
Innovative Belüftung von Klassenräumen - Hybride Lüftungstechnik

Runa T. Hellwig, Hochschule Augsburg/ Fraunhofer IBP
Dirk Müller, RWTH Aachen, EON ERC
Simone Steiger, Fraunhofer IBP
Inga Eggers, RWTH Aachen, EON ERC
Peter Matthes, RWTH Aachen, EON ERC
Jürgen Wildeboer, Wildeboer Bauteile GmbH
Thomas Harms, Wildeboer Bauteile GmbH
Hermann Willms, Wildeboer Bauteile GmbH



Innovative Belüftung von Klassenräumen - Hybride Lüftungstechnik

- Hintergrund und Randbedingungen
- Verbundprojekt und Projektpartner
- Projektziele
- Ergebnisse der Teilprojekte



Hintergrund und Randbedingungen

- Schlechte Luftqualität in Schulen
- Anforderungen UBA Leitfaden und EN 15251/ EN 13779
- Viele zu sanierende Schulen

Spezifische Charakteristika von Klassenräumen:

- hohe Personenbelegungsdichte: interne Wärmegewinne sehr hoch
- innere und äußere Wärmelasten treten in der Regel gleichzeitig auf
- Heizung nur zum Aufheizen der Räume
- hoher Luftvolumenstrom erforderlich
- Aufenthaltszone erfasst den gesamten Raum
- ein Lehrer, der unterrichtet kann nicht gleichzeitig „Lüftungsbeauftragter“ sein
- bei Bestandsgebäuden ist es aufgrund fehlender Raumhöhen oft nicht möglich, Lüftungsanlagen nachträglich einzubauen



Verbundprojekt

„Heizenergieeinsparung, thermische Behaglichkeit und gute Luftqualität in Schulgebäuden durch hybride Lüftungstechnik“
gefördert vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie,
Projektträger Jülich

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“



Ziele des Verbundvorhabens

- Verbesserung der Lernbedingungen durch gute Luftqualität bei gleichzeitig guter thermische Behaglichkeit und geringem Heizenergiebedarf

Teilprojekt EON ERC/ TUB/ Wildeboer

- Entwickeln eines fassadenintegrierten Systems zur hybriden Lüftung: Kombination von Fenster zur natürlichen Lüftung und Lüftungsgerät sowie Regelung
- Ausarbeitung architektonischer Konzepte, um kostengünstigen Einbau sicherstellen zu können
- Überprüfung des Systems in einem realen Klassenzimmer

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

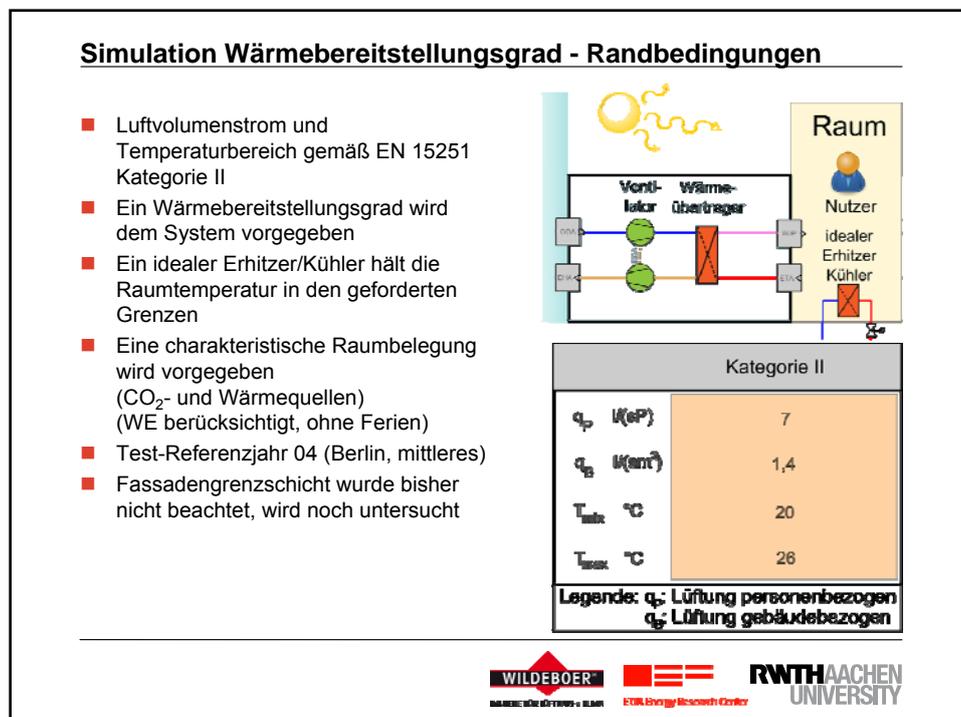
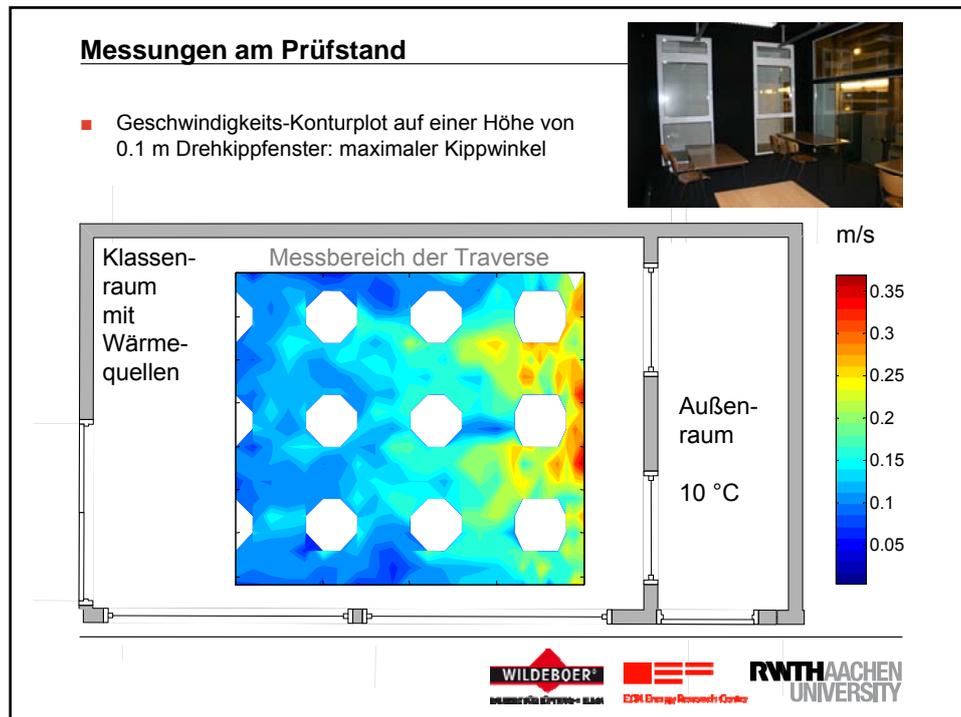


Teilprojekt EON ERC/ TUB/ Wildeboer

Hybride Lüftung

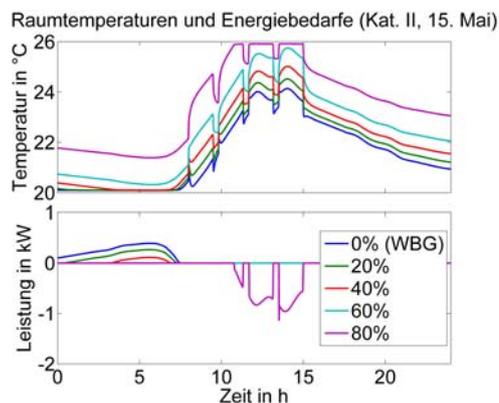
Freie Lüftung über Fenster kombiniert mit maschineller Lüftung über fassadenorientierte Lüftungsgeräte





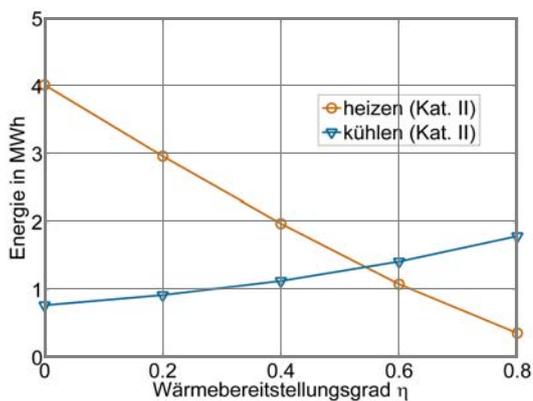
Wärmebereitstellungsgrad - Ergebnisse

- Ein größerer Wärmebereitstellungsgrad führt zu geringerem Heizenergiebedarf
- Allerdings auch zu erhöhtem Kühlenergiebedarf
- Wärmebereitstellungsgrade größer 0,6 verringern den Nutzenergiebedarf nicht wesentlich



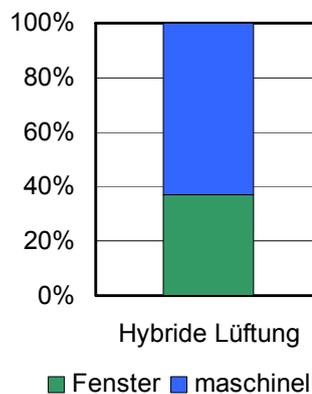
Wärmebereitstellungsgrad - Ergebnisse

- Ein größerer Wärmebereitstellungsgrad führt zu geringerem Heizenergiebedarf
- Allerdings auch zu erhöhtem Kühlenergiebedarf
- Wärmebereitstellungsgrade größer 0,6 verringern den Nutzenergiebedarf nicht wesentlich



Deckungsgrad Freie Lüftung

- Vorgabe der Simulation: Die maschinelle Lüftung kann den geforderten Volumenstrom immer bereitstellen (Kategorie II nach EN 15251 wird mindestens erreicht)
- Bei der hybriden Lüftung wird die Grundlüftung durch Fenster erzeugt
- Ist dieser Volumenstrom nicht ausreichend, so wird der Fehlbetrag durch maschinelle Lüftung kompensiert
- Natürliche Lüftung erfolgt nicht
 - bei Regen,
 - außerhalb der Schulzeit und
 - bei zu niedrigen Außenlufttemperaturen
- Nur 37% der notwendigen Frischluftmenge kann durch die Fensterlüftung bereitgestellt werden



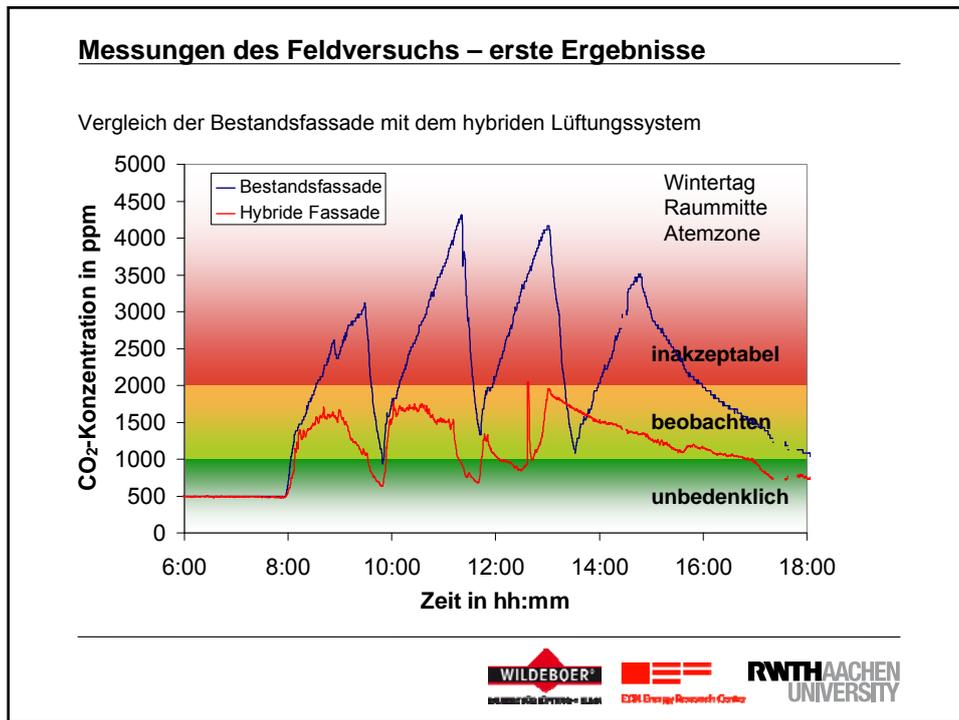
Feldtest in einem Berliner Schulgebäude

- Testraum mit neuen Fassadenelementen
- Messungen der Raumlufttemperatur und -qualität



- Ansicht der Außenfassade
- Die Testfassade liegt neben einer Bestandsfassade, um das Innenraumklima in beiden Räumen zu vergleichen





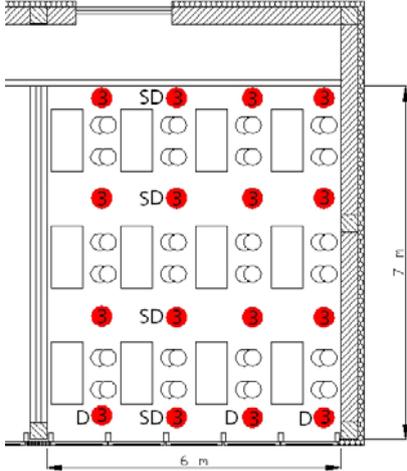
Teilprojekt Fraunhofer IBP

Hybride Lüftung

Freie Lüftung über automatisierte Fensterlüftung

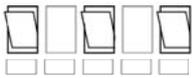
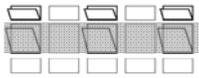
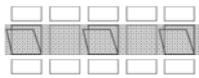
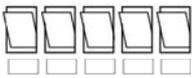
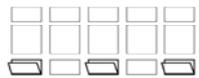
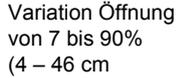
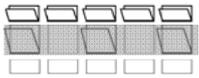
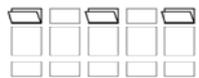
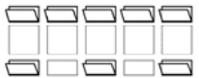
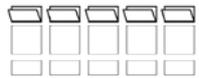
Freilandversuchseinrichtung „Schulhaus“





Fraunhofer
IBP

Untersuchte Anordnungen der Öffnungen in der Fassade

Schwingflügel	2 Reihen Kippfenster	1 Reihe Kippfenster
		
		
		
		

Variation Öffnung von 7 bis 90% (4 – 46 cm Kettenlänge)

Öffnungsweite 50% oder 100%

Fraunhofer
IBP

Wichtigste Einflussgrößen auf die Zielgrößen

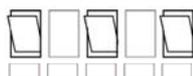
- Zielgrößen:
 - Luftwechsel
 - Raumlufttemperatur
 - Zugluft rate

- potentielle Einflussgrößen
 - Variante: Öffnungsweite und/oder Kombination von Kippflügeln
 - Außentemperatur
 - Temperaturdifferenz zwischen innen und außen
 - Windgeschwindigkeit
 - Windrichtung

- Statistisches Verfahren zur Messdatenauswertung,
Test der möglichen Einflussparameter auf ein Signifikanzniveau $\alpha = 0,001$

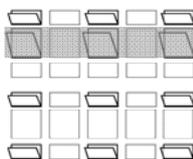


Wichtigste Einflussgrößen auf die Zielgrößen



Schwingflügel

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	1	(2) ^{a)}			
Raumlufttemperatur	1		2		
Zugluft rate	1		2		(2) ^{b)}



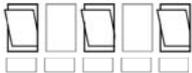
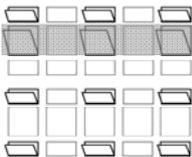
2 Reihen Kippfenster

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	1	2			
Raumlufttemperatur	1		2	2	
Zugluft rate	1		2		

^{a)} für große Öffnungsweiten 60 und 90%
^{b)} für kleine Öffnungsweiten 7 und 15%



Wichtigste Einflussgrößen auf die Zielgrößen

Schwingflügel

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	1	(2) ^{a)}			
Raumlufttemperatur	1		2		
Zugluftrate	1		2		(2) ^{b)}

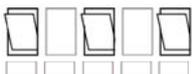
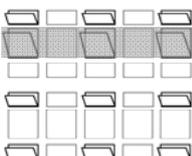
2 Reihen Kippfenster

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	1	2			
Raumlufttemperatur	1		2	2	
Zugluftrate	1		2		

^{a)} für große Öffnungsweiten 60 und 90%
^{b)} für kleine Öffnungsweiten 7 und 15%



Wichtigste Einflussgrößen auf die Zielgrößen

Schwingflügel

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	1	(2) ^{a)}			
Raumlufttemperatur	1		2		
Zugluftrate	1		2		(2) ^{b)}

2 Reihen Kippfenster

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	1	2			
Raumlufttemperatur	1		2	2	
Zugluftrate	1		2		

^{a)} für große Öffnungsweiten 60 und 90%
^{b)} für kleine Öffnungsweiten 7 und 15%



Wichtigste Einflussgrößen auf die Zielgrößen

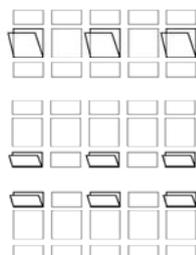
Schwingflügel / 2 Reihen Kippflügel

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	1	2			
Raumlufttemperatur	1		2		
Zugluftrate	1		2		

Wichtigste Einflussgrößen auf die Zielgrößen

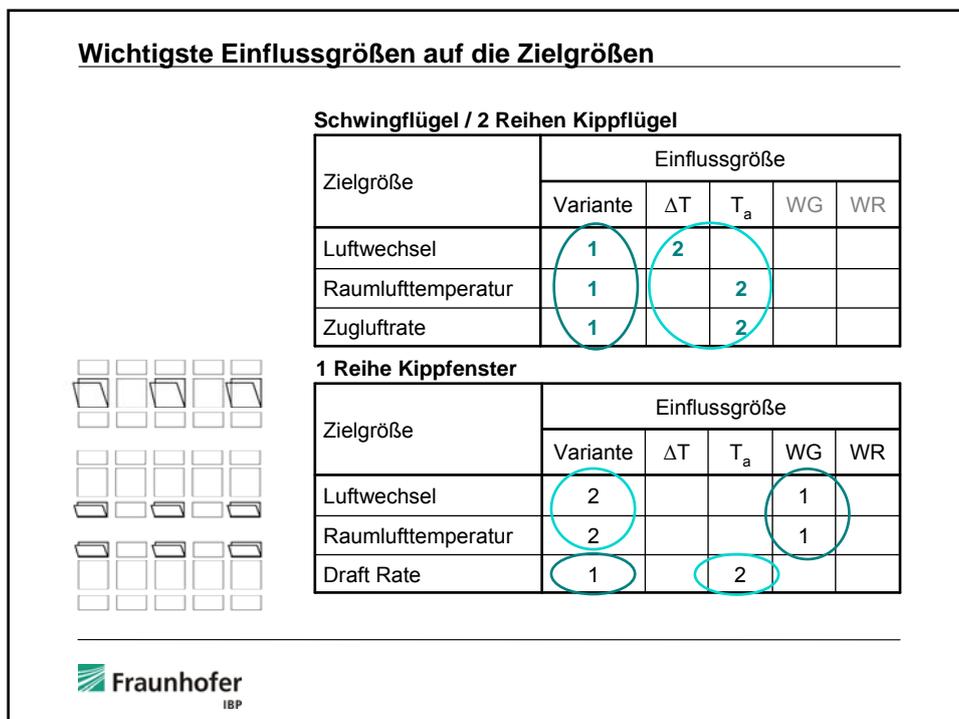
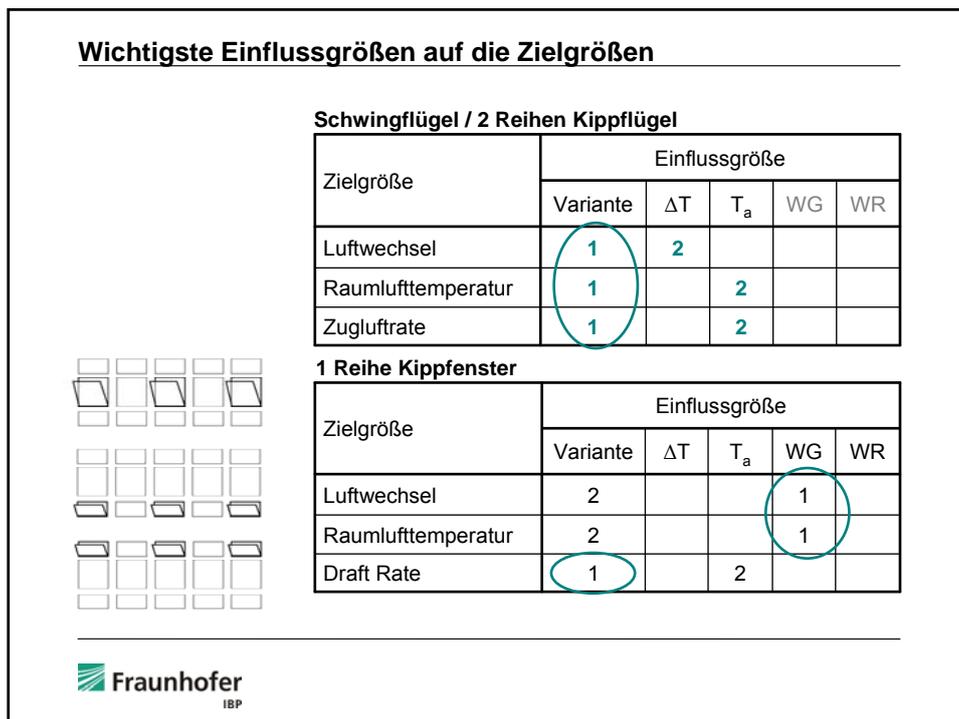
Schwingflügel / 2 Reihen Kippflügel

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	1	2			
Raumlufttemperatur	1		2		
Zugluftrate	1		2		



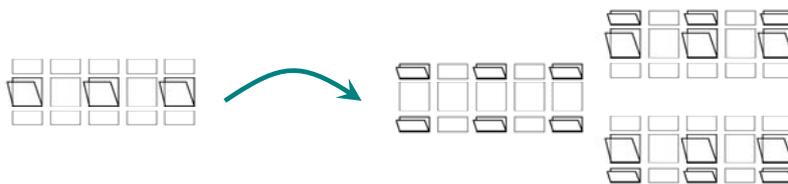
1 Reihe Kippfenster

Zielgröße	Einflussgröße				
	Variante	ΔT	T_a	WG	WR
Luftwechsel	2			1	
Raumlufttemperatur	2			1	
Draft Rate	1		2		



Ergebnis: günstige Anordnung von Öffnungen

- 2 getrennte Zu- und Abluftöffnungen in der Fassade erzeugen einen stabileren, weniger schwankenden Luftvolumenstrom
- Öffnungsweite bzw. die Variante (Abstand zwischen Zu- und Abluftöffnung) zeigen den größten Einfluss auf Luftwechsel, Raumlufttemperatur und Zugluft rate
- Öffnungsweite bzw. Variante sind aber bei automatisierten Fenstern beeinflussbar
- bei 2 getrennten Öffnungen die größte Abhängigkeit von der Außentemperatur
- Abhängigkeiten von Windgeschwindigkeit und Windrichtung sind untergeordnet im Vergleich zu nur 1 gemeinsamen Zu- und Abluftöffnung wie z.B. bei den üblichen Kippfenstern



Entwicklung eines Regelungskonzeptes

Anforderungen an ein Automatisierungskonzept

- soll Anpassen an sich ändernde Lasten und Außenbedingungen ermöglichen
- keine ständige Anpassung (Dämpfung der Reaktion)
- soll Eingreifen des Nutzers ermöglichen
- Zielgrößen: Luftqualität und Raumtemperatur in der Aufenthaltszone

	Außentemperatur			
	Sehr kalt	Kalt	Mild	Warm
Kritische Zielgröße	T_i (contra CO_2)	CO_2 (und T_i)	CO_2	T_i
Lüftung	minimal, aber ausreichend	wenig	viel	maximal

Erster Versuch mit Schülern in Freilandversuchseinrichtung



Physik-Leistungskurs des
Gymnasiums Tegernsee



 **Fraunhofer**
IBP

Ausblick

Teilprojekt EON ERC/ TUB/ Wildeboer

- Optimierung des Regelungskonzeptes
- Optimierung des Lüftungsgerätes für höhere Volumenströme
- Sensorische Bestimmung der Luftqualität mit Probanden
- Nutzerbefragungen zur Bewertung der Akzeptanz
- Überprüfung der Lüftungseffektivität
- Entwicklung eines Energiekonzeptes für die Wärme- und Kältebereitstellung

Teilprojekt Fraunhofer IBP

- Entwicklung des Regelungskonzeptes
- Überprüfung und Optimierung des Regelungskonzeptes in der Freilandversuchseinrichtung
- Weitere Messungen und Befragungen mit Schülern in der Freilandversuchseinrichtung

 **Fraunhofer**
IBP

 **WILDEBOER**
HAARENDE GEBÜUDE + KLIMA

 **E.ON Energy Research Center**

 **RWTH AACHEN**
UNIVERSITY

Danksagung

Das Verbundvorhaben:

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

wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie/
Projekträger Jülich unter den Aktenzeichen:

Fraunhofer IBP
AZ: 0327387A

RWTH Aachen
AZ: 0327387D
TU Berlin
AZ: 0327387B
Wildeboer Bauteile GmbH
AZ: 0327387C

