

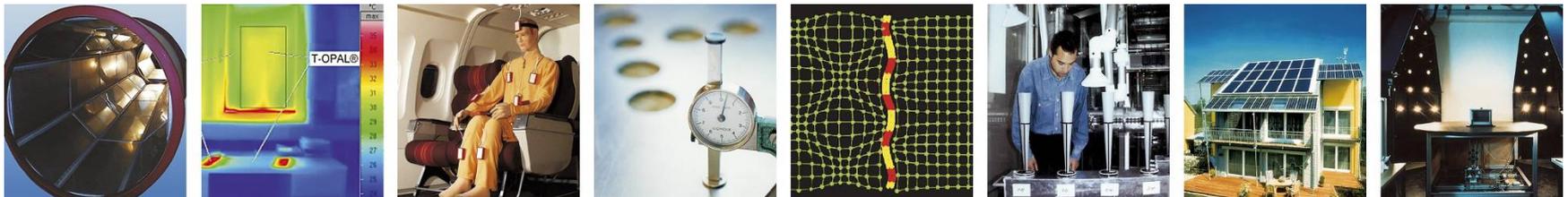
---

# Innovative Lüftungstechnik für Schulen – automatisierte Fensterlüftung

Workshop „Besseres Lernen in energieeffizienten Schulen“

---

Auf Wissen bauen



# Verbundprojekt

**„Heizenergieeinsparung, thermische Behaglichkeit und gute Luftqualität in Schulgebäuden durch hybride Lüftungstechnik“**

## Projektpartner:

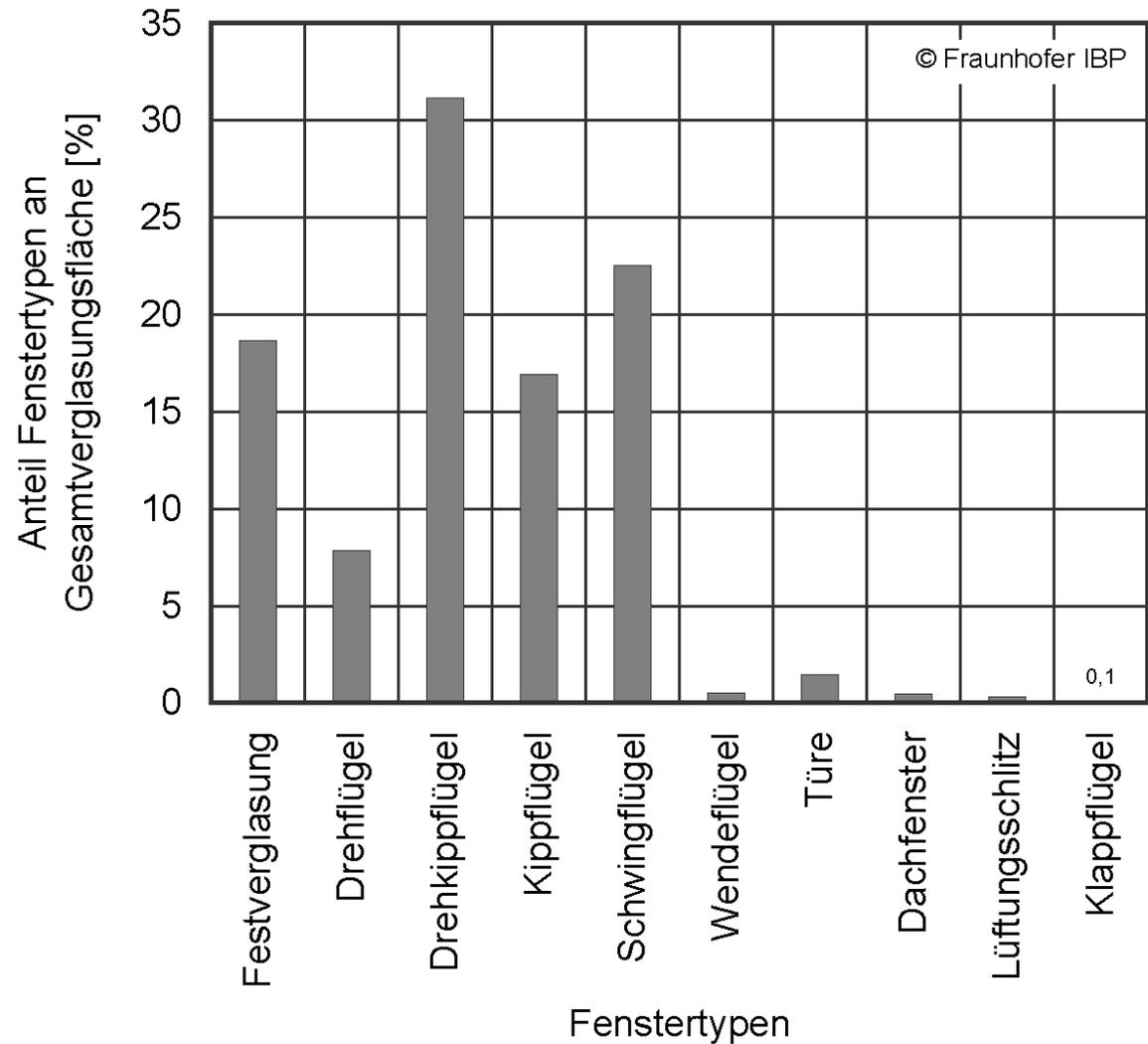
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Verbundprojektleitung):  
**„Hybride Lüftungssysteme für Schulen“**
- E.ON ERC, RWTH Aachen,  
Lehrstuhl für Konstruktives Entwerfen und Klimagerechtes Bauen, TUB,  
Wildeboer Bauteile GmbH:  
**„Thermische Behaglichkeit und gute Luftqualität in Schulgebäuden durch hybride Lüftungstechnik“**

# Teilprojekt Fraunhofer IBP

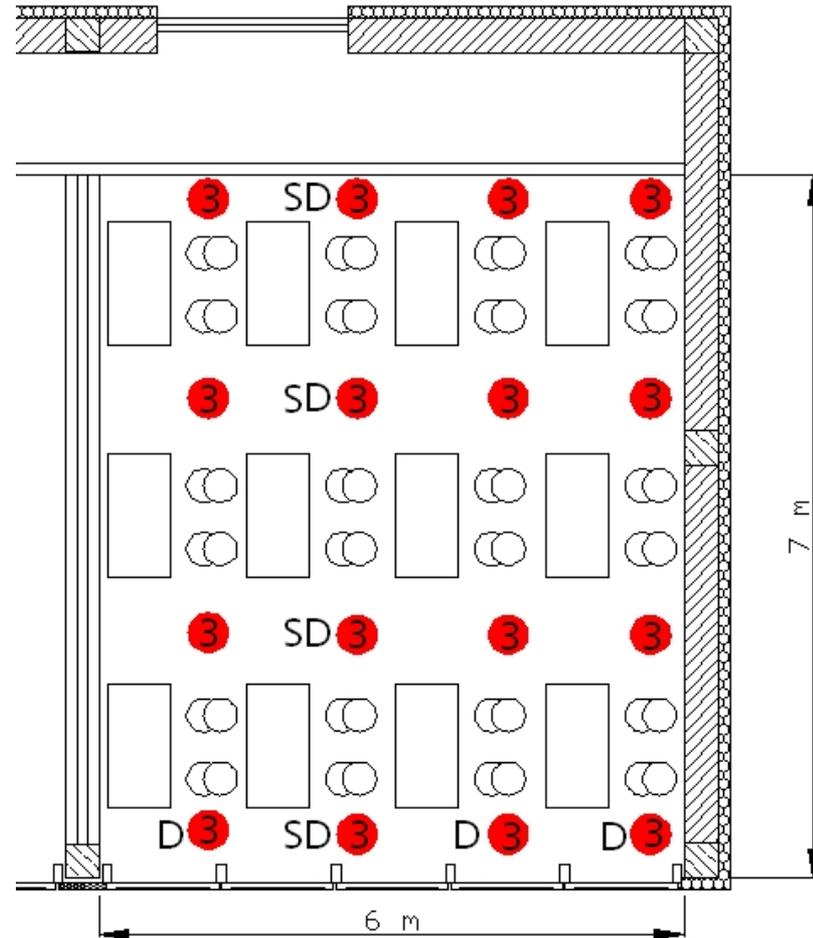
- Aufstellen einer Typologie von Fassaden in Schulgebäuden (Öffnungstypen, Variabilität, Sonnenschutz, Belichtung)
- Optimierte Anordnung der Öffnungen in der Fassade: Untersuchungen in Freilandversuchseinrichtung
- Kombination der optimierten Fassadenkonstruktion mit Komponenten zur automatischen Steuerung/Regelung und Unterstützung einer freien Lüftung

# Fenstertypen

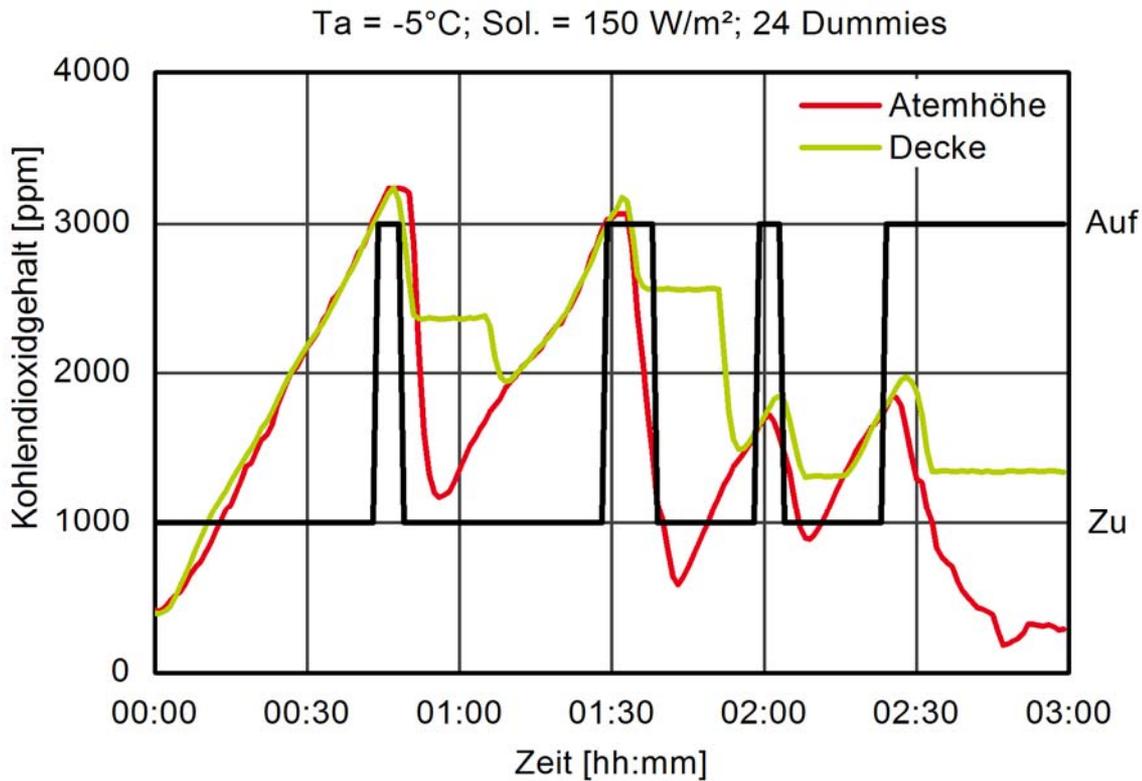
Daten von  
106 Klassenräumen  
im LK Miesbach



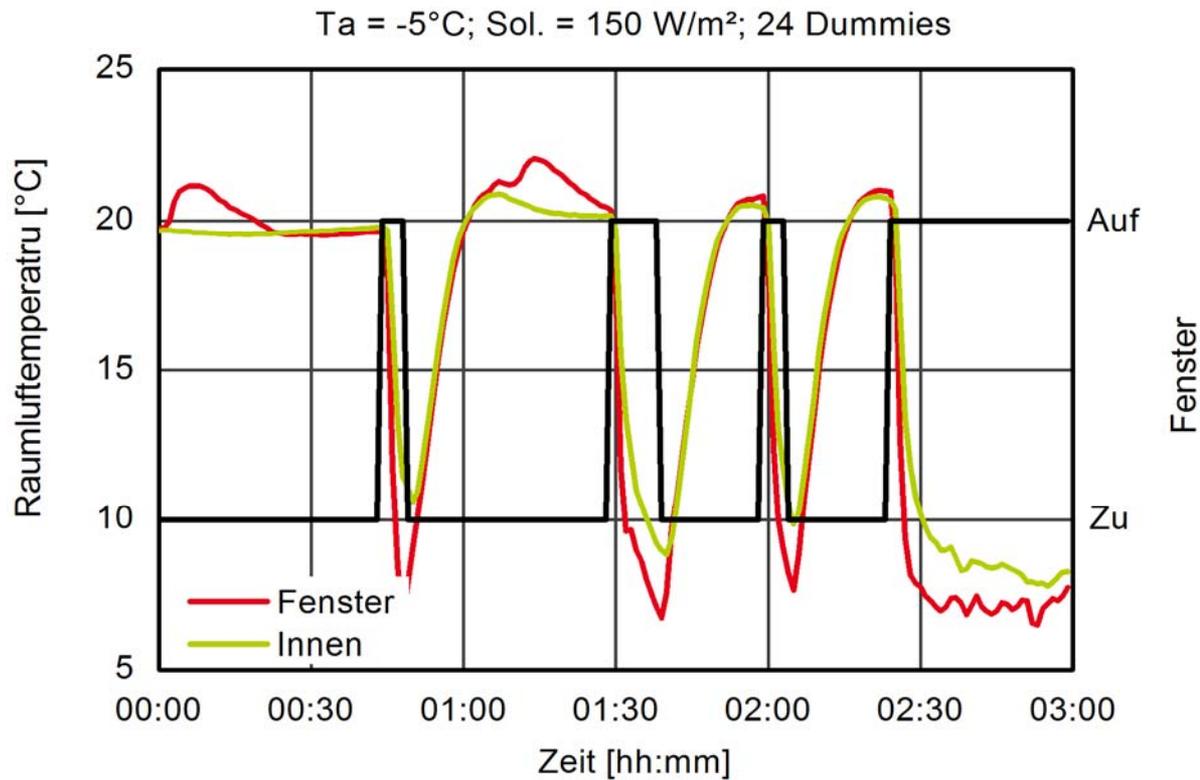
# Freilandversuchseinrichtung „Schulhaus“



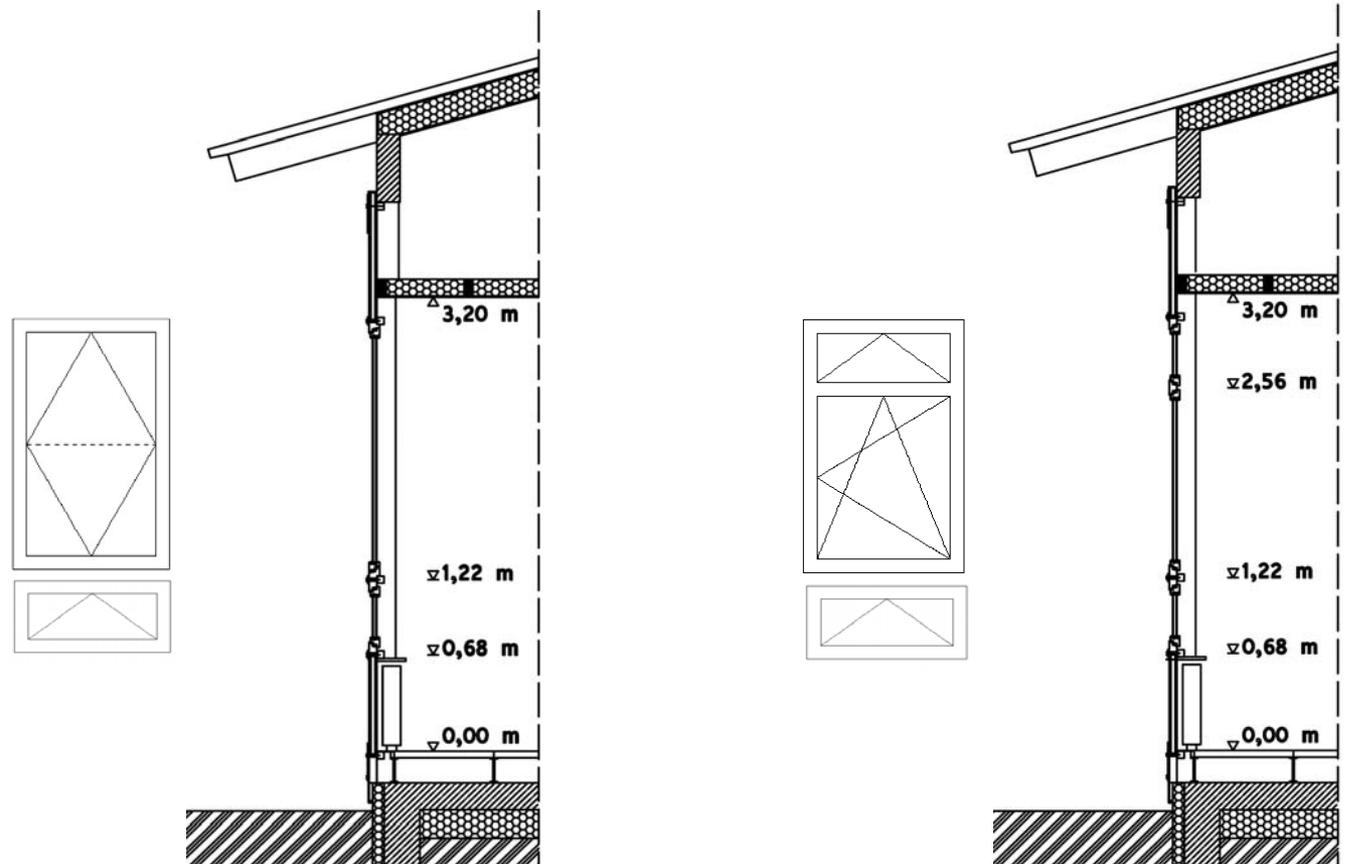
# Stoßlüftung



# Stoßlüftung



# Untersuchte Fassadenvarianten zur min. Dauerlüftung



# Winterversuche

Wichtigste Zielgrößen:

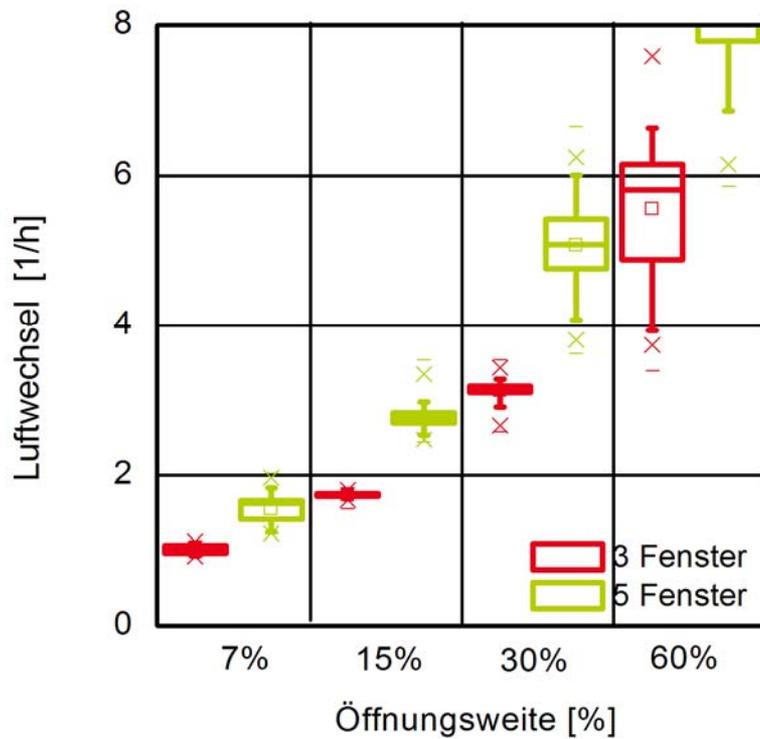
Luftqualität und thermische Behaglichkeit gekennzeichnet durch

- Luftwechsel
- Raumlufttemperatur
- Zugluftrate neben dem Fenster

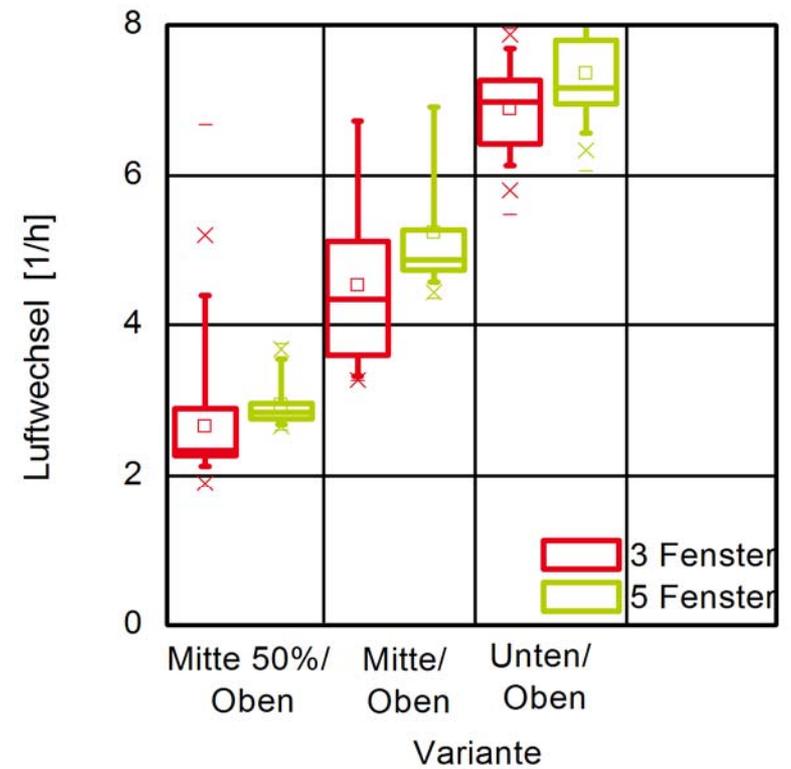
Außentemperaturen von  $-6^{\circ}\text{C}$  bis  $4^{\circ}\text{C}$ , Windgeschwindigkeit bis 4 m/s

# Luftwechsel

## Schwingflügel



## Kippflügel



# Temperatur und Zugluftrate

- Raumlufthtemperaturen bis etwa 4-fachen Luftwechsel in akzeptablen Bereich
- Zugluftrate geringer, je höher die Fenster liegen und je geringer der Luftwechsel
- Teilweise sehr große Schwankungen in den Messergebnissen
- Gute Varianten: Zugluftrate zwischen 10 bis 20% (hochliegende Kippflügel)
- Akzeptable Varianten: Zugluftrate zwischen 20 bis 30% (Schwingflügel)

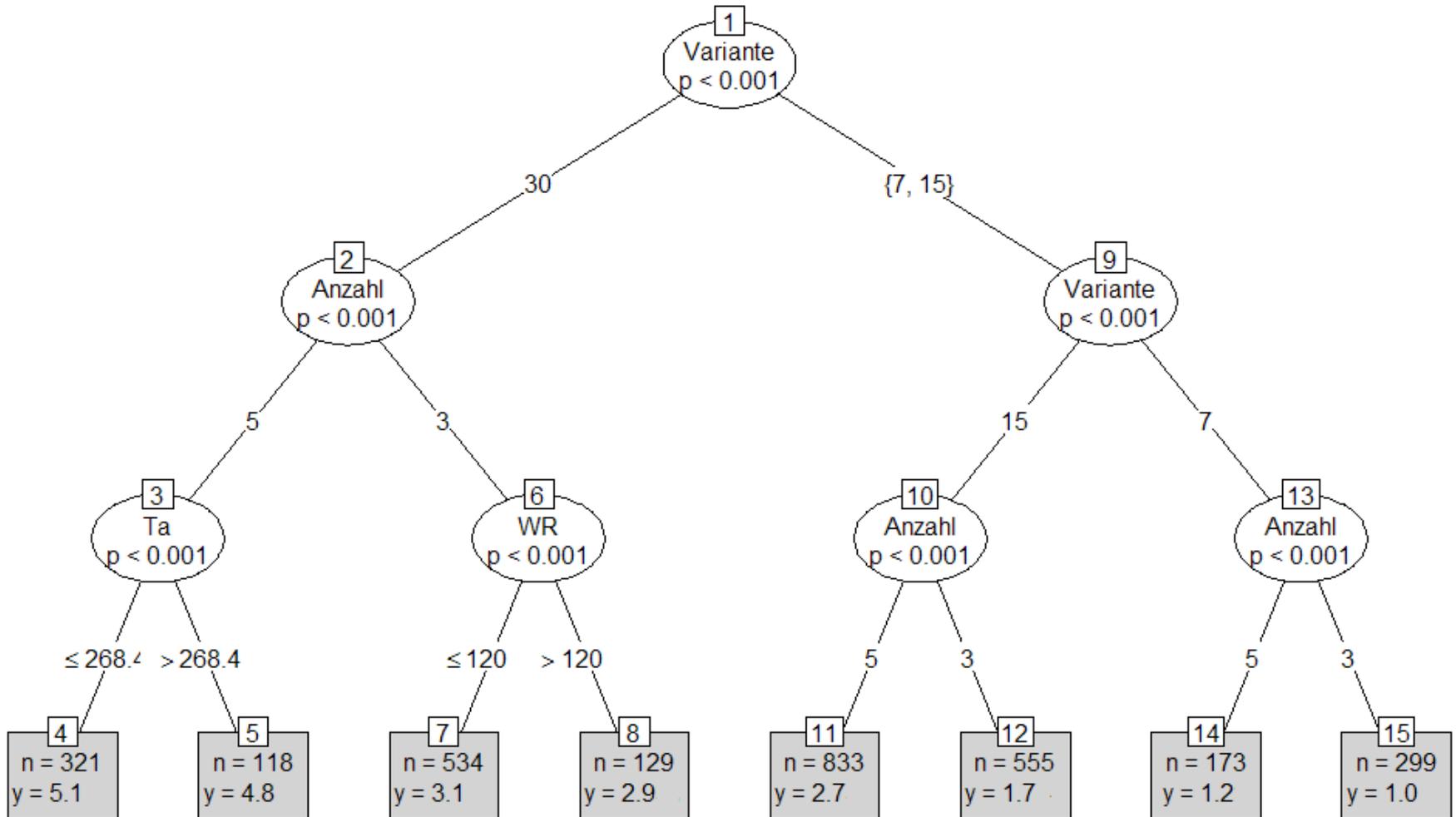
# Winterversuche

Potentielle Einflussgrößen auf die Zielgrößen

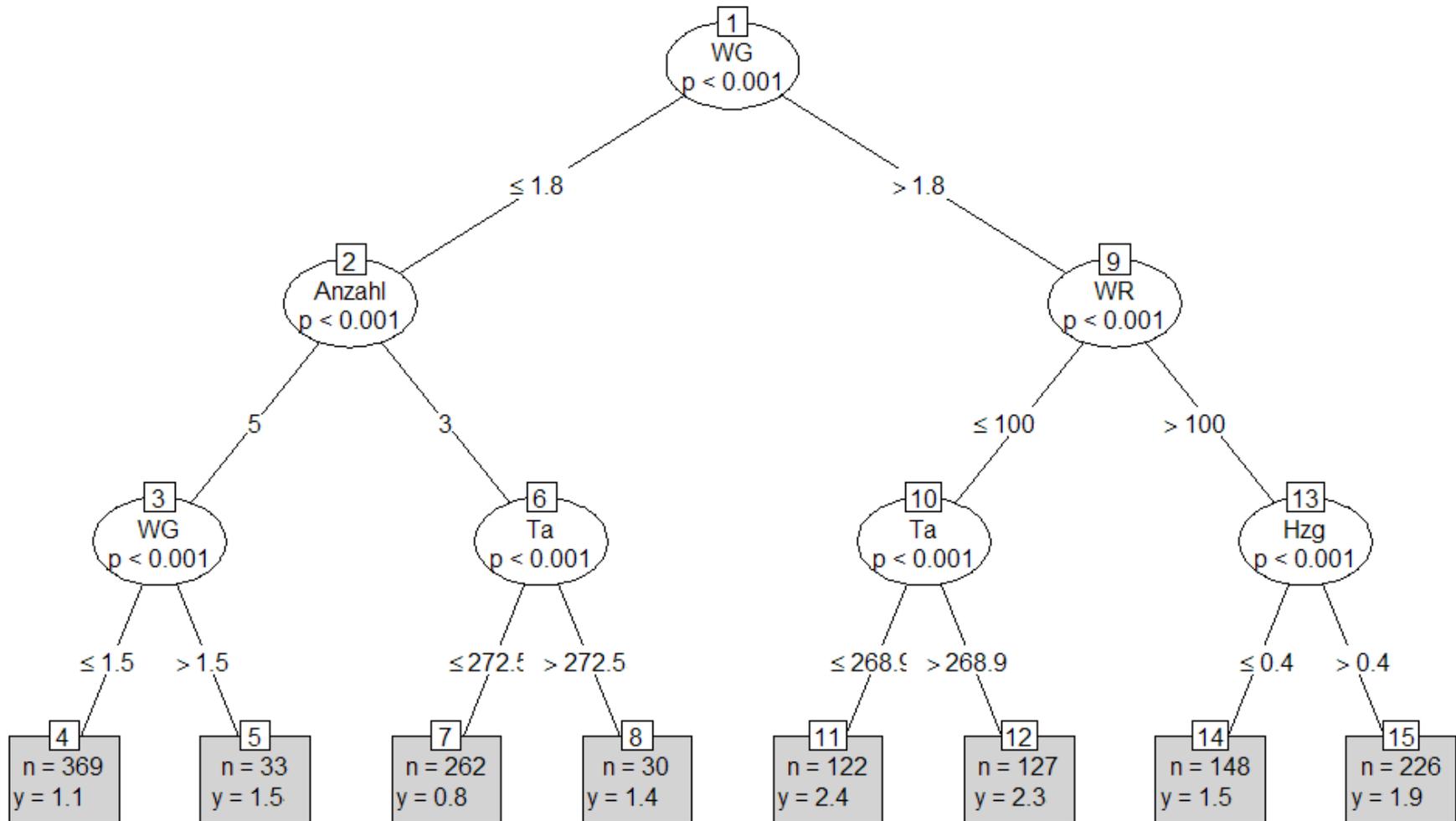
- Variante: Öffnungsweite und/oder Kombination von Kippflügeln
- Außentemperatur
- Windgeschwindigkeit
- Windrichtung

→ Statistisches Verfahren zur Messdatenauswertung  
(Entscheidungsbaumverfahren)

# Schwingflügel – Einfluss auf Luftwechsel



# 1 Reihe Kippflügel – Einfluss auf Luftwechsel



# Eignung der Fassadenvarianten

## Vorraussetzungen:

- gute Einflussmöglichkeit auf die Raumparameter durch Öffnungsweite
- möglichst geringer Einfluss durch Wind

## Ergebnisse:

- Schwingflügel am besten geeignet
- Kippflügel in zwei Reihe bedingt geeignet
- Kippflügel in einer Reihe nicht geeignet

# Regelungsversuche

Herausforderungen bei der Automatisierung der Fensterlüftung:

- Variable Lasten im Raum
- Zwei Regelgrößen (Raumtemperatur, Luftqualität)
- Störgrößen (Außentemperatur, Windgeschwindigkeit, Windrichtung)
- Variable Eigenschaften der Raumluftrömung:  
Zuluftmengen  
Zulufttemperatur
- Heizung

→ mit mathematischen Modellen schwer zu beschreiben

# Fuzzy - Control

## Vorteile Fuzzy-Control:

- empirische Methodik
- effektive Nachbildung menschlichen Verhaltens
- relativ aufwandsarm
- tendenziell robust

## Positive Ergebnisse in der Literatur:

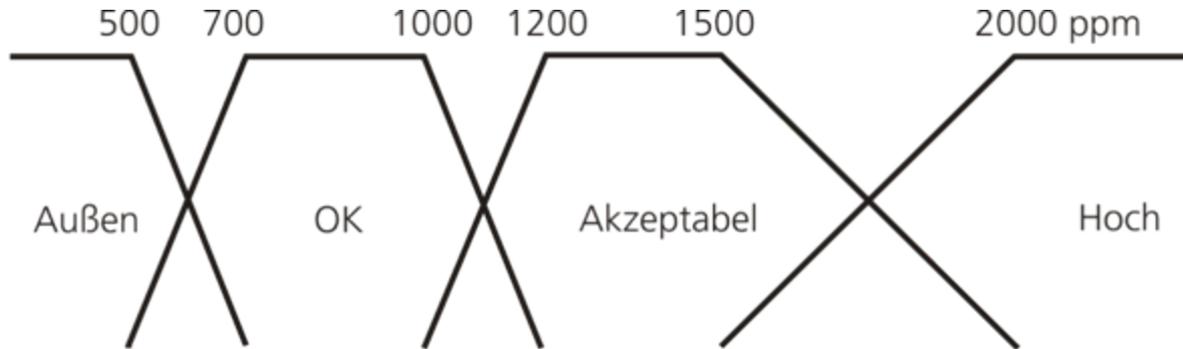
### → Regelung Raumtemperatur bei freier Lüftung

Marjanovic and Eftekhari: Design and Simulation of a Fuzzy Controller for Naturally Ventilated Buildings. Building Services Engineering, Vol. 25, Nr. 1 (2004), S. 33-53.

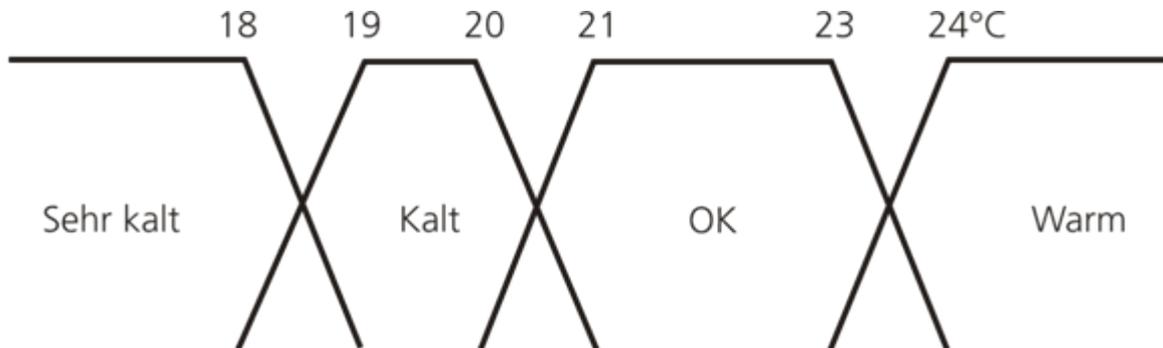
### → Regelung CO<sub>2</sub>-Konzentration bei freier Lüftung

Dounis et al.: Indoor Air-Quality Control by a Fuzzy-Reasoning Machine in Naturally Ventilated Buildings. Applied Energy, Vol. 54, Nr. 1 (1996), S. 11-28.

# Eingangsgrößen



Kohlendioxidgehalt

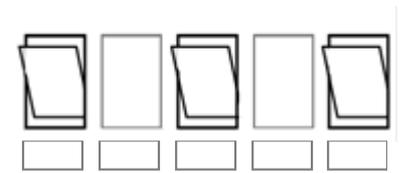
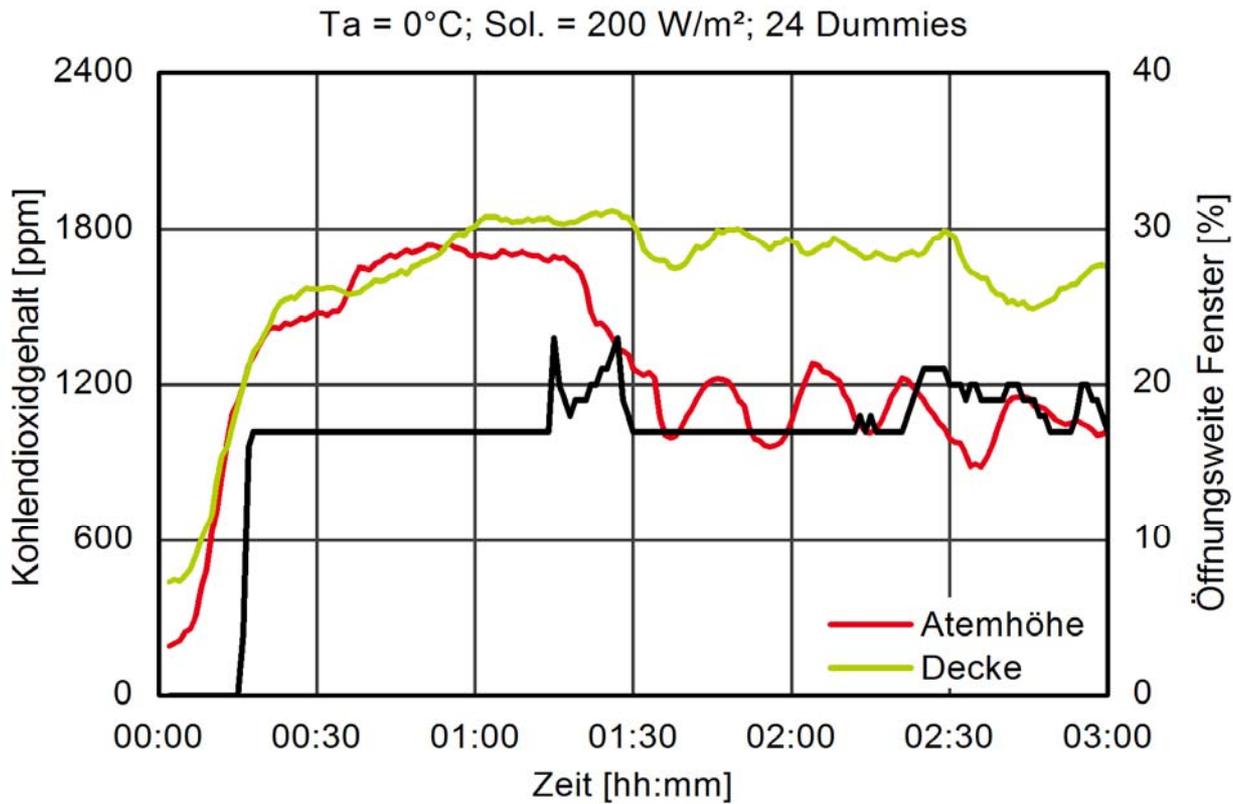


Raumlufttemperatur

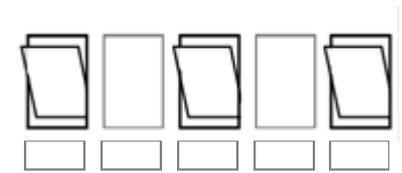
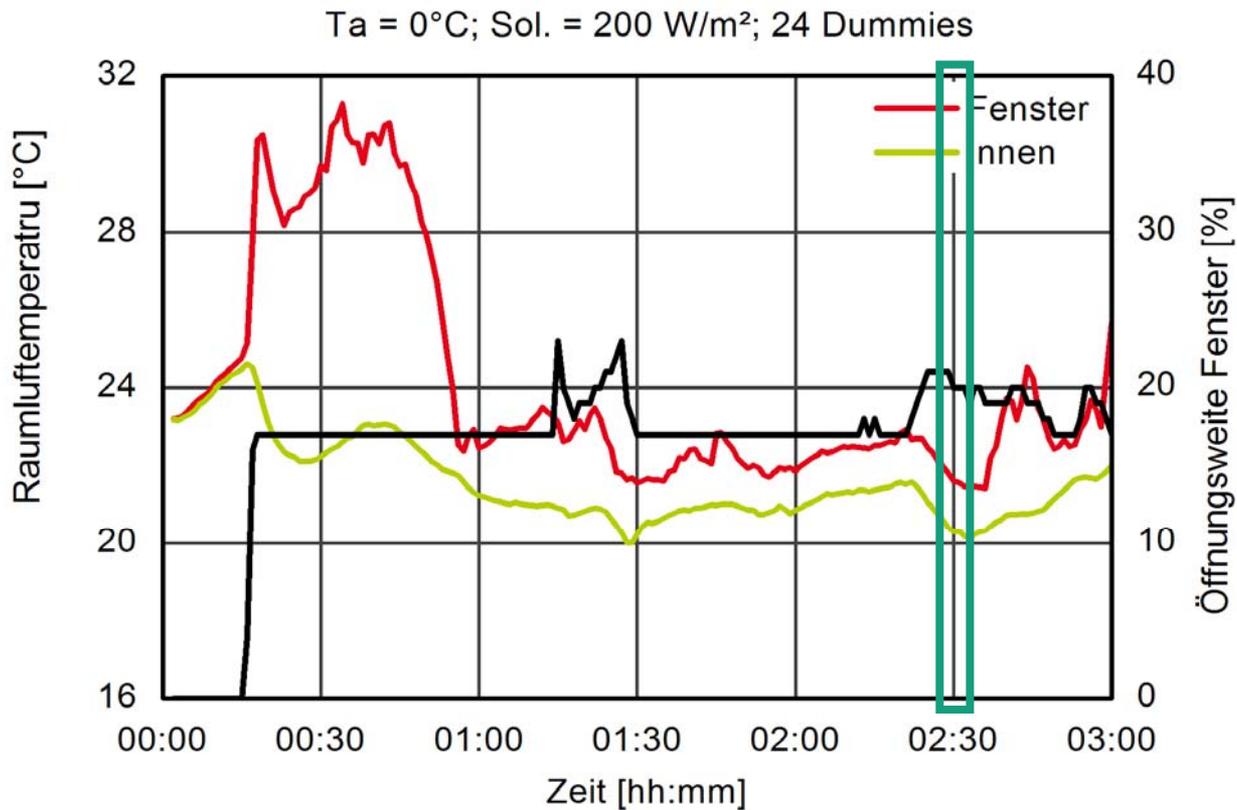
# Regeln

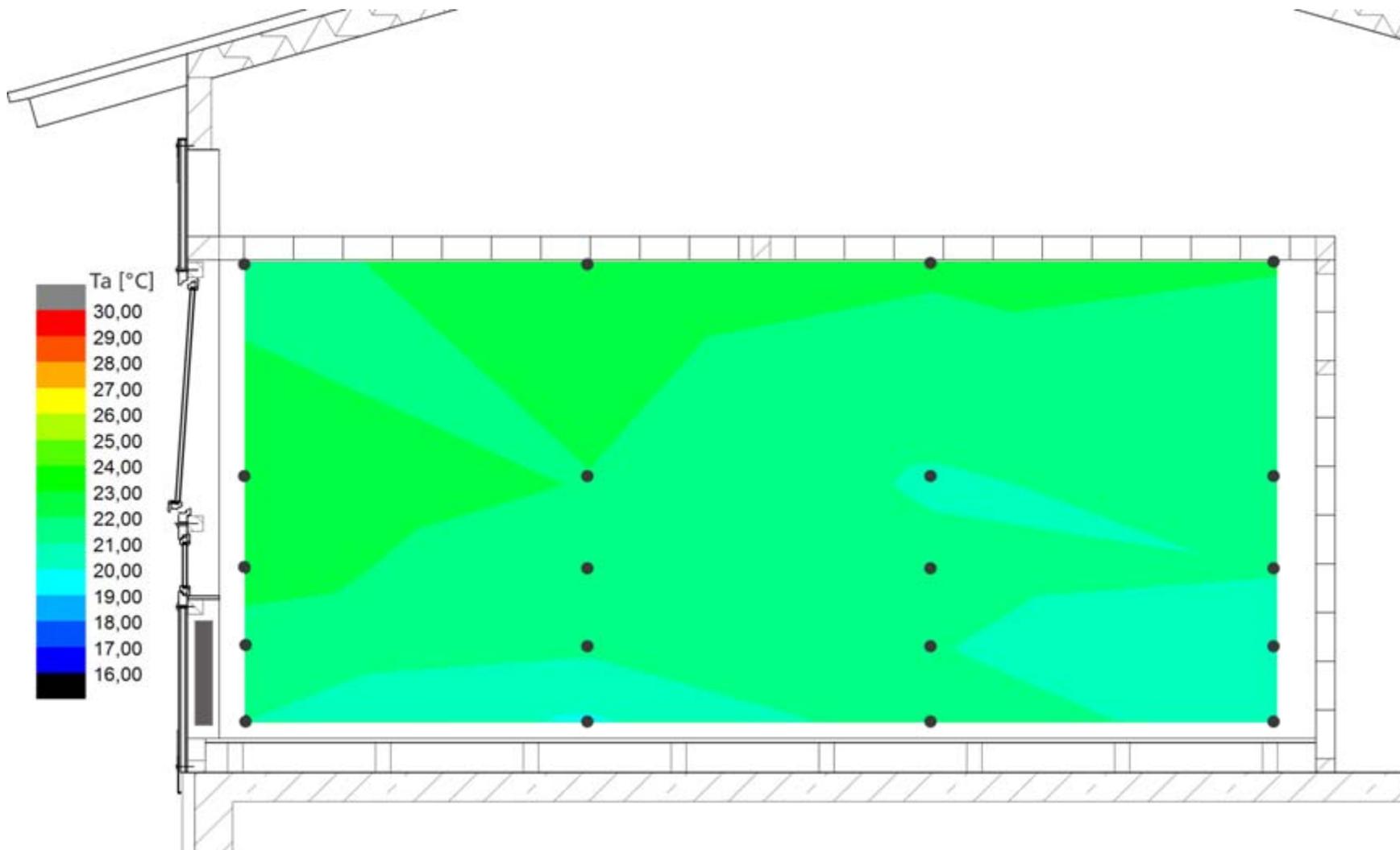
Außentemperatur	Innentemperatur	Kohlendioxid	Lüftung
Kalt		OK.	Schließen
Kalt		Akzeptabel	Minimal
Kalt		Hoch	Wenig
Kalt	Sehr kalt		Schließen
Kalt	Kalt		Schlitz
Warm			Maximal

# Regelungsversuche mit Dummies - Schwingflügel



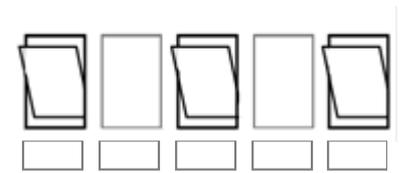
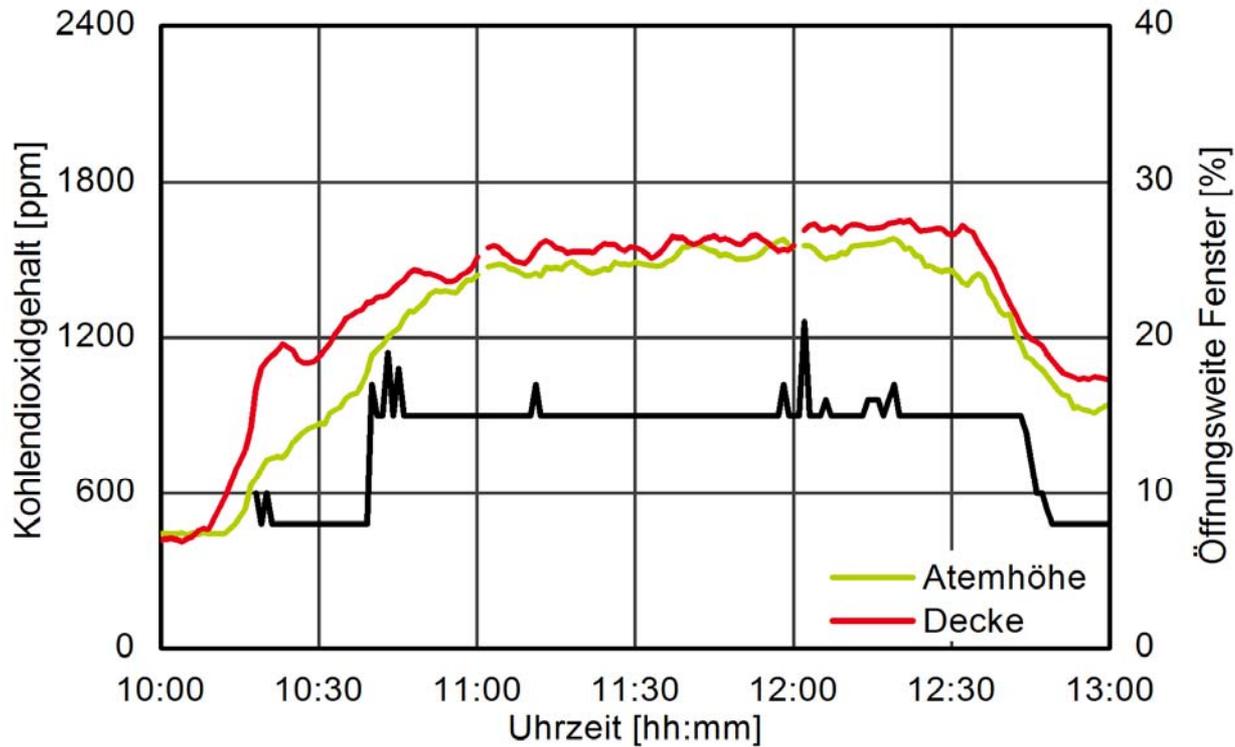
# Regelungsversuche mit Dummies - Schwingflügel



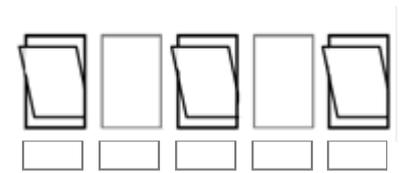
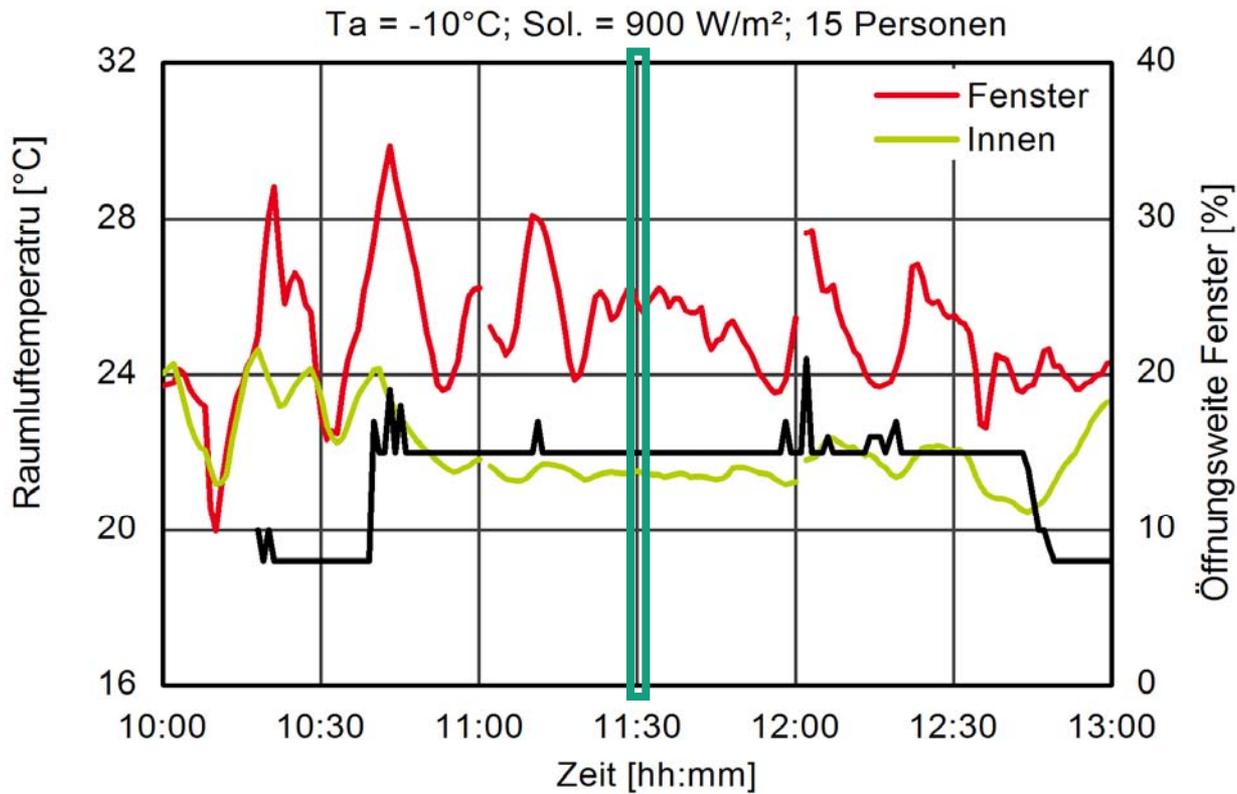


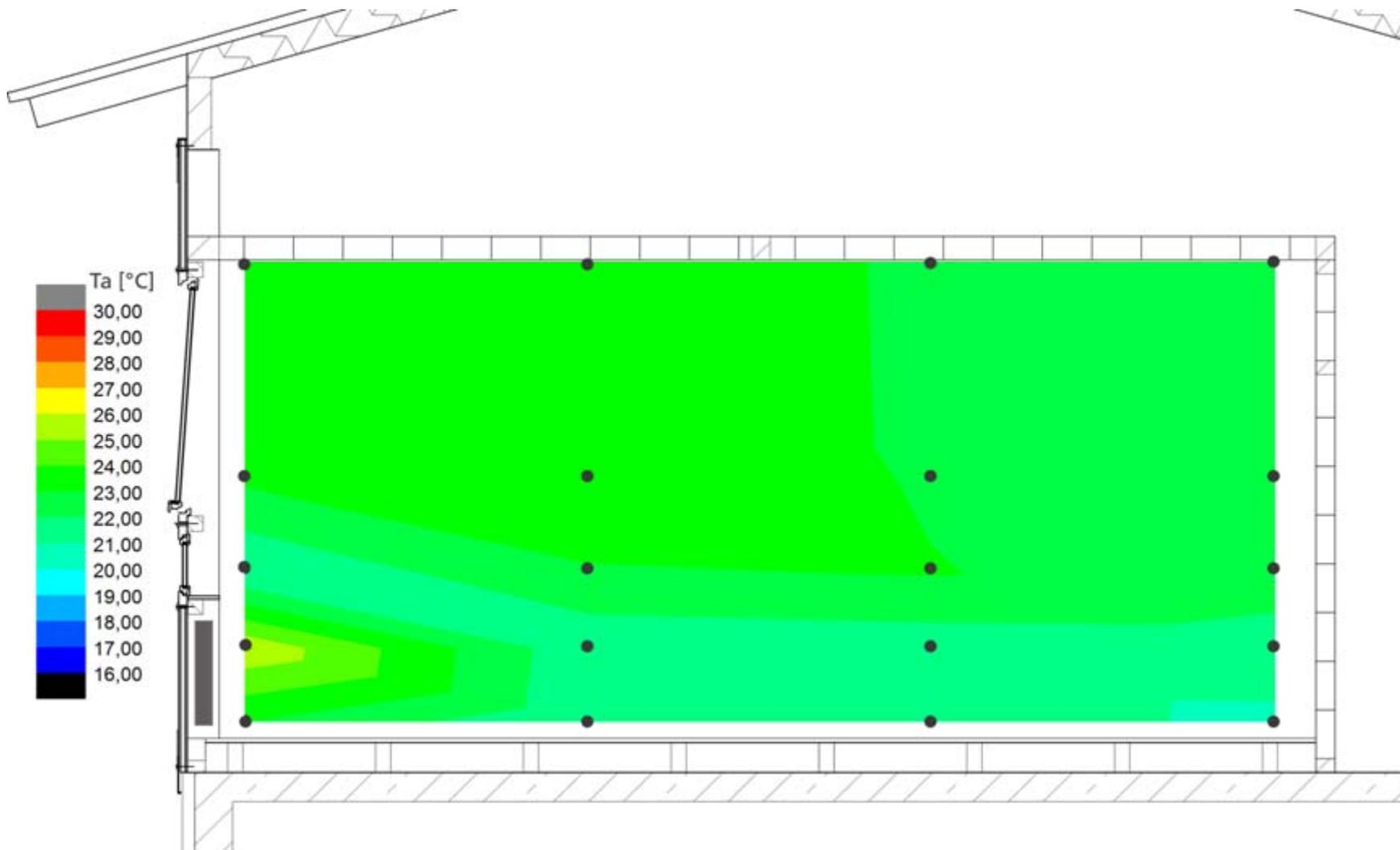
# Regelungsversuche mit Personen

Ta = -10°C; Sol. = 900 W/m<sup>2</sup>; 15 Personen

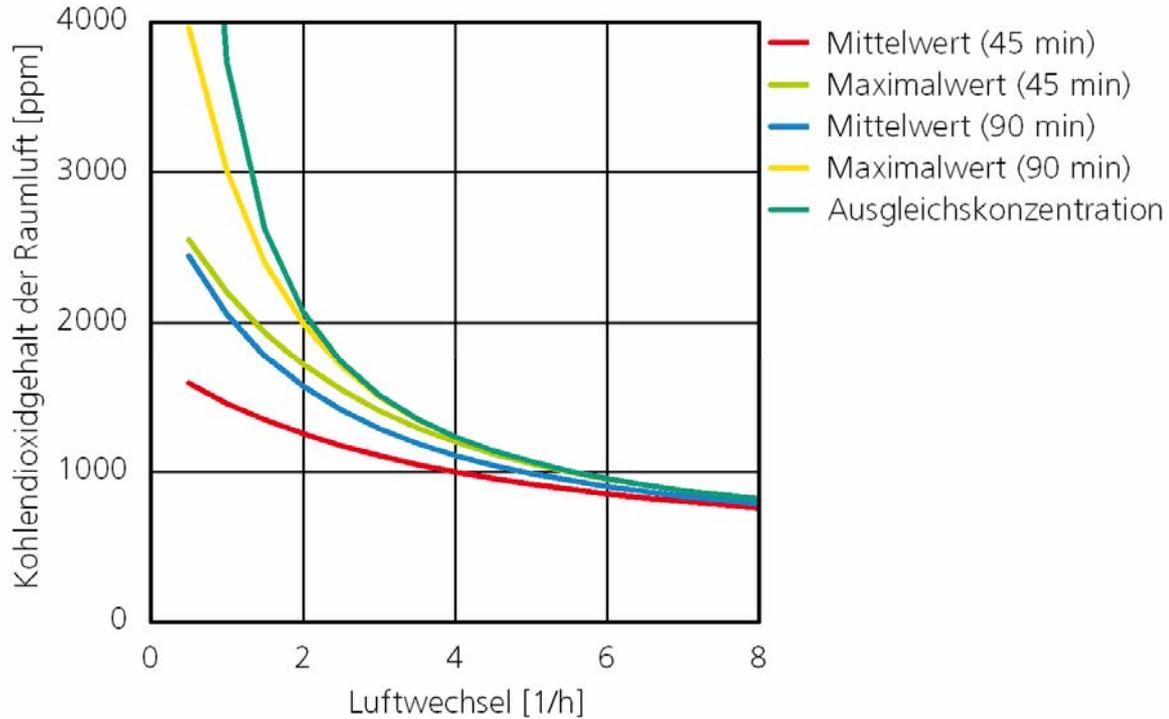


# Regelungsversuche mit Personen





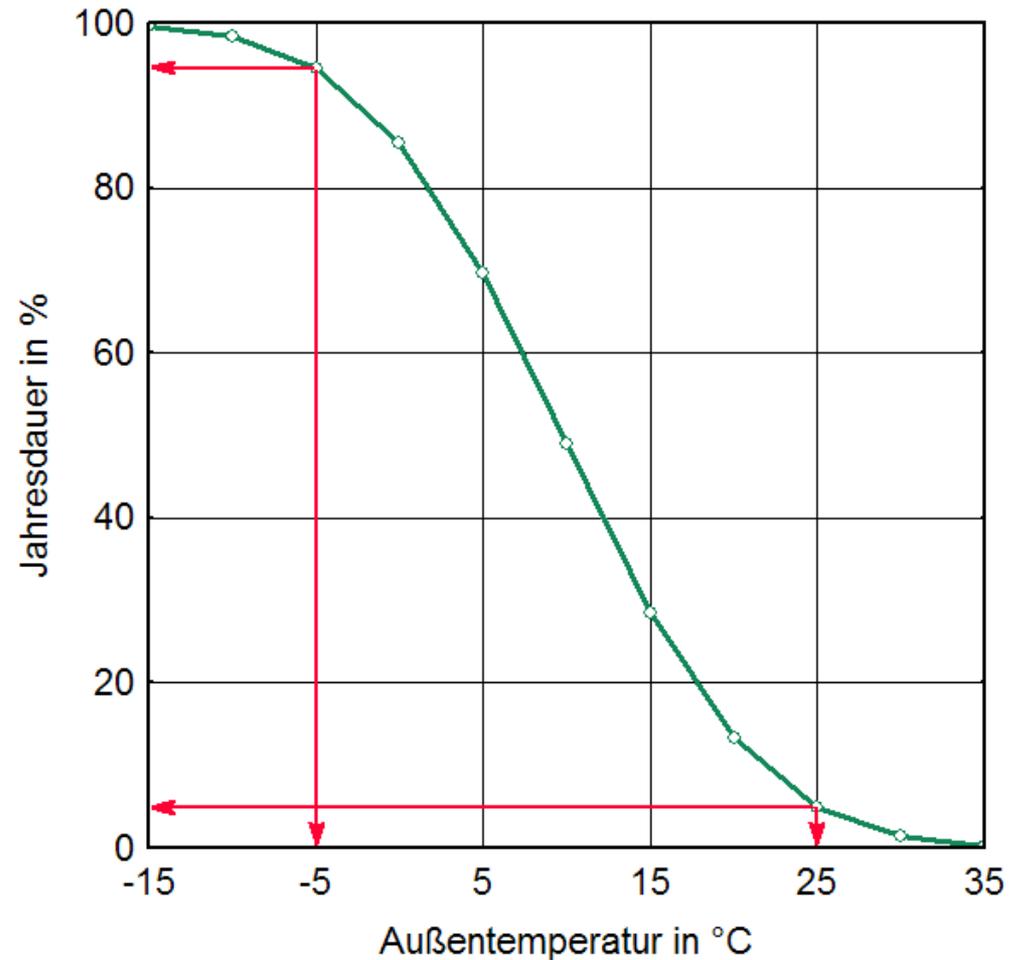
# Lüftungsbedarf



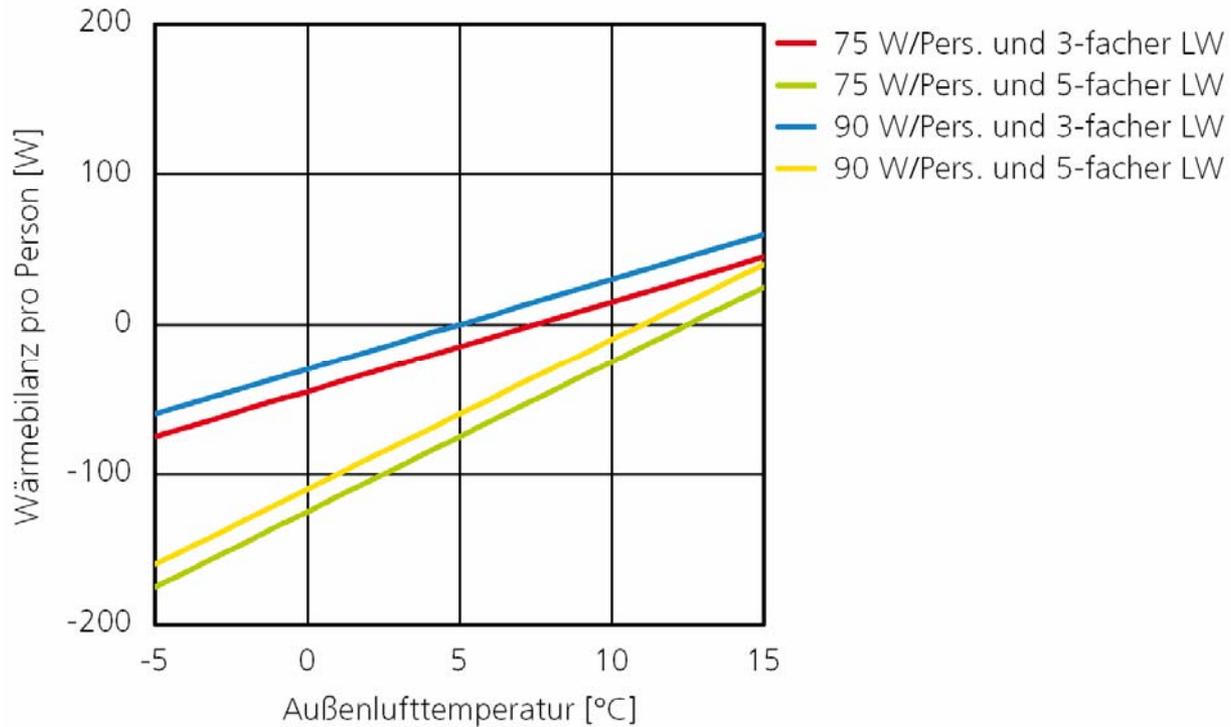
# Außenklima

Analyse der  
Außentemperatur  
während der Schulzeit für  
den Standort Holzkirchen:

95% der  
Außentemperaturwerte  
liegen über  $-5^{\circ}\text{C}$ .

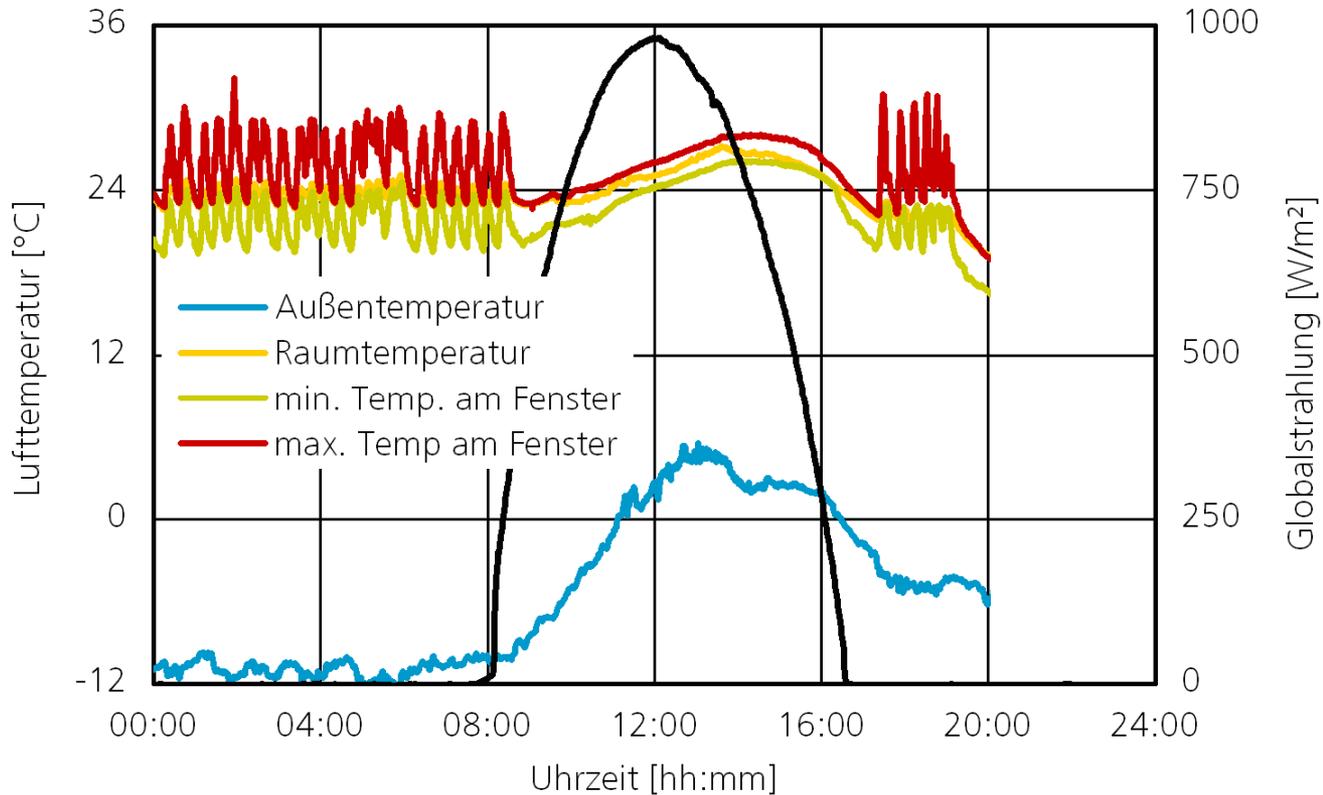


# Lüftungswärmebedarf



Fenster auf (2,5 bis 3 facher LW)

Dummies eingeschaltet (38 W/m<sup>2</sup>)



# Schülerbesuche



Unterricht im Testgebäude mit  
Schülern der Kollegstufe des  
Gymnasiums Tegernsee  
am 18.06 und 11.11.2009

Das Verbundvorhaben

**Heizenergieeinsparung, thermische Behaglichkeit und gute Luftqualität in Schulgebäuden durch hybride Lüftungstechnik**

wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/ Projektträger Jülich.

Die Fassade für das Testgebäude wurde von der Firma Schüco International KG zur Verfügung gestellt.

Fragen an:

[simone.steiger@ibp.fraunhofer.de](mailto:simone.steiger@ibp.fraunhofer.de)