

ENERGIEEFFIZIENTE SCHULEN – VON DER 3-LITER-HAUS-SCHULE BIS ZUM EFFIZIENZHAUS PLUS BILDUNGSBAU

- Abteilung Energieeffizienz und Raumklima, Arbeitsgruppe Gebäude – Quartier - Stadt
- Hans Erhorn – Prinzipal Adviser

Auf Wissen bauen



Gesellschaftliche Randbedingungen

Pariser
Klimakonferenz 2015

Ziel ist die Erderwärmung auf deutlich unter 2 °C (möglichst unter 1,5 °C) zu begrenzen, Länder definieren ihre Klimaschutzziele selbst

Bundes-Klimaschutz-
gesetz 2021

Deutschland soll bis 2045 klimaneutral werden, zulässige Jahresemissionsmengen u.a. für den Gebäudesektor, öffentliche Hand hat eine Vorbildfunktion

Energetische Sanierung von Schulen hat einen besonderen Stellenwert:

- Bildungseinrichtungen prägen nachhaltig die Gesellschaftswerte
- Größtmögliche Durchdringung der Gesellschaft: sozial, kulturell, alle Altersgruppen
- Öffentliche Hand wird ihrer Vorbildwirkung gerecht



Forschungsinitiativen des Bundes



Energieeffiziente Schulen – EnEff:Schule

- 2008 – 2017
- 3-Liter-Haus Schulen, Plusenergieschulen
- 12 Pilotvorhaben
- Unterschiedliche Anforderungsniveaus:
 - 3-Liter: Raumheizung + Hilfsenergie
 - Plusenergie: Primär-/Endenergie
mit/ohne Nutzerstrom

Effizienzhaus Plus – Bildungsbauten

- 2015 – laufend (2011 – laufend)
- Effizienzhaus Plus Standard
- 7 Pilotvorhaben
- Festgelegte Definition:
 - EnEV/GEG-Rahmen + Nutzerstrom

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 | Obersdorf  | 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 |

EnEff:Schule

Overbach



© Ingenieurbüro für Umweltfragen, Aachen

Detmold



© pape oder semke ARCHITEKTURBÜRO

Halle



© Hochschule Magdeburg-Stendal

Rostock




© Institut für Gebäude-, Energie- und Lichtplanung

Hohen Neuendorf



© IBUS Architekten und Ingenieure

Cottbus



© Brandenburgische TU Cottbus-Senftenberg

Olbersdorf



© AIZ Bauplanungsges.

Lohr



© Architekturbüro Werner Haase

Stuttgart



© Saint-Gobain/Olaf Roth

Neumarkt



© Berschneider+Berschneider/ Petra Kellner

Marktobersdorf



© Rupp Fotografie/ Hermann Rupp

Höhenkirchen



© Bürgermeisteramt Höhenkirchen/Wilhelm

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

Querauswertung

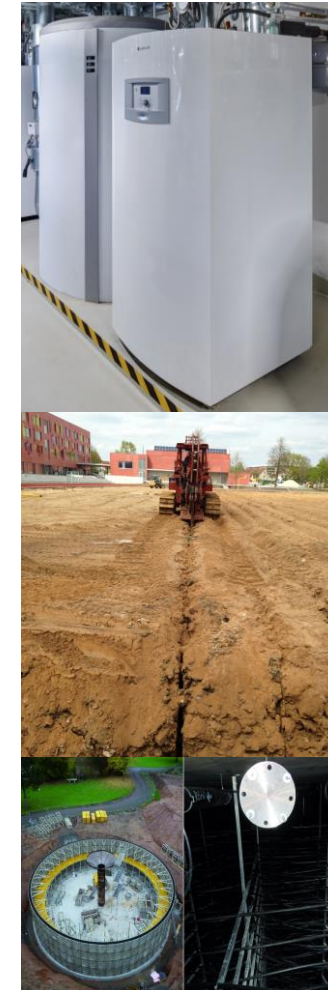
- Eingesetzte innovative Technologien
- Monitoringdaten
 - Raumlufttemperaturen/-feuchte
 - Luftqualität
 - Energieverbrauch (berechnet/gemessen)
 - Energieverbrauchsanteile (Lüftung, Beleuchtung, Nutzerstrom)
- Kosten
 - Netto-Investitionskosten KG 300/KG 400
 - Energiekosten
- Sozialwissenschaftliche Erhebungen bei Schülern und Lehrern zum Raumklima, Nutzereingriffsmöglichkeiten, Lernklima

| Innovative Komponenten | | SANIERUNG | | | | | | NEUBAU | | | | | |
|------------------------|------------------------------|-----------|-----------|---------|------|---------|--------------|---------|---------------------------|-------|-----------------|----------|----------|
| | | Stuttgart | Obersdorf | 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 | | | ● | | ● | ● | ● | ● | | | | |

Die EnEff:Schule-Schulen - Wärmeversorgung

- 3 verschiedene Hauptwärmeerzeuger

| | Schulort | Wärmepumpe | | Fernwärme | Pellet-Kessel |
|-----------|-----------------|------------|-------------|-----------|---------------|
| | | Geothermie | Eisspeicher | | |
| Sanierung | Olbersdorf | ● | | | |
| | Detmold | | | ● | |
| | Lohr | | ● | | |
| | Cottbus | | | ● | |
| | Marktoberdorf | | | ● | |
| | Rostock | | | ● | |
| | Stuttgart | ● | | | |
| Neubau | Halle | | | ● | |
| | Hohen Neuendorf | | | | ● |
| | Overbach | ● | | | |
| | Neumarkt | ● | | | |
| | Höhenkirchen | ● | | | |

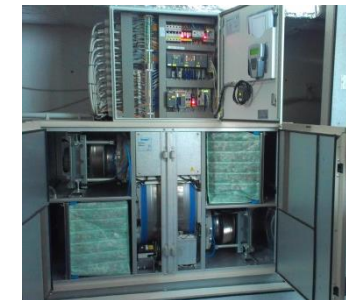


Quelle Bilder: [1], [2], [3]

Die EnEff:Schule-Schulen

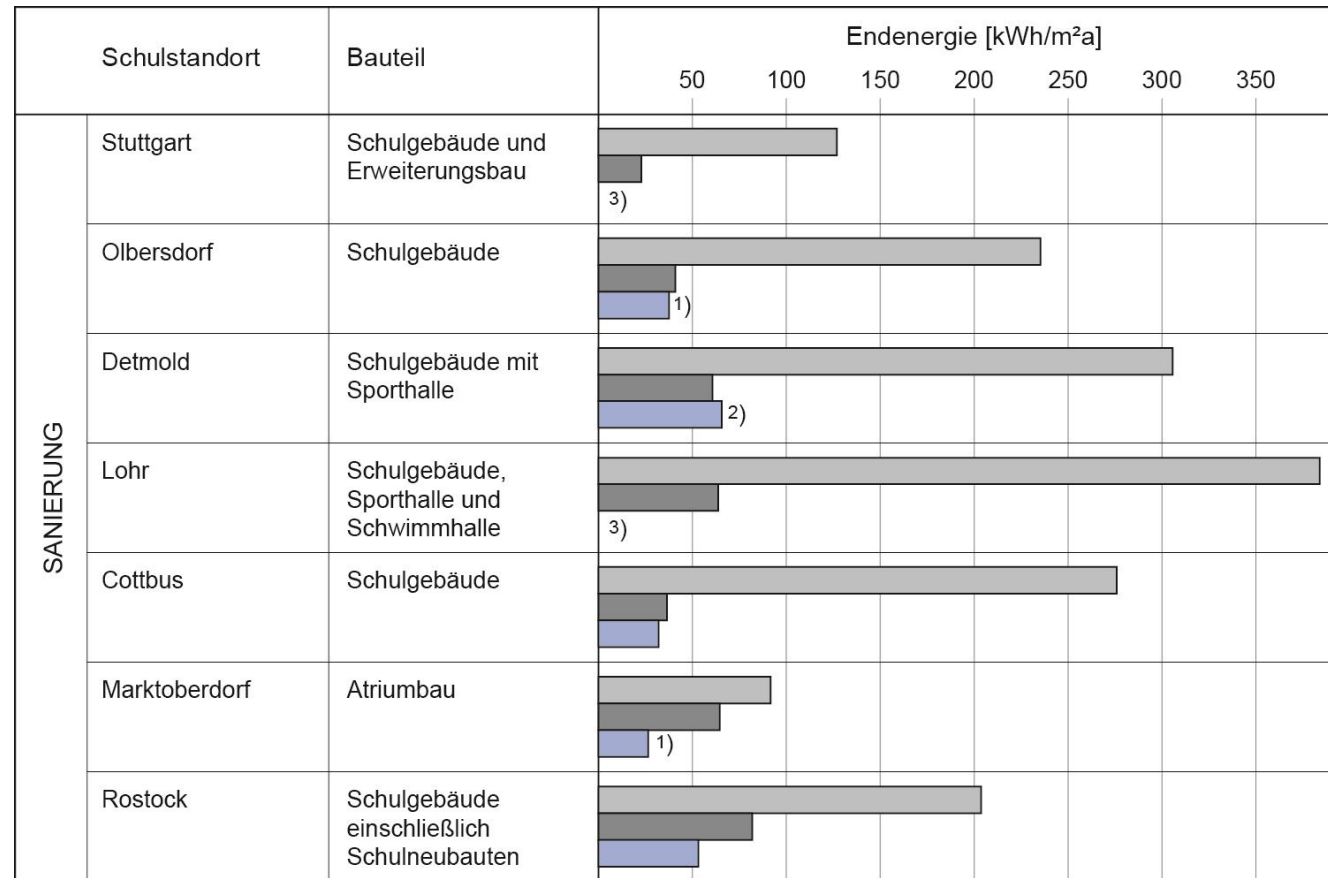
- 4 verschiedene Arten der Lüftung

| | Schulort | Zentrale mech. Lüftung | Dezentrale mech. Lüftung | Hybride Lüftung | Abluftanlagen |
|-----------|----------------------|------------------------|--------------------------|-----------------|---------------|
| Sanierung | Olbersdorf | | | | ● |
| | Detmold | | ● | | |
| | Lohr | ● | ● | | |
| | Cottbus | ● | | | |
| | Marktoberdorf | | ● | | |
| | Rostock Stuttgart | ● | | ● | |
| Neubau | Halle | ● | | | |
| | Hohen Neuendorf | | | ● | |
| | Overbach | ● | | | |
| | Neumarkt | ● | | | |
| | Höhenkirchen | | | ● | |



Quelle Bilder: [4], [5]

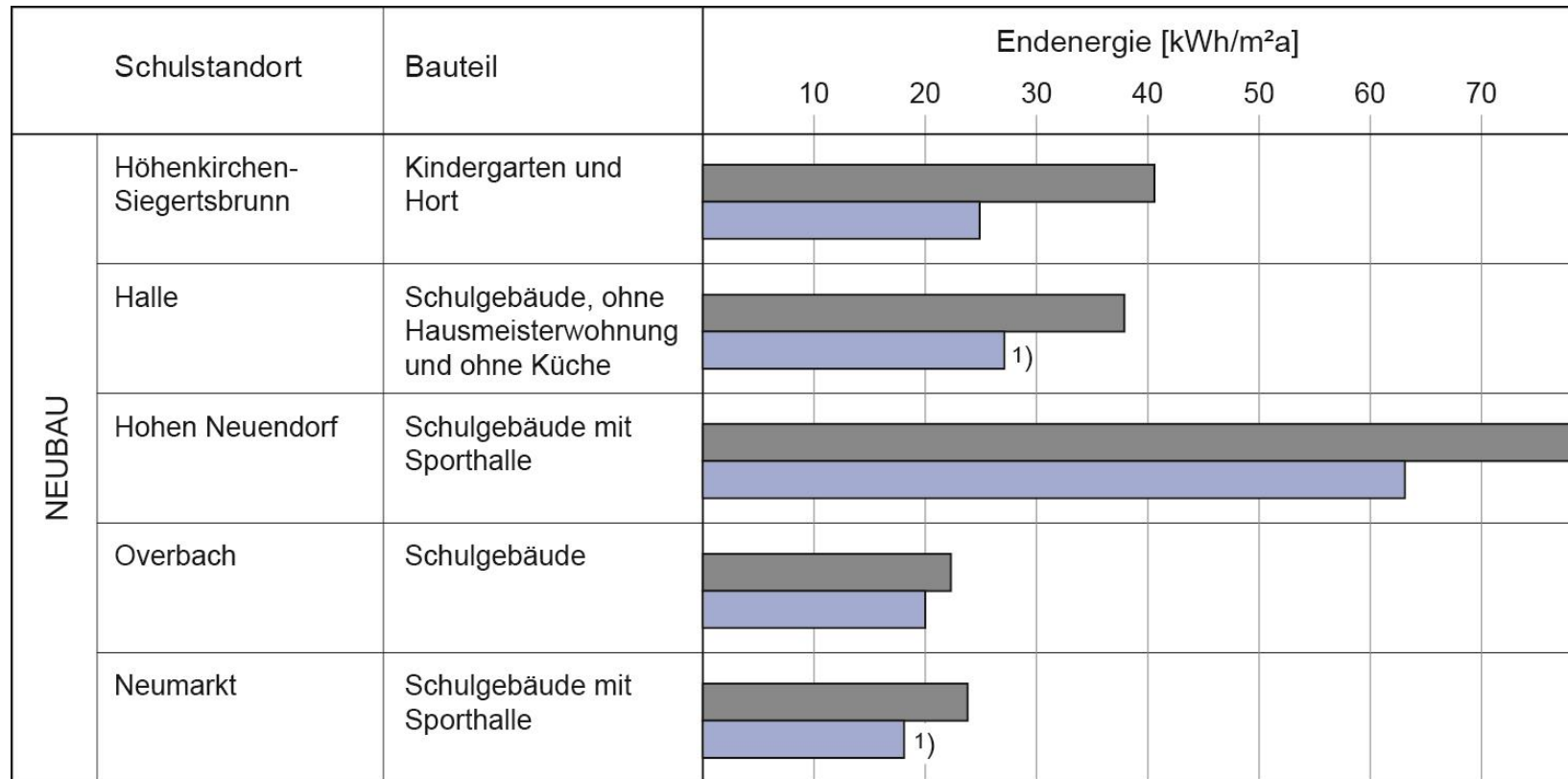
Querauswertung Endenergie - Sanierung





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

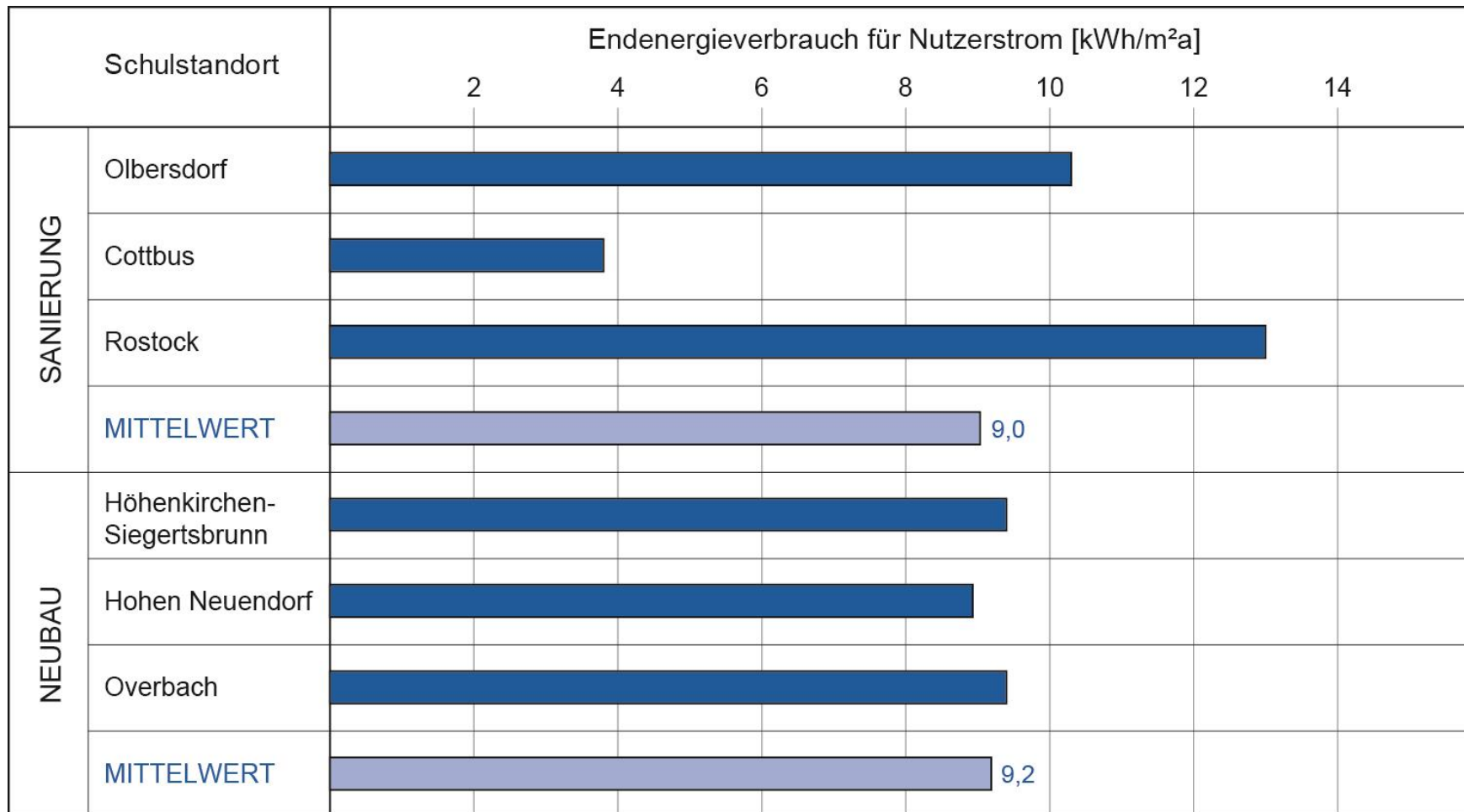
- 1) Ohne Beleuchtung und ohne Trinkwarmwassererwärmung
- 2) Nur Heizung und TWW, ohne Hilfsenergie
- 3) Noch keine Messwerte vorhanden

Querauswertung Endenergie - Neubau

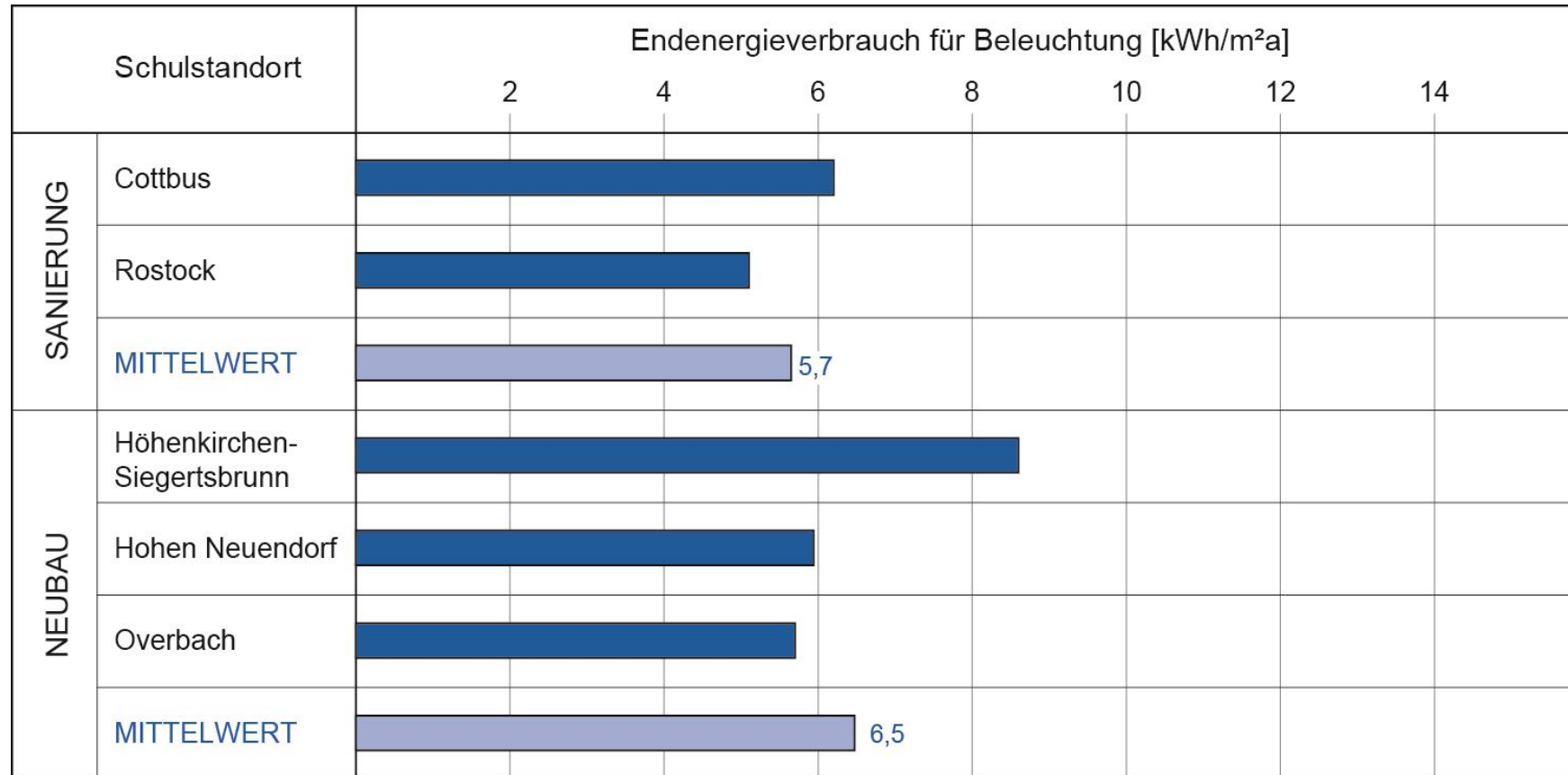


 Berechneter Bedarf
 Gemessener Verbrauch
 1) Ohne Beleuchtung

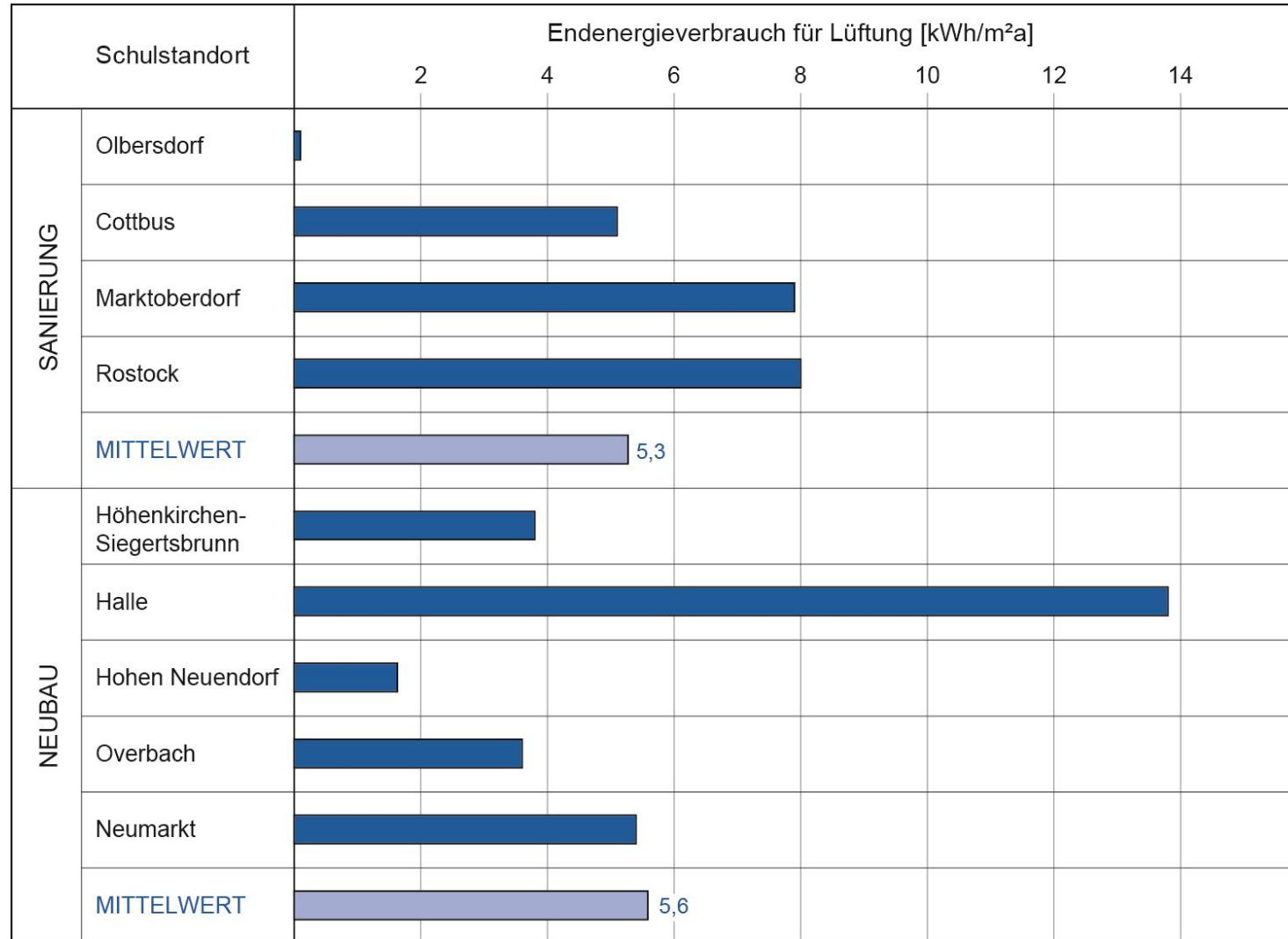
Querauswertung Endenergieverbrauch Nutzerstrom



Querauswertung Endenergieverbrauch für Beleuchtung



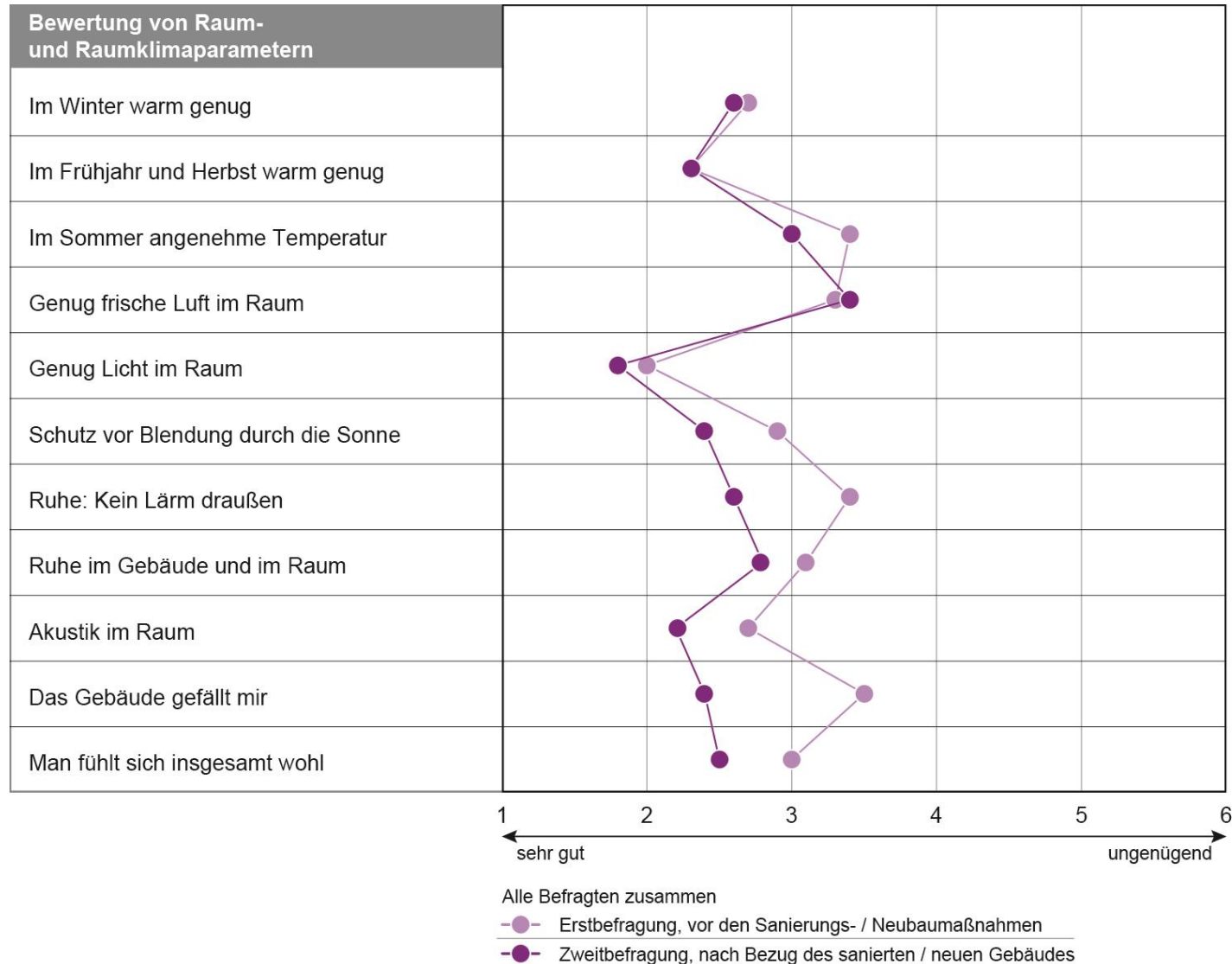
Querauswertung Endenergieverbrauch für Lüftung



Luftqualität

- Nach wie vor ist CO₂ die vorherrschende Bewertungsgröße
- Es wird empfohlen, CO₂-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 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 CO₂-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:
 - CO₂-geführte Lüftung
 - stundenplangeführte Lüftung
- Beispiel für CO₂-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 CO₂-Konzentrationen führt
- Zur Unterstützung der Fensterlüftung eignen sich Lüftungsampeln, mit denen über die Farben grün, gelb und rot die CO₂-Konzentration im Klassenraum angezeigt wird. Ein solches Gerät zeigt kontinuierlich die Raumluftqualität an und gibt dadurch einen Hinweis, wann gelüftet werden soll. Folgende Farbzusordnungen 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 Lüftungsampel
- 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.

Lessons Learned

Organisation

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

Monitoring / Inbetriebnahme

- Monitoring durchführen zur Inbetriebnahme und für effizienten Gebäudebetrieb
- Vor Abnahme der Bauleistung Datenpunktprüfung durchführen
- Abnahme der Anlagentechnik: Messwerte der GLT heranziehen, unter realen Betriebsbedingungen prüfen (Nutzer einbeziehen)

Wärmeschutz

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

Lüftung

- Lüftungsanlage mit WRG (Neubau: zentral, Sanierung: dezentral)
- Außenluftvorwärmung über erdreichgekoppelte Wärmetauscher (Schutz vor Vereisung)
- Heizperiode: Lüftungsanlage
übrige Zeit: natürliche Fensterlüftung oder
- CO₂-geführte Lüftungsregelung: mind. 3 Ventilatorstufen, $< 1500 \text{ ppm}$
- Mechanische Lüftung nach Stundenplan: $\sim 20 \text{ m}^3/(\text{h} \cdot \text{Person})$, zus. Fensterlüftung in den Pausen, $< 1500 \text{ ppm}$
- Sommerliche Nachtlüftung über automatische Fenster oder Lüftungsanlage mit Bypass

Heizung/Kühlung/Regelung

- Regenerative Energie nutzen für Wärmeerzeugung
- Dachflächen mit PV belegen
- Keine Klimatisierung (hoher Energieverbrauch, hygienische Probleme)
 - Wenn Kühlung, dann nur passiv über erdreichgek. Flächenkühlung
- Gebäudeleittechnik (GLT) für die Regelung von Anlagentechnik, Beleuchtung, Belüftung und Sonnenschutz (einheitliche Bedienoberfläche)
- Raumtemperaturregelung über Einzelraumregelung nach Stundenplan

Beleuchtung/Sonnenschutz

- LED-Beleuchtung
- Tageslicht- und präsenzabhängige Beleuchtung (300 lx für Schulbetrieb, 500 lx für Erwachsenenbildung)
- Jalousien mit Lichtlenkung: nachts geschlossen, zu Beginn der Schulstunde 300 lx, Schlüsselschaltung für Lehrer

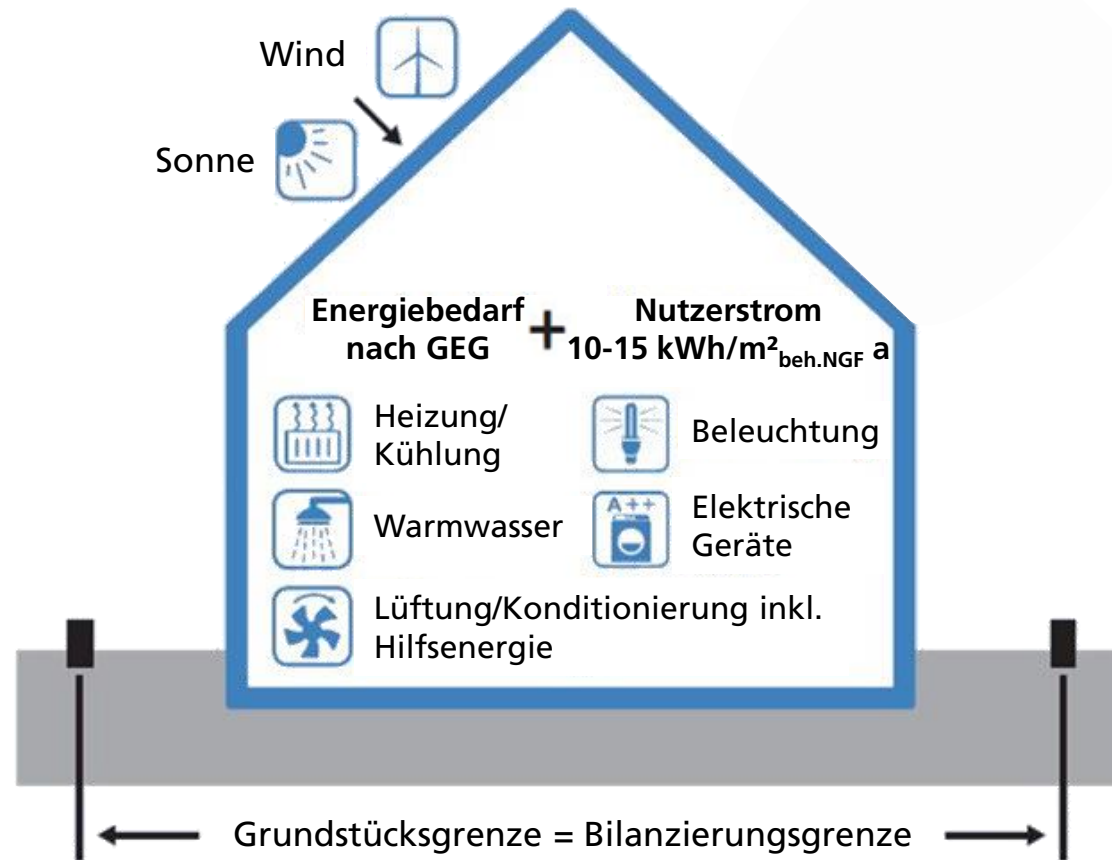
Effizienzhaus Plus Bildungsbauten



Wie wird der Effizienzhaus Plus-Standard definiert?

Jahresendenergiebedarf < 0

Jahresprimärenergiebedarf < 0



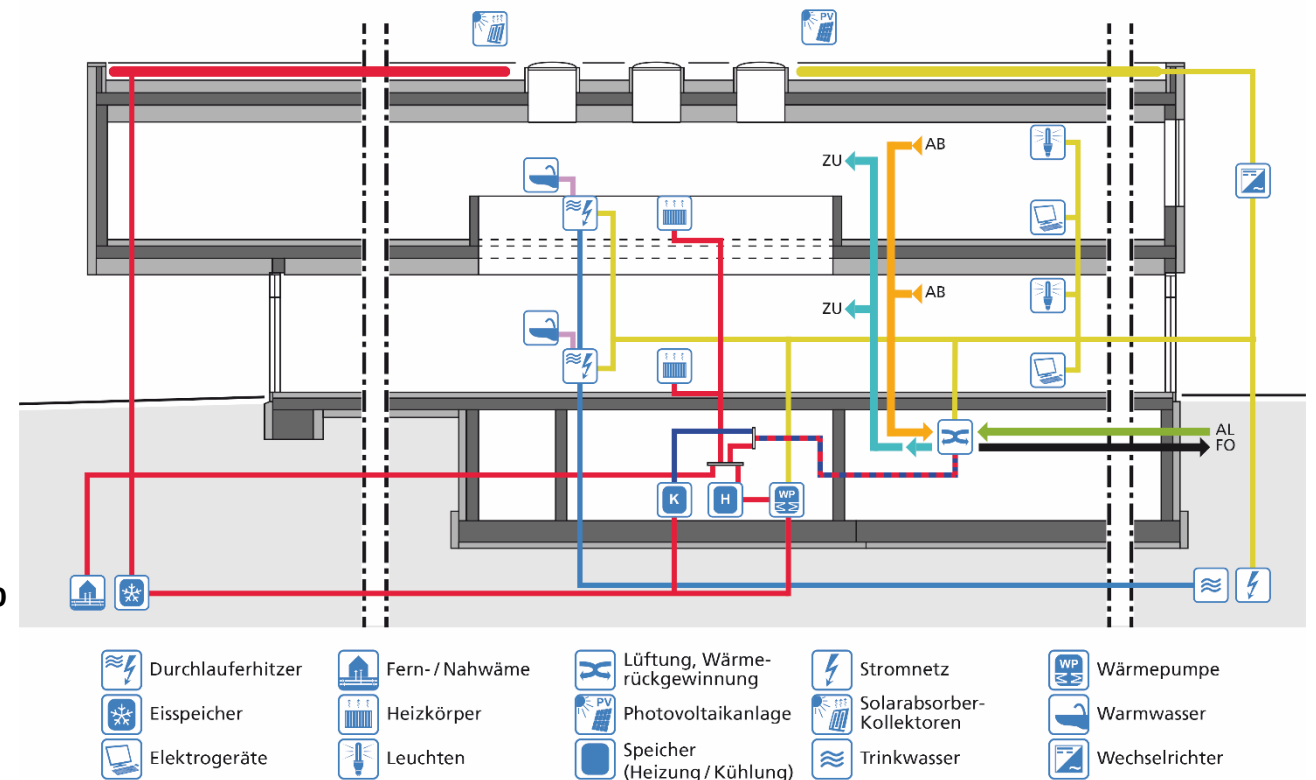
Quelle: Broschüre „Wege zum Effizienzhaus Plus“ (BMI/BBSR)

Louise-Otto-Peters-Schule, Hockenheim

| | |
|-----------------------------------|--|
| Standort | Schubertstraße 11, 68766 Hockenheim |
| Baujahr | 2016–2017 |
| Bauherrschaft | Eigenbetrieb Bau und Vermögen Rhein-Neckar-Kreis |
| Architekt | Roth.Architekten.GmbH, Schwetzingen |
| Monitoring | ina Planungsgesellschaft mbH, Darmstadt |
| Technische Gebäude- ausrüstung | Ingenieurbüro Willhaug GmbH, Mosbach; BF Controls Ltd., Schwabach; Beck Elektroanlagen GmbH, Helmstadt-Bargen |



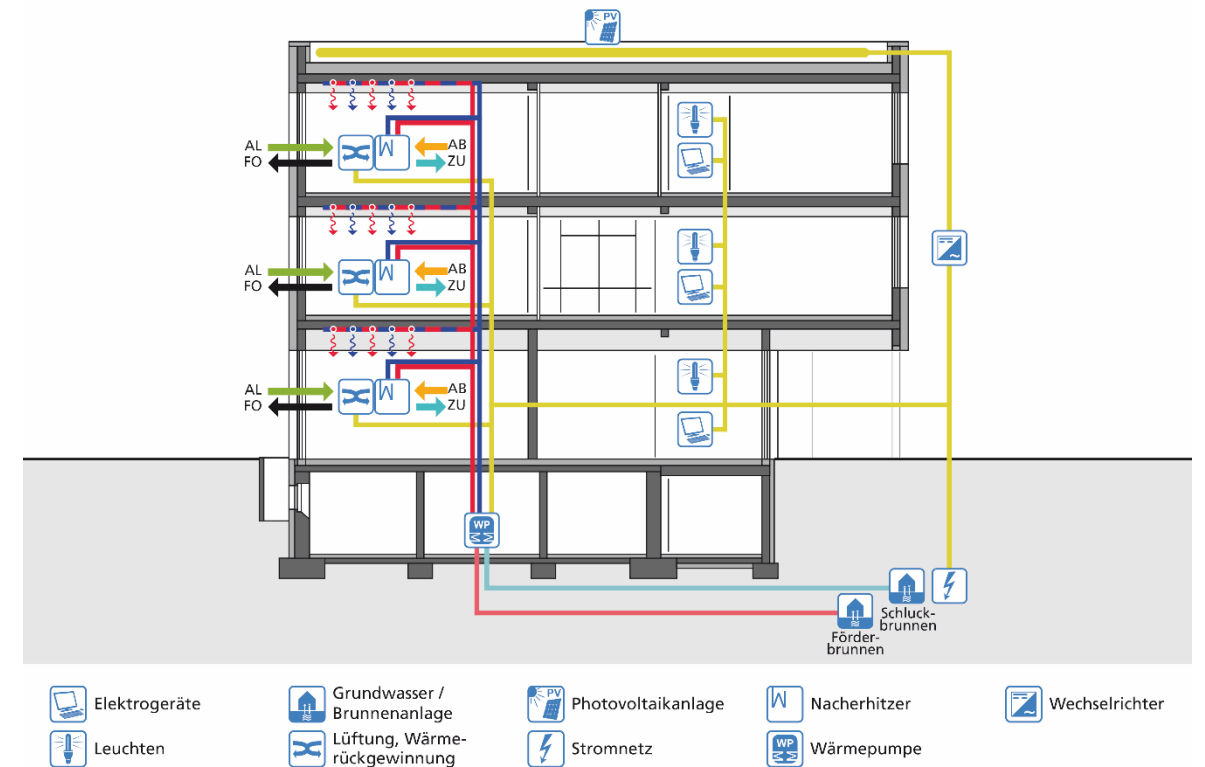
- Bivalente Wärmeenerzeugung mit Sole-Wasser-Wärmepumpe und Fernwärme für Spitzenlast
- Heizung zu 10 % über Radiatoren und 90 % Luftheizung



Gymnasium in Neutraubling

| | |
|---------------------------------|--|
| Standort | Gregor-Mendel-Straße 5, 93073 Neutraubling |
| Baujahr | Bauabschnitt 1: Neubau 2017–2018; Bauabschnitte 2 und 3: Sanierung 2020–2021 |
| Bauherrschaft | Landkreis Regensburg |
| Architekt | Architekturbüro Winkler-Architekten, Wörth an der Donau |
| Monitoring | Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik – IET; EA Systems Dresden GmbH |
| Technische Gebäudeausrüstung | Ingenieurbüro Scholz GmbH & Co. KG, Regensburg |

- Reversible Wasser-Wasser-Wärmepumpen mit Brunnen als Wärmequelle
- Aktive Kühlung für Serverräume, passive Kühlung (direkte Brunnenwassernutzung) für Klassenzimmer
- Heiz- und Kühldecken

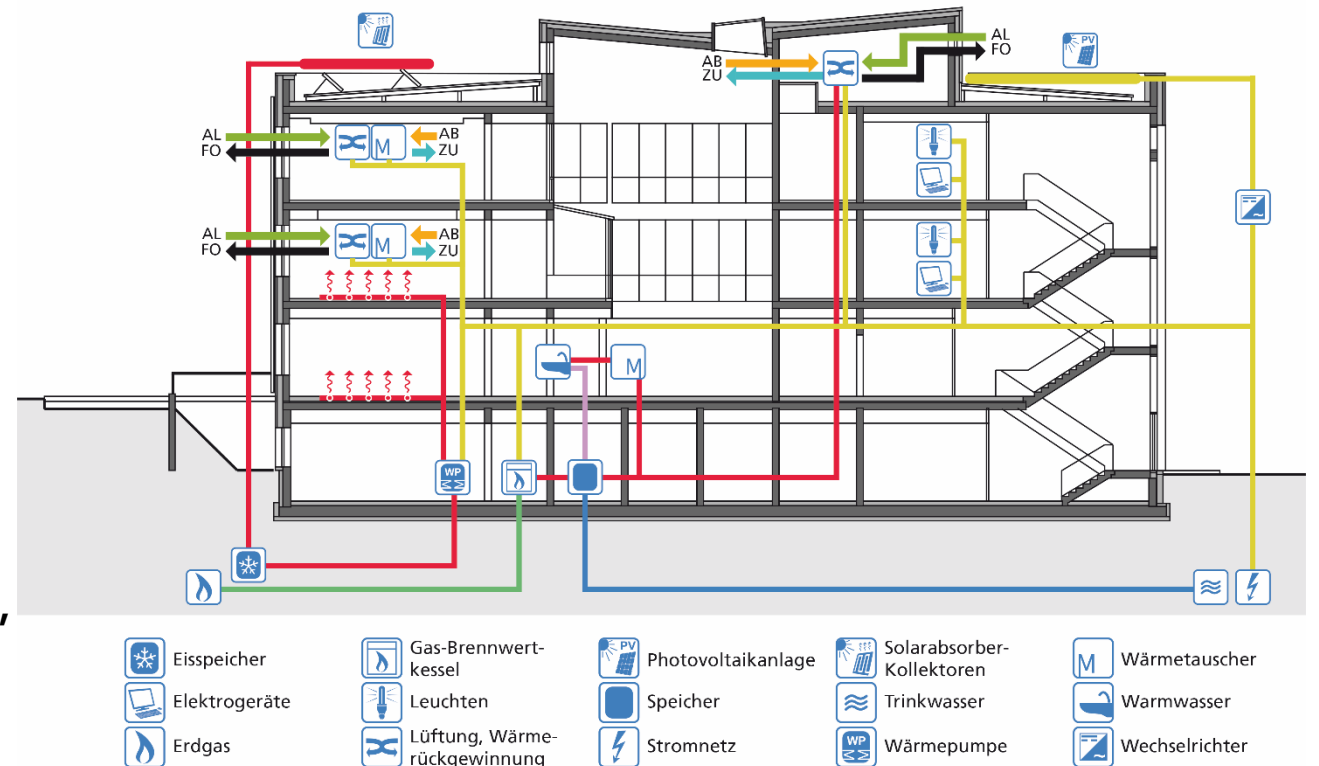


Berufliches Schulzentrum in Mühldorf am Inn

| | |
|------------------------------|---|
| Standort | Innstraße 41, 84453 Mühldorf am Inn |
| Baujahr | 2016–2020 |
| Bauherrschaft | Landkreis Mühldorf am Inn |
| Architekt | ARGE Schmuck-Anglhuber: Architekturbüro Schmuck, München; ARIS – Anglhuber und Reithmeier Partnerschaftsgesellschaft mbB, Kraiburg am Inn |
| Monitoring | Fachhochschule Rosenheim |
| Technische Gebäudeausrüstung | COPLAN AG, Mühldorf am Inn; Ingenieurteam Mühldorf, Mühldorf am Inn |



- Bivalente Wärmeerzeugung mit Sole-Wasser-Wärmepumpe und Gas-Brennwertkessel für Spitzenlast
- Vierleiterverteilsystem: 45/35 °C für Neubau, 70/40 °C für Bestand und Trinkwarmwasser

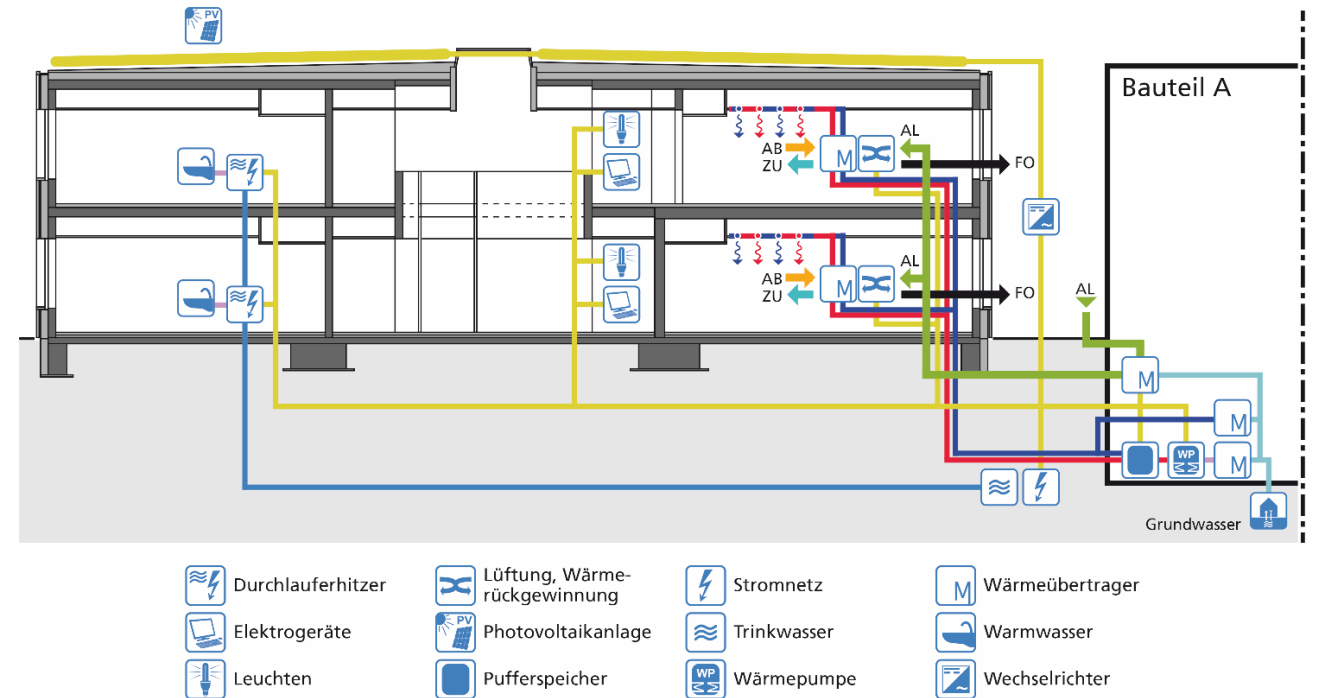


Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren

| | |
|---------------------------------|--|
| Standort | Neugablonzer Straße 38, 87600 Kaufbeuren |
| Baujahr | 2017–2020 |
| Bauherrschaft | Stadt Kaufbeuren |
| Architekt | köhler architekten + beratende ingenieure, Gauting in Kooperation mit mse architekten gmbh, Kaufbeuren |
| Monitoring | EA Systems Dresden GmbH; Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik – IET |
| Technische Gebäudeausrüstung | Güttinger Ingenieure, Kempten |



- Bivalente Wärmeerzeugung mit Wasser-Wasser-Wärmepumpe und Power-to-Heat mit überschüssigem PV-Strom
- Deckenheizung/-kühlung und Luftheizung/-kühlung

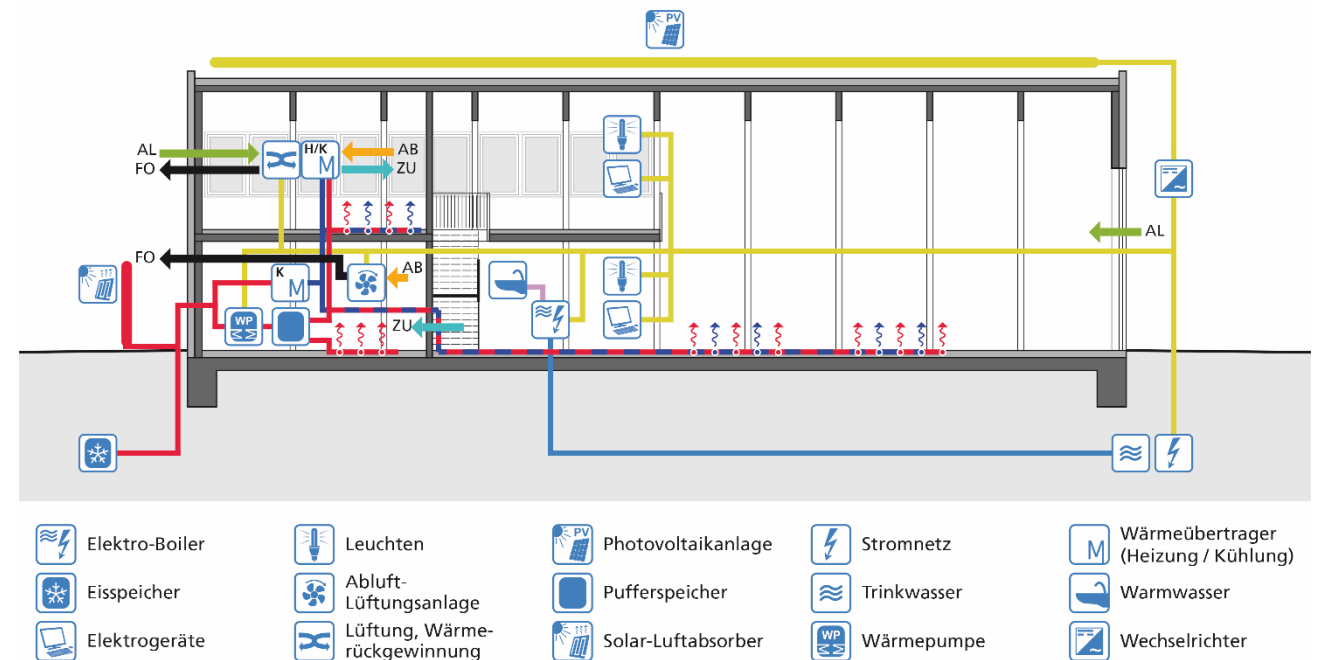


Forschungshalle der HS Ansbach in Feuchtwangen

| | |
|---------------------------------|--|
| Standort | An der Hochschule 1, 91555 Feuchtwangen |
| Baujahr | 2017–2018 |
| Bauherrschaft | Stadt Feuchtwangen |
| Architekt | HEF – Holzinger Eberl Führaußer Architekten Ansbach, in Kooperation mit dem Stadtbauamt Feuchtwangen |
| Monitoring | ina Planungsgesellschaft mbH, Darmstadt |
| Technische Gebäudeausrüstung | Bautz Ingenieurbüro, Ansbach |



- Wärmeerzeugung mit Sole-Wasser-Wärmepumpe
- Heizung und Kühlung über Fußbodenheizung bzw. Aktivierung der Bodenplatte

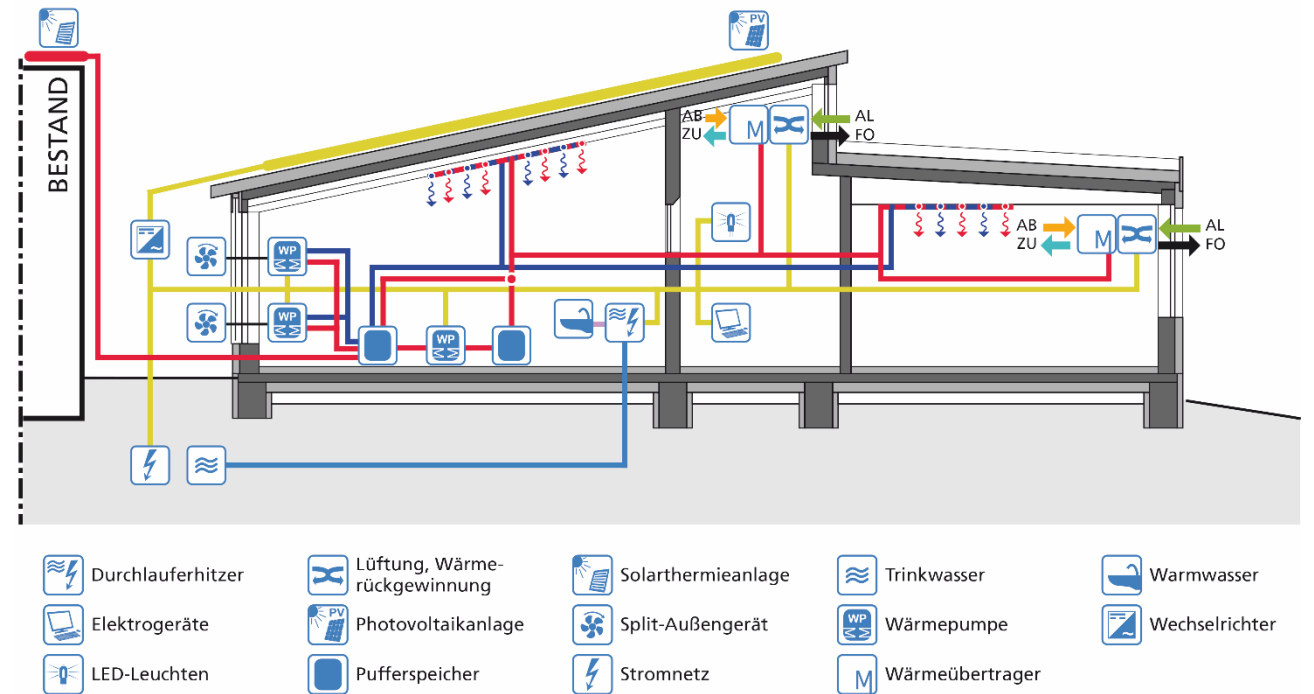


Erweiterungsbau der Grundschule in Giebelstadt



| | |
|------------------------------|--|
| Standort | Grundschule Giebelstadt, Schulstraße 1, 97232 Giebelstadt |
| Baujahr | 2017–2018 |
| Bauherrschaft | Markt Giebelstadt |
| Architekt | Haase & Bey Architekten PartG mbB, Karlstadt |
| Monitoring | Technische Universität Dresden, Institut für Energietechnik – IET; EA Systems Dresden GmbH |
| Technische Gebäudeausrüstung | HGT Ingenieure GmbH, Eibelstadt |

- Kaskadierendes Wärmepumpensystem mit unterstützender Solarthermie (Nachbargebäude)
- Wärmeverteilung über Deckensegel und Lüftungsanlage

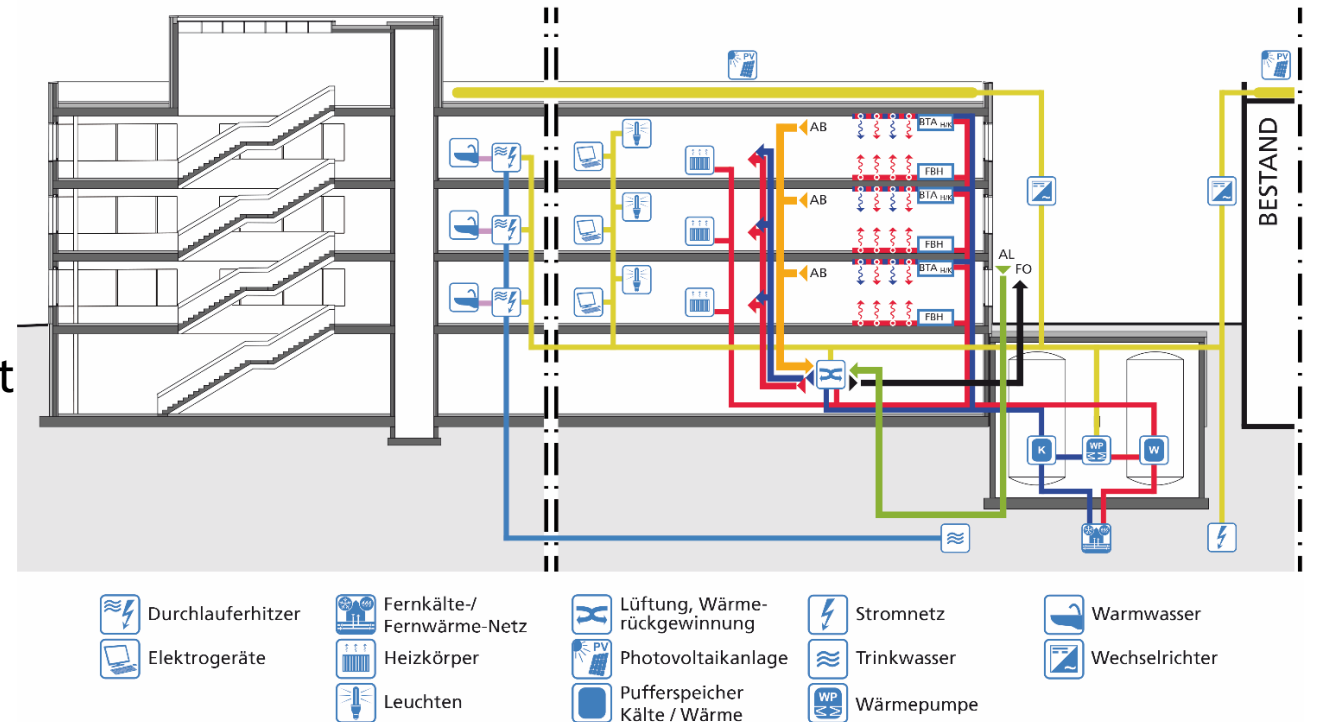


Ersatzneubau der Hochschule Ulm

| | |
|------------------------------|---|
| Standort | Albert-Einstein-Allee 53, 89081 Ulm |
| Baujahr | 2018–2020 |
| Bauherrschaft | Land Baden-Württemberg vertreten durch Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Amt Ulm |
| Architekt | Entwurfsplanung (LPH 1–4): Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Amt Ulm; Ausführungsplanung (LPH 5–8): SPREEN ARCHITEKTEN Partnerschaft mbB, München; Baudurchführung (LPH 6–8): planer gmbh sterr-ludwig, Blaustein |
| Monitoring | Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Abteilung EER, Holzkirchen |
| Technische Gebäudeausrüstung | ee concept, Darmstadt; Planungsgruppe M+M AG, Böblingen, mit fachlicher Unterstützung von Vermögen und Bau BW, Amt Ulm und Hochschule Ulm |



- Reversible Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Fernwärme zur Spitzenlastabdeckung und Fernkälteabkühlung
- Wärmeübergabe durch Bauteilaktivierung, Fußbodenheizung, Heizkörper und Luftheizung



Übersicht der Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard

Schulart

Hockenheim



Berufliches Schulzentrum



Neutraubling



Gymnasium



Mühldorf a. Inn



Berufliches Schulzentrum



Kaufbeuren



Gymnasium



Feuchtwangen



Hochschule



Giebelstadt



Grundschule



Ulm



Hochschule



Übersicht der Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard

Schulart
NGF

| | Hockenheim | Neutraubling | Mühldorf a. Inn | Kaufbeuren | Feuchtwangen | Giebelstadt | Ulm |
|----------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|--------------------------|------------------------|------------------------|---------------------------|
| | | | | | | | |
| Schulart | Berufliches Schulzentrum | Gymnasium | Berufliches Schulzentrum | Gymnasium | Hochschule | Grundschule | Hochschule |
| NGF | 3.766 m ² | 10.388 m ² | 9.596 m ² | 8.180 m ² | 531 m ² | 624 m ² | 10.003 m ² |

Übersicht der Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard

| | Hockenheim | Neutraubling | Mühldorf a. Inn | Kaufbeuren | Feuchtwangen | Giebelstadt | Ulm |
|----------|---|--|--|--|---|--|---|
| Schulart |  Berufliches Schulzentrum |  Gymnasium |  Berufliches Schulzentrum |  Gymnasium |  Hochschule |  Grundschule |  Hochschule |
| NGF | 3.766 m ² | 10.388 m ² | 9.596 m ² | 8.180 m ² | 531 m ² | 624 m ² | 10.003 m ² |
| Maßnahme | Neubau | Neubau / Sanierung | Neubau | Neubau / Sanierung | Neubau | Neubau | Neubau |

Querauswertung Bildungsbauten: Planungsdaten

- **Baulicher Wärmeschutz**
- **Lüftungskonzepte**
- **Wärmeversorgung: Art**
 - Thermische Nennleistung der Wärmepumpen
 - Monovalente Wärmepumpen: $22 - 63 \text{ W/m}^2_{\text{beh. NGF}}$
 - Wärmepumpen als Grundlast: $8 - 20 \text{ W/m}^2_{\text{beh. NGF}}$
- **Strombedarf Beleuchtung und Nutzerstrom:**
 - Strombedarf für Geräte höher als Strombedarf für Beleuchtung
 - Summe Endenergiebedarf: $13 \text{ bis } 21 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$;
 $\varnothing = 16,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$
- **Photovoltaik:**
 - Flächen: $246 - 2.536 \text{ m}^2$, $\varnothing = 0,3 \text{ m}^2_{\text{PV}} / \text{m}^2_{\text{NGF}}$
 - Peakleistung: $\varnothing = 51 \text{ W}_p / \text{m}^2_{\text{beh. NGF}}$
 - Eigennutzungsgrad: $40 - 75 \%$ des erzeugten PV-Stroms
- **Endenergiebilanz inkl. Überschuss**
- **Primärenergiebilanz inkl. Überschuss:**
 - PE-Bedarf: $18 - 34 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$; PE-Gutschrift: $38 - 123 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$
 - PE-Überschuss: $\varnothing = 39 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$



© Winkler-Architekten



© mse architekten



© Haase-Bey Architekten



© Rhein-Neckar-Kreis



© ARIS Architekten



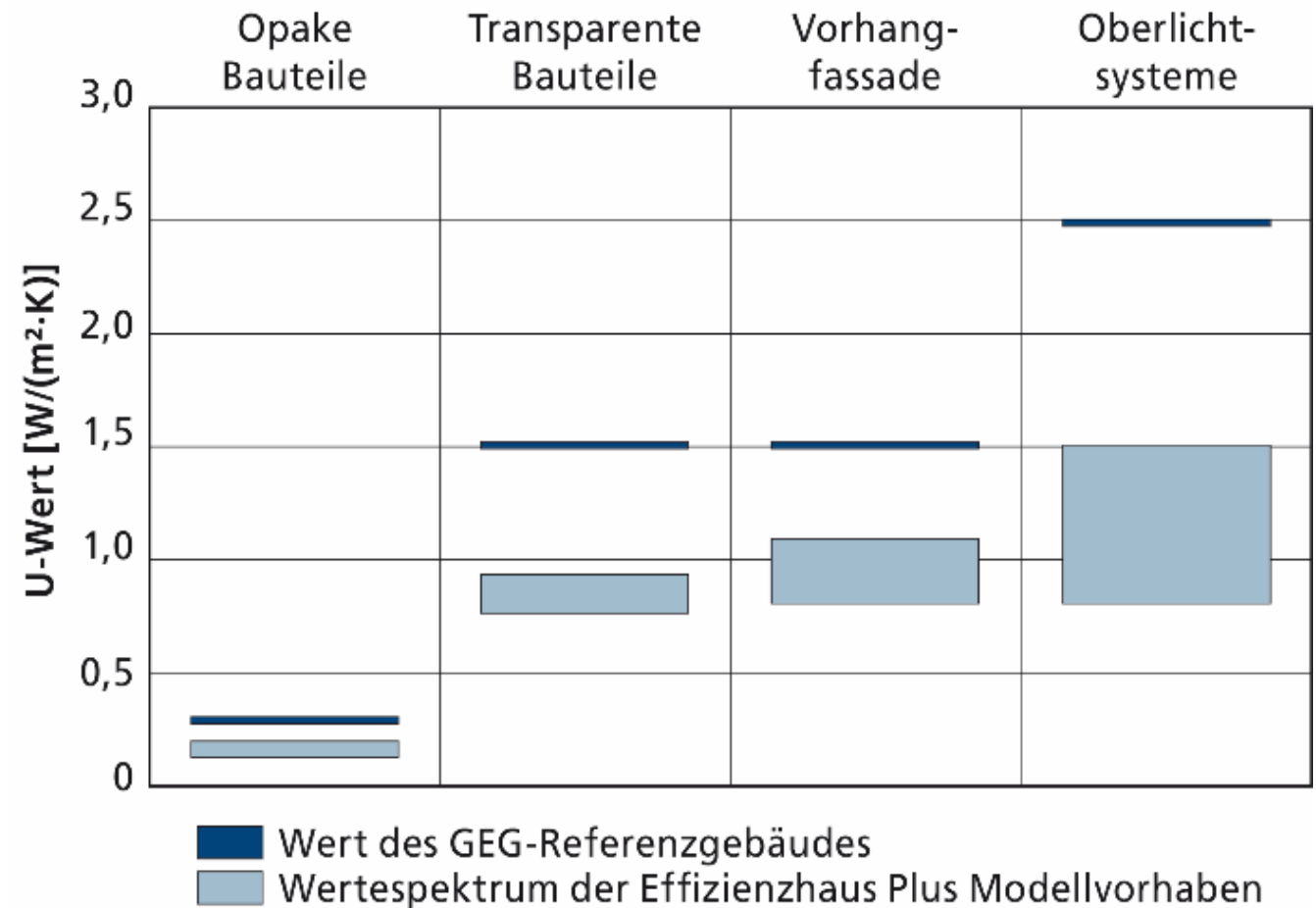
© Stadt Feuchtwangen



© SPREEN ARCHITEKTEN

Querauswertung Bildungsbauten: Baulicher Wärmeschutz

- Hochwertig, aber nicht außergewöhnlich
- Unterschreitung U-Werte des Referenzgebäudes um
 - 39 bis 68 %
 - $\emptyset = 50 \%$



Querauswertung Bildungsbauten: Lüftungsanlagen

- Lüftungssituation in Bildungsbauten besonders wichtig: Sicherstellung einer guten Raumlufthqualität
- Sehr unterschiedliche Lüftungskonzepte: geprägt durch individuelle Nutzung
- Dezentral = raumweise; zentral = bauabschnittsweise
- Hohe Wärmerückgewinnungsgrade 70 – 90 %
- Regelung: meist in Abhängigkeit der Raumlufthqualität, natürliche Lüftung im Sommer

| | Lüftungskonzept der Lehrräume | | | | | | |
|-------------------------|---|---------------------------|--|---|---|---|---------------------------------|
| | Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim | Gymnasium Neutraubling | Berufliches Schulzentrum Mühldorf am Inn | Jakob-Brucker- Gymnasium Kaufbeuren | Forschungshalle HS Ansbach Feuchtwangen | Erweiterung Grundschule Giebelstadt | Ersatzgebäude Hochschule Ulm |
| Dezentral | | | | | | | |
| Zentral | | | | | | | |
| Wärmerück- gewinnung | 84 % | 83 % | 90 % | 87 % | 81 % | 80 % | 71 % |

Querauswertung Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten: Wärmeversorgung























- Wärmepumpen in allen Vorhaben zur Nutzung regenerativer lokaler Wärmequellen
- Energiequellen: thermische Solaranlagen, Eisspeicher, Grundwasser, Außenluft, Fernkältenetz
- Ergänzung durch:

- Gas-Brennwertkessel
- Fernwärme

■ Therm. Nennleistung:

- Monovalente Wärmepumpen: 22 - 63 W/m² beh. NGF

- Wärmepumpen als Grundlast: 8 - 20 W/m² beh. NGF

| Modellvorhaben | Wärmequelle der Wärmepumpe | Thermische Nennleistung der Wärmepumpenanlage [W/m ² beh. NGF] | | | | | | Zusätzliche Wärmeerzeugung |
|--|---|---|----|----|----|----|----|--|
| | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | |
| Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim | Solarkollektor und Eisspeicher   |  | | | | | | Fernwärme  |
| Berufliches Schulzentrum Mühldorf am Inn | Solarkollektor und Eisspeicher   |  | | | | | | Gas-Brennwertkessel  |
| Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren | Grundwasser  |  | | | | | | Vorerwärmte Außenluft und PV-Anlage   |
| Ersatzgebäude Hochschule Ulm | Fernkältenetz  |  | | | | | | Fernwärme  |
| Gymnasium Neutraubling | Grundwasser  |  | | | | | | Mittelwert der monovalenten Anlagen 46,5 W/m ² beh. NGF |
| Forschungshalle HS Ansbach Feuchtwangen | Solarkollektor und Eisspeicher   |  | | | | | | |
| Erweiterung Grundschule Giebelstadt | Außenluft  |  | | | | | | |

Querauswertung Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten: Photovoltaik

- Im Mittel etwa 0,3 Quadratmeter PV-Fläche je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche
- Peakleistungen Photovoltaikanlagen:
 - 34 - 89 W_p/m^2 beh. NGF
 - $\emptyset = 51 W_p/m^2$ beh. NGF

| Fläche der Photovoltaikanlage | | | | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------------|------------------------|--|------------------------------------|---|-------------------------------------|------------------------------|
| | Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim | Gymnasium Neutraubling | Berufliches Schulzentrum Mühldorf am Inn | Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren | Forschungshalle HS Ansbach Feuchtwangen | Erweiterung Grundschule Giebelstadt | Ersatzgebäude Hochschule Ulm |
| Gesamt | 1.048 m ² | 2.403 m ² | 2.563 m ² | 1.787 m ² | 246 m ² | 323 m ² | 1.880 m ² |
| Visualisierung der Flächen | | | | | | | |

Querauswertung Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten: Endenergiebilanz

■ berechneter jährlicher Endenergiebedarf:

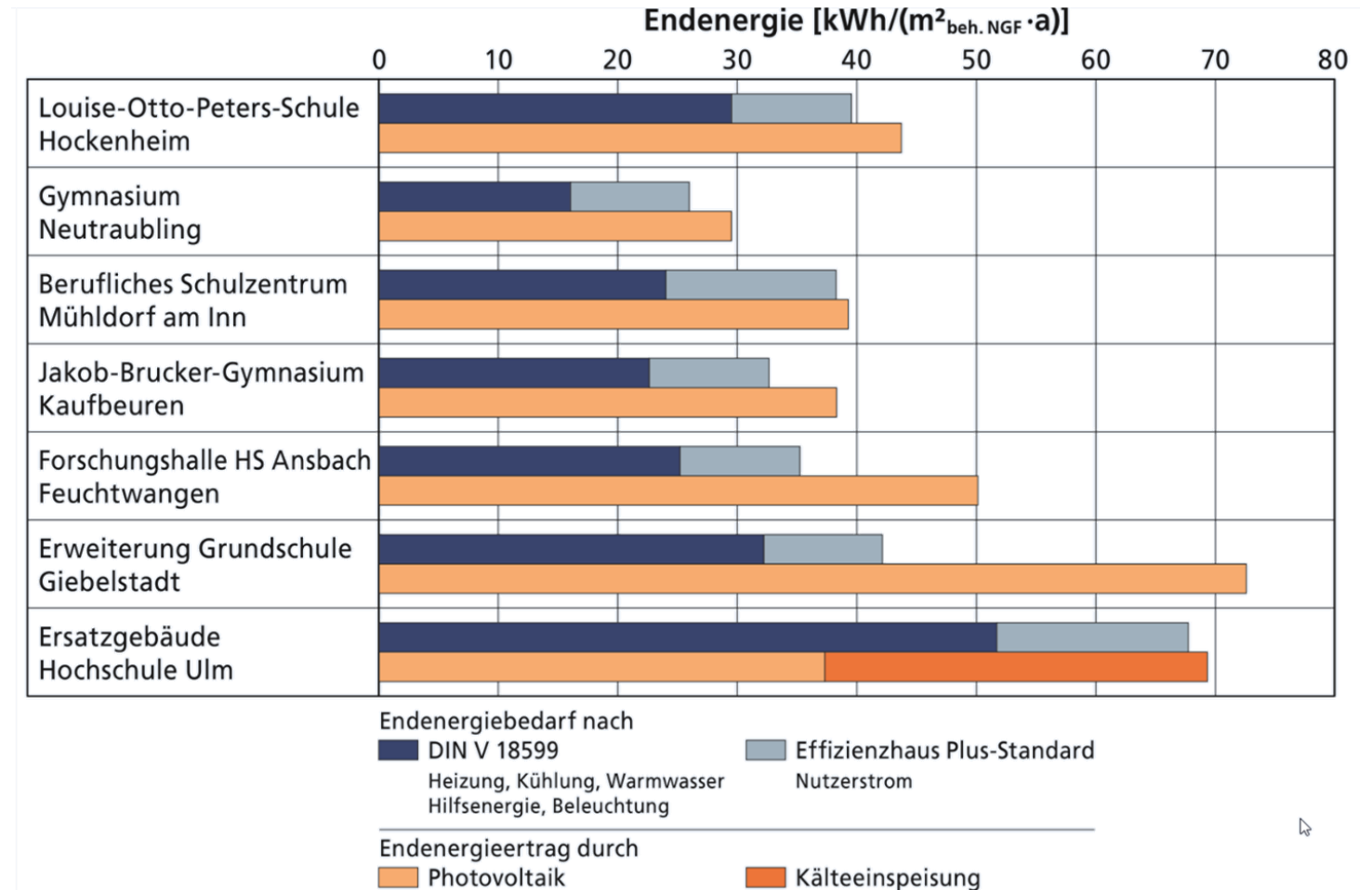
■ 26 - 68 kWh/(m²_{beh. NGF} · a)

■ berechneter jährlicher erneuerbare Endenergieertrag:

■ 30 - 73 kWh/(m²_{beh. NGF} · a)

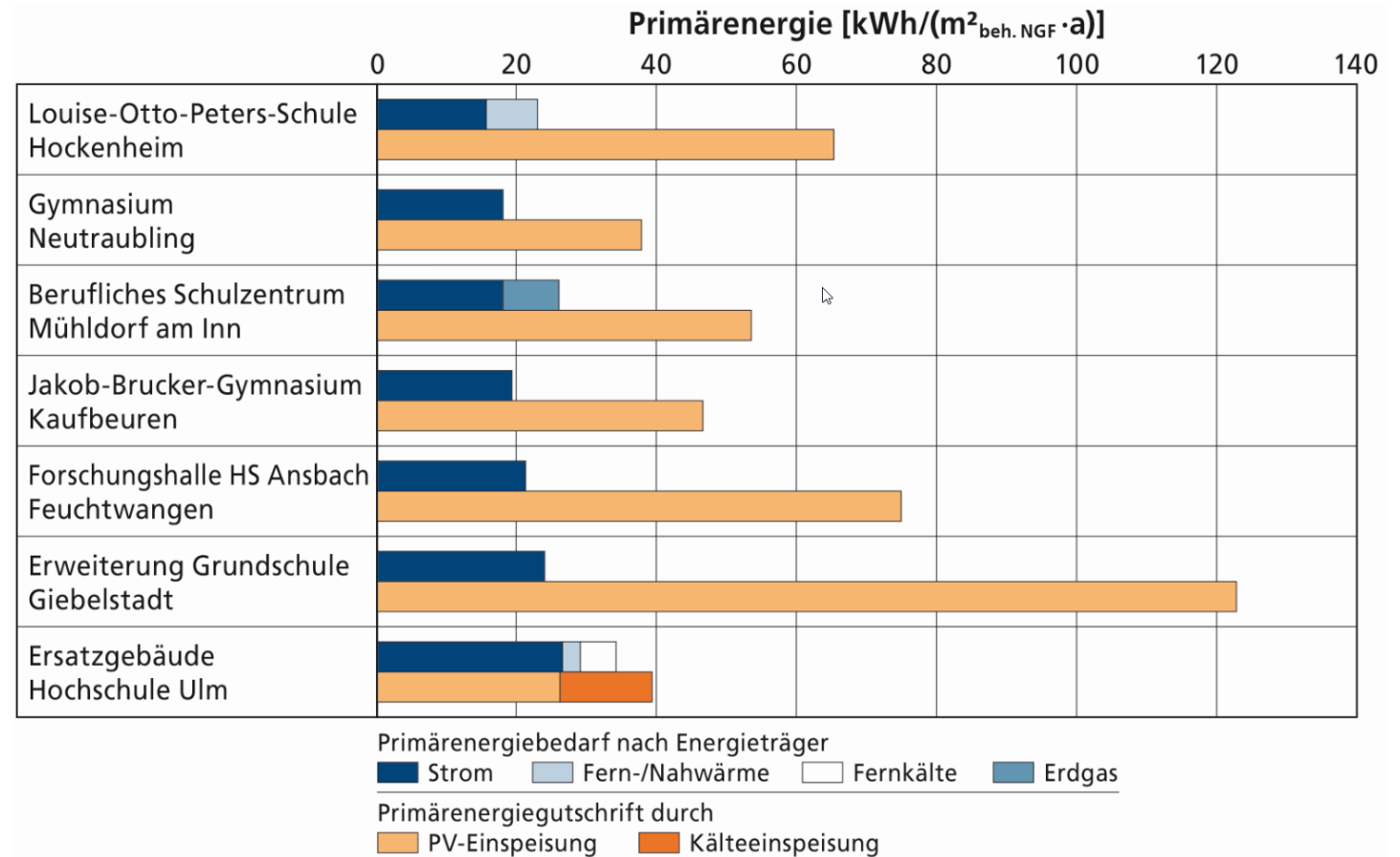
→ Endenergieüberschuss:

■ Ø = 9 kWh/(m²_{beh. NGF} · a)

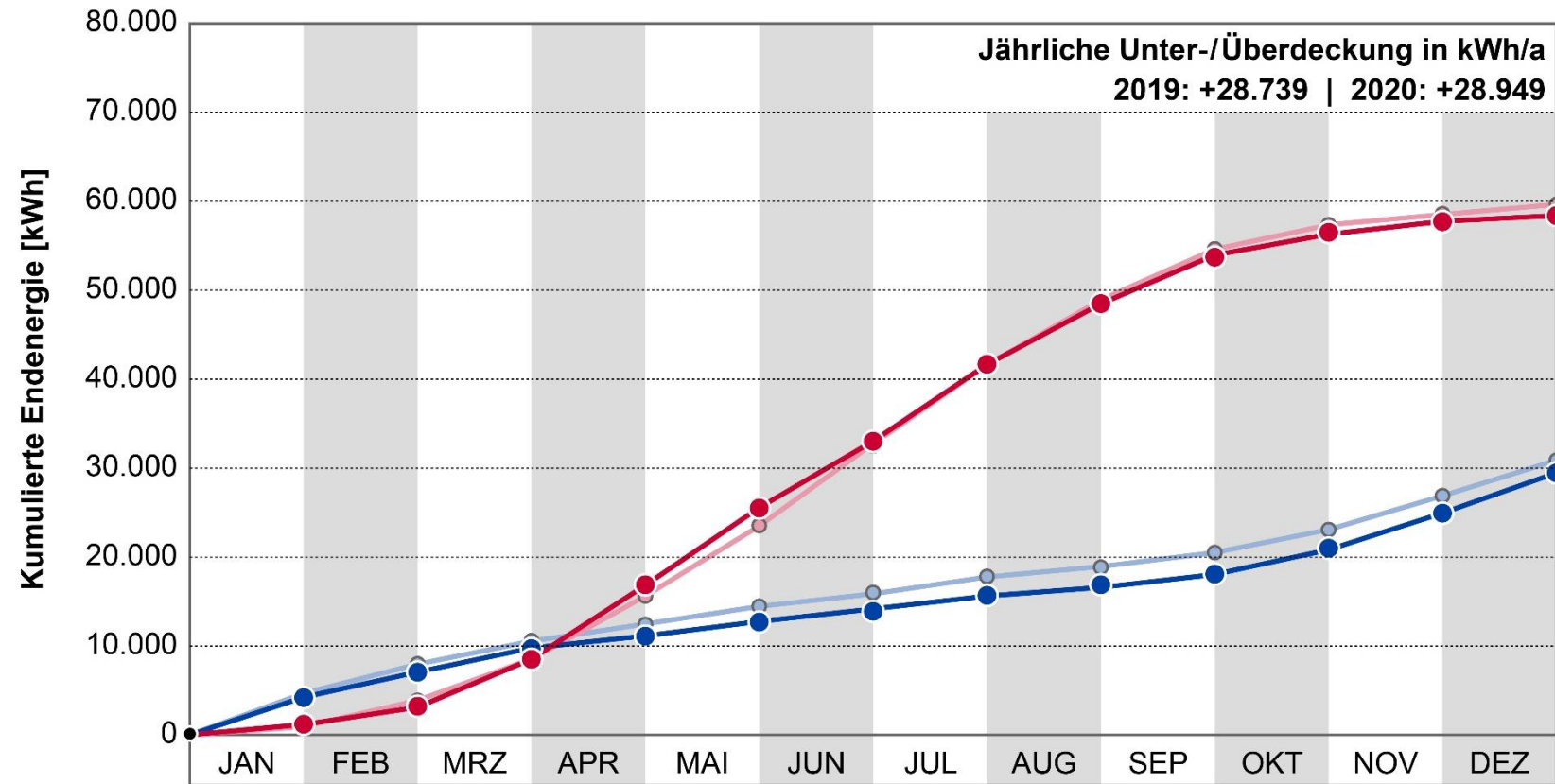


Querauswertung Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten: Primärenergiebilanz

- 4 von 7 Modellprojekten verwenden Strom als alleinigen Energieträger
 - übrige 3 Modellvorhaben verwenden Nah- bzw. Fernwärme, Fernkälte oder Erdgas
 - berechneter jährlicher Primärenergiebedarf
 - 18 - 34 kWh/(m²_{beh. NGF} · a)
 - berechnete primärenergetische Gutschriftmenge durch Netzeinspeisungen:
 - 38 - 123 kWh/(m²_{beh. NGF} · a)
- Primärenergieüberschuss
- Ø = 39 kWh/(m²_{beh. NGF} · a)



Querauswertung Effizienzhaus-Plus Bildungsbauten: Monitoring-Daten Erweiterungsgebäude Grundschule Giebelstadt



© Fraunhofer IBP

Messjahr 2019
Messjahr 2020

ENERGIEQUELLE
● Photovoltaik

ENERGIENUTZUNG
● Gebäudeverbrauch

Messdaten erhalten von  **TECHNISCHE UNIVERSITÄT DRESDEN**

Weitere Ergebnisse der beiden Begleitforschungen finden Sie hier...



Kontakt:

- Hans Erhorn
Principal Adviser für das
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Abteilung Energieeffizienz und Raumklima
E-Mail: hans.erhorn@ibp-extern.fraunhofer.de

- BMWi-Begleitforschung Energieeffiziente Schulen (EnEff:Schule)
<https://www.eneff-schule.de>
- Forschung für energieoptimierte Gebäude und Quartiere
<https://www.energiwendebauen.de>
- Gefördert durch BMWi

- Forschungsinitiative Effizienzhaus Plus:
<https://www.zukunftbau.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/>
- Gefördert durch BMI und BBSR