

Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)

Anlage 2_Vorlage 152/21

Pilotprojekt zu Luftreinigern an Schulen in Sindelfingen

April 2021

**Prof. Dr.-Ing. K.
Stergiaropoulos**



Inhalt

Übersicht

- Einleitung und Theorie
- Untersuchte Klassenräume
- Messkonzept Stoffausbreitung im Raum (Spurengas/Testaerosol)
- Messkonzept Behaglichkeit
- Messkonzept Schall (Schalldruckpegel)
- Auswertung
- Erkenntnisse

Einleitung

Warum eine Messkampagne in Schulen?

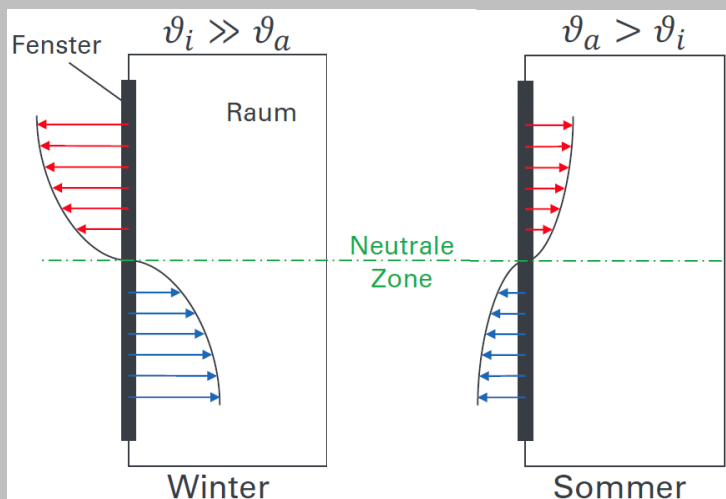
- Noch immer hohe Fallzahlen von SARS-CoV-2-Infektionen
- Wie hoch ist die Infektionsgefahr in Klassenräumen?
- Welche Maßnahmen sind wirkungsvoll?
- Bewertung von Luftreinigern, Fensterlüftung und des Betriebs von Lüftungsanlagen hinsichtlich der Infektionsgefahr.

Theorie

Drei Maßnahmen und ihre Wirkprinzipien

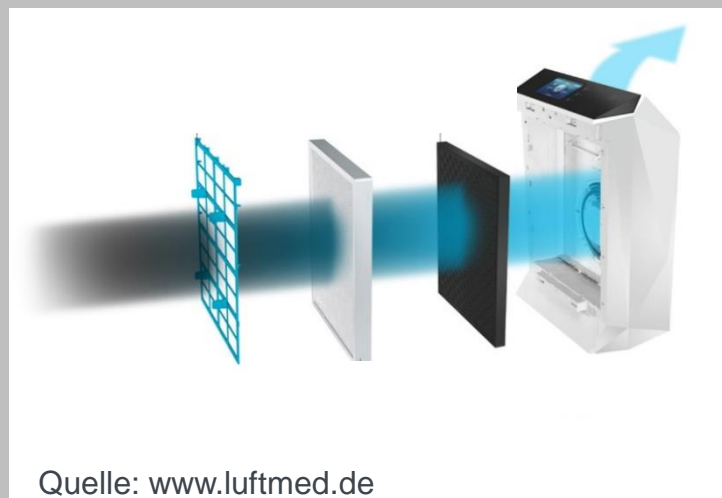
Fensterlüftung

- Außenluftzufuhr
- Unkontrollierter (wetterabhängiger) Lufttransport aufgrund eines thermisch bedingten Dichteunterschieds und Winddrücken
- Lüftungswärmeverluste



Luftreiniger

- **Keine** Außenluftzufuhr
- Sekundärluft wird im Raum umgewälzt und dabei von Partikeln befreit
- kontinuierlicher Volumenstrom



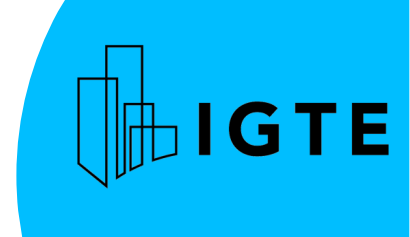
Lüftungsanlage

- Außenluftzufuhr
- Kontrollierter (wetterunabhängiger) Lufttransport aufgrund einer Druckerhöhung in einem Ventilator
- Reduzierter Lüftungswärmeverlust aufgrund Wärmerückgewinnung



Messkonzept (1/2)

Übersicht



GS Königsknoll



GMS Goldberg



Unterrieden Gymnasium



Untersuchte Klassenräume

Übersicht

GS Königsknoll	
Raumdaten	
Raumvolumen	222 m ³
Raumfläche	72 m ²
Gesamtöffnungsfläche der Fenster	9,6 m ²
Nutzbarer Anteil	100 %
Luftreiniger	
Hersteller	Vallox
Typ	AirCAREs AC 1750
Volumenstrom	1.250 m ³ /h
$n_{\text{Sekundär}}^{1)}$	5,7 h ⁻¹

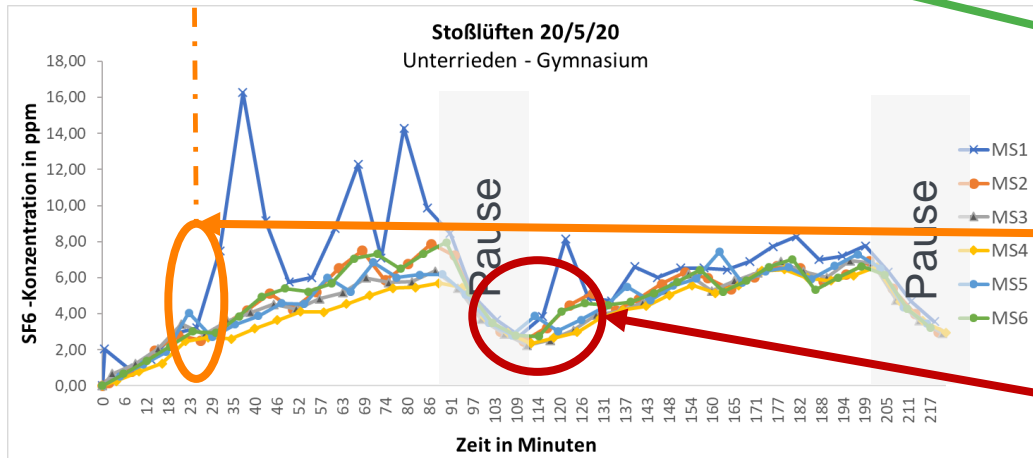
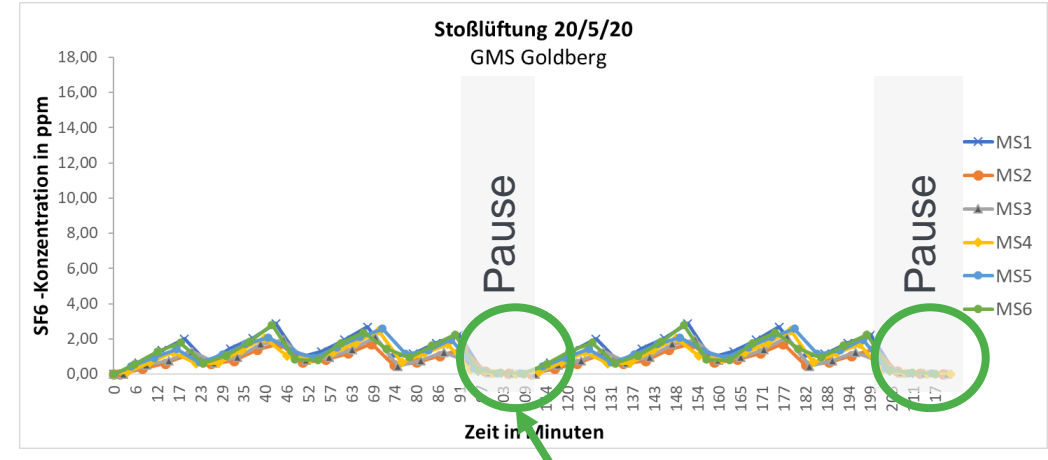
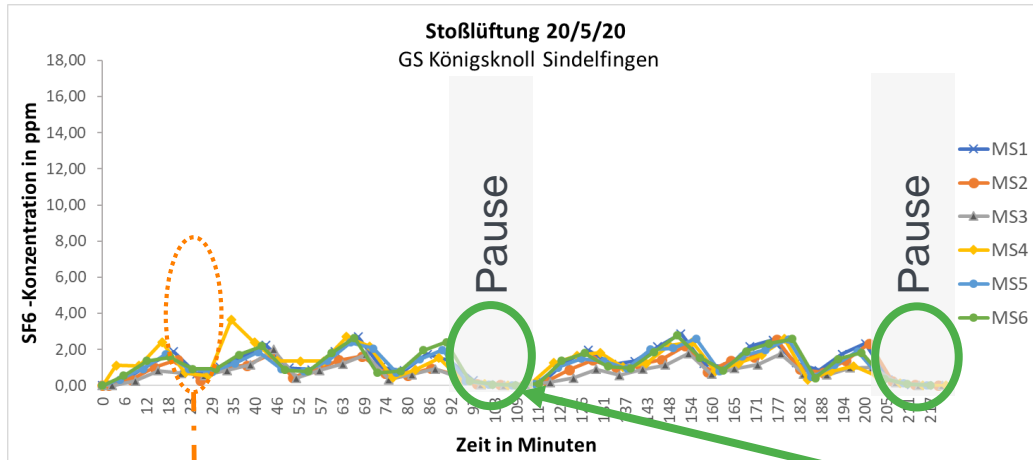
GMS Goldberg	
Raumdaten	
Raumvolumen	216 m ³
Raumfläche	71 m ²
Gesamtöffnungsfläche der Fenster	11,4 m ²
Nutzbarer Anteil	60 %
Luftreiniger	
Hersteller	AFS
Typ	AFS 2000 RLO
Volumenstrom	1.200 m ³ /h
$n_{\text{Sekundär}}^{1)}$	5,6 h ⁻¹

Unterrieden Gymnasium	
Raumdaten	
Raumvolumen	166 m ³
Raumfläche	57 m ²
Gesamtöffnungsfläche der Fenster	0,3 m ²
Nutzbarer Anteil	100 %
Luftreiniger mit Außenluftanteil	
Hersteller	Viessmann
Typ	Vitovent 200-P
Volumenstrom	800 m ³ /h
$n_{\text{Primär} + \text{Sekundär}}^{1)}$	4,8 h ⁻¹

¹⁾ Der Sekundärluftwechsel ist eine im Rahmen der Studie entwickelte Kennzahl zur Bewertung eines Luftreinigers für einen bestimmten Raum. Er gibt an, wie groß der Volumenstrom der gefilterten Luft bezogen auf das Gesamtvolumen des Raumes ist.

Auswertung (1/9)

Vergleich Tracergas-Konzentrationsverlauf



Die vorliegende SF6-Konzentration kann mittels Stoßlüftung abgeführt werden.

Bei nicht ausreichender Fensterfläche hat die Fensterlüftung einen geringen Einfluss.

Das potentielle Infektionsrisiko ist bei nicht ausreichender öffentlicher Fensterfläche für die darauffolgende Unterrichtsstunde höher.

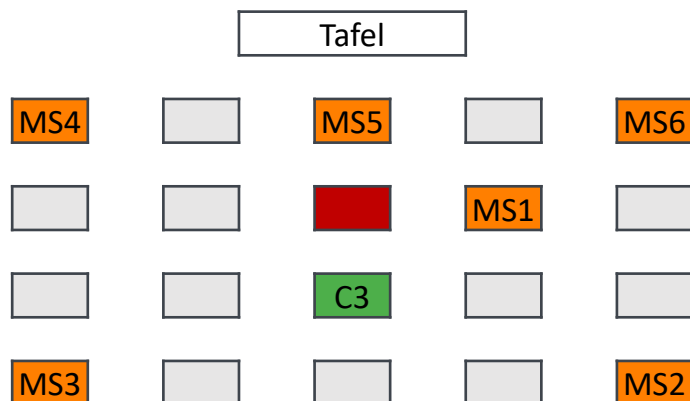
Zwischenfazit

- Das Lüften in den Pausen ist **zwingend erforderlich**, um die Aerosolkonzentration für den darauffolgenden Unterricht weitestgehend gegen null zu senken.
- Bei nicht ausreichender Fensterfläche sollten die Räume länger als die Pausenzeit (20 Minuten) gelüftet werden! Bzw. evtl. **Nachrüstung größerer öffentlicher Fensterquerschnitte** prüfen.

Auswertung am Beispiel der GS Königsknoll (3/9)

Stoffliche Exposition über eine Doppelstunde

Messstellenanordnung



- LR Vallox AirCAREs AC 1750
- SF6/DEHS-Freisetzung
- SF6 und OPC-Messstellen 1-6
- ... belegte Plätze, L = Lehrer
- ... nicht belegte Plätze
- 1 Tisch
- Messstelle „Frog“

$$V_R = 222 \text{ m}^3$$

$$A_{F, \text{öff}} = 9,6 \text{ m}^2$$

$$A_{F, \text{öff}} / V_R = 0,043 \text{ 1/m}$$

$$\dot{V}_{LR} = 1.250 \text{ m}^3/\text{h}$$

Messstelle	Stoßlüftung 20/5/20	Stoßlüftung 10/2,5/10	Betrieb Luftreiniger
-	PIRA in %	PIRA in %	PIRA in %
MS 1	12	8	5
MS 2	9	5	-
MS 3	7	3	4
MS 4	14	9	3
MS 5	12	10	3
MS 6	13	7	4
C3 Frog	-	-	6

$$PIRA = 1 - e^{-Q}$$

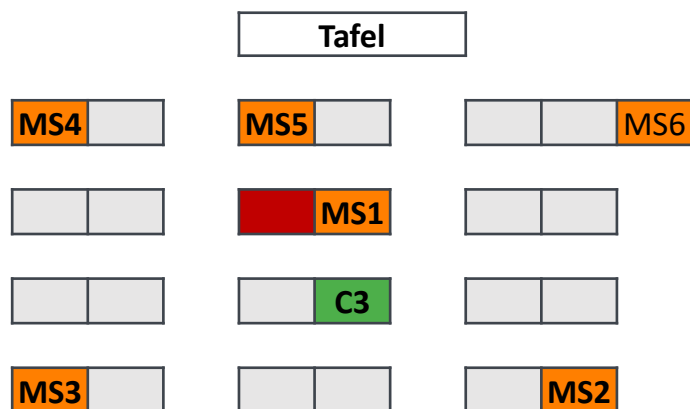
➤ Je geringer die Zahl PIRA, desto geringer das Infektionsrisiko auf diesem Platz

$n_{\text{Sekundär}}$ = Sekundärluftwechsel

Auswertung am Beispiel der GMS Goldberg (4/9)

Stoffliche Exposition über eine Doppelstunde

Messstellenanordnung



- LR AFS 2000 RLO
- SF6/DEHS-Freisetzung
- SF6 und OPC- Messstellen 1-6
- ... belegte Plätze, L = Lehrer
- ... nicht belegte Plätze
- 1 Tisch
- Messstelle „Frog“

$$V_R = 216 \text{ m}^3$$

$$A_{F, \text{öff}} = 6,8 \text{ m}^2$$

$$A_{F, \text{öff}} / V_R = 0,031 \text{ 1/m}$$

$$\dot{V}_{LR} = 1.200 \text{ m}^3/\text{h}$$

Messstelle	Stoßlüftung 20/5/20	Betrieb Luftreiniger ($n_{\text{Sekundär}} = 5,6$)	Betrieb Luftreiniger ($n_{\text{Sekundär}} = 3,0$)
-	PIRA in %	PIRA in %	PIRA in %
MS 1	14	4	23
MS 2	9	4	23
MS 3	9	5	15
MS 4	11	6	17
MS 5	12	5	21
MS 6	13	4	19
C3 Frog	-	9	11

$$PIRA = 1 - e^{-Q}$$

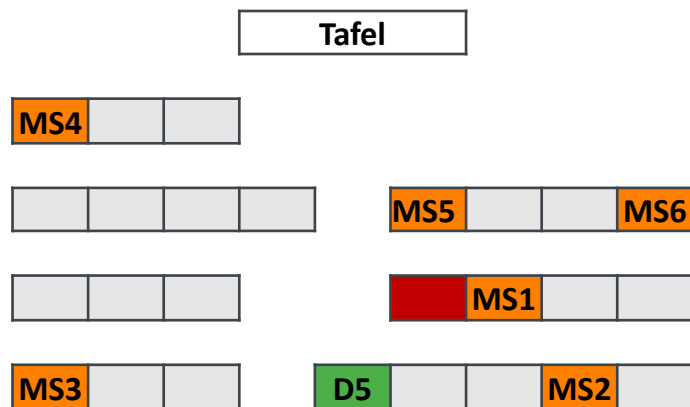
➤ Je geringer die Zahl PIRA, desto geringer das Infektionsrisiko auf diesem Platz

$n_{\text{Sekundär}}$ = Sekundärluftwechsel

Auswertung am Beispiel der Schule Unterrieden (5/9)

Stoffliche Exposition über eine Doppelstunde

Messstellenanordnung



- LR** Viessmann Vitovent 200-P
- Red** SF6/DEHS-Freisetzung
- Orange** SF6 und OPC-Messstellen 1-6
- Grey** ... belegte Plätze, L = Lehrer
- White** ... nicht belegte Plätze
- White** 1 Tisch
- Green** Frog Messstelle

$$V_R = 166 \text{ m}^3$$

$$A_{F, \text{öff}} = 0,29 \text{ m}^2$$

$$A_{F, \text{öff}} / V_R = 0,001 \text{ 1/m}$$

$$\dot{V}_{LR} = 800 \text{ m}^3/\text{h}$$

Messstelle	Stoßlüftung 20/5/20	Luftreiniger mit Außenluftanteil
-	PIRA in %	PIRA in %
MS 1	52	5
MS 2	36	-
MS 3	32	5
MS 4	29	5
MS 5	34	6
MS 6	37	6
D5 Frog	-	10

$$PIRA = 1 - e^{-Q}$$

➤ Je geringer die Zahl PIRA, desto geringer das Infektionsrisiko auf diesem Platz

$n_{\text{Sekundär}}$ = Sekundärluftwechsel

Zwischenfazit

- Die Stoßlüftung mit 10/2,5/10 eignet sich besser als 20/5/20.
 - Eine Verkürzung des Lüftungsintervalls wirkt sich positiv aus.
- Luftreiniger mit $n_{\text{Sekundär}} = 5,6 \text{ h}^{-1}$ weist etwas **geringeres** Risiko gegenüber Stoßlüftung auf.
- Luftreiniger mit $n_{\text{Sekundär}} = 3,0 \text{ h}^{-1}$ weist etwas **höheres** Risiko gegenüber Stoßlüftung auf.
- Luftreiniger **mit Außenluftanteil (Lüftungsanlage)** wirkt bei geringer Fensterfläche (Spezialfall: Unterrieden) gegenüber Stoßlüftung besser.

Hinweis:

- Raumluftqualität hinsichtlich CO₂ und Feuchte kann durch den Luftreiniger nicht beeinflusst werden!
→ **CO₂-Ampeln können genutzt werden, um Fensterlüftungsintervalle festzulegen.**
- Behaglichkeitskriterien (Zugluftrisiko, Akustik) noch nicht berücksichtigt!

Auswertung (6/9)

Behaglichkeit und Schall (Lautstärke)

Behaglichkeit

Messgrößen:

- **Lufttemperatur**
- **Luftgeschwindigkeit**

Messpositionen:

- Messraster (Schachbrettmuster)
- jeweils auf 4 verschiedenen Höhen

Schall (Lautstärke)

Messgrößen:

- **Schalldruckpegel** in dB (A)

Messpositionen:

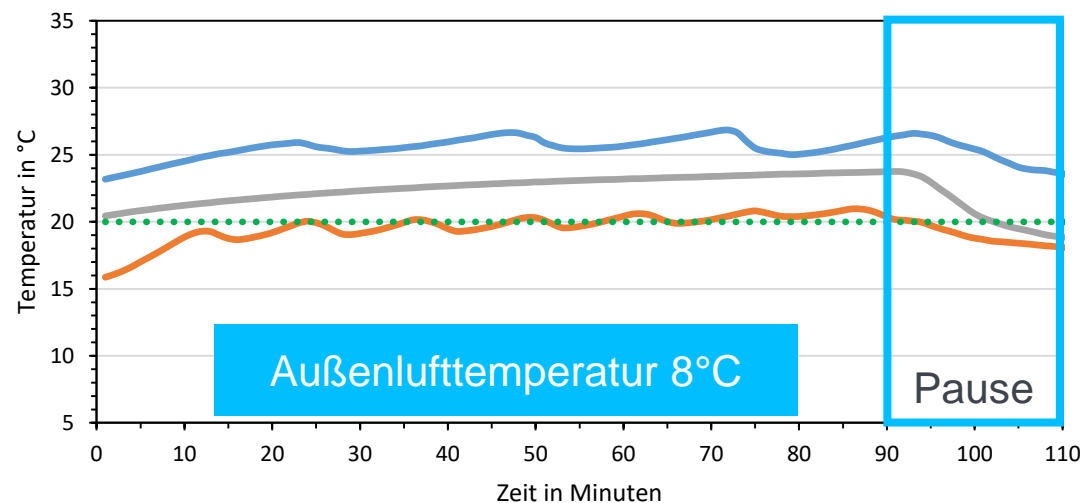
- Messraster (Schachbrettmuster)
- Auf Höhe 1,1 m

Luftfeuchtemessungen werden nicht durchgeführt, da keine Feuchtequellen (Schüler) anwesend.

Auswertung (7/9)

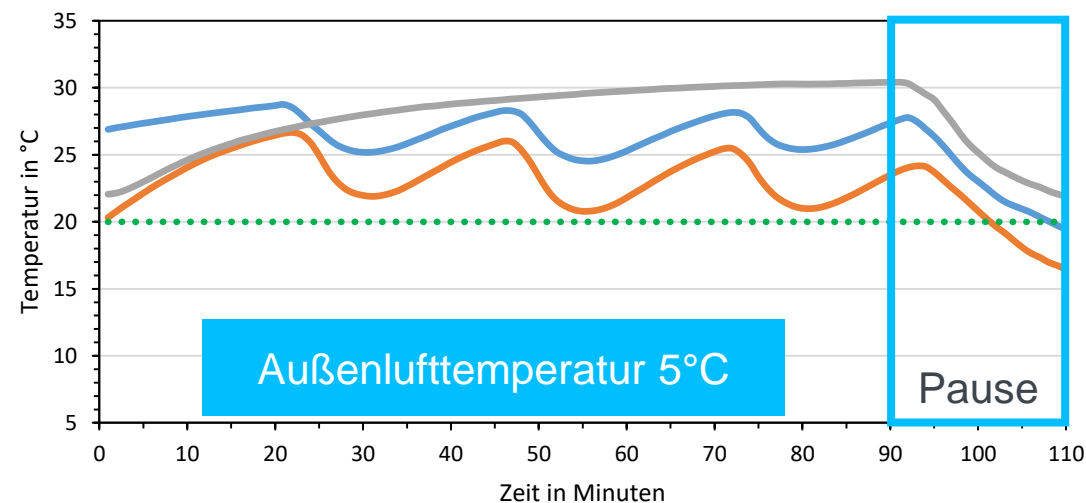
Behaglichkeit - Temperaturen

Temperaturverlauf über eine Doppelstunde
GS Königsknoll



— Stoßlüftung 20/5/20 — Stoßlüftung 10/2,5/10
— Betrieb Luftreiniger Raumsolltemperatur

Temperaturverlauf über eine Doppelstunde
GMS Goldberg



— Stoßlüftung 20/5/20 — Querlüftung 20/5/20
— Betrieb Luftreiniger Raumsolltemperatur

Zwischenfazit

- Die Raumtemperatur nimmt bei den vorliegenden Außentemperaturen durch die Fensterlüftung nur leicht ab.

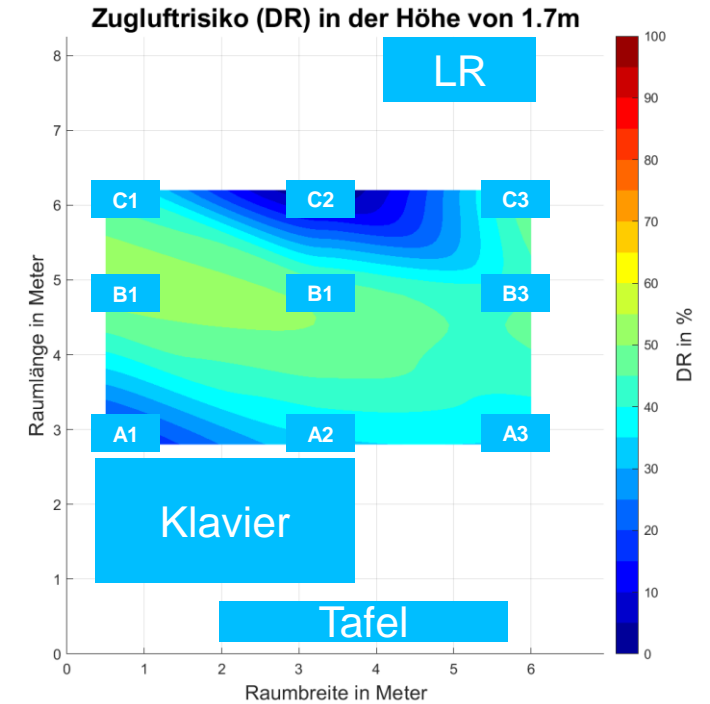
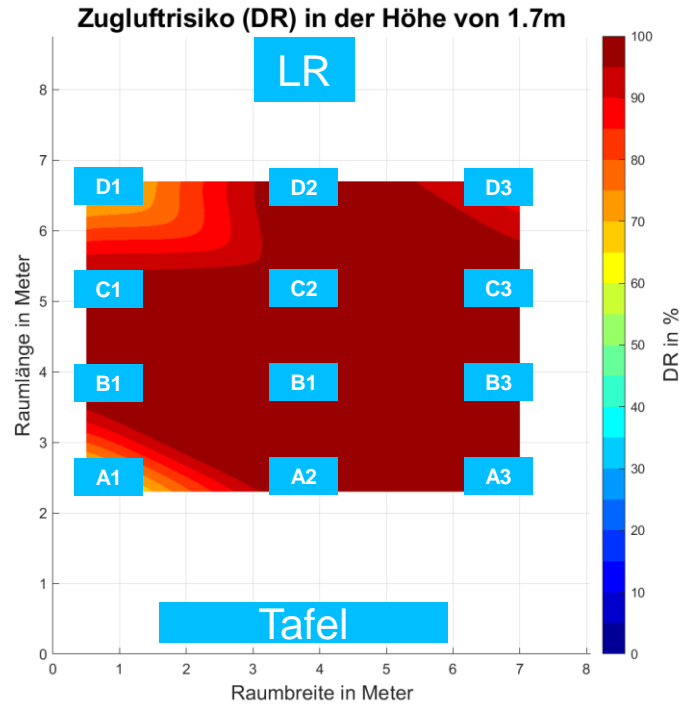
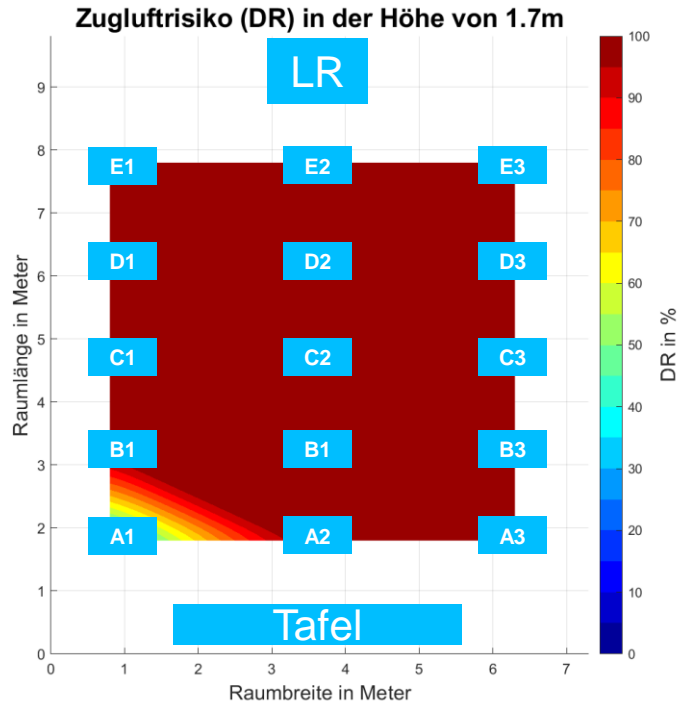
Auswertung (8/9)



Behaglichkeit - Luftgeschwindigkeiten

GS Königsknoll

GMS Goldberg

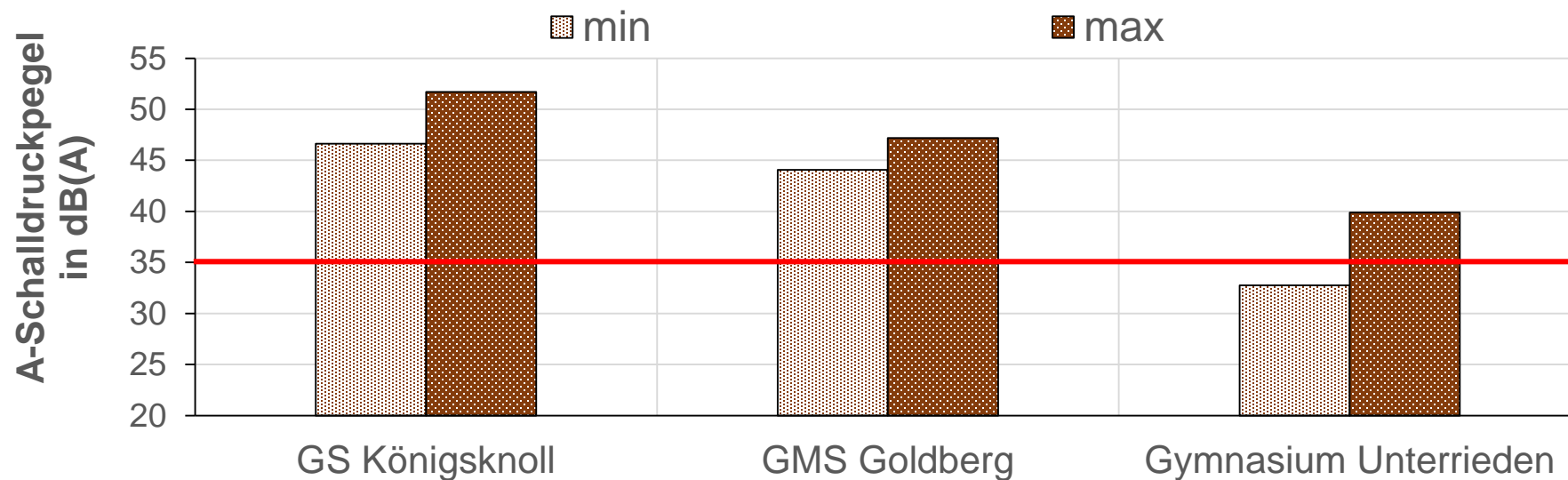
Unterrieden Gymnasium



-  Messstelle
-  Luftreiniger

Zwischenfazit

- Bei den eingestellten $n_{\text{Sekundär}}$ der Luftreiniger zeigt sich, dass die Klassenräume Königsknoll und Goldberg ein erhöhtes Zugluftrisiko aufweisen.
- Das Klassenzimmer in Unterrieden zeigt nur ein geringes Zugluftrisiko.



 **max:** Maximalwert des gemessenen A-bewerteten Schalldruckpegels

 **min:** Minimalwert des gemessenen A-bewerteten Schalldruckpegels

**GS
Königsknoll**

$n_{\text{Sekundär}}=6,2$

**GMS
Goldberg**

$n_{\text{Sekundär}}=5,4$

**Gymnasium
Unterrieden**

$n_{\text{Sekundär}}=4,9$

Zwischenfazit

- Bei den eingestellten $n_{\text{Sekundär}}$ der Luftreiniger zeigt sich, dass die Nutzer der Klassenräume durch den Betrieb einem zu hohen Schalldruckpegel ($> 35 \text{ dB(A)}$) ausgesetzt sind.

Allgemeine Erkenntnisse

Zusammenfassung (1/2)

- Das Lüften in den Pausen ist zwingend erforderlich, um die Aerosolkonzentration für den darauffolgendem Unterricht weitestgehend gegen null zu senken.
- Ein verkürztes Lüftungsintervall bewirkt eine Reduzierung der Infektionsgefahr.
- Der unmittelbare Nachbar zum Infektiösen ist bei Fensterlüftungen einer leicht höheren Viren-Belastung ausgesetzt.
- Masken senken sowohl den aus- als auch den einatmenden Partikel- und damit Virenstrom deutlich.
- Die Raumtemperatur nimmt bei den vorliegenden Außentemperaturen durch die Stoßlüftung nur leicht ab.

Allgemeine Erkenntnisse

Zusammenfassung (2/2)

- Luftreiniger können das Senken der Aerosolkonzentration bei schlecht lüftbaren Räumen unterstützen. Sie können das Lüften (CO₂- und Feuchteabtransport) nicht ersetzen. CO₂-Ampeln können helfen Fensterlüftungsintervalle zu bestimmen.
- Die vermessenen Luftreiniger haben bei den Luftströmen, die für eine schnelle Abscheidung notwendig sind, zu hohe Schallemissionen und Luftgeschwindigkeiten (Zugerscheinung).
- Bei Luftreinigern wirkt sich eine Steigerung des Abscheidegrads gegenüber einer Volumenstromsteigerung nur sehr geringfügig auf die Senkung des Infektionsrisikos aus.

Fazit

Überblick

- Der Luftaustausch über Fenster ist eine sehr geeignete, einfach umzusetzende und kostengünstige Maßnahme um Aerosolkonzentrationen im Raum zu verringern.
- Nachhaltige Lösung sind RLT-Anlagen mit Wärmerückgewinnung zur Sicherstellung der Innenraumluftqualität (CO₂, Feuchte, ...) und Energieeinsparung.
- Luftreiniger können eine Unterstützung sein, abhängig von den Rahmenbedingungen:
 - Natürliche Lüftungsmöglichkeiten unzureichend gegeben
 - Nutzungsintensität (Schülerzahl und Unterrichtsart)
- **Empfehlung 1: Kurzfristige Verbesserung der natürlichen Be- und Entlüftung durch Vergrößerung von offenbaren Fensterflächen**
- **Empfehlung 2: Unterstützung von Luftreinigern bei schlecht belüftbaren Räumen**
- **Empfehlung 3: Maschinelle Lüftungsanlagen als Ideal**



Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit Fragen?

Prof. Dr.-Ing Konstantinos Stergiaropoulos

E-Mail Konstantinos.stergiaropoulos@igte.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685 - 62084

www.igte.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung

70550 Stuttgart

