

Behaglichkeit und Raumluftströmung in Klassenräumen

am Beispiel der Schule Olbersdorf

Ralf Gritzki und Markus Rösler

TU Dresden, Institut für Thermodynamik und
Technische Gebäudeausrüstung

Workshop „Energieeffiziente Schulsanierung“, Zittau 18./19.06.2008



Übersicht

1. Fragestellungen
2. Das Programmsystem
3. Details der Modellierung
4. Ausgewählte Ergebnisse
5. Fazit - Empfehlungen

1. Fragestellungen I – Raumluftqualität / Behaglichkeit

Untersuchung der sommerlichen/winterlichen Strömungsverhältnisse in einem ausgewählten Klassenraum der Schule Olbersdorf hinsichtlich:

- Luftqualität / Luftalter
- Behaglichkeit / Zugbelastungen
- Schadstoff- / CO₂-Verteilung
- Heizkörperanordnung

1. Fragestellungen II – Details zum Kastenfenster

Detaillierte Untersuchung der winterlichen Strömungsverhältnisse in den eingesetzten Kastenfenstern hinsichtlich:

- Zugfrei realisierbarer Zuluftvolumenströme
- Auswirkung der Luftführung im Fenster
- Art und Form der Zuluftöffnungen (Querschnitt etc.)
- Abschätzung der Luftvorwärmung

2. Das Programmsystem I – *Überblick*

Genutztes Programmsystem:

TRNSYS-TUD/ParalleINS

Verfahren:

**Gekoppelte Gebäude-, Anlagen- und
Raumluftrömungssimulation**

Weitestgehend in Eigenentwicklung entstandener Forschungs-
code zur Simulation vielfältigster Aufgabenstellungen der
Heizungs- Lüftungs- und Klimatechnik

2. Das Programmsystem II – *TRNSYS-TUD/ParalleINS*

Umfassendes Programmpaket zur thermischen Gebäudesimulation auf Basis von *TRNSYS*

- Einbeziehung sämtlicher relevanter Einflüsse, wie klimatische Bedingungen, Regelungs- und Anlagentechnik, Wand- und Fensteraufbauten
- Räumlich hoch aufgelöste Berechnung des Strahlungsaustauschs
- Bei Kopplung räumlich hoch aufgelöste Einbeziehung der Wärmeleitung in und des konvektiven Wärmeübergangs an Wänden

2. Das Programmsystem III – *TRNSYS-TUD/ParalleINS*

GLS-FEM-basierter unstrukturierter CFD-Code zur Berechnung vielfältiger Strömungsprobleme

- Elegante Randbedingungsformulierung im FEM Kontext
- k - ε bzw. v^2f Turbulenzmodell mit spez. Wandbehandlung
- Instationäre Berechnung der CO_2 -Verteilung und des lokalen Luftalters sowie abgeleiteter Größen
- Berechnung aller relevanten Feldgrößen zur Bestimmung der Behaglichkeit, wie PMV, **DR**, ϑ_{op} etc.
- Kopplung mit *TRNSYS-TUD* über wechselseitigen Austausch von Rand- und Anfangsbedingungen im Zeitbereich (*PVM*)

3. Details der Modellierung I – Überblick/Randbedingungen

Klimatische Bedingungen:

- Winterfall, jeweils konstante Außentemperaturen ϑ_a
(Variation: -5.0°C bis 10°C)
- Zuluft mit ϑ_a , jeweils $150 - 300\text{m}^3/\text{h}$ pro Raum, bzw.
geregelt mit Zweipunkt-Regler nach CO_2 in Abluft
- Keine Solarstrahlung

Quellen/Nutzer:

- Thermische und CO_2 Quellen für 15 Schüler und 2
Lehrer sowie thermische Quellen für Technik und
Beleuchtung
- Variation: global oder lokal (geometrisch aufgelöst)
wirksame Anordnung
- Zeitplanfunktion entsprechend Stundenplan

3. Details der Modellierung I – Überblick/Randbedingungen

Geometrie/Wandaufbau:

- Detaillierte Nachbildung, entsprechend den Bauplänen und den Absprachen zur thermischen Simulation des **ITG**

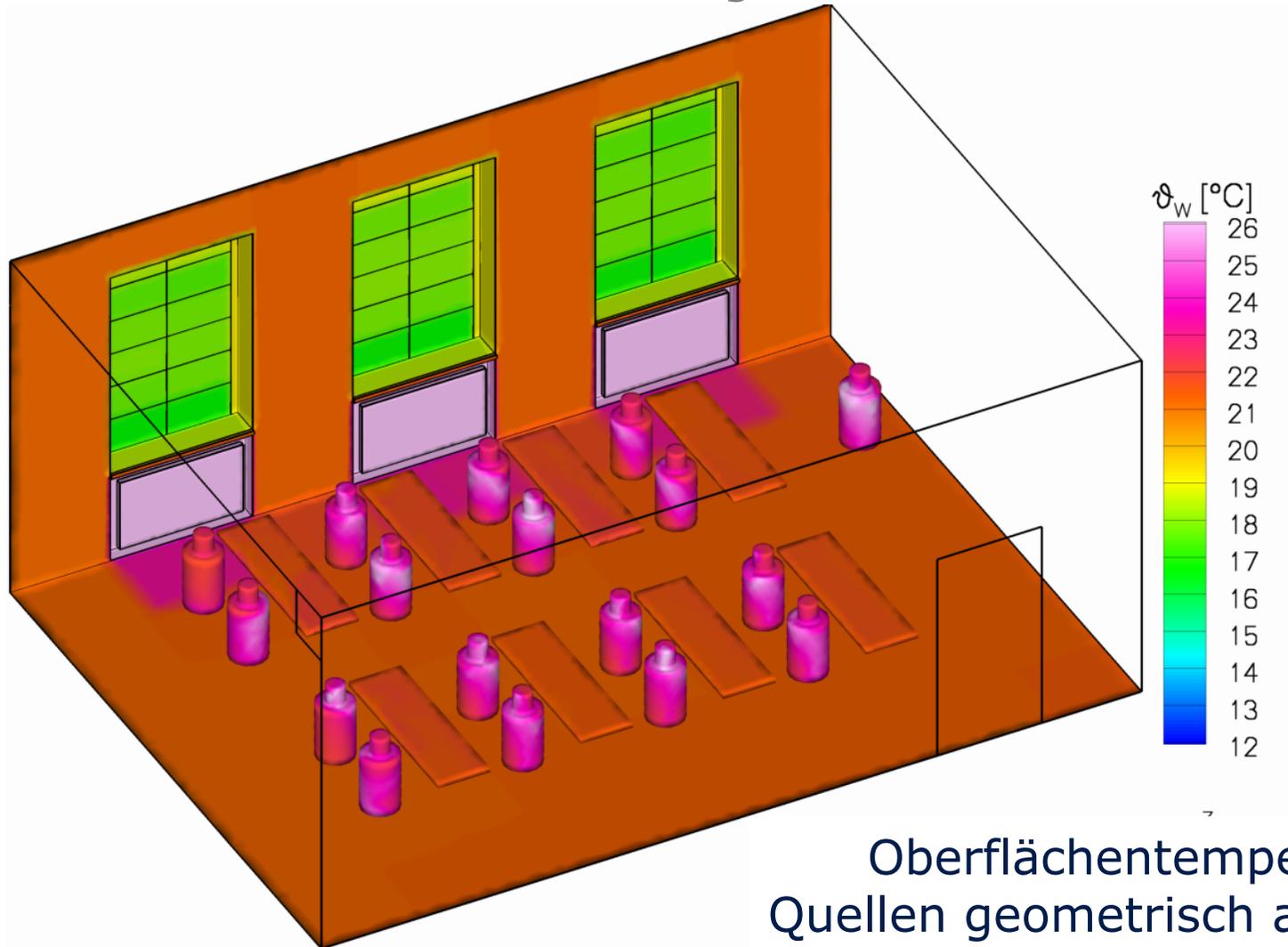
Regelung:

- Heizkörpertemperatur mit PI-Regler nach ϑ_{OP} in Raummitte, bei 0,6m Höhe
- Zuluft, CO₂-geführter Zweipunktregler (150/300m³/h)
Sensor in der Abluft, Schaltung bei 2100/1900 PPM

Simulation:

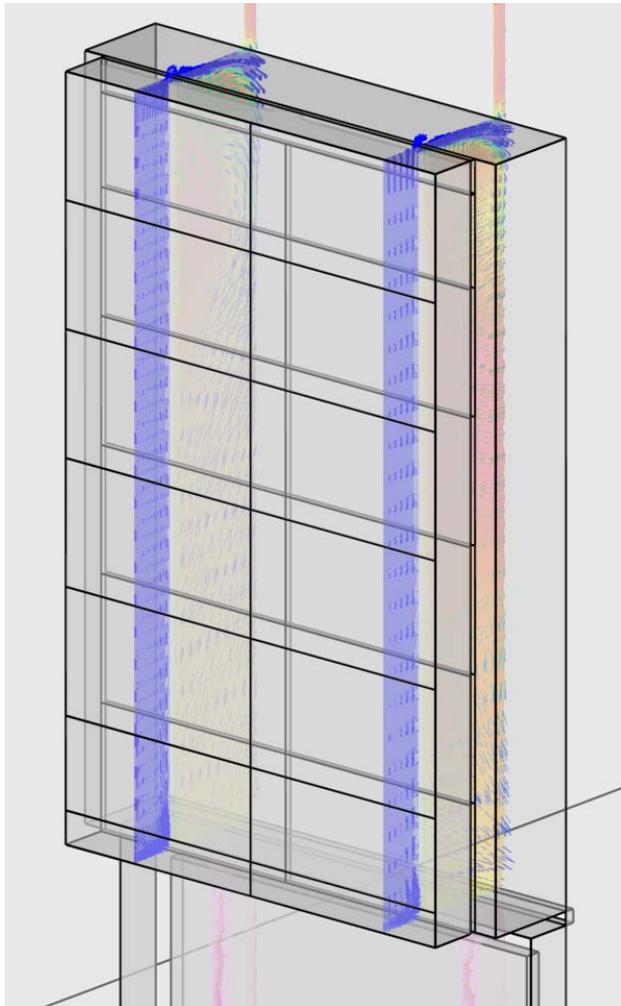
- Vernetzung mit etwa 900 000-1Mio Tetraederelementen, davon etwa 600 000 allein in den Kastenfenstern
- Teilweise extrem kleine Elemente -> kleine Δt erforderlich
- Rechenzeiten: **3 Tage für 1h** auf Opteron-Workstation

3. Details der Modellierung II – Geometrisches Modell R309



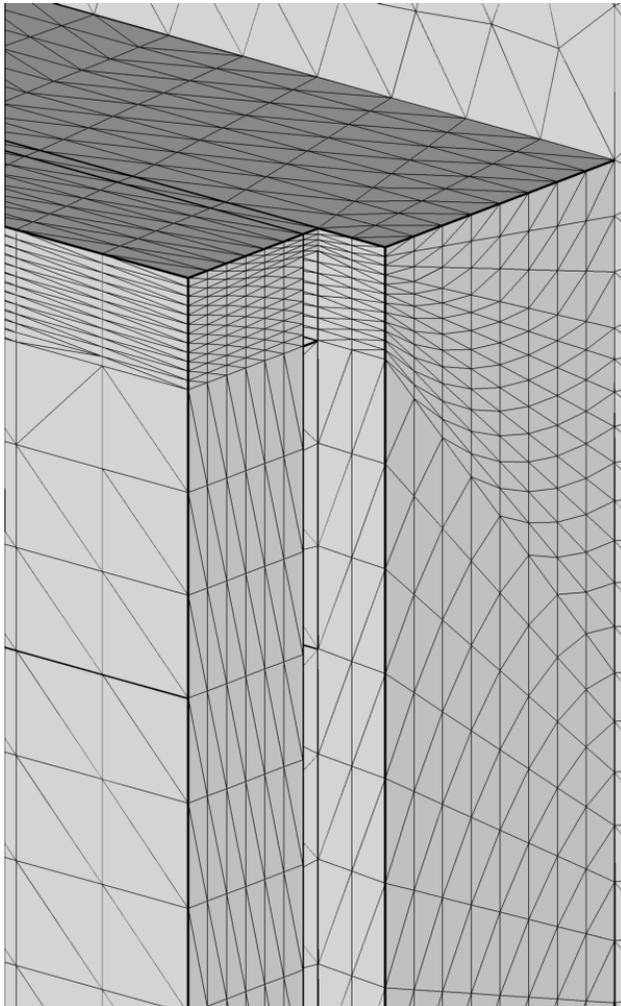
Oberflächentemperaturen,
Quellen geometrisch aufgelöst

3. Details der Modellierung III – Details zum Kastenfenster



- Aufbau als jeweils separate Zone, Segmentierung gemäß Vorlage, 2-fach horizontal und 6-fach vertikal
- Äußeres und inneres Fenster: jeweils Doppelverglasung
- Luftführung und Zonenverbindung über Schlitze:
 - A: 1 Schlitz, 10cm hoch, gesamtes Fenster
 - B: 2 Schlitze, 3cm hoch mit Steg in der Mitte

3. Details der Modellierung III – Details zum Kastenfenster



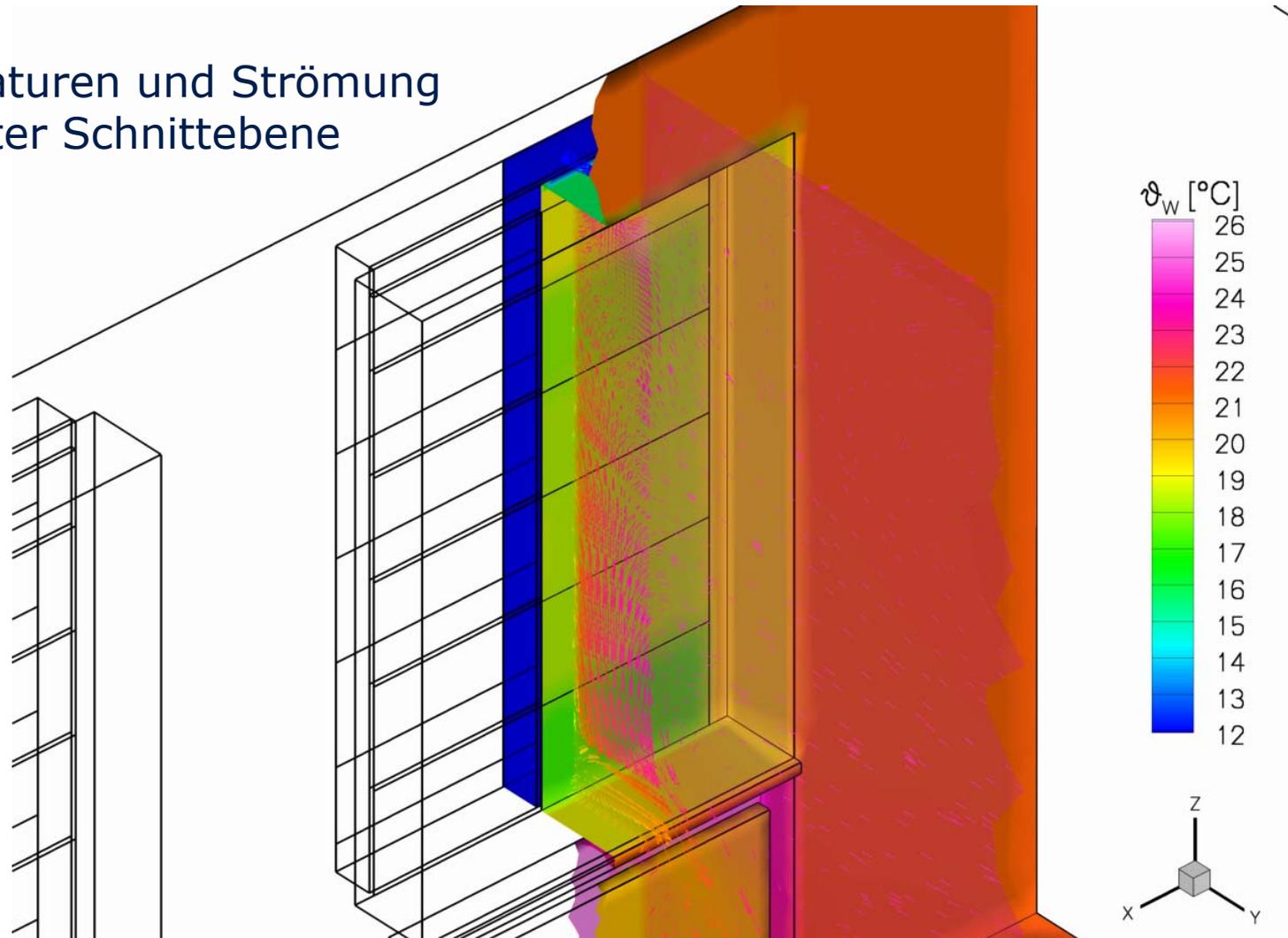
- Aufbau als jeweils separate Zone, Segmentierung gemäß Vorlage, 2-fach horizontal und 6-fach vertikal
- Äußeres und inneres Fenster: jeweils Doppelverglasung
- Luftführung und Zonenverbindung über Schlitze:
 - A: 1 Schlitz, 10cm hoch, gesamtes Fenster
 - B: 2 Schlitze, 3cm hoch mit Steg in der Mitte
- Vernetzung über Hexaeder, anschließend Nachtriangulierung für Tetraedervernetzung

4. Ausgewählte Ergebnisse I – Überblick / Variablen

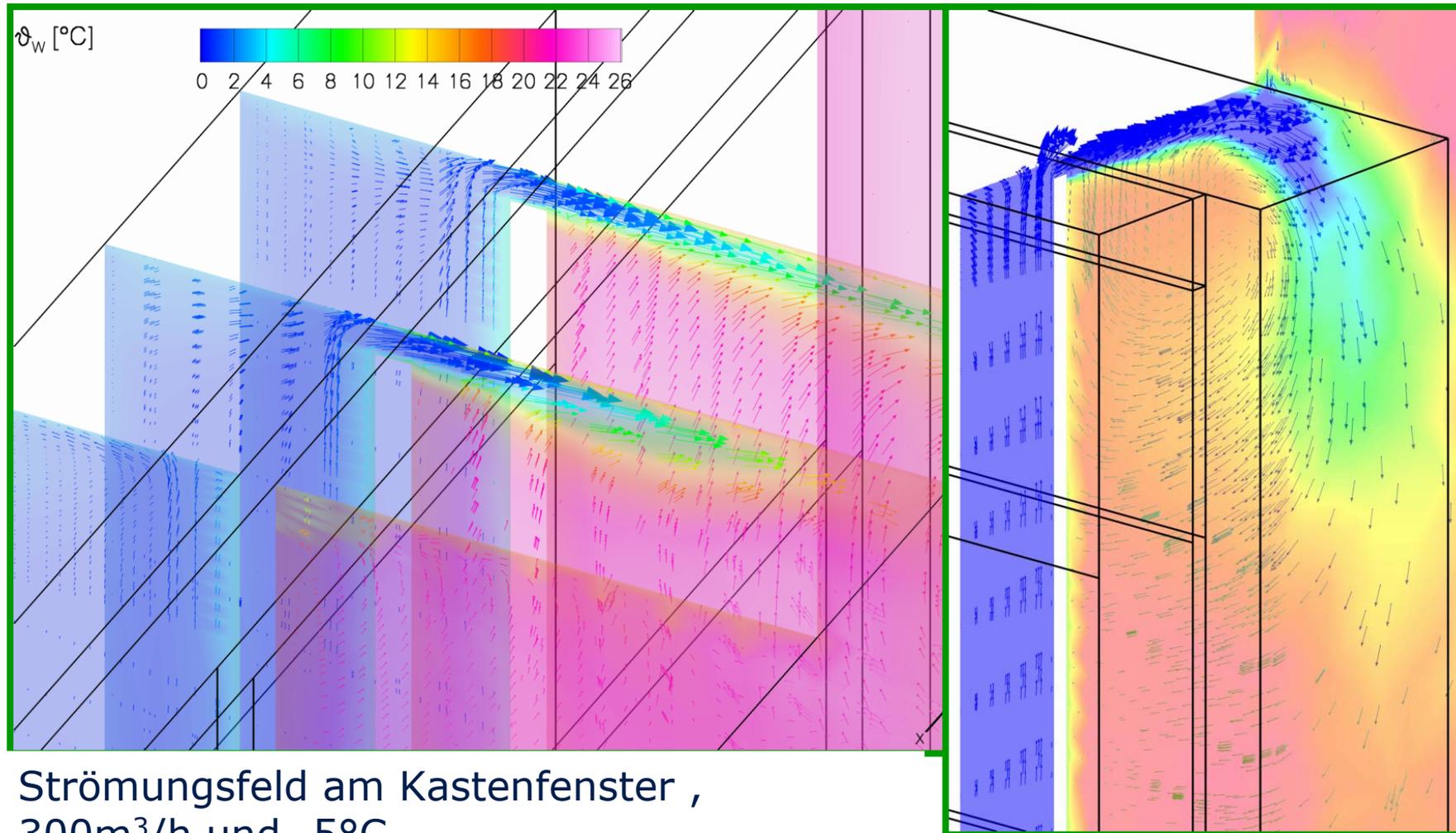
- **Lufttemperatur ϑ_L :**
Detail bzgl. thermischer Behaglichkeit
- **Lokaler Luftaustauschindex:**
Normierter Index für das lokale Alter der Raumluft
- **CO₂-Konzentration:**
Maß für die Luftqualität in PPM
- **Mittlere Luftgeschwindigkeit v_m :**
Detail bzgl. thermischer Behaglichkeit
- **Zugluftrisiko DR:**
Prozentsatz Unzufriedener infolge Zugbelastung
gemäß DIN EN 7730

4. Ausgewählte Ergebnisse II – Details / Kastenfenster I

Wandtemperaturen und Strömung
in ausgewählter Schnittebene

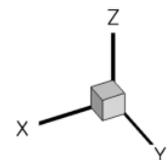
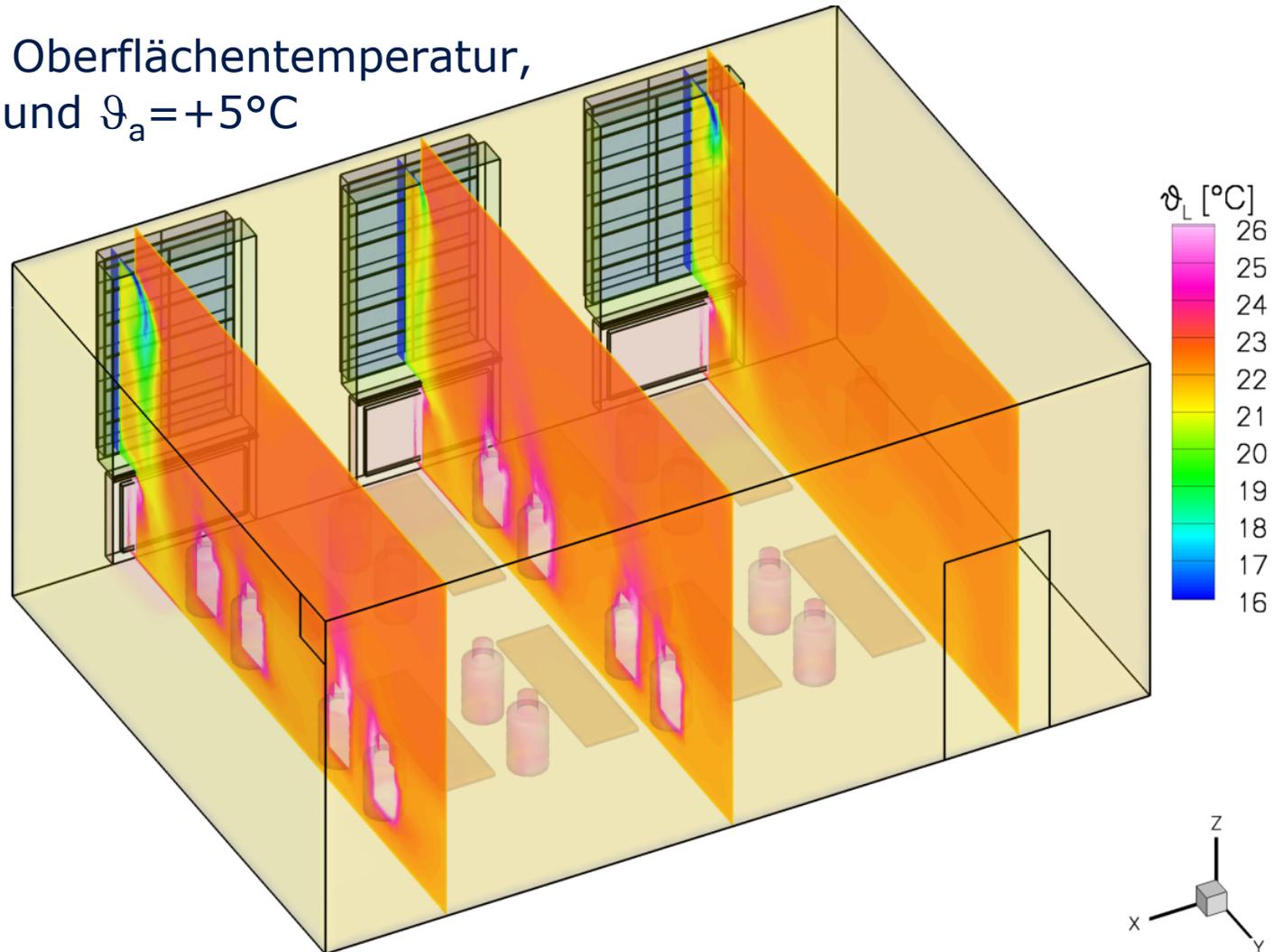


4. Ausgewählte Ergebnisse II – Details / Kastenfenster II



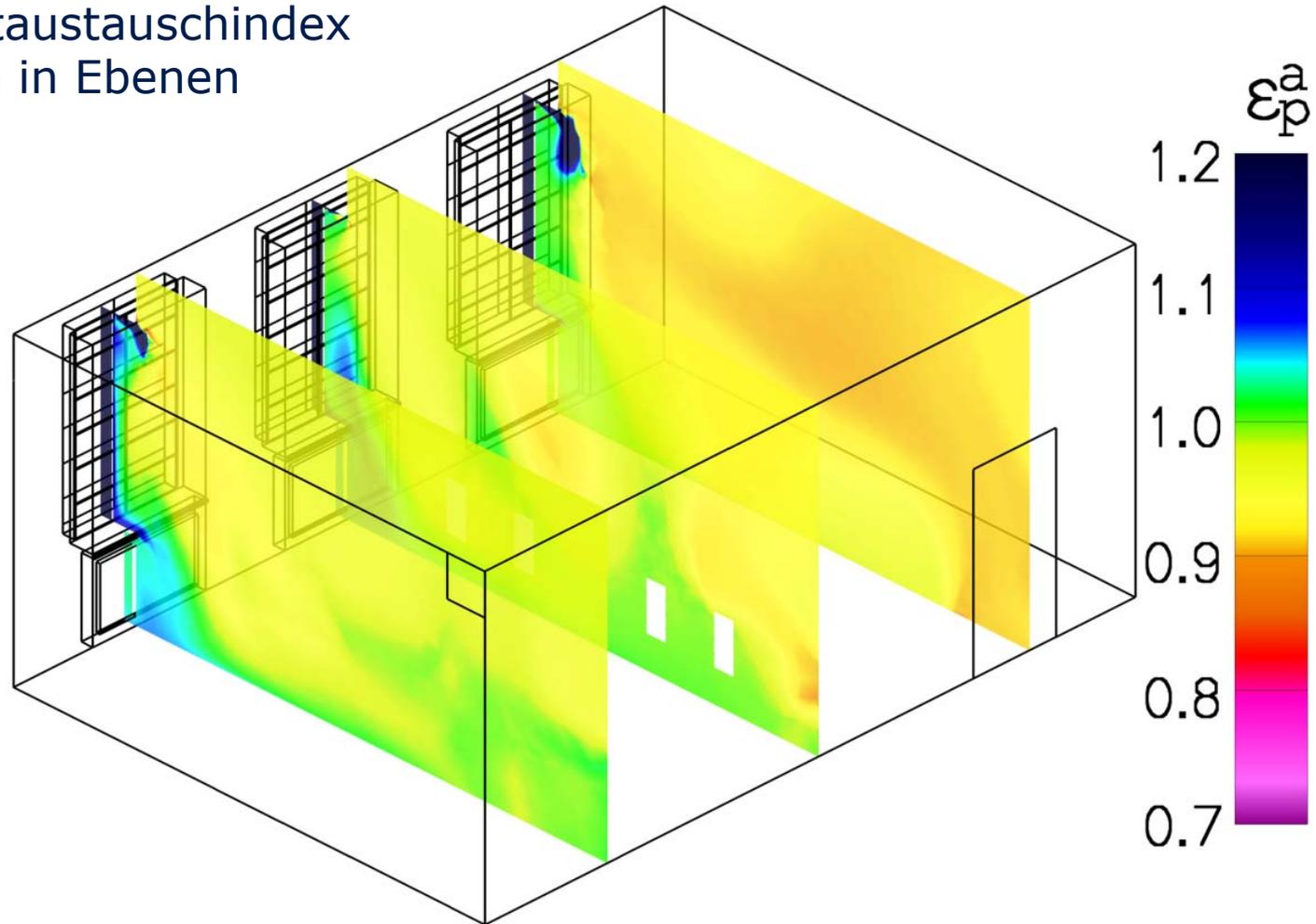
4. Ausgewählte Ergebnisse III – Lufttemperaturen

Luft- und Oberflächentemperatur,
 $300\text{m}^3/\text{h}$ und $\vartheta_a = +5^\circ\text{C}$



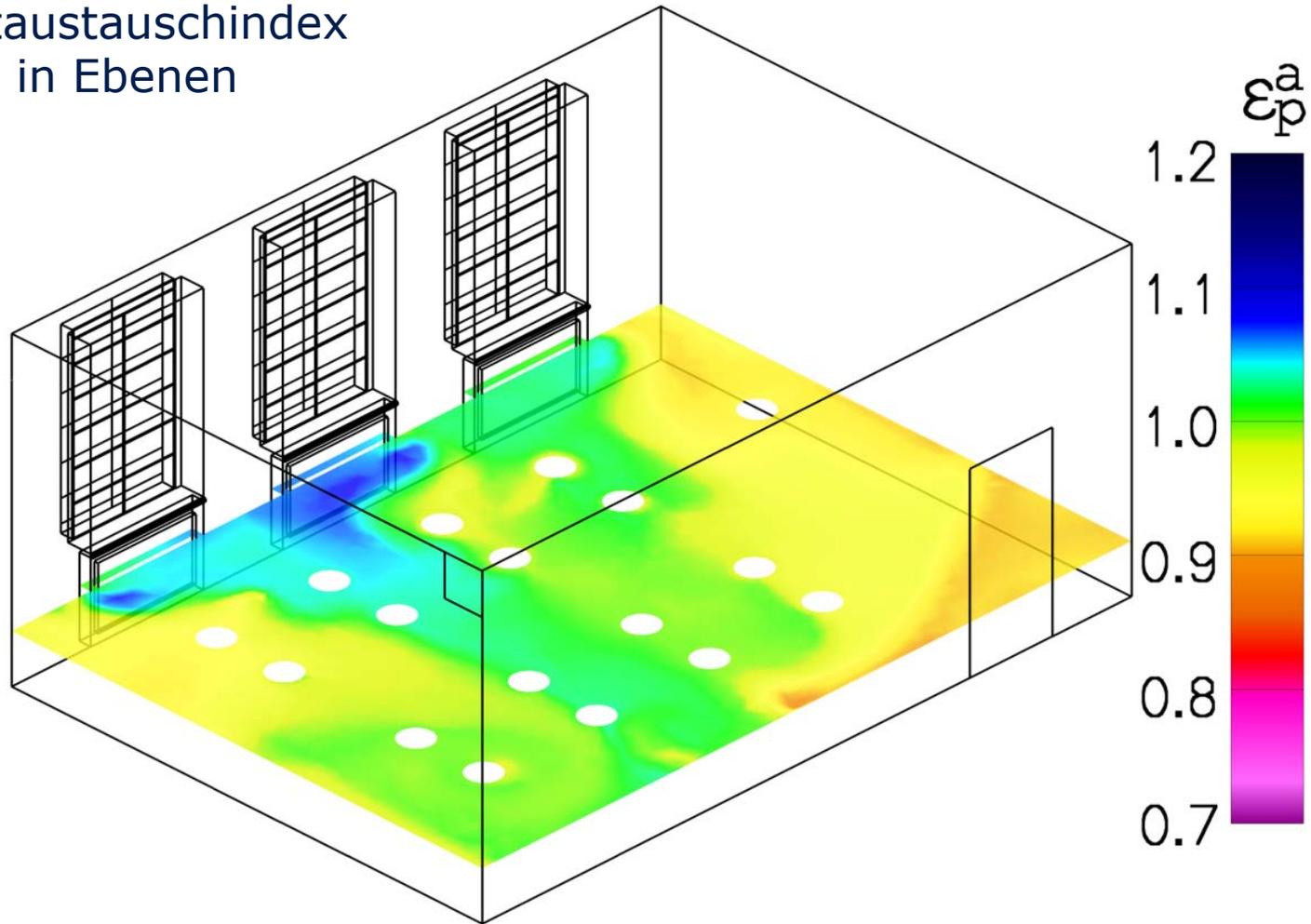
4. Ausgewählte Ergebnisse IV – Luftalter

Lokaler Luftaustauschindex
nach 30min in Ebenen



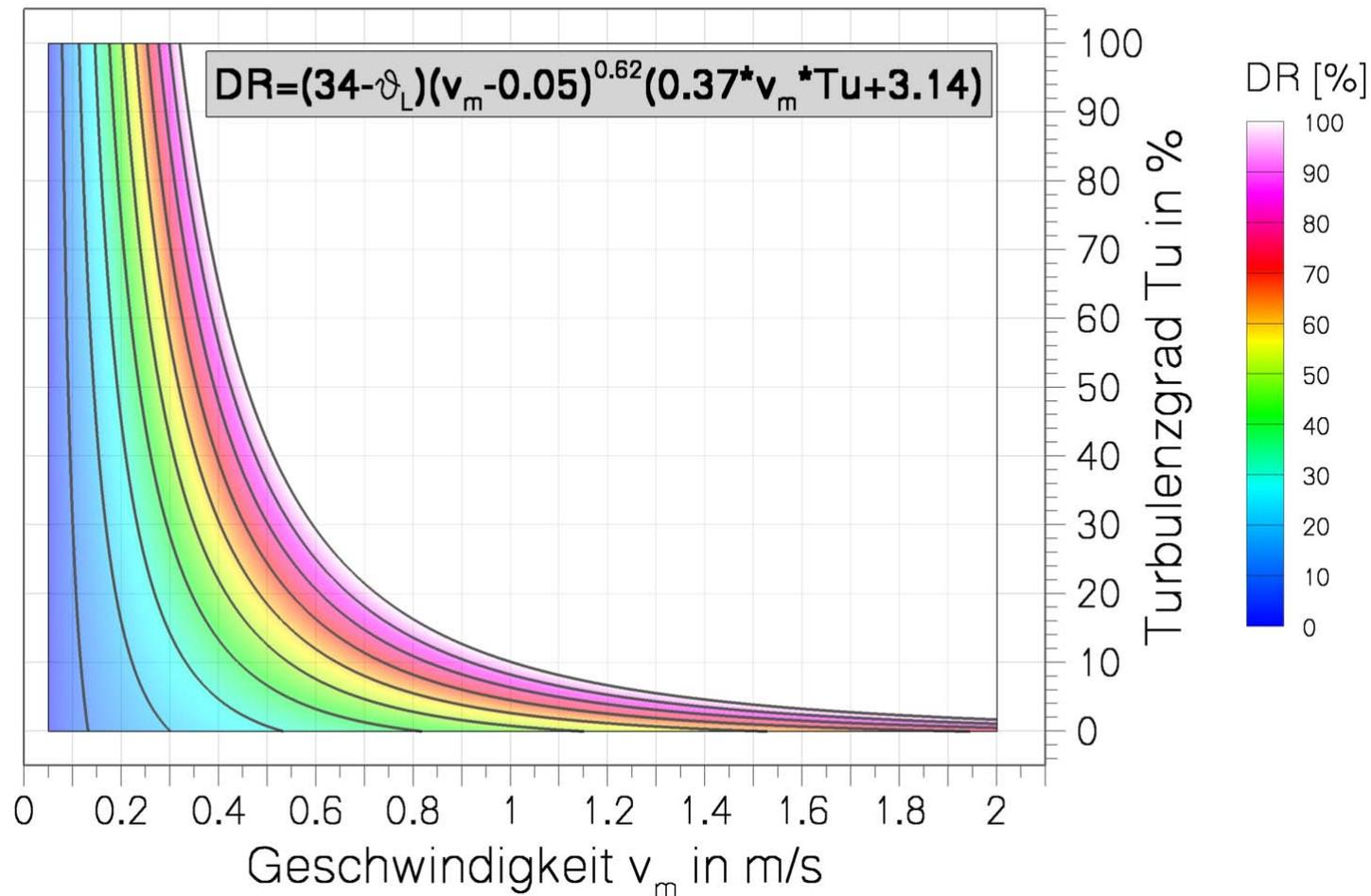
4. Ausgewählte Ergebnisse IV – Luftalter

Lokaler Luftaustauschindex
nach 30min in Ebenen



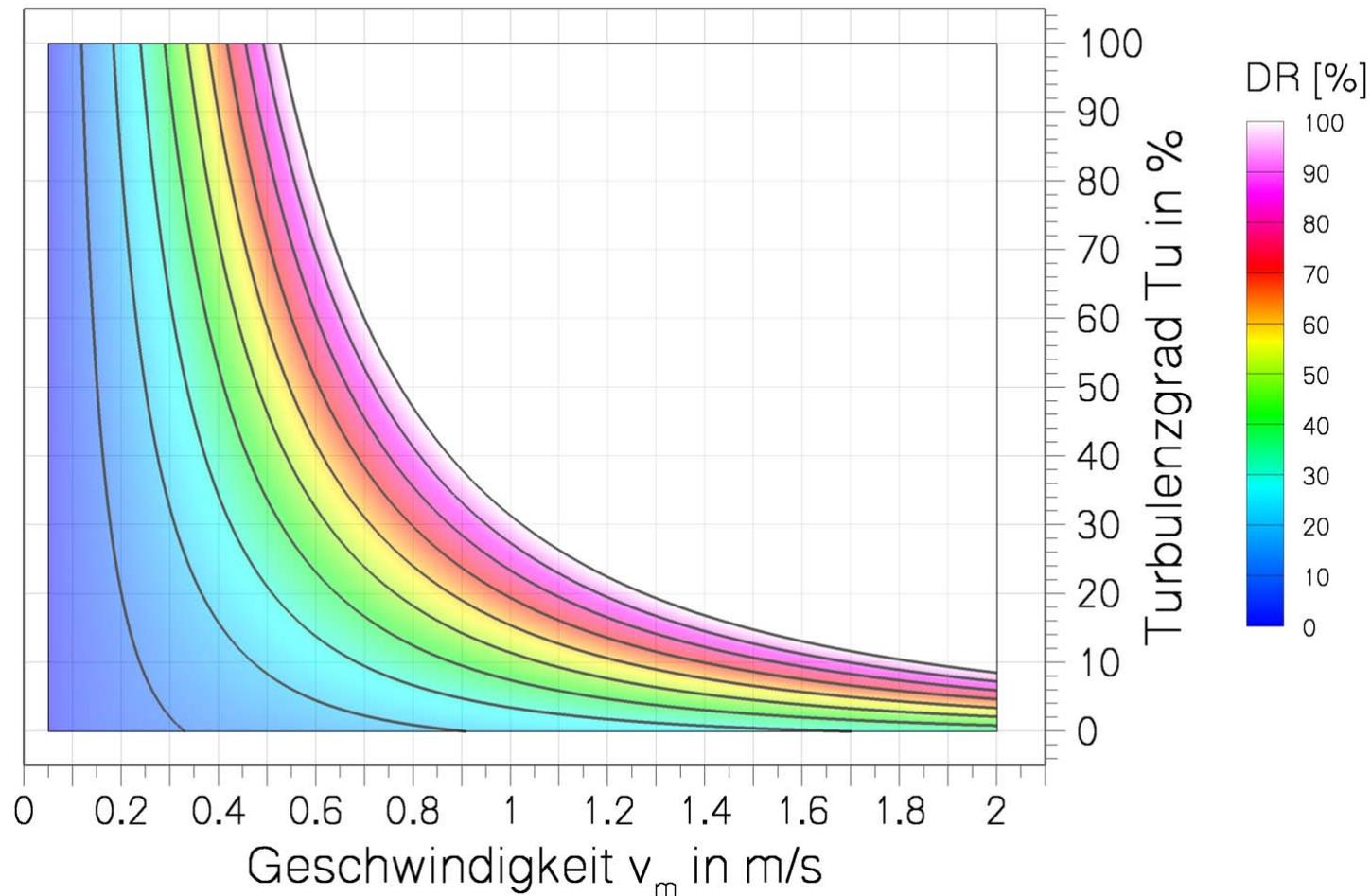
4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zugluftrisiko Erläuterung

Draft Risk bei $\vartheta_L = 19^\circ\text{C}$

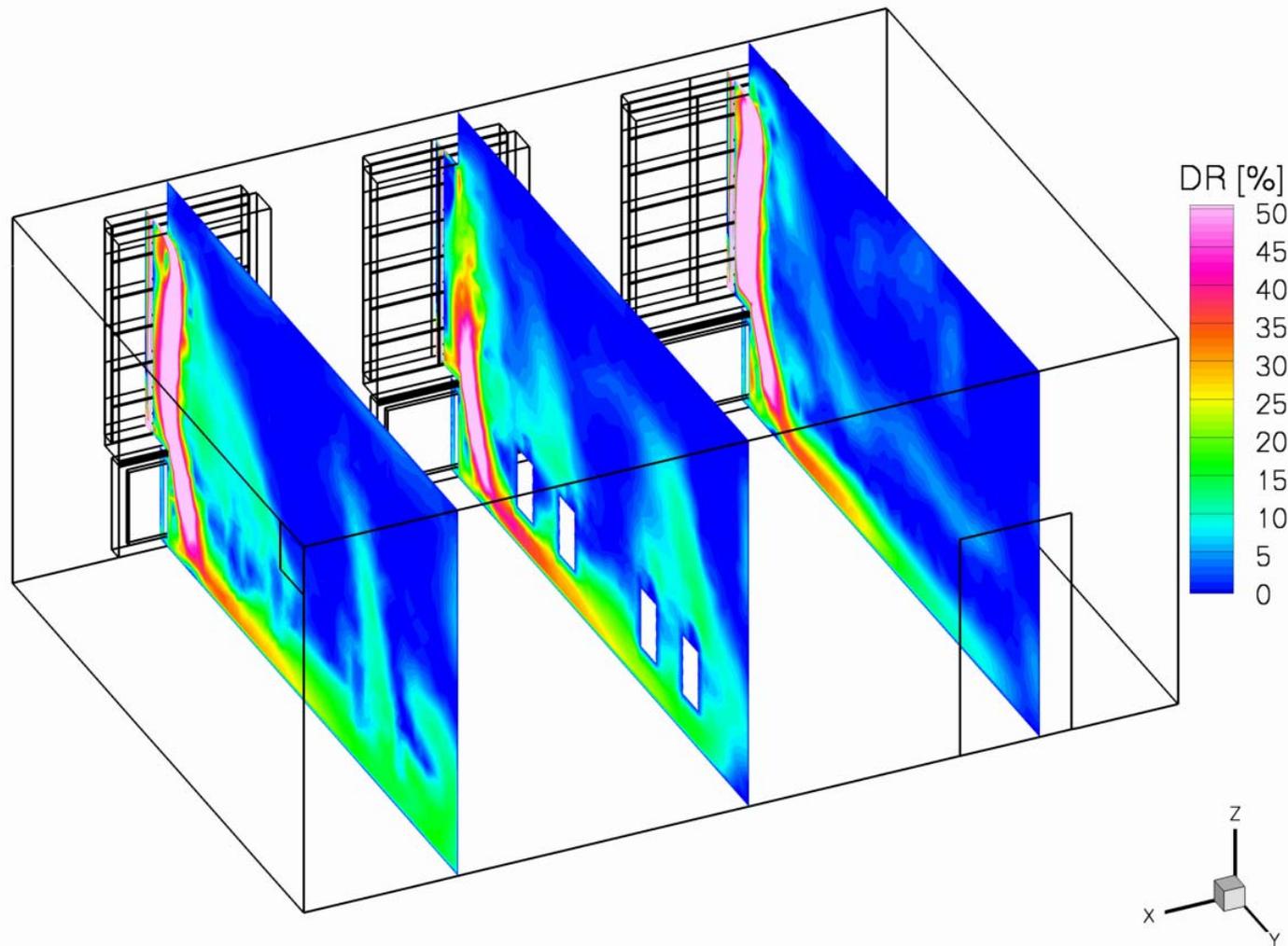


4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zugluftrisiko Erläuterung

Draft Risk bei $\vartheta_L = 27^\circ\text{C}$

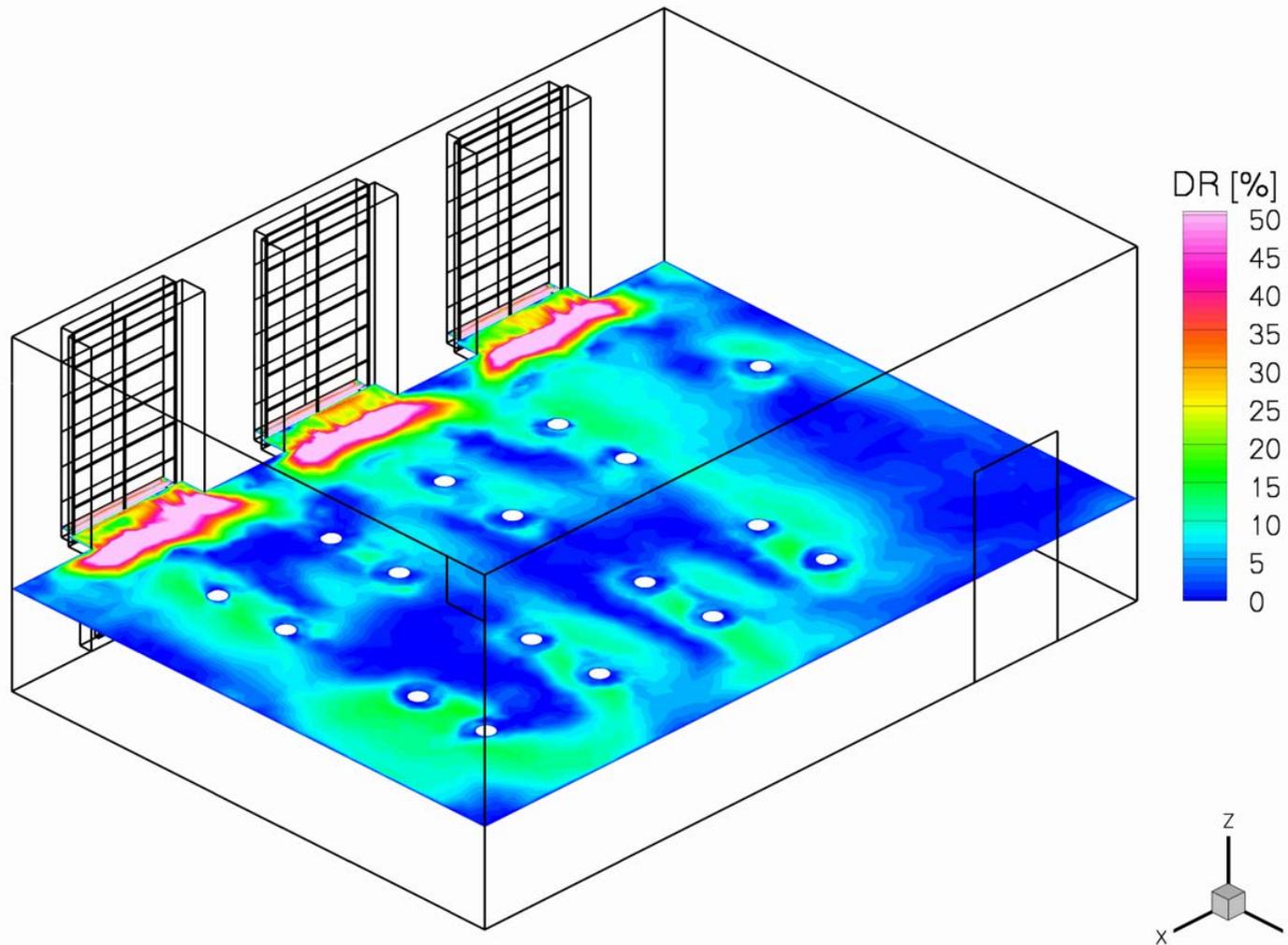


4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zuglufttrisiko / Ebenen



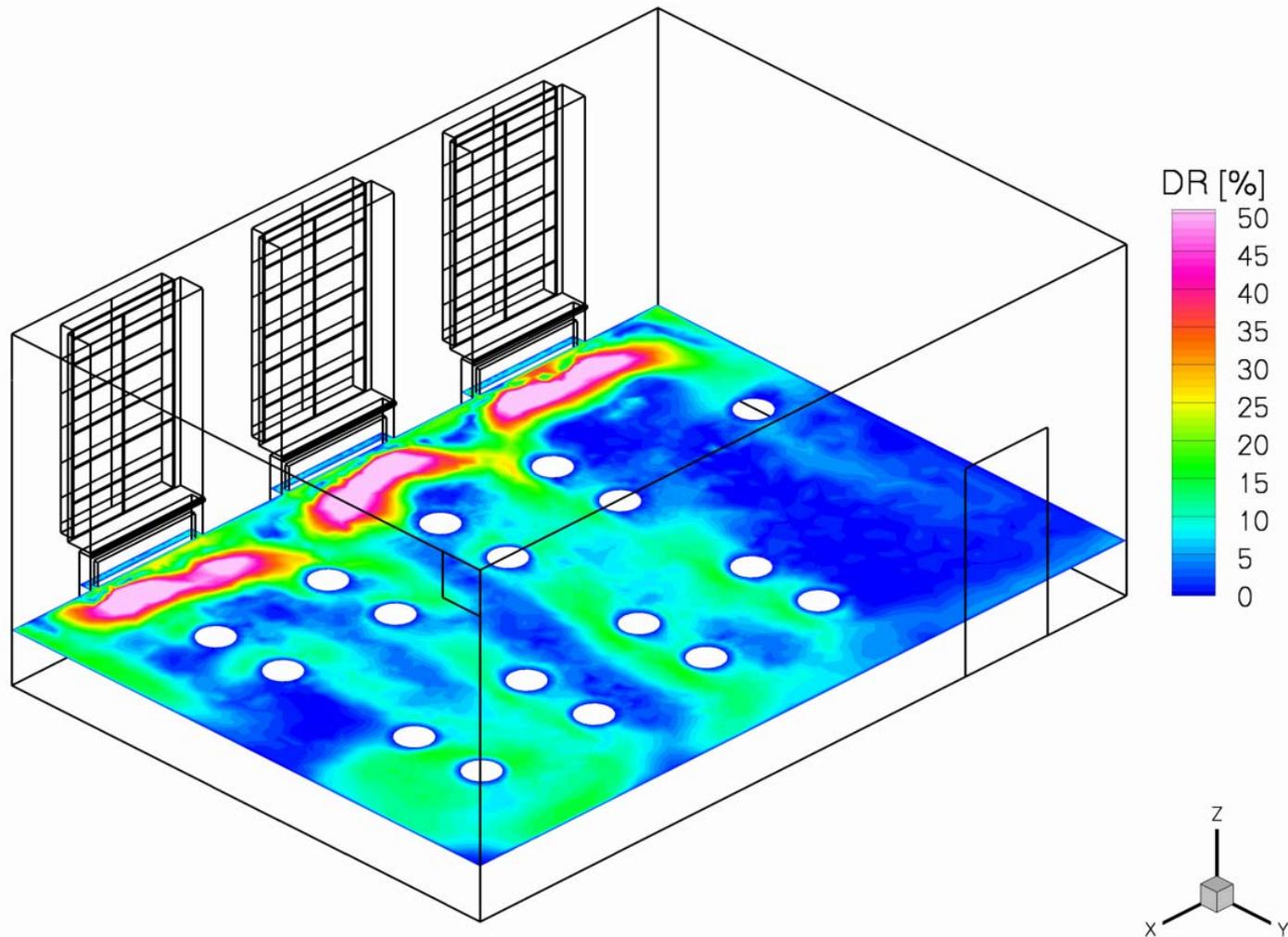
DR in verschiedenen Ebenen, für $300\text{m}^3/\text{h}$ und $\vartheta_a = -5^\circ\text{C}$

4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zuglufttrisiko / Ebenen



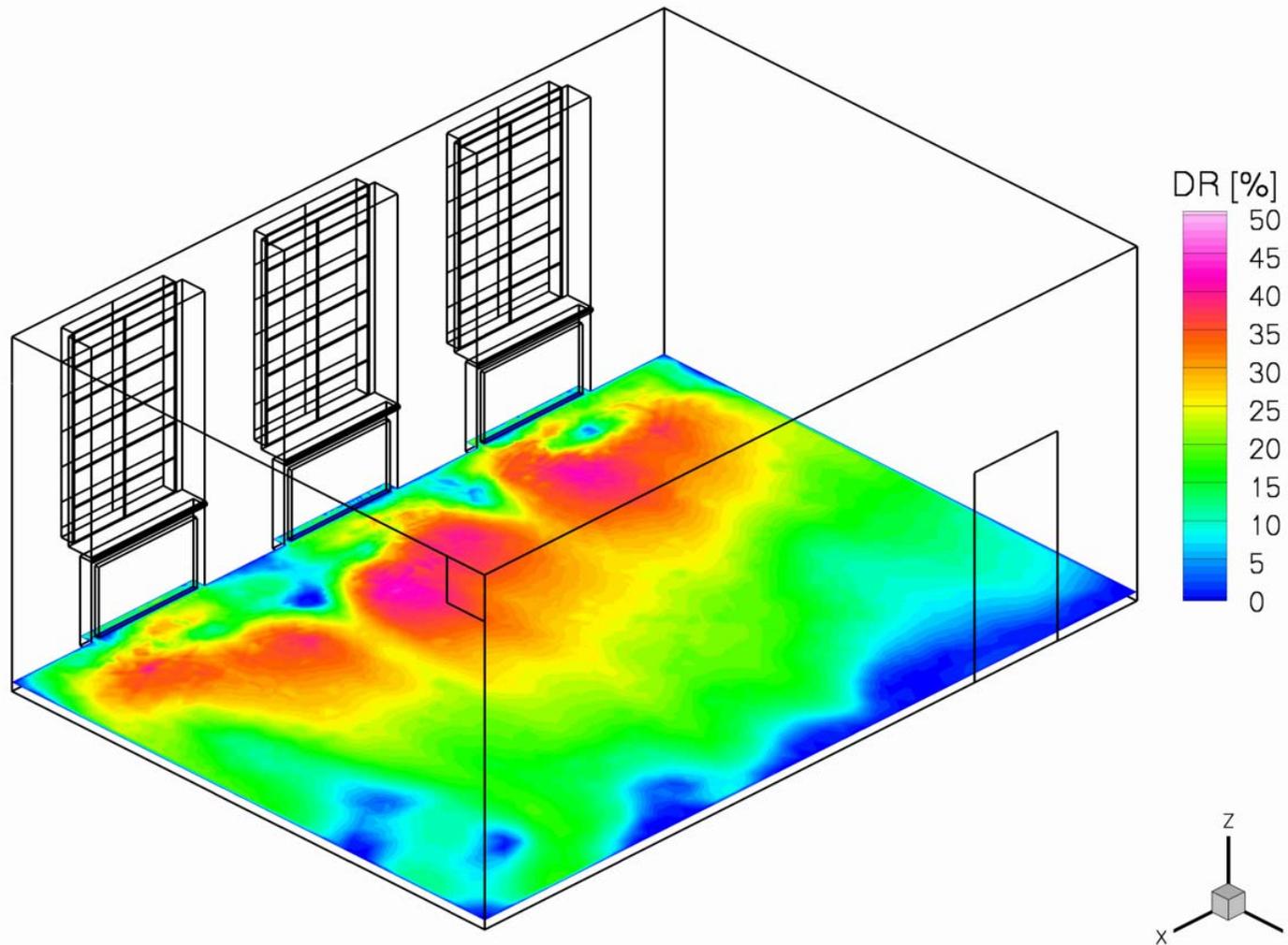
DR in verschiedenen Ebenen, für $300\text{m}^3/\text{h}$ und $\vartheta_a = -5^\circ\text{C}$

4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zuglufttrisiko / Ebenen



DR in verschiedenen Ebenen, für $300\text{m}^3/\text{h}$ und $\vartheta_a = -5^\circ\text{C}$

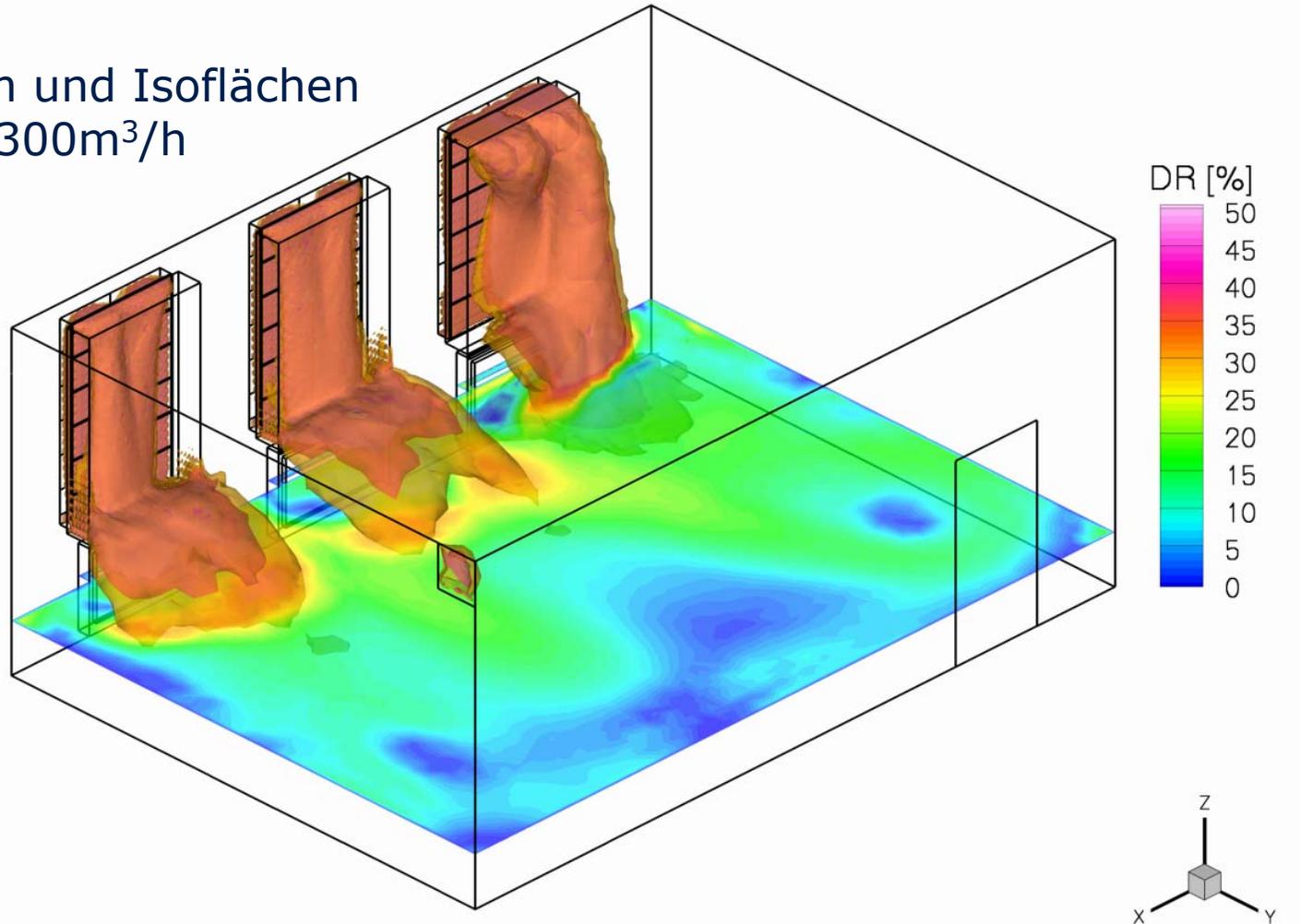
4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zugluftrisiko / Ebenen



DR in verschiedenen Ebenen, für $300\text{m}^3/\text{h}$ und $\vartheta_a = -5^\circ\text{C}$

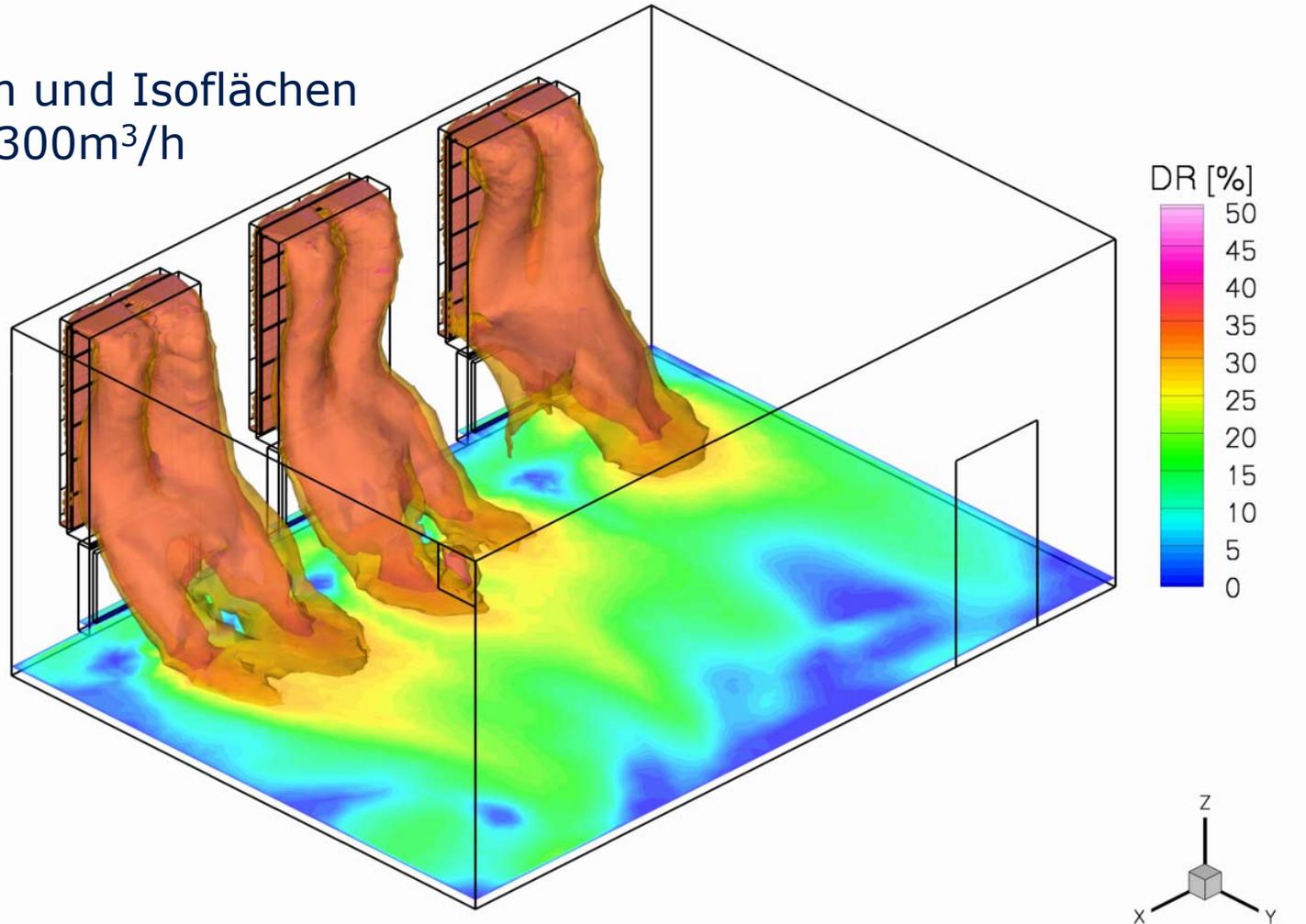
4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zugluftisiko bei unterschiedlichen Lufteinlass-Schlitztypen

DR bei 0,6m und Isoflächen
(30%), für 300m³/h
und -5°C



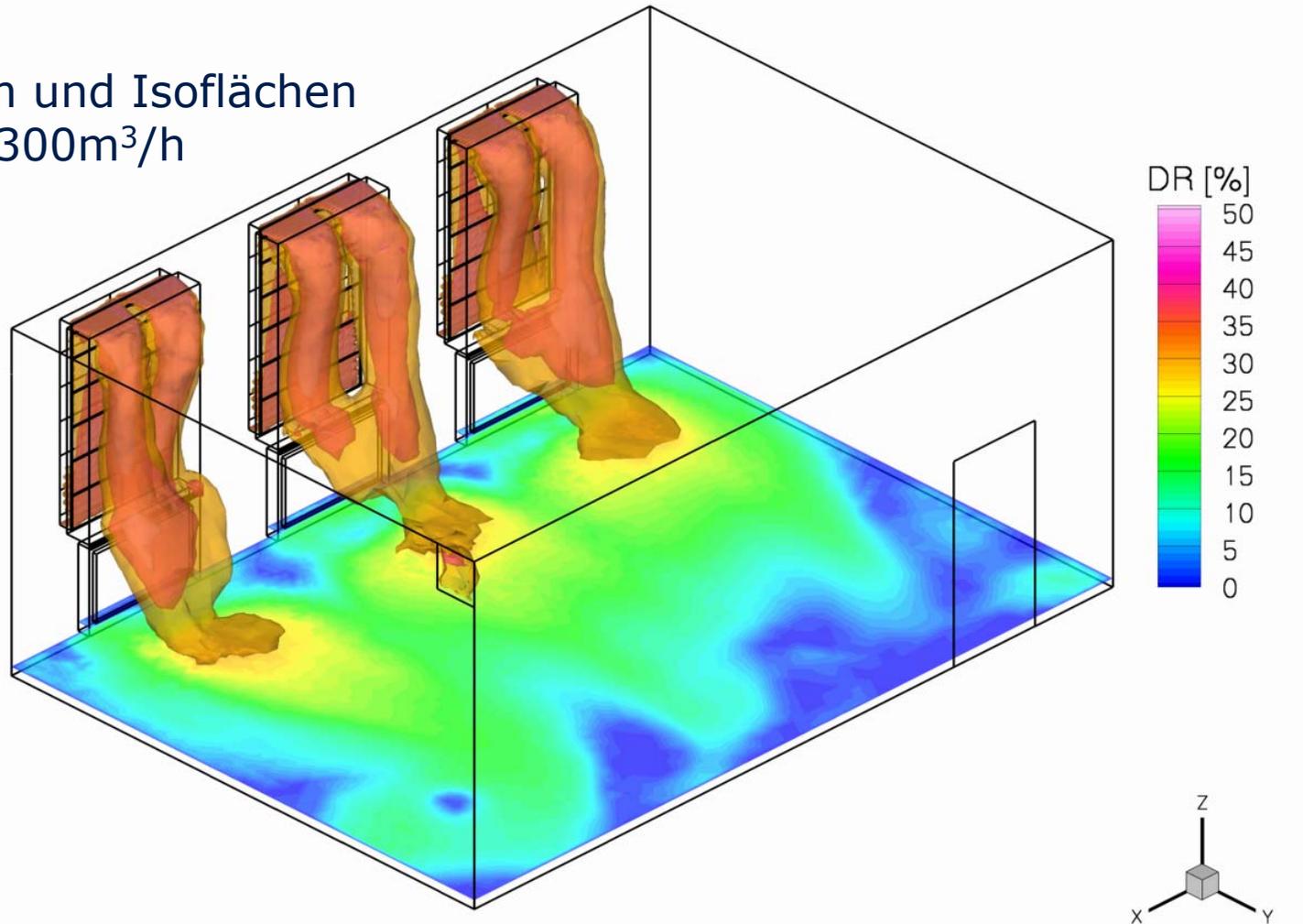
4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zuglufttrisiko bei unterschiedlichen Zulufttemperaturen

DR bei 0,1m und Isoflächen
(30%), für 300m³/h
und **-5°C**



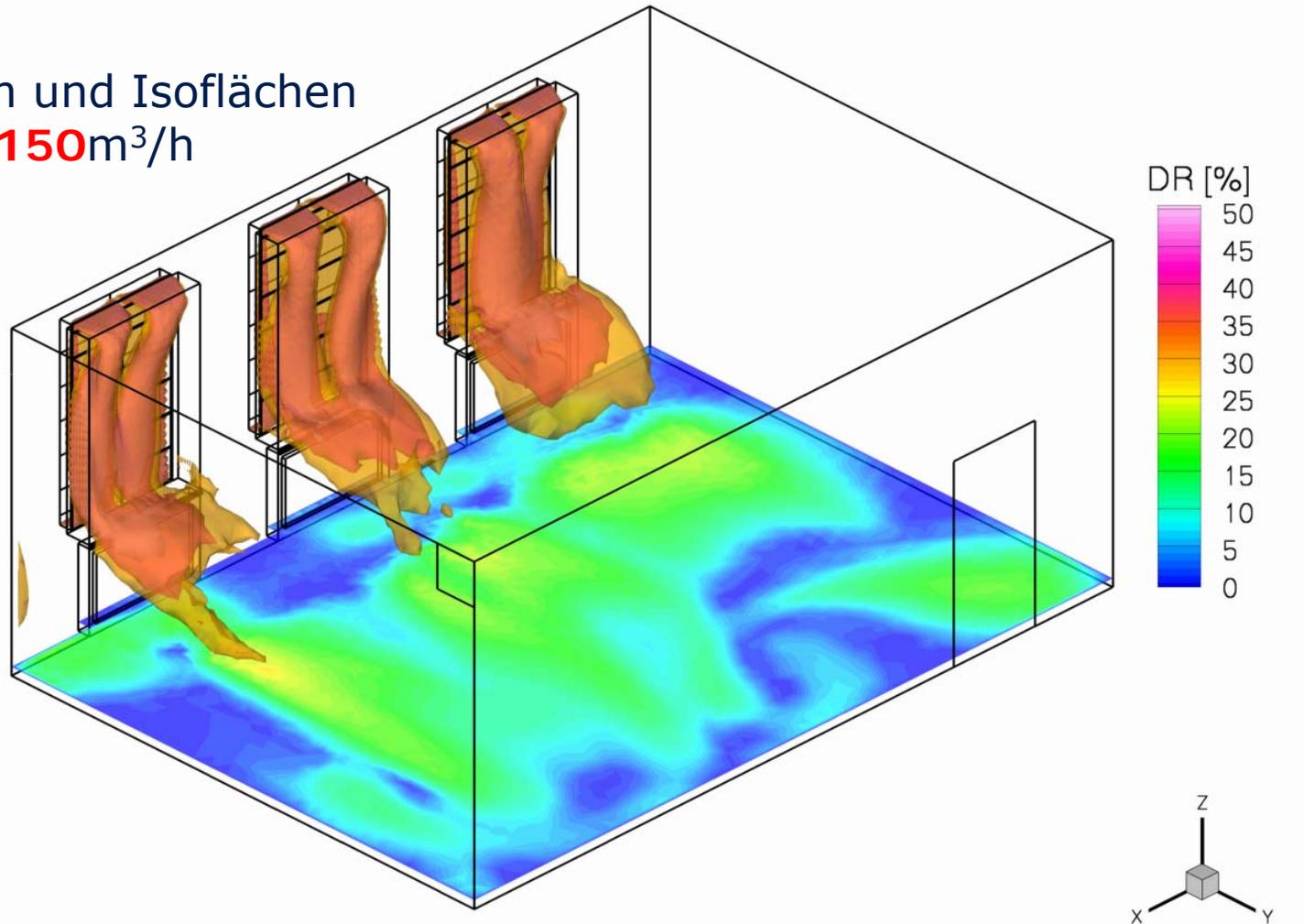
4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zugluftisiko bei unterschiedlichen Zulufttemperaturen

DR bei 0,1m und Isoflächen
(30%), für 300m³/h
und **+10°C**



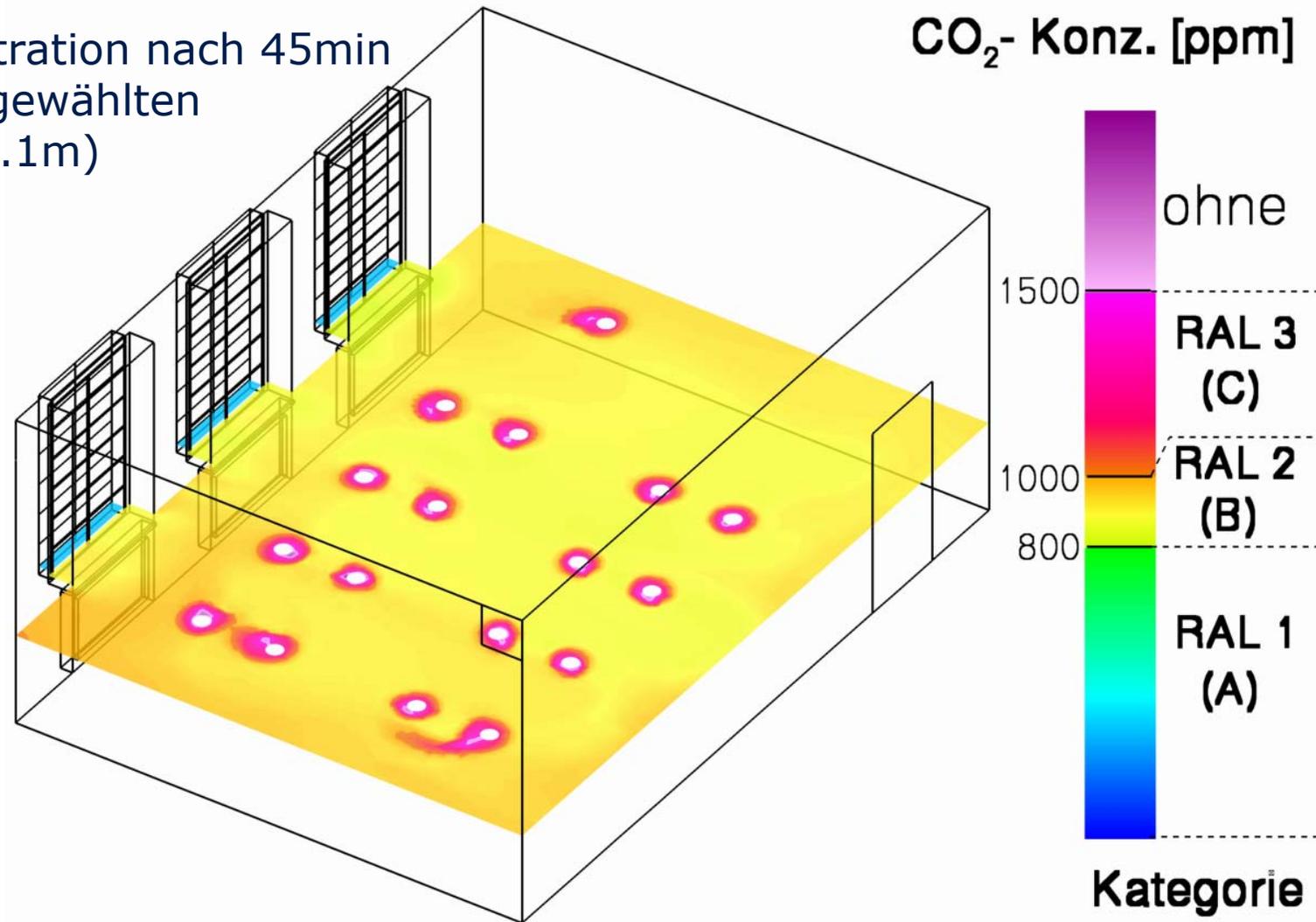
4. Ausgewählte Ergebnisse V – Zuglufttrisiko bei unterschiedlichen Volumenströmen

DR bei 0,1m und Isoflächen
(30%), für **150m³/h**
und -5°C

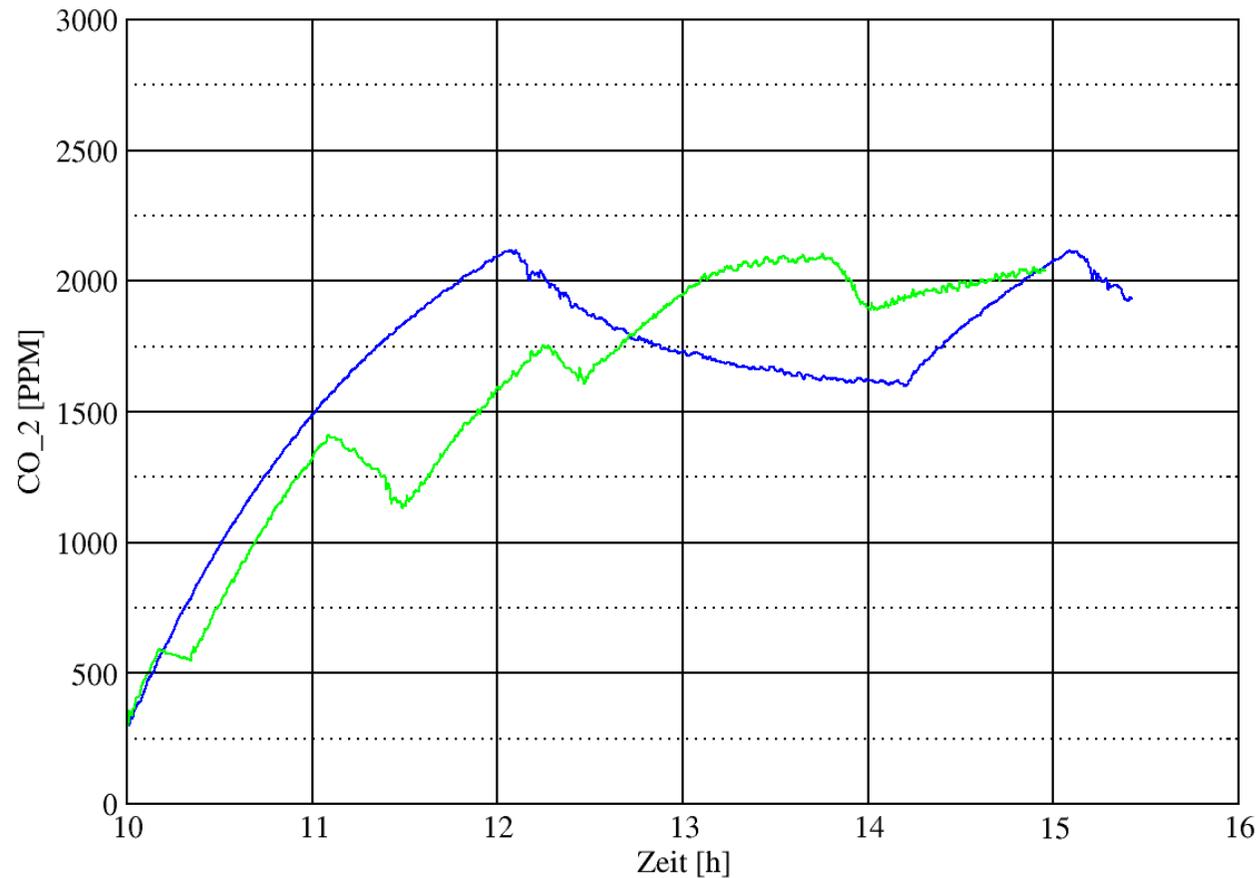


4. Ausgewählte Ergebnisse VI – CO₂-Konzentration I

CO₂-Konzentration nach 45min
in einer ausgewählten
Ebene (z= 1.1m)



4. Ausgewählte Ergebnisse VI – CO₂-Konzentration II



Zeitlicher Verlauf der CO₂-Konzentration in der Abluft, lokale Quellen, CO₂-Regelung

5. Fazit / Empfehlungen

- Insgesamt sehr gute und gleichmäßige Frischluftversorgung
- 300m³/h bei -5°C: bezogen auf Zugrisiko problematisch
- Bei höheren ϑ_a sind auch 300m³/h phasenweise realisierbar
- 150m³/h bei -5°C: bezogen auf Zugrisiko machbar, jedoch Anstieg der CO₂-Belastung auf mehr als 2000PPM
- CO₂-geführte Volumenstromregelung ist sinnvoll
- Mindestabstand von den Fenstern etwa 1m
- HK unter den Fenstern reduzieren die Zugbelastung
- Luftvorwärmung in den Kastenfenstern relativ gering, daher Heizkörper zusätzlich empfehlenswert