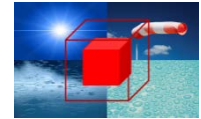
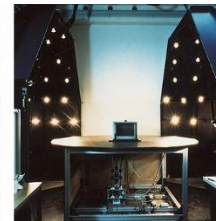
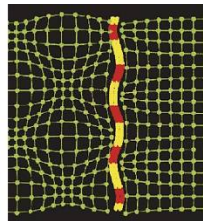
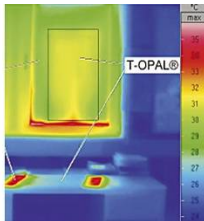


ZUKUNFTSRAUM SCHULE



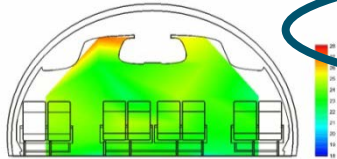
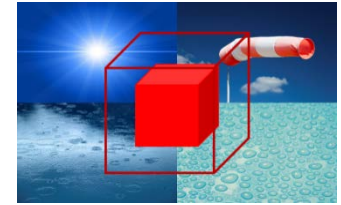
Optimierung von Lüftungskonzepten für
Klassenräume im Bestand auf der Basis
von in situ Messmethoden

Auf Wissen bauen



Raumklimasysteme

Kompetenzfelder

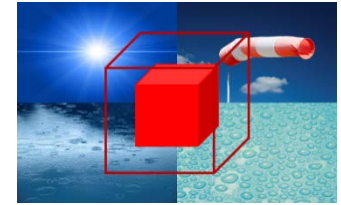


- Kombination natürlicher und mechanischer Lüftungssysteme - Hybrid Ventilation
- Raumklimakonzepte für Gebäude, Flugzeuge und Fahrzeuge
- Optimierte Wärmeübergänge zum Heizen und Kühlen
- Thermische-/Strömungs-Simulation
- Test-Design zur Validierung von Simulationsmodellen
- Tests unter realistischen Flugbedingungen im Fraunhofer Flight Test Facility
- Raumklimatische Messkonzepte und Messtechnikoptimierung
- Sensorik für die Behaglichkeitsbewertung
- Spezialmessmethoden (Tracergas, Ultraschall, Particle Image Velocimetry)
- Komfortbewertung durch Personenbefragung



Definition

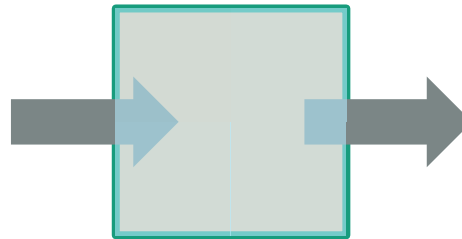
Luftwechselrate/Lüftungsrate



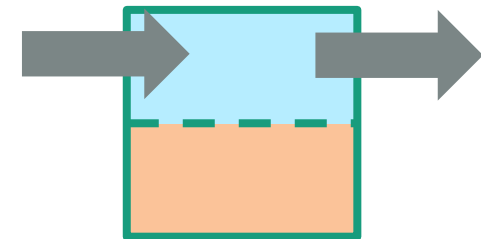
$$\text{Luftwechselrate} = \frac{\text{Luftvolumenstrom [m}^3/\text{h]}}{\text{Raumvolumen [m}^3\text{]}}$$



Perfekte
Verdrängungslüftung



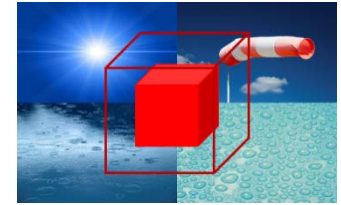
Mischlüftung



Kurzschluss-Lüftung

Definition

Lüftungseffektivität



Die **Lüftungseffektivität** beschreibt, wie schnell verbrauchte Luft aus einem Raum entfernt wird.

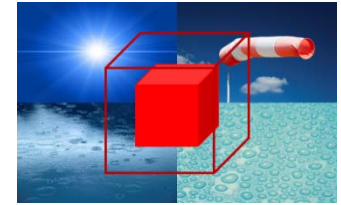
Sie wird durch das Verhältnis der Schadstoffkonzentration in der Raumluft zur Schadstoffkonzentration in der Abluft definiert:

$$VE = (C_e/C_m) \times 100\%$$

- VE = Ventilation Efficiency (Lüftungseffektivität)
- Ce = Schadstoffkonzentration in der Abluft
- Cm = Schadstoffkonzentration in der Raumluft

Definition

Lüftungseffektivität DIN EN 13779



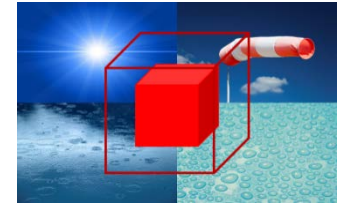
$$\varepsilon_v = \frac{c_{ABL} - c_{ZUL}}{c_{RAL} - c_{ZUL}} \quad (1)$$

Dabei ist

- ε_v die Lüftungseffektivität;
- c_{ABL} die Verunreinigungskonzentration außerhalb des Aufenthaltsbereichs bzw. der Abluft;
- c_{RAL} die Verunreinigungskonzentration der Raumlufte (Atmungsbereich innerhalb des Aufenthaltsbereiches);
- c_{ZUL} die Verunreinigungskonzentration der Zuluft.

Definition

Luftaustauscheffektivität



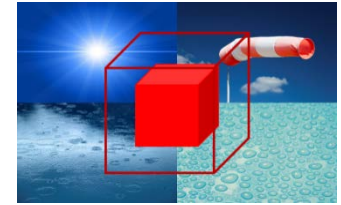
Die **Luftaustauscheffektivität** gibt Auskunft darüber, wie rasch die Raumluft ausgetauscht wird. Sie wird durch den Koeffizienten aus zugeführtem Frischluftvolumen pro Stunde und Raumvolumen definiert, der durch die doppelte durchschnittliche Verweildauer der Luft im Raum dividiert wird:

$$AE = (T_n / 2T_M) \times 100\%$$

- AE = Air Change Efficiency (Luftaustauscheffektivität)
- T_n = Zugeführtes Frischluftvolumen pro Stunde geteilt durch das Raumvolumen
- T_m = Durchschnittliche Verweildauer der Luft im Raum

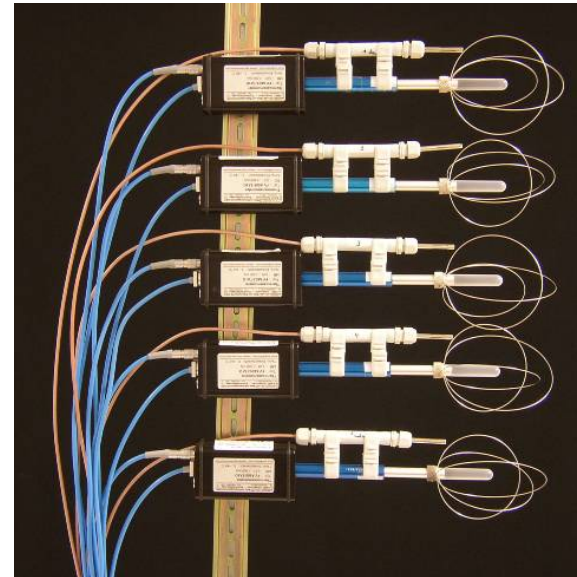
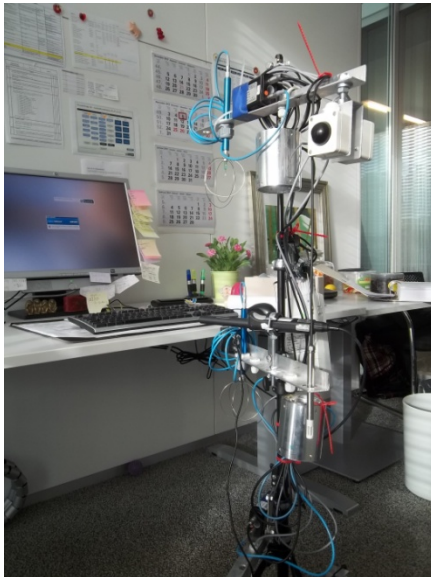
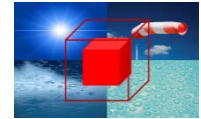
Lüftungseffektivität

Planerische Herausforderung



Klimaanalyse

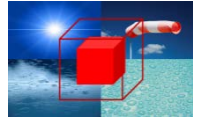
Klassische Methoden



Klimaanalyse eines Bürogebäudes und der Detailwirkungen im Arbeitsbereich

Klimaanalyse

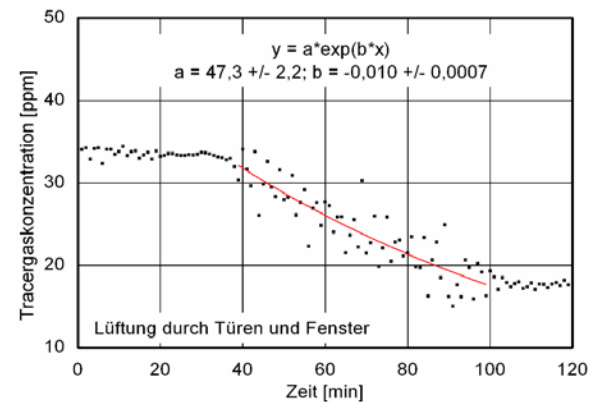
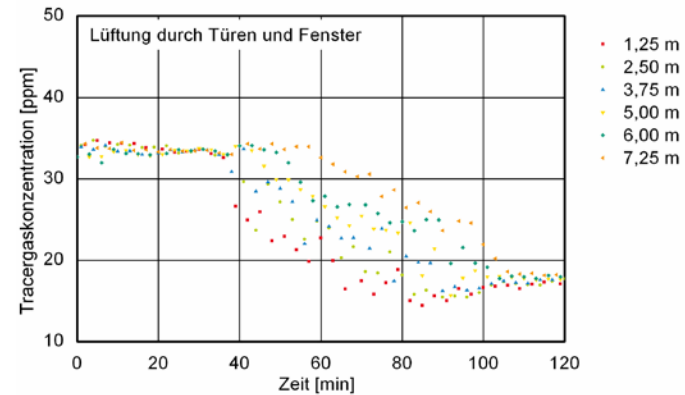
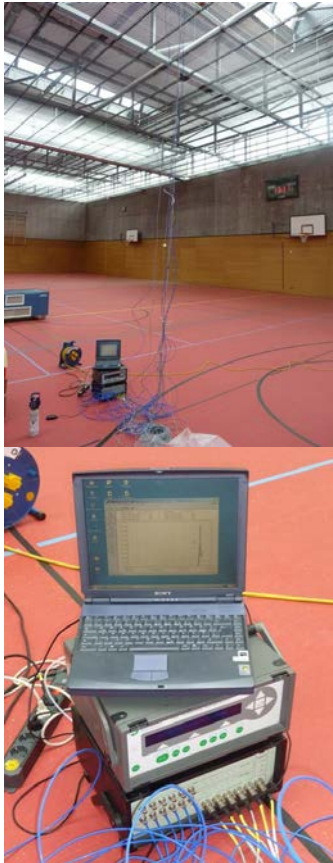
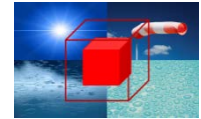
Klassische Methoden



Strömungsanalysen mit Rauch

Klimaanalyse

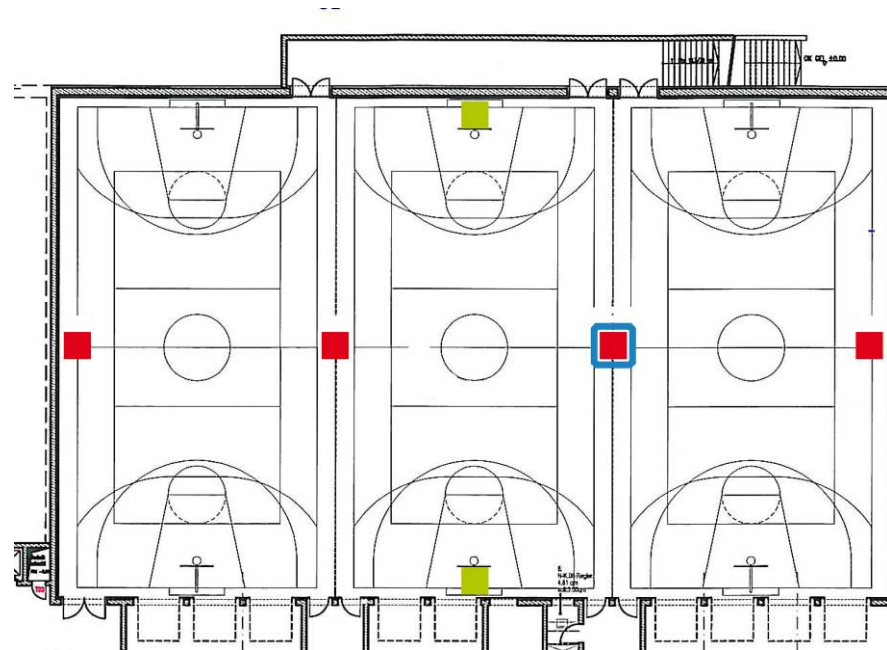
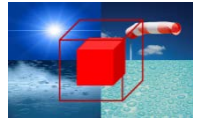
Tracergas-Spotmessungen



Lüftungsanalyse einer Sporthalle anhand von Tracergas-Spotmessungen

Klimaanalyse

Tracergas-Langzeitmessungen

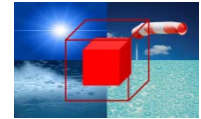


- Langzeitmessung
2,50 m; 5,00 m
- Langzeitmessung
1,25 m
- Kurzzeitmessung
1,25 m; 2,50 m; 3,75 m;
5,00 m; 6,00 m; 7,25 m

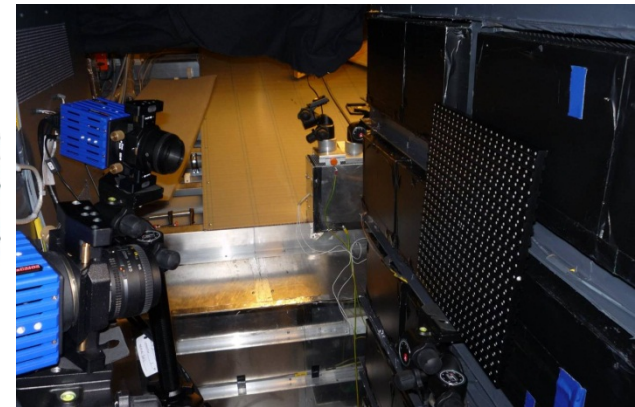
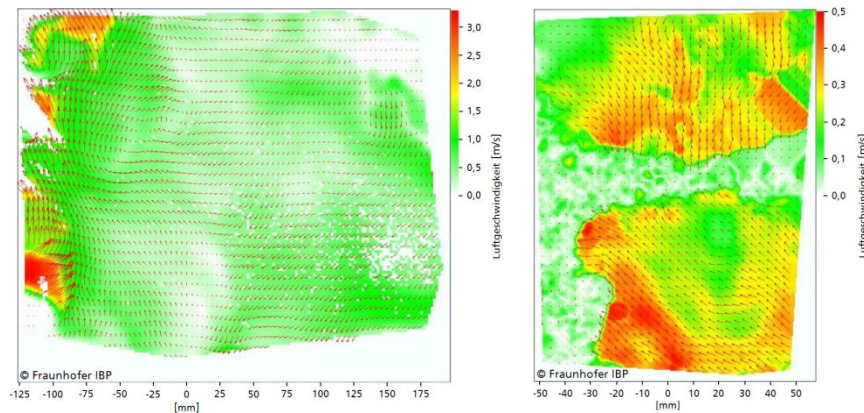
Lüftungsanalyse einer Sporthalle anhand von Tracergas-Langzeitmessungen

Klimaanalyse

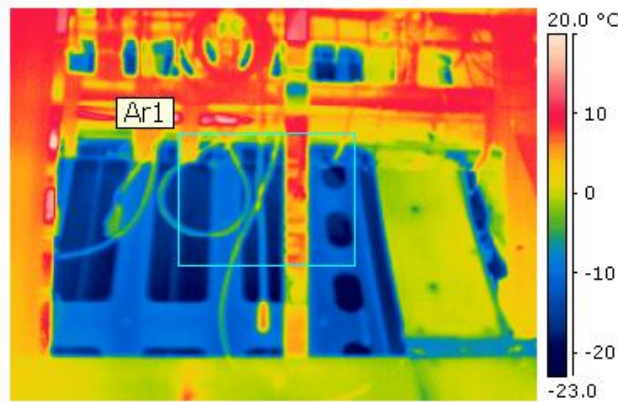
Detailanalysen im Objektbereich



Stereoscopic Particle Image Velocimetry (PIV)

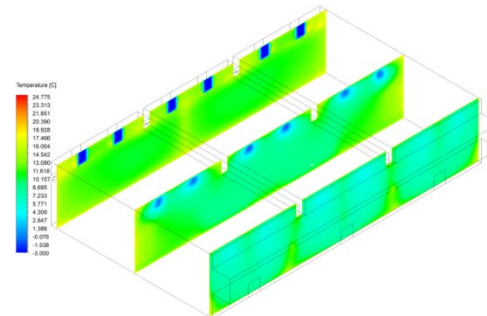
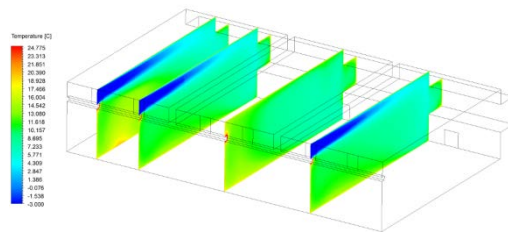
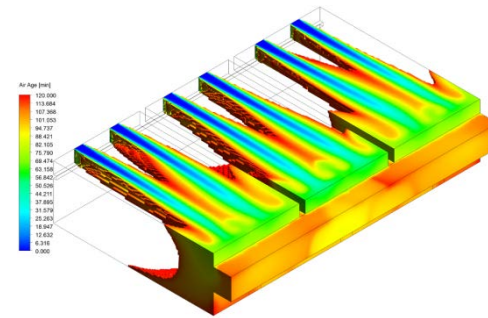
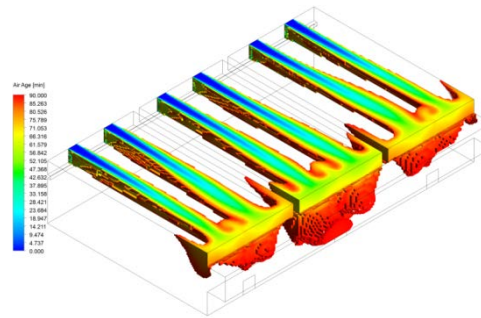
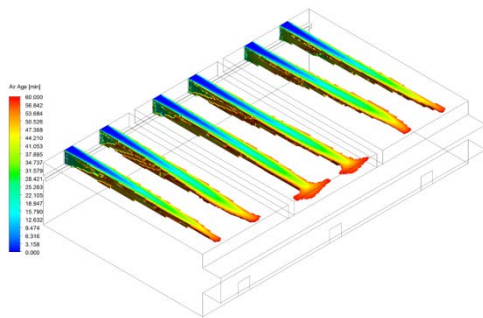
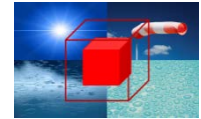


Thermographie / Dressman



Planungs-/Analyseinstrumente

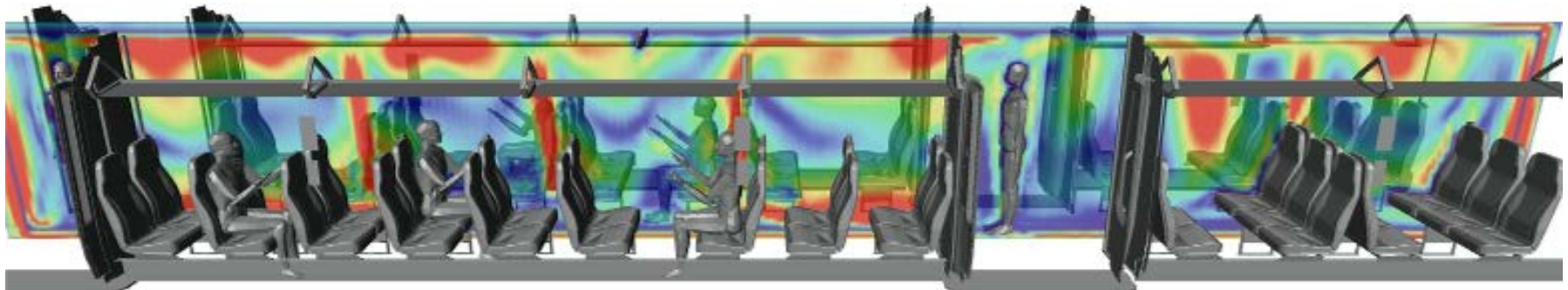
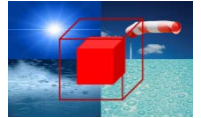
CFD



Detailanalyse zur Entwicklung des Luftalters, Strömungsanalyse und der Darstellung von Temperaturschnitten in einer Sporthalle

Planungs-/Analyseinstrumente

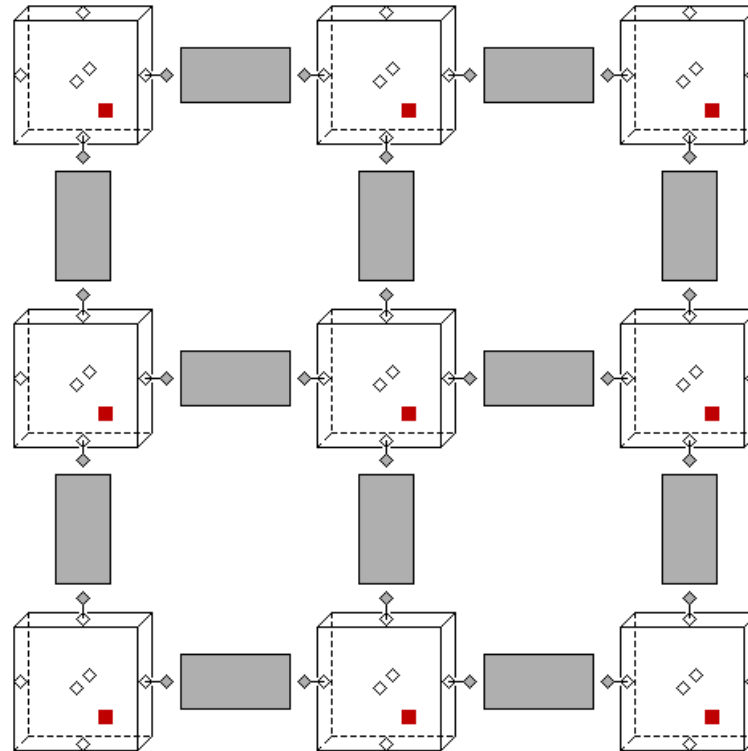
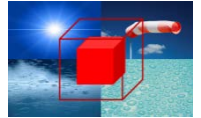
CFD



Detailanalyse zum thermischen Verhalten eines Zugabteils

Planungsinstrumente

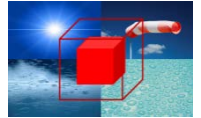
VEPZO



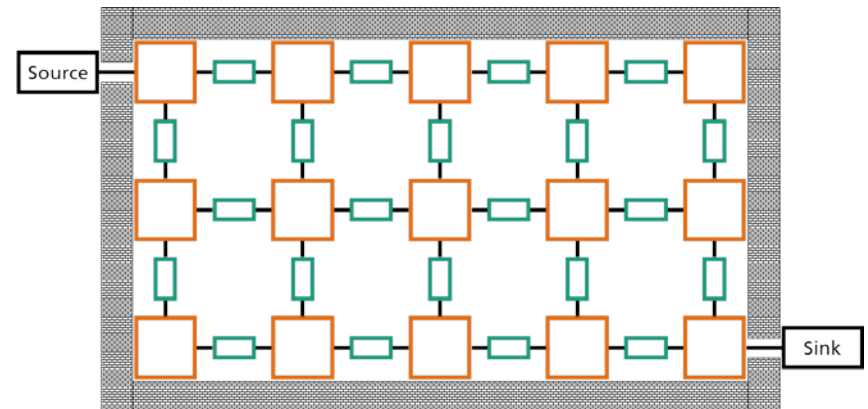
Zonales Analyse- und Planungsmodell

Das Prinzip Zonaler Modelle

VEPZO

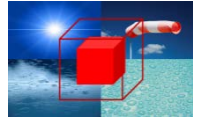


- Unterteilung eines Raumes in Zonen
- Erhaltungsgleichungen in Zone
 - Masse
 - Enthalpie
- Strömungsmodell
 - Berechnung des Masseflusses zwischen benachbarten Zonen
- Vorteile
 - Lokale Auflösung des Raumes
 - Schnelle Berechnung



Strömungsmodelle

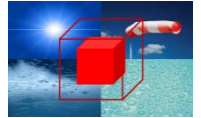
VEPZO



Modell	Schema	Rechenzeit	Auflösung
Einzonen		Niedrig	Nein
Multizonen		Niedrig	Niedrig
Zonal		Mittel	Mittel
CFD		Hoch	Hoch

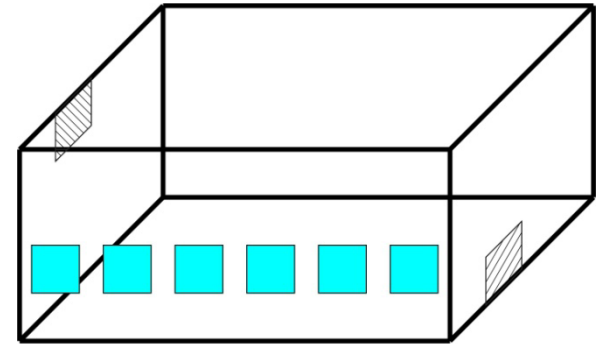
ANWENDUNGBEISPIEL KLASSENZIMMERLÜFTUNG

VEPZO



- Wärmequellen
 - 30 Schüler, 1 Lehrer
 - Computer
- CO₂ Emission durch Personen
- Hybride Lüftung
 - Fenster
 - Mechanische Lüftung
- Außenlufttemperatur: 1 °C

- Simuliert werden 90 Minuten ab Unterrichtsbeginn



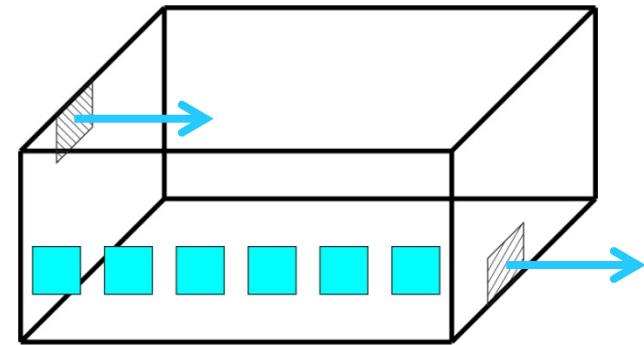
ANWENDUNGBEISPIEL KLASSENZIMMERLÜFTUNG

VEPZO



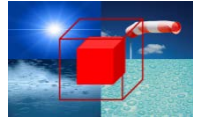
- Wärmequellen
 - 30 Schüler, 1 Lehrer
 - Computer
- CO₂ Emission durch Personen
- Hybride Lüftung
 - Fenster
 - Mechanische Lüftung
- Außenlufttemperatur: 1 °C

- Simuliert werden 90 Minuten ab Unterrichtsbeginn



ANWENDUNGBEISPIEL KLASSENZIMMERLÜFTUNG

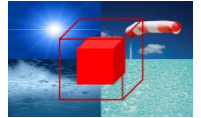
VEPZO



- Kombination von Fenstern und mechanischer Lüftung
 - Thermischer Komfort
 - Ausreichende Luftqualität
 - Geringer Energiebedarf für Heizen mit mechanischer Lüftung
- Lufttemperatur im Klassenzimmer
 - 20 – 22 °C im Mittel
 - Erlaubte lokale Temperaturen von 19 – 24 °C
- CO₂ Gehalt < 1500 ppm

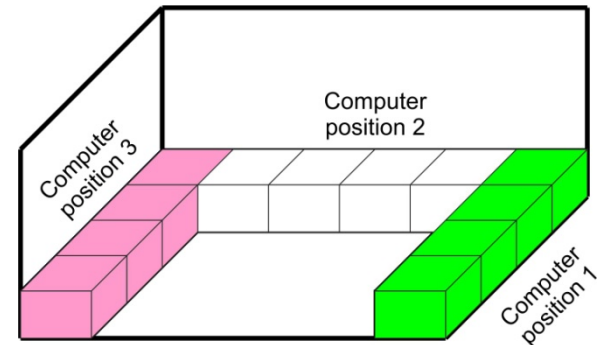
ANWENDUNGBEISPIEL KLASSENZIMMERLÜFTUNG

Freie Parameter



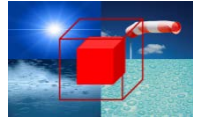
Fenster: zu, gekippt, offen je Fenster
Mechanische Lüftung: 0.001, 0.05, 0.1, 0.2, 0.4, 0.6 kg/s
Computer: 3 Positionen

→ 13122 Möglichkeiten



ANWENDUNGBEISPIEL KLASSENZIMMERLÜFTUNG

Ergebnis für 1 °C Außenlufttemperatur



5 Durchläufe

- 51 bis 90 Simulationen je Durchlauf
- 28 bis 44 Minuten je Durchlauf

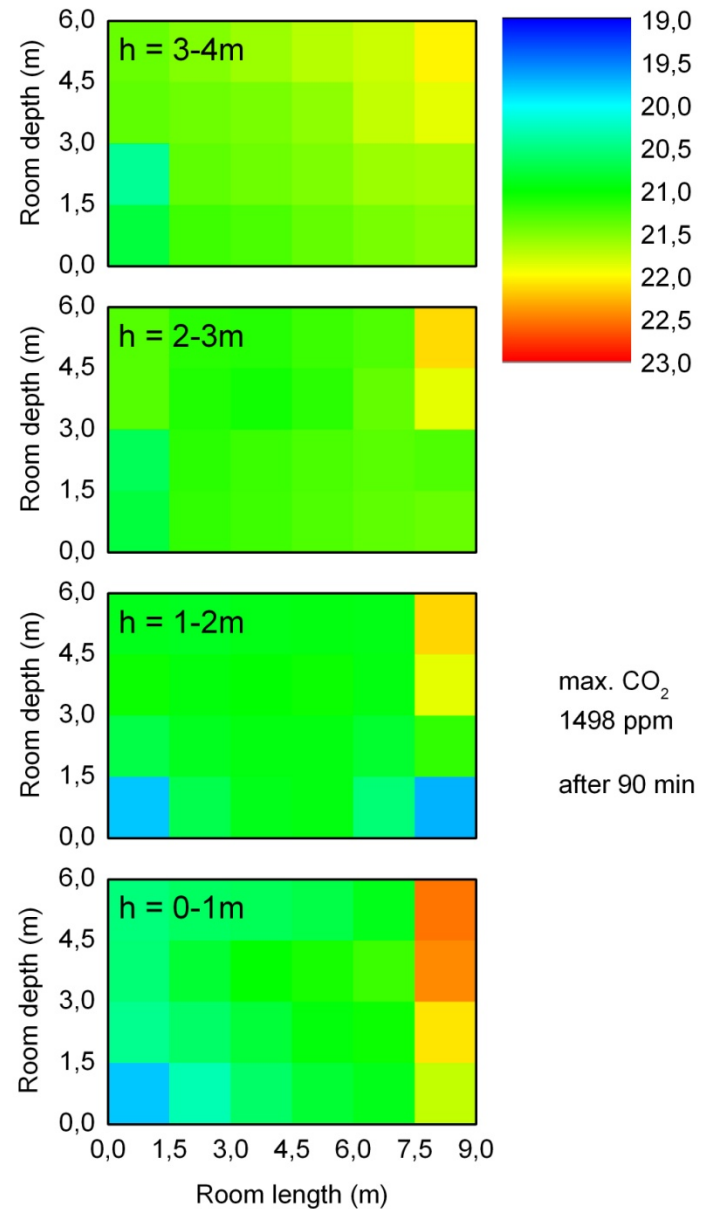
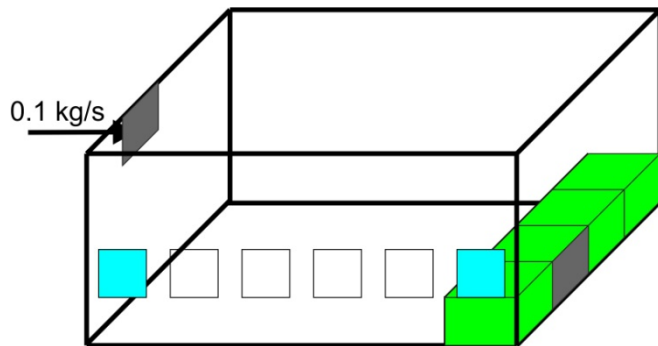
15 verschiedene Lösungen gefunden, grobe Kategorisierung

- 0.1 kg/s mechanisch, 2 Fenster gekippt
- 0.2 kg/s mechanisch, höchstens 1 Fenster gekippt
- 0.4 kg/s mechanisch, alle Fenster geschlossen
- Je nach Konfiguration Computerposition wichtig

KLASSENZIMMERLÜFTUNG

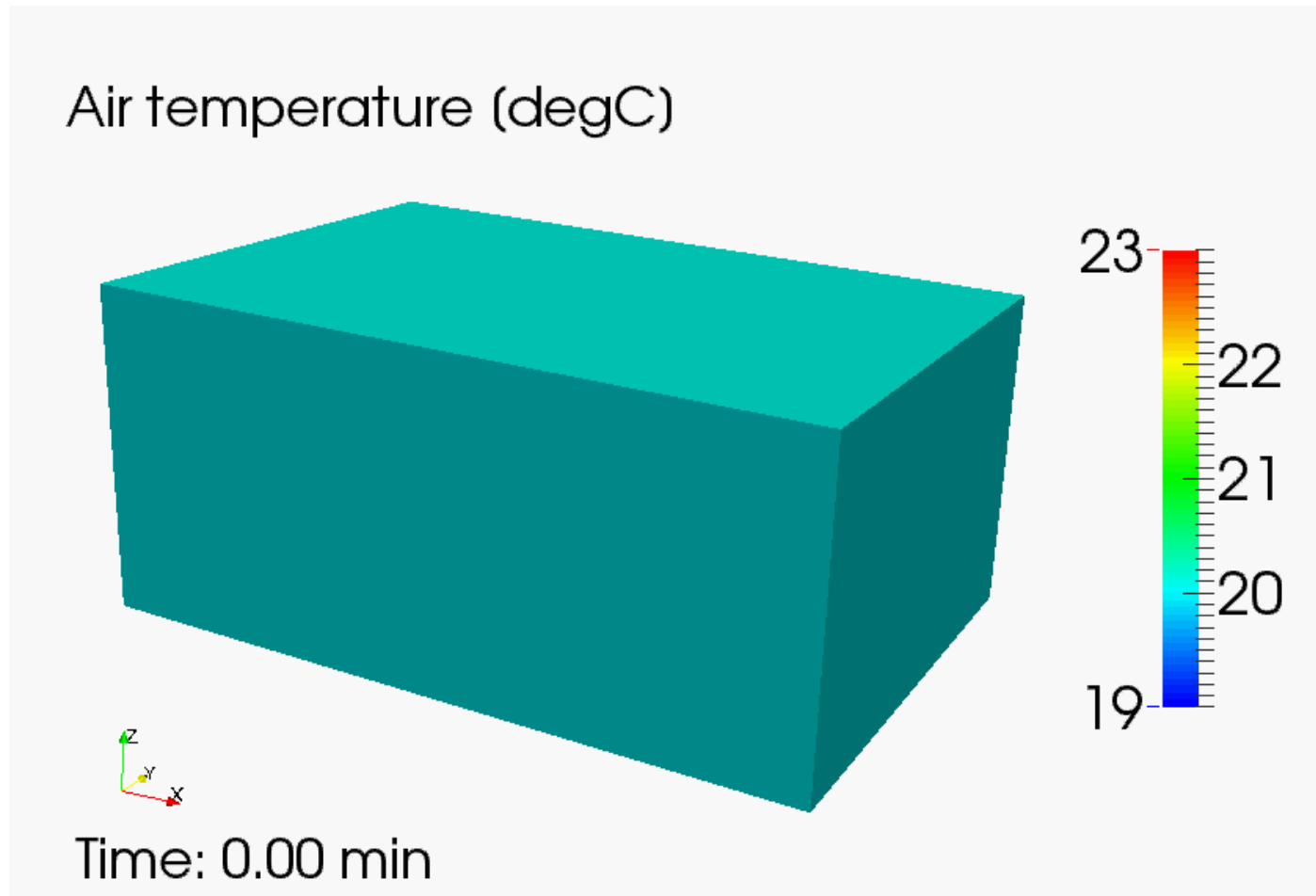
Ergebnis nach 90 Min

- Rechner rechts
- 1. und 6. Fenster gekippt
- Zuluft: 0.1 kg/s



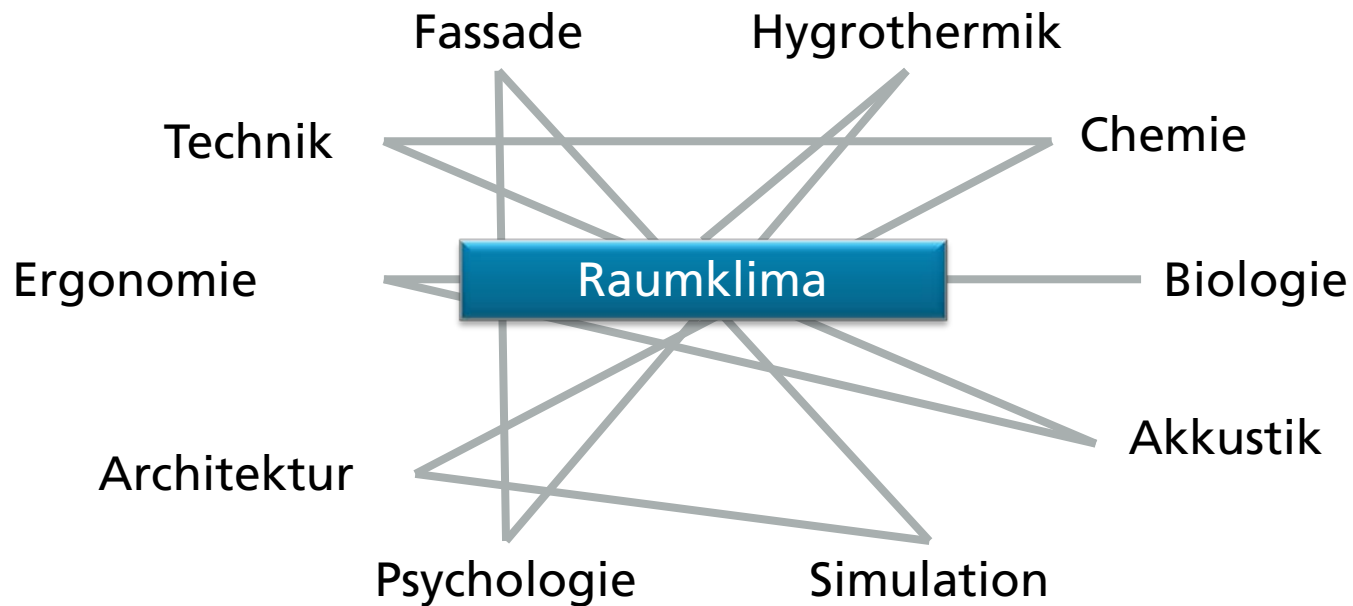
KLASSENZIMMERLÜFTUNG

Ergebnis nach 90 Min



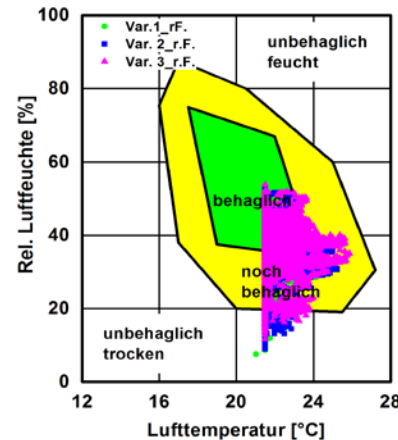
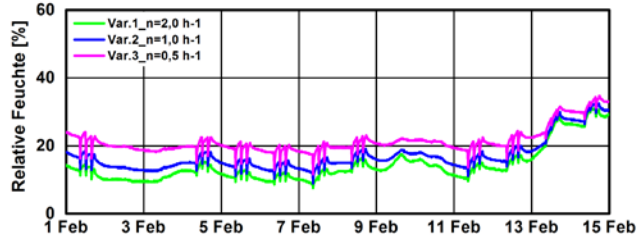
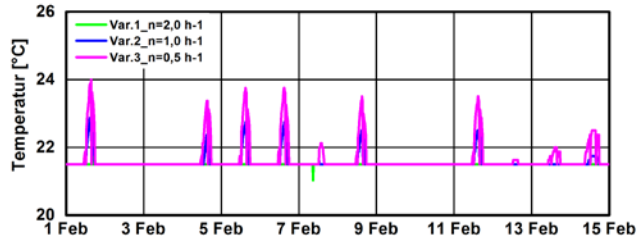
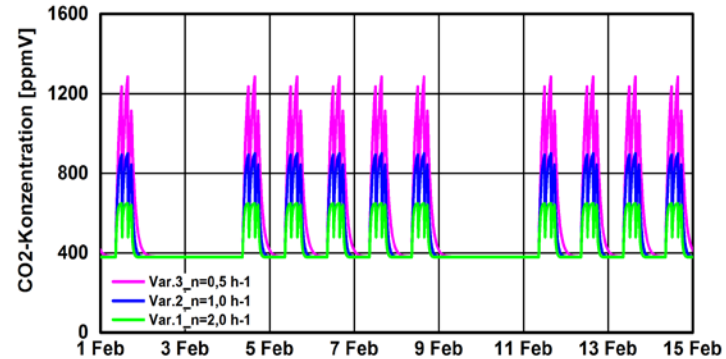
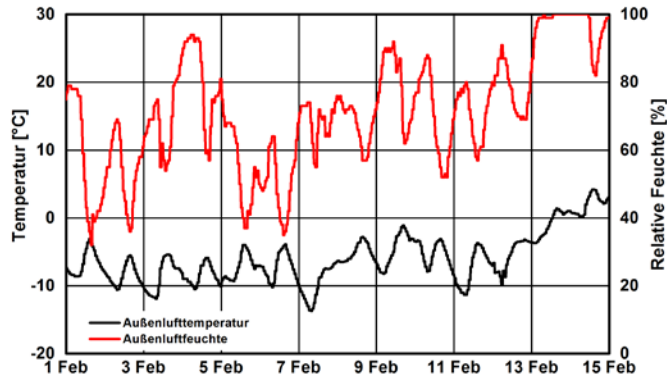
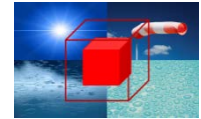
VERNETZUNG DES WISSENS UND DER ERFAHRUNG

Interdisziplinäre Projekt- und Planungsteams



Planungsinstrumente

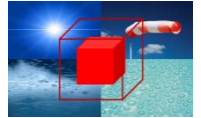
WUFI-Modell



Klimaanalyse eines Bürogebäudes und Untersuchung der Auswirkung eines reduzierten Luftwechsels auf CO₂ Konzentration und Luftfeuchte

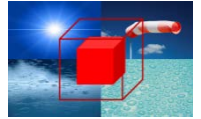
Resumee

Optimierung von Lüftungskonzepten



- Es gibt umfangreiche Methoden, um die Lüftungssituation in situ zu beurteilen
- Modellsimulationen können helfen, Lösungsalternativen schnell und günstig abzuschätzen und Investitionen gezielt einzusetzen
- Optimal ist die Einbindung von Modellbetrachtungen bereits in der Planungsphase, vor allem für kritische bzw. multiplizierbare Bereiche

Resumee



Vielen Dank für ihre Aufmerksamkeit