



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat



Bundesinstitut
für Bau-, Stadt- und
Raumforschung

im Bundesamt für Bauwesen
und Raumordnung



5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard



 **Fraunhofer**
IBP

Erfahrungen aus der
Begleitforschung

5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard

Erfahrungen aus der Begleitforschung

Impressum

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI)
Alt-Moabit 140
10557 Berlin

Wissenschaftliche Begleitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Referat II 2 – Energieeinsparung, Klimaschutz
Miriam Hohfeld
miriam.hohfeld@bbr.bund.de

Begleitung im Bundesministerium

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
Referat BW I 3 – Gebäude- und Anlagentechnik,
technische Angelegenheiten im Bereich Energie und Bauen
Petra Alten

Auftragnehmer und Autoren

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Abteilung EER, Stuttgart
Heike Erhorn-Kluttig
Jessica Preuss
Hans Erhorn

Stand

November 2020

Gestaltung

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart
Panatom Corporate Communication, Berlin/Rostock

Druck

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn
Gedruckt auf Recyclingpapier

Bestellungen

effizienzhausplus@bbr.bund.de; Stichwort: EHP Bildungsbauten

Bildnachweis

siehe Seite 65

Nachdruck und Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck nur mit genauer Quellenangabe gestattet.
Bitte senden Sie uns zwei Belegexemplare zu.

Die vom Auftragnehmer vertretene Auffassung ist nicht unbedingt mit der des Herausgebers identisch.



© Schafgans DGPh

Liebe Leserinnen und Leser,

das Bauwesen ist ein ressourcenintensiver Sektor. Es verbraucht rund die Hälfte der in Deutschland jährlich beanspruchten Rohstoffe. Ein Drittel der Endenergie in Deutschland wird im Gebäudebereich verbraucht. Die größten Anteile des Gebäudeenergiebedarfs machen Heizung und Warmwasser aus. Bisher wird der Bedarf weit überwiegend durch fossile Brennstoffe gedeckt. Die eingesetzte graue Energie – etwa für Herstellung, Transport, Lagerung und Entsorgung – ist darin noch nicht eingerechnet. Sowohl der Neubau als auch die Entwicklung des Bestandes benötigen ganzheitliche Strategien zum zukunftsfähigen und klimaangepassten Bauen und Sanieren.

Die Bundesregierung strebt bis zum Jahr 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand an. Dieses Ziel kann nur erreicht werden, wenn bei neuen Gebäuden und Bestandssanierungen Energieeffizienz und die Nutzung lokaler, erneuerbarer Energiequellen kombiniert werden. Seit zehn Jahren fördern das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) und das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) deshalb die Markteinführung der neuen Gebäudegeneration „Effizienzhaus Plus“. Die Gebäude produzieren über das Jahr gesehen mehr Energie als sie verbrauchen. Bei den Gebäuden kommen Photovoltaikmodule zum Einsatz, Speichertechnologien verbessern die gebäudenaher Energienutzung.

Zunächst waren die Modellvorhaben auf Wohngebäude ausgerichtet. Seit 2015 fördert der Bund auch Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten und wertet die Erfahrungen wissenschaftlich aus. Die Projekte bilden ein breites Spektrum ab: Zu den Modellprojekten gehören ein hochtechnisiertes Institutsgebäude der Hochschule Ulm, eine Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen, zwei berufliche Schul- und Ausbildungszentren in Hockenheim und Mühldorf am Inn, komplexe Neubau- und Sanierungsmaßnahmen von Gymnasien in Kaufbeuren und Neutraubling sowie ein Erweiterungsbau für eine Grundschule in Giebelstadt. Einige Modellprojekte wurden bereits fertiggestellt. Ich freue mich, dass wir fünf Jahre nach Start der Förderung nun erste Ergebnisse der Projekte vorlegen können.

Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik wertet die Projekte wissenschaftlich aus – vom Planungs- und Bauprozess bis zum Betrieb der Gebäude. Eine Befragung der Projektpartner verdeutlicht, dass die Bedeutung der integralen Planung und der Projektkoordination steigt, je höher die energetischen Anforderungen des Gebäudes sind. Für ein Pilotprojekt liegt ein Jahr nach Fertigstellung bereits die Energiebilanz vor: Demnach weist das Gebäude einen deutlichen Endenergieüberschuss auf. Die Ergebnisse bestätigen das Plusenergiekonzept.

Bildungsgebäude können durch ihre Architektursprache und den fachkundigen Einsatz von Material und Technik günstige Lernbedingungen befördern – und sie können Vorbild sein für eine nachhaltige Nutzung von Ressourcen und für den Klimaschutz. Die vorgestellten Projekte zeigen dies beispielhaft.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre!

Dr. Markus Eltges

Leiter des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)



© BMI

Liebe Leserinnen und Leser,

das Klimaziel für den Gebäudebereich ist bekannt: nahezu Klimaneutralität ab 2050! Sichere, bezahlbare und nachhaltige Lösungen sind gefragt für den Gebäudestandard der Zukunft.

Das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat setzt dabei auch auf seine Bauforschung. Die Forschungsinitiative „Effizienzhaus Plus“ zeigt mit Modellvorhaben im „Effizienzhaus Plus-Gebäudestandard“ erfolgreiche Lösungswege auf, wie Bauen innovativ und klimagerecht gedacht werden kann.

Effizienzhäuser Plus läuten das Zeitalter der positiven Energiebilanz von Gebäuden ein. Beispielhaft werben diese Gebäude für eine gelungene Verbindung von Klimaschutz und Bauen ohne Verzicht auf Lebensqualität oder Baukultur. Auch in Quartieren und auf größeren Liegenschaften wird ein Potenzial für Effizienzhäuser Plus gesehen. Durch ihr „Plus“ an Energie können sie angrenzende Gebäude mitversorgen.

Seit 2015 wird dieser zukunftsfähige Gebäudestandard an Nichtwohngebäuden erprobt. Insgesamt sieben Modellprojekte aus dem Förderprogramm für Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten stehen aktuell im Fokus der wissenschaftlichen Untersuchungen. Anschaulich sollen diese Gebäude neue Maßstäbe beim Bau schulischer Einrichtungen setzen. Wo, wenn nicht im Schulgebäude, kann die zukünftige Generation an diesen zukunftsgerechten Gebäudestandard besser herangeführt werden?

Die Qualität der Effizienzhaus Plus-Modellvorhaben wird nicht nur von Bauherren und Nutzern anerkannt, sondern strahlt weiter aus. Die erste fertig gestellte Effizienzhaus Plus-Schule, die Louise-Otto-Peters-Schule in Hockenheim, erhielt im Jahr 2019 durch die Architektenkammer Baden-Württemberg eine Auszeichnung für „Beispielhaftes Bauen“.

In dieser Broschüre werden die im Rahmen der Effizienzhaus Plus-Initiative aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau geförderten Schulprojekte vergleichend betrachtet. Ihre unterschiedlichen Umsetzungen geben Hilfestellungen und möchten zum Nachahmen anregen. Das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat freut sich, gemeinsam mit dem Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung und dem Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP diese neue klimagerechte Gebäudegeneration zu unterstützen und weiter voranzubringen.

Ministerialdirektorin Christine Hammann

Abteilungsleiterin

Bauwesen, Bauwirtschaft und Bundesbauten

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat

Inhalt

Einleitung	8
Definition: Effizienzhaus Plus	9
Modellvorhaben	
Louise-Otto-Peters-Schule in Hockenheim	10
Gymnasium in Neutraubling	16
Berufliches Schulzentrum in Mühldorf am Inn	22
Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren	28
Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen	34
Erweiterung der Grundschule in Giebelstadt	40
Ersatzneubau der Hochschule Ulm	46
Querauswertung Planung	52
Motivation	58
Lessons Learned	59
Auswertung erster Monitoringdaten	60
Abkürzungsverzeichnis	64
Einheiten	64
Wichtige Links	64
Veröffentlichungen	65
Abbildungsverzeichnis und Bildnachweis	65

Einleitung

Effizienzhaus Plus: Eine Initiative des Bundes

In Deutschland hat energiesparendes Bauen eine lange Tradition. Dank intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es mit dem Effizienzhaus Plus-Standard gelungen, Gebäude so weit fortzuentwickeln, dass sie nicht mehr Energieverbraucher, sondern Energieerzeuger sind. Das Effizienzhaus Plus-Gebäude gewinnt im Laufe eines Jahres lokal mehr Energie aus erneuerbaren Quellen, als das Gebäude und seine Nutzer verbrauchen.

Das Effizienzhaus Plus-Gebäude ist nicht an eine bestimmte Technologie gebunden, sondern kann vielfältig durch eine intelligente Kombination von energieeffizienten Technologien der Bau- und Haustechnik und erneuerbaren Energiegewinnsystemen realisiert werden. Dadurch stellt es einen technologieoffenen Ansatz dar. Zur Erfüllung der Klimaschutzziele Deutschlands, die bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand erfordern, ist der Effizienzhaus Plus-Ansatz ein idealer Baustein. Mit jedem realisierten Effizienzhaus Plus sinkt, im Gegensatz zu herkömmlichen Gebäuden, sowohl der fossile Energieverbrauch als auch der Treibhausgasausstoß in Deutschland. Die Häuser wirken als Senken in der Klimabilanz unseres Landes.

Der Effizienzhaus Plus-Standard konnte ab 2011 seine Praxistauglichkeit im Rahmen von Forschungsförderprogrammen des Bundesbauministeriums unter Beweis stellen. Während die geförderten 36 Wohngebäude inzwischen abgeschlossen und ausgewertet wurden, befinden sich die geförderten 7 Modellprojekte im Bereich Bildungsbau in bzw. kurz vor der Bauphase oder in einem sich daran anschließenden 24-monatigen Monitoring im laufenden Betrieb. Alle Gebäude werden durch verschiedene Forschungseinrichtungen in einem intensiven Monitoringprogramm unter realen Bedingungen getestet und evaluiert. Darüber hinaus erfolgt eine Querauswertung aller Ergebnisse durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP. Hierbei werden die wesentlichen Leistungsdaten wie Heizenergieverbrauch, Stromverbrauch und Stromgewinnung, Erneuerbare-Energien-Eigennutzungsgrad und Primärenergieverbrauch sowie Behaglichkeitsparameter erfasst und bewertet. Neben einem Quervergleich aller Projekte hinsichtlich der wesentlichen Leistungsdaten und der Erfüllung des Effizienzhaus Plus-Standards im Praxistest werden fortlaufend die angesetzten Berechnungsgrößen für den Stromverbrauch der Beleuchtung, der Arbeits- und Haushaltsgeschäfte und -prozesse validiert. Ergänzend sind ausgewählte Modellprojekte in einem sozialwissenschaftlichen Begleitprogramm bewertet worden. Mit den Ergebnissen sollen das Energiemanagement von modernen Gebäuden verbessert und die notwendigen Komponenten für die energieeffiziente Gebäudehülle und die Nutzung erneuerbarer Energien fortentwickelt werden.

Diese Broschüre wurde im Rahmen der Begleitforschung zur Forschungsinitiative erstellt und widmet sich dem Schwerpunkt



Abbildung 1: Übersichtskarte zur Lage der sieben Effizienzhaus Plus-Bildungsbaumodellvorhaben in Deutschland
Darstellung: Fraunhofer IBP

Bildungsbauten. Neben der Beschreibung der Konzepte, der baulichen und anlagentechnischen Spezifika und der Darstellung der Energiebilanz der einzelnen Vorhaben werden Kennwerte verglichen und zu Benchmarks verdichtet. Das hilft zur Abschätzung neuer Ansätze und Konzepte in der Praxis. Ferner werden Erfahrungen aus dem Planungs- und Bauprozess zusammengetragen und Hinweise zur Vermeidung von möglichen Problemen gegeben.

Weitergehende Projektinformationen und die vollständigen Steckbriefe zu allen sieben Modellprojekten sowie bereits verfügbare Verbrauchsdaten sind ergänzend abrufbar unter: → www.zukunftbau.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/effizienzhaus-plus-bildungsbauten/

Definition: Effizienzhaus Plus

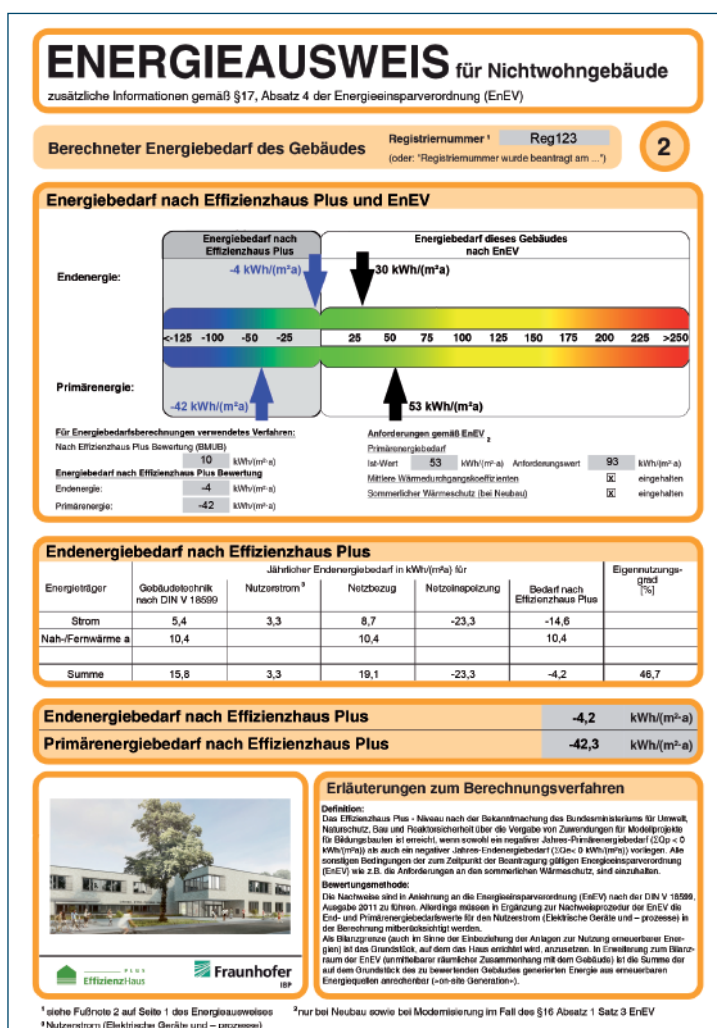
Das Effizienzhaus Plus-Niveau ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ($\Sigma Q_p < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ($\Sigma Q_e < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$) vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG), wie zum Beispiel die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind darüber hinaus einzuhalten.

Bewertungsmethode:

erweiterter GEG-Nachweis nach DIN V 18599

Die Nachweise sind in Anlehnung an das Gebäudeenergiegesetz (GEG) nach der DIN V 18599 zu führen. Der netzeingespeiste Strom ist analog dem Verdrängungsstrommix zu bewerten. Für die Nachweisführung ist gemäß GEG das Referenzklima für Deutschland (Referenzort Potsdam) zu verwenden. Allerdings müssen in Ergänzung zur Nachweisprozedur des GEG die End- und Primärenergiebedarfswerte

für den Nutzerstrom in der Berechnung berücksichtigt werden. Für Wohngebäude wird hier ein pauschaler Endenergiebedarf von 20 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizter Nettogrundfläche und Jahr angesetzt, für Bildungsbauten je nach Energieeffizienz der verwendeten Geräte 10 beziehungsweise 15 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr.



Bilanzgrenze: Grundstücksgrenze

Als Bilanzgrenze (auch im Sinne der Einbeziehung der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien) ist das Grundstück, auf dem das Gebäude errichtet wird, anzusetzen. In Erweiterung zum Bilanzraum des GEG (unmittelbarer räumlicher Zusammenhang mit dem Gebäude) ist die Summe der auf dem Grundstück des zu bewertenden Gebäudes generierten Energie aus erneuerbaren Energiequellen anrechenbar („on-site Generation“). Die Grundstücksgrenze ist durch die dem Gebäude zugeordnete Gemarkungsgrenze im Grundbuch begrenzt. Sofern mehrere Gebäude auf einem Grundstück stehen, sind die „on-site“ generierten erneuerbaren Energiemengen nutzflächenanteilig den einzelnen Gebäuden zuzuordnen.

Auszuweisende Zusatzinformation:

Eigennutzungsgrad der generierten erneuerbaren Energien

Ergänzend zu den Einzahlkennwerten Jahres-Primärenergiebedarf und Jahres-Endenergiebedarf ist das Verhältnis von selbstgenutzter zu generierter erneuerbarer Energie innerhalb der Bilanzgrenze auszuweisen. Die Ermittlung ist in Anlehnung an die GEG-Bewertung auf der Basis von Monatsbilanzen durchzuführen.

Rechenhilfe und Energieausweis

Im Internet (www.effizienzhaus-plus-rechner.de) steht zur standardisierten Berechnung eines Effizienzhauses Plus ein kostenloses Tool zur Verfügung. Mit dieser Rechenhilfe lässt sich auch ein speziell für das Effizienzhaus Plus entwickeltes Zusatzinformationsblatt sowohl für Wohn- als auch Nichtwohngebäude generieren, in dem sich der über das GEG hinausgehende Einspareffekt dieser Gebäudegeneration darstellen lässt.

Abbildung 2: Zusatzinformationsblatt zum Energieausweis für Effizienzhäuser Plus (generierbar mit der Rechenhilfe)
Quelle: Fraunhofer IBP

Louise-Otto-Peters-Schule in Hockenheim

Mit dem geplanten Energieüberschuss dieses Gebäudes
können 19 Tonnen CO₂ im Jahr eingespart werden.



Abbildung 3: Im Erdgeschoss der Aula mit Blick in den Luftraum zur Galerie im Obergeschoss
Foto: Rhein-Neckar-Kreis



Modellvorhaben

Louise-Otto-Peters-Schule in Hockenheim



Abbildung 4: Eingangssituation auf der Südwest-Seite der Schule
Foto: Dorothea Burkhardt

Allgemeine Daten

Tabelle 1: Zusammenstellung allgemeiner Angaben zum Gebäude und zu den Projektbeteiligten

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

Tabelle 2: Zusammenstellung der Gebäude-kennwerte

Bruttogrundfläche	4.190 m²
Beheizte Nettogrundfläche	3.766 m²
Beheiztes Gebäudevolumen	15.787 m³
Hüllflächenfaktor A/V	0,38 m⁻¹
Anzahl der Klassen-/Fach-/Gruppenräume	20
Gesamtfläche Unterrichtsräume	1.307 m²

Projektbeschreibung

Die Louise-Otto-Peters-Schule in Hockenheim ist die erste im Förderprogramm Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten des Bundesbauministeriums aufgenommene Bildungseinrichtung. Das klimaneutrale Gebäude der Zukunft vereint drei Schulformen unter einem Dach. Für die Berufsvorbereitung, ein berufliches Gymnasium und die Ausbildung im Bereich der Altenpflege und des Erzieherberufs bietet der Neubau insgesamt 280 Schülern Raum. Auf dem 5.000 Quadratmeter großen Grundstück des ehemaligen katholischen Kindergartens St. Josef gegenüber der bisherigen Schule entstand ein helles, freundliches und energetisch hochmodernes Gebäude, das die Klimaschutzleitlinien des Rhein-Neckar-Kreises umsetzt und zugleich die gesetzlichen Vorgaben deutlich übererfüllt. Das Gebäude ist so beschaffen, dass es sowohl aus ökonomischer wie auch aus ökologischer Sicht so effizient wie möglich betrieben werden kann. Mit dem Neubau sollen jährlich bis zu 19 Tonnen CO₂ eingespart werden.

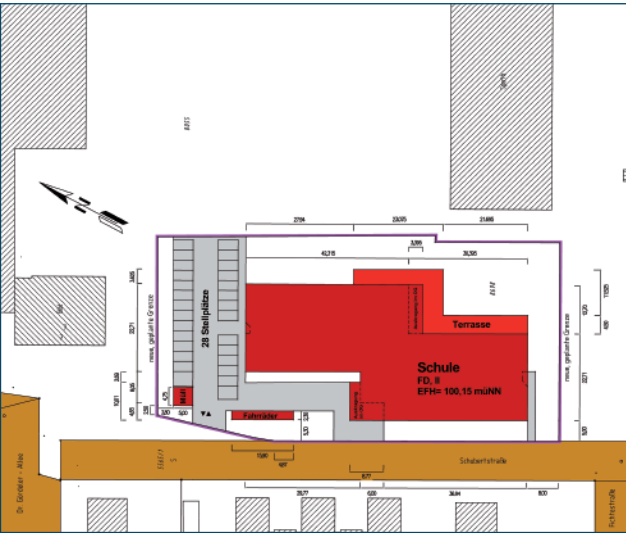


Abbildung 5: Lageplan der Gesamtanlage
Plan: Roth.Architekten

Architektur

Das klar strukturierte Schulgebäude verfügt in jeder Ebene über einen zentralen Foyer-Bereich, von dem aus zwei Flügel erschlossen werden. Im Erdgeschoss des Nordost-Flügels sind der gesamte Verwaltungsbereich und ein großes Lehrerzimmer angeordnet. Der Südwest-Flügel beinhaltet alle berufsbezogenen Fachräume. Im Obergeschoss befinden sich in beiden Flügeln jeweils vier Unterrichtsräume, dazwischen die allgemeinen Fachräume, mehrere

Schülerarbeitsräume für verschiedene Gruppengrößen und die Schülerbibliothek. Das Herzstück des Gebäudes, das mittige Foyer, dient auch als Aula, die über den zentralen Luftraum mit dem Obergeschoss verbunden ist. Für größere Versammlungen und Schulfeste ist die Aula kombinierbar mit dem Bereich für den Schüleraufenthalt und bei Bedarf auch mit dem Rhythmik-Raum.



Abbildung 6: Erdgeschoss-Grundriss des Schulgebäudes
Plan: Roth.Architekten



Abb. 7: Ein Unterrichtsraum
Foto: Dorothea Burkhardt



Abb. 8: Luftraum der Aula und Galerie im OG
Foto: Dorothea Burkhardt



Abb. 9: Der Fachlehrerraum Küche
Foto: Rhein-Neckar-Kreis

Bauteile

Die massiven Außenwände sind mit einer 20 cm dicken Wärmedämmung versehen, auf die teilweise Klinkerriemchen geklebt sind bzw. die mit einer hinterlüfteten Metallfassade verkleidet wurde. Die Fenster wurden als Holz-Aluminium-Fenster mit einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung ausgebildet.

Die massive Stahlbetondecke des Flachdaches ist mit einer im Mittel 30 cm dicken Gefälledämmung versehen, auf die oberseitig eine Abdichtung und Kiesschüttung aufgebracht wurden. Die 25 cm dicke Bodenplatte liegt auf einer druckfesten 20 cm starken Perimeterdämmung auf. Der Oberbelag des Fußbodens wird auf einem schwimmenden Estrich mit einer 8 bzw. 9 cm dicken Dämmschicht angeordnet.

Tabelle 3: Zusammenstellung der U-Werte der Bauteile der Gebäudehüllfläche

Bauteil	U-Wert [W/(m²·K)]
Außenwand	0,16–0,18
Fenster	0,80
Dach	0,13
Bodenplatte	0,13–0,14

Anlagentechnik

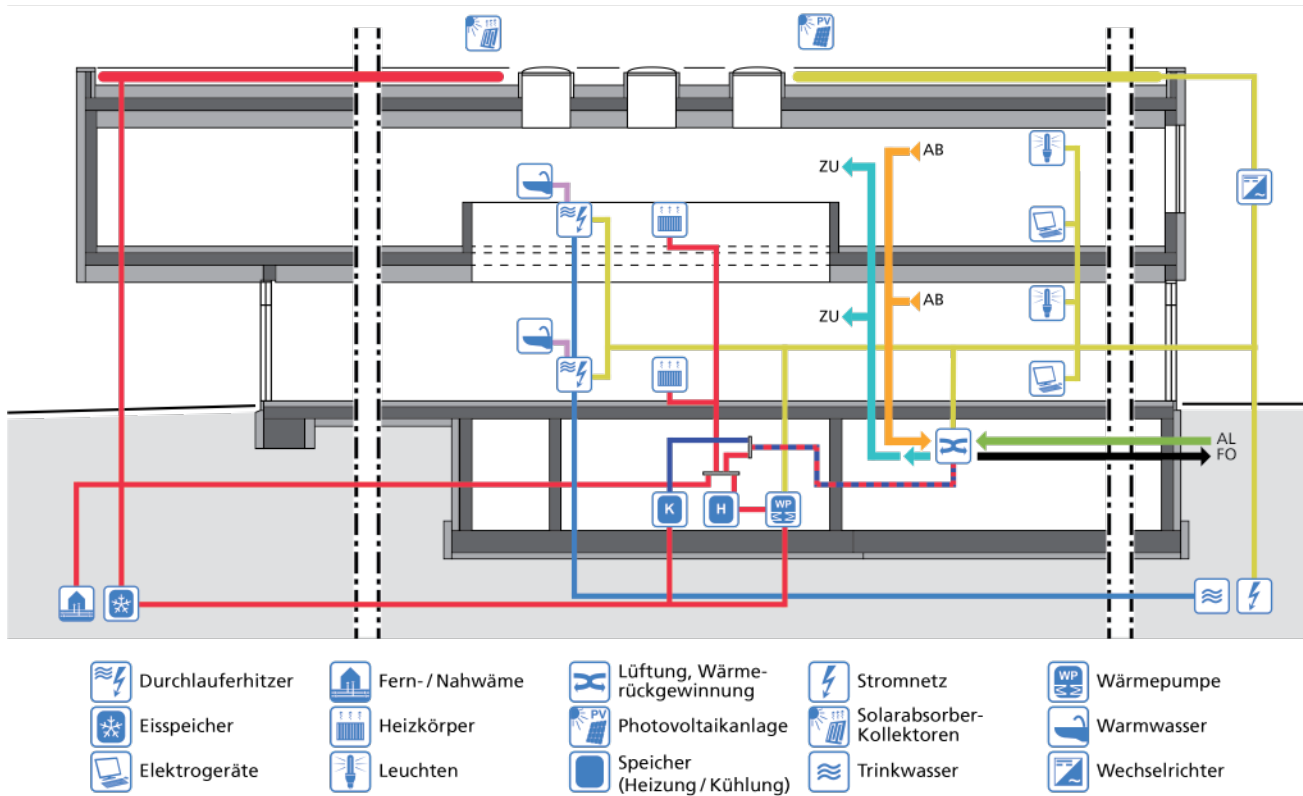


Abbildung 10: Längsschnitt durch das Gebäude und Konzeption der Haustechnik

Grafik: Fraunhofer IBP

Abb. 11: Der Eisspeicher in der Bauphase
Foto: Ingenieurbüro WillhaugAbb. 12: Die Photovoltaik-Anlage
Foto: Rhein-Neckar-KreisAbb. 13: Die Solarthermie-Anlage
Foto: Ingenieurbüro Willhaug

Die Wärmeversorgung des Gebäudes wird mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe mit einer Leistung von 29 kW sichergestellt. Als Wärmequellen dienen dabei ein im Erdreich befindlicher Eisspeicher (Wasservolumen 82 m³) sowie 14 Solarabsorber-Kollektoren mit einer Gesamtgröße von 40 m² und einer Entzugsleistung von 27.720 kWh/a, die auf dem Dach installiert sind. Zu Spitzenlastzeiten erfolgt die Wärmeversorgung zusätzlich über das städtische Fern-/Nahwärmenetz. Die Wärme wird zu ca. 10 % über Heizkörper und zu 90 % über die Lüftung durch Luftauslässe in der Decke bzw. im Deckensprung übertragen. Dabei wird die Frischluft im Zentrallüftungsgerät im Vor- und Nacherhitzer thermisch behandelt, bevor sie mittels einer unterschiedlich temperierten Zweikanalanlage an die Klassenzimmer übergeben wird. Die raumweise Temperaturregelung wird über Volumenstromregler in den abgehängten Decken umgesetzt.

Durch den Einsatz der Wärmepumpe in Kombination mit der Eisspeichertechnologie soll ein energieeffizienter Betrieb sichergestellt werden, der auch für die sommerliche „passive“ Kühlung genutzt werden kann. Die zentrale mechanische Lüftungsanlage mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von über 80 % sorgt für die Minimierung der Wärmeverluste im Winter und für den Raumluftkomfort. Durch dezentrale Volumenstromregler in den Decken kann die Raumluftqualität individuell angepasst werden. Eine natürliche Lüftung über die Fenster ist möglich.

Die Warmwasserbereitung erfolgt in ausgewählten Räumen dezentral über elektrische Durchlauferhitzer. Auf dem Dach ist eine 1.048 m² große Photovoltaikanlage installiert, bestehend aus 639 Modulen mit monokristallinen Solarzellen. Ihre Leistung beträgt 191,4 kW_p. 320 Module sind in Nordost-Richtung und 319 Module in Südwest-Richtung ausgerichtet.

Energie

Das Gebäude benötigt gemäß Berechnung 148.898 kWh Endenergie im Jahr ($39,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh.,NGF}} \cdot \text{a})$) in Form von Strom und Nahwärme aus dem städtischen Netz. Davon wird mehr als die Hälfte (62 %) für den Betrieb der haustechnischen Anlagen verwendet, untergeordnet sind die Aufwände für Nutzerstrom (25 %) und Beleuchtung (13 %). Die Photovoltaikanlage auf dem Dach der Schule erzeugt gemäß einer PV-Simulation am Klimareferenzort Potsdam 164.748 kWh

erneuerbaren Strom im Jahr und sorgt für einen erwarteten jährlichen Überschuss in der Endenergiebilanz von 15.850 kWh/a. Voraussichtlich werden vom lokal generierten Strom der PV-Anlage 47 % im Gebäude selbst genutzt und 53 % ins Netz eingespeist. Primärenergetisch bewertet beträgt der Bilanzüberschuss voraussichtlich 159.425 kWh/a.

Endenergie

Tabelle 4: Endenergiebedarf

Komponente	Energiebedarf	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Heizung (KWK, Nahwärme)	39.220	10,4
Heizung/Warmwasser (Strom)	24.309	6,5
Kühlung (Strom)	1.584	0,4
Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser, Lüftung (Strom)	27.144	7,2
Beleuchtung (Strom)	18.981	5,0
Nutzerstrom	37.660	10,0
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 3.766 m ²		
Gesamt	148.898 kWh/a	

Tabelle 5: Endenergiedeckung

Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	164.748 ³⁾ (111.881) ⁴⁾	157,2 (107,0)
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 1.048 m ² ³⁾ gemäß PV-Simulation am Standort Potsdam ⁴⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Standardwerten und Referenzklima Potsdam		
Gesamt	164.748 kWh/a	

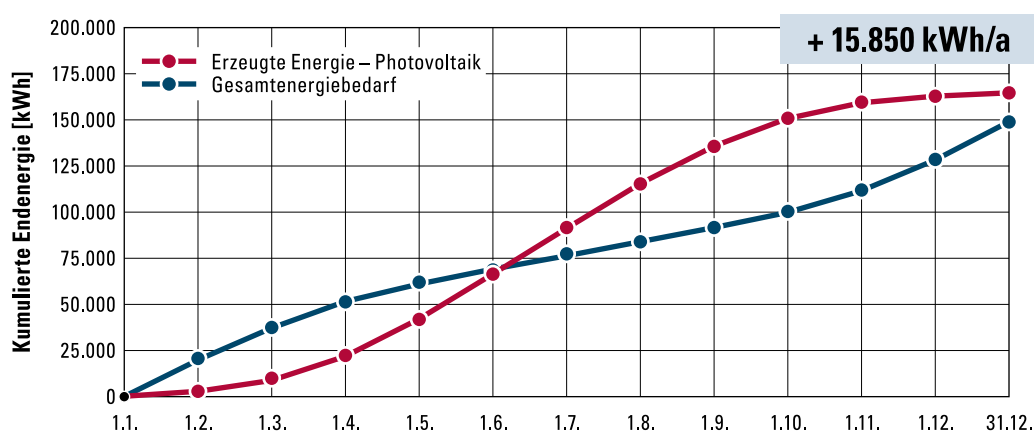


Abbildung 14: Prognostizierter Endenergieüberschuss
Grafik: Fraunhofer IBP

Primärenergie

Tabelle 6: Primärenergiebezug von außerhalb

Komponente	Primärenergiebedarf der notwendigen Energieträger	
	[kWh/a] ⁵⁾	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Nahwärme	27.453	7,3
Strombedarf (TGA + Licht)	36.346	9,7
Nutzerstrom nach Effizienzhaus Plus	22.482	6,0
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 3.766 m ² ⁵⁾ vom PV-Ertrag werden 47 % im Gebäude selbst genutzt und mindern so den Bezug aus dem öffentlichen Netz		
Gesamt	86.281 kWh/a	

Tabelle 7: Primärenergiegutschrift durch Einspeisung

Komponente	Stromüberschuss	
	[kWh/a] ⁶⁾	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	245.706	234,5
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 1.048 m ² ⁶⁾ vom PV-Ertrag werden 53 % in das öffentliche Netz eingespeist		
Gesamt	245.706 kWh/a	

Gymnasium in Neutraubling

Die CO₂-Einsparung durch den geplanten Energieüberschuss des Neubaus und der Sanierung entspricht der jährlichen CO₂-Senke einer 19 Hektar großen Waldfläche.*

*) entspricht 20 t CO₂/a



Abbildung 15: Blick ins Lehrerzimmer
Foto: Winkler-Architekten



Modellvorhaben

Gymnasium in Neutraubling



Abbildung 16: Die Gesamtanlage von Süden gesehen
Visualisierung: Winkler-Architekten

Allgemeine Daten

Tabelle 8: Zusammenstellung allgemeiner Angaben zum Gebäude und zu den Projektbeteiligten

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

Tabelle 9: Zusammenstellung der Gebäudekennwerte

Bruttogrundfläche	12.830 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	10.338 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	45.510 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,33–0,38 m ⁻¹
Anzahl der Klassen-/Fach-/ Gruppenräume	67
Gesamtfläche Unterrichtsräume	3.970 m ²

Projektbeschreibung

Das Gymnasium Neutraubling wurde 1974 errichtet und mehrfach erweitert. Vor Projektbeginn umfasste das Schulgebäude drei miteinander verbundene Bauteile, eine Mensa, eine 3-fach-Sporthalle mit Klassentrakt und eine 1-fach-Sporthalle.

Im ersten Bauabschnitt (BA 1) entstand ein Neubau mit 12 Klassenzimmern, Lehrerzimmer, Bibliothek sowie einem Ganztagschul- und Verwaltungsbereich. Nach Fertigstellung des Neubaus erfolgt die Sanierung des restlichen Gebäudekomplexes. Im zweiten Bauabschnitt (BA 2) wird nach einem Gebäudeteilabbruch ein Mitteltrakt mit Eingangsbereich, 28 Klassenzimmern und Aula errichtet. Der zu erhaltende Bereich wird saniert. Im dritten Bauabschnitt (BA 3) werden 9 Klassenzimmer und der Biologiebereich saniert. In der Mensa ist die Nachrüstung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung vorgesehen.

Das Gymnasium wird räumlich neu geordnet, weiterentwickelt und energetisch saniert. Außerdem werden die Chemie-Lehrsäle und Vorbereitungsräume an den heutigen technischen Stand angepasst. Der Erweiterungsneubau und die Sanierungsbereiche (BA 1 bis 3) des Gymnasiums werden im Effizienzhaus Plus-Standard ausgeführt.



Abbildung 17: Lageplan der Gesamtanlage
Plan: Winkler-Architekten

Architektur

Mit dem Neubau entstand ein zweigeschossiger Querriegel im Süden des Schulgrundstücks, parallel zur angrenzenden Straße. Im Erdgeschoss dieses Gebäudes wurden die Räume für die Ganztagschule angeordnet. Im Obergeschoss wurden alle Verwaltungseinrichtungen der Schule inklusive Lehrerzimmer und Bibliothek zusammengeführt. Der Neubau hat einen separaten Eingang zur Straßenseite und einen Verbindungsgang zum benachbarten Mensa-Gebäude auf der Ostseite.

Im zweiten Bauabschnitt wird der 3-geschossige Mittelbau mit freigestellter Treppenanlage und durchlaufendem Luftraum saniert.

Das Gebäude schließt direkt an den Neubau an und beherbergt in allen drei Geschossen hauptsächlich Klassenzimmer mit unterschiedlicher Nutzung. Nach einem Gebäudeteilabbruch erhält der Mittelbau zudem einen neuen ostseitigen Anbau mit erweitertem Aula-Bereich, Windfang und Pausenausgabe. Nordseitig und südwestlich zum Innenhof werden neue überdachte Pausenausgänge geschaffen.

Nach Abschluss der Arbeiten im zweiten Bauabschnitt wird weiterführend der westlich gelegene dritte Bauabschnitt saniert und energetisch verbessert.

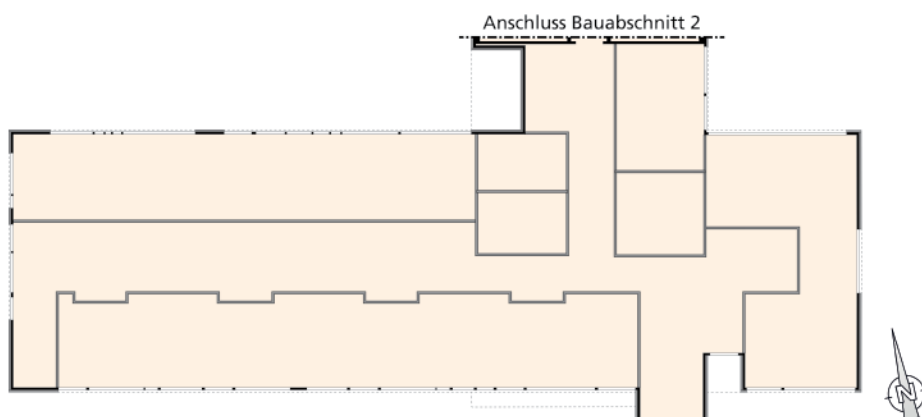


Abbildung 18: Erdgeschoss-Gebäudeumriss des Neubaus, Bauabschnitt 1
Plan: Winkler-Architekten



Abb. 19: Teilansicht der Gebäude-Südseite
Foto: Winkler-Architekten



Abb. 20: Eingang Unterrichtsraum mit Sitznische
Foto: Winkler-Architekten



Abb. 21: Pausenraum und Teeküche
Foto: Gymnasium Neutraubling

Bauteile

Die massiven Außenwände des Neubaus sind mit einer 26 cm dicken Wärmedämmung versehen, auf die eine 1 cm dicke Putzschicht aufgetragen wurde. Die Fenster der Klassenräume sind als Holz-Aluminium-Fenster mit einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung ausgebildet. In den Treppenhäusern ist eine Aluminium-Pfosten-Riegel-Fassade ausgeführt, die mit einer tageslichtlenkenden Sonnenschutzverglasung versehen wurde.

Die massive Stahlbetondecke des Flachdaches ist mit einer im Mittel 23 cm dicken Gefälledämmung versehen, auf die oberseitig eine Abdichtung und Kiesschüttung aufgebracht wurden. Die 20 cm dicke Bodenplatte liegt auf einer druckfesten 16 cm starken Perimeterdämmung auf. Der Oberbelag des Fußbodens wurde auf einem schwimmenden Estrich mit einer 9 cm dicken Dämmschicht angeordnet.

Im Zuge der Sanierung erfolgt in den Bauabschnitten 2 und 3 die thermische Optimierung der Bauteile sowie der Austausch der Fenster.

Tabelle 10: Zusammenstellung der U-Werte der Bauteile der Gebäudehüllfläche

Bauteil	U-Wert [W/(m²·K)]	
	Neubau, BA 1	Sanierung, BA 2 und 3
Außenwand	0,16	0,15
Fenster	0,76	0,90
Fassade	0,80	0,80
Dach	0,11	0,11
Bodenplatte	0,15	0,52

Anlagentechnik

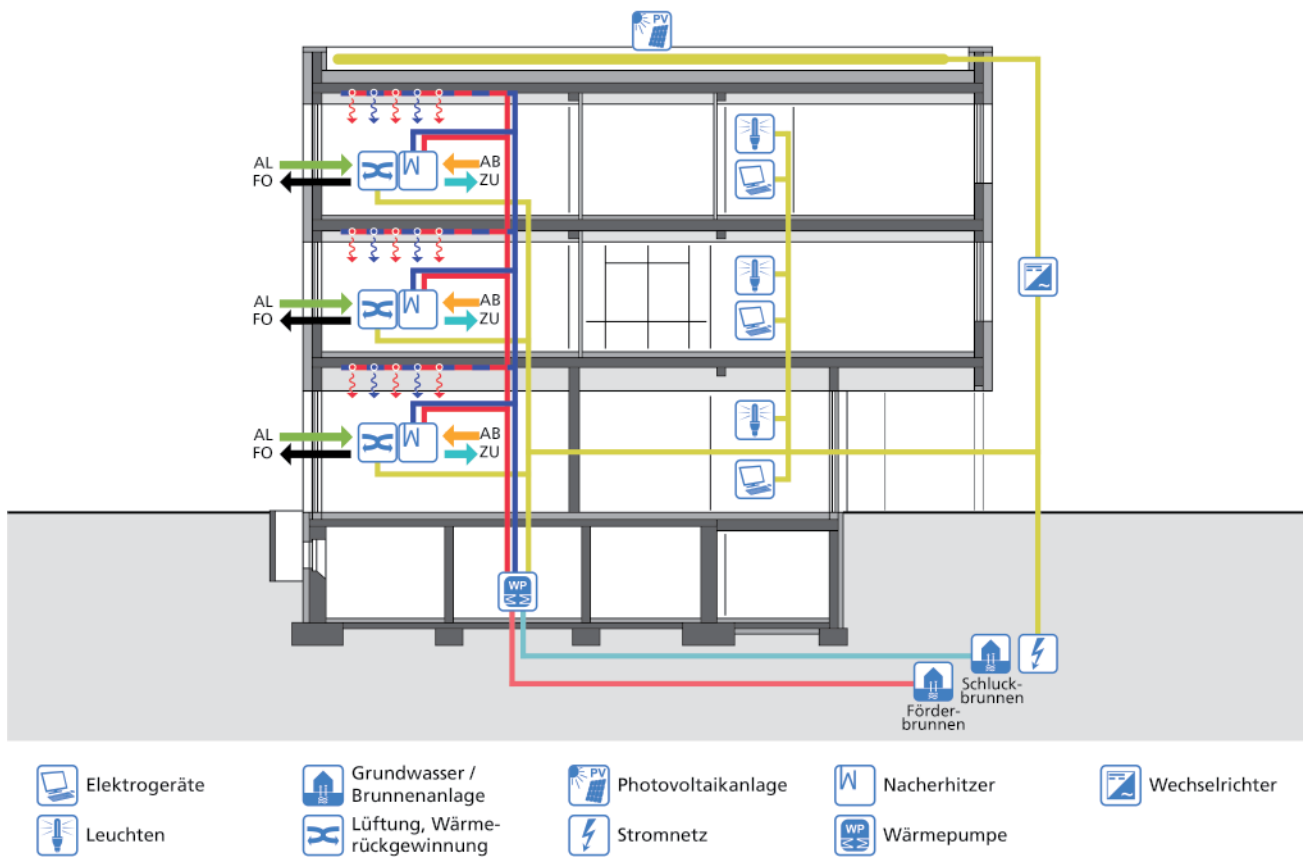


Abbildung 22: Längsschnitt durch das Gebäude und Konzeption der Haustechnik
 Grafik: Fraunhofer IBP



Abb. 23: PV-Anlage auf dem Dach des Neubaus
 Foto: Gymnasium Neutraubling



Abb. 24: Deckenauslässe der Lüftungsanlage
 Foto: Gymnasium Neutraubling



Abb. 25: Blick in die Technikzentrale
 Foto: Gymnasium Neutraubling

Zur Wärme- und Kälteversorgung der Bauabschnitte 1 bis 3 sind reversible Wasser-Wasser-Wärmepumpen vorgesehen ($2 \times 50 \text{ kW} + 1 \times 70 \text{ kW}$). Die Wärmepumpen nutzen das Grundwasser aus der Brunnenanlage als Energiequelle und versorgen die Heiz- und Kühldecken sowie die Nacherhitzer der dezentralen Lüftungsanlagen. Im Serverraum und Raum für die elektronische Datenverarbeitung (EDV) ist eine aktive Kühlung mittels Wärmepumpe vorgesehen. In den Klassenräumen erfolgt eine passive Kühlung, d. h. das Grundwasser wird ohne Zutun der Wärmepumpe direkt über einen Wärmeübertrager in den Kühlkreislauf geführt.

In den Klassenzimmern werden die Einzellüftungsgeräte mit den Heiz- und Kühldecken verbunden, wodurch die Raumtemperatur über die Regelung des Lüftungsgerätes beeinflusst wird. Die Energiezufuhr über das Lüftungsgerät und die Flächenheizung kön-

nen raumweise geregelt werden. Hierdurch kann eine kostspielige, übergeordnete Mess-, Steuer- und Regelungstechnik entfallen. Auf dem Dach des Neubaus ist eine 585 m^2 große Photovoltaikanlage aus polykristallinen Siliziumzellen mit einer Leistung von $94,3 \text{ kW}_p$ installiert. Auf den Dächern der Bauabschnitte 2 und 3 ist eine 800 m^2 große Photovoltaikanlage mit einer Leistung von $131,7 \text{ kW}_p$ vorgesehen. Ergänzt werden die Photovoltaikanlagen durch eine Bestandsanlage auf dem Dach der 3-fach-Turnhalle, die eine Leistung von 127 kW_p aufweist mit einer Fläche von ca. 1.023 m^2 .

Energie

Die Gebäudeteile im Effizienzhaus Plus-Standard benötigen gemäß Berechnung 269.786 kWh Strom im Jahr ($26 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh.NGF}} \cdot \text{a})$). Davon wird etwa die Hälfte (46 %) für den Betrieb der haustechnischen Anlagen verwendet, untergeordnet sind die Aufwände für Nutzerstrom (39 %) und Beleuchtung (16 %). Die Photovoltaikanlage auf dem Dach des Schulkomplexes erzeugt unter durchschnittlichen Klimabedingungen 306.401 kWh erneuerbaren Strom im Jahr

und sorgt so für einen erwarteten jährlichen Überschuss in der Endenergiebilanz von 36.615 kWh/a. Vom lokal generierten Strom der PV-Anlage werden voraussichtlich 55 % in den Effizienzhaus Plus-Gebäudeteilen selbst genutzt und 45 % ins Netz eingespeist, bzw. in den weiteren Gebäudeteilen der Liegenschaft genutzt. Primär-energetisch bewertet beträgt der Bilanzüberschuss voraussichtlich 205.099 kWh/a.

Endenergie

Tabelle 11: Endenergiebedarf

Komponente	Energiebedarf	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Heizung/Warmwasser (Strom)	66.318	6,4
Kühlung (Strom)	4.062	0,4
Hilfsenergie für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung (Strom)	53.526	5,2
Beleuchtung (Strom)	41.997	4,0
Nutzerstrom	103.883	10,0
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 10.388 m ²		
Gesamt	269.786 kWh/a	

Tabelle 12: Endenergiedeckung

Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	306.401 ³⁾ (251.627) ⁴⁾	127,5 (104,7)
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 2.403 m ² ³⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Modulnennleistung ⁴⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Standardwerten und Referenzklima Potsdam		
Gesamt	306.401 kWh/a	

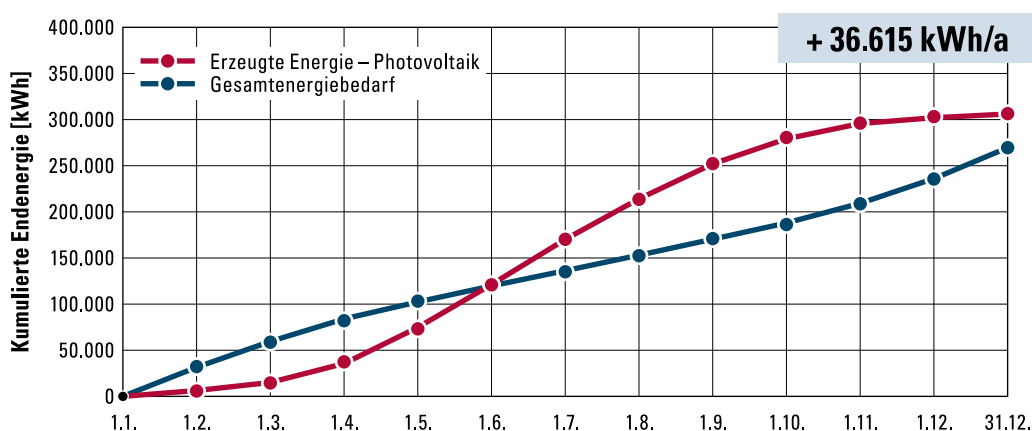


Abbildung 26: Prognostizierter Endenergieüberschuss
 Grafik: Fraunhofer IBP

Primärenergie

Tabelle 13: Primärenergiebezug von außerhalb

Komponente	Primärenergiebedarf der notwendigen Energieträger	
	[kWh/a] ⁵⁾	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Strombedarf (TGA + Licht)	108.103	10,4
Nutzerstrom nach Effizienzhaus Plus	76.529	7,4
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 10.388 m ² ⁵⁾ vom PV-Ertrag werden 55 % im Gebäude selbst genutzt und mindern so den Bezug aus dem öffentlichen Netz		
Gesamt	184.633 kWh/a	

Tabelle 14: Primärenergiegutschrift durch Einspeisung

Komponente	Stromüberschuss	
	[kWh/a] ⁶⁾	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	389.731	162,1
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 2.403 m ² ⁶⁾ vom PV-Ertrag werden 45 % in das öffentliche Netz eingespeist		
Gesamt	389.731 kWh/a	

Berufliches Schulzentrum in Mühldorf am Inn

Durch das geplante energetische ‚Plus‘ der Berufsschule kann jährlich der durchschnittliche CO₂-Ausstoß für Nahrungsmittel von 18 Personen in Deutschland kompensiert werden.*

*) entspricht 31 t CO₂/a



Abbildung 27: Der Pausenraum in der Aula
Foto: ARIS Architekten



Modellvorhaben

Berufliches Schulzentrum in Mühldorf am Inn



Abbildung 28: Ansicht von Süden auf das Gebäude des 1. Bauabschnittes
Foto: ARIS Architekten

Allgemeine Daten

Tabelle 15: Zusammenstellung allgemeiner Angaben zum Gebäude und zu den Projektbeteiligten

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

Tabelle 16: Zusammenstellung der Gebäudekennwerte

Bruttogrundfläche	10.670 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	9.596 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	38.769 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,29 m ⁻¹
Anzahl der Klassen-/Fach-/ Gruppenräume	BA 1: 39 BA 2: 25
Gesamtfläche Unterrichtsräume	BA 1: 2.082 m ² BA 2: 1.597 m ²

Projektbeschreibung

Der Schulkomplex des beruflichen Schulzentrums beinhaltet die staatliche Berufsschule II und vier staatliche Berufsfachschulen mit ihren Klassenräumen, den dazugehörigen Fach-, Gruppen- und Mehrzweckräumen, eine Mensa sowie eine Bäckereifachklasse.

Auf dem Campus entsteht ein neuer großzügiger Eingangsplatz mit zentralem Erschließungsbereich, der auf seiner Süd- und Ostseite von dem im Effizienzhaus Plus-Standard konzipierten Neubau flankiert wird. Dieses Bauvorhaben gliedert sich in zwei Bauabschnitte und wird stufenweise bei gleichzeitigem Schulbetrieb realisiert. Der erste Bauabschnitt wurde zum Schuljahr 2018/19 in Betrieb genommen. Der zweite Bauabschnitt soll voraussichtlich bis Ende des Jahres 2020 fertig gestellt werden.

Das 2001 errichtete Bestandsgebäude bleibt erhalten und wird in das Gesamtkonzept des Neubaus integriert. Auf der nördlichen Seite bildet die geplante Zweifeld-Turnhalle den baulichen Abschluss des neuen Eingangsplatzes.

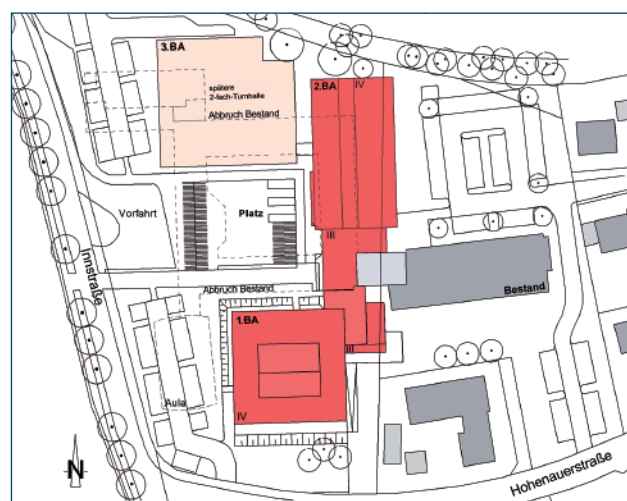


Abbildung 29: Lageplan der Gesamtanlage
Plan: ARGE Schmuck-Anglhuber Architekten

Architektur

Die Gebäude sind einfach und übersichtlich strukturiert. Ausgehend vom zentralen Eingangsbereich um das Haupttreppenhaus des Bestandsgebäudes werden alle Baukörper auf kurzen Wegen erschlossen.

Der erste Bauabschnitt organisiert sich um ein inneres Atrium über alle Geschosse mit kommunikationsfördernder Atmosphäre. Er enthält, neben Unterrichts- und Fachräumen für unterschiedliche Berufsbilder, die Mensa, die Kantine, den Pausenraum und die Bäckerfachklasse. Im zweiten Bauabschnitt werden weitere Klassen- und Fachräume untergebracht. Zudem werden in diesem Bauabschnitt Mehrzweckräume sowie zentral im ersten Obergeschoss die allgemeinen Verwaltungsräume angeordnet.

Die Architektur des Neubaus setzt bewusst auf eine zurückhaltende, aber selbstbewusste und der Aufgabe angemessene Formensprache. Das Proportionenspiel zwischen dem kräftigen Würfel des ersten Bauabschnitts, dem Bestandsriegel, dem nördlich anschließenden zweiten Gebäudeteil des Neubaus sowie der zukünftigen Sporthalle ergibt ein ausgewogenes Erscheinungsbild des Gesamtkomplexes.



Abb. 31: Der Fachlehrraum Küche
Foto: ARIS Architekten



Abb. 32: Ein Klassenzimmer
Foto: ARIS Architekten

Abbildung 30: Erdgeschoss-Grundriss des 2. Bauabschnitts →
1. Bauabschnitts ↓
Plan: ARGE Schmuck-Anglhuber Architekten



Bauteile

Die massiven Außenwände sind mit einer 24 cm dicken Wärmedämmung versehen, die mit einer hinterlüfteten Fassade verkleidet wurde. Die Fenster wurden als Holz-Aluminium-Fenster mit einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung ausgebildet. Die Fenster sind teilweise mit automatisch geregelttem Sonnenschutz ausgestattet. Die massive Stahlbetondecke ist mit einer 35 cm dicken Wärmedämmung versehen. Die 15 cm starke Faserbeton-Bodenplatte liegt auf einer druckfesten 12 cm starken Perimeterdämmung. Der Bodenbelag des Fußbodens wurde auf einem schwimmenden Estrich mit einer 11 cm dicken Dämmschicht angeordnet.

Tabelle 17: Zusammenstellung der U-Werte der Bauteile der Gebäudehüllfläche

Bauteil	U-Wert [W/(m²·K)]
Außenwand	0,14
Fenster	0,82
Dach	0,11
Bodenplatte	0,14

Anlagentechnik

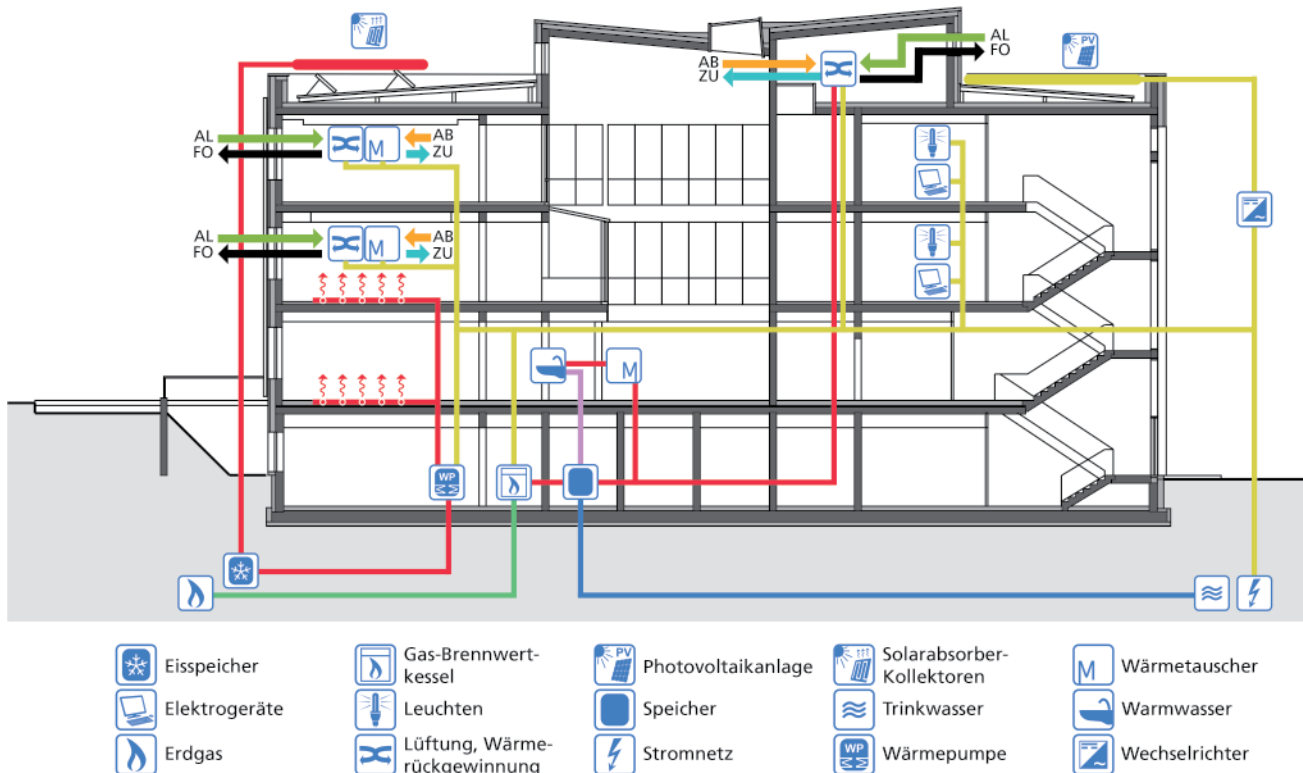


Abbildung 33: Längsschnitt durch das Gebäude und Konzeption der Haustechnik
 Grafik: Fraunhofer IBP



Abb. 34: Die zentrale Lüftungsanlage
 Foto: COPLAN AG



Abb. 35: Die Wärmepumpe im Technikraum
 Foto: COPLAN AG



Abb. 36: Die Solarabsorberanlage auf dem Dach
 Foto: COPLAN AG

Die Wärmeversorgung des Gebäudekomplexes wird mit einer Sole-Wasser-Wärmepumpe (150 kW) in Kombination mit einem Eispeicher (380 m³) und 217 m² Solarabsorbern zur Grundlastdeckung sichergestellt. Ergänzend ist ein Gas-Brennwert-Spitzenlastkessel aufgestellt. Die Wärme wird über ein Vierleitersystem verteilt. Das Niedertemperatur-Verteilsystem (45/35 °C) wird von der Wärmepumpe gespeist und versorgt die Flächenheizsysteme in den Neubaubereichen. Das Hochtemperatur-Verteilsystem (70/40 °C) wird vom Brennwertkessel gespeist und versorgt das zentrale Trinkwarmwassersystem (Trinkwasserstation) der Mensa und der Bäckereifachklasse, die zentrale Lüftungsanlage und das Heizsystem des Bestandsgebäudes. Die Abwärme aus den Kühlzellen der Bäckereifachklasse und der Mensa werden dem Niedertemperaturnetz wieder zugeführt. Im Sommer werden die Flächenheizsysteme als Kühlflächen genutzt.

Zentrale mechanische Lüftungsanlagen mit einem Wärmerückgewinnungsgrad von 90% sorgen für den Raumluftkomfort in der Mensa, der Kantine, dem Pausenraum und den Sanitärbereichen. Die Luft wird dabei in einem Vorerhitzer thermisch behandelt, bevor sie an die Räume übergeben wird. Die Klassen-, Fach- und Verwaltungsräume sind mit dezentralen Lüftungsgeräten mit elektrischen Nachheizregistern ausgestattet. Zur Deckung des Endenergiebedarfs des Gebäudes sind auf den Dächern des Schulkomplexes neben bestehenden Photovoltaikmodulen neue Module mit monokristallinen Solarzellen geplant. Die gesamte Anlage soll eine Fläche von 2.563 m² und eine Leistung von ca. 410 kW_p aufweisen.

Energie

Der Neubau benötigt gemäß Berechnung 367.023 kWh Endenergie im Jahr ($38,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGR}} \cdot \text{a})$) in Form von Strom und Erdgas. Davon wird etwa die Hälfte (47 %) für den Betrieb der haustechnischen Anlagen verwendet, untergeordnet sind die Aufwände für Nutzerstrom (37 %) und Beleuchtung (16 %). Die Photovoltaikanlage auf dem Dach des Schulkomplexes erzeugt unter durchschnittlichen Klimabedingungen 376.960 kWh erneuerbaren Strom im Jahr und

sorgt so für einen erwarteten jährlichen Überschuss in der Endenergiebilanz von 9.937 kWh/a. Vom lokal generierten Strom der PV-Anlage werden voraussichtlich 51 % im Gebäude selbst genutzt und 49 % ins Netz eingespeist bzw. in den Gebäuden der Liegenschaft genutzt. Primärenergetisch bewertet beträgt der Bilanzüberschuss voraussichtlich 263.360 kWh/a.

Endenergie

Tabelle 18: Endenergiebedarf

Komponente	Energiebedarf	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Heizung/Warmwasser (Erdgas)	77.165	8,0
Heizung (Strom)	54.036	5,6
Hilfsenergie für Heizung, Warmwasser, Lüftung (Strom)	41.322	4,3
Beleuchtung (Strom)	57.764	6,0
Nutzerstrom	136.736	14,2 ²⁾
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 9.596 m ² ²⁾ erhöhter Bedarf in der Planung festgelegt		
Gesamt	367.023 kWh/a	

Tabelle 19: Endenergiedeckung

Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ³⁾
PV-Dach	376.960 ⁴⁾ (290.663) ⁵⁾	147,1 (113,4)
³⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 2.563 m ² ⁴⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Modulnennleistung ⁵⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Standardwerten und Referenzklima Potsdam		
Gesamt	376.960 kWh/a	

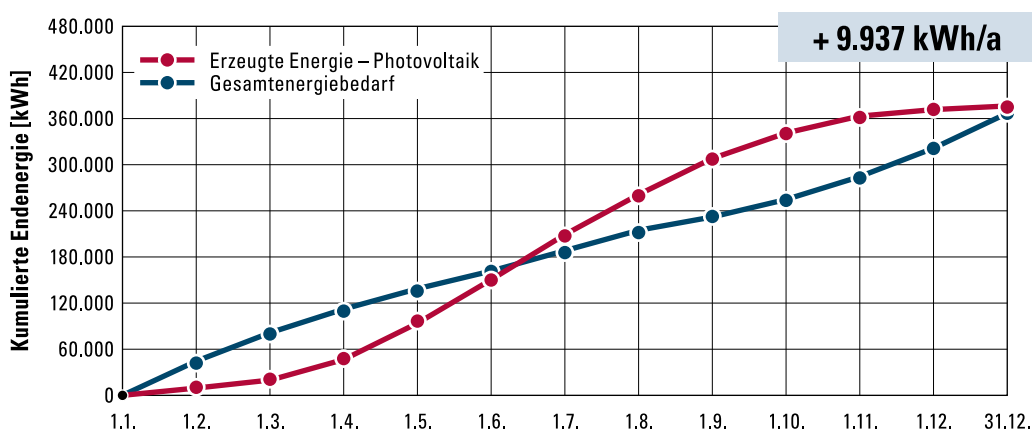


Abbildung 37: Prognostizierter Endenergieüberschuss
 Grafik: Fraunhofer IBP

Primärenergie

Tabelle 20: Primärenergiebezug von außerhalb

Komponente	Primärenergiebedarf der notwendigen Energieträger	
	[kWh/a] ⁶⁾	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Erdgas	76.470	8,0
Strombedarf (TGA + Licht)	82.266	8,6
Nutzerstrom nach Effizienzhaus Plus	90.440	9,4
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 9.596 m ² ⁶⁾ vom PV-Ertrag werden 51 % im Gebäude selbst genutzt und mindern so den Bezug aus dem öffentlichen Netz		
Gesamt	249.175 kWh/a	

Tabelle 21: Primärenergiegutschrift durch Einspeisung

Komponente	Stromüberschuss	
	[kWh/a] ⁷⁾	[kWh/(m ² ·a)] ³⁾
PV-Dach	512.535	200,0
³⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 2.563 m ² ⁷⁾ vom PV-Ertrag werden 49 % in das öffentliche Netz eingespeist		
Gesamt	512.535 kWh/a	

Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren

Mit dem berechneten Energieüberschuss des Neubaus und der Sanierung kann der jährliche Stromverbrauch von 12 durchschnittlichen 4-Personen-Haushalten in Deutschland abgedeckt werden.*

*) entspricht 27 t CO₂/a



Abbildung 38: Im Obergeschoss des zentralen Erschließungsatriums des Neubaus (Bauteil B)
Foto: mse architekten



Modellvorhaben

Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren



Abbildung 39: Visualisierung der Südseite des Neubaus
Darstellung: köhler architekten

Allgemeine Daten

Tabelle 22: Zusammenstellung allgemeiner Angaben zum Gebäude und zu den Projektbeteiligten

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

Tabelle 23: Zusammenstellung der Gebäudekennwerte

Bruttogrundfläche	8.996 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	8.521 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	33.349 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,41 m ⁻¹
Anzahl der Klassen-/Fach-/ Gruppenräume	48
Gesamtfläche Unterrichtsräume	3.469 m ²

Projektbeschreibung

Das Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren wird in drei Bauabschnitten generalsaniert und erweitert. Mit dem Bezug des Neubaus wurde der erste Bauabschnitt der Gesamtmaßnahme im März 2019 abgeschlossen. Das neue „Technikum“ (Bauteil B) im Effizienzhaus Plus-Standard beherbergt die Fachklassenräume für die Naturwissenschaften.

Nach der Baufertigstellung des Neubaus folgt die Sanierung des Bestandsgebäudes Bauteil A. Das Schulgebäude wird entsprechend der zeitgemäßen energetischen, funktionalen, brand- und schallschutztechnischen Belange saniert, um den aktuellen Anforderungen aus dem Lehrbetrieb wieder gerecht zu werden.

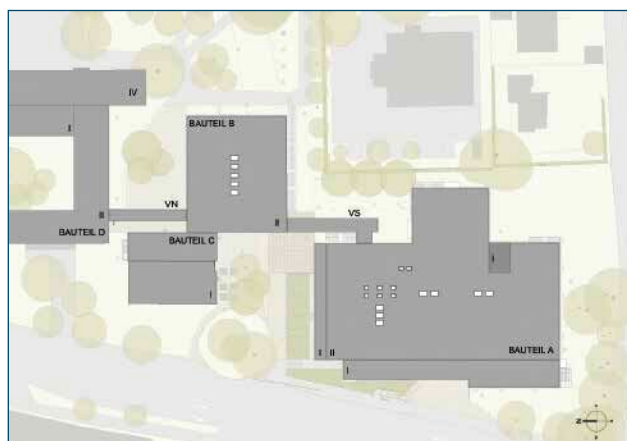


Abbildung 40: Lageplan der Gesamtanlage
Plan: köhler architekten

Architektur

Der neue Fachklassentrakt (Bauteil B) wurde zwischen den beiden bestehenden Gebäudeteilen Bauteil A und D errichtet. Er ist über zwei Verbindungsstege im ersten Obergeschoss barrierefrei mit diesen verbunden. Unter den Stegen kann die Wegführung zwischen den Gebäuden auch im Außenbereich „trockenen Fußes“ erfolgen. Die Fachklassen sind um das zentrale Atrium über beide Geschosse angeordnet. Die Fachgebiete Physik sowie Natur und Technik werden im Erdgeschoss, Chemie und Biologie im Obergeschoss zu jeweils einer Nutzungseinheit zusammengefasst.

Vor den Fachklassen im Erdgeschoss und im Obergeschoss sind offene Aufenthalts- und Lernbereiche, die in ihrer Nutzbarkeit vielfältige Möglichkeiten bieten und über reine Verkehrsflächen weit hinausgehen. Die Belichtung ist über mehrere Oberlichter im zentralen Atrium sichergestellt.

Bei der Generalsanierung von Bauteil A werden nicht nur die baulichen Defizite beseitigt, sondern auch die Raumbeziehungen wesentlich verbessert. Durch die Neuordnung von Raumgruppen, durch Umnutzungen und die Aktivierung von „Brachflächen“ können vorhandene Raumdefizite innerhalb der bestehenden Gebäudehülle ausgeglichen werden. Das überarbeitete Brandschutzkonzept ermöglicht der Schule die uneingeschränkte Nutzung der offenen Lernbereiche im Gebäudeinneren, die über Lufträume geschossübergreifend miteinander verbunden sind.

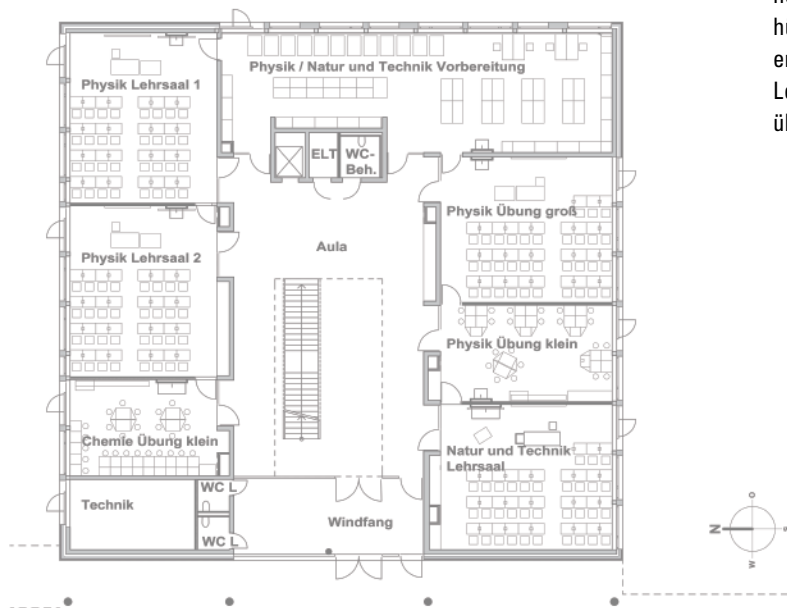


Abbildung 41: Erdgeschoss-Grundriss des Neubaus, Bauteil B
Plan: köhler architekten



Abb. 42: Nordseite des Neubaus und Pausenhof
Foto: Stadt Kaufbeuren



Abb. 43: Einer der Fachübungsräume
Foto: Stadt Kaufbeuren



Abb. 44: Die Aula im Atrium des Neubaus
Foto: Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren

Bauteile

Im Neubau sind die massiven Außenwände mit einer hinterlüfteten Metallfassade und 24 cm dicker Wärmedämmschicht versehen. Die Fenster wurden als Aluminium-Fenster mit einer 3-fach-Wärmeschutzverglasung ausgebildet. Die Stahlbetondecke des Flachdaches erhielt eine im Mittel 40 cm dicke Gefälledämmung. Die 30 cm dicke Bodenplatte wurde direkt auf dem Untergrund gegründet. Sie erhielt oberseitig eine 9 cm dicke Dämmung, auf die ein schwimmender Estrich aufgebracht wurde. Die Streifenfundamente im Sockelbereich wurden bis 1,20 m unter Gelände außenseitig mit einer 22 cm dicken Dämmschicht versehen.

Im Rahmen der Kernsanierung des Bestandsgebäudes Bauteil A werden die Fenster ausgetauscht und die Außenbauteile thermisch optimiert.

Tabelle 24: Zusammenstellung der U-Werte der Bauteile der Gebäudehüllfläche

Bauteil	U-Wert [W/(m²·K)]	
	Neubau, Bauteil B	Sanierung, Bauteil A
Außenwand	0,16	0,16
Fenster	0,80	0,80
Oberlichter	1,00	1,50
Dach	0,10	0,10
Bodenplatte	0,38 0,14*	1,70

*) inkl. Korrekturfaktor gemäß DIN EN ISO 13370

Anlagentechnik

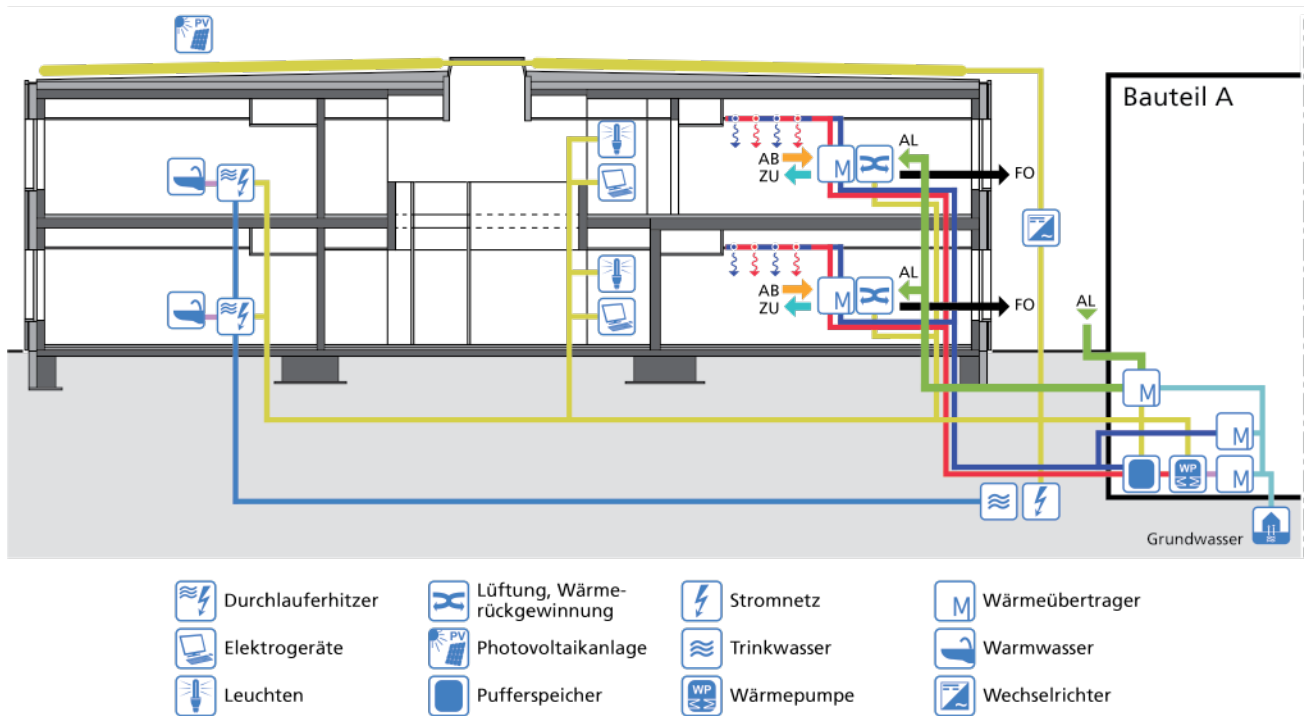


Abbildung 45: Längsschnitt durch den Neubau (Bauteil B) und Konzeption der Haustechnik

Grafik: Fraunhofer IBP

Abb. 46: PV-Anlage auf dem Dach des Neubaus
Foto: Güttinger IngenieureAbb. 47: Fassadendetail der Luftein-/auslässe
Foto: Stadt KaufbeurenAbb. 48: Zuluft-Schlitzschienen in den Decken
Foto: Stadt Kaufbeuren

Im Hauptgebäude (Bauteil A) werden Wasser-Wasser-Wärmepumpen mit einer geplanten Leistung von insgesamt 172,2 kW installiert. Als Wärmequelle dient hierfür das Grundwasser aus der ca. 500 m entfernten Altstadt von Kaufbeuren. Zwei vorhandene Pufferspeicher mit einem Fassungsvermögen von jeweils 1.500 Litern und zwei neue Speicher mit insgesamt ca. 10.000 Litern Inhalt werden als Wärmespeicher eingesetzt. Über eine Nahwärmeleitung wird die Wärme von Bauteil A in den Neubau Bauteil B transportiert.

Die Wärme- bzw. Kälteverteilung in die Räume erfolgt über Deckenheizflächen bzw. dezentrale Lüftungsgeräte. Die Zuluft wird zentral durch das vorhandene Grundwasser vorerwärmt (Frostschutz) bzw. vorgekühlt und anschließend über Grundleitungen im Erdreich an die dezentralen Lüftungsgeräte verteilt. Die Lüftungsgeräte sind mit einem hydraulischen Nachheizregister mit den Funktionen Heizen sowie Kühlen ausgestattet und weisen einen Wärmérückgewinnungsgrad von 90% auf. Ein Zweileitersystem versorgt im Nachgang zum Lüftungsgerät die Heiz- und Kühldecken („Low

Tech Hydraulik“). Die gesamte Raumkonditionierung (Luftmenge, Ansteuerung der Heiz-/Kühldecken bzw. Heizregister Lüftung) wird über die Steuerung der Lüftungsgeräte geleitet. Das dezentrale Lüftungskonzept lässt jederzeit auch eine Lüftung über die Fenster zu. Die Warmwasserbereitung erfolgt in ausgewählten Räumen dezentral über elektrische Durchlauferhitzer. Auf den Gebäudedächern werden monokristalline Photovoltaikanlagen mit einer Fläche von ca. 1.787 m² installiert. Die Leistung der Anlagen beträgt insgesamt ca. 334 kW_p. Überschüssiger Strom wird über einen Heizstab im Pufferspeicher in Wärme umgewandelt oder in das öffentliche Netz eingespeist.

Energie

Die Gebäude benötigen gemäß Berechnung 276.574 kWh Strom im Jahr ($32,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$). Davon wird mehr als die Hälfte (61 %) für den Betrieb der haustechnischen Anlagen verwendet, untergeordnet sind die Aufwände für Nutzerstrom (31 %) und Beleuchtung (8 %). Die Photovoltaikanlagen auf den Dächern des Schulkomplexes erzeugen gemäß einer Simulation am Standort Kaufbeuren 326.508 kWh erneuerbaren Strom im Jahr und sorgen so für einen

erwarteten jährlichen Überschuss in der Endenergiebilanz von 49.934 kWh/a. Vom lokal generierten Strom der PV-Anlagen werden voraussichtlich 57 % im Gebäude selbst genutzt und 43 % ins Netz eingespeist bzw. in den weiteren Gebäuden der Liegenschaft genutzt. Primärenergetisch bewertet beträgt der Bilanzüberschuss voraussichtlich 229.203 kWh/a.

Endenergie

Tabelle 25: Endenergiebedarf

Komponente	Energiebedarf	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Heizung/Warmwasser (Strom)	97.843	11,5
Kühlung (Strom)	6.427	0,8
Hilfsenergie für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung (Strom)	65.712	7,7
Beleuchtung (Strom)	21.385	2,5
Nutzerstrom	85.207	10,0
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 8.521 m ²		
Gesamt	276.574 kWh/a	

Tabelle 26: Endenergiedeckung

Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	326.508 ³⁾ (202.623) ⁴⁾	182,8 (113,4)
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 1.787 m ² ³⁾ gemäß PV-Simulation am Standort Kaufbeuren ⁴⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Standardwerten und Referenzklima Potsdam		
Gesamt	326.508 kWh/a	

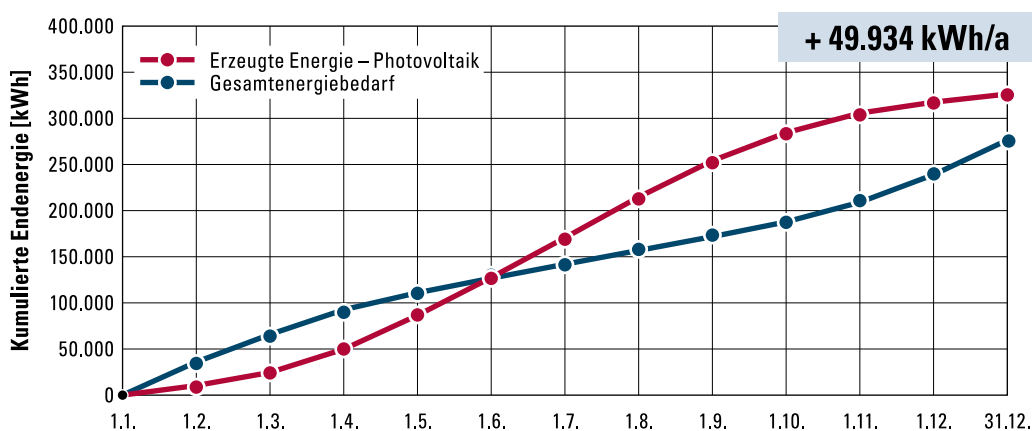


Abbildung 49: Prognostizierter Endenergieüberschuss
 Grafik: Fraunhofer IBP

Primärenergie

Tabelle 27: Primärenergiebezug von außerhalb

Komponente	Primärenergiebedarf der notwendigen Energieträger	
	[kWh/a] ⁵⁾	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Strombedarf (TGA + Licht)	106.590	12,5
Nutzerstrom nach Effizienzhaus Plus	54.312	6,4
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 8.521 m ² ⁵⁾ vom PV-Ertrag werden 57 % im Gebäude selbst genutzt und mindern so den Bezug aus dem öffentlichen Netz		
Gesamt	160.902 kWh/a	

Tabelle 28: Primärenergiegutschrift durch Einspeisung

Komponente	Stromüberschuss	
	[kWh/a] ⁶⁾	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	390.105	218,4
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 1.787 m ² ⁶⁾ vom PV-Ertrag werden 43 % in das öffentliche Netz eingespeist		
Gesamt	390.105 kWh/a	

Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen

Mit dem geplanten jährlichen energetischen ‚Plus‘ der Forschungshalle könnte ein Elektroauto etwa sieben Mal von Berlin nach Lissabon und zurück fahren.*

*) entspricht 4 t CO₂/a



Abbildung 50: Aus der Vogelperspektive ein Blick aus Südost auf die Forschungshalle
Foto: Stadt Feuchtwangen



Modellvorhaben

Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen



Abbildung 51: Blick von Südwest auf die Forschungshalle und den nebenstehenden Solar-Luftabsorberblock
Foto: Dr. Reinhardt Reck

Allgemeine Daten

Tabelle 29: Zusammenstellung allgemeiner Angaben zum Gebäude und zu den Projektbeteiligten

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

Tabelle 30: Zusammenstellung der Gebäudekennwerte

Bruttogrundfläche	608 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	531 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	3.119 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,47 m ⁻¹
Anzahl der Seminarräume	1
Gesamtfläche des Seminarraumes	54 m ²

Projektbeschreibung

Die Stadt Feuchtwangen plant für die Hochschule Ansbach die Errichtung einer Unterrichts- und Forschungseinheit für die energiebezogenen Studiengänge der Fakultät „Angewandte Ingenieurwissenschaften“. Die Gebäude des Komplexes werden Seminarräume, Büroflächen und Laborbereiche enthalten und in zwei Bauabschnitten errichtet. Zwischen den Gebäuden sind Synergien durch die gemeinsame Nutzung der Infrastruktur und Haustechnik geplant, die zur Reduzierung der Investitionskosten führen.

Zunächst wurde das östlich gelegene Gebäude 102, die „Forschungshalle“, im Effizienzhaus Plus-Standard errichtet und der Forschungs- und Lehrbetrieb im Februar 2018 aufgenommen. In einem nächsten Schritt ist der Bau des Gebäudes 101 „Lehrsaalgebäude“ geplant.



Abbildung 52: Lageplan der Gesamtanlage
Plan: HEF Architekten

Architektur

Das in Nord-Süd-Richtung orientierte, zweigeschossige Gebäude (Gebäude 102) ist mit einem Flachdach versehen und nicht unterkellert. Es wird von der Westseite erschlossen und ist das erste Gebäude, das auf dem „Campus Feuchtwangen“ realisiert wurde. Die schlichte „Holzbox“ beinhaltet eine zweigeschossige Forschungshalle, in der Versuchsstände aufgebaut werden können. An die

Halle grenzen im Erdgeschoss ein Büroraum zur Auswertung der Versuche sowie eine Teeküche, ein Lager, Sanitäreinrichtungen und ein Haustechnikraum an. Im Obergeschoss werden über einen Galeriebereich innerhalb der Halle weitere Büros und ein Seminarraum erschlossen.

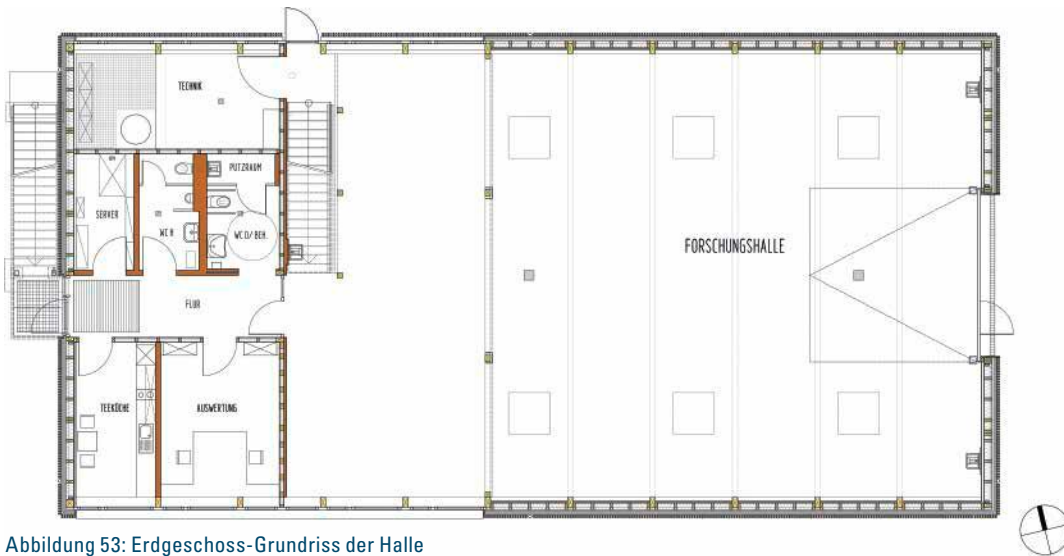


Abbildung 53: Erdgeschoss-Grundriss der Halle
Plan: HEF Architekten



Abb. 54: Blick in den Seminarraum
Foto: ZEBAU



Abb. 55: In der Halle – stirnseitig die Büroräume
Foto: Stadt Feuchtwangen



Abb. 56: Unter der Bürogalerie – Blick in die Halle
Foto: Stadt Feuchtwangen

Bauteile

Das Gebäude wurde als Holzbau auf einer massiven Bodenplatte mit massivem Sockelbereich errichtet. Die Außenwände wurden als Holzständerwände mit einer hinterlüfteten Douglasien-Holzverkleidung aus Vertikallamellen realisiert und wurden mit einer Holzfaserdämmung gedämmt.

Die Fenster wurden als Holz-Aluminium-Fenster mit einer 3-fach-Verglasung ausgebildet. An der Südseite wurde ergänzend ein fester Sonnenschutz mit starren Hohlkörperlamellen befestigt. An der Westseite wurden die Fenster mit einer Sonnenschutzverglasung ohne weiteren außenliegenden Sonnenschutz ausgestattet. Im Bereich des Daches wurden Lichtkuppeln verbaut.

Das Dach wurde als Flachdach ausgebildet. Auf den Dachbindern wurde eine Furnierschichtholzplatte angeordnet, auf der die Wärmedämmung, die Dachabdichtung und das Gründach liegen. Die 35 cm dicke Bodenplatte liegt auf einer druckfesten 16 cm starken Dämmung aus Schaumglas auf. Im Bereich der Halle wurde die

Tabelle 31: Zusammenstellung der U-Werte der Bauteile der Gebäudehüllfläche

Bauteil	U-Wert [W/(m²·K)]
Außenwand	0,17
Fenster	0,95
Lichtkuppel	1,70
Dach	0,13
Bodenplatte	0,26

Bodenplatte flügelgeglättet und in den übrigen Teilen mit einem schwimmenden Estrich und einem Bodenbelag versehen.

Anlagentechnik

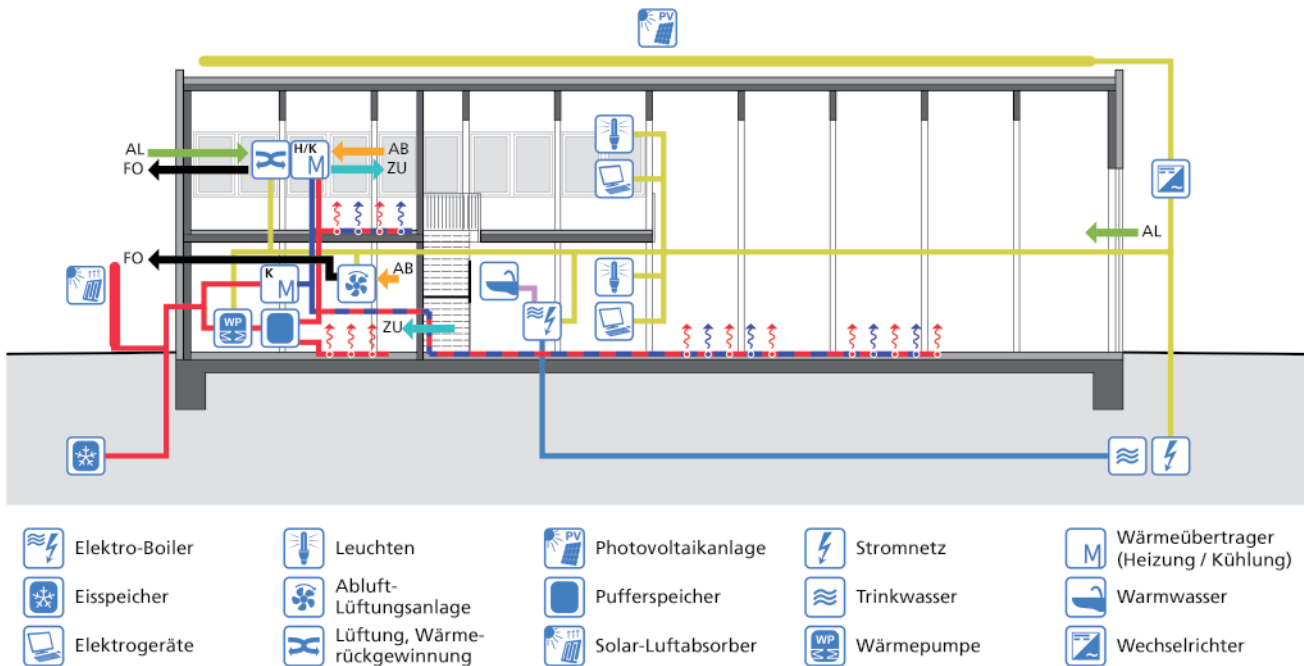


Abbildung 57: Längsschnitt durch die Forschungshalle und Konzeption der Haustechnik
 Grafik: Fraunhofer IBP



Abb. 58: PV-Anlage auf dem Dach der Halle
 Foto: Stadt Feuchtwangen



Abb. 59: Die Haustechnikzentrale
 Foto: Stadt Feuchtwangen



Abb. 60: Der Solar-Luftabsorberblock
 Foto: Stadt Feuchtwangen

Das energetische Versorgungskonzept ist strombasiert. Die Wärmeerzeugung erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe (B0/W35) mit einer Heizleistung von 28,8 kW. Als Wärmequelle der Wärmepumpe dient ein Eisspeicher mit einem Volumen von 273 m³ in Kombination mit einem Block aus 20 Solar-Luftabsorbern mit einer Absorberfläche von 46,8 m². Diese sind im Außenbereich an der Westseite des Gebäudes aufgestellt. An die Wärmepumpe ist ein Pufferspeicher mit einem Fassungsvermögen von 1.500 Litern angeschlossen.

Durch verschiedene Schaltmodi der Systemtechnik ist, je nach Bedarf, das Heizen bzw. Kühlen über einen reinen Kollektorbetrieb sowie das Be- und Entladen des Eisspeichers möglich.

Die Heizung bzw. Kühlung der Räume erfolgt über Flächensysteme. Während die Büroräume über eine Fußbodenheizung verfügen, wird die Forschungshalle mittels einer thermischen Aktivierung der Bodenplatte auf ein niedrigeres thermisches Niveau beheizt. Die Raumsolltemperatur beträgt für die Halle 17°C und für alle übrigen Räume 21°C. Die Regelung erfolgt dabei raumweise.

Der Seminarraum wird zusätzlich durch eine kontrollierte Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung konditioniert. Im Sanitär-

bereich ist eine Abluftanlage eingesetzt. Die Trinkwarmwasserbereitung in der Teeküche erfolgt dezentral über einen Elektro-Boiler. Zur Deckung des Endenergiebedarfs des Gebäudes sind auf dem Dach 150 Photovoltaikmodule mit monokristallinen Solarzellen mit 15 Grad Neigung in Ost-, West- und Südrichtung installiert. Die gesamte Anlage hat eine Größe von 246 m² und eine Standardleistung von 33,2 kW_p.

Energie

Das Gebäude benötigt gemäß Berechnung 18.709 kWh Strom im Jahr ($35,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$). Davon wird etwa die Hälfte (54 %) für den Betrieb der haustechnischen Anlagen verwendet, untergeordnet sind die Aufwände für Nutzerstrom (28 %) und Beleuchtung (18 %). Die Photovoltaikanlage auf dem Dach der Forschungshalle erzeugt unter durchschnittlichen Klimabedingungen 26.681 kWh erneuerbaren Strom im Jahr und sorgt so für einen erwarteten

jährlichen Überschuss in der Endenergiebilanz von 7.972 kWh/a. Vom lokal generierten Strom der PV-Anlage werden voraussichtlich 47 % im Gebäude selbst genutzt und 53 % ins Netz eingespeist. Primärenergetisch bewertet beträgt der Bilanzüberschuss voraussichtlich 28.559 kWh/a.

Endenergie

Tabelle 32: Endenergiebedarf

Komponente	Energiebedarf	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Heizung/Warmwasser (Strom)	5.714	10,8
Kühlung (Strom)	1.688	3,2
Hilfsenergie für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung (Strom)	2.656	5,0
Beleuchtung (Strom)	3.341	6,3
Nutzerstrom	5.310	10,0
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 531 m ²		
Gesamt	18.709 kWh/a	

Tabelle 33: Endenergiedeckung

Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a] ³⁾	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	26.681	108,5
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 246 m ² ³⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Standardwerten Referenzklima Potsdam		
Gesamt	26.681 kWh/a	

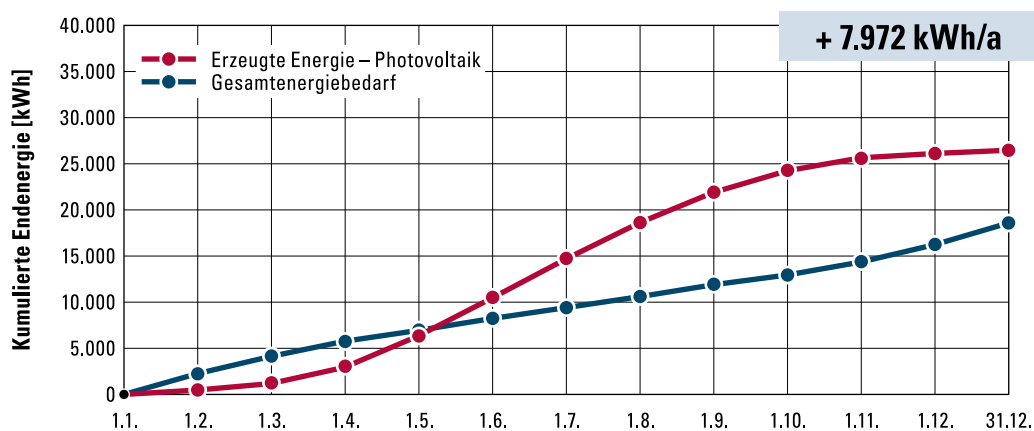


Abbildung 61: Prognostizierter Endenergieüberschuss
Grafik: Fraunhofer IBP

Primärenergie

Tabelle 34: Primärenergiebezug von außerhalb

Komponente	Primärenergiebedarf der notwendigen Energieträger	
	[kWh/a] ⁴⁾	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Strombedarf (TGA + Licht)	8.088	15,2
Nutzerstrom nach Effizienzhaus Plus	3.142	5,9
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 531 m ² ⁴⁾ vom PV-Ertrag werden 47 % im Gebäude selbst genutzt und mindern so den Bezug aus dem öffentlichen Netz		
Gesamt	11.230 kWh/a	

Tabelle 35: Primärenergiegutschrift durch Einspeisung

Komponente	Stromüberschuss	
	[kWh/a] ⁵⁾	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	39.789	161,7
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 246 m ² ⁵⁾ vom PV-Ertrag werden 53 % in das öffentliche Netz eingespeist		
Gesamt	39.789 kWh/a	

Erweiterungsbau der Grundschule in Giebelstadt

Durch den berechneten Energieüberschuss des Erweiterungsbaus werden 10 Tonnen CO₂ im Jahr eingespart.



Abbildung 62: Südöstliche Ansicht auf den Erweiterungsbau der Grundschule in Giebelstadt
Foto: Haase & Bey Architekten



Modellvorhaben

Erweiterung der Grundschule in Giebelstadt



Abbildung 63: Blick auf die Südseite des Erweiterungsgebäudes
Foto: Haase & Bey Architekten

Allgemeine Daten

Tabelle 36: Zusammenstellung allgemeiner Angaben zum Gebäude und zu den Projektbeteiligten

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

Tabelle 37: Zusammenstellung der Gebäudekennwerte

Bruttogrundfläche	730 m ²
Beheizte Nettogrundfläche	624 m ²
Beheiztes Gebäudevolumen	3.058 m ³
Hüllflächenfaktor A/V	0,63 m ⁻¹
Anzahl der Klassen-/Fach-/Gruppenräume	7
Gesamtfläche Unterrichtsräume	256 m ²

Projektbeschreibung

Das Bestandsgebäude der Grundschule Giebelstadt wurde bereits energetisch saniert und wurde nun aufgrund von steigenden Schülerzahlen durch einen im Effizienzhaus Plus-Standard konzipierten Erweiterungsbau für die Mittagsbetreuung der Schulkinder ergänzt. Der eingeschossige Neubau ohne Kellergeschoss wurde als kompakter Baukörper mit einem um 15 Grad geneigten Dach sowie einem Flachdach ausgestattet, um ideale Verhältnisse für eine Photovoltaikanlage bei gleichzeitiger natürlicher Belichtung der Fassade zu erreichen.

Auf dem Schulgelände befindet sich des Weiteren noch eine 1-fach-Sporthalle aus den 1970er Jahren, die durch eine 3-fach-Turnhalle (außerhalb dieses Programms) in einem nächsten Bauabschnitt ersetzt werden soll.

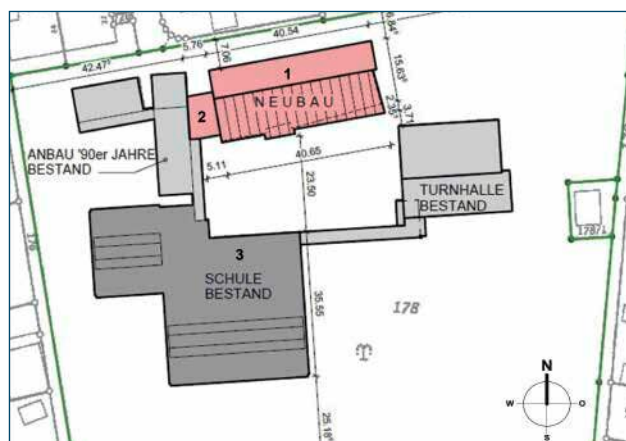


Abbildung 64: Lageplan der Gesamtanlage
Plan: Haase & Bey Architekten

Architektur

Das neue Erweiterungsgebäude der Grundschule Giebelstadt bietet Platz für die Räume der Mittagsbetreuung der Schüler und ist über einen Zwischenbau an den bestehenden Anbau aus den 90er Jahren angeschlossen. Auf der Nordseite des Erweiterungsbaus befinden sich überwiegend Gruppenräume verschiedener Funktionen, WC-Anlagen und die Ausgabeküche. Südlich des Flurs sind der Speiseraum, die Schülerbibliothek, Räume für die Mittagsbetreuung und ein Büro untergebracht. Der niedrig gehaltene Zwischenbau enthält ein weiteres Büro sowie ein Foyer.

Der Erweiterungsbau ist in Holzständerbauweise errichtet. Aus Gründen des Brandschutzes sind die Außenwände des Zwischenbaus aus massivem Mauerwerk erstellt. Das Sheddach des Erweiterungsbaus mit durchlaufendem Fensterband an der Nordseite ermöglicht die natürliche Belichtung und Belüftung des Flures. Die Flurtrennwände der Schülerbibliothek verfügen zur Steigerung der Transparenz über großzügige Oberlichter.



Abbildung 65: Erdgeschoss-Grundriss des Erweiterungsbaus
Plan: Haase & Bey Architekten



Abb. 66: Flurbereich zu den Gruppenräumen
Foto: Haase & Bey Architekten



Abb. 67: Blick in den Speiseraum
Foto: Haase & Bey Architekten



Abb. 68: Der Leseraum für die Schüler
Foto: Haase & Bey Architekten

Bauteile

Die massiven Außenwände des Foyers sind außenseitig mit einer 20 cm dicken Wärmedämmung aus Mineralwolle versehen und beidseitig verputzt. Die 34 cm dicken Außenwände des Hauptkörpers sind als Holzkonstruktion mit innenliegender, 1,5 cm starker OSB-Platte als aussteifende Beplankung und außenseitiger 6 cm starker Holzfaserdämmplatte mit mineralischem Außenputz erstellt. Der 20 cm breite Zwischenraum wurde mit Wärmedämmung aus Zellulose ausgeblasen. Raumseitig ist eine Verkleidung aus Gipskartonplatten angeordnet.

Die Holz-Aluminium-Fenster sind 3-fach-wärmeschutzverglast. Der Sonnenschutz wird durch motorisch angetriebene, außenliegende Jalousien gewährleistet.

Die mit Gipskartonplatten abgehängte Brettstapeldecke mit einer Stärke von 22 cm ist in allen Dachbereichen oberseitig mit 16 cm Wärmedämmung und einem rollnahtgeschweißten Edelstahlblech

Tabelle 38: Zusammenstellung der U-Werte der Bauteile der Gebäudehüllfläche

Bauteil	U-Wert [W/(m²·K)]
Außenwand	0,16
Fenster	0,85
Dach	0,13
Bodenplatte	0,17

versehen. Die 18 cm dicke Bodenplatte ist auf einer 16 cm starken, druckfesten Dämmung gelagert. Der Bodenbelag ist auf einem schwimmenden Gussasphaltestrich aufgebracht.

Anlagentechnik

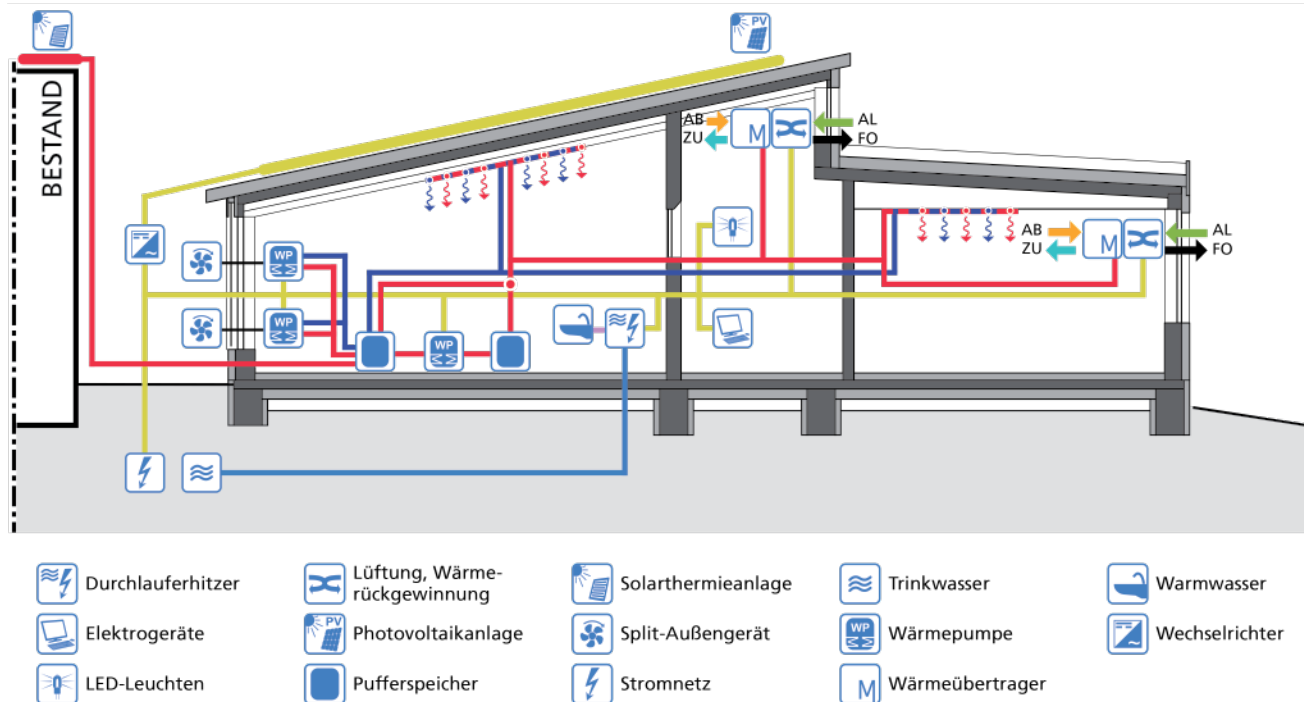


Abbildung 69: Längsschnitt durch das Gebäude und Konzeption der Haustechnik
 Grafik: Fraunhofer IBP



Abb.70: Integrierte Deckenheizung, LED-Leuchten
 Foto: Haase & Bey Architekten



Abb. 71: Der Technikraum
 Foto: Haase & Bey Architekten



Abb. 72: Wärmepumpe und Schichtenspeicher
 Foto: Haase & Bey Architekten

Die Wärmeversorgung des Gebäudes erfolgt unabhängig vom Bestandsgebäude über ein hintereinander geschaltetes (kaskadiertes) Wärmepumpensystem. Zwei Luft-Wasser-Wärmepumpen mit einer Nennleistung von je 11,2 kW beheizen einen Kältspeicher (1.000 Liter) auf einem niedrigen Temperaturniveau (ca. 15 °C). Eine nachgelagerte Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit 17 kW Leistung nutzt den Kältspeicher als Wärmequelle und erzeugt Wärme für das Heizwasser, welches in einen weiteren Schichtenspeicher mit ebenfalls 1.000 Liter Nennvolumen eingelagert wird. Zusätzlich können solarthermische Überschüsse aus dem Bestandsgebäude in den Kältspeicher eingebracht werden. Die Wärmeverteilung aus dem Warmspeicher erfolgt über zwei Heizkreise, einen für die Deckensegel und einen für die Lüftungsanlagen. Nachgeschaltete Luftherhitzer ermöglichen eine Mindesttemperierung der Zuluft. Im Sommer kann die Anlage zur aktiven Kühlung genutzt werden. Aufgrund des geringen Bedarfs wird das Trinkwarmwasser direkt elektrisch über Boiler bereitgestellt.

Die dezentralen Lüftungsanlagen mit einer Wärmerückgewinnungsrate von etwa 80 % versorgen in der Regel jeweils mehrere Räume und werden nach Feuchte und CO₂ geregelt. Die Wärmepumpen werden hauptsächlich durch eigenerzeugten PV-Strom aus der 323 m² großen PV-Anlage mit einer Nennleistung von 55,4 kW_p versorgt. Die Beleuchtung besteht im ganzen Gebäude aus LED-Technik. Diese wird von Hand bedient. Lediglich in den Verkehrsflächen und in den WC-Räumen wird die Beleuchtung automatisch ein- und ausgeschaltet.

Energie

Das Gebäude benötigt gemäß Berechnung 26.310 kWh Strom im Jahr ($42,2 \text{ kWh/m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a}$). Davon wird der Großteil (65 %) für den Betrieb der haustechnischen Anlagen verwendet, untergeordnet sind die Aufwände für Nutzerstrom (24 %) und Beleuchtung (12 %). Die Photovoltaikanlage auf dem Dach der Grundschule erzeugt unter durchschnittlichen Klimabedingungen 45.375 kWh erneuerbaren Strom im Jahr und sorgt so für einen erwarteten jährlichen

Überschuss in der Endenergiebilanz von 19.065 kWh/a. Vom lokal generierten Strom der PV-Anlage werden voraussichtlich 40 % im Gebäude selbst genutzt und 60 % ins Netz eingespeist bzw. in den Bestandsgebäuden der Liegenschaft genutzt. Primärenergetisch bewertet beträgt der Bilanzüberschuss voraussichtlich 61.690 kWh/a.

Endenergie

Tabelle 39: Endenergiebedarf

Komponente	Energiebedarf	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Heizung/Warmwasser (Strom)	12.300	19,7
Kühlung (Strom)	1.813	2,9
Hilfsenergie für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung (Strom)	2.925	4,7
Beleuchtung (Strom)	3.032	4,9
Nutzerstrom	6.240	10,0
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 624 m ²		
Gesamt	26.310 kWh/a	

Tabelle 40: Endenergiedeckung

Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a]	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	45.375 ³⁾ (32.411) ⁴⁾	140,5 (100,3)
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 323 m ² ³⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Modulnennleistung ⁴⁾ nach DIN V 18599 (2011) mit Standardwerten und Referenzklima Potsdam		
Gesamt	45.375 kWh/a	

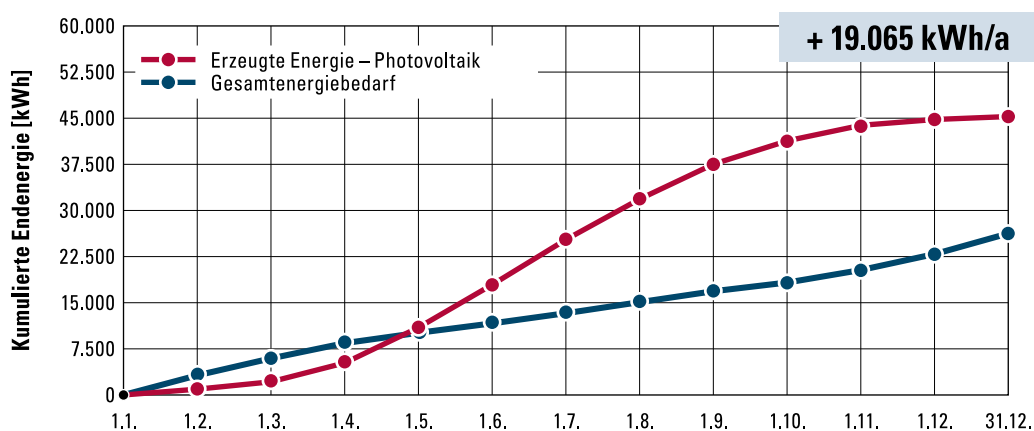


Abbildung 73: Prognostizierter Endenergieüberschuss
Grafik: Fraunhofer IBP

Primärenergie

Tabelle 41: Primärenergiebezug von außerhalb

Komponente	Primärenergiebedarf der notwendigen Energieträger	
	[kWh/a] ⁵⁾	[kWh/(m ² ·a)] ¹⁾
Strombedarf (TGA + Licht)	11.267	18,1
Nutzerstrom nach Effizienzhaus Plus	3.639	5,9
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 624 m ² ⁵⁾ vom PV-Ertrag werden 40 % im Gebäude selbst genutzt und mindern so den Bezug aus dem öffentlichen Netz		
Gesamt	14.960 kWh/a	

Tabelle 42: Primärenergiegutschrift durch Einspeisung

Komponente	Stromüberschuss	
	[kWh/a] ⁶⁾	[kWh/(m ² ·a)] ²⁾
PV-Dach	76.650	237,3
²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche Dach 323 m ² ⁶⁾ vom PV-Ertrag werden 60 % in das öffentliche Netz eingespeist		
Gesamt	76.650 kWh/a	

Ersatzneubau der Hochschule Ulm

Die jährliche CO₂-Senke durch die geplante Stromeinspeisung der PV-Anlagen des Ersatzneubaus entspricht der einer 48 Hektar großen Waldfläche.



Abbildung 74: In der Bauphase – Blick von Süden auf das Bauvorhaben
Foto: SPREEN ARCHITEKTEN



Modellvorhaben

Ersatzneubau der Hochschule Ulm



Abbildung 75: Visualisierung des Gebäudes aus nordwestlicher Richtung
Darstellung: SPREEN ARCHITEKTEN

Allgemeine Daten

Tabelle 43: Zusammenstellung allgemeiner Angaben zum Gebäude und zu den Projektbeteiligten

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

Tabelle 44: Zusammenstellung der Gebäudekennwerte

Bruttogrundfläche	11.291 m²
Beheizte Nettogrundfläche	10.003 m²
Beheiztes Gebäudevolumen	47.949 m³
Hüllflächenfaktor A/V	0,25 m ⁻¹
Anzahl der Räume für Forschung und Lehre	38
Gesamtfläche der Räume für Forschung und Lehre	4.144 m²

Projektbeschreibung

Der im Effizienzhaus Plus-Standard konzipierte Ersatzneubau befindet sich an der Albert-Einstein-Allee, östlich des vorhandenen Hochschulgebäudes, und bildet zusammen mit diesem den neuen Hochschulcampus auf dem Oberen Eselsberg in Ulm. Der Neubau ersetzt die Räumlichkeiten im stark sanierungsbedürftigen Objekt in der Eberhardt-Finck-Straße in Ulm-Böfingen und beherbergt die Institute der Fakultäten Elektrotechnik und Informationstechnik. Das Gebäude dient der Lehre und Forschung und enthält hochinstallierte Laborräume, Büro-, Besprechungs- und Seminarbereiche sowie eine Bibliothek. Mit dem Effizienzhaus Plus-Standard erfüllt das Gebäude die Vorgaben des Landes Baden-Württemberg, das seinen Gebäudebestand bis 2050 weitgehend klimaneutral gestalten will.



Abbildung 76: Lageplan der Gesamtanlage
Plan: Koeber Landschaftsarchitektur

Architektur

Der Neubau ist als kompaktes, quadratisches, viergeschossiges Gebäude geplant und wird neben dem bestehenden Hochschulgebäude errichtet. Durch den gemeinsamen Freibereich werden die beiden Gebäude zu einem Komplex verbunden. Das Gebäude wirkt durch seine klare Struktur. Die beiden unterschiedlich geformten Innenhöfe sorgen im Inneren für Transparenz und führen optisch die

Geschosse zusammen. Um die beiden Innenhöfe, die für Belichtung und Belüftung sorgen, gruppieren sich Laborflächen.

Des Weiteren sind um diesen Kern herum Büro- und Seminarbereiche angeordnet, mit Aussicht auf die Albert-Einstein-Allee und den angrenzenden Naturraum. Sonderlabore und Werkstätten liegen im Untergeschoss an der Ostseite.

Im Bereich des Haupteingangs ist eine variable Nutzung vorgesehen. Das Foyer wird als Veranstaltungsraum genutzt – es orientiert sich zum westlichen Innenhof und lässt sich um diese Außenfläche erweitern. Gleichzeitig dient die Foyer-Fläche im Alltagsbetrieb als Hauptmeetingpoint und studentischer Arbeitsraum.

Ein Teilbereich des Flachdaches oberhalb der Laborbereiche wird als Versuchsfläche für die Hochschule ausgebaut. Die übrigen Bereiche des Daches werden vollständig zur Energiegewinnung mittels Photovoltaik genutzt.



Abbildung 77: Erdgeschoss-Grundriss
Plan: Vermögen und Bau BW



Abb. 78: Die Ostseite des Gebäudes
Foto: SPREEN ARCHITEKTEN



Abb. 79: Einblick in den schmalen Innenhof
Foto: SPREEN ARCHITEKTEN



Abb. 80: Ausblick aus dem Treppenhaus
Foto: SPREEN ARCHITEKTEN

Bauteile

Das kompakte Gebäude wird als Massivbau mit Betondecken und Wandscheiben aus Stahlbeton in Form von Betonhalbfertigteilen realisiert. Es wird eine luftdichte Ausführung der Gebäudehülle und eine wärmebrückenarme Detailausbildung angestrebt. Die Außenwände bestehen aus Stahlbeton-Halbfertigteilen als tragende Elemente und werden mit einer Vorsatzschale, die eine 19 cm dicke Wärmedämmschicht enthält, versehen.

Die Fenster werden als Holzfenster mit einer 3-fach-Sonnenschutzverglasung ausgebildet. Alle Fenster erhalten einen außenliegenden Sonnenschutz.

Das Dach wird als Flachdach ausgebildet, auf dem die aufgeständerte Photovoltaikanlage angeordnet wird. Auf der obersten massiven Geschossdecke werden eine Dampfsperre und eine 28 cm dicke Wärmedämmung aufgebracht, auf der eine Dachabdichtung verlegt wird.

Tabelle 45: Zusammenstellung der U-Werte der Bauteile der Gebäudehüllfläche

Bauteil	U-Wert [W/(m²·K)]
Außenwand	0,18
Fenster	0,80
Dach	0,14
Bodenplatte	0,27

Die 60 cm dicke Bodenplatte liegt auf einer 40 cm dicken Schaumglasschotterschicht auf und erhält eine Abdichtung und einen schwimmenden Estrich mit einer 6 cm dicken Wärme- und einer 2 cm dicken Trittschalldämmung. Auf dem Estrich wird in den Seminar- und Büroräumen eine Oberflächenbeschichtung aufgebracht.

Anlagentechnik

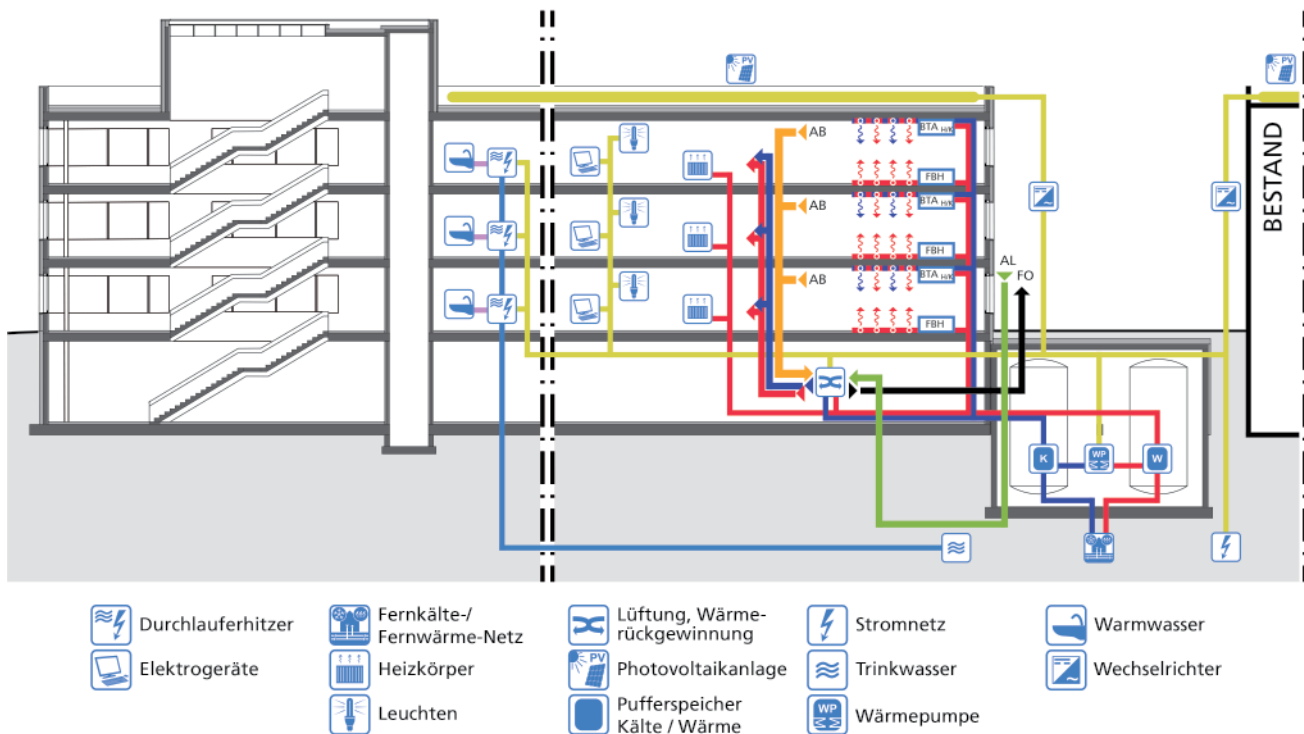


Abbildung 81: Längsschnitt durch das Gebäude und Konzeption der Haustechnik
Grafik: Fraunhofer IBP

Das Gebäude wird über eine reversible Wasser-Wasser-Wärmepumpe beheizt bzw. gekühlt. Im Heizbetrieb beträgt die maximale Leistung der Anlage 145 kW, im Kühlbetrieb 85 kW. Durch die Nutzung des bereits auf dem Campusgelände vorhandenen weitläufigen Fernkältenetzes als Wärmequelle reduziert sich der Endenergiebedarf des Gebäudes auf ein Minimum. Strategie dabei ist es, die bei der Wärmeerzeugung anfallende Kälteenergie dem Fernkältenetz als Nutzenergie zuzuführen. Diese Entlastung des Fernkältenetzes wird dem Gebäude gutgeschrieben und als Energieeinspeisung bei der Effizienzhaus Plus-Bilanzierung betrachtet. Zur Betriebsoptimierung der Anlage ist heizungs- und kälteseitig je ein Pufferspeicher mit 50 m³ installiert. Die Spitzenlast deckt der Fernwärmeanschluss ab. Die Wärmeübertragung erfolgt mittels Bauteilaktivierung, Fußbodenheizung, Heizkörpern und in den Seminar- und Laborbereichen über die erforderliche Lüftungsanlage. Das Trinkwarmwasser für die Sanitärbereiche und Teeküchen wird dezentral mit Elektro-Durchlauferhitzern bereit.

Energie

Das Gebäude benötigt gemäß Berechnung 677.603 kWh Endenergie im Jahr ($67,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh,NGF}} \cdot \text{a})$) in Form von Strom, Fernwärme und Fernkälte. Davon wird der Großteil (69%) für den Betrieb der haustechnischen Anlagen verwendet, untergeordnet sind die Aufwände für Nutzerstrom (24%) und Beleuchtung (7%). Die Photovoltaikanlage auf dem Dach der Hochschule erzeugt gemäß einer Simulation am Standort Ulm 373.231 kWh erneuerbaren Strom im Jahr. Da die Wärmepumpe das Fernkältenetz als Energiequelle verwendet, wird die Kältezentrale des Netzes um 321.156 kWh im Jahr entlastet. Der erzeugte Strom der Photovoltaikanlage sowie die Kälteeinspeisung ins öffentliche Netz sorgen für einen erwarteten

Die Seminar- und Schulungsräume sowie die Technik- und Nebenräume werden über je eine Lüftungsanlage mit Frischluft versorgt. Die Außenluftansaugung erfolgt über einen begehbaren Bodenkana, der gleichzeitig zur Vorkonditionierung der Außenluft dient. Zur Wärmerückgewinnung sind beide Anlagen mit einem hocheffizienten Kreislaufverbundsystem ausgerüstet. Im Heizfall wird die Luft auf einen konstanten Wert vorgeheizt. Die Anlage für die Seminar- und Schulungsräume erhält zusätzlich zur Kühlung der Außenluft im Sommer eine adiabate Fortluftkühlung, die die Grundkühllast der Räume abdeckt. Die Regelung der Zuluftmenge erfolgt bedarfsgerecht, abhängig vom CO₂-Gehalt der Luft. Die restlichen Räume werden natürlich be- und entlüftet. Zur Deckung des Endenergiebedarfs des Gebäudes werden knapp 1.900 m² Hochleistungs-PV-Module auf dem Neubau sowie dem Bestandsgebäude installiert. Die Gesamtleistung der Anlage beträgt ca. 370 kW_p.

jährlichen Überschuss in der Endenergiebilanz von 16.784 kWh/a. Vom lokal generierten Strom der PV-Anlage werden voraussichtlich 75% im Gebäude selbst genutzt und 25% ins Netz eingespeist. Primärenergetisch bewertet beträgt der Bilanzüberschuss voraussichtlich 51.530 kWh/a.

Endenergie

Tabelle 46: Endenergiebedarf

Komponente	Energiebedarf	
	[kWh/a]	[kWh/(m²·a)] ¹⁾
Heizung (Fernwärme)	126.585	12,7
Heizung/Warmwasser (Strom)	92.836	9,3
Kühlung (Fernkälte)	123.723	12,4
Kühlung (Strom)	51.509	5,1
Hilfsenergie für Heizung, Kühlung, Warmwasser, Lüftung (Strom)	74.318	7,4
Beleuchtung (Strom)	48.580	4,9
Nutzerstrom	160.052	16,0
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 10.003 m²		
Gesamt	677.603 kWh/a	

Tabelle 47: Endenergiedeckung

Komponente	Stromertrag	
	[kWh/a]	[kWh/(m²·a)]
PV-Dach	373.231 ³⁾ (203.934) ⁴⁾	198,5 ²⁾ (108,5) ²⁾
Kälteeinspeisung	321.156	32,1 ¹⁾
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 10.003 m² ²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche 1.880 m² ³⁾ gemäß PV-Simulation am Standort Ulm ⁴⁾ nach DIN V 18599 mit Standardwerten und Referenzklima Potsdam		
Gesamt	694.387 kWh/a	

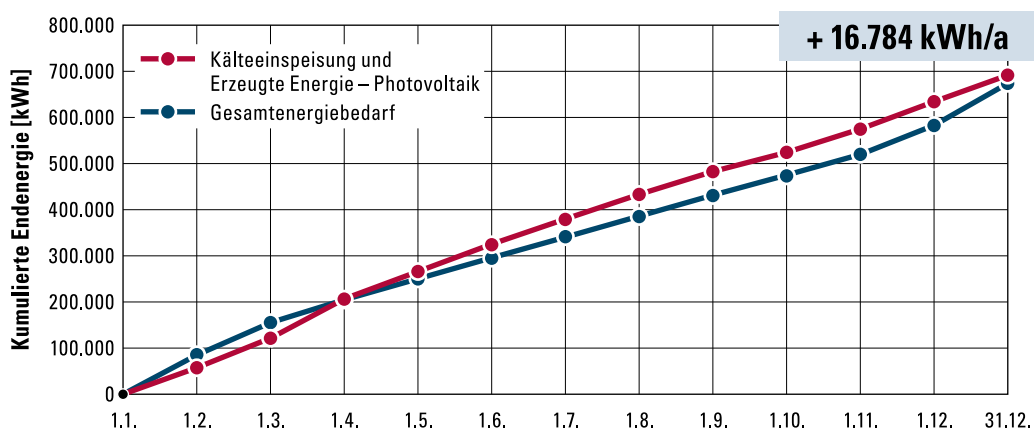
Abbildung 82: Prognostizierter Endenergieüberschuss
Grafik: Fraunhofer IBP**Primärenergie**

Tabelle 48: Primärenergiebezug von außerhalb

Komponente	Primärenergiebedarf der notwendigen Energieträger	
	[kWh/a] ⁵⁾	[kWh/(m²·a)] ¹⁾
Nahwärme	25.317	2,5
Fernkälte	50.726	5,1
Strombedarf (TGA + Licht)	129.311	12,9
Nutzerstrom nach Effizienzhaus Plus	135.787	13,6
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 10.003 m² ⁵⁾ vom PV-Ertrag werden 75 % im Gebäude selbst genutzt und mindern so den Bezug aus dem öffentlichen Netz		
Gesamt	341.141 kWh/a	

Tabelle 49: Primärenergiegutschrift durch Einspeisung

Komponente	Stromüberschuss	
	[kWh/a] ⁶⁾	[kWh/(m²·a)]
PV-Dach	260.997	138,8 ²⁾
Kälteeinspeisung	131.674	13,2 ¹⁾
¹⁾ bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche 10.003 m² ²⁾ bezogen auf die PV-Modulfläche 1.880 m² ⁶⁾ vom PV-Ertrag werden 25 % in das öffentliche Netz eingespeist		
Gesamt	392.671 kWh/a	

Querauswertung Planung

Das Ziel von Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten ist es, im Laufe eines Jahres mehr erneuerbare Energie lokal zu generieren, als die Gebäude für den Betrieb und ihre Nutzung benötigen. Das Effizienzhaus Plus ist technologieoffen und zeichnet sich durch eine intelligente Kombination von energieeffizienten Bau- und Haustechniktechnologien und erneuerbaren Energiegewinnsystemen aus. Insgesamt sieben sehr unterschiedliche Bildungsgebäude werden im Rahmen des Förderprogramms für Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten evaluiert. In diesem Kapitel werden die Planungsdaten einander systematisch gegenübergestellt. Die von den Fachplanern ermittelten gebäudebezogenen Schlüsselkennwerte der an der Initiative beteiligten Bildungsbauten wurden vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP im Rahmen eines Begleitforschungsprojekts vergleichend analysiert und aufbereitet.

Beheizte Nettogrundfläche als Bezugsfläche

In den sieben Pilotprojekten sind verschiedene Bildungseinrichtungen mit sehr unterschiedlichen Nutzungen und Räumlichkeiten untergebracht. Die Modellvorhaben reichen vom eingeschossigen Erweiterungsbau für die Ganztagsbetreuung der Grundschule Giebelstadt bis hin zum dreigeschossigen Ersatzneubau der Hochschule Ulm mit Sonderlaboren und Werkstätten. Die meisten Bauvorhaben sind Neubauten, beim Gymnasium Neutraubling sowie beim Jakob-Brucker-Gymnasium werden jedoch auch großflächige

Sanierungen im Effizienzhaus Plus-Standard durchgeführt. Um die sehr unterschiedlich großen Modellvorhaben miteinander vergleichen zu können, werden die ermittelten Gebäudekennwerte (Schlüsselkennwerte) auf die beheizte Nettogrundfläche des Gebäudes bezogen. Abbildung 83 veranschaulicht die Größe der Bezugsfläche der jeweiligen Vorhaben, die hier nach der Art der Bildungseinrichtung – Grundschule, Gymnasien, Berufliche Schulzentren und anschließend Hochschulen – aufgelistet sind.

Beheizte Nettogrundfläche $A_{\text{beh, NGF}}$							
	Erweiterung Grundschule Giebelstadt	Gymnasium Neutraubling	Jakob-Brucker- Gymnasium Kaufbeuren	Berufliches Schulzentrum Louise-Otto- Peters-Schule Hockenheim	Berufliches Schulzentrum Mühlhof am Inn	Forschungshalle HS Ansbach Feuchtwangen	Ersatzgebäude Hochschule Ulm
Neubau	531 m ²	3.545 m ²	1.956 m ²	3.766 m ²	9.596 m ²	624 m ²	10.003 m ²
Sanierung		6.843 m ²	6.565 m ²				
Gesamt	531 m ²	10.388 m ²	8.521 m ²	3.766 m ²	9.596 m ²	624 m ²	10.003 m ²
Visualisierung der Flächen							

Abbildung 83: Bezugsflächen der sieben Pilotprojekte mit den jeweiligen Neubau- und Sanierungsanteilen
Grafik: Fraunhofer IBP

Rahmenbedingungen für das Energiekonzept

Das Energiekonzept eines Effizienzhauses Plus wird wesentlich durch die erschließbaren erneuerbaren Energiepotentiale vor Ort bestimmt. Diese betragen bei den beteiligten Bildungsbauten zwischen 30 und 73 kWh/(m²_{beh, NGF}·a). Für Beleuchtung und Nutzerstrom benötigen die Gebäude zwischen 13 und 21 kWh/(m²_{beh, NGF}·a). Dies entspricht bereits 20 bis 51 % der erschließbaren erneuerbaren Energiepotentiale vor Ort, so dass für die haustechnischen Anlagen (Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung) ein Endenergiebedarf zwischen 16 und 58 kWh/(m²_{beh, NGF}·a) maximal aufgewendet werden darf, um die Jahresbilanz positiv – d. h. „im Plus“ – abzuschließen.

Lüftungskonzepte

In Bildungsbauten erfordert die Lüftungssituation besondere Aufmerksamkeit. Ein an die Nutzung angepasster Luftwechsel in Räumen mit einer zeitweise hohen Anzahl an Personen ist zur Erhaltung der hygienischen Vorgaben notwendig. Die Sicherstellung einer guten Raumlufthausqualität schafft beste Bedingungen für die kognitive Leistung und damit den Lernerfolg der Schüler und Studierenden. Die Lüftungskonzepte der einzelnen Gebäude sind sehr unterschiedlich gestaltet und werden stark durch die individuelle Nutzung geprägt. Alle Objekte sind mit mechanischen Anlagen

ausgestattet, wobei dezentrale (raumweise) und zentrale (bauabschnittsweise) Lüftungssysteme zum Einsatz kommen. Im Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren und im Beruflichen Schulzentrum Mühldorf am Inn sind beide Konzepte ausgeführt, wobei die Lehrräume über dezentrale Lüftungsanlagen belüftet werden. In allen Anlagen sind Wärmerückgewinnungssysteme mit hohen Wärmerückgewinnungsgraden (70 bis 90 %) installiert. Fast alle Lüftungsanlagen werden in Abhängigkeit von der Raumlufthausqualität geregelt und erlauben eine 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							
Wärmerückgewinnung	84 %	83 %	90 %	87 %	81 %	80 %	71 %

Abbildung 84: Lüftungskonzepte in den Modellvorhaben mit Angaben zur Effizienz der Wärmerückgewinnung
Grafik: Fraunhofer IBP

Baulicher Wärmeschutz

Neben den Lüftungswärmeverlusten beeinflusst der bauliche Wärmeschutz wesentlich den Heizenergiebedarf eines Gebäudes. Der erforderliche Wärmeschutz zur Sicherstellung des maximalen Heizenergiebedarfs ist hochwertig, aber nicht außergewöhnlich. Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Gebäude der Modellvorhaben unterschreiten die jeweiligen U-Werte des Referenzgebäudes des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) um 39 bis 68 %. Das bedeutet, dass die Kennwerte der wärmetauschenden Gebäudehüllenteile der Effizienzhaus Plus-Gebäude im Mittel um 50 % besser zu bewerten sind als die entsprechenden U-Werte des Referenzgebäudes.

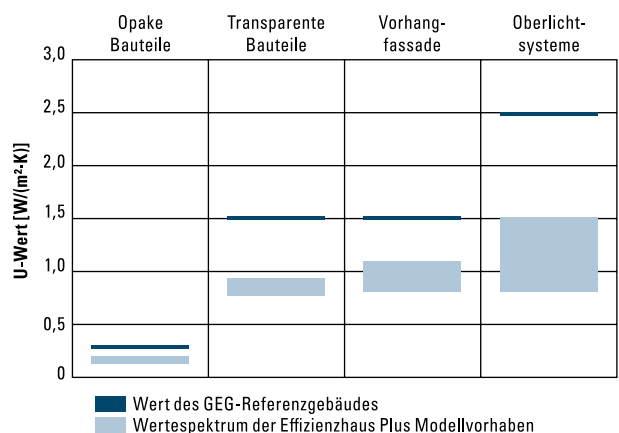


Abbildung 85: Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der wärmetauschenden Bauteile der Gebäudehülle
Grafik: Fraunhofer IBP

Wärmeversorgung

Für die Wärmeversorgung setzen alle Pilotprojekte Wärmepumpen zur Nutzung regenerativer lokaler Wärmequellen ein. Drei der sieben Modellvorhaben nutzen eine Kombination aus thermischen Solaranlagen und Eisspeicher als Wärmequelle für die Wärmepumpen. Das Gymnasium Neutraubling, sowie das Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren, nutzen das Grundwasser, die Grundschule Giebelstadt die Außenluft als Wärmequelle. Die Energiequelle der reversiblen Wärmepumpe im Ersatzneubau der Hochschule Ulm ist das Kältenetz der Hochschule Ulm, dessen Rücklaufumtemperatur dadurch abgesenkt wird. Die dabei entzogene Energie muss in der Kältezentrale des Netzes nicht mehr aufgewendet werden und wird entsprechend eingespart. Die Wärmeversorgung der Wärmepumpen wird teilweise durch weitere Wärmeerzeuger, z. B. einen Gas-Brennwertkessel oder durch Fernwärme, ergänzt. Beim Jakob-

Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren wird das Grundwasser ergänzend zur direkten Vorerwärmung der Außenluft eingesetzt. Zudem kann dort überschüssiger Strom der PV-Anlage über einen Heizstab im Pufferspeicher in Wärme umgewandelt werden. Da sehr unterschiedliche Konzepte in den einzelnen Projekten realisiert werden, variieren die thermischen Nennleistungen der Wärmepumpen in einem sehr großen Spektrum. Die Gebäude, die monovalent mittels Wärmepumpen beheizt werden, weisen thermische Nennleistungen zwischen 22 und 63 W/m²_{beh,NGF} auf. Der deutlich geringere Wert des Gymnasiums Neutraubling ist auf den Einsatz

von großen Wärmespeichern zurückzuführen. Darüber hinaus wurde bei diesem Projekt die zu installierende Wärmepumpenleistung, in Abstimmung mit der Bauherrschaft, in Abweichung von normativen Planungsregeln mittels einer Simulationsstudie ermittelt. Dies

mündete in eine weitere Reduktion der Auslegungsleistung. Die Gebäude, in denen die Wärmepumpen nur die Grundlast abdecken, weisen thermische Nennleistungen der Wärmepumpenanlagen zwischen 8 und 20 $\text{W/m}^2_{\text{beh.NGF}}$ auf.

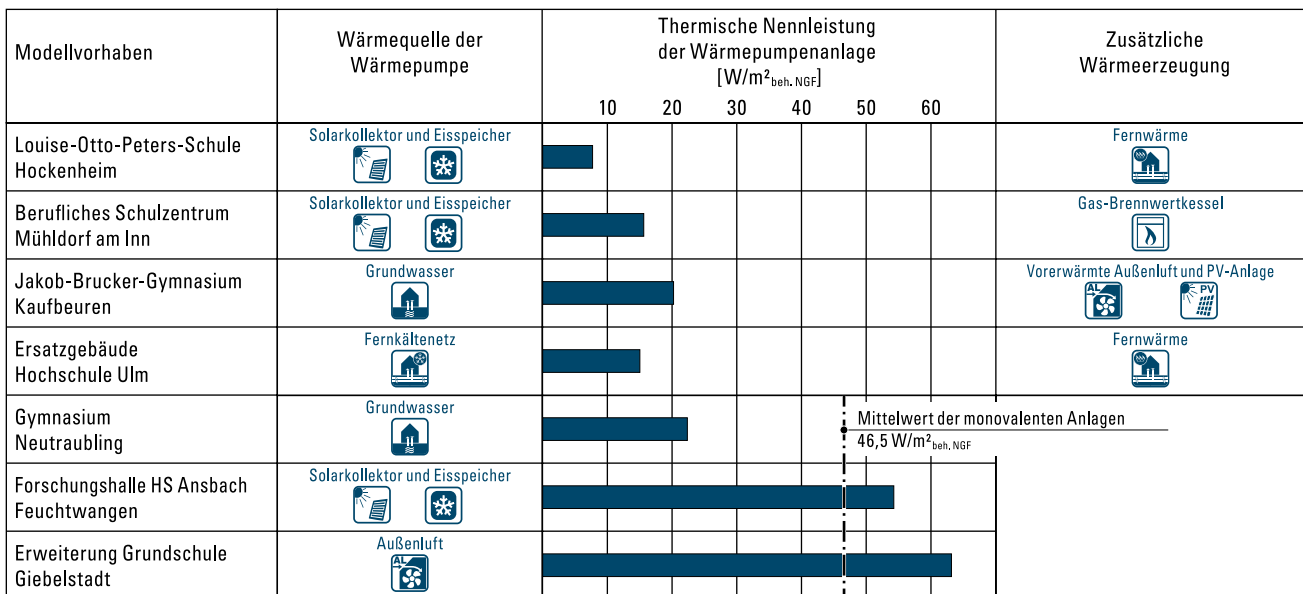


Abbildung 86: Installierte thermische Nennleistung der Wärmepumpenanlagen
Grafik: Fraunhofer IBP

Nutzerstrom

Bei der Bewertung von Gebäuden im Effizienzhaus Plus-Standard wird als Ergänzung zum Bilanzierungsumfang des Gebäudeenergiegesetzes der Energiebedarf für Geräte als Nutzerstrom mitberücksichtigt. Der Nutzerstrom kann, sofern die Verbraucher in der Planungsphase noch nicht durchgehend bekannt sind, beim garantierten Einsatz von besonders energieeffizienten Geräten mit einem pauschalen Wert von 10, anderenfalls 15 $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh.NGF}} \cdot \text{a})$ angenommen werden. Besser ist es aber, den zu erwartenden Bedarf bereits in der Planungsphase detailliert zu bestimmen. Aufgrund ihrer speziellen Nutzung für z. B. Fachklassen oder Labore wird bei-

spielsweise der Nutzerstrom für das Berufliche Schulzentrum in Mühldorf mit 14 $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh.NGF}} \cdot \text{a})$ sowie der für den Ersatzneubau der Hochschule Ulm mit 16 $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh.NGF}} \cdot \text{a})$ von den Planungsteams detailliert prognostiziert. In allen untersuchten Bildungsbauten ist der Strombedarf für Geräte deutlich höher als der Strombedarf für die Beleuchtung. Der aufsummierte Energiebedarf für Geräte und Beleuchtung der Modellvorhaben variiert zwischen 13 und 21 $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh.NGF}} \cdot \text{a})$ und beträgt im Mittel etwa 16 $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh.NGF}} \cdot \text{a})$.

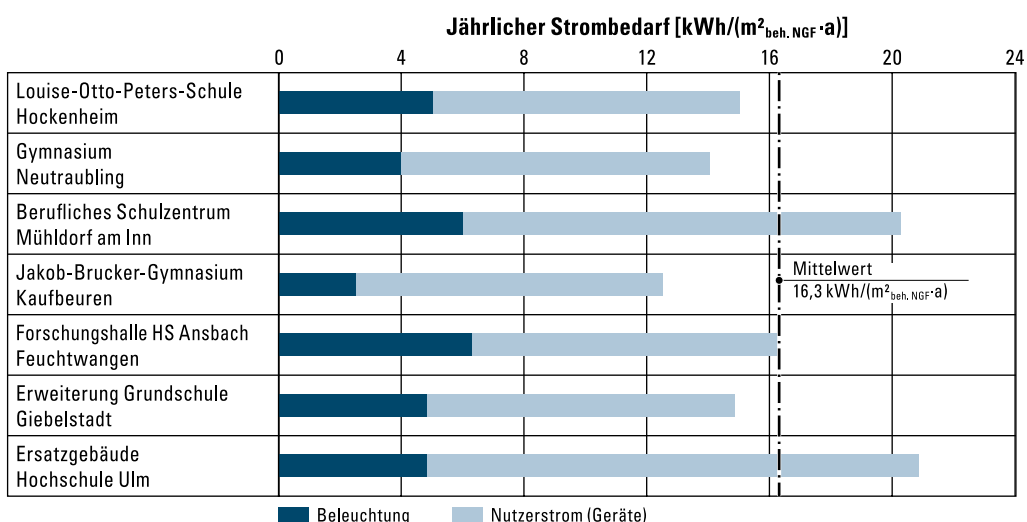


Abbildung 87: Jährlicher Endenergiebedarf für Beleuchtung und Geräte
Grafik: Fraunhofer IBP

Photovoltaik

	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
Auf dem EHP-Gebäude	1.048 m ²	1.380 m ²	697 m ²	1.787 m ²	246 m ²	323 m ²	1.107 m ²
Auf weiteren Gebäuden*		1.023 m ²	1.867 m ²				773 m ²
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							

*) innerhalb der Grundstücksgrenze des Effizienzhaus Plus-Vorhabens

Abbildung 88: Geplante bzw. bereits installierte Photovoltaikflächen der sieben Bildungsgebäude

Grafik: Fraunhofer IBP

Effizienzhaus Plus-Gebäude erfordern eine Abwägung zwischen der Minimierung des Energiebedarfs z.B. durch erhöhte Wärmeschutzmaßnahmen und der möglichen zu installierenden Größe und Leistung der Solargewinnflächen. Bei drei der sieben Modellvorhaben sollen zusätzlich zu den eigenen Dachflächen der Effizienzhaus Plus-Gebäude weitere Dachflächen auf dem Grundstück des Vorhabens für die Errichtung der PV-Anlagen herangezogen werden. Abbildung 88 zeigt die geplanten bzw. bereits installierten Photovoltaikflächen aller sieben Pilotprojekte. Eine Analyse der Modellvorhaben zeigt, dass im Mittel etwa 0,3 Quadratmeter Photovoltaikfläche je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche bei den Gebäuden eingeplant wurden. Die erwarteten Peakleistungen der

Photovoltaikanlagen variieren zwischen 34 und 89 W_p/m²_{beh. NGF} und betragen im Mittel etwa 51 W_p/m²_{beh. NGF}. Da der Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt und die Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen weniger Geschosse (1 bis 1,5 Geschosse) umfassen als die übrigen Modellvorhaben, kann bei diesen beiden Vorhaben ein höherer Anteil an Photovoltaikfläche und damit auch eine höhere Peakleistung pro Quadratmeter beheizter Nettogrundfläche installiert werden. Gemäß dem nach DIN V 18599 ermittelten Eigennutzungsgrad werden zwischen 40 und 75% des erzeugten Stroms der PV-Anlagen von den Effizienzhaus Plus-Gebäuden selbst genutzt. Dies entspricht einer jährlichen Energiemenge zwischen 15 und 29 kWh/m²_{beh. NGF}.

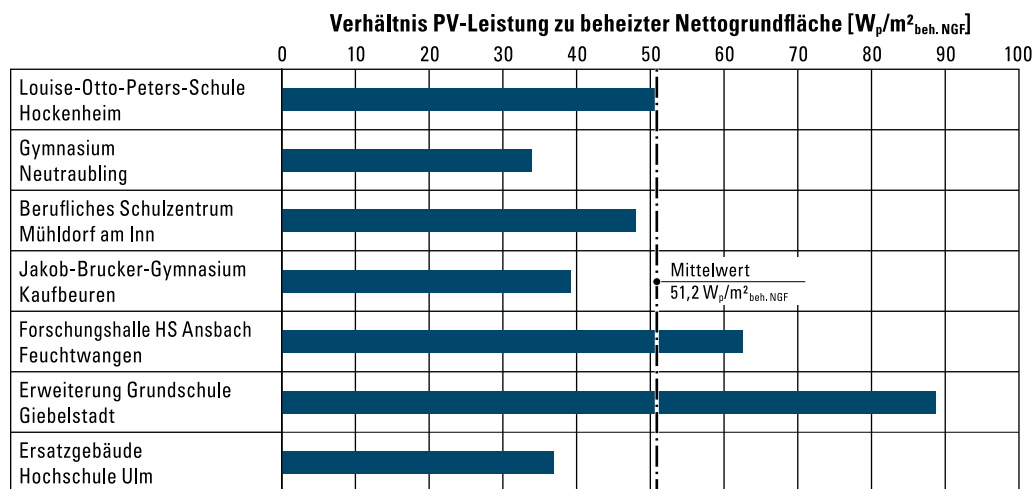


Abbildung 89: Installierte Peakleistungen der Photovoltaikanlagen in Bezug auf die beheizte Nettogrundfläche

Grafik: Fraunhofer IBP

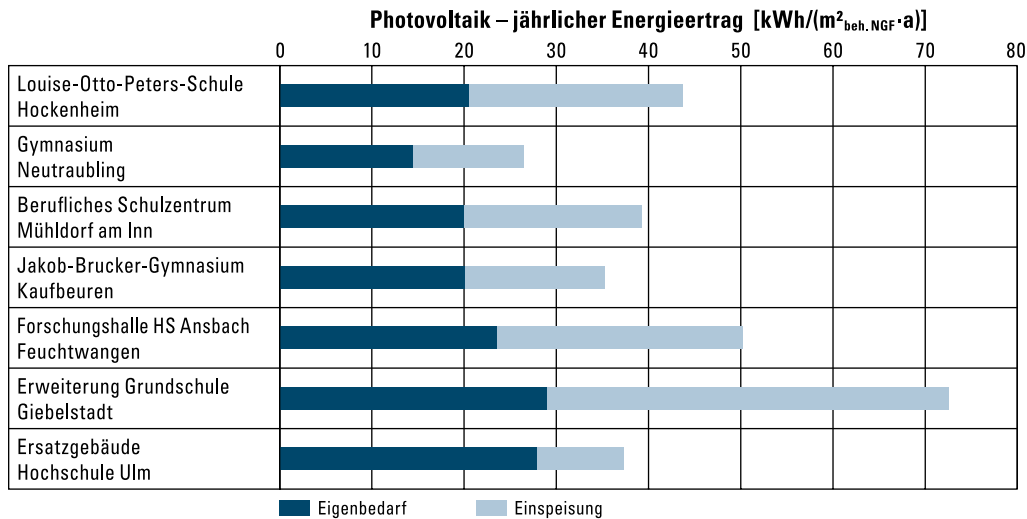


Abbildung 90: Selbst genutzter und netzeingespeicherter Stromanteil aus den lokalen Photovoltaikanlagen
 Grafik: Fraunhofer IBP

Endenergiebilanz

Der normativ im Planungsprozess ermittelte Endenergiebedarf der Bildungsbauten für Heizung und Kühlung, Trinkwarmwasser, Hilfsenergie sowie Beleuchtung und Geräte wird der lokal erzeugten Endenergie aus erneuerbaren Energiequellen für den Verlauf eines Jahres bilanziell gegenübergestellt. Die Voraussetzung zur Einhaltung des Effizienzhaus Plus-Standards ist dabei, einen Überschuss durch die Energieerzeugung auf dem Grundstück sicherzustellen. Der berechnete jährliche Endenergiebedarf der Bildungsbauten variiert zwischen 26 und 68 kWh/(m²_{beh.NGF}·a). Alle Gebäude verwenden großflächige Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung. Der Er-

satzneubau der Hochschule Ulm nutzt zusätzlich den Rücklauf des Fernkältenetzes als erneuerbare Wärmequelle und senkt dabei das Temperaturniveau des Rücklaufs ab. Die entzogene Energie zur Absenkung des Rücklaufs wird dem Gebäude als erneuerbarer Energieertrag gutgeschrieben, da die Kältezentrale des Netzes um diese Energiemenge entlastet wird. Der normativ zu erwartende jährliche erneuerbare Endenergieertrag der Modellvorhaben reicht von 30 bis 73 kWh/(m²_{beh.NGF}·a). Der berechnete Endenergieüberschuss beträgt im Mittel etwa 9 kWh/(m²_{beh.NGF}·a).

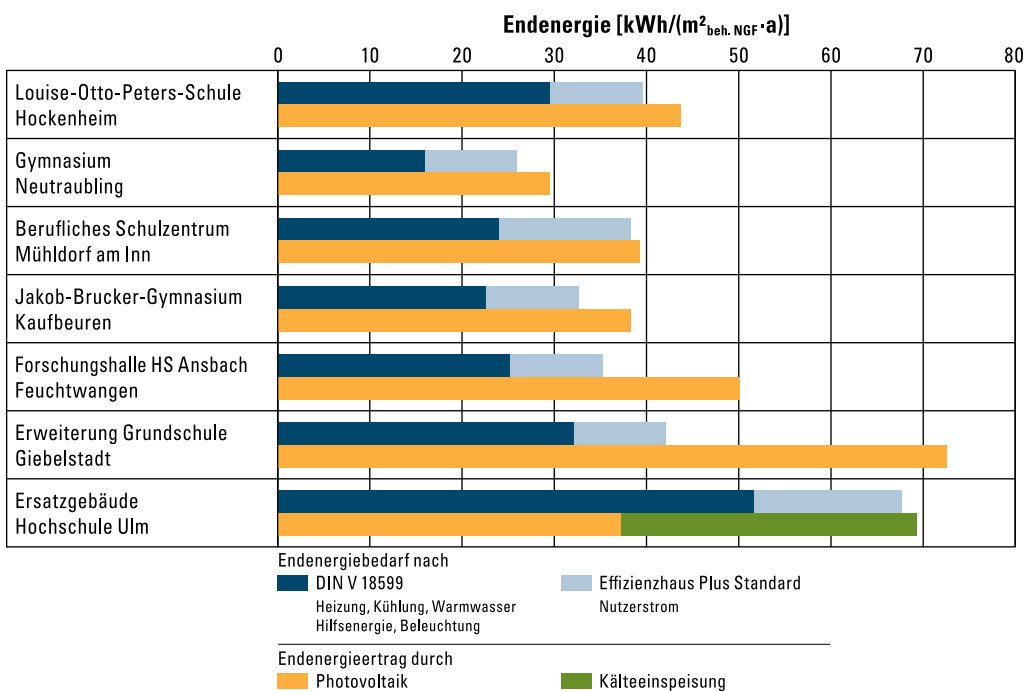


Abbildung 91: Berechnete jährliche Endenergie – Bedarf und Ertrag
 Grafik: Fraunhofer IBP

Primärenergiebilanz

In der Primärenergiebilanz wird der Primärenergiebedarf der Primärenergiegutschrift eines Gebäudes für den Verlauf eines Jahres gegenübergestellt. Der Primärenergiebedarf bzw. die Primärenergiegutschrift ergibt sich aus der Multiplikation der Endenergiemenge der von außen zugeführten bzw. nach außen abgeführten Energieträger mit dem entsprechenden Primärenergiefaktor. Mit der Primärenergie werden, neben der Endenergiemenge, die der betrachteten Bilanzgrenze vor- bzw. nachgelagerten Prozessketten eines Energieträgers mitquantifiziert. Dies dient dem Zweck, unterschiedliche Energieträger miteinander vergleichbar zu machen. Die Voraussetzung zur Einhaltung des Effizienzhaus Plus-Standards ist neben einem Überschuss durch erneuerbare Endenergieerzeugung, auch einen Überschuss durch Primärenergiegutschriften auf dem Grundstück sicherzustellen.

Vier der sieben Modellprojekte verwenden Strom als alleinigen Energieträger. Die übrigen drei Modellvorhaben verwenden Nah-

bzw. Fernwärme, Fernkälte oder Erdgas. Der berechnete jährliche Primärenergiebedarf der Bildungsbauten reicht von 18 bis 34 kWh/(m²_{beh.NGF}·a).

Die Primärenergiegutschrift bewertet die nach außerhalb der Bilanzgrenze abgegebenen Energieträger. Der ins Netz eingespeiste Strom der PV-Anlagen wird hierbei mit einem primärenergetischen Faktor von 2,8 für den Verdrängungsstrommix berücksichtigt. Mit Einführung des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) reduziert sich dieser Faktor auf den des durchschnittlichen allgemeinen Strommixes. Beim Ersatzgebäude der Hochschule Ulm wird zusätzlich zur PV-Strom-Netzeinspeisung auch die Kälteeinspeisung ins Fernkältenetz gutgeschrieben. Die berechnete primärenergetische Gutschriftmenge der Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude durch Netzeinspeisungen liegt zwischen 38 und 123 kWh/(m²_{beh.NGF}·a). Der zu erwartende Primärenergieüberschuss beträgt im Mittel etwa 39 kWh/(m²_{beh.NGF}·a).

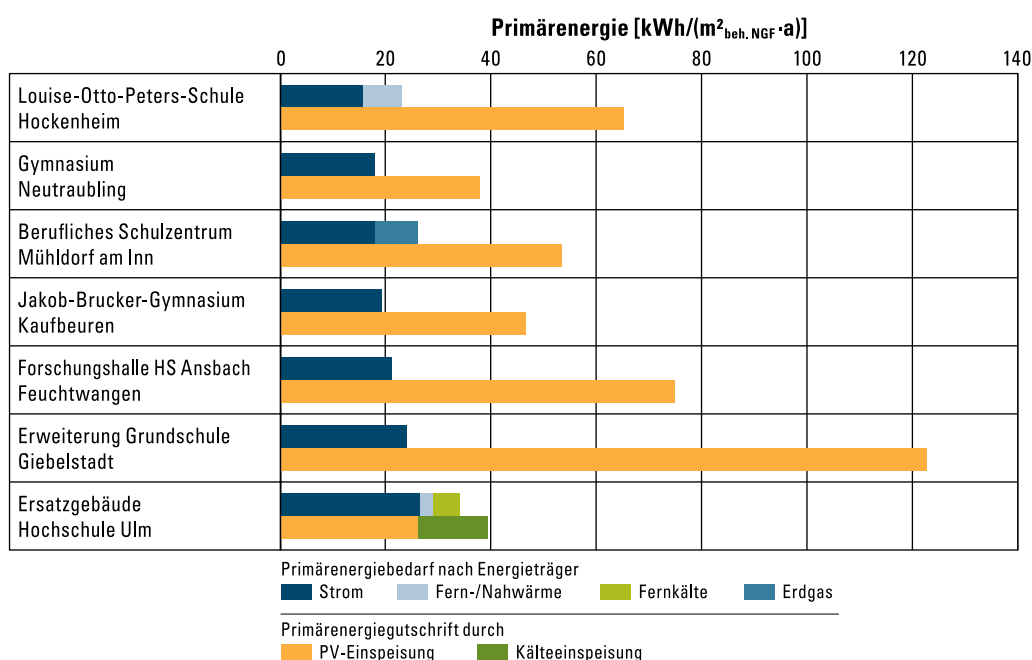


Abbildung 92: Berechnete jährliche Primärenergie – Bedarf und Gutschrift durch Einspeisung
 Grafik: Fraunhofer IBP

CO₂-Äquivalente

Mithilfe von CO₂-Äquivalenten können die durch den Gebäudeenergieverbrauch verursachten Treibhausgas-Emissionen (äquivalenter CO₂-Ausstoß) berechnet werden. Ebenso wird die äquivalente CO₂-Senkung durch die Einspeisung überschüssiger lokal generierter erneuerbarer Energie (z. B. durch PV-Strom) in öffentliche Energienetze ermittelt. Fällt die Bilanz aus äquivalentem CO₂-Ausstoß minus Senkung negativ aus, so trägt das Gebäude zur Treibhausgasminderung in Deutschland bei. Die berechnete, kumulierte Minderung durch die Modellprojekte beträgt jährlich 73 Tonnen CO₂-Äquivalent. Die jährliche Treibhausgasminderung der einzelnen Modellprojekte wird auf der jeweiligen Eingangsseite des Projekts ausgewiesen.

Motivation

Mit den sieben durch das Bundesbauministerium geförderten Modellvorhaben entstehen in Deutschland zum ersten Mal unterschiedliche Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard. Im Rahmen der Begleitforschung wurden die Bauherren der Projekte nach ihren Beweggründen für die Umsetzung des hohen Energie- und Umweltstandards gefragt.

Die energetischen und monetären Einsparungen und die damit erzielbaren umweltrelevanten Verbesserungen während des Gebäudebetriebs wurden häufig als Motivation für den Bau eines Effizienzhauses Plus genannt. Auch die Rolle der Städte und Kommunen als Vorbildgeber motivierte einige Bauherren, Bildungsgebäude zu errichten, die lokal mehr Energie aus erneuerbaren Quellen erzeugen, als sie im Betrieb verbrauchen.

Statements



Frank Tuschla, Abteilung Technik,
Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Amt Ulm
über den Ersatzneubau der Hochschule Ulm

Der Ersatzneubau der Technischen Hochschule Ulm hat durch die Bauweise im „Effizienzhaus Plus-Standard“ absoluten Pilotcharakter und ist ein Leuchtturmprojekt im Landesbau.



Tanja Schweiger, Landrätin des Landkreises Regensburg,
über das Gymnasium Neutraubling

Es ist eine gesamtgesellschaftliche Aufgabe, neue Möglichkeiten der Energieeinsparung bei Um- und Neubauten auszuschöpfen. Nach einer Wirtschaftlichkeitsprüfung amortisieren sich bei unserem Gymnasium die Mehrkosten von 1 Million Euro für den Effizienzhaus Plus-Standard nach fünfeinhalb Jahren, da dadurch jährliche Betriebskosten in Höhe von 200.000 Euro eingespart werden. Wegen des nachhaltigen Konzepts hat der Kreistag einstimmig der Maßnahme zugestimmt. Der Landkreis Regensburg möchte mit den Energiestandards bei Um- und Neubauten der eigenen Liegenschaften eine Vorbildfunktion einnehmen und private und öffentliche Bauherren dazu anregen, energieeffizient zu bauen.



Stefan Schirm, Technisches Bauamt des Marktes Giebelstadt,
über den Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt

Ziel des Neubaus im Effizienzhaus Plus-Standard war es, laufend anfallende Kosten zu reduzieren und durch die Einsparung von Energie die natürlichen Ressourcen zu schonen. In Verbindung mit dem sanierten Bestandsgebäude (Leuchtturmprojekt) stellt das gesamte Bildungsgebäude ein Vorzeigeprojekt in der Region dar.

Lessons Learned

Herausforderungen

Zur Erreichung des Effizienzhaus Plus-Standards müssen erhöhte Anforderungen an die Planung und Realisierung gestellt werden. Um auftretende Besonderheiten zu analysieren, wurden die Projektbeteiligten zu den spezifischen Herausforderungen bei der Planung oder Umsetzung von Effizienzhaus Plus-Gebäuden befragt. Aus den Rückmeldungen der Befragung wird ersichtlich, dass die Bedeutung einer integralen Planung und Projektkoordination mit dem energetischen Anspruch des Gebäudes steigt. Alle Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten durchlaufen zudem eine zweijährige Messphase, die auch zur Betriebsoptimierung genutzt wird. Von den Messteams konnten bereits erste Lessons Learnt zusammengetragen werden. Die folgenden Erfahrungen und Erkenntnisse aus den Modellvorhaben können helfen, die Herausforderungen für zukünftige Projekte frühzeitig einzuschätzen, systematisch zu prüfen und dadurch zu reduzieren.

Projektkoordination und Planung

- Der Entschluss, das Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard zu bauen bzw. zu sanieren, sollte frühzeitig fallen. Ein nachträglicher Entschluss ist mit hohem Änderungsaufwand verbunden.
- Die Nutzer des Gebäudes und die Fachplaner müssen rechtzeitig in den Planungsprozess einbezogen werden. Ein hoher energetischer Anspruch wirkt sich auf alle Fachdisziplinen und auf viele Gewerke des Gebäudes aus. Die fachspezifischen Anforderungen an das Gebäude sollten frühzeitig formuliert werden.
- Die Bedingungen zur Einhaltung des Effizienzhaus Plus-Standards sollten für alle Parteien transparent dargestellt werden. Die Prozesse, Leistungsbilder und Schnittstellen, die aus den Bedingungen des Standards resultieren, sollten im Planungsteam festgelegt und ihre Einhaltung kontinuierlich überprüft werden.
- Alle Planungsänderungen sollten übersichtlich dokumentiert werden, um die gesteckten Ziele und umgesetzten Maßnahmen ausreichend überprüfen zu können.
- Ein hoher Detaillierungsgrad während der Planung sollte angestrebt werden. Einige der befragten Fachplaner empfehlen eine dreidimensionale Planung.

Betriebsüberwachung

- Die Integration eines Monitoringteams sollte bereits in der frühen Planungsphase erfolgen, damit es nicht zu schwerwiegenden Problemen bei der Integration der Messtechnik und zu erhöhten Kosten durch aufwändige Lösungen kommt.
- Dem Monitoringteam müssen die Messdaten zeitnah und als unbearbeitete Rohdaten zur Verfügung gestellt werden. Eine Zwischenbearbeitung durch die Bauherren (Kommunen) oder Dritte sollte vermieden werden, um Fehlerquellen und Verzögerungen zu reduzieren.
- Die Datenfeldbezeichnungen sollten eindeutig und für Dritte nachvollziehbar sein, um Verwechslungen zu vermeiden. Beim Umbau von Fühlern muss unverzüglich eine Dokumentation der Änderungen angegeben und allen Beteiligten mitgeteilt werden.
- Mögliche Gründe für Fehler bei der Messwertanalyse sind:
 - Nicht kommunizierte und ungeprüfte Abweichungen vom Messkonzept, z. B. Einsatz von abweichenden Messzählern oder Einstellung auf eine andere Messgrößeneinheit bzw. -dimension.
 - Nicht geeichte oder kalibrierte Messaufnehmer, z. B. aus der Gebäudeleittechnik.
 - Falscher Zählereinbau, z. B. vertauschter Vor- und Rücklauf-fühler.
 - Längerer Ausfall von Messfühlern, der Datenübertragung oder des Datenservers. Hier können regelmäßige manuelle Ablesungen der wichtigsten Zähler größere Datenverluste vermeiden.
 - Eine ungeeignete Messfrequenz: Eine zu geringe Messfrequenz führt zu groben Messdaten, die eine Bewertung des dynamischen Verhaltens nicht ermöglichen. Eine zu hohe Messfrequenz führt zu großen Datenmengen, die teilweise nicht mehr übertragen werden können und komplexer bei der Auswertung sind.

Auswertung erster Monitoringdaten

Nach der Fertigstellung der Baumaßnahme (Neubau oder Sanierung) beginnt die Nutzungsphase, in der sich das Energiekonzept im praktischen Betrieb bewähren muss. Deshalb ist für alle Modellvorhaben die Durchführung eines begleitenden Monitoringprojekts über mindestens zwei Heizperioden und mit einer Dauer von mindestens zwei Jahren vorgesehen. Das Monitoring dient der generellen Validierung des Energiekonzepts und darüber hinaus der Dokumentation der Auswirkungen der Betriebsoptimierung und anderer Anpassungen in den ersten Nutzungsmonaten, so z. B. die Gewöhnung der Nutzer (Schüler, Auszubildende, Studenten, Lehrer, Ausbilder, Professoren, etc.) an die neue Lehr- und Lernumgebung.



Abb. 93: Elektrische Wechselrichter mit Leistungsanzeige
Foto: Fraunhofer IBP



Abb. 94: Manuelle Messwerterfassung
Foto: Fraunhofer IBP



Abb. 95: Messserver
Foto: Fraunhofer IBP

Im Rahmen eines technischen und sozialwissenschaftlichen Monitorings lassen sich verschiedene Aspekte zur Bewertung und Optimierung des Betriebs erfassen, abfragen und analysieren. Mit Hilfe des technischen Monitorings wird überprüft, ob die vorherberechneten Energiebedarfswerte und erzeugten Energiemengen aus der Planungsphase sich im realen Betrieb einstellen. Die Sensorik für das Monitoringprojekt wird bereits parallel zur Bauausführung installiert. Da die Gebäude in der Regel mit einer Gebäudeleittechnik ausgestattet sind, werden die Daten mit diesem System erfasst. Für die Validierungsmessung sind jedoch nicht alle Messpunkte der Gebäudeleittechnik notwendig. Andererseits werden für die Validierung Sensoren benötigt, die für die Steuerung und Regelung nicht relevant sind. Besonders wichtig ist es, auf die Messgenauigkeit der verwendeten Sensoren zu achten, da in der Gebäudeleittechnik häufig geringere Anforderungen (keine Kalibrierung, höhere Toleranzbereiche, etc.) an die Sensorik gestellt werden.

Die Datenübertragung an die involvierten Monitoringteams erfolgt kontinuierlich, muss jedoch ständig überwacht und kontrolliert werden, damit keine Datenausfälle entstehen bzw. diese schnell erkannt und behoben werden. Zur Absicherung der durchgängigen energetischen Bilanzierung empfiehlt es sich, ergänzend händische Ablesungen von wichtigen Zählern durchzuführen. Die Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard wurden darauf konzipiert, neben der Verbrauchsminimierung und der Erzielung des Energieüberschusses (Plusenergie) auch eine hervorragende Behaglichkeit für die Nutzerinnen und Nutzer bereitzustellen. Um dies zu bewerten, werden von dem jeweiligen Monitoringteam in repräsentativen Räumen die Raumlufttemperatur erfasst und in einigen Gebäuden zusätzlich auch die Luftqualität und die Beleuchtungsverhältnisse gemessen.

Die Messdatenevaluierung der sieben Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard wird durchgeführt von:

ina Planungsgesellschaft mbH,
Darmstadt



Planungsgesellschaft mbH
ein Spin-off der TU Darmstadt

Louise-Otto-Peters-Schule
in Hockenheim
Forschungshalle der Hochschule
Ansbach in Feuchtwangen

Technische Universität Dresden,
Institut für Energietechnik in Zusammen-
arbeit mit EA Systems Dresden GmbH



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DRESDEN



Gymnasium in Neutraubling
Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren
Erweiterungsbau der Grundschule
in Giebelstadt

Technische Hochschule
Rosenheim



Berufliches Schulzentrum
in Mühldorf am Inn

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
IBP, Abteilung EER,
Holzkirchen



Fraunhofer

IBP

Ersatzneubau
der Hochschule Ulm

Beispiel 1: Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen

Nach dem Bezug des Gebäudes und einer Einregulierungsphase startete die Monitoringphase der Forschungshalle im Januar 2020. Das Messvorhaben wird von der ina Planungsgesellschaft durchgeführt und soll bis Ende 2021 weitergeführt werden. Die Messkonfiguration des Gebäudes wurde so ausgelegt, dass die berechneten Bilanzanteile den gemessenen gegenübergestellt werden können. Das Messkonzept ist vereinfacht in Abbildung 96 ersichtlich. Neben

der Stromerzeugung der PV-Anlage, dem Energieverbrauch für den Betrieb der Gebäudetechnik (Heizung, Kühlung, Trinkwarmwasser, Lüftung und Beleuchtung) und dem Nutzerstrom werden die Lufttemperaturen der einzelnen Räume (Forschungshalle, Seminarraum, Büro, etc.) und Wetterdaten am Standort des Gebäudes mit Datenloggern erfasst.

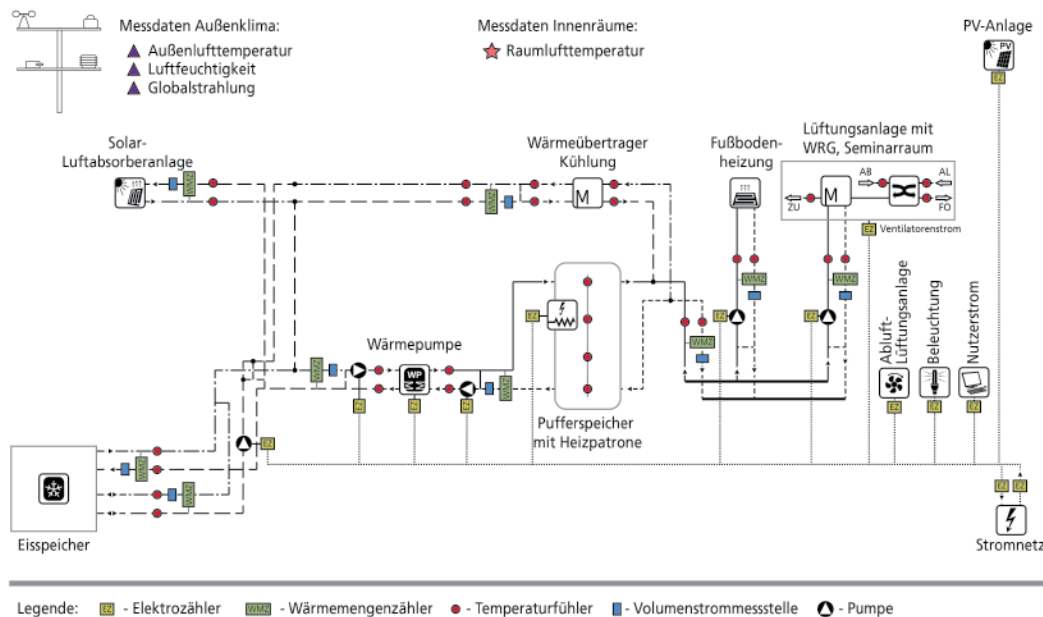


Abbildung 96: Messkonzept zur Forschungshalle in Feuchtwangen
 Grafik: Fraunhofer IBP

Abbildung 97 zeigt die kumulierten Endenergiewerte über ein Jahr. Durch die Gegenüberstellung des Endenergieverbrauchs und Endenergieertrags ist schnell ersichtlich, ob das Gebäude am Ende des Jahres eine positive Endenergiebilanz erreicht, d. h. mehr Energie generiert, als es für den Betrieb und die Nutzung verbraucht. Für die Forschungshalle der Hochschule Ansbach liegen Messwerte seit Januar 2020 vor. Die gemessenen Werte für Januar bis einschließlich Oktober 2020 wurden den Planungswerten gegenübergestellt. Der abgebildete Verbrauch enthält den Betrieb der haus-

technischen Anlagen, die Beleuchtung und den Nutzerstrom des Gebäudes und verläuft insgesamt sehr ähnlich wie der vorherberechnete Wert. Die einzelnen Verbrauchsanteile weisen jedoch unterschiedliche Tendenzen auf. Während der Energieverbrauch für den Betrieb der haustechnischen Anlagen und für die Beleuchtung in allen zehn Monaten unter oder etwa gleich den vorab ermittelten Bedarfswerten liegt, ist der Nutzerstrom deutlich höher (etwa 70 %) als prognostiziert.

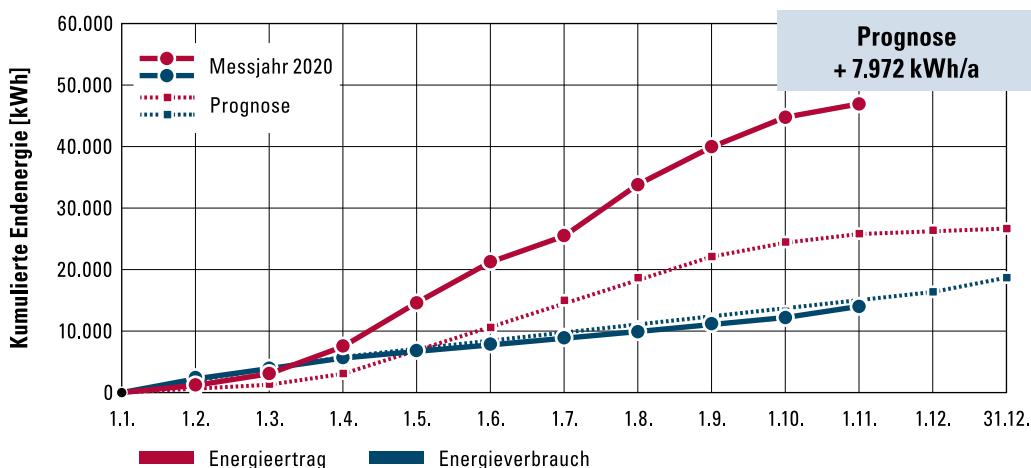


Abbildung 97: Monatliche Gegenüberstellung der berechneten und im Jahr 2020 gemessenen Energiewerte zur Forschungshalle in Feuchtwangen
 Grafik: Fraunhofer IBP

Der Stromertrag der PV-Anlage fällt von Mitte Mai bis Ende Juni aufgrund einer Störung in einem Wechselrichter geringer aus. Trotzdem hat die PV-Anlage auf dem Dach der Forschungshalle nahezu doppelt so viel Strom generiert als in der Planung ermittelt. Die Abweichung ist auf unterschiedliche Randbedingungen der Planung und Messung zurückzuführen. Während der Planung wurde der PV-Ertrag nach DIN V 18599 (2011) mit dem dort aufgeführten Standardwert für monokristalline PV-Anlagen und mit den

Solarstrahlungsdaten am Klimareferenzort Potsdam ermittelt. Die Leistung der PV-Anlage liegt nach Herstellerangaben höher als der Standardwert in der Berechnung. Auch die solare Einstrahlung am Standort Feuchtwangen liegt über den Werten des Klimareferenzorts. Das Gebäude zeigt in den ersten Monaten des Monitorings eine deutliche Tendenz zur Erreichung des „Plus“ in der jährlichen Endenergiebilanz.

Beispiel 2: Erweiterungsgebäude der Grundschule Giebelstadt

Das Monitoring des Erweiterungsgebäudes der Grundschule Giebelstadt wird von der Technischen Universität Dresden in Zusammenarbeit mit der EA Systems Dresden GmbH durchgeführt. Da der Gebäudeteil Ende des Jahres 2018 in Betrieb genommen wurde, konnten Messdaten zur Grundschule bereits für ein vollständiges Jahr aufgezeichnet werden. Mit Hilfe einer Online-Plattform können die aufgenommenen Messdaten des Gebäudes und der

Anlagentechnik von allen Projektbeteiligten eingesehen werden. Neben der Stromerzeugung der PV-Anlage und dem Energieverbrauch für den Betrieb der haustechnischen Anlagen, der Beleuchtung und dem Nutzerstrom, werden die Lufttemperaturen in zwei repräsentativen Räumen und Wetterdaten am Standort des Gebäudes gemessen.

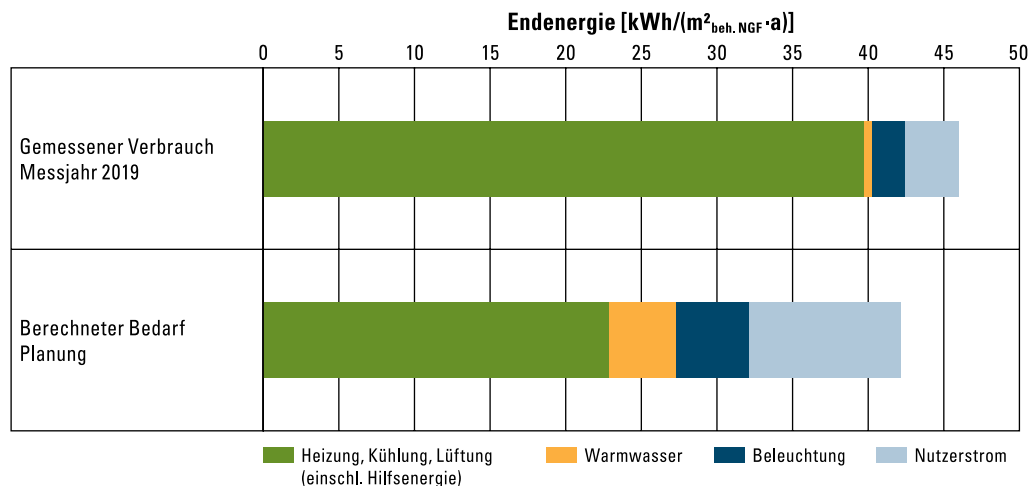


Abbildung 98: Gegenüberstellung des berechneten und im Jahr 2019 gemessenen Endenergiebedarfs für das Erweiterungsgebäude der Grundschule Giebelstadt
Grafik: Fraunhofer IBP

Abbildung 98 zeigt den berechneten Endenergiebedarf und den Endenergieverbrauch des Gebäudes für das Jahr 2019. Der Erweiterungsbau verbrauchte im Jahr 2019 insgesamt 46 kWh/(m² beh. NGF · a) Strom. Die gemessenen Verbrauchswerte für das Jahr 2019 liegen in der Summe etwa gleich hoch wie die Planungswerte von 42 kWh/(m² beh. NGF · a). Die einzelnen Verbrauchsanteile zeigen jedoch unterschiedliche Tendenzen. Während der Energieverbrauch für Heizung, Kühlung und Lüftung über den ermittelten Bedarfswerten liegt (74 % höher), ist der Stromverbrauch für die Beleuchtung, die Warmwasserbereitung und den Nutzerstrom deutlich geringer (55 bis 88 %) als vorab berechnet. Die Abweichung ist auf unterschiedliche Randbedingungen der Planung und Messung zurückzuführen. Die Wärmepumpe des Erweiterungsbaus versorgte vorübergehend, aufgrund eines Anlagendefekts, ein Bestandsgebäude des Schulkomplexes. Die bereitgestellte Wärme für das Bestandsgebäude ist in den Messwerten, jedoch nicht in den Planungswerten abgebildet. Der Stromverbrauch für die Beleuchtung, die Warmwasserbereitung und den Nutzerstrom liegt unter den Planungswerten. In der Planung wurde das Nutzungsprofil der DIN V 18599 für Klassenzimmer (Nutzungszeit zwischen 8:00 und 15:00 Uhr) angenommen.

Da das Gebäude für die Mittagsbetreuung der Schüler genutzt wird, findet die Nutzung der Räume hauptsächlich erst ab dem späten Vormittag statt. Der spätere Nutzungsbeginn und die geringere Anzahl der Nutzungsstunden wirken sich auf den Stromverbrauch aus. Der Anlagenbetrieb im Jahr 2019 war von Optimierungsarbeiten des Planer- und Monitoring-Teams geprägt, die auf eine Verringerung des Elektroenergieverbrauchs für Heizung, Kühlung und Lüftung des Gebäudeteils abzielten.

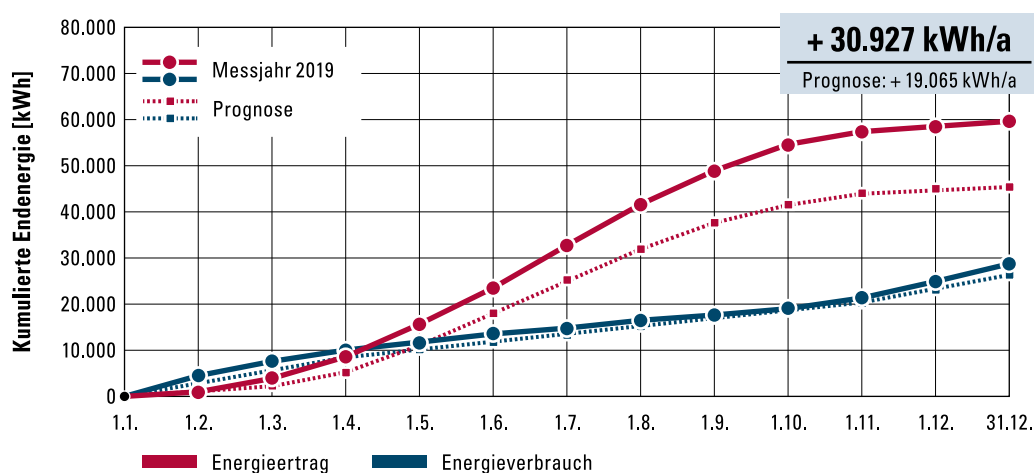


Abbildung 99: Monatliche Gegenüberstellung der berechneten und im Jahr 2019 gemessenen Endenergiewerte für das Erweiterungsgebäude der Grundschule Giebelstadt
Grafik: Fraunhofer IBP

Mit Verweis auf das Nutzungsprofil und aufgrund des energetischen Gesamtkonzeptes, das neben einer neu errichteten PV-Anlage sowie energieeffizienter Anlagenkomponenten eine thermisch hochwertige Gebäudehülle einschließt, konnte der Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt bereits ab März 2019 eine positive Endenergiebilanz erreichen. Der Verlauf der kumulierten End-

energiewerte für das Jahr 2019 ist in Abbildung 99 dargestellt. Die PV-Anlage des Erweiterungsgebäudes hat im ersten Messjahr deutlich mehr Strom generiert als für den Betrieb und die Nutzung des Gebäudeteils benötigt. Der überschüssige Strom konnte in den Bestandsgebäuden der Grundschule genutzt werden.



Abbildung 100: Auswertung der Lufttemperatur eines Gruppenraumes im Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt für den Zeitraum Januar 2019 bis Juli 2020 in der Online-Plattform der Technischen Universität Dresden
Quelle: TU Dresden

Die jeweiligen Messteams analysieren die Messdaten, minimieren den Energieverbrauch und optimieren den Raumkomfort. Abbildung 100 zeigt als Beispiel die Überwachung der Raumlufttemperatur eines Gruppenraumes im Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt innerhalb der Online-Plattform der Technischen Universität Dresden. So kann bewertet werden, ob es in den Räumen in den unterschiedlichen Jahreszeiten zu kalt oder zu warm ist.

Abkürzungsverzeichnis

AB	Abluft
AL	Außenluft
A/V	Hüllflächenfaktor, Verhältnis von Gebäudeaußenfläche zu Gebäudevolumen
BA	Bauabschnitt
BBR	Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
beh. NGF	beheizte Nettogrundfläche
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BW	Baden-Württemberg
CO ₂	Kohlenstoffdioxid
EER	Energieeffizienz und Raumklima, Kompetenzabteilung des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik IBP
EG	Erdgeschoss
EnEV	Energieeinsparverordnung
FO	Fortluft
GEG	Gebäudeenergiegesetz
H	Heizung
IBP	Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
K	Kühlung
LED	Light-Emitting Diode (Leuchtdiode)
LPH	Leistungsphase in der Projektabwicklung
OG	Obergeschoss
PV	Photovoltaik
ZU	Zuluft

Einheiten

cm	Zentimeter
kW	Kilowatt
kWh	Kilowattstunde
kWh/a	Kilowattstunde im Jahr
kWh/(m ² _{beh. NGF} ·a)	Kilowattstunde pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche im Jahr
kW _p	Kilowattpeak
m ²	Quadratmeter
m ³	Kubikmeter
t CO ₂ /a	Tonne Kohlenstoffdioxid im Jahr
W/(m ² ·K)	Watt pro Quadratmeter Kelvin
W _p /m ² _{beh. NGF}	Wattpeak pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche

Wichtige Links

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat

→ www.bmi.bund.de

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

→ www.bbsr.bund.de

Innovationsprogramm „Zukunft Bau“

→ www.zukunftbau.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima

→ www.ibp.fraunhofer.de/eer

Effizienzhaus Plus Rechner

→ www.effizienzhaus-plus-rechner.de

Effizienzhaus Plus-Initiative

→ www.zukunftbau.de/effizienzhaus-plus/

Veröffentlichungen

Die Veröffentlichungen des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung und des Bundesministeriums des Innern, für Bau und Heimat stehen kostenfrei zum Download bereit.
→ www.zukunftbau.de/publikationen/

Ebenso können Druckexemplare kostenfrei bestellt werden.



Effizienzhaus Plus – Planungsempfehlungen

Die Broschüre entstand im Auftrag des Bundes und richtet sich an Architekten, Fachplaner und Bauherren.

Erscheinungsjahr 2019



Wege zum Effizienzhaus Plus

Diese Broschüre informiert über den innovativen Gebäudestandard und die aktuellen Ergebnisse aus dem Netzwerk.

Erscheinungsjahr 2018

Abbildungsverzeichnis und Bildnachweis

Titelseite

Bildreihen von links nach rechts, oben beginnend:

- Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim,
- Dorothea Burkhardt, Heidelberg
- Gymnasium Neutraubling,
- Architekturbüro Winkler-Architekten, Würth a. d. Donau
- Berufliches Schulzentrum Mühldorf am Inn,
- ARIS Architekten PartG mbH, Kraiburg am Inn
- Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren,
- köhler architekten + beratende ingenieure, Gauting
- Forschungshalle der Hochschule Ansbach in
- Feuchtwangen,
- Dr. Reinhard Reck, Dinkelsbühl
- Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt,
- Haase & Bey Architekten PartG mbB, Karlstadt
- Ersatzneubau der Hochschule Ulm,
- SPREEN ARCHITEKTEN Partnerschaft mbB, München

Einleitung

Seite 8, Abb. 1 – Darstellung der Übersichtskarte:

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Definition Effizienzhaus Plus

Seite 9, Abb. 2 – Energieausweis, Zertifikat:

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Louise-Otto-Peters-Schule in Hockenheim

Doppelseite 10/11, Abb. 3 – Foto Aula:

- Rhein-Neckar-Kreis

Seite 12, Abb. 4 – Foto SW-Ansicht:

- Dorothea Burkhardt, Heidelberg

Seite 12, Abb. 5 – Lageplan und

Seite 13, Abb. 6 – EG-Grundrissplan:

- Roth.Architekten.GmbH, Schwetzingen

Seite 13, Abb. 7, 8, 9 – Foto-Impressionen in der Schule:

- Dorothea Burkhardt, Heidelberg (Abb. 7 und 8)

- Rhein-Neckar-Kreis (Abb. 9)

Seite 14, Abb. 10 – Grafik Technikschnitt:

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Seite 14, Abb. 11, 12, 13 – Fotos zur Anlagentechnik:

- Ingenieurbüro Willhaug GmbH, Mosbach

(Abb. 11 und 13)

- Rhein-Neckar-Kreis (Abb.12)

Seite 15, Abb. 14 – Diagramm Endenergieüberschuss:

- Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Abbildungsverzeichnis und Bildnachweis – Fortsetzung

Gymnasium in Neutraubling

Doppelseite 16/17, Abb. 15 – Foto Lehrerzimmer,
Seite 18, Abb. 16 – Visualisierung der Gesamtanlage,
Seite 18, Abb. 17 – Lageplan,
Seite 19, Abb. 18 – EG-Umrissplan und
Seite 19, Abb. 19 und 20 – Fotos der Schule:
– Architekturbüro Winkler-Architekten, Wörth a. d. Donau
Seite 19, Abb. 21 – Foto Teeküche:
– Gymnasium Neutraubling
Seite 20, Abb. 22 – Grafik Technikschnitt:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart
Seite 20, Abb. 23, 24, 25 – Fotos zur Anlagentechnik:
– Gymnasium Neutraubling
Seite 21, Abb. 26 – Diagramm Endenergieüberschuss:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Berufliches Schulzentrum in Mühldorf am Inn

Doppelseite 22/23, Abb. 27 – Foto Aula,
Seite 24, Abb. 28 – Foto Südansicht:
– ARIS Architekten PartG mbH, Kraiburg am Inn
Seite 24, Abb. 29 – Lageplan und
Seite 25, Abb. 30 – EG-Grundrissplan:
– ARGE Schmuck-Anglhuber Architekten,
München/Kraiburg
Seite 25, Abb. 31 und 32 – Foto-Impressionen Schule:
– ARIS Architekten PartG mbH, Kraiburg am Inn
Seite 26, Abb. 33 – Grafik Technikschnitt:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart
Seite 26, Abb. 34 bis 36 – Fotos zur Gebäudetechnik:
– COPLAN AG, Mühldorf am Inn
Seite 27, Abb. 37 – Diagramm Endenergieüberschuss:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren

Doppelseite 28/29, Abb. 38 – Foto Atrium-Galerie im OG:
– mse architekten gmbh, Kaufbeuren
Seite 30, Abb. 39 – Visualisierung Südseite Neubau,
Seite 30, Abb. 40 – Lageplan und
Seite 31, Abb. 41 – EG-Grundrissplan:
– köhler architekten + beratende ingenieure, Gauting
Seite 31, Abb. 42 bis 44 – Foto-Impressionen Schule:
– Stadt Kaufbeuren (Abb. 42 und 43)
– Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren (Abb. 44)
Seite 32, Abb. 45 – Grafik Technikschnitt:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart
Seite 32, Abb. 46 bis 48 – Fotos zur Gebäudetechnik:
– Stadt Kaufbeuren (Abb. 46 und 47)
– Güttinger Ingenieure, Kempten (Abb. 48)
Seite 33, Abb. 49 – Diagramm Endenergieüberschuss:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen

Doppelseite 34/35, Abb. 50 – Foto Blick auf die Halle:
– Stadt Feuchtwangen

Seite 36, Abb. 51 – Foto Südwest-Ansicht:

– Dr. Reinhard Reck, Dinkelsbühl

Seite 36, Abb. 52 – Lageplan und

Seite 37, Abb. 53 – EG-Grundrissplan:

– HEF – Holzinger Eberl Führaußer Architekten, Ansbach

Seite 37, Abb. 54 bis 56 – Fotos in der Forschungshalle:

– Seminarraum (Abb. 54) Standbild-Sequenz aus dem virtuellen
Gebäuderundgang per „Virtual Reality App“ des ZEBAU – Zentrum
für Energie, Bauen, Architektur
und Umwelt, Hamburg

– Stadt Feuchtwangen (Abb. 55 und 56)

Seite 38, Abb. 58 bis 60 – Fotos zur Anlagentechnik:

– Stadt Feuchtwangen

Seite 38, Abb. 57 – Grafik Technikschnitt:

– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Seite 39, Abb. 61 – Diagramm Endenergieüberschuss:

– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Erweiterungsbau der Grundschule in Giebelstadt

Doppelseite 40/41 Abb. 62 – Foto Südost-Ansicht,
Seite 42, Abb. 63 – Foto Süd-Ansicht,
Seite 42, Abb. 64 – Lageplan,
Seite 43, Abb. 65 – EG-Grundriss,
Seite 43, Abb. 66 bis 68 – Foto-Impressionen der Schule,
Seite 44, Abb. 70 bis 72 – Fotos zur Anlagentechnik:
– Haase & Bey Architekten PartG mbB, Karlstadt
Seite 44, Abb. 69 – Grafik Technikschnitt und
Seite 45, Abb. 73 – Diagramm Endenergieüberschuss:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Ersatzneubau der Hochschule Ulm

Doppelseite 46/47, Abb. 74 – Foto Südansicht und
Seite 48, Abb. 75 – Visualisierung Nordwest-Ansicht:
– SPREEN ARCHITEKTEN Partnerschaft mbB, München
Seite 48, Abb. 76 – Lageplan:
– Koeber Landschaftsarchitektur GmbH, Stuttgart
Seite 49, Abb. 77 – EG-Grundrissplan:
– Vermögen und Bau Baden-Württemberg, Amt Ulm
Seite 49, Abb. 78 bis 80 – Fotos der Bauphase:
– SPREEN ARCHITEKTEN Partnerschaft mbB, München
Seite 50, Abb. 81 – Grafik Technikschnitt und
Seite 51, Abb. 82 – Diagramm Endenergieüberschuss:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Querauswertung Planung

Seite 52 bis 57, Abb. 83 bis 92 – Diagrammgrafiken:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart

Auswertung erster Monitoringdaten

Seite 60, Abb. 93 bis 95 – Fotos Monitoring und
Seite 61 bis 63, Abb. 96 bis 99 – Diagrammgrafiken:
– Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, Stuttgart
Seite 63, Abb. 100 – Screenshot aus Online-Plattform:
– Technische Universität Dresden

