

Optimierung maschineller Luftführungskonzepte in Schulen

Anders Berg, M.Sc.

Wissenschaftlicher Mitarbeiter

Institut für Gebäudeenergetik,
Thermotechnik und Energiespeicherung
(IGTE), Universität Stuttgart



Berlin, 28./29. Januar 2021



Gliederung

- Vorstellung des Forschungsvorhabens OLIS
- Anforderungen an die Schullüftung
- Festgelegter Referenzklassenraum
- Validierung der CFD-Simulationen
- Simulationsbeispiel
- Ergebnisse
- Diskussion und Ausblick

Forschungsvorhaben OLiS

- „Untersuchungen zur Optimierung maschineller Luftführungskonzepte in Schulen zwecks Verbesserung der Innenraumluftqualität, Behaglichkeit und Energieeffizienz“
- Ermittlung der Lüftungseffektivitäten von häufig eingesetzten Schullüftungskonzepten
 - Laborversuche und Strömungssimulationen (CFD)
 - ausgewählte Luftführungskonzepte am Beispiel eines Referenzklassenraums
 - Berücksichtigung der thermischen Behaglichkeit der einzelnen Personen
- Ermittlung des Energieeinsparpotentials durch verbesserte Lüftungseffektivität
 - gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulationen (TRNSYS)
- Erstellung eines Planungsleitfadens als Hilfestellung für Fachplaner

In Zusammenarbeit mit:



Gefördert durch:



www.dbu.de

FKZ:
34900/01
Laufzeit:
07/2019 bis 07/2021

Anforderungen an die Schullüftung

Hohe Belegungsdichte

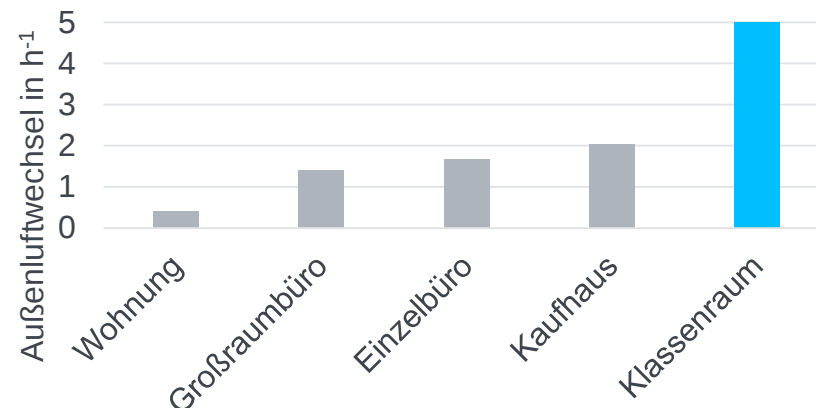
- 2...2,5 m² pro Schüler
- hohe innere Stofflasten und Wärmeabgabe
 - hoher Außenluftwechsel erforderlich ^{b)}
 - hohe Lüftungswärmeverluste im Winter

Typisches Klassenraum ^{a)}

- Raumgröße: 54...70 m²
- Schüleranzahl (Auslegung): 28...31
- Raumhöhe: 3 m

^{a)} Literaturstudie OLIS: Bauliche Anforderungen an Klassenräume in Deutschland

^{b)} Raumhöhe = 3 m; Raumluftkategorie II; schadstoffarmes Gebäude



Empfohlener Außenluftwechsel nach EN 16798-1 ^{b)}

Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung ^[1]

- 2,5 m² pro Schüler wird empfohlen
 - neue pädagogische und organisatorische Anforderungen
 - Lesecken, Schränke, PC-Arbeitsplätze
 - Inklusion

[1] Deutsche Gesetzliche Unfallversicherung e.V. (DGUV) (2014): Sichere Schule - Unterrichtsraum, DGUV, Berlin

Festgelegter Referenzklassenraum ^{a)}

Strömungssimulationen

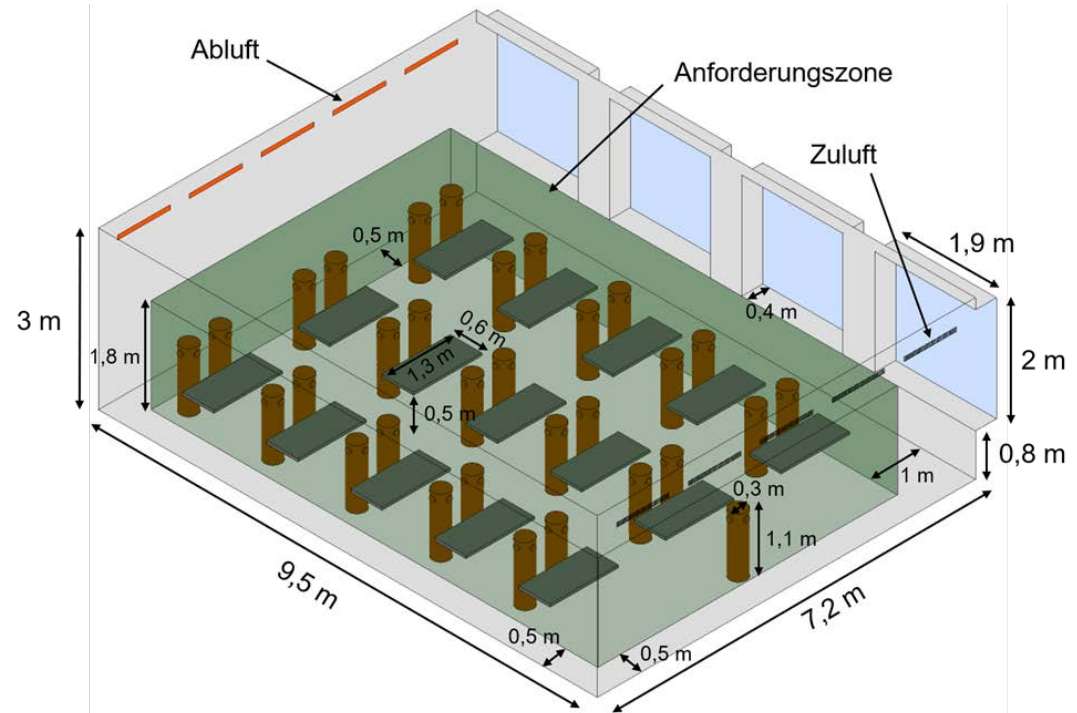
Zuluft 
Abluft 



- Raumfläche: 68 m²
- Raumhöhe: 3 m
- Schüleranzahl: 30
- Belegungsdichte: 2,3 m²/Schüler

Variationen

- 12 Lüftführungskonzepte ^{b)}
- Voll- / Teilbelegung
- Frontalunterricht, Insellösung
- Winter, Sommer und Extremtage



Referenzklassenraum

Validierung der CFD-Simulationen (1/4)

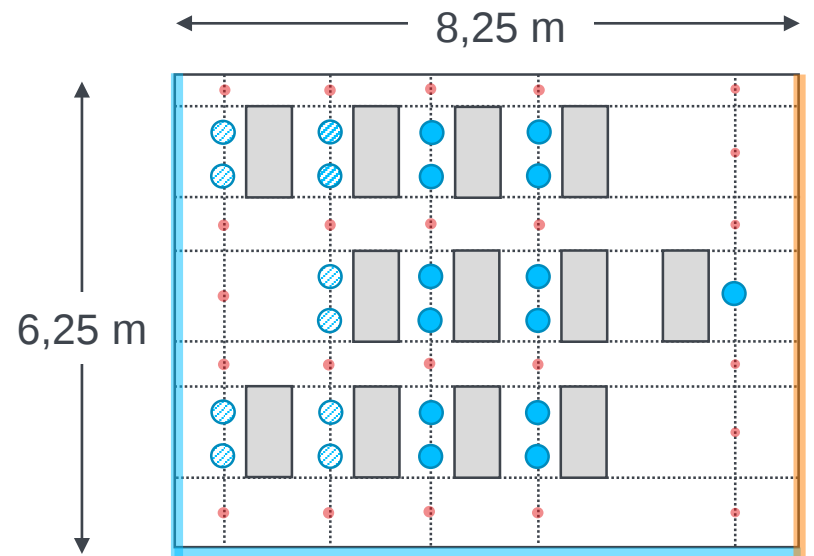
- Raumlufströmungslabor der LTG AG
- 3 Varianten/Aufbauten mit Schlitzdurchlässen
- Simulationsmodell in ANSYS Fluent

Behaglichkeitsmessungen

- Zielgrößen: Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit
- Messstellen: Punktuell im Raum in mehreren Messhöhen, Zu- und Abluft

Weitere Messungen

- Kaltnebelversuch
- Tracergas (lokaler Luftaustauschindex)



- Raum
- Fenster
- Voll- oder Teilbelegung
- Trenn- bzw. Zwischenwand
- Messstellen

Labora Aufbau mit Messstellen (Draufsicht)

Validierung der CFD-Simulationen (2/4)



Wärmedummys und Messstative im Klassenraum



Tracergaszufuhr
Zuluftkanal



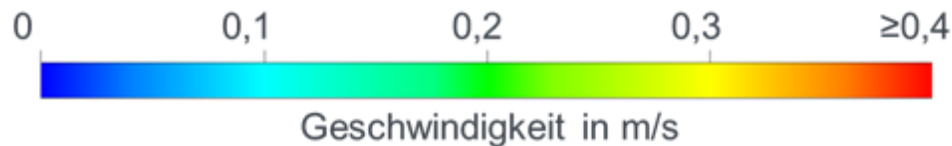
Zuluftdurchlass mit
Kaltnebelzufuhr

Validierung der CFD-Simulationen (3/4)

Belegung: 23 Dummys
 Schlitzrichtung (Winkel): versetzt (60°)
 Untertemperatur Zuluft: 5 K



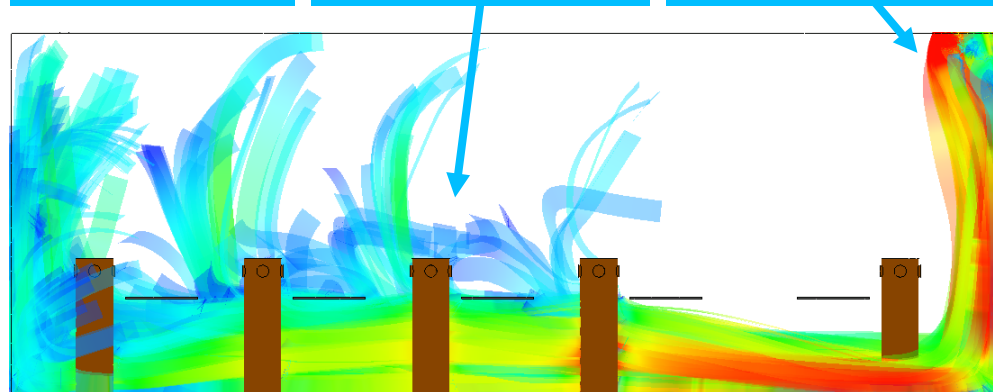
Kaltnebelversuch



Messpunkte
entsprechen
Laboraufbau

Wärmeabgabe
90 W pro Dummy

Hochaufgelöste
Zuluftgeometrien
(Vorsimulationen)



Ergebnisse der Strömungssimulation

Validierung der CFD-Simulationen (4/4)

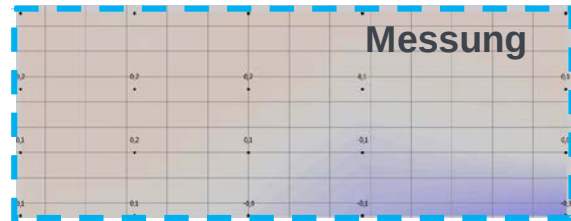
Zuluft



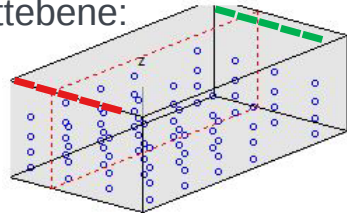
Abluft



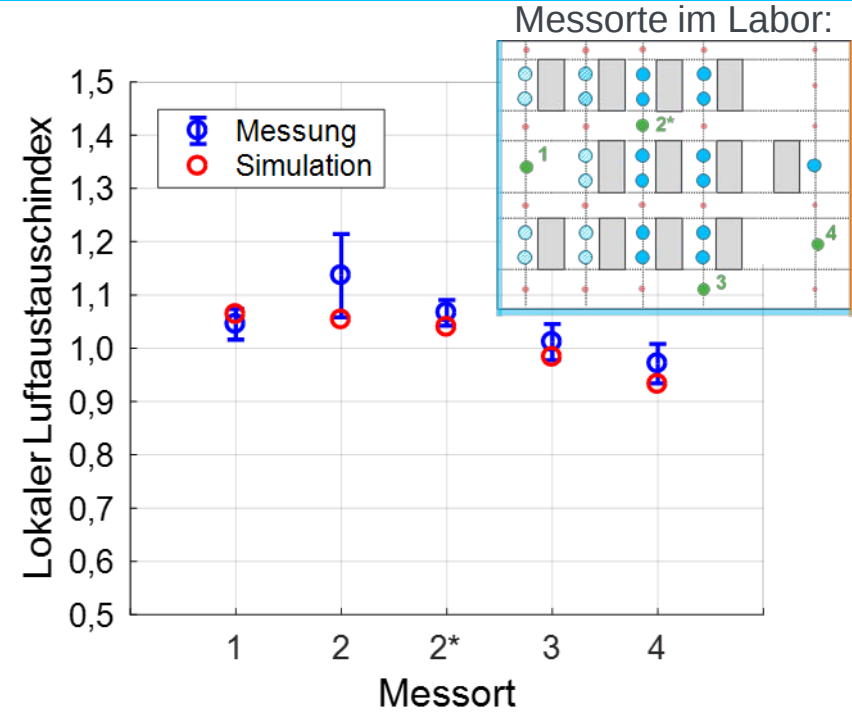
Auswertung: Predicted Mean Vote (PMV)



Schnittebene:

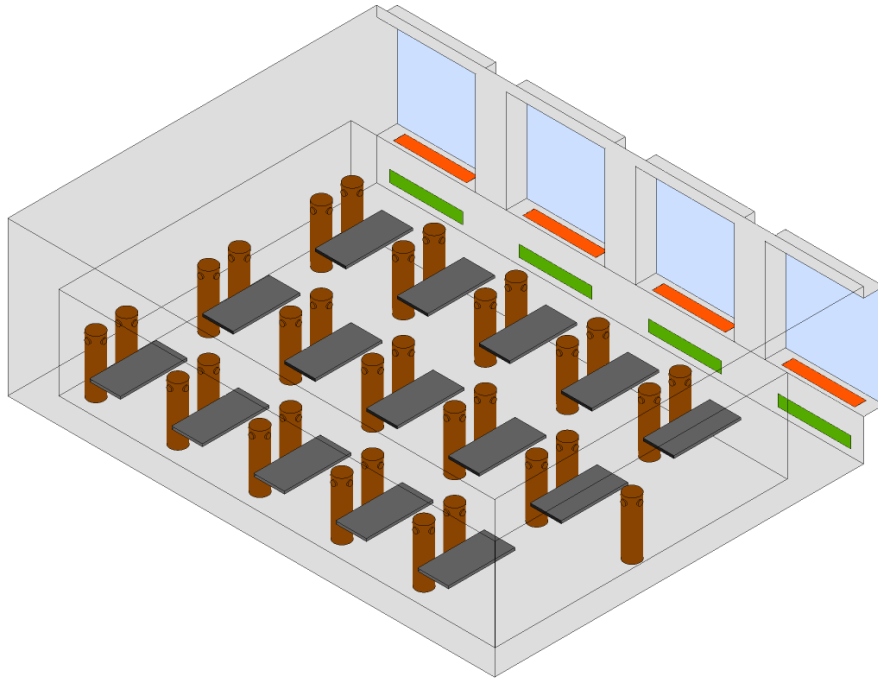


Tracergasmessung





Brüstungsgerät - Fensterseite (Frontalunterricht, Vollbelegung)

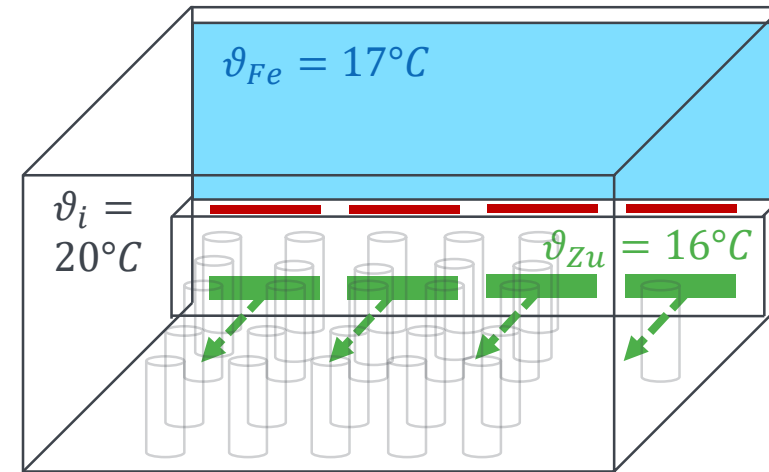


Randbedingungen - Winter



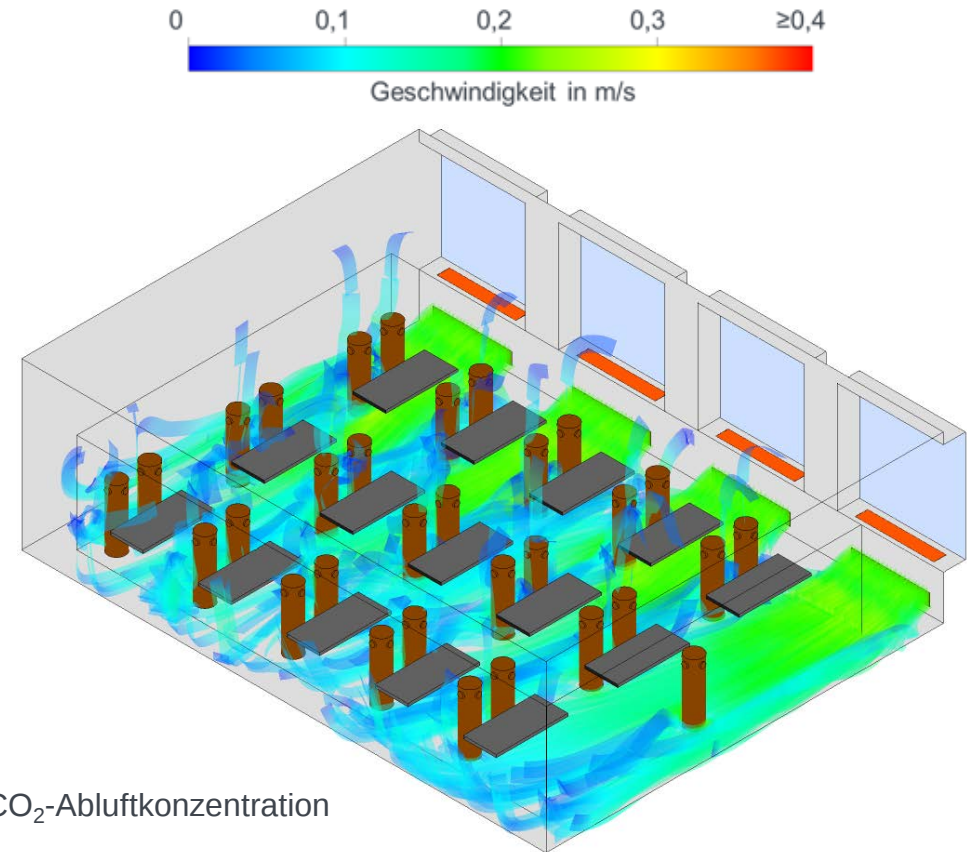
- Baustandard: EnEV 2016
- keine solaren Wärmeeinträge
- mit WRG ($\Phi=0,8$)

$$\vartheta_a = -3^\circ\text{C}$$



Strömungsbild

- Schichtlüftung
- Zuluft mit niedriger Geschwindigkeit
- Zuluftdurchlässe direkt an der Anforderungszone
- Wärmequellen maßgebend für die Raumluftrömung
- Lüftungseffektivität: $\varepsilon = \frac{c_{AB}}{c_{AZ}} = 1,9$

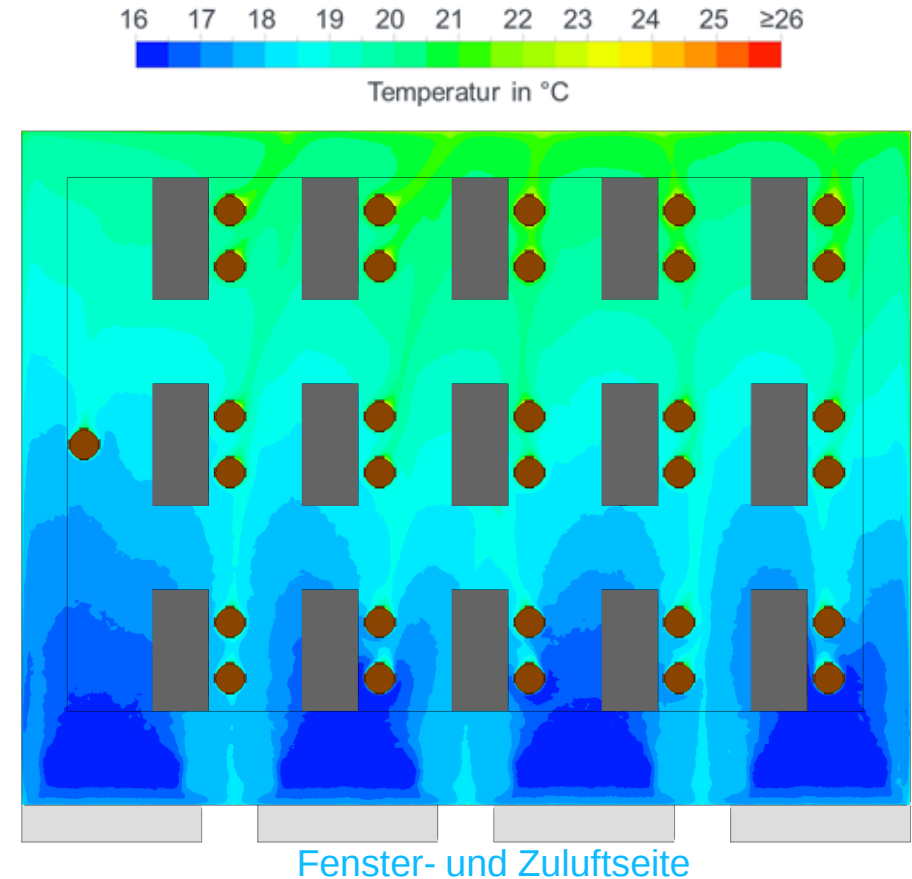


c_{AB} : CO₂-Abluftkonzentration

c_{AZ} : CO₂-Konzentration in der Anforderungszone

Temperaturverteilung (Draufsicht)

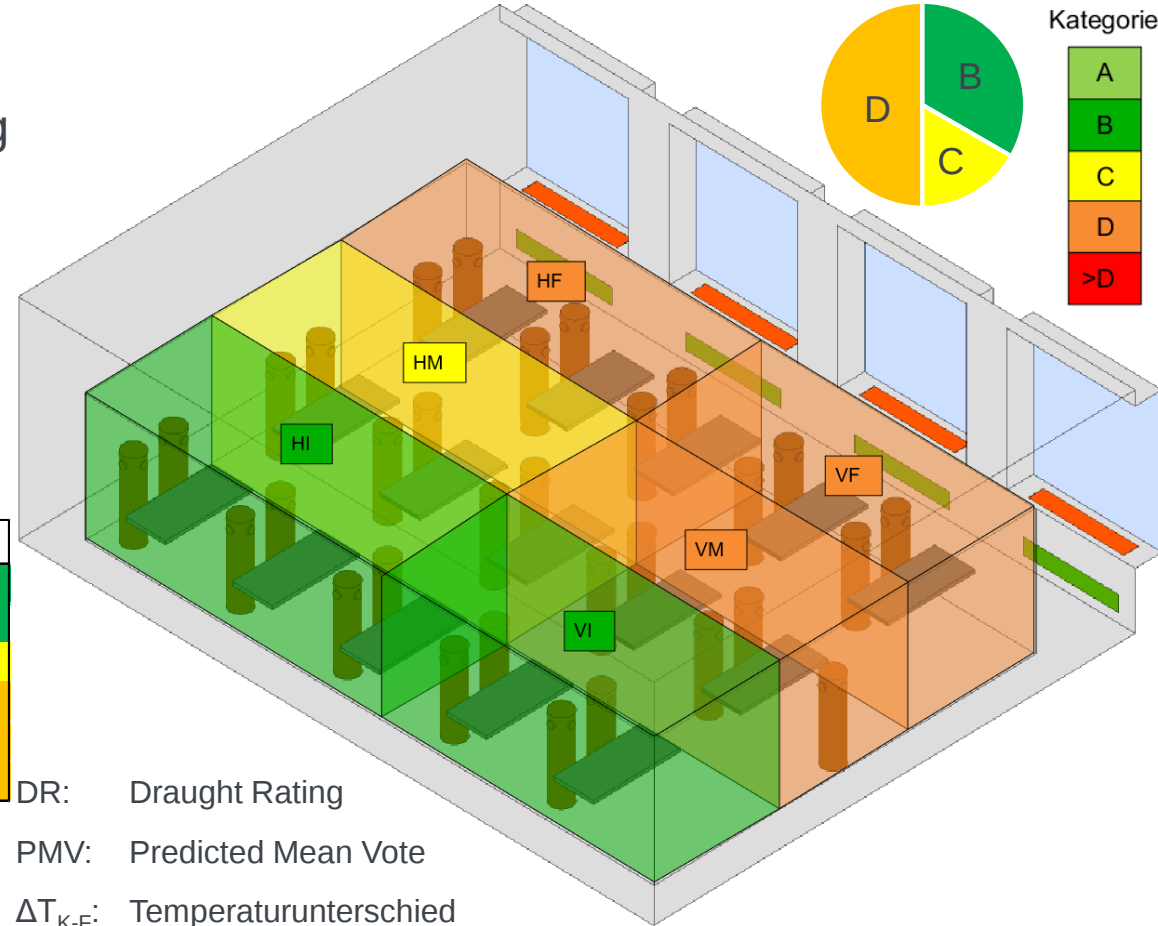
- Kalte Zuluft (16°C) in der Anforderungszone
- Kontinuierliche Erwärmung der Außenluft mit der Raumtiefe
- Thermische Behaglichkeit kritisch am Fenster



Bewertung nach EN 16798-1 (2018)

- Gesamt- und zonenweise Betrachtung
- „Schlechtwert“ maßgebend für Gesamtkategorie
- Direktvergleich der Luftführungskonzepte möglich
 - Lüftungseffektivität und Behaglichkeit

Zone	CO ₂ in ppm	DR in %	PMV [-]	ΔT_{K-F} in K	Kategorie
HI	196	2	-0,2	2,6	B
VI	216	1	-0,3	3,0	B
HM	194	2	-0,2	3,9	C
VM	213	2	-0,3	4,0	D
HF	187	2	-0,4	4,9	D
VF	214	2	-0,4	5,0	D



Diskussion und Ausblick

- Strömungssimulationsmodelle zur Bewertung von Schullüftungskonzepten
 - 12 Lüftungsvarianten im Referenzklassenraum
- Validierung im Raumluchtströmungslabor der LTG AG
- Methodik zur Bewertung der Schullüftungskonzepte
 - Lüftungseffektivität und lokale Behaglichkeit der einzelnen Personen (nach EN 16798-1)
 - Quantifizierung der Behaglichkeit und somit Direktvergleich der einzelnen Konzepte möglich

Ausblick

- Durchführung von weiteren Strömungssimulationen sowie 2. Laborphase
- Ableitung von Optimierungspotenzialen
- Ermittlung des Energieeinsparpotentials (gekoppelte Gebäude- und Anlagensimulationen)
- Erstellung des Planungsleitfadens



Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung (IGTE)

Optimierte Luftführung bei maschineller Lüftung von Klassenräumen



Anders Berg, M.Sc.

E-Mail anders.berg@igte.uni-stuttgart.de

Telefon +49 (0) 711 685 - 62088

www.igte.uni-stuttgart.de

Universität Stuttgart

Institut für Gebäudeenergetik, Thermotechnik und Energiespeicherung

70550 Stuttgart

