



# Schwerpunkte der energieeffizienten Schulsanierung

Johann Reiß

Fraunhofer-Institut für Bauphysik



# Energieeffiziente Schulsanierung



## Ausgangslage

- Ca. 40.000 Schulhäuser belasten den Betriebshaushalt der Kommunen erheblich
- Die Behaglichkeitskriterien sind in vielen Schulen nicht erfüllt
- Ein Großteil der Schulen steht in den nächsten 10 Jahren zur Sanierung an
- Erhebliche Bedarfssenkung ist bei geringen Kosten möglich
- Erste Vorhaben zeigen, dass Senkung des Energieverbrauchs um Faktor 5 – 10 bei gleichzeitiger Verbesserung der Komfortbedingungen möglich ist
- Sensibilisierung des Energie- und Umweltbewußtseins könnte durch Einbindung der Lehrer, Schüler, Hausmeister und Eltern erhöht werden

## 8 Die PISA-Studie im Überblick

Lesen			Mathematik			Naturwissenschaften		
Länder	Mittelwerte (Standardfehler in Klammern)	Spann- breite*	Länder	Mittelwerte (Standardfehler in Klammern)	Spann- breite*	Länder	Mittelwerte (Standardfehler in Klammern)	Spann- breite*
Finnland	546 (2,6)	291	Japan	557 (5,5)	286	Korea	552 (2,7)	263
Kanada	534 (1,6)	310	Korea	547 (2,8)	276	Japan	550 (5,5)	297
Neuseeland	529 (2,8)	355	Neuseeland	537 (3,1)	325	Finnland	538 (2,5)	283
Australien	528 (3,5)	331	Finnland	536 (2,2)	264	Vereinigtes Königreich	532 (2,7)	321
Irland	527 (3,2)	309	Australien	533 (3,5)	299	Kanada	529 (1,6)	290
Korea	525 (2,4)	227	Kanada	533 (1,4)	278	Neuseeland	528 (2,4)	326
Vereinigtes Königreich	523 (2,6)	330	Schweiz	529 (4,4)	329	Australien	528 (3,5)	307
Japan	522 (5,2)	284	Vereinigtes Königreich	529 (2,5)	302	Österreich	519 (2,6)	296
Schweden	516 (2,2)	304	Belgien	520 (3,9)	350	Irland	513 (3,2)	300
Österreich	507 (2,4)	307	Frankreich	517 (2,7)	292	Schweden	512 (2,5)	303
Belgien	507 (3,6)	351	Österreich	515 (2,5)	306	Tschechische Republik	511 (2,4)	308
Island	507(1,5)	302	Dänemark	514 (2,4)	283	Frankreich	500 (3,2)	334
Norwegen	505 (2,8)	340	Island	514 (2,3)	277	Norwegen	500 (2,8)	311
Frankreich	505 (2,7)	301	Liechtenstein	514 (7,0)	322	<b>OECD-Durchschnitt</b>	500 (0,7)	325
Vereinigte Staaten	504 (7,0)	349	Schweden	510 (2,5)	309	Vereinigte Staaten	499 (7,3)	328
<b>OECD-Durchschnitt</b>	500 (0,6)	328	Irland	503 (2,7)	273	Ungarn	496 (4,2)	331
Dänemark	497 (2,4)	319	<b>OECD-Durchschnitt</b>	500 (0,7)	329	Island	496 (2,2)	284
Schweiz	494 (4,2)	335	Norwegen	499 (2,8)	303	Belgien	496 (4,3)	364
Spanien	493 (2,7)	276	Tschechische Republik	498 (2,8)	320	Schweiz	496 (4,4)	324
Tschechische Republik	492 (2,4)	318	Vereinigte Staaten	493 (7,6)	325	Spanien	491 (3,0)	310
Italien	487 (2,9)	296	<b>Deutschland</b>	490 (2,5)	338	<b>Deutschland</b>	487 (2,4)	335
<b>Deutschland</b>	484 (2,5)	366	Ungarn	488 (4,0)	321	Polen	483 (5,1)	313
Liechtenstein	483 (4,1)	316	Russische Föderation	478 (5,5)	343	Dänemark	481 (2,8)	335
Ungarn	480 (4,0)	306	Spanien	476 (3,1)	298	Italien	478 (3,1)	318
Polen	479 (4,5)	326	Polen	470 (5,5)	336	Liechtenstein	476 (7,1)	315
Griechenland	474 (5,0)	320	Lettland	463 (4,5)	337	Griechenland	461 (4,9)	316
Portugal	470 (4,5)	320	Italien	457 (2,9)	299	Russische Föderation	460 (4,7)	327
Russische Föderation	462 (4,2)	303	Portugal	454 (4,1)	299	Lettland	460 (5,6)	321
Lettland	458 (5,3)	334	Griechenland	447 (5,6)	357	Portugal	459 (4,0)	287
Luxemburg	441 (1,6)	325	Luxemburg	446 (2,0)	307	Luxemburg	443 (2,3)	315
Mexiko	422 (3,3)	281	Mexiko	387 (3,4)	273	Mexiko	422 (3,2)	251
Brasilien	396 (3,1)	284	Brasilien	334 (3,7)	320	Brasilien	375 (3,3)	301

\* Abstand zwischen den Leistungen der 5 % leistungsschwächsten und 5 % leistungsstärksten Schülerinnen und Schüler.

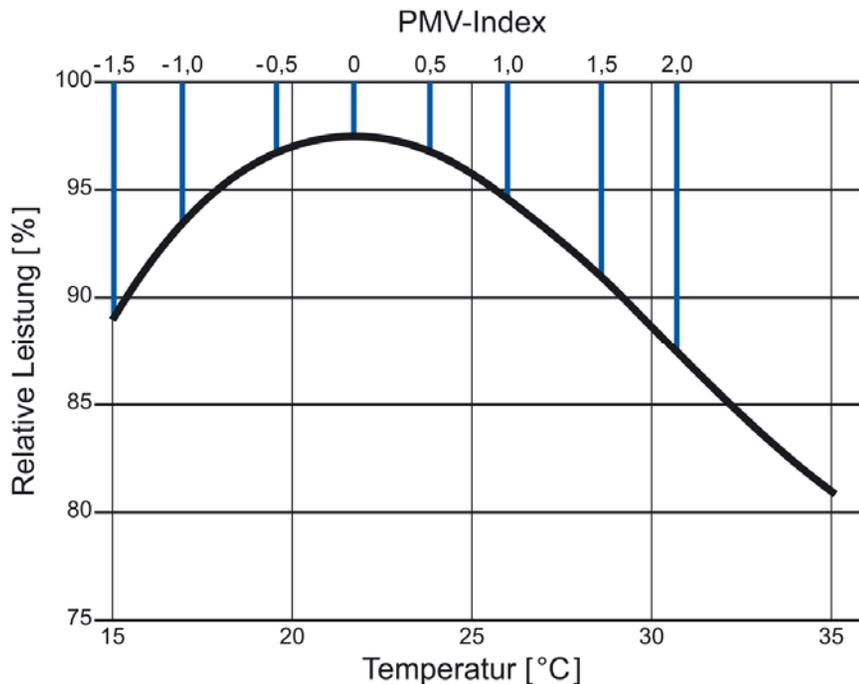
■ Leistungen signifikant über dem OECD-Mittelwert

□ Leistungen unterscheiden sich nicht signifikant vom OECD-Mittelwert

■ Leistungen signifikant unter dem OECD-Mittelwert

# Zusammenhang zwischen Leistung und Raumklima

**PMV: Predicted Mean Vote (Vorausgesagtes Mittleres Votum)**  
Gibt den Durchschnittswert einer großen Personengruppe für die Klimabeurteilung an



$$PMV = f(M, I_{cl}, t_a, t_r, v_{ar}, p_a, )$$

M: Energieumsatz

$I_{cl}$ : Isolationswert der Bekleidung

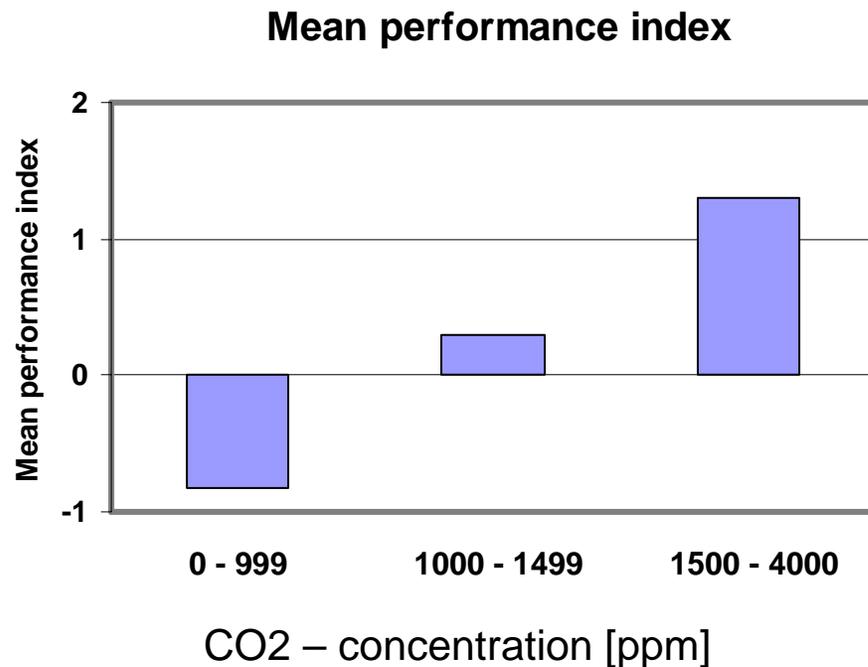
$t_a$ : Lufttemperatur

$t_r$ : mittlere Strahlungstemperatur

$v_{ar}$ : relative Luftgeschwindigkeit

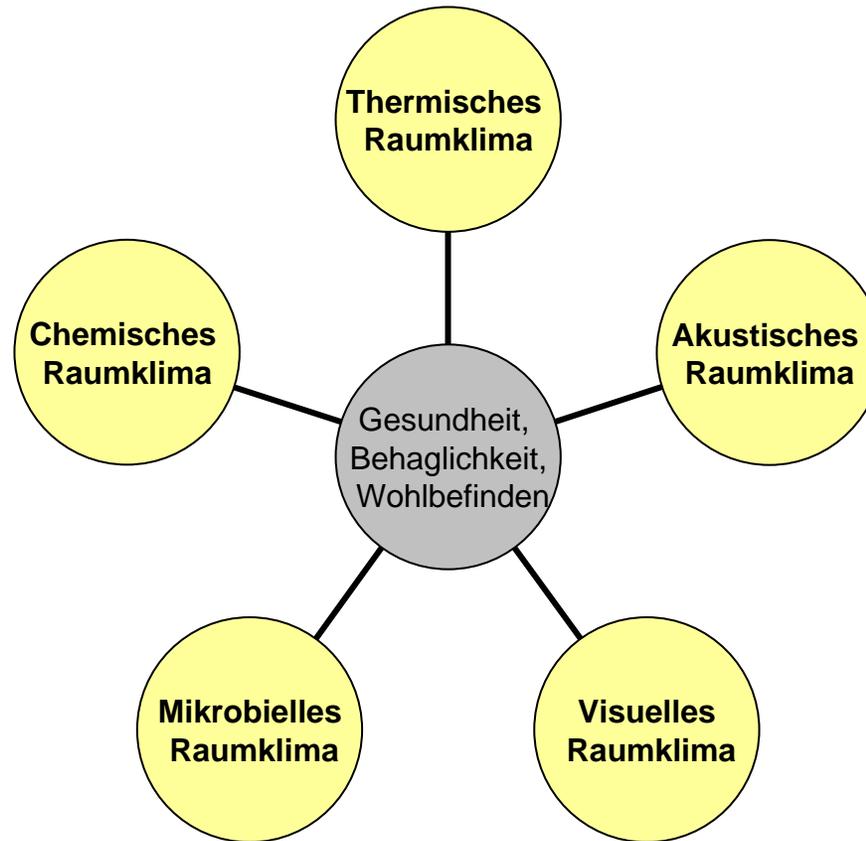
$p_a$ : partielle Wasserdampfdruck (r.F)

# Zusammenhang zwischen Leistung und CO<sub>2</sub>-Konzentration

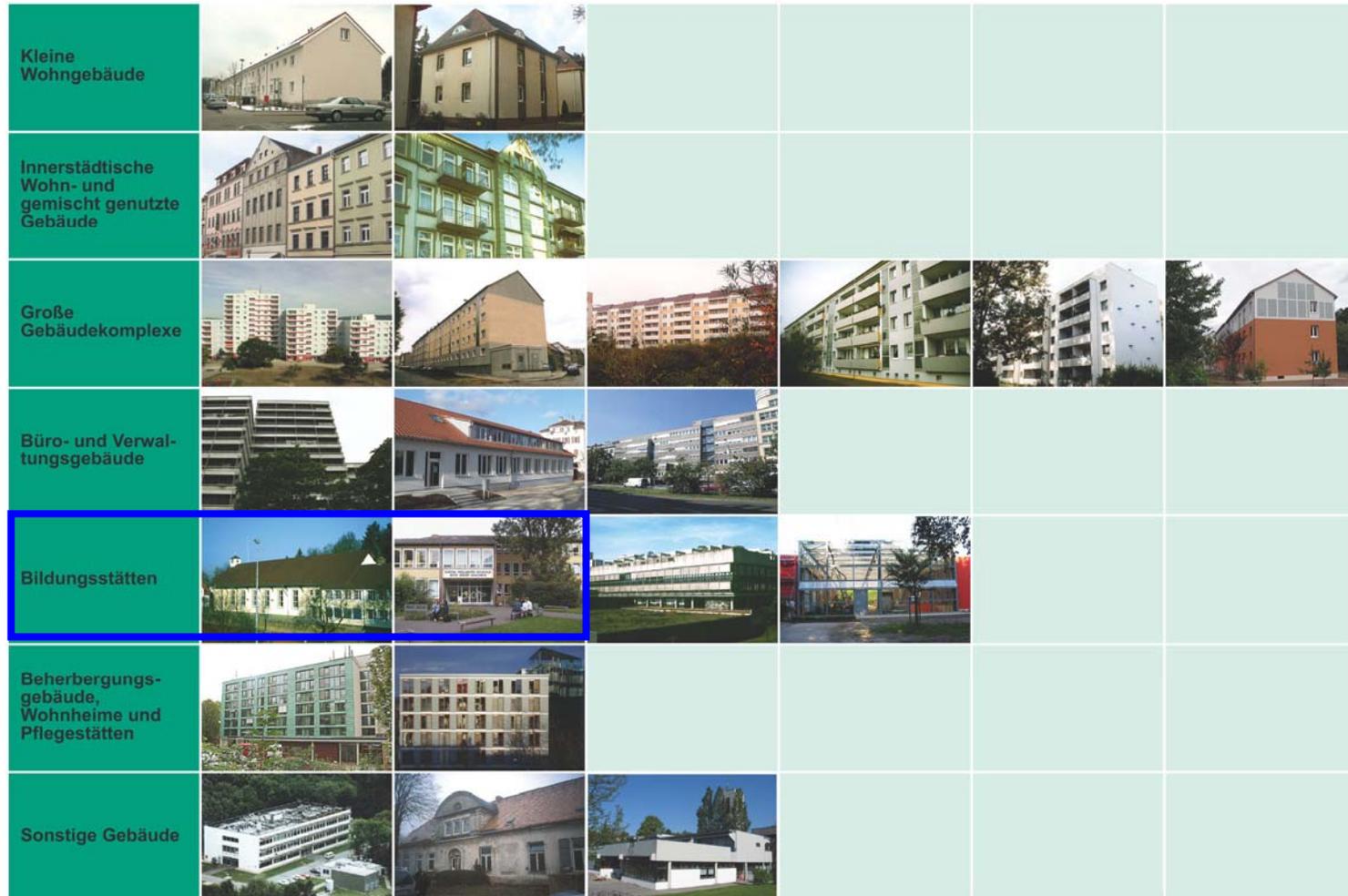


Norwegische Studie an 8 Schulen [Myhrvold, 1996]

# Gesundheit – Behaglichkeit - Wohlbefinden



# EnSan – Energetische Sanierung der Gebäudesubstanz



# Landeshauptstadt Stuttgart

590.000 Einwohner

Siedlungsfläche: 20.700 ha

Siedlungsdichte:

5.300 Einwohner pro km<sup>2</sup>

Siedlungsfläche

zu reinigende Ablaufwasser-  
menge: 100 Mio. m<sup>3</sup>/a

Städtische Gebäude

1.443 Gebäude (beheizte Fläche: 2,1 Mio. m<sup>2</sup>) und 2.188 Bedarfsstellen

182.000 MWh/a Strom

20,5 Mio. Euro/a

303.500 MWh/a Wärme

15,8 Mio. Euro/a

1,86 Mio. m<sup>3</sup>/a Wasser

6,5 Mio. Euro/a



# Schulen in Stuttgart

- 185 Schulgebäude in Stuttgart
- 844.000 m<sup>2</sup> beheizte Nettogrundfläche (40 % der Gesamtfläche)
- Energiekosten 8,37 Mio. Euro

# Grund- und Hauptschule Stuttgart-Plieningen



## Ziel

- Entwicklung und Umsetzung eines Sanierungskonzeptes für eine typische westdeutsche Schule
- Aufzeigen des Energieeinsparpotentials bei diesem Schultyp

## Maßnahmen

- Dämmung der Hüllflächen (Dach, Wand, oberste Geschosdecke)
- Wärmeschutzverglasung
- Austausch der Wärmeerzeuger
- Ersatz des Beleuchtungssystems, in einigen Räumen Installation einer tageslichtabhängigen Kunstlichtregelung



# Grund- und Hauptschule Stuttgart-Plieningen

## Ergebnis

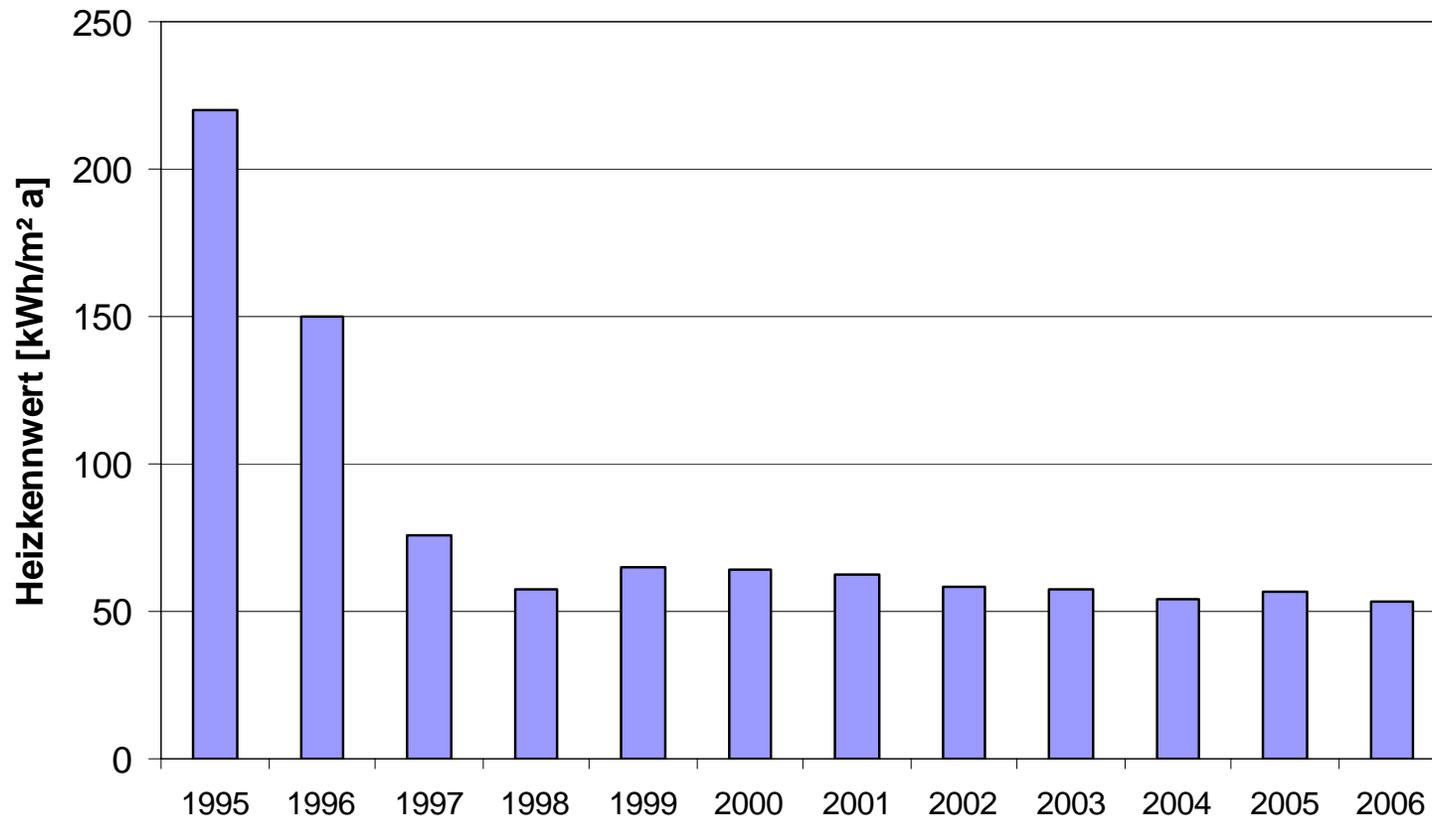
### Positiv

- Heizwärmeverbrauchsreduzierung von 200 auf 49 kWh/m<sup>2</sup>a (Einsparung: 75 %)
- Stromverbrauch für Beleuchtung von 10,6 auf 2,6 kWh/m<sup>2</sup>a gesenkt
- Reduzierung des Heizwärmeverbrauchs durch Einzelraumregelung ca. 8 %
- Keine Überwärmung der Klassenräume im Sommer

### Negativ

- Bus-Beleuchtungssteuerung nicht kompatibel mit Steuerung des Sonnenschutzes
- Infolge geringer Fensteröffnungszeiten teilweise hohe Luftfeuchten
- Durch Schließen der Fenster nach letzter Unterrichtsstunde kann Feuchte nicht mehr abgeführt werden
- Das automatische Öffnen und Schließen der Jalousien in Abhängigkeit des Sonnenstandes wurde von den Lehrern und Schülern stark bemängelt
- Hausmeister durch komplexere Regelung und Steuerung der Anlagentechnik teilweise überfordert

# Langzeitbetrachtung



# Käthe-Kollwitz-Schule Aachen vor Sanierung

Einrohrheizung vor  
Einfachverglasung



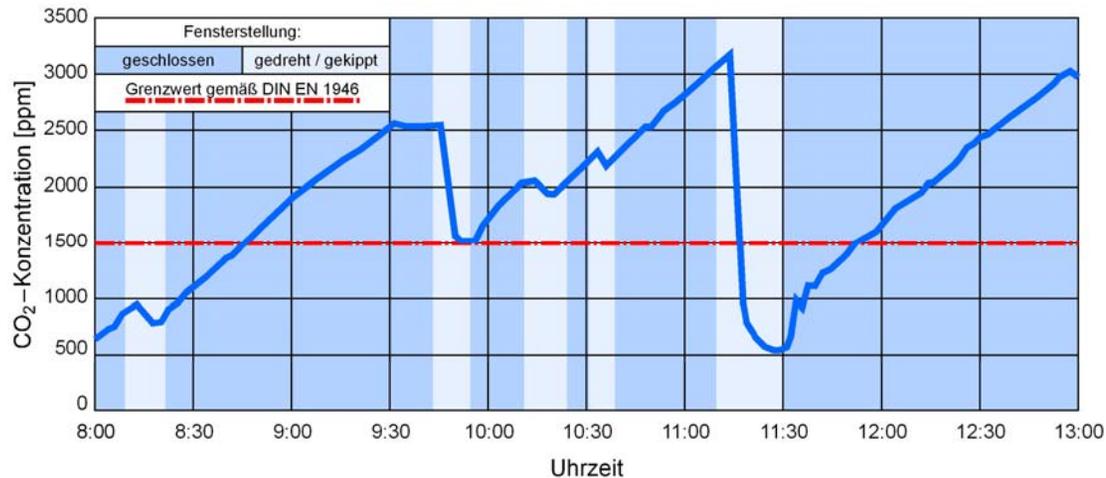
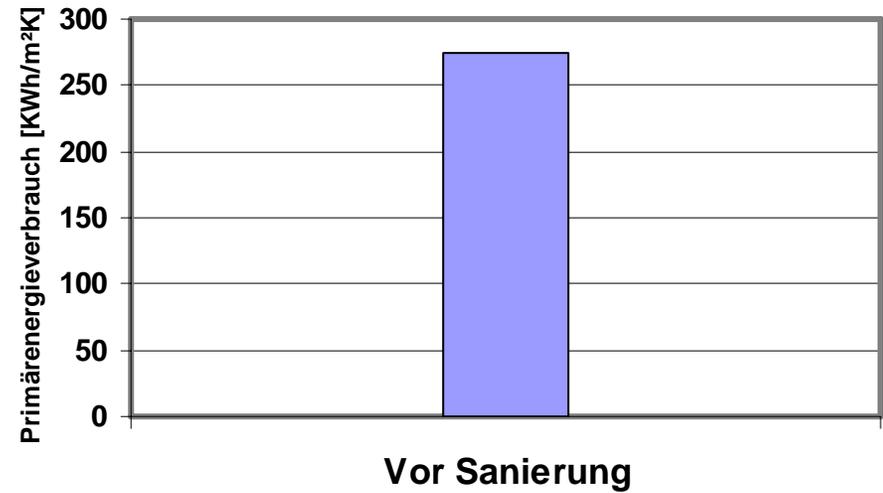
Baujahr vor 1960



# Käthe-Kollwitz-Schule Aachen vor Sanierung



## Primärenergieverbrauch



# U-Werte der Hüllflächenbauteile vor und nach der Sanierung

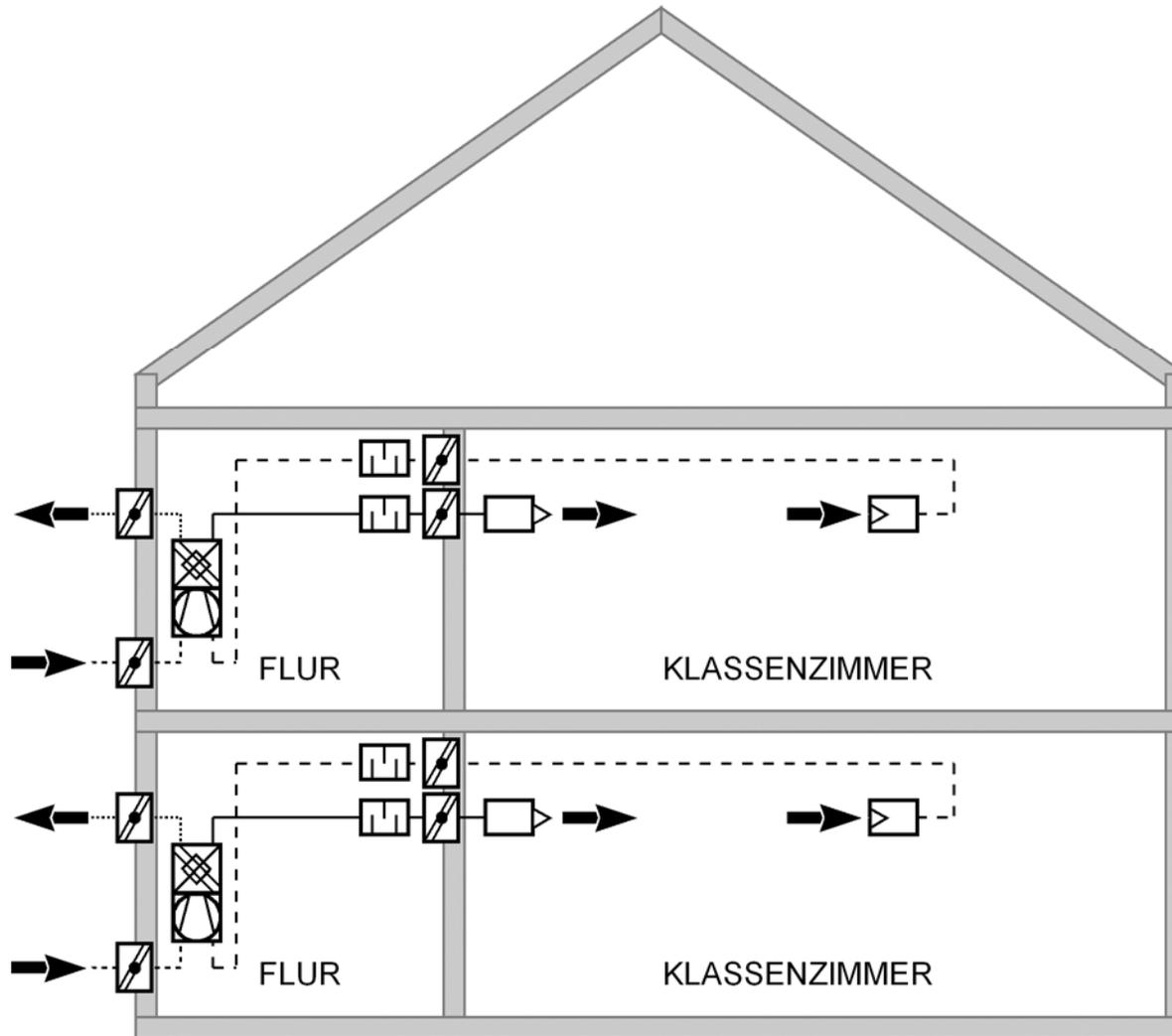
Bauteil	U-Wert [W/m²K]		Maßnahmen
	vor Sanierung	nach Sanierung	
Fenster / Fassade	5,20	1,20	Wärmeschutzverglasung in Holz-Aluminiumrahmen und Holzaluminiumfenster
Fassadenstützen	2,95	0,27	Mineralfaser, d = 12 cm, Metall-Lisene
Straßenfassade	1,30 - 1,70	0,25	Mineralfaser, d = 12 cm, Luftschicht, Ziegelelementfassade
Außenwand	1,30 - 1,70	0,24 - 0,27	Wärmedämmverbundsystem, d = 12 cm
Außenwand (Heizkörpernische)	1,55 - 1,70	0,25 - 0,27	Wärmedämmverbundsystem, d = 12 cm
Innenwände zum Dachgeschoß	1,90	0,33 - 1,90	teilweise Holzfaserdämmplatte, d = 10 cm
oberste Geschoßdecke	1,60	0,18	Zelluloseschüttung, d = 20 cm
Kellerdecke	1,28	1,28	keine Maßnahmen
Kellerwände konditionierter Kellerräume	1,26	0,34 - 1,26	Innendämmung, d = 8 cm (nur in Bauabschnitt 1)
Kellerdecke / Bodenplatter	1,70	1,70	keine Maßnahmen

# Umgesetzte Lüftungssysteme

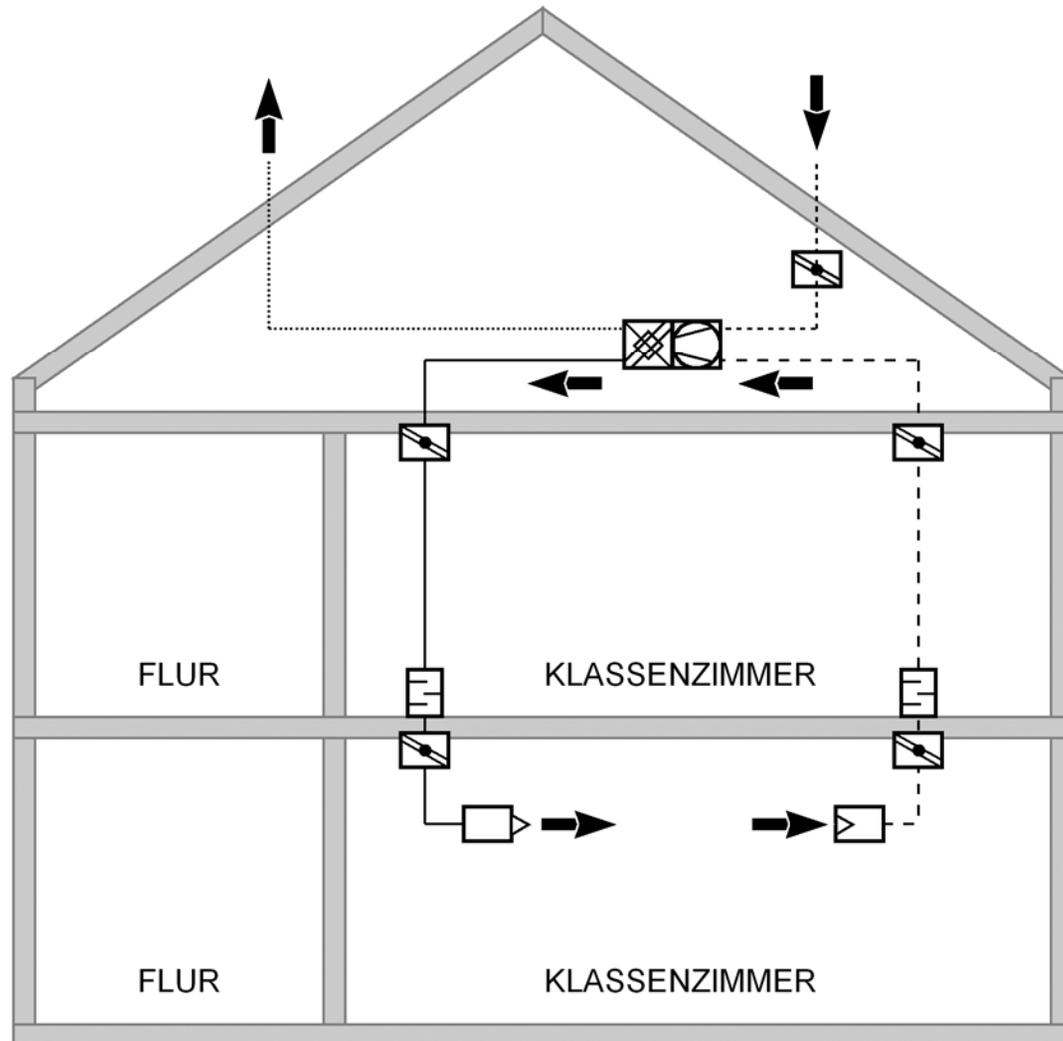
- (1) Fensterlüftung
- (2) WRG-E-600-FL (Wärmerückgewinnung, Einzelraum, Aufstellort: Flur, 600 m<sup>3</sup>/h)
- (3) WRG-E-300-DG (Wärmerückgewinnung, Einzelraum, Aufstellort: DG, 300 m<sup>3</sup>/h)
- (4) WRG-E-300-FA (Wärmerückgewinnung, Einzelraum, Aufstellort: vor Fassade, 300 m<sup>3</sup>/h)
- (5) WRG-E-600-DG (Wärmerückgewinnung, Einzelraum, Aufstellort: DG, 600 m<sup>3</sup>/h)
- (6) Abluft-E-300-DG (Abluftanlage, Einzelraum, Aufstellort: Dachgeschoss, 300 m<sup>3</sup>/h)
- (7) Abluft-E-600-DG (Abluftanlage, Einzelraum, Aufstellort: Dachgeschoss, 600 m<sup>3</sup>/h)
- (8) WRG-Z-600-DG (Wärmerückgewinnung, Zentral, Aufstellort: Dachgeschoss, 600 m<sup>3</sup>/h)



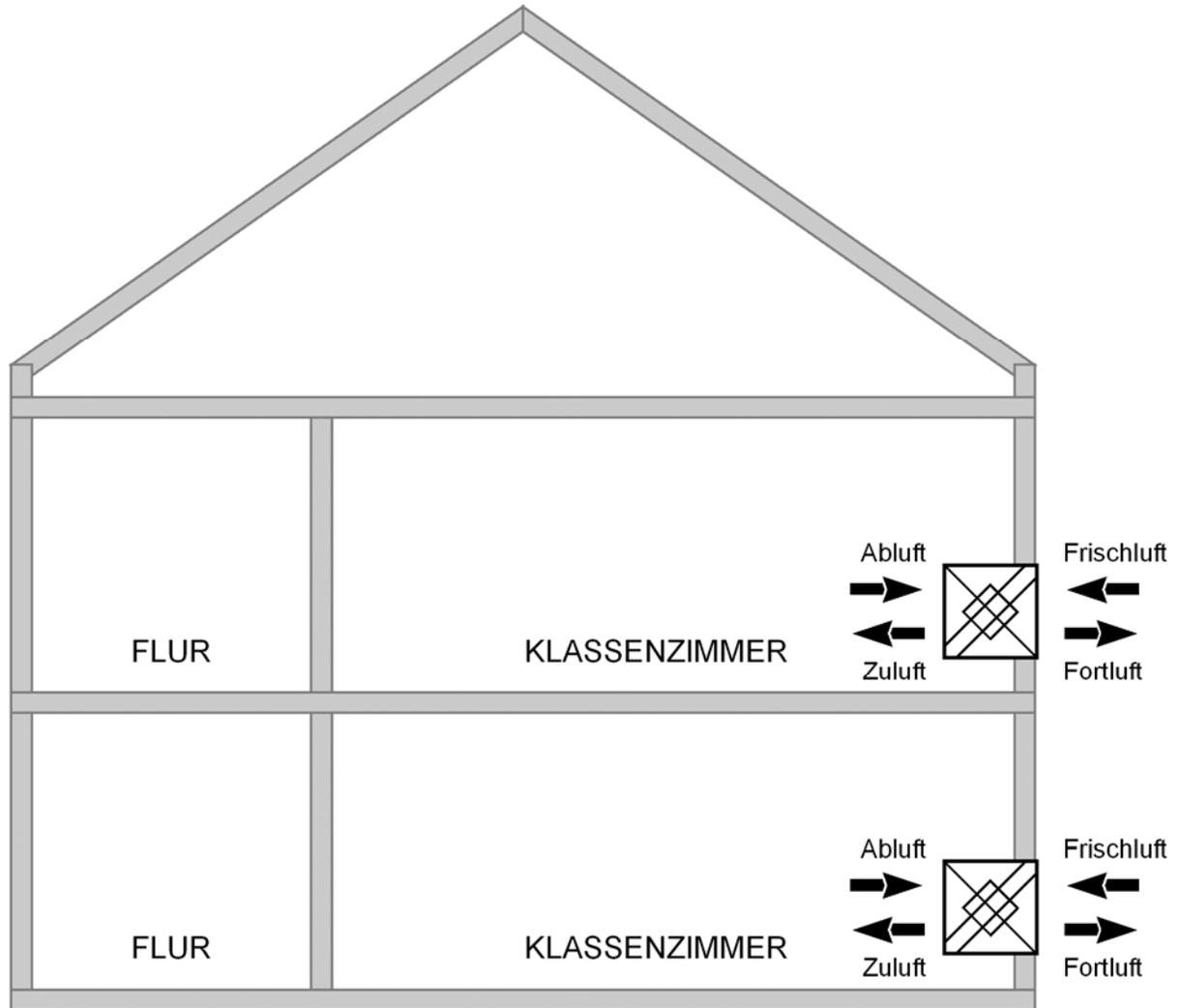
(2) WRG-E-600-FL (Wärmerückgewinnung, Einzelraum, Aufstellort: Flur, 600 m<sup>3</sup>/h)



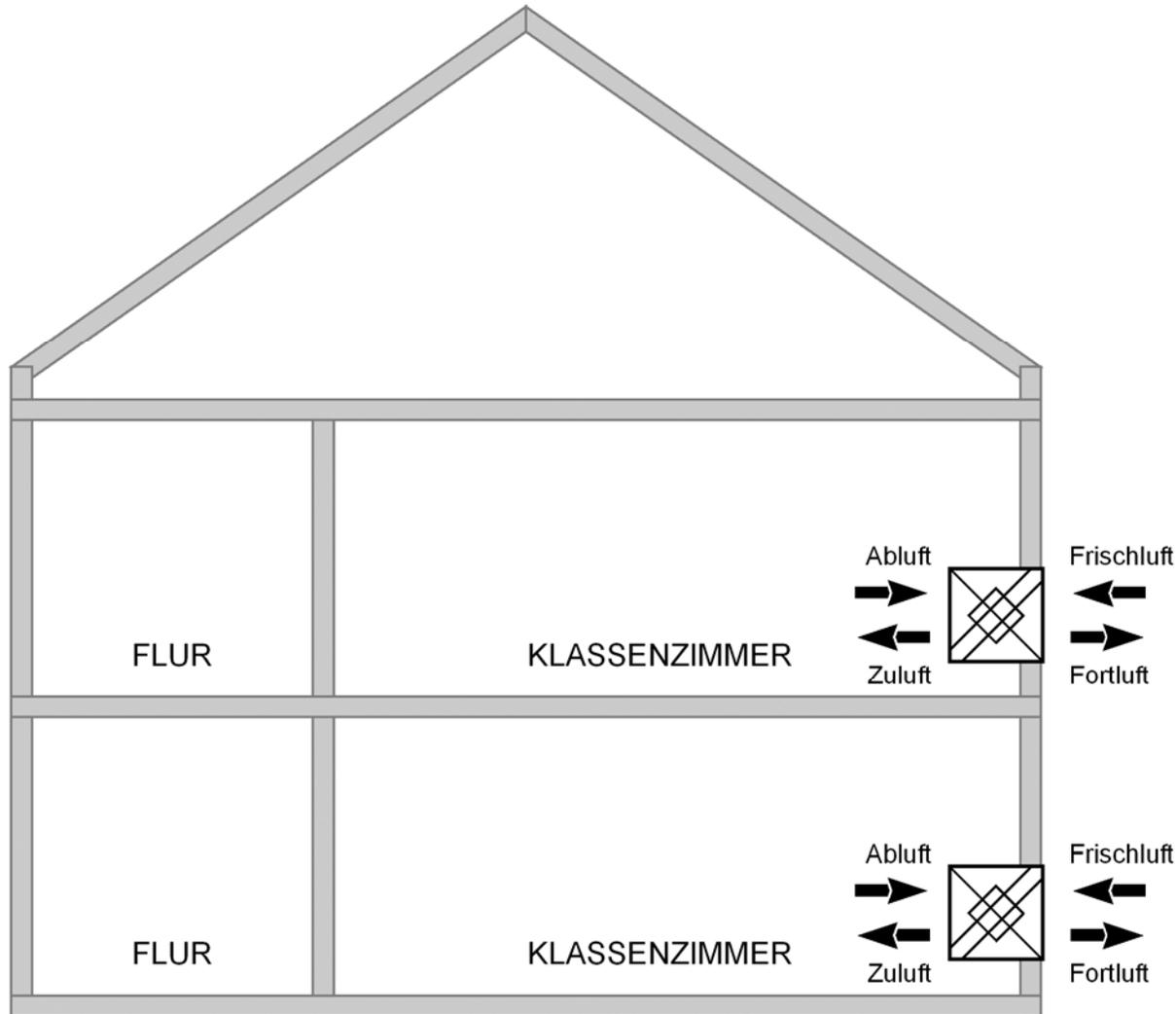
(3) bzw. (5) WRG-E-300-DG (Wärmerückgewinnung, Einzelraum, Aufstellort: DG, 300 bzw. 600 m<sup>3</sup>/h)



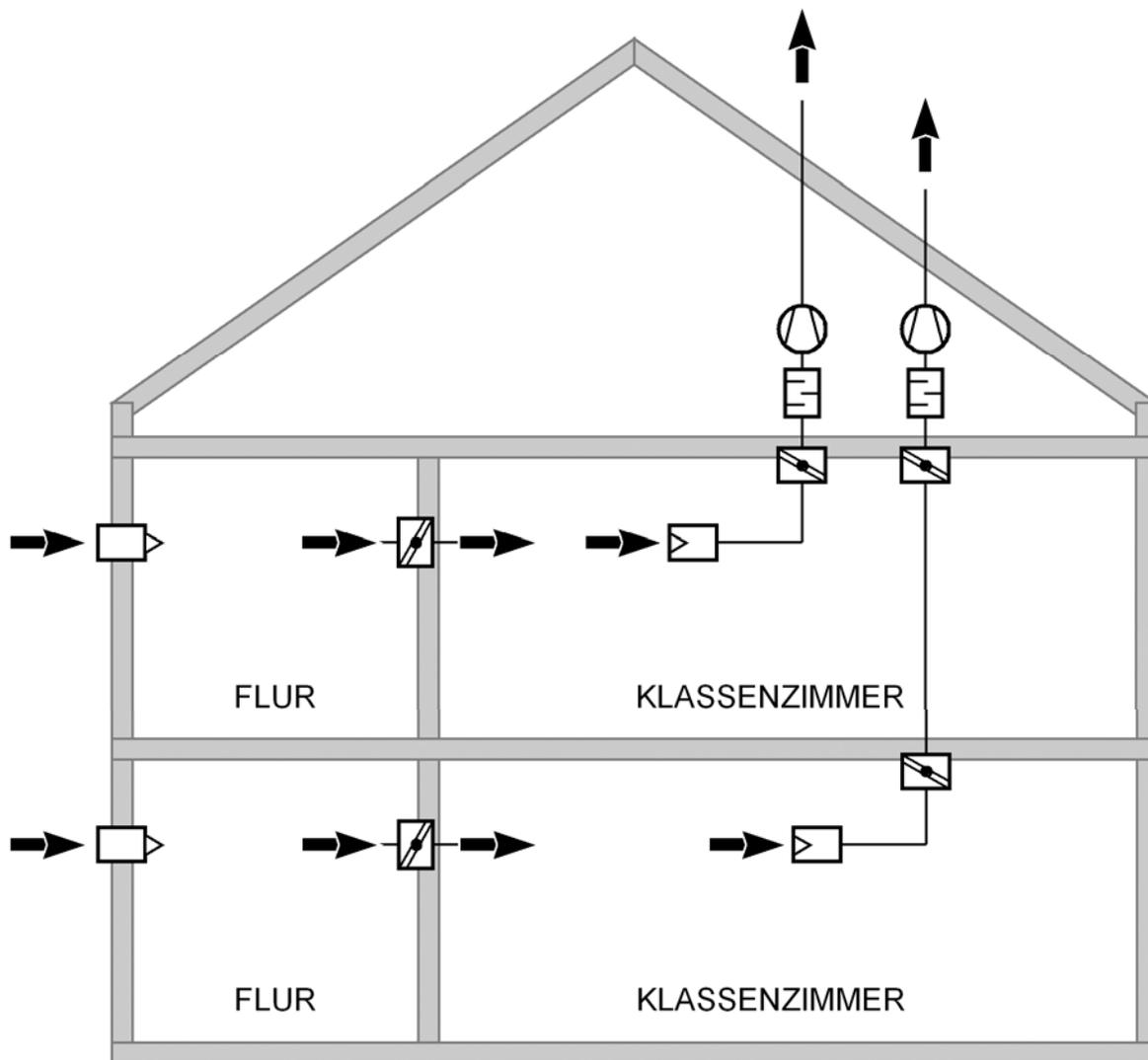
(4) WRG-E-300-FA (Wärmerückgewinnung, Einzelraum, Aufstellort: vor Fassade, 300 m³/h)



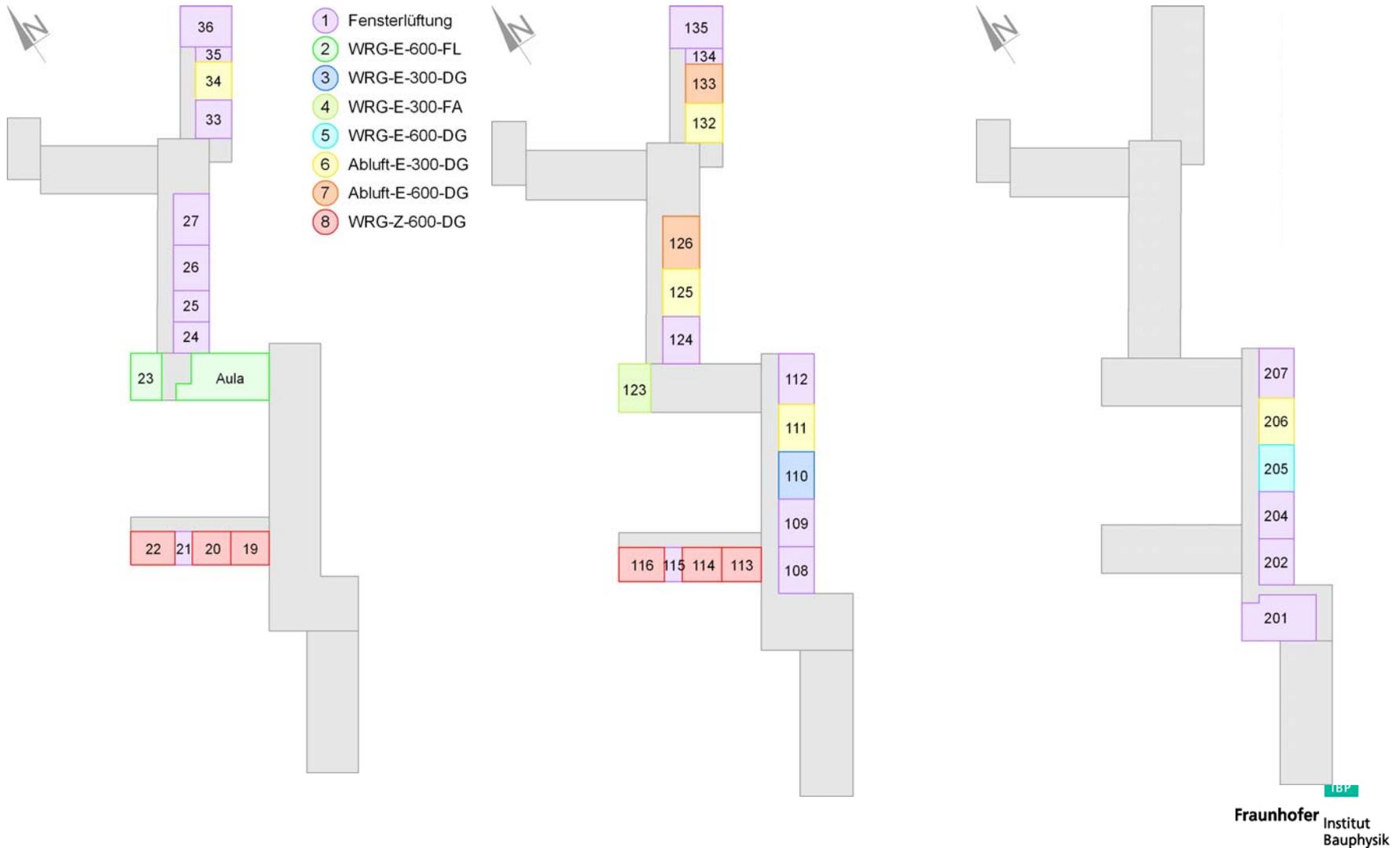
(4) WRG-E-300-FA (Wärmerückgewinnung, Einzelraum, Aufstellort: vor Fassade, 300 m³/h)



(6) bzw. (7) Abluft-E-300-DG (Abluftanlage, Einzelraum, Aufstellort: Dachgeschoss, 300 bzw. 600 m<sup>3</sup>/h)

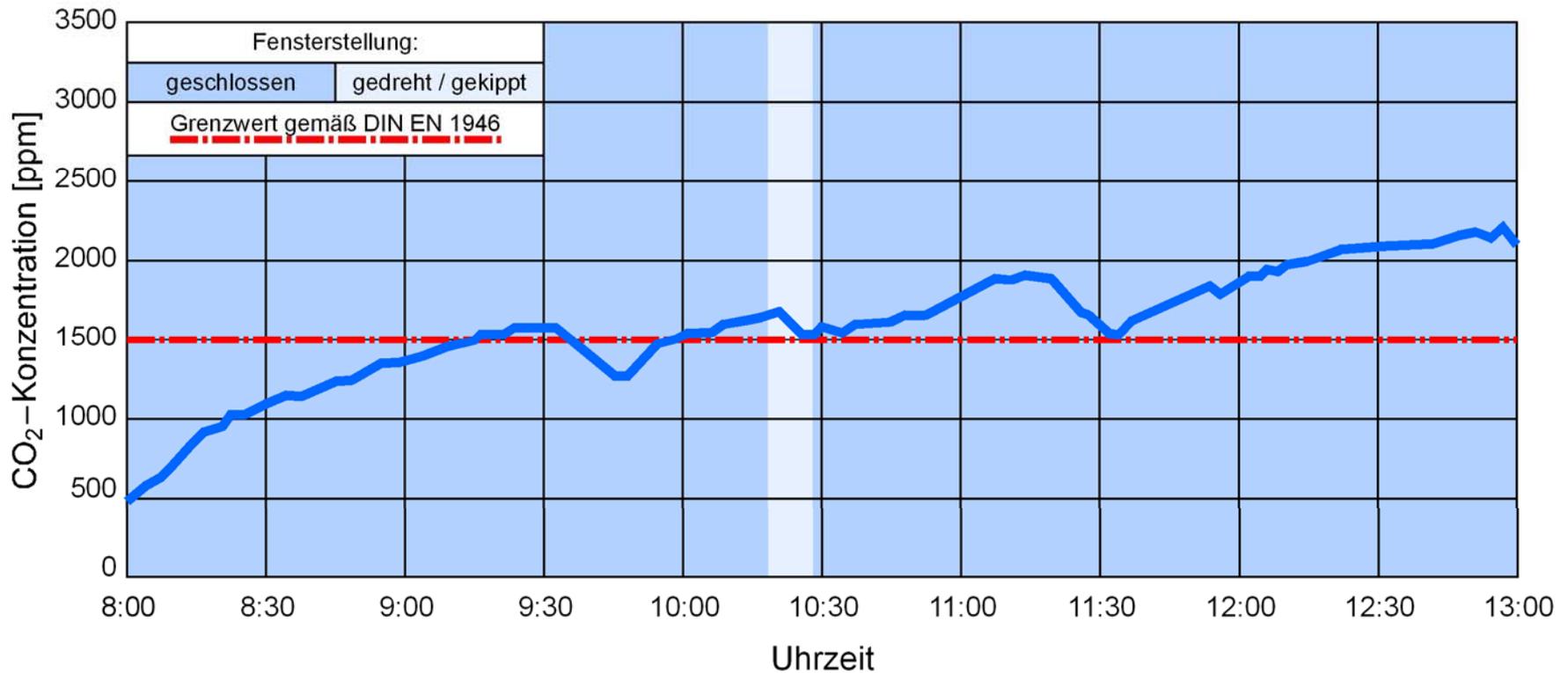


# Kennzeichnung der in den Klassenräumen umgesetzten Lüftungssysteme



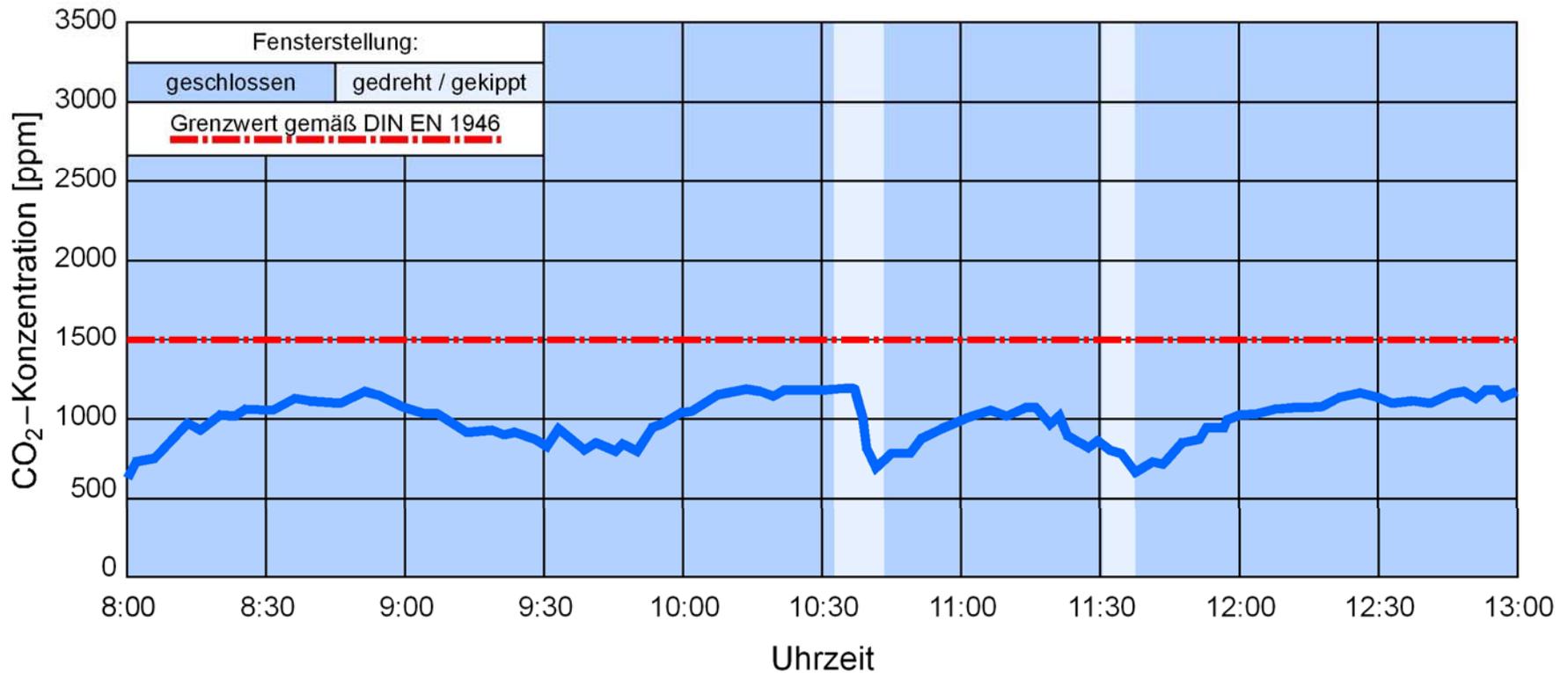
# Kohlendioxidkonzentration nach Sanierung

(mechanische Lüftung,  $n = 1,0 \text{ h}^{-1}$ , und freie Fensterlüftung)



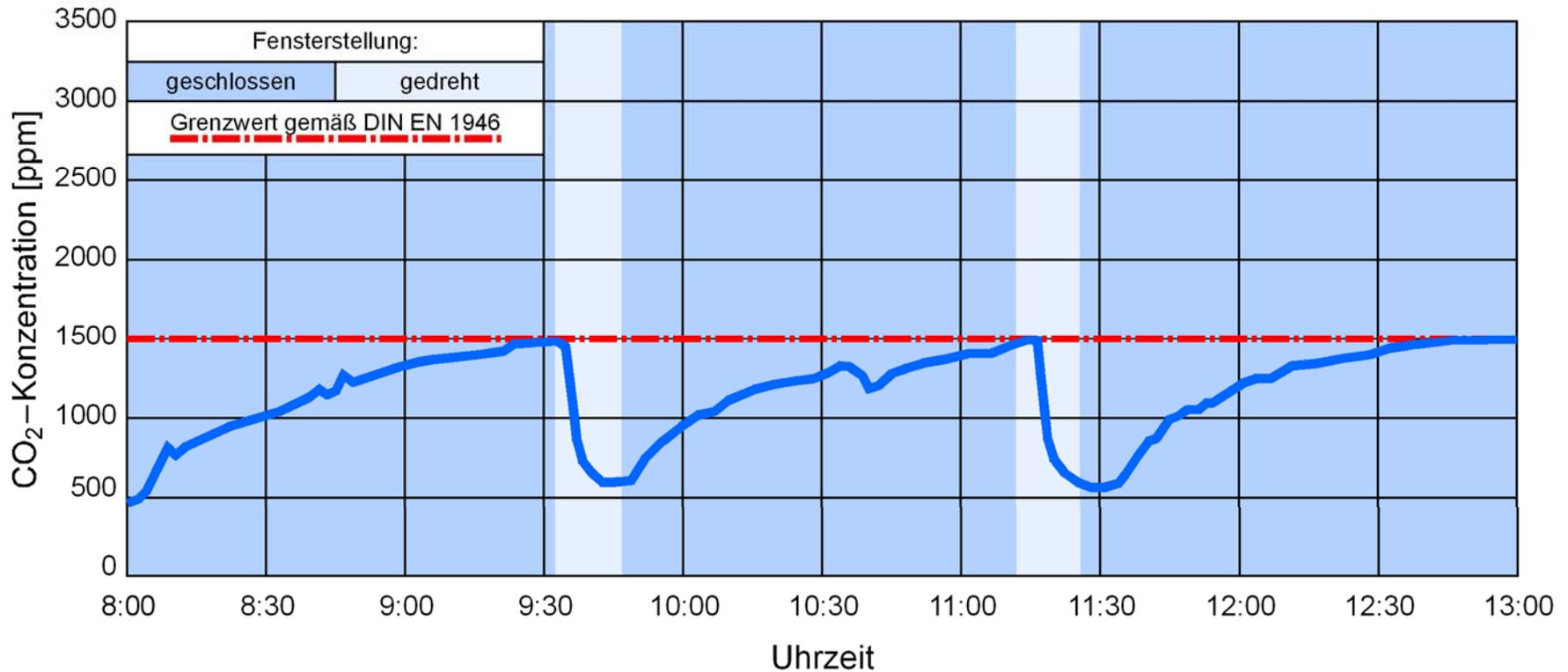
# Kohlendioxidkonzentration nach Sanierung

(mechanische Lüftung,  $n = 2,8 \text{ h}^{-1}$ , und freie Fensterlüftung)



# Kohlendioxidkonzentration nach Sanierung

(mechanische Lüftung,  $n = 1,4 \text{ h}^{-1}$ , und Stoßlüftung in Pausen)



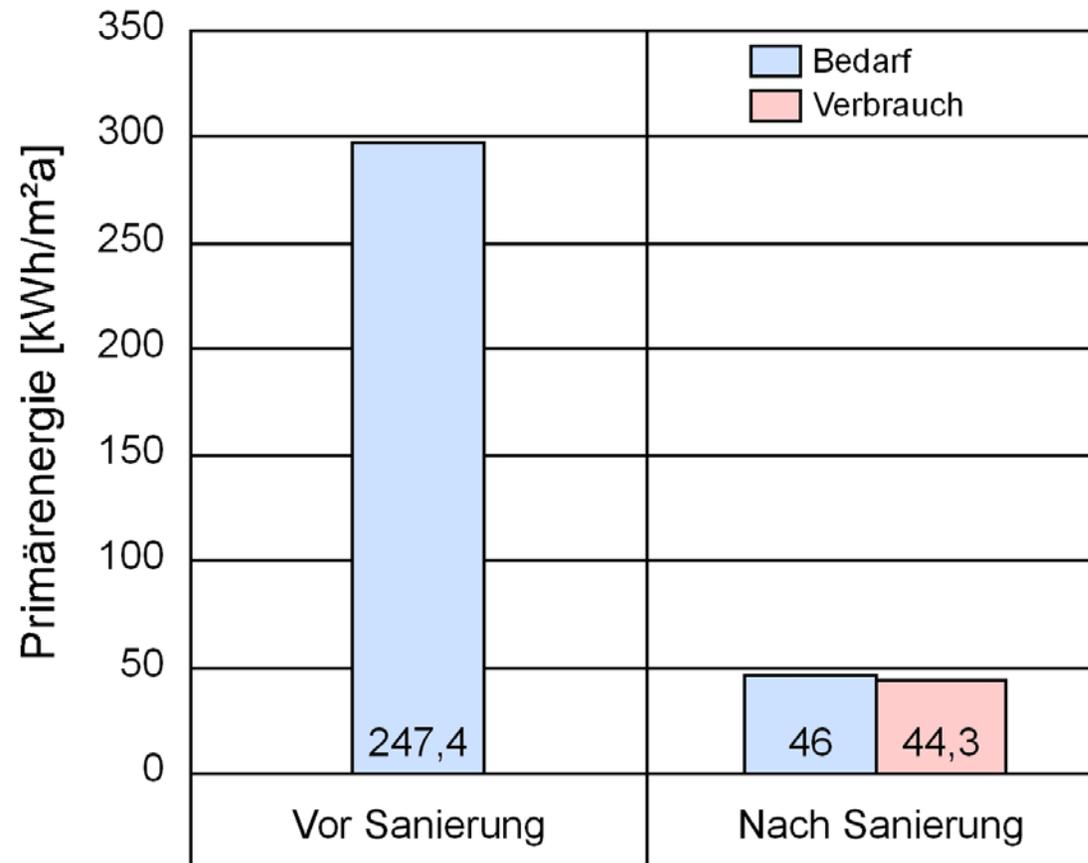
# Hilfsenergieverbrauch der Anlagen

System	Lüftungssystem	Stromverbrauch pro konditionierter Fläche
		kWh / (m <sup>2</sup> a)
(1)	Fensterlüftung	0
(2)	WRG-E-600-FL	4,82
(3)	WRG-E-300-DG	3,08
(4)	WRG-E-300-FA	5,46
(5)	WRG-E-600-DG	4,82
(6)	Abluft-E-300 DG	3,20
(7)	WRG-E-600-DG	3,93
(8)	WRG-Z-600-DG	6,40

# Abgerechnete Kosten der Anlagen

System	Lüftungssystem	Räume	Fläche	Kosten	Kosten pro Raum	Kosten pro Fläche
		-	m <sup>2</sup>	€	€/ Raum	€/ m <sup>2</sup>
(1)	Fensterlüftung	18	72	0	0	0
(3)	WRG-E-300-DG	5	72	7.884	7.884	109
(4)	WRG-E-300-FA	1	72	4.882	4.882	68
(5)	WRG-E-600-DG	1	72	9.483	9.483	132
(6)	Abluft-E-300 DG	1	72	4.350	4.350	60
(7)	WRG-E-600-DG	2	72	6.730	6.730	93
(8)	WRG-Z-600-DG	6+2 WC	467	35.540	5.467	76

# Primärenergie vor und nach der Sanierung



# Käthe – Kollwitz – Schule der Stadt Aachen nach der Sanierung



# „Partnerschaft für Innovationen“, ins Leben gerufen im Januar 2004 auf Initiative des Bundeskanzlers

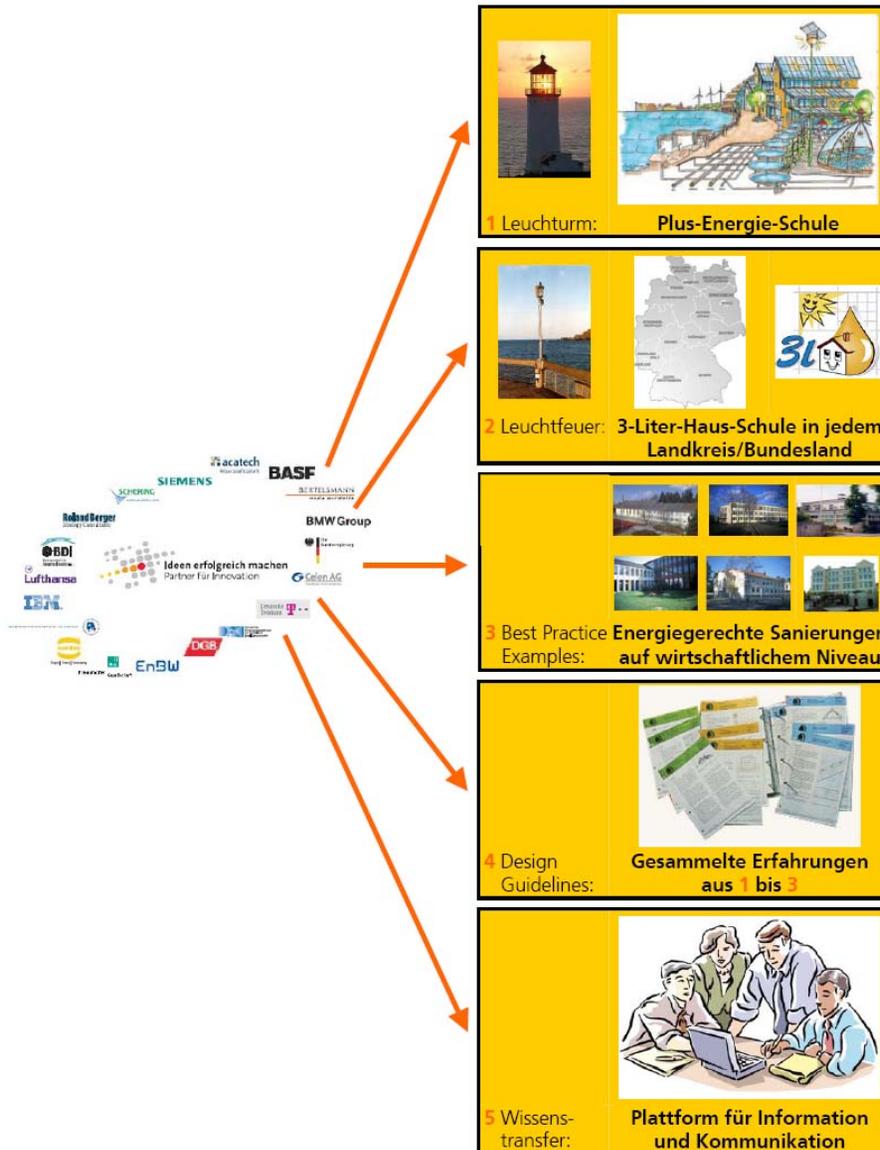
## Ziel:

Gute Ideen sollen in Zukunft schneller in  
erfolgreiche Innovationen umgesetzt werden

Die Partner der Initiative



# Energieeffiziente Schulsanierungen



## ■ Innovationsidee 1

# Mit intelligenter Sanierung zum energieeffizienten Schulgebäude

Eine neue Heizungsanlage im Keller oder gezielte Wärmedämmung – Energiesparen ist für Hausbesitzer nicht erst seit der Energieeinsparverordnung von 2002 ein Thema. Und mit der Einführung des Energiepasses für Wohngebäude, der ab 2006 laut einer EU-Gesetzesnovelle zur Pflicht wird, ist ein wichtiger Schritt getan, um in Zukunft sorgsamer mit den Ressourcen umzugehen.

Ein Leuchtturm-Projekt im Blick: die energieeffiziente Sanierung von Schulgebäuden als bundesweites Demonstrationsprojekt. Etwa 5.000 Schulen müssen in Deutschland in den nächsten zehn Jahren saniert werden. „Mit innovativen Energieeffizienztechniken ließe sich der Energieverbrauch der öffentlichen Gebäude drastisch senken“, so Prof. Gerd Hauser, Leiter des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik. Als Ausgangsbasis für die Ideenentwicklung dient dem Impuls-kreis das Null-Heizenergie-Projekt ÖVOLUTION des Fertighausherstellers WeberHaus, mit dem die breite Einführung des 3-Liter-Hauses im Neubau ihren Anfang nahm.



# Plus Energie Schule Rostock

Ist-Zustand



Geplant

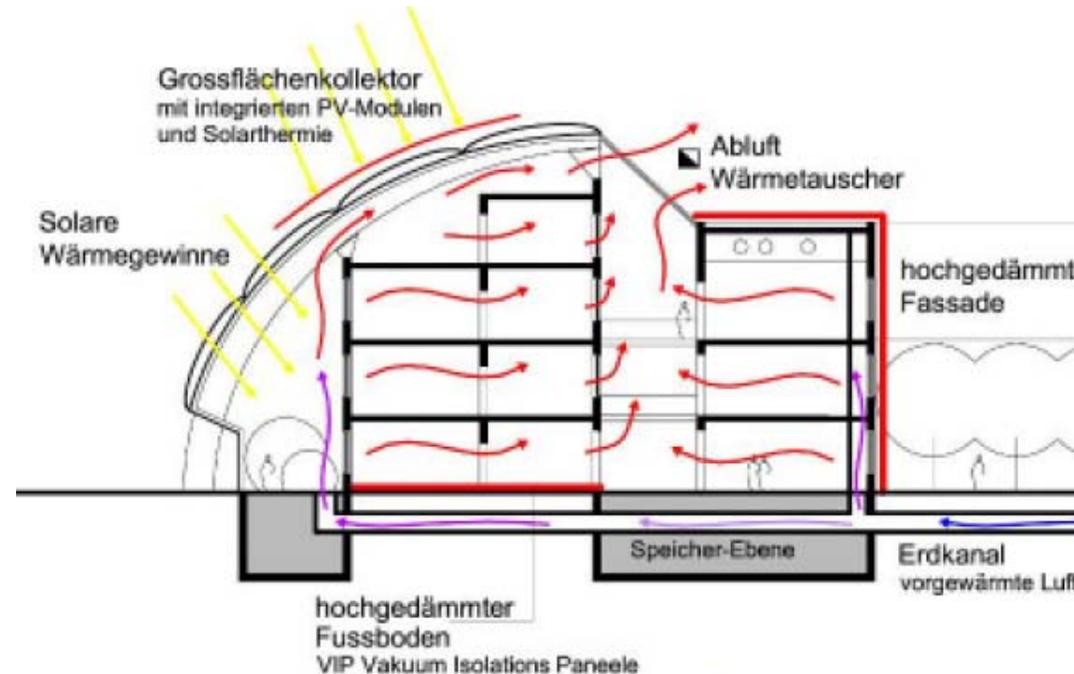


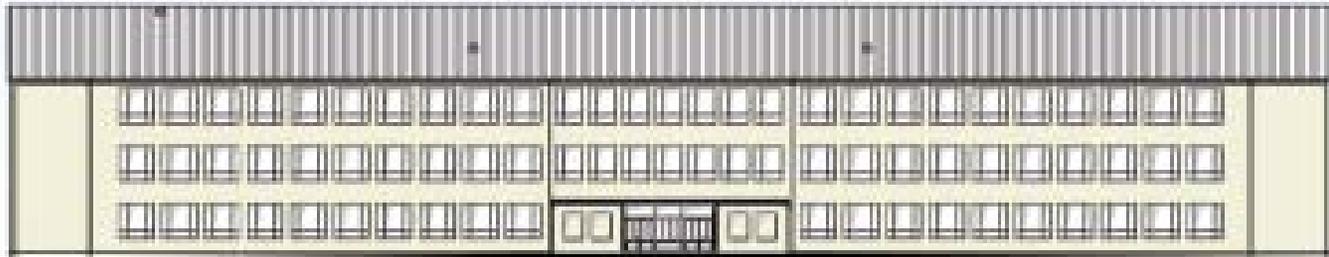
Ansicht Südfassade

# Plus Energie Schule Rostock

## Energiekonzept

- Minimierung der Transmissionswärmeverluste
- Bedarfsgerechte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Zuluftvorwärmung im Erdkanal
- Nutzung der Erdwärme mit Wärmepumpe
- Deckung des Hilfsstroms mit PV (ca. 340 m<sup>2</sup>)
- Vakuurröhrenkollektor (ca. 200 m<sup>2</sup>)
- Zwei Windräder mit vertikalen Achsen





Ansicht Südfassade B



Ansicht Südfassade

# Gymnasium Marktoberdorf

## Nachhaltige Heizungssanierung durch Erfolgscontracting



# Gymnasium Marktoberndorf

## Nachhaltige Heizungssanierung durch Erfolgscontracting

### Ausgangslage

- Bisher bei Heizungssanierung nicht die Einsparung erzielt, die von der Technik zu erwarten wäre
- Klassenräume mangels ungenügender Regelung oder fehlendem hydraulischen Abgleich häufig über- oder unterversorgt
- Niemand fühlt sich für mangelnden Komfort verantwortlich

### Ziel

- Anhand einer Pilot-Schulsanierung wird ein Konzept entwickelt, erprobt und validiert, wie das vom Contractor zu garantierende Einspar- und Komfortziel ermittelt und kontrolliert werden kann
- Erfolgscontracting soll zu einem praxistauglichen Konzept einer nachhaltigen Ausschreibungs- und Vergabepaxis führen

# 3-Liter-Haus-Schule in Olbersdorf bei Zittau

## Energetische Sanierung eines denkmalgeschützten Schulkomplexes

### Energiekonzept

- Schlanke Außendämmung mit Vakuumisolationspaneeelen im Klebverfahren, mineralischer Außenputz
- Bedarfsgerechte Lüftung über Zuluftkastenfenster
- Optimierte Tageslichtlenkung zur Reduzierung des Stromverbrauchs für Kunstlicht
- Nutzung der Abluft- oder Erdwärme durch Gas-Absorptionswärmepumpe
- Einsatz von PCM-haltigen Innenputz in Dachgeschossräumen



# 2-Liter-Haus-Schule

## Science College Overbach in Jülich-Barmen

### Energiekonzept

- Dämmung mit Vakuumisulationspaneelen -  $H'_T < 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Lüftung mit Wärme- und Feuchterückgewinnung
- Betonkerntemperierung  
Niedrigexergie-Technik
- Wärmepumpe - Wärmeentnahme aus fließendem Grundwasser
- Piloteinsatz elektrochrome Sonnenschutz-Verglasung als 3-fach Wärmeschutzverglasung
- Lichtbrunnen - Tageslichtlenkung durch bewegliche Lamellen und Spiegel in den Oberlichtern

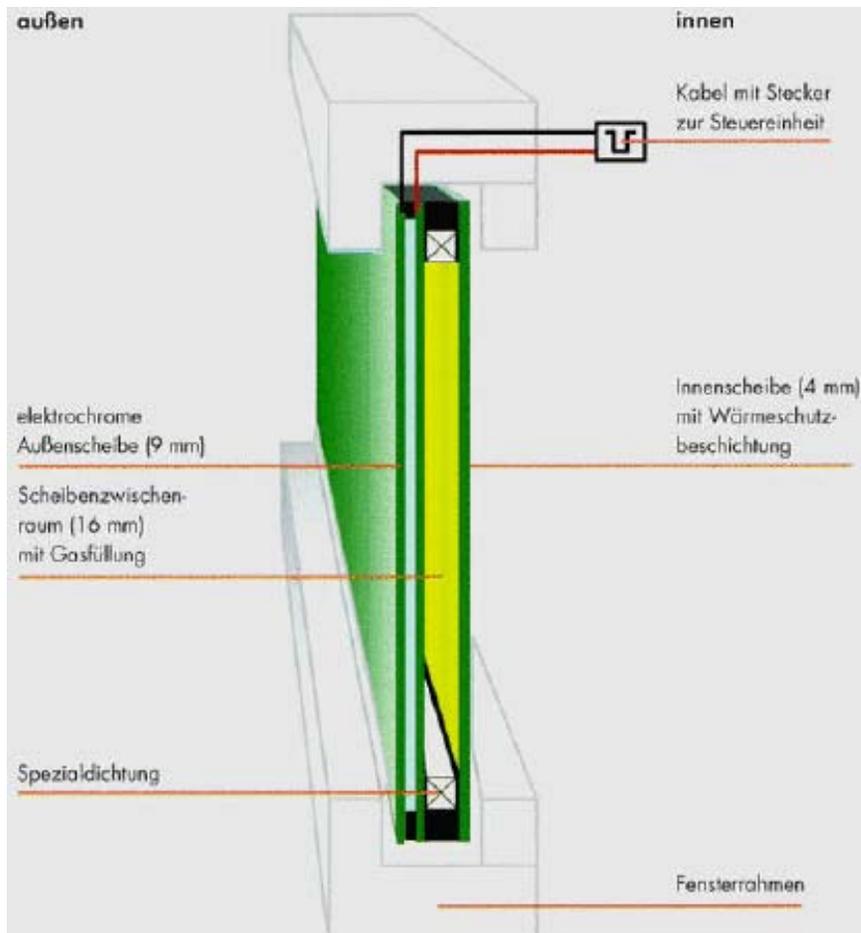


- Raumakustische Maßnahmen zur Freihaltung der Massivdecke
- Integration des baulichen und anlagentechnischen Konzeptes in den Lehrplan der Schule

# 2-Liter-Haus-Schule

## Science College Overbach in Jülich-Barmen

Elektrochrome 3-Scheiben-Wärmeschutzverglasung



Tageslichtlenkung über Spiegel und Lamellen in den Oberlichtern





# Energieeffiziente Schulsanierung



## Wissenschaftliche Begleitforschung

- Aufbau eines Portals „EnEff-Schule“
- Aufbau einer Datenbank
- Dokumentation der Aktivitäten aller Akteure im Bereich EnEff-Schule
- Bewertung technischer Maßnahmen auf Energieverbrauch
- Durchführung von Fachseminaren, Workshops und Tagungen
- Erstellung von Guidelines
- .....
- Einbindung der Sanierung in den Schulalltag und Lehrplan
- Untersuchung des Einflusses verhaltensbezogener Maßnahmen auf den Energieverbrauch
- Untersuchung des Einflusses von Energieeffizienz-Maßnahmen auf den Schulalltag
- Durchführung von Begleitaktivitäten mit Schülern, Lehrern, Hausmeistern und Eltern
- .....



# Energieeffiziente Schulsanierung



## Wissenschaftliche Begleitforschung wird im Auftrag des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie durchgeführt von:

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) und Fachhochschule München (FHM)  
Zuständig: Johann Reiß (IBP) und Prof. Werner Jensch (FHM)
- Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI)  
Zuständig: Edelgard Gruber (ISI) und Annette Roser (BSR)