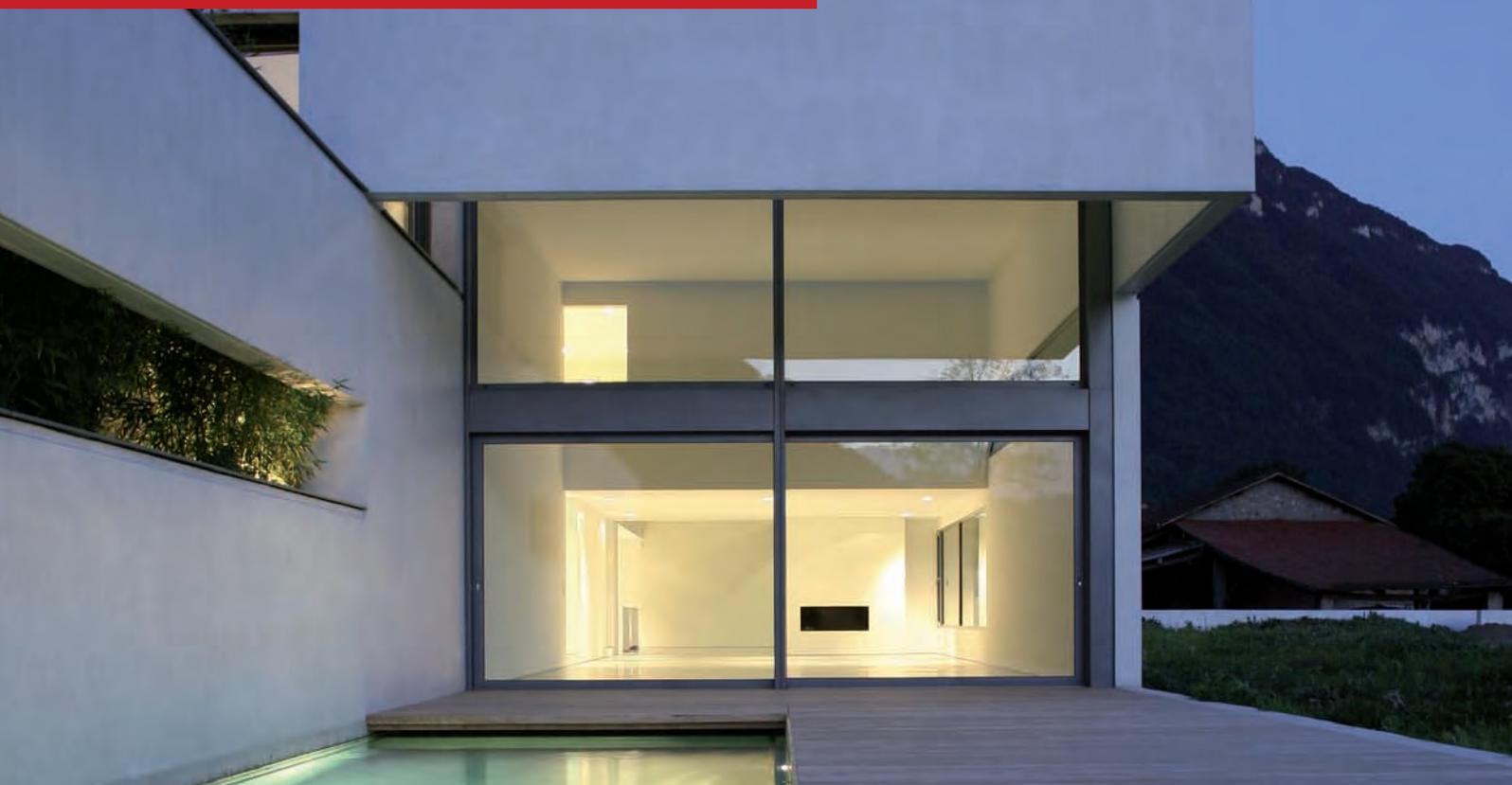


mein
ziegelhaus

jetzt zukunft bauen



BAUPHYSIK

DER WEG ZUM PLUSENERGIEHAUS



Mein Ziegelhaus. Denn Ziegel ist Zukunft.

Ziegelwerk Bellenberg, 89287 Bellenberg	☎ 0 73 06 - 96 50 - 0	info@ziegelwerk-bellenberg.de	www.ziegelwerk-bellenberg.de
JUWÖ Poroton Werke, 55597 Wöllstein	☎ 0 67 03 - 910 - 0	info@juwoe.de	www.juwoe.de
Ziegelwerk Klosterbeuren, 87727 Babenhausen	☎ 0 83 33 - 92 22 - 0	info@zwk.de	www.zwk.de
Ziegelwerk August Lücking, 33102 Paderborn	☎ 0 52 51 - 13 40 - 0	info@luecking.de	www.luecking.de
Stengel Ziegel, 86609 Donauwörth	☎ 09 06 - 706 18 - 0	info@stengel-ziegel.de	www.stengel-ziegel.de
Zeller-Poroton, 63755 Alzenau	☎ 0 60 23 - 97 76 - 0	info@zellerporoton.de	www.zellerporoton.de
Südwest Ziegel GmbH, 87700 Memmingen	☎ 0 83 31 - 96 40 - 0	info@sw-ziegel.de	www.sw-ziegel.de

EDITORIAL

Dipl.-Ing. Hans Peters
Geschäftsführer Mein Ziegelhaus



Nachhaltiges und energieeffizientes Bauen ist aktuell der Megatrend der Bau- und Immobilienwirtschaft. Kommerzielle Investoren ebenso wie private Bauherren reagieren positiv auf die gesellschaftliche Herausforderung zum Ressourcen und Energie sparenden Bauen. Verdeutlicht wird dies auch über öffentliche und private Initiativen zur Bewertung der Nachhaltigkeit. Kernpunkt aller Überlegungen zur Zukunftsfähigkeit von Wohngebäuden ist die Minimierung des Energiebedarfs. Der Grund liegt auf der Hand: Bezogen auf die lange Lebensdauer von mindestens 50 und bis zu über 100 Jahre summiert sich der Energieeinsatz für die Wärmebereitstellung und die Warmwasserbereitung zu einer bedeutenden Größenordnung.

Anders als bei Konsumgütern geht es bei der individuellen Planung und Erstellung von Gebäuden darum, unter Einbeziehung der vorhandenen regionalen und orografischen Besonderheiten die Anforderungen des Bauherren unter den Gesichtspunkten des energiesparenden Bauens auf das konkrete Objekt bezogen schon in der frühesten Planungsphase zu berücksichtigen. Entscheidend für eine detaillierte Bewertung verschiedener Gebäudeentwürfe ist dabei nicht der Bauprozess, sondern die gesamte Lebensdauer eines Bauwerkes einschließlich seines Erhaltungsaufwandes. Die in Deutschland führende Bauausführung – Massivhäuser in Ziegelbauweise – beweist seit langem, dass sie nicht nur zeitgerecht, sondern auch zukunftsfähig ist.

Entsprechend unseres heutigen Wissens stehen wir allerdings an der Schwelle vom „nur wärmegeprägten“ Haus hin zu einem Gebäude, das über die Nutzungsphase gesehen sogar Energie gewinnen kann – das Plusenergiehaus. Zentrale Themen eines solchen Plusenergiehauses sind das aufeinander abgestimmte Konzept zwischen baulichem Wärmeschutz und der Anlagentechnik des Gebäudes; die Berücksichtigung regenerativer Energien ebenso wie die wirtschaftliche Einbindung von Solarenergie und ggf. Geothermie.

Aber wie auch immer die Anlagentechnik konzeptioniert wird, Grundlage ist immer die solide und dauerhafte Gebäudebasis. Ziegel liefern dafür die besten Voraussetzungen. Dies gilt sowohl für Einfamilien- als auch für Mehrfamilienhäuser. Gerade die innovative MZ-Reihe von Mein Ziegelhaus zeichnet sich durch ihre Multifunktionalität aus, bei der nicht nur die statische Gebäudesicherheit, sondern auch der Wärme- und Schallschutz optimal aufeinander abgestimmt sind. So ist z.B. ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Wärmedämmung und Wärmespeicherung ein wichtiger Garant für ein detailliertes Energieeinsparkonzept.

Auch das Thema Wärmebrücken ist ein zentraler Punkt bei der Optimierung des baulichen Wärmeschutzes. Mit der vorliegenden Broschüre wollen wir Ihnen ein Hilfsmittel an die Hand geben, das sowohl erste Information liefert, als auch einen Überblick über die vielfältigen planerischen und anlagentechnischen Möglichkeiten geben soll, die auf dem Weg zum Plusenergiehaus in Ziegelbauweise zu beachten sind.

DER WEG ZUM PLUSENERGIEHAUS

Die Bundesregierung hat den Auftrag, zur Umsetzung der Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden bis zum Jahr 2021 sicherzustellen, dass sämtliche Neubauten als Niedrigstenergiegebäude errichtet werden.





Auch wenn die Definition derartiger Standards bislang nicht eindeutig ist, hat sich die Bundesregierung entschlossen, Effizienzhäuser mit einem Energiebedarf von nahezu Null oder sogar Gebäude mit eigener Energieproduktion als sog. Plusenergiehäuser zu fördern. Dieses Vorhaben flankiert das ambitionierte Energiekonzept sowie die Energiewende in Deutschland als ein wesentlicher Schwerpunkt.

Nachdem in den letzten Jahren der Niedrigenergiehausstandard sowohl durch die Energieeinsparverordnungen als auch durch die Fördermaßnahmen des Bundes den Neubau geprägt hat, sollen bis zum Jahr 2021 Wohngebäude derart realisiert werden können, dass deren Betrieb klimaneutral erfolgt. Aus dem Umstand, dass der Gebäudebereich weiterhin ein erhebliches Entwicklungspotenzial birgt, die Energieeffizienz zur Beheizung, Kühlung und Beleuchtung nachhaltig zu verringern, werden derzeit Konzepte entwickelt und erprobt, durch die moderne Gebäude mehr Energie produzieren, als sie selbst für ihren Betrieb benötigen. Dies bedeutet, dass der sehr geringe Energiebedarf aus regenerativen Energieträgern gedeckt wird und unter Umständen sogar ein Energieüberschuss entsteht: Das Plusenergiehaus.

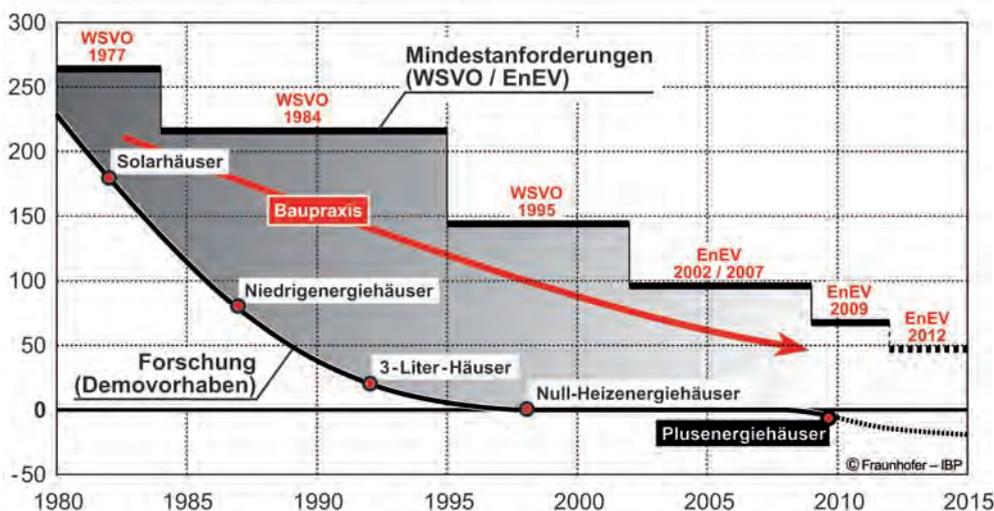
Die Bundesregierung setzt in diesem Zusammenhang auf eine umfangreiche Umstellung der Energieversorgung der Gebäude mit elektrischem Strom. Durch die beschlossene Energiewende werden immense Investitionen in den Strombereich gelenkt, sodass zukünftig auch dezentrale Stromversorgungs- und Erzeugungskonzepte im privaten Bereich üblich sein werden. Die verschiedenen Möglichkeiten hauseigener Anlagen zur Gewinnung erneuerbaren Stroms decken nicht nur den Stromverbrauch im häuslichen Bereich, sondern können zukünftig auch das zu jedem Haushalt gehörende Elektromobil mit eigen erzeugter Energie versorgen.

Da in den letzten Jahrzehnten die Gebäudestandards schon immer besser ausgeführt wurden, als die aktuellen gesetzlichen Anforderungen dies verlangten, sind bereits heute sehr effiziente Gebäudehüllen und Anlagentechniken üblich. So stellt das Fraunhofer Institut für Bauphysik Stuttgart fest, „dass in den letzten 30 Jahren im Mittel eine jährliche Reduktion des Primärenergiebedarfs zu Heizzwecken von etwa 6 kWh/(m² a) realisiert werden konnte.“



Entwicklung des energiesparenden Bauens

Primärenergiebedarf – Heizung [kWh/m²a]



Entwicklung der Anforderungen an das energieeffiziente Bauen in Deutschland

QUELLE: IBP BMVBS BROSCHÜRE

Die Entwicklung kann sicherlich in naher Zukunft nur mit einem kleineren jährlichen Durchschnittswert fortgeführt werden. In Verbindung mit aktiven Anlagen zur Energieerzeugung lassen sich jedoch bereits heute Wege aufzeigen, ein Plusenergiehaus zu konzipieren.

Die folgende Broschüre soll Wege aufzeigen, wie mit den bewährten Massivbauweisen des Ziegelmauerwerks, intelligenter Anlagentechnik und innovativer Energieversorgung das Wohnen der Zukunft energieeffizient und nachhaltig gestaltet werden kann.

Definition Nullenergiehaus/Plusenergiehaus

Ein Nullenergiehaus ist ein Gebäude, dessen Jahresendenergiebedarf zur Beheizung, Kühlung und Beleuchtung vollständig durch regenerative Energieträger gedeckt wird. Darüber hinaus wird angestrebt, den erforderlichen Haushaltsstrombedarf ebenfalls sehr gering zu halten und diesen durch z.B. eigene Stromerzeugung zu decken. Der dazu benötigte Endenergiebedarf ist die Energie, die an der Grundstücksgrenze übergeben wird und vom Bewohner des Gebäudes am Energiezähler abgelesen werden kann. Dazu gehört z.B. Erdgas, Heizöl, Fernwärme, elektrischer Strom aber auch biogene Brennstoffe wie z.B. Holz oder Pellets.

Ein Plusenergiehaus ist nach Definition der Bundesregierung erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Endenergiebedarf d.h. ein Überschuss an Energie vorliegt, als auch ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf vorhanden ist [Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hrsg.): Wege zum Effizienzhaus-Plus, Broschüre August 2011, Berlin.]. Unter Primärenergiebedarf in diesem Sinne wird die Energiemenge verstanden, die zusätzlich zur Endenergie aus nicht erneuerbaren Quellen zur Förderung, der Veredelung und dem Transport der Endenergie erforderlich ist. Das sind z.B. die recht hohen Kraftwerksverluste bei der Stromerzeugung, aber auch z.B. die energetischen Aufwendungen für das Schlagen und den Transport von Holz zur Verwendungsstelle Ofen.

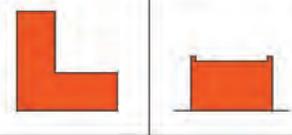
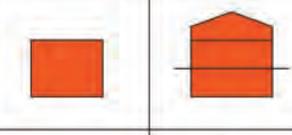
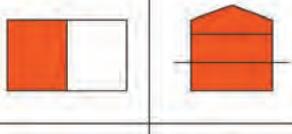
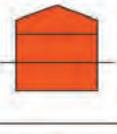
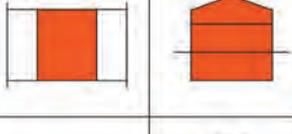
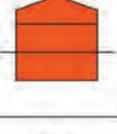
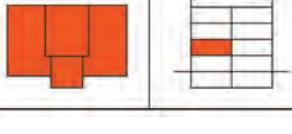
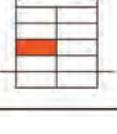
Die Bilanzgrenze zur Bewertung eines Null- oder Plusenergiehauses unter der Einbeziehung der Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien bildet das Grundstück, auf dem ein solches errichtet ist. Es dürfen aber auch unmittelbar am Grundstück benachbarte Energieerzeugungsanlagen z.B. Gemeinschaftsanlagen in der Energiebilanz anteilig berücksichtigt werden, wenn der Zweck der Energieerzeugung unmittelbar der Versorgung des eigenen Gebäudes dient.



DER GEBÄUDE- ENTWURF

Die hochwärmedämmende Außenhülle der Gebäude macht die in der Vergangenheit aufgestellte Forderung nach Anordnung von warmen zu kälteren Zonen Richtung Außenhülle (Zwiebelprinzip) entbehrlich: Das gesamte Gebäude weist ein annähernd gleiches Innentemperaturniveau auf.



Gebäude	Schema		Hüllflächenfaktor A/V [m ²]
	Grundriß	Schnitt	
Einfamilienhaus (EFH)	1		0,98
	2		0,80
Doppelhaushälfte (DHH)			0,60
Reihenmittelhaus (RMH)			0,40
Mehrfamilienhaus (MFH)			0,24

Typische Gebäudeformen und deren Hüllflächenfaktoren

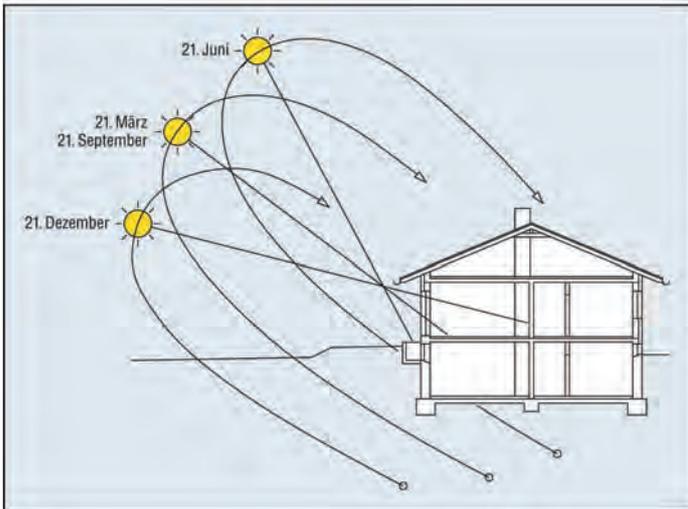
QUELLE: BROSCHÜRE AMZ NIEDRIG-ENERGIE-HAUS

Vor zu großen Süd- und Südwest-Fensterflächen muss mittlerweile gewarnt werden: Eine Überhitzung der angrenzenden Räume kann in modernen Gebäuden bereits in den Übergangsmonaten des Frühjahrs zu einem Kühlbedarf führen, der unbedingt vermieden werden sollte. Auch erfordern große Fensterflächen den Einsatz großer Heizflächen, um im Winterfall die an diesen im Vergleich zu den Massivbauteilen gering gedämmten Bauteilen die erhöhte Wärmeabfuhr zu kompensieren: Fenster bestimmen im Wesentlichen die Heizlast und damit die Dimension der Heizwärmeerzeugungsanlage.

Die Frage einer Unterkellerung eines Effizienzhauses ist regelmäßig nicht mit der Höhe des Energiebedarfs zu verknüpfen, sondern in erster Linie nach den Bauherrenwünschen auszurichten. Während Einfamilienhäuser durchaus ohne Keller errichtet werden können, ist dies bei Mehrfamilienhäusern häufig nicht sinnvoll. Kellerersatzräume innerhalb der thermischen Hülle von Mehrfamilienhäusern bedeuten einen enormen Platzbedarf und können zusätzliche Erschließungsflächen und Energieverteilungswege erforderlich machen. Ein wesentlicher Aspekt in Mehrfamilienhäusern ist die Einplanung von gemeinschaftlich genutzten Räumen. Das können z.B. zentra-

le Waschküchen sein, die unmittelbar neben Wärmeerzeugungsanlagen oder Wärmespeichern angeordnet sind. Im Fokus eines idealen Gebäudeentwurfs steht neben einer kompakten Bauform auch immer die Vermeidung überflüssiger Energieversorgungswege für die Heizungs-, Warmwasser- und ggfs. Lüftungsversorgung.

Auch im Effizienzhaus gilt der Planungsgrundsatz, dass eine kompakte Gebäudeform mit nach Süden orientierter Hauptfassadenfläche eine günstige Voraussetzung für eine verlustarme Gebäudehülle und gleichzeitig für eine sinnvolle passive und auch aktive Solarnut-



Sonnenbahn im Tagesverlauf

QUELLE: BROSCHÜRE AMZ NIEDRIG-ENERGIE-HAUS

zung darstellt. Dieser Zusammenhang lässt sich durch das sog. A/V -Verhältnis von Gebäudehüllfläche zum umschlossenen Volumen kennzeichnen. Die Tabelle auf der linken Seite zeigt die Spannweite typischer A/V Verhältnisse. Je geringer dieser Wert, desto besser der Kompaktheitsgrad eines Gebäudes.

Eine Planung mit zur Sonne orientierter Fassadenflächen gilt für die Konzeptionierung von Effizienzhäusern im Besonderen. Als Planungsgrundsatz gilt zusätzlich, dass für die Produktion von eigengenutztem elektrischen Strom Flächen für Photovoltaik-Module vorzuhalten sind. Als Richtwert für eine aus-

reichende Eigenstromproduktion kann bei einem freistehenden Einfamilienhaus eine Fassaden- / Dachfläche von etwa $0,25 \text{ m}^2$ pro m^2 Gebäudenutzfläche angesehen werden. Soll die Warmwasserbereitung über thermische Solaranlagen unterstützt werden, sind für hocheffiziente Vakuumröhrenkollektoren etwa 2 bis 3 m^2 Kollektorfläche je 100 m^2 konditionierter Nutzfläche vorzusehen. Bei Mehrfamilienhäusern reduziert sich in der Regel der Flächenbedarf für derartige Techniken.

Die Dachneigung zwischen 30° und 45° erbringt in den Sommermonaten den größten Energieeintrag. Soll allerdings auch in den

Übergangsjahreszeiten eine hohe „Solarente“ ermöglicht werden, sind steilere Dachneigungen wünschenswert. Dies scheidet allerdings häufig an den Festlegungen des Bebauungsplans, der Trauf- und Firsthöhen begrenzt oder aber auch an der begrenzten Ausnutzbarkeit der unter der Dachfläche angeordneten Wohnräume.

GEBÄUDEHÜLLE UND DETAILS

Opake Bauteile

Der Wärmeschutz der nicht transparenten Bauteile eines Nullenergiehauses muss auch unter den Aspekten der Wirtschaftlichkeit und unter den übrigen Anforderungen an ein Gebäude wie z.B. der Statik, des Schall- und Brandschutzes den Anforderungen an Nachhaltigkeit gerecht werden. Unter diesen Gesichtspunkten gibt die folgende Tabelle Richtwerte von Wärmedurchgangskoeffizienten der nicht transparenten Bauteile eines Ziegel-Effizienzhauses.

Außenwände

Die Wärmedämmung der massiven Gebäudehülle lässt sich im modernen Ziegelgebäude mit einschaligen Außenwänden realisieren. Die Wärmedurchgangskoeffizienten erreichen bei einer Wandstärke von 49 cm und unter Berücksichtigung der Putzschichten $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Mit diesen massiven Wandaufbauten lassen sich ebenso die Wärmebrückeneffekte auf ein Minimum reduzieren sowie die Vorteile der Speicherfähigkeit insbesondere hinsichtlich moderater, sommerlicher Raumtemperaturen nutzen. Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der Wärmedurchgangskoeffizienten monolithischer Ziegelwände.

Mauerwerk Dicke in mm	U-Wert in $\text{W}/(\text{m}^2 \text{ K})$			
	Wärmeleitfähigkeit in $\text{W}/(\text{mK})$			
	0,10	0,09	0,08	0,07
365	0,25	0,23	0,21	0,18
425	0,22	0,20	0,18	0,16
490	0,19	0,17	0,16	0,14



Dächer

Neben den Außenwandflächen bewirken die Dachbauteile in der Regel die zweitgrößte Quelle der Transmissionswärmeverluste aller opaken Bauteile. Daher ist vor allem eine hochwertige Wärmedämmung an dieser Stelle sinnvoll. Dies vor allem vor dem Hintergrund, dass sowohl winterliche Tiefsttemperaturen als auch sommerliche Energieeinträge durch die Dachkonstruktion abgehalten werden sollen. Die Wärmedurchgangskoeffizienten von hoch wärmegeprägten Dachsystemen erreichen Werte zwischen etwa 0,10 und 0,13 W/(m² K).

Kellerdecken/Bodenplatten

Die horizontalen Bauteile zu unbeheizten Nebenräumen, zum Keller oder zum Erdreich benötigen wegen der geringeren Temperaturdifferenz zwischen dem beheizten Raum und der Umgebung keinen so hohen Wärmeschutz. Die U-Werte können daher höher ausfallen und sind unter Berücksichtigung der Temperatur-Korrekturfaktoren insbesondere nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zu optimieren. In diesem Bereich erweisen sich Wärmedurchgangskoeffizienten von etwa 0,25 W/(m² K) als sinnvolle Grenze.

Decken an Außenluft

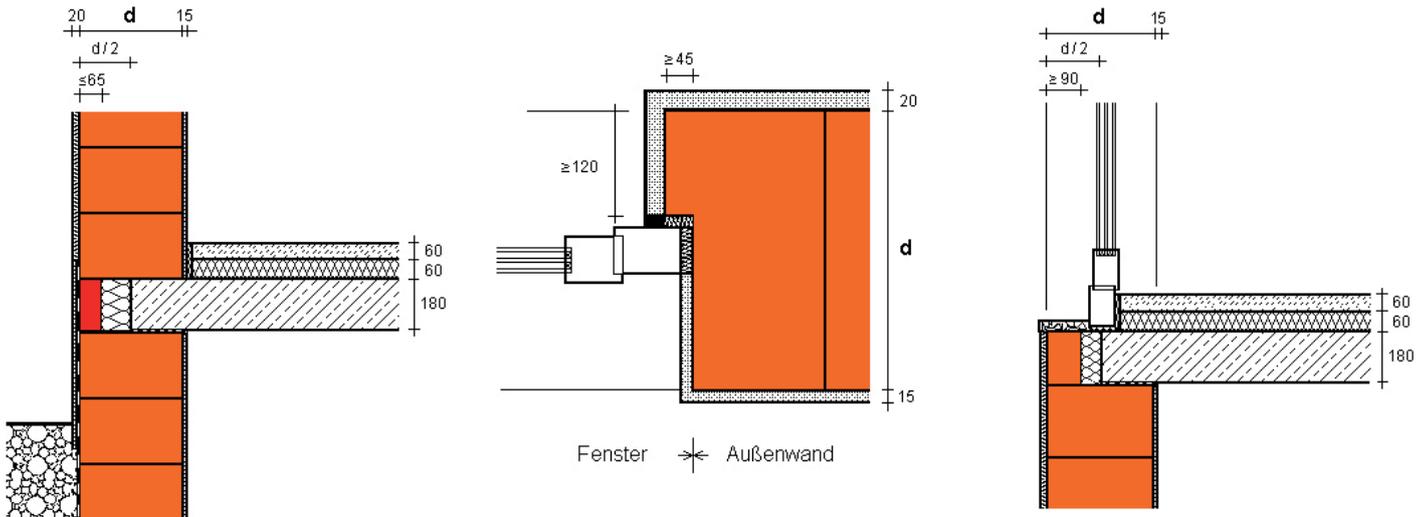
Decken gegen die Außenluft nach unten müssen immer eine außenseitige Wärmedämmung erhalten um hier vor allem die Wärmebrückenverluste zu minimieren. Dies gilt z.B. für Geschossdecken von Luftgeschossen oder an Gebäudevorsprüngen im Bereich von Terrassen oder an Erkern. Als besonders wichtig stellt sich eine hohe Wärmedämmung von Decken an Tiefgaragen dar. Dort herrschen häufig Außenlufttemperaturen und daher müssen vor allem Unterzüge, Stützen und andere tragenden Bauteile mit einer zusätzlichen Wärmedämmung versehen werden.

Innenwände

Innenwände von beheizten Zonen wie z.B. Treppenhäusern müssen gegen unbeheizte Bereiche ebenfalls wärmedämmend ausgeführt werden. Hierzu bietet sich hochwärmedämmendes Ziegelmauerwerk an oder es müssen zusätzliche Wärmedämmschichten aufgebracht werden. Die Qualität der Wärmedämmung ist auch in diesen Fällen unter Wirtschaftlichkeitsaspekten unter Berücksichtigung der Temperatur-Korrekturfaktoren auszuwählen.

Bauteil	Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m ² K)]	Vorgeschlagener Bauteilaufbau
Außenwand an Außenluft	0,14 - 0,16	42,5 oder 49 cm Hochlochziegel 0,07 beidseitig verputzt
Außenwand an Erdreich	0,24 - 0,28	30 cm Hochlochziegel + 14 cm Perimeterdämmung
Dach, Dachgeschossdecke	0,12 - 0,14	24 cm Zwischensparrendämmung + 10 cm Unter- und/oder Aufsparrendämmung
Kellerdecke	0,24 - 0,28	Stahlbetondecke + 12 cm Estrichdämmung + 3 cm Trittschalldämmung
Bodenplatte an Erdreich	0,24 - 0,28	Stahlbetondecke + 6 cm Estrichdämmung + 3 cm Trittschalldämmung + 6 cm Perimeterdämmung
Wand an unbeheizten Bereich	0,25 - 0,5	je nach Erfordernis und Flächenanteil
Fenster	0,8 - 1,0	Spezielle Zweifach- oder Dreifachverglasung
Außentüren	1,1 - 1,8	je nach Hersteller

Richtwerte von Wärmedurchgangskoeffizienten der Hüllflächenbauteile eines Ziegel-Effizienzhauses



Fenster und Türen

Die Fenster der aktuellen Generation werden als 3-Scheiben-Isolierverglasungen mit hochwärmedämmenden Verbundrahmen ausgeführt und erzielen U_w -Werte von etwa $0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$.

Die hochwärmedämmenden Fenster zeichnen sich dadurch aus, dass die Verglasungen mit selektiven, d.h. infrarot verspiegelten Beschichtungen versehen sind, eine Edelgas-Füllung aus z.B. Argon aufweisen, Glas-Abstandhalter aus wärmedämmenden Materialien wie z.B. speziellen Kunststoffen bestehen und der Glaseinstand innerhalb des Fensterrahmens tief ist.

Der U_w -Wert von Fenstern ist abhängig von der Fenstergröße und den verwendeten Komponenten und setzt sich gemäß DIN EN 10077-1 wie folgt zusammen:

$$U_w = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_f U_f + \sum l_g \Psi_g}{\sum A_g + \sum A_f}$$

mit:

U_g = Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung

U_f = Wärmedurchgangskoeffizient des Fensterrahmens

Ψ_g = längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Abstandhalters

A_g = Fläche der Verglasung

A_f = Ansichtsfläche des Rahmens

l_g = Länge des Glas-Randverbundes

Die Dicken der 3-fach-Isolierverglasungen betragen etwa 35 mm, die Rahmenbreiten etwa 120 mm. Die Flächengewichte 3-fach verglaster Fenster können bis zu $30 \text{ kg}/\text{m}^2$ betragen. Dies ist bei der Festlegung der Fenstergrößen zu beachten, damit z.B. raumhohe gekippte Fenstertüren beim Lüften oder aber auch beim plötzlichen Zuschlagen durch Windzug nicht beschädigt werden oder aber dem Nutzer Schaden zufügen.

Bei der Montage der Fenster sind besondere Regeln zur Luftdichtheit der Bauteilanschlüsse und zum Wetterschutz der äußeren Einbaufuge zu beachten. Die hohe Luftdichtheit der Funktionsfugen zwischen Blind- und Flügelrahmen macht in Niedrigenergiehäusern Öffnungen zur kontrollierten Wohnungslüftung erforderlich.

Neben den Fensterflächen innerhalb der Fassade werden häufig Dachflächenfenster in den geneigten Dachflächen gewünscht. Hierbei ist zu beachten, dass diese auf Grund der schlankeren Fensterrahmen konstruktionsbedingt nicht so niedrige U-Werte aufweisen können, wie herkömmliche Fenster. Darüber hinaus steigen die U_g -Werte von 2-fach Verglasungen mit zunehmender Neigung bis zur horizontalen Einbausituation um bis zu $0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Daher werden auch an dieser Stelle 3-fach verglaste Dachflächenfenster favorisiert, die diesen Effekt nur in deutlich geringerem Umfang aufweisen [Rossa, M.: Geneigt ist anders - U-Werte geneigter Verglasungen, ift Rosenheim, Bericht 2010.]

Der Einsatz hochwärmedämmender Außentüren ist in einem Plusenergiehaus ebenso obligatorisch. Auf dem Markt werden Haustüren mit U-Werten zwischen $0,8$ und $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ flächendeckend angeboten.

Wärmebrückenarme Anschlussdetails

Hochwärmedämmende Ziegelgebäude lassen sich außerordentlich gut mit wärmebrückenarmen Anschlussdetails realisieren. Hierzu stehen Musterlösungen zur Verfügung, die unter den Gesichtspunkten einer einfachen handwerklichen Umsetzung, den Anforderungen an die Mauerwerksstatik sowie des Schallschutzes entwickelt wurden und sich bewährt haben. Die folgenden Darstellungen zeigen einen Auszug derartiger Anschlüsse aus dem Mein Ziegelhaus Wärmebrücken-katalog.

Zusätzliche Wärmebrückenverluste

Die zusätzlichen Wärmebrückenverluste der Gebäudehülle werden durch den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ beschrieben. Dieser Wert beschreibt die gegenüber einer ebenen Fläche an den Kanten zusätzlich auftretenden Verluste. Es ist allerdings auch möglich, dass Wärmebrücken durch negative Ψ -Werte gekennzeichnet sind. Dies ergibt sich aus der Bewertungsme-

thodik mit einer auf die Außenmaße bezogenen Flächenermittlung der wärmetauschenden Bauteile. Die Bandbreite der Ψ -Werte hochwärmedämmender Bauteilanschlüsse liegt für Standard-Details zwischen $-0,1$ und $+0,1 \text{ W}/(\text{mK})$. Werden sämtlich linienförmigen Wärmebrückeneines Gebäudes über ihre Anschlusslängen bilanziert, ergibt sich ein Zuschlag auf den mittleren U-Wert der Gebäudehülle von $D U_{\text{WB}}$ von etwa $0,02$ bis $0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Geringere Werte sind auch möglich, aber meist nur mit erheblichem Aufwand zu erreichen.

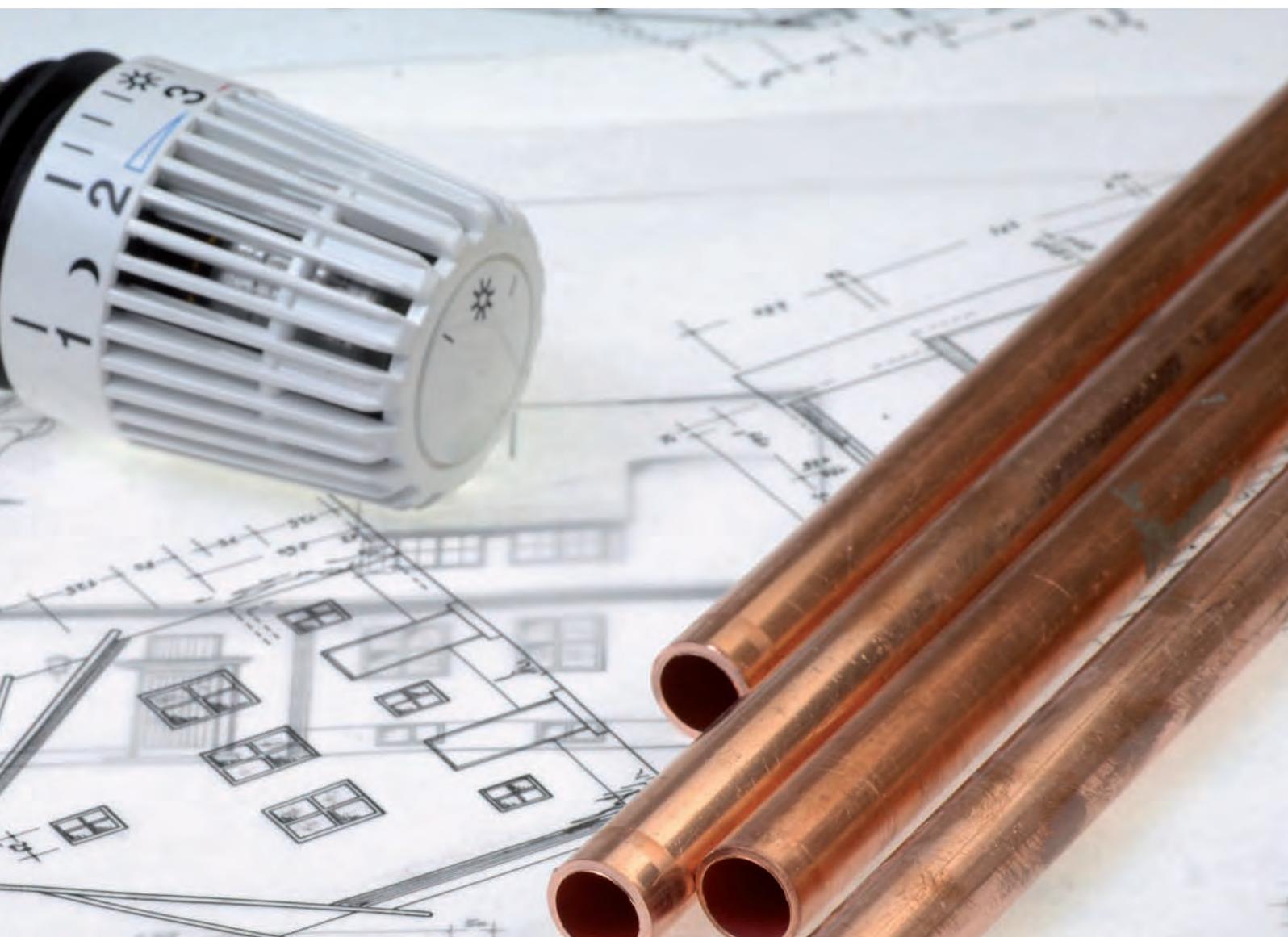
Die folgende Tabelle enthält eine Übersicht der an dem dargestellten Ziegel-Plusenergiehaus auftretenden zusätzlichen Wärmebrückenverluste. Dazu werden die maßgeblichen Anschlusslängen der Details am konkreten Objekt ermittelt und aufsummiert. Der so errechnete Gesamtzuschlag wird auf die Gebäudehüllfläche bezogen und als $D U_{\text{WB}}$ -Wert angegeben.

Nr.	Bezeichnung	Anschlusslänge (m)	Ψ [W/(mK)]	$\Psi * l$ [W/K]
10200	KG-Fußboden innenged., HLz 30 m. Perimeterd.	24,0	0,01	0,240
30410	Sockel AW HLz 49 - beheizter KG, mit DeRa	18,0	0,08	1,440
30560	Sockel AW HLz 49 - unbeheizter KG, mit DeRa	10,10	-0,07	-0,707
42000	Fenstertür - beheizter KG mit Perimeterdämmung	11,5	-0,01	-0,115
42450	Fenstertür - AW HLz 49 mit Abmauerziegel	5,1	0,03	0,153
43000	Brüstung - Fenster mittig - AW HLz 49	8,5	0,01	0,085
50000	Laibung - Fenster/Fenstertür mittig - AW HLz 49	46,5	0,01	0,465
60120	Fenstersturz Stahlbeton - außen ged. - AW HLz 49	25,1	0,06	1,506
60130	Fenstersturz Stahlbeton - außen ged. - Fenstertür	1,0	0,05	0,050
70400	Geschossdecke mit DeRa - AW HLz 49	24,6	0,06	1,476
80230	Kniestock Pfettendach, beh. DG, trag. Fußpfette	22,5	-0,06	-1,350
81150	Ortgang m. U-Schale, Dämmung außen - AW HLz 49	24,0	0,05	1,200
90021	Innenwand auf Bodenplatte Kimmschicht, innenged.	9,0	0,14	1,260
90300	AW HLz 49 mit wärmegeämmter Stahlbetonstütze	12,0	0,07	0,840
90300	AW HLz 49 - Stahlbetonrähm Giebel	11,2	0,07	0,784
98010	KG-Trennwand an HLz-Außenwand - Horizontalschnitt	4,8	-0,14	-0,672
86000	Dachflächenfenster - Anschluss oben	0,9	0,10	0,09
86100	Dachflächenfenster - Laibung	3,3	0,09	0,324
86200	Dachflächenfenster - Anschluss unten	0,9	0,10	0,09
			Summe:	7,159

TECHNISCHE AUSRÜSTUNG

Abhängig von der Personenanzahl kommt im Plusenergiehaus eine Lüftungsanlage zum Einsatz. Auf eine Heizung sollte auch bei minimalem Heizwärmebedarf nicht verzichtet werden, um auf gewisse Reserven zurückgreifen zu können.





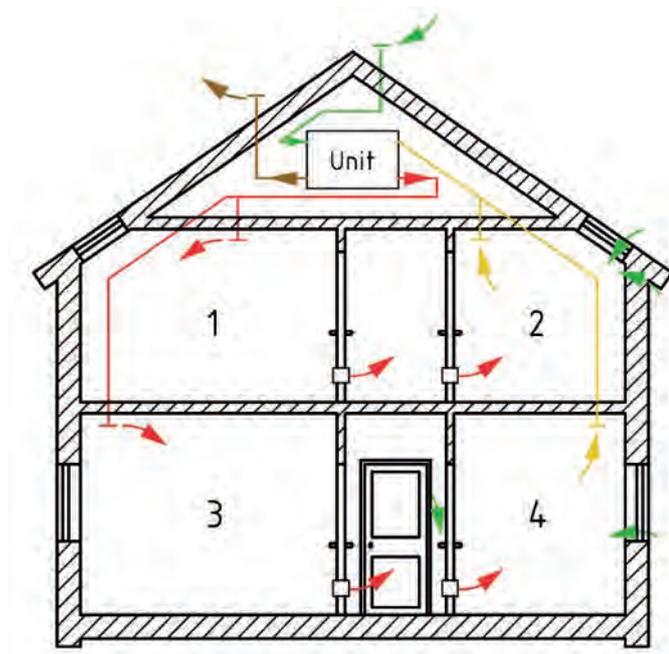
Wohnungslüftung

Bereits bei der Vorplanung eines Niedrigstenergiehauses ist die Frage nach dem Lüftungskonzept zu klären. In Einfamilienhäusern mit einer Belegungsdichte von etwa 30 – 40 m² Wohnfläche pro Person kann eine Fensterlüftung zur Sicherstellung eines hygienischen Raumklimas völlig ausreichend sein. Mechanische Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung können bei höheren Belegungsdichten neben dem erforderlichen Luftwechsel diesen auch unter minimalem Aufwand zusätzlicher Heiz- und Transportenergie sicherstellen. Mechanische Lüftungsanlagen stellen im Dauerbetrieb einen Luftvolumenstrom von etwa 40 m³/(Pers. h) bereit. Die dazu erforderliche elektrische Ventilatorenergie sollte etwa 0,4 Wh/m³ transportierter Luft nicht überschreiten.

Der Wärmebereitstellungsgrad eines Wärmetauschers sollte über 85 % liegen, hocheffiziente Geräte erreichen Werte über 90 %. Bei längeren Abwesenheitszeiten der Bewohner muss eine energieeffiziente Lüftungsanlage den Volumenstrom möglichst automatisch oder über einen Feuchtfühler gesteuert drosseln können, d.h. lediglich den zur Feuchtlüftung mindestens erforderlichen Luftwechsel sicherstellen. Nur so lässt sich Heizenergie einsparen und unnötige Transportenergie vermeiden. Ein wichtiger Hygieneaspekt ist die regelmäßige Wartung der-

artiger Anlagen: Um Verkeimungen zu vermeiden, müssen die Zu- und Abluftfilter überwacht und in besonderen Intervallen gereinigt werden. Ein Lüftungskonzept sollte für jedes Einfamilienhaus und insbesondere für Wohnungen innerhalb von Mehrfamilienhäusern nach DIN 1946 Teil 6 erstellt werden [DIN 1946-6: Raumluftechnik Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung: 2009-05], (Weitere Informationen: Bundesverband für Wohnungslüftung e.V., Viernheim).

Damit eine Wohnungslüftungsanlage ihre Aufgabe zuverlässig übernehmen kann, muss die Gebäudehülle besonders luftdicht sein. Dadurch wird verhindert, dass Winddruck oder thermischer Auftrieb den Luftvolumenstrom der Anlage unkontrolliert beeinflusst und zusätzliche Lüftungswärmeverluste durch Infiltration vermeidet. Dazu wird das Gebäude einem Luftdichtheitstest mittels der sog. Blower-Door-Prüfung unterzogen. Die Ausführung einer besonders luftdichten Hüllfläche wird in DIN 4108-7 beschrieben [DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie –beispiele, Ausgabe Jan. 2011, Beuth Verlag, Berlin.].



QUELLE: DIN 1946-6:2009
ANHANG A BILD A.10

Heizung

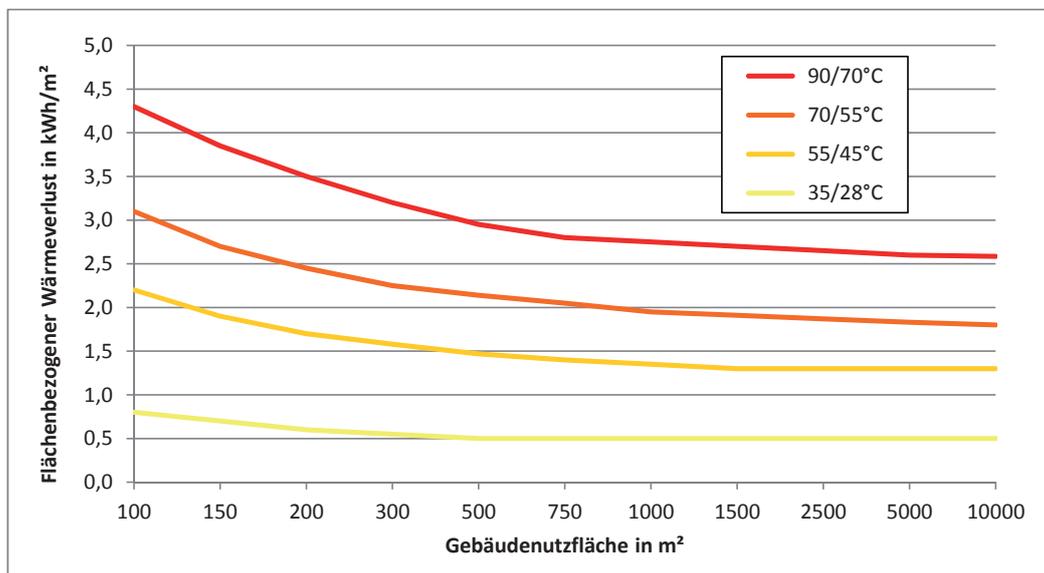
Die Beheizung im Nullenergiehaus kann im Regelfall nicht entfallen, obwohl das Planungsziel ein minimaler Heizwärmebedarf ist. Vor diesem Hintergrund ist die Wahl des Heizsystems für einen sehr kleinen Energiebedarf vor dem Hintergrund der verfügbaren Energieträger und den notwendigen Investitionen sorgfältig zu prüfen. Man muss zudem davon ausgehen, dass die prognostizierte Energiebilanz aus Gründen eines individuellen Wohnverhaltens oder von den Normbedingungen abweichender Wetterereignisse nicht immer die gering erwarteten Heizwärmebedarfswerte bestätigt. Eine Heizanlage sollte daher gewisse Reserven bereitstellen können. Als kostengünstige Systeme gelten nach wie vor Warmwasserzentralheizungen mit Flächenheizsystemen wie z.B. Fußbodenheizungen. Der Vorteil der Technik besteht darin, dass auf Grund eines geringen Wärmebedarfs sehr niedrige Systemtemperaturen zur Beheizung ausreichen. Das ermöglicht in hohem Maße eine Nutzung regenerativer Energien wie z.B. Solar- oder Erdwärme.

Die nachstehende Grafik zeigt die flächenbezogenen Wärmeverluste der Wärmeverteilung einer Warmwasser-Zentralheizung in Abhängigkeit der Systemtemperaturen und der Nutzfläche eines Gebäudes. In diesem Zusammenhang ist die Wärmepumpentechnik zu nennen, die

in der Regel über elektrische Energie Umweltwärme aus dem Erdreich, der Außenluft oder dem Grundwasser entnimmt und aus einem Anteil an elektrischem Strom mehr als 4 Anteile Wärmeenergie erzeugt. Diese Verhältniszahl ist die sog. Arbeitszahl einer Wärmepumpe, die der Lieferant der Anlagentechnik für eine konkrete Wärmepumpenanlage standortabhängig gewährleisten sollte. Eine ähnlich hocheffiziente Technik stellt die Kraft-Wärme-Kopplung dar, die gleichzeitig elektrischen Strom erzeugt und die dabei entstehende Abwärme zu Heizzwecken zur Verfügung stellt. Diese Blockheizkraftwerke genannten Anlagen können vorrangig in kleinen und großen Mehrfamilienhäusern zum Einsatz kommen und müssen immer bedarfsorientiert dimensioniert werden. Sowohl Wärmepumpen als auch die Kraft-Wärme-Kopplung werden in Deutschland bereits zu 40 % im Neubaubereich eingesetzt.

Die Nutzung biogener Brennstoffe wie Pellets oder Hackschnitzel ist eine besonders ökologische Alternative. Deren Einsatz erfordert neben der regional unterschiedlichen Versorgungslage ggfs. zusätzliche Investitionen in Brennstofflagerräume und bedeutet zusätzlichen Wartungsaufwand für z.B. Ascheentsorgung und häufigeres Kesselreinigen.

Die Kosten moderner Heizerzeugungsanlagen in Wohngebäuden unterscheiden sich im Wesentlichen hinsichtlich der Investitionen. Der in einem Nullenergiehaus obligatorisch sehr geringe Wärmeenergiebedarf führt immer zu geringen Brennstoffkosten. Die Wahl der richtigen Heiz-



technik ist stets eine anspruchsvolle Aufgabe der Planung und sollte immer unter Betrachtung vieler Alternativen erfolgen.

Kühlung

Hochwärmedämmte Gebäude mit großen Fensterflächen neigen bereits in den Übergangsmonaten zu Beginn und zum Ende der Heizperiode zu Überhitzungen. Diese lassen sich durch einen wirkungsvollen Sonnenschutz, durch eine massive Ausführung der Innen- und Außenbauteile und durch intelligentes Lüften wirkungsvoll reduzieren. Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erlangt in der aktuellen Energieeinsparverordnung eine prominente Bedeutung. So müssen die der Sonne ausgesetzten Aufenthaltsräume den rechnerischen Nachweis maximaler Überhitzungsstunden nach DIN 4108-2 erfüllen. [DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Ausgabe Jan. 2013, Beuth Verlag, Berlin.]. Damit soll vermieden werden, dass die in südeuropäischen Ländern mittlerweile üblichen Kleinklimageräte im Wohnungsbau auch in unseren Breiten eingesetzt werden.

Im Niedrigstenergiehaus mit Flächenheizungen lassen sich z.B. diese Bauteile auch im Sommerfall nutzen, indem dort kaltes Wasser durch

die Flächen zirkuliert und die Gebäude passiv kühlt. Dazu können auch Wärmepumpen herangezogen werden, die das kühlere Erdreich als Kältequelle nutzen. Derartige Techniken können die sommerliche Behaglichkeit in einem Massivhaus weiter erhöhen und auch im rechnerischen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes berücksichtigt werden. Grundsätzlich gilt auch hier, dass ein vermiedener Kühlbedarf die wirtschaftlich sinnvollste Maßnahme zur Energieeinsparung darstellt. Ein Ziegelhaus bietet hierzu die besten Voraussetzungen.

Trinkwassererwärmung

Die Trinkwassererwärmung erfolgt in der Regel zentral und ist mit der Heizwärmeerzeugung gekoppelt. Solarthermische Anlagen können zwischen 50 und 60 % des Warmwasserbedarfs über das Jahr wirtschaftlich bereitstellen. Dazu bieten sich preiswerte Flachkollektoren oder aber effizientere Vakuum-Röhrenkollektoren an, die bereits bei niedrigeren Außentemperaturen bei kleinerer Kollektorfläche Energie liefern. Thermische Solaranlagen zur Warmwasserbereitung sollten immer möglichst genau nach dem personenbezogenen Bedarf ausgelegt werden und nicht wie z.B. im EEWärmeG beschrieben nach der Gebäudenutzfläche ausgelegt werden [Bundesregierung: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, (Erneuerbare-Energien-Wär-



meigesetz – EEWärmeG 2008), geändert am 22. Dezember 2011 BGBl. I S. 3044, Bonn.]

Bei zu groß gewählten Kollektorflächen kann unter Umständen die eingestrahlte Energie nicht mehr zur Beladung der Speicher genutzt werden und die Kollektoren beginnen zu kochen. Dabei wird die Wärmeträgerflüssigkeit verdampft und muss von einem Ausdehnungsgefäß aufgenommen werden können. Vor diesem Hintergrund ist insbesondere die Dimensionierung von Solaranlagen zur Warmwasserbereitung in Mehrfamilienhäusern und Wohnheimen zu planen.

Eine solarthermische Anlage kann auch zur Heizungsunterstützung herangezogen werden. Je geringer allerdings der Heizwärmebedarf wird, desto kürzer wird die Heizperiode und damit die Zeit, in der Sonnenenergie ausreichend zur Verfügung steht. Eine solche Technik sollte daher im Nullenergiehaus über eine Simulationsrechnung mit standortbezogenen Daten geplant werden, um vor Fehlinvestitionen zu schützen.

Beleuchtung

Die Beleuchtungsenergie wird gemäß Energieeinsparverordnung in Nichtwohngebäuden regelmäßig mit bilanziert und unterliegt damit

ebenfalls den Anforderungen an die Energieeffizienz. In Wohngebäuden ist das allerdings nicht der Fall. Dennoch sollte die Beleuchtungsenergie so gering wie möglich gehalten werden. Die Strompreise steigen stetig und gleichzeitig sind besonders energiesparende Beleuchtungsmittel wie z.B. LED verfügbar, die bei Neuanschaffungen Sinn machen. Der Strombedarf für Beleuchtung macht im Durchschnittshaushalt allerdings nur knapp 10 % des gesamten Haushaltsstroms entsprechend etwa 3 kWh/(m² a) aus, sodass das Einsparpotential an dieser Stelle auch nicht überbewertet werden sollte.

Energiemanagement

Ebenfalls im Nichtwohnungsbau bereits üblich ist ein Energiemanagement, das sämtliche leitungsgebundenen Energieflüsse innerhalb eines Gebäudes aufzeichnet und ggfs. regulierend eingreift. Sinnvoll im Wohnungsbau sind Präsenzmelder zur Steuerung der Beleuchtung, Heizung und Lüftung. Zusätzlich sind Temperatur-, Strahlungs- und Windsensoren zur Steuerung von Verschattungseinrichtungen sinnvoll. In Verbindung mit aktiver Eigenstromerzeugung über z.B. Photovoltaik ist die Aufzeichnung von Lastverläufen der elektrischen Verbraucher von Interesse, um zum Beispiel bei Eigenstromnutzung die Gleichzeitigkeit von Stromangebot und Stromnutzung zu optimieren. Die Vernetzung



dieser Informationen über eine elektronische Datenverarbeitung (PC) ist mittlerweile relativ preiswert zu installieren und erfordert lediglich ein gewisses Interesse beim Bewohner eines so ausgestatteten Gebäudes. Mit einem derartigen System werden dann z.B. stark Energieverbrauchende Haushaltsgeräte wie z.B. Waschmaschinen oder Wäschetrockner dann eingeschaltet, wenn ein entsprechendes Angebot an eigenerzeugtem Strom zur Verfügung steht.

Gebäudenähe Stromerzeugung

Ein Plusenergiehaus wird definitionsgemäß erst dann zu einem solchen, wenn im Jahresverlauf mehr Energie auf dem Grundstück erzeugt wird, als das Gebäude zum eigenen Betrieb benötigt. Dieses Ziel ist derzeit nur über die Möglichkeit der Eigenstromerzeugung zu erreichen. Nur diese Energieform lässt sich auf einem Wohngebäudegrundstück erzeugen, teilweise speichern, zu Heiz- und Kühlzwecken nutzen und bei Überschussproduktion in das öffentliche Stromnetz einspeisen.

Die derzeit gängigste Form der privaten Stromerzeugung ist die Nutzung von Photovoltaik. Moderne, auf geneigten Dächern fest installierte PV-Zellen ermöglichen einen Jahresertrag von etwa 100 bis 110 kWh/a pro Quadratmeter Kollektorfläche. In senkrechten Fassaden integrierte Dünnschichtmodule aus amorphem Silicium dagegen erreichen lediglich einen Ertrag von 25 kWh/m² a.

Eine Alternative stellen Mini-Blockheizkraftwerke (BHKW) dar, die in größeren Einfamilienhäusern oder Mehrfamilienhäusern eingesetzt werden können. Ein mögliches Problem dieser Technologie besteht darin, dass die bei der Stromproduktion entstehende Wärme nicht ständig benötigt wird oder aber zu kurze Betriebszeiten des BHKW eine unwirtschaftliche Stromproduktion bewirken. Daher sind derartige Anlagen häufig mit einem Spitzenlast-Wärmeerzeuger gekoppelt, um eine wirtschaftliche Betriebsweise zu ermöglichen.

Eine weitere Alternative stellt die Erzeugung von elektrischem Strom aus Mini-Windkraftanlagen dar. In Südeuropa bereits weit verbreitet, werden diese Anlagen mit Rotordurchmessern bis zu etwa 1,5 m noch wenig eingesetzt. Der mögliche Ertrag eines solchen Generators ist abhängig von der Höhe über dem Gelände und dem Windangebot am Standort. In offener Lage mit ganzjährig bodennahen Windgeschwindigkeiten von etwa 4 Metern pro Sekunde kann ein solches Windrad etwa 500 bis 1.000 kWh elektrischen Strom pro Jahr liefern. Zu beachten sind allerdings neben dem örtlichen Windangebot ein Vielzahl möglicher Einschränkungen wie z.B. die Notwendigkeit einer Baugenehmigung, die Grundstückslage, die Nachbarbebauung etc. Der Vorteil einer solchen Anlage kann darin bestehen, dass das Stromangebot überwiegend in der Heizzeit und des Nachts zur Verfügung steht, also zu Zeiten, in denen ein höherer Strombedarf besteht und die Photovoltaik wenig bis keinen Ertrag liefert.



Haushaltsstrom

Im Plusenergiehaus wird der elektrische Strombedarf möglichst über eine Eigenstromproduktion gedeckt. Daher ist auch dieser gering zu halten. Die Spannweite des jährlichen Strombedarfs ist weniger von der Nutzfläche eines Gebäudes als vielmehr von der Haushaltsgröße mit der darin lebenden Anzahl der Personen abhängig. Darüber hinaus dominieren die Lebensgewohnheiten den Strombedarf erheblich. Die Statistiken weisen den in der folgenden Tabelle gelisteten Durchschnittsbedarf für verschiedene Verbraucher in einem 3-4 Personen Haushalt aus.

Als besonders sparsam gelten Stromverbräuche für Haushaltsstrom (ohne Hilfsenergie für Heizung und Lüftung) von 2.500 kWh/a in einem 3-4 Personen Haushalt. Diese Werte können nur mit hocheffizienten Haushaltsgeräten sowie LED Beleuchtungstechnik und einem ausgeprägten Sparwillen der Bewohner erzielt werden.

Verbraucher	Jahreswerte in kWh/a	
	Mittelwert	Spanne
Beleuchtung	330	-
Kochen	445	250 – 700
Kühlschränke	330	75 – 180
Gefriergeräte	415	130 – 440
Waschmaschine	200	-
Wäschetrockner	325	-
Geschirrspüler	245	-
Fernseher	190	-
Staubsaugen (50 h/Jahr)	100	-
Hilfsenergie Heizung/Warmwasser	600	400 - 900
Mechanische Wohnungslüftung		250 - 350
Radio, PC, Hobby		500 - 1000

QUELLE: STIFTUNG WARENTEST UND ANDERE

SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

Zur Vermeidung sommerlicher Überhitzung bedarf es, bedingt durch die hochwärmegeämmte Gebäudehülle, eines wirksamen Wärmeschutzes.

Als besonders geeignet erweist sich der Ziegel, der die aufgenommene Hitze in der kühleren Nacht wieder abgibt.

Der Sommerliche Wärmeschutz spielt bei hochwärmegeämmten Gebäuden eine bedeutende Rolle im Hinblick auf behagliche Wohnverhältnisse. Durch die objektiv festgestellte Klimaerwärmung in Mitteleuropa und die heute üblichen Bauweisen mit großen Fensterflächen muss durch geeignete Maßnahmen einer Überhitzung der Gebäude bereits in den Übergangsmonaten zwischen Heizperiode und Sommer begegnet werden. Massive Ziegelgebäude bringen die besten Voraussetzungen mit, durch die Speicherwirkung der Innenbauteile in Verbindung mit effizienten Verschattungssystemen sowie optional mit einer erhöhten Nachtlüftung die Temperaturspitzen des Sommers zu puffern.

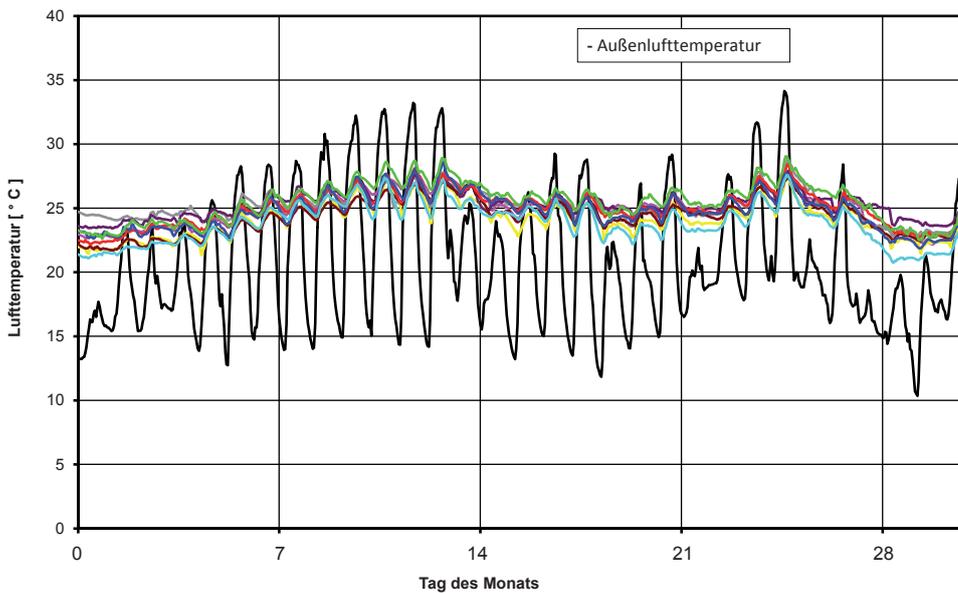
In den kühleren Nachstunden können dann die so aufgeladenen Bauteile ihre Wärmeener-

gie wieder abgeben und stehen am nächsten Tag wieder zur Temperaturpufferung zur Verfügung.

Diese Art der passiven Klimatisierung benötigt keinerlei Transportenergie und ermöglicht somit einen kostengünstigen Sommerbetrieb. Die Messung der Raumtemperaturen in neun unterschiedlichen, hochwärmegeämmten Ziegelhäusern zeigt, dass selbst bei extremen Außentemperaturen im August die Raumlufttemperaturen immer unter den Tagesspitzen liegen. Dieses günstige Temperaturverhalten kann durch eine bedarfsgeführte Betätigung der Sonnenschutzvorrichtungen sowie durch manuelle nächtliche Fensterlüftung ohne Einsatz maschineller Lüftungs- und Kühltechnik im Wohnungsbau erzielt werden.

Der Nachweis der Einhaltung des Sommerlichen Wärmeschutzes ist Gegenstand der Energieeinsparverordnung und erfolgt nach dem in DIN 4108-2 beschriebenen Verfahren. Danach soll auf eine maschinelle Kühlung aus Gründen der Ressourcenschonung unbedingt verzichtet werden. Passive Maßnahmen wie eine erhöhte Nachtlüftung, ein massiver Innenausbau oder der Einsatz von Kühldecken (siehe Abschnitt 6.3) sind im Nachweis als besonders effiziente Maßnahmen anzusetzen.

Die Grafik auf der rechten Seite zeigt gemessene Temperaturverläufe in neun verschiedenen Ziegel-Niedrigstenergiehäusern in einem heißen August mit Außenlufttemperaturen bis zu 34 °C.



Sommerliches Temperaturverhalten hochwärmegeämmter Ziegelwohnhäuser

QUELLE: MEIN ZIEGELHAUS

EINFAMILIENHAUS BEISPIEL

Die Planung und mögliche Umsetzung des Plusenergiehauses wird am Beispiel eines Einfamilienhauses erläutert.

Die sich ergebenden Daten sind fiktiv, entsprechen im Beispiel aber der Realität.

Gebäudebeschreibung

Das geplante Ziegel-Plusenergiehaus ist als freistehendes Einfamilienhaus geplant und hat inklusive teilbeheiztem Keller eine beheizte Nutzfläche gemäß EnEV von 206 m². Die Dachneigung weist mit 45° eine für die aktive Solargewinnung günstige Form auf. Das Gebäude sollte nicht mehr als 45° aus der optimalen Südorientierung gedreht werden. Für die aktiven Komponenten zur Solarnutzung stehen bei diesem Gebäudeentwurf mit den großzügigen Dachüberständen auf der Südseite über 70 m² Dachfläche zur Verfügung. Die Fensterflächenanteile sind so gewählt, dass der für die Belichtung erforderliche Fassadenanteil auf der Südseite nicht überschritten wird.

Bauteilaufbauten

Der Wärmeschutz der Gebäudehülle des Einfamilienhauses liegt auf dem Niveau eines KfW-40 Effizienzhauses mit einem mittleren U-Wert der Gebäudehülle von 0,26 W/(m² K). Dies wird dadurch erreicht, dass neben dem hohen Wärmeschutz der Bauteilflächen die Wärmebrückenverluste minimiert werden (siehe Abschnitt 5) und der entsprechende Zuschlag $D U_{WB} < 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$ bezogen auf die Gebäudehüllfläche beträgt.

Anlagentechnik

Die anlagentechnische Ausstattung des Gebäudes ist auf eine strombasierte Energieerzeugung ausgerichtet. Die verlustarme Gebäudehülle wird mit einer zentralen, mechanischen Wohnungslüftungsanlage versehen, die eine feuchteabhängige Steuerung aufweist. In Verbindung mit einem Wärmeübertrager mit 90 % Wärmerückgewinnungsgrad und hocheffizienten Ventilatoren lässt sich ein Heizwärmebedarf von unter



Bauteil	Aufbau	Wärmedurchgangskoeffizient
Außenwand	20 mm Leichtputz	0,14 W/(m² K)
	490 mm Hochlochziegel $\lambda = 0,07$ W/(mK)	
	15 mm Innenputz	
Dach	Dacheindeckung	0,13 W/(m² K)
	Belüftungsebene / Dachschalung	
	220 mm Wärmedämmung 035 90% / Holzsparren 10%	
	50 mm Untersparrendämmung	
	12,5 mm GK-Bauplatte	
Kellerdecke	60 mm Schwimmender Estrich	0,30 W/(m² K)
	20 mm Trittschalldämmung 040	
	80 mm Ausgleichs- und Wärmed. 035	
	> 180 mm Stahlbetondecke	
Innenwand zum unbeh. KG	15 mm Innenputz	0,34 W/(m² K)
	240 mm Hochlochziegel $\lambda = 0,09$ W/(mK)	
	15 mm Innenputz	
Kellerwand gegen Erdreich	15 mm Innenputz	0,28 W/(m² K)
	365 mm Hochlochziegel $\lambda = 0,11$ W/(mK) Bitumen-Dickbeschichtung	
Fenster	3-fach Isolierverglasung mit hochwärmedämmendem Rahmen, $g = 0,6$	0,90 W/(m² K)
Haustür	Wärme gedämmte Tür	$\leq 1,3$ W/(m² K)

Übersicht der Bauteilaufbauten der wärmetauschenden Hüllfläche.

QUELLE: KUNZE-ARCHITEKTEN, ERTINGEN
/ PRO CASA, OBERESSENDORF

20 kWh/(m² a) realisieren. Die Wärmeerzeugung erfolgt über ein Warmwasser-Fußbodenheizsystem mit einer Erdreich-Sole-Wärmepumpe. Die Raumtemperaturregelung übernehmen elektronische Regler mit intelligenter Optimierungsfunktion in Verbindung mit hocheffizienten Heizkreispumpen. Die Warmwasserbereitung wird über eine thermische Solaranlage mit etwa 6 m² Kollektorfläche unterstützt und bewirkt einen rechnerischen Deckungsanteil von etwa 53 %. Die Restwärme wird ebenfalls über die Erdreich-Sole-Wärmepumpe in Verbindung mit einem elektrischen Heizstab als Zusatzheizer gedeckt.

Die Sole-Wärmepumpe mit der Energiequelle Erdreich erreicht eine Jahresarbeitszahl von über 4. Die Gebäudeheizlast beträgt ohne Berücksichtigung der Lüftungsanlage 9,5 kW bezogen auf einen mittleren deutschen Klimastandort mit einer Norm-Außenlufttemperatur von -12 °C.

Zur Stromerzeugung wird eine 50 m² große Photovoltaik-Anlage geplant, die auf der Süd-Dachfläche mit einer Unterlüftungsebene installiert wird. Die aus monokristallinem Silicium bestehenden Module

erreichen eine errechnete elektrische Spitzenleistung von 0,12 kW/m² Kollektorfläche. Damit lassen sich bei mittleren deutschen Wetterverhältnissen 5.300 kWh elektrischer Strom ernten.

Energiebilanz

Die folgende Tabelle zeigt die Zusammenstellung der Energieflüsse des Nullenergiehauses. Die vollständig auf Basis von elektrischem Strom bereitgestellte Energieversorgung wird mit Umweltenergie aus solarthermischen Kollektoren zur Warmwasserbereitung und über Erdwärme mittels Wärmepumpe unterstützt. Die Wärmerückgewinnung der Wohnungslüftungsanlage ist in der Bilanz berücksichtigt, zählt aber definitionsgemäß nicht zur Umweltenergie.

Die Primärenergiefaktoren für elektrischen Strom werden mit $f_p = 2,4$ für den benötigten Strom aus dem allgemeinem deutschen Strom-Mix angerechnet. Der eigen erzeugte Strom wird als sog. Verdrängungsstrommix mit $f_p = 2,8$ angesetzt, sodass sich ein sehr viel günstigerer Primärenergieüberschuss ergibt, als es die Endenergiebilanz erwarten lässt.





Endenergiebedarf für	Nutzwärme- bedarf	Endenergiebedarf elektrischer Strom	Primärener- giebedarf	Umweltenergie zur Deckung der Prozessbereiche		
				Solarthermie	Erdreich	Solarstrom 50 m² PV
Transmission/Lüftung	3.944	735	1.764		3.209	5.297
Warmwasser (50% solare Deckung)	4.654	659	1.582	2.467	1.528	
Hilfsenergie		1.384	3.322			
Haushaltsstrom		2.500	6.000			
Summe		5.278	12.668			5.297
Unter Berücksichtigung der PV		-19	-2.164			

Energiebilanz des Einfamilienwohnhauses mit 206 m² beheizter Nutzfläche in kWh/a

QUELLE: KUNZE-ARCHITEKTEN, ERTINGEN / PRO CASA, OBERESSENDORF

MEHRFAMILIENHAUS BEISPIEL

Auch ein Mehrfamilienhaus kann ein Plusenergiehaus sein. Welche Maßnahmen vonnöten sind und was zu beachten ist, wird anhand des nachfolgenden Beispiels erläutert.







Bauteil	Aufbau	Wärmedurchgangskoeffizient
Außenwand	20 mm Leichtputz	0,18 W/(m ² K)
	425 mm Hochlochziegel $\lambda = 0,08$ W/(mK)	
	15 mm Innenputz	
Dach	Dacheindeckung	0,13 W/(m ² K)
	Belüftungsebene / Dachschalung	
	220 mm Wärmedämmung 035 90% / Holzsparren 10%	
	50 mm Untersparrendämmung	
	12,5 mm GK-Bauplatte	
Bodenplatte	60 mm Schwimmender Estrich	0,27 W/(m ² K)
	20 mm Trittschalldämmung 040	
	100 mm Ausgleichs- und Wärmed. 035	
	300 mm Stahlbetondecke	
Innenwand zu unbeh. Räumen	15 mm Innenputz	0,34 W/(m ² K)
	240 mm Hochlochziegel $\lambda = 0,09$ W/(mK)	
	15 mm Innenputz	
Fenster	3-fach Isolierverglasung mit hochwärmedämmendem Rahmen, $g = 0,6$	0,90 W/(m ² K)
Haustür	Wärmegeämmte Tür	$\leq 1,3$ W/(m ² K)

Gebäudebeschreibung

Das Ziegel-Mehrfamilienhaus weist drei Geschosse mit insgesamt acht Wohnungen und einer Gebäudenutzfläche von 825 m² auf. Das Gebäude ist nicht unterkellert. Im zentralen Erschließungsbereich sind unmittelbar am Treppenhaus etagenweise Gemeinschaftsräume an der Nordfassade angeordnet. Dort befinden sich auch Kellerersatzräume, ein gemeinsamer Wasch-/Trockenraum sowie die Flächen für die Haustechnik. Diese im Gebäudekern vorgenommene Anordnung führt zu einer deutlichen Reduzierung der Verteilverluste der Anlagentechnik sowie zu einer optimalen Ausnutzung der solaren Warmwasserbereitung z.B. für die Waschmaschinen und das Energiemanagement der PV-Anlage.

Bauteilaufbauten

Der Wärmeschutz der Gebäudehülle liegt auf dem Niveau eines KfW-40 Effizienzhauses mit einem mittleren U-Wert der Gebäudehülle von 0,25 W/(m² K). Dieser niedrige Wert wird dadurch erreicht, dass neben dem hohen Wärmeschutz der flächigen Bauteile ebenso wie beim Einfamilienhaus die Wärmebrückenverluste minimiert werden (vergleiche Abschnitt 5) und der Zuschlag $D U_{WB}$ ebenfalls unter 0,02 W/(m² K) bezogen auf die Gebäudehüllfläche beträgt. Der gegenüber dem Einfamilienhaus etwas höhere U-Wert der Außenwände resultiert aus den schlankeren Wänden, die im Geschosswohnungsbau aus Gründen eines verbesserten Raumangebotes bezogen auf die verfügbare Grundstücksfläche gewünscht werden.

Übersicht der Bauteilaufbauten der wärmetauschenden Hüllfläche

QUELLE: MEIN ZIEGELHAUS

Endenergiebedarf für	Nutzwärme- bedarf	Endenergiebedarf elektrischer Strom	Primärener- giebedarf	Umweltenergie zur Deckung der Prozessbereiche		
				Solarthermie	Erdreich	Solarstrom 290 m ² PV
Transmission/Lüftung	15.790	2.943	7.063		12.603	
Warmwasser (45% solare Deckung)	21.819	3.090	7.416	9.819	8.910	
Hilfsenergie		5.528	13.267			
Haushaltsstrom		20.000	48.000			
Summe		31.561	75.746			31.600
Unter Berücksichtigung der PV		-40	-12.730			

Energiebilanz des Mehrfamilienwohnhauses mit
825 m² beheizter Nutzfläche in kWh/a

QUELLE: MEIN ZIEGELHAUS

Anlagentechnik

Die Beheizung des Gebäudes erfolgt über eine Erdreich-Wasser-Wärmepumpe mit Sole als Wärmeträger in Verbindung mit einer Tiefenbohrung. Die dezentralen mechanischen Wohnungslüftungsanlagen weisen eine feuchteabhängige Steuerung auf. Die Lüftungswärmerückgewinnung in Verbindung mit einem Wärmeübertrager mit 90% Wärmerückgewinnungsgrad führt zu einem Heizwärmebedarf von unter 20 kWh/(m² a).

Die Warmwasserbereitung wird über eine thermische Solaranlage mit etwa 24 m² Kollektorfläche unterstützt und bewirkt einen rechnerischen Deckungsanteil von etwa 45 %. Die Restwärme wird über die Erdreich-Wasser-Wärmepumpe gedeckt.

Die Sole-Wärmepumpe mit der Energiequelle Erdreich erreicht eine Jahresarbeitszahl von über 4. Zur Stromerzeugung wird eine 170 m² große Photovoltaik-Anlage geplant, die auf der 40° geneigten Süddachfläche mit einer Unterlüftungsebene installiert wird. Die aus monokristallinem Silicium bestehenden Module erreichen eine errechnete elektrische Nennleistung von mindestens 0,12 kW/m² Kollektorfläche. Damit lassen sich rechnerisch 17.000 kWh elektrischer Strom im Jahr gewinnen. Um ein Nullenergiehaus zu realisieren, müssen insgesamt etwa 31.600 kWh/a Strom jährlich erzeugt werden. Die zusätzlich benötigte Kollektorfläche beträgt etwa 120 m² und wird mit 30° geneigten

Modulen auf den 7 Garagendächern der zum Grundstück gehörenden Einzelgaragen montiert.

Energiebilanz

Die Tabelle oben zeigt die Zusammenstellung der Energieflüsse des Mehrfamilien-Nullenergiehauses. Die ebenfalls vollständig auf Basis von elektrischem Strom bereitgestellte Energieversorgung wird mit Umweltenergie aus solarthermischen Kollektoren zur Warmwasserbereitung und über Erdwärme mittels Wärmepumpe unterstützt. Die zurückgewonnene Abwärme über die Wärmerückgewinnung der Wohnungslüftungsanlage ist in der Bilanz berücksichtigt, zählt aber definitionsgemäß nicht zur Umweltenergie.

Die Primärenergiefaktoren für elektrischen Strom werden mit $f_p = 2,4$ für den benötigten Strom aus dem allgemeinem deutschen Strom-Mix angerechnet. Der eigen erzeugte Strom wird als sog. Verdrängungsstrommix mit $f_p = 2,8$ angesetzt.

CHECKLISTE PLANUNG

Der Bau eines Plusenergiehauses benötigt eine gewissenhafte und detaillierte Planung. Die nachfolgende Checkliste dient einer ersten Orientierung – auf die Hilfe von Fachleuten sollte keinesfalls verzichtet werden.

Ausführungsplanung

Folgende Nachweise und wichtige Planungsdetails sollen für eine problemlose Bauausführung beachtet werden:

- Planung und zeichnerische Darstellung von Wärmebrückendetails.
- Wasserdampfdiffusionsnachweise mehrschaliger Konstruktionen.
- Planung von Lüftungsleitungen mit Durchdringungen im Dachbereich.
- Heizungs-/Warmwasserleitungen nicht auf der Bodenplatte unter der Estrichdämmung.
- Ausreichender Wetterschutz des Rohbaus in Regenzeiten.
- Dauerhafte Verklebung der Dampf- und Winddichtung im Dachbereich.
- Nacharbeiten von Beschädigung dieser Abdichtung durch Elektroinstallationen.
- Winddichte und versiegelte Fenstereinbaufugen.
- Einweisung zur Bedienung und Einregulierung der Heizungs- und Lüftungstechnik.

Bauüberwachung und Mehraufwand

Aus den aufwendigeren Verfahrensweisen der Planung eines Plusenergiehauses ist eine intensive Bauüberwachung unumgänglich. Insbesondere das teilweise noch konservative Handwerk mit der Mentalität, Bauausführungen schnellstmöglich ohne Qualitätskontrolle umzusetzen, muss für Detailfragen sensibilisiert werden. Dies be-

deutet eine enorme Mehrbelastung des Architekten, der häufig mehr als das Doppelte der veranschlagten Zeit auf der Baustelle verbringen muss, um eine vernünftige Abstimmung und damit Bauqualität zu erreichen. Der Mehraufwand muss im voraus realistisch kalkuliert und dem Bauherren plausibel gemacht werden, um diese Leistung im gegenseitigen Einvernehmen auch finanziell abzugleichen.

Ein wichtiger Aspekt in diesem Zusammenhang ist die Einschaltung eines Bauphysikers oder Fachingenieurs schon in der Planungsphase. Die haustechnische Planung, die sehr sensibel auf das Gebäude abgestimmt werden muss, kann in der Regel nicht dem ausführenden Handwerk überlassen werden. Viele auf dem Markt erhältliche „Musterlösungen“ sind nur beschränkt auf das individuelle Gebäude anwendbar und in ihrer Wirksamkeit häufig nur rechnerisch nachgewiesen.

Erkenntnisse und Empfehlungen

- Das Nutzerverhalten bestimmt entscheidend den Energieverbrauch eines Plusenergiehauses. Hierbei ist z.B. das individuelle Lüftungsverhalten maßgebend, weniger das gewünschte Raumtemperaturniveau.
- Technische Energiesparmaßnahmen können in ihrer Wirkung den Heizenergieverbrauch nicht in dem Maße beeinflussen, wie der Bewohner durch sein Nutzerverhalten.
- Die handwerklich hohe Qualität der Bauausführung spielt eine große Rolle zum Erreichen der vorher berechneten Einsparpotentiale.
- Der Stromverbrauch für Hilfsenergien haustechnischer Anlagen



kann die Energiekosten stärker in die Höhe treiben, als dass eine Kosteneinsparung durch reduzierte Heizwärmeverbräuche erreicht wird.

- Die Dimensionierung der Wärmeerzeugung muss unbedingt auf den Heizwärmebedarf bei durchschnittlichen Witterungs- und Nutzerbedingungen ausgerichtet sein, um hohe Jahresnutzungsgrade zu gewährleisten.
- Der Einsatz mechanischer Lüftungsanlagen erfordert die Akzeptanz der Bewohner; ein zusätzliches Fensterlüften muss bei Außenlufttemperaturen unter 10° C unterbleiben, oder die Anlage muss abgeschaltet werden.
- Monolithisches Ziegelmauerwerk trocknet nach der Errichtung schnell aus und bietet daher früh einen hohen Dämmstandard und ein gutes Raumklima.
- Neben den wärmeschutztechnischen Qualitäten der Außenhülle ist unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit immer die einfache Instandhaltung, eine hohe Lebensdauer der Komponenten und eine bezahlbare Erstellungsinvestition zu fordern.
- Die Nutzung regenerativer Energiequellen setzt immer auch die Verfügbarkeit des Energieträgers „Umweltenergie“ zum Zeitpunkt des anstehenden Bedarfs voraus. Daher ist bei ungünstigen klimatischen Randbedingungen nicht immer der rechnerisch prognostizierte Ertrag sicher zu erzielen.

Weitergehende Informationen

Neben den nachweisrelevanten Normen und Richtlinien des DIN sind für Bauherren, Bauplaner und Bauausführende eine Vielzahl von Informationsquellen vorhanden. Die folgende Auflistung stellt eine Sammlung der aktuellen Fundstellen mit weitergehenden Informationen zu Niedrigstenergie- und Plusenergiehäusern dar (Stand Januar 2013):

- Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V., Bonn – www.argemauerziegel.de
- Mein Ziegelhaus Markenverbund – www.meinziegelhaus.de
- Fraunhofer Institut für Bauphysik – www.ibp.fraunhofer.de
- Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung – www.bmvbs.de
- Forschungsinitiative Zukunft Bau - www.forschungsinitiative.de
- Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung - www.bbsr.bund.de
- KfW-Bank Förderprogramme – www.kfw.de
- Deutsche Energie-Agentur dena – www.dena.de
- Sonnenhaus-Institut, solarthermisch beheizte Häuser – www.sonnenhaus-institut.de

TECHNISCHE WERTE

Produkt	Wanddicke (mm)	Wärmeleitfähigkeit λ_R (W/(mK))	U-Wert (W/m ² K)	Schallschutz $R_{w,Bau,ref}$ (dB)	Brandschutz DIN 4102-2 (EN 13501-2)	Festigkeitsklasse	Druckspannung σ_0 (MN/m ²)	Gebäudetyp	Energieeffizienzklasse
MZ70	300	0,07	0,22	Keine Anforderungen bei EFH, RH, DH	F30-A (REI 30)	8	0,55	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">RH</div> <div style="background-color: #008080; color: white; padding: 2px;">DH</div> <div style="background-color: #90EE90; color: white; padding: 2px;">EFH</div> </div>	EnEV Eff 70 Eff 55 PH Eff 40
	365		0,18						
	425		0,16						
	490		0,14						
MZ8	300	0,08	0,25	Keine Anforderungen bei EFH, RH, DH	F 90-A (REI 90)	8	0,65	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">RH</div> <div style="background-color: #008080; color: white; padding: 2px;">DH</div> <div style="background-color: #90EE90; color: white; padding: 2px;">EFH</div> </div>	EnEV Eff 70 Eff 55
	365		0,21						
	425		0,18						
MZ90-G	300	0,09	0,28	48,2	F 90-A (REI-M 90)	12	1,15	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">RH</div> <div style="background-color: #008080; color: white; padding: 2px;">DH</div> <div style="background-color: #90EE90; color: white; padding: 2px;">EFH</div> <div style="background-color: #808080; color: white; padding: 2px;">MFH</div> </div>	EnEV Eff 70 Eff 55
	365		0,23	50,0					
	425		0,20	— ¹⁾					
MZ10	300	0,10	0,30	49,4	F 120-A (REI-M 120)	12	1,15	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: center;"> <div style="background-color: #800080; color: white; padding: 2px;">RH</div> <div style="background-color: #008080; color: white; padding: 2px;">DH</div> <div style="background-color: #90EE90; color: white; padding: 2px;">EFH</div> <div style="background-color: #808080; color: white; padding: 2px;">MFH</div> </div>	EnEV Eff 70
	365		0,25	51,3					
	425		0,22	51,3					

LEGENDE

Gebäudetypen	RH Reihenhaus	DH Doppelhaus	EFH Einfamilienhaus	MFH Mehrfamilienhaus	
Energieeffizienzklassen	EnEV Standard	Eff 70 KfW Effizienzhaus 70	Eff 55 KfW Effizienzhaus 55	Eff 40 KfW Effizienzhaus 40	PH Passivhaus Standard

¹⁾ Prüfstandsmessung liegt noch nicht vor

Mein Ziegelhaus. Denn Ziegel ist Zukunft.

Ziegelwerk Bellenberg, 89287 Bellenberg

☎ 0 73 06 - 96 50 - 0

info@ziegelwerk-bellenberg.de
www.ziegelwerk-bellenberg.de

JUWÖ Poroton Werke, 55597 Wöllstein

☎ 0 67 03 - 910 - 0

info@juwoe.de
www.juwoe.de

Ziegelwerk Klosterbeuren, 87727 Babenhausen

☎ 0 83 33 - 92 22 - 0

info@zwk.de
www.zwk.de

Ziegelwerk August Lücking, 33102 Paderborn

☎ 0 52 51 - 13 40 - 0

info@luecking.de
www.luecking.de

Stengel Ziegel, 86609 Donauwörth

☎ 09 06 - 706 18 - 0

info@stengel-ziegel.de
www.stengel-ziegel.de

Zeller-Poroton, 63755 Alzenau

☎ 0 60 23 - 97 76 - 0

info@zellerporoton.de
www.zellerporoton.de

Südwest Ziegel GmbH, 87700 Memmingen

☎ 0 83 31 - 96 40 - 0

info@sw-ziegel.de
www.sw-ziegel.de