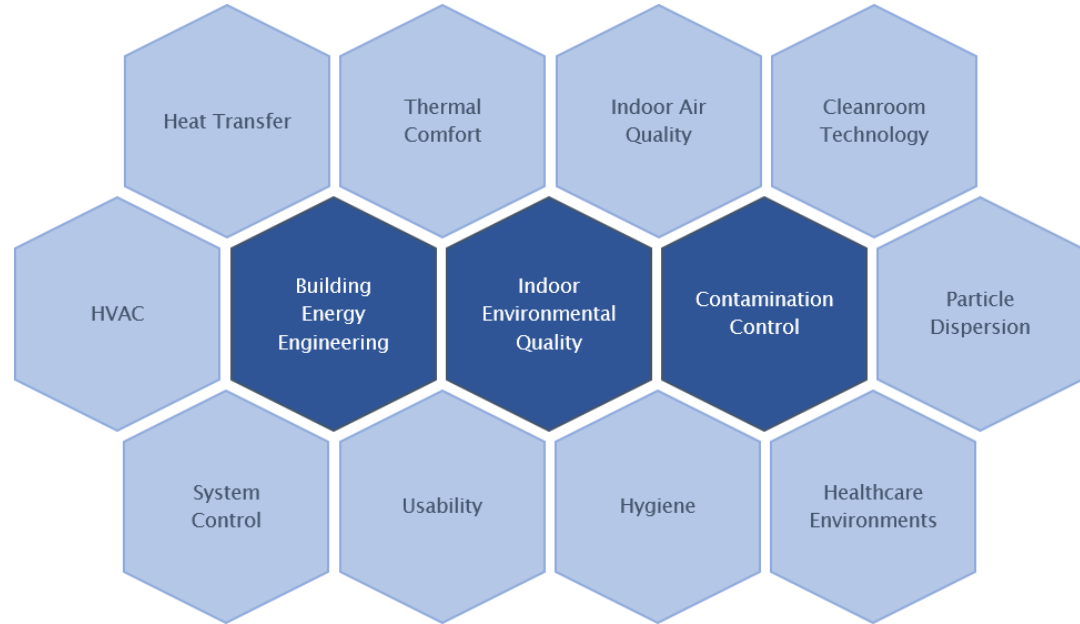


Bewertung der Lufthygiene – insbesondere der Ausbreitung von Aerosolen

Dipl.-Ing. Anne Hartmann

1. Symposium Berliner Museen, Berlin, 01.10.2020





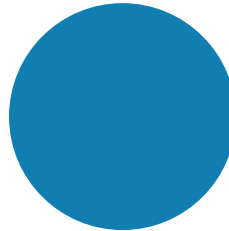
1. Stand der Forschung zur Abgabe und Ausbreitung von Aerosolen
2. Bewertung der Luftqualität mittels CO₂
3. Grundlagen Fensterlüftung
4. Grundlagen maschinelle Lüftung

- Aerosole
 - Kunstbegriff
 - Mischung aus festen und flüssigen Teilchen, die der Luft folgen
 - Größe abhängig von der Luftbewegung im Raum
- Aerosole als Träger von Viren, Bakterien, Pilze,...

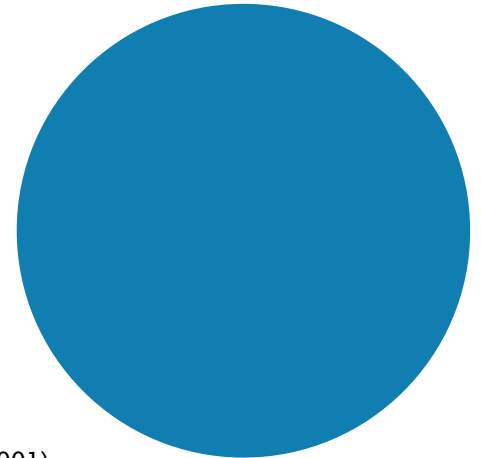
0,5 μm Partikel
Viren, Tabakrauch



50 μm Partikel
Bakterien (Grenze sichtbarer Bereich)



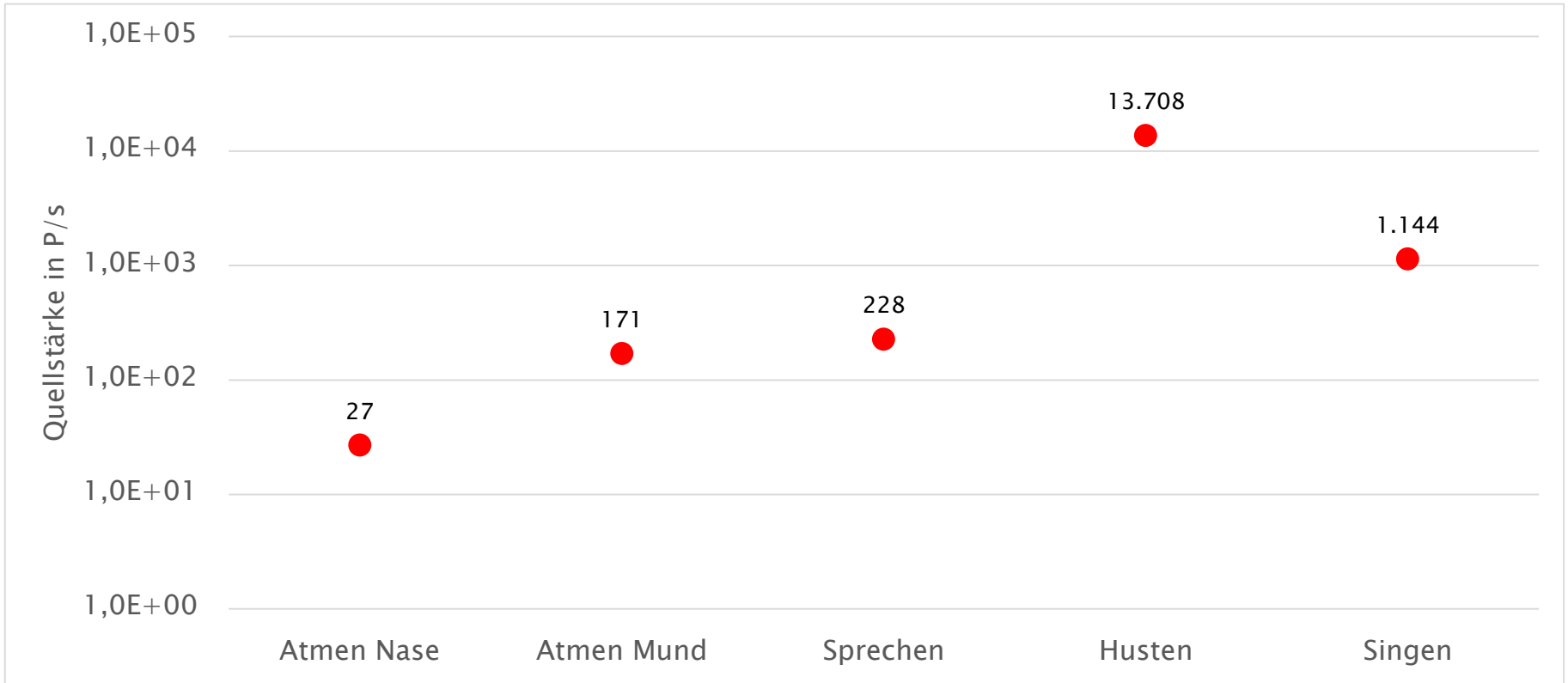
100 μm Partikel
Menschliches Haar



Quelle: (Whyte, 2001)

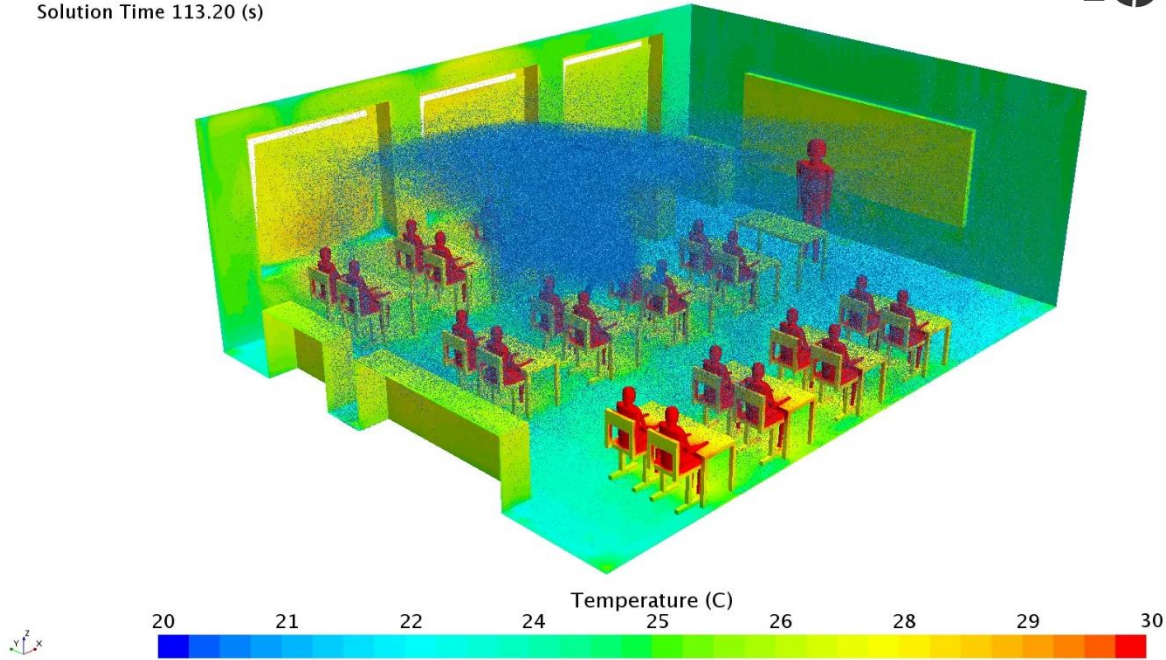


Aerosolabgabe bei verschiedenen Aktivitäten



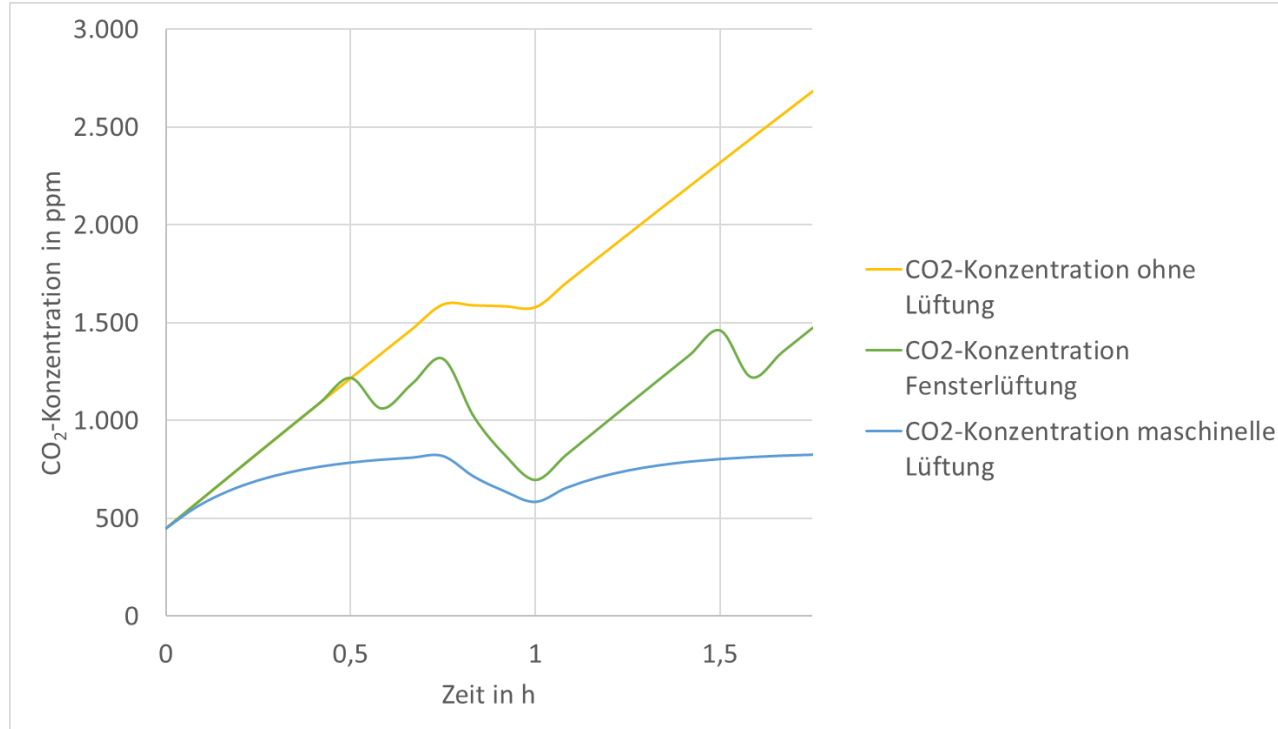
Ausbreitung von Aerosolen

Solution Time 113.20 (s)



- Max von Pettenkofer 1858 „Über den Luftwechsel in Wohngebäuden“
- „Die **wesentlichen Ausscheidungsstoffe** unserer Lungen und unserer Haut, soweit sie in die Luft übergehen, **sind Kohlensäure und Wasser.**“
- „Der **Kohlensäuregehalt** allein macht die **Luftverderbnis nicht aus**, wir benützen ihn bloß als Maßstab, wonach wir auch noch auf den **größeren oder geringeren Gehalt an andern Stoffen** schließen, welche zur Menge der ausgeschiedenen Kohlensäure sich proportional verhalten.“
- trifft auf alle vom Menschen abgegeben Stoffe zu - z.B auch Gerüche
- Pettenkofer legt für Aufenthaltsräume eine zulässige CO₂-Konzentration von 1‰ = 1000ppm fest

- CO₂-Verlauf in einem Klassenzimmer

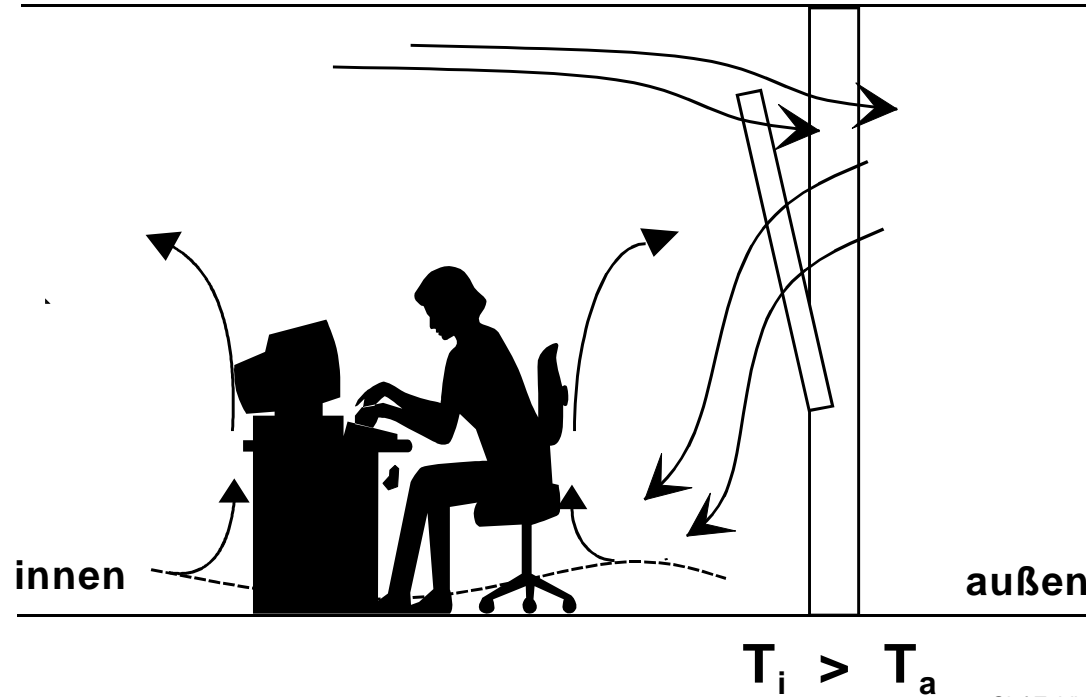


- Arbeitsstättenrichtlinie 3.6 Lüftung:

CO ₂ -Konzentration in ml/m ³ oder ppm	Maßnahmen
< 1.000	keine weiteren Maßnahmen (sofern durch die Raumnutzung kein Konzentrationsanstieg über 1000 ppm zu erwarten ist)
1.000–2.000	Lüftungsverhalten überprüfen und verbessern Lüftungsplan aufstellen (z. B. Verantwortlichkeiten festlegen) Lüftungsmaßnahme (z. B. Außenluftvolumenstrom oder Luftwechsel erhöhen)
> 2.000	weitergehende Maßnahmen erforderlich (z. B. verstärkte Lüftung, Reduzierung der Personenzahl im Raum)

- für 1000ppm etwa $35 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{Per})$
- für 2000ppm etwa $12 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{Per})$
- für Klassenzimmer mit 28 Schülern und einer Lehrkraft entspricht dies für 1000ppm $1015 \text{ m}^3/\text{h}$
- bei $7,5 \text{ m}^3$ Luftvolumen/Schüler entspricht dies etwa einem Luftwechsel von 5 l/h (alle 12min wird die komplette Luft im Raum durch saubere Luft ersetzt)
- für eine Risikominimierung hinsichtlich SARS-CoV-2 je nach Aufenthaltszeit deutlich höhere Volumenströme notwendig

Strömungsverlauf bei Fensterlüftung

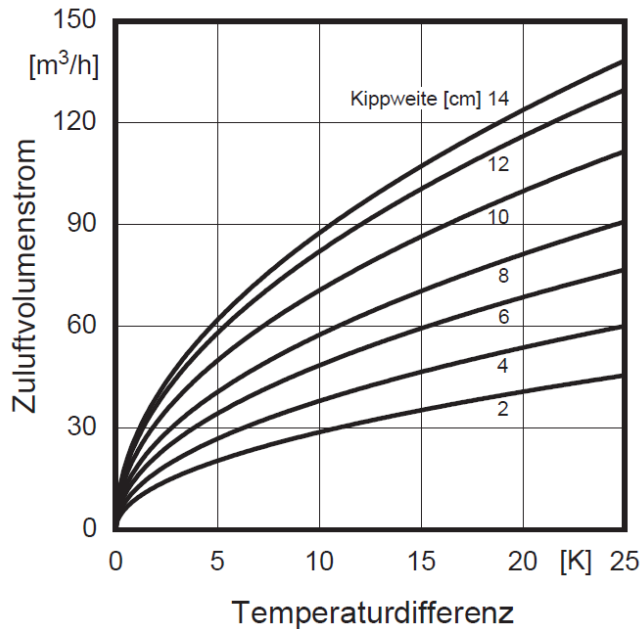


Olaf Zeidler

- abhängig von der Fensterfläche
 - Empfehlung nach ASR 3.6

System	Maximal zulässige Raumtiefe bezogen auf die lichte Raumhöhe (h) in m	Öffnungsfläche zur Sicherung des Mindestluftwechsels	
		für kontinuierliche Lüftung in m^2 /anwesende Person	Für Stoßlüftung in $\text{m}^2/10\text{m}^2$ Grundfläche
einseitige Lüftung	$2,5 \times h$	0,35	1,05
Querlüftung	$5,0 \times h$	0,2	0,6

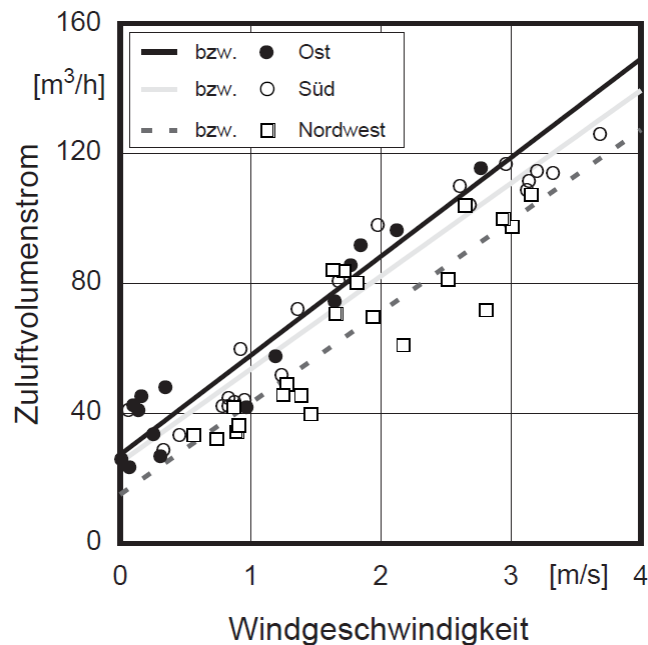
- abhängig von den Wetterbedingungen – gut bei:
 - großer Temperaturdifferenz zwischen Innen- und Außentemperatur



Zuluftvolumenstrom in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz zwischen innen und außen für ein Fenster der Größe $A = 1,98 \text{ m} \cdot 1,33 \text{ m} = 2,6 \text{ m}^2$ [Maas 1995]

Quelle: A. Maas (1995): Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung, S. 46

- abhängig von den Wetterbedingungen – gut bei:
 - hoher Windgeschwindigkeit

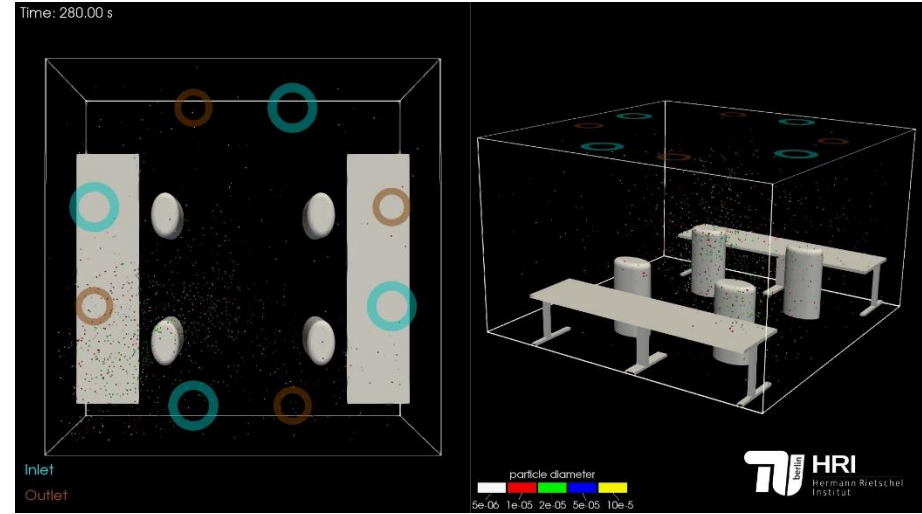
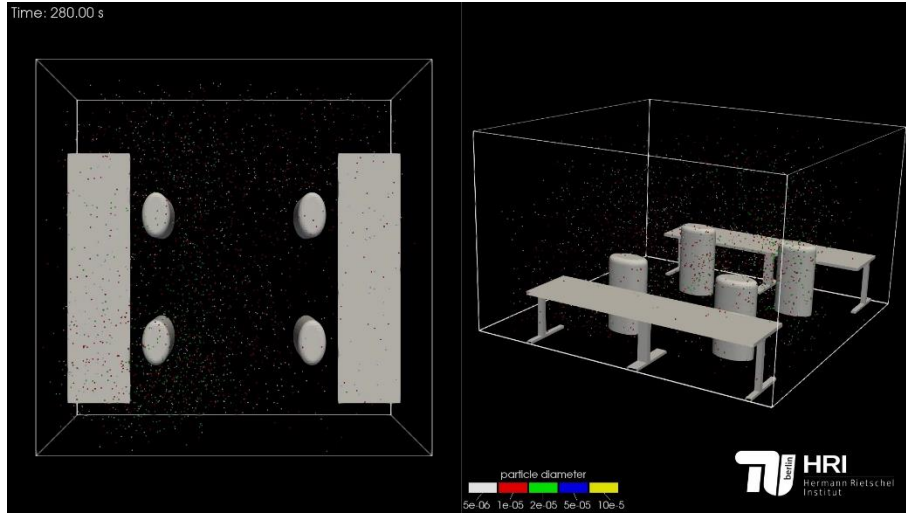


Zuluftvolumenstrom (1 h-Mittelwert) in Abhängigkeit der Windgeschwindigkeit für ein Fenster der Größe $A = 1,98 \text{ m} \cdot 1,33 \text{ m} = 2,6 \text{ m}^2$ bei einer Kippstellung von 12 cm und eine Temperaturdifferenz zwischen 2 und 4 K [Maas 1995]

Quelle: A. Maas (1995): Experimentelle Quantifizierung des Luftwechsels bei Fensterlüftung, S. 54

- konstanter Luftvolumenstrom meist bestehend aus einem Teil Außenluft und einem Teil Umluft
- Außenluft virenfrei, CO₂ zwischen 400 und 450ppm
- Umluft kann Viren transportieren, CO₂-Konzentration entspricht der Raumkonzentration
- für Umluftbetrieb Filter notwendig je feiner desto besser
- ISO ePM_{2,5} 65% (ehemals F7) – scheidet etwa 50% der virentragenden Aerosole ab
- H13/H14 (HEPA-Filter) – scheidet mehr als 99% der virentragenden Aerosole

zur Verringerung des Infektionsrisikos Außenluftanteil so groß wie möglich halten



- Aerosole bewegen sich mit der Luft
- je nach Aktivität und Lautstärke unterscheidet sich die abgegebene Aerosolmenge
- CO₂ ist ein guter Indikator für alle von Menschen abgegebenen Verunreinigungen
- ausreichende Zufuhr von Außenluft ist für eine gute Luftqualität notwendig
- Fensterlüftung ist abhängig von Temperatur, Wind und Fensterfläche
- maschinelle Lüftung sollte aktuell mit so viel Außenluft wie möglich betrieben werden



Fragen?

Anne Hartmann

anne.hartmann@tu-berlin.de

https://blogs.tu-berlin.de/hri_sars-cov-2/

www.hri.tu-berlin.de

