



Bundesministerium
des Innern, für Bau
und Heimat



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



Wege zum Effizienzhaus Plus

Grundlagen und Beispiele für energierzeugende Gebäude



Impressum

Herausgeber

Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
Referat BW I 3
11014 Berlin
www.bmi.bund.de

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31-37
53179 Bonn
www.bbsr.bund.de

Redaktion

BMI, Referat BW I 3, Gebäude- und Anlagentechnik, technische Angelegenheiten im Bereich Energie und Bauen,
Dipl.-Ing. Architektin Petra Alten

Fachliche Bearbeitung

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Referat II 3, Forschung im Bauwesen
Dr.-Ing. Architekt Arnd Rose, Dipl.-Ing. (FH) Architekt Daniel Wöffen
Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Dipl.-Ing. Hans Erhorn, Dipl.-Ing. Antje Bergmann

Gestaltung

Fink & Fuchs AG, Wiesbaden

Druck

Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

Bildnachweise

Siehe Seite 58.

Stand

November 2018

6. aktualisierte Auflage

Bestellung dieser Publikation

Publikationsversand der Bundesregierung
Postfach 48 10 09, 18132 Rostock
Servicetelefon: 030 18 272 2721
Servicefax: 030 1810 272 2721
E-Mail: publikationen@bundesregierung.de
Bestellung über das Gebärdentelefon: gebaerdentelefon@sip.bundesregierung.de
Online-Bestellung: www.bundesregierung.de/infomaterial
Artikelnummer
BMI 18003

Weitere Publikationen der Bundesregierung zum Herunterladen und zum Bestellen finden Sie ebenfalls unter:
www.bundesregierung.de/infomaterial

Diese Publikation wird von der Bundesregierung im Rahmen ihrer Öffentlichkeitsarbeit herausgegeben. Die Publikation wird kostenlos abgegeben und ist nicht zum Verkauf bestimmt. Sie darf weder von Parteien noch von Wahlwerbern oder Wahlhelfern während eines Wahlkampfes zum Zwecke der Wahlwerbung verwendet werden. Dies gilt für Bundestags-, Landtags- und Kommunalwahlen sowie für Wahlen zum Europäischen Parlament.

Inhalt

Grußwort	4
Einleitung	5
Entwicklung des energiesparenden Bauens	5
Der gesetzliche Rahmen	6
Definition: Effizienzhaus Plus	7
Die Bausteine: Energieeffizienz und erneuerbare Energien	10
Schlüsselparameter	11
Gebäudeentwurf	11
Gebäudehülle	12
Details	13
Gebäudetechnik	14
Haushaltsgeräte	16
„Plus“	17
Technologieoffenheit und Vielfalt in der Planung	18
Forschung	20
Effizienzhaus Plus: eine Initiative des Bundes	20
Vom Forschungs-Modellvorhaben zum Informationszentrum	21
Das Effizienzhaus Plus Netzwerk	24
Ein- und Zweifamilienhäuser (Neubau)	26
Mehrfamilienhäuser (Neubau)	31
Sanierete Bestandsgebäude	32
Internationale Projekte	33
Bildungsbauten	34
Quartiere	37
Ergebnisse aus dem Netzwerk	39
Technische Begleitforschung	39
Monitoring von Gebäuden	46
Minderung von Kohlendioxid (CO ₂)-Emissionen	47
Kosten	48
Sozialwissenschaftliches Monitoring	52
Tipps für Planer und Bauherren	54
Wichtige Links für Forschung und Förderung	56
Abkürzungsverzeichnis	57
Bildnachweise	58
Glossar	59

Grußwort

Gebäude sind Spiegelbilder der Gesellschaft. Bezahlbaren und klimagerechten Wohnraum zu schaffen, verlangt heute Ideen für das Bauen und Wohnen von Morgen. Gefragt sind praxisnahe und wirtschaftliche Lösungen für klimagerechtes, ressourcenschonendes und bezahlbares Bauen.

Ein Effizienzhaus Plus gewinnt mehr Energie als es für seinen Betrieb benötigt: Die Anlagen des Hauses zur Stromgewinnung decken nicht nur den eigenen Bedarf, sondern liefern zusätzliche Energie, etwa für E-Mobilität. Das Zeitalter der positiven Energiebilanz von Gebäuden hat mit einer Vielzahl von attraktiven, klimagerechten Bauwerken bereits begonnen.

Aktuell ist der Gebäudebereich mit einem Anteil von etwas mehr als einem Drittel am Gesamtbedarf der größte Energieverbraucher der Volkswirtschaft. Hier wollen wir ansetzen, um den Wandel zum möglichst klimaneutralen Gebäudebestand bis zur Mitte des Jahrhunderts zu erreichen. Ziel der Bundesregierung ist es, neue Ansätze für einen nachhaltigen Ressourceneinsatz zu entwickeln und Treibhausgase im Gebäudebereich einzusparen.

Die Initiative Effizienzhaus Plus startete 2011 mit einem ersten Modellgebäude des Bundes. Inzwischen haben fast 40 geförderte Effizienzhaus Plus Wohnungsbauprojekte ihre Praxistauglichkeit bewiesen. Die Erfahrungen und Lösungsansätze dieser Modellvorhaben helfen bei der Weiterentwicklung und Markteinführung dieses Gebäudestandards im Wohnungsbau. Im nächsten Schritt wird die Praxistauglichkeit dieser innovativen Gebäudegeneration an Bauten im Bildungsbereich erprobt.

Das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat setzt im Rahmen seiner „Effizienzhaus Plus Initiative“ neue Akzente für Forschung und Entwicklung auf dem Gebiet des energieeffizienten Bauens. Dabei gelten weiterhin die Grundsätze der Wirtschaftlichkeit, der Technologieoffenheit, der Vereinfachung sowie der Freiwilligkeit. Gleichzeitig erlaubt der Gebäudestandard Effizienzhaus Plus ein hohes Maß an Gestaltungsfreiheit.

Die vorliegende Broschüre informiert darüber, was schon erreicht worden ist. Sie will motivieren und anregen. Und sie gibt Hilfestellungen für die Praxis. Lassen Sie sich von über 44 Projekten, zahlreichen Innovationen und wichtigen Tipps zum energieeffizienten Bauen ermuntern, gemeinsam unsere Umgebung lebenswert und klimagerecht zu gestalten.



A handwritten signature in black ink, appearing to read 'H. Seehofer'.

Horst Seehofer

Bundesminister des Innern, für Bau und Heimat

Einleitung

Entwicklung des energiesparenden Bauens

In Deutschland hat energiesparendes Bauen eine lange Tradition. Seit mehr als 30 Jahren wird am Gebäude der Zukunft geforscht, das klimaneutral bewohnt werden kann. Das Niedrigenergiehaus ist seit mehr als 15 Jahren gesetzlicher Mindeststandard für Neubauten. Dank intensiver Forschungs- und Entwicklungsarbeiten ist es nun gelungen, Gebäude so weit fortzuentwickeln, dass sie nicht mehr Energieverbraucher, sondern Energieerzeuger sind. Dabei ermöglicht das Effizienzhaus Plus nach Definition des Bundes, dass mit ihm im Laufe eines Jahres mehr Energie aus erneuerbaren Quellen gewonnen wird, als das Gebäude und seine Nutzer verbrauchen.

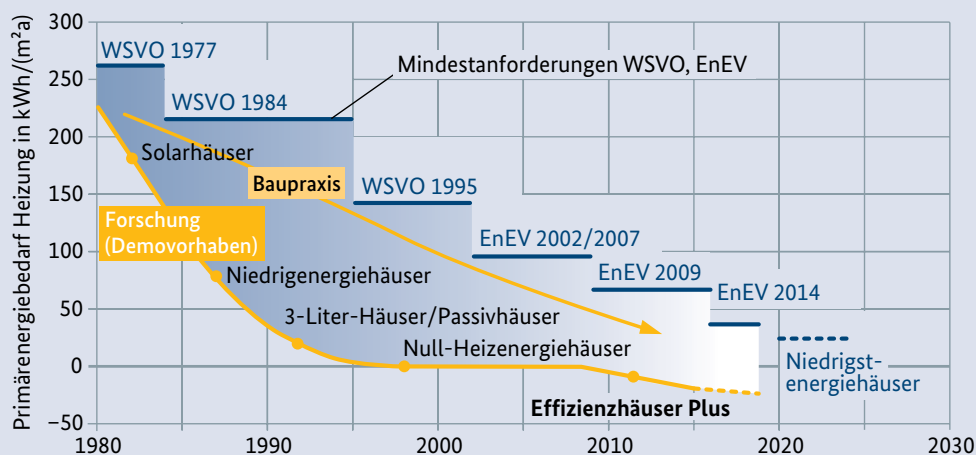
Die Technische Universität Darmstadt hat im Jahre 2007 in der Forschungsinitiative „Zukunft Bau“ ein Plusenergiehaus entwickelt, mit dem sie den renommierten studentischen Wettbewerb „Solar Decathlon“ in Washington, D.C. (USA) gewonnen haben. Das Bundesbauministerium hat auf der Grundlage des Hauses der TU Darmstadt einen eigenen Vortrags- und Ausstellungspavillon errichtet, der von 2009 bis 2011 auf einer einmaligen Deutschlandtour das Konzept in sechs Metropolregionen vorstellte.

! Tipp

Im Vergleich zu Neubauten, die im gesetzlichen Mindeststandard (EnEV) ausgeführt werden, wird die Umwelt durch Effizienzhäuser Plus Neubauten im Mittel um 50 kg/m²a Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente pro Quadratmeter beheizter Nettogrundfläche entlastet.

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

Abbildung 1: Primärenergiebedarf eines Einfamilienhauses



Entwicklungsverlauf des Primärenergiebedarfs von Einfamilienhäusern in den letzten Jahrzehnten. Die untere Kurve zeigt exemplarische Forschungsvorhaben, während die obere die gesetzlichen Mindestanforderungen dokumentiert. Die innovative Baupraxis bewegt sich zwischen diesen Niveaus.

Der gesetzliche Rahmen

In Deutschland werden die Vorgaben der europäischen Richtlinie zur Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden mittels der Energieeinsparverordnung (EnEV) umgesetzt. Darüber hinaus soll die Verordnung dazu beitragen, dass die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung, insbesondere ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand, bis zum Jahr 2050 erreicht werden.

Hiernach müssen für neue Wohngebäude Höchstwerte für den Jahres-Primärenergiebedarf und den spezifischen Transmissionswärmeverlust eingehalten werden. Die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs erfolgt nach DIN V 18599. Alternativ kann auch mit den Normen DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 gerechnet werden.

Darüber hinaus müssen für neu zu errichtende Gebäude auch Anforderungen aus dem Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) eingehalten werden. Damit werden Bauherren verpflichtet, den Wärmeenergiebedarf neuer Gebäude anteilig mit erneuerbaren Energien zu decken oder entsprechende Ersatzmaßnahmen durchzuführen.

Effizienzhaus Plus Gebäude erfüllen aufgrund ihres hohen energetischen Niveaus beide Anforderungen. Trotzdem müssen auch für diese Häuser die Nachweise nach EnEV und EEWärmeG geführt werden. Durch das geplante Gebäudeenergiegesetz (GEG) sollen das Energieeinspargesetz (EnEG), die Energieeinsparverordnung (EnEV) und das Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz (EEWärmeG) zusammen geführt werden.

Abbildung 2: Anforderungen nach EnEV und EEWärmeG

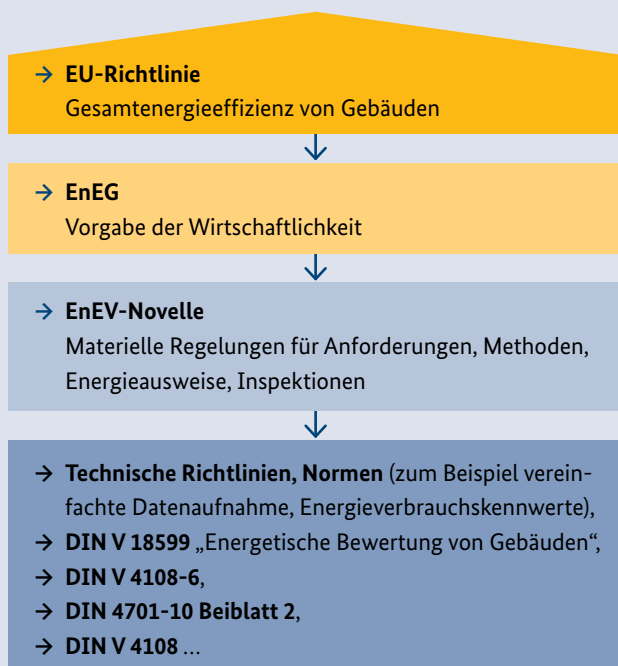
Anforderung EnEV

Der Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs eines neuen Wohngebäudes ist der um 25 Prozent reduzierte Wert eines Referenzgebäudes mit gleicher Geometrie, Ausrichtung und Nutzung wie das zu errichtende Gebäude, das einer vorgegebenen Ausführung der Gebäudehülle und Anlagentechnik entspricht.

Definition Jahres-Primärenergiebedarf

Energiemenge, die zur Deckung des Jahres-Heizenergiebedarfs Q_h und des Trinkwasserwärmebedarfs Q_{tw} (Bedarf und Aufwand der Anlagentechnik) benötigt wird unter Berücksichtigung der Energiemengen, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.

Umsetzung der EU-Gebäuderichtlinie in Deutschland



Anforderung EEWärmeG

Erfüllung EEWärmeG zu 100 Prozent durch		Mindestanteil
Erneuerbare Energien	Solare Strahlungsenergie	15 %
	Feste Biomasse	50 %
	Flüssige Biomasse	50 %
	Gasförmige Biomasse in KWK	30 %
	Geothermie und Umweltwärme	50 %
Ersatzmaßnahme	Anlagen zur Nutzung von Abwärme	50 %
	KWK-Anlagen	50 %
	Maßnahmen zur Einsparung von Energie	~15 %
	Nah- oder Fernwärme mit oben stehenden Anteilen an erneuerbarer Energie beziehungsweise Ersatzmaßnahmen	

Definition: Effizienzhaus Plus

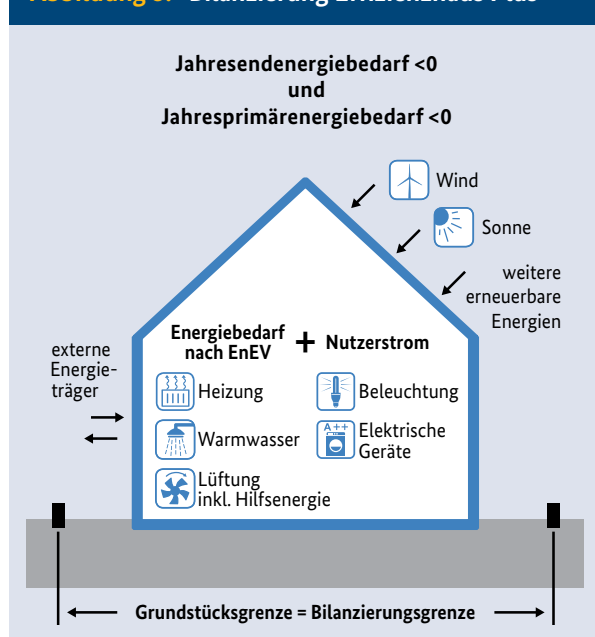
Definition: Effizienzhaus Plus

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

Bewertungsmethode: erweiterter EnEV-Nachweis nach DIN V 18599

Die Nachweise sind in Anlehnung an die aktuell gültige Energieeinsparverordnung (EnEV) nach der DIN V 18599 zu führen. Der netzeingespeiste Strom ist analog dem Verdrängungsstrommix zu bewerten. Für die Nachweisführung ist der mittlere Standort nach EnEV anzusetzen. Allerdings müssen in Ergänzung zur Nachweisprozedur der EnEV die End- und Primärenergiebedarfswerte für den Nutzerstrom in der Berechnung berücksichtigt werden. Für Wohngebäude wird hier ein pauschaler Endenergiebedarf von 20 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizter Nettogrundfläche und Jahr angesetzt, für Bildungsbauten je nach Energieeffizienz der verwendeten Geräte 10 beziehungsweise 15 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr.

Abbildung 3: Bilanzierung Effizienzhaus Plus



Bilanzgrenze: Grundstücksgrenze

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

Empfehlung: Geräte mit höchstem Energieeffizienzlabel verwenden

Das Gebäude sollte durchgängig mit Geräten des höchsten Energieeffizienzlabels und intelligenten Zählern ausgestattet werden.

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 EnEV-Bewertung auf der Basis von Monatsbilanzen durchzuführen.

Rechenhilfe und Energieausweis

Zur standardisierten Berechnung eines Effizienzhauses Plus steht im Internet ein kostenloses Tool zur Verfügung (www.effizienzhaus-plus-rechner.de). Mit dieser Rechenhilfe lässt sich auch ein speziell für das Effizienzhaus Plus entwickeltes Zusatzinformationsblatt sowohl für Wohn- als auch Nichtwohngebäude generieren, in dem sich der über die EnEV hinausgehende Einspareffekt dieser Hausgeneration darstellen lässt. Auf den Seiten 8 und 9 sind exemplarisch Anwendungen dargestellt.

Abbildung 4: Zusatzinformationsblatt zum Energieausweis für Wohngebäude im Effizienzhaus Plus Standard

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

zusätzliche Informationen gemäß §17, Absatz 4 der Energieeinsparverordnung (EnEV)

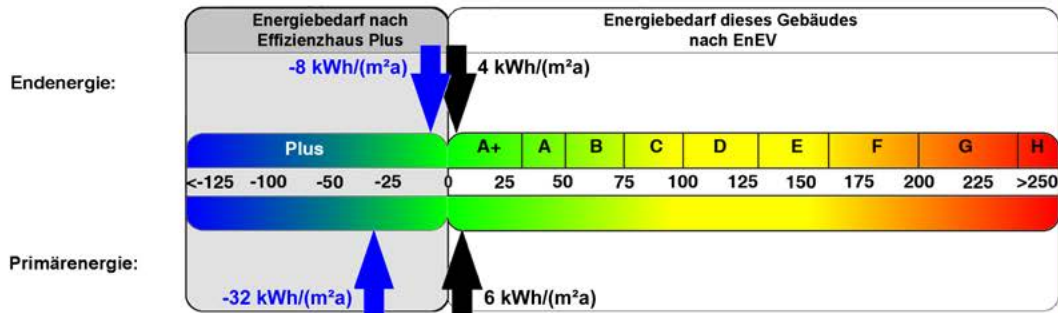
Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

Registriernummer ¹ 123

(oder: "Registriernummer wurde beantragt am ...")

2

Energiebedarf nach Effizienzhaus Plus und EnEV



Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren:

Nach Effizienzhaus Plus Bewertung (BMUB)

Energiebedarf nach Effizienzhaus Plus Bewertung

Endenergie: -8 kWh/(m²·a)
 Primärenergie: -32 kWh/(m²·a)

Anforderungen gemäß EnEV ²

Primärenergiebedarf
 Ist-Wert 6 kWh/(m²·a) Anforderungswert 45 kWh/(m²·a)
 Energetische Qualität der Gebäudehülle H_t
 Ist-Wert 0,23 W/(m²·K) Anforderungswert 0,40 W/(m²·K)
 Sommerlicher Wärmeschutz (bei Neubau) eingehalten

Endenergiebedarf nach Effizienzhaus Plus

Energieträger	Gebäudetechnik nach DIN V 18599	Jährlicher Endenergiebedarf in kWh/(m²a) für			Bedarf nach Effizienzhaus Plus	Eigennutzungsgrad [%]
		Nutzerstrom ³	Netzbezug	Netzeinspeisung		
Strom	3,8	6,0	9,9	-17,7	-7,8	
Summe	3,8	6,0	9,9	-17,7	-7,8	53,2

Endenergiebedarf nach Effizienzhaus Plus

-7,8 kWh/(m²·a)

Primärenergiebedarf nach Effizienzhaus Plus

-31,8 kWh/(m²·a)



PLUS EffizienzHaus

Fraunhofer IBP

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Definition:

Das Effizienzhaus-Plus Niveau ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ($\Sigma Q_p < 0 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ($\Sigma Q_e < 0 \text{ kWh/(m}^2\text{a)}$) vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) wie z. B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz sind einzuhalten.

Bewertungsmethode:

Die Nachweise sind in Anlehnung an die aktuell gültige Energieeinsparverordnung (EnEV) nach der DIN V 18599 zu führen. Allerdings müssen in Ergänzung zur Nachweisprozedur der EnEV die End- und Primärenergiebedarfswerte für die Wohnungsbeleuchtung und für die Haushaltsgeräte und -prozesse in der Berechnung mitberücksichtigt werden. Für Wohngebäude ist dabei ein pauschaler Endenergiewert von 20 kWh/m²a (davon Kochen: 3 kWh/m²a) anzunehmen. Als Bilanzgrenze (auch im Sinne der Einbeziehung der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien) ist das Grundstück, auf dem das Haus errichtet wird, anzusetzen. In Erweiterung zum Bilanzraum der EnEV (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).

¹ siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises
³ Nutzerstrom (Elektrische Geräte und -prozesse)

² nur bei Neubau sowie bei Modernisierung im Fall des §16 Absatz 1 Satz 3 EnEV

Abbildung 5: Zusatzinformationsblatt zum Energieausweis für Nichtwohngebäude im Effizienzhaus Plus Standard

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

zusätzliche Informationen gemäß §17, Absatz 4 der Energieeinsparverordnung (EnEV)

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

Registriernummer ¹ Reg123
 (oder: "Registriernummer wurde beantragt am ...")

2

Energiebedarf nach Effizienzhaus Plus und EnEV

Energiebedarf nach Effizienzhaus Plus

Endenergie: **-4 kWh/(m²a)**

Primärenergie: **-42 kWh/(m²a)**

Energiebedarf dieses Gebäudes nach EnEV

Endenergie: **30 kWh/(m²a)**

Primärenergie: **53 kWh/(m²a)**

	<-125	-100	-50	-25	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250
--	-----------------	-------------	------------	------------	-----------	-----------	-----------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	----------------

Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren:

Nach Effizienzhaus Plus Bewertung (BMUB)

	10 kWh/(m² a)
Energiebedarf nach Effizienzhaus Plus Bewertung	
Endenergie:	-4 kWh/(m² a)
Primärenergie:	-42 kWh/(m² a)

Anforderungen gemäß EnEV ²

Primärenergiebedarf		93 kWh/(m² a)	
Ist-Wert	53 kWh/(m² a)	Anforderungswert	93 kWh/(m² a)
Mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten			<input checked="" type="checkbox"/> eingehalten
Sommerlicher Wärmeschutz (bei Neubau)			<input checked="" type="checkbox"/> eingehalten

Endenergiebedarf nach Effizienzhaus Plus


Energieträger	Jährlicher Endenergiebedarf in kWh/(m²a) für					Eigennutzungsgrad [%]
	Gebäudetechnik nach DIN V 18599	Nutzerstrom ³	Netzbezug	Netzeinspeizung	Bedarf nach Effizienzhaus Plus	
Strom	5,4	3,3	8,7	-23,3	-14,6	
Nah-/Fernwärme a	10,4		10,4		10,4	
Summe	15,8	3,3	19,1	-23,3	-4,2	46,7

Endenergiebedarf nach Effizienzhaus Plus

Primärenergiebedarf nach Effizienzhaus Plus

-4,2 kWh/(m² a)

-42,3 kWh/(m² a)



Erläuterungen zum Berechnungsverfahren


Definition:
Das Effizienzhaus Plus - Niveau nach der Bekanntmachung des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit über die Vergabe von Zuwendungen für Modellprojekte für Bildungsbauten ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf ($\Sigma Q_p < 0 \text{ kWh/(m²a)}$) als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf ($\Sigma Q_e < 0 \text{ kWh/(m²a)}$) vorliegen. Alle sonstigen Bedingungen der zum Zeitpunkt der Beantragung gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV) wie z.B. die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz, sind einzuhalten.


Bewertungsmethode:
Die Nachweise sind in Anlehnung an die Energieeinsparverordnung (EnEV) nach der DIN V 18599, Ausgabe 2011 zu führen. Allerdings müssen in Ergänzung zur Nachweisprozedur der EnEV die End- und Primärenergiebedarfswerte für den Nutzerstrom (Elektrische Geräte und – prozesse) in der Berechnung mitberücksichtigt werden.
Als Bilanzgrenze (auch im Sinne der Einbeziehung der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien) ist das Grundstück, auf dem das Haus errichtet wird, anzusetzen. In Erweiterung zum Bilanzraum der EnEV (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=).

¹ siehe Fußnote 2 auf Seite 1 des Energieausweises

³ Nutzerstrom (Elektrische Geräte und – prozesse)

² nur bei Neubau sowie bei Modernisierung im Fall des §16 Absatz 1 Satz 3 EnEV





Die Bausteine: Energieeffizienz und erneuerbare Energien

Das Effizienzhaus Plus fußt gegenüber einer herkömmlichen Bauweise auf den drei Säulen:

- Energieeffizienz des Gebäudes bestmöglich steigern
- Energiebedarf der Haushaltsprozesse so weit wie möglich senken
- erneuerbare Energien zur Deckung verwenden

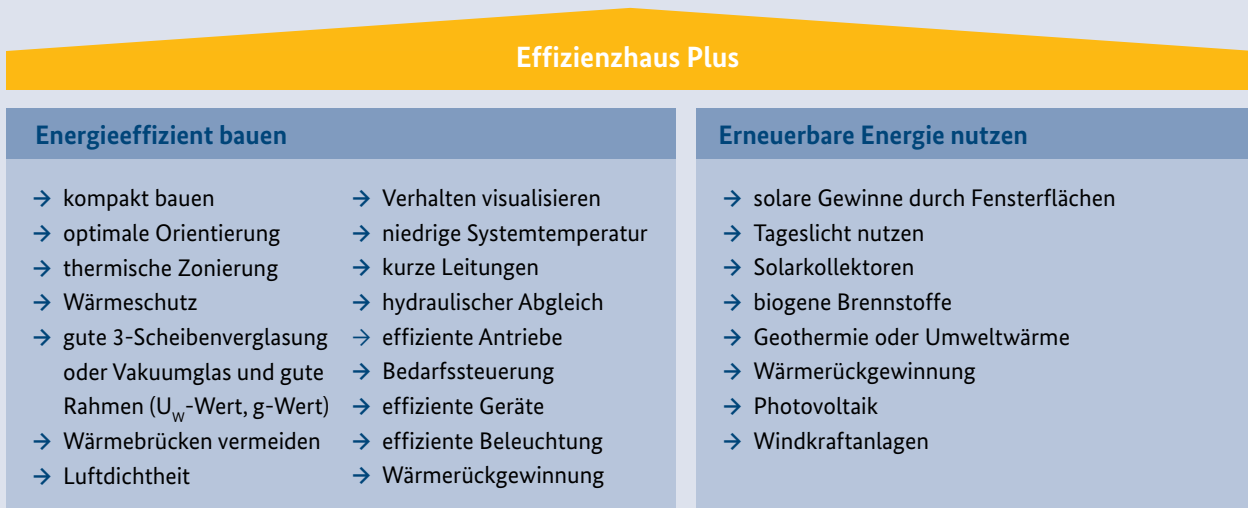
Die Energieeffizienz lässt sich über den Gebäudeentwurf (kompakter Gebäudekörper, optimale Orientierung), über den Wärmeschutz (hocheffiziente Fenster und Wärmeschutzsysteme für die Gebäudehülle), über optimierte Verarbeitung (wärmebrückenzuschlagsfreie und luftdichte Konstruktionen und Bauteilanschlüsse) sowie energiebewusstes Wohnerverhalten (unterstützt zum Beispiel durch Verbrauchsvisualisierung, Smart Metering) steigern. Gleichzeitig erhöht sich durch den verbesserten Wärmeschutz in aller Regel der Nutzungskomfort, da die hierbei entstehenden warmen Oberflächen eine höhere Behaglichkeit in den Räumen erzeugen.

Die Energieeffizienz lässt sich weiterhin erhöhen durch niedrige Systemtemperaturen (und damit verbundene niedrige Wärmeverluste) in der Heizanlage, kurze Leitungslängen bei Heiz-, Warmwasser- und Lüftungsanlagen (und damit verbundene niedrigere Wärmeverluste und geringere Antriebsenergien für Pumpen und

Ventilatoren), durch Wärmerückgewinnungssysteme in der Lüftung und in den Abwassersystemen, durch hydraulischen Abgleich in allen Anlagen (und damit verbundene geringere Antriebsenergien für Pumpen und Ventilatoren), mit bedarfsgesteuerten Heiz- und Lüftungssystemen (und einer damit vermiedenen Überversorgung der Räume mit Frischluft und Heizwärme), mit Haushaltsgeräten höchster Energieeffizienz (A+++) und mit effizienter Raumbeleuchtung (LED oder Energiesparlampen in Verbindung mit Präsenzmeldern).

Die erneuerbaren Energien lassen sich aktiv und passiv im Gebäude erschließen. Völlig kostenfrei können die passiven Solargewinne über die Fenster einerseits zur Reduzierung des Heizenergiebedarfs und andererseits zur Reduzierung des Bedarfs an künstlicher Beleuchtung genutzt werden. Aktiv lassen sich erneuerbare Wärmequellen über thermische Solarkollektoren, biogene Brennstoffe, Geothermie oder Umweltwärme erschließen. Das „Plus“ in das Gebäude bringen schließlich stromerzeugende Systeme wie Photovoltaik- oder Windkraftanlagen. Die produzierten Überschüsse können im Gebäude zwischengespeichert und darüber hinausgehende Erträge ins Netz der Energieanbieter eingespeist werden.

Abbildung 6: Die energetischen Säulen eines Effizienzhauses Plus



Schlüsselparameter

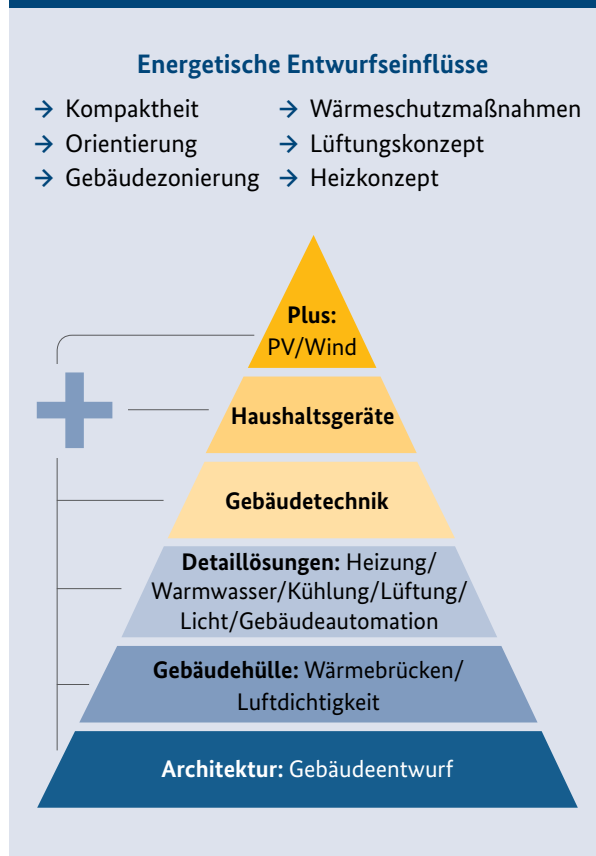
Gebäudeentwurf

Schon im frühen Entwurfsstadium eines Gebäudes werden die Weichen zum energie- und flächensparenden, ökologischen und ökonomischen Bauen gestellt. Den folgenden drei Aspekten gilt aus Sicht des Gebäudeentwurfs besondere Aufmerksamkeit:

Kompaktheit

Freistehende Einfamilienhäuser haben bei vergleichbarem Dämmstandard im Schnitt einen erheblich höheren wohnflächenbezogenen Heizenergiebedarf als Doppel-, Reihen- oder Mehrfamilienhäuser. Dies lässt sich durch das erhöhte Hüllflächen-Volumenverhältnis (A/V-Wert) erklären. Dieser Zahlenwert gibt an, wie groß die wärmetauschende Hüllfläche des beheizten Anteils eines Gebäudes im Verhältnis zu dem davon umschlossenen Volumen ist. Dachformen sind mit Rücksicht auf die Kompaktheit einfach zu wählen. Auf Gauben und Erker ist wegen deren Oberflächenerhöhung und des meist schlechteren Wärmeschutzes möglichst zu verzichten.

Abbildung 7: Die Entwurfspyramide des Effizienzhauses Plus



Orientierung

Die optimierte Nutzung der Sonnenenergie durch Fenster setzt eine möglichst große nach Süden orientierte Fläche voraus. Süddachneigungen von circa 30 Grad ermöglichen ganzjährig optimale Wirkungsgrade für Warmwasserkollektoren oder Photovoltaik. Bei ganz flachen Neigungen können sogar Norddächer für Photovoltaiksysteme erschlossen werden.

Gebäudezonierung

Geringer beheizte Räume, wie Elternschlafräume und Küche, sollten nach Norden orientiert sein. In direkt besonnten Räumen ist das Temperaturbedürfnis geringer ausgeprägt als in verschatteten Räumen. Die Räume sollten im Grundriss möglichst so angeordnet werden, dass die Trennwandfläche zwischen beheizten und unbeheizten Zonen gering gehalten wird. Diese gebäudeinternen Wärmeverluste können erheblich die Wärmeverluste des gesamten Gebäudes beeinflussen. Problematisch auf den Energieverbrauch können sich offene Grundrisse über mehrere Etagen auswirken.

Die Anlagentechnik ins Zentrum rücken

Die Grundrissgestaltung sollte erlauben, dass der Heizraum/Technikraum möglichst zentral im Gebäude angeordnet ist, um die Wärmeverluste des Wärmeerzeugers und der Speicher in der beheizten Zone direkt nutzen zu können und kurze Leitungswege zwischen Solar Kollektoren und Speicher sowie gegebenenfalls kurze Abgasleitungen zu ermöglichen. Ebenfalls sollten die Versorgungsschächte zentral im Gebäude im beheizten Bereich angeordnet sein, um die Verteilungen kurz und die Wärmeverluste gering zu halten.

! Tipp

Eine bessere Kompaktheit zahlt sich gleich doppelt aus, denn die Reduzierung des A/V-Wertes um $0,1 \text{ Meter}^{-1}$ erbringt in der Regel eine Verminderung des Heizenergiebedarfs von bis zu 10 Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr und gleichzeitig eine Reduzierung der Baukosten von 50 bis 80 Euro je Quadratmeter. Insbesondere sind Erker und Gauben zu überdenken.

Gebäudehülle

Die Qualität des baulichen Wärmeschutzes bestimmt wesentlich den Heizwärmebedarf eines Gebäudes. Etwa 50 bis 75 Prozent der Wärmeverluste eines durchschnittlichen Gebäudes resultieren aus den Transmissionswärmeverlusten der Gebäudehülle. Das Einsparpotenzial über wärmedämmende Außenbauteile ist somit erheblich und hat sich als die verlässlichste Maßnahme zur Heizenergie-reduktion herausgestellt. Ohne einen hochwertigen Wärmeschutz ist kein Effizienzhaus Plus realisierbar.

Außenwände

Im Außenwandbereich haben sich vielfältige Bauweisen über Jahrzehnte entwickelt und bewährt. In den letzten 50 Jahren konnte der Wärmeschutz der Außenwände um den Faktor 10 verbessert werden. Sowohl innovative monolithische Außenwände als auch mehrschichtige Bauteile können in Effizienzhäusern Plus zum Einsatz gelangen.

Fenster

Das geringste Dämmniveau aller Außenbauteile weist in der Regel das Fenster auf. Es lassen sich hiermit allerdings auch erhebliche Solargewinne erzielen, so dass bei sinnvoller Fensteranordnung und -orientierung die

passiven Solargewinne dieser Bauteile deren Wärmeverluste voll ausgleichen können. Bei der Planung transparenter Bauteile sind daher neben deren Dämmwirkung (U-Wert) auch deren passive Solargewinne zu beachten. Diese werden durch den Energiedurchlassgrad (g-Wert) beschrieben. Der U-Wert sollte möglichst klein sein, der g-Wert möglichst groß.

Moderne, dreifach verglaste Fenster weisen üblicherweise U_w -Werte von 0,9 Watt pro Quadratmeter und Kelvin und weniger und g-Werte von 0,5 und höher auf.

Kellerdecken/Bodenplatten

Die Temperaturdifferenz über eine Bodenplatte zum Erdreich ist im Jahresmittel etwa nur halb so groß wie die an außenluftberührten Bauteilen. Dies bewirkt eine geringere Effizienz von wärmeschutztechnischen Maßnahmen in diesen Bauteilen.

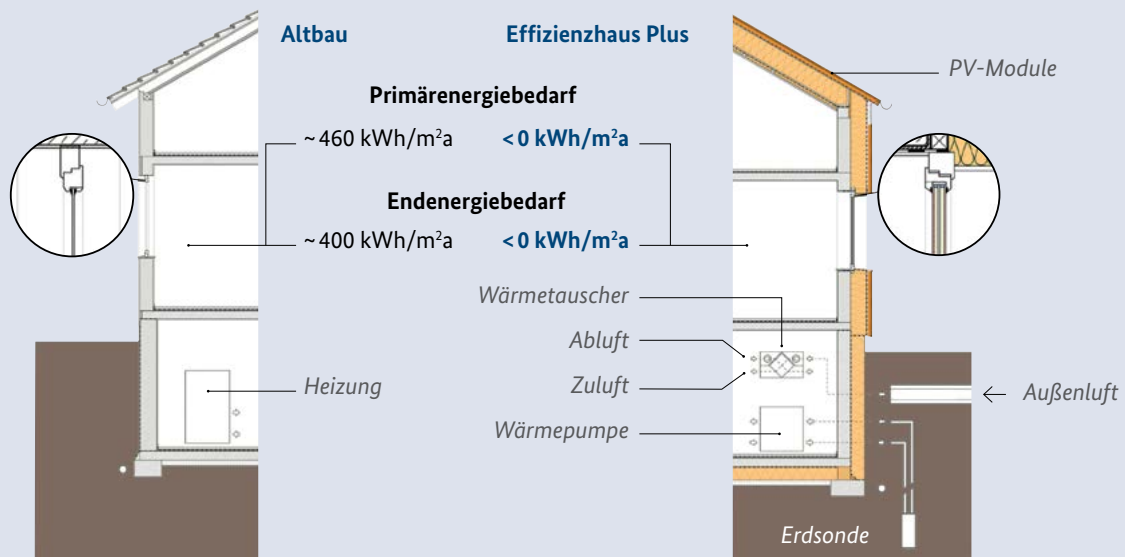


Tipp

Investitionen in die Gebäudehülle sind langfristige Entscheidungen. Daher sollten sie von besonders hoher Qualität sein.

Abbildung 8: Vergleich zwischen Altbau und Effizienzhaus Plus

Beispielhafter Aufbau der Konstruktion und der Wärmeversorgung sowie Angabe des Energiebedarfs eines etwa 50 Jahre alten Altbaus im Vergleich mit einem Effizienzhaus Plus.



Details

Wärmebrücken vermeiden

Die zusätzlichen Energieverluste von Wärmebrücken lassen sich mittels des längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten $[\psi]$ errechnen. Der Einfluss der Wärmebrücken auf den Heizwärmebedarf lässt sich nach Kenntnis der Wärmebrückenverlustkoeffizienten leicht berechnen. Die zusätzlichen Wärmeverluste über die Wärmebrücken liegen zwischen null Prozent bei optimierter Ausführung und etwa 25 Prozent bei Minimalkonzeption. Daraus ergibt sich für ein Einfamilienhaus mit 150 Quadratmetern beheizter Wohnfläche ein Heizwärmemehrbedarf je nach Ausführungsvariante bis zu 1.500 Kilowattstunden pro Jahr. Eine strikte Prüfung der Ausführung ist dringend erforderlich, da häufig eine unzureichende Umsetzung gut geplanter Anschlussdetails zu energetischen Schwachstellen führt.

Luftdicht bauen

Neben dem in der Regel über Fensteröffnen oder über mechanische Lüftungsanlagen sicherzustellenden Luftwechsel ergibt sich ein unkontrollierter zusätzlicher Infiltrationsluftwechsel über Bauteilfugen, Undichtheiten in der Gebäudehülle etc. Dieser liegt zwischen $0,1 \text{ h}^{-1}$ bei sehr dichten und über $0,3 \text{ h}^{-1}$ bei weniger dichten Gebäuden. Dieser Zuschlag ist vom

Potenzial her vergleichbar mit Einflüssen von Wärmebrücken (circa 10 Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr). Zum Erzielen einer luftdichten Gebäudehülle ist in der Entwurfsphase ein Luftdichtheitskonzept zu erstellen. Die luftdichte Hülle muss das gesamte beheizte Volumen vollflächig umschließen, im Geschosswohnungsbau möglichst jede einzelne Wohneinheit für sich selbst, um hier Leckagen über Treppenhäuser, Versorgungsschächte etc. auszuschließen. Insbesondere ausgebaute Dachgeschosse mit Pfettendach und Kehlgebälk sind aufgrund der Vielzahl der konstruktionsbedingten Durchstoßpunkte zu beachten. Während der Bauausführung ist darauf zu achten, dass nach Fertigstellung der Luftdichtheitschicht keine Lecks durch Folgearbeiten entstehen. Eventuelle Leckagen können durch Blower-Door-Tests lokalisiert werden.

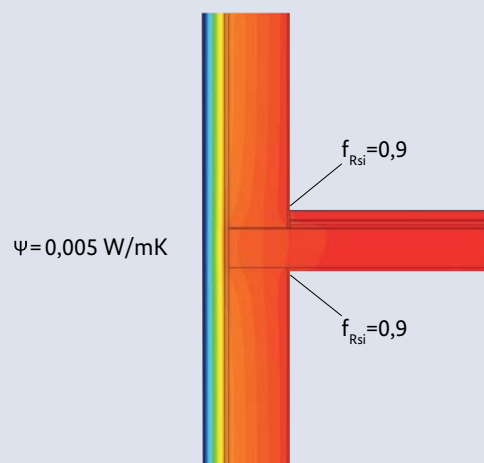
! Tipp

Luftdichtheit und die Minimierung von Wärmebrücken verfügen jeweils über vergleichbare Energieeinsparpotenziale von mehr als 10 Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr.

Abbildung 9: Berechnung des Einflusses von Wärmebrücken auf Temperatur- und Wärmestromverhältnisse

Bauteilanschluss	Längenbezogener Wärmebrückenverlustkoeffizient	
	ψ [W/mK]	
Außenwanddecke	-0,30	-0,07
Fensteranschluss-Leibung	0,06	0,12
Fensteranschluss-Brüstung	0,13	0,20
Fensteranschluss-Sturz	0,06	0,25
Geschossdeckenaufleger	0,00	0,15
Kellerdeckenaufleger	-0,14	0,20
Dachanschluss-Traufe	-0,20	0,11
Dachanschluss-Ortgang	-0,03	0,10

Spanne der längenbezogenen Wärmebrückenverlustkoeffizienten üblicher Bauteilanschlüsse: Zwischen der wärmebrückenminimierten Ausführung (minimal) und der Standardausführung (maximal) liegen erhebliche Einsparpotenziale, die im Rahmen der Planung von Effizienzhaus Plus erschlossen werden müssen.



Beispiel Geschossdeckenaufleger: Mit gut geplanten Anschlussdetails können Wärmebrücken nahezu vollständig vermieden werden.

Gebäudetechnik

Effizienzhäuser Plus lassen sich bautechnisch vielfältig realisieren und dies gilt auch für deren Gebäudetechnik. Entscheidend ist, dass die eingesetzten Anlagen für die zu leistende Aufgabe (Bereitstellung von Raumwärme und gegebenenfalls -kälte, Warmwasser, Frischluft und Licht) möglichst wenig Energie benötigen.

Heizung

Die Wärmeverluste bei der Wärmeerzeugung können leicht die gleiche Größenordnung annehmen wie der von der Heizung zu deckende Raumwärmebedarf. Daher ist eine gewissenhafte Planung sehr wichtig, um den Energiebedarf gering zu halten. Die Temperaturen im Verteilnetz sollten möglichst niedrig (weniger als 35 Grad Celsius) sein. Eine häufige Form der Nutzung von Umweltwärme für Heizzwecke erfolgt mittels Wärmepumpen, die die im Erdreich, Grundwasser oder der Umgebungsluft enthaltene Wärmeenergie nutzbar machen. Thermische Solaranlagen zur Heizungsunterstützung werden gelegentlich in Verbindung mit saisonalen Speichern zur Grundlastdeckung eingesetzt. Eine andere Form der Erschließung von erneuerbaren Energien findet man in der Nutzung biogener Brennstoffe (Biomasse, Bioöl oder Biogas). Ein besonderes Augenmerk sollte man auch auf die Minimierung der erforderlichen Antriebsenergie richten.

Warmwasser

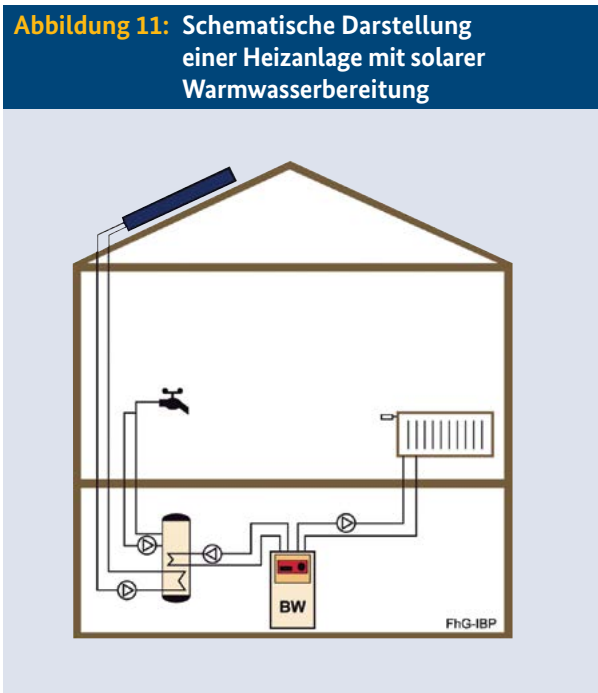
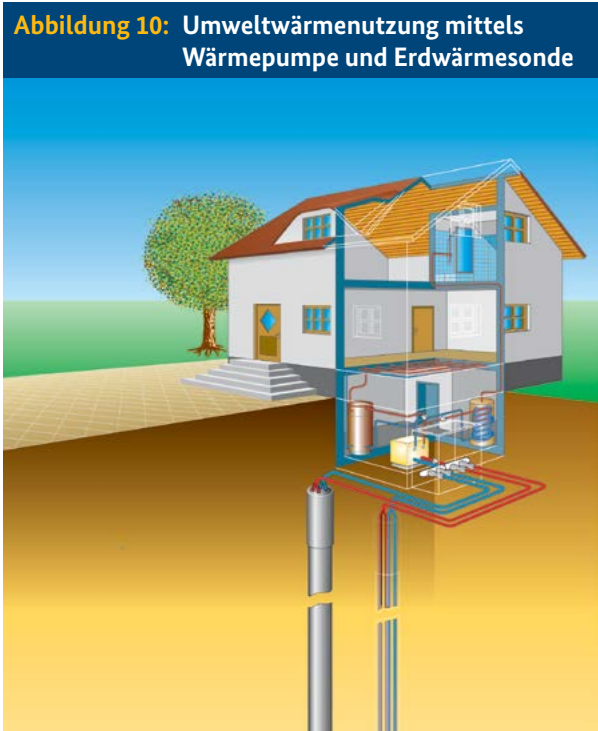
Der Energiebedarf zur Warmwassererzeugung liegt bei gut gedämmten Gebäuden in der gleichen Größenordnung wie der zu deckende Raumwärmebedarf. Durch Zirkulationsleitungen kann der Energiebedarf leicht mehr als verdoppelt werden. Daher empfiehlt es sich, den Warmwasserbereiter/-speicher nahe den Zapfstellen zu positionieren, um auf die Zirkulation verzichten zu können, oder die Zirkulation mit einer Zeitschaltung zu versehen. Die solare Warmwasserbereitung ist inzwischen ausgereift und arbeitet zuverlässig. Hiermit lassen sich bis zu zwei Drittel des Energiebedarfs für Warmwasser einsparen.

Kühlung

Ein guter (klimagerechter) Entwurf – in Verbindung mit geeigneten außenliegenden Verschattungsvorrichtungen – macht mechanische Kühlanlagen für Wohngebäude in Deutschland überflüssig. Geeignete passive Maßnahmen (zum Beispiel Nachtlüftung, Bauteilaktivierung oder die Verwendung von Phasenwechselmaterialien in Dachgeschossen) können die sommerlichen Temperaturen in Gebäuden noch behaglicher machen.

! Tipp

Achten Sie darauf, dass bei Ihrer Heizungsanlage ein hydraulischer Abgleich durchgeführt wird (Einsparpotenzial von mehr als 10 Prozent möglich).



Lüftung

Kontrollierte Wohnungslüftungseinrichtungen mit Wärmerückgewinnungssystemen können die Lüftungswärmeverluste erheblich reduzieren. Wärmerückgewinnungsgrade von über 80 Prozent sind heute bei modernen Anlagen keine Seltenheit mehr. Allerdings steigt in aller Regel mit steigendem Rückgewinnungsgrad der Stromverbrauch für die Ventilatoren. Mechanische Lüftungen müssen daher sehr genau projektiert werden, da sonst in ungünstigen Fällen der Energieverbrauch der Ventilatoren, zum Beispiel bei verwinkelter Rohrführung und ungeeigneten Rohrquerschnitten, die Energiegewinne übersteigen kann.

Beleuchtung

Eine effiziente Beleuchtung bilden Kompaktleuchtstofflampen mit integrierten Vorschaltgeräten und LED-Lampen. Während bei früheren Glühlampen nur etwa fünf Prozent des eingesetzten Stroms in Licht und über 95 Prozent in Wärme umgewandelt wurden,



LED-Beleuchtungen im Wohnbereich

steigt die Lichtausbeute bei Kompaktleuchtstofflampen und LED-Lampen gegenüber Glühlampen um das Vier- bis Fünffache. Helle Raumbooberflächen führen zu einer besseren Raumausleuchtung und somit zu einem geringeren Energiebedarf als dunkle Oberflächen. Die Oberflächengestaltung kann einen vergleichbar großen Einfluss auf den Energieverbrauch der Beleuchtung haben wie die Wahl des Leuchtentyps. Als besonders effektiv wirken sich darüber hinaus arbeitsplatzbezogene Beleuchtungslösungen (Küche, Arbeitszimmer) aus. Hierbei werden nur die betroffenen Bereiche eines Raumes mit den für die Tätigkeit erforderlichen hohen Beleuchtungsstärken versorgt (zum Beispiel Leselampe) und die restlichen Flächen mit geringeren. Daneben ist es sinnvoll, über Lichtmanagementsysteme (zum Beispiel Präsenzerfassung) in Hausfluren, Kellern und bei der Außenbeleuchtung nachzudenken.

Gebäudeautomation/Smart Metering

Intelligente Zähler bieten die Möglichkeit zum besseren Informations- und Kostenüberblick für den Nutzer und daher eine Sensibilisierung für den Stromverbrauch im Haushalt. Sie sollten in einem Effizienzhaus Plus zum Standard gehören. Darüber hinaus etablieren sich Gebäudeautomationssysteme in der letzten Zeit am Markt. Ein hausinternes (Funk-)Netzwerk verbindet hierbei Haushaltsgeräte mit einer zentralen Steuereinheit und ermöglicht darüber hinaus eine intelligente Heizungssteuerung. Einspareffekte sind hierbei jedoch eher dem Komfortgewinn untergeordnet. Es ist dringend geboten, die Anschlussleistung und den Energiebedarf der Gebäudeautomation und ihrer Zusatzkomponenten zu prüfen. Anschlussleistungen über 50 Watt sind zu vermeiden, da diese kaum durch Einspareffekte substituierbar sind!

! Tipp

Überprüfen Sie die Anschlussleistung Ihrer Lüftungsanlage, sie sollte je Wohneinheit möglichst unter 50 Watt betragen. Jedes zusätzliche Watt Leistung erfordert etwa 10 Kilowattstunden elektrische Energie im Jahr.

Haushaltsgeräte

Der mittlere Stromverbrauch der circa 41 Millionen deutschen Haushalte für Haushaltsprozesse und Beleuchtung (ohne Heizung und Warmwasserbereitung) beträgt derzeit circa 2.615 Kilowattstunden pro Jahr (30 Kilowattstunden je Quadratmeter und Jahr) mit leicht fallender Tendenz.¹ Hiervon entfallen etwa 36 Prozent auf Haushaltsprozesse (Kochen, Trocknen, Bügeln), etwa 10 Prozent auf Beleuchtung und die restlichen 54 Prozent auf Haushalts- und Kommunikationsgeräte. Etwa 13 Prozent der Stromverbräuche der Haushalte entfallen auf Stand-by-Verluste, die im Wesentlichen im Bereich der Haushalts- und Kommunikationsgeräte auftreten.

Haushaltsgeräte

Neben guten Gebrauchseigenschaften sind insbesondere ein niedriger Energie- und auch Wasserverbrauch wichtige Entscheidungskriterien für die Auswahl eines Elektrogerätes. Das Energielabel (auch: Energieetikett, EU-Label, Energylabel) informiert seit 1996 genau darüber. Diese Verbraucherinformation ist gesetzlich vorgeschrieben und in Deutschland geregelt durch das Gesetz zur Energieverbrauchskennzeichnung (EnVKV). Den größten Verbrauch, aber auch das größte Einsparpotenzial verzeichnen die Wäschetrockner, gefolgt von den Kühl- und Gefriergeräten.

Für folgende Haushaltsgeräte gilt die Kennzeichnungspflicht:

- Kühl-/Gefriergeräte
- Waschmaschine
- Wäschetrockner
- Geschirrspüler
- Elektrobacköfen

Stand-by-Verbräuche

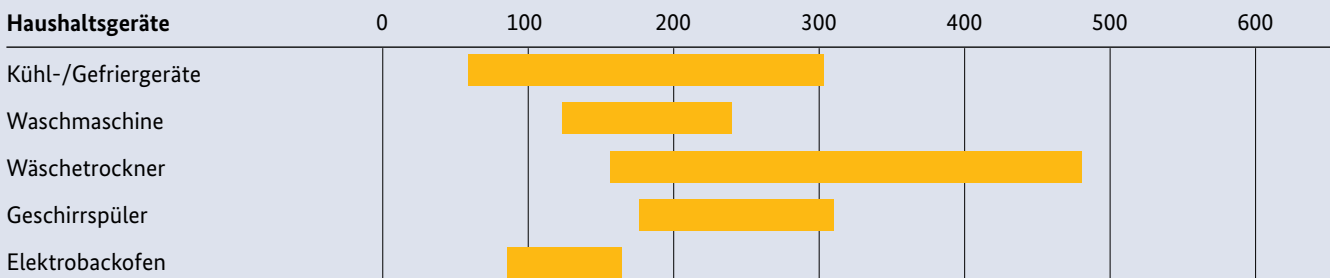
Als Stand-by-Verbrauch wird der Stromverbrauch im Bereitschaftsbetrieb bezeichnet, also ein Stromverbrauch, der anfällt, ohne dass das Gerät benutzt wird. Beim Stand-by-Verbrauch gilt das Motto „Die Summe macht’s“. Jedes Gerät für sich fällt kaum ins Gewicht, alle zusammen aber schon. Durch die konsequente Vermeidung von Stand-by-Verbräuchen lassen sich jährlich in Haushalten bis zu 350 Kilowattstunden Strom einsparen.

! **Tipp**

Haushalte, die mit hocheffizienten Haushaltsgeräten (Toprunner) und Beleuchtungssystemen ausgestattet sind, verbrauchen nur etwa 50 Prozent der Strommenge, die vergleichbare Haushalte mit normaler Geräteausstattung benötigen.

Abbildung 12: Spanne der Stromverbräuche ausgewählter Haushaltsgeräte: Toprunner 2017² im Vergleich zu Normalgeräten

Jährlicher Stromverbrauch (kWh/a)



1 Umweltbundesamt, Daten zur Umwelt 2015
 2 www.ecotopten.de

„Plus“

Um ein Effizienzhaus Plus zu realisieren, müssen Systeme zur Gewinnung erneuerbarer Energien eingebunden werden. Dies sind in der Regel Photovoltaikanlagen, eher seltener auch kleine Windkraftanlagen. Alternativ können auch überschüssige Wärmegewinne aus Abwärme oder thermischen Solaranlagen, die in Nah- oder Fernwärmesysteme eingespeist werden, als Energiegutschriften in Bezug genommen werden. Blockheizkraftwerke, Brennstoffzellen oder Mikro-KWK-Anlagen können je nach verwendetem Brennstoff zwar primärenergetisch eine Gutschrift bewirken, endenergetisch können sie aber nicht zur positiven Bilanz beitragen.

Photovoltaik

Durch Solarzellen, die zu Solarmodulen verbunden sind, findet eine direkte Umwandlung von Sonnenenergie in Gleichstrom statt. Die Nutzung der erzeugten Elektrizität kann direkt vor Ort erfolgen, in Akkumulatoren (Batterien) gespeichert oder in das öffentliche Stromnetz eingespeist werden. Zur Nutzung der Energie im Stromnetz wird ein Wechselrichter zur Umwandlung der Gleichspannung in Wechselspannung benötigt. Die Solarmodule werden je nach



Effizienzhaus Plus Pfuher Straße 12-14, Neu-Ulm mit dachintegrierter Photovoltaikanlage

Art der genutzten Solarzelle in mono-, polykristalline und Dünnschichtmodule (CIS/CIGS-(Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid)) eingeteilt. Der Wirkungsgrad der monokristallinen Module liegt zwischen 14 und 24 Prozent, der polykristalliner Module zwischen 13 und 18 Prozent und der Dünnschichtmodule zwischen 13 und 16 Prozent.

Die Nennleistung (Maximalleistung) eines Solarmoduls wird in Wp (Watt peak) angegeben, die unter Standardtestbedingungen im Labor bestimmt wurde. Neben dem Wirkungsgrad der Solarmodule ist der Systemleistungsfaktor ein wichtiger Kennwert. Er gibt an, wie viel von dem theoretisch möglichen Stromertrag tatsächlich zur Nutzung bereitsteht, einschließlich der Verluste durch die Umwandlung im Wechselrichter, die Länge der Stromleitungen, Verschattungen und gegebenenfalls weitere Faktoren.

Der Systemleistungsfaktor einer Photovoltaikanlage sollte im Allgemeinen einen Wert von mindestens 70 Prozent erreichen. Optimierte Systeme erreichen Werte bis zu 90 Prozent. Im eingebauten Zustand kann unter idealen Einbaubedingungen der Stromertrag einer Ein-Kilowatt-Peak-Photovoltaik-Anlage (entspricht acht bis zehn Quadratmetern Fläche) in Deutschland je nach Standort zwischen 700 bis 1.100 Kilowattstunden Strom pro Jahr betragen.

Windkraftanlagen

Im urbanen Raum sind im gebäudenahen Bereich Windkraftanlagen eher selten sinnvoll. Kleine Windkraftanlagen dienen primär der Deckung des Eigenstrombedarfs des Gebäudes und sind auch nur dann wirtschaftlich! Die Erteilung einer Baugenehmigung ist in der Regel an den Nachweis gebunden, dass mindestens 50 Prozent des Jahresertrags selbst genutzt werden.

! Tipp

Dimensionieren Sie Ihre Photovoltaikanlage 10 bis 20 Prozent größer als für die Deckung des Endenergiebedarfs für die Gebäudetechnik und die Haushaltsgeräte erforderlich ist, um zum Jahresende sicher im Plus zu landen.

Technologieoffenheit und Vielfalt in der Planung

Am Beispiel eines durchschnittlichen Einfamilienhauses wird im Folgenden die mögliche Realisierung des Effizienzhaus Plus Standards mit unterschiedlichen Technologien dargestellt. Die Kubatur des Gebäudes repräsentiert das Prüfgebäude, das für die Softwarehersteller zur Vergleichsrechnung der DIN V 18599 genutzt wird, mit den folgenden Kennwerten³:

Kennwerte

- beheizte Nettogrundfläche: 150,8 Quadratmeter
- Dachfläche Süd/Nord: 71 Quadratmeter

U-Werte (in Watt je Quadratmeter und Kelvin)

- Außenwand: 0,11
- Dach: 0,11

- Oberste Geschossdecke: 0,11
- Kellerdecke: 0,12
- Kelleraußenwand: 0,28
- Fenster: 0,80
- Dachfenster: 1,20

(Die vorgenannten U-Werte sind exemplarisch und stellen einen guten Wärmeschutz dar. Es können durchaus abweichende U-Werte zur Ausführung kommen, dann muss jedoch die Effizienz der Anlagentechnik hieran angepasst werden).

Das dokumentierte Typgebäude wurde exemplarisch mit verschiedenen Anlagentechniken ausgerüstet, um die Planungsvariabilität und Technologieoffenheit

Abbildung 13: Typgebäude Einfamilienhaus



³ Quelle: BBSR, Erarbeitung einer Software-Lösung für die Anwendung der DIN V 18599 für den Wohnungsbau für Zwecke der Vergleichsrechnung für Förderfälle Akz 10.08.17.7-13.19

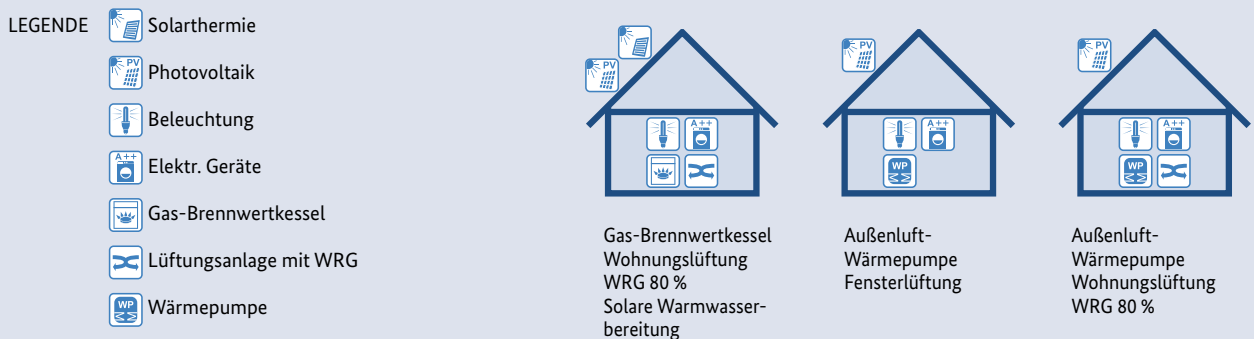
des Standards aufzuzeigen. Für die ausgewählten Anlagentechniken wurde errechnet und in der Tabelle dargestellt, wie groß eine zu installierende Photovoltaikfläche (mäßig belüftete Module, polykristallines Silizium) sein muss, um den Effizienzhaus Plus Standard zu erfüllen.

So müssen bei einem Gebäude, das mit einem Gas-Brennwertkessel, einer solaren Warmwasserbereitung und einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (WRG) (Variante 1) ausgestattet ist, zur Substitution des erforderlichen Endenergiebedarfs etwa 130 Quadratmeter Photovoltaikmodule installiert werden. Dies erfordert, neben den verbleibenden Flächen des Süddaches, weitere geeignete Flächen auf dem Grundstück (Garage, etc.). Bei der Installation von Wärmepumpen zur Wärmeerzeugung (Varianten 2 und 3) reichen die Flächen des Süddaches allein aus. Hier kann die Fläche der Photovoltaikanlage bei Nutzung einer Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Variante 3) gegenüber dem Gebäude mit natürlicher Lüftung (Variante 2) weiter reduziert werden.

Die Vergleichsrechnungen zeigen, dass ein sehr energieeffizientes Gebäude erforderlich ist, um in Ergänzung mit photovoltaischen Systemen ein Effizienzhaus Plus zu realisieren. Weder die alleinige Installation von Photovoltaiksystemen noch die alleinige Realisierung eines energieeffizienten Gebäudes genügen zur Zielerreichung. Erst die Kombination aller Maßnahmen führt zum gewünschten Effizienzhaus Plus.

Auch in Bezug auf die derzeitigen wirtschaftlichen Rahmenbedingungen, wie z. B. der niedrigen Einspeisevergütung und der aktuellen hohen Strompreise, ist eine Verbesserung der Energieeffizienz der Gebäude zur Reduzierung der erforderlichen Photovoltaikfläche trotz weiter sinkender Kosten für Photovoltaikanlagen empfehlenswert. Darüber hinaus sollten möglichst hohe Eigennutzungsgrade des selbst generierten erneuerbaren Stroms, z. B. durch die Verwendung von Batterien, angestrebt werden.

Abbildung 14: Vergleichsrechnung zu Ermittlung der notwendigen PV-Fläche eines Wohngebäudes



	Variante 1:	Variante 2:	Variante 3:
Ohne Berücksichtigung von Photovoltaik (PV)			
Endenergiebedarf [kWh/(m ² _{beheizte NGF} ·a)]			
Heizung, Warmwasser, Lüftung, Hilfsenergie	58	24	21
Haushalt und Beleuchtung	20	20	20
Gesamt	78	44	41
Primärenergiebedarf (ohne PV) [kWh/(m ² _{beheizte NGF} ·a)]	98	79	73
Mit Berücksichtigung von Photovoltaik (PV)			
Benötigte Photovoltaik-Fläche [m ²]	128	56	51
Endenergiebedarf [kWh/(m ² _{beheizte NGF} ·a)]	-0,1	-0,8	-0,3
Primärenergiebedarf [kWh/(m ² _{beheizte NGF} ·a)]	-41,8	-1,3	-0,4
Eigennutzungsgrad [%]	32	59	62

Forschung

Effizienzhaus Plus: eine Initiative des Bundes

Das Prinzip des Effizienzhaus Plus konnte ab 2011 seine Praxistauglichkeit im Rahmen eines Forschungsförderungsprogramms unter Beweis stellen. 37 Gebäude wurden durch verschiedene Forschungseinrichtungen einem intensiven Monitoringprogramm unterzogen. Darüber hinaus erfolgte eine Querauswertung aller Ergebnisse durch das Fraunhofer-Institut für Bauphysik. Hierbei wurden die wesentlichen Leistungsdaten wie Heizenergieverbrauch, Stromverbrauch und Stromgewinnung, Erneuerbare-Energien-Eigennutzungsgrad und Primärenergieverbrauch sowie Behaglichkeitsparameter erfasst und bewertet.

Neben einem Quervergleich aller Projekte hinsichtlich der wesentlichen Leistungsdaten und der Erfüllung des Effizienzhaus Plus Standards im Praxistest wurden die angesetzten Berechnungsgrößen für den Stromverbrauch der Beleuchtung, der Haushaltsgeräte und

-prozesse validiert. Ergänzend sind die Modellprojekte in einem sozialwissenschaftlichen Begleitprogramm ausgewertet worden.

Mit den Ergebnissen sollten das Energiemanagement von modernen Gebäuden verbessert und die notwendigen Komponenten für die energieeffiziente Gebäudehülle und die Nutzung erneuerbarer Energien fortentwickelt werden. Die Gebäude wurden unter realen, das heißt bewohnten, Bedingungen getestet und evaluiert. Bis Sommer 2016 wurden alle 37 Projekte bezogen und haben bis Herbst 2018 eine zweijährige Monitoringphase absolviert. Unter den realisierten Gebäuden befinden sich sowohl Ein- und Zweifamilienhäuser als auch Mehrfamilienhäuser mit 6 bis 74 Wohneinheiten.

Nähere Informationen zum Netzwerk „Effizienzhaus Plus“: www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus

Abbildung 15: Entwicklung des Effizienzhaus Plus Gebäudestandards vom Prototyp bis ins Quartier



Vom Forschungs-Modellvorhaben zum Informationszentrum

Das Effizienzhaus Plus mit Elektromobilität in Berlin bildete den Auftakt für die Forschungsaktivitäten des Bundes auf dem Gebiet dieser neuen Bauweise. Das von Herrn Professor Werner Sobek entworfene Modellgebäude steht in der Fasanenstraße 87a in 10723 Berlin-Charlottenburg und wurde am 7. Dezember 2011 von Bundeskanzlerin Dr. Angela Merkel eröffnet.

Nutzung

Das Forschungsgebäude diente zunächst als Wohngebäude für zwei Testfamilien jeweils für die Dauer von einem Jahr. In den Zwischenzeiten bot es über 30.000 Interessierten ein umfassendes öffentliches Informations- und Veranstaltungsprogramm zum energieeffizienten Bauen. Seit 2017 steht das Gebäude der Öffentlichkeit in neuer Funktion als Informations- und Kompetenzzentrum für zukunftsgerechtes Bauen zur Verfügung. Es lädt zum Ansehen, Informieren und Mitgestalten zukunftsgerechten Bauens ein und steht als Dialogplattform für Netzwerktreffen, Vorträge und Veranstaltungen sowie für Webinare zur Verfügung.

Konzept

Das Einfamilienhaus umfasste ursprünglich etwa 130 Quadratmeter Wohnfläche und war für eine vierköpfige Familie ausgelegt. Das vorgelagerte „Schaufenster“ diente zum Informieren über energiesparendes Bauen und Parken und Laden der Elektromobile (E-Autos und E-Bikes). Zwischen dem zweigeschossigen Wohnbereich und dem „Schaufenster“ verläuft der sogenannte statische „Energiekern“ des Gebäudes, in dem sich die gesamte Haustechnik und die Nassräume befinden.

Planung

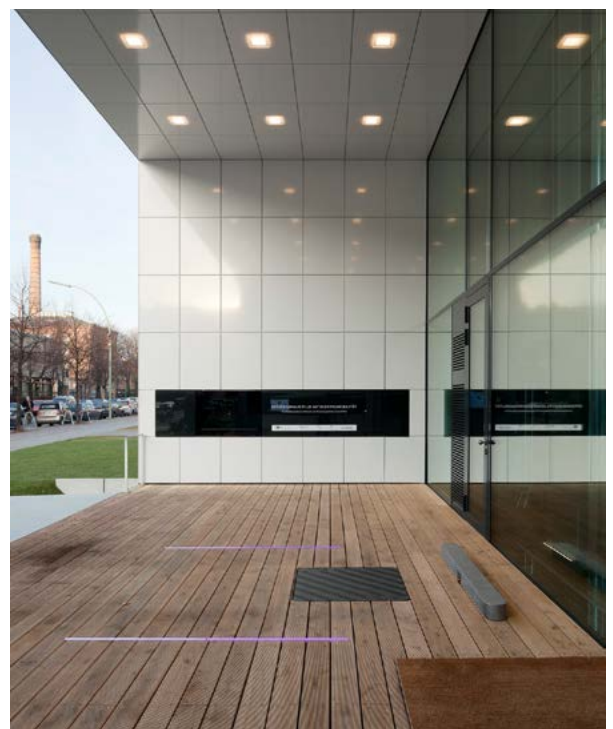
Das temporäre Gebäude sollte energieeffizient, nachhaltig und flexibel nutzbar sein sowie einen hohen Wohnkomfort sicherstellen. Heute zeigt sich, dass es alle seine Anforderungen erfüllt hat. Bestandteil der Planung des Effizienzhauses waren dynamisch gekoppelte Anlagen- und Gebäudesimulationen. Sie umfassten die bauphysikalischen Eigenschaften der Gebäudehülle, die vorgesehene Nutzung, das voraussichtliche Nutzerverhalten, die Gebäudetechnik sowie die örtlichen Klimadaten.



Die Frontseite ...



... und die „Gartenseite“ des Pilot-Modellgebäudes in Berlin



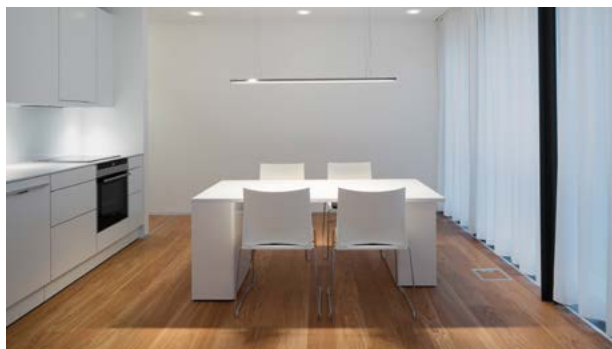
Schaufenster mit Eingangsbereich



Blick in eines der Kinderzimmer im Obergeschoss



Blick in das Elternschlafzimmer im Obergeschoss



Blick in den Essbereich im Erdgeschoss



Blick in den Technikraum



Blick in das Wohnzimmer im Erdgeschoss

Neben den energetischen Aspekten sollte das Projekt aber auch auf Fragen der Nachhaltigkeit eine Antwort geben. Das Gebäude erhielt in Anlehnung an die Kriterien des Bewertungssystems Nachhaltiges Bauen (BNB) die Goldzertifizierung. Als weiteres Ziel ist die Untersuchung der vollständigen Rezyklierbarkeit dieses hochenergieeffizienten Hauses geplant.

Heute

In 2016 wurde das Gebäude modifiziert und barrierefrei gestaltet. Es erhielt eine Außentreppe zur Wahrung von Brandschutzvorgaben und eine größere Ausstellungsfläche im Obergeschoss durch einen Rückbau von Trennwänden. Nach der Umbauphase steht das Gebäude seit 2017 als „Informations- und Kompetenzzentrum für zukunftsgerechtes Bauen“ der Öffentlichkeit zur Verfügung. In seiner neuen Funktion als „Think Tank“ soll es Innovationen im Bauwesen und den Wissenstransfer bauangewandter Forschung den Weg in eine klimaneutrale Gesellschaft bis 2050 im Gebäudebereich weisen.

Webinare aus dem „Effizienzhaus Plus“:

- Ortsunabhängig
- Fachwissen zu verschiedenen Themen des Bauens der Zukunft
- Online Fragerunden



Quelle: ZEBAU GmbH

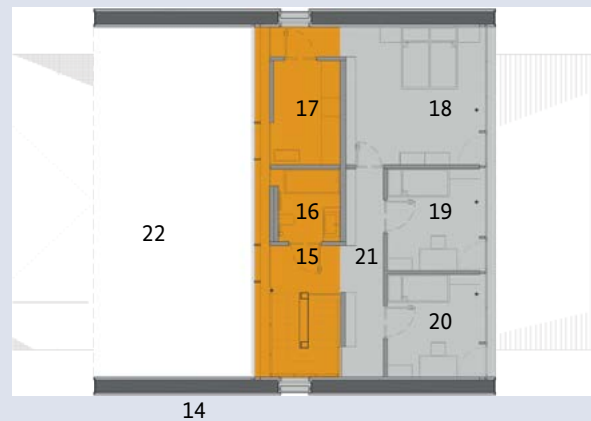
Mehr auf www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/dialog-zum-bauen-der-zukunft

Abbildung 16: Grundriss des Forschungs-Modellvorhabens von 2011 bis 2017



Grundriss Erdgeschoss Wohnnutzung

- | | |
|--------------------|---------------------------------------|
| 1 Rampe | 7 Küche |
| 2 Schaufenster | 8 Essen |
| 3 Eingangsbereich | 9 Wohnen |
| 4 Garderobe | 10 Terrasse |
| 5 WC, barrierefrei | 11 Informationsdisplay und Bildschirm |
| 6 Haustechnik | |



Grundriss Obergeschoss Wohnnutzung

- | | |
|---------------------------|--------------|
| 12 leitfähiges Ladesystem | 18 Eltern |
| 13 induktives Ladesystem | 19 Kind 1 |
| 14 PV-Fassade | 20 Kind 2 |
| 15 Treppe/Flur | 21 Flur |
| 16 Bad/WC | 22 Luftraum |
| 17 Hauswirtschaftsraum | Schaufenster |

Das Effizienzhaus Plus Netzwerk

Das Effizienzhaus Plus Netzwerk wird aus allen aktiven Begleitern der geförderten Modellvorhaben sowie ergänzenden Aktivitäten der Forschungsinitiative gebildet. Neben dem Fördermittelgeber und -nehmer sowie den begleitenden Architekten, Ingenieuren und Forschungsinstituten besteht das Netzwerk mittlerweile aus weit über 150 Partnern aus der bau- und anlagentechnischen Industrie, die diese Gebäudekonzepte erfolgreich am Markt multiplizieren. Vielversprechende Ideen, Technologien und Materialien sollen so schneller den Weg in die Praxis finden. Mittelfristig soll es gelingen, Effizienzhäuser Plus zu einer noch größeren Marktdurchdringung zu verhelfen und sie zu noch attraktiveren Preisen zu errichten. Das Netzwerk besteht aus den folgenden Kategorien:

Ein- und Zweifamilienhäuser

Den überwiegenden Teil der Demonstrationsgebäude des Forschungsvorhabens bilden Ein- und Zweifamilienhäuser. Diese werden entweder wie in der FertighausWelt in Köln-Frechen und in Bremen als Musterhäuser genutzt, wie in Berlin, Brieselang, Deggendorf, Burghausen und Hamburg für eine bestimmte Zeit von Testfamilien bewohnt oder wie in allen übrigen Gebäuden auf Dauer von Familien mit zwei bis fünf Mitgliedern genutzt.

Mehrfamilienhäuser

Nachdem sich die Umsetzung des Konzeptes in den ersten Jahren auf Ein- und Zweifamilienhäuser konzentrierte, wurde im Laufe der nächsten Jahre die Übertragbarkeit der Bauweise auf Mehrfamilienhäuser erprobt. Hierzu entstanden in Berlin und Frankfurt größere Wohnanlagen als Effizienzhäuser Plus. Im Vergleich zum Einfamilienhaus verschiebt sich das Verhältnis der Dachfläche zur Fassadenfläche. Daher müssen Fassadenflächen verstärkt zur regenerativen Energieerzeugung herangezogen werden.

Sanierte Bestandsgebäude

Die große Herausforderung der Energiewende ist der Gebäudebestand. Erprobt und bewertet werden in der Forschungsinitiative zwei Mehrfamilien-Wohnzeilen in Neu-Ulm sowie zwei Einfamilienhäuser in Hamburg und Darmstadt. Durch geeignete planerische und bauliche Maßnahmen im Bereich der Grundrissgestaltung,

der Ertüchtigung der Gebäudehülle und der haustechnischen Anlagen lassen sich der Effizienzhaus Plus Standard und ein hoher Wohnkomfort umsetzen.

Internationale Projekte

Im Jahr 2013 wurde das erste Pilotprojekt in Japan realisiert. Dabei war es das Ziel, aufzuzeigen, dass eine negative Energiebilanz eines Gebäudes auch in Japan unter den besonderen nutzer- und klimaspezifischen Anforderungen möglich ist. Im europäischen Ausland existiert seit dem Herbst 2017 eine Zusammenarbeit mit Tschechien. Hier werden mögliche Modellprojekte zur Umsetzung entwickelt.

Bildungsbauten

Neben Wohngebäuden sind auch andere Gebäudearten geeignet, als Effizienzhäuser Plus errichtet und betrieben zu werden. Im besonderen Maße trifft dies auf Schulen und andere Bildungsbauten zu, die an den Tageszeiten die meiste Energie verbrauchen, wenn Sie stromproduzierende Anlagen bereitstellen. In einem 2015 eigens aufgelegten Förderprogramm werden sieben Gebäude realisiert.

Quartierslösungen

Wenn sich die Bewohner von Wohnquartieren zu Energiegemeinschaften zusammenschließen, lassen sich die lokal generierten erneuerbaren Energien häufig sehr viel effizienter nutzen, als dies bei singulären Objekten möglich ist. Siedlungslösungen, die einem energetischen Gesamtkonzept folgen, das von der dezentralen Energieerzeugung über die intelligente Vernetzung der Häuser bis hin zur Speicherung und Nutzung der regenerativen Energie reicht, sind daher von besonderem Interesse. In der FertighausWelt Wuppertal wird dieser Ansatz mit 19 Einfamilienhäusern im Effizienzhaus Plus Niveau erprobt.

Alle Projekte werden auf der Internetseite www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus veröffentlicht.

Abschlussberichte unter: www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/forschung/abschlussberichte-der-modellvorhaben/

Abbildung 17: Standorte der Demonstrationsgebäude der Förderprogramme „Effizienzhaus Plus“ des Bundes



Ein- und Zweifamilienhäuser (Neubau)



Berlin Pilotgebäude des Bundes
 Beheizte Nettogrundfläche: 149 m²
 Luft-Wasser-Wärmepumpe, PV = 22,1 kW_{Peak}
 Batterie 40,0 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	9.633
1. Messjahr:	906
2. Messjahr:	5.530



Brieselang Elbe-Haus M1 Massivhaus
 Beheizte Nettogrundfläche: 137 m²
 Luft-Wasser-Wärmepumpe, PV = 9,3 kW_{Peak}
 Solarthermie 10 m², Batterie 24,0 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	3.921
1. Messjahr:	1.454
2. Messjahr:	1.495



Bremen HO Immobilien & Baukonzepte
 Beheizte Nettogrundfläche: 202 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe
 PV = 8,7 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	546
1. Messjahr:	-
2. Messjahr:	2.213



Leonberg-Warmbronn Haus Berghalde
 Beheizte Nettogrundfläche: 260 m²
 Wasser-Wasser-Wärmepumpe, PV = 15,0 kW_{Peak}
 Batterien 7,0 kWh + 20,0 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	6.947
1. Messjahr:	3.160
2. Messjahr:	6.096



Münnerstadt
 Beheizte Nettogrundfläche: 327 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, PV = 23,7 kW_{Peak}
 Batterie 11,0 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	12.529
1. Messjahr:	11.710
2. Messjahr:	13.399



Eußenheim
 Beheizte Nettogrundfläche: 288 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, Eisspeicher 3.000 l
 PV = 13,4 kW_{Peak} Solarthermie 11,0 m²



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	8.816
1. Messjahr:	4.439
2. Messjahr:	5.760

Legende Technologien:



- Wärmepumpe _____
- Photovoltaik _____
- Solarthermie _____
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung _____
- Ladestation Elektrofahrzeug _____
- Eisspeicher _____
- Batteriespeicher _____

Ein- und Zweifamilienhäuser



Köln HUF HAUS Green[r]evolution
 Beheizte Nettogrundfläche: 283 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, PV = 14,5 kW^{Peak}
 Batterie 13,2 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 2.980
 1. Messjahr: -2.377
 2. Messjahr: 1.886



Köln SchwörerHaus Plan 550
 Beheizte Nettogrundfläche: 139 m²
 Luft-Luft-Wärmepumpe, PV = 11,0 kW^{Peak}
 Solarthermie 8,4 m²



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 2.263
 1. Messjahr: 4
 2. Messjahr: 1.960



Köln Bien-Zenker Concept-M
 Beheizte Nettogrundfläche: 194 m²
 Luft-Luft-Wärmepumpe + Sole-Wasser-Wärmepumpe
 PV = 16,3 kW^{Peak}, Batterie 8,4 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 4.957
 1. Messjahr: 1.235
 2. Messjahr: 2.997



Köln Fingerhaus VIO 400
 Beheizte Nettogrundfläche: 179 m²
 Luft-Wasser-Wärmepumpe
 PV = 8,5 kW^{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 349
 1. Messjahr: -1.388
 2. Messjahr: 703



Köln WeberHaus Generation 5.0
 Beheizte Nettogrundfläche: 159 m²
 Luft-Luft-Wärmepumpe, PV = 8,8 kW^{Peak}
 Batterie 3,5 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 2.067
 1. Messjahr: -1.097
 2. Messjahr: -198

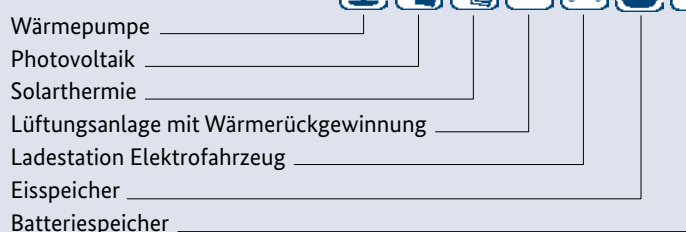


Köln LUXHAUS frame
 Beheizte Nettogrundfläche: 193 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe
 PV = 9,9 kW^{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 1.448
 1. Messjahr: -1.166
 2. Messjahr: -1.941

Legende Technologien:



Ein- und Zweifamilienhäuser



Stelzenberg ecolodge
 Beheizte Nettogrundfläche: 113 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, Eisspeicher 1.050 l
 PV = 8,5 kW_{Peak}, Solarthermie 14,0 m²



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose:	1.920
1. Messjahr:	2.774
2. Messjahr:	3.594



Schwabach
 Beheizte Nettogrundfläche: 244 m²
 Luft-Luft-Wärmepumpe
 PV = 14,4 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose:	2.648
1. Messjahr:	6.868
2. Messjahr:	6.186



Weifa
 Beheizte Nettogrundfläche: 251 m²
 Luft-Wasser-Wärmepumpe, PV = 30,0 kW_{Peak}
 Batterie 14,4 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose:	15.125
1. Messjahr:	18.865
2. Messjahr:	19.495



Burghausen Schlagmann/BayWa
 Beheizte Nettogrundfläche: 176 m², Wasser-Wasser-Wärmepumpe, Saisonaler Speicher 48.000 Liter,
 PV = 10,5 kW_{Peak}, Solarthermie 51 m², Batterie 10,8 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose:	5.961
1. Messjahr:	2.239
2. Messjahr:	1.727



Unterkirnach
 Beheizte Nettogrundfläche: 282 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, PV = 26,2 kW_{Peak}
 Batterie 12,0 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose:	11.003
1. Messjahr:	7.574
2. Messjahr:	9.666

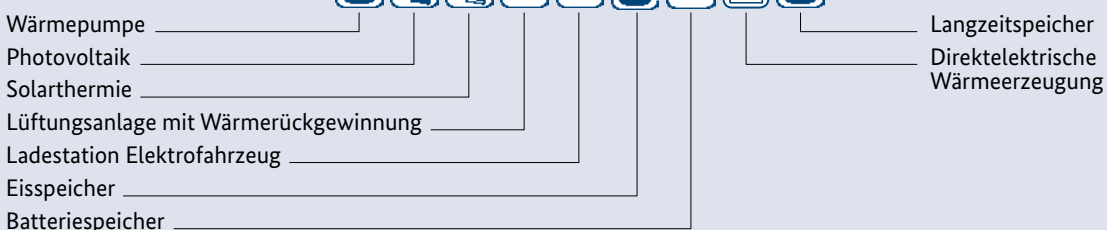


Lüneburg
 Beheizte Nettogrundfläche: 129 m²
 Elektrische Direktheizung
 PV = 12,6 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose:	3.424
1. Messjahr:	7.258
2. Messjahr:	8.152

Legende Technologien:



Ein- und Zweifamilienhäuser



Bad Homburg Pro Klimahaus
 Beheizte Nettogrundfläche: 169 m²
 Luft-Wasser-Wärmepumpe
 PV = 9,4 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 711
 1. Messjahr: -9.508
 2. Messjahr: -664



Kassel
 Beheizte Nettogrundfläche: 280 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, PV = 15,8 kW_{Peak}
 Batterie 6,3 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 3.118
 1. Messjahr: 2.366
 2. Messjahr: 2.470



Bremen Solar Plus Haus
 Beheizte Nettogrundfläche: 166 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, PV = 10,8 kW_{Peak}
 Solarthermie 10,0 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 938
 1. Messjahr: -201
 2. Messjahr: 391



Buchen-Hollerbach
 Beheizte Nettogrundfläche: 230 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe
 PV = 12,4 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 1.463
 1. Messjahr: 4.411
 2. Messjahr: 3.687



Deggendorf
 Beheizte Nettogrundfläche: 167 m²
 Pufferspeicher 9.200 Liter, PV = 7,8 kW_{Peak}
 Solarthermie 49,0 m², Batterie 8,0 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 1.807
 1. Messjahr: 2.820
 2. Messjahr: 1.389

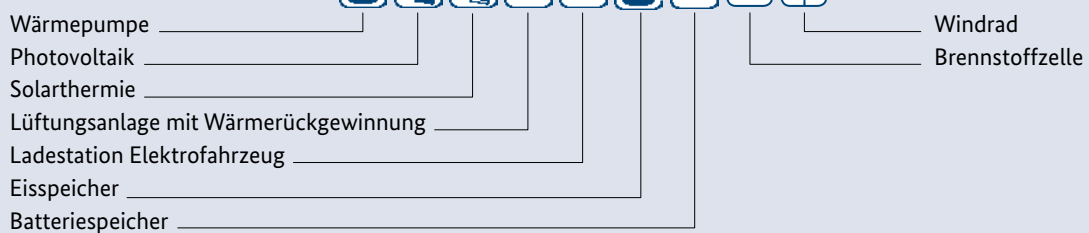


Poing/Grub Baufritz „Alpenchic“
 Beheizte Nettogrundfläche: 248 m²
 PV = 12,6 kW_{Peak}, Batterie 3,7 kWh,
 Brennstoffzelle 20 kW_{thermisch}



Endenergieüberschuss (kWh/a):
 Prognose: 236
 1. Messjahr: -5.816
 2. Messjahr: -5.688

Legende Technologien:



Ein- und Zweifamilienhäuser



Riedstadt-Crumstadt
 Beheizte Nettogrundfläche: 183 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe
 PV = 12,0 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	2.486
1. Messjahr:	7.413
2. Messjahr:	7.457



Stuttgart Aktivhaus B10
 Beheizte Nettogrundfläche: 82 m²
 Wasser-Wasser-Wärmepumpe, PV = 10,4 kW_{Peak}
 Batterie 11,0 kWh



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	-
1. Messjahr:	1.408
2. Messjahr:	-2.316

Legende Technologien:



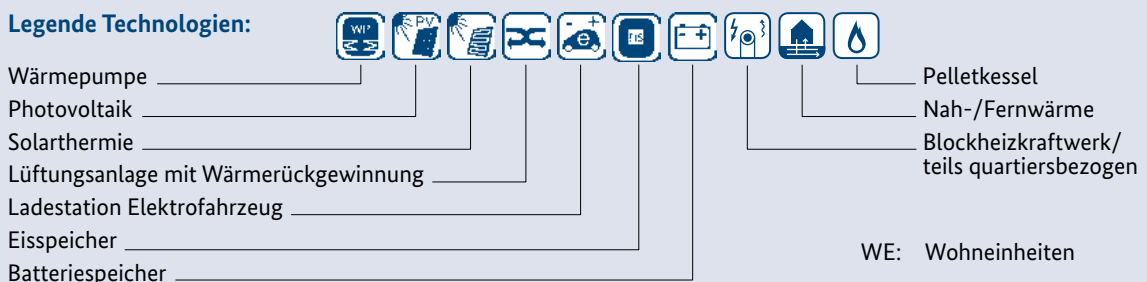
- Wärmepumpe _____
- Photovoltaik _____
- Solarthermie _____
- Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung _____
- Ladestation Elektrofahrzeug _____
- Eisspeicher _____
- Batteriespeicher _____

Mehrfamilienhäuser (Neubau)

	<p>Frankfurt am Main Aktiv-Stadthaus Beheizte Nettogrundfläche: 6.640 m², WE: 74 Wasser-Wasser-Wärmepumpe, PV = 370,0 kW_{Peak} Batterie 250,0 kWh</p> 	<p>Endenergieüberschuss (kWh/a):</p> <table border="1"> <tr><td>Prognose</td><td>43.622</td></tr> <tr><td>1. Messjahr:</td><td>2.732</td></tr> <tr><td>2. Messjahr:</td><td>-5.046</td></tr> </table>	Prognose	43.622	1. Messjahr:	2.732	2. Messjahr:	-5.046
Prognose	43.622							
1. Messjahr:	2.732							
2. Messjahr:	-5.046							
	<p>Frankfurt am Main Riedberg Beheizte Nettogrundfläche: 1.599 m², WE: 17 Sole-Wasser-WP*, PV = 95,2 kW_{Peak} Batterie 60,0 kWh</p> 	<p>Endenergieüberschuss (kWh/a):</p> <table border="1"> <tr><td>Prognose</td><td>24.524</td></tr> <tr><td>1. Messjahr:</td><td>-20.149</td></tr> <tr><td>2. Messjahr:</td><td>-3.241</td></tr> </table> <p>*WP = Wärmepumpe</p>	Prognose	24.524	1. Messjahr:	-20.149	2. Messjahr:	-3.241
Prognose	24.524							
1. Messjahr:	-20.149							
2. Messjahr:	-3.241							
	<p>Berlin LaVidaVerde Beheizte Nettogrundfläche: 1.207 m², WE: 18 Luft-Wasser-Wärmepumpe, PV = 78,1 kW_{Peak}</p> 	<p>Endenergieüberschuss (kWh/a):</p> <table border="1"> <tr><td>Prognose</td><td>3.522</td></tr> <tr><td>1. Messjahr:</td><td>2.986</td></tr> <tr><td>2. Messjahr:</td><td>-17.872</td></tr> </table>	Prognose	3.522	1. Messjahr:	2.986	2. Messjahr:	-17.872
Prognose	3.522							
1. Messjahr:	2.986							
2. Messjahr:	-17.872							
	<p>Tübingen Licht + Luft Beheizte Nettogrundfläche: 891 m², WE: 9 Fernwärme, PV = 36,0 kW_{Peak}</p> 	<p>Endenergieüberschuss (kWh/a):</p> <table border="1"> <tr><td>Prognose</td><td>< 0*</td></tr> <tr><td>1. Messjahr:</td><td>-21.486</td></tr> <tr><td>2. Messjahr:</td><td>-18.315</td></tr> </table>	Prognose	< 0*	1. Messjahr:	-21.486	2. Messjahr:	-18.315
Prognose	< 0*							
1. Messjahr:	-21.486							
2. Messjahr:	-18.315							
	<p>Frankfurt am Main Cordierstraße Beheizte Nettogrundfläche: 1.170 m², WE: 17 Blockheizkraftwerk, PV = 49,7 kW_{Peak} Solarthermie 40,0 m²</p> 	<p>Endenergieüberschuss (kWh/a):</p> <table border="1"> <tr><td>Prognose:</td><td>6.533*</td></tr> <tr><td>1. Messjahr:</td><td>-23.879</td></tr> <tr><td>2. Messjahr:</td><td>-25.838</td></tr> </table>	Prognose:	6.533*	1. Messjahr:	-23.879	2. Messjahr:	-25.838
Prognose:	6.533*							
1. Messjahr:	-23.879							
2. Messjahr:	-25.838							
	<p>Geisenheim Internatsschule Hansenberg Beheizte Nettogrundfläche: 331 m², WE: 4 Luft-Wasser-Wärmepumpe, PV = 18,9 kW_{Peak}</p> 	<p>Endenergieüberschuss (kWh/a):</p> <table border="1"> <tr><td>Prognose</td><td>4.816</td></tr> <tr><td>1. Messjahr:</td><td>2.426</td></tr> <tr><td>2. Messjahr:</td><td>3.851</td></tr> </table>	Prognose	4.816	1. Messjahr:	2.426	2. Messjahr:	3.851
Prognose	4.816							
1. Messjahr:	2.426							
2. Messjahr:	3.851							
	<p>Bischofswiesen EFH-Plus in den Bergen Beheizte Nettogrundfläche: 628 m², WE: 6 Wasser-Wasser-Wärmepumpe, PV = 41,6 kW_{Peak} Batterie 50,0 kWh</p> 	<p>Endenergieüberschuss (kWh/a):</p> <table border="1"> <tr><td>Prognose:</td><td>10.885</td></tr> <tr><td>1. Messjahr:</td><td>17.601</td></tr> <tr><td>2. Messjahr:</td><td>13.143</td></tr> </table>	Prognose:	10.885	1. Messjahr:	17.601	2. Messjahr:	13.143
Prognose:	10.885							
1. Messjahr:	17.601							
2. Messjahr:	13.143							

* Negative Endenergiebilanz nicht erreicht. Objektspezifische Anpassung des Effizienzhaus Plus Standards durch Fördergeber.

Legende Technologien:



Sanierte Bestandsgebäude



Neu-Ulm Pfulher Straße 4 und 6
 Beheizte Nettogrundfläche: 600 m², WE: 10
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, PV = 45,8 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose	8.824
1. Messjahr:	19.753
2. Messjahr:	18.781



Neu-Ulm Pfulher Straße 12 und 14
 Beheizte Nettogrundfläche: 678 m², WE: 8
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, PV = 31,2 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose	2.022
1. Messjahr:	-8.730
2. Messjahr:	-9.198



Darmstadt Energy+ Home
 Beheizte Nettogrundfläche: 185 m²
 Luft-Wasser-Wärmepumpe
 PV = 12,6 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	1.930
1. Messjahr:	266
2. Messjahr:	-367



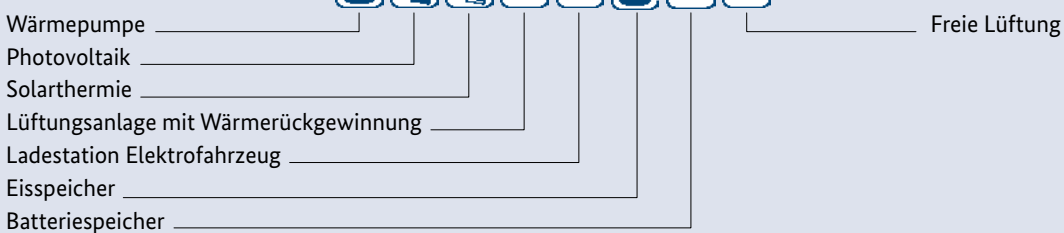
Hamburg VELUX LichtAktiv Haus
 Beheizte Nettogrundfläche: 132 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, Fensterlüftung,
 PV = 8,8 kW_{Peak}, Solarthermie 19,8 m²



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose:	1.539
1. Messjahr:	-2.155/2015
2. Messjahr:	-1.793/2016

Legende Technologien:



Effizienzhaus Plus international

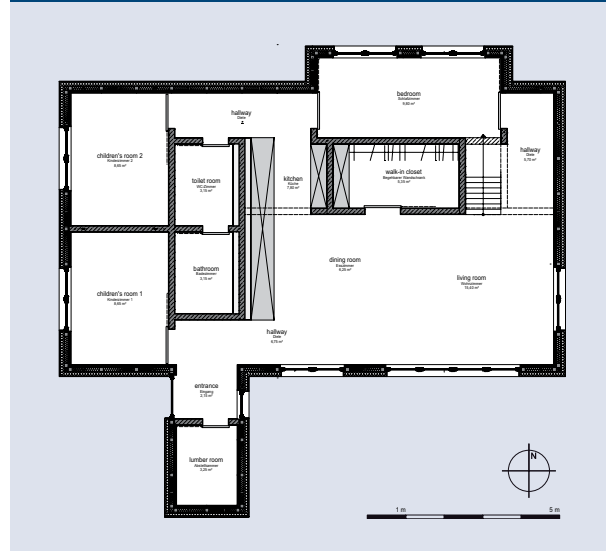
Der Effizienzhaus Plus Ansatz wurde auf internationaler Ebene im Jahr 2013 an einem Pilotprojekt in Japan realisiert. Hier waren besondere nutzer- und klimaspezifische Randbedingungen sowie baukonstruktive Aspekte zu berücksichtigen.

Japanische Haushalte verbrauchen im Vergleich zu durchschnittlichen Einfamilienhaushalten in Deutschland etwa dreimal so viel Warmwasser. Zudem ist eine Kühlung generell unvermeidbar, da das Außenklima am Standort des Gebäudes in Takamatsu, an der Küste der Insel Shikoku (Südwest Japan, Präfektur Kagawa), heiß und feucht ist. Die traditionelle japanische Bauweise weicht von der Realisierung luftdichter Gebäudehüllen, wie es auch das Effizienzhaus Plus erfordert, ab.

Die Umsetzung der planerischen und technischen Details stellte eine große Herausforderung dar, die mit einem hohen Erkenntnisgewinn gemeistert wurde. Fachlich beratend hat das Öko-Zentrum Nordrhein-Westfalen das Projekt begleitet und die lange bestehende Kooperation zwischen den Bauministerien von Japan und Deutschland umgesetzt. In Japan hat das Projekt sowohl in der Politik als auch in der wissenschaftlichen Fachwelt für eine große Aufmerksamkeit gesorgt. Der Zeitraum für Planung und Fertigstellung fiel in die Zeit nach der Reaktorkatastrophe von Fukushima, als Japan vor dem Hintergrund der Ereignisse einem starken Druck zur Energieersparnis ausgesetzt war. Zahlreiche Delegationen, unter anderem aus dem Tokioter Bauministerium besuchten das Haus, was mit dazu beitrug ein Gesetz zu Mindeststandards von Wohngebäuden zu erlassen.

Das in Holzrahmenbauweise erstellte Gebäude mit einer beheizten Nettogrundfläche von ungefähr 100

Abbildung 18: Grundriss Effizienzhaus Plus Takamatsu, Japan



Quadratmetern wurde von Beginn an als Niedrigenergiehaus geplant. Dabei wurde besonderer Wert auf die Ausrichtung, die Dämmqualität, die Konstruktion und eine effiziente Anlagentechnik gelegt. Als Wärme-erzeuger dient eine Luftwärmepumpe für Heizung (4,0 Kilowatt) und Kühlung (2,8 Kilowatt). Die Übergabe erfolgt über Heizkörper und Kühldecken. Die Warmwasserbereitung wird von einer Solarthermieanlage (5,85 Quadratmeter) unterstützt. Eine zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung sorgt für die Versorgung des Gebäudes mit Frischluft. Eine 70 Quadratmeter große Photovoltaikanlage mit monokristallinen Modulen ist auf dem 35 Grad geneigten Süd-Dach installiert. Sie hat eine Nennleistung von 10,8 Kilowatt-Peak. Das Gebäude erzeugte im Jahr 2017 einen Stromüberschuss von 6.023 Kilowattstunden.



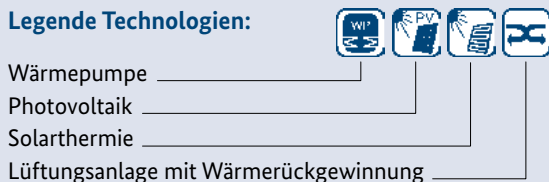
Japan Takamatsu
 Beheizte Nettogrundfläche: 96,7 m²,
 Luft-Wasser-Wärmepumpe, PV = 10,8 kW^{Peak}
 Solarthermie 5,85 m²



Endenergieüberschuss (kWh/a):

Prognose	1.199
1. Messjahr:	6.023

Legende Technologien:



Bildungsbauten

Bildungsbauten, die die Anforderungen des Effizienzhaus Plus Standards erfüllen, gehören zu den energieeffizientesten Gebäuden überhaupt. Im Rahmen des Förderprogramms Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus Standard wird bis 2024 in elf (Teil-)Projekten untersucht, wie das Ziel der positiven Energiebilanz in der Praxis umgesetzt werden kann und welche Erkenntnisse sich aus diesen Pilotprojekten für die Planung zukünftiger Bildungsbauten ableiten lassen.

Insgesamt sieben Bauherren stellen sich der Herausforderung, einen Bildungsbau zu realisieren, der jahresweise bilanziert mehr Energie produziert, als für Betrieb und Nutzung erforderlich ist. Die Bandbreite der Bauaufgaben ist groß und reicht vom Erweiterungsbau einer Grundschule in Giebelstadt bei Würzburg bis zum Neubau eines kompletten Fakultätsgebäudes für die Hochschule Ulm. Neben einem weiteren Forschungs- und Seminargebäude (Hochschule Ansbach, Campus Feuchtwangen) nehmen zwei berufliche Schulzentren (Hockenheim und Mühldorf am Inn) und zwei Gymnasien (Kaufbeuren und Neutraubling) am Förderprogramm teil. Die beiden Gymnasien haben die Besonderheit, dass in einem ersten Schritt zunächst ein Erweiterungsbau errichtet wird und im Anschluss daran die Bestandsgebäude aus den 1970er-Jahren im Effizienzhaus Plus Standard saniert werden. Für alle Projekte ist nach Baufertigstellung ein 24-monatiges technisches Monitoring vorgesehen, um den Betrieb der Gebäude zu optimieren und das Erreichen der energetischen Ziele zu überprüfen.

Gebäudeform

Die wichtigsten Weichenstellungen für die energetische Performance eines Gebäudes erfolgen bereits während des Entwurfs. Die beiden klassischen Parameter Ausrichtung und Kompaktheit sind für Bildungsbauten dabei von unterschiedlicher Bedeutung.

Da ein niedriges Verhältnis der Gebäudehüllfläche zu dessen Volumen den Heizwärmebedarf verringert, wurden die Neubauten im Förderprogramm grundsätzlich deutlich kompakter entworfen als die entsprechende Altbebauung. Sechs von sieben Objekten verfügen über Flachdächer, die nahezu vollflächig für energieerzeugende Anlagen genutzt werden. Eine Südorientierung der verglasten Flächen, wie sie bei Wohnbauten sinnvoll ist, kann bei Bildungsbauten nicht im gleichen Maße als Entwurfsgrundsatz gelten. Insbesondere für Klassenräume sind Blendschutz und die Vermeidung sommerlicher Überhitzung wichtige Aspekte, die die mögliche Nutzung solarer Wärmeeinträge begrenzen.

Gebäudehülle

Alle Projekte setzen auf hochwärmedämmende Gebäudehüllen. Neben der Verwendung von Bauteilen mit niedrigen U-Werten wird darauf geachtet, Wärmebrücken soweit wie möglich zu vermeiden. Neue Fassaden erhalten auch die beiden zu sanierenden Altbauten. Kompromisse müssen hier lediglich im Bereich der Bodenplatten eingegangen werden, da für den Bestand nur eine innenseitige Dämmung infrage kommt.

Anlagentechnik

Für die Wärmeversorgung nutzen alle Projekte Wärmepumpen zur Deckung der Grundlast, wobei durchaus sehr unterschiedliche Konzepte für deren Auslegung und Betrieb verfolgt werden. Grundsätzlich lässt sich unterscheiden zwischen zentralen Systemen mit hoher Leistung und kleineren dezentralen, miteinander verschalteten Wärmepumpenanlagen. Wo immer es möglich ist, wird auf lokale Ressourcen zurückgegriffen. Die reversiblen Wärmepumpen der in Flussnähe gelegenen Schulen in Neutraubling und Mühldorf am Inn z. B. nutzen Grundwasser nicht nur als Wärmequelle, sondern auch für die Kühlung im Sommer. Die Abdeckung von Spitzenlasten erfolgt teilweise über Nah- bzw. Fernwärmeanschlüsse.

Alle Projekte verfügen über kontrollierte Lüftungsanlagen. Bei drei Schulen (Kaufbeuren, Neutraubling und Giebelstadt) werden die dezentralen Lüftungsgeräte mit Deckensegeln zur Heizung/Kühlung hydraulisch verschaltet. Hierdurch entsteht ein neuartiges System, das mit nur einer raumweisen, in der Lüftungsanlage bereits integrierten Regelung auskommt.

Nutzerstrom

Für Effizienzhaus Plus Bildungsbauten wird per Definition in der Berechnung der Energiebilanz zusätzlich zu den nach EnEV bilanzierten Stromverbräuchen ein pauschaler Wert von 10 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr Endenergie (bzw. 15 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr, falls nicht ausschließlich hochenergieeffiziente Geräte verwendet werden) für den Nutzerstrom angesetzt.

Aufgrund der sehr unterschiedlichen Nutzungen und Ausstattungen der Projekte im Förderprogramm wurde im Vorfeld anhand der Anschlussleistungen aller Geräte für einige Gebäude der Nutzerstromverbrauch detailliert prognostiziert. Für den Hochschulneubau in Ulm, der



Hockenheim LOP Schule
 Beheizte Nettogrundfläche: 3.766 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, Eisspeicher 82 m³,
 PV = 204,5 kW_{Peak}, Solarthermie 40 m²



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose	15.850
1. Messjahr:	-
2. Messjahr:	-



Neutraubling (1.BA) Gymnasium
 Beheizte Nettogrundfläche: 3.545 m²
 Wasser-Wasser-Wärmepumpe, PV = 71,6 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose	401
1. Messjahr:	-
2. Messjahr:	-



Mühlendorf am Inn (1.BA) Berufsschulzentrum
 Beheizte Nettogrundfläche: 5.122 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, Eisspeicher 380 m³
 PV = 262 kW_{Peak}, Solarthermie 217 m²



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose	12.428
1. Messjahr:	-
2. Messjahr:	-



Kaufbeuren (1. BA) Jakob-Brucker-Gymnasium
 Beheizte Nettogrundfläche: 1.615 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, PV = 73 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose	518
1. Messjahr:	-
2. Messjahr:	-



Feuchtwangen (1. BA) Forschungshalle
 Beheizte Nettogrundfläche: 533 m²
 Sole-Wasser-Wärmepumpe, Eisspeicher 273 m³
 PV = 34,7 kW_{Peak}, Solarthermie 46,8 m²



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose:	5.430
1. Messjahr:	-
2. Messjahr:	-



Giebelstadt Erweiterung Grundschule
 Beheizte Nettogrundfläche: 624 m²
 Luft-Wasser-Wärmepumpe, PV = 54,6 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose	241
1. Messjahr:	-
2. Messjahr:	-



Ulm Ersatzneubau Hochschule
 Beheizte Nettogrundfläche: 10.003 m²
 Wärmepumpe, PV = 368,5 kW_{Peak}



Endenergieüberschuss (kWh/a):	
Prognose:	16.814
1. Messjahr:	-
2. Messjahr:	-

Legende Technologien:



mit den Fakultäten für Elektro- und Informationstechnik sehr energieintensive Nutzungen beherbergt, ergab die Berechnung einen Ansatz von 16 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr. Für die Schulbauten liegen die Prognosen im Bereich von 10 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr. Wie sich die einzelnen Verbrauchsanteile (insbesondere der Schulküchen) in der Praxis zusammensetzen, wird Teil der Auswertung des Monitorings sein.

Energieerzeugung

Alle Gebäude im Förderprogramm nutzen großflächige Photovoltaikanlagen (PV) zur Stromerzeugung. Während bei den ein- und zweigeschossigen Gebäuden zum Ausgleich der Jahresenergiebilanz im Verhältnis zur Grundfläche genügend Dachfläche für PV-Anlagen zur Verfügung steht, müssen bei besonders kompakten Gebäuden zusätzliche Flächen genutzt werden.

Ziel: Hoher Eigennutzungsgrad

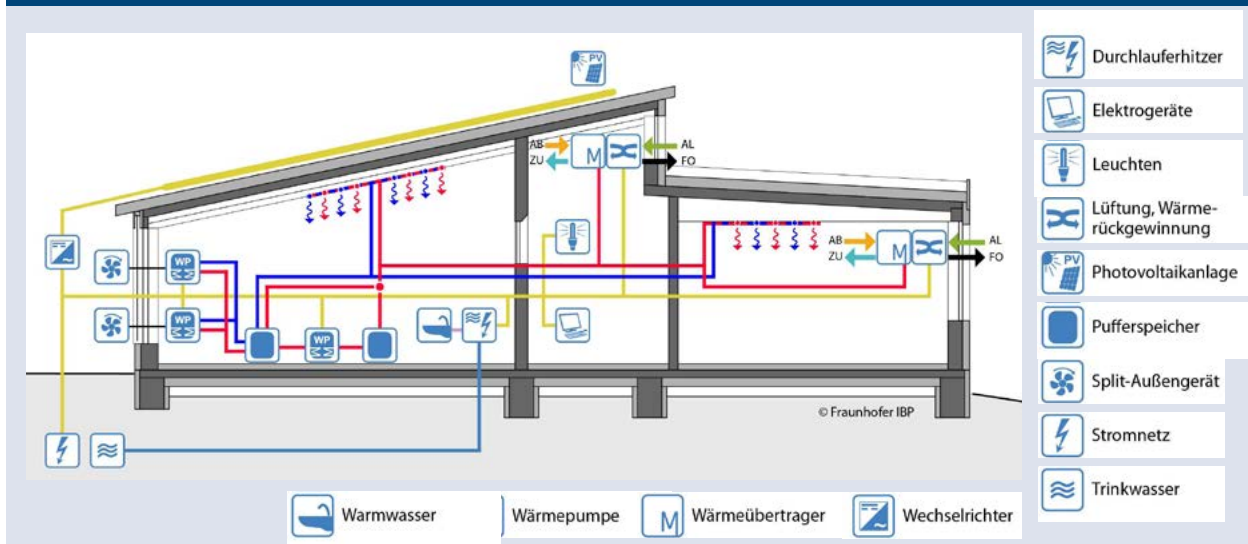
Die Projekte sind nicht darauf ausgelegt, möglichst hohe absolute Energieüberschüsse zu erzielen und in das Stromnetz einzuspeisen. Vielmehr ging die Forderung nach einer mindestens ausgeglichenen Energiebilanz einher mit dem Wunsch, möglichst viel der auf der Liegenschaft generierten erneuerbaren Energie auch vor Ort zu verbrauchen. Der sog. Eigennutzungsgrad kann erhöht werden, indem am Tag produzierte überschüssige Energie zwischengespeichert wird. Hierin gehen die Projekte unterschiedliche Wege. In Ulm, Neutraubling und Kaufbeuren können Warmwasser-Pufferspeicher mit Überschussstrom beladen werden und so Energie stunden- oder tageweise vorhalten. In Hockenheim und Mühlendorf sind große unterirdische

Eisspeicher errichtet worden, die über solarthermische Absorber regeneriert werden können und die eher auf einen saisonalen Effekt ausgelegt sind.

Vernetzte Gebäude

Bei einigen Projekten existieren günstige Voraussetzungen, um Energieüberschüsse direkt für benachbarte Gebäude zu nutzen, ohne das öffentliche Stromnetz zu belasten. Bei Erweiterungsneubauten wie in Giebelstadt oder Neutraubling können grundsätzlich die Bestandsgebäude direkt angebunden werden. In Feuchtwangen wird eine Vernetzung der neu entstehenden Gebäude des Hochschulcampus vorgerüstet. In Ulm wird ein besonderer Weg eingeschlagen, indem eine intelligente Vernetzung mit den vor Ort bestehenden Energienetzen erfolgt: Das Gebäude nutzt den Rücklauf einer Fernkälteversorgung als Energiequelle für eine reversible Wärmepumpe. Dabei wird der Rücklauf wieder heruntergekühlt, wodurch Energie eingespart wird, die in der Kältezentrale des Netzes ansonsten hätte aufgewendet werden müssen. Das Ziel, ein Gebäude zu errichten oder zu sanieren, das in der Jahresbilanz weniger Energie verbraucht, als vor Ort erzeugt wird, kann im Bereich von Bildungsbauten auf unterschiedliche Weise erreicht werden. Auch wenn es bereits heute möglich ist, solche Gebäude mit Komponenten zu errichten, die am Markt verfügbar sind, muss für deren Planung doch in vielen Bereichen technisches Neuland betreten werden: Für die projektierten Kombinationen der Komponenten und deren technisches Zusammenspiel liegen bislang kaum übertragbare Erkenntnisse vor. Die wissenschaftliche Untersuchung der Pilotprojekte im Programm Bildungsbauten im Effizienzhaus Plus Standard liefert daher eine wichtige Grundlage für die Breitenanwendung neuer Energieeffizienztechniken im Bereich von Nichtwohngebäuden.

Abbildung 19: Technikschnitt des Erweiterungsneubaus Grundschule Giebelstadt



Effizienzhaus Plus im Quartier

Wie lässt sich ein Speicherkonzept wirtschaftlich so optimieren, dass der Eigenverbrauch von lokal erzeugten, erneuerbaren Energien in Effizienzhaus Plus Gebäuden maximiert und die Stromnetze entlastet werden? Das Bundesbauministerium hat dazu eine quartierszentrale Speicherlösung wissenschaftlich untersuchen lassen: Im Living Lab der FertighausWelt in Wuppertal sind 19 Effizienzhäuser Plus zentral in einer Siedlung untereinander vernetzt. Sie versorgen auch „schwesterlich“ ein Empfangsgebäude mit Strom aus erneuerbaren Energiequellen. Die Siedlung ist mit einem elektrischen Zentralspeicher ausgerüstet, welcher eine nutzbare Kapazität von 130 Kilowattstunden aufweist.

Ein detailliertes Messprogramm in der Siedlung zeigt, dass die Lastprofile der Ausstellungshäuser im Mittel einem typischen deutschen Zwei-Personen-Haushalt gleichen. Daher lassen sich die in einer Ausstellungssiedlung erzielten Ergebnisse auf „normal“ bewohnte Siedlungen mit gleichem Haustyp übertragen. Der Vorteil der Ausstellungssiedlung ist, dass sich die Energieversorgung und das Energiemanagement leicht im laufenden Betrieb verändern lassen, da sich alle Hausbesitzer am Versuch beteiligen. Hierdurch kann ein wirkliches „Living Lab“ realisiert werden.

Dass die Technik ausgereift ist, ist einhellige Meinung der beteiligten Netzwerkpartner. Das Effizienzhaus Plus funktioniert in der Praxis und kann wesentlich zur Energiewende im Gebäudesektor beitragen. Die vom Bundesbauministerium geförderten Modellvorhaben Effizienzhaus Plus im Wohnungsbau finden bundesweit vielerorts Nachahmer. Der Verband der Fertighausindustrie konstatiert, dass sein Marktanteil der Effizienzhaus Plus Wohngebäude bereits bei über 15 Prozent liegt.

Abbildung 20: Stromverschiebung zwischen Einzelgebäuden und Siedlung

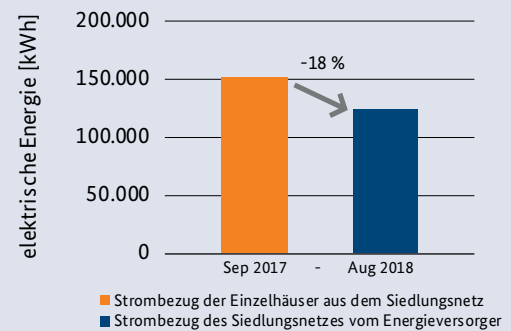
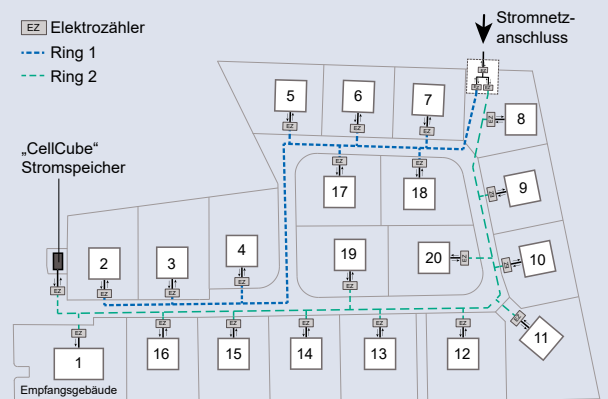


Abbildung 21: Lageplan FertighausWelt Wuppertal: beheizte Nettogrundfläche, prognostizierter und gemessener Endenergieüberschuss der Einzelgebäude

	beheizte Nettogrundfläche [m ²]	Prognose Endenergieüberschuss [kWh/a]	Messperiode 09.2017 - 08.2018 [kWh/a]
1 Empfangsgebäude	-	-	-
2 Schwörer Haus	261	3.645	2.811
3 Fingerhaus	172	1.808	1.068
4 Fingerhut Haus	195	3.827	1.927
5 WeberHaus	217	1.064	762
6 Partner Haus	171	3.374	6.105
7 HUF HAUS	218	3.565	617
8 Büdenbender	184	512	-1.243
9 KAMPA	204	16	1.299
10 ProHaus	165	1.827	1.856
11 RENSCH-HAUS	168	8.541	3.673
12 Bien-Zenker	397	2.927	95
13 holz & raum	142	2.906	4.882
14 Hanse Haus	238	2.326	2.715
15 allkauf Haus	191	716	4.823
16 OKAL	343	293	2.402
17 NORDHAUS	164	956	1.780

	beheizte Nettogrundfläche [m ²]	Prognose Endenergieüberschuss [kWh/a]	Messperiode 09.2017 - 08.2018 [kWh/a]
18 Schwabenhaus	200	59	1.225
19 GUSSEK HAUS	206	595	-2.184
20 Danhaus	153	573	2.846
21 zentraler Speicher	-	-	-
Summe	3.989	39.350	37.458



Das Monitoring der Energieflüsse im Siedlungsverbund zeigte eine Reduzierung des Strombezugs aus dem öffentlichen Netz durch Nutzung des PV-Stromüberschusses der Häuser auf Siedlungsebene von etwa 18 Prozent. Im Untersuchungszeitraum von September 2017 bis August 2018 haben die Einzelgebäude zusammen aus dem Siedlungsnetz ca. 151.400 Kilowattstunden Strom entnommen.

Das Siedlungsnetz hat jedoch nur 123.800 Kilowattstunden vom Energieversorger bezogen. Etwa 27.600 Kilowattstunden (18 Prozent) konnten durch die Nutzung des zentralen Siedlungsspeichers sowie die Quartiersvernetzung innerhalb der Siedlung daher selber genutzt werden und das öffentliche Netz entlasten.

Abbildung 22: Abbildung der Einzelgebäude und deren eingesetzter Technologie



allkauf Haus



Bien-Zenker



Büdenbender



Danhaus



Fingerhaus



Fingerhut Haus



GUSSEK HAUS



Hanse Haus



holz & raum



HUF HAUS



KAMPA



NORDHAUS



OKAL



Partner Haus



ProHaus



RENSCH-HAUS



Schwabenhaus



SchwörerHaus



WeberHaus



Zentraler Stromspeicher

Technologien in allen Objekten:



Wärmepumpe



Photovoltaik



Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung

Ergebnisse aus dem Netzwerk

Technische Begleitforschung

Das Fraunhofer-Institut für Bauphysik wertete in einem Begleitforschungsprojekt die gebäudebezogenen Kenndaten und zahlreiche Messdaten aller Modellvorhaben quer aus. Ein Steckbrief zu jedem Gebäude sowie monatsweise aktualisierte Verbrauchsdatengrafiken der Gebäude sind veröffentlicht unter:

www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/

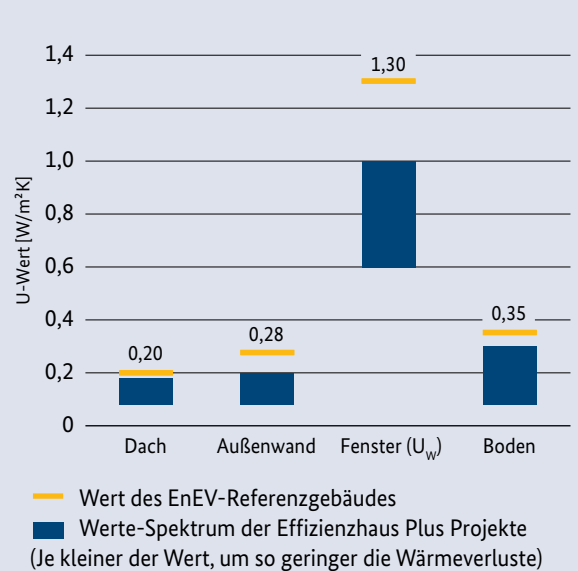
Ergänzende Untersuchungen wurden am Pilotprojekt des Bundes durchgeführt. Diese beinhalten die Validierung und den Einfluss des eingesetzten Stromspeichers, das hygrothermische Verhalten und die Dauerbeständigkeit der Gebäudehülle und das Innenraumklima sowie die Beheizung des hochwärmegeprägten Gebäudes mit unterschiedlichen Temperaturzonen. Diese Ergebnisse können ebenso auf der Internetseite der Forschungsinitiative eingesehen werden.

Ausgewählte Ergebnisse der Begleitforschung des Netzwerks Effizienzhaus Plus werden nachfolgend vorgestellt.

Baulicher Wärmeschutz

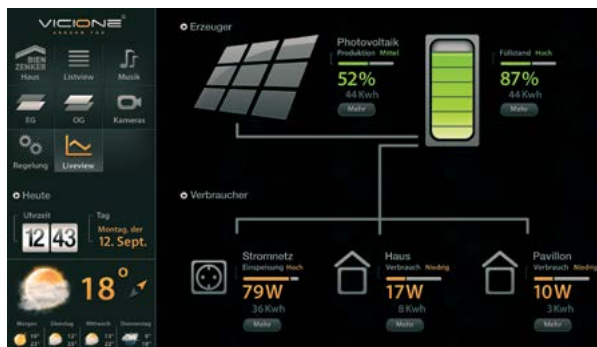
Alle Modellvorhaben sind überwiegend baulich kompakt und energetisch optimiert. Ihr Wärmeschutz ist vergleichsweise deutlich besser als von der Energieeinsparverordnung (EnEV) gefordert. Der auf die wärmeübertragenden Umfassungsflächen bezogene Transmissionswärmeverlust bewegt sich bei Ein- und Zweifamilienhäusern zwischen 0,13 und 0,33 Watt pro Quadratmeter und Kelvin und unterschreitet damit die zulässigen Höchstwerte der aktuellen EnEV um 18 bis 62 Prozent (im Mittel 48 Prozent). Die mittlere energetische Qualität der Modellvorhaben liegt schwerpunktmäßig beim KfW-Effizienzhaus 55 Niveau.

Abbildung 23: Wärmedurchgangskoeffizienten



Wärmeversorgung

Die meisten Modellvorhaben nutzen Wärmepumpen in Verbindung mit Flächenheizungen. Zum Einsatz kommen zu 44 Prozent Erdreich-Wärmepumpen, zu 38 Prozent Luft-Wasser-Wärmepumpen und zu 18 Prozent Wasser-Wärmepumpen. Als Wärmequelle werden Außenluft, Soleflüssigkeit, Solar- oder Eisspeicher in verschiedenen Kombinationen genutzt. Die Heizleistungen der installierten Anlagen bewegen sich zwischen 1,5 bis 20 Kilowatt bei Einfamilienhäusern und 7 bis 120 Kilowatt bei Mehrfamilienhäusern.

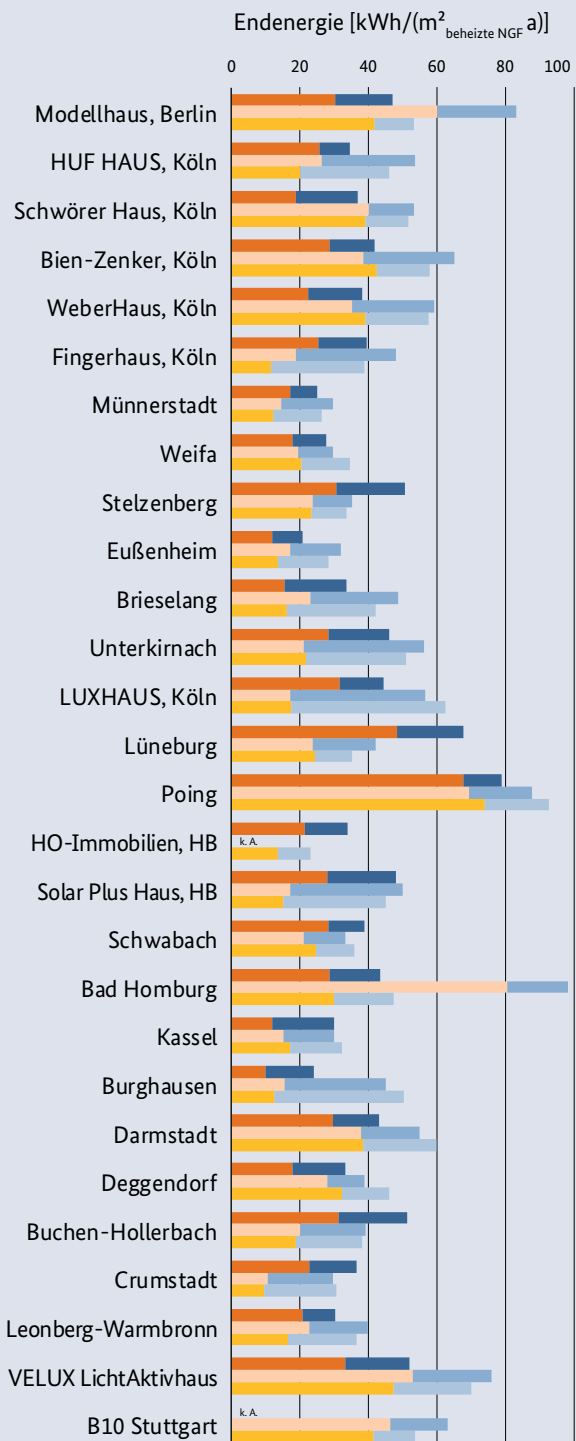


Visualisierung der Messergebnisse über die Gebäudeautomation

! Tipp

Ein Effizienzhaus Plus muss nicht Passivhaus-Niveau erfüllen. Eine um etwa 40 Prozent bessere Ausführung gegenüber dem Wärmeschutzniveau des Referenzgebäudes der EnEV reicht oft aus.

Abbildung 24: Endenergiebedarf und -verbrauch der Ein- und Zweifamilienhäuser im 1. und 2. Messjahr



Heizen, Trinkwarmwasser und Hilfsenergie

- Berechnung DIN V 18599
- Messjahr 1
- Messjahr 2

Beleuchtung und Haushaltsstrom

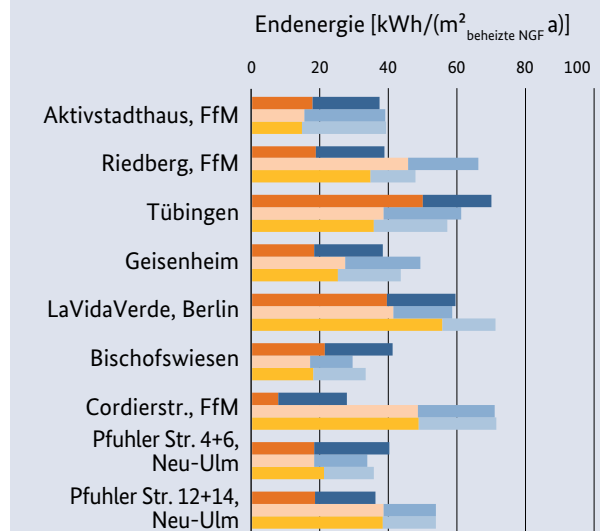
- Berechnung Effizienzhaus Plus Standard
- Messjahr 1
- Messjahr 2

Endenergieverbrauch

Die gemessenen Endenergieverbräuche für Heizung, Trinkwarmwasser, Hilfsenergie sowie Beleuchtung, Haushaltsgeräte, Haushaltsprozesse und Sonstiges werden zum Vergleich den Planungswerten der EnEV-Berechnungen nach der DIN V 18599 sowie der Effizienzhaus Plus Berechnung gegenübergestellt.

Nahezu alle Gebäude verbrauchten in den ersten Betriebsjahren mehr Endenergie als vorherberechnet. Im 1. Messjahr lag der Mehrverbrauch im Mittel bei 20 Prozent und konnte durch Optimierungen im 2. Messjahr auf 10 Prozent reduziert werden. Für Abweichungen sorgten sowohl die Haustechnik als auch der Haushaltsstrom. Die mittleren Raumlufttemperaturen lagen während der Heizperiode teilweise um 2 bis 4 Kelvin höher als nach DIN V 18599 angesetzt und führten zu einem höheren Heizwärmeverbrauch als prognostiziert. Die Anlagentechnik arbeitete vielfach ineffizient aufgrund von hohen Vorlauftemperaturen im Wasserkreislauf oder aufgrund ganzjährig unregelmäßigem Betrieb der Lüftungsanlagen mit zum Teil hohen Volumenströmen. Die Wärmepumpen zeigten in einigen Fällen nicht die erwarteten Jahresarbeitszahlen. Ferner hatten die Gebäudeautomation und Regelungstechnik einen zum Teil unerwartet hohen Strombedarf.

Abbildung 25: Endenergiebedarf und -verbrauch der Mehrfamilienhäuser im 1. und 2. Messjahr



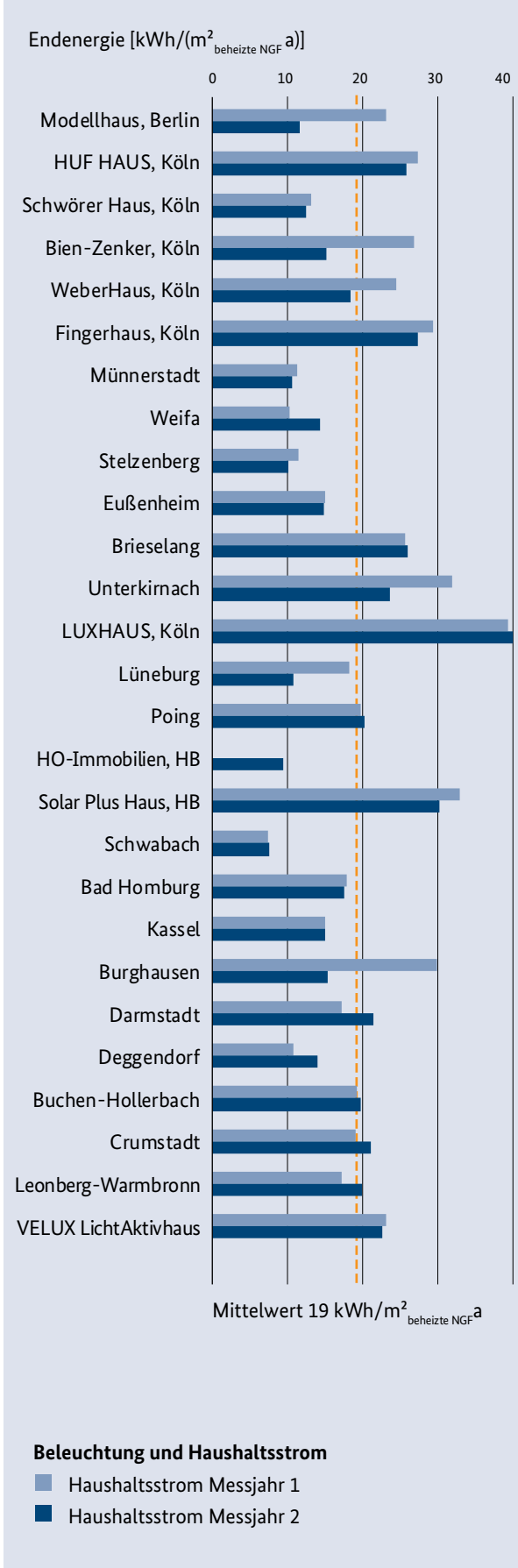
Legende siehe Abbildung 24



Tipp

Es wird empfohlen, eine 10- bis 20-prozentige Überdimensionierung der Photovoltaikanlage zum Ausgleich einer nicht optimalen Gebäudeperformance vorzunehmen, um sicher ein „Plus“ zu generieren.

Abbildung 26: Endenergieverbrauch Haushaltsstrom der Ein- und Zweifamilienhäuser im 1. und 2. Messjahr

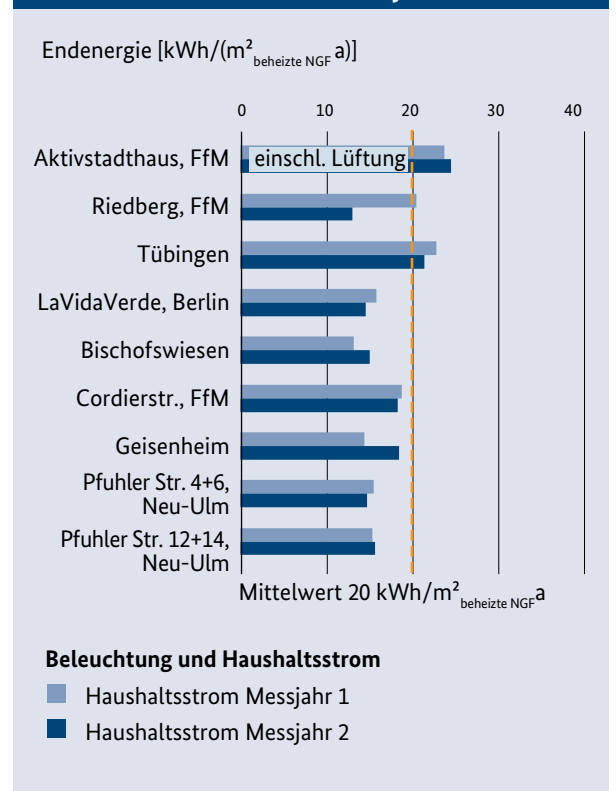


Haushaltsstrom

Gemäß Effizienzhaus Plus Standard wird der Haushaltsstrom separat für Beleuchtung sowie Haushaltsgeräte und -prozesse berücksichtigt. In Summe wurde zum Zeitpunkt der Antragstellung der Modellvorhaben bei der Vorherberechnung dabei ein pauschaler Wert von 20 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche pro Jahr, jedoch maximal 2.500 Kilowattstunden pro Jahr je Wohneinheit angesetzt. Für die Beleuchtung wurde eine Größe von drei Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr und für die Haushaltsgeräte und -prozesse von 17 Kilowattstunden je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr zugrunde gelegt.

Die Messergebnisse zeigten für die Wohngebäude für beide Messjahre einen mittleren Haushaltsstromverbrauch von 19 Kilowattstunden pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr und für die Mehrfamilienhäuser von 20 Kilowattstunden pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr. Daher wird im Weiteren auf eine Beschränkung des wohnheitsbezogenen Verbrauchs bei der Definition verzichtet und eine Größe von 20 Kilowattstunden pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und Jahr für den Haushaltsstrom angesetzt. Es wird empfohlen, Geräte und Leuchtmittel der höchsten Effizienzklasse einzusetzen.

Abbildung 27: Endenergieverbrauch Haushaltsstrom der Mehrfamilienhäuser im 1. und 2. Messjahr



Photovoltaikflächen

Bislang stand bei hocheffizienten Häusern vorrangig die Minimierung des Energiebedarfs im Vordergrund. Demgegenüber erfordern Effizienzhaus Plus Gebäude eine Abwägung zwischen sinnvoll zu installierenden Solargewinnflächen und erhöhten Wärmeschutzmaßnahmen für die Gebäudehülle. Bei mehreren Modellvorhaben ermittelten die Planer zuerst die maximal mögliche Kollektorfläche und berechneten darauf aufbauend die Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz, die zu einem Erreichen des Effizienzhaus Plus Niveaus noch zu erfüllen waren.

Die Analyse der Modellvorhaben zeigt, dass im Mittel für Ein- bis Zweifamilienhäuser etwa 0,46 Quadratmeter Photovoltaikfläche je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche installiert wurden. Aufgrund der geringeren Dachfläche im Verhältnis zur Wohnfläche beträgt für Mehrfamilienhäuser die zur Verfügung stehende Photovoltaikfläche im Mittel 0,33 Quadratmeter Photovoltaikfläche je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche. Die installierte Leistung der Photovoltaikanlagen hat bei den Einfamilienhäusern eine Größe zwischen 43 und 148 Watt-Peak pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche und liegt im Mittel bei etwa 67 Watt-Peak pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche. Für die Mehrfamilienhäuser werden im Mittel 59 Watt-Peak pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche installiert.

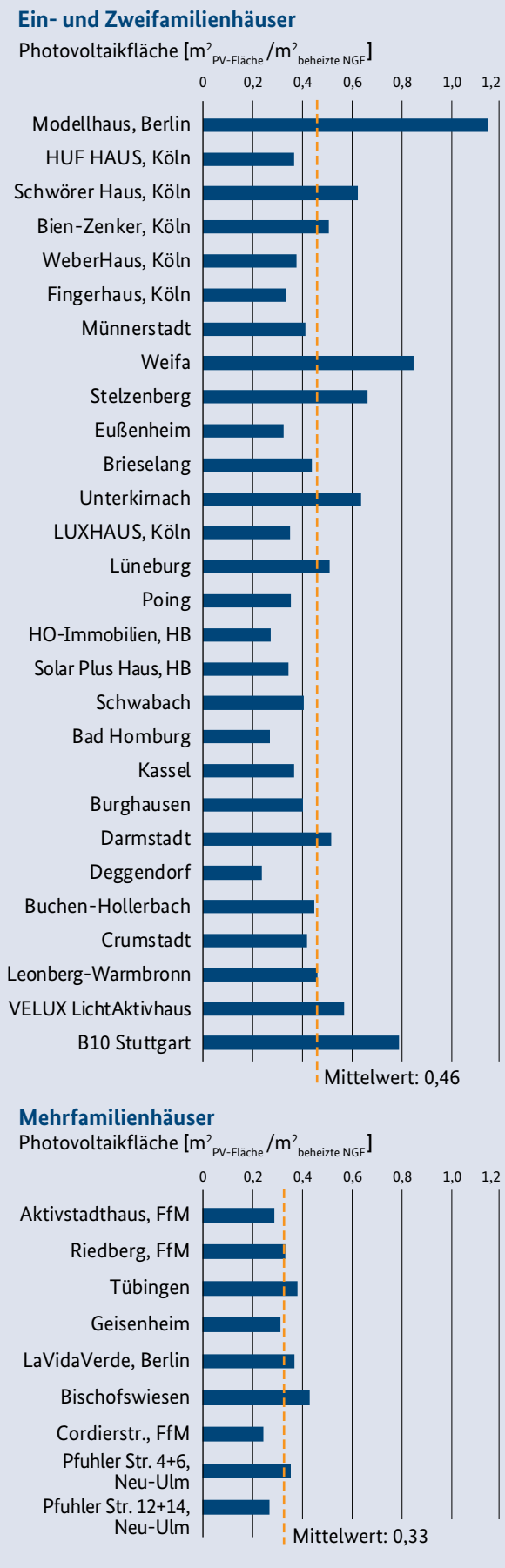
Vorherberechnung versus Messung

Beim Bau von Effizienzhäusern stellt sich eine wesentliche Frage: Wie genau lassen sich Energieerträge aus den Photovoltaikanlagen vorhersagen? Hiervon hängt ganz maßgeblich die Zielerreichung und Wirtschaftlichkeit der Konzepte ab. Die Messergebnisse der Modellvorhaben zeigen eine sehr hohe Übereinstimmung zwischen Vorherberechnung und Messung. Die Abweichungen liegen unter 10 Prozent und lassen sich durch lokale Wetterbesonderheiten oder nicht berücksichtigte Verschattungseinflüsse erklären. Die bisherigen Messungen bestätigen, dass die Bilanzierungsmethode der DIN V 18599 mit ausreichender Sicherheit als Grundlage für die Vorherbewertung und Dimensionierung der Effizienzhäuser zugrunde gelegt werden kann.

! Tipp

Ein Gebäude im EnEV-2016-Standard benötigt etwa 0,5 Quadratmeter Photovoltaikfläche je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche, um zu einem Effizienzhaus Plus aufgerüstet zu werden.

Abbildung 28: Verhältnis Photovoltaikfläche zu beheizter Nettogrundfläche



Deckungsgrad

Der Deckungsgrad beschreibt den Anteil des Endenergiebedarfs des Gebäudes, der durch den selbst generierten Photovoltaikstrom gedeckt wird. Dieser kann durch die Nutzung elektrischer Speicher positiv beeinflusst werden. Der Deckungsgrad erreichte für die Projekte mit einem Stromspeicher bei den Ein- und Zweifamilienhäusern im Mittel annähernd 50 Prozent. Ohne einen elektrischen Speicher liegt der Deckungsgrad bei knapp 30 Prozent. Bei den Mehrfamilienhäusern kann der Deckungsgrad durch die Nutzung eines elektrischen Speichers von im Mittel 18 Prozent auf im Mittel 42 Prozent gesteigert werden.



Tipp

Mit einer Ein-Kilowatt-Peak-Photovoltaik-Anlage (entspricht acht bis zehn Quadratmetern Fläche) können in Deutschland zwischen 700 bis 1.100 Kilowattstunden Strom pro Jahr erzeugt werden.

Eigennutzungsgrad

Durch die Aufteilung der Photovoltaikerträge in den selbst genutzten und den in das öffentliche Stromnetz eingespeisten Anteil des selbst generierten Stroms kann der Eigennutzungsgrad bestimmt werden. Vor dem Hintergrund sinkender Einspeisevergütungen ist ein möglichst hoher Eigennutzungsgrad anzustreben. Im ersten Messjahr schwankte der Eigennutzungsgrad der Modellvorhaben im Bereich der Ein- und Zweifamilienhäuser, die einen Stromspeicher nutzten, zwischen 16 und 60 Prozent und bei den Modellvorhaben ohne Batterie zwischen 11 und 40 Prozent. Für die Mehrfamilienhäuser beträgt der Eigennutzungsgrad für Gebäude ohne Stromspeicher im Mittel 16 Prozent und mit einem elektrischen Speicher bis knapp 50 Prozent.

Die Eigennutzungsgrade in einzelnen Modellvorhaben konnten durch den Einsatz der Batterien nahezu verdoppelt werden. Bei klein dimensionierten Speichern oder übermäßig groß ausgelegten Photovoltaikanlagen fällt der Eigennutzungsgrad jedoch grundsätzlich gering aus. Die Größe der Photovoltaikanlage und die Kapazität des elektrischen Speichers sind daher angemessen auf die zu erwartenden Verbräuche anzupassen.



Dachfläche mit monokristallinen Photovoltaikmodulen

Abbildung 29: Eigennutzung und Deckung des Photovoltaikstroms für das erste Messjahr in den Ein- und Zweifamilienhäusern

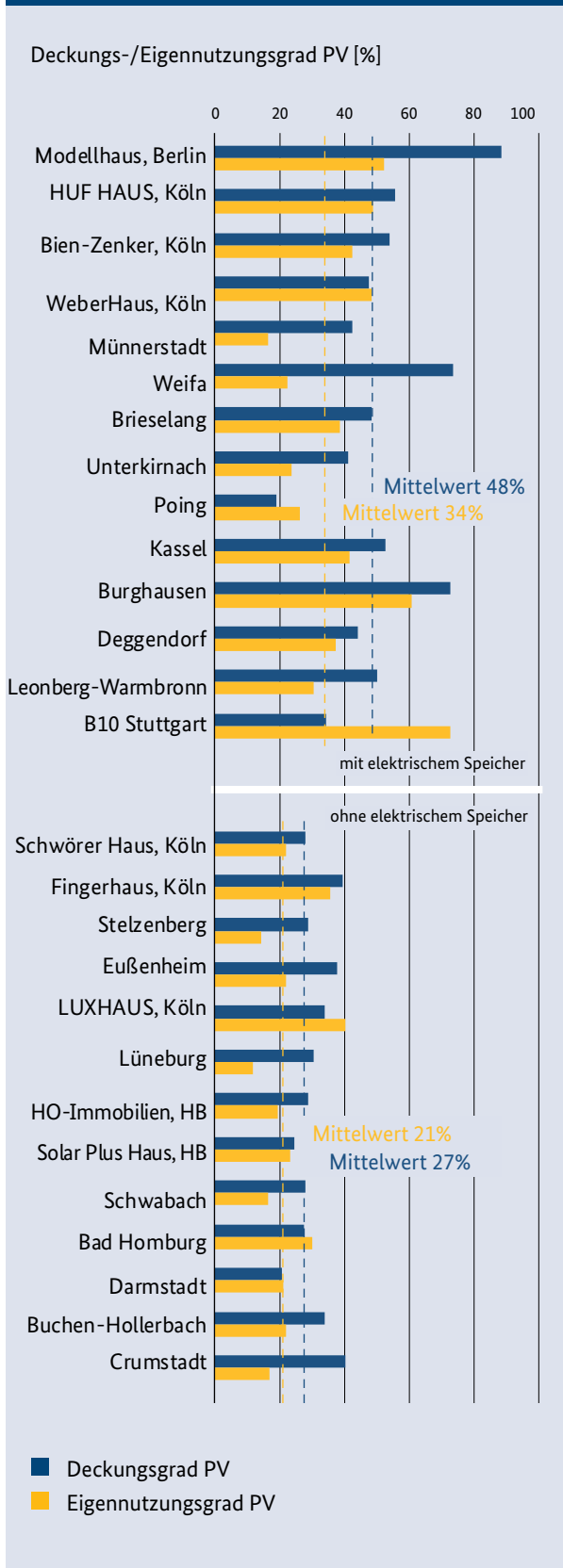
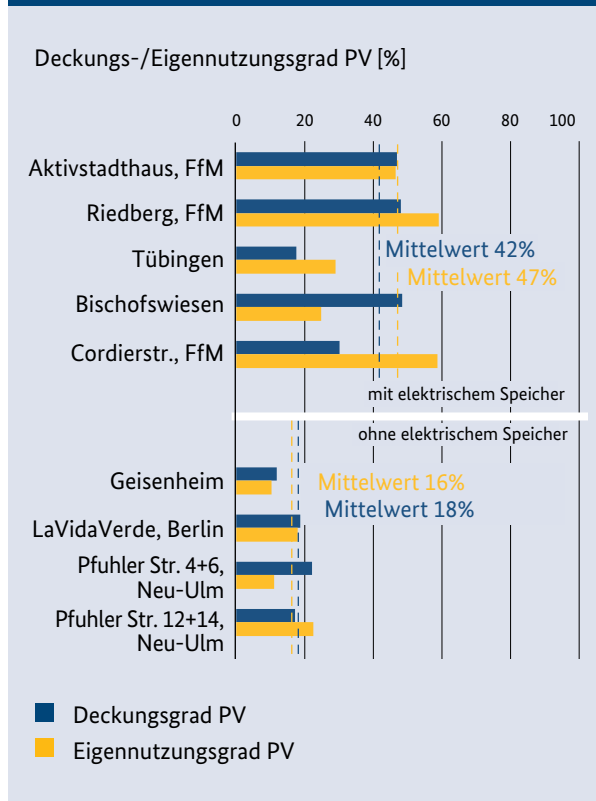


Abbildung 30: Eigennutzung und Deckung des Photovoltaikstroms für das erste Messjahr in den Mehrfamilienhäusern



Wärmepumpen Effizienz in der Praxis

Die Effizienz der betriebenen Wärmepumpenanlagen im praktischen Betrieb wurde in Form einer Jahresarbeitszahl (JAZ) messtechnisch bestimmt. Diese gibt das Verhältnis der von der Wärmepumpe für Heiz- und Trinkwasserzwecke bereitgestellten Wärmemenge zur von ihr für den Betrieb benötigten elektrischen Energie im Betrachtungsraum eines Jahres wieder. Für die Modellvorhaben ergaben sich mittlere Jahresarbeitszahlen von 2,6 für Luft-Wärmepumpen, 3,2 für Erdreich- und Wasser-Wärmepumpen. Die Zielwerte des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes (EEG), die für elektrische Wärmepumpen mit Trinkwarmwasserbereitung eine Jahresarbeitszahl von mindestens 3,3 und alle übrigen Wärmepumpen von 3,8 vorsehen, konnten auf Basis der messtechnischen Ergebnisse von der Mehrheit der Anlagen im Praxisbetrieb noch nicht erreicht werden. Optimierungsbedarf zeigte sich häufig in einer nicht durchgängig durchgeführten detaillierten Ausführungsplanung, teilweise fehlendem hydraulischem Abgleich und unzureichenden Regelungskonzepten der Gesamtsysteme. Überdimensionierung und unzureichend einregulierte Netzhydraulik können das energetische Verhalten der Wärmepumpenanlage negativ beeinflussen.

Elektrische Speicher

Auf die Umstellung der Einspeisevergütung reagieren die Planer von Effizienzhaus Plus Gebäuden mit Konzepten, die den Eigennutzungsgrad des Solarstroms deutlich erhöhen. Während es früher (ohne die Einbindung von Batterien) kaum möglich war, mehr als 30 Prozent des Stroms aus der Photovoltaikanlage im Gebäude selbst zu nutzen, lässt sich der Eigennutzungsgrad durch die Einbindung elektrischer Speicher leicht verdoppeln.

Von den Modellvorhaben verfügen 51 Prozent über einen elektrochemischen Speicher (siehe Abbildung 29).

Abbildung 31: Art und Verteilung elektrochemischer Speicher der Modellvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard

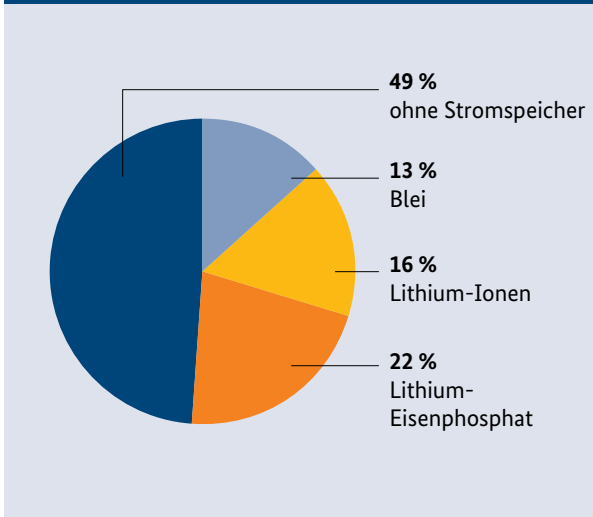
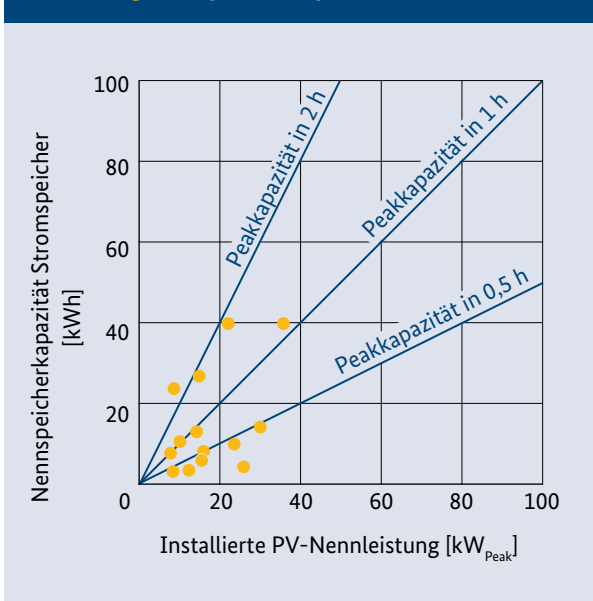


Abbildung 32: Speicherkapazität



! **Tipp**

Mit einem elektrischen Speicher (Nutz-Kapazität circa acht bis zehn Kilowattstunden) kann der Eigennutzungsgrad (der Eigennutzungsanteil des selbsterzeugten Stroms aus erneuerbaren Energien) in einem Einfamilienhaus leicht verdoppelt werden.

Die Bruttospeicherkapazitäten liegen zwischen 3,5 und 40 Kilowattstunden im Einfamilienhausbereich und bei bis zu 250 Kilowattstunden für ein Mehrfamilienhaus.

Die Dimensionierung der Photovoltaik-Speichersysteme kann an der installierten Leistung der Photovoltaik-Anlage oder dem strombasierten Endenergiebedarf des Hauses ausgerichtet werden. Die im Vorhaben verwendeten Batterien wurden über die Peakkapazität analysiert.

Eine Peakkapazität von einer Stunde bedeutet, dass der Stromspeicher so viel Energie einspeichert, wie die installierte Photovoltaik-Anlage in einer Stunde maximal produzieren kann. Das heißt, eine Anlage mit einer Peakleistung von 20 Kilowatt erhält eine Batterie mit der Leistung von 20 Kilowattstunden. Die installierten Batterien weisen Peakkapazitäten zwischen 0,1 und 2,1 Stunden auf. Zur Erreichung signifikant höherer Deckungsgrad sind Batterien mit Speicherkapazitäten von mehr als einer Stunde erforderlich. Die größten Kapazitäten weisen Objekte auf, die eine Ladekapazität von zwei Stunden besitzen.



Batteriespeicher, 13,2 Kilowattstunden

Monitoring von Gebäuden

Durch ein Monitoring kann im bewohnten Zustand überprüft werden, ob die Anforderungen, die an ein Effizienzhaus Plus gestellt sind, in der Praxis auch erfüllt werden. Um die Bewertung vornehmen zu können, ist es notwendig, die dem Gebäude zugeführten Energiemengen (Strom, Gas, Öl, etc.) und die vom Gebäude ins Netz eingespeisten Energiemengen (Strom, Wärme, etc.) kontinuierlich zu erfassen. Ferner sind zur tieferen Analyse der Verbrauchsstruktur wesentliche Bilanzanteile, die auch bei der rechnerischen Bewertung ermittelt werden, aufzuzeichnen. Dazu gehören auch die äußeren Klimabedingungen und das Nutzerverhalten.

Der Energiefluss in einem Gebäude beginnt mit der Zufuhr von Endenergie zum Gebäude. Über die Prozesse „Erzeugung“, „Speicherung“, „Verteilung“ und „Übergabe“ wird mit der zugeführten Endenergie die nachgefragte Dienstleistung (Nutzenergie) erbracht.

Für die Positionierung der Messzähler ergeben sich folgende Regeln:

Die Gesamt-Endenergiezufuhr je Energieträger soll aufgenommen werden. Der von den PV-Modulen erzeugte, der an das Gebäude abgegebene sowie der in das Netz gespeiste Strom muss erfasst werden. Nach jedem Erzeuger werden die gelieferten Energieströme erfasst.

Wird ein Energiestrom dazu verwendet, verschiedene Energiedienstleistungen zu versorgen, so sollte am jeweiligen Abzweig mindestens einer der Ströme gemessen werden (zur Kontrolle ist auch die Erfassung aller Energieströme zu empfehlen).

Bei der Verwendung von Speichern ist zur Ermittlung der Speicherverluste die Erfassung der Energieströme

! Tipp

Für innovative Anlagentechnik sollte ein Monitoring vorgesehen werden, um kontinuierlich deren Effizienz zu analysieren und Verbesserungen einleiten zu können. Eine frühzeitige Einbindung in die Planung und Kommunikation ist dazu erforderlich.

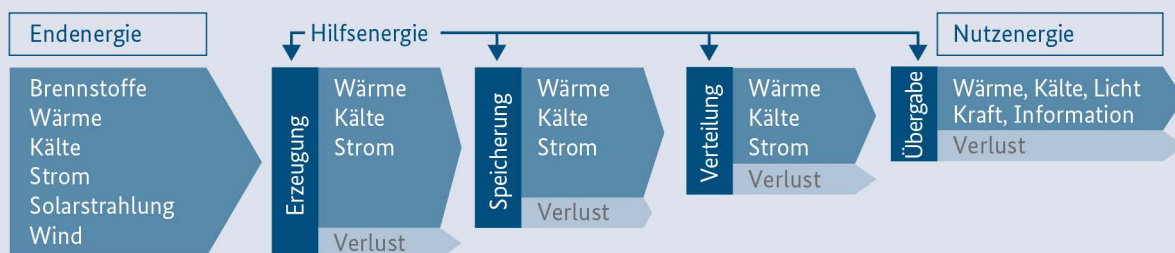
vor und nach dem Speicher notwendig. Bei Brauchwasserspeichern mit einer Zirkulationsleitung setzt sich die entnommene Energie aus Brauchwasser-Nutzwärme und Zirkulationsverlusten zusammen. Diese erfordern eine getrennte Erfassung der Anteile.

Neben der grundlegenden Überprüfung der Energiebilanz, die das zentrale Thema des Monitorings darstellt, sind mit der Positionierung der Verbrauchszähler weitere anlagentechnische Kennwerte direkt bestimmbar.

Die Sensoren müssen zeitlich parallel zur Bauausführung eingebaut werden. Ein späterer Einbau erhöht deutlich die Installationskosten. Für die Erfassung der Wärmemengen werden Ultraschallzähler vorgeschlagen. Dabei müssen die maximalen Durchflussmengen der Geräte beachtet werden. Um die Stromverbräuche korrekt erfassen zu können, muss bereits bei der Installation auf die Verlegung eigener Stromkreise geachtet werden. Die Stromerfassungszähler können dann im Zählerkasten untergebracht werden.

Wenn keine Gebäudeleittechnik im Gebäude installiert wird, müssen die Messdaten mit einem separaten Messwerterfassungssystem, beispielweise einem webbasierten System, erfasst werden.

Abbildung 33: Vereinfachtes Schema der Energieflüsse in einem Gebäude, angelehnt an die DIN V 18599



Abnehmende Verfügbarkeit von Messdaten

Abnehmende Genauigkeit von Bedarfsberechnungen

Minderung von Kohlendioxid (CO₂)-Emissionen

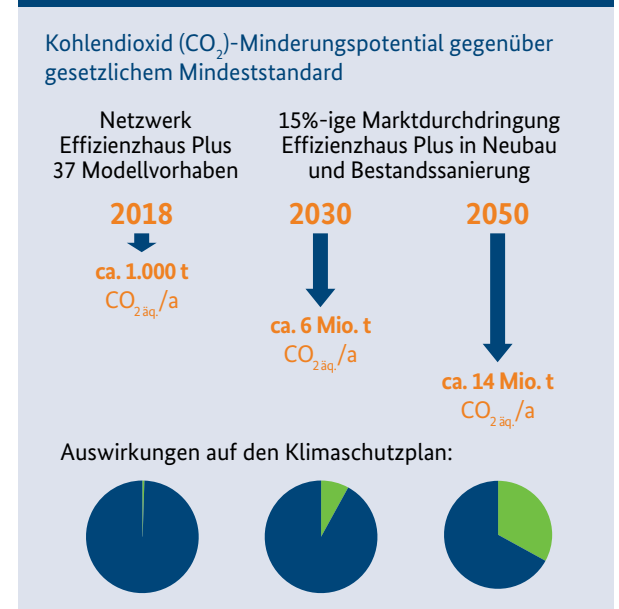
Vor dem Hintergrund der Klimaschutzziele für Deutschland, die bis 2050 eine Minderung der Treibhausgasemissionen um 80 bis 95 Prozent gegenüber 1990 hervorbringen sollen und somit bis 2050 einen nahezu klimaneutralen Gebäudebestand fordern, stellt das Effizienzhaus Plus einen idealen Baustein dar. Mit jedem realisierten Effizienzhaus Plus sinkt, im Vergleich zu herkömmlichen Häusern, sowohl der fossile Energieverbrauch als auch der Treibhausgasausstoß in Deutschland. Die Häuser wirken als Senken in der Klimabilanz unseres Landes.

Neben dem bedeutendsten Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂) werden bei der Nutzung verschiedener Energieträger weitere Treibhausgase wie beispielsweise Methan (CH₄) oder Lachgas (N₂O) freigesetzt. Gemäß ihrer Klimawirksamkeit werden sie in äquivalente Kohlendioxidbelastungen (CO₂) umgerechnet und ganzheitlich als Einzahlwert als Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente dargestellt. Nach DIN V 18599 betragen die Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente für Strom 550 Gramm pro Kilowattstunde und für Erdgas 240 Gramm pro Kilowattstunde.

Im Gebäudebereich tritt für ein typisches Einfamilienhaus nach EnEV-Standard für die Heizungs- und Warmwasserversorgung (hauptsächlich Gas) sowie den Nutzerstromverbrauch eine Belastung von etwa 38 Kilogramm Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente pro Quadratmeter und Jahr auf. Die realisierten Effizienzhaus Plus Gebäude haben im Mittel einen Stromüberschuss von etwa 20 Kilowattstunden pro Quadratmeter und Jahr und entlasten das globale Klima um etwa 12 Kilogramm Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente pro Quadratmeter und Jahr. Das Einsparpotential gegenüber Gebäuden im EnEV-Niveau beträgt somit circa 50 Kilogramm Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente pro Quadratmeter und Jahr. Für Sanierungsvorhaben liegt das Einsparpotential etwa bei 120 Kilogramm Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente pro Quadratmeter und Jahr.

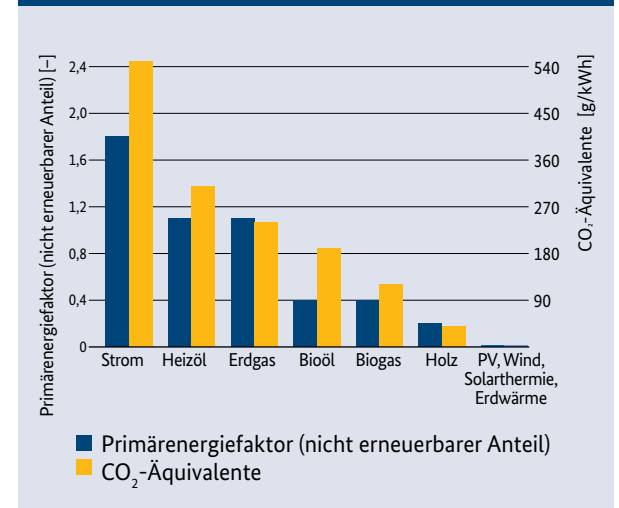
Das gesamte Netzwerk Effizienzhaus Plus mit seinen 37 Modellvorhaben liefert ein jährliches Einsparpotential gegenüber Gebäuden nach gesetzlichem Mindeststandard von etwa tausend Tonnen Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente und Jahr. Bei einer 15-prozentigen Marktdurchdringung von Effizienzhäusern Plus im Neubau und in der Bestandssanierung lassen sich somit bis 2050 etwa 14 Millionen Tonnen Kohlendioxid (CO₂)-Äquivalente einsparen.

Abbildung 34: Mögliche Einsparpotentiale



Die Bewertung des Energiebedarfs von Gebäuden wird derzeit auf Basis der Primärenergie geführt. Eine Bewertung lässt sich analog auf Basis von CO₂-äquivalenten Emissionen führen. Eine direkte Abhängigkeit zwischen den Bewertungsfaktoren Primärenergie und CO₂-Äquivalente ist für die verschiedenen Energieträger jedoch nicht gegeben. Im Hinblick auf die Klimaziele steht im Gebäudebereich die Minimierung der Endenergie mit gleichzeitig einhergehender Minderung von CO₂-Emissionen im Vordergrund.

Abbildung 35: Energieträger im Vergleich (DIN V 18599)



Kosten

Da die Gebäudeentwürfe sehr individuell gestaltet sind und die entstehenden Kosten eher durch gestalterische Elemente und Investitionen in erhöhten Wohnkomfort geprägt sind, lässt sich eine Wirtschaftlichkeitsaussage schwerlich über die Gesamtkosten der Objekte herleiten.

In den bisher abgerechneten Vorhaben ergaben sich Bruttokosten (Stand 2016) nach DIN 276 für die Kostengruppe 300 (Baukonstruktion) und Kostengruppe 400 (Technische Anlagen) zwischen 1.000 und 4.500 Euro je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche. Nur das Pilotprojekt in Berlin hat wegen seines starken Forschungscharakters signifikant höhere Kosten verursacht. Der überwiegende Anteil (mehr als 75 Prozent) aller Gebäude wies Kosten im Bereich zwischen 1.500 und 3.000 Euro je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche auf.

Sinnvoller erscheint es, eine Mehr-/Minderkostenbetrachtung im Vergleich zu dem gleichen Gebäude in energetischer Standardqualität darzustellen.

Energetisch hochwertige Gebäudehülle

Die bisher realisierten Effizienzhäuser Plus weisen üblicherweise eine gegenüber den EnEV-Anforderungen um circa 40 Prozent verbesserte Gebäudehülle auf.

Dieser fordert Mehrkosten zwischen 65 und 100 Euro je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche.

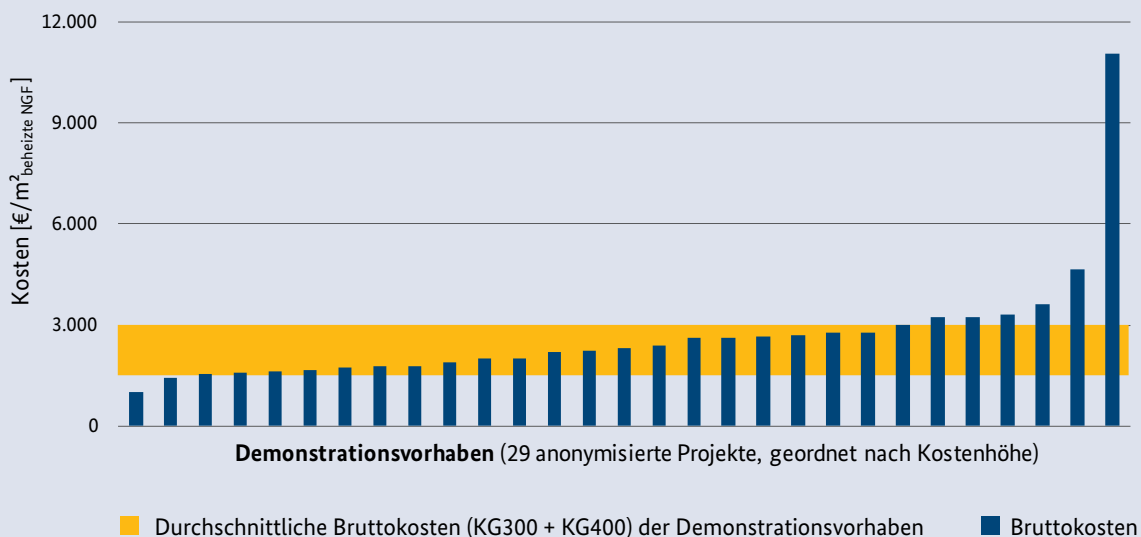
Hocheffiziente Wohnraumlüftungssysteme

Ein Lüftungskonzept im Neubau ist zwingend. Daher hat die Wohnraumlüftung in energetisch hochwertigen Wohngebäuden heute bereits als Standard Einzugeshalten. Allerdings findet man dort häufig eher einfache Systeme (Abluft) vor. Die Installation von Zu- und Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnungsgraden von mehr als 80 Prozent erfordert in Neubauten zusätzliche Kosten zwischen 40 und 65 Euro pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche.

Wärmepumpenanlagen mit Pufferspeichern

Elektro-Wärmepumpen haben in den letzten Jahren verstärkt Einzug in den Neubaumarkt gehalten. Im Vergleich zu einer Standardwärmeversorgung mittels Brennwertkessel und Warmwasserspeicher ergeben sich in Effizienzhäusern Plus Mehrkosten für die Wärmepumpenlösungen in Höhe von 45 bis 65 Euro pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche.

Abbildung 36: Bruttokosten für die Kostengruppen KG 300 und KG 400 der Demonstrationsvorhaben im Effizienzhaus Plus Standard



Hocheffiziente Haushaltsgeräte

Durch die Verwendung hocheffizienter Haushaltsgeräte lässt sich der Stromverbrauch in einem durchschnittlichen Haushalt um circa 1.000 Kilowattstunden pro Jahr verringern. Dies reduziert die zu installierende Photovoltaikleistung um etwa ein Kilowatt-Peak. Hierdurch lassen sich die Mehrkosten für die Geräte mehr als kompensieren. Es handelt sich hier quasi nur um eine Umverlagerung der Kosten.

Photovoltaiksysteme

Die Installationskosten für Photovoltaikanlagen haben sich in den letzten Jahren drastisch reduziert. Derzeit betragen die Investitionskosten für fertig montierte mittelgroße Aufdachanlagen im Einfamilienhausbereich 1.500 bis 1.700 Euro je Kilowatt-Peak. Für den Netzanschluss entstehen Kosten in Höhe von 500 bis 1.000 Euro. Bei einer mittleren Installationsleistung von 67 Watt-Peak je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche, wie sie im Mittel in den bisherigen Gebäuden vorgefunden werden, ergeben sich mittlere Investitionskosten von 100 bis 150 Euro pro Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche.

Elektrische Batteriesysteme

Für die Errichtung eines Effizienzhauses Plus ist eine elektrische Batterie nicht zwingend erforderlich, sie kann jedoch die Eigennutzungsrate steigern. Während bis vor fünf Jahren noch ca. 70 Prozent Blei-Säure-Batterien eingesetzt waren, wurden im Jahr 2017 fast alle der neu installierten Speichersysteme mit Lithium-Ionen-Batterien ausgestattet. Bleiakku-Hausbatterien kosten im Mittel (circa acht Kilowattstunden) etwa 1.100 Euro pro Kilowattstunde nutzbare Batteriekapazität, effizientere Lithium-Ionen-Batterien sind etwa 200 Euro pro Kilowattstunde teurer. Bei großen Batteriespeichern, z. B. in Mehrfamilienhäusern, lassen sich Kosten unter 1.000 Euro pro Kilowattstunde nutzbare Batteriekapazität erzielen.

Gesamtmehrinvestitionen

Ein Effizienzhaus Plus erfordert im Mittel, wie oben einzeln analysiert, Gesamtmehrinvestitionen je Quadratmeter beheizte Nettogrundfläche zwischen 250 bis 380 Euro. Bei zusätzlich installierten Photovoltaikflächen zur Unterstützung der Elektromobilität erhöhen sich die Investitionen entsprechend.

Verminderte Betriebskosten

Die Betriebskosten für ein durchschnittliches Einfamilienhaus im EnEV-2016-Standard können, bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche, mit etwa zehn Euro pro

Quadratmeter und Jahr für die Wärmeerzeugung und etwa 13 Euro pro Quadratmeter und Jahr für den Strombedarf – also insgesamt 23 Euro pro Quadratmeter und Jahr – abgeschätzt werden. Dieses Betriebskostenpotenzial kann im Effizienzhaus Plus bestmöglich erschlossen werden.

Bei einem Effizienzhaus Plus ließen sich noch vor mehreren Jahren die Betriebskosten auf oder unter null Euro pro Jahr reduzieren. Dies ist bei Häusern, die nur geringfügig mehr Solarstrom produzieren, als sie an Strombedarf aufweisen, heute ohne die Einbindung von Batterien praktisch nicht mehr möglich. Die Gründe hierfür sind die Abschaffung der Eigenverbrauchsvergütung sowie die degressive Einspeisevergütung. Selbst unter der Annahme, dass die Einbindung einer ausreichend dimensionierten Batterie den Eigennutzungsgrad auf mindestens 65 Prozent steigert, stellen sich trotz eines jährlichen Stromüberschusses Betriebskosten von circa zwei bis drei Euro pro Jahr und Quadratmeter Nutzfläche ein. Lediglich eine um circa 35 Prozent „überdimensionierte“ Photovoltaikanlage erbringt auch heute noch Betriebskosten unter null Euro.

Mieterstrom

Zur Vermarktung von Strom, der vor Ort an einem Gebäude mit einer Photovoltaikanlage, einem BHKW oder einer ähnlichen Anlage erzeugt wird und an Hausbewohner, die nicht Eigentümer dieser Anlage sind, ohne Nutzung des öffentlichen Stromnetzes zur allgemeinen Versorgung geliefert und im Gebäude verbraucht wird, existieren Vermarktungsmodelle (sog. Mieterstrom-Modelle). Mit den 2017 eingeführten gesetzlichen Änderungen im EEG kann Mieterstrom ebenfalls gefördert werden. Dem Anlagenbetreiber wird dabei unter festen Rahmenbedingungen ein Zuschuss gewährt. Als Stromlieferant erhält der Anlagenbetreiber für den gelieferten Strom auch Strompreiszahlungen von den Verbrauchern. Er wird somit zu einem Elektrizitätsversorgungsunternehmen mit allen Rechten und Pflichten. Hemmnisse sehen hier die Wohnungsgesellschaften in Bezug auf das Gewerbesteuer- und Körperschaftsrecht mit einem möglichen Verlust der bisherigen Steuervergünstigung. Einen Lösungsansatz hierfür stellen Warmmietenmodelle mit einem monatlichen Nutzersstromfreibudget seitens der Wohnungsgesellschaften dar.



Hinweis

Die investiven Mehrkosten für ein Effizienzhaus Plus stehen im Vergleich zu den erzielbaren Betriebskosten in einem verträglichen Verhältnis. Da die Einspeisevergütung einem ständigen Wandel unterlegen ist, sind wirtschaftliche Betrachtungen nicht verallgemeinerbar, sondern immer unter den aktuellen Randbedingungen zu führen.

Kostenminderungspotentiale

In dem von der Europäischen Union und dem Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBSR) geförderten europäischen Projekt „CoNZEBS (Solution sets for the cost reduction of new Nearly Zero-Energy Buildings)“ werden europaweit Musterlösungen gesammelt und entwickelt, die aufzeigen, wie energieeffizient und trotzdem kostengünstig gebaut werden kann. Damit soll sich die Kostenschere zwischen energieeffizienten und kosteneffizienten Neubauten schließen.

Folgende Ansätze lassen besondere Kostenminderungspotentiale erwarten:

- Vorgefertigtes und serielles Bauen
- Integrales Planen und Realisieren mit BIM-Prozessen
- Kompaktes, flächeneffizientes und technikminimiertes Bauen

Vorgefertigtes und serielles Bauen

Beim vorgefertigten Bauen werden Bauelemente aus unterschiedlichsten Materialien wie Ziegelstein, Kalksandstein, Beton, Leichtbeton, Porenbeton, Holz etc. im Werk vorgefertigt und auf der Baustelle zusammengesetzt. Die Bauteile verfügen dabei über unterschiedliche Vorfertigungsstufen: Leerrohre, Heizungen oder Heizungsleitungen, Zargen, Wärmedämmung und Fassadenverkleidungen können in die Elemente bereits integriert werden⁴. Nach einer Marktstudie der Beratungsgesellschaft für Wohnen, Immobilien, Stadtentwicklung mbH⁵ aus Hamburg bietet das serielle Bauen gute Potenziale, um bei der Errichtung und Sanierung von Mehrfamilienhäusern direkt oder indirekt Kosten zu reduzieren. Bis zu 20 Prozent der Bauwerks- und Baukosten sind laut überschlägiger Kostenanalyse bei größeren Bauvorhaben, bei denen der Wiederholungsfaktor der Bauteile eine entscheidende Rolle spielt, möglich. Nennenswerte Einsparpotentiale sind aber auch bereits bei kleineren Bauprojekten zu erzielen. Neben dem Aspekt der direkten Kosteneinsparungen, so die Autoren weiter, sind es auch die indirekten Effekte wie die Verkürzung von Bauzeiten und eine verbesserte Qualitätssicherung, die für das serielle und vorgefertigte Bauen im Geschosswohnungsbau sprechen.

4 ZDB: Elementiertes Bauen im Wohnungsbau
5 Beratungsgesellschaft für Wohnen, Immobilien, Stadtentwicklung mbH: Marktstudie 2017 – Serielles Bauen

Integrales Planen und Bauen mit BIM-Prozessen

Beim Planen und Realisieren von Bauvorhaben spielt die konstruktive Zusammenarbeit aller Beteiligten eine wesentliche Rolle für den Erfolg. Je unterschiedlicher die verwendeten Softwareprogramme sind und je größer die Anzahl der Beteiligten ist, umso mehr beeinflussen Kooperation und Kommunikation den Planungs- und Realisierungsablauf. Dies ist unabhängig davon, ob BIM-Prozesse zum Einsatz kommen oder nicht.

BIM (Building Information Modeling) ist eine digitale Arbeitsmethode, mittels der Menschen, Prozesse und Werkzeuge über den gesamten Lebenszyklus eines Bauwerks zielorientiert zusammenwirken⁶. BIM arbeitet auf Grundlage eines Bauwerksinformationsmodells und ermöglicht so, sämtliche Prozesse im Lebenszyklus eines Bauwerks virtuell darzustellen. So gewinnt ein Bauwerksprozess an Transparenz, Qualität, Kosten- und Terminalsicherheit.

Die durchgängige Anwendung von BIM-Prozessen läuft in Deutschland gerade erst an. Daher lässt sich der monetäre Vorteil dieser Methode gegenüber den klassischen Planungs- und Bauabläufen noch nicht zuverlässig abschätzen. Bekannt ist jedoch, dass in Europa etwa 10 Prozent der Bausummen dafür aufgewendet werden, um entstandene Schäden während der Planung und Realisierung wieder zu beheben. Es ist zu erwarten, dass durch die Umstellung auf BIM-Prozesse diese erheblichen Kapitalverluste zumindest teilweise gemindert werden können.

Kompaktes, flächeneffizientes und technikminimiertes Bauen

Ein besonders großes Kostenminderungspotential wird in der Minimierung und Vermeidung von bau- und anlagentechnischen Investitionen gesehen. Kompakte Baukörper sparen gleich in doppelter Hinsicht Kosten gegenüber Baukörpern ein, die gestaltungsbedingt mit vielen Vor- und Rücksprüngen durchsetzt sind, da durch die Kompaktheit viel weniger Quadratmeter Baukonstruktion erforderlich sind und bedingt durch die geringere Fläche weniger Wärmeverluste entstehen können. Auch Erschließungsflächen und Lagerflächen stellen ein Potential zur Kostenminderung dar. Gebäude ohne Keller oder mit außen vorgesetzten Treppenhäusern lassen sich erheblich günstiger realisieren als solche, die vollunterkellert sind und über interne Treppenhäuser verfügen.

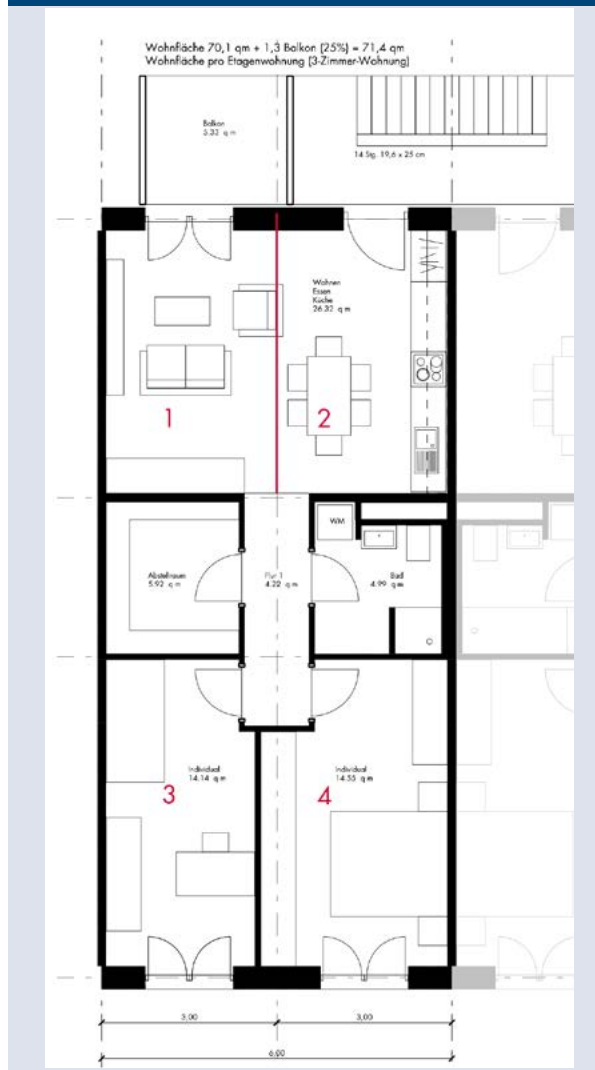
6 Allplan: BIM Kompendium – Theorie und Praxis

Von großem investivem Einfluss ist auch die Reduzierung von technischen Installationen. Gebäude mit zentralen Installationsschächten und Nassräumen erlauben deutlich geringere Rohrlängen als Wohnungsgrundrisse, in denen Küche, Bad und WC in der Wohnung verteilt angeordnet sind. Technikzentralen, die im Dachgeschoss angeordnet werden, führen gegenüber klassischen Heizungskellern ebenso zu minderen Kosten (geringere Verteilungen im Keller und keine Schornsteinanlage), wie Frischwasserstationen anstelle der sonst üblichen Zirkulationsleitungen und separaten Trinkwarmwasserspeicher für die Warmwasserbereitstellung.

Frankfurter Klimaschutzhaus

Ein von der ABG FRANKFURT HOLDING realisiertes Mehrfamilienhaus, das sowohl besonders kostengünstig als auch energieeffizient realisiert wurde, ist für

Abbildung 37: Grundriss Klimaschutzhaus Frankfurt am Main



Frankfurter Klimaschutzhaus

Maßnahmen

- 4-Raum-Prinzip + außenliegende Erschließung
- Variabilität trotz Standardisierung
- Neutrale Räume, flexible Wohnungsgrößen (zuschaltbarer Raum)
- Kompakte Bauweise
- Raumhöhe auf 2,75 m begrenzt Belichtungstiefe des Baukörpers 12 - 14 m
- Abstellraum statt Keller
- Hohe Flächeneffizienz
- Erschließung über Außentreppe + Balkone (Aufzüge nachrüstbar)
- Barrierefreiheit möglich
- sozialer Wohnungsbau – Förderfähigkeit
- Statische Optimierung (Schotten)
- Haustechnikzentrale im Dachgeschoss
- reduzierte und auf die Gebäudemitte konzentrierte Technik in den Wohnungen
- Wärmerückgewinnung aus der Abluftanlage (Zuluft über Fassade)
- Photovoltaik (Mieterstrom)
- Frischwasserstation
- Verzicht auf Heizungen in Küche und Abstellraum

Sozialwissenschaftliches Monitoring

Der Prozess der Energiewende bedarf wissenschaftlich abgesicherter Erkenntnisse zur Energienutzung, insbesondere im Umgang mit innovativen Technologien im Bereich des Hausbaus und Wohnens. Die Effizienzhaus Plus Wohngebäude wurden daher im Rahmen einer sozialwissenschaftlichen Begleitforschung untersucht, die vom Berliner Institut für Sozialforschung (BIS) GmbH durchgeführt wurde.

Methode

Den Auftakt bildete 2011 das Pilotprojekt in Berlin. Von 2013 bis 2014 wurden die Bauherren der Einfamilienhäuser des Netzwerks Effizienzhaus Plus zu ihren Motiven und Erfahrungen befragt. Sie beantworteten vor Einzug bzw. kurz nach Einzug einen Fragebogen und nach sechs bis 12 Monaten Wohnerschaft einen zweiten. Zwischenzeitlich wurden Interviews mit 11 Bauherren geführt. Die Gruppe der Bauherren bot die Möglichkeit einer Vorher-/Nachher-Untersuchung, weil sie dem Fördermittelgeber bereits vor Einzug bekannt war. Dies war bei der Gruppe der Mieter nicht der Fall. Die Mieter wurden zweimal zwischen August 2015 und Mai 2017 befragt (i.d.R. kurz nach Einzug und ein Jahr später).

An der Erstbefragung haben sich 110 und an der Zweitbefragung 70 Bewohner von 146 vorhandenen Wohneinheiten beteiligt. Es wurden drei Mehrfamilienhäuser in Frankfurt am Main, zwei in Neu-Ulm und eins in Berlin in die Untersuchung einbezogen. Außerdem zählten zu den Mietern im Netzwerk zwei Mietparteien des Modellprojektes in Bischofswiesen und das Wohngebäude für Schüler des Internats Schloss Hansenberg. Zusätzlich wurden die Feriengäste der beiden im Netzwerk geförderten Ferienunterkünfte mit einem kurzen Fragebogen zu ihren Eindrücken befragt.

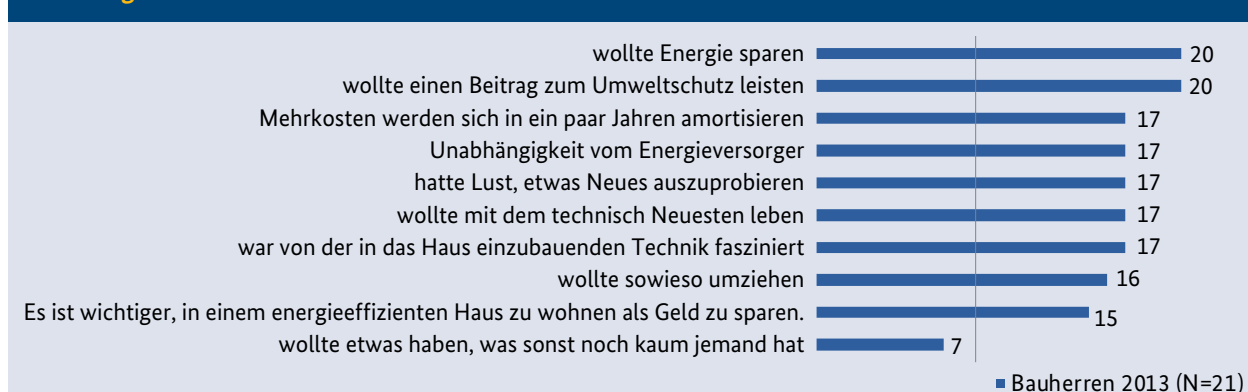
Mit dem sozialwissenschaftlichen Monitoring wurde der Frage nachgegangen, wie alltagstauglich die Gebäude im Energieeffizienz Plus Standard für die Bewohner im Hinblick auf die Gebäudetechnik, das Raumklima und die Energienutzungsgewohnheiten sind. Es erfasste, maß oder beobachtete systematisch alle Vorgänge und Prozesse, die Bewohner/Nutzer eines Gebäudes mit Effizienzhaus Plus Standard betrafen oder beeinflussten.

Motivation und Erwartung

Durch die Befragungen wurde deutlich, dass viele Ähnlichkeiten zwischen Bauherren und Mietern von Effizienzhaus Plus Gebäuden vorhanden waren. Trotz unterschiedlicher primärer Einzugs- bzw. Baumotive spielten ökologisch-ökonomische Gründe bei beiden Gruppen eine wichtige Rolle. Die Entscheidung von Mietern in ein Effizienzhaus Plus zu ziehen, war in der Lage des Gebäudes, dessen energetischem Konzept und im Grundriss bzw. der Größe der Wohnung begründet. Dass die Energieeffizienz des Gebäudes unter den ersten drei wichtigsten Einzugsmotiven rangierte, deutete auf ein starkes Interesse von Mietern an ressourcenschonender Energiegewinnung und effizientem Energieverbrauch hin.

Der Einzug in ein meist bis dato unbekanntes Wohnkonzept war für Bewohner mit Erwartungen und Befürchtungen verbunden. Bei beinahe allen Befragten, die einen geringeren Energieverbrauch sowie reduzierte Heizkosten erwarteten, ist dies auch eingetreten. Die Befürchtungen der Schimmelbildung in hochwärmedämmten Gebäude sowie eine Einschränkung in der Öffnungsmöglichkeit der Fenster haben sich nicht bewahrheitet.

Abbildung 38: Motivation ein Effizienzhaus Plus zu bauen oder zu beziehen



Die Mehrheit der Mieter eines Gebäudes im Effizienzhaus Plus Standard war grundsätzlich bereit, zu einer positiven Energiebilanz im Haus beizutragen. Nach eigenen Angaben verbrauchen sie in der jetzigen Wohnung weniger Energie als in der vorherigen. Zudem gingen sie jetzt bewusster mit Energie um und fühlten sich durch die Rückmeldung des Energieverbrauchs zum Sparen angeregt.

Resonanz

Den meisten Bewohnern war es sehr wichtig, über ihren Energieverbrauch informiert zu sein. Die Rückmeldeformate zum Energieverbrauch waren in den einzelnen Gebäuden unterschiedlich gestaltet: Sie reichten von einer App mit tagesaktuellen Verbrauchsdaten und gebäudeinternem Ranking, der Einsicht in die Verbräuche auf einer Internetplattform bis zu einer detaillierten Verbrauchsaufschlüsselung per Post einmal im Jahr. Das Kalkulieren mit der produzierten Energie sowie die Visualisierung von Energieertrag bzw. -verbrauch des jeweiligen Hauses und das Ranking im Vergleich mit anderen Bewohnern förderten das Energiebewusstsein und einen sparsamen Verbrauch. Die meisten Befragten zeigten im gesamten Alltag ein recht energiebewusstes und sparsames Verhalten. Empfohlene Verhaltensweisen zum Energiesparen (Licht ausschalten, kein dauerhafter Stand-by-Modus etc.) wurden von der Mehrheit der Befragten eingehalten.



Nutzerinterface im Aktiv-Stadthaus in Frankfurt am Main

Die hohe Akzeptanz sowohl von Mietern als auch von Bauherren kann als positives Zeichen für die weitere Verbreitung des Effizienzhaus Plus Standards gewertet werden. Wesentliches Ergebnis der Studie war eine hohe Akzeptanz und Alltagstauglichkeit der Technik in den Effizienzhäusern Plus. Komfort und Energiesparen sind für die Bewohner dieser Gebäude kein Gegensatz.

Das Plus des Standards ist nur mit Hilfe des Nutzers zu erreichen. Ohne Akzeptanz und entsprechendes Verhalten des Nutzers wird es meist nicht möglich sein, mehr Energie zu erzeugen als verbraucht wird.



„Wir werden das gute Gefühl vermissen.“

Familie Welke/Wiechers, die von März 2012 bis Juni 2013 das Effizienzhaus Plus in Berlin bewohnte, nach dem Auszug.

„Was uns nach unserem Auszug am meisten fehlen wird? Diese Frage wurde uns in den vergangenen Wochen sehr oft gestellt und es fällt schwer, darauf eine Antwort zu finden. Wir werden in jedem Fall das gute Gefühl vermissen, das wir beim Baden wie beim Autofahren hatten, denn Wärme, Warmwasser und der Strom für unsere Elektroautos werden uns von unserer Haustechnik emissionsfrei zur Verfügung gestellt.“



„Es war ein tolles Abenteuer, hier zu wohnen.“

Familie Heinzelmann/Brenner, die von Mai 2014 bis April 2015 das Effizienzhaus Plus in Berlin bewohnte, kurz vor dem Auszug.

„Man hat genügend Raum; das Haus ist eine kleine Technikbox, die viel kann und hier und da auch ihre Macken hat. Aber es bietet alles, so dass man mit einem guten Gefühl darin wohnen kann, wenn man einen verantwortungsvollen Lebensstil umsetzen will. Es war ein tolles Abenteuer, hier zu wohnen.“

Tipps für Planer und Bauherren

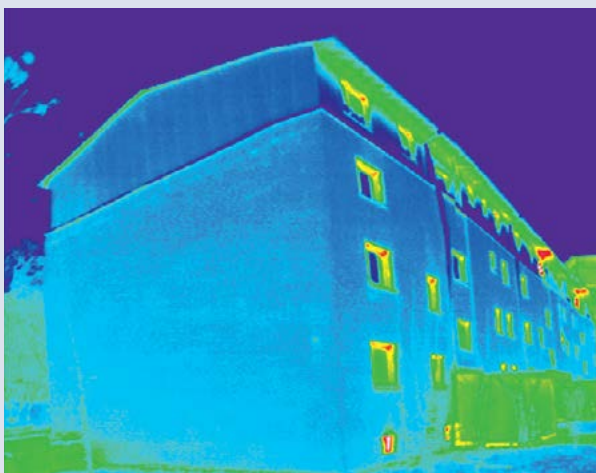
An die Planung und Realisierung von Effizienzhäusern Plus müssen erhöhte Anforderungen gestellt werden. Die folgende Checkliste kann helfen, die Herausforderungen in den unterschiedlichen Phasen systematisch zu prüfen.

Städtebau

- Südorientierung der Fassaden mit Hauptfensterflächen ermöglichen.
- Ausreichende Gebäudeabstände zur Solarnutzung bei tiefstehender Sonne.
- Solarorientierte Dachneigungen und Firstlinien.
- Begrünung zur sommerlichen Verschattung und zur Beeinflussung des Mikroklimas.

Planung

- Kompakte Baukörper in einhüftiger Bauweise mit möglichst breiter Südfront bei begrenzter Gebäudetiefe und Norderschließung oder zweihüftige Bauweise mit gleichmäßiger Ost-/Westbefensterung ermöglichen kosten- und energiesparendes Bauen.
- Anordnung von Pufferräumen oder Gebäudeteilen untergeordneter Nutzung im Norden.
- Integration des Heizraums in den beheizten Wohnbereich.



Thermografie eignet sich zur visuellen Überprüfung einer durchgängigen Ausführungsqualität.

- Kurze Heiz- und Warmwasserleitungen (Heizraum und Verteilschächte zentral im Haus).
- Räume gleicher Nutzung (beheizt/unbeheizt) zusammenlegen, um innere wärmetauschende Hüllfläche gering zu halten.
- Durchgängiges und sinnvoll aufeinander abgestimmtes Luftdichtheits- und Wärmebrückenkonzept erstellen. Hinweise in den Plänen vermerken, worauf besonders geachtet werden muss.
- Erstellung spezifizierter Ausschreibungsunterlagen mit exakten Bauteilbeschreibungen beziehungsweise genauen Beschreibungen der gewünschten Eigenschaften.

Passive Solarenergienutzung

- Fensterflächenanteile südorientierter Fassaden mit mehr als 50 Prozent, übrige Anteile nicht über die zur Belichtung notwendigen Flächen hinaus dimensionieren.
- Optimierte Flächenorientierung und -neigung zur passiven und aktiven Solarenergienutzung.
- Gebäudezonierung nach Nutzungszonen mit unterschiedlichen Raumtemperaturen.
- Anordnung speicherfähiger Innenbauteile im Strahlengang der Sonne.

Baulicher Wärmeschutz

- Vermeidung von Wärmebrücken an Bauteilanschlüssen (Deckenaufleger, Rollladenkästen, Dachanschlüsse).
- Darstellung aller energierelevanten Anschlussdetails im Rahmen der Ausführungsplanung und Ausschreibung (in der Regel 20 bis 25 Detailzeichnungen erforderlich) mit Angabe aller thermischen, hygrischen und dichttechnischen Bauteilkennwerte in den Plänen. Kein Detail ungelöst auf die Baustelle geben!
- Dachflächenfenster möglichst hochwertig ausführen, da diese Flächen noch größere Wärmeabstrahlung (klarer, kalter Weltraum) aufweisen als Wandflächen. (Diese Effekte sind von vereisten Autoscheiben her bekannt.)
- Wärmedämmende Innenbauteile zu unbeheizten Neben- und Pufferräumen.

- Hochwertige Dämmung von Abseitenwänden, Gauben und Deckenflächen gegen Außenluft.

Lüftungskonzept

- Bei Fensterlüftung Möglichkeit der Querlüftung schaffen.
- Nicht jedes Fenster muss offenbar sein.
- Im Geschosswohnungsbau bestehen häufig Anforderungen an den Brandschutz, die die Lüftungstechnik verteuern; dezentrale Lösungen können vorteilhaft sein.

Heiztechnik

- Temperaturniveau des Heizsystems niedrig wählen, um alternative Energieträger einbinden zu können und geringe Verteilverluste zu ermöglichen; konkurrierende Einflüsse wie vergrößerte Heizflächen und größere Volumenströme und Antriebsenergien bei der Festlegung des Temperaturniveaus mit heranziehen.
- Erhöhte Dämmung der Rohrleitungen realisieren, auch bei Verlegung in Bauteilen und bei Durchdringungen.
- Dämmung von Schiebern, Flanschen, Baugruppen bei der Heizungsverteilung sicherstellen. (Heizraum darf nicht der wärmste Raum des Hauses sein!)
- Überprüfung der möglichen Dämmstärken bei Heiz- und Brauchwasserspeichern über die vorhandenen hinaus.
- Einbau zeitlich steuerbarer Zirkulationspumpen, Beleuchtung, etc.

Bauausführung

- Nur Verwendung von geeigneten und bauaufsichtlich zugelassenen Materialien und Materialkombinationen. Möglichst gleiche Materialien verwenden, um Verwechslungen beim Verarbeiten zu vermeiden.
- Einsatz hochwertigster Verglasungen in wärmegeämmten Fensterrahmen (insbesondere bei Dachflächenfenstern); stimmen die Lieferungen mit dem Wärmeschutznachweis überein?

- Überwachung der Bauausführung an handwerklich schwierigen Baudetails.
- Ausführung dauerhaft luft- und winddichter Anschlüsse (Kehlgebälk, Gauben, Innen- und Außenwandanschlüsse, Fenstereinbaufugen nicht nur ausschäumen!).
- Thermische Trennung auskragender und in Kaltbereiche ragender Bauteile (Balkone, Vordächer).
- Überprüfung der wärmetechnischen Kennwerte und Zulassungen anhand von Produktbegleitzetteln und Lieferscheinen.
- Beschädigungen von Dichtungsebenen (Luft- und Dampfsperren) durch Elektroinstallationen, Dunstrohre etc. vermeiden; gegebenenfalls nachträglich wieder abdichten.
- Überprüfung der Luftdichtheit mittels Blower-Door-Test vor Beendigung des Innenausbau.
- Kontrolle der Bauausführung: Durch Thermografieaufnahmen können Ausführungsfehler bei der Dach- und Fassadendämmung aufgedeckt werden.

Übergabe an den Nutzer

- Die Nutzer (Mieter, Eigentümer) sollen sich in ihren Gebäuden wohlfühlen. Je besser das Gebäudekonzept den Nutzern vermittelt wird, desto eher können diese sich mit der Idee nachhaltiger Gebäude identifizieren. Informationsveranstaltungen und kurze, leicht verständliche Bedienungsanleitungen können maßgeblich dazu beitragen, die Energiebilanz einer Immobilie dauerhaft zu optimieren. Low-Tech-Lösungen und intuitiv bedienbare Gebäudetechnik vereinfachen die Nutzung und Wartung.

Betriebsüberwachung

- Installation eines kleinen Monitoringsystems bei der Planung vorsehen.
- Als Minimalversion sollte die Effizienz des Wärmeerzeugers erfasst werden (Verhältnis von Wärmeabgabe des Erzeugers zu Energieaufnahme [Strom, Gas, Holz]).
- Energieerträge der Solaranlage sollten überwacht werden.

Wichtige Links für Forschung und Förderung

- Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
www.bmi.bund.de
- Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung
www.bbr.bund.de
- Forschungsinitiative „Zukunft Bau“
www.forschungsinitiative.de
- Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Abteilung Energieeffizienz und Raumklima
www.ibp.fraunhofer.de/eer
- KfW Bankengruppe
www.kfw.de
- Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena)
www.dena.de
- Effizienzhaus Plus Rechner
www.effizienzhaus-plus-rechner.de
- Netzwerk Effizienzhaus Plus
www.forschungsinitiative.de/effizienzhaus-plus/

Abkürzungsverzeichnis

A/V-Wert	Verhältnis wärmeübertragende Hüllfläche zu beheiztem Volumen
Alu	Aluminium
BBSR	Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
BHKW	Blockheizkraftwerk
BIM	Building Information Modeling
BMI	Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
BNB	Bewertungssystem Nachhaltiges Bauen des Bundes
CIGS	Kupfer-Indium-Gallium-Diselenid (copper, indium, gallium, selenide)
EEG	Erneuerbare-Energien-Gesetz
EEWärmeG	Erneuerbare-Energien-WärmeGesetz
EFH	Einfamilienhaus
EnEG	Energieeinspargesetz
EnEV	Energieeinsparverordnung
EnVKV	Energieverbrauchskennzeichnungsverordnung
EU-RL	EU-Richtlinien
KfW	Kreditanstalt für Wiederaufbau
KWK	Kraft-Wärme-Kopplung
kW_{th}	thermische Leistung
l	Liter
LED	Light-Emitting Diode, Leuchtdiode
m^2	Quadratmeter
MFH	Mehrfamilienhaus
OSB-Platten	Grobspanplatten (oriented strand board)
PP/PE	Polypropylen/Polyethylen
PV	Photovoltaik
ψ	psi, längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient in Watt pro Meter und Kelvin
Q_h	Heizenergiebedarf
Q_{tw}	Trinkwasser-Wärmebedarf
Q_f	Endenergie
Q_p	Primärenergie
U-Wert	Wärmedurchgangskoeffizient
W/m^2K	Watt pro Quadratmeter und Kelvin
WE	Wohneinheiten
WRG	Wärmerückgewinnung
WSVO	Wärmeschutzverordnung

Bildnachweise

Titelseite: ZEBAU – Zentrum für Energie, Bauen, Architektur und Umwelt GmbH

Seite 15: Nimbus Group (www.nimbus-group.com)

Seite 17: Eibe Sönnecken, Darmstadt

Seite 20 (Kasten 1, oben): Jim Tetro, U.S. Department of Energy; Solar Decathlon

Seite 20 (Kasten 2, oben): ZEBAU GmbH

Seite 20 (Kasten 3, oben): Bien-Zenker

Seite 20 (Kasten 4, oben): Constantin Meyer, Köln

Seite 20 (Kasten 5, oben): Dorothea Burkhardt, Heidelberg

Seite 20 (Kasten 1, unten): Jim Tetro, U.S. Department of Energy; Solar Decathlon

Seite 20 (Kasten 2, unten): Fraunhofer IBP, Stuttgart

Seite 20 (Kasten 3, unten): Wellnest Home, Japan

Seite 20 (Kasten 4, unten): Zooey Braun, Stuttgart

Seite 20 (Kasten 5, unten): FertighausWelt, Wuppertal

Seite 21 (oben): Schwarz | Architektur fotografie

Seite 21 (Mitte): Schwarz | Architektur fotografie

Seite 21 (unten): Schwarz | Architektur fotografie

Seite 22 (alle): Schwarz | Architektur fotografie

Seite 26 (Bild 1): Schwarz | Architektur fotografie

Seite 26 (Bild 2): Elbe-Haus GmbH

Seite 26 (Bild 3): HO Immobilien & Baukonzepte

Seite 26 (Bild 4): Institut für Gebäude- und Solartechnik – IGS/TU Braunschweig

Seite 26 (Bild 5): Swantje Dankert Fotografie

Seite 26 (Bild 6): Architekturbüro Werner Haase, Karlstadt

Seite 27 (Bild 1): Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)

Seite 27 (Bild 2): Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)

Seite 27 (Bild 3): Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)

Seite 27 (Bild 4): Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)

Seite 27 (Bild 5): Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)

Seite 27 (Bild 6): Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)

Seite 28 (Bild 1): Franz-Josef Pfreundt

Seite 28 (Bild 2): Dipl.-Ing. (FH) Carmen Hausner

Seite 28 (Bild 3): Wagner Elektronik Weifa

Seite 28 (Bild 4): Schlagmann Poroton GmbH & Co. KG

Seite 28 (Bild 5): Architekturbüro Limberger

Seite 28 (Bild 6): Jürgen Molt

Seite 29 (Bild 1): Felix Krumbholz

Seite 29 (Bild 2): Stefan Griesel

Seite 29 (Bild 3): A R C H I T Y P E, Bremen

Seite 29 (Bild 4): Bernhard Böhler

Seite 29 (Bild 5): Karl Bachl GmbH & Co. KG

Seite 29 (Bild 6): Bau-Fritz GmbH & Co

Seite 30 (Bild 1): Florian Bernhardt

Seite 30 (Bild 2): Zooey Braun, Stuttgart

Seite 31 (Bild 1): Constantin Meyer, Köln

Seite 31 (Bild 2): Constantin Meyer, Köln

Seite 31 (Bild 3): HTW Berlin, Sebastian Dietz

Seite 31 (Bild 4): Martin Wamser

Seite 31 (Bild 5): faktor 10

Seite 31 (Bild 6): Drexler Guinand Jauslin Architekten GmbH

Seite 31 (Bild 7): Hans Angerer

Seite 32 (Bild 1): Zooey Braun, Stuttgart

Seite 32 (Bild 2): Eibe Sönnecken, Darmstadt

Seite 32 (Bild 3): www.diephotodesigner.de

Seite 32 (Bild 4): VELUX Deutschland GmbH, Adam Mark

Seite 33: Wellnest Home, Japan

Seite 35 (Bild 1): Dorothea Burkhardt, Heidelberg

Seite 35 (Bild 2): Landratsamt Regensburg

Seite 35 (Bild 3): Anglhuber und Reithmeier

Seite 35 (Bild 4): Köhler Architekten

Seite 35 (Bild 5): Dr. Reinhard Reck, Dinkelsbühl

Seite 35 (Bild 6): Werner Haase, Karlstadt

Seite 35 (Bild 7): Spreen Architekten, München

Seite 38 (1. Reihe, Bild 1): OKAL Haus GmbH, Simmern

Seite 38 (1. Reihe, Bild 2): Bien-Zenker Konzept-M Wuppertal

Seite 38 (1. Reihe, Bild 3): Büdenbender Hausbau GmbH

Seite 38 (1. Reihe, Bild 4): Danhaus GmbH

Seite 38 (2. Reihe, Bild 1): Fingerhaus GmbH

Seite 38 (2. Reihe, Bild 2): Fingerhut Haus GmbH & Co. KG

Seite 38 (2. Reihe, Bild 3): GUSSEK HAUS GmbH & Co. KG

Seite 38 (2. Reihe, Bild 4): www.hanse-haus.de

Seite 38 (3. Reihe, Bild 1): holz & raum GmbH & Co. KG

Seite 38 (3. Reihe, Bild 2): HUF HAUS GmbH und Co. KG

Seite 38 (3. Reihe, Bild 3): KAMPA GmbH

Seite 38 (3. Reihe, Bild 4): NORDHAUS Fertigung GmbH, Kürten

Seite 38 (4. Reihe, Bild 1): Okal Haus GmbH, Simmern

Seite 38 (4. Reihe, Bild 2): Partner Haus Fotoarchiv

Seite 38 (4. Reihe, Bild 3): Foto ProHaus GmbH & Co. KG

Seite 38 (4. Reihe, Bild 4): RENSCH-HAUS GmbH

Seite 38 (5. Reihe, Bild 1): Schwabenhaus/Musterhaus-Wuppertal

Seite 38 (5. Reihe, Bild 2): SchwörerHaus, Jürgen Lippert

Seite 38 (5. Reihe, Bild 3): WeberHaus GmbH & Co. KG

Seite 39: Bien-Zenker GmbH

Seite 43: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart

Seite 45: HUF HAUS GmbH u. Co. KG

Seite 51: ABGnova GmbH, Frankfurt

Seite 53 (Bild 1): Polynox – Büro für Gestaltung, Darmstadt

Seite 53 (Bild 2): BMUB

Seite 53 (Bild 3): BMUB/Sascha Hilgers

Seite 54: Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Stuttgart

Abb. 8: Hauser, Fraunhofer-Institut für Bauphysik/Technische Universität München

Abb. 9: Hauser, Fraunhofer-Institut für Bauphysik/Technische Universität München

Abb. 10: Bundesverband Wärmepumpen (BWP) e. V.

Abb. 16: Werner Sobek, Stuttgart

Abb. 21: Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)

Abb. 22: Bundesverband Deutscher Fertigung (BDF)

Abb. 37: schneider + schumacher, Frankfurt

Alle weiteren Abbildungen: Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Glossar

Beheizte Nettogrundfläche	Die zur Verfügung stehende nutzbare Grundfläche innerhalb des beheizten Gebäudevolumens.
Deckungsgrad Photovoltaik	Anteil des selbst generierten erneuerbaren Stroms aus Photovoltaikanlagen am Gesamtstromverbrauch des Gebäudes.
Eigennutzungsgrad Photovoltaik	Verhältnis des selbstgenutzten Stroms aus Photovoltaikanlagen am gesamt auf dem Grundstück generierten erneuerbaren Strom.
Endenergie	Energiemenge der eingesetzten Energieträger, die für die Energieversorgung des Gebäudes benötigt wird (z. B. Strom, Erdgas, Holzpellets, Fernwärme). Sie bezieht die für die Anlagentechnik benötigte Hilfsenergie mit ein.
Energieausweis	Dokument zur energetischen Bewertung eines Gebäudes als Bedarfsausweis auf Grundlage von Berechnungen, als Verbrauchsausweis auf Grundlage von Messungen. Grundsätze, Grundlagen, Art, Ausstellung und Verwendung regelt die Energieeinsparverordnung (EnEV).
Jahresarbeitszahl (JAZ)	Kennzahl zur Beschreibung der Energieeffizienz von Wärmepumpen. Sie gibt das Verhältnis der von der Wärmepumpenanlage abgegebenen Wärmemenge für Heizung und Warmwasserbereitung zur benötigten Stromaufnahme der Anlage an. Je höher die Arbeitszahl, desto effizienter die Wärmepumpe.
Primärenergie	Energiemenge, die zusätzlich zum Energieinhalt der notwendigen Brennstoffe und der Hilfsenergie für die Anlagentechnik (Endenergie) auch die Energiemengen einbezieht, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb des Gebäudes bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe entstehen.
Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert)	Der Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert) beschreibt die Wärmedämmeigenschaften von Bauteilen in $(W/(m^2K))$. Er gibt den Wärmestrom bei einem Kelvin Temperaturdifferenz pro Quadratmeter an. Je kleiner der Wert, desto besser die wärmedämmende Wirkung des Bauteils.
Wärmerückgewinnung (WRG)	Technologie zur Nutzung der in der Abluft oder dem Abwasser enthaltenen Wärme. Bei ventilatorgestützten Lüftungssystemen wird dies technisch z. B. durch einen Wärmeübertrager realisiert.

