Universität der Bundeswehr München

HEPA – Technologie

Christian J. Kähler

Universität der Bundeswehr München
Institut für Strömungsmechanik und Aerodynamik
https://www.unibw.de/lrt7

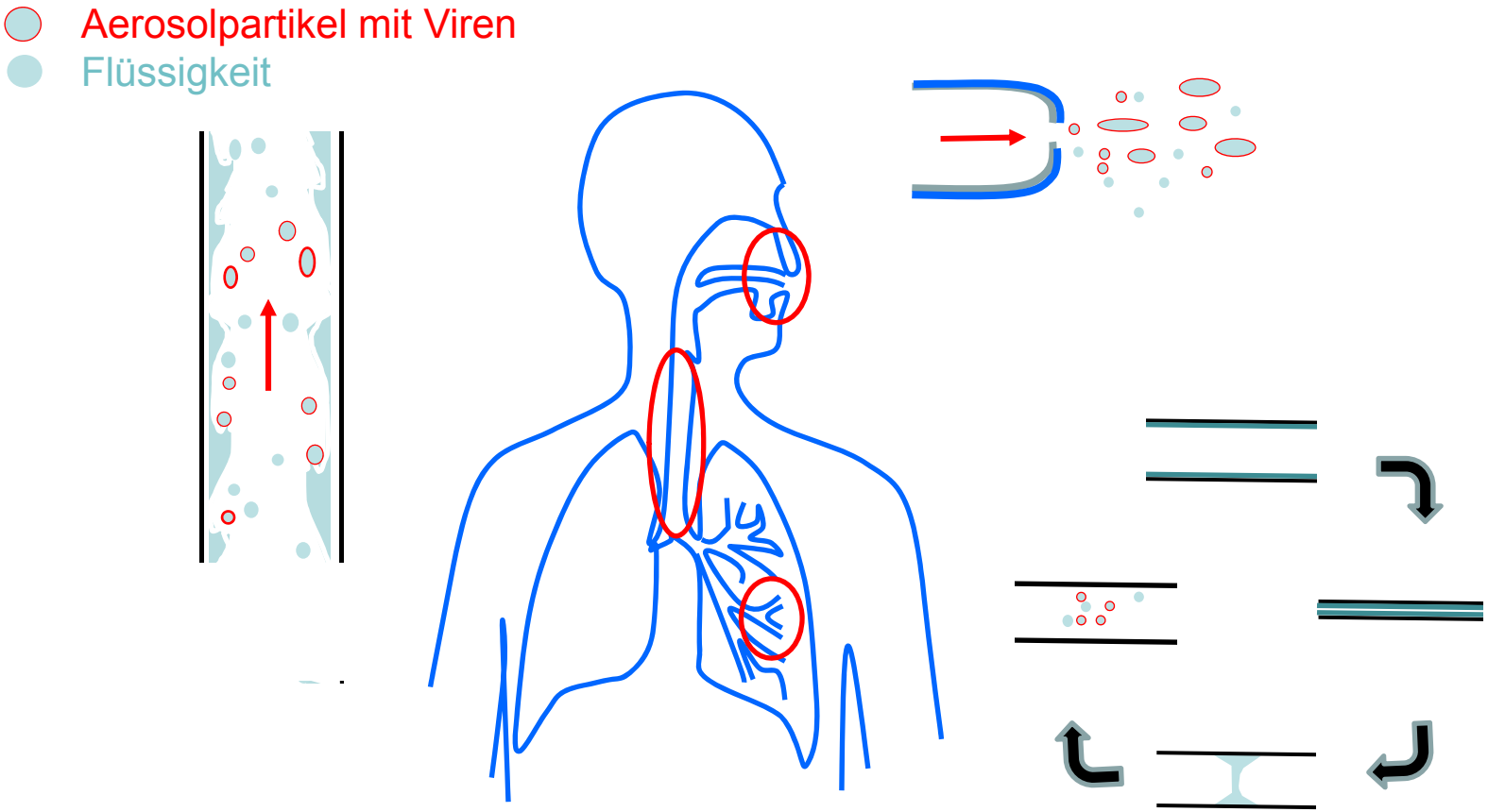
9. Dezember 2021

Verhalten und Technik

- Nicht alle Menschen weltweit können geimpft werden.
- Der Impfschutz nimmt mit der Zeit recht schnell ab.
- Neue Virusvarianten entstehen, die gefährlicher werden können.
- Die Bereitschaft, sich impfen zu lassen, wird mit den Jahren abnehmen.
- Aus diesen Gründen wird die Pandemie weder einfach noch schnell zu bewältigen sein!
- Neben Impfungen sind daher langfristig technische Maßnahmen zur Verhinderung von Infektionen wichtig. Doch welche technischen Maßnahmen sind sinnvoll?

Entstehung der Aerosolpartikel

Lunge, Luftröhre, Stimmbänder, Rachen, Lippen



Frei nach:
Wei J, Li Y. Airborne spread of infectious agents in the indoor environment.
Am J Infect Control. 2016 Sep 2;44(9 Suppl):S102-8. doi: 10.1016/j.ajic.2016.06.003.
PMID: 27590694; PMCID: PMC7115322.

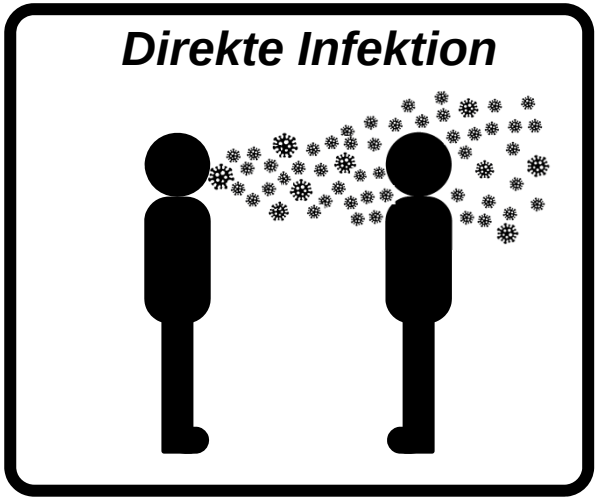
Das Aerosolpartikel-Tröpfchen-Problem

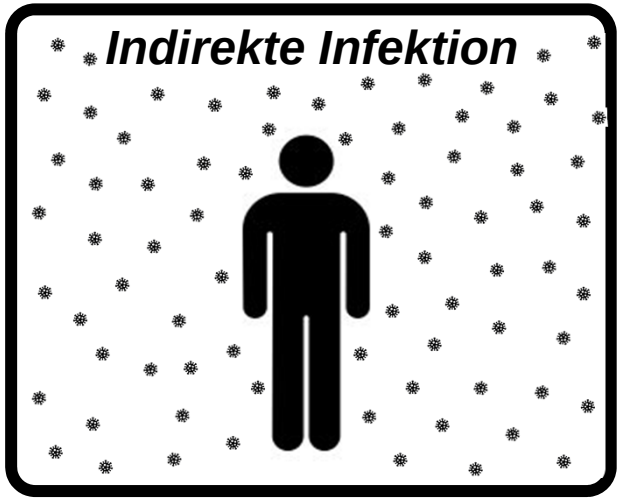
Aerosolpartikel sind feste oder flüssige Teilchen mit einem Durchmesser von 0,001 µm bis 100 µm, die sich mit dem Luftstrom bewegen und weder ballistisch fliegen noch in ruhender Luft schnell absinken.

In der Medizin werden Aerosolpartikel, die größer als 5 µm sind, als Tröpfchen bezeichnet und es wird in der Medizin allgemein gelehrt, dass diese Tröpfchen ballistisch fliegen und schnell zu Boden sinken.

Die uneinheitliche Verwendung der Begriffe führt zu völlig unterschiedlichen Empfehlungen bezüglich der Schutzmaßnahmen! https://www.wired.com/story/the-teeny-tiny-scientific-screwup-that-helped-covid-kill/

Hauptinfektionswege





Direkte Infektion:
Hohe Viruslasten werden direkt von Mensch zu Mensch über kurze Entfernungen durch Aerosolpartikel (0,1-100µm) und möglicherweise Tröpfchen (0,1 Millimeter und größer) beim Atmen, Sprechen, Singen, Husten und Niesen übertragen. Dieser Übertragungsweg kann in kurzer Zeit zu einer Infektion führen. Schutz wird durch Abstände, gute Masken und Schutzwände geboten.

Indirekte Infektion:
Die Viruslast im Raum kann bei ausreichend langem Aufenthalt auch ohne direkten Kontakt mit anderen Personen zu einer Infektion durch Aerosolpartikel führen. Schutz bieten kurze Aufenthaltszeiten, FFP2-Masken, sehr starkes Lüften, mechanische Lüftung mit leistungsstarken mobilen Luftreinigern oder Raumklimatisierungsanlagen.

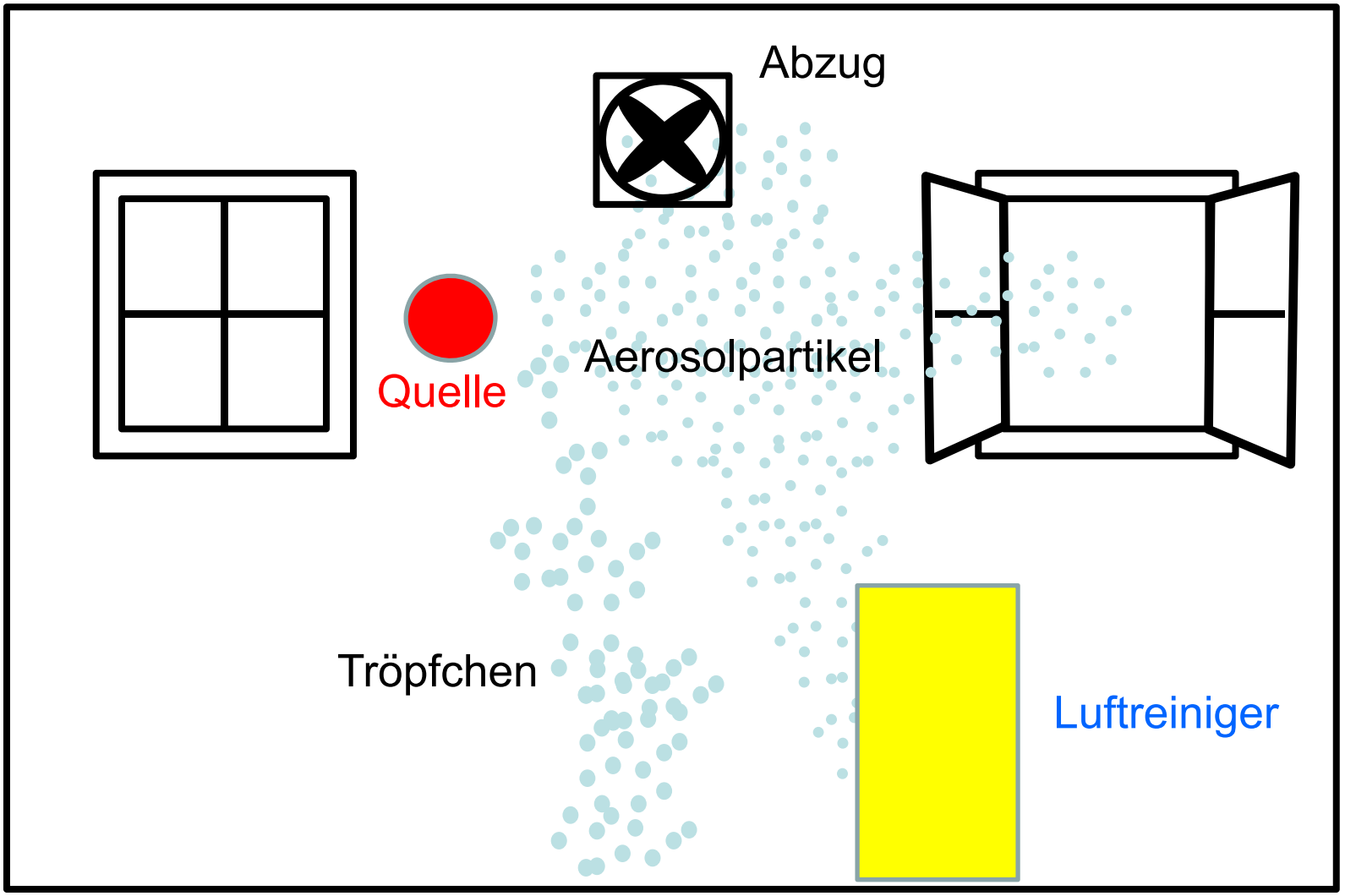
Kähler et al.
doi:10.13140/RG.2.2.14081.68963

Maßnahmen gegen direkte Infektion

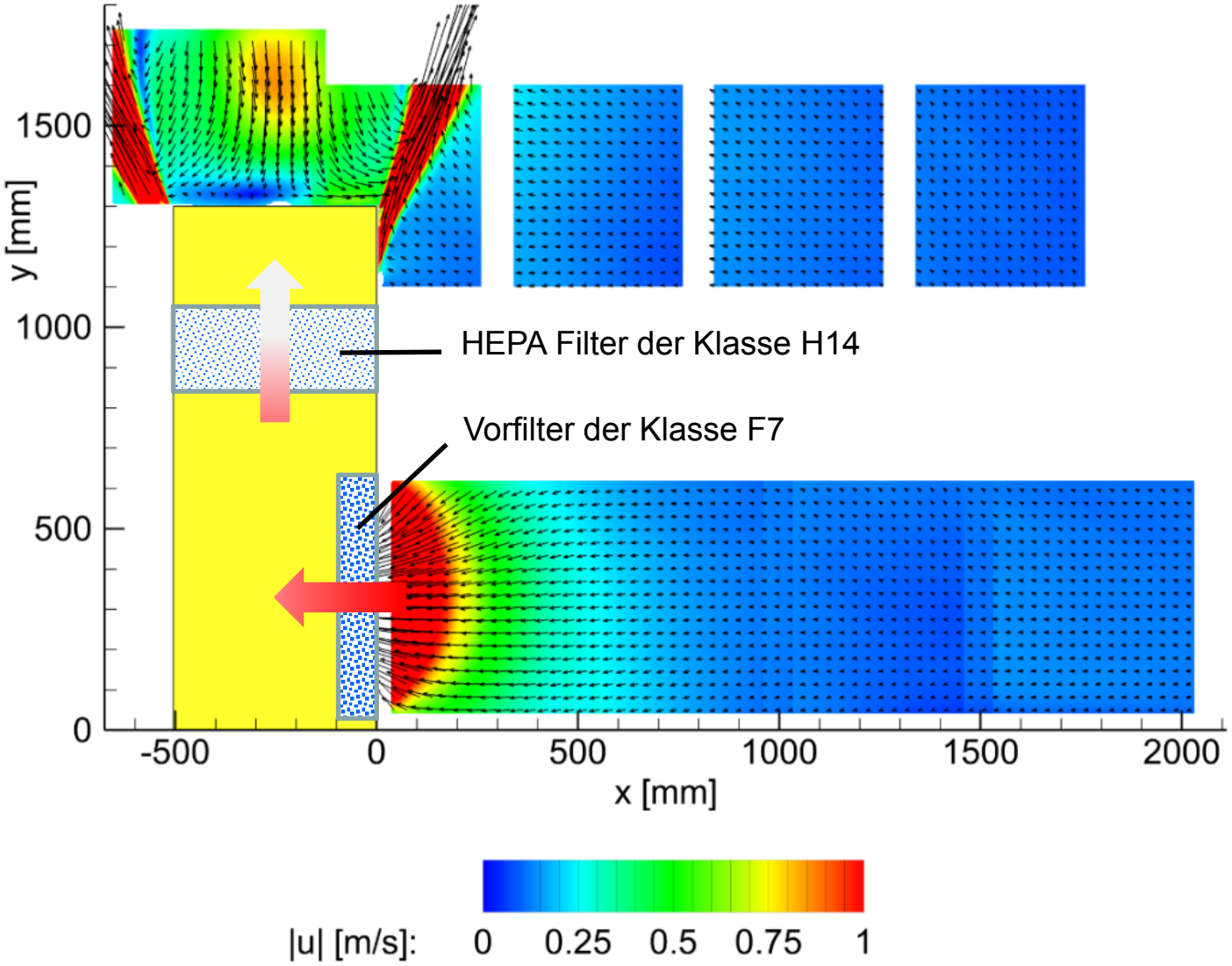
Die direkte Infizierung kann durch Abstände, FFP2/FFP3 Masken und Schutzwände wirksam verhindert werden.

OP-Masken bieten keinen Selbstschutz sondern nur einen gewissen Fremdschutz, weil die Virenausbreitung nach vorne behindert wird!

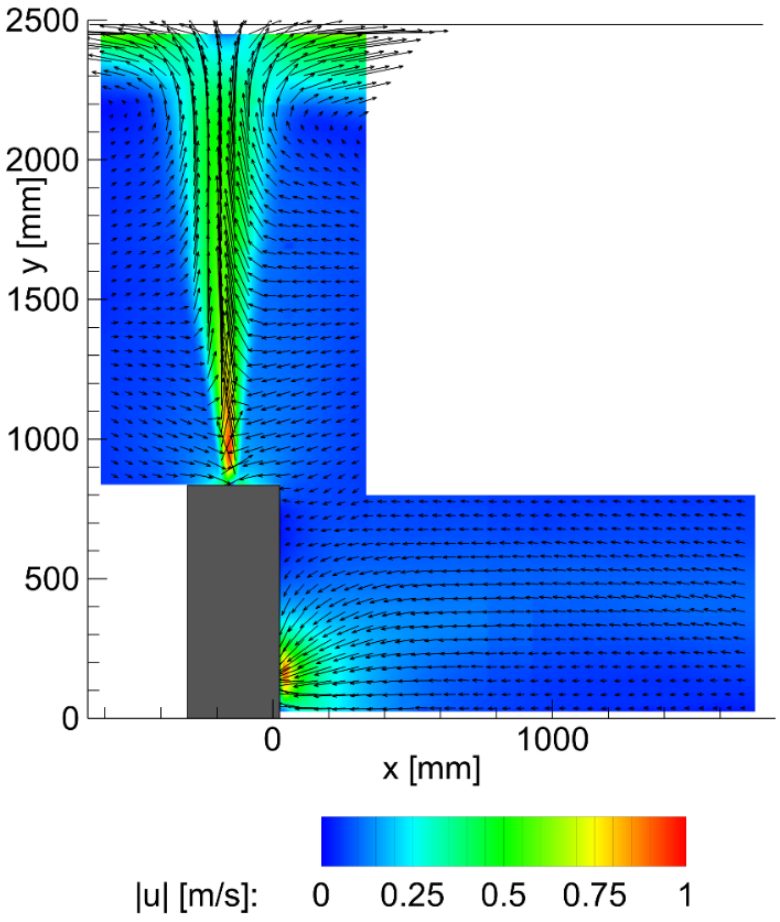
Maßnahmen gegen indirekte Infektion

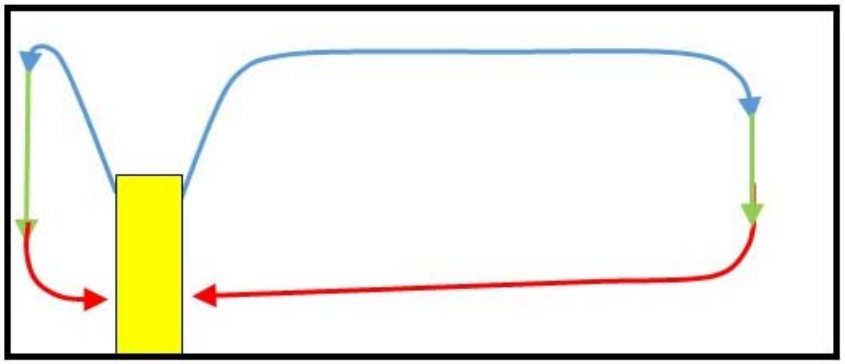


Funktionsprinzip Luftreiniger



Raumluftströmung

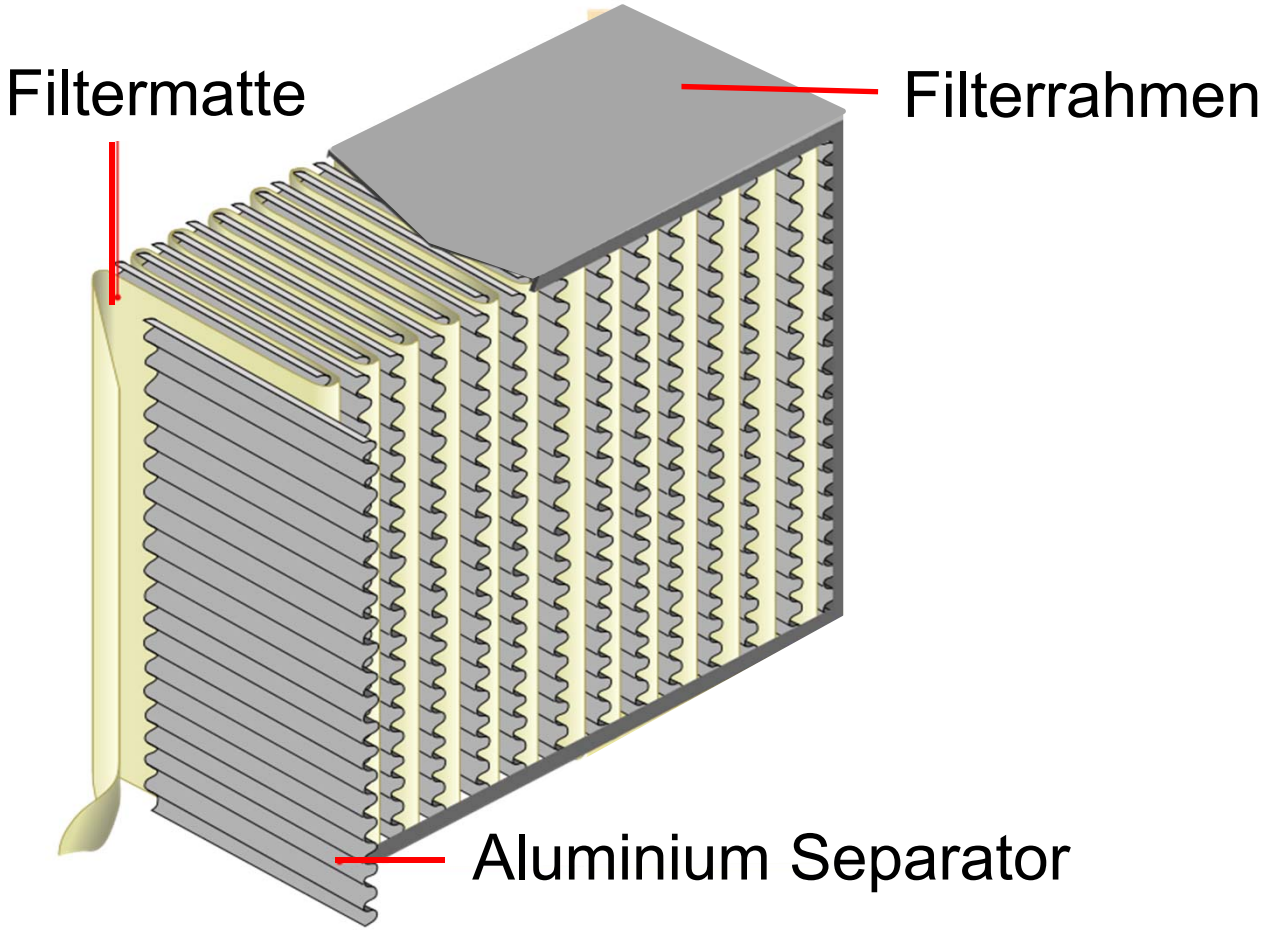




Die gereinigte Luft breitet sich entlang der Decke im gesamten Raum aus und schiebt die kontaminierte Luft zum Luftreiniger.

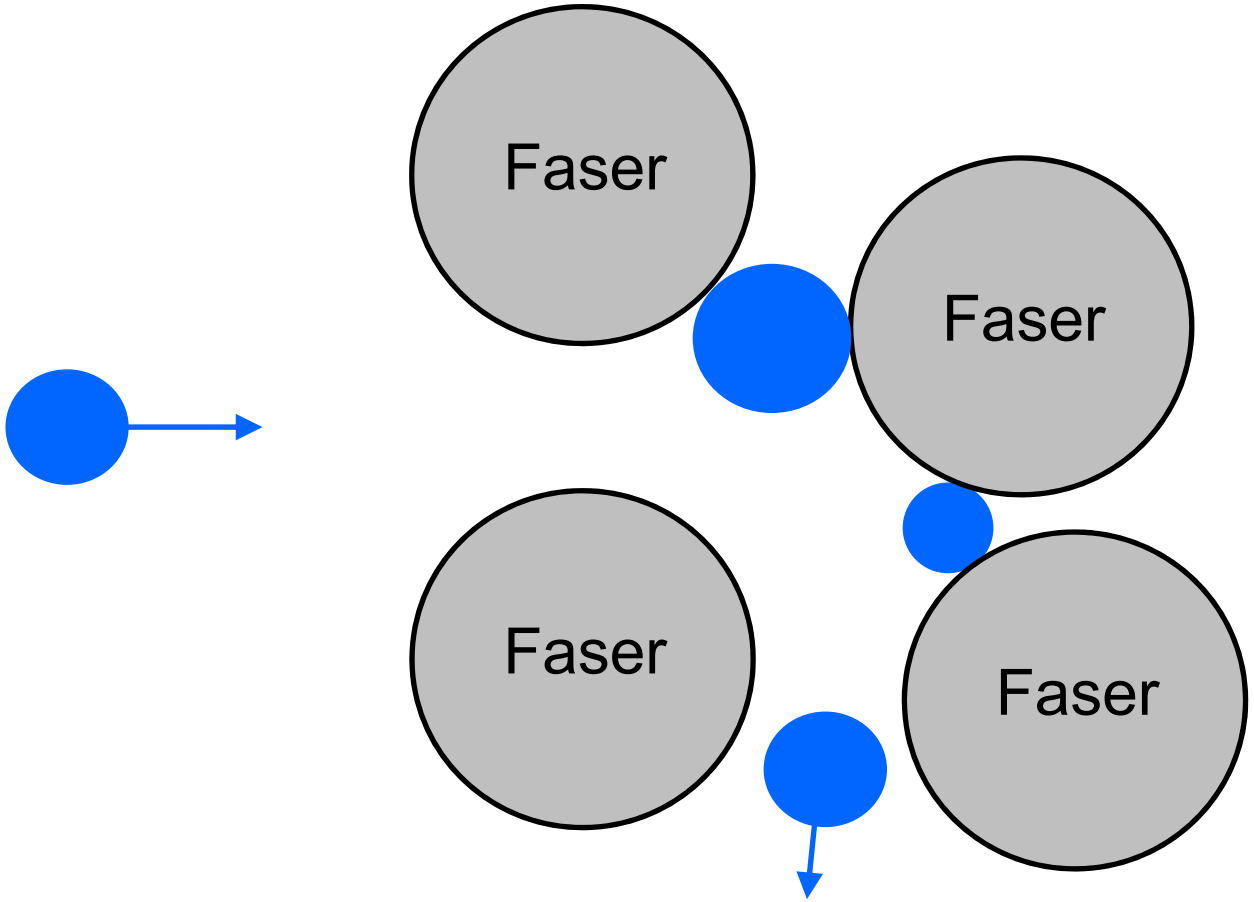
HEPA Filter

HEPA Filter wurden in den 1940er-Jahren entwickelt, um radioaktive Partikel aus der Raumluft zu entfernen.



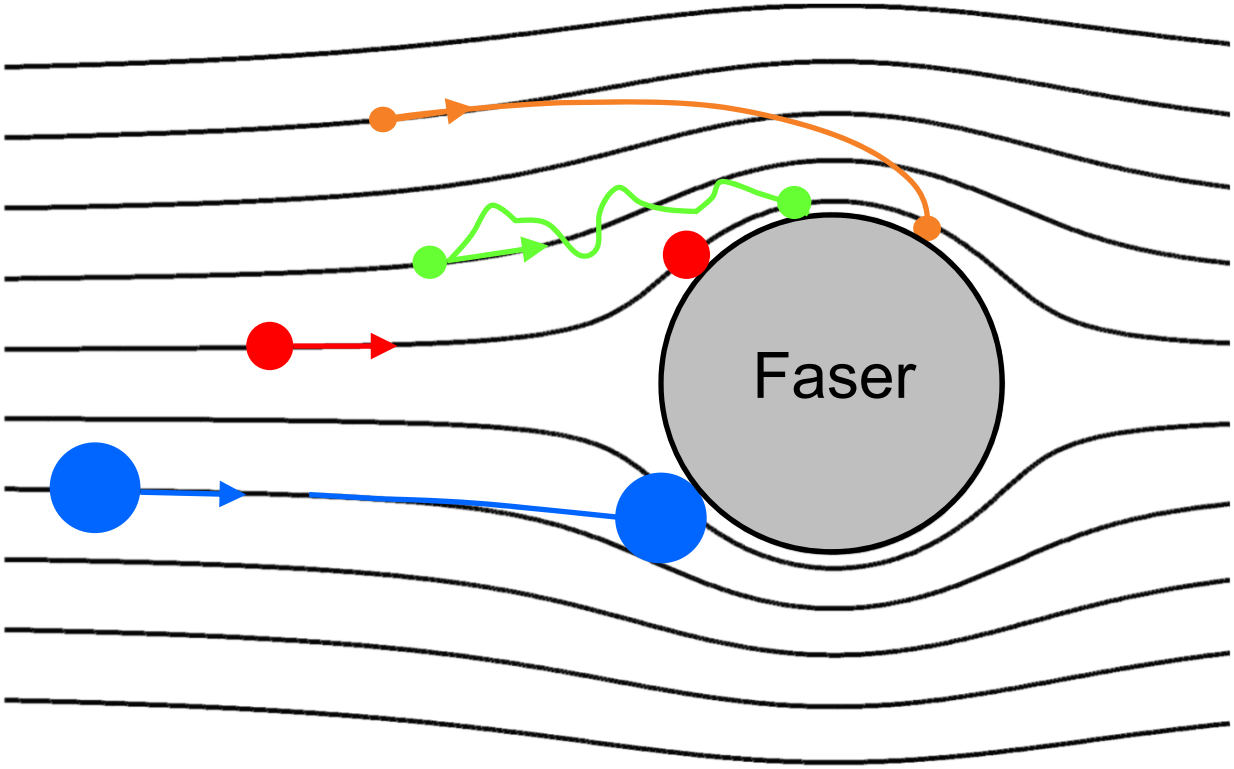
https://de.wikipedia.org/wiki/Schwebstofffilter

Abscheidung zwischen Fasern



Durch die Siebwirkung werden nur große Partikel in den Zwischenräumen direkt abgeschieden.

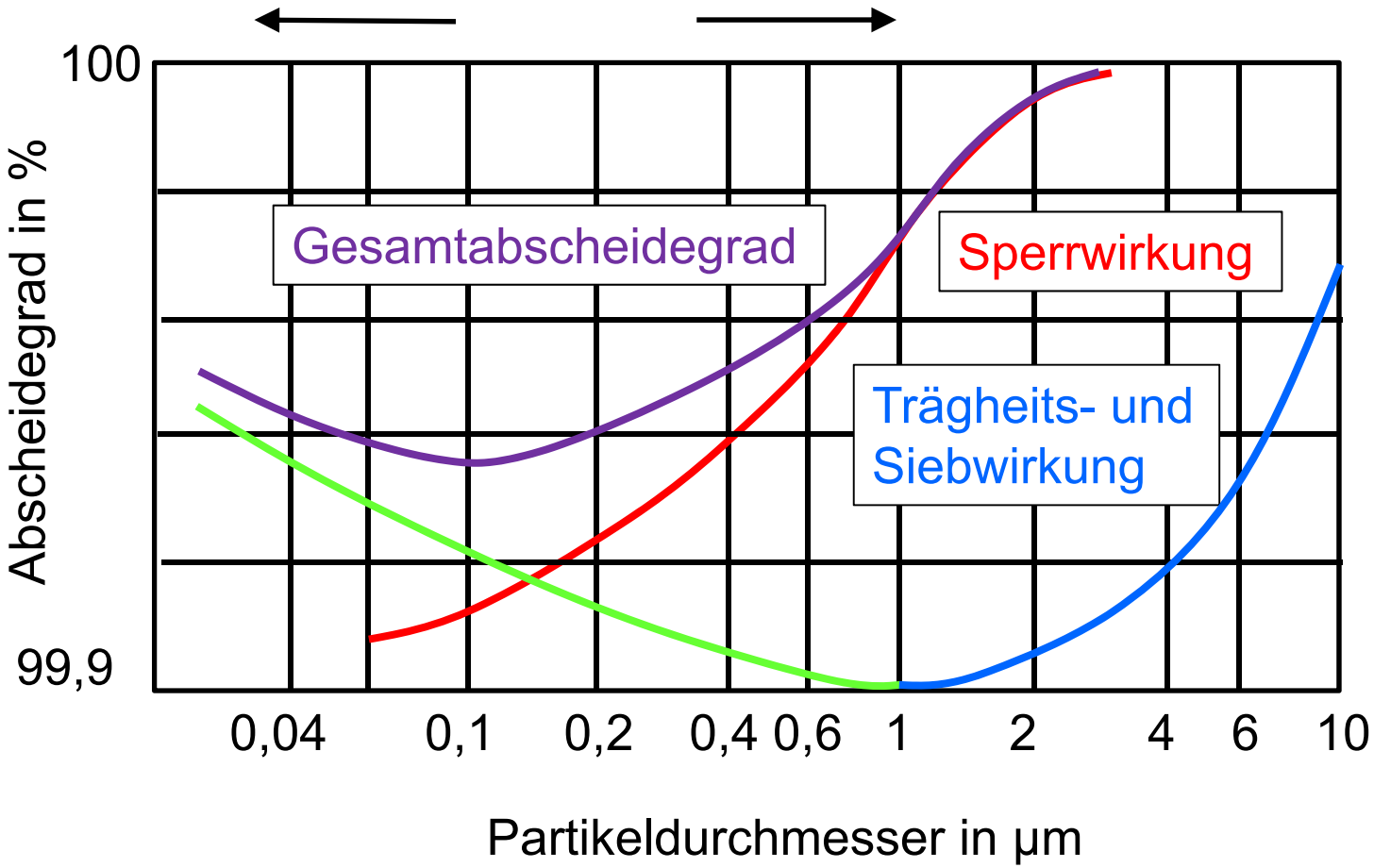
Abscheidung an Einzelfaser



Trägheitseffekt (Partikel folgt nicht der Stromlinienkrümmung)
Sperreffekt (Partikel folgt Stromlinie aber berührt Faser)
Diffusionseffekt (Partikel führt Brownsche Bewegung aus)
Elektrostatik (Überschussladungen bewirken Anziehung)

Mobile Luftreiniger

Abscheidung durch Diffusion ← → Mechanische und Trägheitseffekte



Abscheidung an Einzelfaser

Gemäß den bekannten Filtereffekten sind Partikel mit einem Durchmesser im Bereich 0,1 bis 0,3 Mikrometer am schwersten abzuscheiden (MPPS = most penetrating particle size). Größere und kleinere Partikel werden aufgrund ihrer physikalischen Eigenschaften besser abgeschieden.

Bei Partikelgrößen kleiner 0,1 µm bis 0,5 µm ergibt sich eine gute Abscheidung infolge der Diffusion, wenn die Anströmgeschwindigkeiten < 0,1 m/s ist.

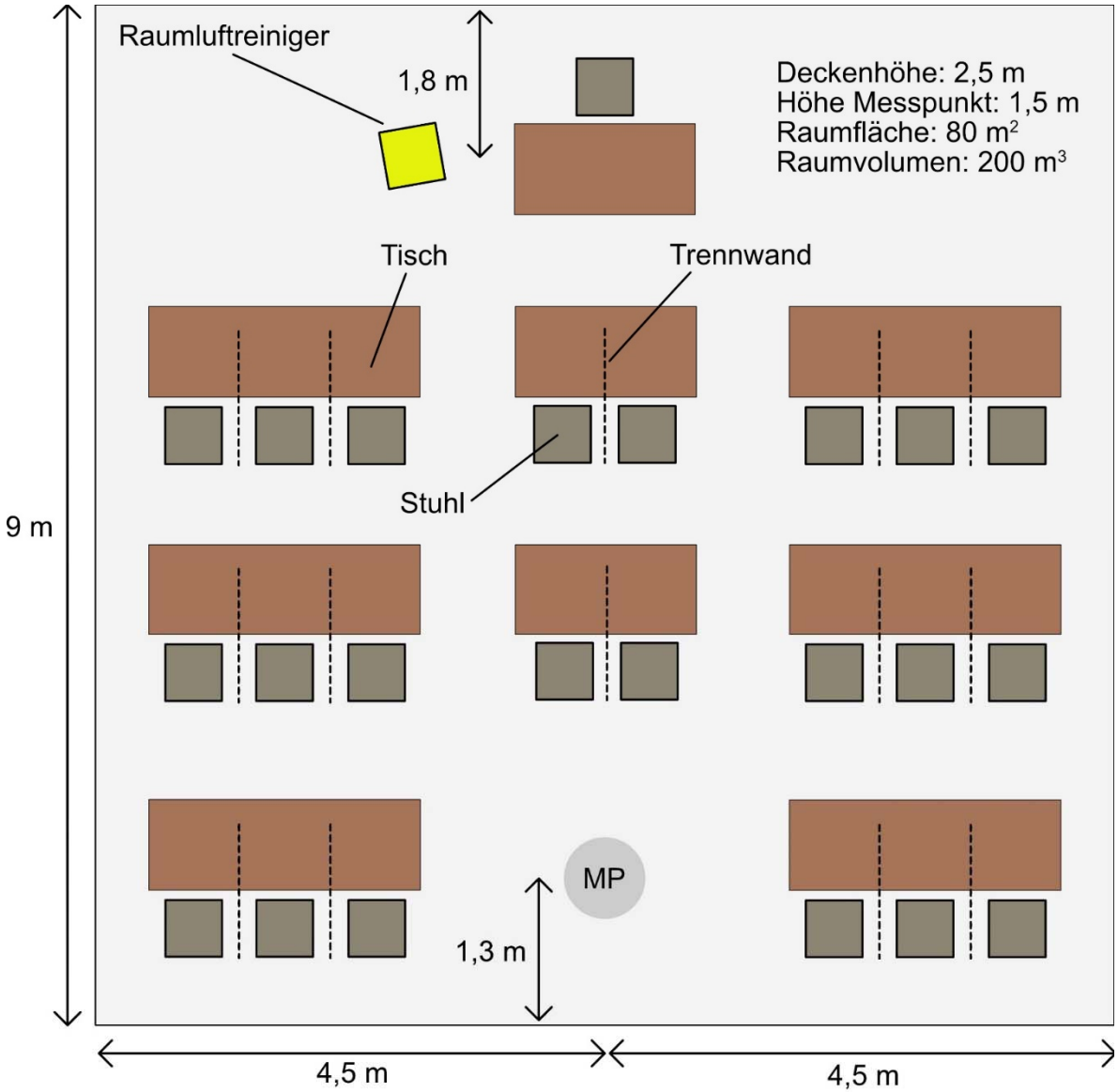
Bei der Abscheidung von natürlichen Aerosolen und bei normaler Luftfeuchte kann in der Praxis davon ausgegangen werden, dass die Aufladung der Partikel und Fasern sehr gering ist.

Schwebstoff-Filterklassen nach EN 1822-1:2009

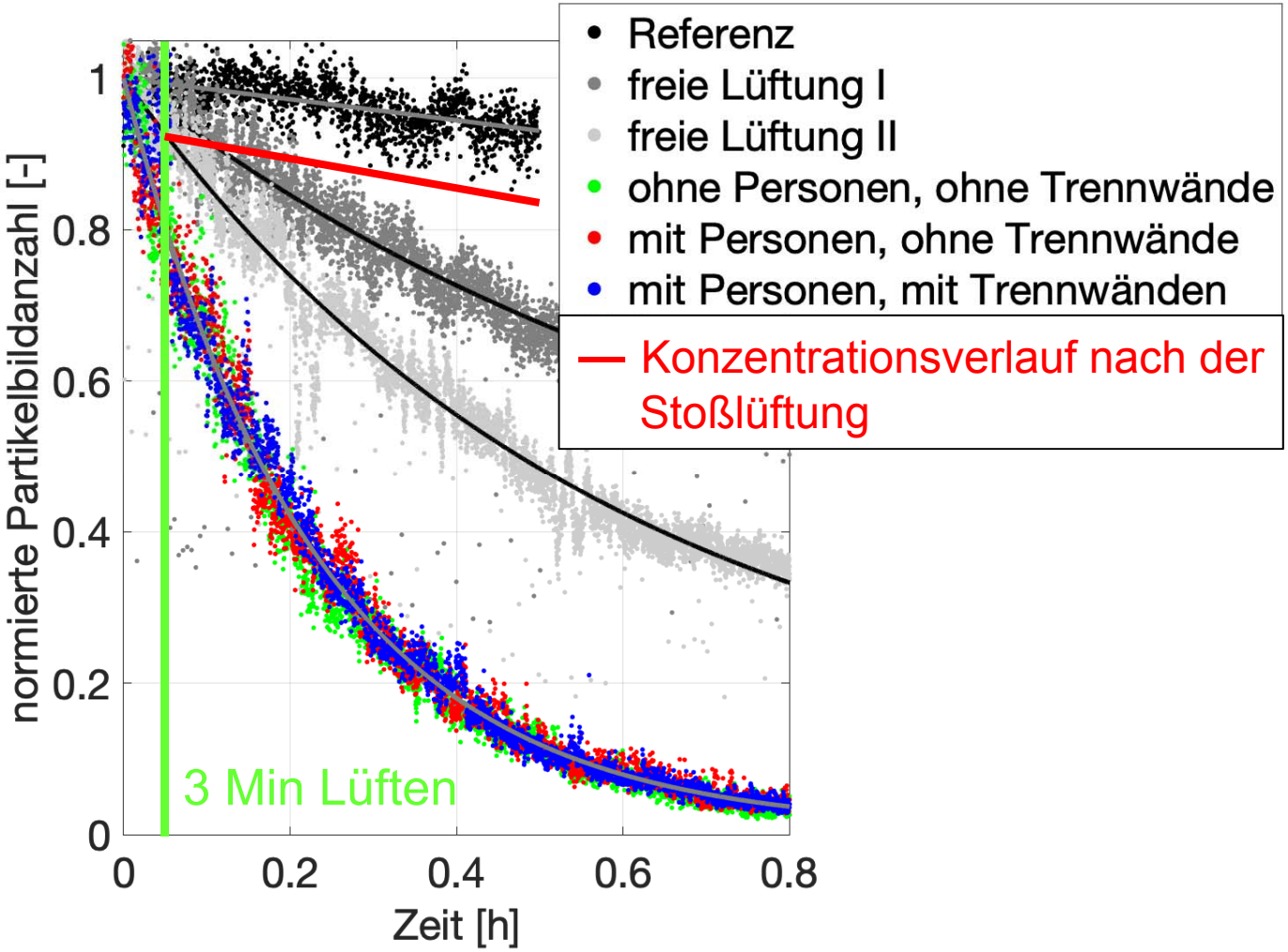
	Filterklasse	Abscheidegrad (gesamt)	Abscheidegrad (lokal)
EPA	E10	> 85 %	—
	E11	> 95 %	—
	E12	> 99,5 %	—
HEPA	H13	> 99,95 %	> 99,75 %
	H14	> 99,995 %	> 99,975 %
ULPA	U15	> 99,9995 %	> 99,9975 %
	U16	> 99,99995 %	> 99,99975 %
	U17	> 99,999995 %	> 99,9999 %

HEPA Filter werden in Operationsräumen, Intensivstationen, Laboratorien, Reinräumen, Kerntechnik, Flugzeugen, Luftreinigern,… seit Jahrzehnten eingesetzt.

Messungen im Klassenraum

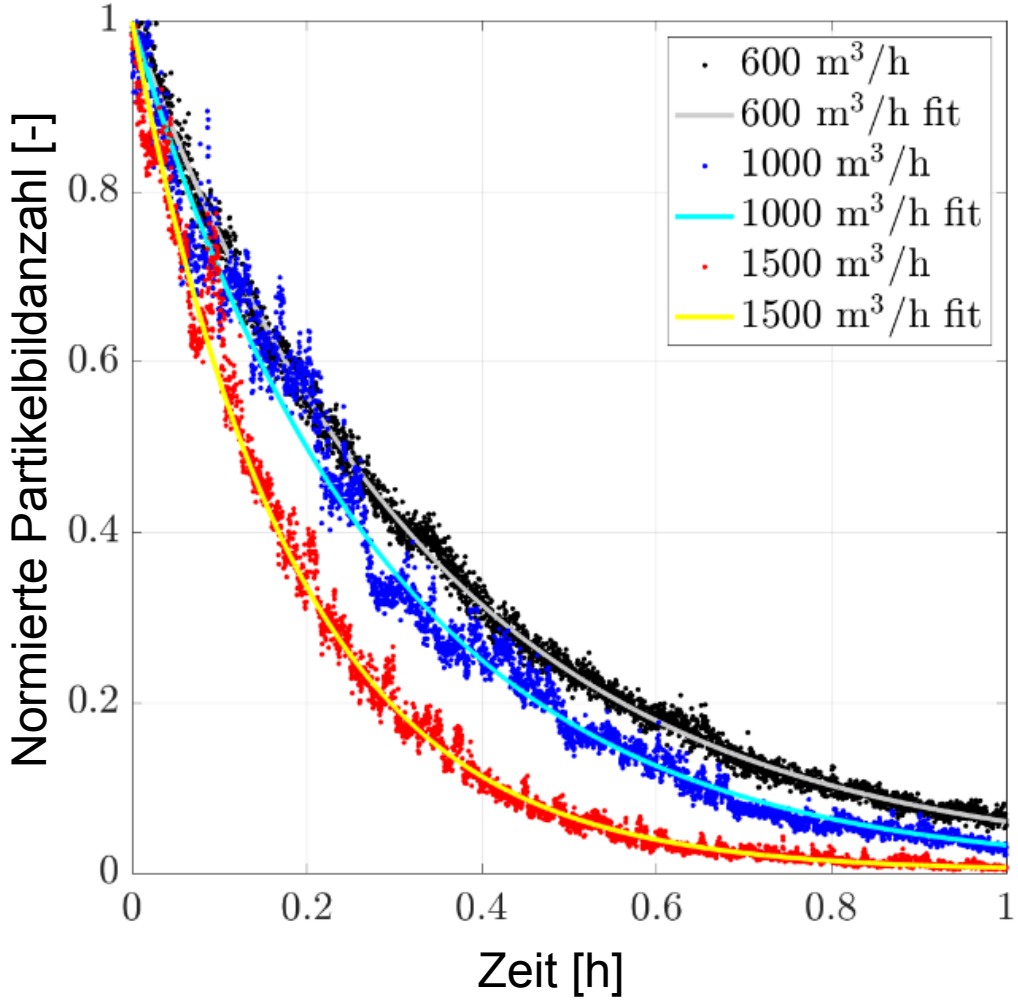


Abnahme der Konzentration



Personen / Objekte im Raum sowie Bewegungen, Atmung und Körperwärme mindern nicht die Effizienz der Luftfilter!

Abnahme der Konzentration

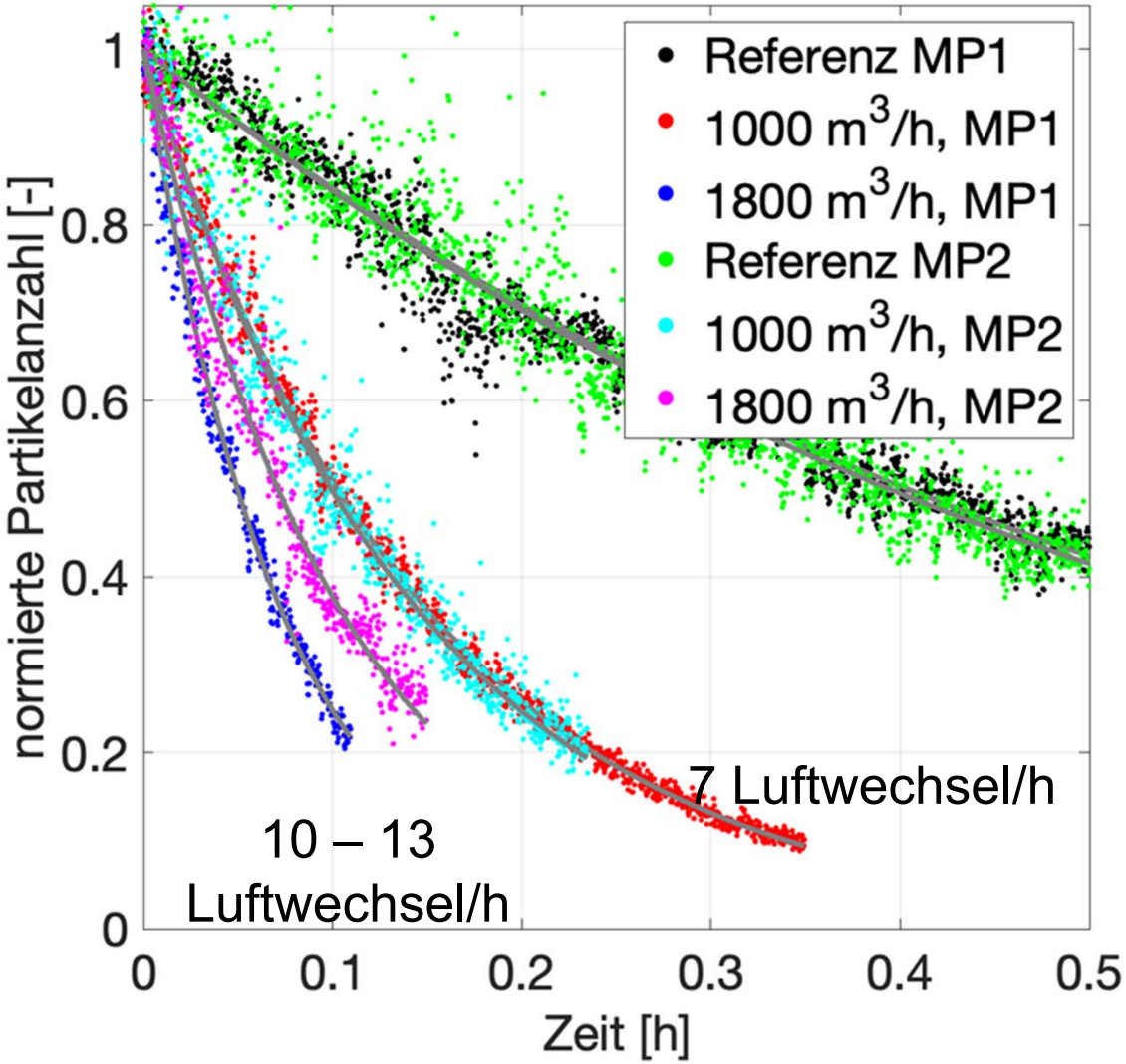


Die Effizienz der Abscheidung kann am Gerät über den Volumenstrom eingestellt werden.

Restaurant Salon Rouge

Tohru Nakamura

Restaurant Salon Rouge



Fazit: Auch komplexe Räume lassen sich gut filtern.

Luftfilter Anforderungen

Hochwertige mobile Luftreiniger sind in der Lage das indirekte Infektionsrisiko wirksam zu reduzieren. Dazu müssen sie drei Kriterien erfüllen:

1. **Die Geräte müssen mindestens das 6-fache des Raumvolumens pro Stunde filtern.**
2. **Die Geräte müssen Filter der Klasse H13 / H14 nutzen.**
3. **Die Geräte müssen leise sein, damit sie nicht abgeschaltet werden (<50 dB(A) bei 1200m³/h).**

Die Position der Geräte im Raum beeinflusst das Filterergebnis kaum. Die Filterwirkung im Raum ist sehr gleichmäßig selbst in den Ecken.

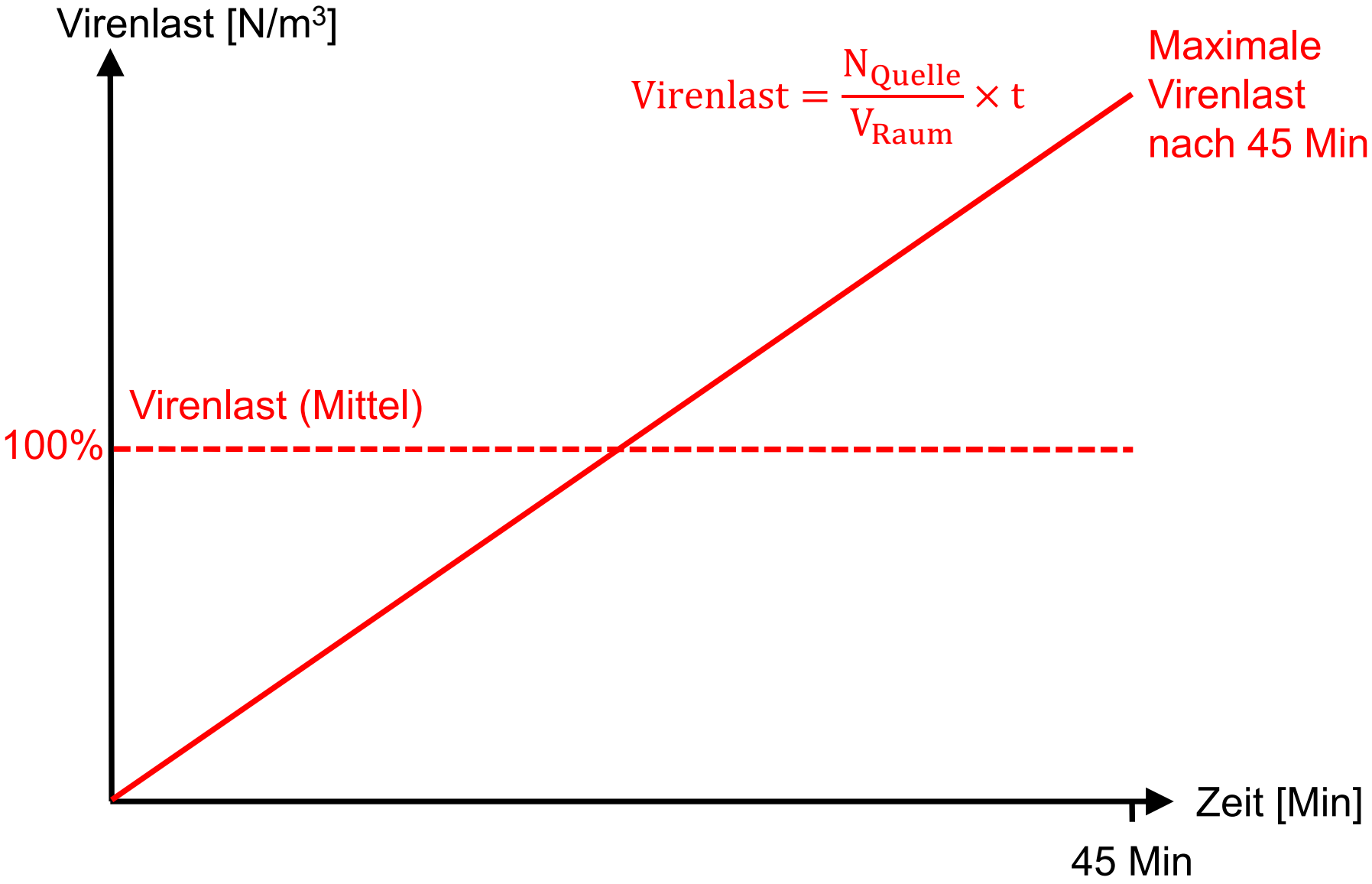
Empfehlung ohne SARS-CoV-2

Raum/ Gebäude	Luftwechselrate [1/h]	Luftwechselrate [1/h]	Technisches Regelwerk
	Min	Max	
Hörsäle		6–8	DIN EN 16798 Teil 3 ASR 3.6
Klassenzimmer	2		DIN EN 16798 Teil 3 ASR 3.6
Büros	1	4–8	DIN EN 16798 Teil 3 ASR 3.6
Kino		5–8	VDI 2082
Gaststätten		4–8	VDI 2082
Verkaufsräume		4–8	VDI 2082

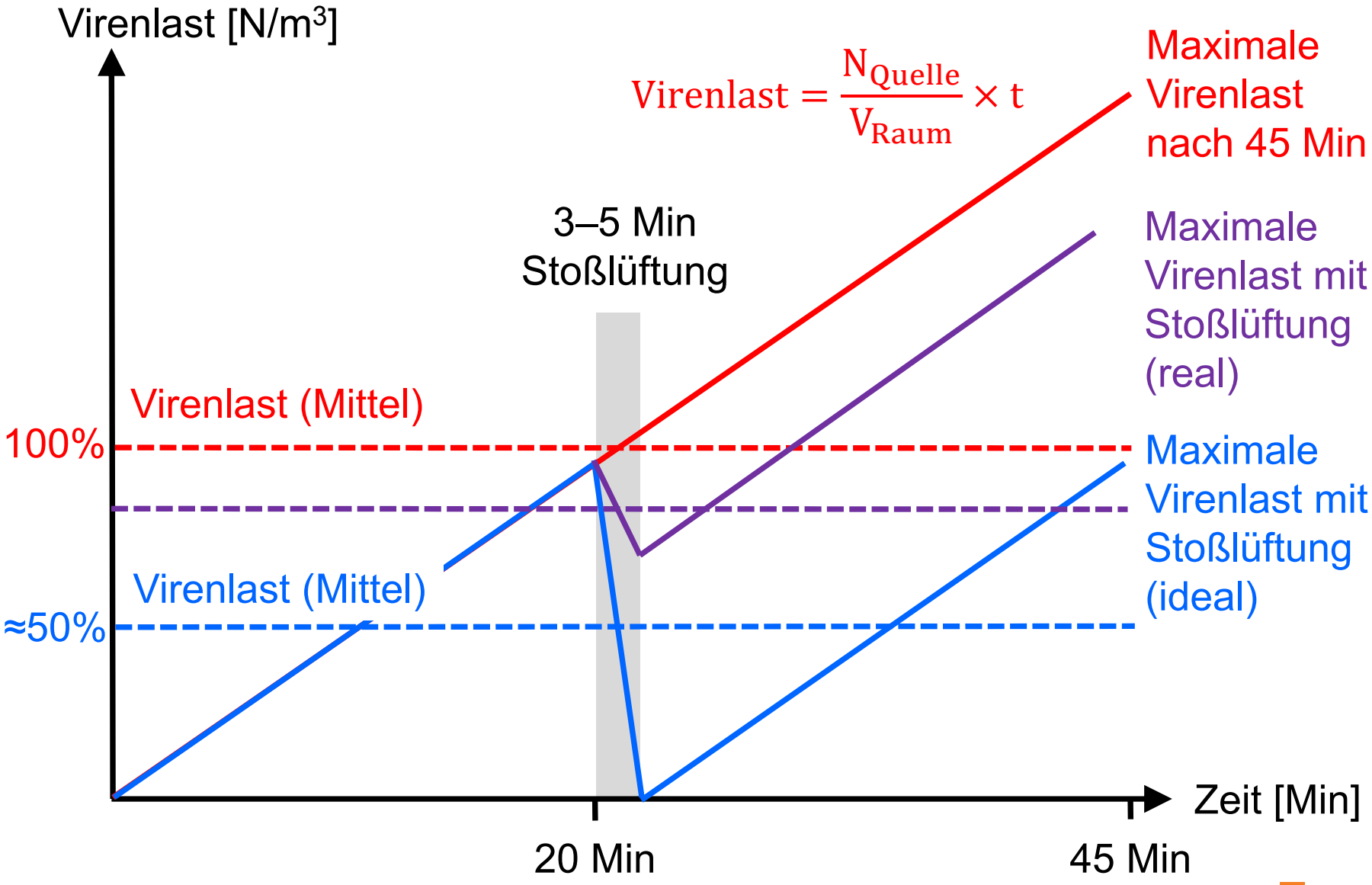
https://de.wikipedia.org/wiki/Mindestluftwechsel

Frage: Warum fordert der VDI nur 4 Luftwechsel mit SARS-CoV-2 Viren obwohl bereits ohne gefährliches Viren 4 bis 8 Luftwechsel empfohlen werden?

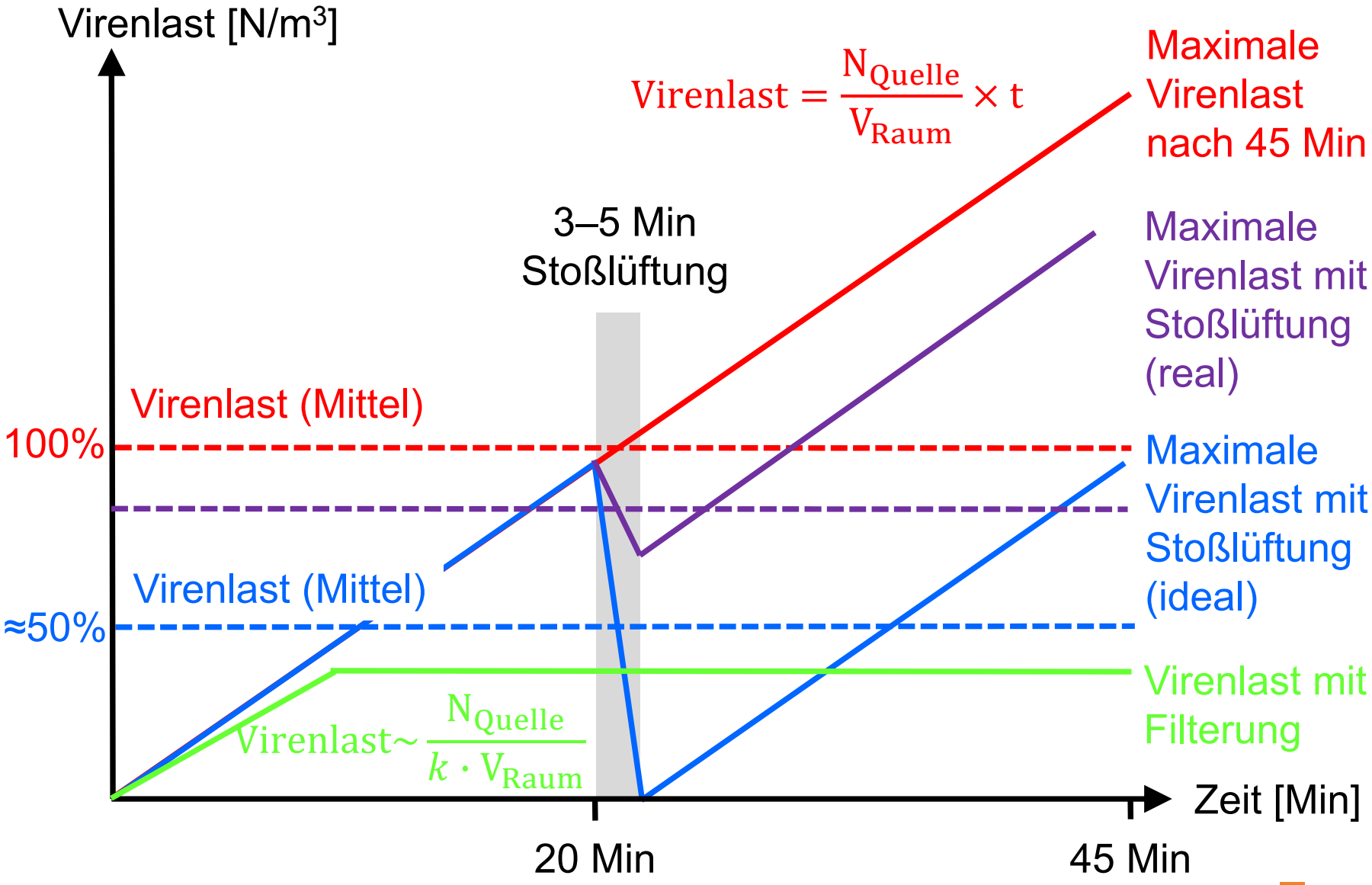
Virenlast im Raum mit der Zeit



Virenlast im Raum mit der Zeit



Virenlast im Raum mit der Zeit



Zusammenfassung

- Wer durch Gebäude geht, oder sich Personen stark annähert, sollte eine FFP2/3 Maske tragen!
- Trennwände können das direkte Infektionsrisiko durch Aerosolpartikel sehr wirksam verhindern. → Sehr sicher, Raum bleibt transparent, Mimik erkennbar, keine störenden Masken am Platz erforderlich, günstig.
- RLT Anlagen und mobile Raumluftreiniger können in Räumen das indirekte Infektionsrisiko durch Aerosolpartikel sehr wirksam minimieren.
- Wichtig sind der Volumenstrom, die Filterqualität und ein geringer Geräuschpegel.

Veröffentlichungen / Kommentare

Kähler CJ, Fuchs T, Mutsch B, Hain R (2020) Schulunterricht während der SARS-CoV-2 Pandemie – Welches Konzept ist sicher, realisierbar und ökologisch vertretbar? https://www.unibw.de/lrt7/schulbetrieb-waehrend-der-pandemie.pdf

Kähler CJ (2020) Kommentar zum Konzept „Lüften in Schulen“ vom Umweltbundesamt. https://www.unibw.de/lrt7/kommentar_zum_uba_konzept_lueften_in_schulen.pdf

Kähler CJ (2020) Kommentar zum Rahmenhygieneplan Schulen des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit und Pflege vom 13. November 2020 https://www.unibw.de/lrt7/kommentar_rahmenhygieneplan_schulen.pdf

Kähler CJ, Fuchs T, Hain R (2020) Können mobile Raumluftreiniger eine indirekte SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosole wirksam reduzieren? https://www.unibw.de/lrt7/raumluftreiniger.pdf https://youtu.be/3Y3KEIUdFFU

Kähler CJ, Fuchs T, Hain R (2020) Quantifizierung eines Viromed Klinik Akut V 500 Entkeimungsgerätes zur Reduzierung der indirekten SARS-CoV-2 Infektionsgefahr durch Aerosolpartikel. https://www.unibw.de/lrt7/entkeimungsgeraet.pdf

Kähler CJ, Hain R (2020) Strömungsanalysen zur SARS-CoV-2 Schutzmaskendebatte. https://www.unibw.de/lrt7 und https://youtu.be/SM2QrPFC3MY

Kähler CJ, Hain R (2020) Fundamental protective mechanisms of face masks against droplet infections. Journal of Aerosol Science 148:105617 https://doi.org/10.1016/j.jaerosci.2020.105617

Kähler CJ, Fuchs T, Hain R (2020) SARS-CoV-2 indirect infection reduction by mobile air cleaners. Eingereicht zur Begutachtung