
10 Jahre energetische Schulforschung

Resümee

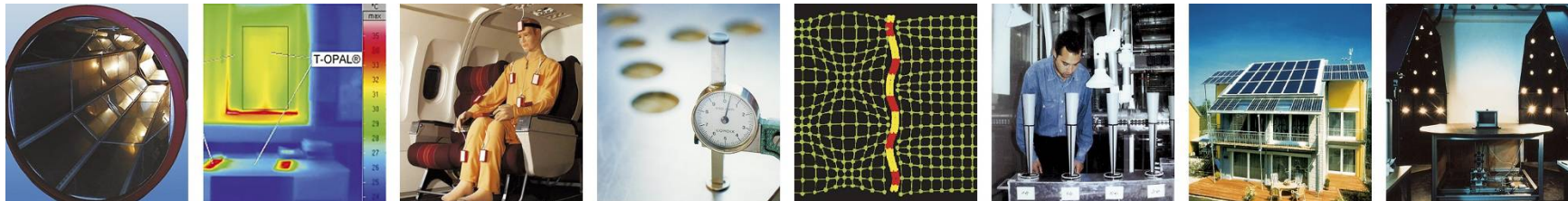
Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

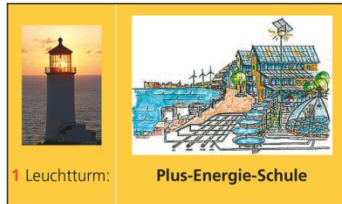
Hans Erhorn/Johann Reiß
Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP)

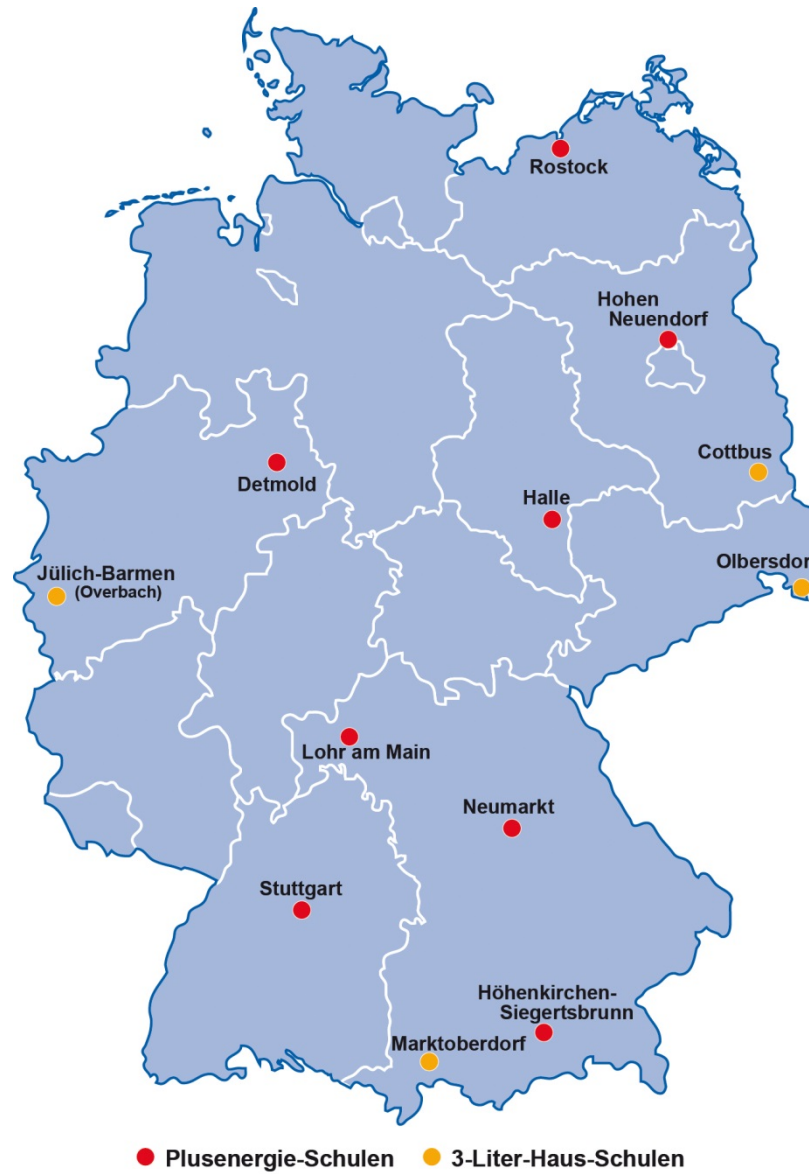
Auf Wissen bauen



Idee 2005

Realität 2017





Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Drei-Liter-Haus-Schule
Cottbus



Drei-Liter-Haus-Schule
Olbersdorf



Drei-Liter-Haus-Schule
Marktoberdorf



Drei-Liter-Haus-Schule
Overbach



Plusenergieschule
Detmold



Plusenergieschule
Halle



Plusenergieschule
Rostock



Plusenergieschule
Hohen Neuendorf



Plusenergieschule
Neumarkt



Plusenergieschule
Höhenkirchen



Plusenergieschule
Lohr



Plusenergieschule
Stuttgart

7 Sanierungen

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

5 Neubauten

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

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

Innovative Komponenten

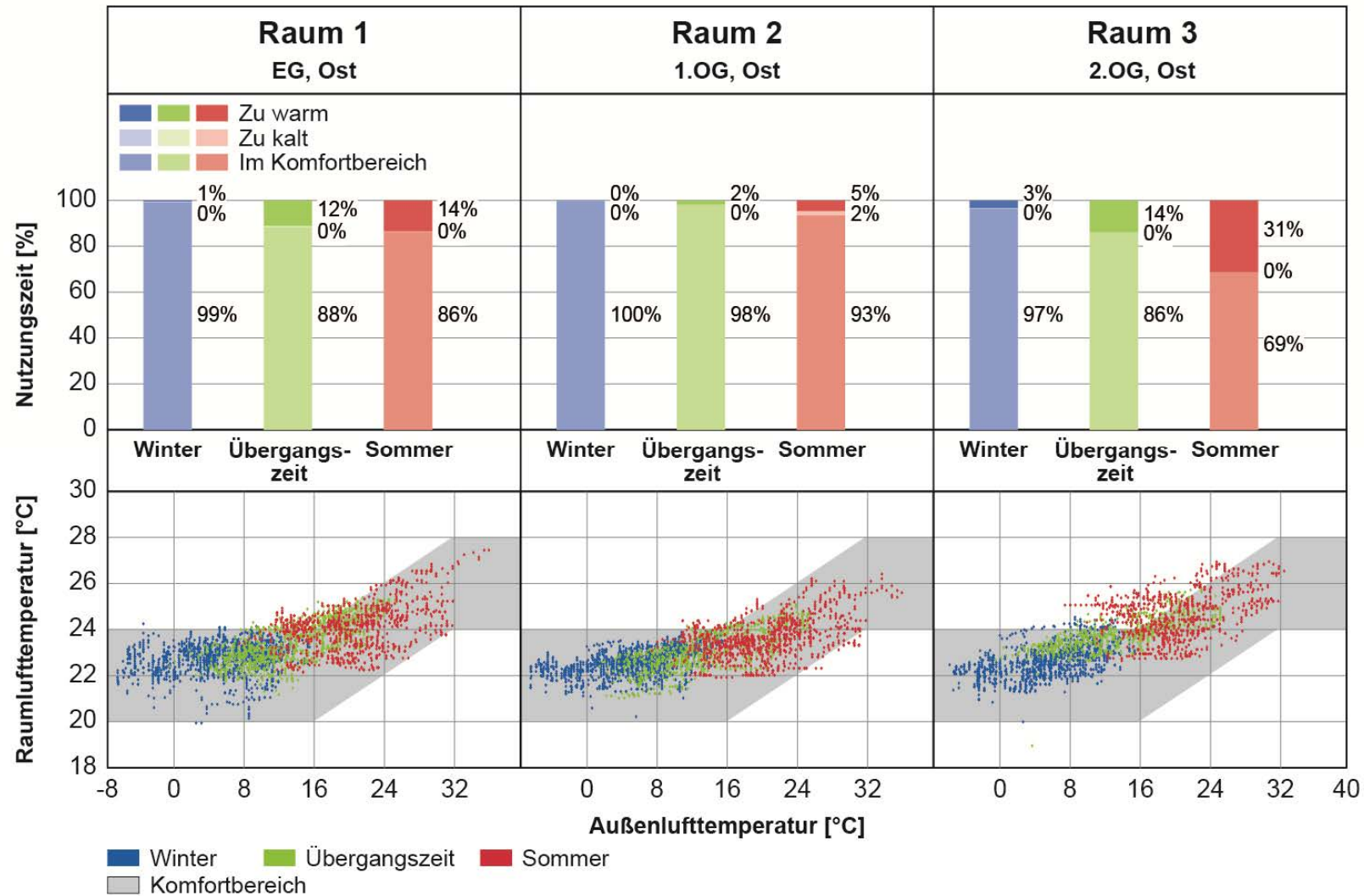
Innovative Komponenten		SANIERUNG							NEUBAU				
		Stuttgart	Olbersdorf	Detmold	Lohr	Cottbus	Marktoberdorf	Roslock	Höhenkirchen-Siegersbrunn	Halle	Hohen Neuendorf	Overbach	Neumarkt
BAU	Hochwertiger Wärmeschutz	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
	3-fach Wärmeschutzverglasung	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●
	Elektrochrome 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			●		●	●	●		●			

Beispiel: 3-Liter-Haus-Schule Cottbus



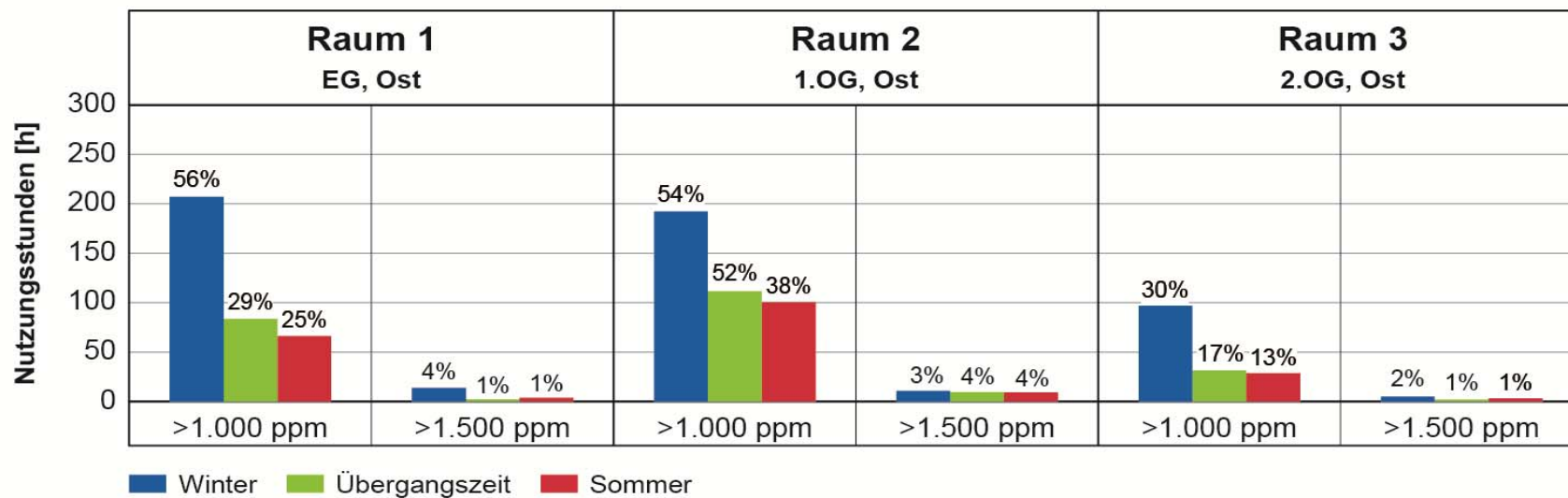
3-Liter-Haus-Schule Cottbus

Raumlufttemperaturen



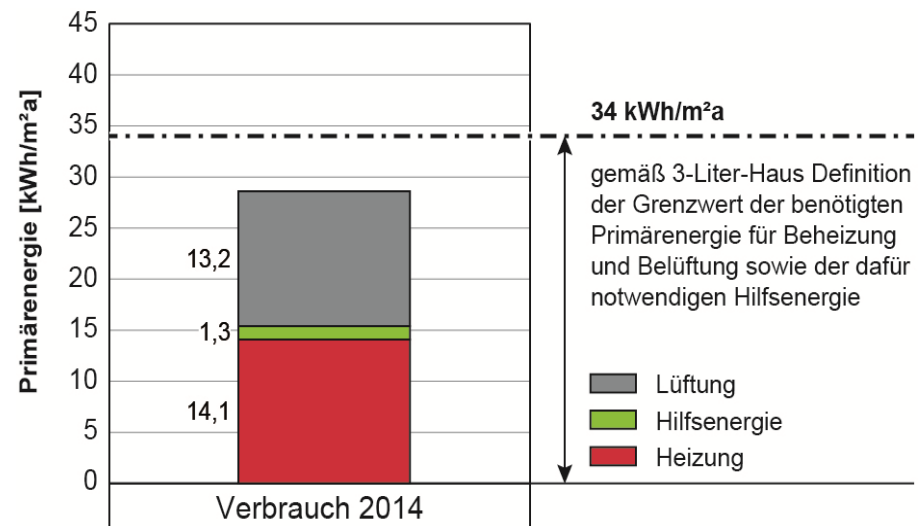
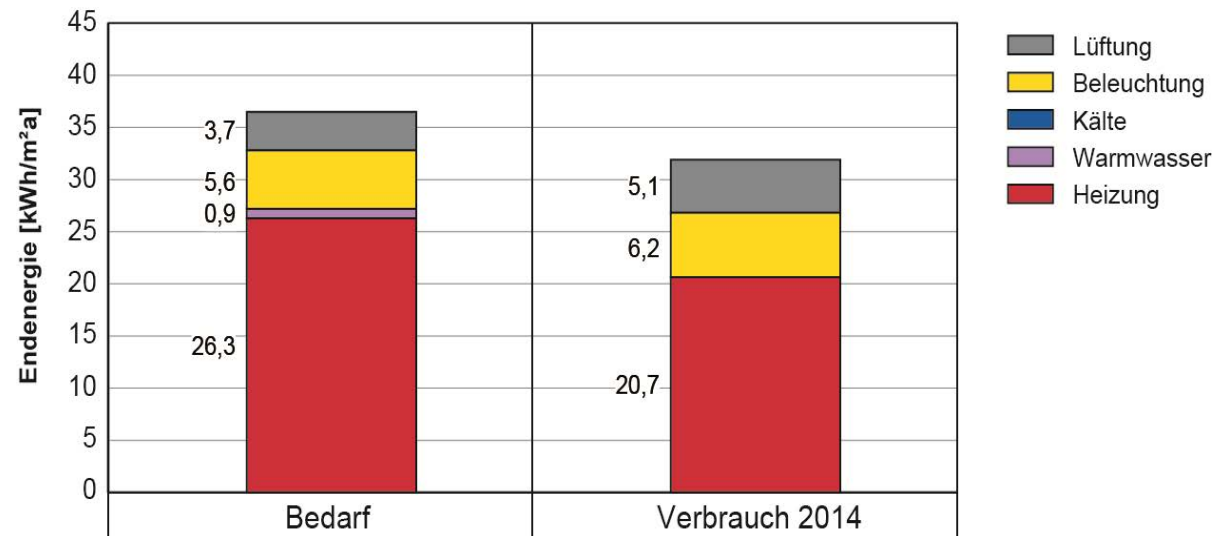
3-Liter-Haus-Schule Cottbus

Raumlufqualität



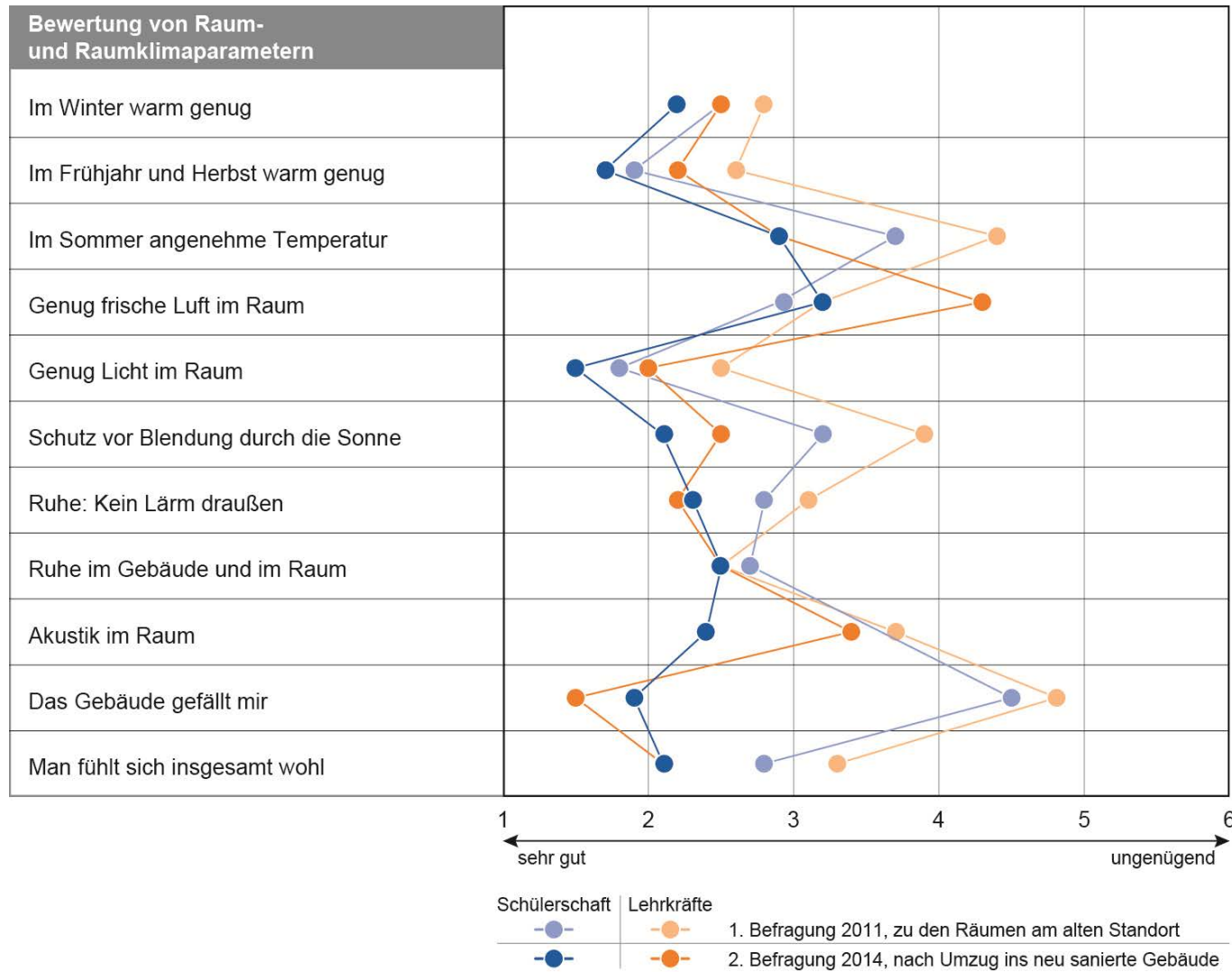
3-Liter-Haus-Schule Cottbus

Endenergiebedarf / Endenergieverbrauch

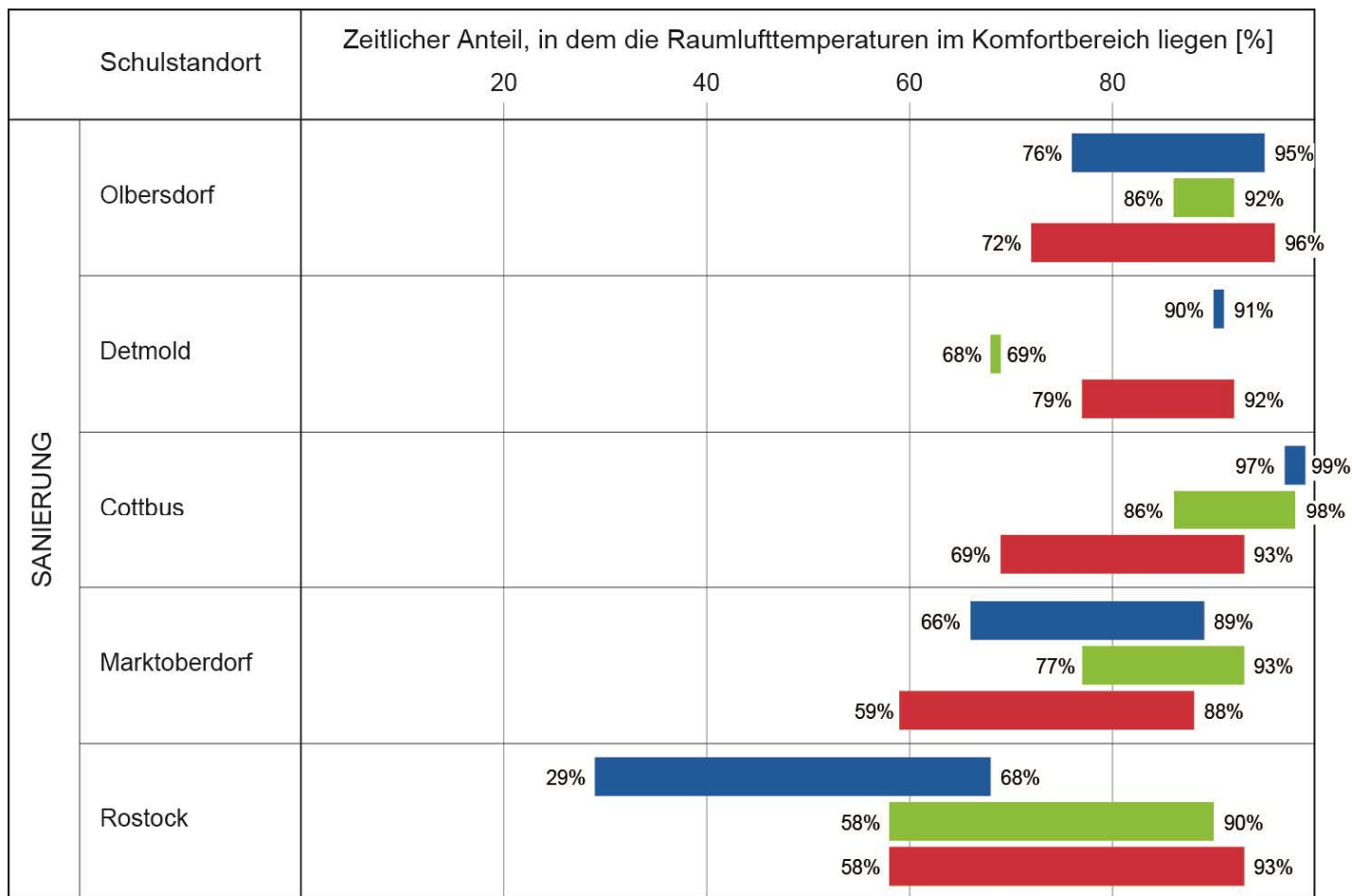


3-Liter-Haus-Schule Cottbus

Befragungsergebnisse



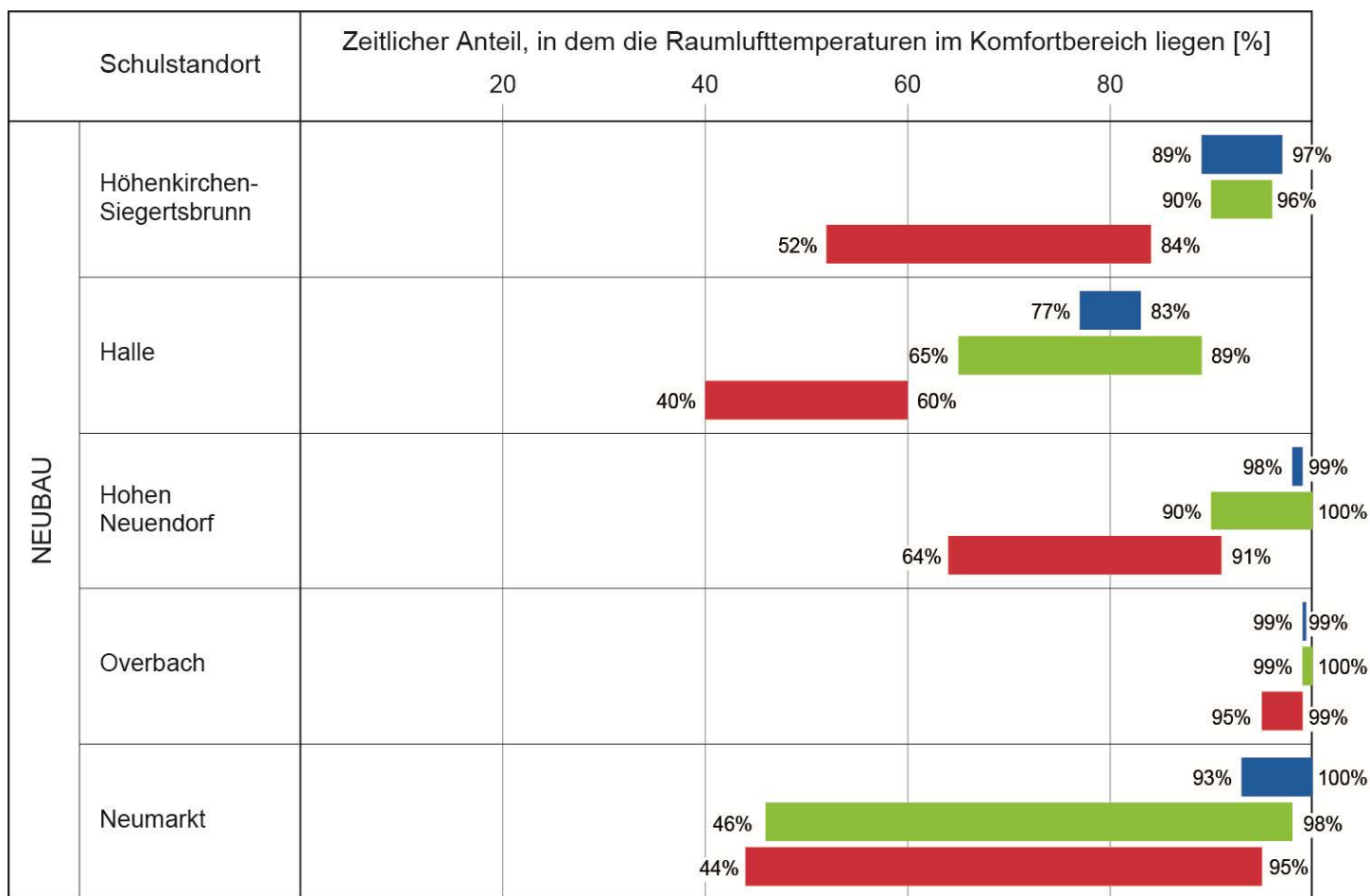
Querauswertung Raumlufttemperaturen - Sanierung



In diesem Spektrum liegen die untersuchten Räume:

- im Winter
- in der Übergangszeit
- im Sommer

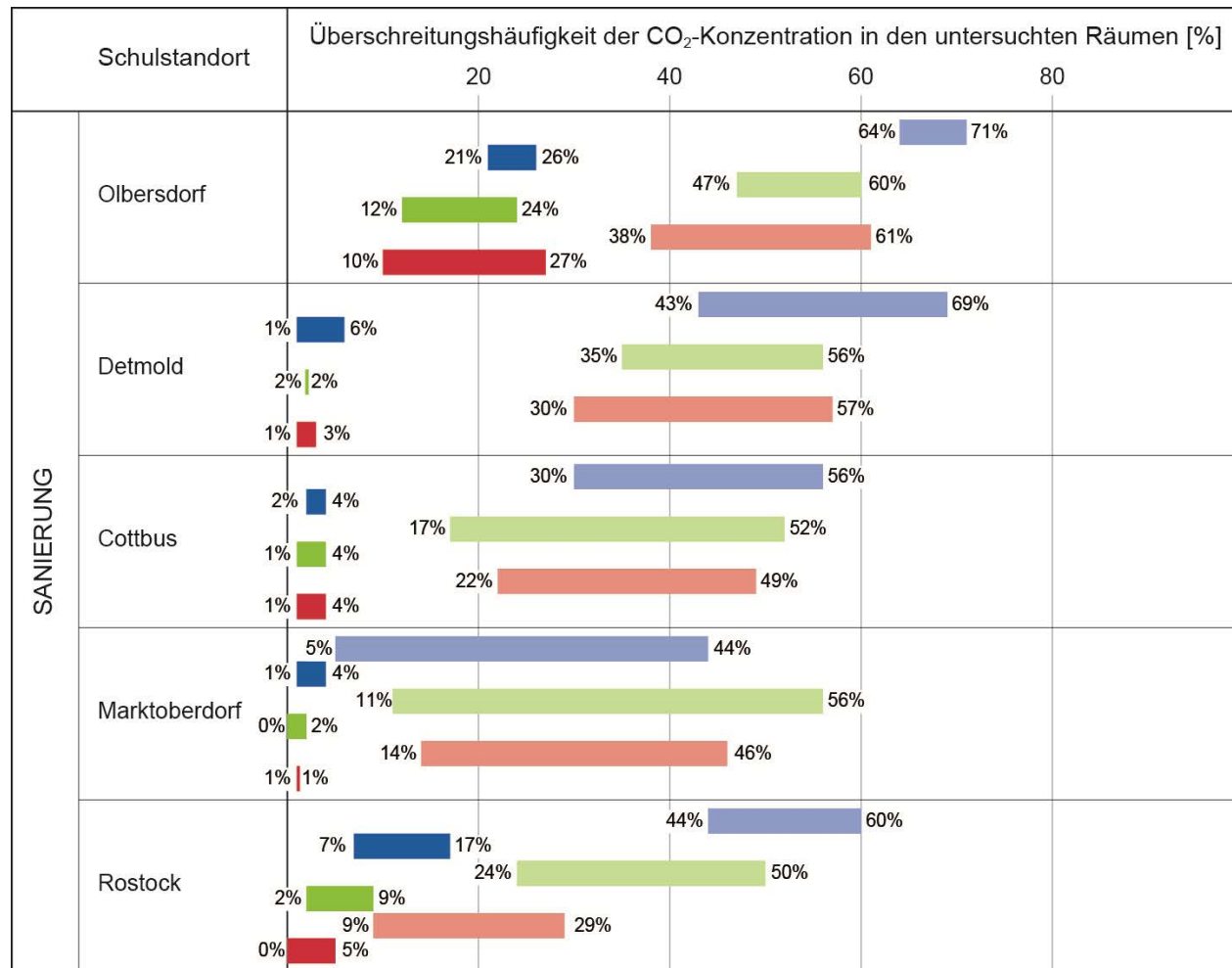
Querauswertung Raumlufthemperaturen - Neubau



In diesem Spektrum liegen die untersuchten Räume:

- im Winter
- in der Übergangszeit
- im Sommer

Querauswertung Raumluftqualität - Sanierung



In diesem Spektrum liegen die untersuchten Räume:

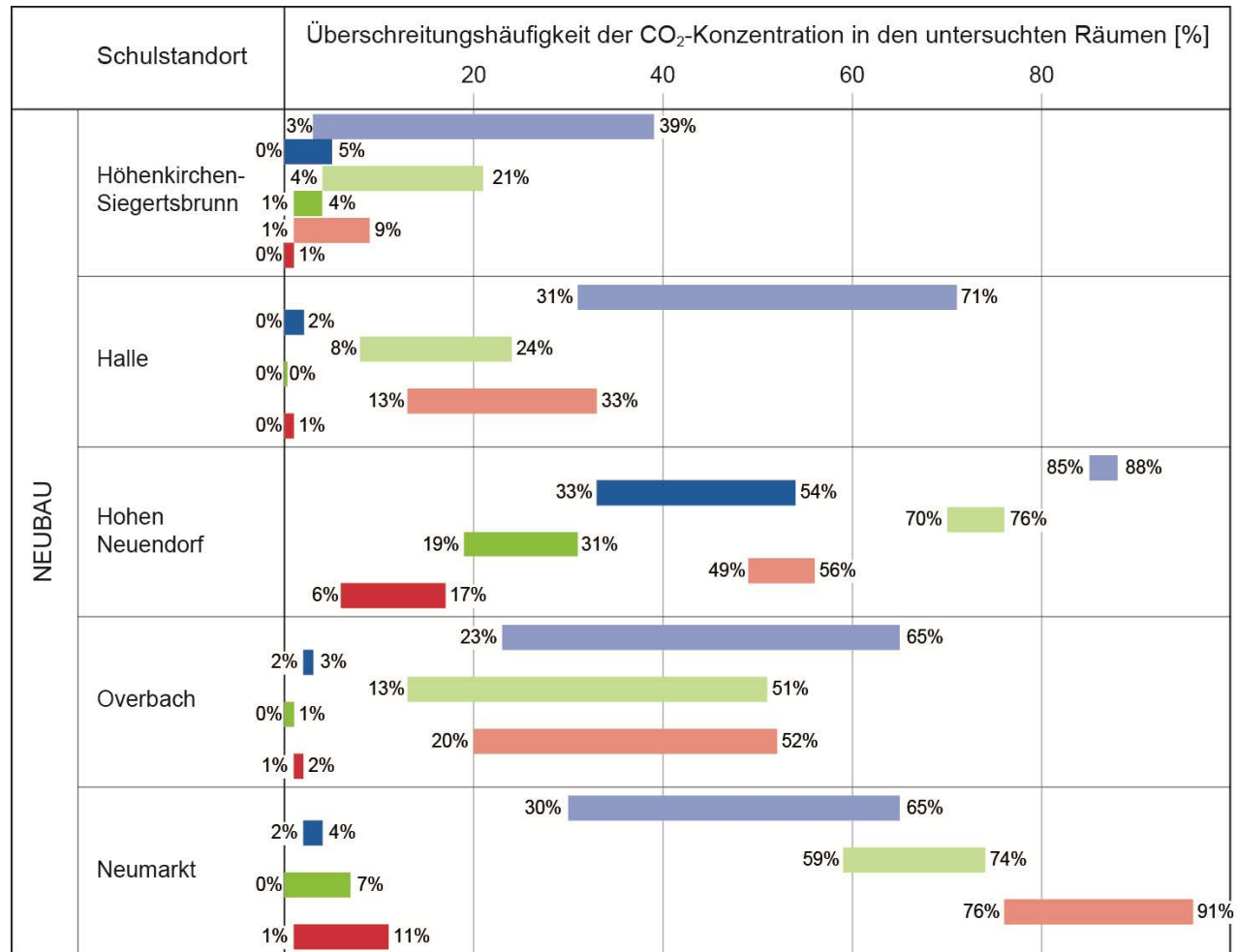
≥1.000 ppm

≥1.500 ppm



im Winter
in der Übergangszeit
im Sommer

Querauswertung Raumluftqualität - Neubau



In diesem Spektrum liegen die untersuchten Räume:

≥1.000 ppm

≥1.500 ppm

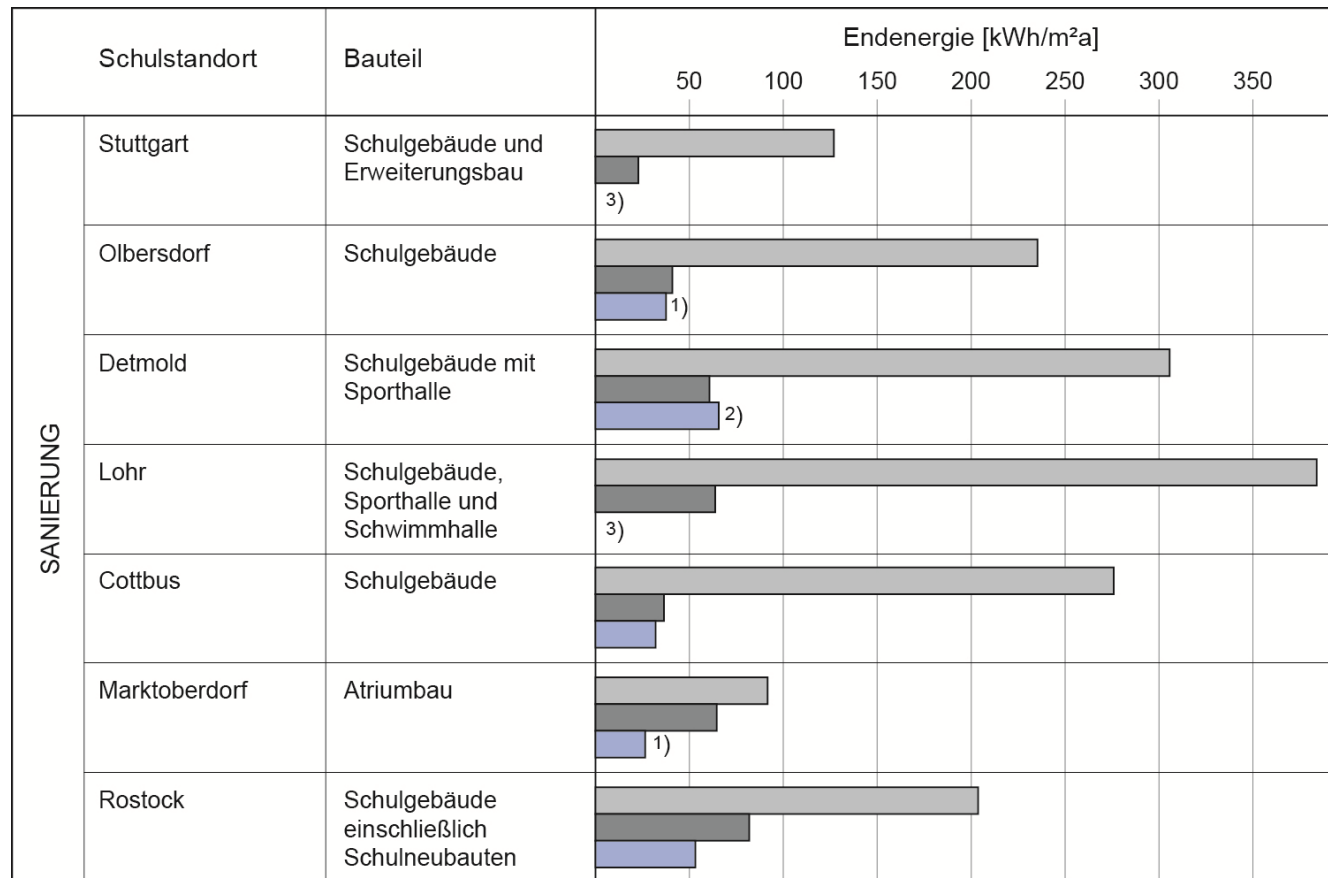


im Winter

in der Übergangszeit

im Sommer

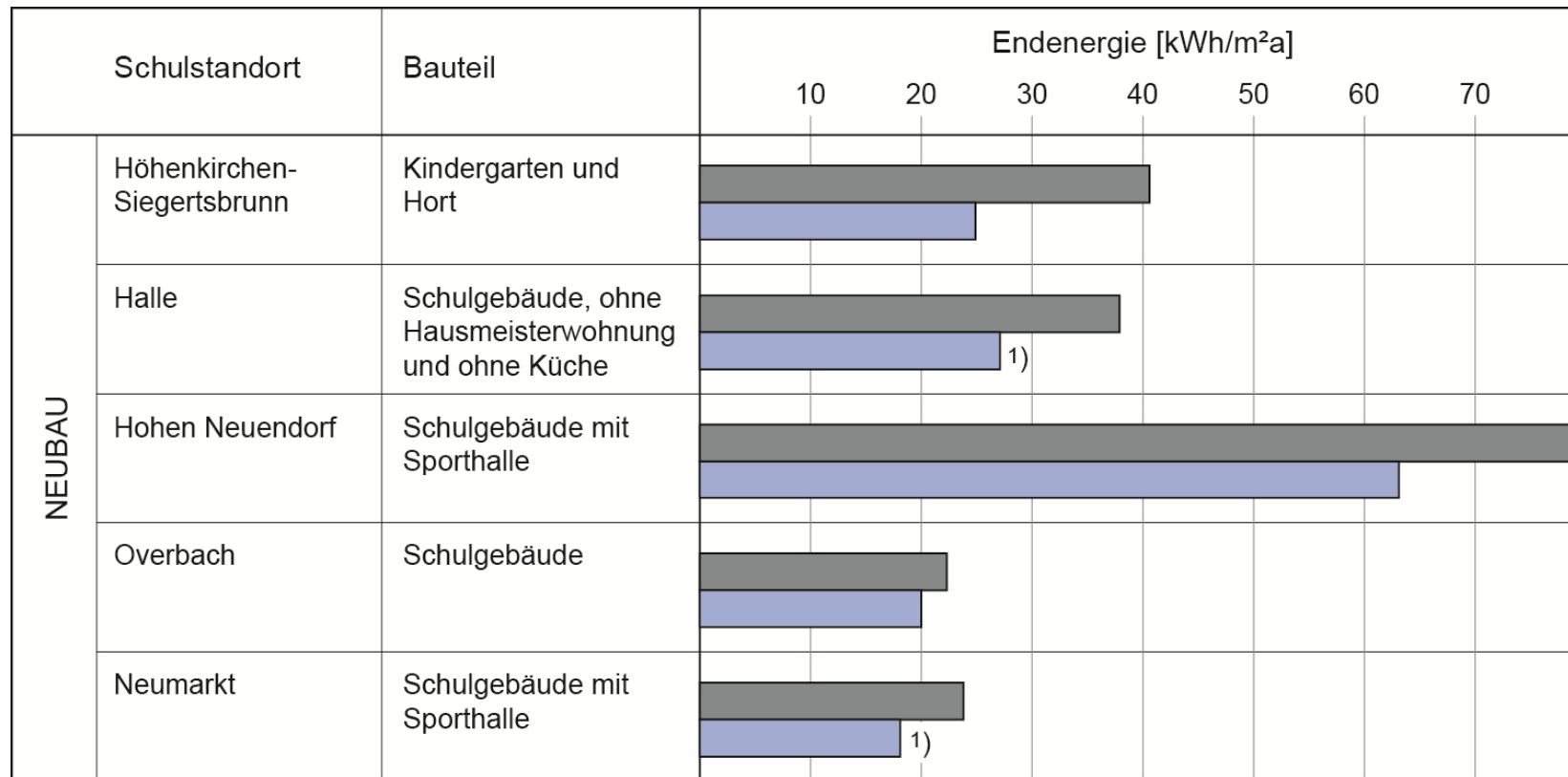
Querauswertung Endenergie - Sanierung



- 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

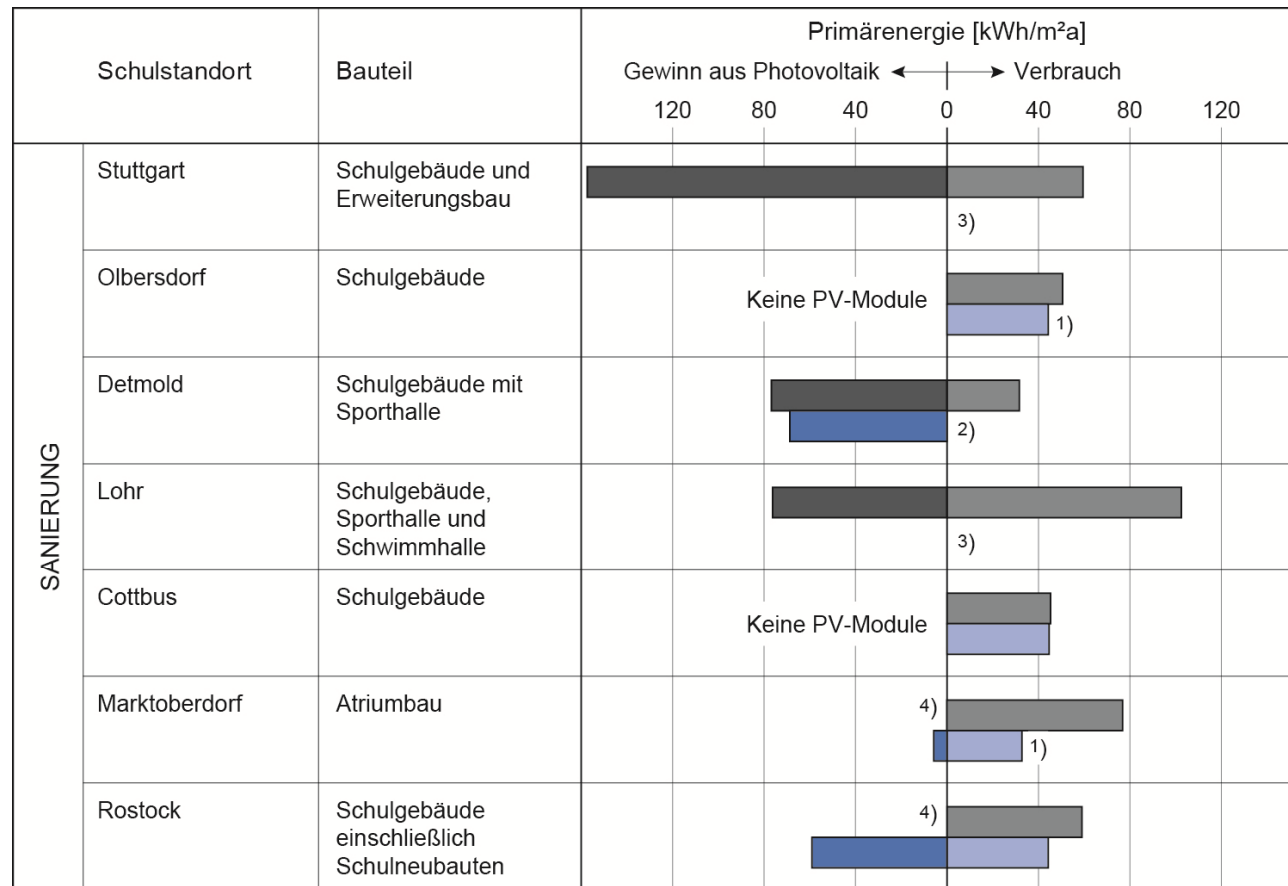
Querauswertung Endenergie - Neubau



Berechneter Bedarf
 Gemessener Verbrauch

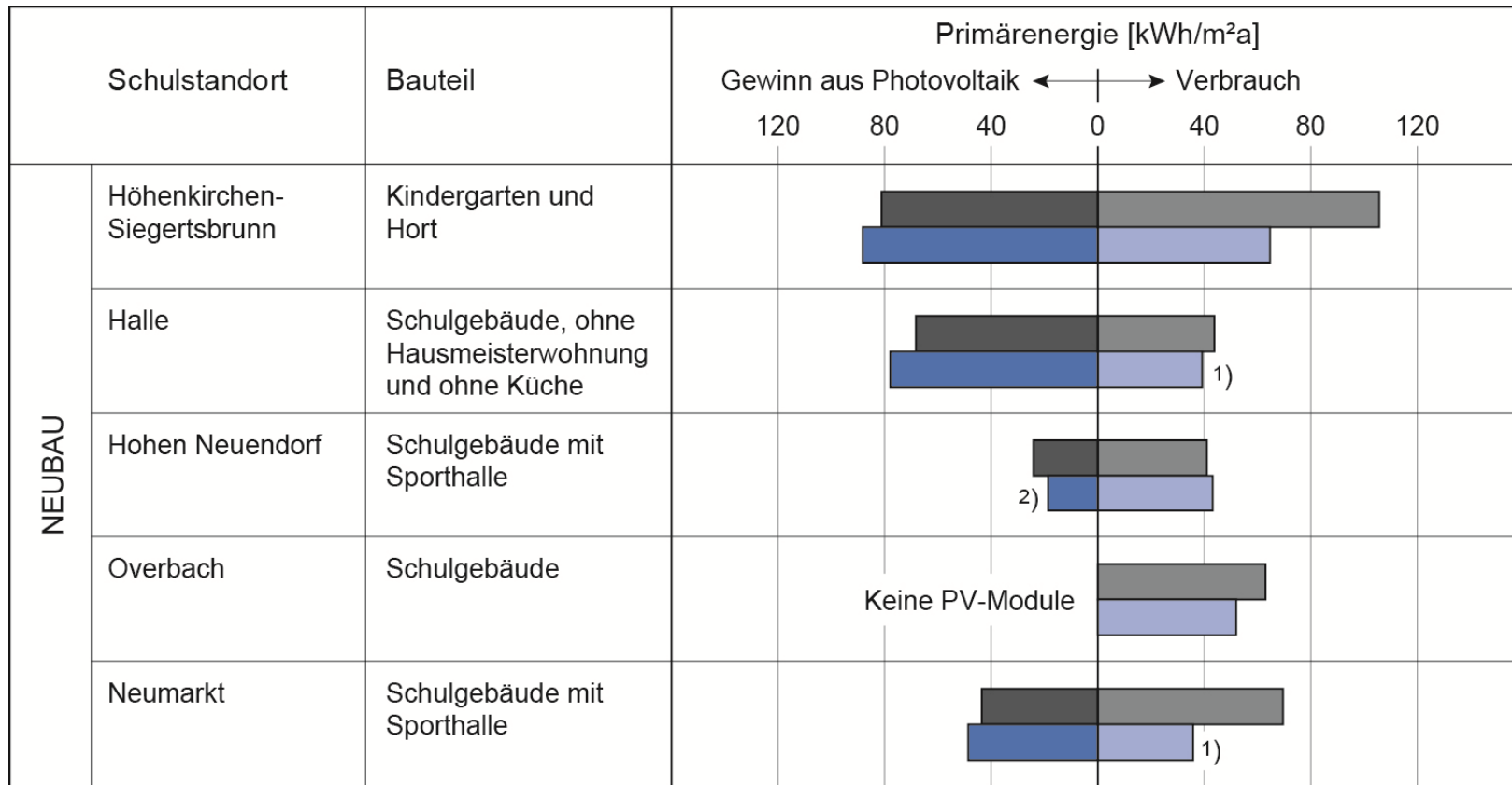
1) Ohne Beleuchtung

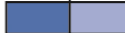
Querauswertung Primärenergie - Sanierung



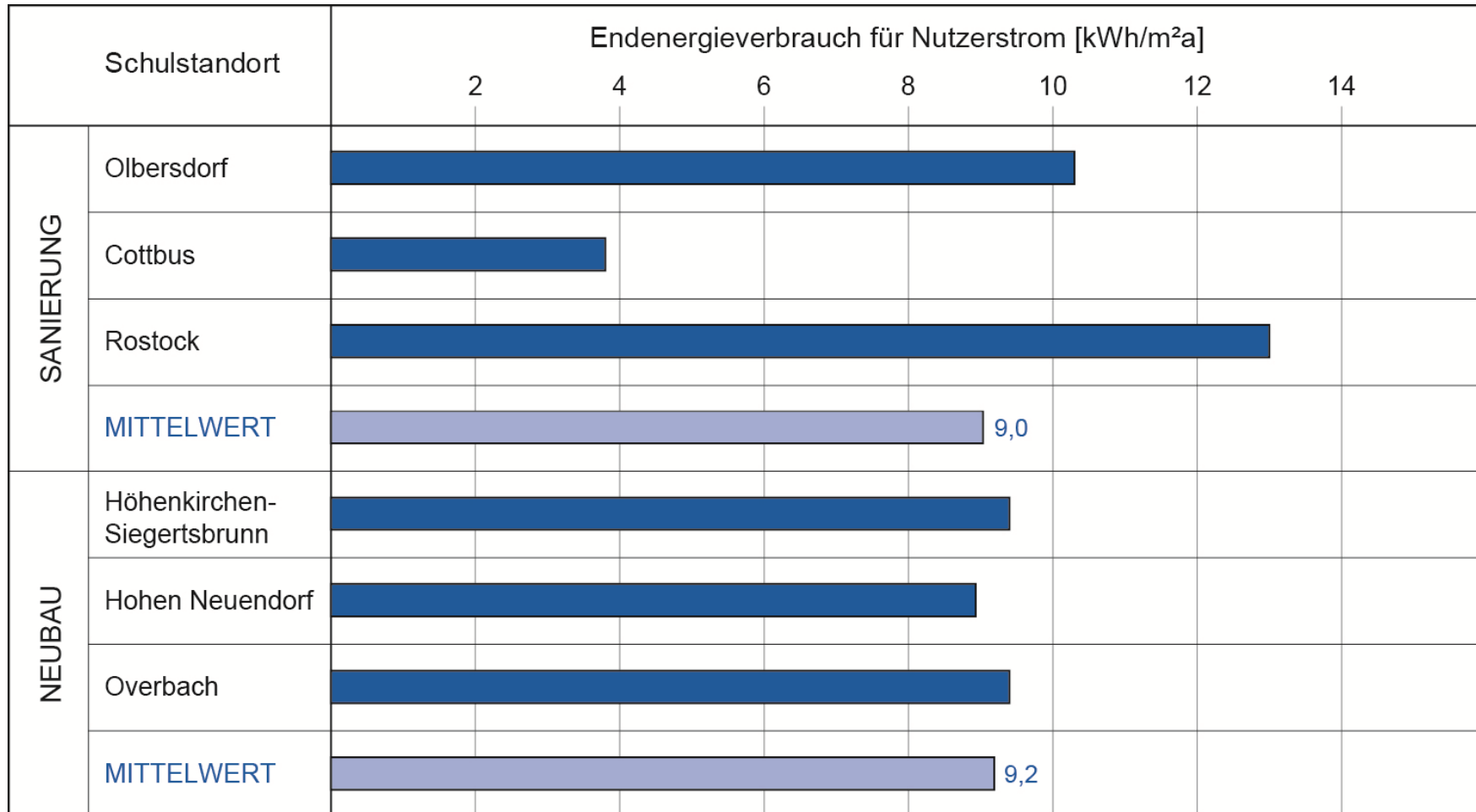
- Berechneter Gewinn Berechneter Bedarf
 Gemessener Gewinn Gemessener Verbrauch
- 1) Ohne Beleuchtung und ohne Trinkwarmwassererwärmung
 2) Nur Heizung und TWW, ohne Hilfsenergie
 3) Noch keine Messwerte vorhanden
 4) Keine Berechnungsergebnisse vorhanden

Querauswertung Primärenergie - Neubau

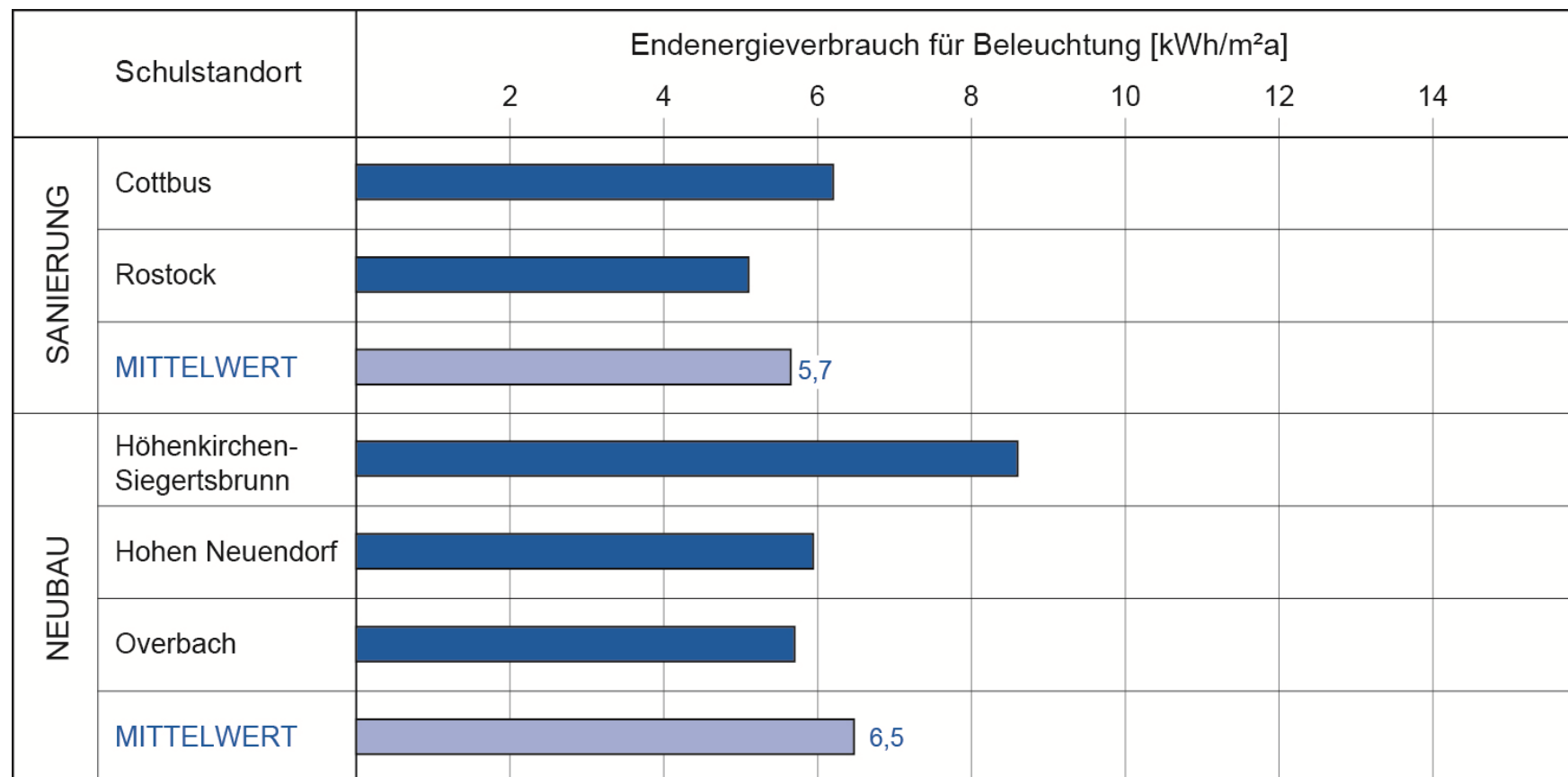


Berechneter Gewinn  Berechneter Bedarf 
 Gemessener Gewinn  Gemessener Verbrauch 
 1) Ohne Beleuchtung
 2) Geplantes Biomasse-BHKW kam nicht zum Einsatz

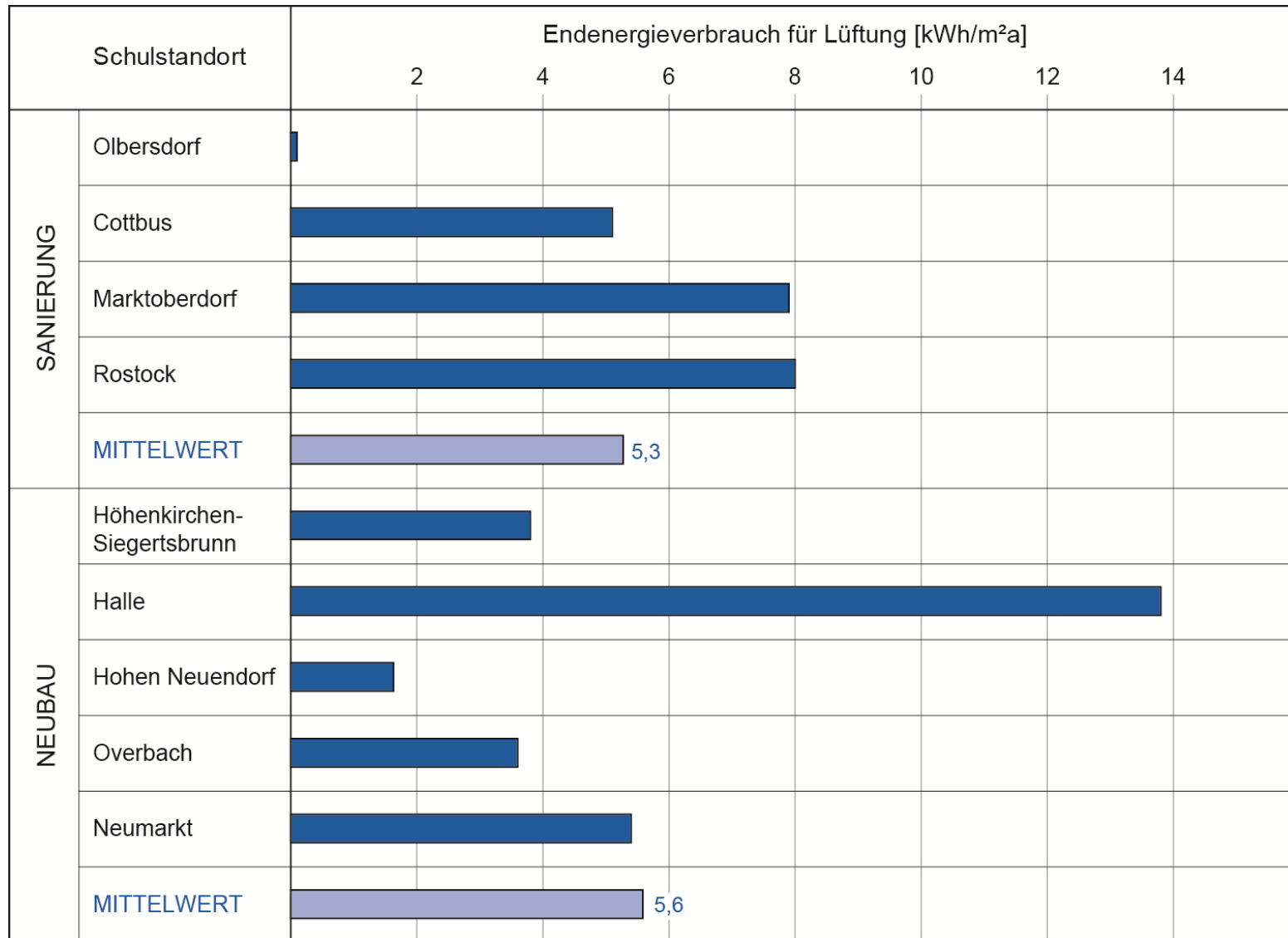
Querauswertung Endenergieverbrauch Nutzerstrom



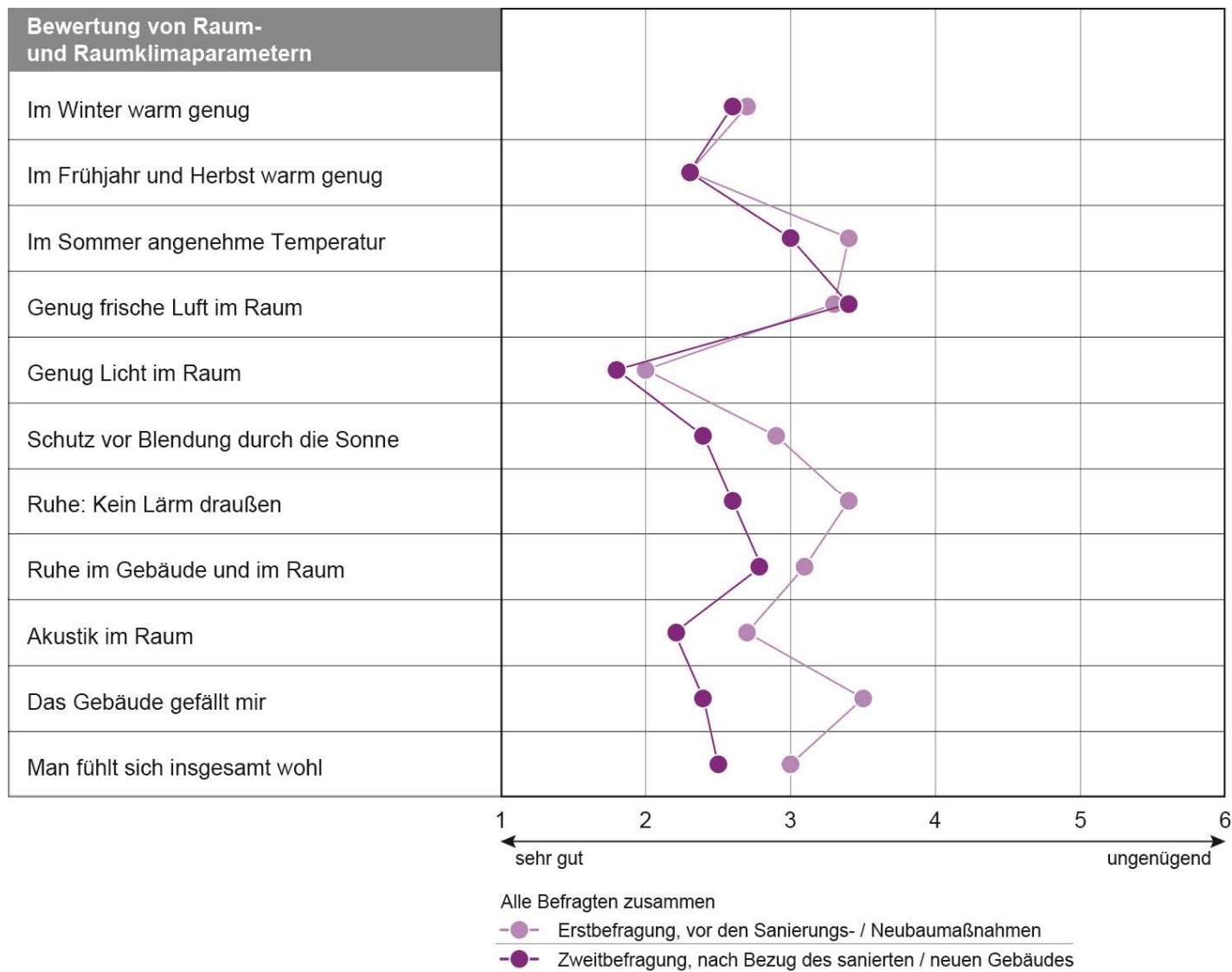
Querauswertung Endenergieverbrauch für Beleuchtung



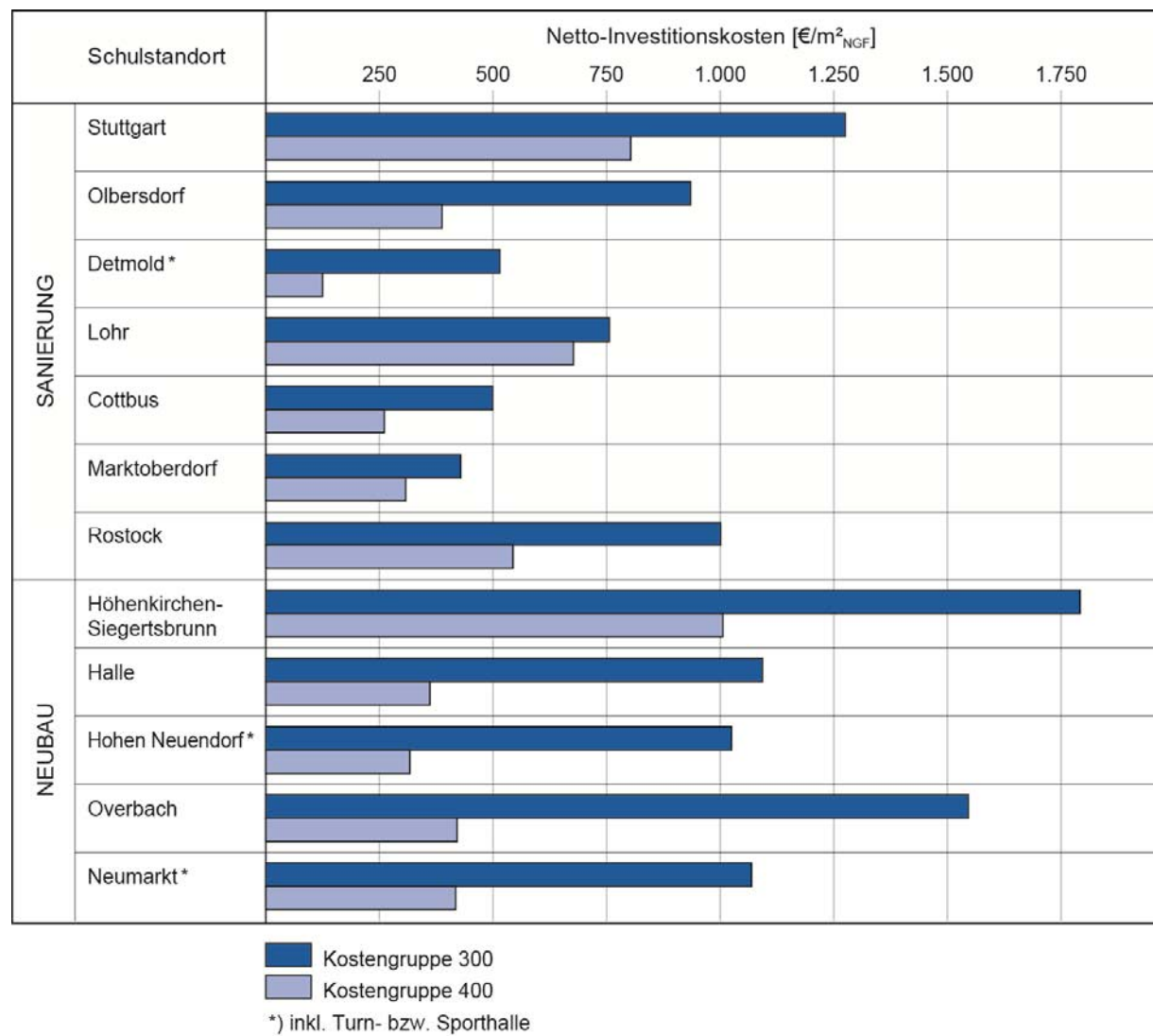
Querauswertung Endenergieverbrauch für Lüftung



Querauswertung Befragungsergebnisse



Querauswertung Netto-Investitionskosten



Zusammenfassung

Raumlufthemperaturen

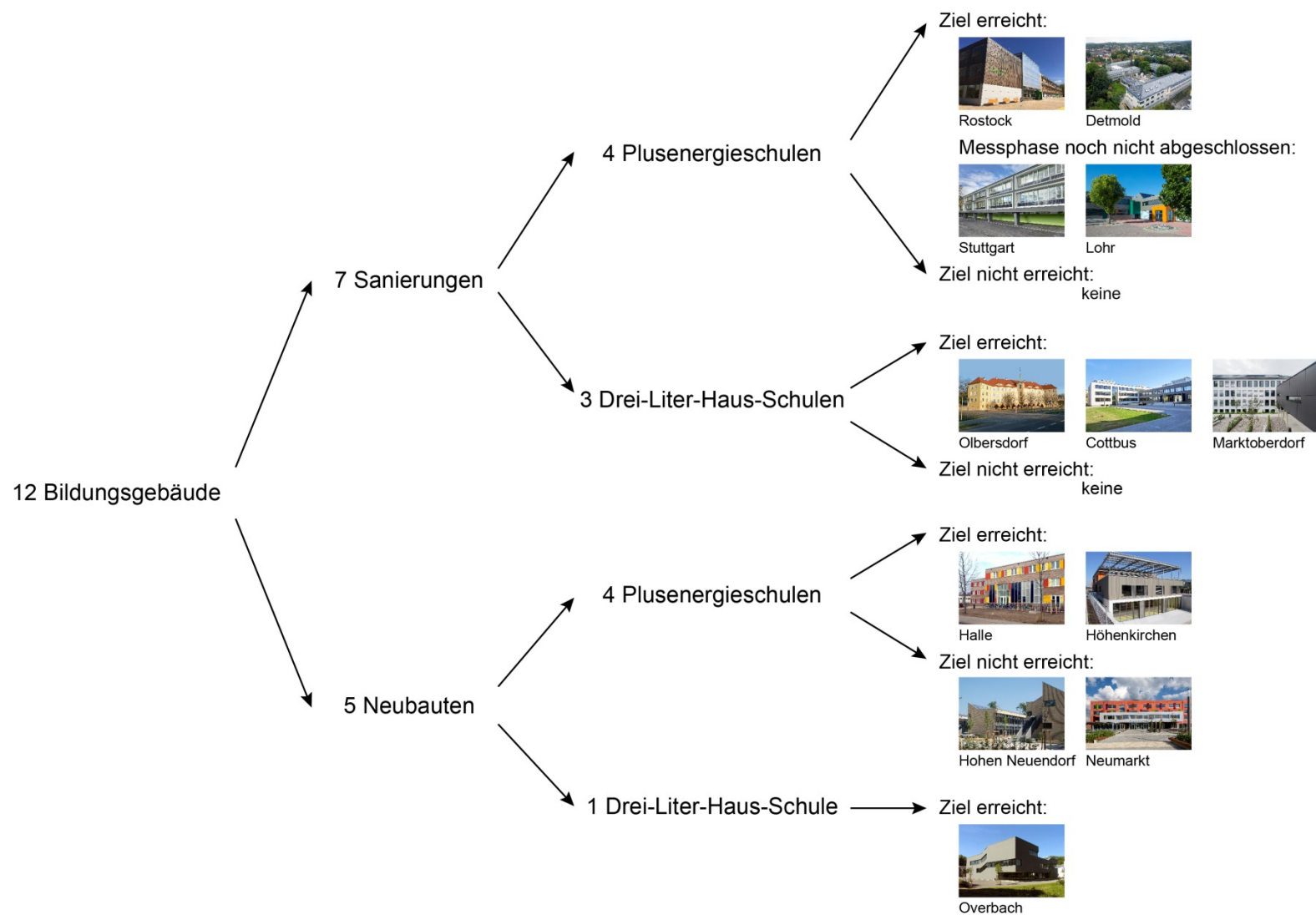
- Bei sanierten Geb. liegen im Mittel **82 %** der Raumlufth. im behaglichen Bereich
- Bei neuen Geb. liegen im Mittel **85 %** der Raumlufth. im behaglichen Bereich

Raumluftqualität

- Sanierte Gebäude überschreiten im Mittel zu **6 %** die CO₂-Konzentr. von 1.500 ppm
- Neue Gebäude überschreiten im Mittel zu **8 %** die CO₂-Konzentr. von 1.500 ppm

Endenergie

- Endenergiebedarf lag im Mittel vor Sanierung bei **232 kWh/m²a**
- Endenergiebedarf liegt im Mittel bei den sanierten Gebäuden bei **53 kWh/m²a**
- Endenergieverbrauch liegt im Mittel bei sanierten Gebäuden **unter Endenergiebedarf**
- Endenergiebedarf liegt im Mittel bei den neuen Gebäuden bei **41 kWh/m²a**
- Endenergieverbrauch liegt im Mittel bei neuen Gebäuden **unter Endenergiebedarf**



Lessons learned 1

Organisation

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

Wärmeschutz

- Gebäude mit exzellentem Wärmeschutz ausführen: $H'_T < 0,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, 3-fach-Wärmeschutzverglasung ($U_w < 0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g > 0,55$)

Heizung/Kühlung/Regelung

- Regenerative Energie nutzen für Wärmeerzeugung (z.B. Wärmepumpe, biogasbetriebenes BHKW, Pelletkessel,.....)
- Dachflächen mit Photovoltaik belegen
- Keine Klimatisierung (hoher Energieverbrauch, hygienische Probleme)
- Wenn Kühlung, dann nur passiv über erdreichgekoppelte Flächenkühlung (z.B. Erdsonden oder Erdkollektor)
- Gebäudeleittechnik (GLT) für Regelung von: Anlagentechnik, Beleuchtung, Belüftung und Sonnenschutz
- Raumlufttemperaturregelung über Einzelraumregelung nach Stundenplan

Lessons learned 2

Lüftung

- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Neubau: zentral, Sanierung: dezentral)
- Außenluftvorwärmung über erdreichgekoppelten Wärmetauscher (z.B. Erdsonden) zum Schutz vor Vereisung des Wärmetauschers
- Während der Heizperiode Lüftung über Lüftungsanlage, übrige Zeit: natürliche Fensterlüftung
- CO₂-geführte Lüftungsregelung (mindestens 3 Ventilatorstufen, CO₂-Konzentration < 1500 ppm)
oder
- Mechanische Lüftung nach Stundenplan (ca. 20 m³/(h*Person), zusätzlich Fensterlüftung in den Pausen (maximale CO₂-Konzentration < 1.500 ppm)
- Klassenräume mit Lüftungsampel ausstatten
- Sommerliche Nachtlüftung über automatisch öffnbare Fenster oder über Lüftungsanlage (Bypass)

Lessons learned 3

Beleuchtung

- LED-Beleuchtung
- Tageslicht- und präsenzabhängige Beleuchtung
(Beleuchtungsstärke: 300 lx für Schulbetrieb, 500 lx für Erwachsenenbildung)

Sonnenschutz

- Sonnenschutzmaßnahmen: Jalousien mit Lichtlenkung
- Jalousien im Sommer nachts in „Geschlossen-Stellung“. Zu Beginn der Schulstunde steht Jalousie so, dass 300 lx im Klassenraum vorhanden sind. Über Schüsselschaltung kann Jalousie vom Lehrer in entsprechende Stellung gebracht werden.

Inbetriebnahme/Monitoring/Betrieb

- Vor Abnahme der Bauleistung Datenpunktprüfung für alle Datenpunkte durchführen
- Zur Abnahme der Anlagentechnik die Messwerte der GLT heranziehen und unter realen Betriebsbedingungen Prüfung durchführen – auch die Nutzer einbeziehen
- Monitoring durchführen zur Inbetriebnahme und zur Gewährleistung eines effizienten Gebäudebetriebs

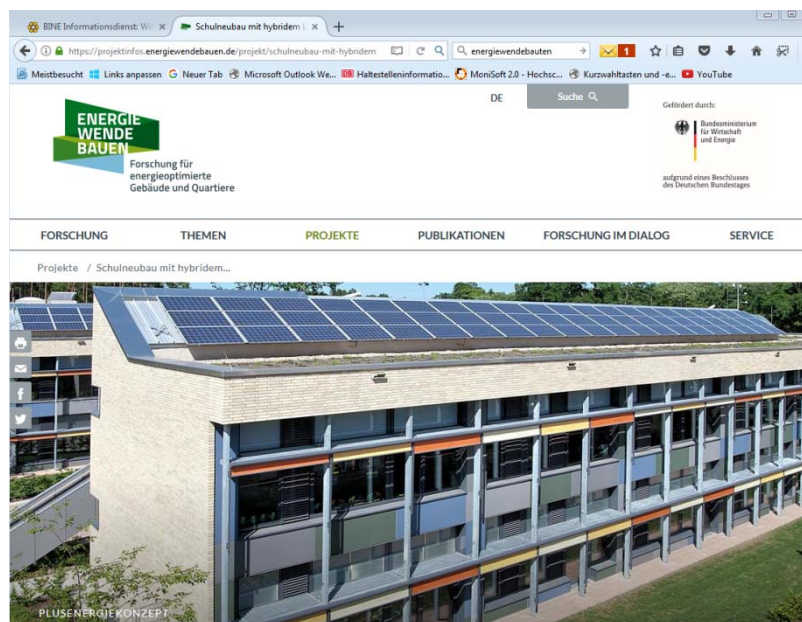
Info-Portale

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

<https://projektinfos.energiwende-bauen.de/>



www.eneff-schule.de

