

# QUERAUSWERTUNG ENERGIEEFFIZIENTE SCHULEN

Johann Reiß / Hans Erhorn / Micha Illner  
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

## Auf Wissen bauen





Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

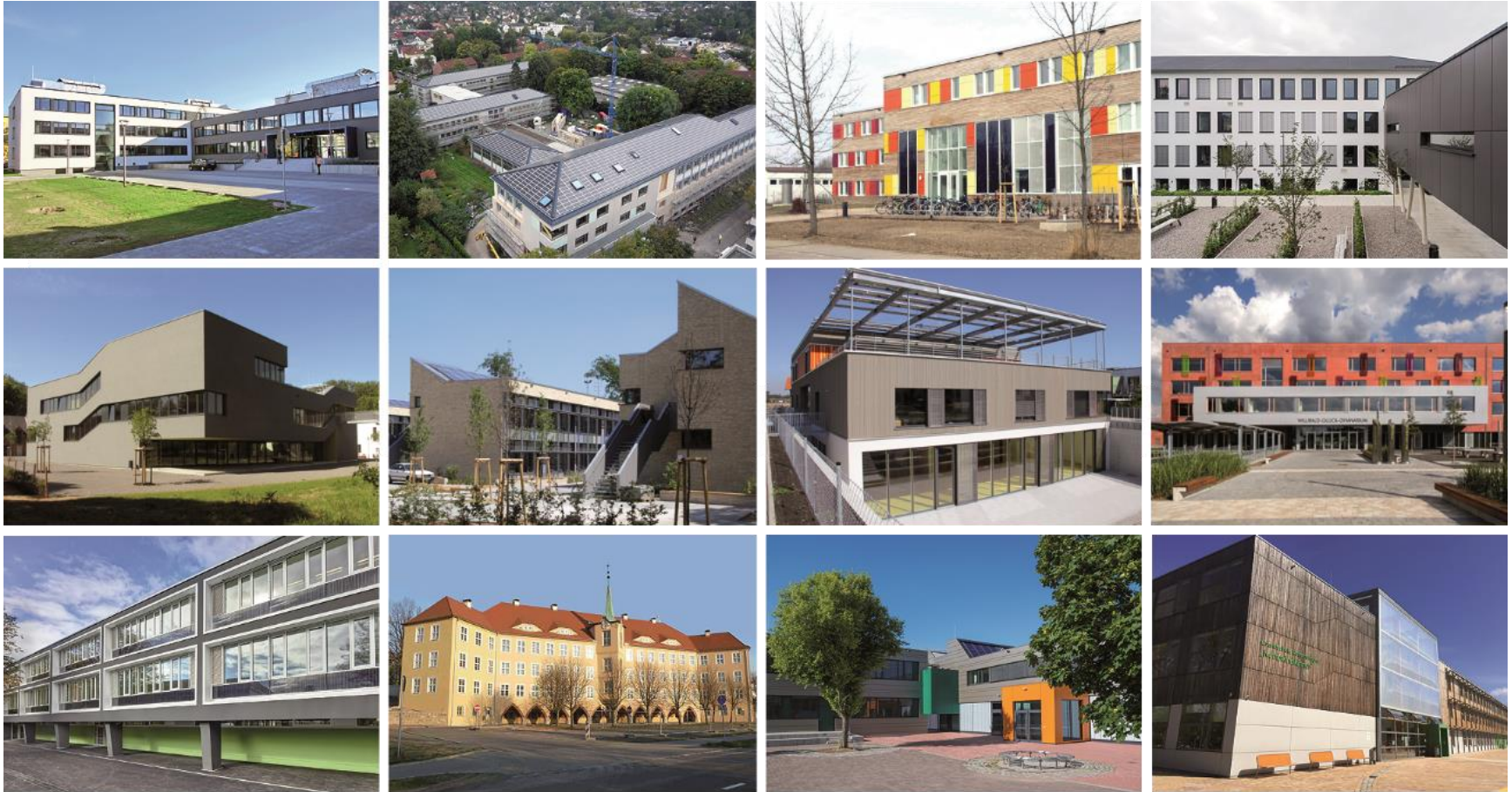
Wissenschaftliche Begleitforschung zum  
Forschungsvorhaben „Energieeffiziente  
Schulen“

Gefördert durch das  
Bundesministerium für Wirtschaft und  
Energie (BMWi)

Bearbeitet durch:

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart:
- Institut für Ressourceneffizienz,  
Energiesstrategien, IREES, GmbH, Karlsruhe
- Hochschule München, Fachbereich Energie- und  
Gebäudetechnik

# Energieeffiziente Schulen (EnEff:Schule-Schulen)



# Projekttablauf

## Wissenschaftliche Begleitforschung

- BMWi startete das Forschungsvorhaben „Energieeffiziente Schule“ EnEff:Schule
- Auswahl der Schulgebäude
- Gebäudespezifische Bestandsaufnahme
- Definition des energetischen Ziels (Plusenergie/ 3-Liter)
- Konzepterstellung durch ortsnahe Forschungsinstitut/ Architekt/ Bauherr
- Bauliche Umsetzung
- Inbetriebnahme
- Validierungsmessung
- Auswertung

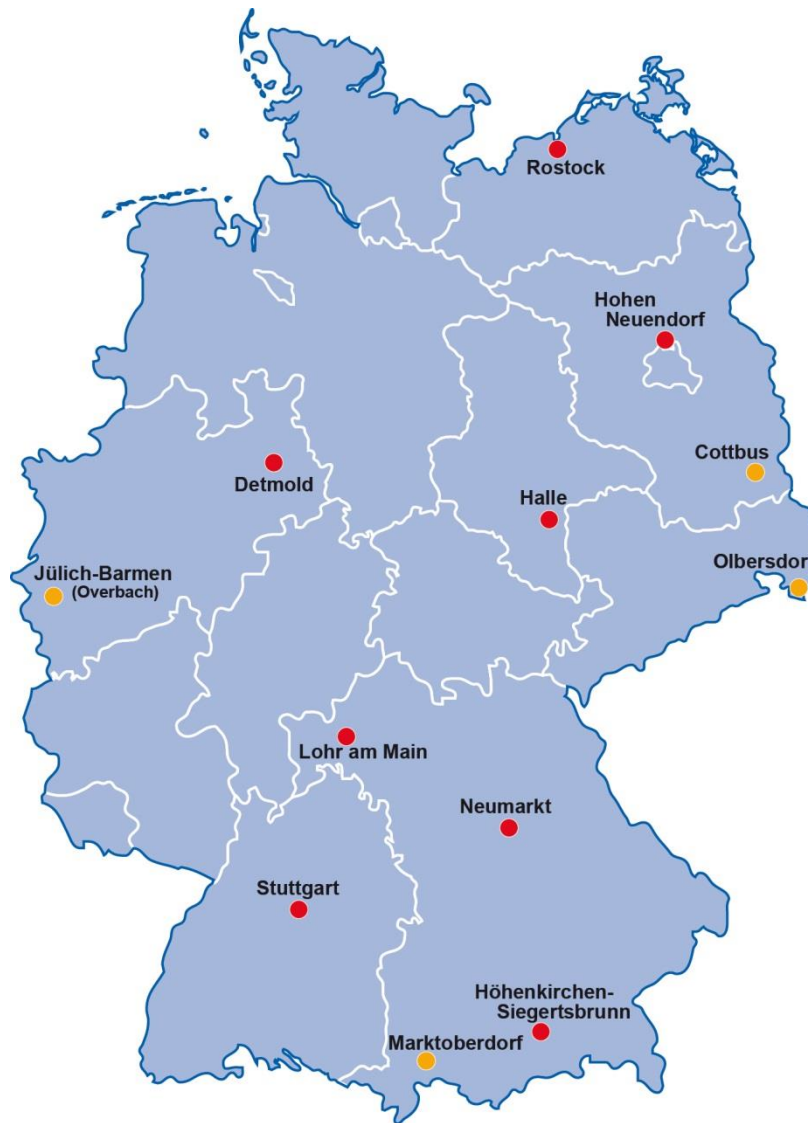
## 7 Sanierungen

- 4 Plusenergieschulen
- 3 Drei-Liter-Haus-Schulen

## 5 Neubauten

- 4 Plusenergieschulen
- 1 Drei-Liter-Haus-Schule

	Schulstandort	Schulart	Baujahr	Sanierungszeitraum	Beheizte Netto-grundfläche [m²]	Ener-getisches Ziel
SANIERUNG	<b>Olbendorf</b> 	Förderschule	1927/28	2009 - 2011	4.439	3-Liter-Haus-Schule
	<b>Rostock</b> 	Gymnasium	1960/61	2009 - 2015	4.140	Plusenergie-Schule
	<b>Cottbus</b> 	Gymnasium	1974	2010 - 2012	8.048	3-Liter-Haus-Schule
	<b>Marktoberdorf</b> 	Gymnasium	1962/ 1980/1981	2011 - 2013	12.576	3-Liter-Haus-Schule
	<b>Stuttgart</b> 	Grund- und Hauptschule	1954	2012 - 2016	2.774	Plusenergie-Schule
	<b>Detmold</b> 	Berufsschule	1954 - 1962	2014 - 2016	10.016	Plusenergie-Schule
	<b>Lohr</b> 	Schul- und Sportzentrum	1970	2013 - 2017	18.162	Plusenergie-Schule
NEUBAU	<b>Overbach</b> 	Scienc College	2009	-	1.860	3-Liter-Haus-Schule
	<b>Hohen Neuendorf</b> 	Grundschule	2011	-	4.645	Plusenergie-Schule
	<b>Halle</b> 	Grundschule/ Hort	2013	-	2.757	Plusenergie-Schule
	<b>Höhenkirchen</b> 	Kindertages-stätte	2013	-	1.286	Plusenergie-Schule
	<b>Neumarkt</b> 	Gymnasium	2015	-	15.587	Plusenergie-Schule



Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Energie

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

● Plusenergie-Schulen ● 3-Liter-Haus-Schulen

# Innovative Komponenten

Innovative Komponenten		SANIERUNG						NEUBAU					
		Stuttgart	Olbendorf	Detmold	Lohr	Cottbus	Marktberdorf	Rostock	Höhenkirchen-Siegersbrunn	Halle	Hohen Neuendorf	Overbach	Neumarkt
BAU	Hochwertiger Wärmeschutz	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	3-fach Wärmeschutzverglasung	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
	Elektrochrome Verglasung		●							●	●		
	Automatisierter Sonnenschutz	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Tageslichtlenkung	●	●			●		●		●	●		
	Phasenwechselmaterialien					●		●	●				
	Nachtlüftung passiv	●						●		●			
	Nachtlüftung aktiv			●		●	●		●				●
	Passive Kühlung	●	●		●	●				●		●	●
ANLAGE	Lüftungsanlage mit WRG	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	Abluftanlage		●										
	Gebäudeleittechnik	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	LED-Beleuchtung	●		●	●			●					●
	Stromspeicher								●				●
ENERGIEVERSORGUNG	Photovoltaik	●		●	●	●	●	●	●	●			●
	Solarthermie				●	●	●	●	●				
	Geothermie	●	●		●	●		●	●		●	●	
	Biogas						●						
	Biomasse									●			
	Windkraft							●		●			
	Fernwärme			●		●	●	●	●	●			

# Beispielgebäude Max-Steenbeck-Gymnasium Cottbus vor Sanierung





# Beispielgebäude Max-Steenbeck-Gymnasium Cottbus nach Sanierung

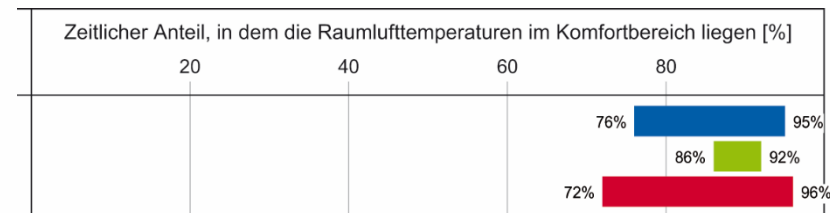
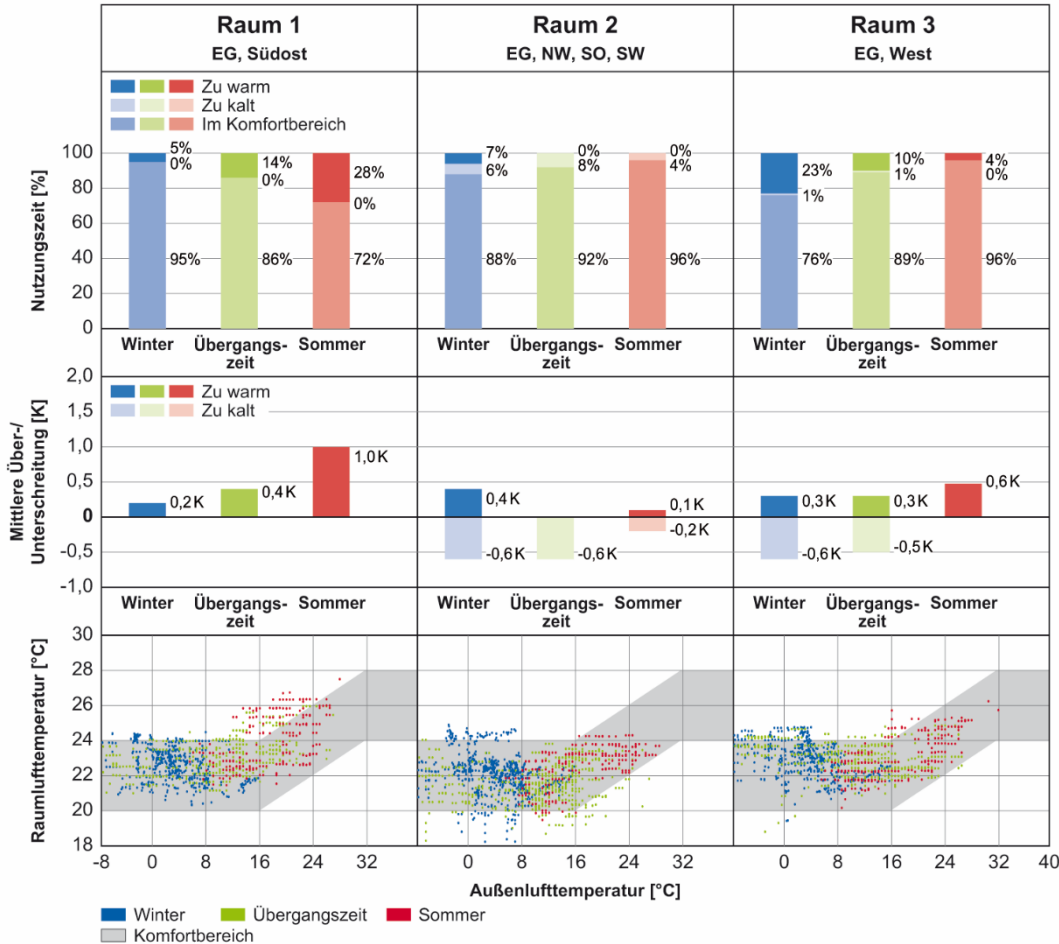


# Thermische Behaglichkeit und Luftqualität

## Messtechnische Betrachtung

- Einheitliches Vorgehen bei der Auswertung der Messwerte
  - Berücksichtigung bei messtechnisch erfasster Anwesenheit
  - Auswertung von drei Referenzräumen
    - Anzahl Umfrageteilnehmer
    - Fassadenorientierung
    - Fensterfläche
    - Stockwerk
  - Einheitliches Auswerteintervall (15 Minuten)
  - 2. Kalenderjahr nach Inbetriebnahme
  - Aufteilung in drei Jahreszeiten

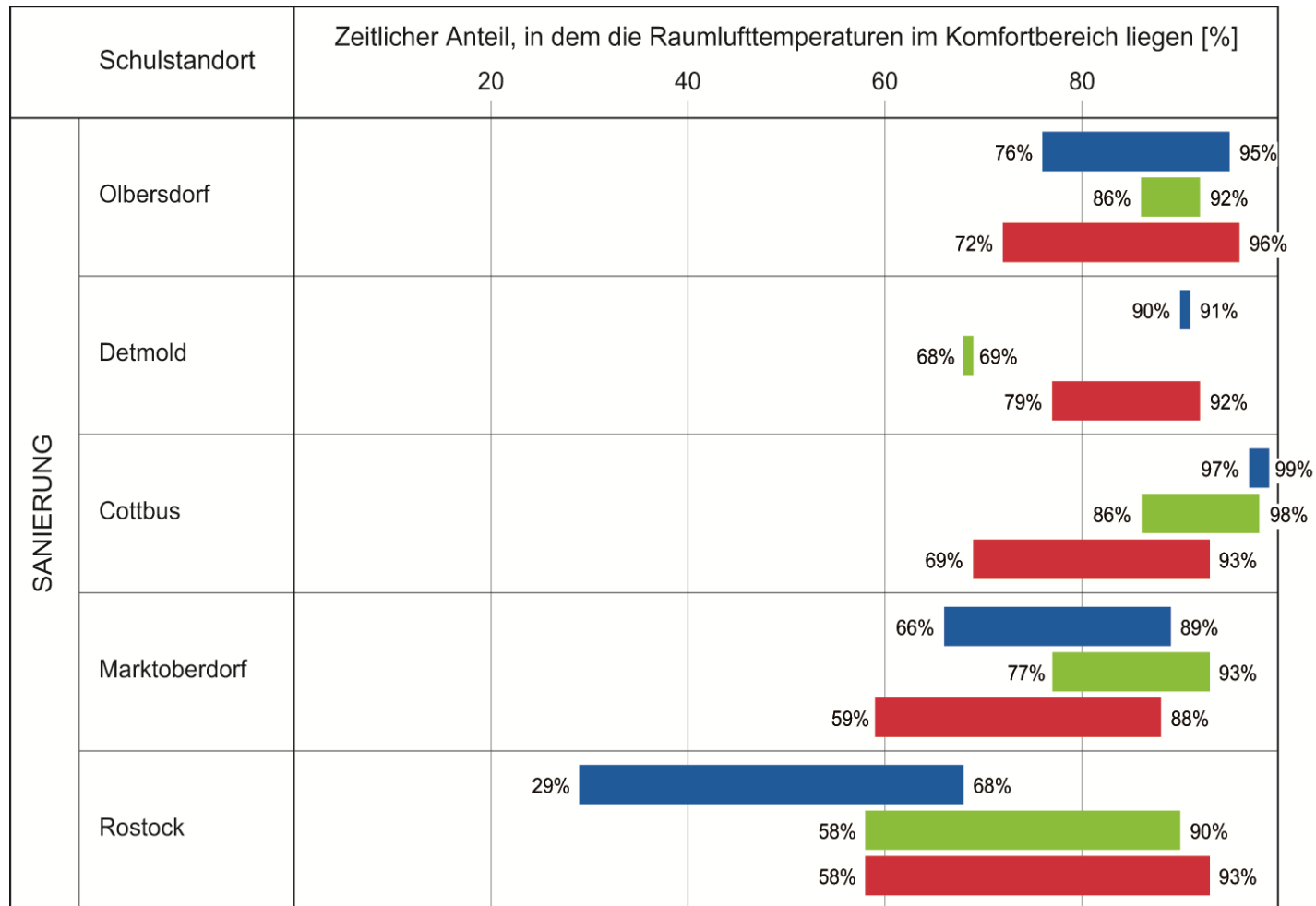
# Thermische Behaglichkeit - Sanierungen



In diesem Spektrum liegen die untersuchten Räume:

- im Winter
- in der Übergangszeit
- im Sommer

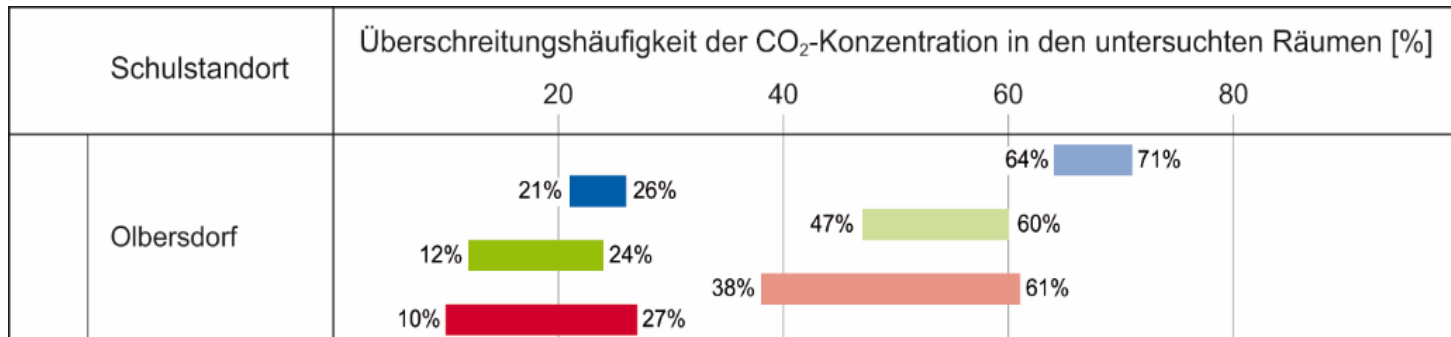
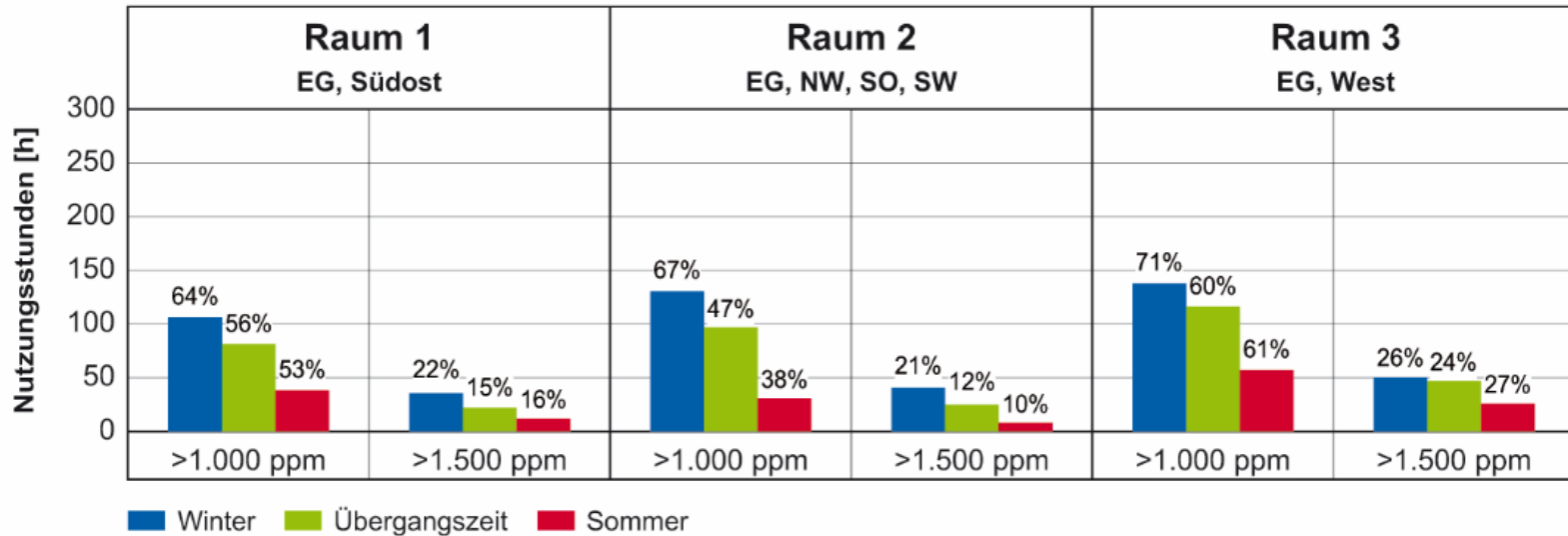
# Thermische Behaglichkeit - Sanierungen



In diesem Spektrum liegen die untersuchten Räume:

- im Winter
- in der Übergangszeit
- im Sommer

# Luftqualität - Sanierungen



In diesem Spektrum liegen die untersuchten Räume:

≥1.000 ppm

≥1.500 ppm

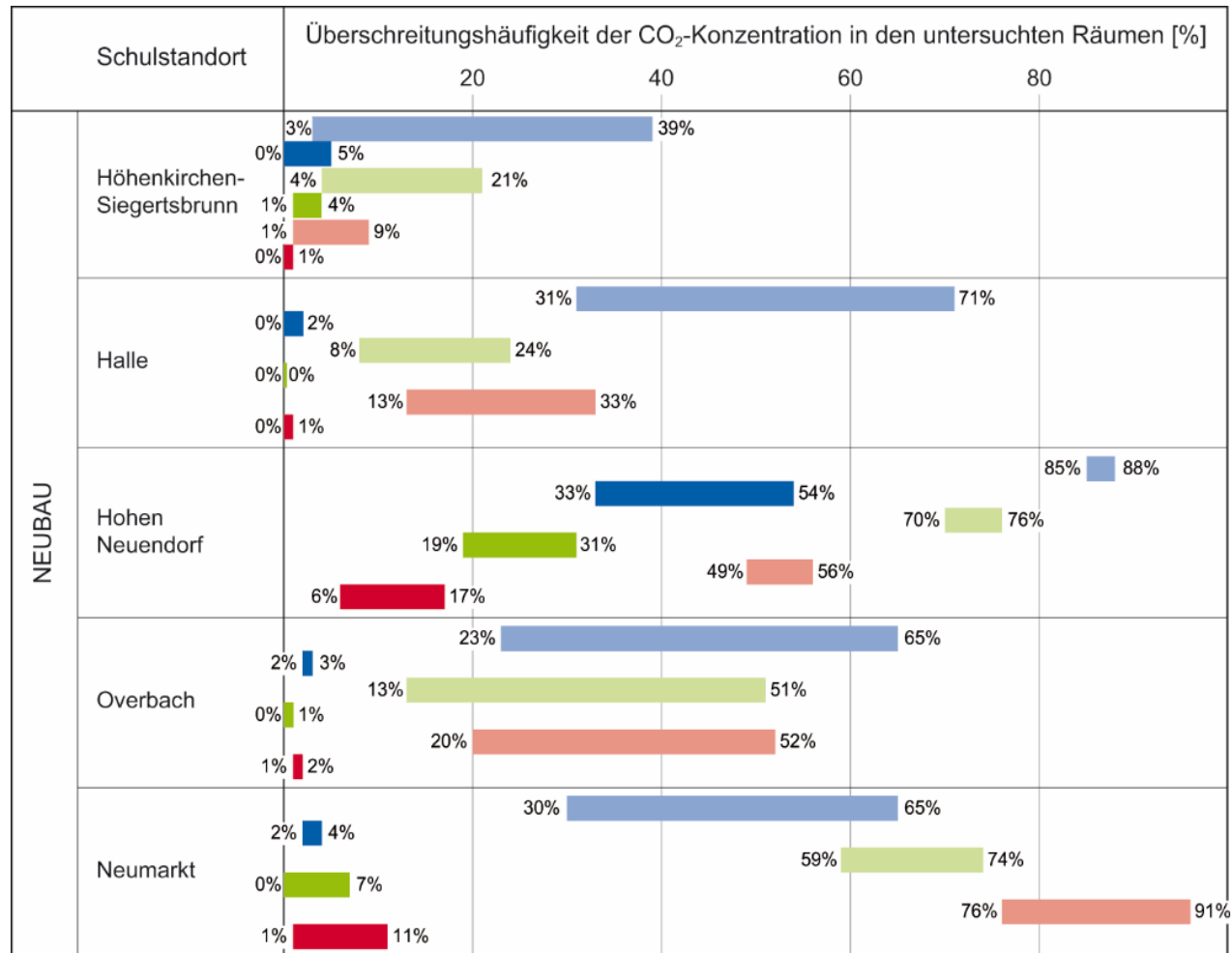


im Winter

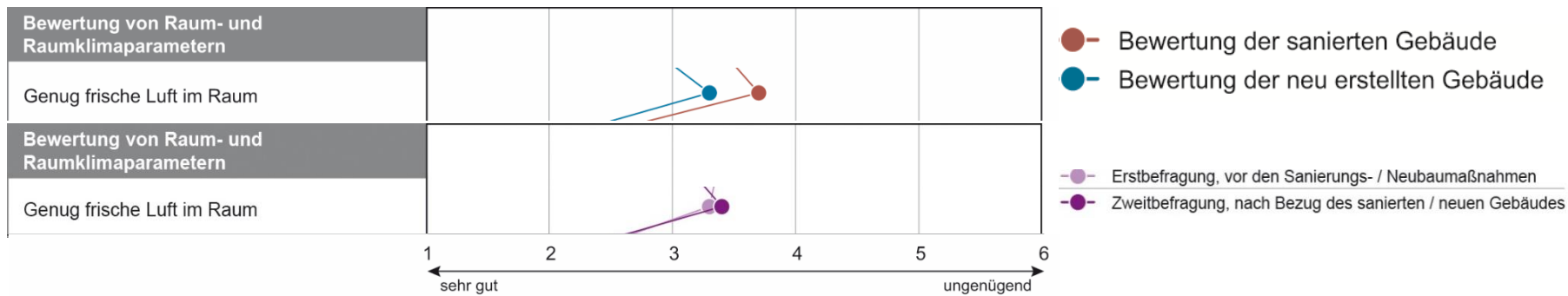
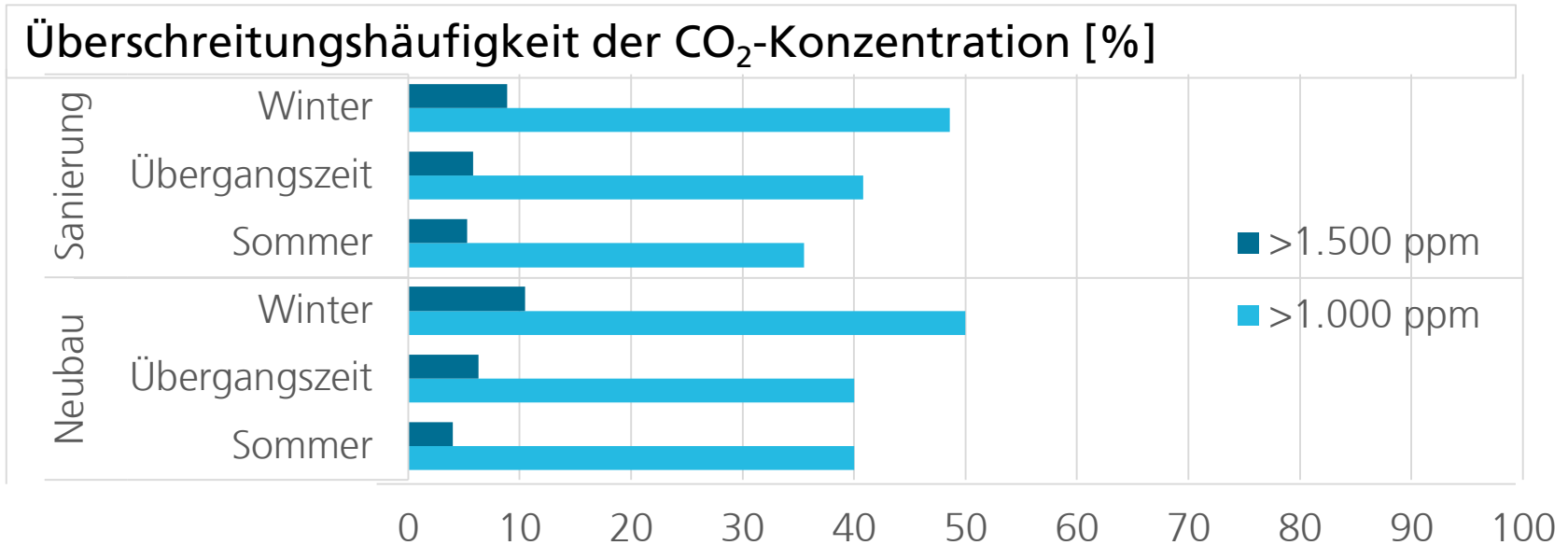
in der Übergangszeit

im Sommer

# Luftqualität - Neubauten



# Luftqualität – Sanierungen und Neubauten

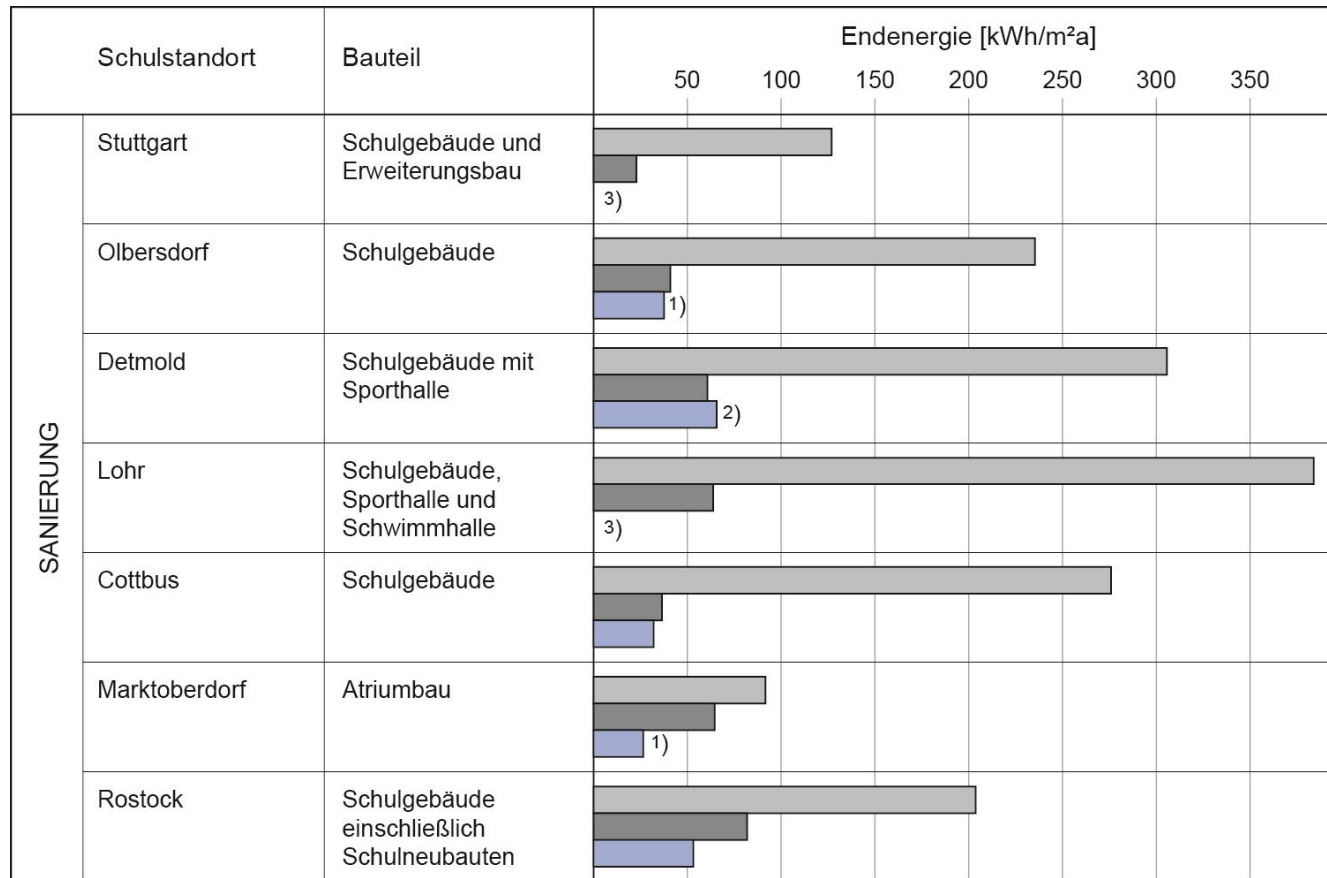


# Luftqualität

- Nach wie vor ist CO<sub>2</sub> die vorherrschende Bewertungsgröße
- Es wird empfohlen, CO<sub>2</sub>-Konzentrationen <1200 ppm anzustreben
- Enthalpie der Luft (Temperatur und Luftfeuchtigkeit) hat einen großen Einfluss auf das Luftqualitätsempfinden
  - kalte Luft wird als frischer empfunden
  - Warmer Luft wird eine schlechtere Qualität zugesprochen
- Geruch beeinflusst die empfundene Luftqualität
  - Vorstellung über die Ursache
  - Furcht vor negativer Beeinflussung
  - Vorprägung



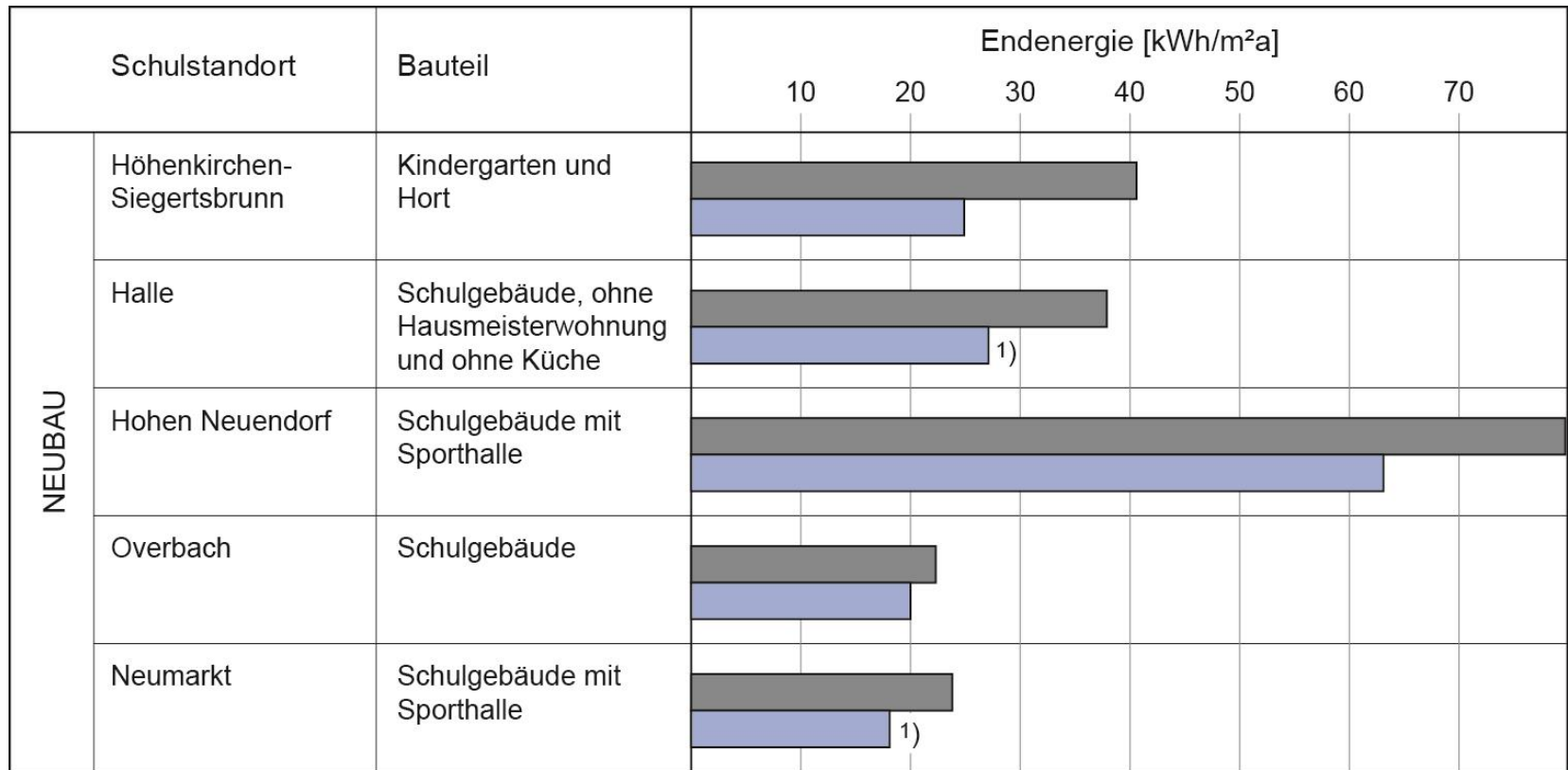
# Querauswertung Endenergie - Sanierung





- Berechneter Bedarf vor Sanierung
- Berechneter Bedarf nach Sanierung
- Gemessener Verbrauch nach Sanierung

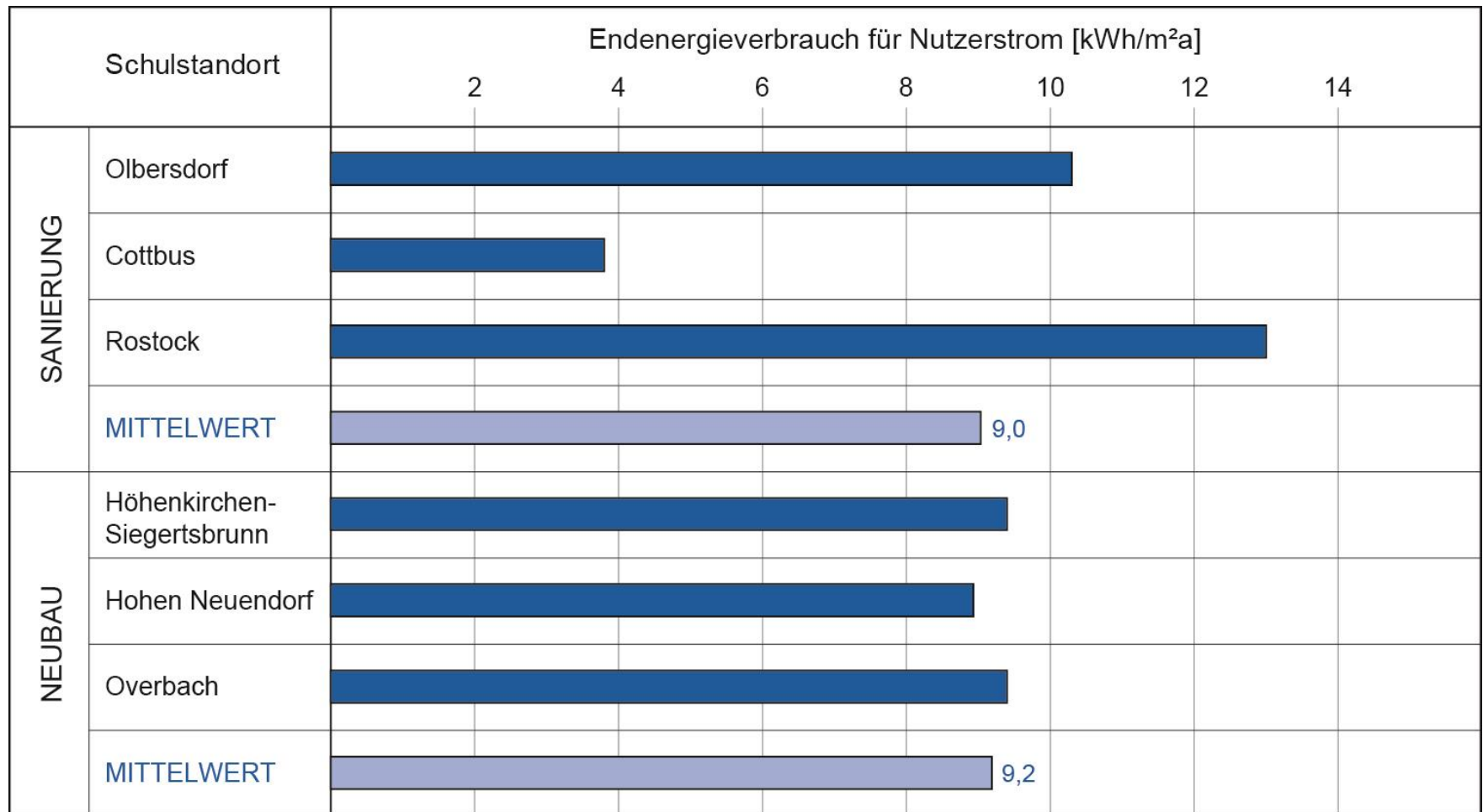
- 1) Ohne Beleuchtung und ohne Trinkwarmwassererwärmung
- 2) Nur Heizung und TWW, ohne Hilfsenergie
- 3) Noch keine Messwerte vorhanden

# Querauswertung Endenergie - Neubau

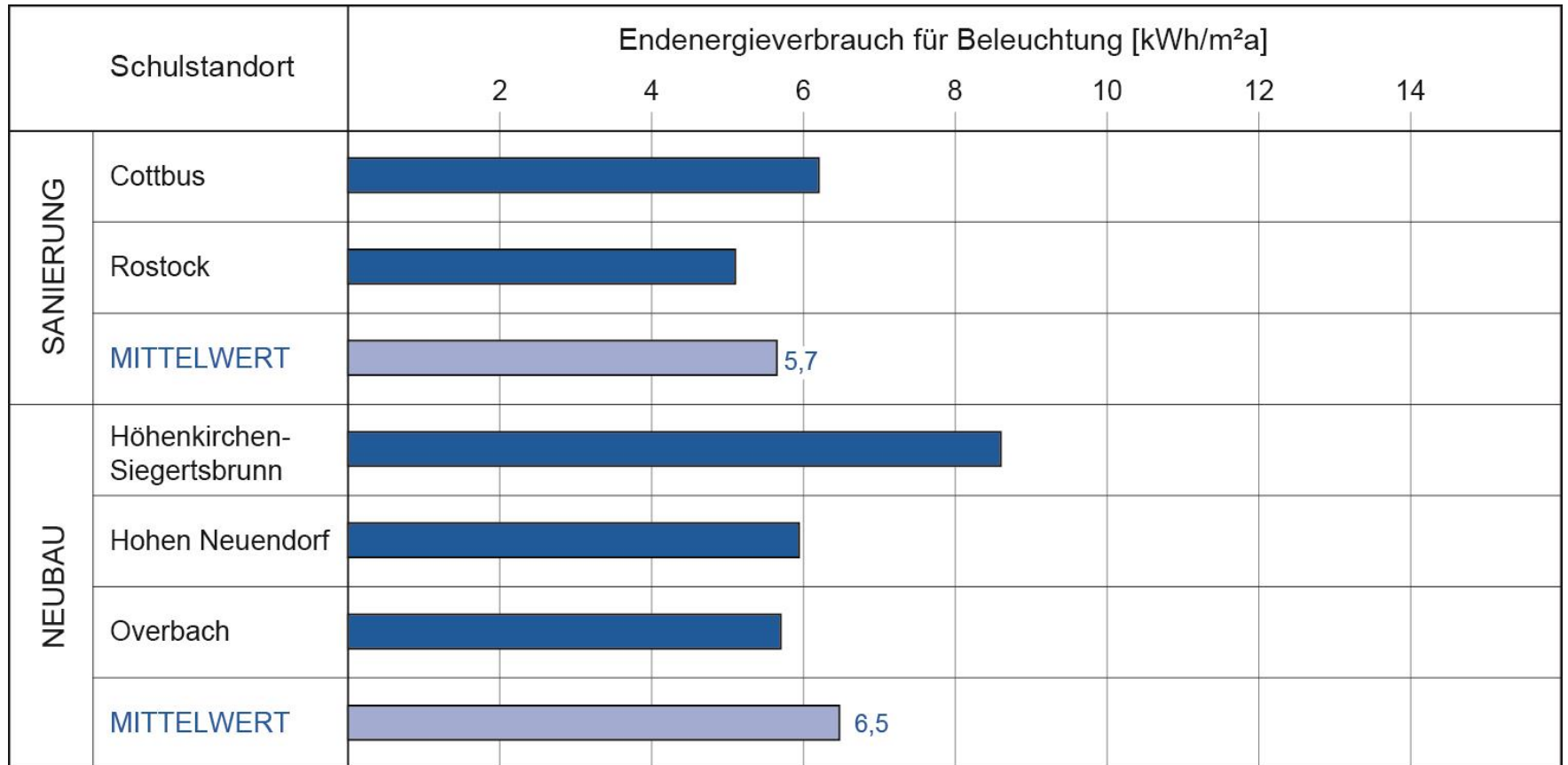


 Berechneter Bedarf  
 Gemessener Verbrauch  
 1) Ohne Beleuchtung

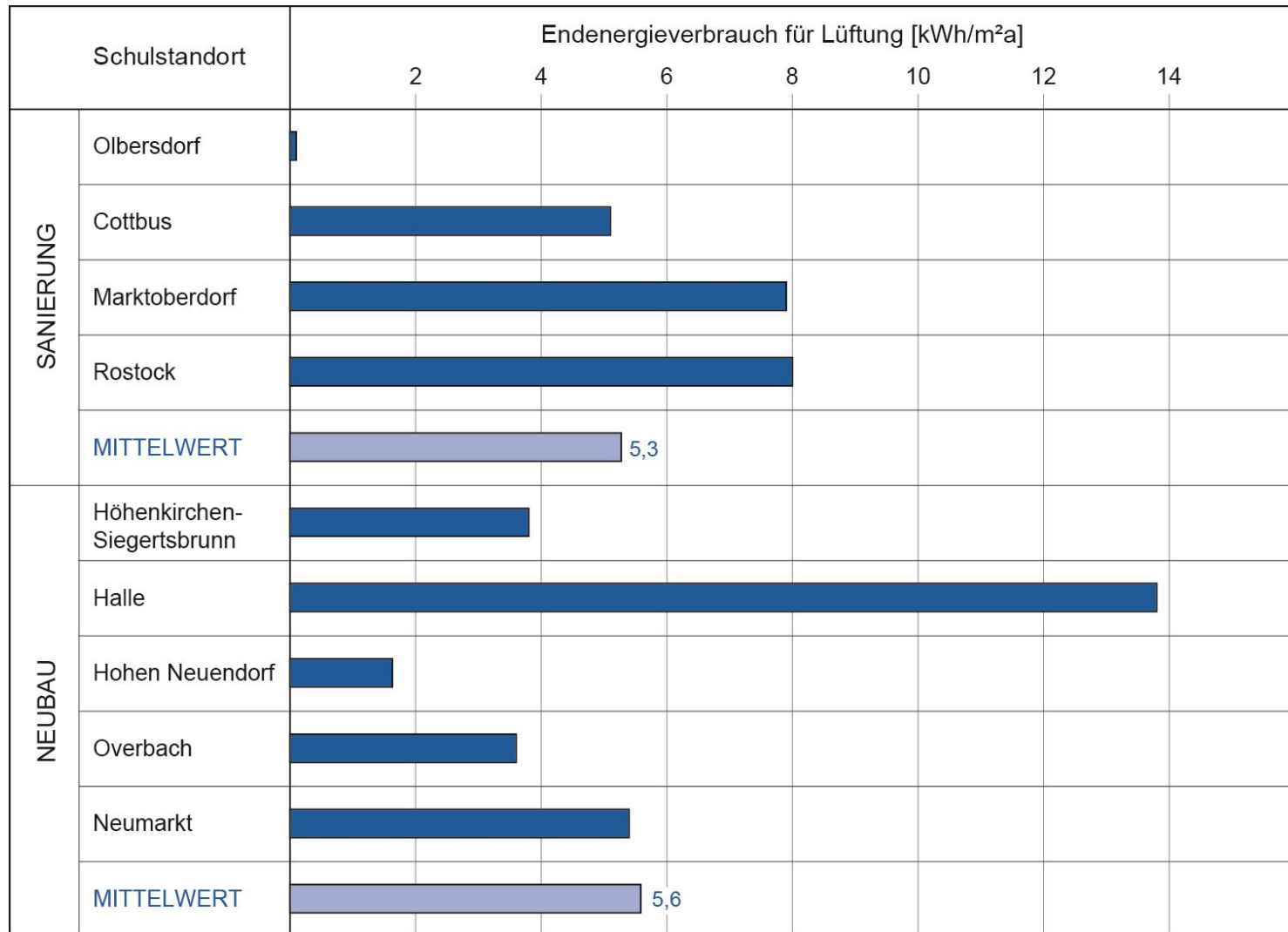
# Querauswertung Endenergieverbrauch Nutzerstrom

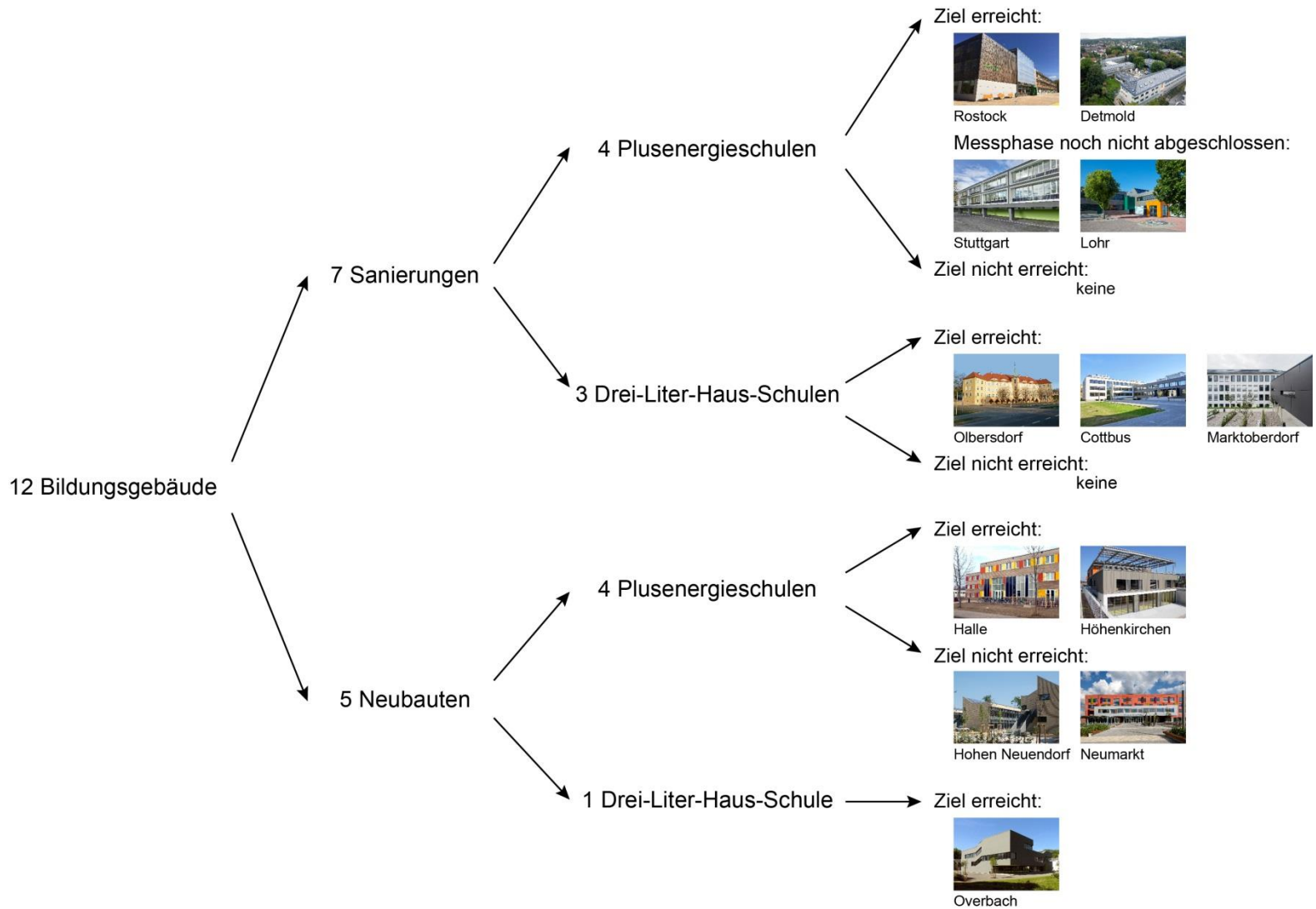


# Querauswertung Endenergieverbrauch für Beleuchtung

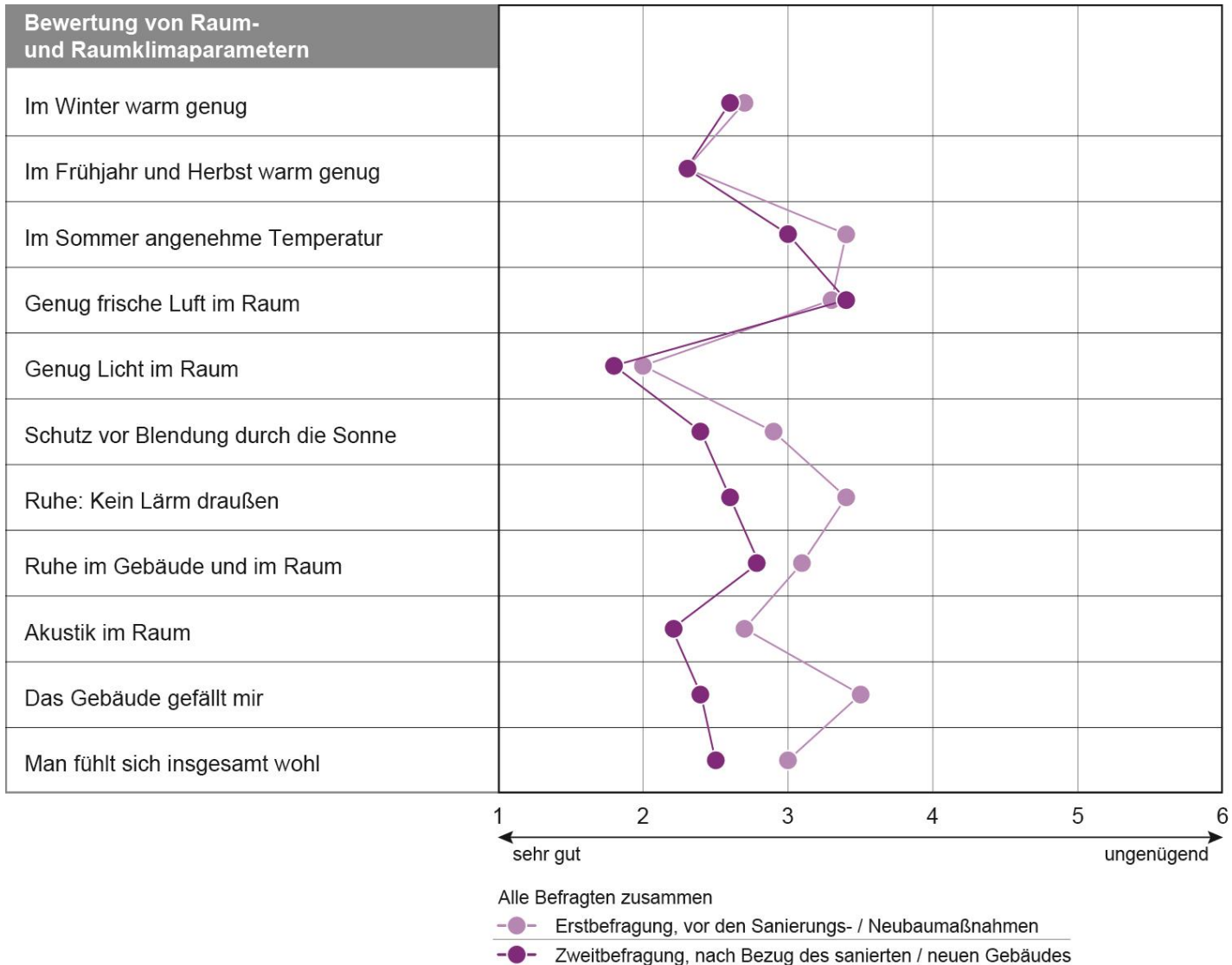


# Querauswertung Endenergieverbrauch für Lüftung





# Querauswertung Befragungsergebnisse



# Empfehlung - Projektablauf

- Kooperative Zusammenarbeit zwischen Schulleitung, Bauherr und Architekt (Partizipation hohen Stellenwert einräumen)



# Empfehlungen – Wärmeschutz und Speichermasse

- Gebäude mit exzellentem Wärmeschutz ausführen:  $H'_T < 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , 3-fach-Wärmeschutzverglasung ( $U_w < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ ,  $g > 0,55$ )
- Bildungsgebäuden mit geringen inneren Speichermassen zeigen im Sommer häufig höhere Raulufttemperaturen als in massiven Gebäuden. Deshalb sollten:
  - mindestens die Trennwände, Decken und Estriche in massiver Bauweise ausgeführt werden
  - bei Leichtbaukonstruktionen Speichermassen über Phasenwechselmaterialien (PCM) in die Konstruktion eingebracht werden (Rückkühlpeak beachten)

# Empfehlungen – Sonnenschutz I

- Schulgebäude mit Sonnenschutz ausstatten
- Ein außenliegender Sonnenschutz mit horizontalen Lamellen hat sich für Schulen bewährt
  - sehr gute Reduktion der Strahlungseinträge
  - Flexibilität
- Allerdings gibt es hierbei einige Punkte zu beachten:
  - Der Lamellenbehang sollte zweigeteilt ausgeführt werden, so dass die Lamellenstellung des oberen Drittels unabhängig vom Rest veränderbar ist, damit eine Tageslichtlenkung stattfinden kann
  - Die Lamellen sollten eine helle, reflektierende Oberfläche nach außen aufweisen
  - Die Lamellenbreite sollte groß gewählt werden (besserer Durchblick und somit vermindertes Gefühl des eingesperrt sein)
  - Der  $F_c$ -Wert (Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen) sollte unter 0,25 liegen

# Empfehlungen – Sonnenschutz II

- Weitere zu beachtende Punkte:
  - Der Sonnenschutz sollte sich während der Sommermonate (z. B. von 1. Mai bis 30. September) ab Schulschluss über Nacht bis morgens in der »Geschlossen«-Stellung befinden
  - In nicht genutzten Räumen sollte der Sonnenschutz in den Sommermonaten automatisch geschlossen werden
  - Der Sonnenschutz sollte vor allem bei der Verwendung von Whiteboards mit Bedacht gewählt werden
  - Bei Smartboards ist darauf zu achten, dass die Lichtabschwächung groß genug ist, damit die Lehrinhalte auf dem Smartboard, selbst bei direktem Sonnenlicht auf die Fassade, gut sichtbar bleiben
  - Bei dezentralen, fassadenangeordneten Lüftungsgeräten keinen Sonnenschutz vor der Ansaug- und Ausblasöffnung platzieren

# Empfehlungen - Fenster

- Es wird empfohlen, 3-fach-wärmeschutzverglaste Fenster und Fenstertüren zu verwenden
  - $U_w < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$
  - Gesamtenergiedurchlassgrad  $g$  von größer als 0,55
  - Lichttransmissionsgrad  $t_v$  mehr als 0,72
- Da diese Scheiben ein hohes Gewicht haben, sollten die öffnbaren Fensterflügel nicht bereiter als 80 cm sein
  - Schonung der Fensterscharniere
  - leichteres Öffnen für jüngere Schülerinnen und Schüler
  - schmälere Fensterflügel stören weniger, da sie weniger in den Klassenraum hinein ragen
- Zu große Fensterflächenanteile auf Süd-orientierten Fassaden führen zu einem dauerhaften Absenken des Sonnenschutzes im Sommer (entweder Sonnenschutz abschnittsweise regelbar oder Fensterflächen reduzieren)

# Empfehlungen – Lüftung I

- Für Schulneubauten und auch für Schulsanierungen wird eine mechanische oder eine hybride Lüftung empfohlen
  - Rückwärmzahl von mehr als 80 %
  - Bypass integriert
    - regelbaren Bypass ausgerüstet sind, damit ein geregeltes Absenken der Zulufttemperatur ermöglicht wird.
- Derzeit gültigen Normen gehen von einer CO<sub>2</sub>-Konzentration von 500 ppm über der Außenluftkonzentration (normales Maß an Erwartungen, empfohlen für neue und renovierte Gebäude). Die Konzentrationen verstehen sich als zeitlich gewichtete durchschnittliche Konzentrationen über die Dauer einer Unterrichtsstunde (45 min).

# Empfehlungen – Lüftung II

- Zwei Regelungsstrategien haben sich bewährt:
  - CO<sub>2</sub>-geführte Lüftung
  - stundenplangeführte Lüftung
- Beispiel für CO<sub>2</sub>-geführte Anlagen:
  - Stufe 1: ab 800 ppm
  - Stufe 2: ab 1.200 ppm
  - Stufe 3: ab 1.500 ppm (maximaler Volumenstrom)
  - Unterhalb 800 ppm ist die Anlage nicht in Betrieb
- Abschaltung der Lüftungsanlagen bei geöffnetem Fenster nicht zu empfehlen

## Empfehlungen – Lüftung, natürlich

- Studien haben gezeigt, dass eine uninformierte Fensterlüftung in Klassenräumen zu hohen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen führt
- Zur Unterstützung der Fensterlüftung eignen sich Lüftungsampeln, mit denen über die Farben grün, gelb und rot die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Klassenraum angezeigt wird. Ein solches Gerät zeigt kontinuierlich die Raumluftqualität an und gibt dadurch einen Hinweis, wann gelüftet werden soll. Folgende Farbuordnungen haben sich bewährt:
  - grün: bis 900 ppm
  - gelb: ab 901 ppm
  - rot: ab 1.200 ppm

## Empfehlungen – Lüftung, hybrid

- Möglichkeiten der hybriden Lüftung: Grundlüftung mit
  - hinzugeschaltener motorisch betriebene Fensteröffnung die nur in den Pausen agiert. Dabei ist für die Auslegung der Grundlüftung das Stundenplankonzept der Schule (Einzel- oder Doppelstunden) sowie Klassengrößen und Raumvolumen zwingend zu berücksichtigen.
  - Fensterlüftung durch die Raumnutzer, am Besten mit Unterstützung durch eine Nutzerinformation wie z.B. eine Lüftungssampel
- Eine motorisch betriebene Fensteröffnung kann auch ideal zur sommerlichen Nachtlüftung herangezogen werden.



## Empfehlungen – Lüftung, dezentral

- Zuluft- und Fortluftöffnungen sollten nicht zu nahe beieinander liegen (Stichwort Kurzschlusslüftung)
- Da dezentrale Geräte im Klassenraum untergebracht sind, hängt die Akzeptanz sehr vom Ventilator- und Strömungsgeräusch ab. Es ist daher ratsam, das Gerät nicht in der höchsten Stufe zu betreiben. Dies ist möglich, wenn die Anlage ein ausreichend großes Fördervermögen aufweist.
- Aufgrund der großen Anzahl und da sich die Geräte häufig im Standby-Modus befinden, sollte die Standby-Leistung unter 10 W/Gerät bleiben.
- Der Filteraustausch sollte zeitnahe zur abgegebenen Meldung erfolgen, da ansonsten der Druckverlust weiter steigt und
  - gegebenenfalls die Luftvolumenströme nicht mehr erreicht werden
  - die Stromverbräuche steigen (Grenzdruckverlust-Berechnung)

# Empfehlungen – Belichtung

- Für Klassenräume empfehlen sich raumhohe Verglasungen – möglichst mit deckengleichem Sturz – deren Brüstungshöhe der Tischhöhe entspricht
- Im Oberlichtbereich können zur Verbesserung der Tageslichtnutzung in größeren Raumtiefen lichtlenkende oder lichtstreuende Verglasungen eingesetzt werden
- Findet eine Tageslichtlenkung an die Decke statt, sind die Decken- und Wandflächen mit einer möglichst hellen Oberfläche zu versehen
- Bei der Ausstattung der Klassenräume mit Whiteboards sollte der direkt am Whiteboard befindliche Fassadenbereich nicht verglast werden oder es sollte dort ein innenliegender Blendschutz realisieren werden, damit Reflektionen auf dem Whiteboard vermieden werden können

# Empfehlungen – Beleuchtung

- LED-Beleuchtung
- Es ist eine tageslicht- und präsenzabhängige Regelung zu empfehlen
- In der Regel sind die Beleuchtungsreihen parallel zu den Fenstern angeordnet. Diese Reihen sollten, wenn Präsenz vorhanden ist, tageslichtabhängig geregelt werden
- Sollen Klassenräume zeitweise mit Nutzungen belegt werden, welche eine Beleuchtungsstärke erfordern, so sollte dies über einen Schlüsselschalter eingestellt werden können
- Die Tafelbeleuchtung sollte manuell bedien- und dimmbar sein
- Flure, WC's, Keller- und Lagerräume sollten präsenzabhängig geregelt werden, wenn eine bestimmte Lichtstärke unterschritten wird
- Wenn Whiteboards installiert werden, so ist bei der Beleuchtung darauf zu achten, dass sich diese nicht störend in den Whiteboards widerspiegelt, wodurch die Lesbarkeit eingeschränkt ist.

# Info-Portale

Gefördert durch:



Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

<https://projektinfos.energiewendebauen.de/>

The screenshot shows the homepage of the 'ENERGIE WENDE BAUEN' portal. It features a navigation menu with categories like 'FORSCHUNG', 'THEMEN', 'PROJEKTLANDKARTE', 'PUBLIKATIONEN', 'FORSCHUNG IM DIALOG', and 'SERVICE'. A large aerial photograph of a residential area with green spaces is displayed prominently.

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

[www.eneff-schule.de](http://www.eneff-schule.de)

The screenshot shows the 'EnEff:Schule' website. It features a navigation menu, a list of project descriptions, and a table of demonstration projects. The table includes columns for 'Kategorie', 'Innovative Techniken', 'Demonstrationsobjekte', and 'Regelung'. The projects listed are 'Plusenergie-Schulen', '3-Liter-Haus Schulen', and 'Best-Practice Beispiele'.

Kategorie	Innovative Techniken	Demonstrationsobjekte	Regelung
Plusenergie-Schulen	✓	✓	✓
3-Liter-Haus Schulen	✓	✓	✓
Best-Practice Beispiele	✓	✓	✓