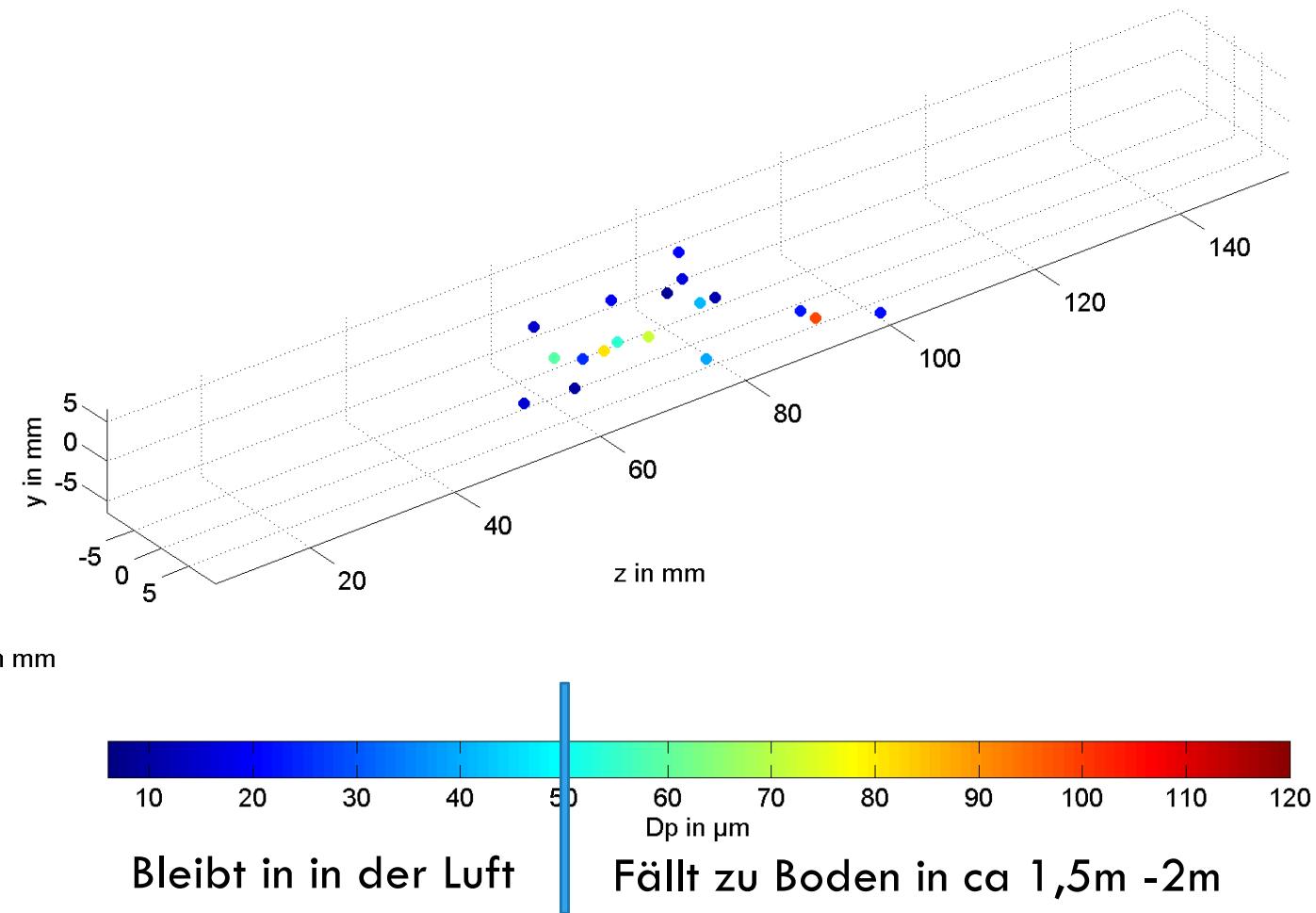




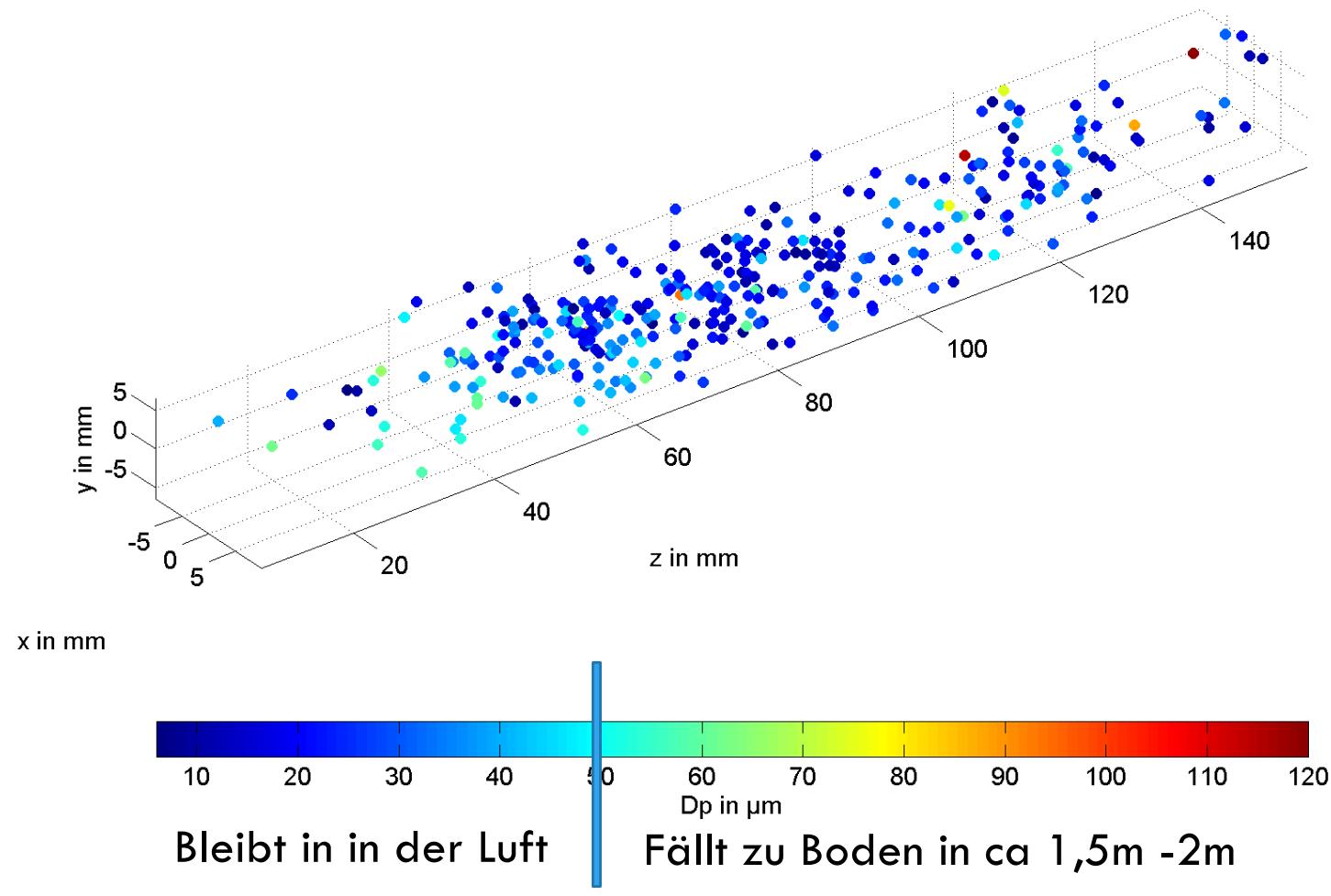
## Lesen normal

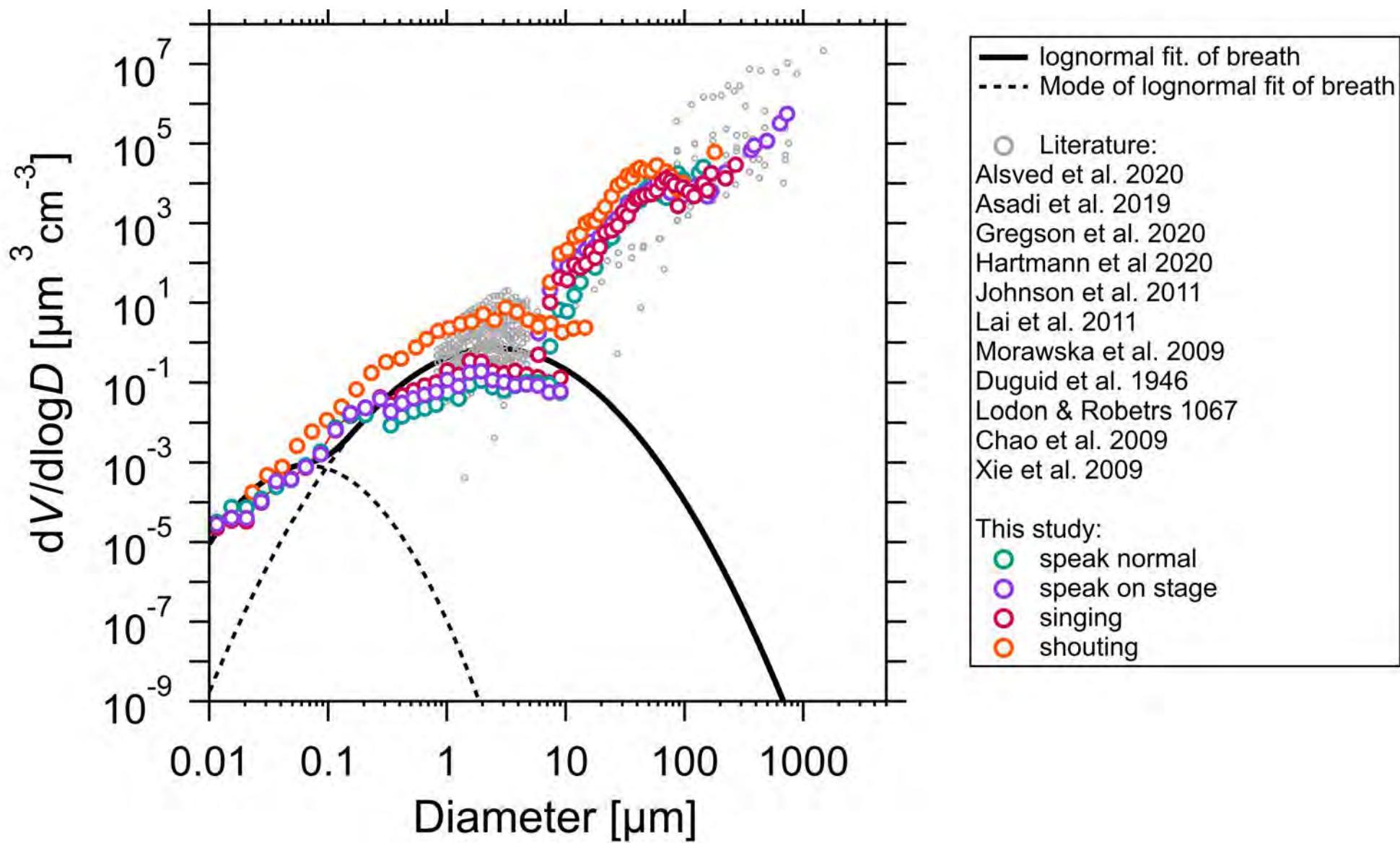


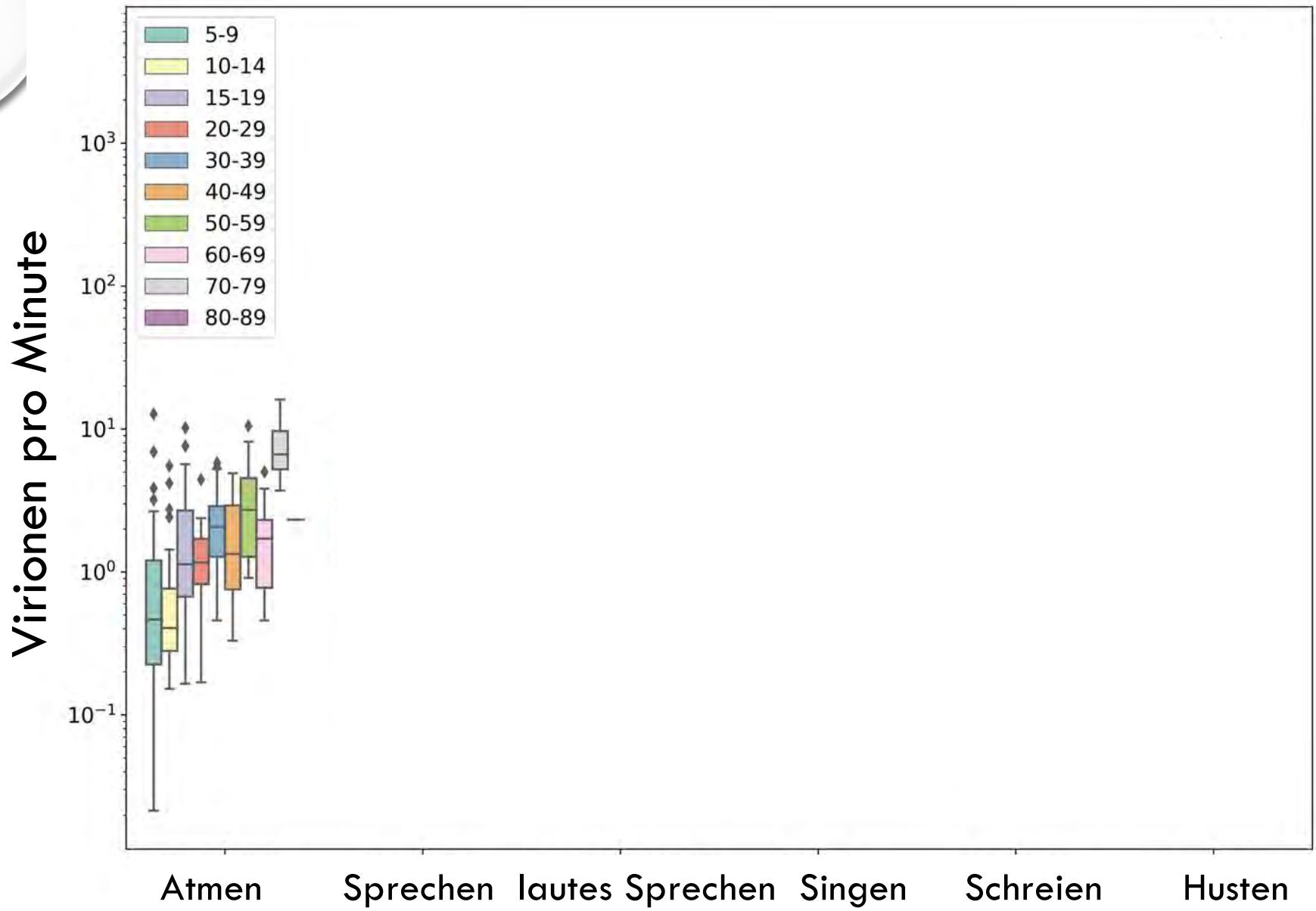
## Lesen laut

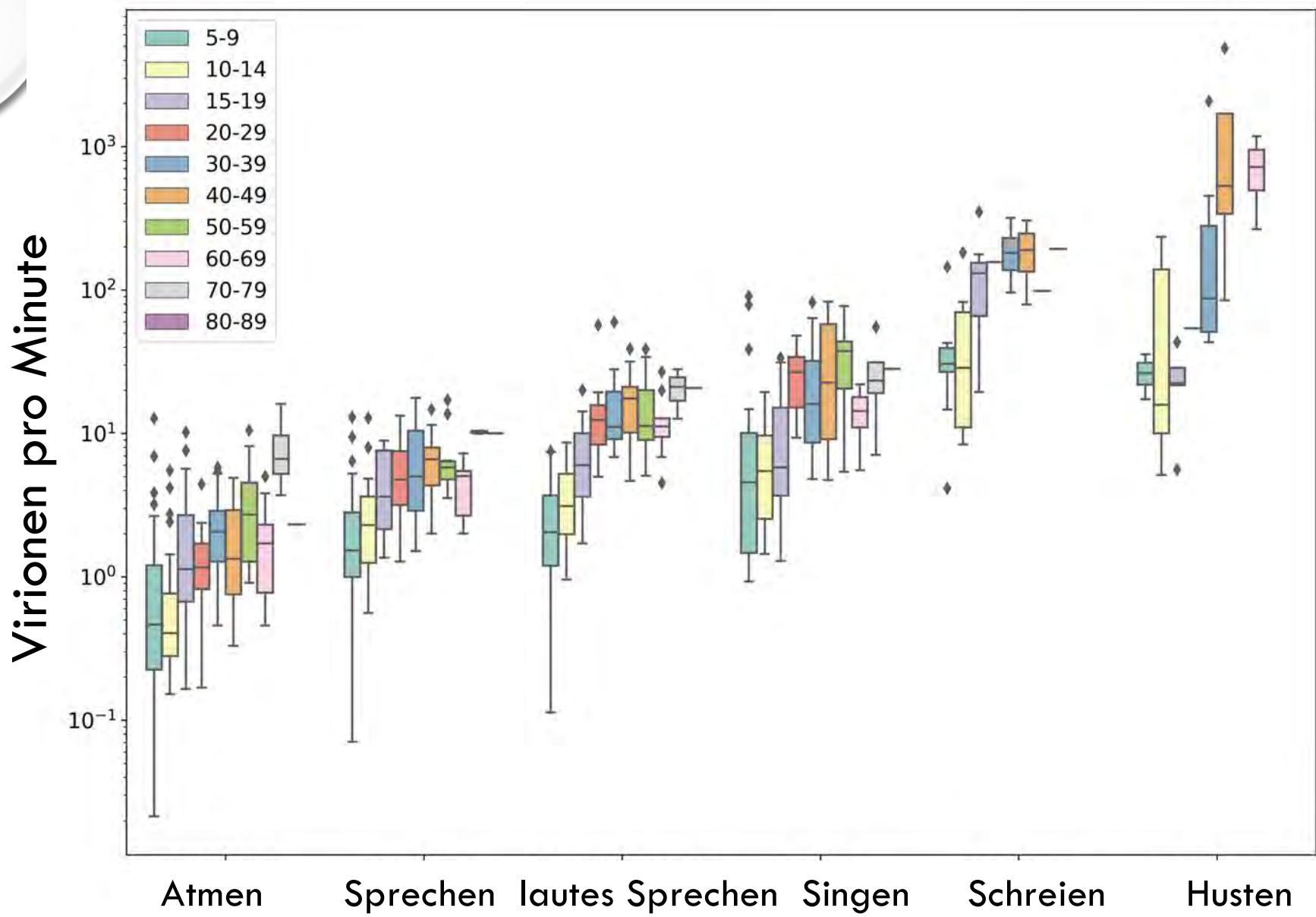


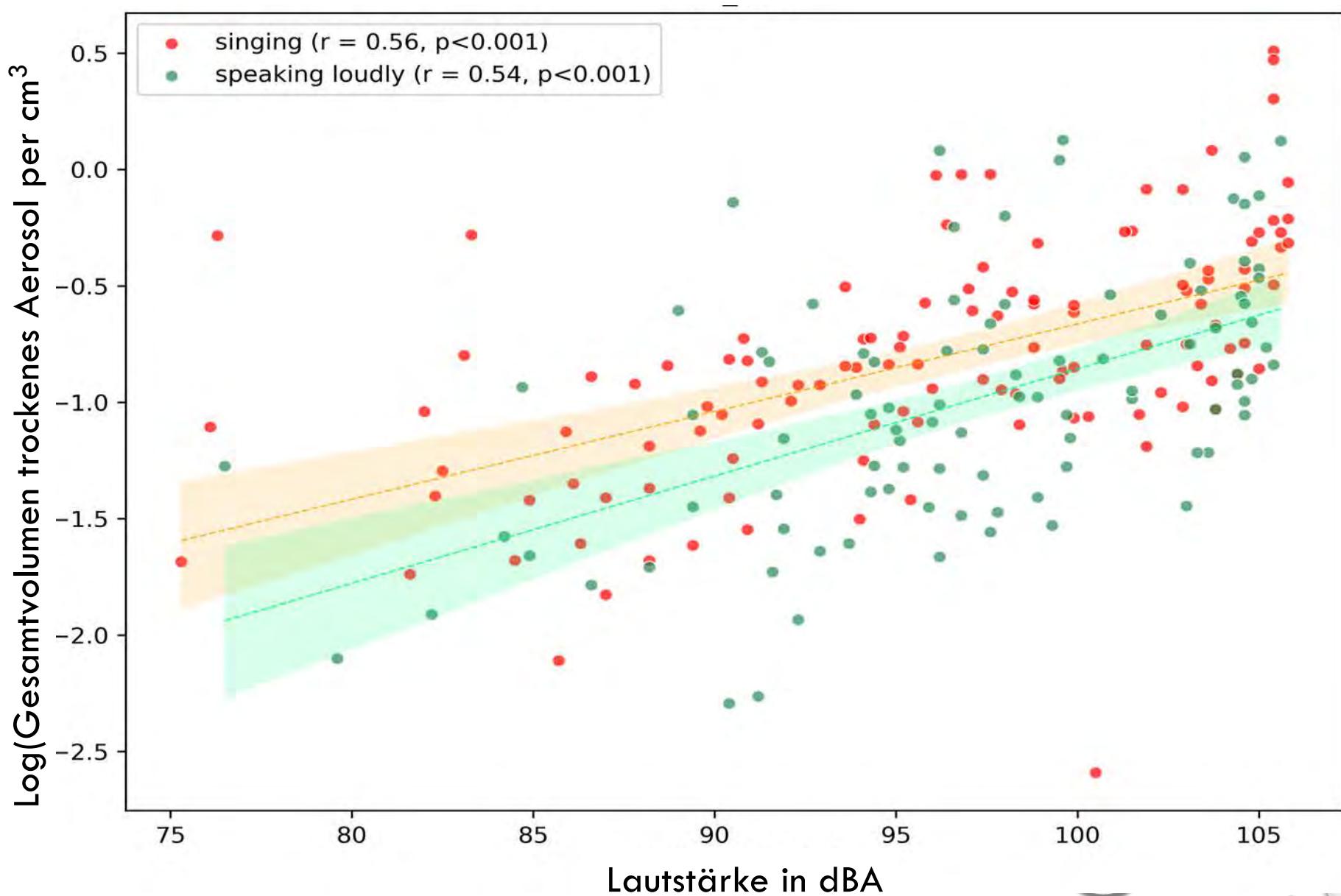
## Schreien – “Tor”













## *Wirkung von Aerosolen, die mehr als eine Erregerkopie enthalten*

Am einfachsten zu sehen mit dem Exponentialmodell, bei dem das Infektionsrisiko für eine exakte Erregerdosis  $\Delta$  und das Infektionsrisiko pro Erreger  $r$  ist

$$R_E(\Delta) = 1 - (1 - r)^\Delta$$

Wenn die Erregerdosis  $\Delta$  Poisson-verteilt ist, ist das mittlere Infektionsrisiko

$$\mathfrak{R}_E (\langle \Delta \rangle) = 1 - e^{-r\langle \Delta \rangle}$$

Wenn aber die Aerosoldosis Poisson-verteilt ist und einige Aerosole mehr als eine Erregerkopie ( $k$ ) haben

$$\mathfrak{R}_E (\mu_1, \dots, \mu_\infty) = 1 - \exp \left[ - \sum_{k=1}^{\infty} (1 - (1 - r)^k) \mu_k \right]$$

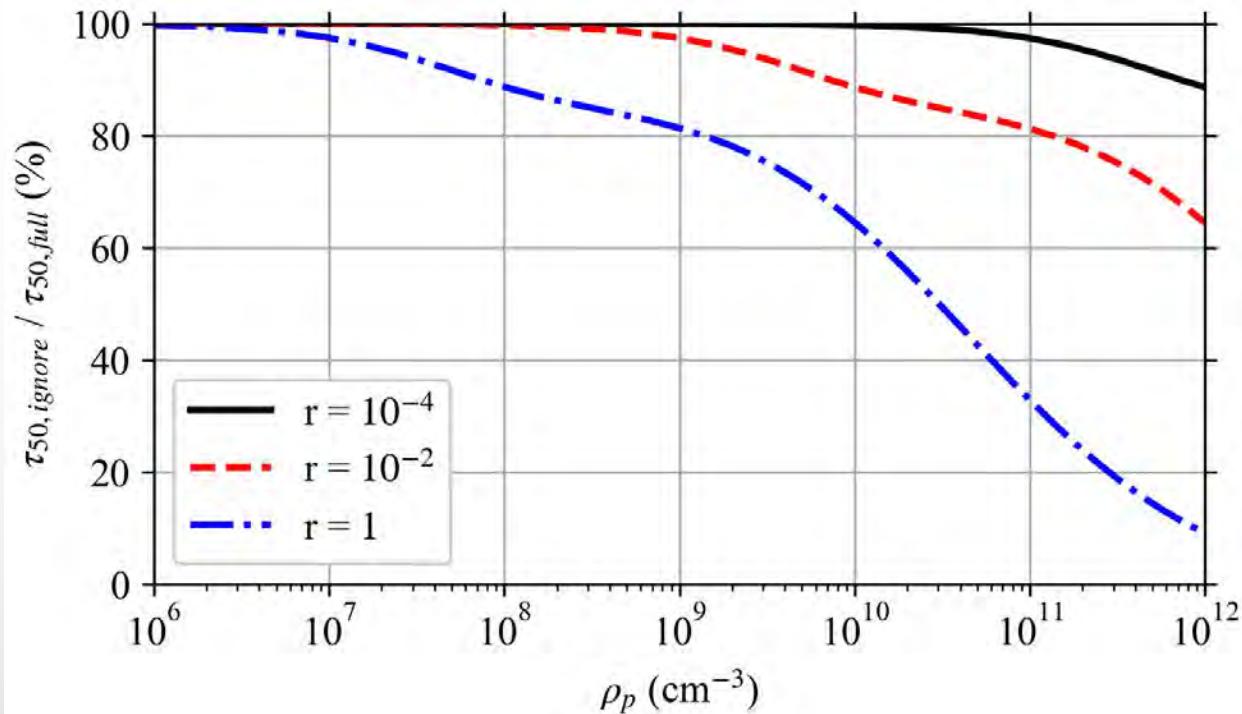
Dabei ist  $\mu_k$  die mittlere Aerosoldosis für Aerosole mit  $k$  Erregerkopien:

$$\langle \Delta \rangle = \sum_{k=1}^{\infty} k \mu_k$$

Wenn wir  $k > M_c$  vernachlässigen können, sind die ersten drei Näherungen

$$\mathfrak{R}_E \approx \begin{cases} 1 - e^{-r\mu_1} & \text{if } M_c = 1 \\ 1 - e^{-r\mu_1} e^{-r(2-r)\mu_2} & \text{if } M_c = 2 \\ 1 - e^{-r\mu_1} e^{-r(2-r)\mu_2} e^{-r(3-3r+r^2)\mu_3} & \text{if } M_c = 3 \end{cases}$$

## *Neglecting k Causes Risk to Be Overestimated*



Unter Verwendung eines Wells-Riley-Modells, das modifiziert wurde, um  $k$  zu berücksichtigen, kann die Auswirkung des Ignorierens von  $k$  in der Zeit bis zum Erreichen von 50 % Risiko  $\tau_{50}$  als Funktion der Erregerlast  $\rho_p$  gesehen werden

F Nordsiek, E Bodenschatz, & G Bagheri. Risk assessment for airborne disease transmission by poly-pathogen aerosols. [Pre-print] (2020)  
arXiv:2011.14118 and medRxiv doi:10.1101/2020.11.30.20241083



# HEADS – Human Emission of Aerosol and Droplet Statistics

Laboratory for Fluid Physics, Pattern Formation and Biocomplexity, Max Planck Institute for Dynamics and Self-organization, Göttingen  
в сотрудничестве с Institute of Infection Control and Infectious Diseases, University Medical Center, Göttingen

:UMG

Упрощенный  
вид

Расширенный  
вид

Просмотр  
данных

## Инструкции

Ответьте на шесть вопросов в центральной рамке и посмотрите, как меняется риск заражения SARS-CoV-2.

- Откуда берутся данные?
  - Какие еще параметры используются?
- Обратите внимание, что в упрощенном представлении параметры являются фиксированными (кроме тех, которые были в задаваемых вопросах). Если вы хотите изучить другие параметры, перейдите в расширенный вид. Помните, что изменение параметров в расширенном представлении не оказывает **никакого** влияния на упрощенный вид и наоборот.

## Какой у вас сценарий?

**Отказ от ответственности:** Ваши ответы используются только для расчета рисков, они никоим образом не сохраняются и не могут быть связаны с Вами лично.

Соблюдаете ли вы правила гигиены, соблюдаете ли вы расстояние > 1,5 м друг от друга ([Почему?](#)) и свежий ли воздух в помещении?

Да      Нет

HEADS  
v0.2

Показать  
авторов

Легальная  
информация

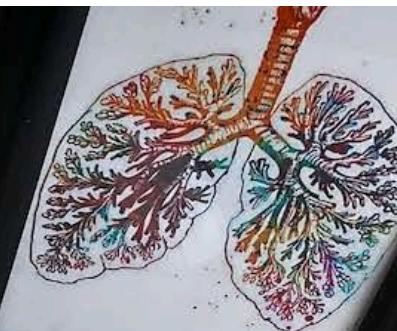
A Languages Русский (Русский)

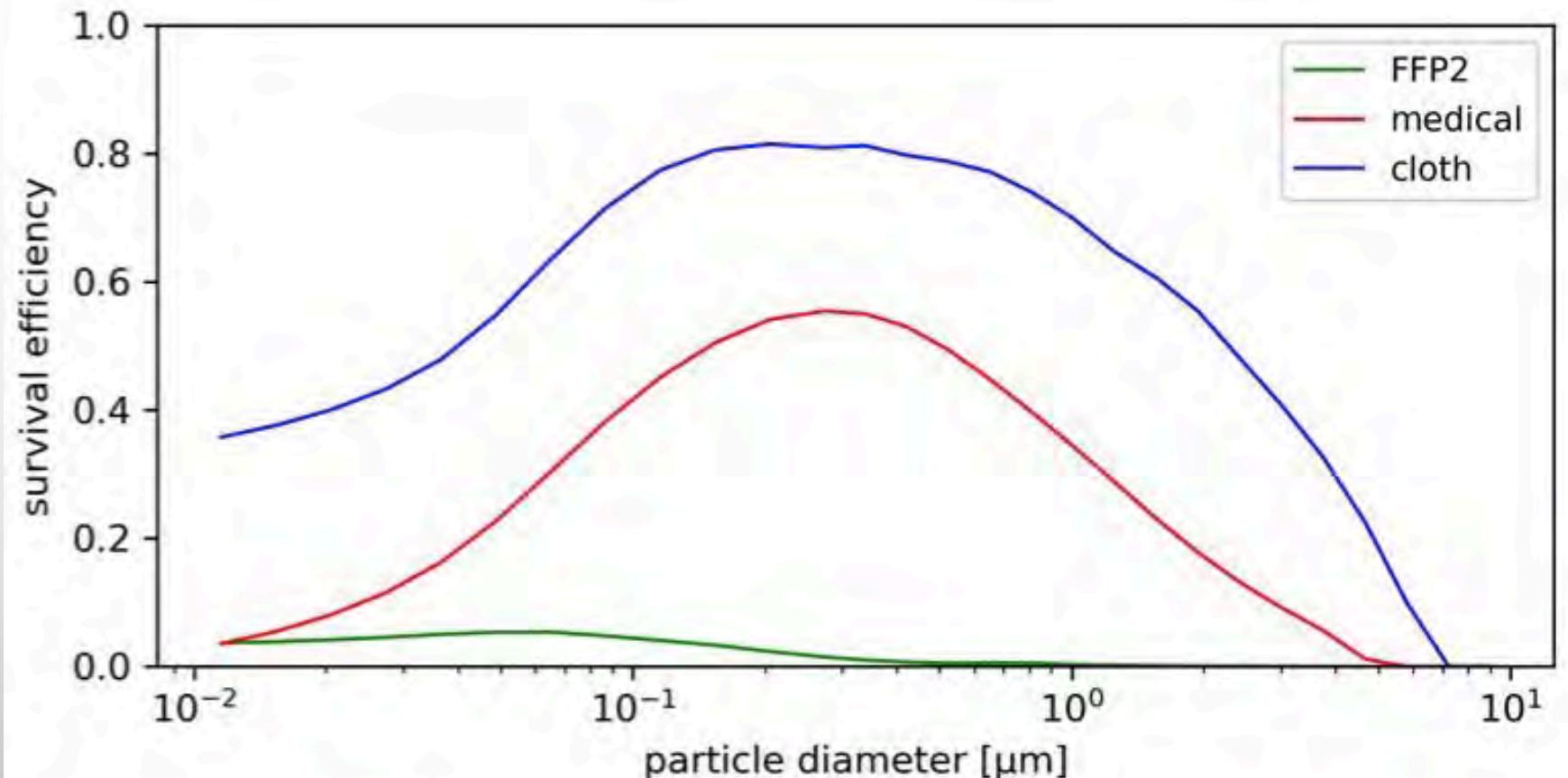
## Прогноз инфекции SARS-CoV-2

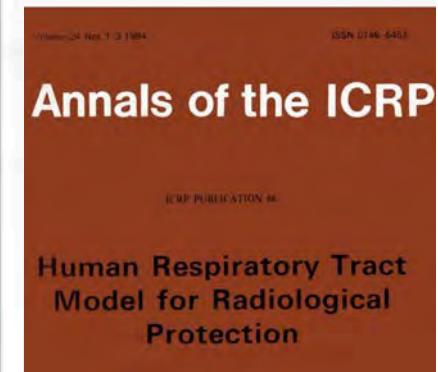
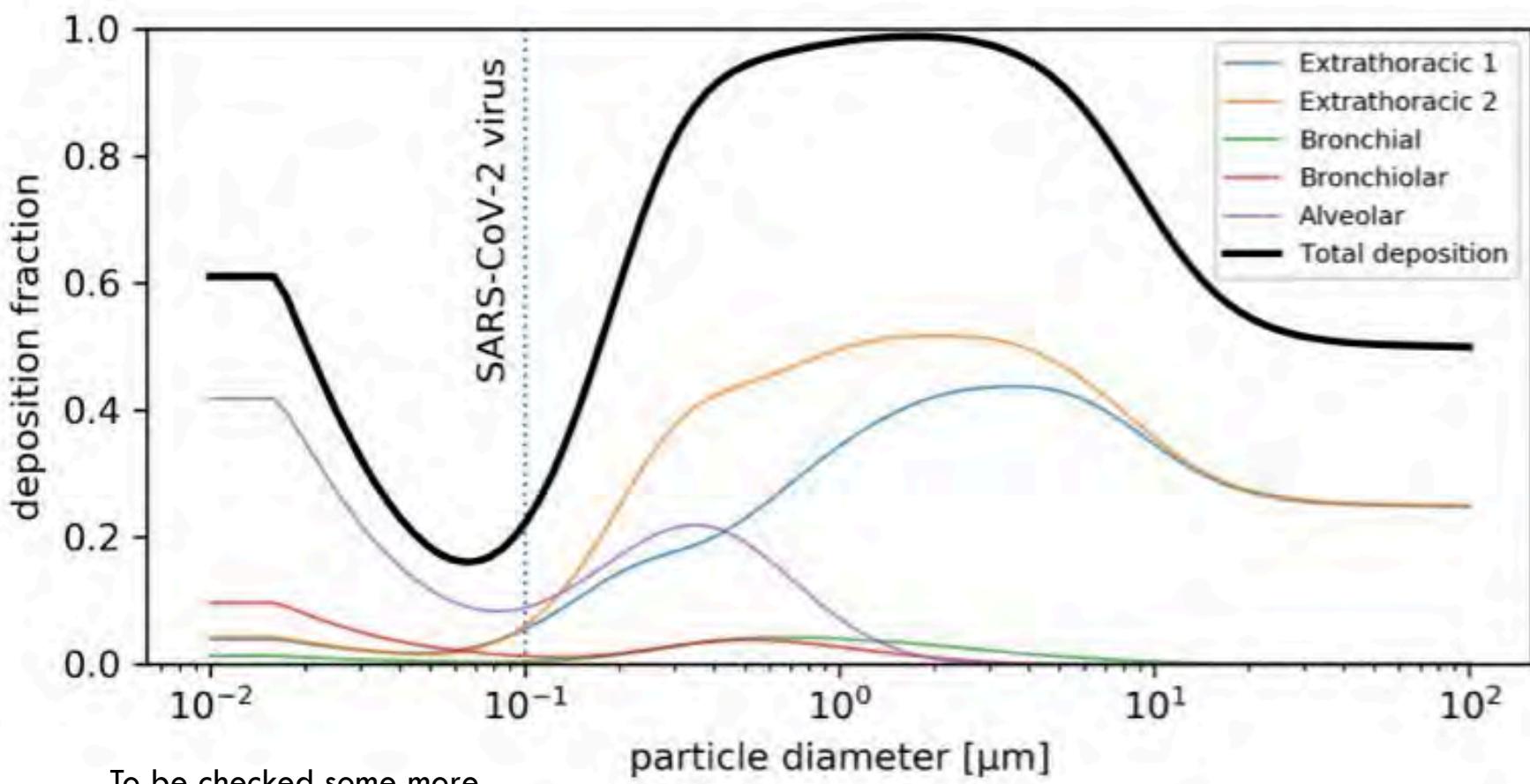
Пожалуйста, ответьте на вопросы, чтобы получить оценку риска.

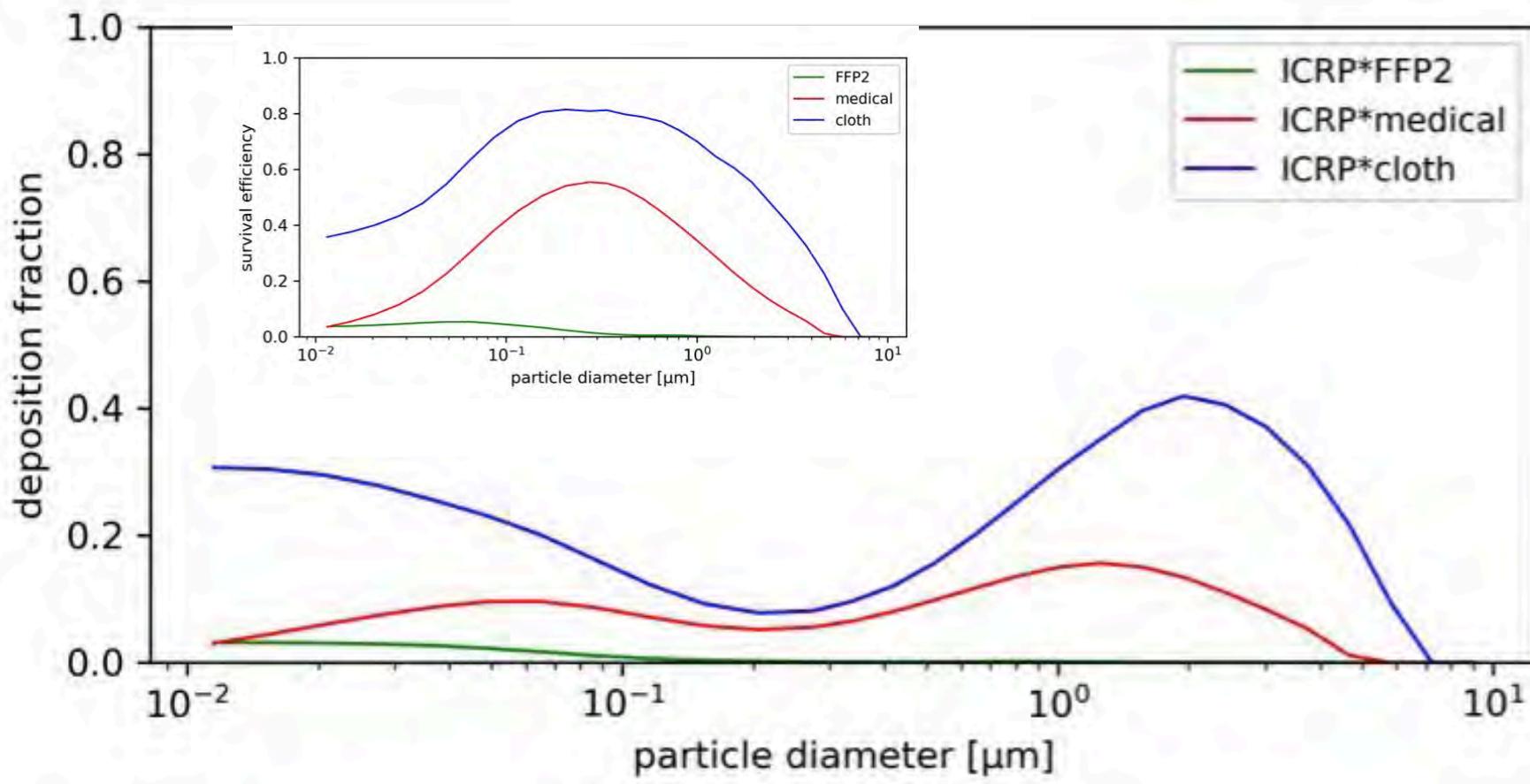
<https://aerosol.ds.mpg.de>



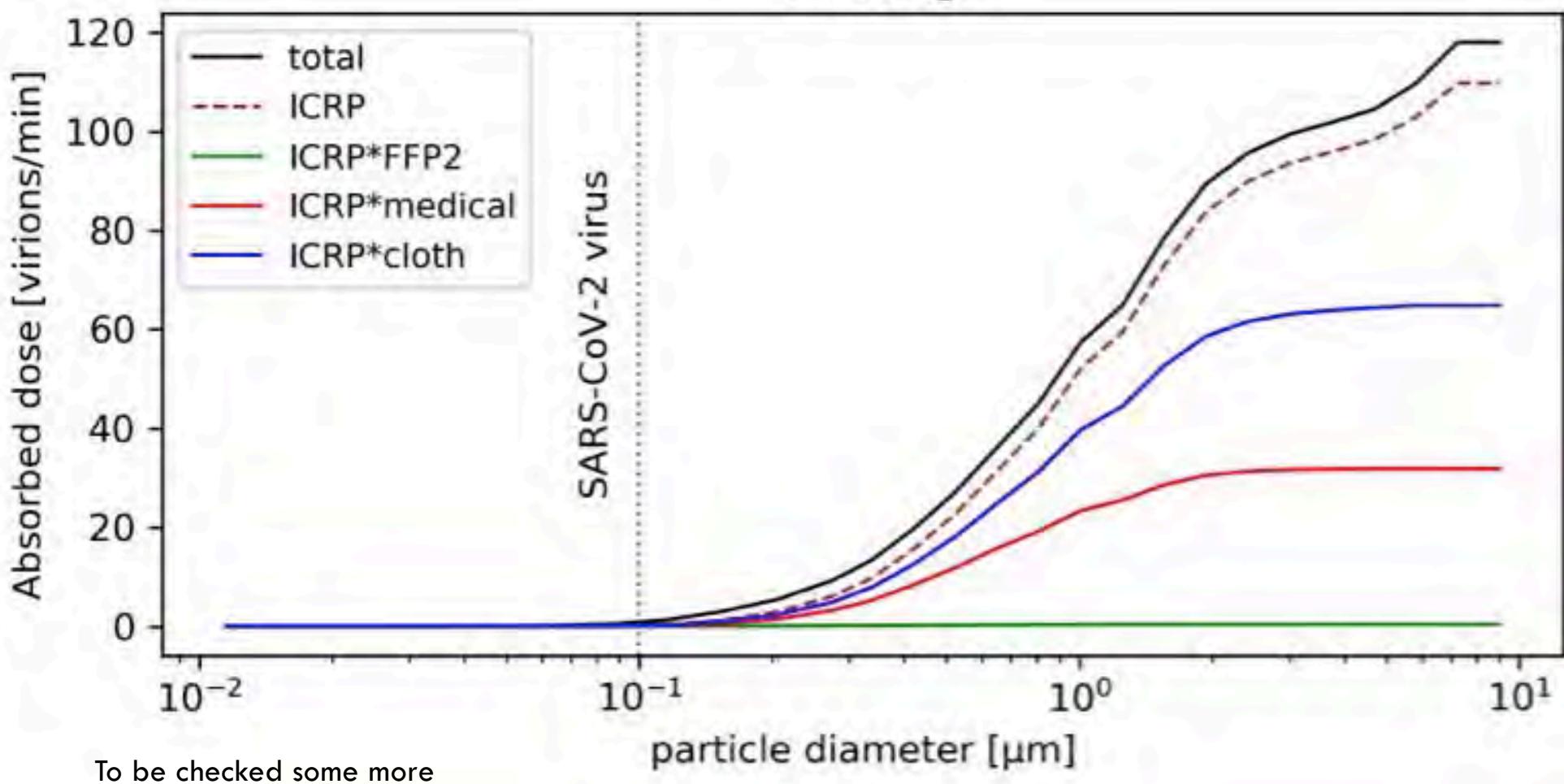




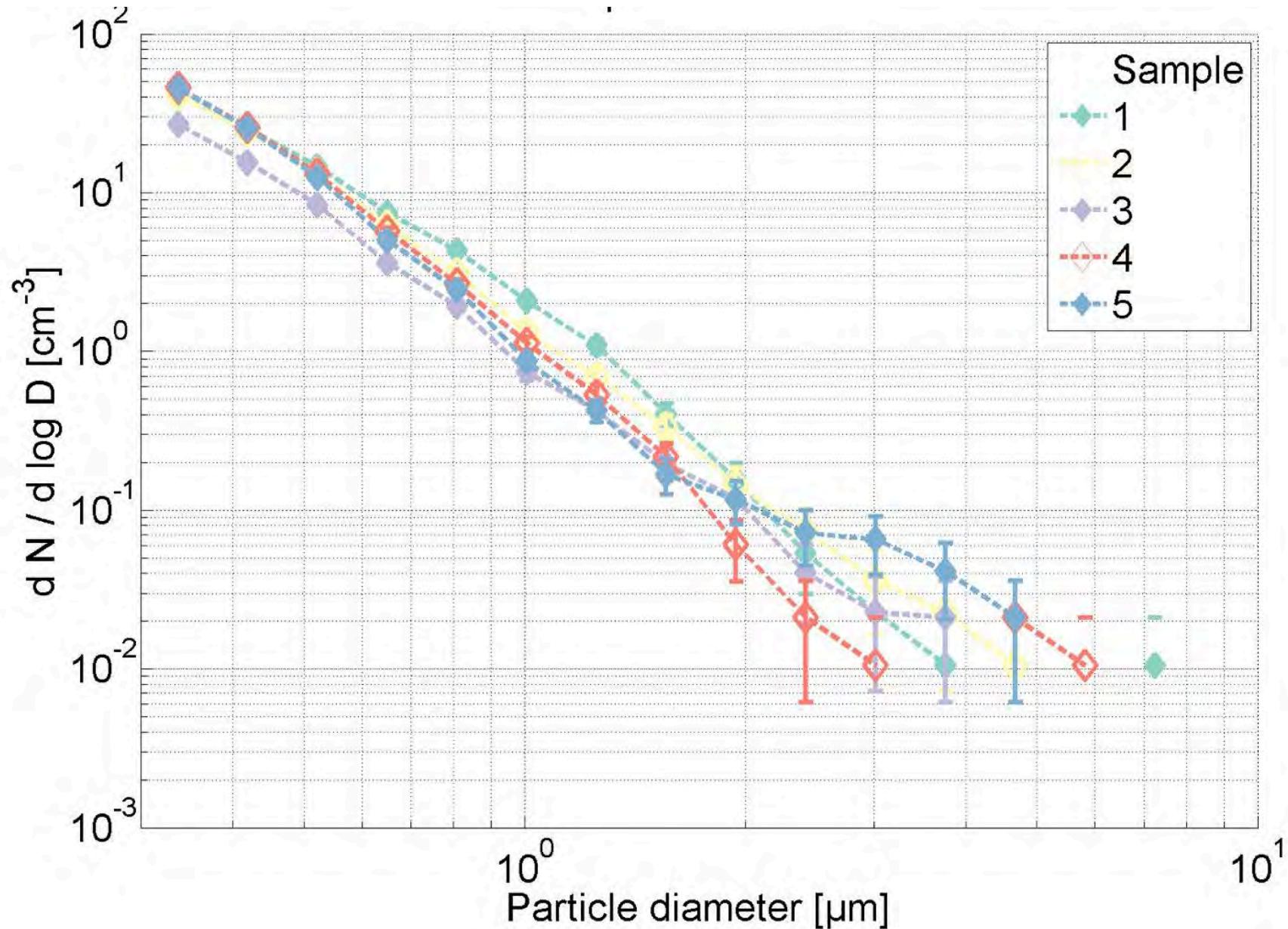




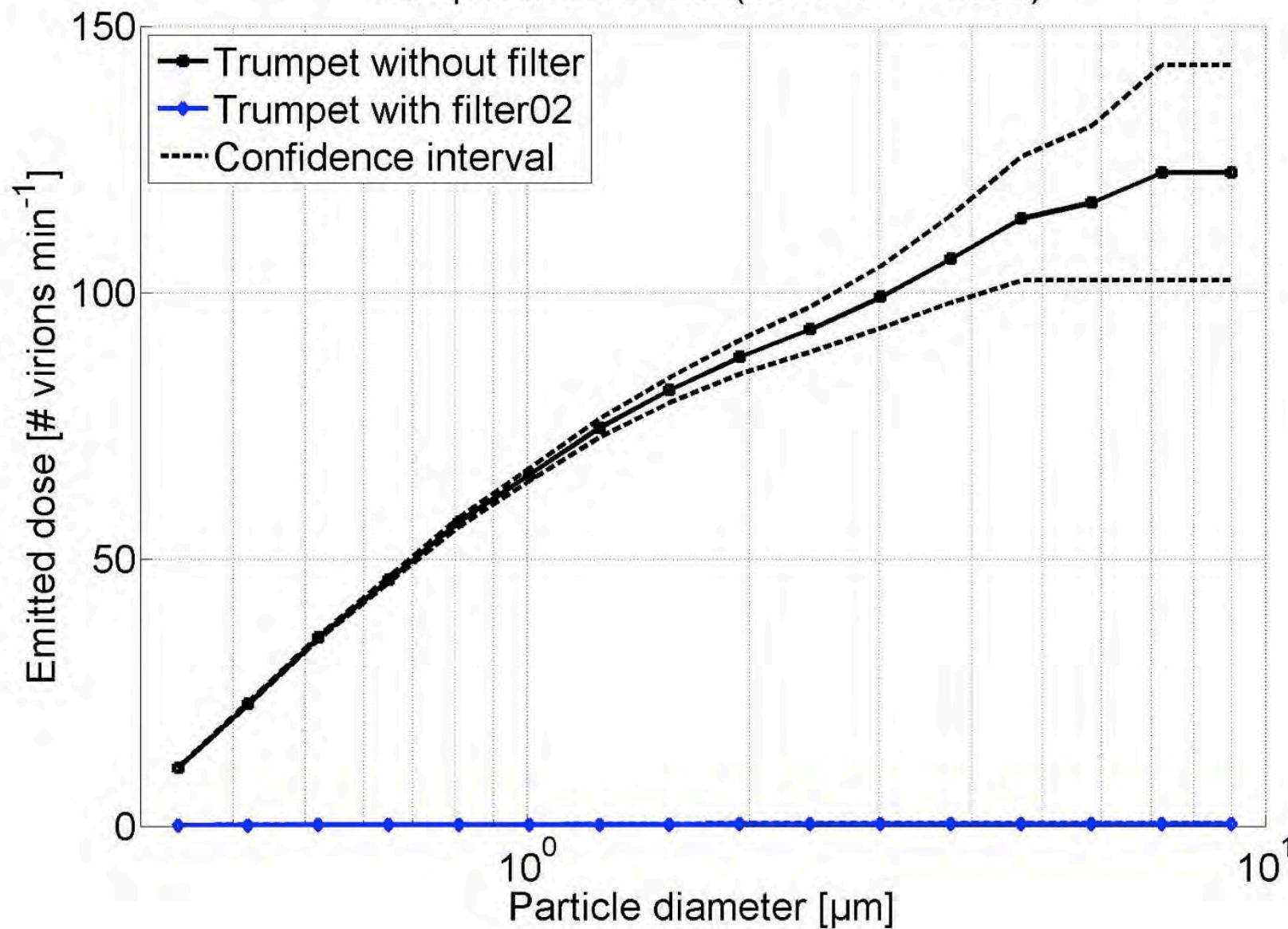
shouting



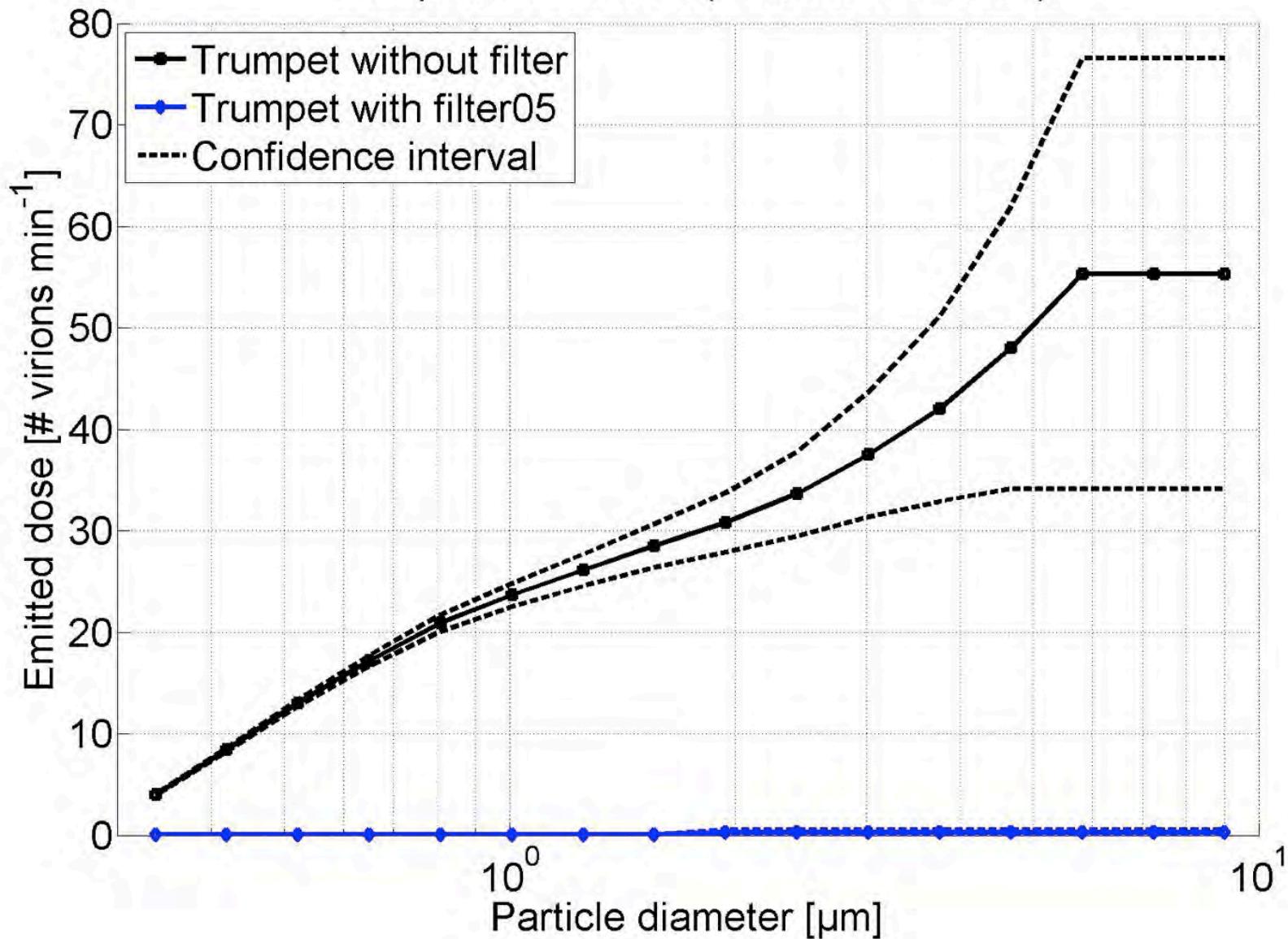




### Trumpet with filter02 (Sandler F7 rosa)

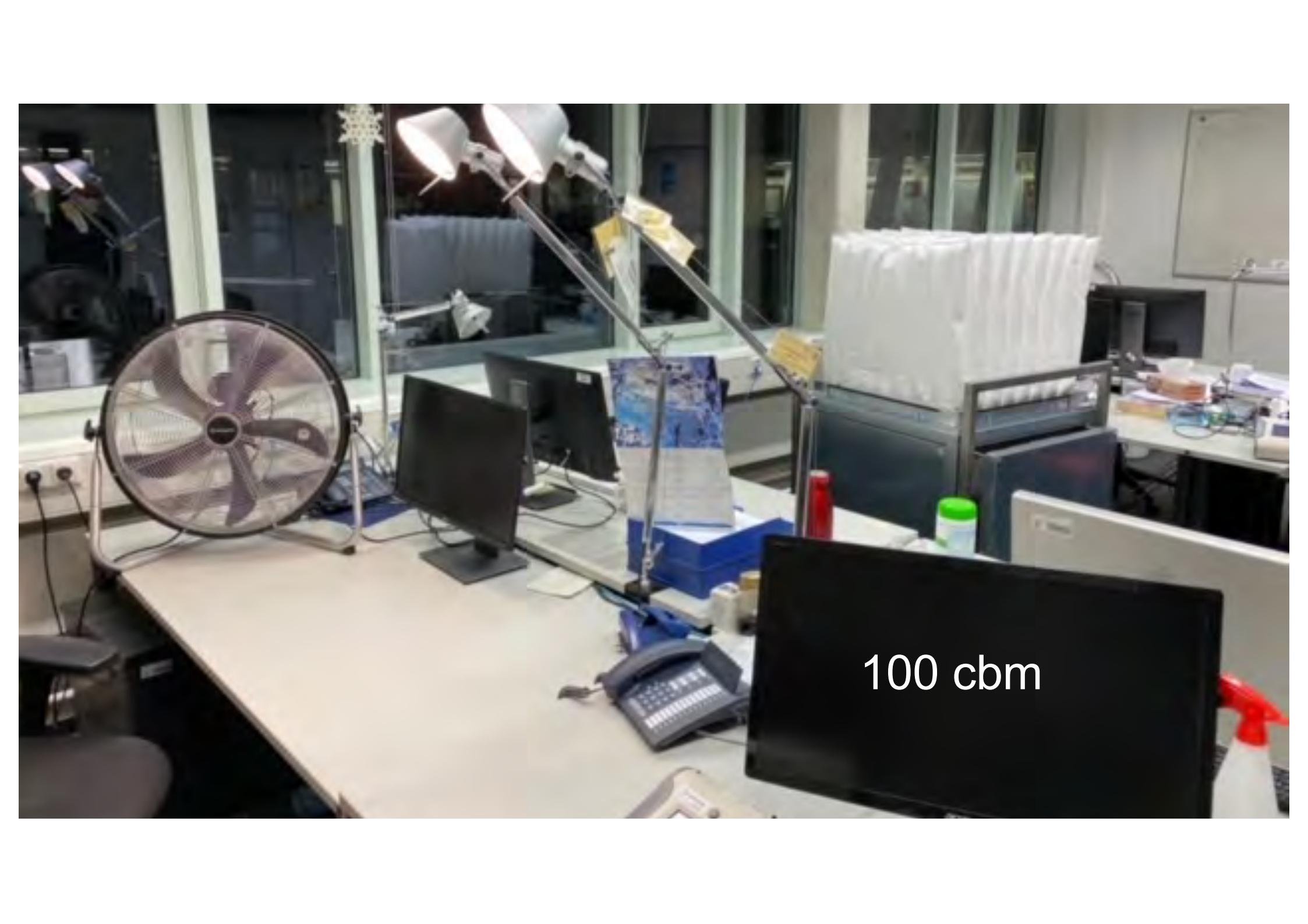


### Trumpet with filter05 (Preussel F8 white)



# *Aerosole: Lüftung und Filtration*





100 cbm





Taschenfilter - Güteklsasse F9 - 592 x 592 x 600 mm



35,43 € \*

Inhalt 1 Stück  
inkl. 16% USt zzgl. Versand

Lieferzeit: 5-7 Tage

Rahmenmaterial:

Metallrahmen (standard)

1 Stück

+ Merken

Artikel-Nr.:  
Versandgewicht:



### Aufnahmerahmen 610 x 610 x 70 mm

38,81 € \*

Inhalt 1 Stück  
inkl. 16% USt zzgl. Versandkosten

Lieferzeit: 10-12 Tage

1 Stück

+ Merken

Artikel-Nr.:  
Versandgewicht:



### Airbox für Küchenabluft, 7800 m³/h, nach VDI 2052

★★★★★ (1)



>

1.059,64 €

1.658,00 € UVP

Bruttopreis inkl. MwSt: 1.229,18 €

1

In den Warenkorb

Jetzt leasen ab 25,24

PRODUKT-HIGHLIGHTS

- ✓ Maße 700 x 700 x 700 mm
- ✓ Doppelwandiges Metallgehäuse
- ✓ Schallsilierung 40 mm



### Drehzahlregler 10 Ampere 5-Stufen 230 V

PRODUKT-HIGHLIGHTS

- ✓ Für Ablüftventile
- ✓ Maße (BxTxH)
- ✓ 5 Stufen

207,68 €

325,00 € UVP

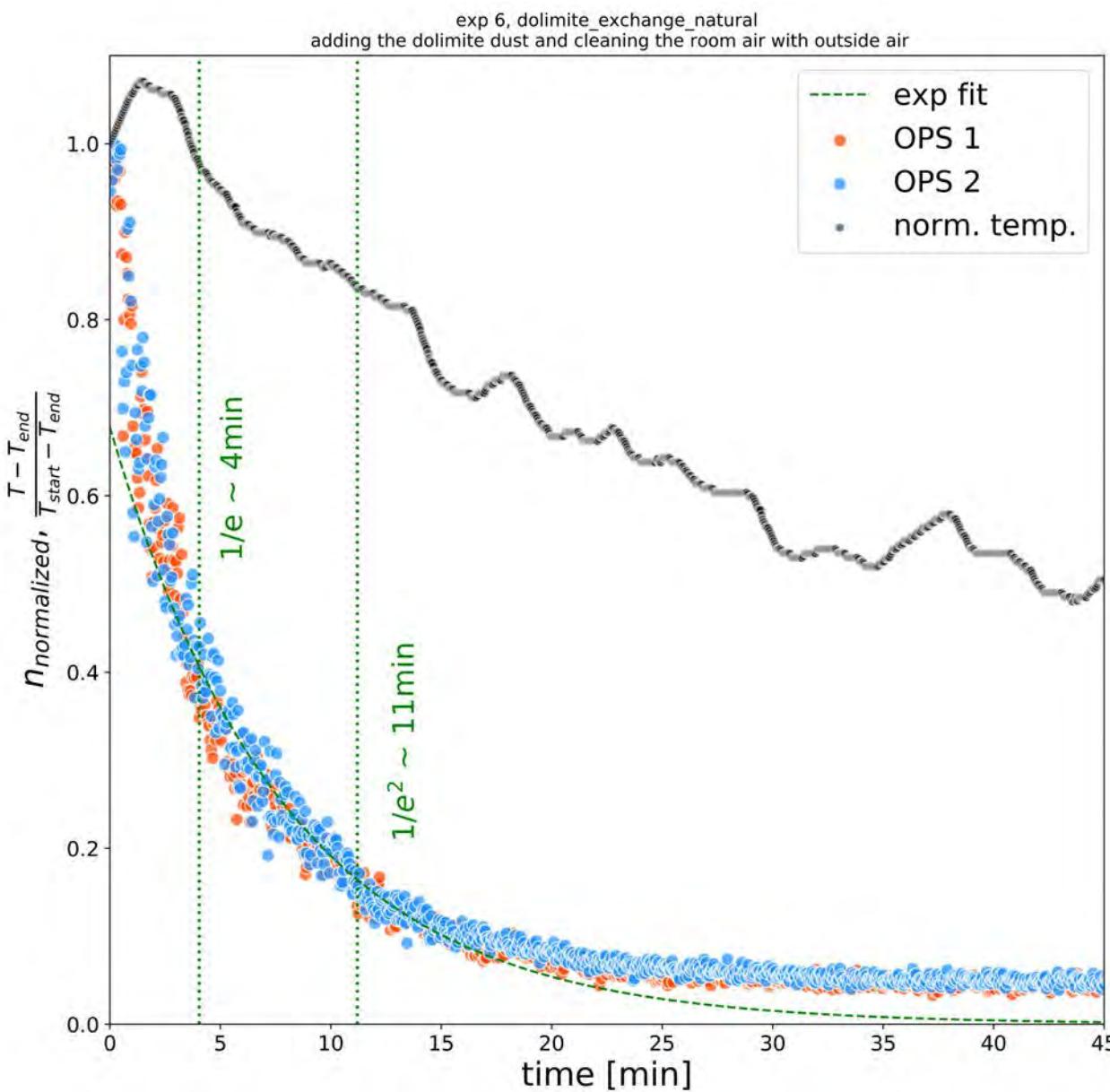
Bruttopreis inkl. MwSt

zzgl. Versandkosten

1

+

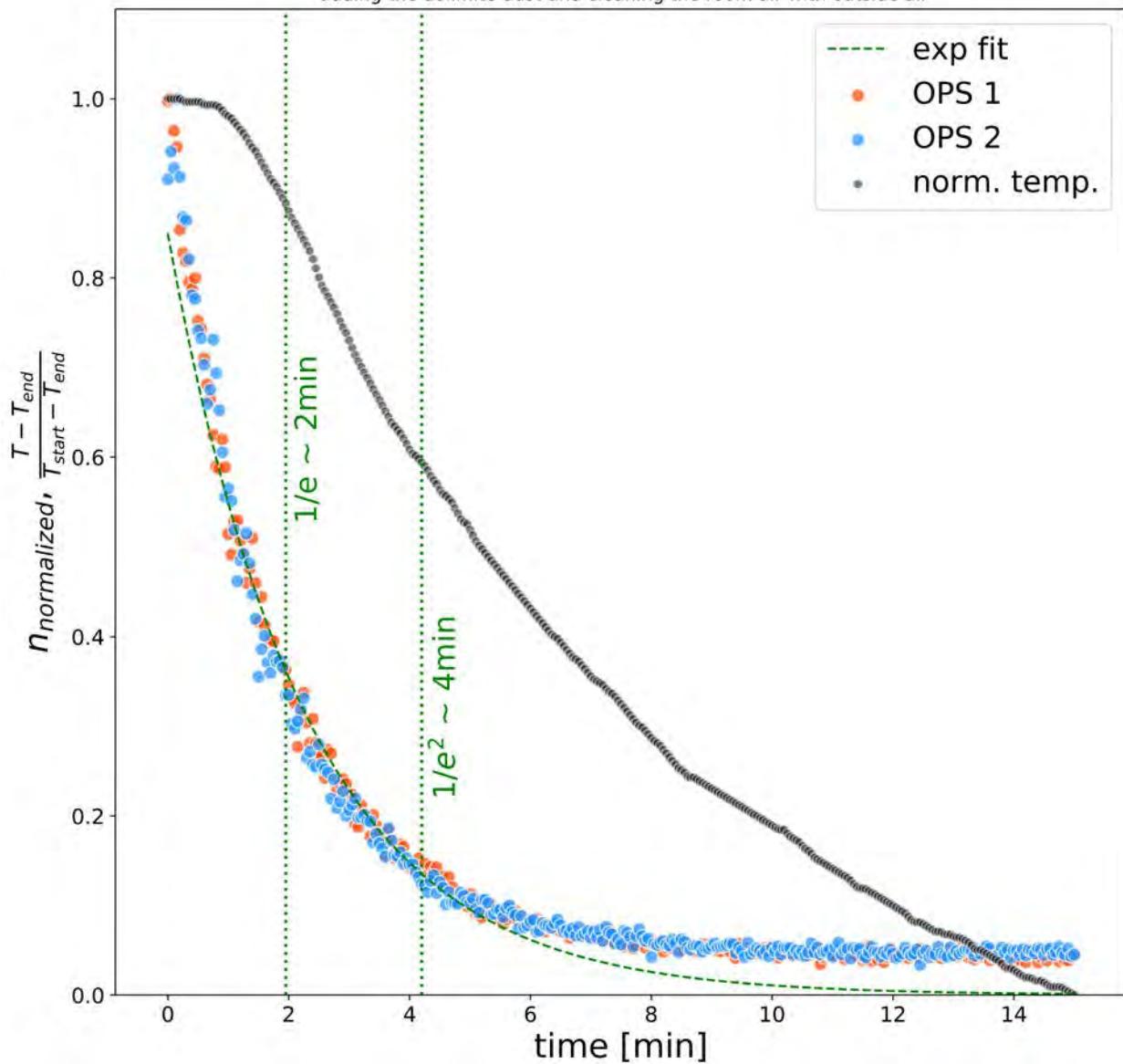
In den Warenkorb



## 2 Fenster offen (gestern)

- Teichenzahl 400nm nimmt schnell ab – 15 facher Luftwechsel pro Stunde.
- Temperatur nimmt von 21,2 °C auf 19,2 °C in 45 min ab.

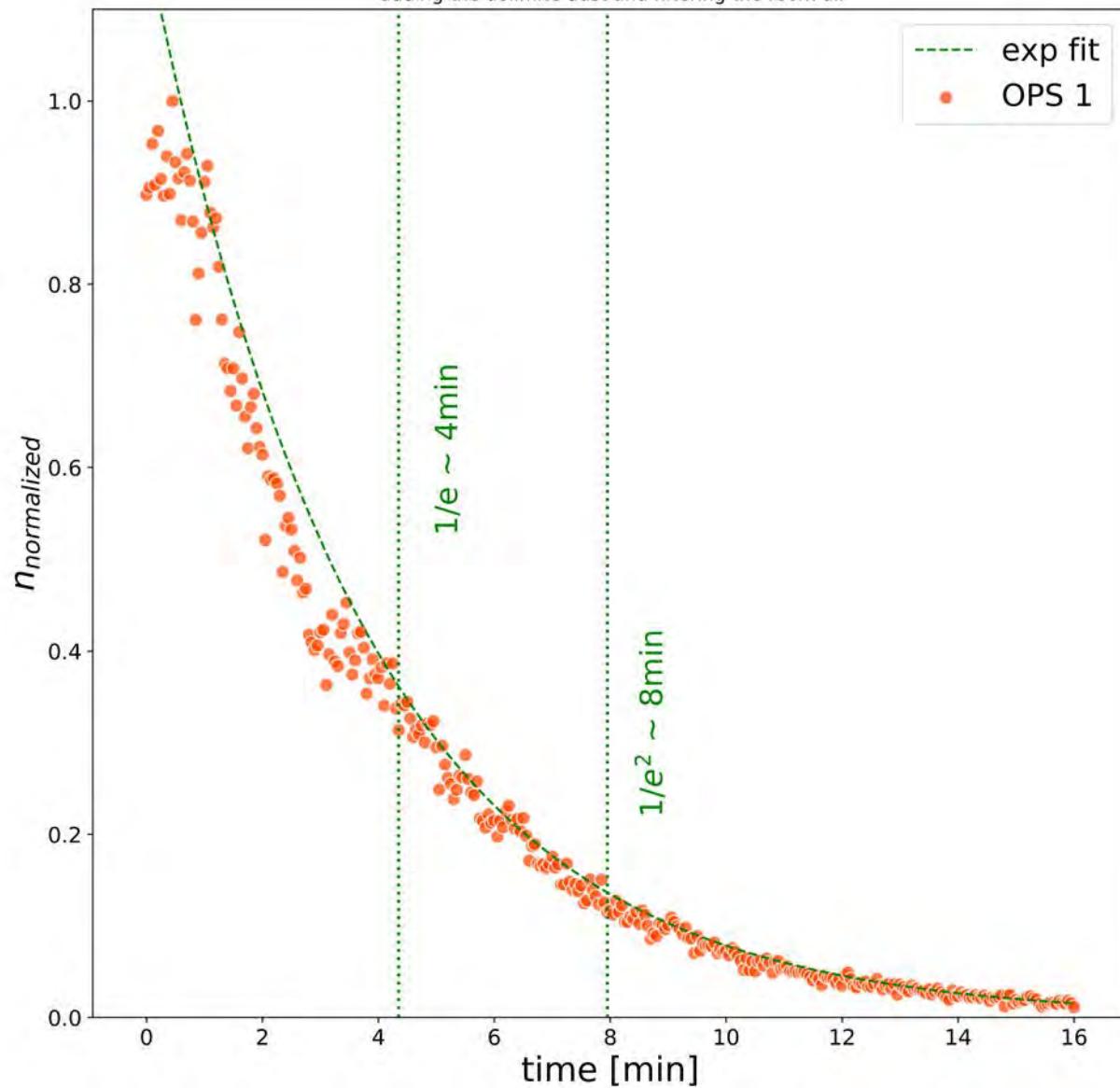
exp 7, dolomite\_exchange\_forced  
adding the dolomite dust and cleaning the room air with outside air



2 Fenster offen mit Ventilator nach Außen und einer nach Innen (gestern)

- Teichenzahl 400nm nimmt sehr schnell ab 30 facher Luftwechsel pro Stunde.
- Temperatur nimmt von 22.9 °C auf 19,0 °C in 15 min ab.

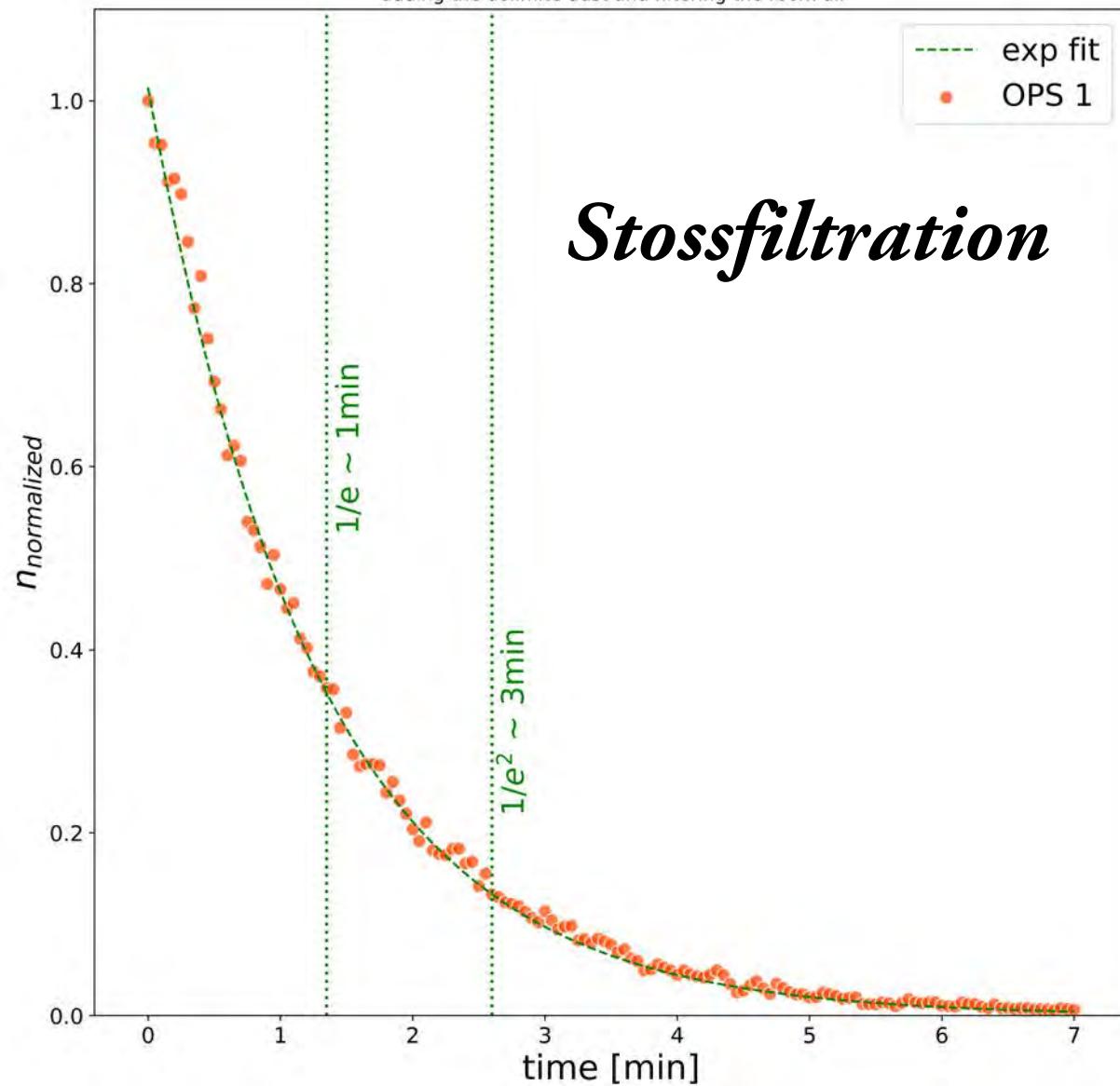
exp 9, dolomite\_filtered\_min  
adding the dolomite dust and filtering the room air



Teichenzahl 400nm nimmt  
schnell ab - 14facher Luftwechsel

50 dBA

exp 8, dolomite\_filtered\_max  
adding the dolomite dust and filtering the room air

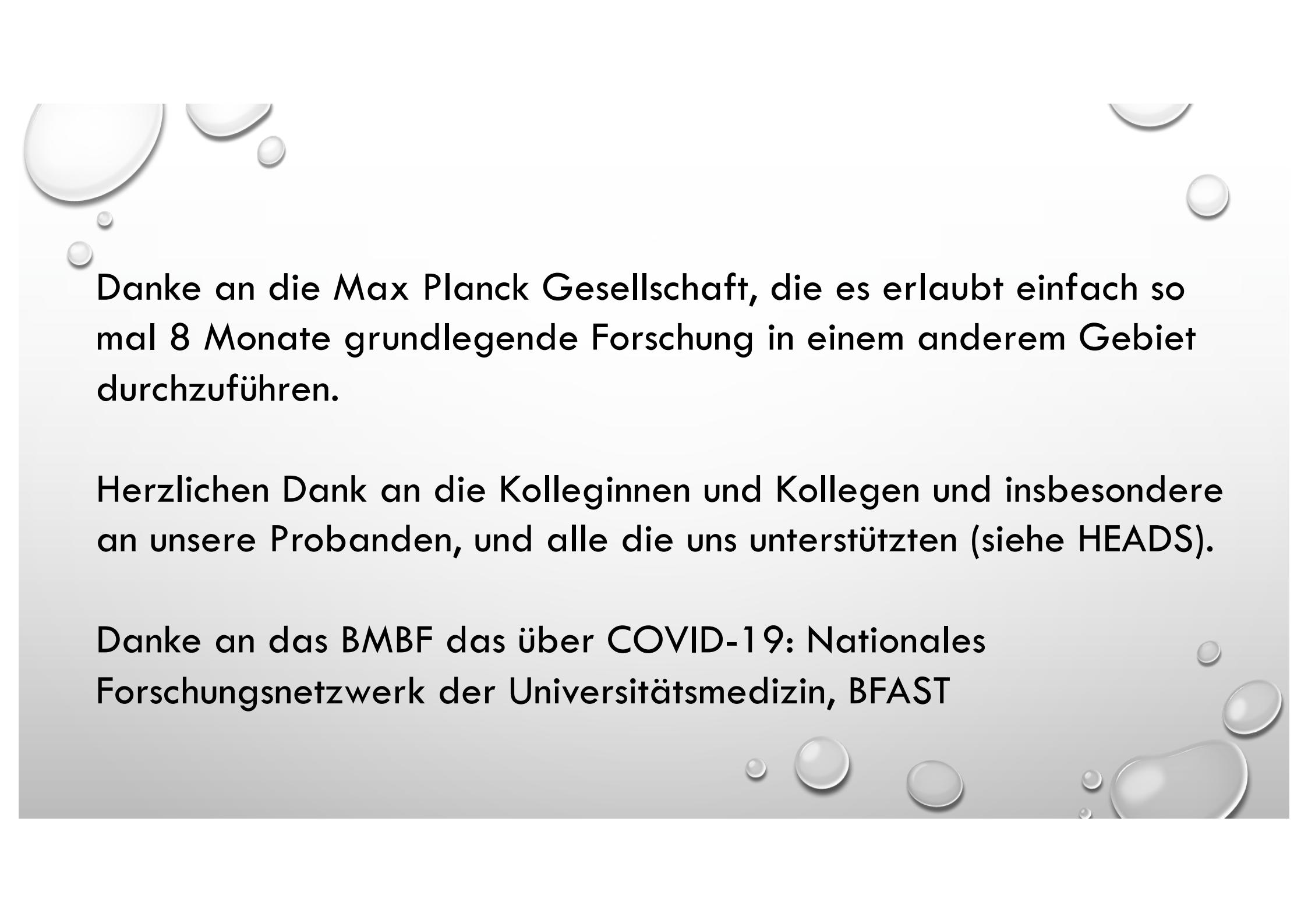


Teichenzahl 400nm nimmt  
schnell ab 45 facher Luftwechsel

75 dBA

## Zusammenfassung

- HEADS gibt kompletten Zugang zu den humanen Aerosoldaten und Ansteckungsrisiken (auch bei hoher Ansteckbarkeit).
- Ausweitung von HEADS zu speziellen Situationen (Schulen, ÖNV, ..., aber auch als Individual-App – Handy) möglich und notwendig.
- HEADS 2.0 wird die Aerosole um Personen berücksichtigen und u.U. auch im Außenbereich anwendbar werden.
- Technische Lösungen sind beim Lüften und Filtern immer besser – da die Kontrolle beim Nutzer liegt. Zudem sind F9 Filter total ausreichend.
- Das Spielen von Instrumenten (und auch Singen) kann mit der richtigen Gesichtsmaske auch sicher sein in Corona Zeiten.



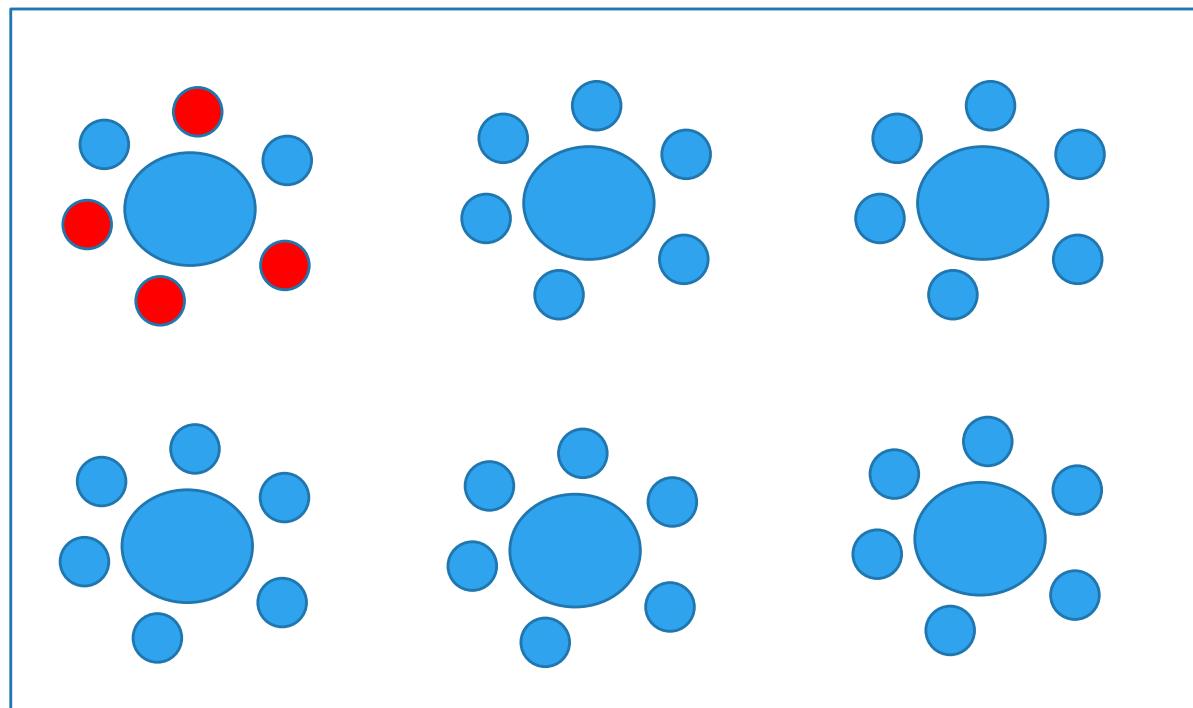
Danke an die Max Planck Gesellschaft, die es erlaubt einfach so mal 8 Monate grundlegende Forschung in einem anderen Gebiet durchzuführen.

Herzlichen Dank an die Kolleginnen und Kollegen und insbesondere an unsere Probanden, und alle die uns unterstützten (siehe HEADS).

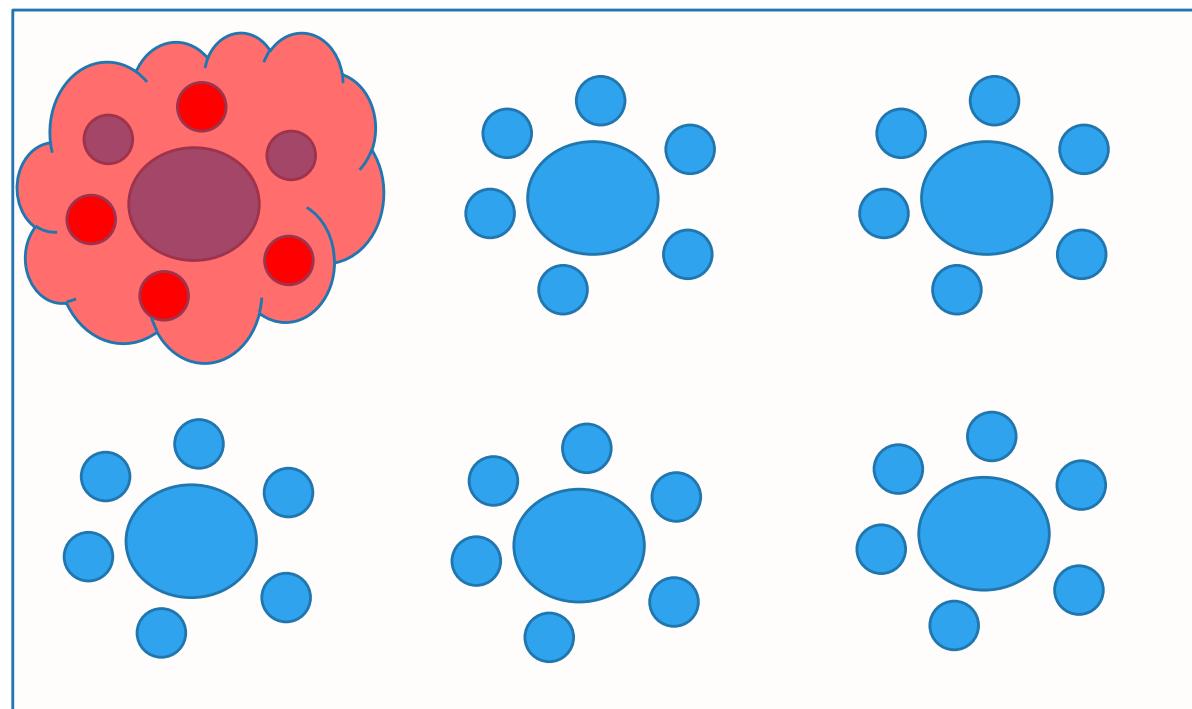
Danke an das BMBF das über COVID-19: Nationales Forschungsnetzwerk der Universitätsmedizin, BFAST

## Szenario 1

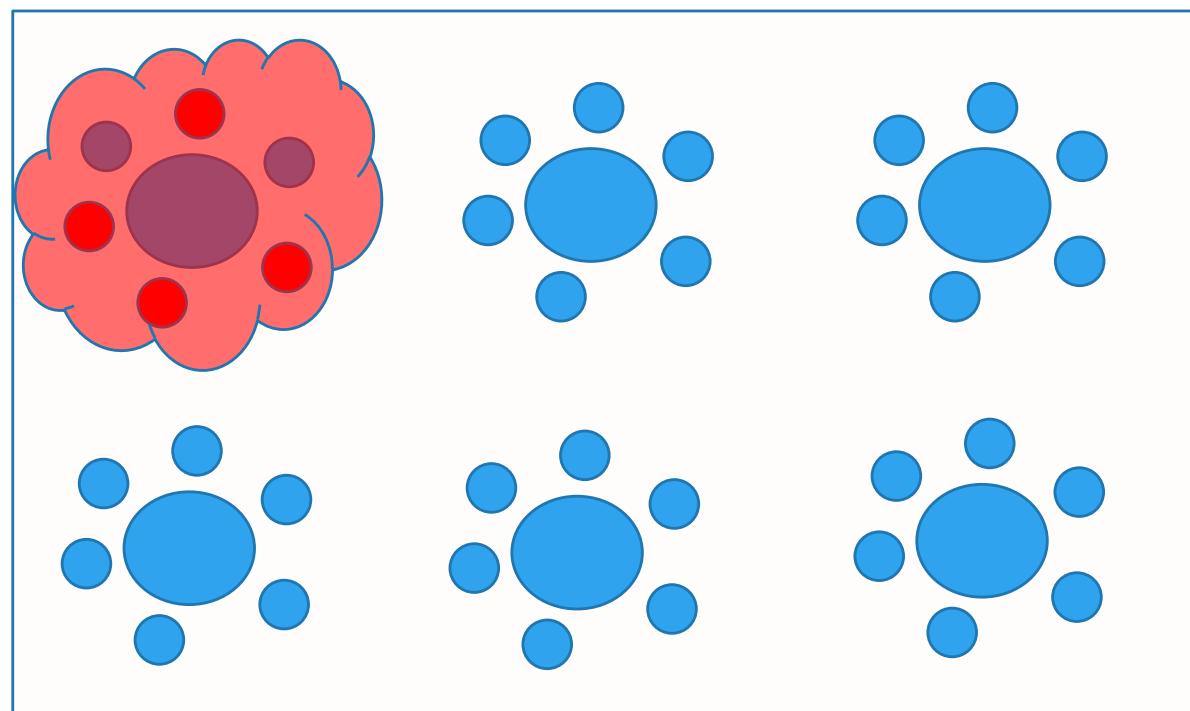
Raum mit geringen nur menschlich getriebenen Strömungen idealisiert. Strömung hauptsächlich nach oben durch Thermik am Körper und Kopf.



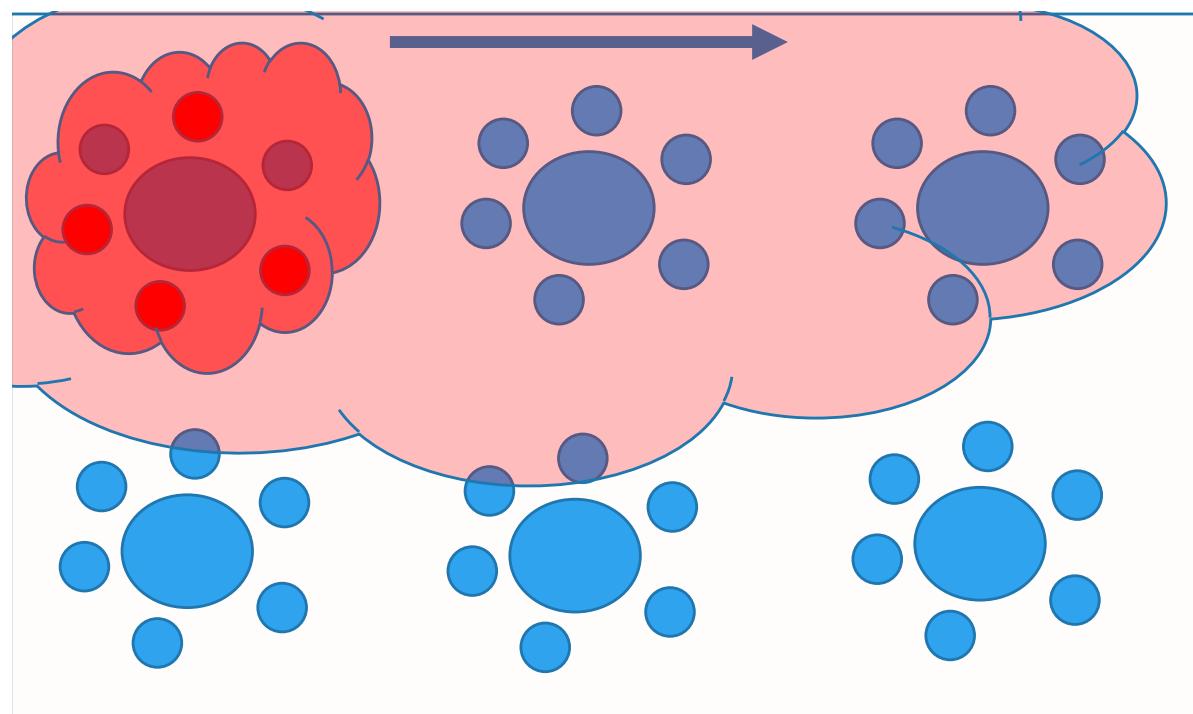
Aerosolwolke um die Personen herum durch die 3 Ansteckenden -  
Aerosolkonzentration hoch um Tisch und fällt durch geringe Mischung im Raum schnell  
ab. Aerosolwolke steigt auf wegen Thermik und geht an die Decke aber mischt sich  
auch langsam im Raum und kann langsam verweht werden.



Ansteckungsgefahr sehr hoch wegen hoher viraler Konzentration  
mind. 2 Ansteckungen hochwahrscheinlich. Wegen der schwachen  
Strömung im Raum können auch andere Tische betroffen sein.

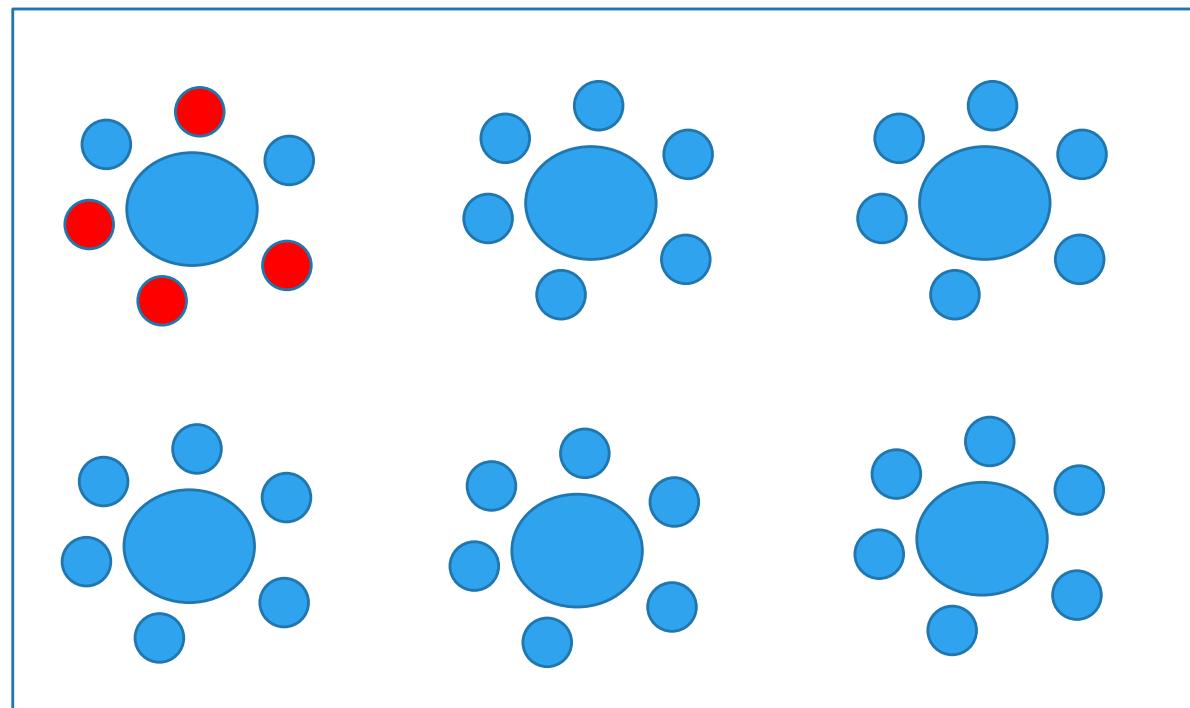


Wegen der schwachen Strömung im Raum sind auch andere Tische betroffen. Weitere Ansteckungen hochwahrscheinlich.

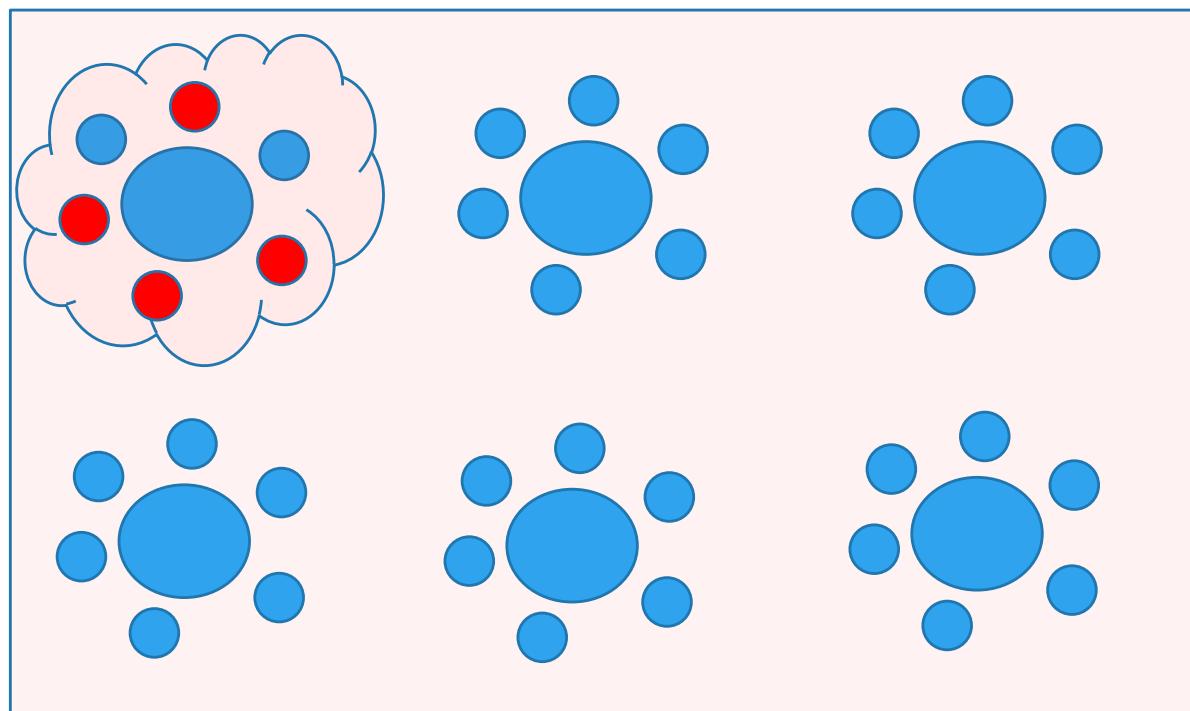


## Szenario 2

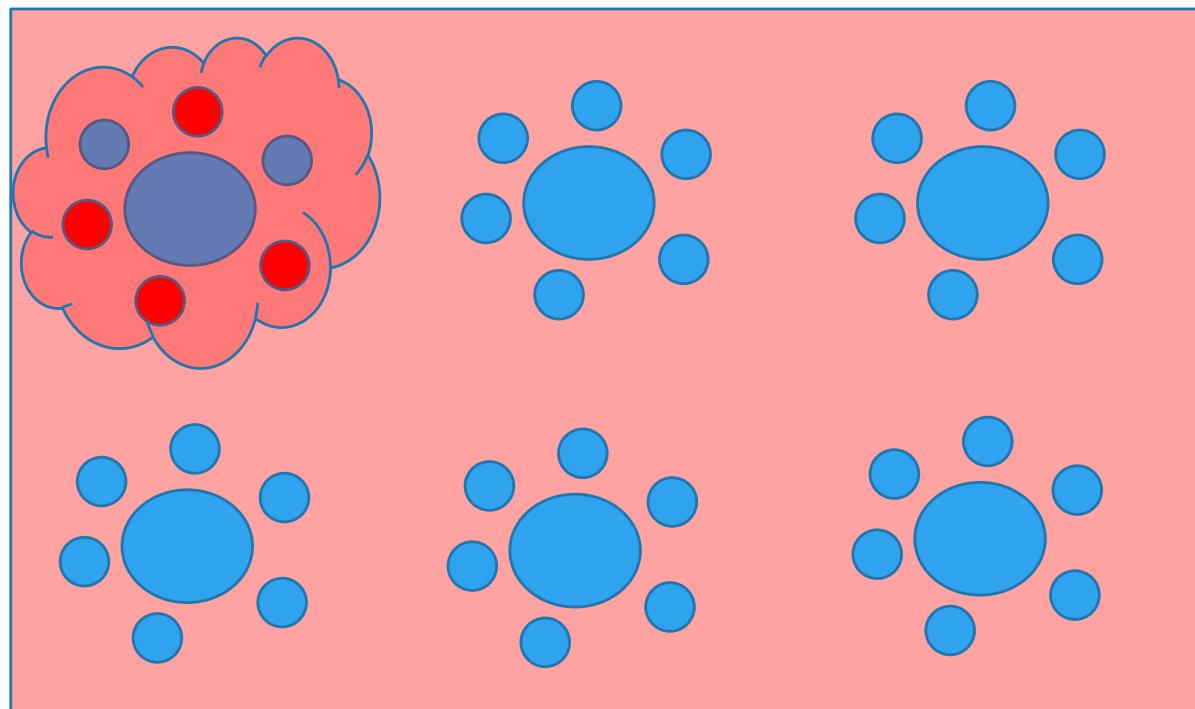
Raum mit guter Durchmischung idealisiert durch langsame Ventilatoren oder technische Anlagen



Aerosolwolke wird im Raum auf das Volumen des Raums verteilt und damit verdünnt. Die Wahrscheinlichkeit sich anzustecken ist für alle gering. Alle bekommen leicht belastet virale Luft zum Atmen. Bei SARS CoV 2 ist die infektiöse Dosis zur Infektion (in Vergleich zu Masern z.b.) hoch und daher ist die Ansteckungswahrscheinlichkeit gering (hängt aber von der Konzentration ab).



Mit der Konzentration von Virionen in der Luft steigt die Ansteckungsgefahr



**Gegenmittel filtern oder Luft technisch austauschen.** Konzentration steigt bis die Entfernung der viralen Aerosole mit deren Produktion im Gleichgewicht ist. Je hoher der Aerosolaustausch desto geringer die Konzentration und damit die Ansteckungsgefahr.

