

IBP-Bericht Nr. 023/2022/710

## **Effizienzhaus Plus – Begleitforschung und Querauswertung der Bildungsbauten (Phase 4)**

Durchgeführt im Auftrag des  
Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und  
Raumforschung (BBSR) im Bundesamt  
für Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Jessica Preuss  
Heike Erhorn-Kluttig  
Hans Erhorn  
Simon Wössner

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,  
Demonstration und Beratung auf  
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,  
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für  
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

**Institutsleitung**

Prof. Dr. Philip Leistner

IBP-Bericht Nr. EER-023/2022/710

## Effizienzhaus Plus – Begleitforschung und Querauswertung der Bildungsbauten (Phase 4)

Auszugsweise Veröffentlichung nur mit  
schriftlicher Genehmigung des Fraun-  
hofer-Instituts für Bauphysik gestattet.

Durchgeführt im Auftrag des Bundesinstituts für Bau-,  
Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für  
Bauwesen und Raumordnung (BBR)

Der Bericht umfasst  
71 Seiten Text  
4 Tabellen  
36 Abbildungen

Jessica Preuss  
Heike Erhorn-Kluttig  
Hans Erhorn  
Simon Wössner

Stuttgart, 31. Januar 2023

Institutsleiter



Univ.-Prof. Dr.-Ing.  
Philip Leistner

Projektleiterin



Dipl.-Ing.  
Heike Erhorn-Kluttig

Bearbeiterin



M.Sc. Jessica Preuss

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Summary</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Hintergrund und Aufgabenstellung</b>	<b>8</b>
<b>4</b>	<b>Durchführung von halbjährlichen Workshops mit den geförderten Projekten</b>	<b>11</b>
<b>5</b>	<b>Unterstützung für ein Programmsymposium</b>	<b>13</b>
<b>6</b>	<b>Zusammenfassende projektübergreifende Auswertung</b>	<b>15</b>
6.1	Definition und Bewertungsmethode des Effizienzhaus Plus-Standards	17
6.2	Projektübergreifende Auswertung der Planungsdaten	20
6.3	Projektübergreifende Auswertung der Monitoringdaten	30
6.4	Lessons Learned	49
<b>7</b>	<b>Veröffentlichung von (Zwischen-) Ergebnissen in 2021</b>	<b>53</b>
<b>8</b>	<b>Zuarbeit zum Internetportal »Effizienzhaus Plus« des BMWSB/BBSR</b>	<b>55</b>
8.1	Inhalte für Newsletter und Projektseite der Initiative	55
8.2	Kurzleitfaden Minimalmessung zur Betriebsüberwachung von hocheffizienten Einfamilienhäusern	59
8.3	Ergebnisveröffentlichung auf dem EU Portal »BUILD UP«	59
<b>9</b>	<b>Beratung und Unterstützung des BMWSB/BBSR</b>	<b>61</b>
<b>10</b>	<b>Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen und weiterführende Fragestellungen</b>	<b>63</b>



# 1 Kurzfassung

Das Bundesbauministerium hat im Jahr 2011 eine Forschungsinitiative mit einem Förderprogramm für Modellhäuser aufgelegt, die den »Effizienzhaus Plus-Standard« erfüllen. Mit diesem Programm wurden Bauherren unterstützt, die Gebäude errichteten, die über das Jahr bilanziert selbst mehr Energie aus erneuerbaren Energiequellen produzieren als sie für ihren Betrieb benötigen. Die Gebäude wurden nach der Fertigstellung in einer 24-monatigen Messphase einzeln evaluiert und von der technischen Begleitforschung gemeinsam in vergleichenden Darstellungen quer ausgewertet.

Die Initiative des Bundes startete, wie Bild 1 zeigt, mit der Errichtung eines Pilotgebäudes in Berlin und der Initialisierung eines Netzwerkes. Im Laufe der folgenden Jahre wurden bundesweit 37 Modellvorhaben im Wohnungsbau errichtet. Darüber hinaus wurden 2016 ein Wohngebäudequartier mit 19 untereinander vernetzten Einfamilienhäusern und 2017 sieben Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard in die Initiative integriert. Im vorliegenden Bericht sind die in Phase 4 durchgeführten Arbeiten und projektübergreifenden Auswertungen der technischen Begleitforschung zu den sieben Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard dokumentiert.



Bild 1: Entwicklung des Effizienzhaus Plus-Gebäudestandards vom Prototyp bis zum Quartier im Rahmen der Forschungsinitiative »Effizienzhaus Plus« des Bundes.

Einen Schwerpunkt der Arbeiten stellte die Querauswertung der sieben Pilot-Bildungsbauten der Forschungsinitiative dar. Dabei wurden die Planungsdaten bezüglich baulicher und anlagentechnischer Kennwerte zusammengestellt, entsprechend der Umsetzung wo nötig aktualisiert und im Bereich der Energiebilanzen Planungswerte mit entsprechenden Messwerten verglichen. Auch projektübergreifende Kennwerte (sog. Benchmarks) wurden ermittelt. Die Raumkonditionen in den Gebäuden wurden für beispielhafte Räume den vorhande-

nen Anforderungen für Raumtemperaturen und CO<sub>2</sub>-Konzentrationen gegenübergestellt. Erfreulicherweise wurde in sechs von sieben bereits abgeschlossenen Messjahren (in insgesamt vier Pilotvorhaben) der Zielwert Plus bei der Endenergie und der Primärenergie erreicht. Der Effizienzhaus Plus-Standard hat damit auch im Bereich der Bildungsbauten seine Praxistauglichkeit bewiesen. Gemäß der Planung sind alle sieben Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten im Betrieb nicht nur klimaneutral, sondern stellen eine Treibhausgasemissionssenkung dar. Die berechnete, kumulierte Treibhausgassenkung durch den Betrieb der vier bereits gemessenen Vorhaben beträgt 235 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent im Jahr. Leider stehen zum Ende des Begleitforschungsprojekts noch Messungen in drei Pilotvorhaben aus.

Im Bereich der Dissemination wurden mit hohen Teilnehmerzahlen zwei öffentliche Netzwerktreffen im Rahmen von Großveranstaltungen (Bau Online 2021 und Berliner Energietage 2022) durchgeführt, die 10-Jahresfeier der Forschungsinitiative realisiert und drei interne Netzwerktreffen zum Austausch mit Projektbeteiligten abgehalten. Weitere Öffentlichkeitsarbeiten umfassten zahlreichen Input für das Internetportal »Effizienzhaus Plus« des BMWStB/BBSR und das EU-Portal für energieeffiziente Gebäude »BUILD UP«. Das europäische Interesse zeigte sich durch den Austausch mit internationalen Normungsgremien, der EU-Kommission und der High Policy EU-Länderplattform Concerted Action EPBD.

In der in deutscher und englischer Sprache erschienenen Broschüre »5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard« wurden die sieben Pilotvorhaben detailliert aufbereitet, vergleichend ausgewertet und die von den Projektteams gemachten Erfahrungen bei der Planung, der Umsetzung und beim Monitoring zusammengestellt.

Das Bauministerium und das BBSR wurde von der technischen Begleitforschung zu unterschiedlichen Themenfeldern umfänglich beraten. Ein großer Erfolg der Forschungsinitiative ist es, dass zwei Bundesländer und eine Landeshauptstadt die energetischen Anforderungen für den Neubau von eigenen Liegenschaften auf das Effizienzhaus Plus-Niveau festgelegt haben. Der kostenfreie Effizienzhaus Plus-Rechner, der den Nachweis des hochwertigen energetischen Gebäudeniveaus ermöglicht, wurde aktualisiert und erlaubt jetzt das Ausstellen des neuen Effizienzhaus Plus-Zertifikats.

## 2 Summary

In 2011, the German Federal Ministry of Building launched a research initiative with a funding program for model houses conformant with the “Efficiency House Plus Standard”. This program supported owners who constructed buildings that generate more energy from renewables than needed for their operation over the course of one year. After completion, each model project was individually evaluated during a monitoring period of 24 months and cross-evaluated within the framework of an accompanying research project.

As Figure 2 shows, the initiative of the federal government started with the construction of a pilot building in Berlin and the establishment of a network. In the course of the following years, 37 model projects in residential section were built nationwide. In addition, in 2016 a district with 19 interconnected single-family houses and in 2017 seven educational buildings conformant with Efficiency House Plus Standard were incorporated into the initiative. This report documents the cross-evaluation of the seven educational buildings and further work carried out by the technical accompanying research in the 4<sup>th</sup> project phase.



Figure 2: Development of the Efficiency House Plus building standard from prototype to district within the framework of the research initiative »Effizienzhaus Plus« of the German Federal Government.

This work involved cross-evaluating the seven pilot educational buildings of the research initiative. Planning data was compiled based on structural and technical parameters, updated where necessary according to implementation, and, with regard to energy balances, planning values were compared to measured values. Characteristic values (benchmarks) were also determined across the projects. The room conditions in the buildings were compared with the existing requirements for room temperatures and CO<sub>2</sub> concentrations in two sample

rooms. Fortunately, the positive target value for final energy and primary energy was achieved in six of the seven monitoring years already completed (for four pilot projects). The Efficiency House Plus standard has thus also proven its practicality in the field of educational buildings. According to the planning, all seven Efficiency House Plus educational buildings are not only climate-neutral in operation, but also represent a greenhouse gas emission sink. The calculated, cumulative greenhouse gas reduction through the operation of the four projects already monitored amounts to 235 tonnes of CO<sub>2</sub> equivalent per year. Unfortunately, monitoring in three pilot projects is still pending at the end of the accompanying research project.

In the area of dissemination, two public network meetings were held with a high number of participants as part of major events (Bau Online 2021 and Berliner Energietage 2022), the 10th anniversary celebration of the research initiative was realised and three internal network meetings were held to exchange information with project participants. Further activities in the area of public relations included numerous inputs for the internet portal "Effizienzhaus Plus" of the BMWWSB/BBSR and the EU portal for energy-efficient buildings "BUILD UP". European interest was demonstrated through exchanges with international standardisation committees, the EU Commission and the high policy EU Member States Platform Concerted Action EPBD.

In the brochure "5 Years of Educational Buildings conformant with the Efficiency House Plus Standard", published in German and English, the seven pilot projects were presented in detail, evaluated comparatively and the experiences made by the project teams during planning, implementation and monitoring were compiled.

The BMWWSB and the BBSR were extensively advised by the accompanying technical research team on various topics. A major success of the research initiative is that two German federal states and one state capital have set the energy requirements for their own new buildings at the Efficiency House Plus level. The free Efficiency House Plus online tool, which verifies the high-quality building energy level, has been updated and now issues the new Efficiency House Plus certificate.

### 3 Hintergrund und Aufgabenstellung

Die Bundesregierung hat im Jahr 2021 mit dem Klimaschutzgesetz beschlossen, die Treibhausgasemissionen in Deutschland bis zum Jahr 2030 um mindestens 65 % und bis zum Jahr 2040 um 88 % unter das Niveau von 1990 zu senken mit dem Ziel, bis zum Jahr 2045 Treibhausgasneutralität in Deutschland zu erreichen. Um diese Ziele zu realisieren, müssen in den nächsten Jahren alle gesellschaftlichen Akteure mobilisiert werden, einen Beitrag zum Klimaschutz zu leisten. Nur so kann es gelingen, innerhalb von 23 Jahren ein Treibhausgasemissionsniveau nahe Null zu erreichen.

Der Bausektor steht mit seinem hohen Energiebedarf (rund 40 % des Energieverbrauchs entfallen auf Gebäude) im Fokus des Interesses. Während Gebäude bisher fast ausschließlich als Energieverbraucher in Erscheinung treten, können sie unter Nutzung moderner Energiegewinnungstechnologien zu Energieerzeugern werden. Durch den gezielten Einsatz von regenerativen Energiequellen im und am Gebäude – wie z. B. die Nutzbarmachung von Sonnenenergie oder Erdwärme – werden Gebäude zu Plusenergiegebäuden und damit zu Kleinkraftwerken. In der Jahressumme erzeugen sie mindestens die für die Nutzung inklusive des Nutzerstroms benötigte Energie und darüber hinaus ein »Plus«, d. h. einen Energieüberschuss, der für andere Zwecke bereitgestellt werden kann. Der Nachweis, dass dies technisch generell möglich ist, wurde an verschiedenen Modellen geführt. Bisher mangelt es an überzeugenden gebauten Beispielen mit Vorbildcharakter und dem notwendigen Markteinstieg. Ferner werden Erkenntnisse über die Leistungsfähigkeit, die Dauerhaftigkeit, die Nachhaltigkeit, die Effizienz und die Wirtschaftlichkeit von passiven und aktiven Technologien für die Energieeffizienz und die Energiegewinnung am Gebäude benötigt.

Das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS)<sup>1</sup> hat im Jahr 2011 ein Förderprogramm für Modellhäuser aufgelegt, die den »Effizienzhaus Plus-Standard« erfüllen. Mit dem Programm wurden Bauherren unterstützt, die Gebäude errichten, die mehr Energie produzieren als für den Betrieb notwendig ist. Die Modellgebäude werden einzeln evaluiert, wobei für jedes Projekt über einen Zeitraum von 24 Monaten nach Fertigstellung stündliche Daten zum Energieverbrauch und zur Energieerzeugung erfasst werden, und zusätzlich im Rahmen einer wissenschaftlichen Begleitforschung ausgewertet. Mit den gewonnenen Forschungsergebnissen können das Energiemanagement moderner Gebäude verbessert und die notwendigen Komponenten für die effiziente Gebäudehülle und die Nutzung erneuerbarer Energien weiterentwickelt werden.

---

<sup>1</sup> Ab 2013 in das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), ab 2018 in das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) und ab 2021 in das Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) übergegangen.

Die Modellprojekte sind die Basis für ein eigens für das Förderprogramm entwickeltes Netzwerk. Neben dem Fördermittelgeber und den Fördermittelnehmern sowie den begleitenden Architekten, Ingenieuren und Forschungsinstituten der Modellvorhaben besteht das Netzwerk mittlerweile aus weit über 150 Partnern aus der bau- und anlagentechnischen Industrie, die diese Gebäudekonzepte erfolgreich am Markt multiplizieren. Die Standorte der Modellvorhaben, gekennzeichnet nach den Kategorien

- Ein- und Zweifamilienhäuser (28 Häuser),
- Mehrfamilienhäuser (9 Häuser),
- Bestandsanierung (2 Einfamilienhäuser und 2 Mehrfamilienhäuser),
- Bildungsbauten (7 Gebäude),
- Quartier (1 Vorhaben mit 19 Einfamilienhäusern),

sind, wie Bild 3 zeigt, über ganz Deutschland verteilt.



Bild 3:  
Standorte der Modellvorhaben der Forschungsinitiative »Effizienzhaus Plus« des Bundes.

Für die Auswertung und den Vergleich aller Vorhaben wurde ein Begleitforschungsvorhaben zur wissenschaftlichen Unterstützung des Bundesbauministeriums und des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) eingerichtet. Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP wurde mit der Durchführung der technischen Begleitforschung beauftragt. Die durchzuführenden Arbeiten in der vierten Phase (07/2020 – 12/2022) der seit 2011 laufenden Begleitforschung fokussieren auf die Auswertung der sieben Bildungsgebäude. Die Arbeiten können in folgende Themenfelder eingeteilt werden:

- Durchführung von halbjährlichen Workshops mit den geförderten Projekten,
- Unterstützung für ein Programmsymposium,
- Zusammenfassende projektübergreifende Auswertung der im Programm geförderten Bildungsbauten,
- Zuarbeit zum Internetportal der Forschungsinitiative Effizienzhaus Plus ([www.zukunftbau.de/effizienzhaus-plus](http://www.zukunftbau.de/effizienzhaus-plus)),
- Veröffentlichung von (Zwischen-)Ergebnissen,
- Beratung des BBSR/BMWSB sowie regelmäßige Abstimmungsgespräche.

## 4 Durchführung von halbjährlichen Workshops mit den geförderten Projekten

Seit Bestehen der Effizienzhaus Plus-Initiative ist es gelungen, ein wachsendes Netzwerk an Projektpartnern zu entwickeln. Auch in der vierten Projektphase wurden verschiedene Netzwerktreffen zur Förderung des Informationsaustausches und zum Networking innerhalb der geförderten Projekte und darüber hinaus organisiert. Es fanden drei interne Workshops mit Projektpartnern der Bildungsbauten statt sowie zwei öffentliche Netzwerktreffen in Verbindung mit Großveranstaltungen. Aufgrund der pandemiebedingten Einschränkungen wurden die Workshops im digitalen bzw. hybriden Format durchgeführt.

Die veranstalteten Netzwerktreffen, die während der vierten Projektphase vom Fraunhofer IBP in Zusammenarbeit mit dem BBSR/BMWSB organisiert wurden, sind nachfolgend aufgelistet und kurz beschrieben. Eine ausführliche Dokumentation der einzelnen Netzwerktreffen ist auf der Effizienzhaus Plus-Webseite zu finden (<https://www.zukunftbau.de/programme/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/workshops>).

- Öffentliches Netzwerktreffen auf der BAU Online 2021 am 14. Januar 2021
- Internes Netzwerktreffen der Bauherren bzw. Nutzer der Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude am 10. Juni 2021
- Internes Netzwerktreffen der Monitoringteams der Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude am 30. September 2021
- 10-Jahresfeier der Initiative Effizienzhaus Plus am 7. Dezember 2021
- Internes Netzwerktreffen der Monitoringteams der Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude am 17. Oktober 2022

Das öffentliche Netzwerktreffen auf der BAU Online 2021 fand unter dem Themenschwerpunkt »Bauen für das Klima und den Klimawandel« als Livestream aus dem »STUDIO Bund« statt. Über 500 Zuschauer verfolgten die Veranstaltung und begleiteten die Vorträge mit Fragen im Chat. Das 1,5-stündige Programm bestand aus fünf Vorträgen von Vertretern des Ministeriums, der Architekten und Fachplaner, der Forschung und der Kommunen. Aus unterschiedlichen Blickwinkeln wurden die ersten zehn Jahre der Effizienzhaus Plus-Initiative reflektiert und neue Impulse für die Zukunft gesetzt. Nach dem Programm im Livestream konnten die Teilnehmer im virtuellen Workshop-Raum des Netzwerktreffens eine Diskussionsrunde mit den Referenten verfolgen.

Ein Highlight war das zweite öffentliche Netzwerktreffen, das 10-jährige Jubiläum der Effizienzhaus Plus-Initiative im Dezember 2021. Hier wurde aus dem

ersten Effizienzhaus Plus-Gebäude in Berlin ein Livestream veranstaltet. Ein vielfältiges Programm unter dem Motto »Effizienzhaus Plus – Mehr Potential für den Klimaschutz« wurde angeboten. Dazu gehörte unter anderem ein Rückblick auf die entwickelten Forschungsergebnisse der letzten 10 Jahre und ein Ausblick in die zukünftigen Arbeiten der Initiative mit Impulsen für das Bauen der Zukunft. Eine Dokumentation der Veranstaltung wurde im Bundesbaublatt (7-8/2022) veröffentlicht.

Die internen Netzwerktreffen dienten insbesondere dem Austausch von Erfahrungen und Erkenntnissen, welche die Projektpartner während der Planung, der Umsetzung und der Monitoringphase der Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten gewannen. Es fanden im Rahmen der technischen Begleitforschung ein Netzwerktreffen mit den Bauherren und Nutzenden und zwei Treffen mit den Monitoringteams statt. Ein weiteres Netzwerktreffen wurde im Rahmen der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung von com.X im Oktober 2022 durchgeführt. Da die geförderten Bildungsbauten eine große Bandbreite an Projekten (Grundschulgebäude, Gymnasien, berufliche Schulzentren und Hochschulgebäude) sowie an Bauherren, Betreibenden und Nutzenden abdecken, konnten Erfahrungen aus sehr unterschiedlichen Blickwinkeln gesammelt, ausgetauscht und in offener Runde diskutiert werden. Die internen Netzwerktreffen wurden überwiegend als wertvoller Austausch eingestuft und positiv von den Beteiligten wahrgenommen. Von einigen Projektpartnern kritisiert wurde allerdings der damit verbundene Zeit- und somit auch Kostenaufwand. Für zukünftige Förderprogramme wurde in dem Zusammenhang vorgeschlagen, den Zeitaufwand für interne Veranstaltungen vorab deutlich zu kommunizieren und im Rahmen der Förderung vorzusehen.

### **Zusammenfassung des Kapitels**

- Die internen Netzwerktreffen mit den Bauherren, Nutzenden sowie Monitoringteams der sieben Bildungsgebäude waren für den Austausch von Erfahrungen und Erkenntnissen innerhalb der Initiative sehr wertvoll.
- Mit den zwei erfolgreichen öffentlichen Netzwerktreffen konnten Forschungsergebnisse sowie Impulse zum Bauen der Zukunft über die Effizienzhaus Plus-Initiative hinaus geteilt werden.

## 5 Unterstützung für ein Programmsymposium

Vom BMWWSB und BBSR wurde in 2021 oder 2022 ein Programmsymposium geplant. Die technische Begleitforschung durch das Fraunhofer IBP sollte bei der fachlichen Organisation und bei der Durchführung unterstützen. Da das Programmsymposium nicht realisiert wurde, wurden die Aufgaben und Arbeitsinhalte auf ein zusätzliches öffentliches Netzwerktreffen auf den Berliner Energietagen 2022 übertragen.

Das 21. öffentliche Netzwerktreffen »Effizienzhaus Plus – Zukunft zeigen« fand am 5. Mai 2022 im Rahmen der Berliner Energietage 2022 statt. Es wurden innovative Impulse aus der Bauforschung gegeben und Ansätze für das Bauen der Zukunft ausgetauscht. Das Fraunhofer IBP unterstützte bei der fachlichen Organisation und Durchführung der Veranstaltung durch z. B. den Programmentwurf mit unterschiedlichen Sessionformaten, Vorschläge für und Ansprache von Referenten, das Einsammeln der Vorträge und der Rechteabtretungen, einen eigenen Vortrag sowie die Dokumentation der Veranstaltung. Die ausführliche Dokumentation ist auf dem Effizienzhaus Plus-Internetportal<sup>2</sup> zu finden.

Die Themen des Netzwerktreffens stießen auf großes Interesse. Für die Veranstaltung vor Ort und im Livestream hatten sich über 580 Personen angemeldet. Hans Erhorn, Principal Advisor für das Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP, moderierte das Netzwerktreffen, das aus einem Präsentationsblock und zwei Dialogrunden zu den Themen »Klimaschutz braucht Bildung« und »Durchstarten für den Klimaschutz« bestand.

Die Bundesministerin für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen, Klara Geywitz, begrüßte die Teilnehmenden. Trotz der dominierenden Schlagzeilen zur Coronakrise und dem Krieg in der Ukraine hob die Bundesbauministerin die Dringlichkeit hervor, sich der Klimakrise zu widmen. Durch Initiativen wie das Effizienzhaus Plus des BMWWSB könne sich der Gebäudesektor vom Sorgenkind zum positiv Beitragenden der Klimabilanz wandeln.

Nach dem Grußwort überreichte Heike Erhorn-Kluttig vom Fraunhofer IBP der Bundesbauministerin den nach 10 Jahren aktualisierten Energieausweis sowie das neu entwickelte Effizienzhaus Plus-Zertifikat des Effizienzhaus Plus-Pilotgebäudes des BMWWSB. Darüber hinaus erhielt die Bundesbauministerin von Petra Alten, Projektleiterin der Effizienzhaus Plus-Initiative im BMWWSB, einen symbolischen »Effizienzhaus Plus-Klimaschutzschirm«.

Heike Erhorn-Kluttig stellte unter dem Titel »Effizienzhaus Plus wird zertifiziert« Ergebnisse aus dem BBSR-Ressortforschungsprojekt »Untersuchung zu Energieausweisen für Effizienzhäuser Plus« vor. Prof. Dr. Clemens Felsmann von der

---

<sup>2</sup> <https://www.zukunftbau.de/programme/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/workshops/21-netzwerktreffen-der-effizienzhaus-plus-initiative>

TU Dresden, Dr.-Ing. Ulrich Bünger und Richard van As-Jacobsson präsentierten in ihrem gemeinsamen Vortrag ein breites Spektrum an Informationen zum Thema »Wasserstoff: Energieträger der Hoffnung oder Energieträger der Zukunft?«.

Nach den Vorträgen folgte die erste Dialogrunde zum Thema »Klimaschutz braucht Bildung«. Peter M. Friemert von der ZEBAU GmbH führte den Dialog mit Susanne Kramm (Berliner Energieagentur GmbH), Prof. Martin Kusic (Hochschule 21, Buxtehude) und Thomas Quast (com.X Institut). In der zweiten Dialogrunde kam Hans Erhorn unter dem Motto »Durchstarten zum Klimaschutz« mit Peter Rathert (Referatsleiter BW I 3 im BMWWSB), Prof. Ingo Lütkemeyer (Hochschule Bremen; IBUS Architekturgesellschaft mbH) und Manfred Rauschen (Ökozentrum NRW) ins Gespräch.

Abschließend fassten Petra Alten und Hans Erhorn die Themen und Erkenntnisse der Veranstaltung zusammen. Petra Alten führte aus, dass der Fokus der Initiative nun insbesondere auf der Öffentlichkeitsarbeit und weiteren Umsetzung von Modellvorhaben liege.

### **Zusammenfassung des Kapitels**

Anstelle des geplanten Programmsymposiums wurde unter dem Titel »Effizienzhaus Plus – Zukunft zeigen« ein zusätzliches öffentliches Netzwerktreffen im Rahmen der Berliner Energietage im Mai 2022 mit zahlreichen Teilnehmenden im hybriden Format durchgeführt.

## 6 Zusammenfassende projektübergreifende Auswertung

Schulen und andere Bildungsbauten bieten sich für die Realisierung des Effizienzhaus Plus-Standards an: Die Tageszeiten, an denen im Gebäude die meiste Energie verbraucht wird, decken sich einerseits mit jenen, in denen die Photovoltaikanlagen Strom produzieren. Zum anderen sind Bildungsbauten dafür prädestiniert, die nachfolgenden Generationen für das ressourcenschonende und zukunftsorientierte Bauen zu sensibilisieren. Als Teil eines Campus können Bildungsbauten zudem hervorragend der Erprobung neuer Energiemanagement-Lösungen auf Quartiersebene dienen.

Gerade im Bereich öffentlicher Bauten besteht ein großer Sanierungsbedarf. In Deutschland beträgt ihr Anteil an der gesamten Nutzfläche aller Nichtwohngebäude circa 25 %. Allein durch die Sanierung der bestehenden Schulgebäude in Deutschland ließen sich theoretisch vier Terawattstunden pro Jahr an Energie einsparen [1]. Im Bereich Bildungsbauten stehen neben Sanierungen aber auch in vielen Kommunen Neubauten an. Zum Beispiel ist für die nächsten Jahre eine deutliche Zunahme der Neubautätigkeit von Kindertageseinrichtungen zu erwarten. Auch steigende Studierendenzahlen und der ungebrochene Zuzug in die Ballungsräume sind Faktoren, die weitere Investitionen in Bildungsbauten erforderlich machen.

Um den Bau oder die Sanierung von Bildungsgebäuden im Effizienzhaus Plus-Standard zu fördern, wurde durch das Bundesbauministerium im Jahr 2015 eine neue Förderrichtlinie aufgelegt. Ziel der Förderung war es, durch Forschung und Entwicklung den Effizienzhaus Plus-Standard und damit den Plusenergiegedanken im Nichtwohnungsbau weiter zu etablieren. Bildungsbauten im Sinne der Förderrichtlinie sind Gebäude, die der Aus- und Fortbildung, der Forschung und der Lehre dienen. Damit deckt das Förderprogramm eine größtmögliche Bandbreite, von Kindertagesstätten bis zu Universitäten, von Volkshoch- und Hochschulen bis zu Laborgebäuden ab.

Für das bundesweite Förderprogramm wurden sieben Modellvorhaben ausgewählt, die sich in Bayern und Baden-Württemberg befinden. Sie reichen von einer ca. 500 m<sup>2</sup> großen Forschungshalle in Feuchtwangen und einem ähnlich großen Erweiterungsbau einer Grundschule in Giebelstadt über mittelgroße Erweiterungsbauten der Gymnasien in Kaufbeuren und Neutraubling und zwei Neubauten beruflicher Schulzentren in Hockenheim und Mühldorf am Inn bis zum 10.000 m<sup>2</sup> umfassenden Ersatzneubau der Hochschule Ulm. Eine Übersicht der eingesetzten Technologien, prognostizierten Endenergieüberschüsse und, falls bereits vorhanden, gemessenen Endenergieüberschüsse zeigt Tabelle 1 (Stand November 2022).

Tabelle 1:  
Übersicht der Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard mit ihren eingesetzten Technologien, berechneten und (falls bereits vorhanden) gemessenen Endenergieüberschüssen.

Abbildung	Projektname Maßnahme Beheizte Nettogrundfläche Genutzte Technologien	Berechneter Endenergieüberschuss  Nennleistung PV	Gemessene Unterdeckung bzw. Überdeckung der Endenergie  (Messjahr 1 / Messjahr 2)
	Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim Neubau 3.766 m <sup>2</sup> NGF     	17.666 kWh/a  206,4 kW <sub>p</sub>	40.653 kWh / 16.255 kWh
	Gymnasium Neutraubling Neubau (1. Bauabschnitt) und Sanierung (2. und 3. Bauabschnitt) 10.388 m <sup>2</sup> NGF   	36.615 kWh/a  353 kW <sub>p</sub>	
	Berufliches Schulzentrum in Mühldorf am Inn Neubau (1. und 2. Bauabschnitt) 9.596 m <sup>2</sup> NGF     	9.937 kWh/a  412 kW <sub>p</sub>	-113.740 kWh / -
	Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren Neubau (1. Bauabschnitt) und Sanierung (2. Bauabschnitt) 8.521 m <sup>2</sup> NGF   	49.934 kWh/a  334 kW <sub>p</sub>	-
	Forschungshalle HS Ansbach Feuchtwangen Neubau 531 m <sup>2</sup> NGF     	7.972 kWh/a  33 kW <sub>p</sub>	30.041 kWh / 21.129 kWh
	Erweiterungsbau Grundschule Giebelstadt Neubau 624 m <sup>2</sup> NGF   	19.065 kWh/a  55 kW <sub>p</sub>	28.739 kWh / 28.949 kWh
	Ersatzgebäude Hochschule Ulm Neubau 10.114 m <sup>2</sup> NGF   	71.927 kWh/a  411 kW <sub>p</sub>	-
Legende:	 Wärmepumpe  Solar-Luftabsorber	 Photovoltaik  Lüftungsanlage mit WRG	 Eisspeicher

## 6.1 Definition und Bewertungsmethode des Effizienzhaus Plus-Standards

Für ein besseres Verständnis der folgenden Querauswertungen der sieben Modellprojekte wird die Definition und Bewertungsmethode des Effizienzhaus Plus-Standards näher erläutert. Der Text hierzu ist angelehnt an die Broschüre »Wege zum Effizienzhaus Plus« [2]. Per Definition des Bundesbauministeriums ist das Effizienzhaus Plus-Niveau erreicht, wenn

- sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ( $\sum Q_p < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$ )
- als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ( $\sum Q_e < 0 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$ )

für das betrachtete Gebäude vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG)<sup>3</sup> [3], wie z. B. 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 GEG nach DIN V 18599 [4] zu führen. Für die sieben hier ausgewerteten Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten waren die Nachweise in Anlehnung an die damals gültige Energieeinsparverordnung (EnEV) nach der DIN V 18599 Ausgabe 2011 zu führen. 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 mitberücksichtigt werden. Die ins Netz eingespeisten überschüssigen Gewinne aus Photovoltaikanlagen und sonstigen erneuerbaren Quellen sind ebenfalls anrechenbar. Wie Tabelle 2 zeigt, ist ein pauschaler Nutzerstrom von  $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$  (bei Sicherstellung einer durchgängigen Ausstattung mit Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels) oder sonst  $15 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$  anzunehmen. Während der Projektlaufzeit wurde ergänzend die Möglichkeit einer detaillierten Ermittlung des Nutzerstromverbrauchs der Bildungsgebäude basierend auf den installierten Leistungen der Geräte und der erwarteten Betriebszeiten angeboten. Davon haben die beiden Vorhaben Berufliches Schulzentrum Mühlendorf am Inn und Ersatzneubau der Hochschule Ulm Gebrauch gemacht und einen Nutzerstrombedarf von  $14 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$  bzw.  $16 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$  ermittelt.

---

<sup>3</sup> vor 1. November 2020 Energieeinsparverordnung (EnEV)

Tabelle 2:  
Anzusetzende Größen des Nutzerstroms für Bildungsbauten nach dem Effizienzhaus Plus-Standard bzw. detaillierte Ermittlung des Nutzerstroms.

Nutzerstrom pauschal	Nutzerstrom pauschal bei Sicherstellung einer durchgängigen Ausstattung mit Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels*	Detaillierte Ermittlung des Nutzerstroms
15 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>beh. NGF</sub> ·a)	10 kWh/(m <sup>2</sup> <sub>beh. NGF</sub> ·a)	Berechnung auf Basis der installierten Leistungen der Geräte und der erwarteten Betriebszeiten

\* Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung vom 30. Oktober 1997. Zum Zeitpunkt der Förderbekanntmachung beinhaltet die aktuelle Stand die Änderungen vom 4. August 2013 bzw. 8. Juli 2016.

### 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. Im Einklang mit dem Bilanzraum des GEG<sup>4</sup> (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.

### 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.

#### 6.1.1 Rechenhilfe

Zur standardisierten Berechnung eines Effizienzhauses Plus wurde im Projekt eine Bewertungssoftware entwickelt, die im Internet zur kostenfreien Nutzung zur Verfügung steht ([www.effizienzhaus-plus-rechner.de](http://www.effizienzhaus-plus-rechner.de)). Neben dem Ergeb-

<sup>4</sup> vor 1. November 2020 Energieeinsparverordnung (EnEV)



## 6.2 Projektübergreifende Auswertung der Planungsdaten

Eine erste Querauswertung der Planungsdaten wurde in der Broschüre »5 Jahre Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard« veröffentlicht (siehe auch Kapitel 7). Die Querauswertung wurde nachfolgend aktualisiert und um vorliegende Raumkomfort- und Kostendaten ergänzt.

### 6.2.1 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 auf die beheizte Nettogrundfläche (Nettoraumfläche) des Gebäudes bezogen. Bei einigen Auswertungen wurde ein projektübergreifender Mittelwert der Bildungsbauten berechnet. Dieser Wert ist das arithmetische Mittel aus den flächenspezifischen Kennwerten der Bildungsgebäude. Bild 5 veranschaulicht die Größe der Bezugsfläche der jeweiligen Vorhaben, die hier nach der Art der Bildungseinrichtung – Grundschule, Gymnasien, Berufliche Schulzentren und anschließend Hochschulen – aufgelistet sind.

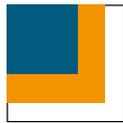
Beheizte Nettogrundfläche $A_{\text{beh.NGF}}$							
	Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim	Gymnasium Neutraubling	Berufliches Schulzentrum Mühldorf am Inn	Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren	Forschungshalle HS Ansbach Feuchtwangen	Erweiterung Grundschule Giebelstadt	Ersatzgebäude Hochschule Ulm
Neubau	3.766 m <sup>2</sup>	3.545 m <sup>2</sup>	9.596 m <sup>2</sup>	1.956 m <sup>2</sup>	531 m <sup>2</sup>	624 m <sup>2</sup>	10.114 m <sup>2</sup>
Sanierung		6.843 m <sup>2</sup>		6.565 m <sup>2</sup>			
Gesamt	3.766 m <sup>2</sup>	10.388 m <sup>2</sup>	9.596 m <sup>2</sup>	8.521 m <sup>2</sup>	531 m <sup>2</sup>	624 m <sup>2</sup>	10.114 m <sup>2</sup>
Visualisierung der Flächen							

Bild 5:  
Bezugsflächen der sieben Pilotprojekte mit den jeweiligen Neubau- und Sanierungsanteilen.

### 6.2.2 Rahmenbedingungen für das Energiekonzept

Das Energiekonzept eines Effizienzhauses Plus wird wesentlich durch die erschließbaren (bzw. erschlossenen) erneuerbaren Energiepotentiale vor Ort bestimmt. Diese betragen bei den beteiligten Bildungsbauten zwischen 30 und 73 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.NGF</sub>·a). Für Beleuchtung und Nutzerstrom benötigen die Gebäude zwischen 13 und 21 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.NGF</sub>·a). Dies entspricht bereits 20 bis 52 % der

erschlossenen erneuerbaren Energiepotenziale vor Ort, so dass für die haustechnischen Anlagen (Heizung, Trinkwarmwasser, Lüftung) ein Endenergiebedarf zwischen 16 und 58 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub>·NGF·a). maximal aufgewendet werden darf, um die Jahresbilanz positiv – d. h. »im Plus« – abzuschließen.

### 6.2.3 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 Raumlufthqualität 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 Rückwärmzahlen (70 bis 90 %) installiert. Fast alle Lüftungsanlagen werden in Abhängigkeit von der Raumlufthqualität geregelt.

Lüftungskonzepte 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%	75%

Bild 6:  
Lüftungskonzepte in den Modellvorhaben mit Angaben zur Effizienz der Wärmerückgewinnung.

### 6.2.4 Baulicher Wärmeschutz

Neben den Lüftungswärmeverlusten beeinflusst der bauliche Wärmeschutz wesentlich den Heizenergiebedarf eines Gebäudes. Der in den Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten umgesetzte Wärmeschutz zur Sicherstellung des maximalen Heizenergiebedarfs ist hochwertig, aber nicht außergewöhnlich. Die Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der Gebäude der Modellvorhaben unterschreiten die jeweiligen Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche ( $U_{\text{quer}}$ ) aus dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) um 39 bis 68 %. Das bedeutet, dass die Kennwerte der wärmetauschenden Gebäudehüllflächenbauteile der Effizienzhaus Plus-Gebäude im Mittel um 50 % besser zu bewerten sind als die zulässigen mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten des GEG.

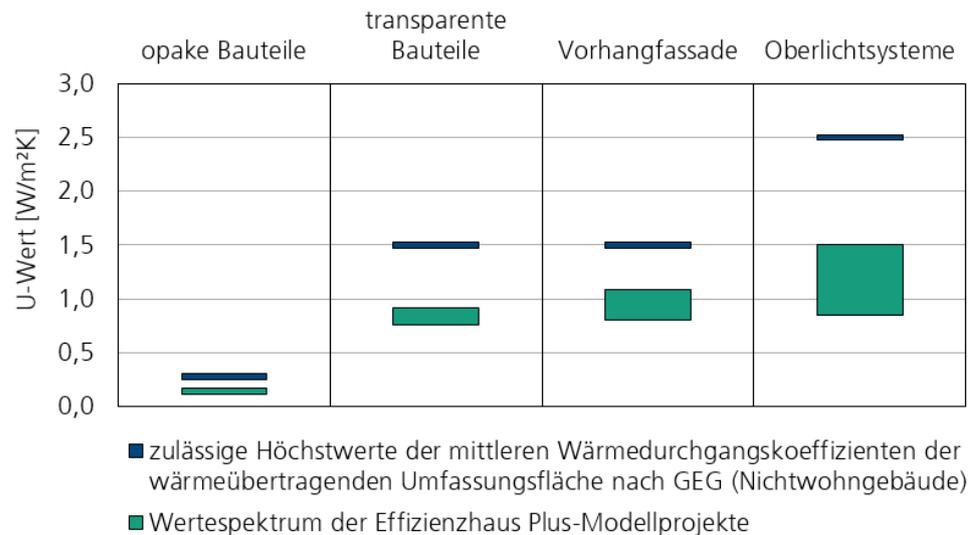


Bild 7: Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) der wärmetauschenden Bauteile der Gebäudehüllen der Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten im Vergleich zu den jeweiligen Höchstwerten der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsfläche aus dem Gebäudeenergiegesetz.

### 6.2.5 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 Rücklauf­temperatur 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 Gasbrennwertkessel 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 Photovoltaikanlage 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/m<sup>2</sup><sub>beh. NGF</sub> auf. Die Wärmepumpenanlage im Erweiterungsgebäude der Grundschule Giebelstadt ist so hoch ausgelegt, damit sie die Anlage der Bestandsgebäude unterstützen kann. 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.

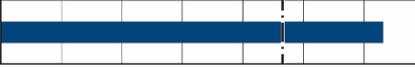
Modellvorhaben	Wärmequelle der Wärmepumpe	Thermische Nennleistung der Wärmepumpenanlage $[\text{W/m}^2_{\text{beh. NGF}}]$						Zusätzliche Wärmeerzeugung
		10	20	30	40	50	60	
Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim	Solkollektor und Eisspeicher  							Fernwärme 
Berufliches Schulzentrum Mühldorf am Inn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

Bild 8:  
Installierte thermische Nennleistung der Wärmepumpenanlagen in den sieben Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten [5].

### 6.2.6 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 von Bildungsgebäuden 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  $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$ , 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 beispielsweise 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  $\text{kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$ .

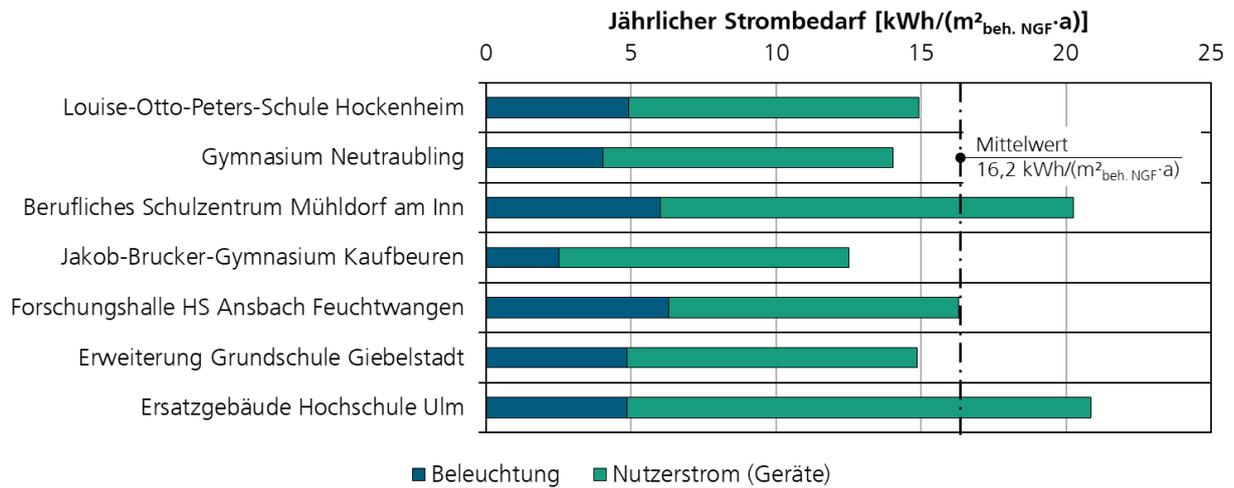


Bild 9:  
 Jährlicher Endenergiebedarf für Beleuchtung und Geräte der sieben Effizienzhaus Plus-Bildungs-  
 bauten.

### 6.2.7 Photovoltaik

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 Photovoltaikanlagen herangezogen werden. Bild 10 zeigt die geplanten bzw. bereits installierten Photovoltaikflächen aller sieben Pilotprojekte.

	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 EP-Gebäude	1.058 m <sup>2</sup>	1.380 m <sup>2</sup>	697 m <sup>2</sup>	1.787 m <sup>2</sup>	246 m <sup>2</sup>	323 m <sup>2</sup>	1.072 m <sup>2</sup>
Auf weiteren Gebäuden*		1.023 m <sup>2</sup>	1.867 m <sup>2</sup>				952 m <sup>2</sup>
Gesamt		2.403 m <sup>2</sup>	2.563 m <sup>2</sup>				2.024 m <sup>2</sup>
Visualisierung der Flächen							

\*) innerhalb der Grundstücksgrenze des Effizienzhaus Plus-Vorhabens

Bild 10:  
 Geplante bzw. bereits installierte Photovoltaikflächen der sieben Bildungsgebäude.

Eine Analyse der Modellvorhaben zeigt, dass im Mittel etwa 0,3 m<sup>2</sup> Photovoltaikfläche je m<sup>2</sup> beheizte Nettogrundfläche bei den Gebäuden eingeplant wurden. Die erwarteten Peakleistungen der Photovoltaikanlagen variieren zwischen

34 und 89  $W_p/m^2_{\text{beh. NGF}}$  und betragen im Mittel etwa  $52 W_p/m^2_{\text{beh. NGF}}$ . 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 mit Berücksichtigung des Nutzerstroms werden zwischen 40 und 73 % des erzeugten Stroms der Photovoltaikanlagen von den Effizienzhaus Plus-Gebäuden selbst genutzt. Dies entspricht einer jährlichen Energiemenge zwischen 15 und 29  $kWh/m^2_{\text{beh. NGF}}$ .

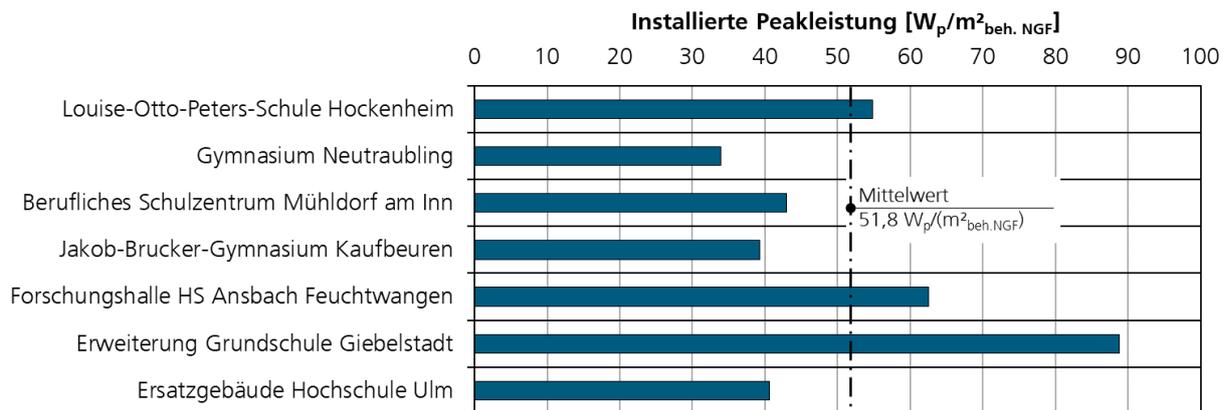


Bild 11: Installierte Peakleistungen der Photovoltaikanlagen in Bezug auf die beheizte Nettogrundfläche.

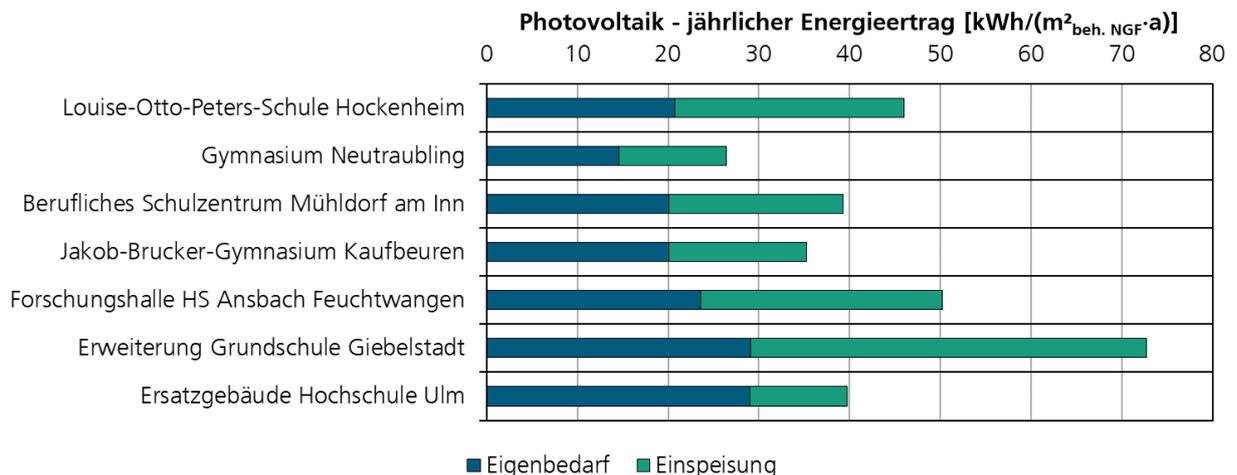


Bild 12: Selbstgenutzter und netzeingespeister Stromanteil aus den lokalen Photovoltaikanlagen (berechnet nach DIN V 18599).

## 6.2.8 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 zu erreichen. Der berechnete jährliche Endenergiebedarf der Bildungsbauten variiert zwischen 26 und 68 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh. NGF</sub>·a). Alle Gebäude verwenden großflächige Photovoltaikanlagen zur Stromerzeugung. Der Ersatzneubau 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/(m<sup>2</sup><sub>beh. NGF</sub>·a). Der berechnete Endenergieüberschuss beträgt im Mittel etwa 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh. NGF</sub>·a).

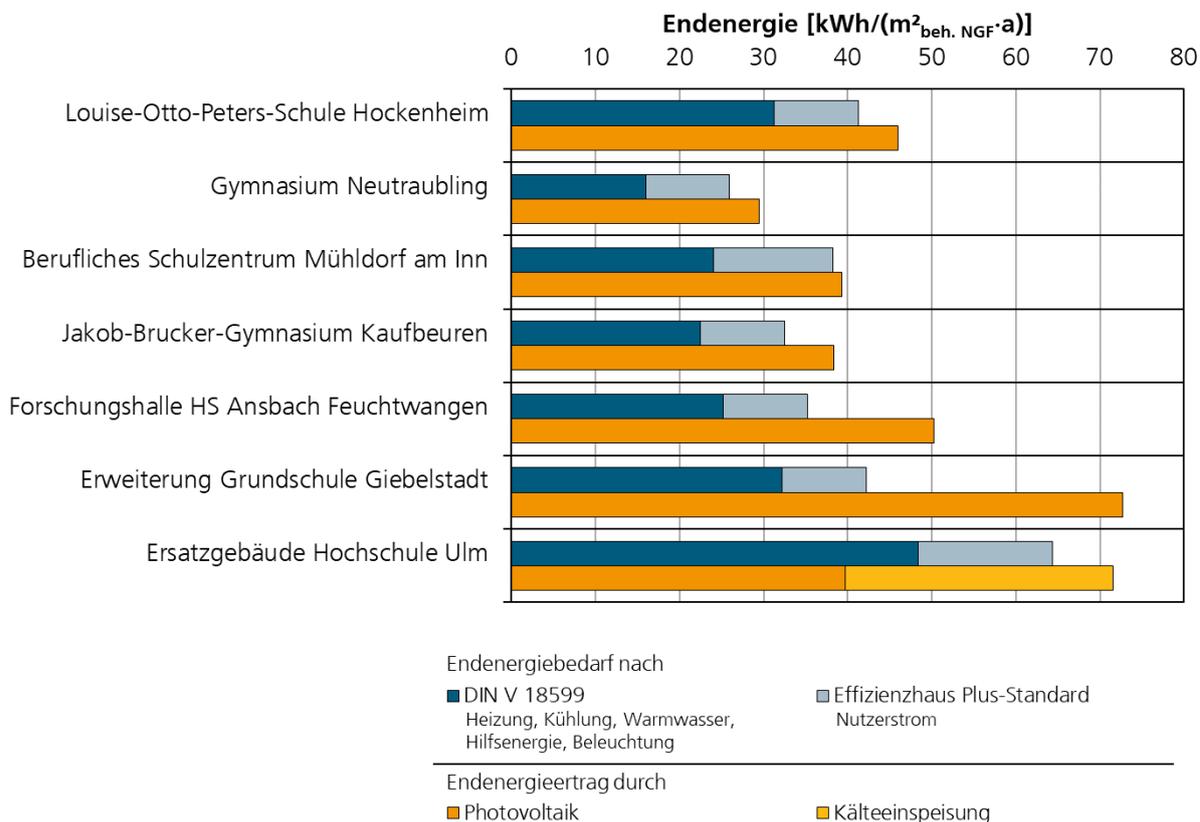


Bild 13:  
Berechnete jährliche Endenergie – Bedarf und Ertrag – der sieben Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten.

## 6.2.9 Primärenergiebilanz

In der Primärenergiebilanz wird der Primärenergiebedarf der Primärenergiegutschrift eines Gebäudes für den Verlauf eines Jahres gegenübergestellt. Der Primärenergiebedarf bzw. die Primärenergiegutschrift ergeben 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 setzen Nah- bzw. Fernwärme, Fernkälte oder Erdgas ein. Der berechnete jährliche Primärenergiebedarf der Bildungsbauten reicht von 18 bis 39 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a). Die Primärenergiegutschrift bewertet die nach außerhalb der Bilanzgrenze abgegebenen Energieträger. Der ins Netz eingespeiste Strom der Photovoltaikanlagen wird hierbei mit einem primärenergetischen Faktor von 2,8 für den Verdrängungsstrommix berücksichtigt. Beim Ersatzgebäude der Hochschule Ulm wird zusätzlich zur Photovoltaik-Strom-Netzeinspeisung auch die Kälteeinspeisung ins Fernkältenetz gutgeschrieben. Die berechnete primärenergetische Gutschriftmenge der Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude durch Netzeinspeisungen liegt zwischen 38 und 123 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a). Der zu erwartende Primärenergieüberschuss beträgt im Mittel etwa 40 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a).

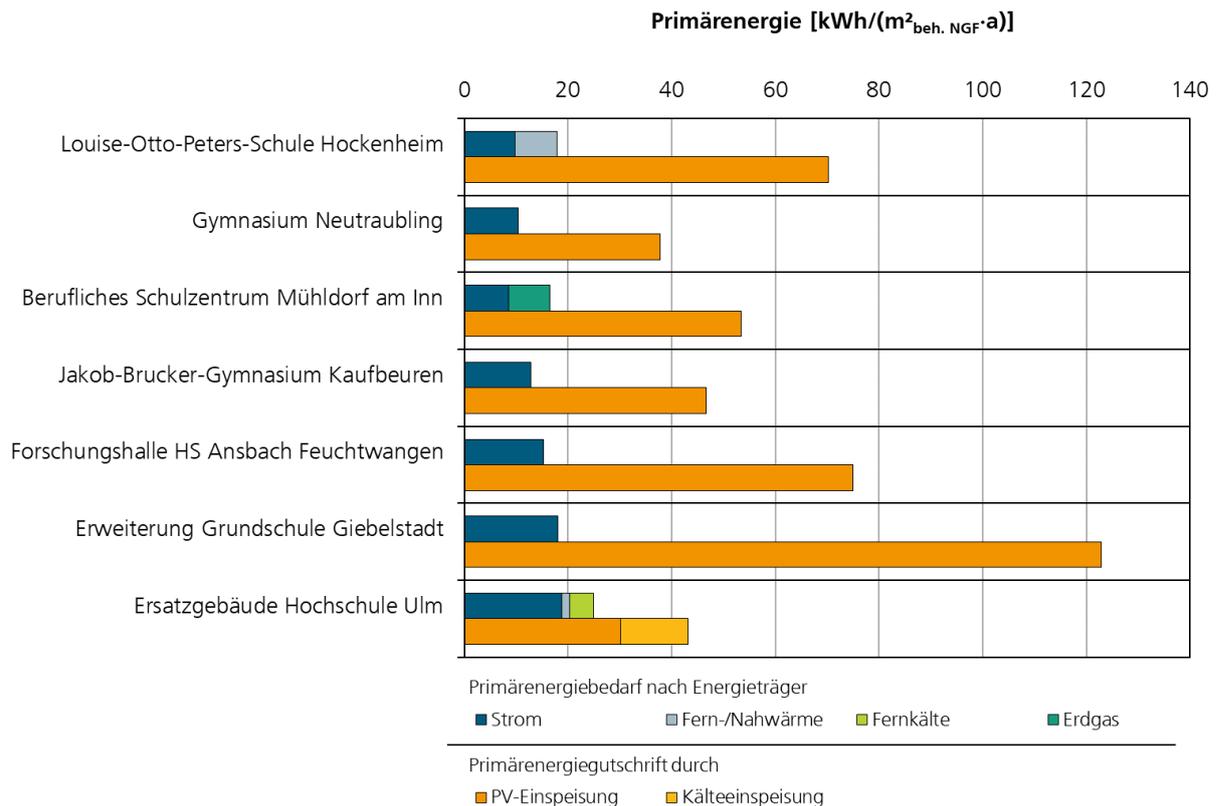


Bild 14:  
 Berechnete jährliche Primärenergie – Bedarf und Gutschrift durch Einspeisung – der sieben Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten.

### 6.2.10 Kosten

Bruttokosten nach DIN 276 für die Kostengruppe 300 (Baukonstruktion) und Kostengruppe 400 (Technische Anlagen) liegen für fünf (Teil-)Projekte vor. Die angegebenen Kosten für das Jakob-Brucker-Gymnasium in Kaufbeuren beziehen sich nur auf den Neubau (Bauabschnitt 1). Aufgrund der unterschiedlichen Nutzungen und der Individualität der Gebäudeentwürfe ist eine gewisse Spannweite bei den Kosten zu erkennen. In den bisher abgerechneten Vorhaben ergaben sich Bruttokosten für Kostengruppe 300 und 400 zwischen 1.798 und 4.255 €/m<sup>2</sup><sub>beh. NGF</sub>. Daraus ergibt sich ein Mittelwert für die Bruttokosten der Kostengruppen 300 und 400 von 3.096 €/m<sup>2</sup><sub>beh. NGF</sub>.

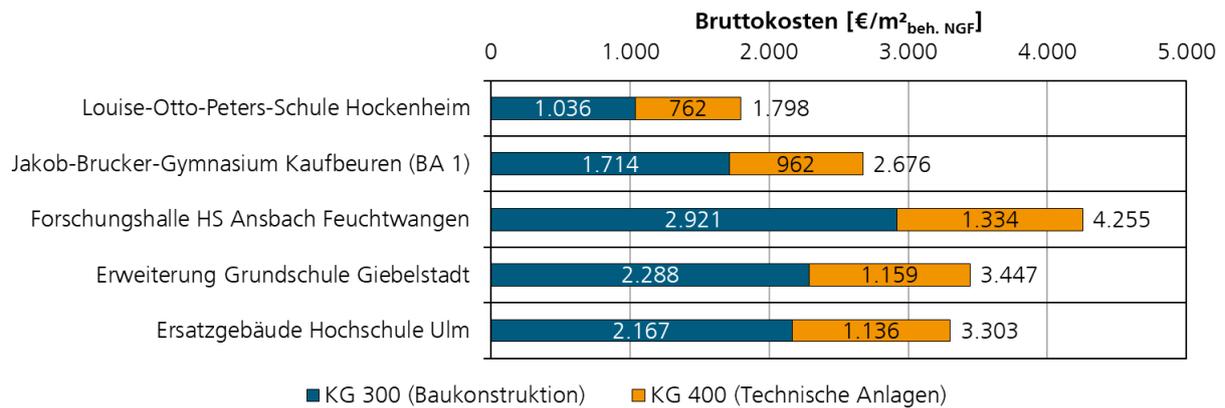


Bild 15:  
Bruttokosten der Kostengruppen 300 und 400 bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche.

### 6.2.11 Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Mithilfe von Emissionsfaktoren können die durch den Gebäudeenergieverbrauch verursachten Treibhausgasemissionen (äquivalenter CO<sub>2</sub>-Ausstoß) berechnet werden. Ebenso wird die äquivalente CO<sub>2</sub>-Senkung durch die Einspeisung überschüssiger lokal generierter erneuerbarer Energie (z. B. durch Photovoltaik-Strom) in öffentliche Energienetze ermittelt. Fällt die Bilanz aus äquivalentem CO<sub>2</sub>-Ausstoß minus Senkung negativ aus, so trägt das Gebäude zur Treibhausgasreduzierung in Deutschland bei. Die berechnete, kumulierte Minderung durch die Modellprojekte beträgt jährlich 316 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent. Die jährliche Treibhausgasreduzierung der einzelnen Modellprojekte wird in Bild 16 ausgewiesen. Die Werte beziehen sich auf die Treibhausgasemissionen in der Betriebsphase des Gebäudes. Die Treibhausgasemissionen für Herstellung und Entsorgung der Gebäude wurden bei den Modellprojekten nicht ausgewertet.

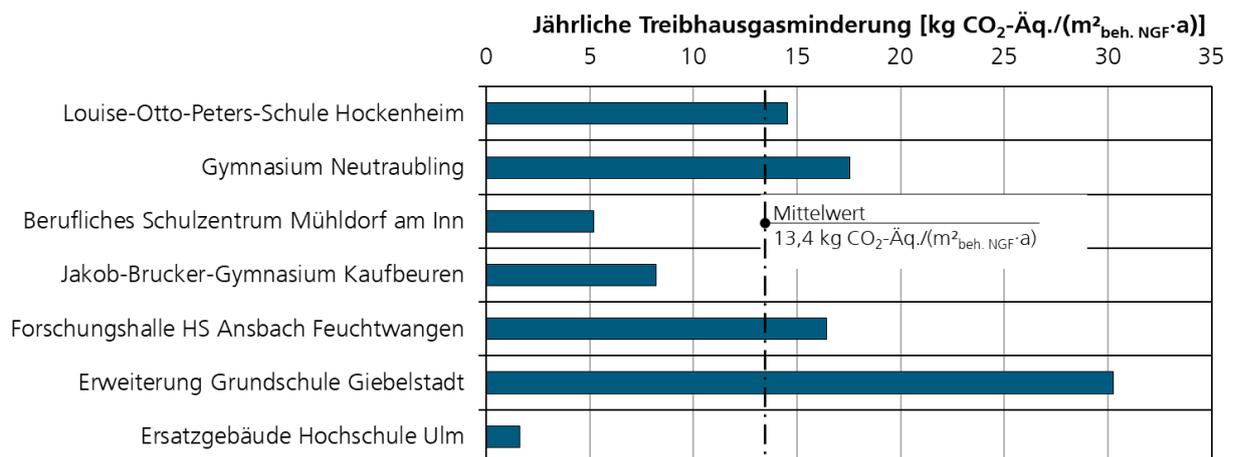


Bild 16:  
Jährliche Minderung der Treibhausgas-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) durch den Gebäudebetrieb der Modellprojekte.

## 6.3 Projektübergreifende Auswertung der 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. Mit Hilfe des Monitorings wird überprüft, ob die vorherberechneten Energiebedarfswerte und erzeugten Energiemengen aus der Planungsphase sich im realen Betrieb einstellen.

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 vom jeweiligen Monitoringteam in repräsentativen Räumen die Raumlufttemperaturen erfasst und in einigen Gebäuden zusätzlich auch die Luftqualität gemessen.

Erste Ergebnisse zum Monitoring der Bildungsgebäude wurden bereits in der Broschüre »5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard« [5] dokumentiert. Außerdem wurde eine Zusammenfassung von Zwischenergebnissen in einem Fachartikel im Bundesbaublatt (7-8/2022) namens »Effizienzhaus Plus in Schulen: Halbzeit bei den Messungen« [6] veröffentlicht. Zum Zeitpunkt der Berichtserstellung haben drei der sieben Modellprojekte (Hockenheim, Feuchtwangen und Giebelstadt) die zweijährige Monitoringphase abgeschlossen. Das Berufliche Schulzentrum in Mühldorf am Inn wird voraussichtlich im März 2023 die Monitoringphase abschließen, ein vollständiges Messjahr liegt jedoch bereits vor. Aufgrund dessen wird für dieses Projekt nur ein Messjahr in den folgenden Auswertungen dargestellt. Messdaten zu den (Teil-)Projekten in Neutraubling, Kaufbeuren und Ulm sind noch nicht vorhanden. Teilweise starten die Messphasen aufgrund von verzögerten Bauausführungen später als ursprünglich geplant oder die Messdaten werden derzeit noch von den Monitoringteams plausibilisiert. Eine Übersicht der zum Zeitpunkt der Berichterstellung vorhandenen Monitoringdaten ist Tabelle 3 zu entnehmen.

Tabelle 3:  
Vorhandene Monitoringdaten der sieben Bildungsgebäude (Stand November 2022).

Projekt	Stand Monitoring*
Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim	Zweijährige Monitoringphase beendet (Mai 2020 bis April 2022)
Gymnasium Neutraubling	Messdaten Bauabschnitt 1 vorhanden, Messdaten Bauabschnitt 2 werden plausibilisiert Bauabschnitt 3 noch nicht fertiggestellt
Berufliches Schulzentrum Mühldorf am Inn	Zweijährige Monitoringphase läuft (April 2021 bis März 2023)
Jakob-Brucker-Gymnasium Kaufbeuren	Messdaten Bauabschnitt 1 vorhanden, Messdaten Bauabschnitt 2 werden plausibilisiert
Forschungshalle HS Ansbach in Feuchtwangen	Zweijährige Monitoringphase beendet (Januar 2020 bis Dezember 2021)
Erweiterung Grundschule Giebelstadt	Zweijährige Monitoringphase beendet (Januar 2019 bis Dezember 2020)
Ersatzgebäude Hochschule Ulm	Messdaten werden plausibilisiert, aggregierte Daten seit Mai 2021 vorhanden, detaillierte Aufteilung noch nicht möglich

\* die angegebene zweijährige Monitoringphase ist die Zeitperiode, die von der Begleitforschung ausgewertet wurde (im vorliegenden Bericht und in den Veröffentlichungen der monatlichen Messdaten auf der Projektseite).

Maßnahmen zur Eindämmung der Pandemie (z. B. Nutzungspausen während des Lockdowns, vermehrtes Lüften der Innenräume, etc.) beeinflussten die Nutzung der Bildungsbauten während der Jahre 2020 bis 2022. Eine veränderte Gebäudenutzung wirkt sich auf den Energieverbrauch eines Gebäudes aus. Während man bei einigen Projekten den direkten Vergleich von Daten, die vor und während der Pandemie gemessen wurden, herstellen kann, fällt die zweijährige Monitoringphase bei anderen Projekten ausschließlich auf pandemiebedingte Jahre. Der Umgang mit pandemiebedingten Auswirkungen auf den Energieverbrauch der Bildungsbauten wurde in einem internen Netzwerktreffen der Effizienzhaus Plus-Initiative gemeinsam mit den Monitoringteams der Modellprojekte diskutiert. Nachdem unterschiedliche Ansätze zum Umgang mit den Daten abgewägt wurden, kam man zu dem Schluss, dass eine einheitliche Vorgehensweise, z. B. die Verwendung eines Korrekturfaktors bei den sehr unterschiedlichen Nutzungen der Gebäude (Grundschule bis Hochschulgebäude), nicht zielführend sei. Es gab eine Übereinkunft, mögliche pandemiebedingte Einflüsse auf den Energieverbrauch der Gebäude in den jeweiligen Abschlussberichten der Monitoringteams festzuhalten. Aufgrund dessen wird der Einfluss der Pandemie auf die Verbräuche der einzelnen Bildungsgebäude in der folgenden Querauswertung nicht im Detail thematisiert.

Bei den Vergleichen der Bildungsgebäude untereinander und dem Abgleich mit der Vorherberechnung wird auf eine Klimakorrektur auf Basis der Außentemperatur bzw. solaren Einstrahlung verzichtet. Es werden die unbereinigten Messwerte angesetzt.

### 6.3.1 Wärmepumpen

Die Effizienz einer Wärmepumpe im realen Betrieb wird mit der gemessenen Jahresarbeitszahl (JAZ) beschrieben. Sie gibt das Verhältnis zwischen der in einem Jahr zugeführten elektrischen Energie und der erzeugten Wärmemenge der Wärmepumpe an. Die gemessene JAZ wird von einer Vielzahl an Faktoren beeinflusst, wie z. B. den realen Temperaturen des Systems und der Wärmequellen, der Betriebsweise der Wärmepumpen und dem Nutzerverhalten [7]. Die gemessene JAZ kann nicht mit dem COP-Wert (Coefficient of Performance) verglichen werden, da diese Planungsgröße im Labor unter Standardbedingungen ermittelt wird und damit nicht die realen Randbedingungen der Wärmepumpe abbildet. Bei der Bestimmung der JAZ wird zwischen drei Bilanzräumen unterschieden. Bild 17 zeigt die unterschiedlichen Bilanzräume.

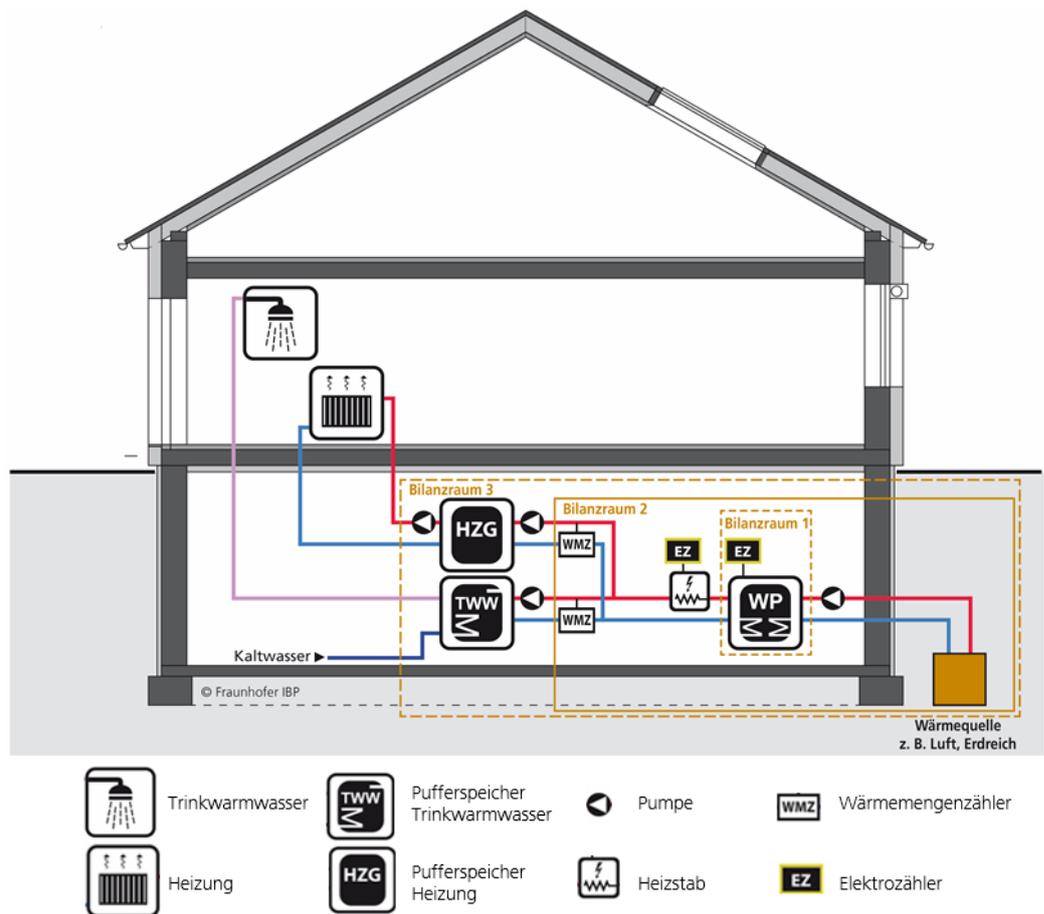
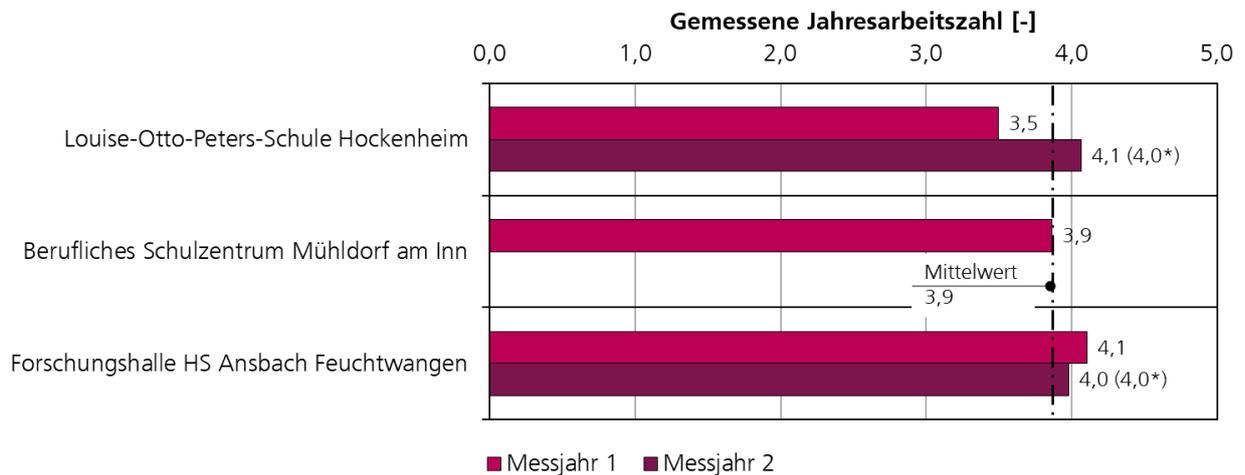


Bild 17: Schematische Darstellung der verschiedenen Bilanzräume zur Bestimmung der gemessenen Jahresarbeitszahl einer Wärmepumpe.

In der folgenden Querauswertung wird der Bilanzraum 2 angewendet. Dieser Bilanzraum berücksichtigt die abgegebene Wärmemenge der Wärmepumpe einschließlich eines eventuell vorhandenen Heizstabs. Auf Seite der zugeführten elektrischen Energie werden die Stromverbräuche der Umwälzpumpen nicht berücksichtigt. Die gemessenen JAZ der Bildungsbauten in Hockenheim, Mühl-dorf am Inn und Feuchtwangen sind in Bild 18 dargestellt. Alle drei Bildungs-bauten haben eine Sole-Wasser-Wärmepumpe und nutzen einen Eisspeicher in Kombination mit Solarabsorbern als Wärmequelle.



\*) Jahresarbeitszahl mit Berücksichtigung der defekten Zeiträume der Wärmepumpe

Bild 18: Gemessene Jahresarbeitszahlen der drei Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten mit Sole-Wasser-Wärmepumpen und den Wärmequellen Eisspeicher und Solar-Absorber.

Bei zwei der dargestellten Gebäude waren die Wärmepumpen während der zweijährigen Messperiode zeitweise defekt. Für diese Projekte werden in den betroffenen Jahren zwei JAZ, eine Zahl mit und eine Zahl ohne Berücksichtigung des defekten Zeitraums der Wärmepumpe, angegeben. Bei der Louise-Otto-Peters-Schule betrifft das den Zeitraum von Januar bis April 2022 (2. Monitoringjahr) und bei der Forschungshalle in Feuchtwangen den Oktober 2021 (2. Monitoringjahr). Die JAZ der Sole-Wasser-Wärmepumpen liegen zwischen 3,5 und 4,1 mit einem durchschnittlichen Wert von 3,9.

Die Grundschule Giebelstadt wird über ein hintereinandergeschaltetes (kaskadiertes) Wärmepumpensystem mit Wärme versorgt. Zwei parallel betriebene Luft-Wasser-Wärmepumpen beheizen einen Wasserspeicher auf ein niedriges Temperaturniveau, den sogenannten Kaltspeicher. Eine nachgelagerte Wasser-Wasser-Wärmepumpe nutzt wiederum den Kaltspeicher als Wärmequelle, um Wasser auf ein höheres Temperaturniveau zu heben. Das Wasser auf höherem Temperaturniveau wird in einen zweiten Speicher geführt, den Warmspeicher.

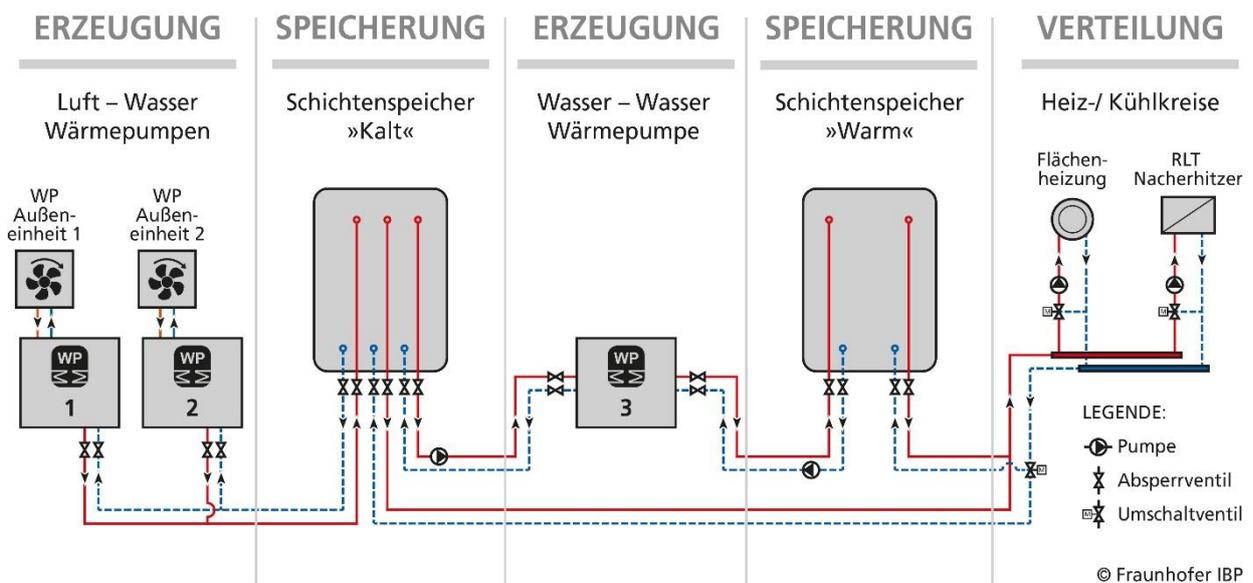


Bild 19:  
Vereinfachtes Anlagenschema des kaskadierten Wärmepumpensystems der Erweiterung der Grundschule Giebelstadt auf Grundlage von [8].

Nach Angaben des zuständigen Monitoringteams bzw. [8] liegt die gemessene Jahresarbeitszahl der beiden Luft-Wasser-Wärmepumpen im Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt im ersten Monitoringjahr bei 2,8 und konnte mittels durchgeführter Betriebsoptimierungen im zweiten Monitoringjahr auf 3,3 erhöht werden. Die beiden Luft-Wasser-Wärmepumpen wurden dabei als ein zusammengehöriges System bewertet, einschließlich von Hilfskomponenten wie z. B. Umwälzpumpen. Für die Wasser-Wasser-Wärmepumpe liegen aufgrund eines Fehlers an einem geräteinternen Temperatursensor Arbeitszahlen nur für ein Zeitfenster von zwei Wintermonaten (November und Dezember) vor. Die durchschnittliche Monatsarbeitszahl der Wasser-Wasser-Wärmepumpe lag hier bei 6,1.

### 6.3.2 Nutzerstrom

Beim Effizienzhaus Plus-Standard wird der Nutzerstrom mitbilanziert. Der Pauschalwert für Bildungsgebäude beträgt je nach Energieeffizienz der eingesetzten Geräte 10 bzw. 15 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub>·NGF·a). Bei den Projekten in Giebelstadt, Feuchtwangen und Hockenheim wurde in der Planungsphase der Pauschalwert von 10 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub>·NGF·a) angenommen. Da das Bildungsgebäude in Mühlendorf am Inn einige fachspezifische Räume und Nutzungen der Berufsschulen unterbringt, wurde der Nutzerstrom während der Planung detailliert berechnet und mit 14,2 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub>·NGF·a) angesetzt. Bild 20 zeigt neben den Planungswerten des Nutzerstroms auch den tatsächlich gemessenen Nutzerstrom der vier Bildungsbauten für die bereits vorliegenden vollständigen Monitoringjahre. Deutlich erkennbar ist, wie unterschiedlich der Energieverbrauch für den Nutzerstrom in jedem Bildungsgebäude ausfällt. Dies ist auf die sehr unterschiedliche Nutzung der Gebäude zurückzuführen. Die Berufsschulen weisen Verbräuche zwischen etwa 6,7 und 10,9 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub>·NGF·a) auf. Der Energieverbrauch für

den Nutzerstrom der Forschungshalle in Feuchtwangen liegt über dem angenommenen Pauschalwert bei durchschnittlich  $17,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$ . Dies ist auf die Versuchsstände im Laborbereich der Forschungshalle zurückzuführen, die einen erhöhten Energieverbrauch aufweisen. Der Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt weist dagegen einen deutlich geringeren Energieverbrauch als der angenommene Pauschalwert auf. Da das Gebäude hauptsächlich für die Mittagsbetreuung verwendet wird, findet die Nutzung der Räume vornehmlich erst ab dem späten Vormittag statt.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Nutzungen und Nutzungszeiten im Bereich der Bildungsgebäude variieren auch die Verbrauchswerte für den Nutzerstrom stark. Dennoch deuten die gemessenen Nutzerstromdaten darauf hin, dass für Standardnutzungen auf die Pauschalwerte des Effizienzhaus Plus-Standards zurückgegriffen werden kann. Bei Sondernutzungen (Labore, abweichende Nutzungszeiten, etc.) wird eine detaillierte Berechnung in der Planungsphase empfohlen.

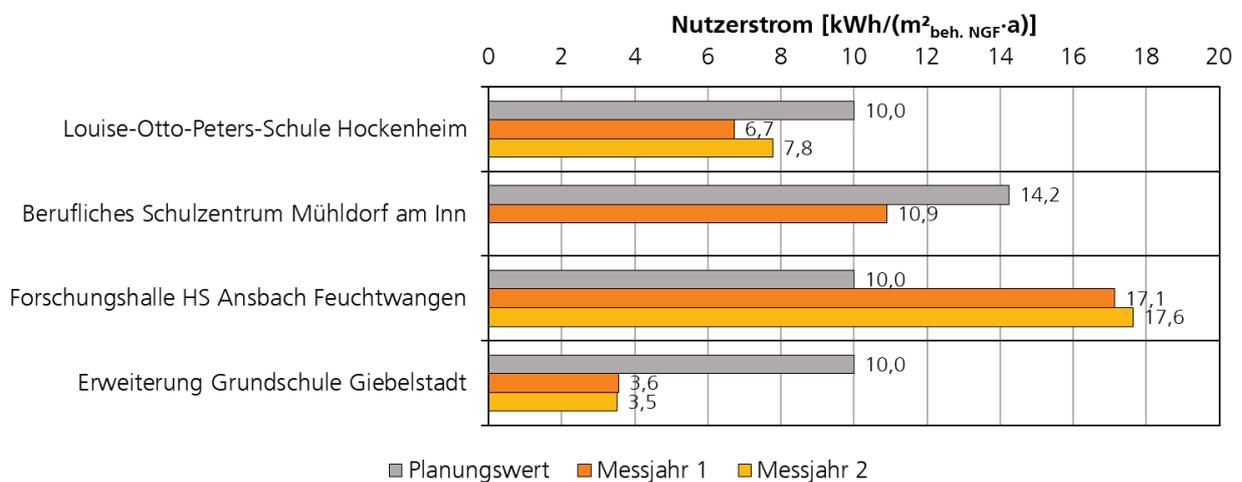


Bild 20: Berechneter und gemessener Nutzerstrom für die Modellprojekte im Bereich der Bildungsbauten.

### 6.3.3 Photovoltaik

Zur Erreichung einer positiven Energiebilanz ist die lokale Erzeugung von erneuerbaren Energien auf den Gebäudegrundstücken notwendig. Alle Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude setzen Photovoltaikanlagen auf ihren Dachflächen ein, um Strom zu gewinnen. Die installierte Leistung und die Fläche der Photovoltaikanlage für jedes Bildungsgebäude sind in Abschnitt 6.2.7 festgehalten. Der im Gebäudebetrieb gemessene Photovoltaik-Ertrag ist in Bild 21 abgebildet. Der jährliche Ertrag der bisher gemessenen Bildungsgebäude liegt zwischen  $40,2$  und  $95,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$ . Da die Bildungsgebäude in Giebelstadt und Feuchtwangen weniger Geschosse umfassen als die übrigen Bildungsgebäude, konnte mehr Photovoltaik-Fläche bzw. Peakleistung pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche installiert werden. Damit liegt auch der spezifische Ertrag dieser

Gebäude höher im Vergleich zu den anderen Bildungsbauten. Neben dem Gesamtertrag der Photovoltaikanlagen ist der jeweils eigengenutzte bzw. ins Netz eingespeiste Anteil des Stromertrags abgebildet. Beim Berufsschulzentrum in Mühldorf am Inn wird der gesamte Photovoltaik-Strom ins Netz eingespeist.

Auffällig sind die deutlich geringeren prognostizierten Photovoltaik-Erträge der Gebäude in Feuchtwangen und Giebelstadt. Bei den beiden Berufsschulen in Hockenheim und Mühldorf am Inn liegen die berechneten und gemessenen Erträge in einer ähnlichen Größenordnung. Hintergrund dafür ist die verwendete Methode zur Berechnung der Erträge. Während die Planer der Berufsschulen den prognostizierten Ertrag anhand von Photovoltaik-Simulationen ermittelten, wurden die Erträge für die Gebäude in Feuchtwangen und Giebelstadt mit den Standardwerten der damals gültigen DIN V 18599:2011 berechnet. Die tatsächlichen Leistungen der Photovoltaikanlagen liegen nach Herstellerangaben höher als die verwendeten Standardwerte nach DIN V 18599:2011, außerdem wird bei der DIN-Berechnung das Referenzklima Potsdam angesetzt und bei den Simulationen das jeweilige Standortklima. Dies spiegelt sich in der Diskrepanz zwischen den berechneten und gemessenen Werten wieder. Für die Effizienzhaus Plus-Bilanzierung sind beide Methoden geeignet. Ein höherer Photovoltaik-Ertrag als vorab nach DIN V 18599:2011 berechnet wirkt sich positiv auf die gemessene Energiebilanz aus. Photovoltaik-Erträge, die näher an den gemessenen Werten liegen, werden allerdings mithilfe der Photovoltaik-Simulationen berechnet. Mit der Verwendung der überarbeiteten DIN V 18599:2018 wurden u. a. auch aktuellere Standardwerte für die Photovoltaikanlagen verankert. Damit reduziert sich die Differenz zwischen Berechnung und Messung.

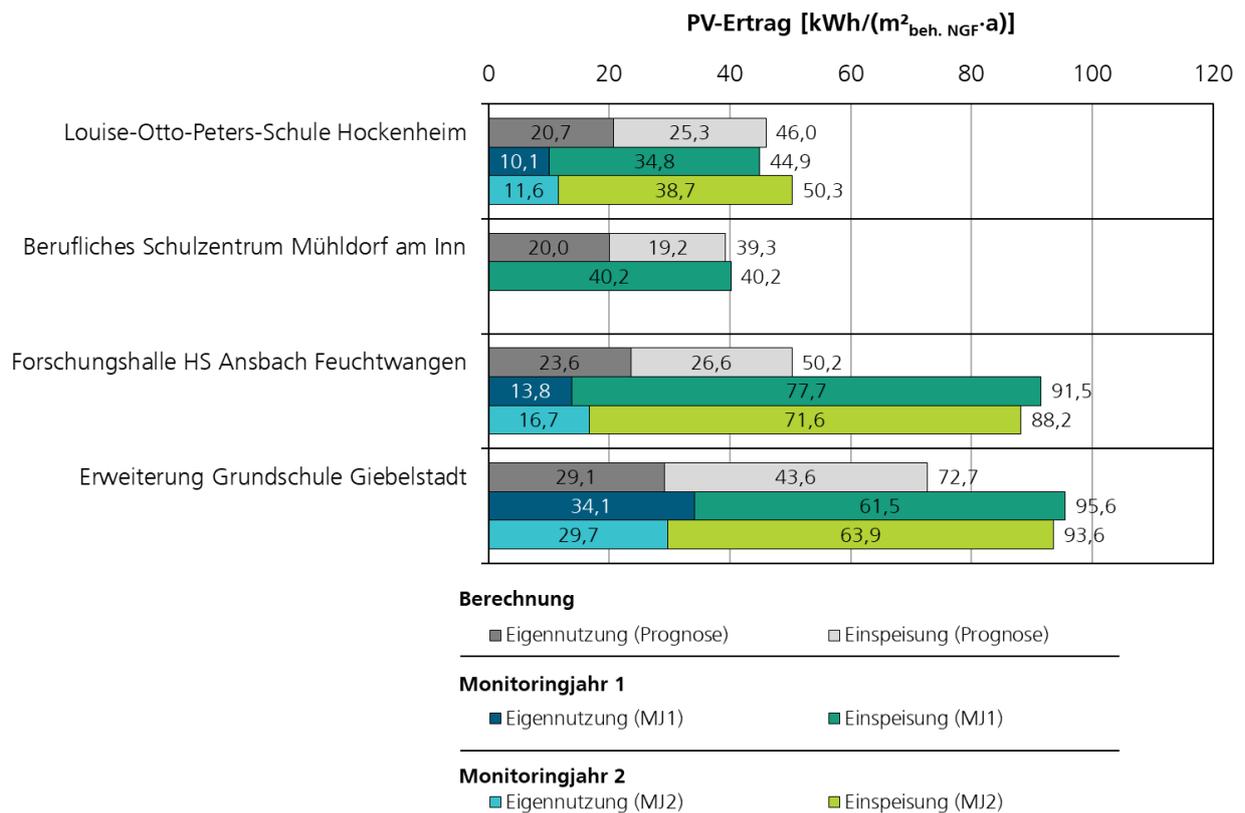


Bild 21:  
 Berechneter und gemessener Energieertrag der Photovoltaikanlagen der Bildungsbauten aufgeteilt in den selbstgenutzten und netzeingespeisten Anteil.

### 6.3.4 Endenergiebilanz

Die Energiemenge, die an der Gebäudegrenze übergeben wird, stellt den Endenergieverbrauch dar (hier ohne Anrechnung des selbstgenutzten Photovoltaikstroms). Der Endenergieverbrauch wird dem Endenergieertrag der Photovoltaikanlagen gegenübergestellt. Dabei ergibt sich entweder eine Endenergieüberdeckung (Ertrag höher als Verbrauch) oder eine Endenergieunterdeckung (Verbrauch höher als Ertrag). Bild 22 zeigt den prognostizierten Bedarf bzw. Ertrag, die gemessenen Werte während der Monitoringperioden sowie die jeweilige Endenergieüberdeckung bzw. -unterdeckung.



das Gebäude seit dem Jahr 2017 in Betrieb ist, konnten Einregulierungen und Betriebsoptimierungen bereits vor Beginn der Monitoringphase durchgeführt werden. Weil die Wärmepumpe im zweiten Monitoringjahr von Januar bis April ausfiel, erfolgte hier die Wärmebereitstellung ausschließlich über den Fernwärmeanschluss. Dies führte zu einem deutlich höheren Endenergieverbrauch der Anlagentechnik. Bei der Beleuchtung und dem Nutzerstrom ist ein leicht erhöhter Verbrauch im Vergleich zum Vorjahr zu erkennen, die Werte liegen jedoch noch deutlich unter den Planungswerten.

Der prognostizierte und der gemessene Photovoltaik-Ertrag liegen in etwa der gleichen Größenordnung. Im ersten Messjahr ist aufgrund eines Ausfalls der Photovoltaikanlage im Juni 2021 ein leicht geringerer Ertrag zu verzeichnen. Die kumulierten Endenergien der gemessenen und berechneten Werte sind in Bild 23 dargestellt.

### KUMULIERTE ENDENERGIE

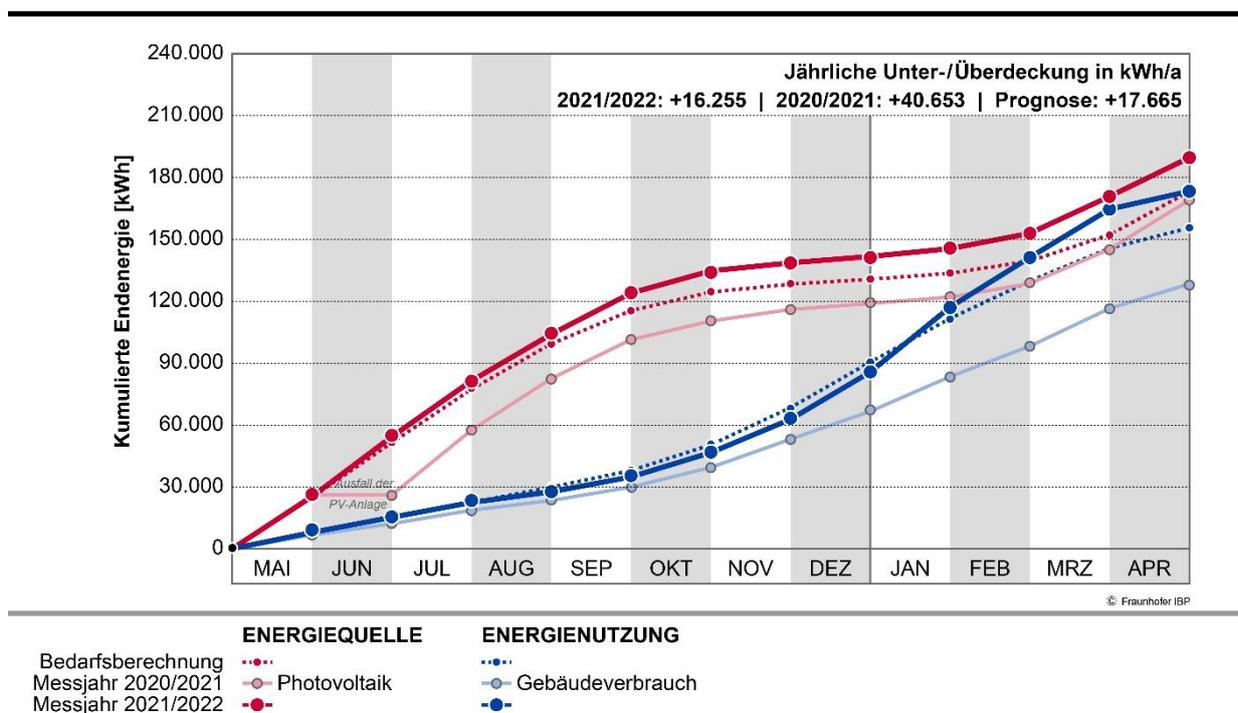


Bild 23: Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Endenergiewerte für die Louise-Otto-Peters-Schule in Hockenheim.

Trotz des Ausfalls der Photovoltaikanlage im Juni 2020 (1. Messjahr) und der zeitweise defekten Wärmepumpe in 2022 (2. Messjahr) hat die Louise-Otto-Peters-Schule in beiden Monitoringjahren einen Endenergieüberschuss von durchschnittlich 28.454 kWh/a erreicht.

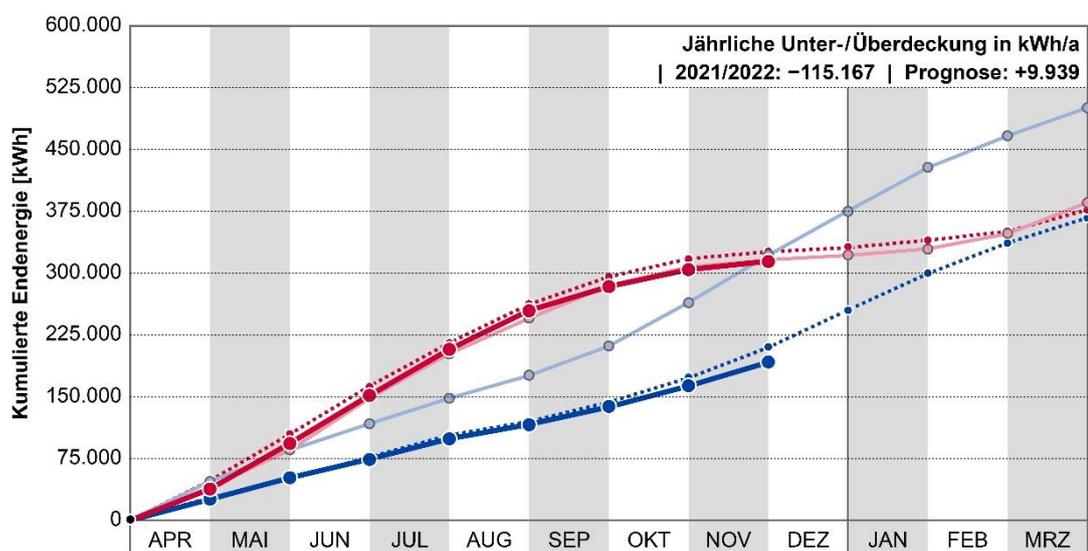
#### 6.3.4.2 Berufliches Schulzentrum in Mühldorf am Inn

Die Monitoringphase des Beruflichen Schulzentrums in Mühldorf am Inn startete im April 2021. Das erste Monitoringjahr ist bereits abgeschlossen, das

zweite soll Ende März 2023 abgeschlossen werden. Anhand der kumulierten Endenergie ist deutlich zu erkennen, dass der Energieverbrauch im ersten Messjahr deutlich über dem vorab berechneten Endenergiebedarf liegt (+36 %). Der erhöhte Verbrauch ist vor allem auf die Luftnacherhitzung bzw. Hilfsenergie der Lüftungsanlage zurückzuführen. Laut Angaben des zuständigen Monitoringteams war anfangs kein geeigneter Zeitplan beim Betrieb der Lüftungsanlage hinterlegt, im ersten Messjahr liefen die Lüftungsanlagen teilweise auch nachts. Nach der Einregulierung der Anlagentechnik, bei der vor allem die Regelung der Lüftungsanlagen angepasst wurde, ist im zweiten Monitoringjahr eine deutliche Einsparung zu erkennen. Dieses Beispiel verdeutlicht die Notwendigkeit der Betriebsüberwachung von Gebäuden, um die vorab berechneten Planungswerte auch im Betrieb einhalten zu können. Die Verbrauchswerte im zweiten Monitoringjahr liegen deutlich näher an den Planungswerten des Gebäudes.

Die berechneten und gemessenen Endenergieerträge der Photovoltaikanlage liegen mit 376.960 kWh/a und 385.434 kWh/a (1. Messjahr) in einer ähnlichen Größenordnung. Aufgrund des erhöhten Energieverbrauchs hat das Berufliche Schulzentrum keinen Endenergieüberschuss im ersten Monitoringjahr erzielt. Die Tendenz des zweiten Monitoringjahres zeigt, dass die Möglichkeit zur Erreichung einer Endenergieüberdeckung besteht.

## KUMULIERTE ENDENERGIE



	ENERGIEQUELLE	ENERGIENUTZUNG
Bedarfsberechnung	.....	.....
Messjahr 2021/2022	—○— Photovoltaik	—○— Gebäudeverbrauch
Messjahr 2022/2023	—●—	—●—

Bild 24:  
Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Endenergiewerte für das Berufliche Schulzentrum in Mühldorf am Inn.

### 6.3.4.3 Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen

Nach dem Bezug des Gebäudes und einer Einregulierungsphase startete die Monitoringphase der Forschungshalle im Januar 2020. Der abgebildete Verbrauch (s. Bild 25) enthält den Betrieb der haustechnischen Anlagen, die Beleuchtung und den Nutzerstrom des Gebäudes und verläuft im ersten Monitoringjahr insgesamt sehr ähnlich wie die Vorherberechnung. Die einzelnen Verbrauchsanteile weisen jedoch unterschiedliche Tendenzen auf. Während die Energieverbräuche für den Betrieb der haustechnischen Anlagen und für die Beleuchtung unter oder etwa in gleicher Höhe der vorab ermittelten Bedarfswerte liegt, ist der Nutzerstrom deutlich höher (etwa 70 %) als prognostiziert. Im zweiten Monitoringjahr sorgte ein erhöhter Stromverbrauch der Wärmepumpe im März und April 2022 sowie ein Defekt der Wärmepumpe im Oktober 2022 zum Anstieg des Endenergieverbrauchs.

Der Stromertrag der Photovoltaikanlage fällt von Mitte Mai bis Ende Juni im ersten Messjahr (2020) aufgrund einer Störung in einem Wechselrichter geringer aus (leichter Knick im Verlauf). Trotzdem hat die Photovoltaikanlage auf dem Dach der Forschungshalle in beiden Monitoringjahren nahezu doppelt so viel Strom generiert als in der Planung ermittelt. Die Abweichung ist auf unterschiedliche Randbedingungen der Planung und Messung zurückzuführen (s. Abschnitt 6.3.3). In beiden Messjahren konnte ein deutlicher Endenergieüberschuss generiert werden.

#### KUMULIERTE ENDENERGIE

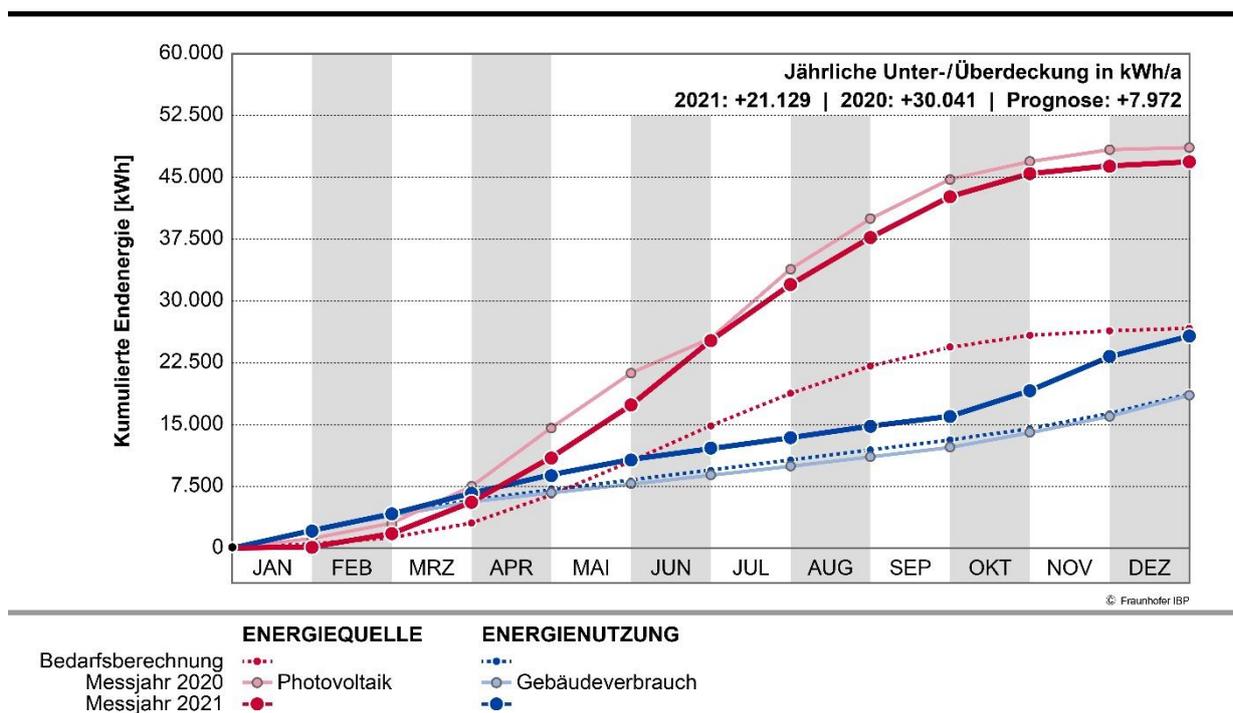


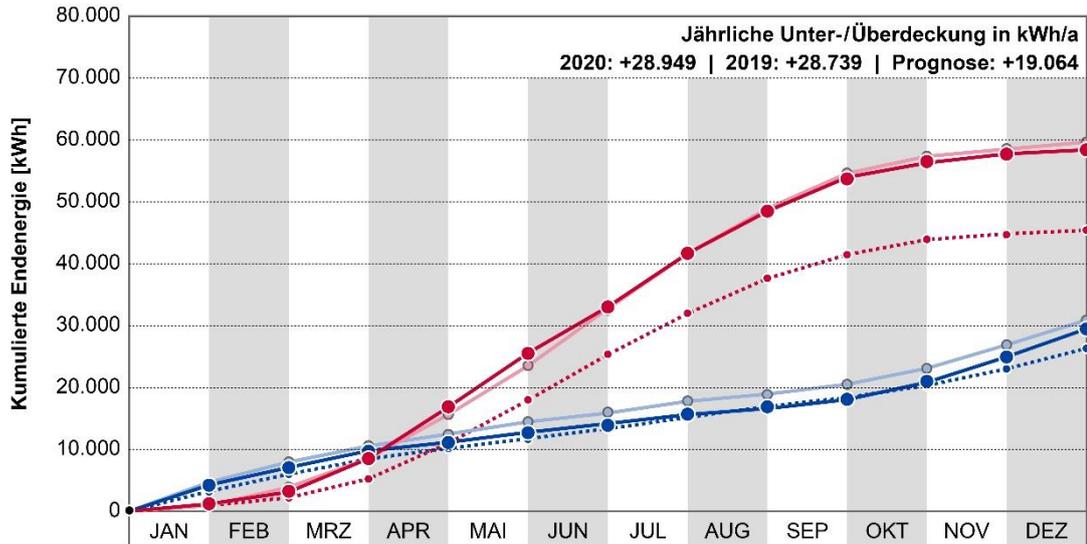
Bild 25: Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Endenergiewerte für die Forschungshalle der HS Ansbach in Feuchtwangen.

#### 6.3.4.4 Erweiterungsgebäude der Grundschule Giebelstadt

Bild 26 zeigt den berechneten Endenergiebedarf und den Endenergieverbrauch des Gebäudes für das Jahr 2019 sowie 2020. Der Erweiterungsbau verbrauchte durchschnittlich  $48 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$  Strom. Die gemessenen Verbrauchswerte liegen in der Summe etwa gleich hoch wie die Planungswerte von  $42 \text{ kWh}/(\text{m}^2_{\text{beh. NGF}} \cdot \text{a})$ . Die einzelnen Verbrauchsanteile zeigen jedoch unterschiedliche Tendenzen. Der Endenergieverbrauch für Heizung, Kühlung und Lüftung liegt für das Jahr 2019 und 2020 gemittelt über den berechneten Bedarfswerten (84 % höher). 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 Anlagenbetrieb im Jahr 2019 war von Optimierungsarbeiten der Planer- und Monitoringteams geprägt, die auf eine Verringerung des Elektroenergieverbrauchs für Heizung, Kühlung und Lüftung des Gebäudeteils abzielten. Dies ist anhand der Messdaten vom zweiten Messjahr gut erkennbar, da die Verbrauchswerte gegenüber dem Vorjahr zunächst deutlich gesunken sind. In den Wintermonaten (Oktober bis Dezember) des Jahres 2020 ist jedoch ein Anstieg des Verbrauchs für die Temperierung bzw. Lüftung erkennbar. Dies ist wahrscheinlich auf größere Wärmeverluste durch verstärkte Fensterlüftung aufgrund der Covid-19-Pandemie zurückzuführen.

Während der Energieverbrauch für Heizung, Kühlung und Lüftung über den Planungswerten liegt, ist der Stromverbrauch für die Beleuchtung, die Warmwasserbereitung und den Nutzerstrom deutlich geringer (56 bis 87 %) als vorab berechnet. 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 Nutzungstunden wirken sich günstig auf den Stromverbrauch aus.

## KUMULIERTE ENDENERGIE



© Fraunhofer IBP

	ENERGIEQUELLE	ENERGIENUTZUNG
Bedarfsberechnung	·····	·····
Messjahr 2019	—○—	—○—
Messjahr 2020	—●—	—●—
	Photovoltaik	Gebäudeverbrauch

Bild 26:

Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Endenergiewerte für den Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt.

### 6.3.5 Primärenergiebilanz

Neben einem Endenergieüberschuss sollte ein Effizienzhaus Plus-Gebäude auch einen jährlichen Primärenergieüberschuss erzielen. Zur Berechnung der Primärenergiebilanz sind neben Angaben zum Bedarf bzw. Verbrauch und der verwendeten Energieträger auch die Menge des ins Netz eingespeisten bzw. selbstgenutzten Stroms der Photovoltaikanlagen notwendig. Bild 27 zeigt eine Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Primärenergiebilanzen der Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten.

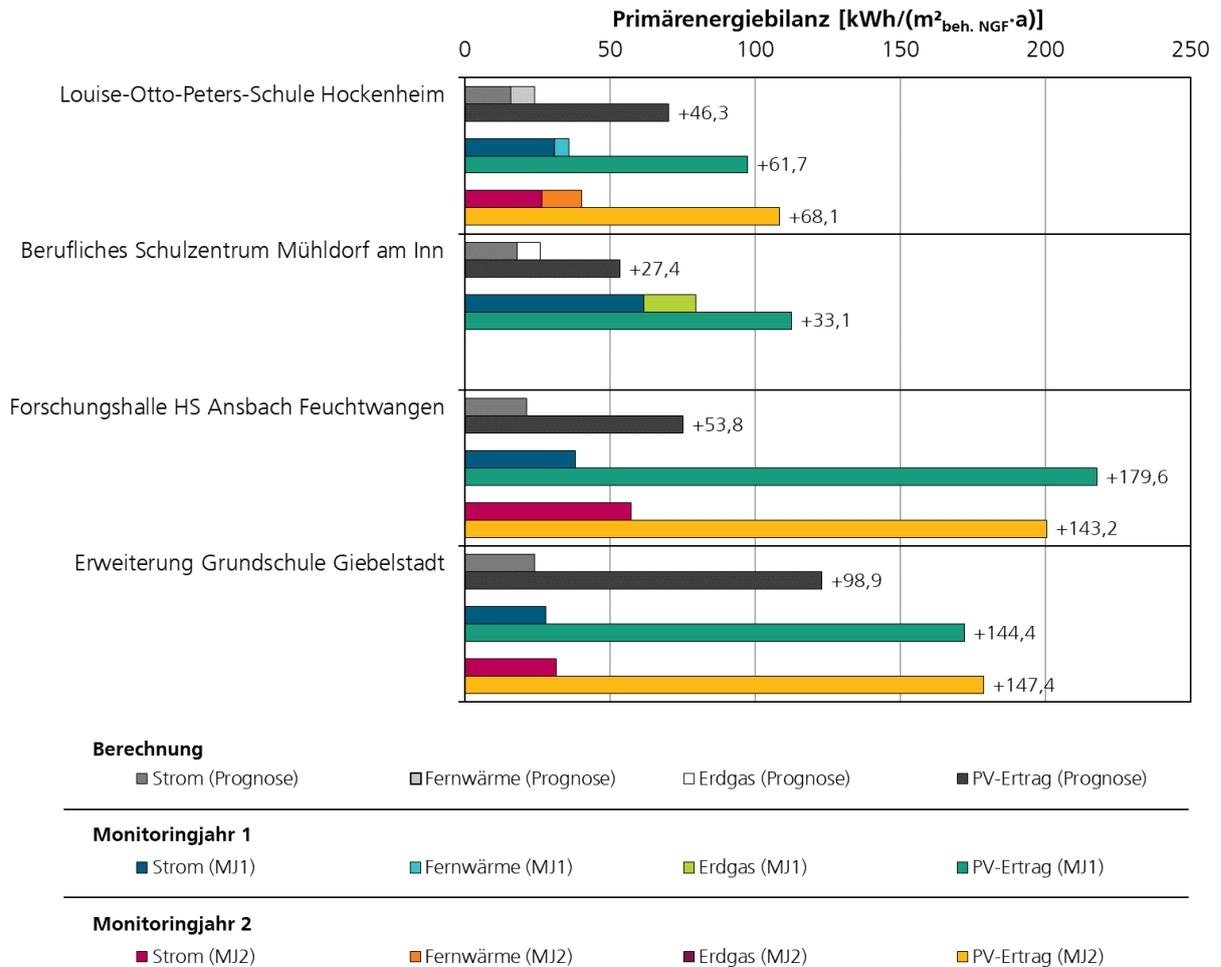


Bild 27: Übersicht der prognostizierten und gemessenen Werte der Primärenergiebilanz mit Angabe des Primärenergieüberschusses.

Die Primärenergieunterdeckung bzw. -überdeckung der bereits gemessenen Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude reicht von 33 bis 180 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a) mit einem Mittelwert von 111 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a). Die gemessenen Primärenergiebilanzen fielen dabei höher aus als die prognostizierten Werte. Die gemessene Primärenergiebilanz des Beruflichen Schulzentrums in Mühldorf am Inn fällt im Gegensatz zur Endenergiebilanz positiv aus. Grund hierfür ist zum einen der geringere Primärenergiefaktor von Erdgas im Vergleich zu Strom. Zum anderen wird im tatsächlichen Gebäudebetrieb der gesamte Photovoltaik-Strom ins Netz eingespeist, kein Anteil wird eigengenutzt (s. Abschnitt 6.3.3). Bei der Effizienzhaus Plus-Bilanzierung wird der ins Netz eingespeiste Strom mit dem etwas höheren Primärenergiefaktor des Verdrängungsstroms multipliziert (gemäß der zum Zeitpunkt der Planung gültigen DIN V 18599:2011). Damit fällt die Gut-schrift der Primärenergie höher aus und reicht, um den Primärenergieverbrauch zu decken. Durch die Verwendung des primärenergetischen Faktors von 2,8 für den eingespeisten Photovoltaik-Strom in der Bilanzierung entsteht rechnerisch

ein Nachteil bei der Eigennutzung des Photovoltaik-Stroms. Nähere Informationen zu den Energieverbräuchen und Erträgen der einzelnen Modellprojekte wurden bereits im vorherigen Abschnitt (6.3.4 Endenergiebilanz) erörtert.

### 6.3.6 Treibhausgasemissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalent)

Die Bilanz der Treibhausgasemissionen, die sich aus dem jeweiligen gemessenen Endenergieverbrauch und –ertrag während des Gebäudebetriebs ergibt, fällt bei allen bisher gemessenen Modellprojekten positiv aus. Damit liegt die jährliche Senkung der Treibhausgasemissionen höher als die verursachten Treibhausgasemissionen für den Betrieb und die Nutzung des Gebäudes. Analog zur Primärenergiebilanz, ist die Treibhausgasbilanz trotz Endenergieunterdeckung beim Beruflichen Schulzentrum in Mühldorf am Inn positiv (s. Abschnitt 6.3.5).

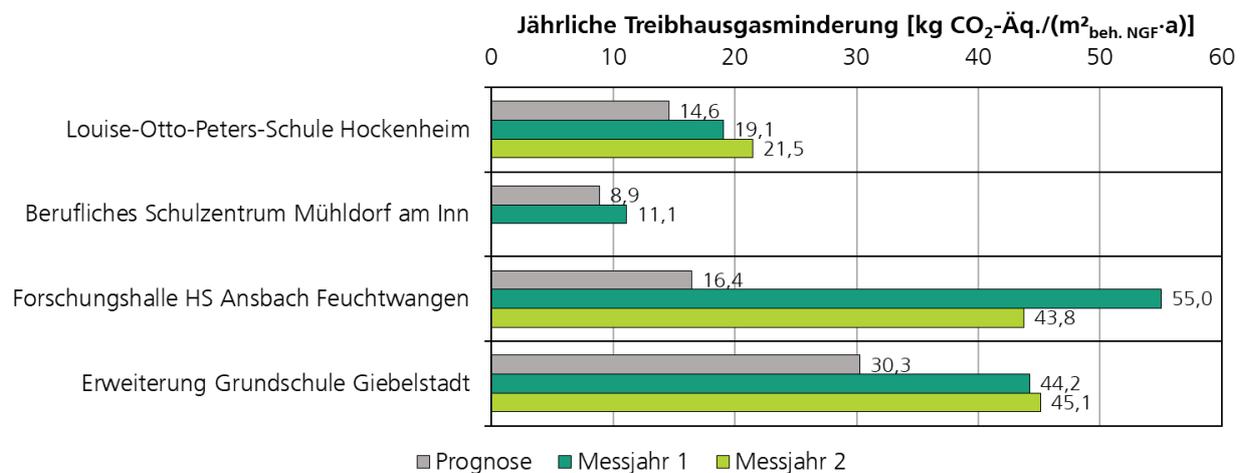


Bild 28: Gegenüberstellung der berechneten und gemessenen Werte der jährlichen Minderung der Treibhausgas-Emissionen (CO<sub>2</sub>-Äquivalent) durch den Gebäudebetrieb der gemessenen Modellprojekte.

Die berechnete, kumulierte Minderung durch die vier Modellprojekte beträgt jährlich ca. 235 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent (berechnet aus Daten des 1. Monitoringjahres). Die durchschnittliche jährliche Treibhausgasminderung liegt bei 34 kg CO<sub>2</sub>-Äq./((m<sup>2</sup><sub>beh.</sub>·NGF)·a). Die Treibhausgasemissionen für Herstellung und Entsorgung der Gebäude wurden bei den Modellprojekten nicht ausgewertet.

### 6.3.7 Innenraumklima

Um das Innenraumklima zu bewerten, wurden die Raumlufttemperatur und zum Teil auch die CO<sub>2</sub>-Konzentration in zwei unterschiedlichen Räumen der Bildungsbauten während der zweijährigen Monitoringphase gemessen. Da keine Präsenzmelder in den Räumen installiert sind, wurden die Nutzungszeiten mithilfe von Stundenplänen oder anhand der CO<sub>2</sub>-Konzentration in den Räumen abgeschätzt. Von gewissen Ungenauigkeiten bei der Abschätzung der Nutzungszeiten und Nutzungsbedingungen ist auszugehen. Insbesondere in den

Monitoringperioden, die auf die Jahre 2020 und 2021 fielen, wurden die Bildungsgebäude aufgrund der Pandemie teilweise nicht im Normalbetrieb (z. B. nutzungsfreie Zeiträume, Wechselbetrieb, vermehrte Fensterlüftung, etc.) genutzt. Da diese Randbedingungen bei den gemessenen Räumen jedoch nicht protokolliert wurden, ist es im Nachgang nicht möglich, auf die Auswirkungen des Sonderbetriebs auf das Innenraumklima zu schließen. Die Auswertungen des Innenraumklimas sind in den folgenden Abbildungen projektübergreifend zusammengefasst.

Die Bewertung der Raumlufttemperatur erfolgt in Anlehnung an das Komfortband der DIN EN 16798 [9]. Hier wird eine Komfortraumtemperatur mit einem Toleranzbereich von  $\pm 2$  K in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur angegeben. Das Komfortband gilt nur für Räume, in denen die Raumnutzer ihre Bekleidung anpassen können, was für die Modellprojekte zutrifft. Da die operative Temperatur in den Räumen nicht gemessen wird, wird als Bewertungsgröße die Lufttemperatur verwendet. Bild 29 zeigt beispielhaft die detaillierte Auswertung zur Lufttemperatur eines Klassenzimmers des Berufsschulzentrums in Mühldorf am Inn. Hier wird die Komforttemperatur mit Toleranzbereich (Komfortband) in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur ersichtlich.

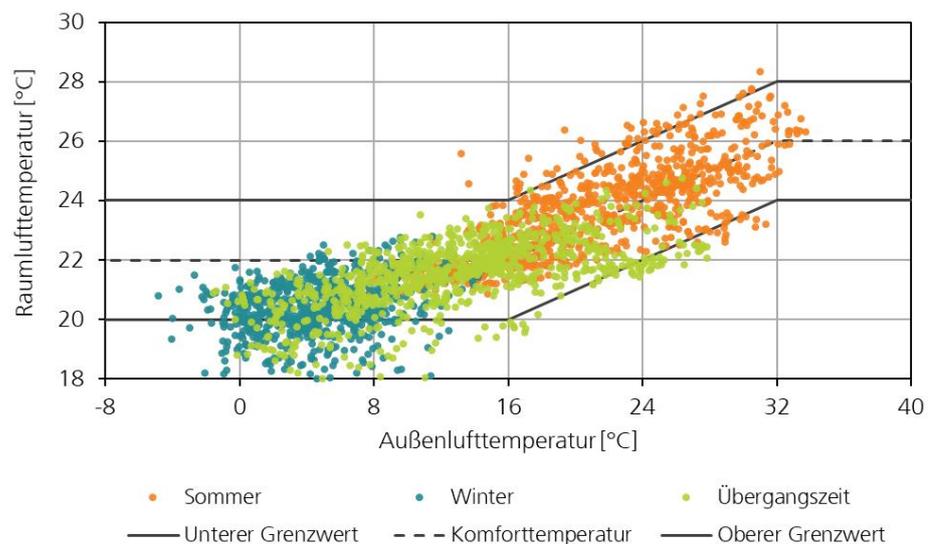
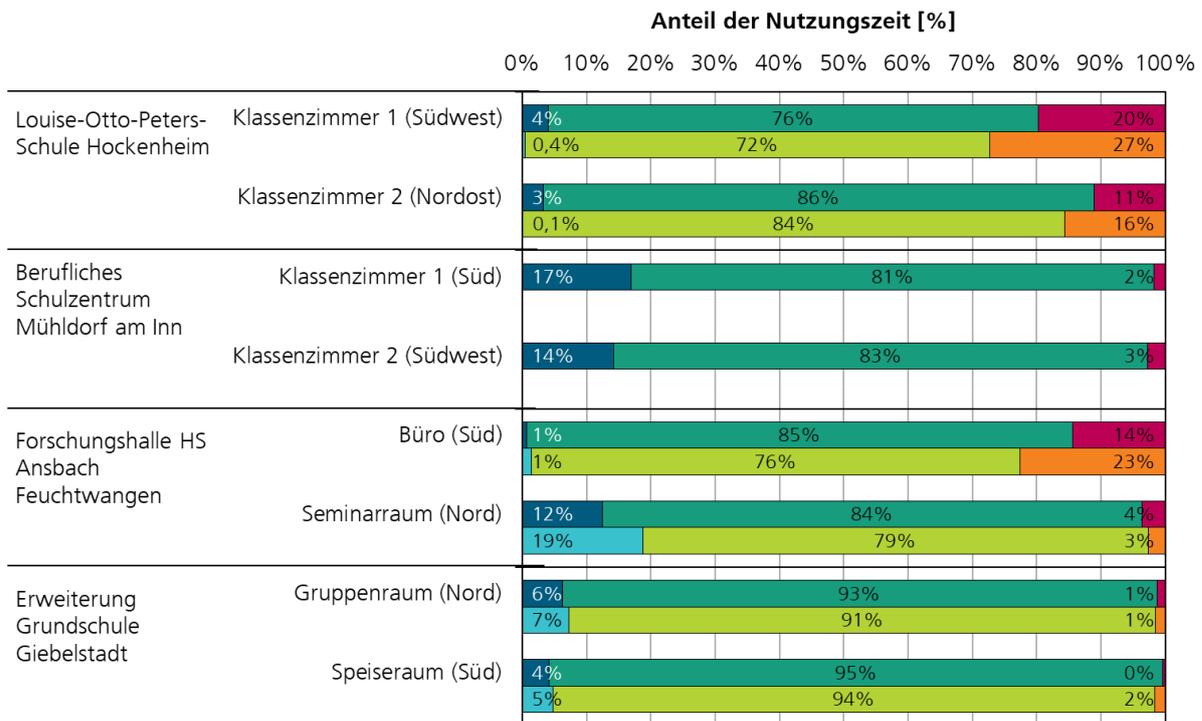


Bild 29: Komforttemperatur mit Toleranzbereich der Raum(luft)temperatur in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur nach DIN EN 16798 [9], hier am Beispiel eines Klassenzimmers des BSZ Mühldorf am Inn.

Die Lufttemperaturen, die innerhalb des Komfortbands liegen, werden der Kategorie »im Komfortbereich« zugeordnet. Lufttemperaturen unterhalb des Komfortbandes werden als »zu kalt« und oberhalb als »zu warm« eingestuft. Bild 30 zeigt den Anteil der Nutzungsstunden der drei Komfortkategorien. Neben der Raumbeschriftung ist in Klammern die jeweilige Ausrichtung des Raums festgehalten.



#### Monitoringjahr 1

■ zu kalt (MJ1)      ■ im Komfortbereich (MJ1)      ■ zu warm (MJ1)

#### Monitoringjahr 2

■ zu kalt (MJ2)      ■ im Komfortbereich (MJ2)      ■ zu warm (MJ2)

Bild 30:

Anteil der Nutzungszeit der drei Komfortkategorien »zu kalt«, »im Komfortbereich« und »zu warm« der Raumlufttemperatur.

Anhand der Auswertung der Raumlufttemperatur ist zu erkennen, dass die Bildungsgebäude während des Großteils der angenommenen Nutzungszeiten Raumlufttemperaturen im Behaglichkeitsbereich aufweisen. Durchschnittlich liegen die Raumlufttemperaturen in 84 % der Nutzungszeit im komfortablen Niveau. Häufige Untertemperaturen (mehr als 10 % der Nutzungszeit) traten in den beiden repräsentativen Räumen in Mühldorf am Inn sowie im Seminarraum in Feuchtwangen auf. Wie zu erwarten, zeigt die detaillierte Auswertung der Raumlufttemperaturen, dass die Unterschreitung des Komfortbereichs am häufigsten in den Wintermonaten eintritt. In den Klassenzimmern in Hockenheim sowie dem Büroraum in Feuchtwangen war die Raumlufttemperatur häufig (mehr als 10 % der Nutzungszeit) zu warm. Dabei liegt der Anteil der Nutzungszeit mit zu warmen Temperaturen im westlich orientierten Klassenzimmer höher als im östlich orientierten Klassenzimmer. Bei der Louise-Otto-Peters-Schule ist eine Überschreitung der behaglichen Raumlufttemperatur in den Sommer- und Übergangsmonaten zu erkennen. Im zweiten Monitoringjahr nimmt die Häufigkeit der Übertemperaturen in den Klassenzimmern in Hockenheim sowie im Büroraum in Feuchtwangen zu.

Die Bewertung der Raumluftqualität erfolgt durch die Auswertung der CO<sub>2</sub>-Konzentration der Raumluft. Die Überschreitungshäufigkeiten von 1.000 sowie 1.500 ppm werden während der angenommenen Nutzungszeit ausgewertet. Die kumulierte Häufigkeit ist als Prozentwert der jährlichen Nutzungszeit angegeben. Da die CO<sub>2</sub>-Konzentration im Erweiterungsgebäude der Grundschule Giebelstadt nicht gemessen wird, sind die repräsentativen Räume des Gebäudes nicht in Bild 31 aufgeführt. Bei der Plausibilisierung der Datensätze fiel auf, dass die gemessenen Werte der CO<sub>2</sub>-Konzentration zeitweise sehr gering ausfielen. Die sehr geringen Werte traten projektübergreifend bei den CO<sub>2</sub>-Messungen auf. In der Diskussion mit den Monitoringteams in einem internen Netzwerktreffen wurde als mögliche Ursache hierfür eine hohe Unsicherheit der Sensoren bei geringen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen genannt.

Bei der Louise-Otto-Peters-Schule steigt die Überschreitungshäufigkeit im zweiten Monitoringjahr. Ein möglicher Grund hierfür könnte die vermehrte Nutzung des Gebäudes im Normalbetrieb sein (statt des pandemiebedingten Sonderbetriebs). Der Grenzwert von 1.000 ppm wird in den gemessenen Klassenzimmern der Bildungsbauten in Hockenheim und Mühldorf am Inn durchschnittlich während 5,4 % der Nutzungszeit überschritten und der Grenzwert von 1.500 ppm während 0,4 % der Nutzungszeit. Die Überschreitung der CO<sub>2</sub>-Grenzwerte ist hauptsächlich auf die Wintermonate zurückzuführen. Die Räume der Forschungshalle in Feuchtwangen überschreiten die beiden Grenzwerte zu keinem Zeitpunkt während der Monitoringjahre.

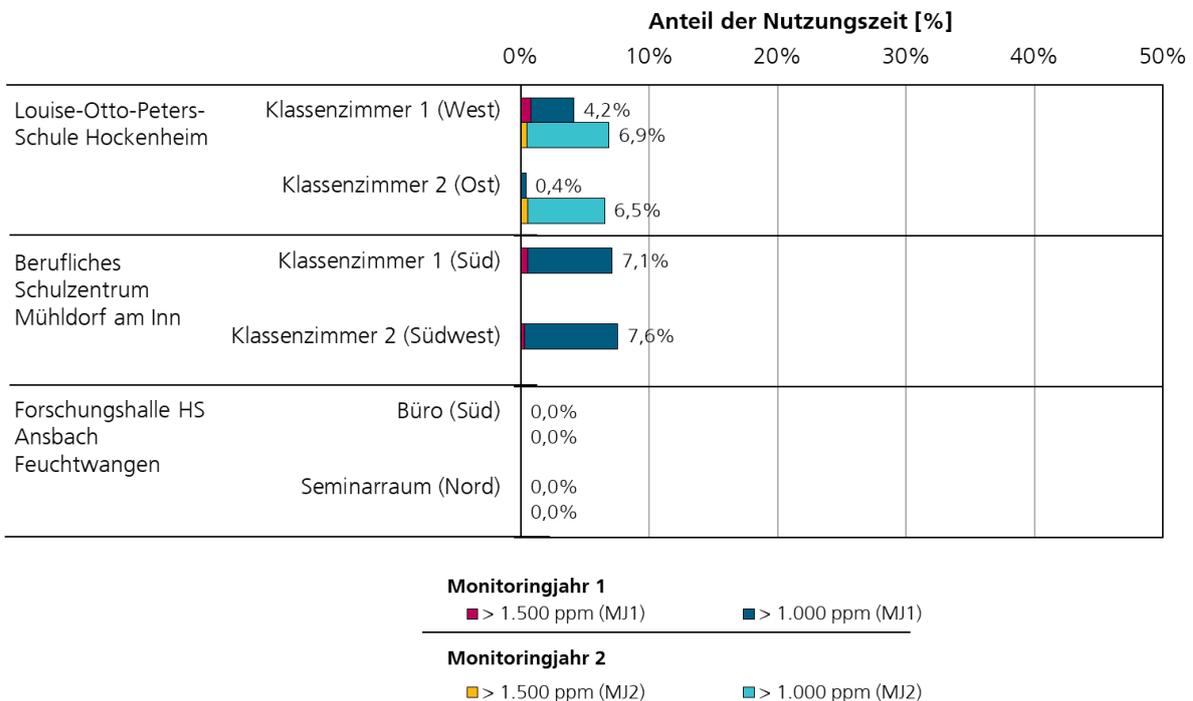


Bild 31: Anteil der Nutzungszeit, in der die CO<sub>2</sub>-Konzentration von 1.000 ppm überschritten wird. Der Anteil der Nutzungszeit, der auch 1.500 ppm überschreitet, ist farblich hervorgehoben.

## 6.4 Lessons Learned

Von der technischen Begleitforschung wurden die gewonnenen Erfahrungen und Erkenntnisse der Projektteilnehmer der sieben geförderten Bildungsbauten in Form einer Umfrage sowie in den offenen Diskussionsrunden der Effizienzhaus Plus-Netzwerktreffen gesammelt. Eine erste Veröffentlichung zu den Lessons Learned der Modellprojekte wurde in der Broschüre »5 Jahre Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard« [5] veröffentlicht. Die Präsentationen und Themen der Effizienzhaus Plus-Netzwerktreffen sowie die wichtigsten Erkenntnisse aus den Diskussionsrunden sind dokumentiert und können auf der Internetseite der Initiative<sup>6</sup> eingesehen werden. Die wichtigsten Punkte werden folgend zusammengefasst. Die Erfahrungen und Erkenntnisse aus den Modellvorhaben können helfen, die Herausforderungen für zukünftige Projekte frühzeitig einzuschätzen, systematisch zu prüfen und dadurch zu reduzieren.

### 6.4.1 Projektkoordination und Planung

- Der Entschluss, ein Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard zu bauen bzw. zu sanieren, sollte frühzeitig im Planungsprozess 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.

### 6.4.2 Monitoring/Betriebsoptimierung

- Die Integration eines Monitoringteams sollte bereits in der frühen Planungsphase erfolgen, damit es nicht zu schwerwiegenden Problemen bei

---

<sup>6</sup> <https://www.zukunftbau.de/programme/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/workshops>

der Integration der Messtechnik und zu erhöhten Kosten durch aufwändige Lösungen kommt. Aus Sicht der Monitoringteams der Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten ist der Einstieg während der Entwurfsphase (HOAI-Phase 3) geeignet.

- Dem Monitoringteam sollten 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.
- Die Nutzungszeiten von Gebäuden sind häufig nicht beim Betrieb der Anlagentechnik hinterlegt. Die Implementierung bzw. das Optimieren von hinterlegten Zeitplänen bietet zum Teil großes Einsparpotenzial beim Energieverbrauch eines Gebäudes.
- Komplexe Anlagentechnik erfordert Fachwissen des Facility Managers und eine gute Einregulierung.

## Zusammenfassung des Kapitels

### Definition und Bewertungsmethode

- Der Nachweis des Effizienzhaus Plus-Standards erfolgt in Anlehnung an das GEG u. a. mit Ergänzung des Nutzerstroms und der Anrechnung der eingespeisten lokal erzeugten erneuerbaren Energie.
- Mithilfe des kostenfreien Effizienzhaus Plus-Rechners ([www.effizienzhaus-plus-rechner.de](http://www.effizienzhaus-plus-rechner.de)) wird eine frei zugängliche Rechenhilfe zum standardisierten Effizienzhaus Plus-Nachweis und zur Ausgabe des Effizienzhaus Plus-Zertifikats bereitgestellt.

### Projektübergreifende Auswertung der Planungsdaten

- Die U-Werte der wärmetauschenden Gebäudehüllflächenbauteile der Effizienzhaus Plus-Gebäude sind im Mittel 50 % besser als die jeweiligen Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsflächen aus dem Gebäudeenergiegesetz.
- Alle Pilotprojekte setzen Wärmepumpen zur Nutzung lokaler regenerativer Wärmequellen ein.
- Kennwerte zwischen 10 und 16 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a) wurden für den Nutzerstrom der Bildungsgebäude angesetzt.
- Im Mittel wurde etwa 0,3 m<sup>2</sup> Photovoltaikfläche je m<sup>2</sup> beheizte Nettogrundfläche bei den Gebäuden eingeplant.
- Der berechnete Endenergieüberschuss der Modellprojekte beträgt durchschnittlich 9,5 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a).
- Die berechnete Primärenergiegutschrift der sieben Bildungsbauten liegt im Mittel bei 39,7 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a).
- Die berechnete Minderung der Treibhausgas-Emissionen durch den Gebäudebetrieb aller Modellprojekte beträgt jährlich 316 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent.

### Projektübergreifende Auswertung der Monitoringdaten

- Die durchschnittliche gemessene Jahresarbeitszahl der Sole-Wasser-Wärmepumpen der Bildungsbauten beträgt 3,9.
- Der Energieverbrauch für den Nutzerstrom der Bildungsgebäude hängt stark von der jeweiligen Nutzung sowie den Nutzungszeiten des Gebäu-

des ab. Für Standardnutzungen kann auf die Pauschalwerte der Effizienzhaus Plus-Bilanzierung zurückgegriffen werden. Bei Sondernutzungen (Labore, abweichende Nutzungszeiten, etc.) wird eine detaillierte Berechnung in der Planungsphase empfohlen.

- Der jährliche Photovoltaik-Ertrag der bisher gemessenen Bildungsgebäude reicht von 40,2 bis 95,6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a).
- Die Bilanz der gemessenen Endenergieverbräuche und Endenergieerträge fällt bei den bisher gemessenen Modellprojekten überwiegend positiv aus und liegt im Mittel bei +27,4 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a).
- Die Primärenergieüberdeckungen der bereits gemessenen Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude reichen von 33,1 bis 179,6 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a) und führen zu einem Mittelwert von 111,1 kWh/(m<sup>2</sup><sub>beh.</sub> NGF·a).
- Die kumulierte Treibhausgasminderung der bisher messtechnisch ausgewerteten Modellprojekte beträgt jährlich ca. 235 Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalent (berechnet aus den Daten des 1. Monitoringjahres).

#### **Lessons Learned**

- Die Bedeutung integrierter Planungsansätze und der Projektkoordination nimmt bei höheren energetischen Anforderungen an ein Gebäude zu.
- Die Entscheidung, ein Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard zu errichten oder zu sanieren, sollte frühzeitig im Planungsprozess fallen. Ein nachträglicher Entschluss ist mit hohem Änderungsaufwand verbunden.
- Das Monitoringteam sollte frühzeitig in die Planung einbezogen werden (HOAI-Phase 3), damit es nicht zu schwerwiegenden Problemen bei der Integration der Messtechnik und zu erhöhten Kosten durch aufwändige Lösungen kommt.
- Komplexe Anlagentechnik erfordert Fachwissen des Facility Managers und eine gute Einregulierung.

## Veröffentlichung von (Zwischen-) Ergebnissen in 2021

Zur Messe BAU Online im Januar 2021 und dem damit verbundenen 17. öffentlichen Netzwerktreffen erschien die Broschüre »5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard«, siehe Bild 32. Zusätzlich wurde eine englische Fassung der Broschüre fertiggestellt und veröffentlicht. Die Broschüre enthält die Erfahrungen aus den ersten fünf Jahren der Begleitforschung zu den Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard. Die sieben Pilotgebäude werden einzeln vorgestellt. Dabei beinhaltet die Broschüre Informationen zur Architektur, zu Bauteilen, zur Anlagentechnik sowie zu den energetischen Kennwerten der Projekte. Fotoabbildungen geben dem Leser einen Eindruck der Modellvorhaben, deren Räumlichkeiten und der eingesetzten Anlagentechnik. Des Weiteren enthält die Broschüre eine Querauswertung der Planungsdaten zu Themen wie dem Lüftungskonzept, dem baulichen Wärmeschutz und der Photovoltaikanlagen der Projekte. Erste Auswertungen der Monitoringdaten von der Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen und dem Erweiterungsgebäude der Grundschule Giebelstadt sowie gewonnene Erkenntnisse der Monitoringteams sind ebenfalls in der Veröffentlichung enthalten.

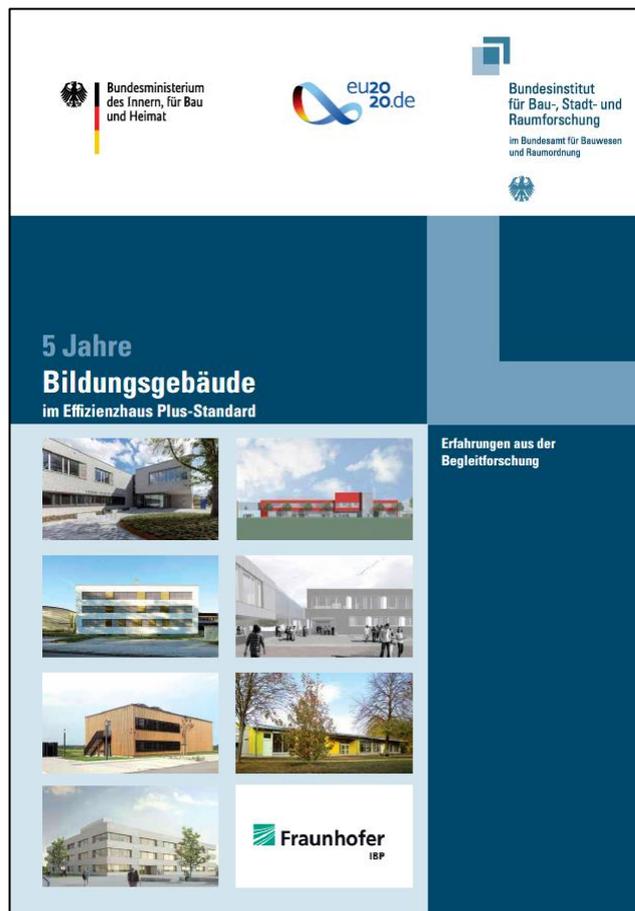


Bild 32:  
Titelblatt der Broschüre »5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard«.

Die Broschüre kann auf der Webseite des BBSR<sup>7</sup> in deutscher sowie englischer Sprache kostenlos als barrierefreie PDF heruntergeladen oder als gedruckte Ausgabe bestellt werden.

### **Zusammenfassung des Kapitels**

- Die kostenlose Broschüre »5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard« beinhaltet Information zur Architektur, zu den Bauteilen, zur Anlagentechnik sowie zu den energetischen Kennwerten der sieben Modellprojekte. Die Broschüre ist in deutscher und englischer Sprache verfügbar.

---

<sup>7</sup> unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2020/bildungsgebaeude-ehp.html>

## 8 Zuarbeit zum Internetportal »Effizienzhaus Plus« des BMWSB/BBSR

### 8.1 Inhalte für Newsletter und Projektseite der Initiative

Für den halbjährlichen Newsletter der Initiative Effizienzhaus Plus wurden Artikel zu den laufenden Arbeiten der technischen Begleitforschung erstellt. Die Netzwerktreffen, die während der vierten Projektphase stattfanden (s. Kapitel 4), wurden ausführlich dokumentiert und sind auf der Internetseite der Initiative<sup>8</sup> abrufbar. Neben den Netzwerktreffen sind auch Informationen zu den Modellvorhaben, z. B. allgemeine Daten und Steckbriefe, auf dem Internetportal verfügbar. In der vierten Projektphase wurden die Steckbriefe sowie andere Informationen regelmäßig aktualisiert und Diagramme zu den Monitoringdaten der Bildungsgebäude ergänzt. Tabelle 3 gibt eine Übersicht der vorhandenen Monitoringdaten zum Ende der vierten Projektphase. Entsprechend sind Monitoringdiagramme zu den vier Bildungsbauten in Giebelstadt, Feuchtwangen, Hockenheim und Mühldorf am Inn auf der Projektseite veröffentlicht.

Die monatlich zusammengefassten Messdaten erhält die Begleitforschung von den Monitoringteams der Projekte. Nach dem Erhalt neuer Messdaten werden die Daten geprüft und anschließend Diagramme für die Internetseite erstellt. Um eine Vergleichbarkeit der Projekte zu ermöglichen, werden die Daten in gleicher Weise für jedes Projekt in Form von vier Diagrammen mit unterschiedlichen Schwerpunkten aufbereitet. Die Diagramme werden folgend am Beispiel der Grundschule in Giebelstadt näher erläutert.

---

<sup>8</sup> <https://www.zukunftbau.de/programme/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/workshops>

## KUMULIERTE ENDEENERGIE

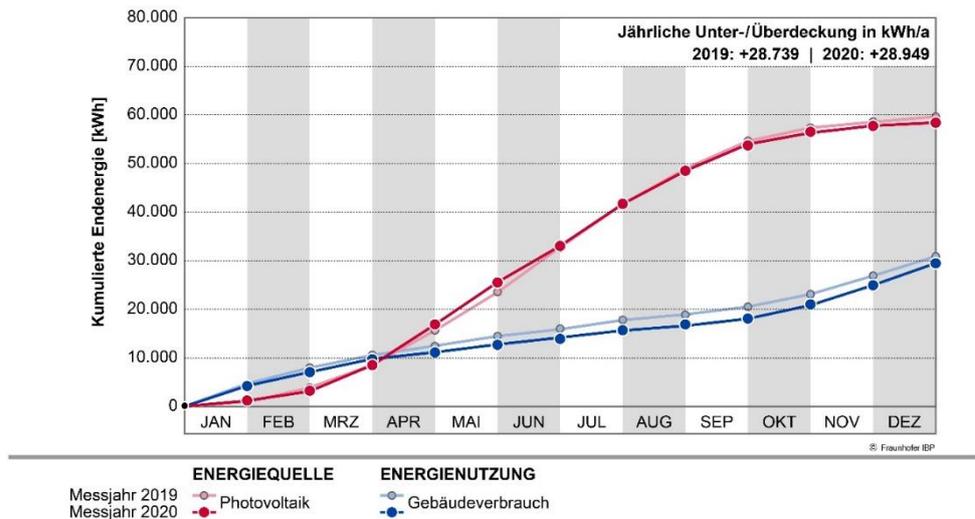


Bild 33:

Visualisierung der kumulierten Endenergie für das erste und zweite Messjahr eines Projekts (hier am Beispiel der Grundschule Giebelstadt).

Das Diagramm zur kumulierten Endenergie (siehe Bild 33) stellt den erzeugten Strom der Photovoltaikanlage (rote Linie) dem Endenergieverbrauch des Gebäudes (blaue Linie) gegenüber. Das zweite Messjahr wird dabei in kräftiger Farbe dargestellt, während das erste Messjahr in einer leicht transparenten Farbe abgebildet ist. Mithilfe dieses Diagramms soll der Betrachter schnell erkennen können, ob das Effizienzhaus Plus-Gebäude im Betrieb einen Endenergieüberschuss erzielt hat oder nicht. Die jährliche Endenergieüber- bzw. -unterdeckung wird als Zahl im Diagramm oben rechts dargestellt.

## GESAMTENERGIEBILANZ

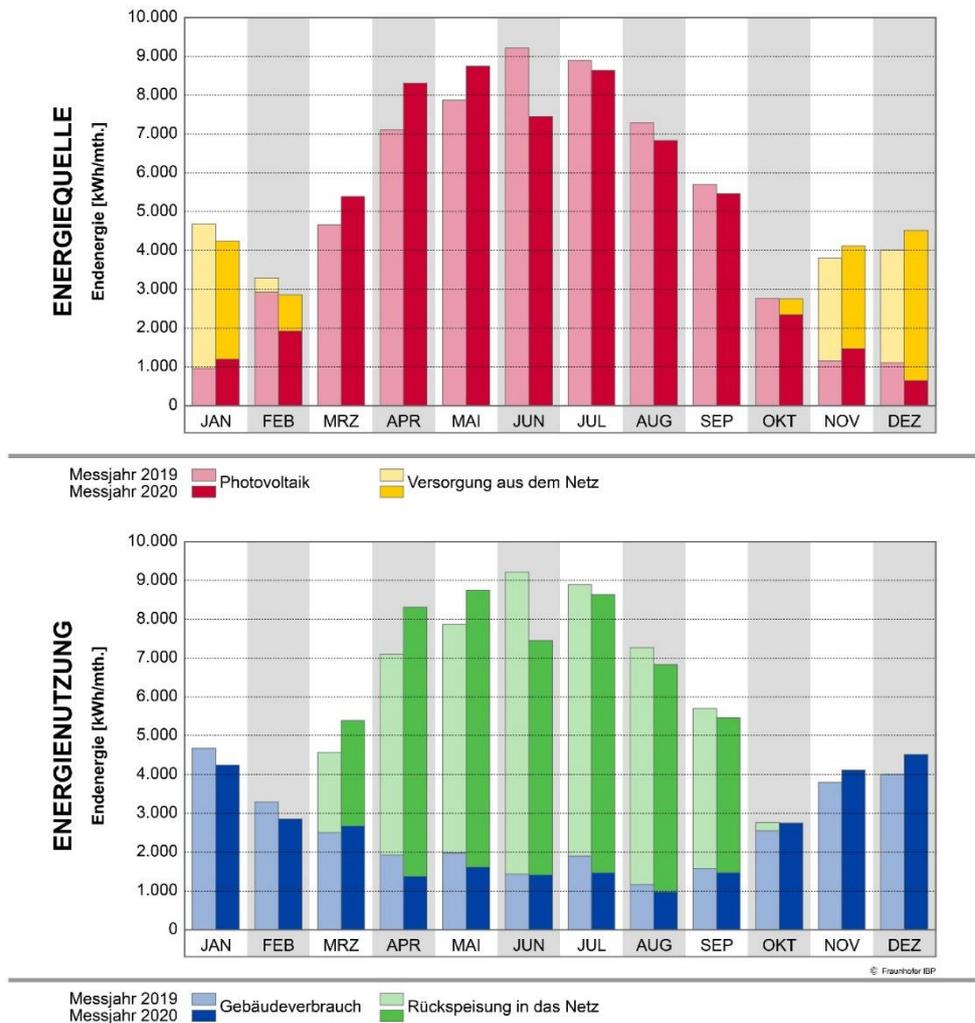


Bild 34:  
Veranschaulichung der Gesamtenergiebilanz mit einem Diagramm zur Energiequelle und Energie-  
nutzung der Modellvorhaben (hier am Beispiel der Grundschule Giebelstadt).

Die Gesamtenergiebilanz eines Projekts wird in Bild 34 mit zwei Säulendiagrammen dargestellt. Das obere veranschaulicht die Endenergiemengen, die monatlich aus unterschiedlichen Quellen eingesetzt wurden. Im abgebildeten Beispiel wurde Strom von den gebäudeeigenen Photovoltaikanlagen erzeugt bzw. aus dem Netz bezogen. Das untere Diagramm zeigt, wie die Energie aus diesen Quellen genutzt wurde, d. h. wieviel Energie vom Gebäude verbraucht und wieviel Photovoltaik-Strom in das Netz eingespeist wurde.

## PHOTOVOLTAIK

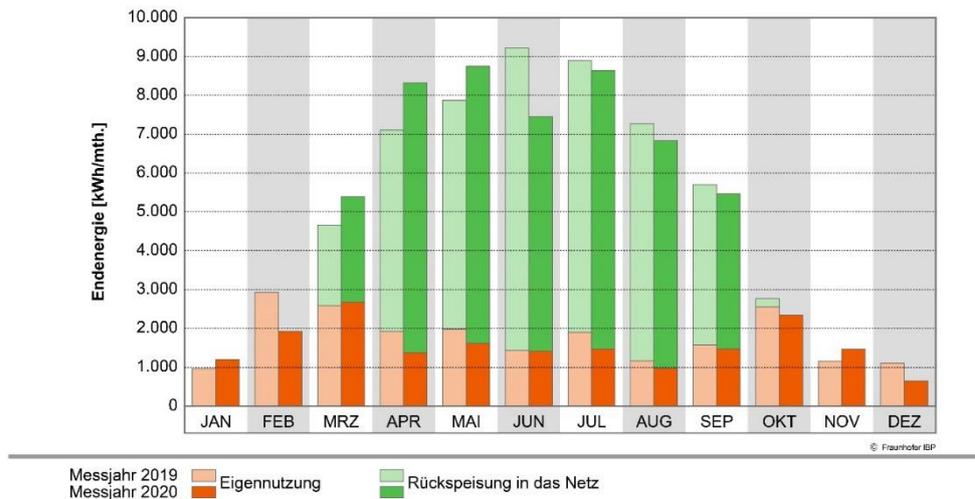


Bild 35: Visualisierung der gemessenen Daten der Photovoltaikanlage (hier am Beispiel der Grundschule Giebelstadt).

Der erzeugte Strom der Photovoltaikanlage spielt bei Effizienzhaus Plus-Gebäuden eine besondere Rolle. Deshalb wird die erzeugte Strommenge der Projekte visualisiert und auf der Internetseite der Initiative veröffentlicht. Anhand des Diagramms in Bild 35 ist erkennbar, welcher Anteil der erzeugten Strommenge im Effizienzhaus Plus-Gebäude eigengenutzt wurde und welcher Anteil in das Netz eingespeist wurde.

## MONATLICHER ENDENERGIEVERBRAUCH

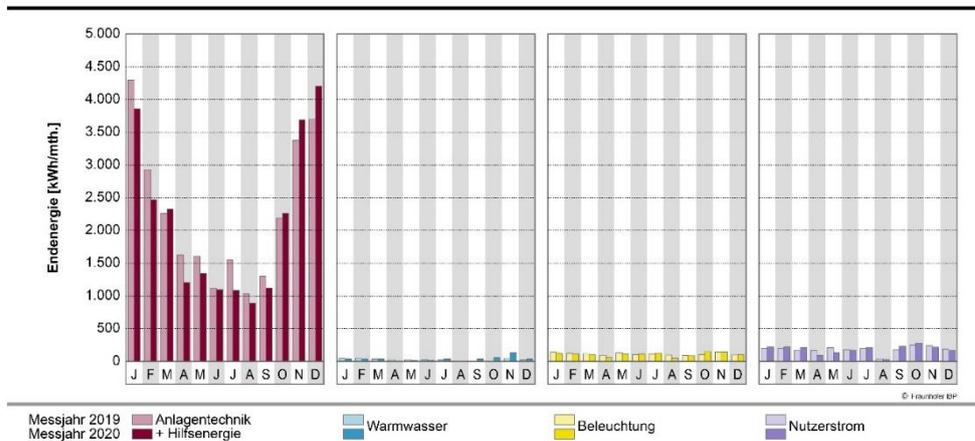


Bild 36: Gemessener monatlicher Endenergieverbrauch eines Modellvorhabens aufgeteilt in unterschiedliche Verbrauchsbereiche (hier am Beispiel der Grundschule Giebelstadt).

Anhand des letzten Diagramms (siehe Bild 36) wird der Endenergieverbrauch des Projekts detailliert dargestellt. Der monatliche Verbrauch wird dabei in vier Bereiche aufgeteilt: die Verbrauchsanteile für die (Heiz-)Anlagentechnik und

Hilfsenergie, für die Warmwasserbereitung, für die Beleuchtung und den Nutzerstrom. Da für alle vier Bereiche dieselbe Skala verwendet wird, ist ein visueller Vergleich der Verbrauchsanteile möglich.

## 8.2 Kurzleitfaden Minimalmessung zur Betriebsüberwachung von hocheffizienten Einfamilienhäusern

Im Rahmen der Förderinitiative wurden über 25 Ein- bzw. Zweifamilienhäuser im Effizienzhaus Plus-Standard errichtet und über zwei Jahre messtechnisch begleitet. Die projektübergreifende Auswertung der Modellprojekte im Bereich der Wohngebäude wurde in der letzten Phase der technischen Begleitforschung abgeschlossen [10]. Um Nutzer von hocheffizienten Wohngebäuden bei der Betriebsüberwachung ihrer Gebäude zu unterstützen, wurde in der vierten Projektphase ein Kurzleitfaden zum Thema Minimalmessung [11] erstellt. Mithilfe von möglichst einfachen Messungen bzw. bestehenden Messmöglichkeiten und Zählern soll dem Nutzer die Überprüfung des Energieverbrauchs und der Energieeffizienz der Anlagentechnik nähergebracht werden. Die Vorgehensweise ist dabei in drei Schritte gegliedert:

- Prüfung der Verbrauchswerte,
- Vergleich mit Richtwerten und
- ggf. Durchführung einer Korrektur bzw. Optimierung.

In manchen Fällen sollte eine Überprüfung bzw. Korrektur nur durch Fachpersonal durchgeführt werden; dies ist entsprechend im Leitfaden gekennzeichnet. Der Leitfaden fokussiert auf Technologien, die in den Effizienzhaus Plus-Wohngebäuden zum Großteil eingebaut sind. Das sind Wärmepumpen, Solarthermie-Anlagen und Photovoltaikanlagen. Der Bericht wird auf der Internetseite der Initiative zum Download bereitgestellt.

## 8.3 Ergebnisveröffentlichung auf dem EU Portal »BUILD UP«

Nach Fertigstellung der Broschüre »5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard« wurde diese zusätzlich zum Zukunft Bau Webportal auch über das europäische Internetportal für Energieeffizienz in Gebäuden »BUILD UP« bekannt gemacht.

Forschungsergebnisse zu den drei Bildungsbauten in Giebelstadt, Hockenheim und Feuchtwangen wurden ebenfalls auf das Internetportal »BUILD UP« hochgeladen. Die drei Projekte haben die zweijährige Monitoringphase abgeschlossen. Damit liegen bereits umfangreiche Ergebnisse zu den Gebäuden vor. Informationen zur Architektur, zu den Bauteilen, zur Gebäudetechnik, zum Energiekonzept und Monitoring wurden in einem kurzen Artikel in englischer Sprache zusammengefasst und mit Bildern ergänzt. Zusätzlich zu den jeweiligen Projektbeschreibungen wurde das Effizienzhaus Plus-Förderprogramm beschrieben. Mit den Veröffentlichungen auf BUILD UP sollen die Forschungsergebnisse der

Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten über die nationalen Grenzen hinaus geteilt werden. Die Artikel können unter folgenden Links abgerufen werden:

Broschüre »5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard«:  
<https://www.buildup.eu/en/node/62266>

Broschüre »5 Years of Educational Buildings conformant with the Efficiency House Plus Standard«:  
<https://www.buildup.eu/en/practices/publications/5-years-educational-buildings-conformant-efficiency-house-plus-standard>

Erweiterungsbau der Grundschule Giebelstadt:  
<https://www.buildup.eu/en/practices/cases/efficiency-house-plus-conformant-extension-primary-school>

Forschungshalle der Hochschule Ansbach in Feuchtwangen:  
<https://www.buildup.eu/en/practices/cases/efficiency-house-plus-research-hall>

Louise-Otto-Peters-Schule in Hockenheim:  
<https://www.buildup.eu/en/practices/cases/efficiency-house-plus-school-building>

## Zusammenfassung des Kapitels

- Die Steckbriefe und soweit verfügbar auch die monatlichen Messdaten der Effizienzhaus Plus-Bildungsbauten wurden regelmäßig aktualisiert und auf der Projektseite der Initiative veröffentlicht.
- Ein Leitfaden zum Thema Minimalmessung wurde erstellt, um Nutzer von hocheffizienten Einfamilienhäusern bei der Betriebsüberwachung zu unterstützen.
- Die Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäude-Broschüre wurde auf Deutsch und Englisch auf dem EU-Portal »BUILD UP« disseminiert. Zu drei spezifischen Effizienzhaus Plus-Bildungsgebäuden (Hockenheim, Feuchtwangen und Giebelstadt) wurden Artikel in englischer Sprache auf dem Portal veröffentlicht.

Im Projektzeitraum gab es keine neuen Antragsteller, da kein aktueller Förderaufruf veröffentlicht wurde. Daher gab es abweichend zur Ausschreibung keinen Beratungsbedarf zu neuen Demonstrationsvorhaben. Stattdessen wurden diverse Themen zur Unterstützung des BMWSB/BBSR aufgegriffen und bearbeitet. Dies waren im Einzelnen:

- Recherche für die Übernahme der Effizienzhaus Plus-Definition in die ISO-Normung.
- Recherche für die Übernahme der Effizienzhaus Plus-Definition in die DIN TS 18599.
- Analyse des Entwurfs der EU-Gebäudeenergieeffizienzrichtlinie (EPBD Recast) hinsichtlich Berührungspunkte mit zukünftigen Zero-Emission-Buildings.
- Zuarbeit zur Präsentation der Bundesregierung zum Tag der Deutschen Einheit in Potsdam 2020.
- Zuarbeit zur Präsentation der Bundesregierung zur Woche der Umwelt beim Bundespräsidenten.
- Beratung des Bauministeriums zu einem möglichen Förderprogramm »Effizienzhaus Plus im kostengünstigen Geschosswohnungsbau« (später »Effizienzhaus Plus im Quartier«) im Rahmen der energetischen Stadtsanierung.
- Zuarbeit zum BBSR-Fragebogen für die Projektnehmer.
- Beratung des BMWSB zu einem möglichen Energieausweis für das Pilotprojekt Effizienzhaus Plus in der Fasanenstraße in Berlin.
- Sichtung eines Briefentwurfs zum New European Bauhaus an die EU-Kommissionsvorsitzende hinsichtlich der Einbindung der Effizienzhaus Plus-Initiative.
- Review der überarbeiteten BEG-Förderung hinsichtlich der Relevanz auf mögliche Erweiterungen im Rahmen der Effizienzhaus Plus-Initiative.
- Beratung des BMWSB zur dena-Studie Effizienzhaus Plus im Quartier.
- Hinweise zu möglichen Maßnahmen im Sofortprogramm Klimaschutz des Bundes.
- Review des Konzepts des Themenwettbewerbs »10 Jahre Effizienzhaus Plus«.
- Zuarbeit zur Wanderausstellung des BMWSB/BBSR zur Initiative Effizienzhaus Plus.
- Beratung des BMWSB bei externen Anfragen zum Themenschwerpunkt Effizienzhaus Plus (Klimaneutralitätserreichung und Wärmepumpeneffizienz).
- Aktualisierung des Effizienzhaus Plus-Rechners unter Berücksichtigung des Gebäudeenergiegesetzes 2020 (GEG).
- Eruierung der Konditionen für eine Teilnahme mit der Wanderausstellung an der Nachhaltigkeitskonferenz Urban Future 2023 in Stuttgart.
- Unterstützung Dritter bei der Festlegung von erhöhten energetischen Anforderungen von privaten, kommunalen und landeseigenen Liegenschaften im Effizienzhaus Plus-Niveau:

- Landesregierung Baden-Württemberg: Beratung zur Einbringung des Effizienzhaus Plus-Niveaus als künftige Anforderung an Neubauten der Liegenschaften des Landes Baden-Württemberg.
- Bürgerschaft des Landes Bremen: Beratung zur Verankerung der Empfehlung des Plusenergieniveaus als künftige Anforderung an Neubauten des Landes Bremen im Enquetebericht zum Klimaschutz für das Land Bremen.
- Landeshauptstadt Stuttgart: Review des Förderprogramms zu privaten Plusenergiegebäuden in der Landeshauptstadt Stuttgart, Input zur Festlegung erhöhter energetischer Anforderungen für stadteigene Neubauvorhaben (Effizienzhaus Plus-Standard) und Teilnahme an den Fachbeiratssitzungen der Landeshauptstadt Stuttgart als Impulsgeber. Derzeit befinden sich 27 städtische Effizienzhäuser Plus in der Planung.
- Stadt Würzburg: Feedback zur Entwicklung von Vorgaben an Plusenergiegebäude der Stadt Würzburg.

### **Zusammenfassung des Kapitels**

- Das BMWSB und das BBSR wurden zu insgesamt 18 unterschiedlichen Themenbereichen durch das wissenschaftliche Begleitforschungsteam beraten und unterstützt.

## 1 0 Gegenüberstellung der ursprünglich geplanten zu den tatsächlich erreichten Zielen und weiterführende Fragestellungen

Die beauftragten Leistungen gliederten sich in insgesamt sechs Arbeitsschwerpunkte, deren Arbeiten und Ergebnisse im vorliegenden Bericht in den Kapiteln 4 bis 9 beschrieben sind. In diesem Kapitel werden die geplanten Aufgaben und damit Ziele in einer Tabelle zusammen- und den erzielten Ergebnissen gegenübergestellt. Anschließend werden weiterführende Fragestellungen andiskutiert.

Tabelle 4:  
Zusammenstellung von geplanten Arbeiten und tatsächlich erreichten Ergebnissen zum Ende der Projektlaufzeit.

Geplanter Arbeitsschwerpunkt und Inhalte	Erzielte Ergebnisse	Abweichungen bzw. Anmerkungen
<p>1. <i>Planung, Durchführung und Moderation von halbjährlichen Workshops mit den geförderten Projekten:</i></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 2 öffentliche Netzwerktreffen mit bis zu 300 Teilnehmern, ggf. auch digital</li>   <li>- 3 interne Netzwerktreffen, ggf. auch digital</li> </ul>	<p>In Zusammenarbeit mit dem BBSR und BMWBSB wurden folgende Netzwerktreffen organisiert, durchgeführt und moderiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 17. Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus am 14. Januar 2021 auf der BAU Online: »Bauen für das Klima und den Klimawandel«. Teilnehmerzahl &gt; 500</li> <li>- 20. Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus am 7. Dezember 2021, im Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität in Berlin und digital: »Effizienzhaus Plus – Mehr Potenzial für den Klimaschutz«. Teilnehmerzahl: 28 in Präsenz / &gt; 400 online</li> <li>- 18. Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus am 10. Juni 2021, digital: »Erfahrungsberichte der BauherrInnen und NutzerInnen zu den sieben geförderten Bildungsbauten.« Teilnehmerzahl: 40</li> <li>- 19. Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus am 30. September 2021, digital: »Erfahrungsaustausch der Monitoringteams.« Teilnehmerzahl: 15</li> <li>- 22. Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus am 17. Oktober 2022, digital: »Erfahrungsaustausch der Monitoringteams« (Vertiefung). Teilnehmerzahl: 13</li> </ul>	<p>Die Netzwerktreffen wurden wie geplant durchgeführt und stießen auf gute Resonanz. Insgesamt wurde über 11 Jahre ein Netzwerk mit halbjährlichen Veranstaltungen aufgebaut und gepflegt.</p> <p>Zusätzlich erfolgte eine Teilnahme und ein Beitrag auf dem 23. Netzwerktreffen, organisiert von der sozialwissenschaftlichen Begleitforschung.</p> <p>Die öffentlichen und internen Netzwerktreffen werden auf dem Zukunft Bau-Portal unter <a href="https://www.zukunft-bau.de/programme/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/workshops">https://www.zukunft-bau.de/programme/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/workshops</a> dokumentiert.</p>

Tabelle 4 (Fortsetzung):  
Zusammenstellung von geplanten Arbeiten und tatsächlich erreichten Ergebnissen zum Ende der Projektlaufzeit.

Geplanter Arbeitsschwerpunkt und Inhalte	Erzielte Ergebnisse	Abweichungen bzw. Anmerkungen
<p><i>2. Unterstützung für ein Programmsymposium:</i> Für das vom BMWSB/BBSR (ursprünglich) in 2021 oder 2022 geplante Programmsymposium sollte die Begleitforschung bei der fachlichen Organisation (Referentenvorschläge und -ansprache, Ideen für Sessionformate) und bei der Durchführung unterstützen.</p>	<p>Stattdessen: In Zusammenarbeit mit dem BBSR und BMWSB wurde ein weiteres öffentliches Netzwerktreffen geplant, organisiert und durchgeführt: 21. Netzwerktreffen Effizienzhaus Plus am 5. Mai 2022 auf den Berliner Energietagen 2022: »Effizienzhaus Plus – Zukunft zeigen«. Teilnehmerzahl: 77 in Präsenz / 509 online</p>	<p>Das geplante Programmsymposium fand nicht statt. Die Aufgaben, die die Begleitforschung für die Planung, Organisation und Durchführung des zusätzlichen öffentlichen Netzwerktreffes übernommen hat, entsprechen den geplanten für das Programmsymposium (z. B. Referentenvorschläge und -ansprache, Ideen für Sessionformate).</p>
<p><i>3. Zusammenfassende projektübergreifende Auswertung:</i> Analyse der Bildungsbauten mit folgenden Schwerpunkten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nettonraumflächen</li> <li>- Hüllflächenqualitäten</li> <li>- Photovoltaikkennwerte</li> <li>- Wärmeerzeuger</li> <li>- Lüftungskonzepte</li> <li>- berechnete und gemessene Energiebilanzen</li> </ul>	<p>In der Broschüre »5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard« [5] und im vorliegenden Bericht wurden die sieben Bildungsbauten bzgl. folgender Schwerpunkte vergleichend analysiert:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nettonraumfläche (NGF)</li> <li>- Hüllflächenqualitäten im Vergleich zu den Höchstwerten nach GEG</li> <li>- Photovoltaikkennwerte (Fläche, Verhältnis Photovoltaik-Leistung zu beheizter NGF, jährlicher berechneter und gemessener Energieertrag, Aufteilung in Eigennutzung und Einspeisung)</li> <li>- eingesetzte Erzeuger (Wärmepumpen und zusätzliche Erzeuger), Wärmequellen der Wärmepumpen, installierte thermische Nennleistung, gemessene Jahresarbeitszahlen der Wärmepumpen</li> <li>- Lüftungskonzepte der Lehrräume (dezentral, zentral, Rückwärmzahl)</li> <li>- berechnete Endenergie (Bedarf und Ertrag), Vergleich zwischen berechneter und gemessener Endenergiebilanz (Gebäudebetrieb, Nutzerstrom und Photovoltaik-Ertrag), kumulierte Endenergie mit jährlicher Unter-/Überdeckung</li> <li>- berechnete Primärenergie (Bedarf und Gutschrift), Vergleich zwischen berechneter und gemessener Primärenergiebilanz (Strom, ggf. Fernwärme, ggf. Erdgas und Photovoltaik-Ertrag)</li> </ul>	<p>Die Broschüre wurde im November 2020 veröffentlicht und enthält deshalb zu den meisten Pilotvorhaben Kennwerte aus dem Planungsstand. Im vorliegenden Bericht wurden die Daten teilweise aktualisiert und mit den verfügbaren Messdaten zum Ende 2022 ergänzt. Allerdings liegen derzeit noch nicht für alle 7 Vorhaben Messdaten über 2 Jahre vor.</p> <p>Zusätzlich zu den geplanten Schwerpunkten wurden, soweit verfügbar, folgende Daten ermittelt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Treibhausgasemissionen (CO<sub>2,Aq</sub>-Emissionen), Vergleich zwischen berechneter und gemessener Treibhausgasminderung</li> <li>- Kosten: Bruttokosten der Kostengruppen 300 und 400</li> </ul>

Tabelle 4 (Fortsetzung):  
Zusammenstellung von geplanten Arbeiten und tatsächlich erreichten Ergebnissen zum Ende der Projektlaufzeit.

Geplanter Arbeitsschwerpunkt und Inhalte	Erzielte Ergebnisse	Abweichungen bzw. Anmerkungen
<p>3. Zusammenfassende projektübergreifende Auswertung (Fortsetzung):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzerverhalten</li> <li>- Raumkonditionen</li> <li>- Erfahrungsberichte/Lessons Learned</li> </ul> <p>1 Veröffentlichung in einem Fachjournal</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nutzerstrom (berechnet und gemessen inkl. Vergleich)</li> <li>- Auswertung der Raumlufthtemperaturen in zwei Beispierräumen bezgl. des Komfortbands der DIN EN 16798 (Anteil der Nutzungszeit »zu kalt«, »im Komfortbereich« und »zu warm«); Auswertung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen in zwei Beispierräumen (Anteil der Nutzungszeit, in der die CO<sub>2</sub>-Konzentration 1.000 ppm bzw. 1.500 ppm überschreitet)</li> <li>- Erfahrungsberichte der Eigentümer und Nutzer (siehe 18. Netzwerktreffen), Lessons Learned siehe Broschüre und vorliegender Bericht.</li> </ul> <p>2 Veröffentlichungen im Bundesbaublatt 7-8/2022:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Preuss, J.: Jubiläum im IKzB in Berlin: 10 Jahre Effizienzhaus Plus</li> <li>- Erhorn-Kluttig, H.; Preuss, J.; Erhorn, H.: Effizienzhaus Plus in Schulen: Halbzeit bei den Messungen [6]</li> </ul>	<p>-</p>
<p>4. Zuarbeit zu einem Internetportal »Effizienzhaus Plus« des BMWSB/BBSR:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktualisierung der Steckbriefe der Bildungsbauten</li> <li>- monatlich aktualisierte Grafiken der Monitoringdaten und der Energiebilanz</li> </ul>	<p>Das Internetportal <a href="http://www.zukunftsbau.de/effizienzhaus-plus">www.zukunftsbau.de/effizienzhaus-plus</a> wurde über die Projektlaufzeit kontinuierlich mit Inhalten durch die technische Begleitforschung versorgt. Dazu gehörten:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aktualisierung der Steckbriefe der sieben Pilotvorhaben aus dem Bildungsbau auf Basis der realen Umsetzung</li> <li>- Monatlich aktualisierte Messdaten (kumulierte Endenergie, Gesamtenergiebilanz, Photovoltaik(daten), monatlicher Endenergieverbrauch, s. Kapitel 8.1)</li> </ul>	

Tabelle 4 (Fortsetzung):  
Zusammenstellung von geplanten Arbeiten und tatsächlich erreichten Ergebnissen zum Ende der Projektlaufzeit.

Geplanter Arbeitsschwerpunkt und Inhalte	Erzielte Ergebnisse	Abweichungen bzw. Anmerkungen
<p>4. Zuarbeit zu einem Internetportal »Effizienzhaus Plus« des BMWSB/BBSR (Fortsetzung):</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperaturhäufigkeiten in Klassenzimmern</li> <li>- Zusammenfassungen der öffentlichen Netzwerktreffen</li> <li>- weitere Links zu Informationen zu den Einzelprojekten</li> <li>- fachlicher Input zum Newsletter Effizienzhaus Plus</li> <li>- Kurzleitfaden Minimalmessung zur Betriebsüberwachung von hocheffizienten Einfamilienhäusern</li> <li>- Transfer von Effizienzhaus Plus-Informationen auf das EU-Portal BUILD UP</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Die Auswertung der Temperaturhäufigkeiten in den Klassenzimmern wurde in den vorliegenden Abschlussbericht verschoben, da das BBSR eine vergleichbare Darstellung der Projekte zu den Wohngebäudepiloten bevorzugt hat und das Portal in den Darstellungsebenen begrenzt ist.</li> <li>- Die öffentlichen Netzwerktreffen wurden textlich zusammengefasst und mit Bildern unterlegt.</li> <li>- Als weitere Links zur Informationen zu den Einzelprojekten sind die Webseiten von beteiligten Planern und Messteams hinterlegt.</li> <li>- Im Projektzeitraum wurden vom BBSR 5 Newsletter erstellt. Dabei lieferte das Fraunhofer IBP insgesamt 3 Newsletterbestandteile (Plusenergieförderprogramm Stuttgart, Empfehlung Enquetekommission Bremen, Zertifizierung Effizienzhaus Plus) und hat alle Newsletter reviewt.</li> <li>- Der Kurzleitfaden wurde vom Fraunhofer IBP erarbeitet (siehe Kapitel 8.2) und wird demnächst auf dem Internetportal Zukunft Bau verfügbar sein.</li> <li>- Die technische Begleitforschung trug insgesamt 5 Effizienzhaus Plus-Inhalte zur BUILD UP-Plattform bei: 3 Cases (Grundschule Giebelstadt, Forschungshalle Hochschule Ansbach, Louise-Otto-Peters-Schule Hockenheim) und 2 Publications (Broschüre Bildungsbauten auf Deutsch und Englisch)</li> </ul>	<p>Zusätzlich zu den öffentlichen Netzwerktreffen wurden auch die internen Netzwerktreffen auf dem Internetportal zusammengefasst.</p>

Tabelle 4 (Fortsetzung):  
Zusammenstellung von geplanten Arbeiten und tatsächlich erreichten Ergebnissen zum Ende der Projektlaufzeit.

Geplanter Arbeitsschwerpunkt und Inhalte	Erzielte Ergebnisse	Abweichungen bzw. Anmerkungen
<p>5. Veröffentlichungen von (Zwischen-)Ergebnissen in 2021: Broschüre über die Ergebnisse der Bildungsbauten mit folgenden Kapiteln:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Darstellung der Pilotvorhaben</li> <li>- Ergebnisse der Querauswertung</li> <li>- Lessons Learned und Stellungnahmen von beteiligten Akteuren</li> <li>- erste Monitoringergebnisse</li> </ul> <p>Die Broschüre soll mit Unterstützung eines externen Designers erstellt werden.</p>	<p>Die Broschüre »5 Jahre Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus-Standard« wurde im Jahr 2020 erarbeitet (Struktur, Texte, Diagramme/Grafiken, Fotos inkl. Rechteeinholung) und rechtzeitig zur Leitmesse Bau 2021 im November 2020 fertiggestellt. Die geplanten Kapitel (s. links) sind Bestandteil der Broschüre. Die Broschüre wurde vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP entworfen und von einem externen Designer endüberarbeitet (Grafiken und Schriftart). Es liegt sowohl eine barrierefreie elektronische als auch eine gedruckte Version vor.</p>	<p>Zusätzlich zur beauftragten deutschen Version wurde in Abstimmung mit dem BBSR/BMWSB eine englische Version (barrierefrei elektronisch und gedruckt) erarbeitet.</p>
<p>6. Beratung potenzieller Antragsteller, Beratung des BBSR/BMWSB:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Beratung Antragsteller</li> <li>- Leitfaden für die Bereitstellung von Daten durch Projektteams</li> <li>- Update des Effizienzhaus Plus-Rechners</li> <li>- Beratung des BBSR/BMWSB</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- In der hier dokumentierten 4. Projektphase gab es keinen neuen Förderaufruf und dadurch keine neuen Antragsteller.</li> <li>- Die Austauschformate für die geänderten Umsetzungsinformationen gegenüber der Planung und die Messdaten wurden bilateral zwischen der Begleitforschung und den Projektteams abgestimmt.</li> <li>- Der Effizienzhaus Plus-Rechner wurde an das neue Zertifikat Effizienzhaus Plus, an das GEG und bezüglich der Photovoltaikberechnung (DIN V 18599:2018, zertifizierte Produktkennwerte und monatliche Photovoltaik-Simulationen) angepasst.</li> <li>- Die Beratung des BBSR und des BMWSB umfasste insgesamt 18 unterschiedliche Themenbereiche (s. Kapitel 9).</li> </ul>	<p>Da es in der 4. Projektphase keinen neuen Förderaufruf und dadurch keine neuen Antragsteller gab, wurde die Beratung verstärkt für das BBSR/BMWSB durchgeführt (s. Kapitel 9).</p>

Generell hat die technische Begleitforschung das Bauministerium und das BBSR über vier Projektphasen darin unterstützt, den Effizienzhaus Plus-Standard bekannt zu machen und im Markt zu etablieren. Dadurch entstand bereits im Jahr 2016 das an das Effizienzhaus Plus angelehnte KfW-Förderprogramm »KfW Effizienzhaus 40 Plus«. In der Phase 4 der Begleitforschung ist es gelungen, den

originalen Effizienzhaus Plus-Standard, also den Nachweis eines endenergetischen und primärenergetischen Überschusses in der Jahresbilanz, als Anforderungen an öffentliche Neubauten der Bundesländer Baden-Württemberg und Bremen sowie der Landeshauptstadt Stuttgart zu verankern. In Stuttgart wurde zusätzlich auch ein auf dem Effizienzhaus Plus-Standard basierendes Förderprogramm für private Neubauten gestartet.

Die Fertighausindustrie wertete bereits 2019 aus, dass das Effizienzhaus Plus im Fertigbau nahezu einer Marktdurchdringung von 20 % hat [13]. In einer Pressemitteilung [14] vom September 2022 erklärte der Geschäftsführer des Bundesverbands Deutscher Fertigbau (BDF) Georg Lange: »Energieeffizientes Bauen und Wohnen sind nicht erst seit diesem Jahr wichtige Vorgaben und Ziele... Inzwischen [ist] so ziemlich jeder Bauherr am Plusenergiekonzept interessiert und auch bereit, die etwas höheren Anschaffungskosten in Kauf zu nehmen, um sich aus der Preisspirale bei den Energiekosten zu lösen... Das ist eine richtige und weitsichtige Entscheidung für den Bauherren und auch für einen klimafreundlichen Gebäudebestand. Deshalb sollte diese Entscheidung auch von der Politik geschätzt und gefördert werden.«

Auch international wurde die Effizienzhaus Plus-Initiative als beispielhafter Gebäudestandard gewürdigt, so durch die Grußworte der EU-Kommissionschefin Ursula von der Leyen und des Leiters der EU-Länderplattform Concerted Action EPBD Jens Laustsen zur 10-Jahresfeier des Effizienzhauses Plus. Zusätzlich lud EU Concerted Action die technische Begleitforschung im Dezember 2021 ein, die Anforderungen des, aber auch die gemachten Erfahrungen mit dem Effizienzhaus Plus-Standard in einer spezifischen Session den Vertretern der EU-Mitgliedsländer vorzustellen. Das europäische Interesse ist auch deshalb hoch, weil der neue EU Zero Emission Standard in der Recast Directive on the Energy Performance of Buildings (EPBD) [15], der derzeit zwischen Kommission, Rat und Parlament verhandelt wird, Anforderungen enthält, die durch das Effizienzhaus Plus erfüllt werden können.

Die technische Begleitforschung für die Effizienzhaus Plus-Initiative sieht für die Zukunft folgende weiterführende Fragestellungen im Bereich von Effizienzhäusern Plus bzw. allgemein von Plusenergiehäusern:

- Für welchen Anteil der künftigen Neubauten führt die Umsetzung der Koalitionsvereinbarung [16] (Gebäudehülle im EG 40-Niveau, mindestens 65 % erneuerbare Energie beim Einbau von neuen Heizungen und Solardachpflicht auf allen geeigneten Dachflächen) bereits zum Effizienzhaus Plus-Niveau?
- Wie können die Mehrkosten gegenüber den gesetzlichen Anforderungen weiter reduziert werden? Dabei ist zu beachten, dass die gesetzlichen Anforderungen für Neubauten gemäß dem geplanten GEG 2023/2024 [17] deutlich näher an die umgesetzten Projekte des Effizienzhaus Plus-Standards rücken werden.

- Auf welche weiteren Gebäudetypen außer Wohnungs- und Bildungsbauten lässt sich das Effizienzhaus Plus-Konzept in der Breite anwenden?
- Unter welchen Rahmenbedingungen können Effizienzhäuser Plus wirkungsvoll in ein Quartierskonzept eingebracht werden?

## 1 1 Literaturverzeichnis

- [1] Krück, X.; Bradke, H.: Die Initiative Partner für Innovation – Impulskreis Energie. Präsentation auf dem 1. Symposium »Energieeffiziente Schule«, Stuttgart, September 2005. Elektronisch verfügbar unter [https://eneff-schule.de/images/stories/files/veranstaltung/2005-09-13\\_symposium/02Krueck\\_Bradke\\_PFI\\_Zwischenbilanz\\_PK.pdf](https://eneff-schule.de/images/stories/files/veranstaltung/2005-09-13_symposium/02Krueck_Bradke_PFI_Zwischenbilanz_PK.pdf). Letzter Zugriff 9. Dezember 2022.
- [2] Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) und Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) (Herausgeber): Wege zum Effizienzhaus Plus. Grundlagen und Beispiele für energieerzeugende Gebäude. 6. aktualisierte Auflage, Berlin (November 2018), Online-Artikelnummer »BMI 18003«. Elektronisch verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/ministerien/bmi/verschiedene-themen/2018/effizienzhaus-plus.html>. Letzter Zugriff 9. Dezember 2022.
- [3] Deutscher Bundestag: Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 8. August 2020. Bundesgesetzblatt I, Seite 1.728 ff. Elektronisch verfügbar unter <https://www.gesetze-im-internet.de/geg/GEG.pdf>. Letzter Zugriff 9. Dezember 2022.
- [4] Beuth Verlag GmbH: DIN V 18599:2018-09 Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- [5] Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) und Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI) (Herausgeber): 5 Jahre Bildungsgebäude im Effizienzhaus Plus-Standard. 1. Auflage, Berlin (November 2020), ISBN 978-3-87994-272-5. Elektronisch verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/veroeffentlichungen/sonderveroeffentlichungen/2020/bildungsgebaeude-ehp.html>. Letzter Zugriff 9. Dezember 2022.
- [6] Erhorn-Kluttig, H.; Preuss, J.; Erhorn, H.: Effizienzhaus Plus in Schulen: Halbzeit bei den Messungen. Bundesbaublatt 7-8/2022, Seite 48–49. Elektronisch verfügbar unter [https://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb\\_Effizienzhaus\\_Plus\\_in\\_Schulen\\_Halbzeit\\_bei\\_den\\_Messungen\\_3812934.html](https://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_Effizienzhaus_Plus_in_Schulen_Halbzeit_bei_den_Messungen_3812934.html). Letzter Zugriff: 7. Dezember 2022.
- [7] Bundesverband Wärmepumpe (BWP) e.V.: Ratgeber Modernisieren mit Wärmepumpe. August 2022. Elektronisch verfügbar unter [https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user\\_upload/BWP\\_KUNDENRATGEBER\\_2022\\_WEB.pdf](https://www.waermepumpe.de/fileadmin/user_upload/BWP_KUNDENRATGEBER_2022_WEB.pdf). Letzter Zugriff 9. Dezember 2022.
- [8] Kaiser, J.; Felsmann, C.: Erweiterung der Grundschule Giebelstadt – Energie-Monitoring – Schlussbericht Förderkennzeichen 10.08.18.7-17.17. Projektinterner Bericht, TU Dresden, März 2021.
- [9] Beuth Verlag GmbH: DIN EN 16798-1:2021-04 Energetische Bewertung von Gebäuden – Lüftung von Gebäuden – Teil 1: Eingangsparameter für das Innenraumklima zur Auslegung und Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden bezüglich Rumlufthausqualität, Temperatur, Licht und Akustik.
- [10] Erhorn, H.; Bergmann, A.; Erhorn-Kluttig, H.: Effizienzhaus Plus – Begleitforschung und Querauswertung von Modellvorhaben (Phase 3) – Abschlussbericht Teil 1: Wohngebäude.

2020. Elektronisch verfügbar unter <https://www.bbsr.bund.de/BBSR/DE/forschung/programme/zb/Auftragsforschung/5EnergieKlimaBauen/2015/ehp-begleitforschung/bericht-teil-1.html>. Letzter Zugriff 9. Dezember 2022.
- [11] Erhorn, H.; Schade, A.; Eberl, M.; Sinnesbichler, H.; Preuss, J.; Erhorn-Kluttig, H.: Leitfaden Minimalmessung für Einfamilienhäuser mit hohem Effizienzstandard. Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP (9. Dezember 2022).
- [12] Preuss, J.: Jubiläum im IKZB in Berlin: 10 Jahre Effizienzhaus Plus. Bundesbaublatt 7-8/2022, Seite 50–51. Elektronisch verfügbar unter [https://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb\\_jubilaeum\\_im\\_ikzb\\_in\\_berlin\\_10\\_jahre\\_effizienzhaus\\_plus\\_3812962.html](https://www.bundesbaublatt.de/artikel/bbb_jubilaeum_im_ikzb_in_berlin_10_jahre_effizienzhaus_plus_3812962.html). Letzter Zugriff: 7. Dezember 2022.
- [13] Zukunft Bau: 14. Workshop Netzwerk Effizienzhaus Plus am 16. Januar 2019 in München. Workshopdokumentation auf dem Internetportal Zukunft Bau. Verfügbar unter <https://www.zukunftbau.de/effizienzhaus-plus/modellvorhaben/workshops/14workshop-netzwerk-effizienzhaus-plus-am-16-januar-2019-in-muenchen-1>. Letzter Zugriff: 8. Dezember 2022.
- [14] Bundesverband Deutscher Fertigtbau (BDF): Wer effizient neu baut, stellt sich kosten- und zukunftssicher auf. Pressemitteilung vom 22. September 2022. Verfügbar unter <https://www.fertigtbau.de/presse/1781/wer-effizient-neu-baut--stellt-sich-kosten--und-zukunftssicher-auf.html>. Letzter Zugriff: 8. Dezember 2022.
- [15] European Commission: Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings (recast). Brüssel, 15. Dezember 2021.
- [16] SPD, Grüne, FDP: Mehr Fortschritt wagen. Bündnis für Freiheit, Gerechtigkeit und Nachhaltigkeit. Koalitionsvertrag zwischen SPD, Bündnis 90/Die Grünen und FDP. 24. November 2021. Verfügbar unter <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/974430/1990812/04221173eef9a6720059cc353d759a2b/2021-12-10-koav2021-data.pdf?download=1>. Letzter Zugriff: 8. Dezember 2022.
- [17] Bundesrat: Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energie und weiteren Maßnahmen im Stromsektor. Gesetzesbeschluss des Deutschen Bundestages. Drucksache 315/22 vom 8. Juli 2022. Verfügbar unter [https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2022/0301-0400/315-22.pdf;jsessionid=DDA68BA6DDA317D95C875C20CDD015AE.1\\_cid382?\\_blob=publicationFile&v=1](https://www.bundesrat.de/SharedDocs/drucksachen/2022/0301-0400/315-22.pdf;jsessionid=DDA68BA6DDA317D95C875C20CDD015AE.1_cid382?_blob=publicationFile&v=1). Letzter Zugriff: 8. Dezember 2022.