

EnEff:Schule Schulsymposium Biberach 21. und 22. April 2009



**DBU-Forschungsprojekt
Ganzheitliche Sanierung von Schulen**

gefördert durch



Deutsche Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de



Institut für Gebäude- und Solartechnik IGS

- Leitung: Univ.-Prof. Dr.-Ing. M. Norbert Fisch
- Mitarbeiter: rund 20 Architekten, Bau-, Maschinenbau- und Elektroingenieure, Versorgungstechniker

Arbeitsgebiete

- Energiekonzepte
- Auditierung
- Energetische Qualitätssicherung in Planung, Errichtung und Betrieb

Maschinenbau 	Architektur 	Architektur 	Maschinenbau 	Bauingenieurwesen 	Architektur 
Sekretariat 	Maschinenbau 	Elektrotechnik 	Architektur 	Architektur 	Versorgungstechnik 
BWL 	Team		Bauingenieurwesen 	Architektur 	Maschinenbau 
Ingenieurökologie 	Architektur 	Versorgungstechnik 	Architektur 	Bauingenieurwesen 	Architektur 

Ganzheitliche Sanierung von Nichtwohngebäuden

Bürogebäude



PROsab

future:workspace

EnBop

Energie-Navigator

Schulen



GASS

Integrale Planungsphase
Landkreis Goslar

Lüftungskonzepte in
Bildungsstätten

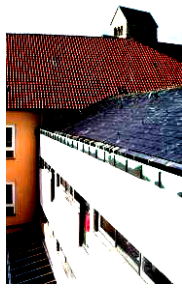
Dena-Coaching

Museen



Nachhaltige Museumssanierung

Museen als Leuchtturmprojekte



Forschungsprojekt

GASS - Ganzheitliche Sanierung von Schulen

Bauphysik / Gebäudetechnik

Architektur

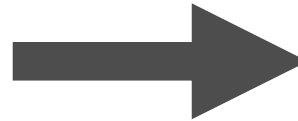
**Pädagogik
Soziologie und Psychologie**

Prof. Fisch, Institut für Gebäude- und Solartechnik
Prof. Goydke, Ingenieurbüro für Raum- und Bauakustik
Prof. Léon, Institut für Entwerfen und Gebäudelehre
Dittert & Reumschüssel, Architektur und Stadtentwicklung
Prof. Kemnitz, Institut für Erziehungswissenschaft
Prof. Linneweber, Institut für Psychologie

Kombination

- pädagogischer
- nutzerorientierter
- energetischer
- wirtschaftlicher

Ansätze



- Nutzung von Synergien
- Ausschöpfen neuer Potentiale



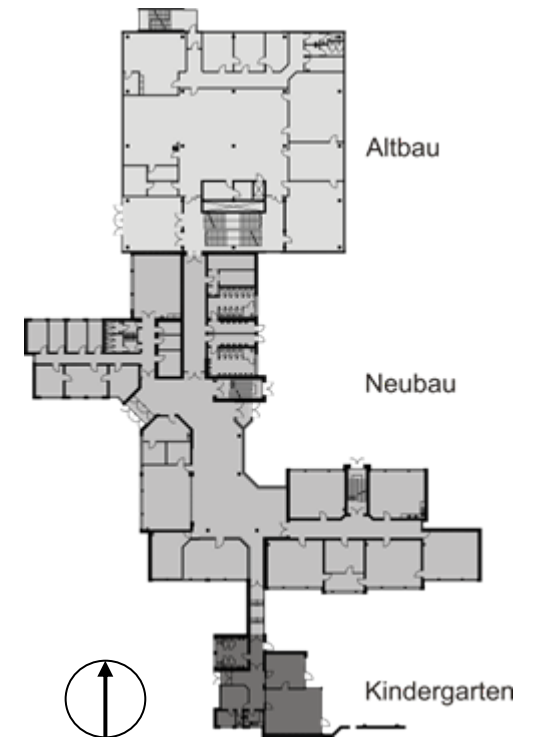
Verbesserung:

- Behaglichkeit (thermisch, visuell, akustisch)
- Leistungsfähigkeit von Schülern und Lehrern
- Erhaltung der Bausubstanz
- Energieeffizienz
- Wirtschaftlichkeit im Betrieb



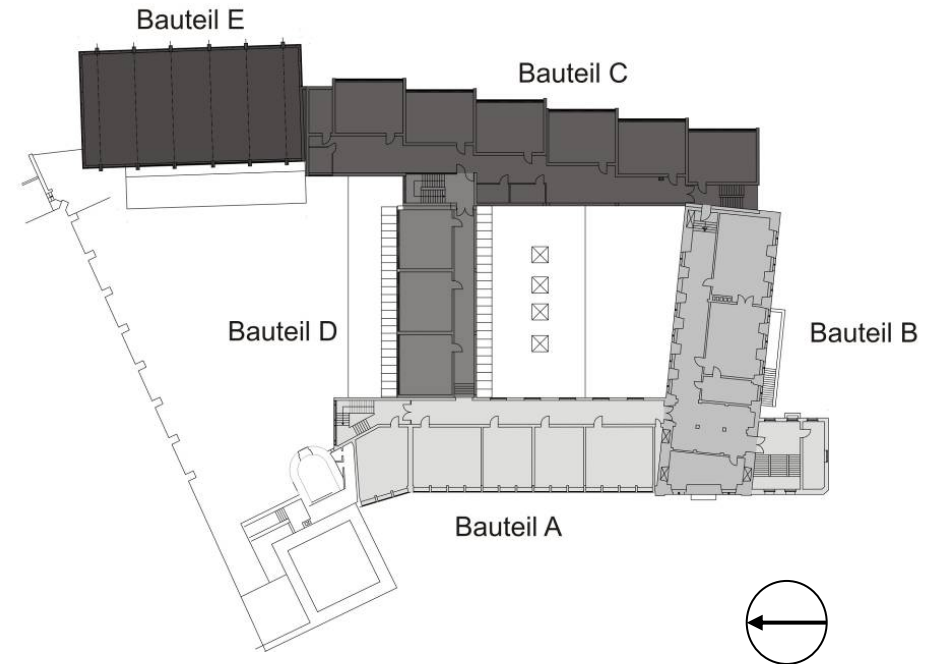
Regenbogenschule, Wolfsburg

- Grundschule
- 230 Schüler und 26 Lehrkräfte
- Baujahr 1974 / 1983
- 9.100 m² NGF gesamt
- davon Altbau 5.500 m² NGF
- Spez. Heizwärmeverbrauch
143 kWh/(m²a NGF)



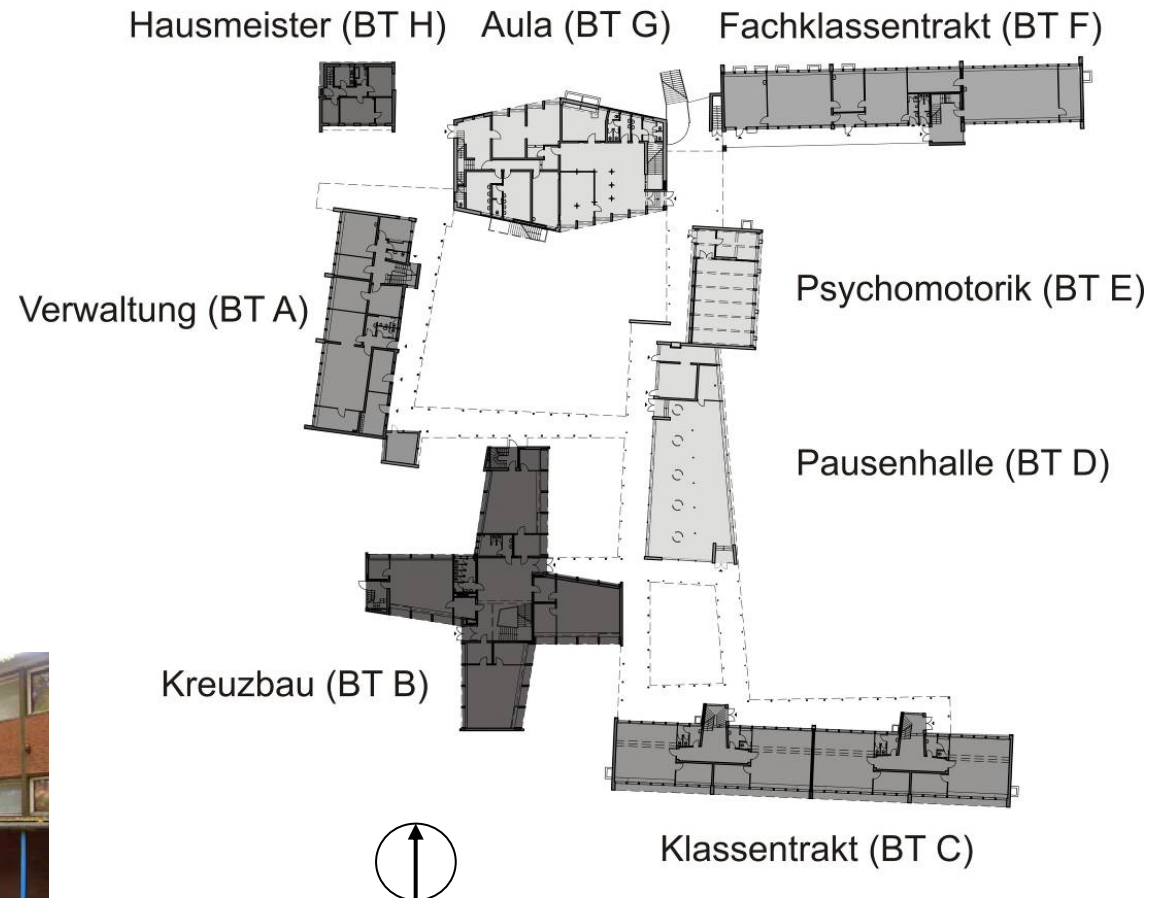
Bischöfliches Gymnasium Josephinum, Hildesheim

- Gymnasium
- 1.100 Schüler und 80 Lehrkräften
- Baujahr Bauteil A + B 1694 (Wiederaufbau 50er)
- Baujahr Bauteil C + D + E 1965
- 7.300 m² NGF gesamt
- Spez. Heizwärmeverbrauch
152 kWh/(m²a NGF)



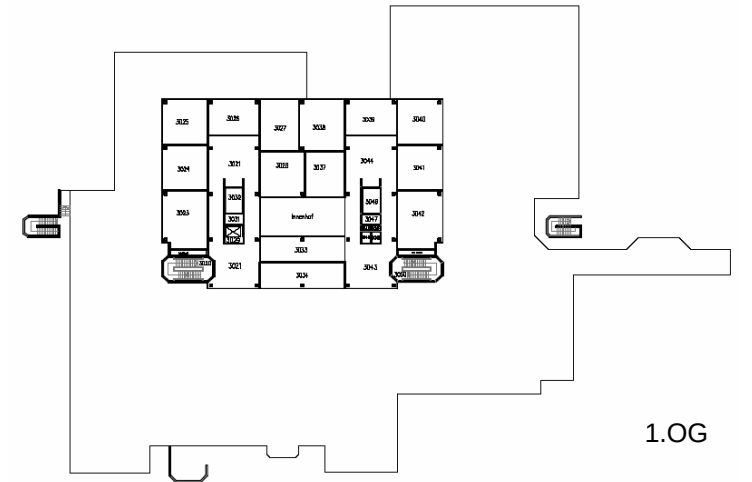
Grundschule Hohe Landwehr, Hamburg

- Grundschule
- 280 Schüler und 22 Lehrkräfte
- Baujahr 1958 bis 1963
- 5.200 m² NGF gesamt
- Spez. Heizwärmeverbrauch
177 kWh/(m²a NGF)

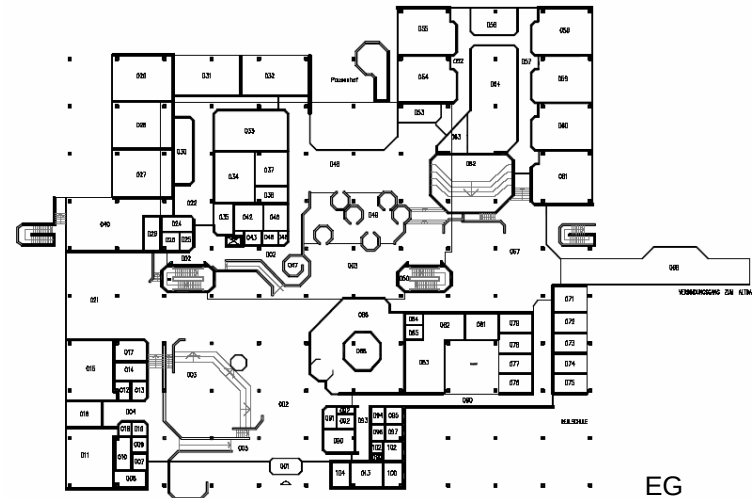


Schulzentrum Langelsheim

- Haupt-, und Real-, Grundschule, Sporthalle
- 784 Schüler
- Schule Baujahr 1976 bis 1977
- Sporthalle 1979
- 18.916 m² NGF gesamt
- Spez. Heizwärmeverbrauch
144 kWh/(m²a NGF)

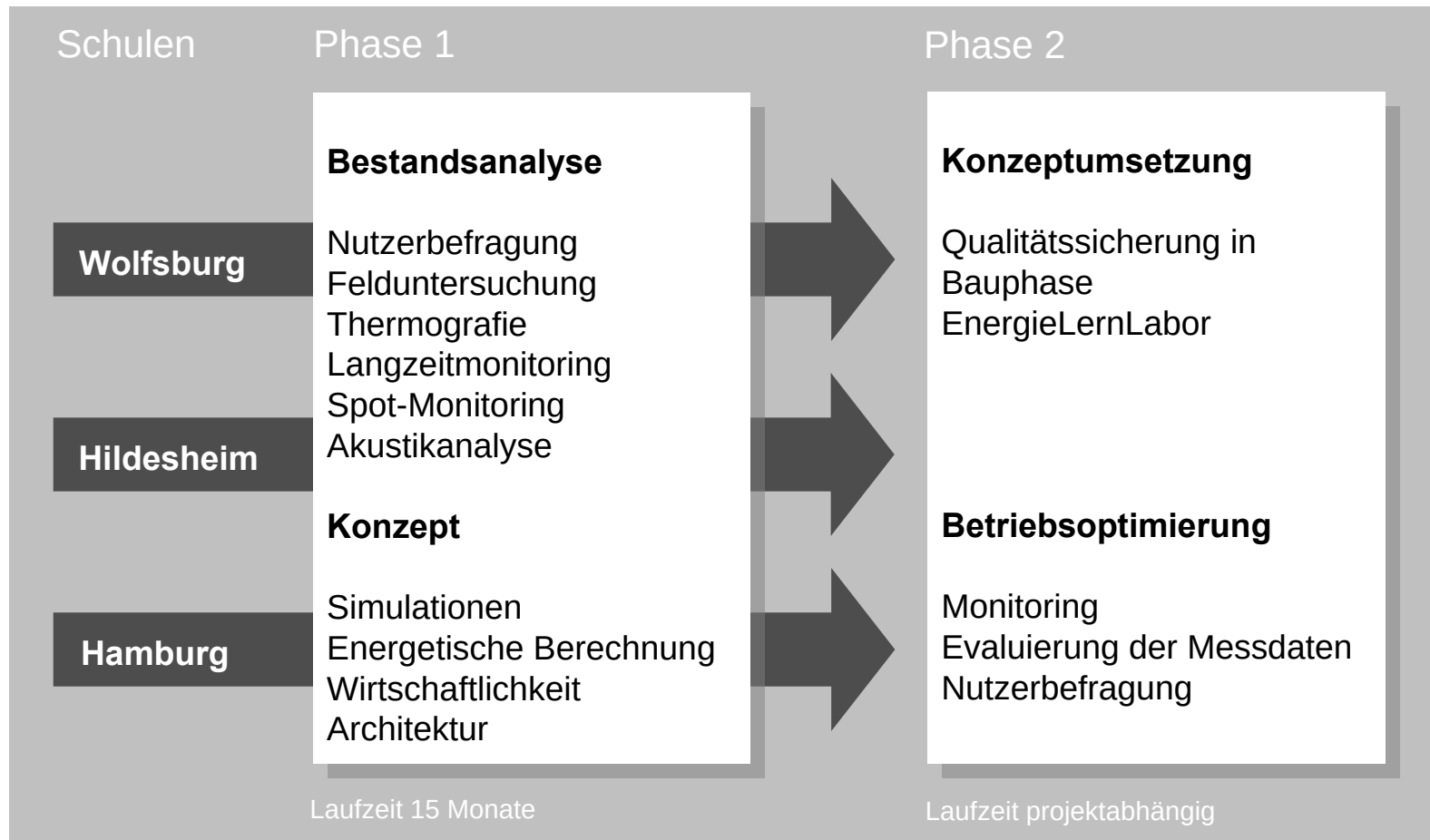


1.OG



EG

Haupt- und Realschule



Bestandsanalyse

Nutzerbefragung
Felduntersuchung
Thermografie
Langzeitmonitoring
Spot-Monitoring
Akustikanalyse

Themenfelder

- **Komfort & Behaglichkeit**
- **Raumwahrnehmung**
- **Aufenthaltsqualität**
- **Nutzerverhalten**
- **funktionale Anforderungen**

	Lehrkräfte	Schüler
Wolfsburg	12 (10 weibl./ 2 männl.)	81 (4 Klassen)
Hildesheim	32 (18 weibl./14 männl.)	102 (4 Klassen)
Hamburg	17 (16 weibl./ 1 männl.)	61 (3 Klassen)

Alter der Schüler:
 Grundschule 8 bis 10 Jahre
 Gymnasium 13 bis 16 Jahre

B Behaglichkeit und Aufenthaltsqualität

B1 Beurteilen Sie bitte die Aufenthaltsqualität in Ihrem Klassenraum

	nie	selten	gelegentlich	häufig	immer
a) Im Sommer ist es zu warm.	☐	☐	☐	☐	☐
b) Im Sommer ist es zu kalt.	☐	☐	☐	☐	☐
c) Im Winter ist es zu warm.	☐	☐	☐	☐	☐
d) Im Winter ist es zu kalt.	☐	☐	☐	☐	☐
e) Im Sommer ist die Luft zu feucht.	☐	☐	☐	☐	☐
f) Im Sommer ist die Luft zu trocken.	☐	☐	☐	☐	☐
g) Im Winter ist die Luft zu feucht.	☐	☐	☐	☐	☐
h) Im Winter ist die Luft zu trocken.	☐	☐	☐	☐	☐
i) Die Luft ist gut/frisch.	☐	☐	☐	☐	☐
j) Die Luft ist schlecht/verbraucht.	☐	☐	☐	☐	☐
k) Es treten Zugerscheinungen auf.	☐	☐	☐	☐	☐
l) Es kommt zu Geruchsbelästigung.	☐	☐	☐	☐	☐
m) Ich empfinde das Klima im Klassenraum insgesamt als behaglich.	☐	☐	☐	☐	☐

Wenn es im Klassenraum zu Beeinträchtigungen der Aufenthaltsqualität kommt, beschreiben Sie diese bitte kurz!

.....

 ...

B2 Wie wichtig sind Ihnen die folgenden Kriterien im Klassenraum für Ihre Arbeit?

	sehr wichtig	eher wichtig	teils-teils	eher unwichtig	völlig unwichtig
a) Raumtemperatur (Sommer)	☐	☐	☐	☐	☐
b) Raumtemperatur (Winter)	☐	☐	☐	☐	☐
c) Luftfeuchtigkeit (Sommer)	☐	☐	☐	☐	☐
d) Luftfeuchtigkeit (Winter)	☐	☐	☐	☐	☐
e) Frische der Luft	☐	☐	☐	☐	☐
f) Zugerscheinungen	☐	☐	☐	☐	☐
g) Geruchsbelästigung	☐	☐	☐	☐	☐
h) Behaglichkeit insgesamt	☐	☐	☐	☐	☐



positive Orte

Schülerbücherei



„Hier wohl ich mich ganz gut weil es so Farbig ist und ganz ruich und leize“ (Ali)

Computerraum



„Das ist mein Liblings ordt, Weil es dordt sehr schpas macht und die Coputer sauber sind.“ (Seyda)

Schülerbücherei



„Ich finde diesen Raum gut weil ich liebe Bücher und lese gerne. Es ist auch schön warm und die Bücher sind schön bund und es ist schön sauber.“ (Mandy)

negative Orte

WC



*„Da ist es nicht schön und kalt und es stinkt da und es ist nich sauber“
(Lisa)*

WC



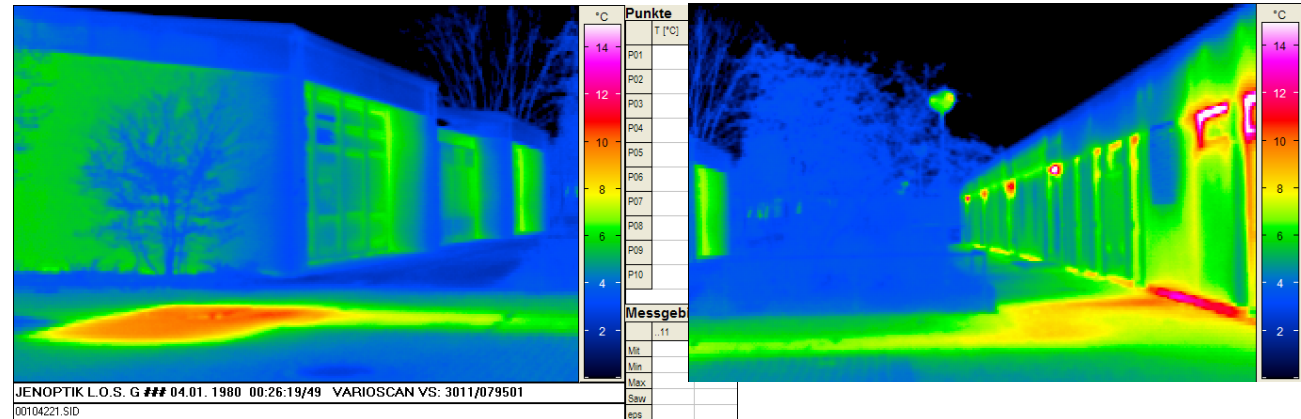
„An diesem Ort ist es voller Wasser. Ich habe angst wenn ich alleine bin. Die Toleten sind voller papier drin. Und es gibt kein Toleten papier.“ (Azad)

Werkraum

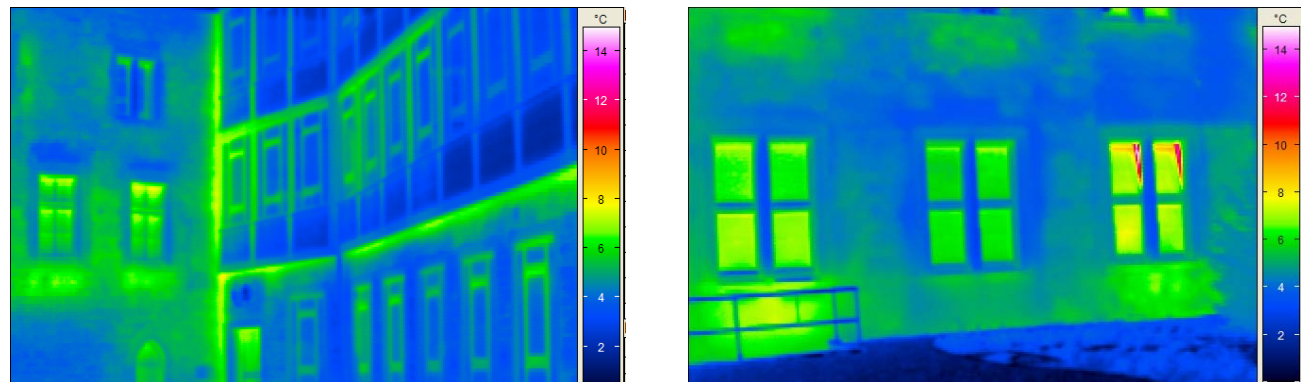


*„Hier fühle ich mich nicht so gut weil es hir immer laut ist und nicht ruhig.“
(Sipan,*

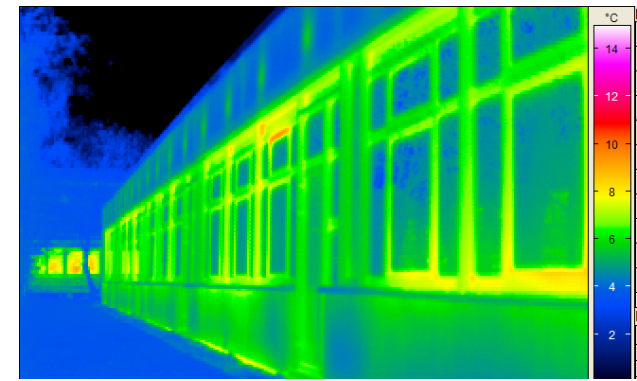
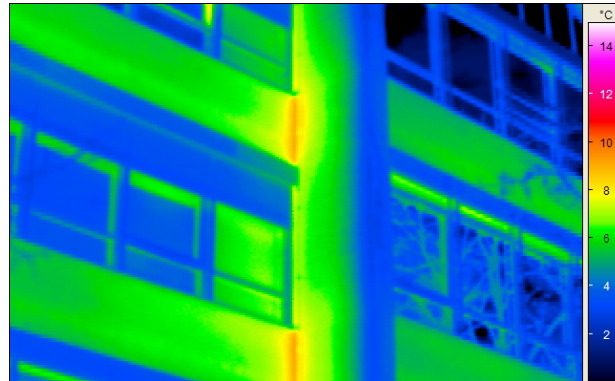
Nahwärmenetz



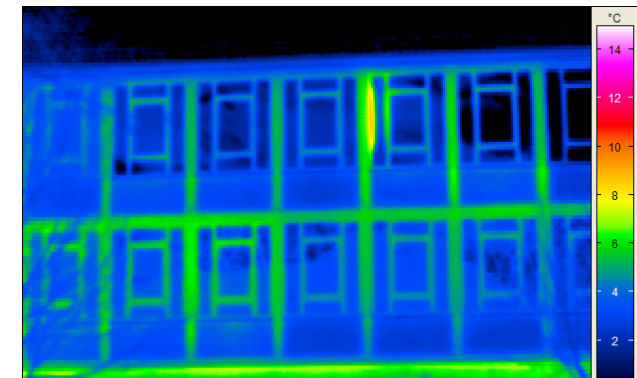
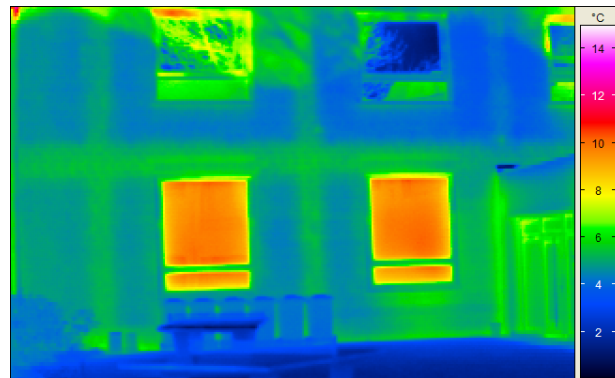
Historische Gebäude



Gebäude der 70er Jahre



**Gebäude der 50er Jahre
Sanierung vor 3 Jahren**



Innenraum:

Lufttemperatur

Rel. Luftfeuchte

CO₂-Konzentration

Fensterkontakte

Heizkörpertemperatur

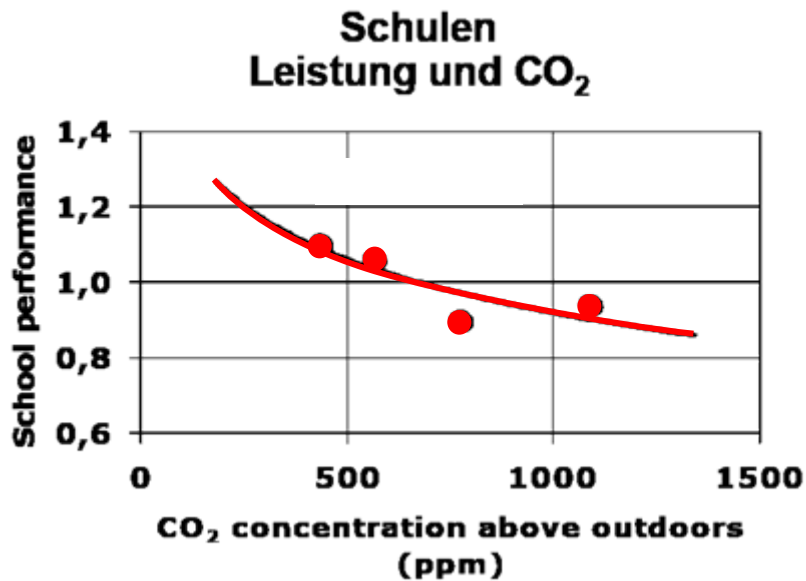
Außenbereich:

Lufttemperatur



CO₂- Konzentration = Indikator für Luftqualität

- Empfehlung Umweltbundesamt 1.500 ppm
- DIN 1946-2 Obergrenze für belüftete Räume 1.500 ppm



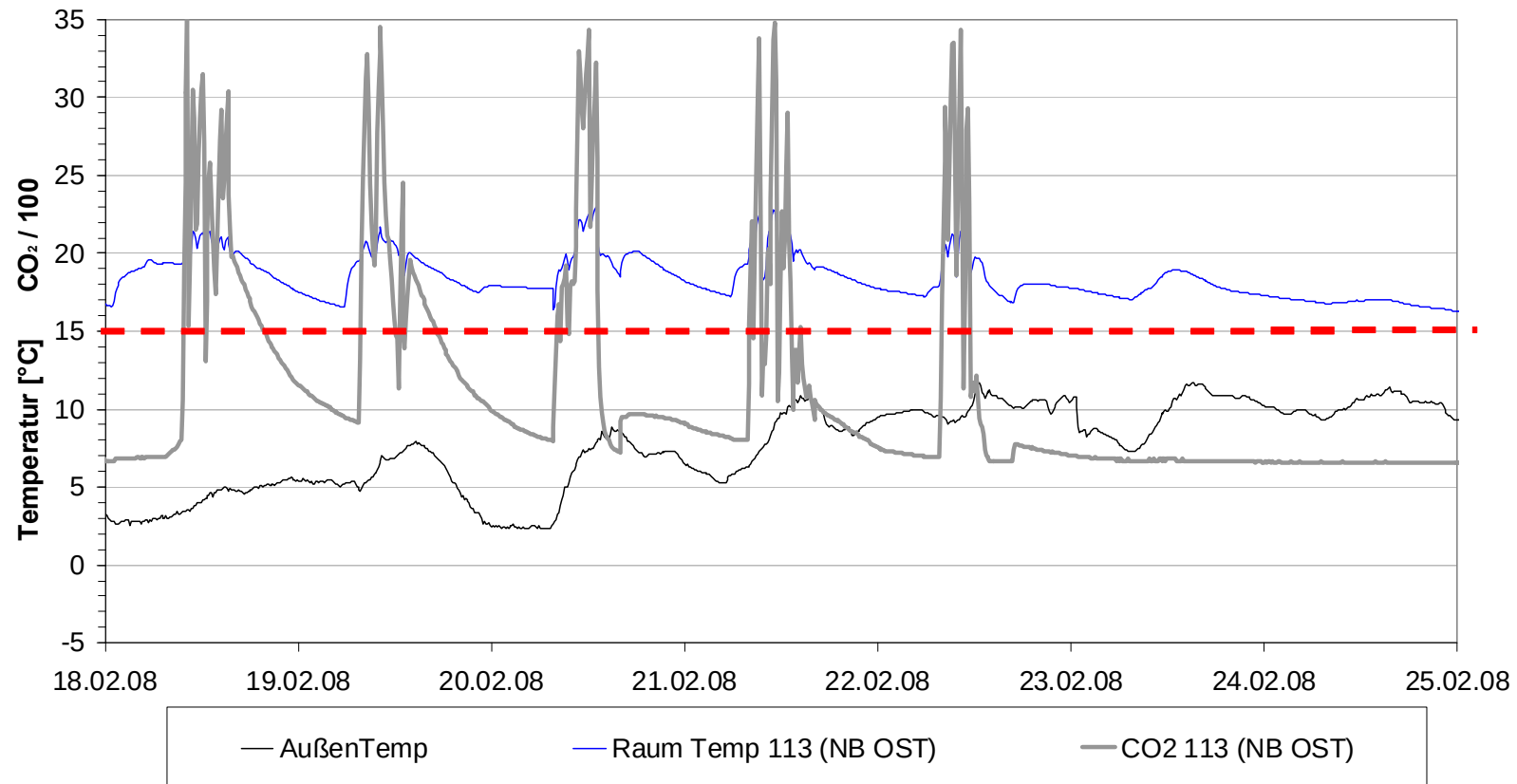
Dänische Studie an 6 Schulen [Olesen, 2004 / 2005]



CO₂-Konzentration: Wochenverlauf

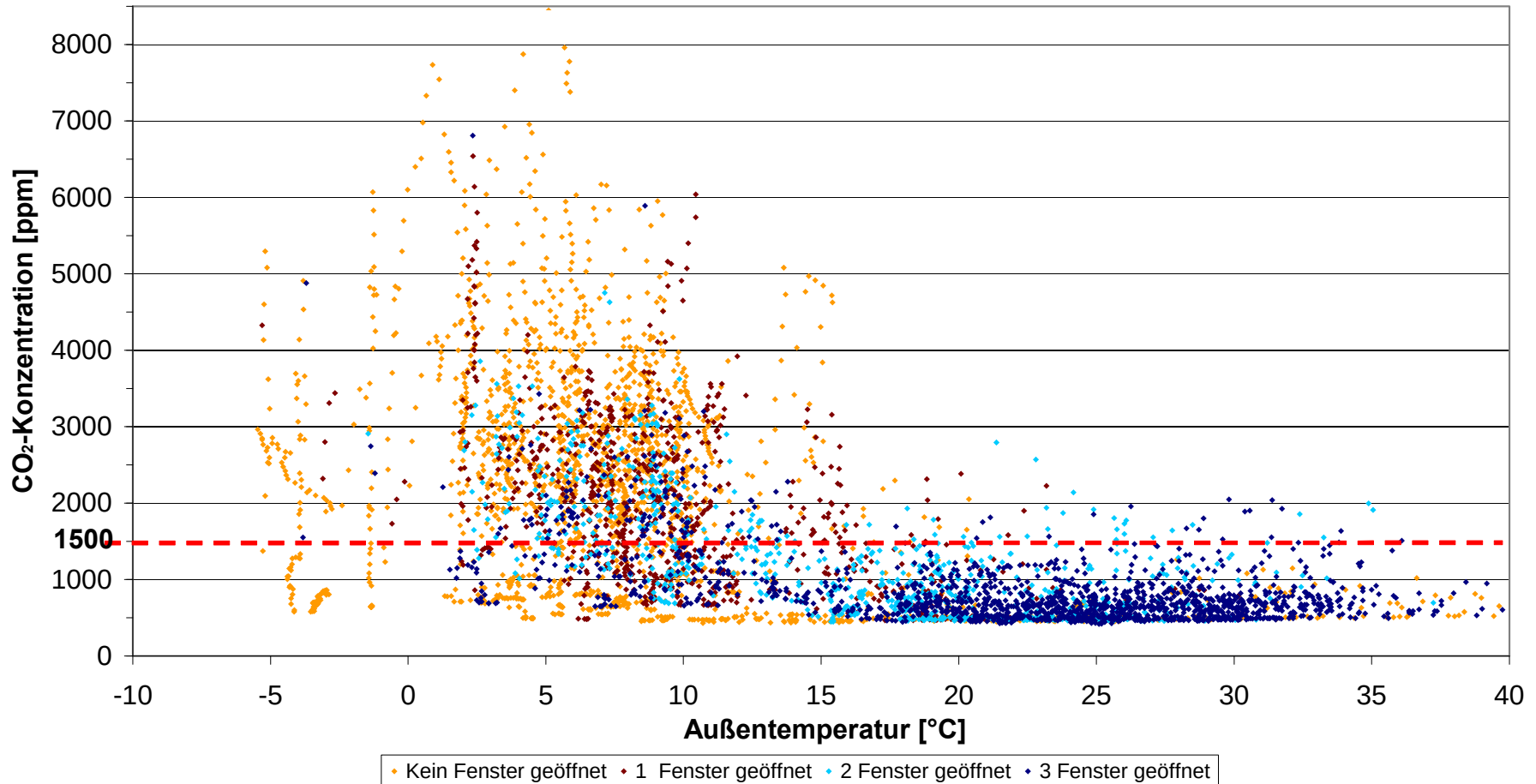
GASS Komfortmonitoring Josephinum Hildesheim
Raum 113 (18.02.08 - 24.02.08)

Winter



GASS Komfortmonitoring Josephinum Hildesheim
Raum 113 - CO₂-Konzentration über Außentemperatur

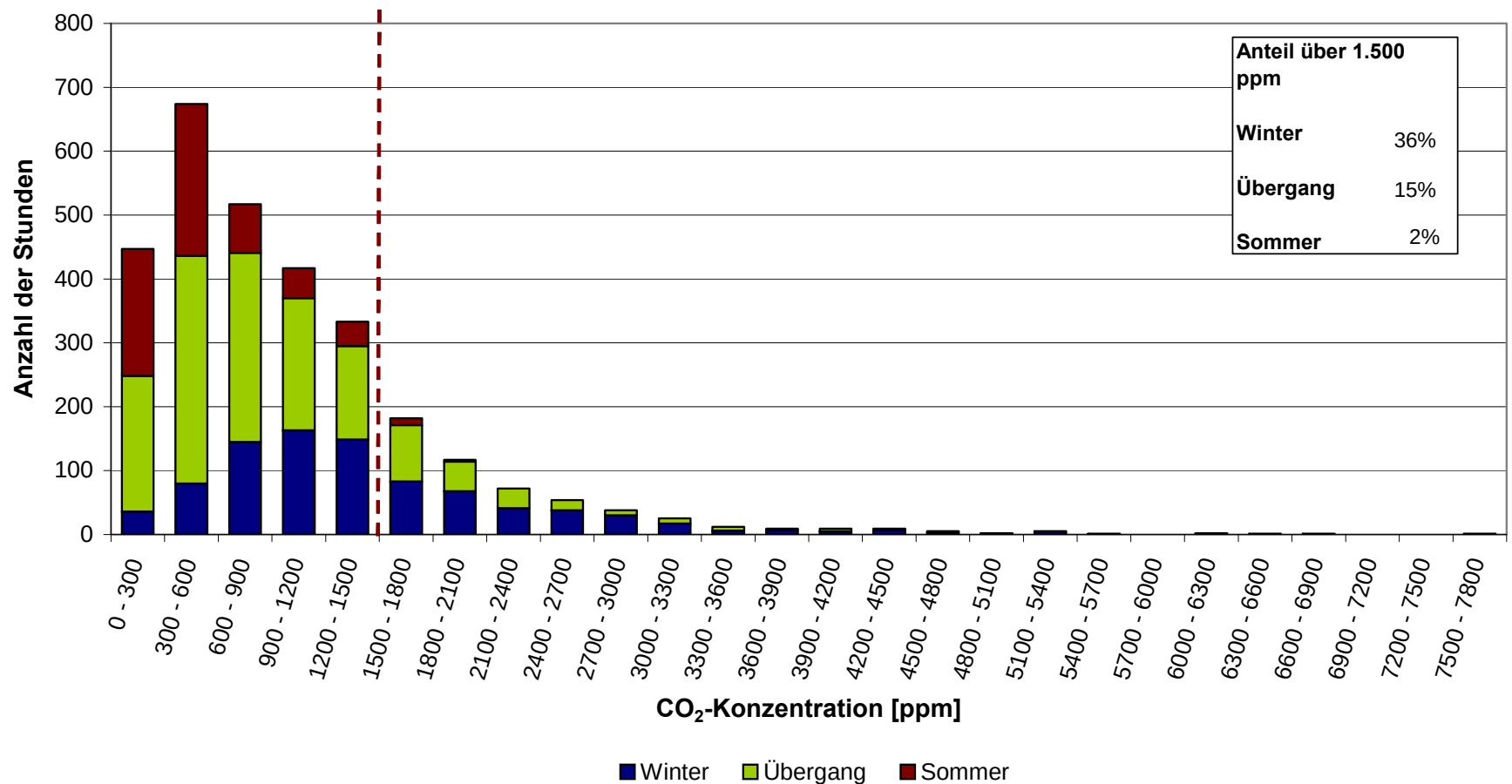
gesamter Messzeitraum

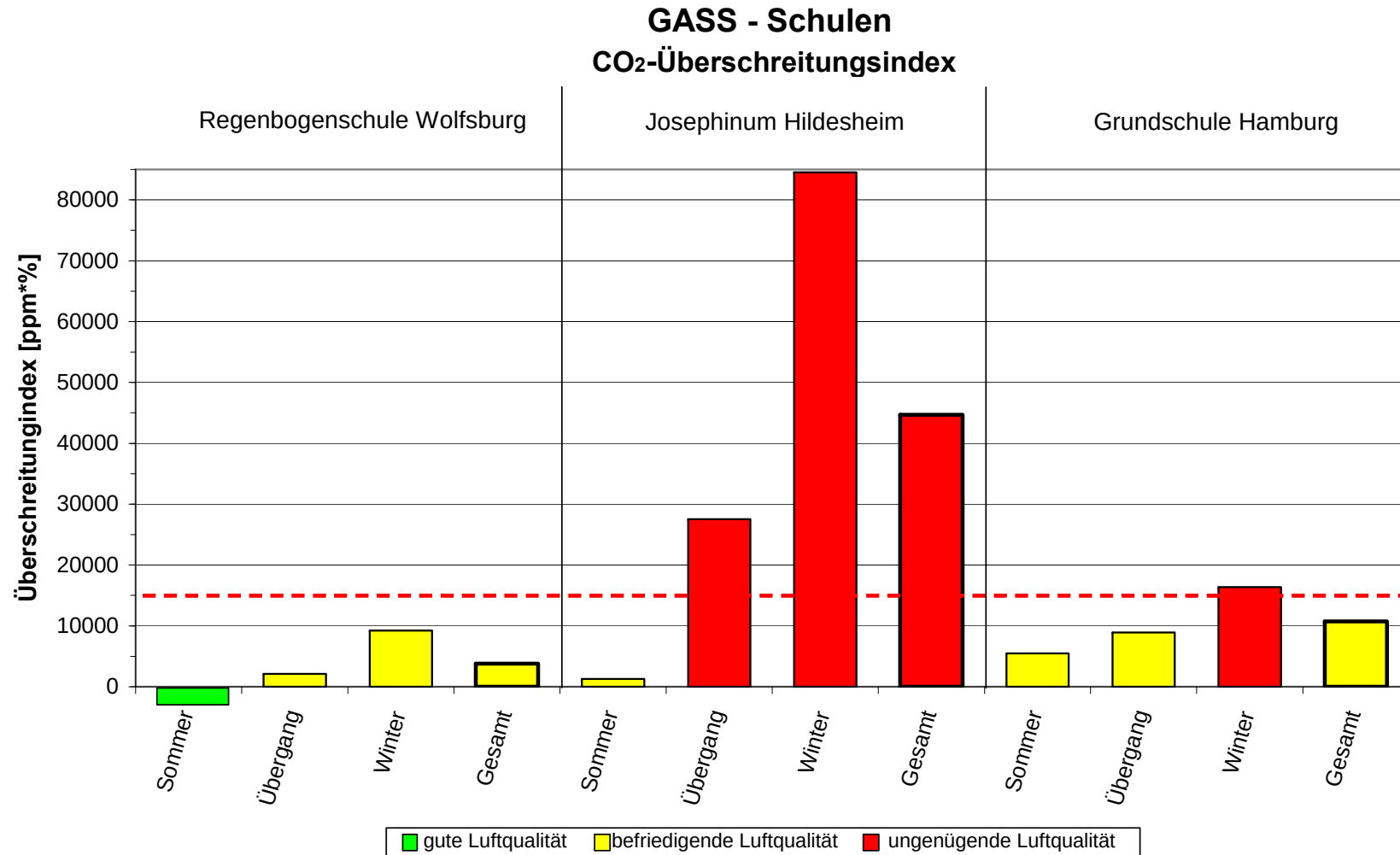


CO₂-Konzentration: Klassenraum

GASS- alle Schulen

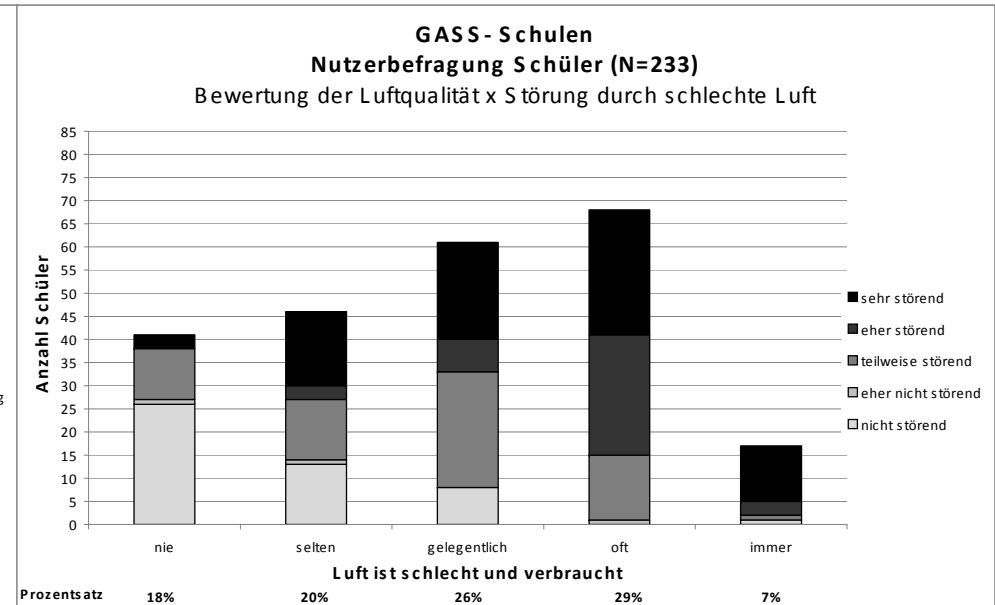
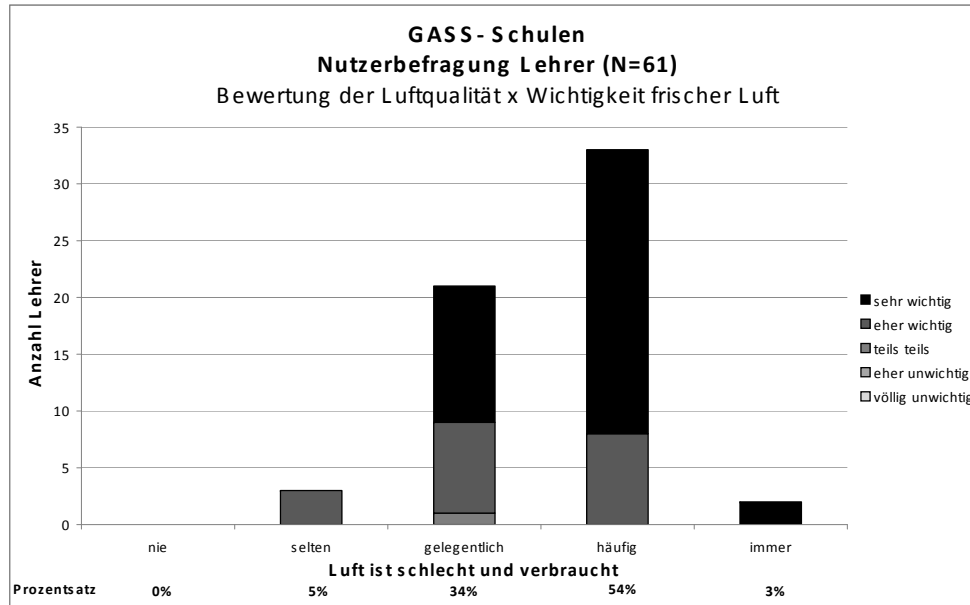
Häufigkeit der CO₂ - Konzentration im Unterrichtszeitraum





Bewertung der Luftqualität

- „Luft ist häufig bis immer schlecht und verbraucht“
- 72 % der Lehrer
- 35 % der Schüler (WOB 17%, HI 79%, HH 7%)
- Sehr hohe Wichtigkeit bzw. Auswirkung auf das subjektive Wohlbefinden

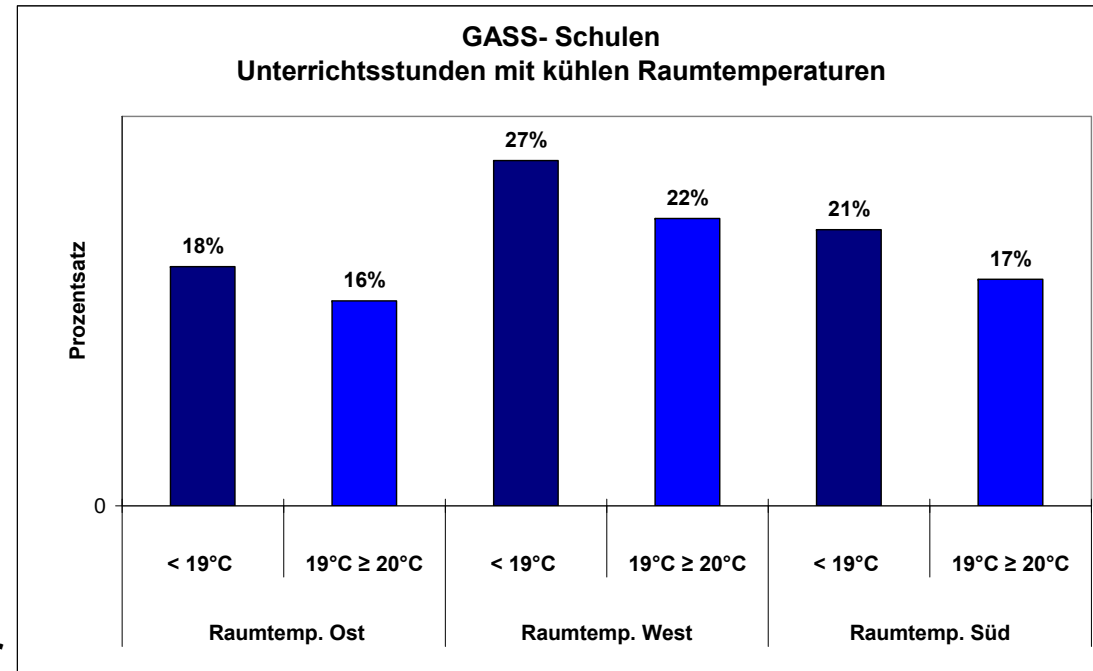


Raumtemperatur < 20°C

Hohe Anteile an Temperaturen unter 20°C

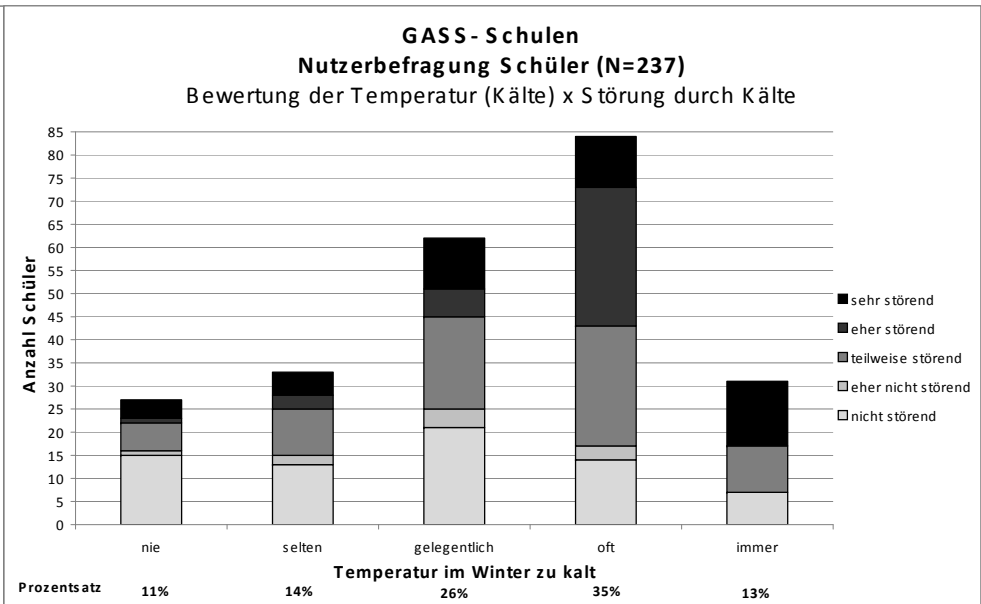
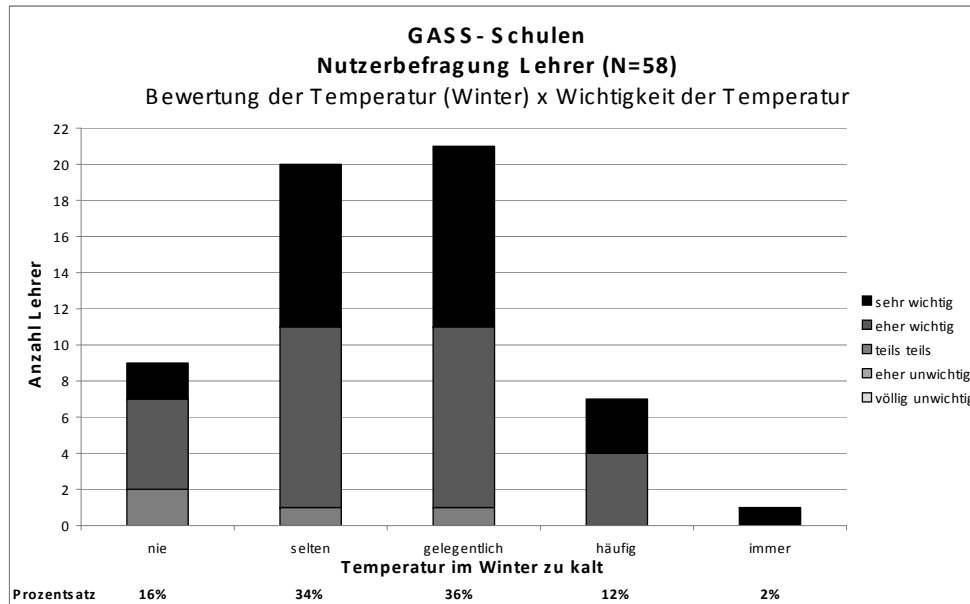
- Lüftungsverhalten
- gehäuft zu Unterrichtsbeginn
- Auskühlung bei Nachtabsenkung

Westausrichtung neigt zu kühlen Raumtemperatur



Bewertung der Temperatur

- „Temperatur ist im Winter häufig bis immer zu kalt“
- 14 % der Lehrer
- 48 % der Schüler
- Mäßige Wichtigkeit bzw. Auswirkung auf das subjektive Wohlbefinden

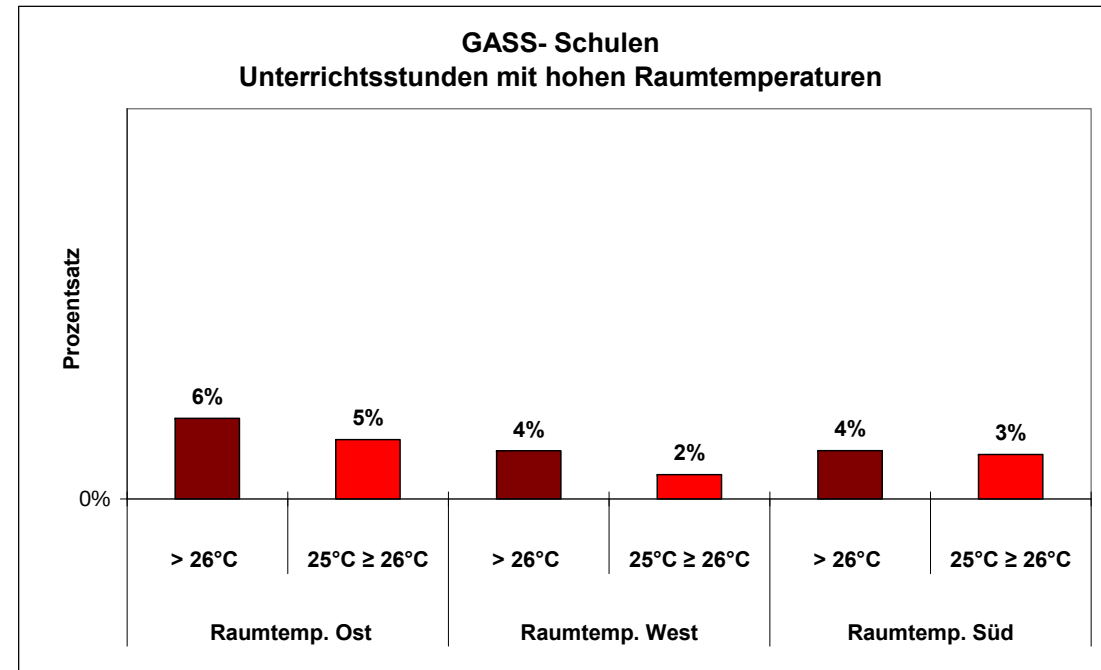


Raumtemperatur > 26°C

Mäßige Anzahl an Überhitzungsstunden

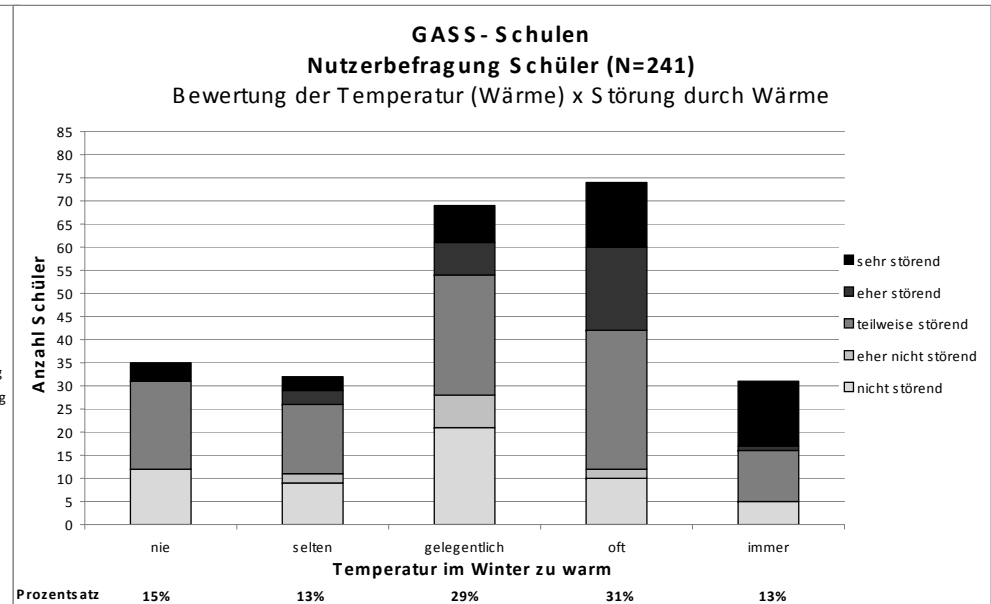
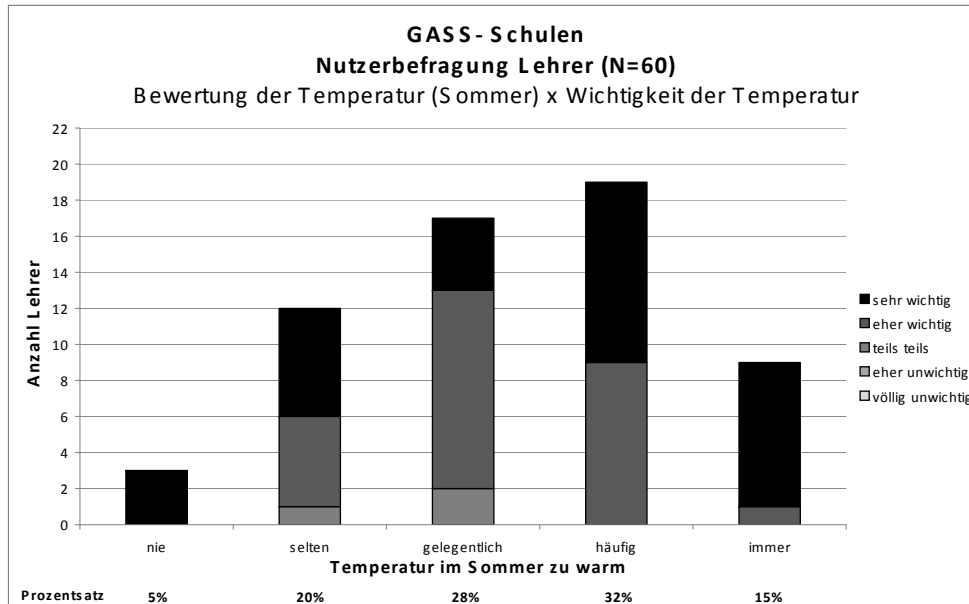
- Unterrichtszeit (8 bis 13 bzw. 15 Uhr)
- Sommerferien
- moderate Temperaturen im Messzeitraum

Ostausrichtung neigt vormittags zu Überhitzung



Bewertung der Temperatur

- „Temperatur ist im Sommer häufig bis immer zu warm“
- 47 % der Lehrer
- 44 % der Schüler
- Hohe Wichtigkeit bzw. Auswirkung auf das subjektive Wohlbefinden



Folgen unzulänglicher Akustik für Schüler

- Sprachverständnis wird behindert
- Sprach-, Kommunikations- und Entwicklungsstörungen
- Sprachinformationen gehen im Raum unter
- Ermüdung
- Beeinträchtigungen der Leistungen
- Verschlechterung des Sozialverhaltens, Aggression
- Vernachlässigung weniger offenkundiger Aspekte

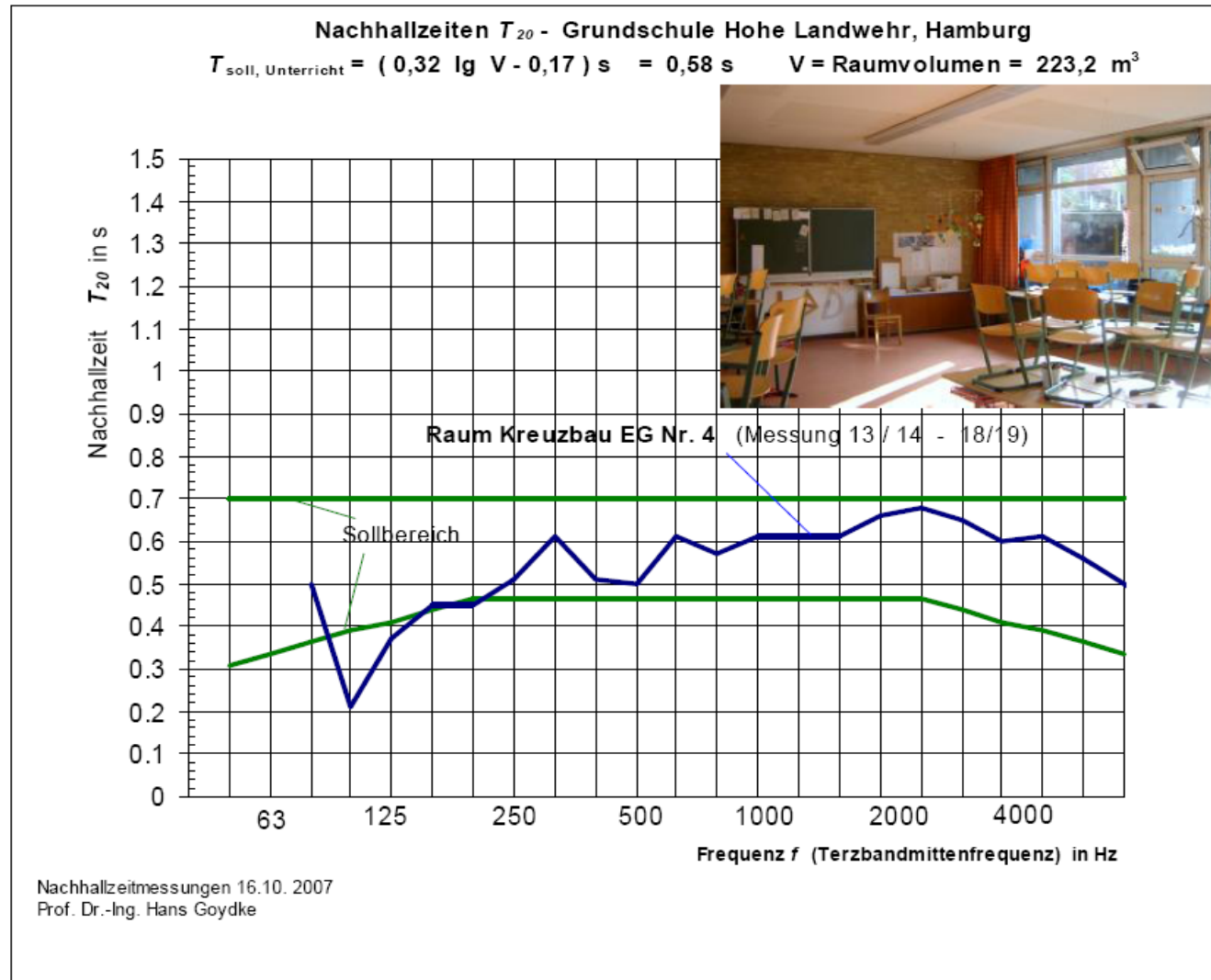
Folgen unzulänglicher Akustik für Lehrkräfte

- Lärm ist Stressfaktor
- enorme psychische Belastung
- Heiserkeit und Kopfschmerzen

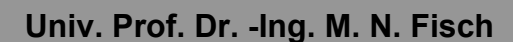


- Ermittlung der Nachhallzeiten
- Bewertung in drei Qualitätskategorien
- Untersuchung der Ursachen (u.a. endoskopisch bei Akustikdecken)
- Störschallpegelmessung und Bewertung nach DIN 4109
- Nutzerbefragungen zur Akustik (Schüler und Lehrkräfte)
- Ermittlung des Sanierungsbedarfs mit Empfehlungen zum Vorgehen
- Optimierungsvorschläge

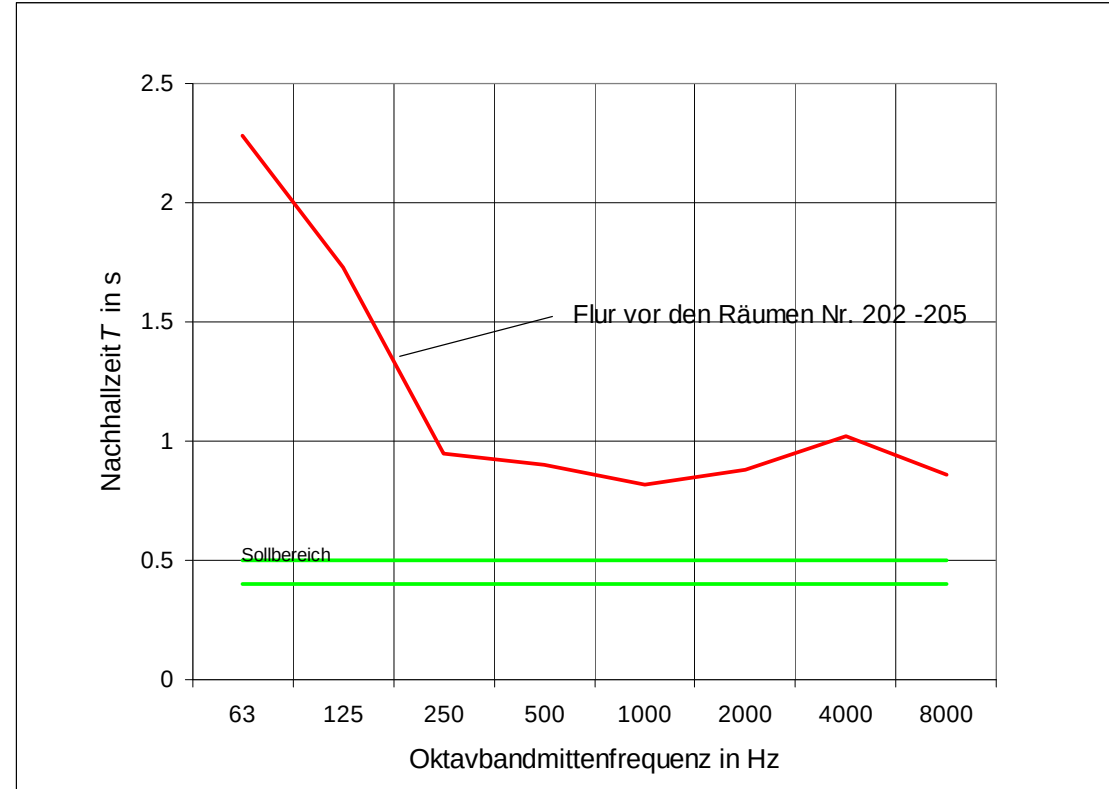




mittlere Nachhallzeiten $T_{m, 250-2000 \text{ Hz}}$ [s]



Beispiel einer Sanierungsempfehlung



Empfehlung:

Ausbau der Deckenverkleidung und Neueinbau als stärker abgehängte Decke (mindestens 200 mm) mit Mineralwolle-Auflage mindestens 40 mm stark, zusätzliches Wandabsorberband ca. 1 m breit oberhalb der Türen.

Konzept

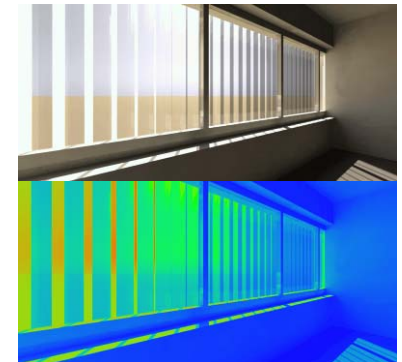
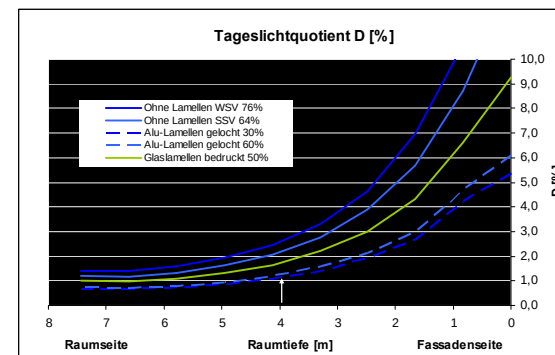
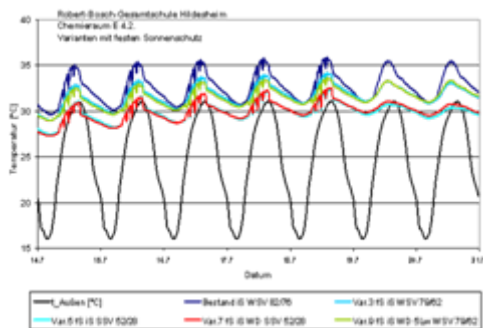
Simulationen
Energiekonzept
Wirtschaftlichkeit
Architektur

Thermische Simulation

- sommerlicher Wärmeschutz: Empfehlung von geeigneten passiven Maßnahmen (Sonnen- und Blendschutz, Verglasungsqualität)
- Bewertung Raumklima und Energiebedarf bei verschiedenen Lüftungskonzepten

Tageslichtsimulation

- Lichtverteilung im Raum und Tageslichtautonomie



Energetische Zielsetzung der DBU:

KfW 40/60-Standard:

- Jahresprimärenergiebedarf $Q_p = 60 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ NGF
- Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T' mind. 45% unter EnEV-Standard

Passivhausstandard:

- Jahresprimärenergiebedarf $Q_p = 120 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ EBF (WW, Heizung, Kühlung, Hilfs- Haushaltsstrom)
- Jahresheizwärmebedarf $Q_h = 15 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ EBF (EBF: NF mit 60% VF ohne Treppen, Schächte)

Berechnung folgender Varianten:

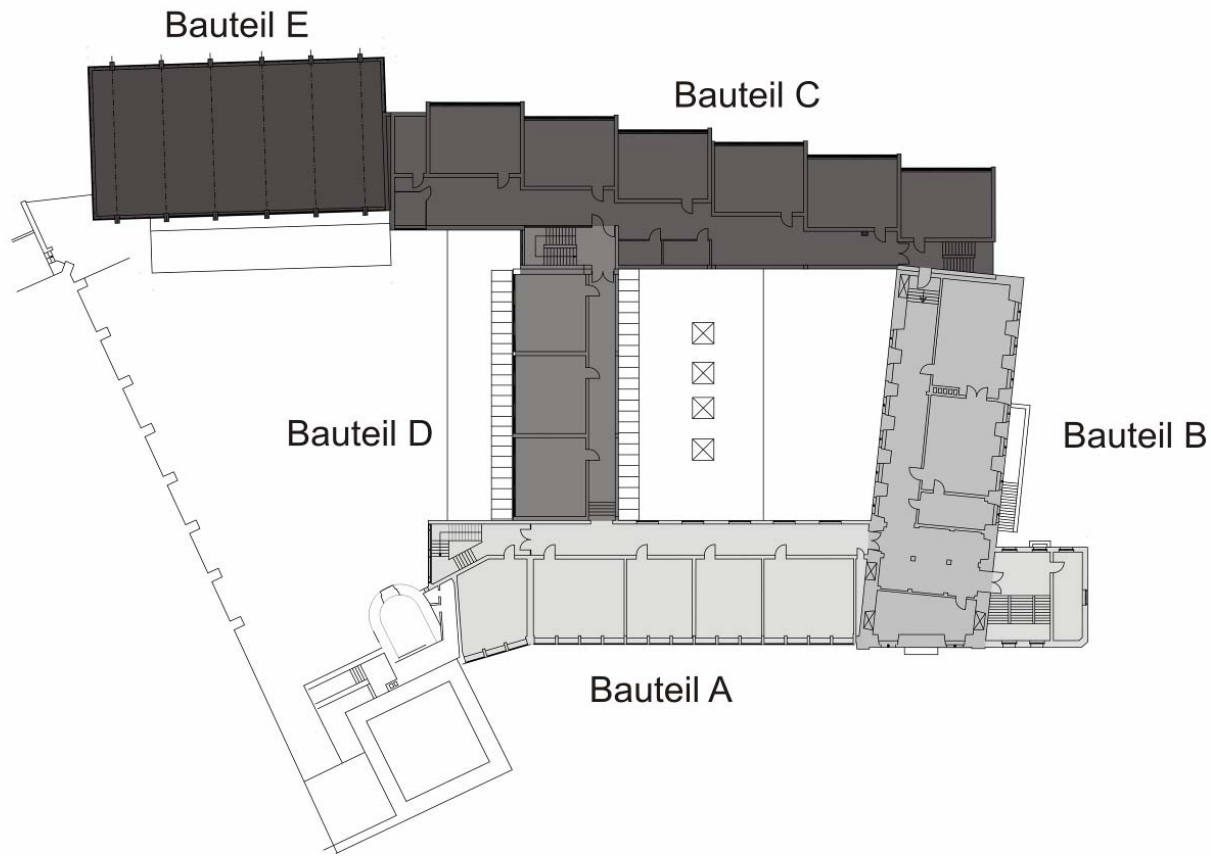
Variante 0 - Instandhaltung

Variante 1 - EnEV plus

Variante 2 - KfW 40 / 60

Variante 3 - Passivhausstandard (PH)

Machbarkeitsstudie Josephinum Hildesheim



BT A West



BT B Süd



BT C Ost



BT D Nord

Gymnasium Josephinum Hildesheim



Prof. Léon, Institut für Entwerfen und Gebäudelehre



Bauteil	Maßnahme	Bestand	EnEV plus	kfW 40/60
Dach	Dämmung WLG 035	3 cm	19 cm	25 cm
AW Ost	Dämmung WLG 035	-	18 cm	25 cm
AW West	Dämmung WLG 040	-	6 cm	6 cm
West Brüstungen	Dämmung WLG 034	4 cm	17 cm	23 cm
Kellerboden	- Keine M. -	4 cm	4 cm	4 cm
Fenster Ost	Austausch	4,6 W/ m ² K	1,4 W/ m ² K	1,2 W/ m ² K
Fenster West	Austausch	1,4 W/ m ² K	1,4 W/ m ² K	1,2 W/ m ² K

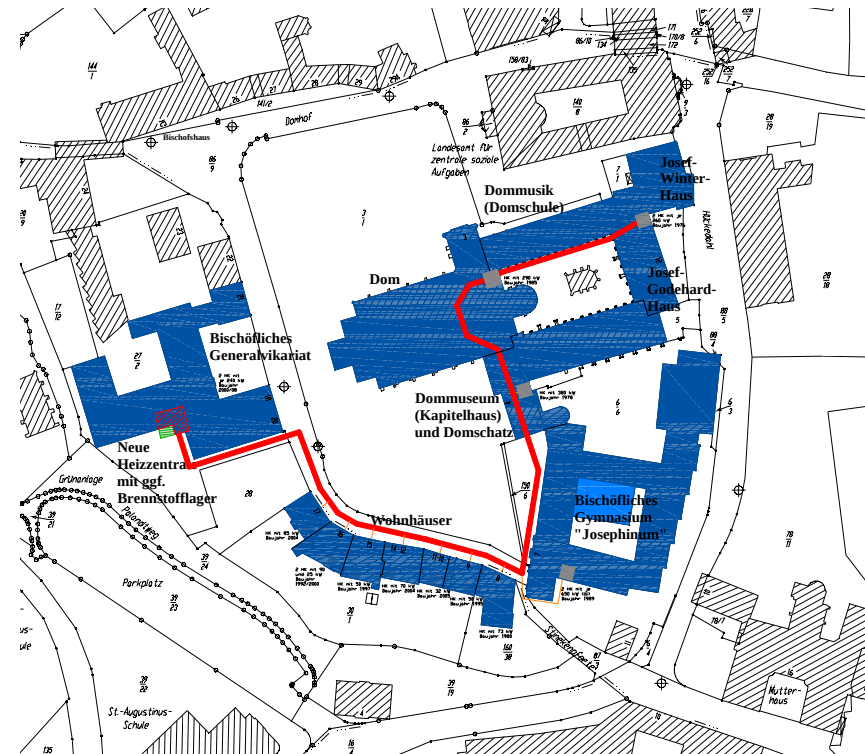
Gebäudetechnik

Wärmeerzeugung (KG 420):

Anlehnung an Konzeptstudie „Nahwärmeversorgung Liegenschaften Dom Hildesheim“

Nahwärmenetz

- Trassenlänge 564 m
- Netzverluste etwa 178 MWh/a
(ca. 4% vom Gesamtwärmebedarf)
- Investitionskosten von ca. 225 T€ inkl.
Planung und Unvorhergesehenes



Gebäudetechnik

Auswahl wirtschaftlichste Versorgungsvariante:

Heizzentrale mit Holzhackschnitzelkessel und Gas-Kessel-Anlage

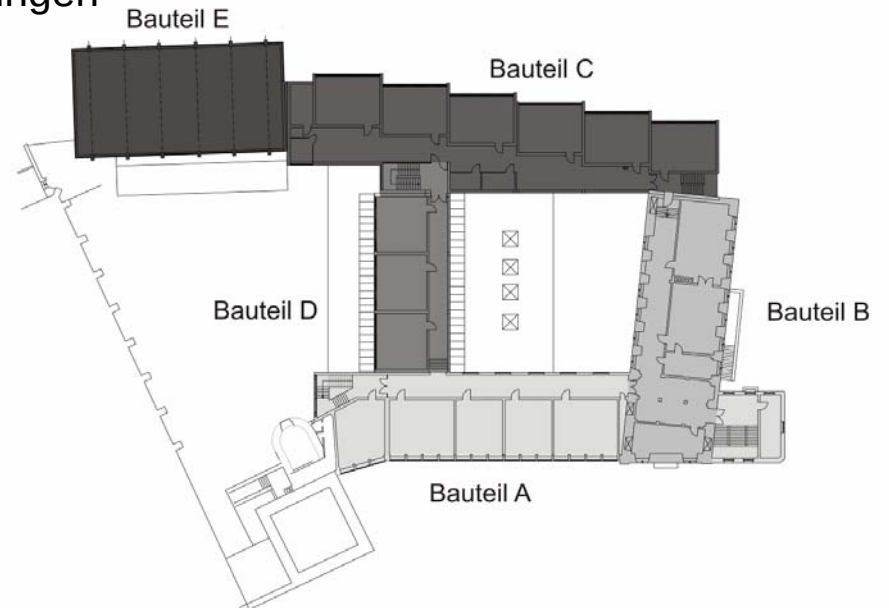
- Umbau der Heizzentrale im Generalvikariat (Unterbringung Gas-Kesselanlage)
- Neubau Holzhackschnitzellager (200 m³) inkl. Holzhackschnitzelkessel als Containerlösung
- Aufteilung in Grund- und Spitzenlast

Grundlast:	Holzhackschnitzelkessel	500 kW
Mittellast:	Gas-Brennwertkessel	1.000 kW
Spitzenlast:	Gas-Niedertemperaturkessel	1.250 kW



Wärmeerzeugung:

- Demontage von Heizkörpern in Teilbereichen
- Einbau neuer voreinstellbarer Thermostatventile
- hydraulischer Abgleich
- Anpassung der Pumpen an neue Wärmeverteilung
- Reparatur der Dämmung der Wärmeverteilungen



Lufttechnische Anlagen

- jeweils eine zentrale Lüftungsanlage für jedes Bauteil
- mit Zu- und Abluft und Wärmerückgewinnung für alle Unterrichtsräume der Schule
- Verteilung mittels Wickelfalzrohren
- über Regelung CO₂ abhängig

Gebäudeautomation

- Gebäudeleittechnik (GLT) zur Regelung der Heizungs- und Lüftungsanlage
- Raumtemperaturregler, Ansteuerung der Thermostatventile der Heizkörper
- Volumenstromregler durch Präsenzmelder und Fensterkontakte
- Steuerung über zentralen Leitrechner

Technische Annahmen der energetischen Berechnung:

Klassenraumzone

Alle Varianten (inkl. Bestand)

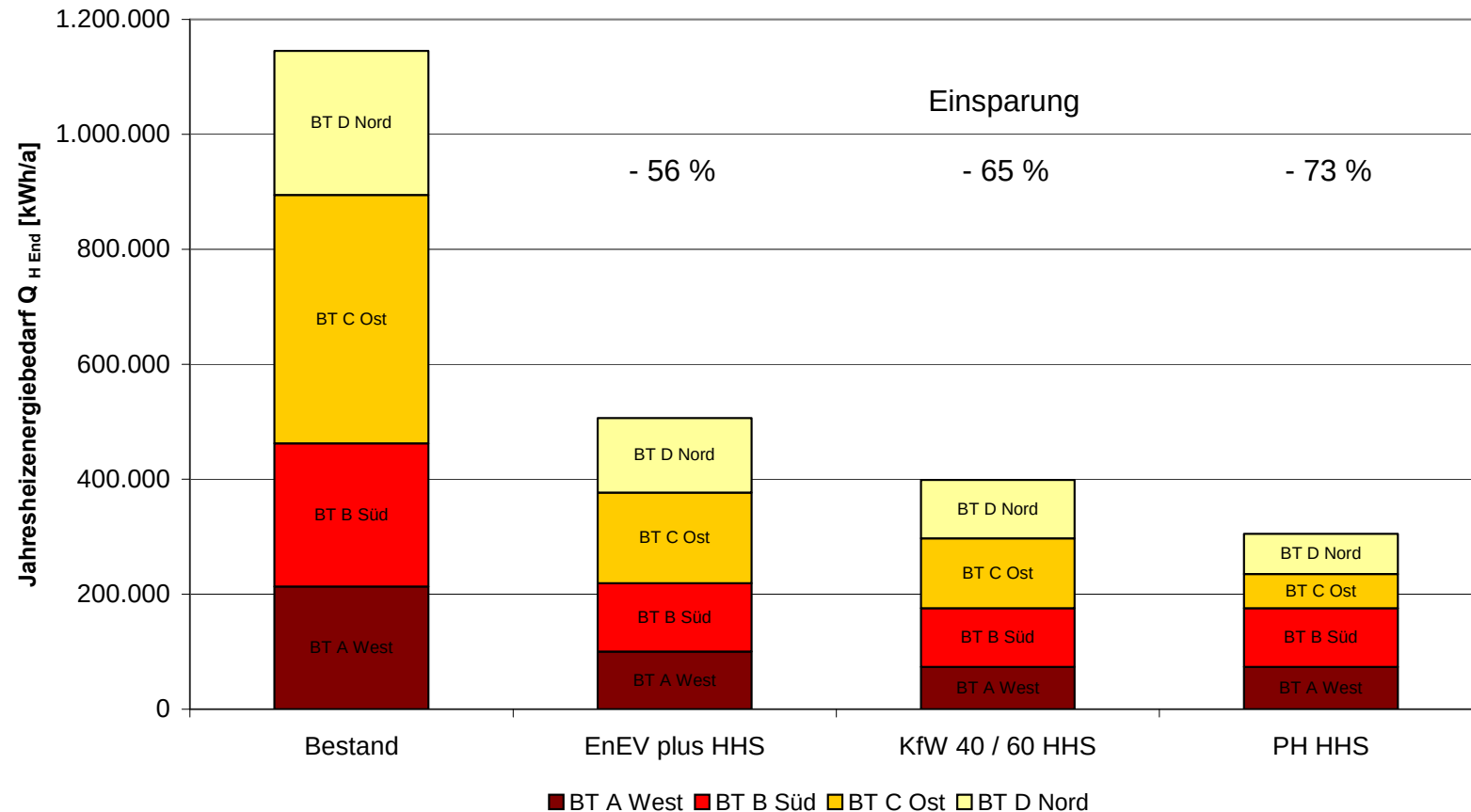
- Luftmengen 20 m³/(Person h)
- 2-facher Luftwechsel

-KfW 40 / 60 und Passivhaus-Variante

- Lüftungsanlage mit WRG
- Wärmerückgewinnungsgrad 80%
- keine Befeuchtung

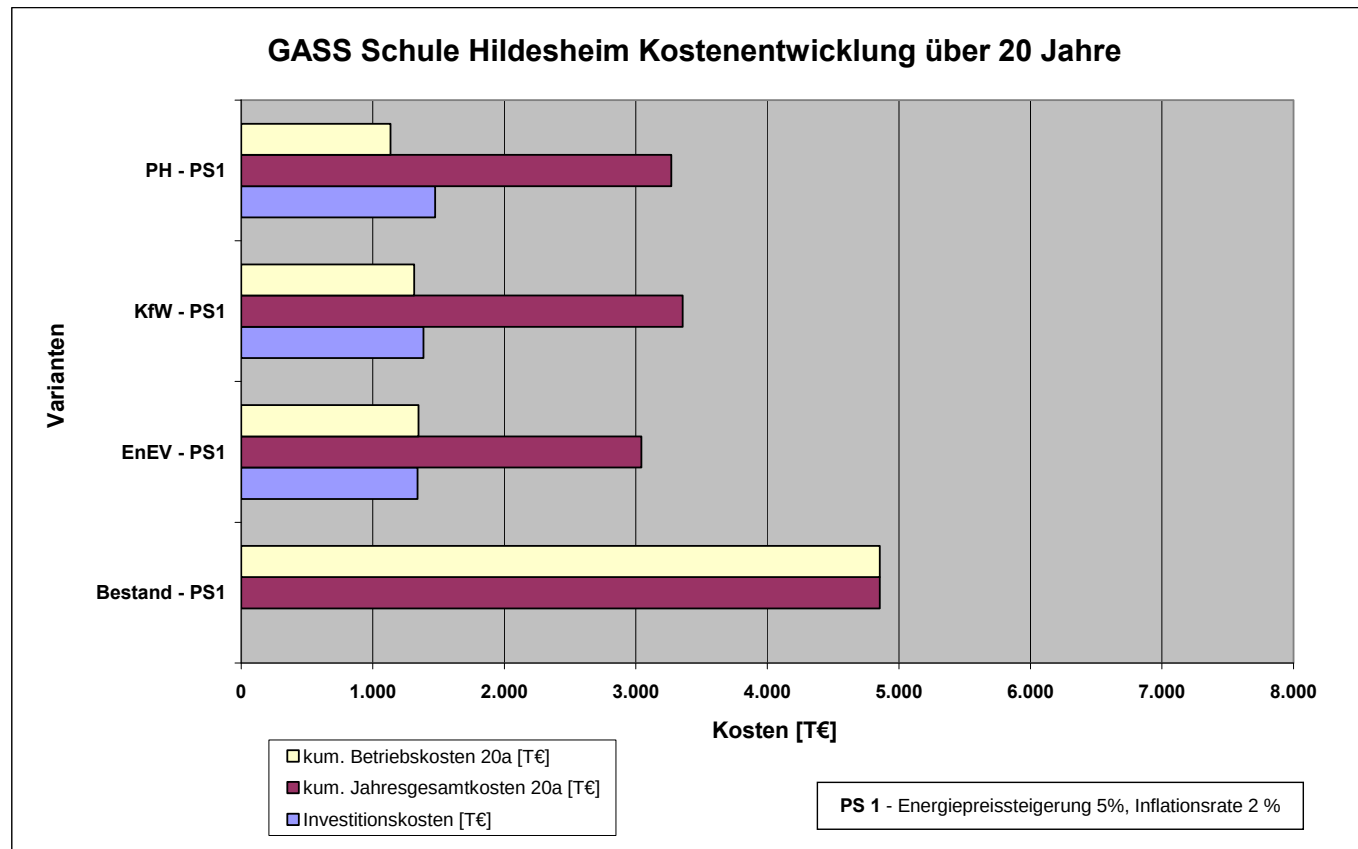
GASS Josephinum, Hildesheim

Energetisches Einsparpotential Jahresheizenergie

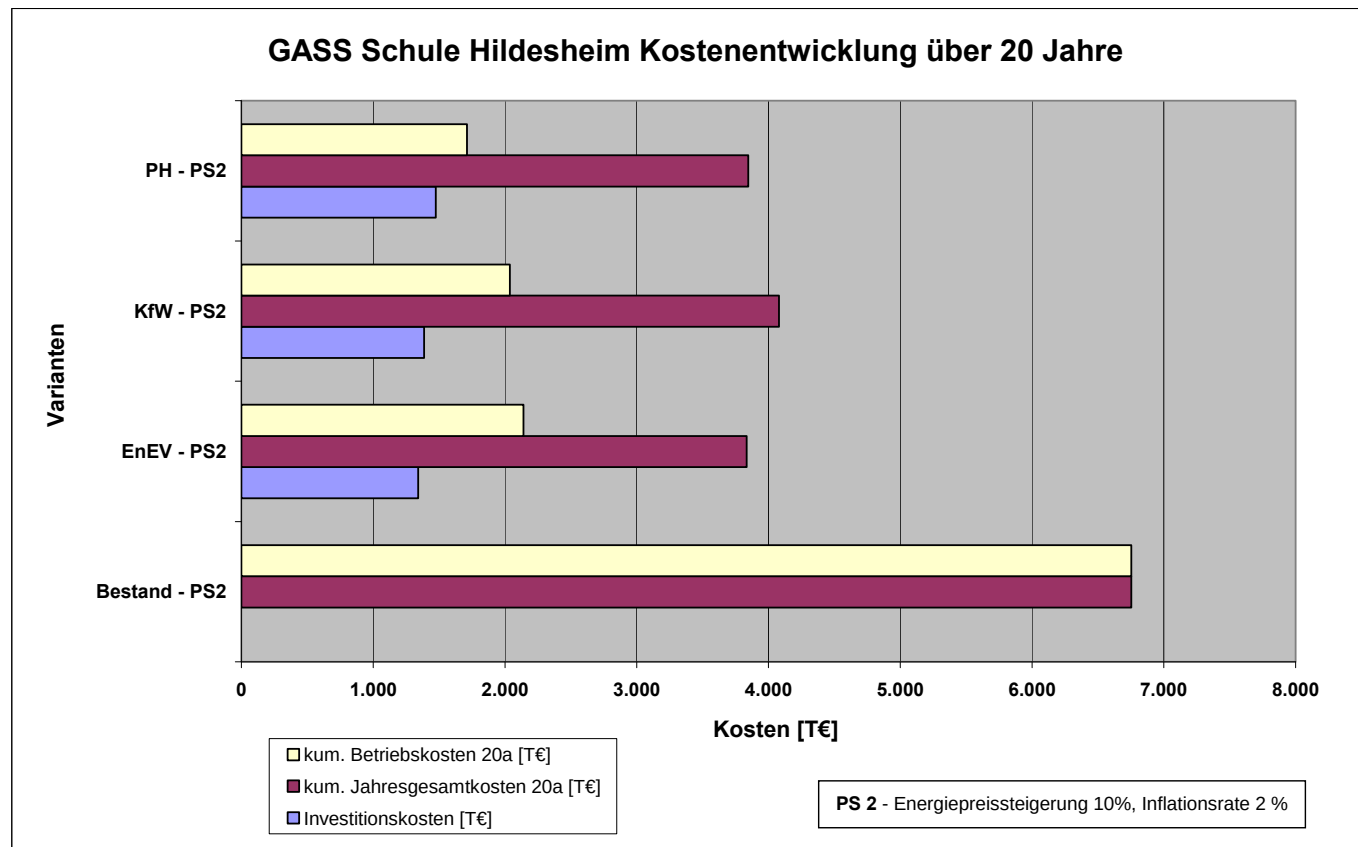


EnEV-Berechnung mit IBP:18599

Kumulierte Betriebs-, Investitions- und Jahresgesamtkosten im Variantenvergleich und Energiepreissteigerung 5%



Kumulierte Betriebs-, Investitions- und Jahresgesamtkosten im Variantenvergleich und Energiepreissteigerung 10%



Mittleres Einsparspotential Gesamt



	Q_H Endenergie [Reduktion in %]	Q_P Primärenergie [Reduktion in %]
EnEV plus	56%	58%
KfW 40 / 60	68%	63%
Passivhaus	81%	72%

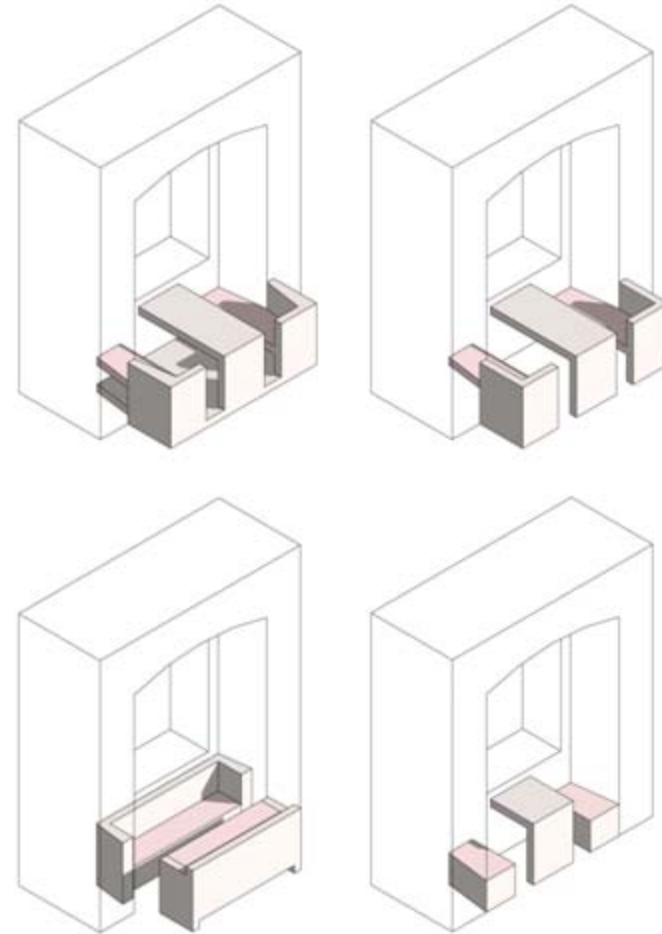
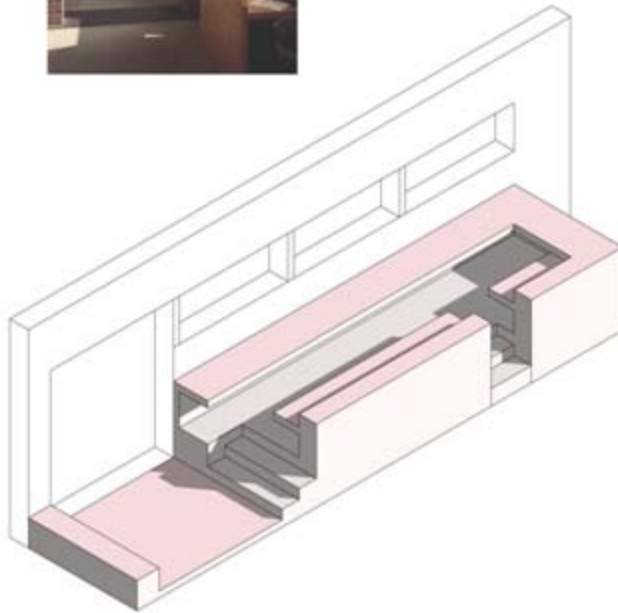
Zusammenfassung Ergebnisse

Architektur
Pädagogik
Akustik
Luftqualität
Energie

Pädagogik / Architektur

- Erweiterung der Lernumgebung um Flurbereiche
- Stärkung Arbeits- / Lese- / Spielecken
- flexible Raumnutzung (bewegliches Mobiliar, Raumteiler)
- Schränke, Regale für Materialien und persönliche Gegenstände
- Schaffung von Gruppenarbeitsplätzen
- Bewegungsfördernde Angebote im Innen- und Außenraum
- Gliederung in laute / leise Gebäudezonen
- Arbeits- und Pausenbereiche für Lehrkräfte im Ganztagsbetrieb





Beispiel Möbeltypologie Wandnischen

Luftqualität

Keine ausreichende Luftqualität bei üblicher Fensterlüftung

- Angeleitete Fensterlüftung (Stoßlüftung alle 20 Minuten)
oder
- Kontrollierte Lüftung
 - Lüftungsgeräte mit WRG für hohe Energiestandards



Alternative für Sanierung:

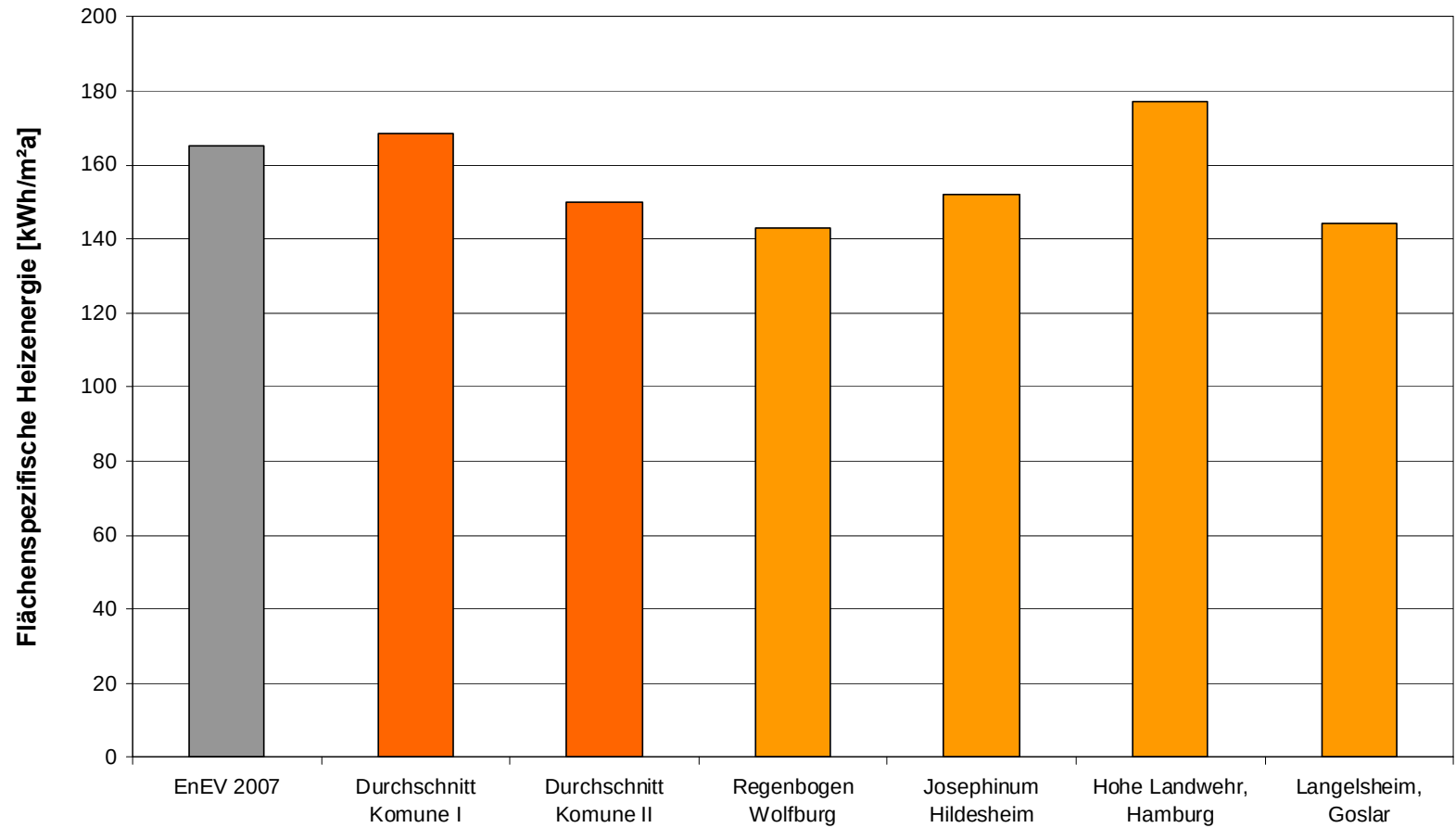
Dezentrale Lüftungsgeräte

- geringere Anschaffungskosten
- keine lange, aufwändige Leitungsführung
- keine Volumenstromregler und Brandschutzklappen
- vereinfachte dezentrale Steuerung



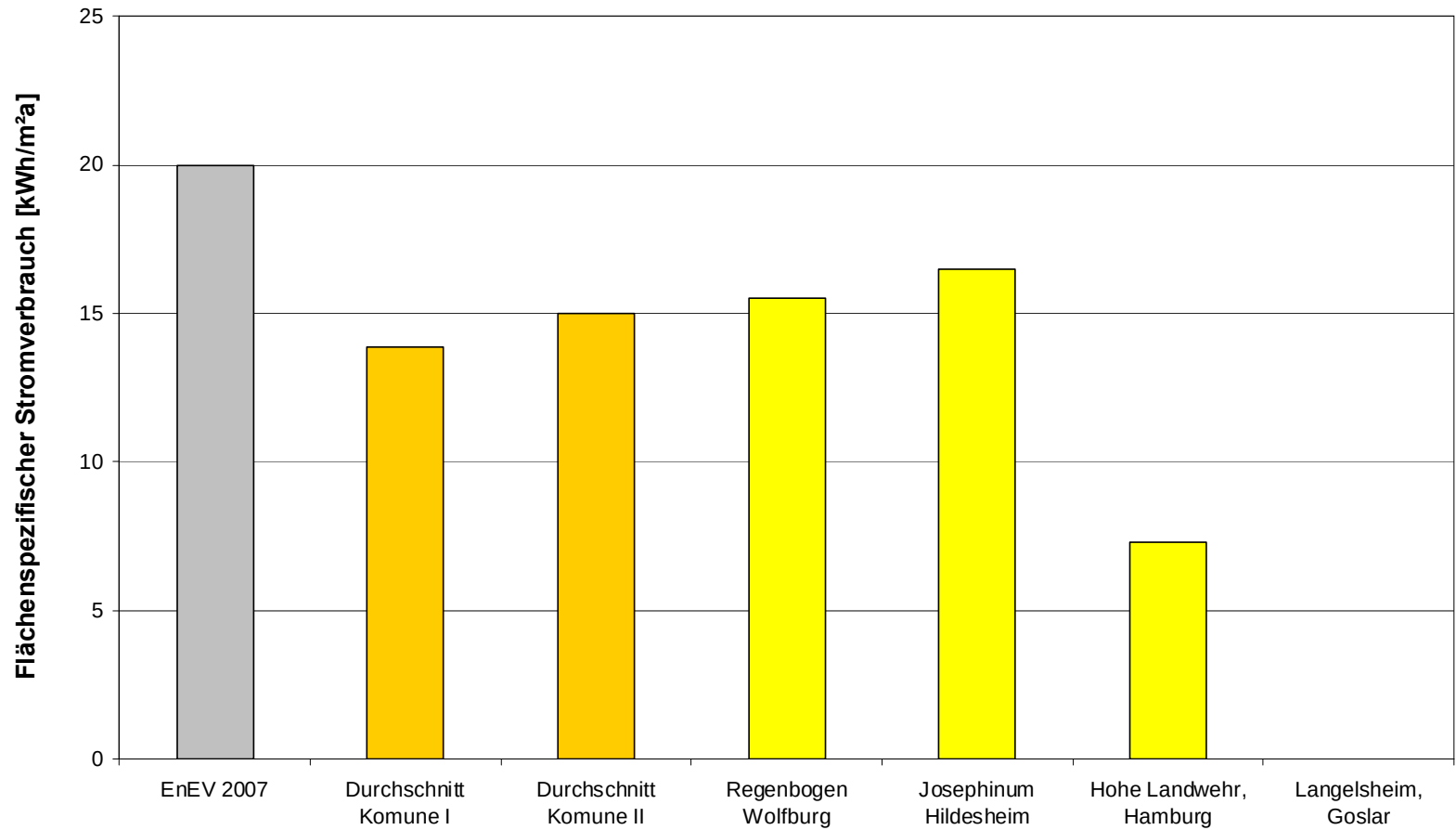
Wärmeverbrauch

Verbrauchsdaten von Schulen

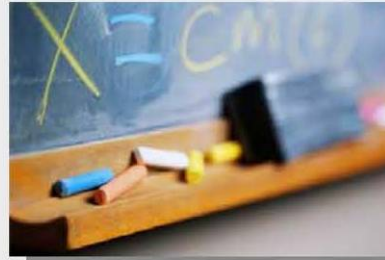


Stromverbrauch

Verbrauchsdaten von Schulen



- Verbrauchsdaten korrespondieren mit den Durchschnittswerten nach EnEV
- CO₂ Konzentrationen durchgängig zu hoch
⇒ Handlungsbedarf für Lüftungskonzepte
- Hohe Zeitanteile mit zu kalten Temperaturen
- Weniger Probleme mit Überhitzungen
- Akustische Probleme in ca. 50% der Klassenräume
- Durchgängig akustische Probleme in Fluren, Treppenhäusern
- Sanierung hin zu energetisch optimierten Gebäuden wird erst durch steigende Energiekosten sinnvoll



⇒ vorhandene Problematik: schlechte Luftqualität



⇒ Objekte: Universitäten, Schulen, Kindertagesstätten/ Kindergärten



⇒ Verbesserung der Luftqualität & der thermischen Behaglichkeit



⇒ Steigerung der Leistungsfähigkeit



Grundlage: 200 m³ Luftvolumen pro Klassenraum, 2-facher Luftwechsel

⇒ Kriterien der Auswahl von Referenzgebäuden

Lüftungskonzepte	1. Freie Fensterlüftung 2. Mechanische Lüftungsanlagen 3. Hybride Systeme
Bauzeit/ Gebäudealter	1. Historische Bauten um 1900 (<i>Abb. 1</i>) 2. Gebäude der 50er/ 60er Jahre (<i>Abb. 2</i>) 3. Gebäude der 70er Jahre (<i>Abb. 3</i>) 4. Neubauten (<i>Abb. 4</i>)
Nutzungsart	1. Grundschule 2. Gymnasium/ Realschule/ Hauptschule 3. Gesamtschule
	1. Kindergarten/ Kindertagesstätte 2. Universität
Zustand der Gebäudehülle	1. unsaniert 2. saniert
Betriebsdauer	1. Halbtagsbetrieb (nur vormittags) 2. Ganztagsbetrieb (vor- und nachmittags)



Abb. 1



Abb. 2



Abb. 3



Abb. 4

⇒ Bestandsanalyse

- Erarbeitung individueller Kriterien
- Dokumentation des bestehenden Lüftungsverhalten in Schulen, Kindertagesstätten und Universitätsräumen
- Nutzerbefragungen
- Messung im Bestand



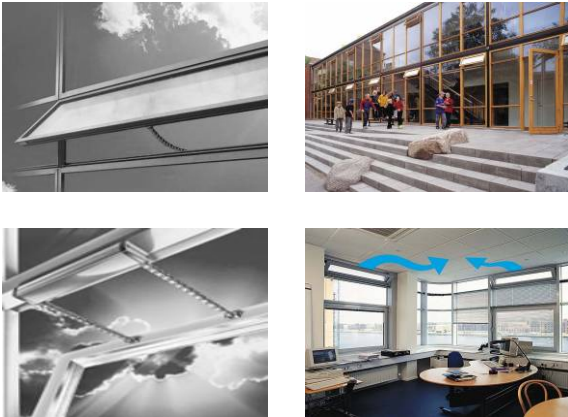
⇒ Optimierungen

- Vermittlung von Wissen z.B. über Workshops
- Visualisierung von Luftqualität
- Zuweisung von Verantwortlichkeit
- Feldversuche unter angeleiteter Lüftung
- Einsatz verschiedener dezentraler Lüftungsgeräte



⇒ Unterstützung der natürlichen Fensterlüftung

- Kleine Volumenstrommenge (ca. 15 – 80 m³/h pro Gerät)

Fassadenventilator mit Keramik-Wärmespeicher	Automatisierte Spaltlüftung über Sensoren	Dezentrales Lüftungsgerät mit Gegenstromwärmetauscher
		

⇒ Unterstützung oder Alternativen der natürlichen Fensterlüftung

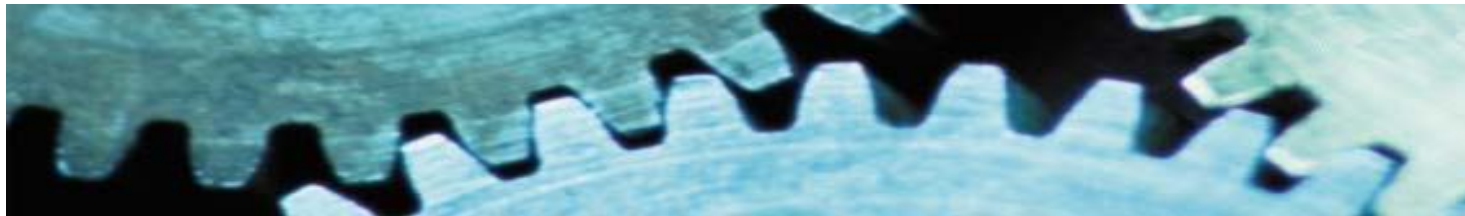
- Große Volumenstrommenge (ca. 120 – 1200 m³/h pro Gerät)

Brüstungsgeräte, unterhalb des Fensters in Wand integriert	Schullüftungsgerät zur dezentrale Be- und Entlüftung von einzelnen Räumen	Dezentrales Lüftungsgerät mit integriertem Nachheizregister	Wohnungslüftungsgerät mit Gegenstromwärmetauscher
 	  	 	 



Pilotphase 2007

Coaching



„Niedrigenergiehaus im Bestand für Schulen“

Sanierung von 78 Bildungsgebäuden

Aufgabe:

Coaching zum Fachthema

- Anlagentechnik
- Bilanzierung und Bedarfsberechnung nach der EnEV 2007 bzw. DIN V 18599 für Nichtwohngebäude



**TU Braunschweig
Institut für Gebäude- und Solartechnik**

**Dipl.-Ing. Architekt Volker Huckemann (GL)
Dipl. Ing. Lars Altendorf
Dipl. Ing. Jennifer König**

Mühlenpfordtstraße 23, 38106 Braunschweig
Tel: 0531 / 391 - 3555, Fax: 0531 / 391 – 8125

E-Mail: igs@tu-bs.de
Internet: www.igs.bau.tu-bs.de