

Bildung braucht ... ein Optimum
Das Spannungsfeld zwischen Gesundheit und Energie

AACHENER TAG DER LUFTQUALITÄT
ZUKUNFTSRAUM SCHULE STATT BILDUNGS(BAU)KRISE

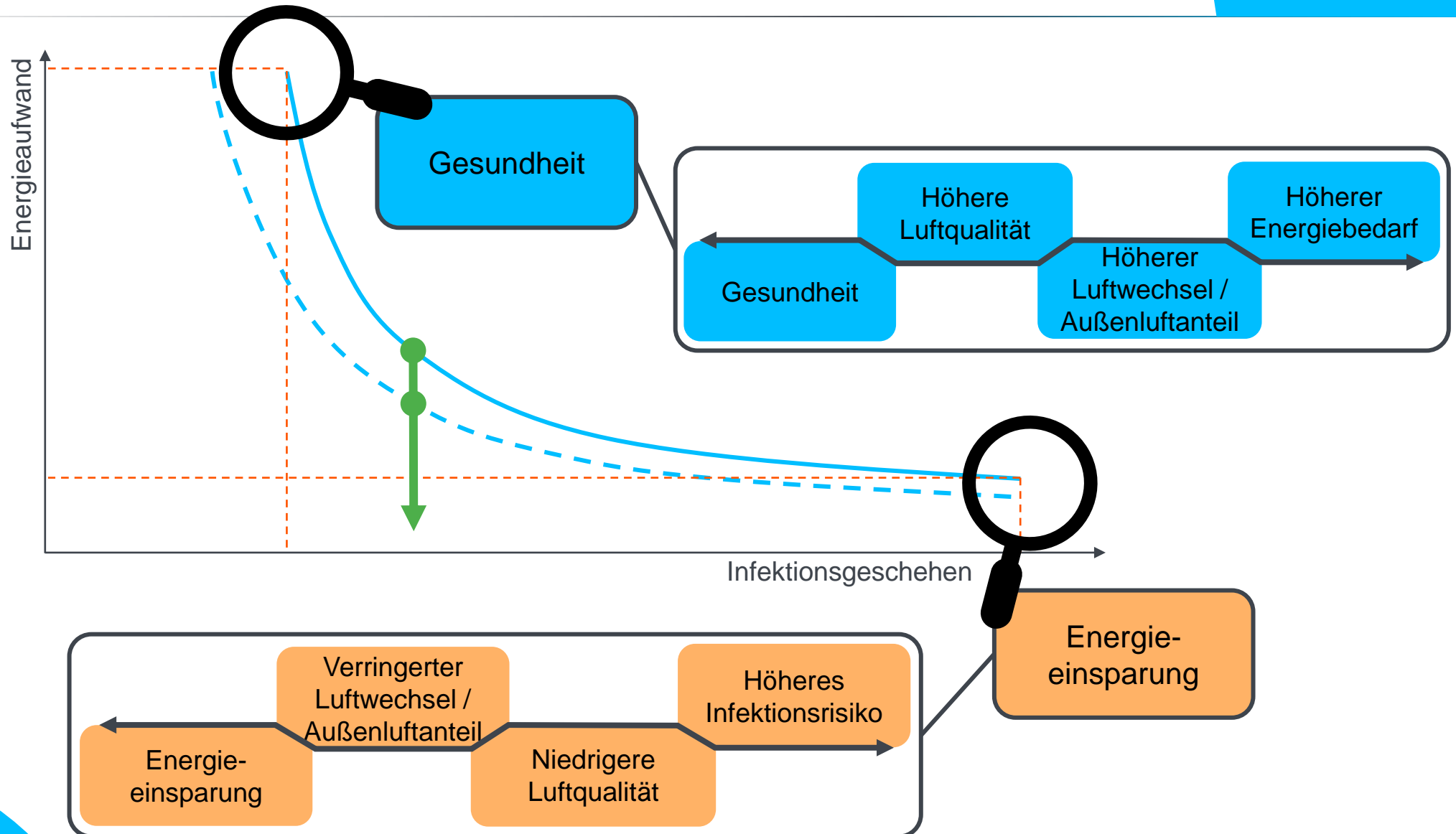
Aachen, 14. September 2023



HEINZ TROX
STIFTUNG

Motivation

Effizienz-
steigerung



Grundlagen Lüftungswirksamkeit

Grundlagen Lüftungswirksamkeit

Definition der Lüftungswirksamkeit



$$\dot{V}_{Au} = \frac{\dot{V}_{AZ}}{\varepsilon}$$

\dot{V}_{Au} : Außenluftstrom
 \dot{V}_{AZ} : erforderlicher Außenluftstrom für hygienische Bedingungen der Luft in der Anforderungszone
 ε : Lüftungswirksamkeit

mit:
$$\varepsilon = \frac{C_{Abluft} - C_{Zuluft}}{C_{Atmungshöhe} - C_{Zuluft}}$$

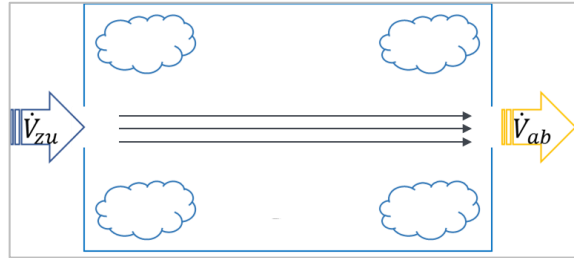
C_i : Verunreinigungskonzentration

- Verringerung des tatsächlich nötigen Außenluftstroms → Energieeinsparung
 - Lüfterleistung: $P \sim \dot{V}^3$
 - Lüftungswärmeverluste

Grundlagen Lüftungswirksamkeit

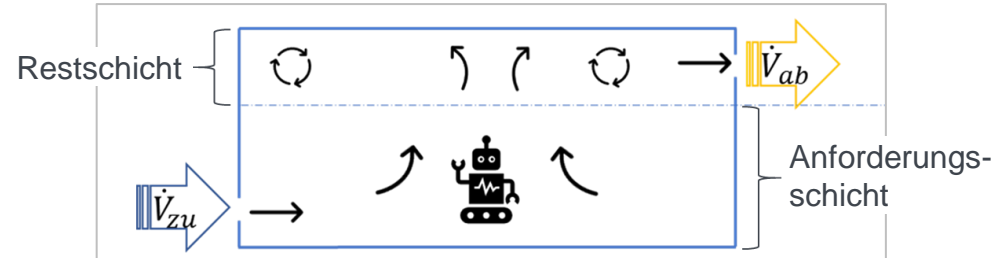
Bedeutung der Lüftungswirksamkeit

Lüftungseffektivität:



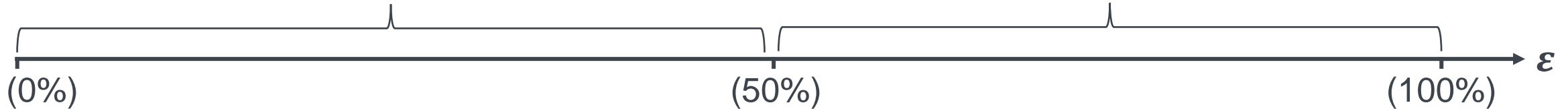
Kurzschlussströmung:

$$\varepsilon < 1$$



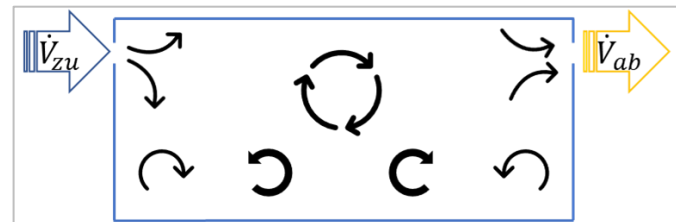
Quelllüftung:

$$\varepsilon > 1$$



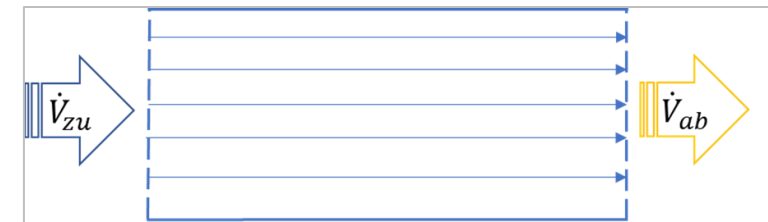
Ideale Mischlüftung:

$$\varepsilon = 1$$



Ideale Verdrängungslüftung:

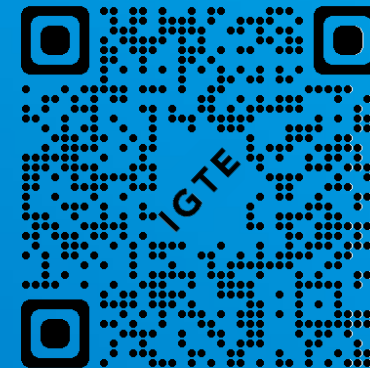
$$\varepsilon > 1$$



Lüftungswirksamkeit in Klassenräumen

zum Projekt:

OLiS



zum Leitfaden:

Maschinelle Lüftung in
Klassenräumen





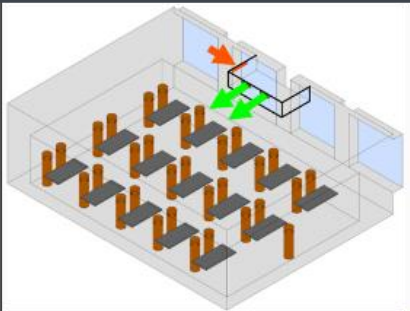
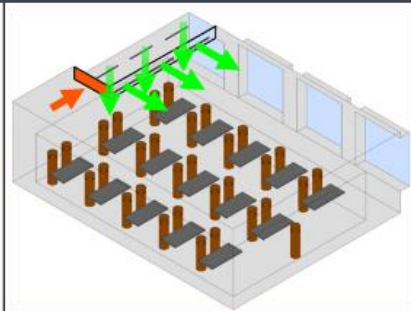
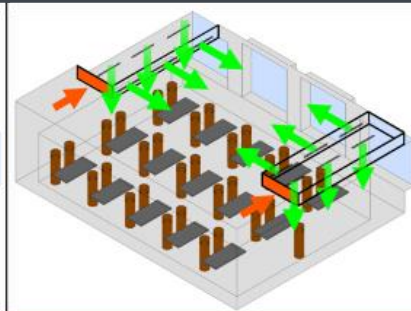
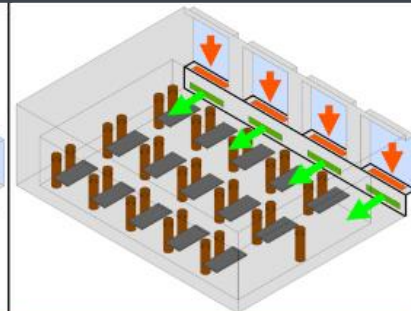
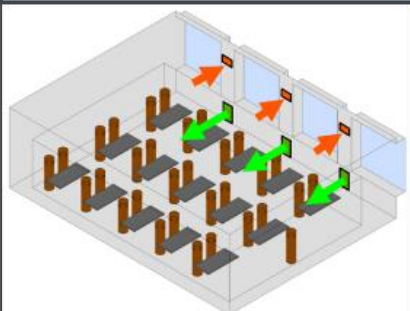
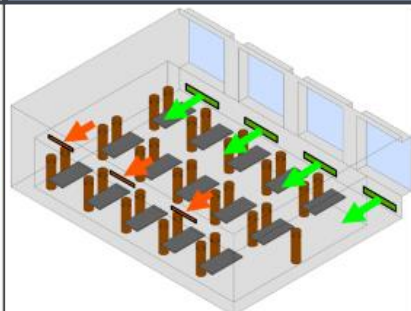
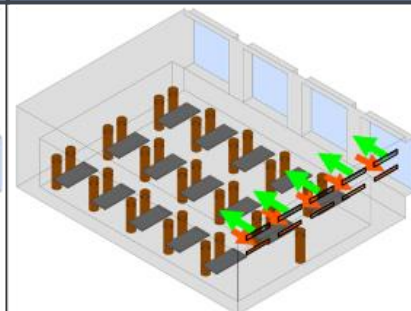
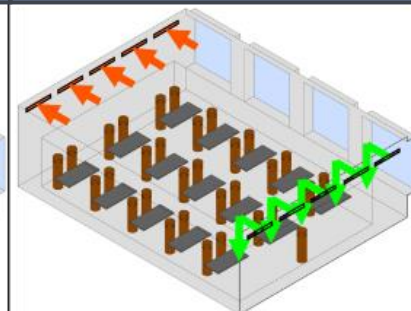
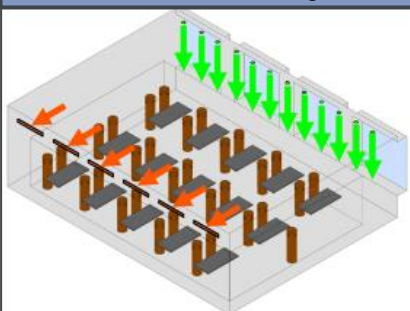
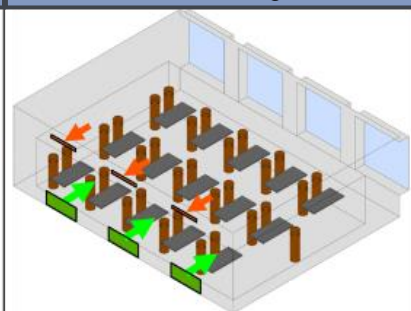
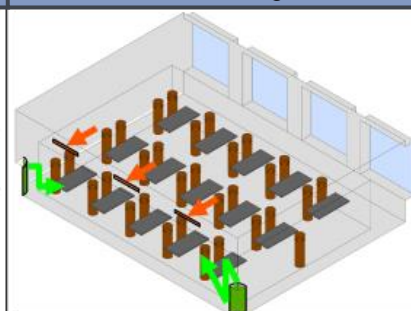
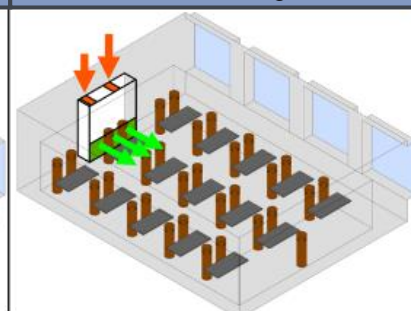
Lüftungswirksamkeit in Klassenräumen

Untersuchte Lüftungskonzepte

Raumgeometrie Übersicht

Dezentrale Lüftungssysteme
Dezentrale und zentrale Lüftungssysteme
Zentrale Lüftungssysteme

Zuluft	
Abluft	

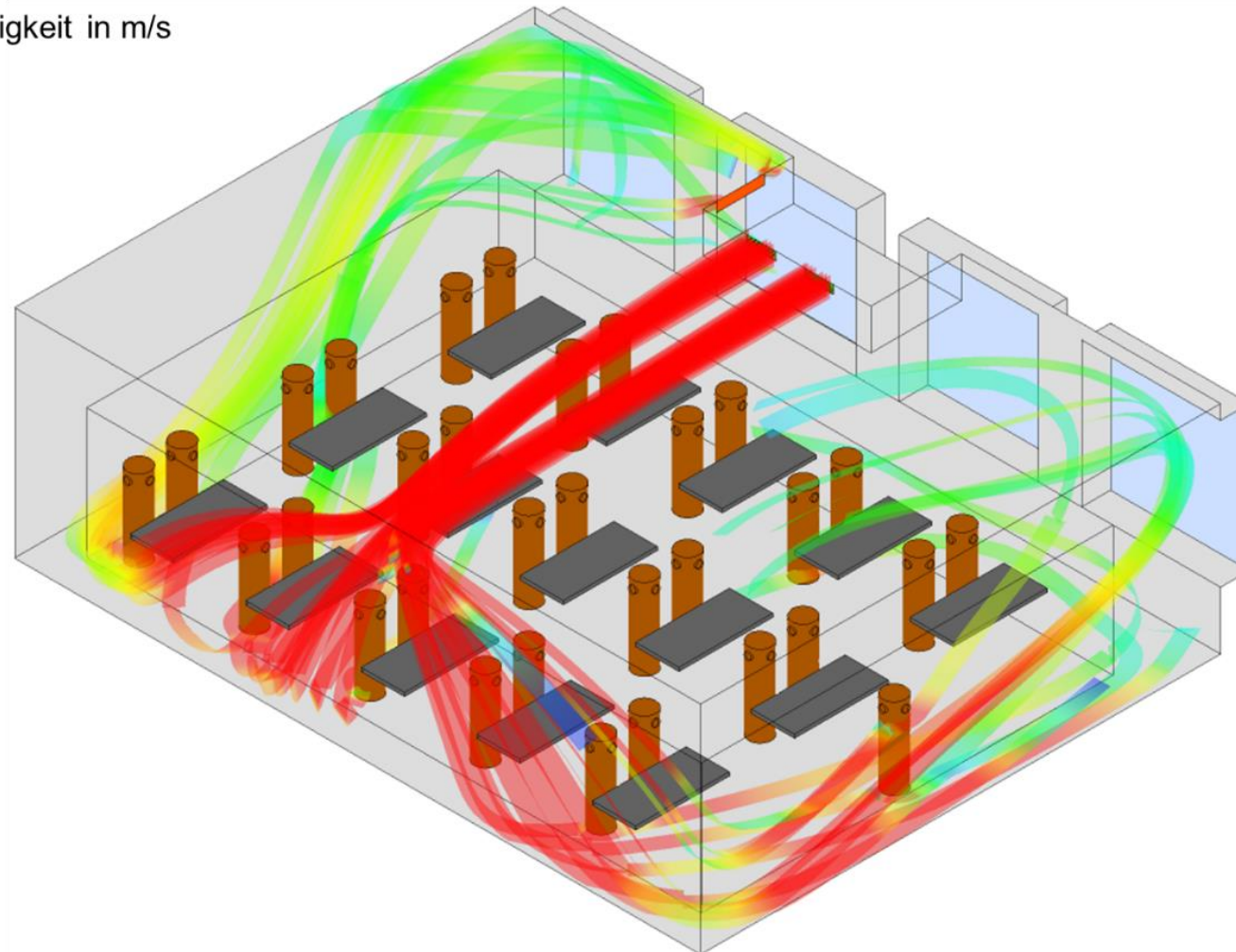
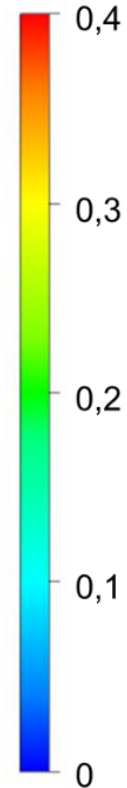
Mischlüftung entlang Decke	Misch-/Quelllüftung	Misch-/Quelllüftung	Quelllüftung
			
Quelllüftung	Quelllüftung	Mischlüftung, horizontal Decke	Misch-/Quelllüftung
			
Misch-/Quelllüftung	Quelllüftung	Quelllüftung	Quelllüftung
			

Lüftungswirksamkeit in Klassenräumen

Simulationsergebnisse

Winterfall/
Frontalunterricht:

Geschwindigkeit in m/s



Lüftungswirksamkeit in Klassenräumen

Aufbau der Laborversuche

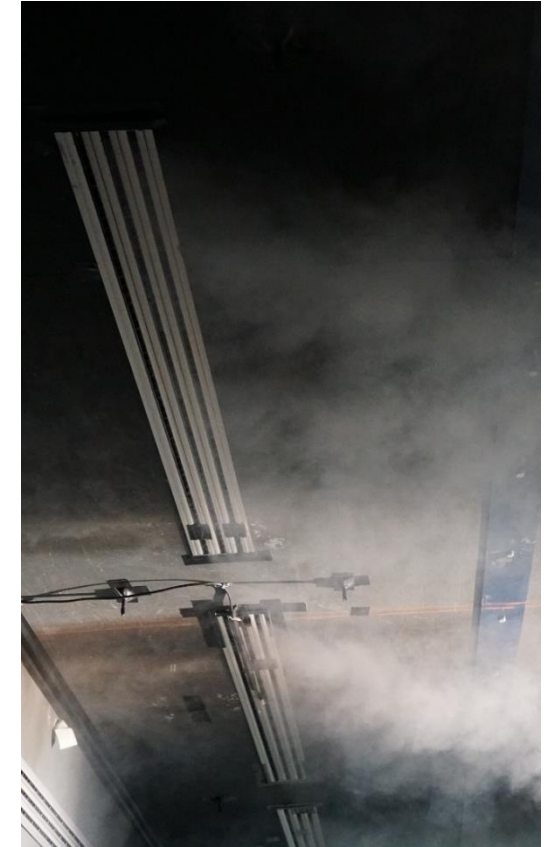
Raumluftströmungslabor



Spurengasmessungen



Visualisierung mit Kaltnebel

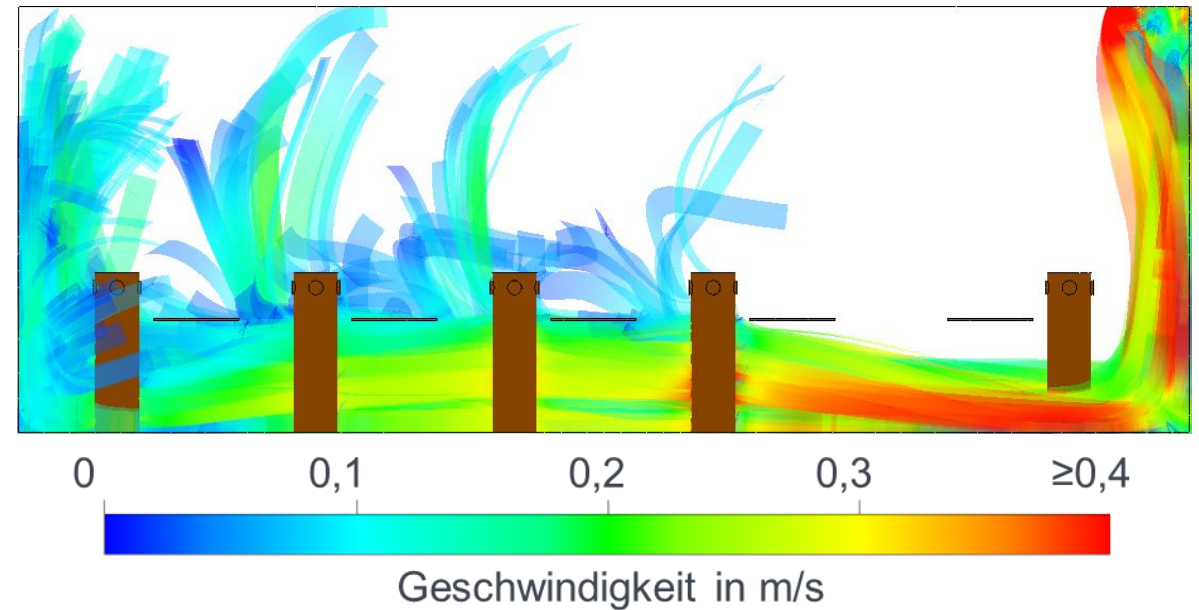


Lüftungswirksamkeit in Klassenräumen

Validierung und Ergebnisvergleich



Kaltnebelversuch

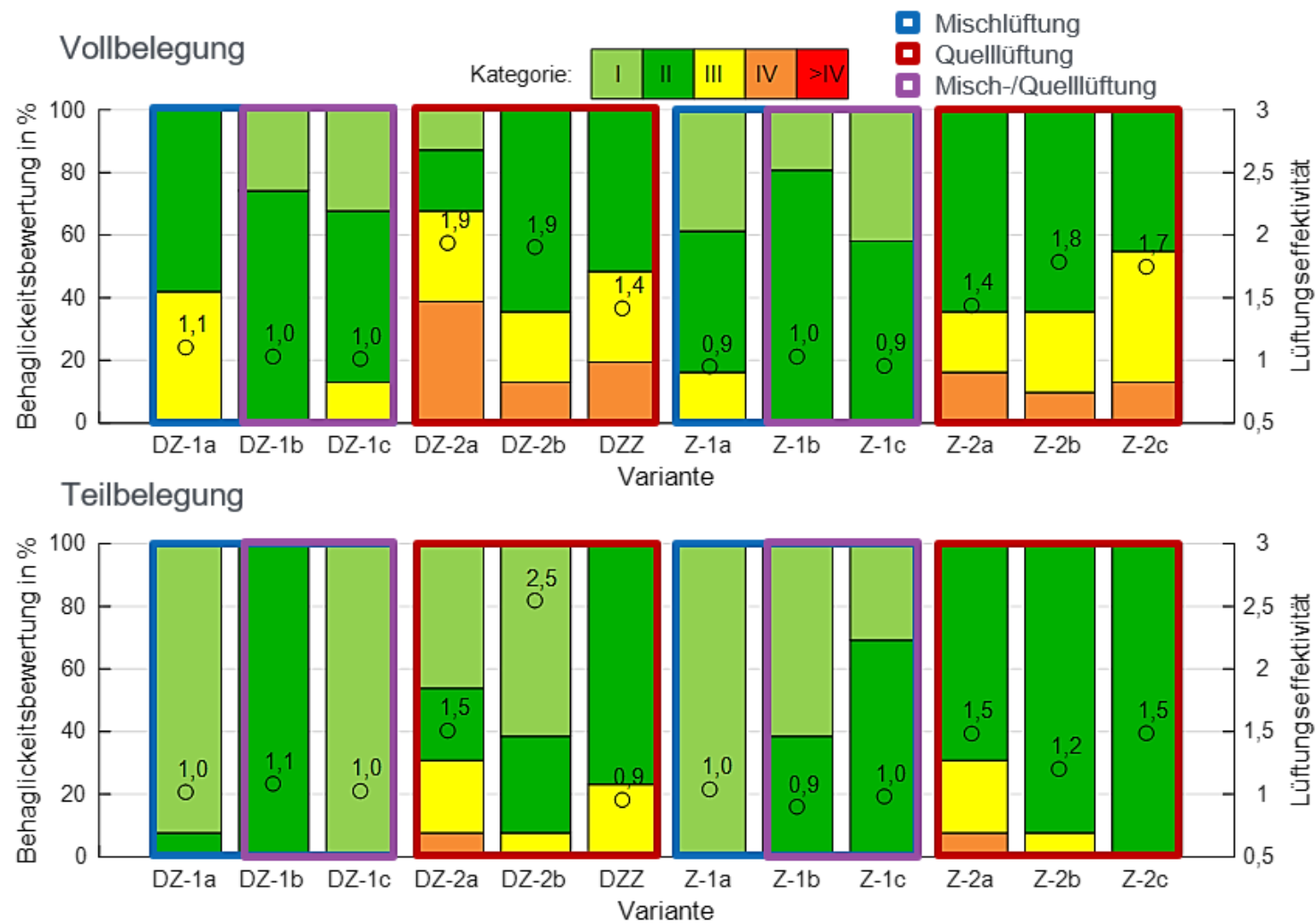


Ergebnisse der Strömungssimulation

Lüftungswirksamkeit in Klassenräumen

Ergebnisse

Winterfall/
Frontalunterricht:



Grundlagen Infektionsgeschehen

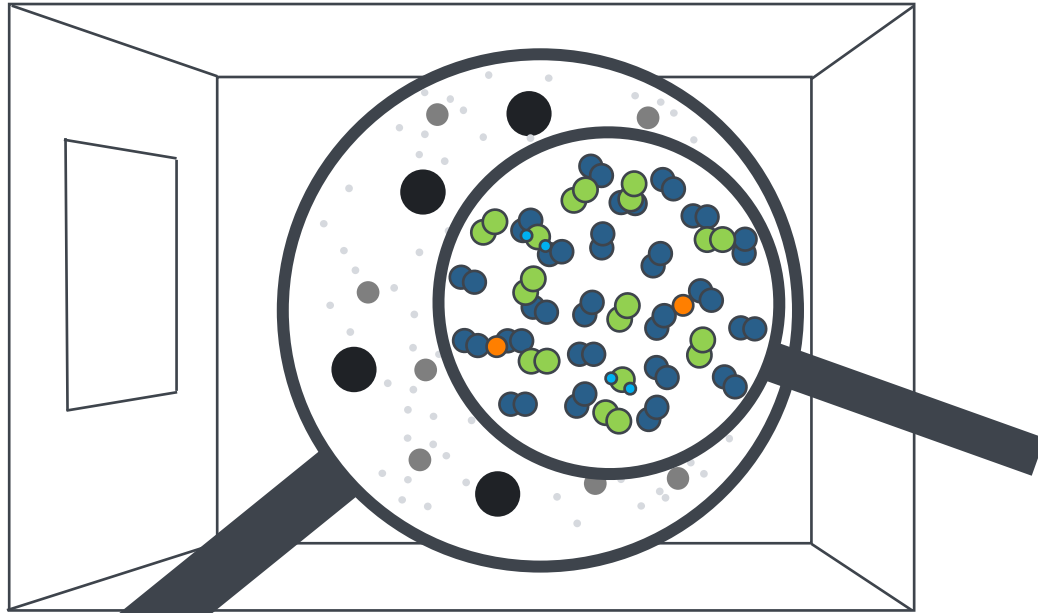
Zur Publikation:









Grundlagen Infektionsgeschehen

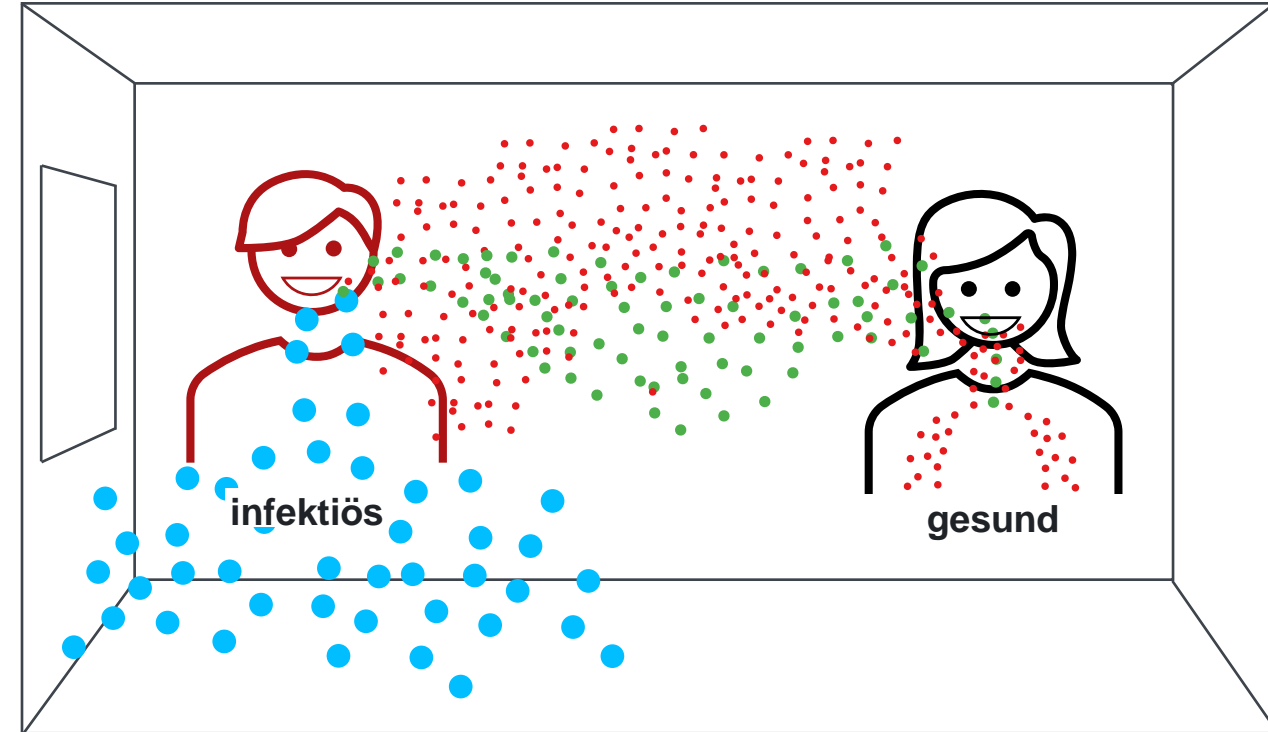
Übertragungswege

Zusammensetzung der Luft



-   · · Verschiedene Partikelgrößen
-  Stickstoff
-  Sauerstoff
-  Kohlenstoffdioxid
-  Wasser

Übertragungsweg über Aerosolpartikel

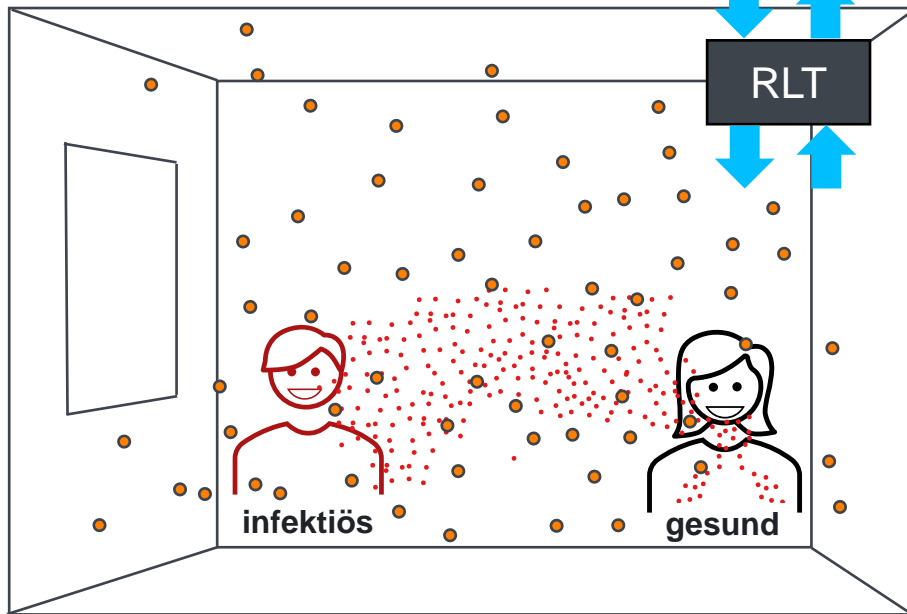


nach: RWTH-Aachen & Pan et al. 2019

Grundlagen Infektionsgeschehen

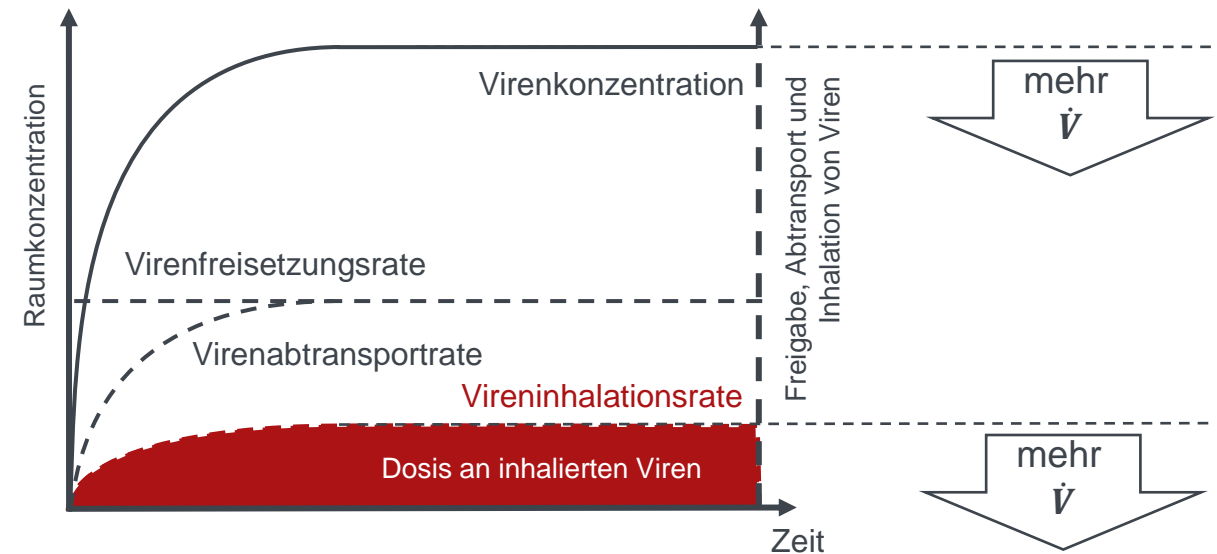
Kriterium zur Beurteilung der Infektionsgefahr

Zusammensetzung der Luft



- ● · Verschiedene Partikelgrößen
- Kohlenstoffdioxid

Für ideale Mischlüftung gilt:

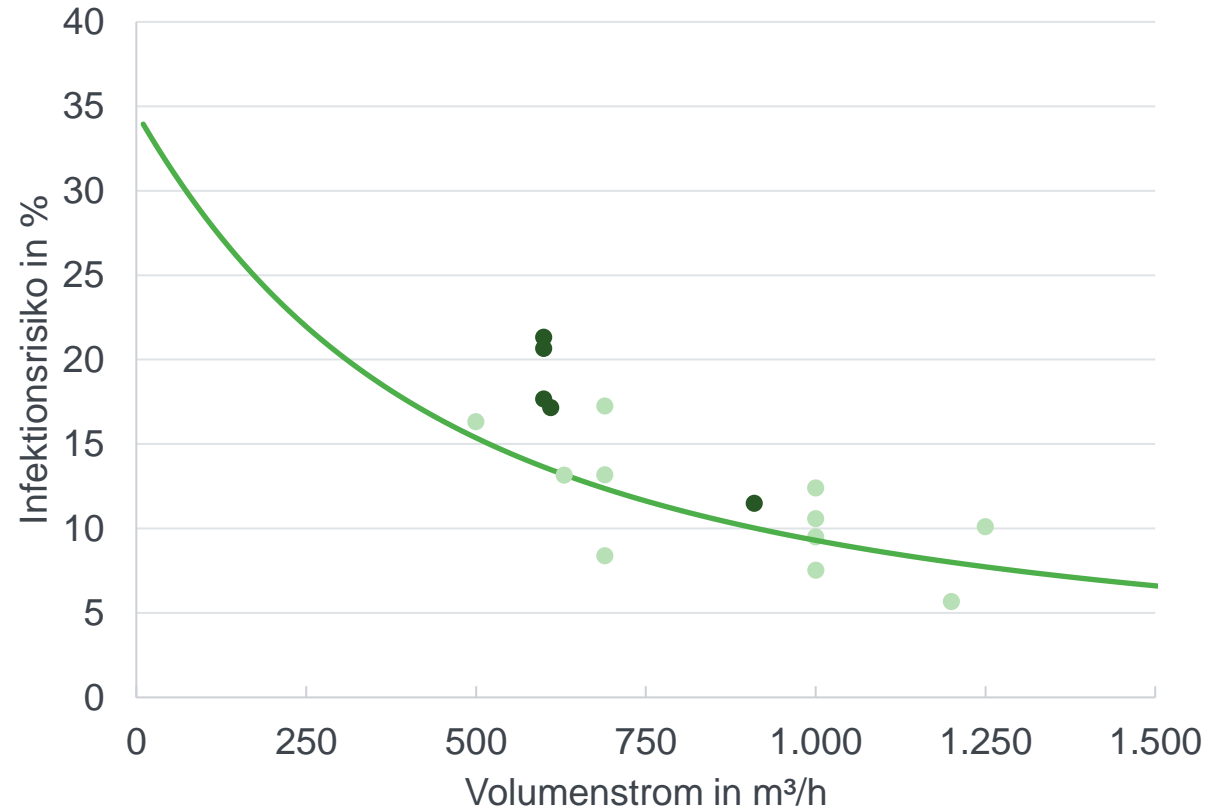


Dosis an inhalierten Viren bestimmt das Infektionsrisiko

Messungen und Simulationen zum Infektionsgeschehen

Messungen und Simulationen zum Infektionsgeschehen

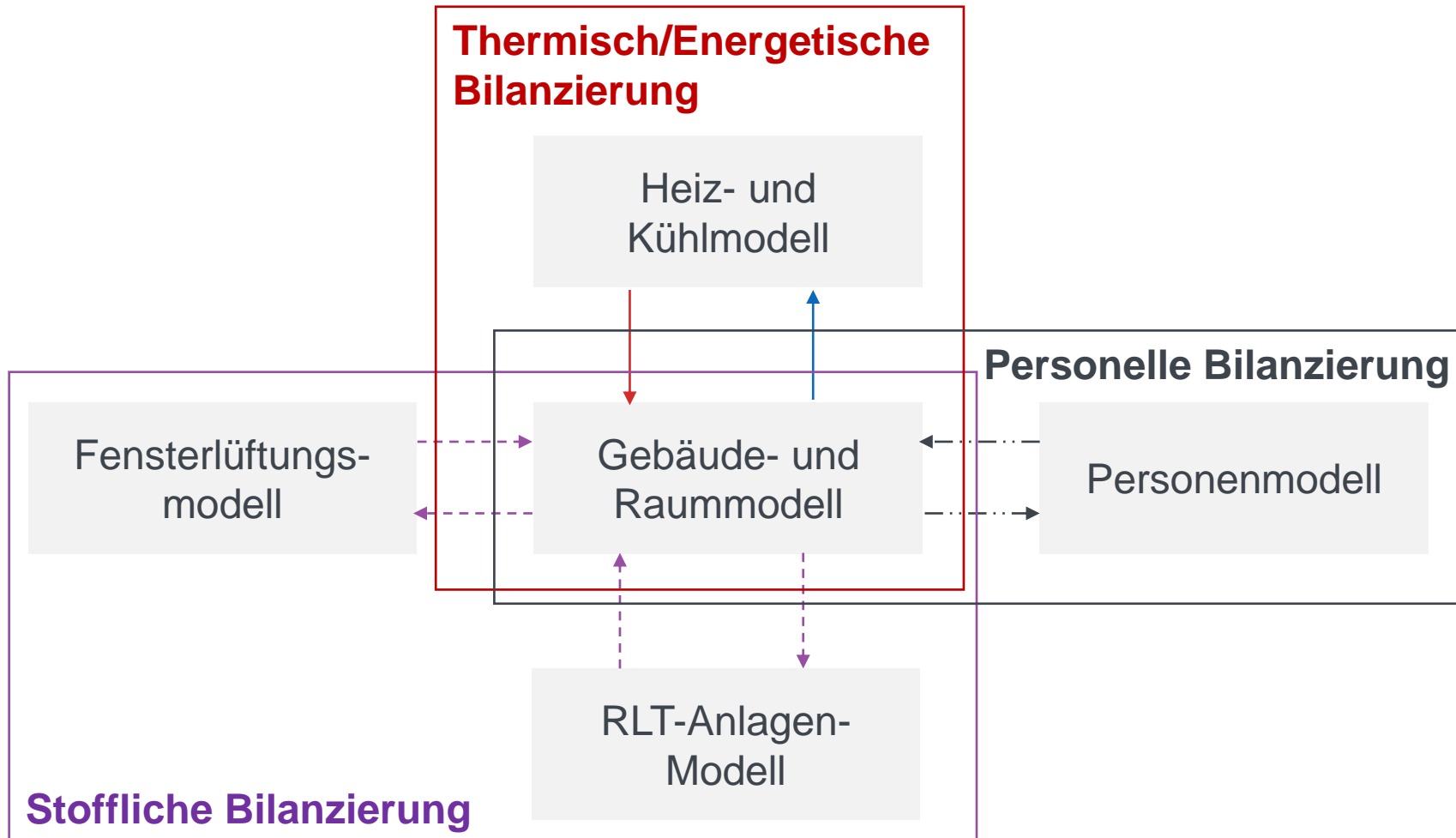
Messaufbau in Schulen und Ergebnisse



● Luftreinigungsgerät ● RLT-Anlage — Theorie

Messungen und Simulationen zum Infektionsgeschehen

Aufbau der bilanziellen Simulation

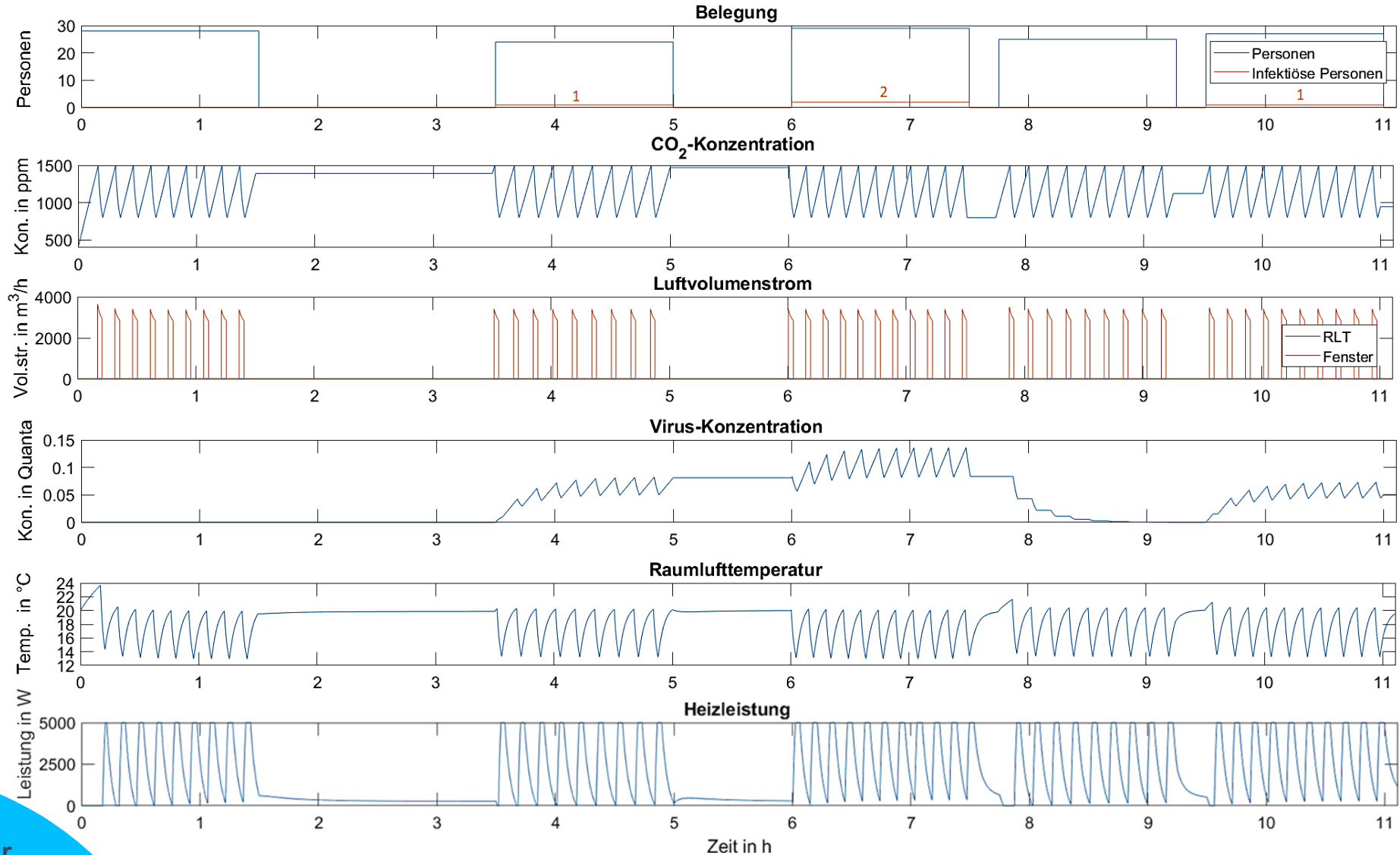


Messungen und Simulationen zum Infektionsgeschehen

Ergebnisse eines exemplarischen Klassenraums im Vergleich



Fensterlüftung
CO₂-basiert
(Obergrenze:
1.500 ppm,
Untergrenze:
800 ppm)

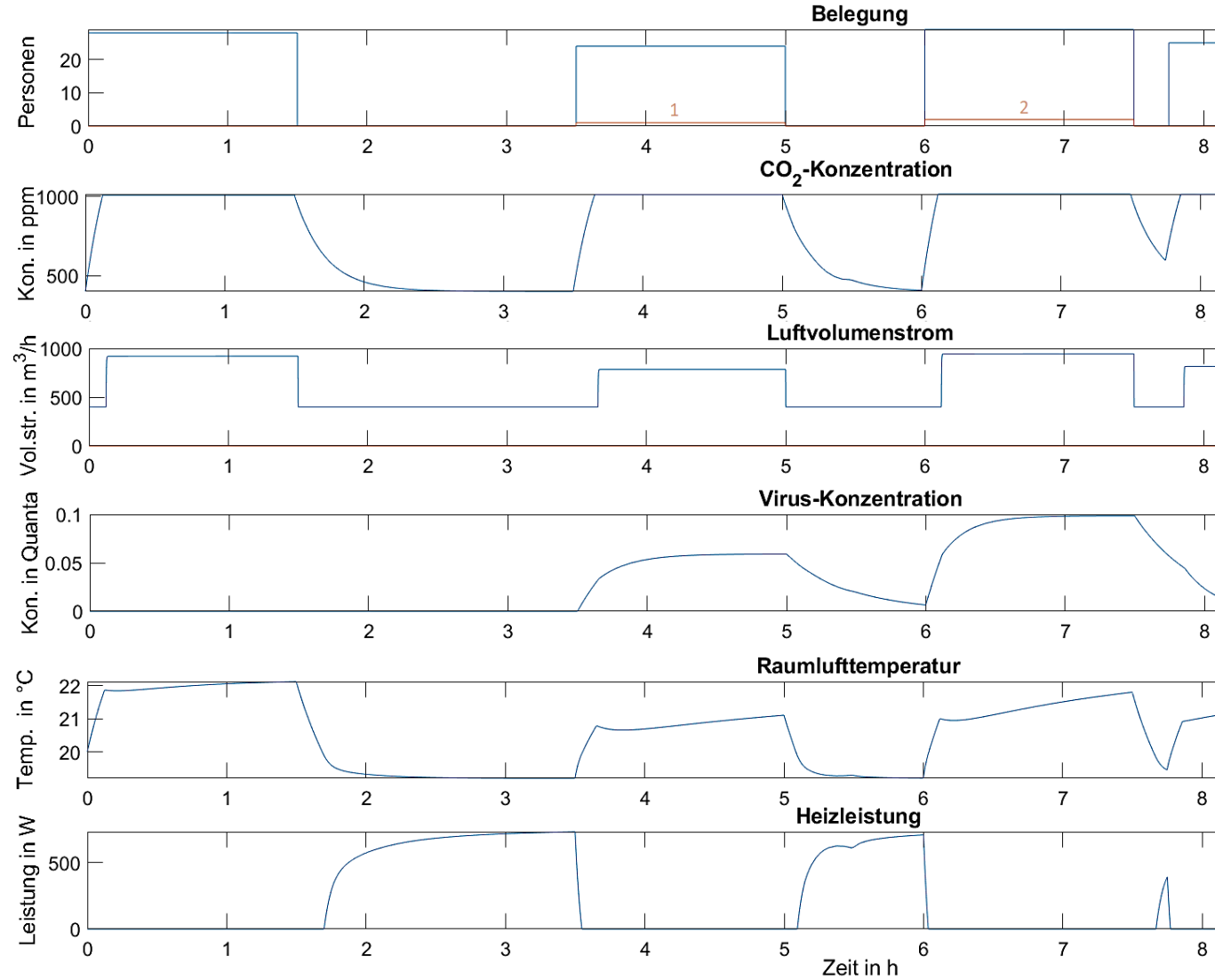
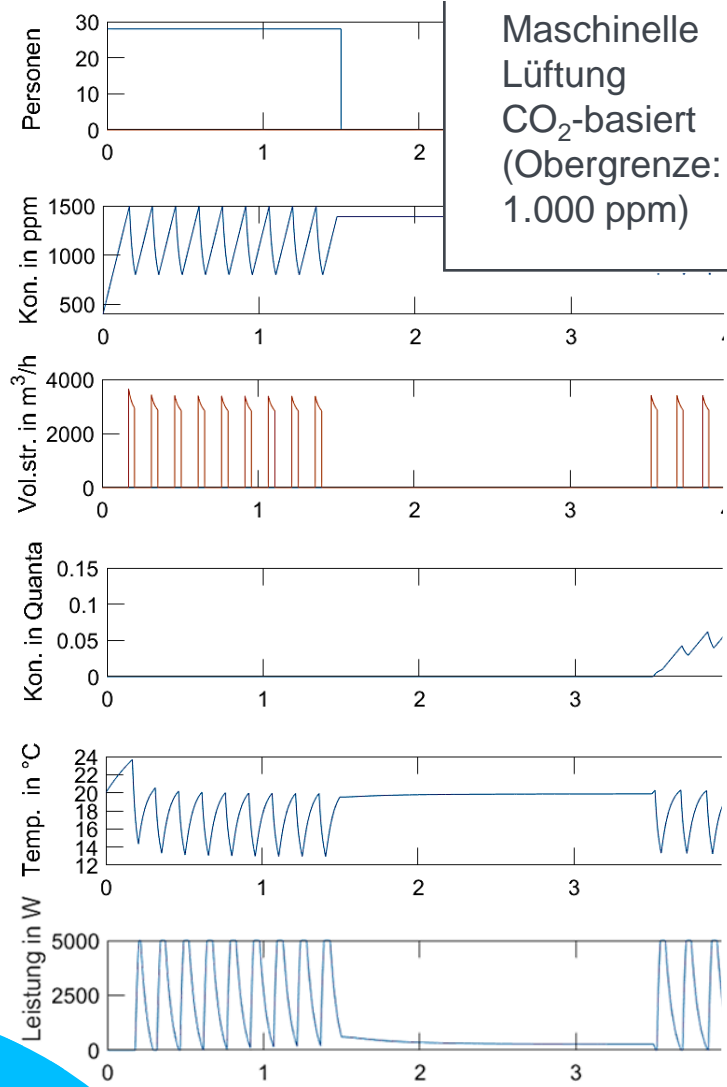


Messungen und Simulationen zum Infektionsgeschehen



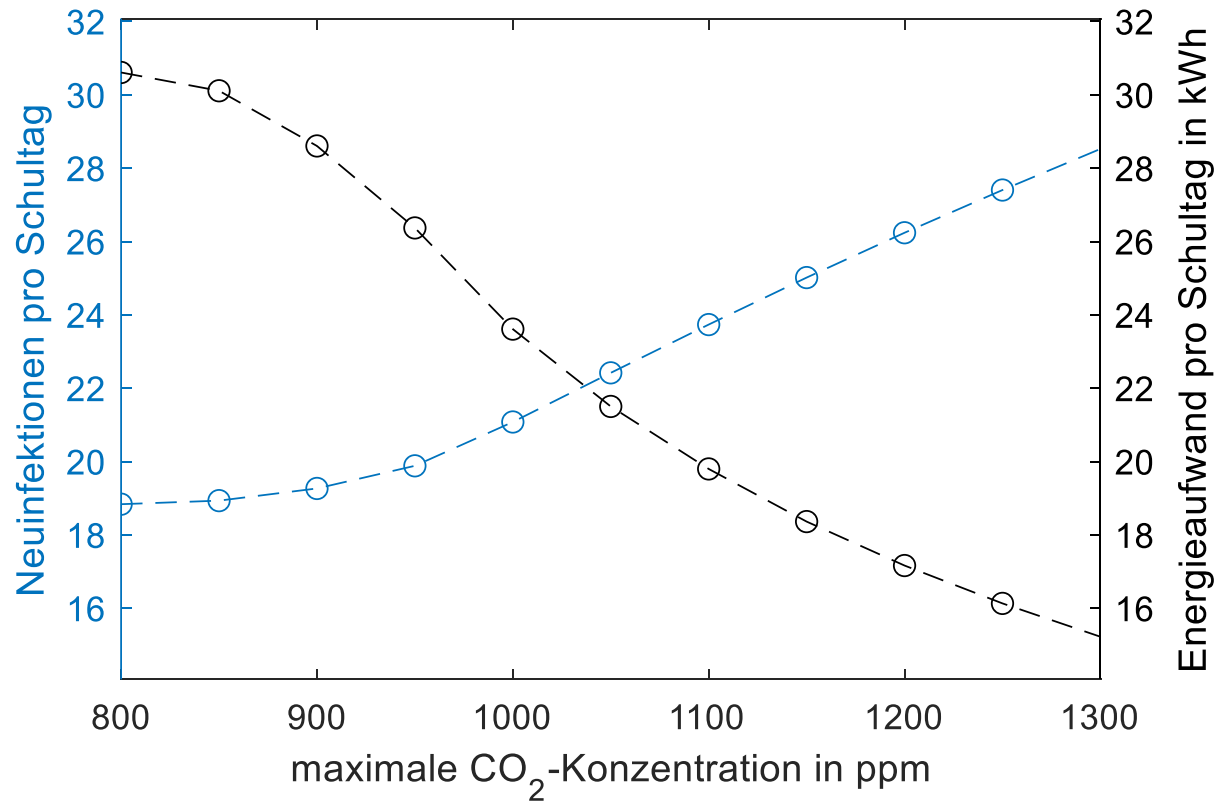
Ergebnisse eines exemplarischen Klassenraums im Vergleich

Fensterlüftung
CO₂-basiert
(Obergrenze:
1.500 ppm,
Untergrenze:
800 ppm)



Lösungsansatz des Optimierungsproblems

RLT-Betrieb - CO₂-geregelt



Beobachtungen:

- Erwartete Neuinfektionen steigen
- Energieaufwand nimmt ab
- Vergleich zweier Größen mit unterschiedlichen Einheiten

Lösungsansatz:

- Gewichtete referenzierte Zielgröße

$$\Phi = \frac{\mu_i}{\tilde{\mu}} \cdot x + \frac{W_i}{\tilde{W}} \cdot (1 - x)$$

$\frac{\mu_i}{\tilde{\mu}}$: Verhältnis Neuinfektionen pro Tag zum Mittelwert

$\frac{W_i}{\tilde{W}}$: Verhältnis Energieaufwand zum Mittelwert

x : Gewichtungsfaktor

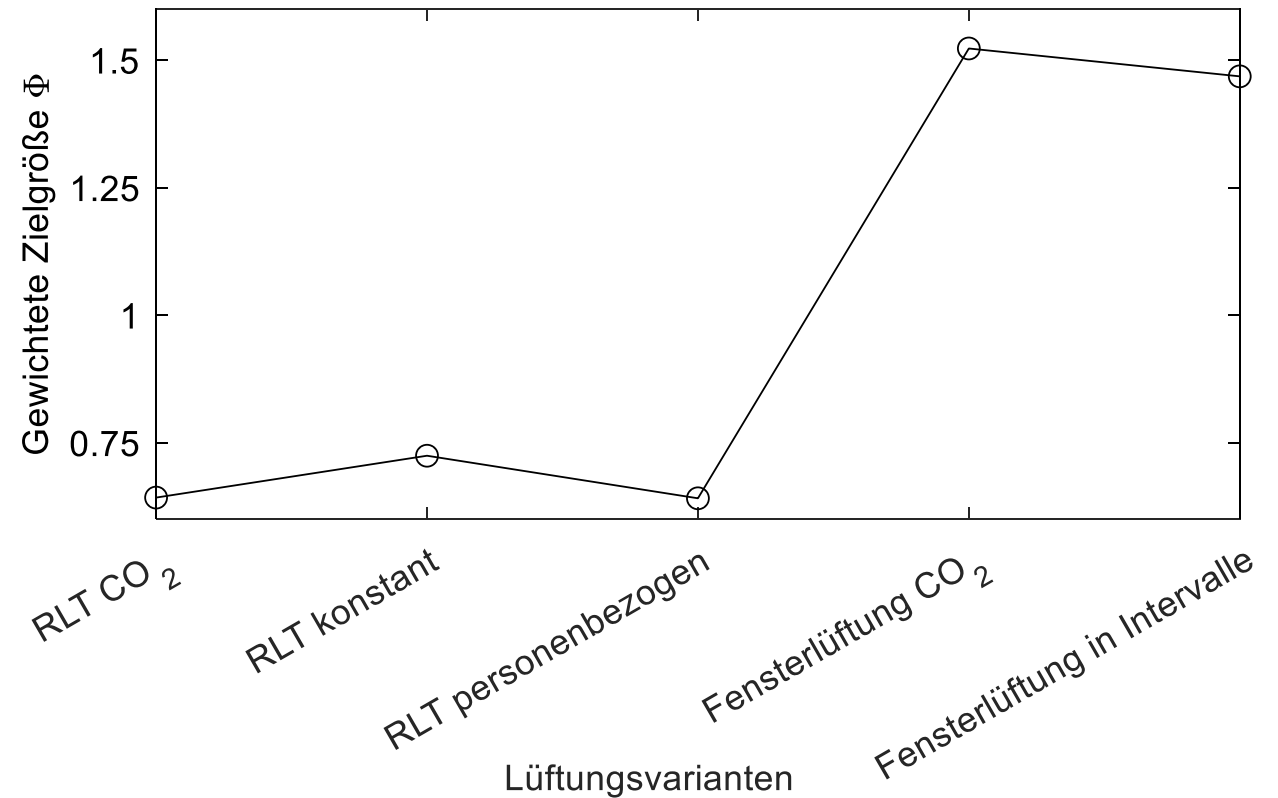
Problem:

- Wie ist der Gewichtungsfaktor zu wählen?

Gewichtete Zielgröße:

$$\Phi = \frac{\mu_i}{\tilde{\mu}} \cdot 0,5 + \frac{W_i}{\tilde{W}} \cdot (1 - 0,5)$$

Vergleich unterschiedlicher Lüftungsvarianten bei $x = 0,5$



Fazit

Zusammenfassung

- Die Lüftungswirksamkeit zu erhöhen bzw. zu prüfen sollte der erste Schritt sein.
 - Örtlich und zeitlich aufgelöste Messungen können für solch individuelle Fragestellungen sinnvoll sein
 - Validierte Simulationen können Antworten auf verschiedenste Fragen liefern und sind schnell anpassbar

- Zielkonflikt „Gesundheit vs. Energieaufwand“
 - Einen Lösungsansatz gibt es, das Problem bleibt die Wahl der richtigen Gewichtung
 - Wie viele Neuinfektionen sind in bestimmten Szenarien akzeptabel und ethisch vertretbar?
 - Wie ist der Energiebedarf in verschiedenen Szenarien zu bewerten?

- ➔ Für gesamtheitliche Aussagen bedarf es umfangreicher Modelle, die u.a. Pandemiedaten, Personenbewegungen und ingenieurstechnische Aspekte beinhalten



Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)

Bildung braucht ... ein Optimum Das Spannungsfeld zwischen Gesundheit und Energie



Michael Müller

E-Mail michael.mueller@igte.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685 - 62055

www.igte.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung

70550 Stuttgart





Michael Müller, M.Sc.

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und
Energiespeicherung (IGTE), Universität Stuttgart
Arbeitsgruppe „Raumklimatechnik“



**HEINZ TROX
STIFTUNG**