

Gebäudeenergiegesetz 2020

Einfach umgesetzt mit Kalksandstein.



→ ks-original.de

Kalksandstein
KS*
DAS ORIGINAL

Inhalt

1.	Das Gebäudeenergiegesetz 2020 – Hintergrund und Überblick.....	3	6.	Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs für Wohngebäude gemäß DIN V 4108-6.....	19
2.	Die Bedeutung des energieeffizienten Bauens.....	5	6.1	Monatsbilanz	19
2.1	Allgemein.....	5	6.2	Wärmeverluste	19
2.2	Gebäudestandards.....	6	6.3	Wärmespeicherfähigkeit	20
3.	Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf von Wohngebäuden.....	7	6.4	Nicht beheizte Treppenhäuser	22
3.1	Bauliche Einflüsse	7	6.5	Maßbezüge	23
3.2	Anlagentechnische Einflüsse.....	7	7.	Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs für Wohngebäude gemäß DIN V 4701-10.....	24
3.3	Nutzungsbedingte Einflüsse	9	8.	Beispielrechnungen Wohngebäude.....	25
4.	Das GEG für Wohngebäude im Überblick	9	8.1	Nachweis zum GEG (Beispielgebäude)	25
4.1	Einführung	9	8.2	Beispiel Wohngebäude: Gebäudegeometrie, Programmausdrucke, Wärmebrückennachweis und Energieausweis.....	27
4.2	Begriffe	10	8.3	Variationen baulicher und anlagentechnischer Ausführungen.....	38
4.3	Haupt-Anforderungsgröße Primärenergiebedarf	10	9.	Planungs- und Ausführungsempfehlungen.....	41
4.4	Übersicht über Anforderungen.....	11	9.1	Einbeziehung baulicher und anlagentechnischer Randbedingungen im frühen Planungsstadium	41
4.5	Gegenüberstellung der Berechnungsverfahren	11	9.2	Wärmebrücken	41
4.6	Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung	12	9.3	Luftdichtheit	41
4.7	Modellgebäudeverfahren (vereinfachtes Nachweisverfahren)	12	9.4	Anlagentechnik.....	42
5.	Anforderungen für Wohngebäude im Detail.....	13	9.5	Nachweisverfahren	42
5.1	Jahres-Primärenergiebedarf und spezifischer Transmissionswärmeverlust.....	13	10.	Das GEG für Nichtwohngebäude	44
5.2	Sommerlicher Wärmeschutz.....	13	10.1	Anforderungen.....	44
5.3	Heizungstechnische Anlagen, Warmwasseranlagen und Wärmeverteilung, Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien	15	10.2	Berechnungsverfahren.....	44
5.4	Gebäude mit Anlagen zur Kühlung	16	10.3	Beispiele	45
5.5	Energieausweise	16	10.4	Vereinfachtes Nachweisverfahren für Nichtwohngebäude	46
5.6	Umsetzung des GEG.....	17	11.	Ausblick.....	46
5.7	Gebäudebestand.....	17	Literatur.....	49	

KALKSANDSTEIN – Gebäudeenergiegesetz 2020
 Hrsg.: Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V.
 Entenfangweg 15, 30419 Hannover, Telefon 0511/2 79 54-0
www.kalksandstein.de, www.facebook.com/kalksandstein
info@kalksandstein.de, www.instagram.de/kalksandsteinindustrie

Stand: Dezember 2020

Autor:
 Univ.-Prof. Dr.-Ing. Anton Maas, Universität Kassel, Ingenieurbüro Prof. Dr. Hauser GmbH

Redaktion:
 Dipl.-Red. (FH) B. Büttner, Hannover
 Dipl.-Ing. (FH) M. Freundt, Osnabrück
 M. Sc. S. Schulte, Hannover
 Dr.-Ing. M. Schäfers, Hannover
 Dipl.-Ing. (FH) M. Maier, Röttenbach

BV-946-20/12

Alle Angaben erfolgen nach bestem Wissen und Gewissen, jedoch ohne Gewähr.

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung.

Schutzgebühr € 7,50

Gesamtproduktion und
 © by Verlag Bau+Technik GmbH, Erkrath

1. Das Gebäudeenergiegesetz 2020 – Hintergrund und Überblick

Die ambitionierte Erhöhung der Effizienzstandards von Gebäuden unter Berücksichtigung der wirtschaftlichen Vertretbarkeit gegenüber Hauseigentümern und Mietern ist einer der Eckpunkte des von der Bundesregierung beschlossenen Klimaschutzplans 2050. Konkrete Handlungsschritte für die Erreichung der Ziele des Plans in der nahen Zukunft werden in dem 2019 vorgelegten Klimaschutzprogramm 2030 aufgezeigt. Mit dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) erfolgt die Umsetzung hinsichtlich der Fortschreibung des Energieeinsparrechts für Gebäude.

Das Gebäudeenergiegesetz verfolgt dabei die Ziele, die EU-Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD Recast) [1] umzusetzen und dabei das energetische Niveau eines Niedrigstenergiegebäudes einzuführen. Weiterhin werden die bisherigen Regeln des Energieeinspargesetzes, der auf dem Gesetz basierenden Energieeinsparverordnung sowie des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes zusammengeführt. Ein weiterer Anlass für die Einführung des Gebäudeenergiegesetzes war die Einbeziehung der fortgeschriebenen Normen für die energetische Bilanzierung von Gebäuden (DIN V 18599) und des Wärmebrückenbeiblatts der DIN 4108. Der GEG-Gesetzesentwurf von 2019 wurde unter Berücksichtigung von Eingaben des Bundes und der Länder am 8. August 2020 verabschiedet. Das Gesetz ist am 1. November 2020 in Kraft getreten [2].

Im Zuge der zur Erreichung der Klimaschutzziele erforderlichen Umsetzung von Maßnahmen ist davon auszugehen, dass weitestgehende Anforderungen an die Energieeffizienz im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes im Zeitraum bis 2024 gestellt werden. Vor dem Hintergrund der bis Ende 2023 begrenzten Anwendbarkeit von DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 als Nachweisverfahren für Wohngebäude, der bis zu diesem Datum begrenzten Gültigkeit der Nachweisführung über die Höhe der Treibhausgasemissionen (Innovationsklausel) sowie der für das Jahr 2023 angekündigten Überprüfung des Anforderungsniveaus ist eine Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes in 2024 zu erwarten.

Das Niedrigstenergiegebäude wird im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes über den Jahres-Primärenergiebedarf des

im Gesetz beschriebenen Referenzgebäudes abzüglich 25 % definiert (Bild 1). Hiermit bleibt das Anforderungsniveau unverändert gegenüber der Energieeinsparverordnung 2016 [3]. Auch die Höhe des baulichen Wärmeschutzes ändert sich nicht gegenüber den Anforderungen der EnEV 2016 (Bild 1), jedoch entfällt die bisherige Deckelung des Anforderungswerts (spezifischer Transmissionswärmeverlust) bei Wohngebäuden.

Für den Einbau von Ölheizungen ist ab dem Jahr 2026 die flankierende Berücksichtigung erneuerbarer Energien in die Wärmeerzeugung erforderlich. Die Regeln hinsichtlich der Anforderungen an bestehende Gebäude sind praktisch unverändert aus der Energieeinsparverordnung 2016 übernommen. Im Zuge der Erstellung eines Energieausweises sind künftig CO₂-Emissionen auszuweisen.

Die für den Nachweis erforderlichen Primärenergiefaktoren sind im Gebäudeenergiegesetz aufgenommen. Künftig werden weitere Regelungen zur Bestimmung von Primärenergiefaktoren untersucht und im Zuge der Novellierung des Gesetzes eingeführt.

Im Zuge einer „Innovationsklausel“ besteht die Möglichkeit, den Nachweis über die Einhaltung von CO₂-Emissionen an Stelle von Primärenergiebedarfen zu führen. Auch ein sogenannter „Quartiersansatz“ ist eingeführt worden. Damit ist es möglich, die gemeinsame Erfüllung der Anforderung mehrerer Gebäude nachzuweisen.

Bezüglich der Pflicht zur Nutzung erneuerbarer Energien kann im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes auch gebäudenah erzeugter Strom (PV-Strom) berücksichtigt werden.

Ebenfalls neu ist die Einführung von Energieberatungsgesprächen zu bestimmten Anlässen (z.B. Eigentümerwechsel).

Bei Nichtwohngebäuden ergeben sich hinsichtlich der Anforderungsformulierung und des Nachweisverfahrens praktisch keine Änderungen.

Eine Gegenüberstellung der Anforderungen und Nachweisverfahren von EnEV 2016 und Gebäudeenergiegesetz ist für Wohn- und Nichtwohngebäude in Tafel 1 aufgenommen.

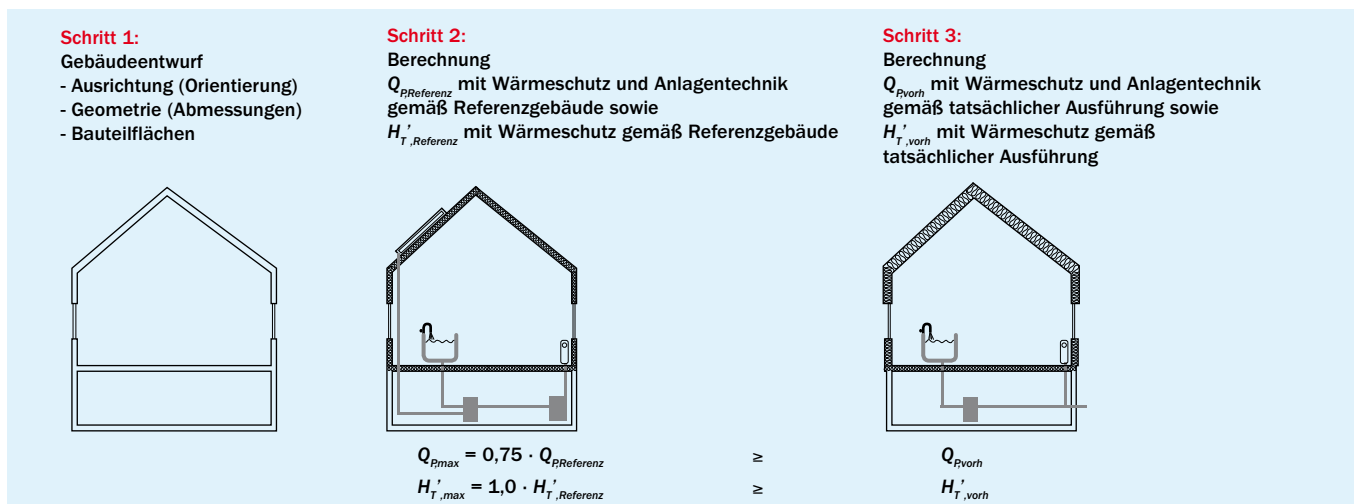


Bild 1 Das Referenzgebäudeverfahren – Schritte im Nachweisverfahren des Gebäudeenergiegesetzes

Tafel 1 Anforderungen und Nachweismethodik für Wohn- und Nichtwohngebäude

Inhalte	EnEV 2016	GEG 2020
Anforderungen Neubau	maximal zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf entsprechend dem 0,75fachen Jahres-Primärenergiebedarf eines Referenzgebäudes	
	maximal zulässiger Transmissionswärmeverlust entsprechend dem 1,0fachen Transmissionswärmeverlust eines Referenzgebäudes	
	Deckelung des maximal zulässigen Transmissionswärmeverlusts (EnEV 2016, Anlage 1, Tabelle 2)	entfällt
Nachweisverfahren Neubau	Wohn- und Nichtwohngebäude nach DIN V 18599:2011-12	Wohn- und Nichtwohngebäude nach DIN V 18599:2018-09
	Wohngebäude alternativ nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10	Bis zum 31. Dezember 2023 Wohngebäude alternativ nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10
	Berücksichtigung von Wärmebrücken nach DIN 4108, Beiblatt 2:2006-03	Berücksichtigung von Wärmebrücken nach DIN 4108, Beiblatt 2:2019-06
Dokumentation Neubau	Energieausweis mit Angabe der energetischen Qualität in kWh/(m ² ·a)	
		Zusätzlich verpflichtende Angabe von CO ₂ -Emissionen
Anforderungen Bestand	Einhaltung zulässiger Wärmedurchgangskoeffizienten bei baulichen Maßnahmen und Einzelanforderungen an die Anlagentechnik; bei umfangreichen Maßnahmen Nachweis wie bei Neubauten	
Dokumentation Bestand	Energieausweis mit Angabe der energetischen Qualität in kWh/(m ² ·a)	
		Zusätzlich verpflichtende Angabe von CO ₂ -Emissionen

INFOKASTEN: NACHWEISFÜHRUNG NACH GEBÄUDETYPEN

Als Wohngebäude gelten diejenigen Gebäude, die überwiegend dem Wohnen dienen. Hierzu zählen auch Wohn-, Alten- und Pflegeheime. Alle sonstigen Gebäude sind als Nichtwohngebäude einzustufen. In der nebenstehenden Tafel sind die zuvor genannten Fälle der Wohnnutzung und Beispiele für häufige Fälle von Gebäuden der Kategorie Nichtwohngebäude aufgeführt.

Liegt eine gemischte Nutzung (aus Wohnnutzung und Nichtwohnnutzung) in einem Gebäude vor, ist der Nachweis in der Regel getrennt mit dem jeweiligen Verfahren durchzuführen. Ausnahmen von dieser Regelung, d. h. die Möglichkeit der Nachweisführung mit einem Verfahren, gelten in nachstehenden Fällen:

- Liegt in einem Wohngebäude eine Nichtwohnnutzung vor, die sich nach Art der Nutzung und der gebäudetechnischen Ausstattung nicht wesentlich von der Wohnnutzung unterscheidet, kann das Gebäude insgesamt als Wohngebäude behandelt werden. Beispiele hierfür sind freiberufliche Nutzungen, z. B. Versicherungsagentur, Ingenieurbüro, Anwaltskanzlei o. Ä., die in Wohnungen stattfinden und für die keine (zusätzliche) spezielle Anlagentechnik, wie z. B. eine Klimaanlage, vorgesehen ist.
- Liegt in einem Wohngebäude eine Nichtwohnnutzung vor, die hinsichtlich ihrer Nutzfläche einen nur „unerheblichen“ Anteil

ausmacht (als „unerheblich“ gilt eine Größenordnung von rd. 10 %), kann das Gebäude insgesamt als Wohngebäude behandelt werden. Ein solcher Fall liegt z. B. bei einem Kiosk oder einem kleinen Geschäft in einem Wohngebäude vor.

- Liegt in einem Nichtwohngebäude eine Wohnnutzung vor, die hinsichtlich ihrer Nutzfläche einen nur „unerheblichen“ Anteil ausmacht (s. o.) – z. B. eine Hausmeisterwohnung in einer Schule – kann das Gebäude insgesamt als Nichtwohngebäude behandelt werden.

Wohngebäude	Nichtwohngebäude
– Wohngebäude	– Bürogebäude
– Wohnheime	– Verwaltungsgebäude
– Altenheime	– Kaufhaus, Supermarkt
– Pflegeheime	– Schule, Kindergarten
	– Hotel
	– Restaurant
	– Werkstatt
	– Theater
	– Museum
	– Bibliothek
	– Turnhalle

Zuordnung von Gebäudetypen (exemplarische Auflistung) zu den Kategorien „Wohngebäude“ und „Nichtwohngebäude“.



Foto: Frank Vinkler | dwb/Architekten Spielermann



Foto: Heiko Stahl



Foto: Yohan Zerouni/Ksg-architekten.de

2. Die Bedeutung des energieeffizienten Bauens

2.1 Allgemein

Die Notwendigkeit der Energieeinsparung ist heute unumstritten. Aspekte des Umweltschutzes und der Daseinsvorsorge sowie insbesondere auch die steigenden Energiekosten (Bild 2) sind die wesentlichen Gründe. Dabei kommt dem Sektor Gebäude eine zentrale Rolle zu, da hier große Einsparpotenziale vorhanden sind und die erforderliche Technik erprobt vorliegt. Die Politik will diesen Bereich mit dem Gebäudeenergiegesetz weiter auschöpfen.

Der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte wird im Wesentlichen durch den Bereich Raumwärme bestimmt (Bild 3). Bild 4 gibt einen Überblick über die genutzten Energieträger und Heizungen in Deutschland, insgesamt bezogen auf 40,6 Mio. Wohnungen; es überwiegt deutlich die Zentralheizung mit den Energieträgern Gas und Heizöl. Im Neubau gewinnt der Einsatz von Wärmepumpen und damit die Nutzung erneuerbarer Energien zunehmend an Bedeutung (Bild 5).

Zahlreiche Energieeinsparmaßnahmen weisen zusätzliche positive Aspekte neben der Energieeinsparung auf. Dazu gehören die Steigerung der Behaglichkeit und die verbesserten Möglichkeiten der Bausubstanzerhaltung. So zeigt Bild 6 beispielhaft die raumseitigen Oberflächentemperaturen einer Außenwand in Abhängigkeit von deren wärmeschutztechnischer Ausbildung. Mit zunehmendem baulichen Wärmeschutz steigen die Oberflächentemperaturen während der Heizperiode deutlich an – und somit auch die Behaglichkeit.

Daneben wirkt sich ein verbesserter baulicher Wärmeschutz positiv auf die Behaglichkeit im Sommer aus. Dies wird durch die Untersuchungen in [13] dokumentiert. Weiterhin führt die Verwendung einer schweren Bauart zu einer Verbesserung der sommerlichen Temperaturverhältnisse in Gebäuden. Auf die Zusammenhänge wird in Abschnitt 5.2 eingegangen.

INFO

Es zeigt sich deutlich, wie mit verbessertem Wärmeschutz die Behaglichkeit auch im Sommer wächst. Die Wärmespeicherfähigkeit von Kalksandstein wirkt sich dabei besonders positiv aus.

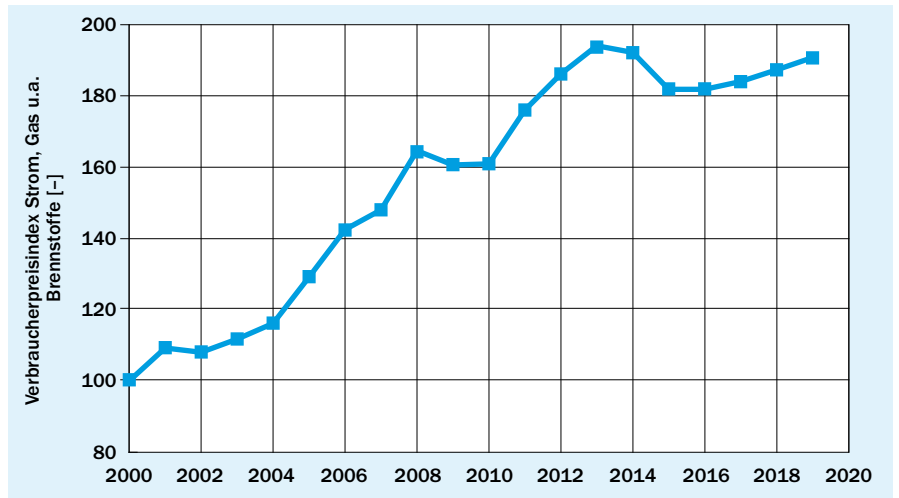


Bild 2 Entwicklung der Kosten für Strom, Gas u.a. Brennstoffe nach [9], dargestellt ist der Verbraucherpreisindex bezogen auf das Basisjahr 2000

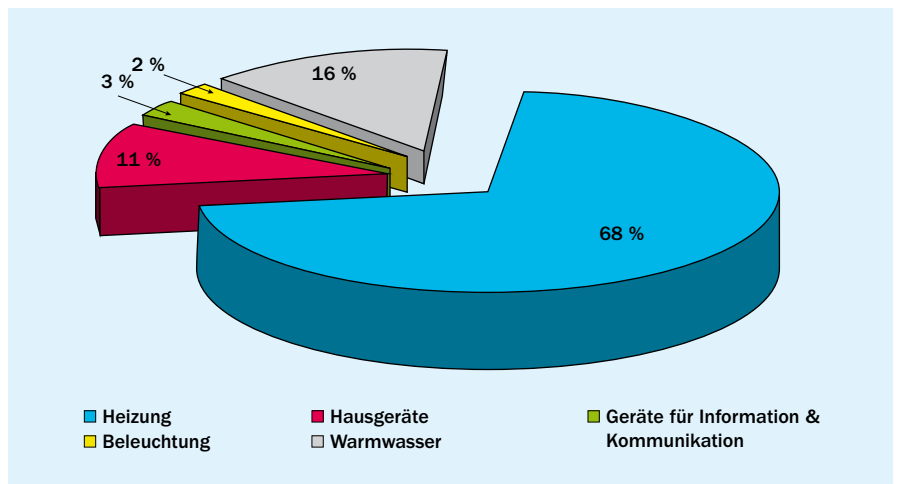


Bild 3 Endenergieverbrauch der privaten Haushalte ohne den Verkehrsbereich im Jahr 2018, Stand: Juli 2020 nach [10]

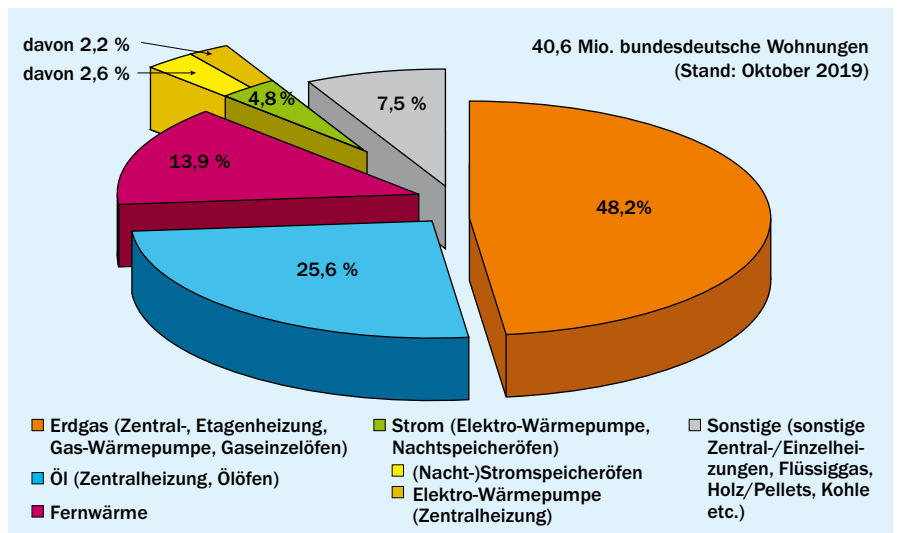


Bild 4 Genutzte Energieträger und Heizungen in Deutschland 2019 nach [11]

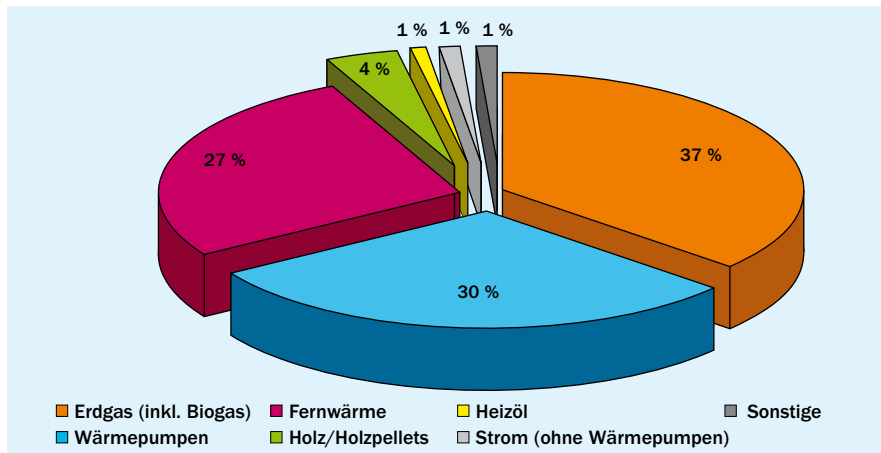


Bild 5 Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in Deutschland in 2019 nach [11]

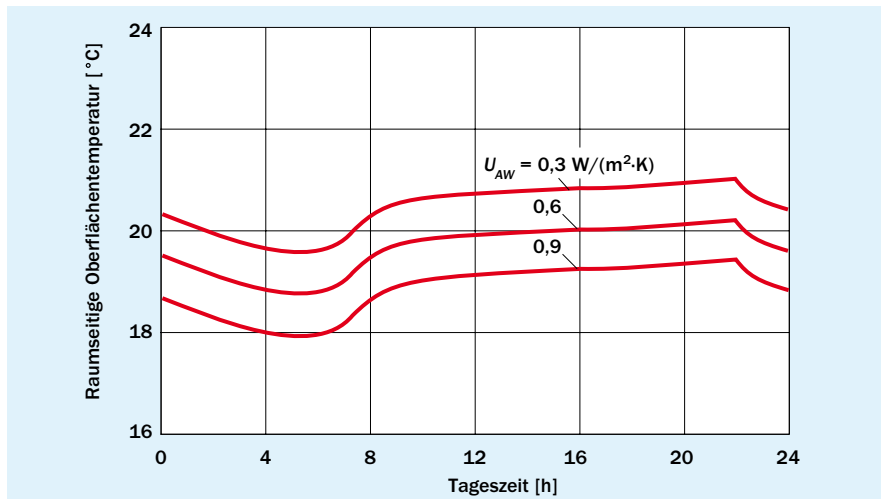


Bild 6 Abhängigkeit der raumseitigen Oberflächentemperatur einer Außenwand unter winterlichen Randbedingungen vom Wärmedurchgangskoeffizienten des Bauteils bei instationärem Heizbetrieb, die Raum-Solltemperatur ist am Tag mit 22 °C und in der Nacht mit 15 °C angesetzt [12]

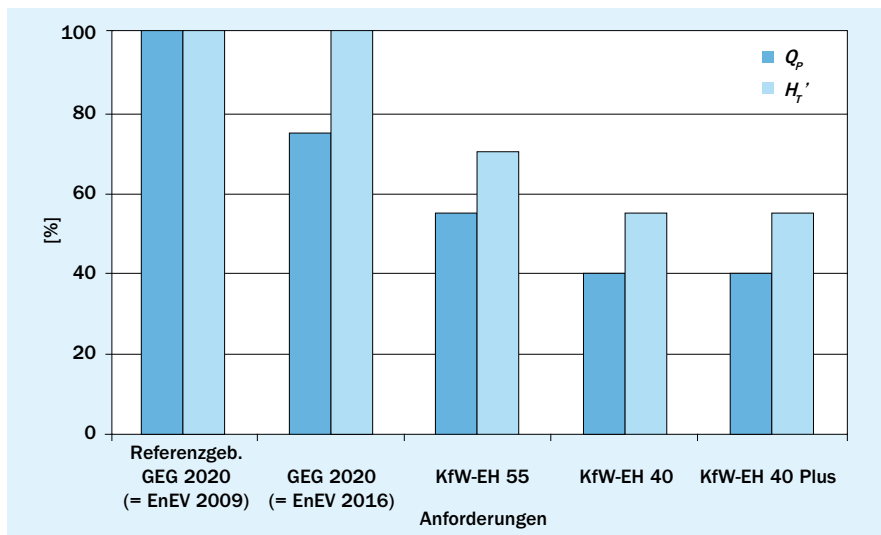


Bild 7 Anforderungen an den Primärenergiebedarf und den spezifischen Transmissionswärmekoeffizienten für verschiedene Gebäudestandards

2.2 Gebäudestandards

Der Energiestandard eines Gebäudes gibt Auskunft über den Energiebedarf für die Gebäudekonditionierung des Hauses pro Quadratmeter Nutzfläche und Jahr. Dabei kann sich die Angabe auf verschiedene Energieanteile und auch verschiedene Nutzflächen beziehen. Auch die nichtenergetische Größe CO_2 wird zur Kennzeichnung des „energetischen“ Standards eines Gebäudes herangezogen.

KfW-Effizienzhaus 55, 40 und 40 Plus

Das KfW-Effizienzhaus formuliert ein Anforderungsniveau, mit dessen Erreichung eine Förderung (Zuschuss und/oder Kredit) verbunden ist.

Die Zahlenangabe (55, 40) gibt – wie bisher – an, auf welchen Prozentsatz bezogen auf das Referenzgebäude eine Absenkung des Primärenergiebedarfs erfolgt. Ein KfW-Effizienzhaus 55 unterschreitet z.B. den Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes um 45 % (Bild 7). Der spezifische Transmissionswärmeverlust ist gegenüber dem Niveau des Referenzgebäudes auf 70 bzw. 55 % abzusenken.

Das Effizienzhaus 40 Plus erfüllt die Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 40 und verfügt zusätzlich über eine stromerzeugende Anlage auf Basis erneuerbarer Energien, einen Stromspeicher, eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und eine Visualisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch über ein entsprechendes Benutzerinterface.

INFO

Empfehlungen zur Realisierung der KfW-Effizienzhausstufen bei Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäusern mit Konstruktionen aus Kalksandstein finden sich in Tafel 16.

Passivhaus

Die Projektierung und Kennzeichnung des Passivhauses erfolgt nach einem Nachweisverfahren (PHPP) des Passivhaus-Instituts und bezieht zusätzlich zur GEG-Bilanz für Wohngebäude beispielsweise den Haushaltsstrom mit in die Berechnung ein.

Der Jahres-Heizwärmebedarf darf 15 kWh/(m²·a) (Bezug beheizte Wohnfläche ohne Balkon) nicht überschreiten. Der Energiekennwert Primärenergie darf max. 120 kWh/(m²·a) inklusive Haushaltsstrom betragen. Es werden Anforderungen an die wärmeschutztechnische Qualität der Gebäudehülle, die Luftdichtheit des Gebäudes und die Qualität der Lüftungsanlage gestellt.

Nullenergiehaus (Netto-Nullenergiehaus)/Plusenergiehaus/ Effizienzhaus Plus

Nullenergiehaus, Plusenergiehaus und Effizienzhaus-Plus bauen auf dem Standard von Gebäuden mit geringem Energiebedarf (z.B. KfW-Effizienzhaus oder Passivhaus) auf. Die Nutzung von Solarenergie – Strom einer Photovoltaikanlage oder thermische Solarenergie zur Warmwasserbereitung und Heizungsunterstützung – deckt den Energiebedarf bzw. führt zu einem Energieüberschuss. Mit dem Zusatz „Netto“ soll verdeutlicht werden, dass die Energiebilanz über das Jahr gesehen neutral sein muss. Ein Netto-Nullenergiehaus ist somit kein energie-autarkes Haus, sondern es ist eine Ankopplung an das Stromnetz vorhanden.

Das Effizienzhaus-Plus-Niveau in der Definition des BMI ist erreicht, wenn sowohl ein negativer Jahres-Primärenergiebedarf als auch ein negativer Jahres-Endenergiebedarf vorliegen. Über die Bilanzanteile des GEG hinaus, sind die Bedarfswerte für Wohnungsbeleuchtung und Haushaltsgeräte und -prozesse in die Berechnung einzubeziehen.

Nullemissionshaus (Netto-Nullemissionshaus)

Das Nullemissionshaus – konkreter gesagt das Null-CO₂-Emissionshaus – weist über das Jahr gesehen eine ausgeglichene CO₂-Bilanz auf. Die ausgeglichene Bilanz wird durch Gutschriften aus eigener Stromerzeugung (Photovoltaik, Kraft-Wärme-Kopplung, Kleinwindräder) erreicht. Es existieren auch Ansätze, die eine umfassendere Bilanzgrenze, z.B. Gebäudegruppen oder Siedlungen betrachten.

Je nach verwendetem Energieträger für die Wärmeversorgung (z.B. Holzpellets oder Fernwärme aus erneuerbaren Energien) kann ein Nullemissionshaus durchaus einen recht hohen Energiebedarf aufweisen!

3. Einflussgrößen auf den Primärenergiebedarf von Wohngebäuden

Am Beispiel eines Einfamilienhauses wird aufgezeigt, wie sich unterschiedliche bauliche, anlagentechnische und nutzungsbedingte Einflüsse auf die Höhe des Jahres-Primärenergiebedarfs auswirken. Die Berechnungen erfolgen auf Basis von DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10.

In Tafel 2 sind Varianten der verschiedenen Einflussgrößen dargestellt. Der Ausgangsfall entspricht einem Fall, der die Anforderungen gemäß Gebäudeenergiegesetz erfüllt (Tafel 11) und weist einen Primärenergiebedarf von 58,7 kWh/(m²·a) auf.

3.1 Bauliche Einflüsse

Wird der bauliche Wärmeschutz gemäß den Zahlenwerten in Tafel 2 verbessert, ergibt sich eine Bedarfsreduktion um ca. 7 kWh/(m²·a). Eine Ausführung des baulichen Wärmeschutzes, die den Bauteilen des Referenzgebäudes nach GEG entspricht, führt zu einer Erhöhung des Primärenergiebedarfs um ca. 14 kWh/(m²·a).

Mit der Umsetzung optimierter Anschlussdetails können Wärmebrückenverluste reduziert werden. Aus einem Wärmebrückenkorrekturwert $\Delta U_{WB} = 0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ resultiert der Jahres-Primärenergiebedarf von rund 55 kWh/(m²·a). Infolge schlechter Wärmebrückenausführungen ($\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$) steigt der zuletzt genannte Wert um ca. 15 kWh/(m²·a) an.

INFO

Verbesserungen des baulichen Wärmeschutzes sowie eine Minimierung der Wärmebrückenverluste führen zu einem geringeren Jahres-Primärenergiebedarf.

Wird eine ausreichende Gebäudedichtheit, die nach DIN 4108-7 [14] gefordert ist, nicht erreicht, ergibt sich mit einem Luftwechsel von $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ ein Jahres-Primärenergiebedarf von ca. 65 kWh/(m²·a). In diesem Fall ist keine Abluftanlage berücksichtigt.

Der Einfluss der Bauart (schwer/leicht), ausgedrückt durch die Wärmespeicherfähigkeit, liegt bei Berücksichtigung von sieben Stunden Nachtabschaltung bei etwa 4 % zu Gunsten der schweren Bauart (pauschale Ansätze gem. DIN V 4108-6).

3.2 Anlagentechnische Einflüsse

Beim Einsatz eines Niedertemperatur-Heizsystems ergibt sich aufgrund der größeren Erzeuger-Aufwandszahl eine Erhöhung des Jahres-Primärenergiebedarfs gegenüber dem Ausgangsfall von ca. 7 kWh/(m²·a). Werden die Rohrleitungen nicht wie im Ausgangsfall im beheizten, sondern im nicht beheizten Bereich geführt, liegt der Jahres-Primärenergiebedarf bei 63,3 kWh/(m²·a). Eine Reduktion des Primärenergiebedarfs

Tafel 2 Jahres-Primärenergiebedarf eines Einfamilienhauses bei Variation unterschiedlicher Einflussgrößen

Ausgangsfall (Ausführung gemäß Anforderungsniveau GEG 2020, vergl. Tafel 11):

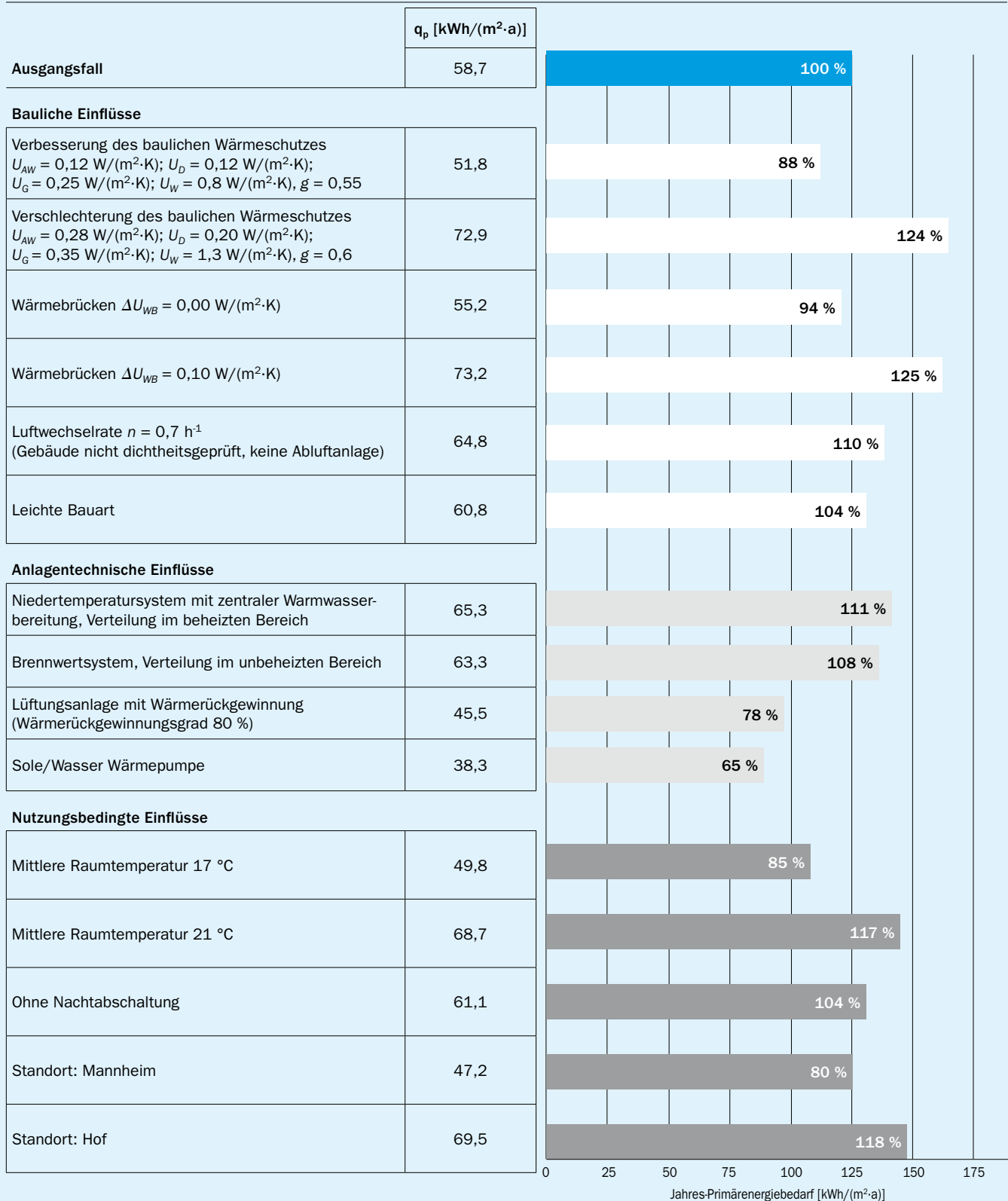
baulicher Wärmeschutz: $U_{AW} = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_D = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_G = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $U_W = 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; $g = 0,55$ Wärmebrückenkorrekturwert $\Delta U_{WB} = 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;Luftwechsel $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$

(Gebäude dichtheitsgeprüft, Abluftanlage)

schwere Bauart

Brennwertsystem mit zentraler Warmwasserbereitung und Solaranlage,
Verteilung im beheizten BereichRaumtemperatur $19 \text{ }^\circ\text{C}$; mit Nachtabstaltung; Referenzstandort Potsdam

Berechnung nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10



um ca. 13 kWh/(m²·a) wird erreicht, wenn eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad 80 %) anstelle der reinen Abluftanlage vorgesehen ist.

Die Berücksichtigung einer Sole/Wasser-Wärmepumpe führt insbesondere aufgrund des verringerten Primärenergiefaktors für Strom zu einer Absenkung des Jahres-Primärenergiebedarfs um rd. 20 %.

3.3 Nutzungsbedingte Einflüsse

Das Gebäudeenergiegesetz setzt bei Verwendung von DIN V 4108-6 als mittlere Raumlufttemperatur einen Wert von 19 °C an. Hierbei ist die räumliche Teilbeheizung berücksichtigt, d.h. es wird davon ausgegangen, dass nicht alle Räume eines Ge-

bäudes auf normale Raumlufttemperaturen beheizt werden. Wählt man bei der Berechnung eine Raumlufttemperatur von durchschnittlich 17 °C, liegt der Jahres-Primärenergiebedarf bei 49,8 kWh/(m²·a). Bei einer erhöhten Raumlufttemperatur von 21 °C erhöht sich der Bedarf im Vergleich zum Ausgangsfall um ca. 10 kWh/(m²·a).

Wird gegenüber dem Ausgangsfall keine Nachtabschaltung betrieben, entsteht ein Mehrbedarf von ca. 4 %.

Die Berücksichtigung standortspezifischer Klimadaten führt für Mannheim, dem Referenzort für die Region 12 gemäß DIN V 18599 [8] zu einer Reduktion des Jahres-Primärenergiebedarfs von ca. 12 kWh/(m²·a). Unter Zugrundelegung der Klimadaten des Referenzorts für die Region 10 (Hof) nimmt der Bedarf auf 69,5 kWh/(m²·a) zu.

4. Das GEG für Wohngebäude im Überblick

4.1 Einführung

Im Rahmen des GEG werden für Wohngebäude Anforderungen an die Größen Jahres-Primärenergiebedarf und spezifischer Transmissionswärmeverlust sowie an den sommerlichen Wärmeschutz gestellt. Dies sind die aus der EnEV 2016 bekannten Anforderungsgrößen. Sowohl bezüglich der Höhe der Anforderungen, der Ermittlung der maximal zulässigen Werte und des Nachweisverfahrens haben sich gegenüber der EnEV 2016 teilweise Änderungen ergeben.

- Die Vorgehensweise zur Ermittlung des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs bleibt wie in der EnEV 2016 bestehen. Die Anforderungswerte verändern sich geringfügig aufgrund von kleinen Anpassungen am Referenzgebäude und Änderungen in DIN V 18599.
- Auch die Vorgehensweise zur Ermittlung des zulässigen spezifischen Transmissionswärmeverlusts ist unverändert aus der EnEV 2016 übernommen. Die oberen Grenzwerte des spezifischen Transmissionswärmeverlusts (Deckelung) gemäß EnEV 2016, Anlage 1, Tabelle 2 entfallen.
- Ebenso wie bei Nichtwohngebäuden nach EnEV 2016 kann nun auch bei Wohngebäuden, die eine Gebäudeautomation der Klasse A oder B aufweisen, der Nachweis mit einem System dieser Klassen geführt werden. Die Berechnung muss dabei mit Verwendung der DIN V 18599 erfolgen.
- Strom aus erneuerbaren Energien darf im Nachweisverfahren angerechnet werden, wenn er unmittelbar am Gebäude erzeugt wird und vorrangig in dem Gebäude direkt nach der

Erzeugung oder nach vorübergehender Speicherung vorwiegend selbst genutzt wird. Die anrechenbare Strommenge hängt dabei ab von der Gebäudeart (Wohn- bzw. Nichtwohngebäude), der installierten Anlagengröße, dem Vorhandensein eines Stromspeichers sowie der Höhe des absoluten elektrischen Endenergiebedarfs der Anlagentechnik. Bei hohem Stromeinsatz (z.B. Stromdirektheizung) ist eine monatliche Bilanzierung von Stromerträgen und Energiebedarfen unter Anwendung von DIN V 18599 vorzunehmen. Der letztgenannte Punkt entspricht der Regelung nach EnEV 2016 § 5.

- Die Anforderungen an die Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung wurden vom Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) in das Gebäudeenergiegesetz übertragen. Wesentliche Änderung ist, dass auch die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien (Einsatz von PV-Anlagen) eine Erfüllungsoption darstellt.

INFO

Die Anforderungen der Energieeinsparverordnung und des Erneuerbare-Energien-Wärmegesetzes wurden im Gebäudeenergiegesetz zusammengeführt.

Wesentliche praktische Konsequenzen aus dem Gebäudeenergiegesetz sind, dass die Abstimmung zwischen den Planern des baulichen Wärmeschutzes und der Anlagentechnik in einem frühen Stadium erfolgt. Über „Bonusanreize“, die eine gute Detailplanung – und natürlich auch eine gute Detailausführung – belohnen, wird eine verbesserte Qualität der Baukonstruk-

tion und der Gebäude erreicht. Darüber hinaus wird im Nachweisverfahren des GEG die Effizienz einer guten Gebäudeanlagentechnik deutlich herausgestellt, und es resultieren auch Anreize für den Einsatz optimierter Heizungs- und Warmwasserbereitungssysteme.

4.2 Begriffe

4.2.1 Heizwärmebedarf

(auch: Nutzenergiebedarf für Heizen nach DIN V 18599)

Die Wärmemenge, die dem Raum bzw. dem Gebäude vom Heizsystem (Heizkörper) zur Verfügung gestellt werden muss, um die entsprechende Raumtemperatur aufrecht zu erhalten (Bild 8).

Die Größe wird durch die Bilanzierung von Wärmeverlusten (Transmission und Lüftung) und Wärmegewinnen (solare und interne) ermittelt und kennzeichnet – unter Berücksichtigung definierter Nutzungsbedingungen – die wärmeschutztechnische Qualität der Gebäudehülle.

4.2.2 Heizenergiebedarf

(auch: Endenergiebedarf für das Heizsystem)

Energiemenge, die für die Gebäudebeheizung unter Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs und der Verluste des Heizsystems aufgebracht werden muss.

Verluste des Heizungssystems treten bei der Wärmeübergabe, der Wärmeverteilung, der Wärmespeicherung und der Wärmeerzeugung auf. Diese Verluste werden in einer Anlagenaufwandszahl zusammengefasst. Eine kleine Aufwandszahl kennzeichnet ein energetisch günstiges Heizungssystem.

4.2.3 Warmwasserwärmebedarf

Wärmemenge, die dem Kaltwasser zugeführt werden muss, um den durchschnittlichen Bedarf an Warmwasser bereitstellen zu können.

Bei der Bilanzierung nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 beträgt der Warmwasserwärmebedarf für Wohnnutzung pauschal $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

4.2.4 Endenergiebedarf

Energiemenge, die für die Gebäudebeheizung unter Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs und der Verluste des Heizungssystems sowie des Warmwasserwärmebedarfs und der Verluste des Warmwasserbereitungssystems aufgebracht werden muss.

Die Endenergie bezieht die für den Betrieb der Anlagentechnik (Pumpen, Regelung usw.) benötigte Hilfsenergie mit ein.

Die Endenergie wird an der „Schnittstelle“ Gebäudehülle übergeben und stellt somit die Energiemenge dar, die vom Verbraucher bezahlt werden muss.

4.2.5 Primärenergiebedarf

Energiemenge, die zur Deckung des Endenergiebedarfs benötigt wird – unter Berücksichtigung der zusätzlichen Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Gebäude“ entsteht.

Zusätzlicher Energieaufwand entsteht bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung der jeweils eingesetzten Brennstoffe.

Die Primärenergie kann als Beurteilungsgröße für ökologische Kriterien, wie z.B. CO_2 -Emission, herangezogen werden, da der gesamte Energieaufwand für die Gebäudekonditionierung einbezogen wird.

4.3 Haupt-Anforderungsgröße Primärenergiebedarf

Bei Wohngebäuden wird unter Berücksichtigung des Heizwärmebedarfs und des Warmwasserwärmebedarfs sowie der Einbeziehung der Anlagentechnik für Heizung und Warmwasserbereitung der Endenergiebedarf ausgewiesen. Diese Größe kann

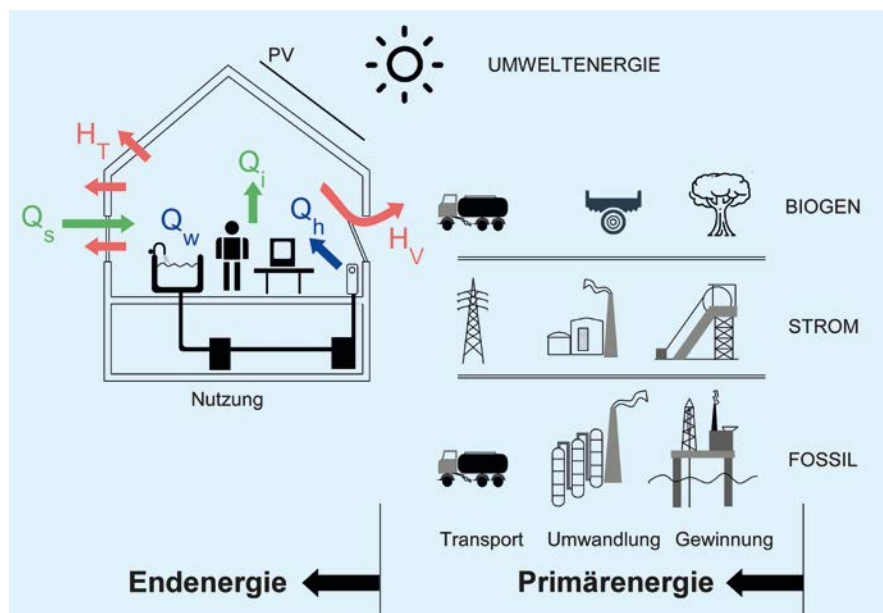


Bild 8

Schematische Darstellung der Einflussgrößen auf die Bilanzierung des Primärenergiebedarfs
 Q_h Heizwärmebedarf;
 Q_w Warmwasserwärmebedarf;
 H_T Transmissionswärmeverlust;
 H_V Lüftungswärmeverlust;
 Q_s solare Wärmegewinne;
 Q_i interne Wärmegewinne

mit dem tatsächlichen Energieverbrauch verglichen werden. Sie stellt somit eine Kennzeichnung für die energetische Qualität des Gebäudes dar. Über diese für den Endverbraucher interessante Kenngröße hinaus wird die eigentliche Anforderung des GEG an einen zulässigen Primärenergiebedarf gestellt. Die Einflussgrößen auf die Bilanzierung des Jahres-Primärenergiebedarfs sind in Bild 8 dargestellt.

4.4 Übersicht über Anforderungen

4.4.1 Neu zu errichtende Wohngebäude

- Flächenbezogener Primärenergiebedarf
- Hüllflächenbezogener Transmissionswärmeverlust
- Sommerlicher Wärmeschutz
- Dauerhafte Luftundurchlässigkeit der Gebäudehülle
- Sicherstellung eines Mindestluftwechsels
- Berücksichtigung von Wärmebrücken im Rechenverfahren
- Verringerung von Wärmebrückeneinflüssen

4.4.2 Wohngebäude- und Anlagenbestand

- Änderung, Ersatz und Erneuerung von Außenbauteilen: Begrenzung des Wärmedurchgangskoeffizienten; alternativ:

$$Q_{p,max, Bestand} = 1,4 \cdot Q_{p, Referenzgebäude}$$
 und

$$H_{T', max, Bestand} = 1,4 \cdot H_{T', Höchstwert}$$
 - Erweiterung um beheizte oder gekühlte Räume: Anforderung an den hüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlust:

$$H_{T', max, Außenbauteile Erweiterung} = 1,2 \cdot H_{T', Außenbauteile Referenzgebäude}$$
 - Erweiterung um mehr als 50 m² zusammenhängende Nutzfläche: Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes
 - Austausch von Heizkesseln: Betriebsverbot für mehr als 30 Jahre alte Heizkessel, eingeschränkte Möglichkeiten des Einbaus von Heizkesseln, die mit Heizöl oder mit festem fossilem Brennstoff beschickt werden ab 2026
 - Dämmung von Rohrleitungen und Armaturen: Nachrüstfristen
 - Regelungstechnik: Steuerung des Heizkessels und Raumtemperaturregelung
 - Dämmung von obersten Geschossdecken: Nachrüstfristen
- ##### 4.4.3 Anlagentechnik
- Qualität der einzubauenden Anlagentechnik Bestand: Niertemperatur oder Brennwertkessel
 - Regelungstechnik: Steuerung des Heizkessels und Raumtemperaturregelung

- Umwälzpumpen in Heizanlagen mit mehr als 25 kW Nennleistung: selbsttätige stufenweise Steuerung
- Dämmung von Rohrleitungen und Armaturen: Vorgabe von Mindestdämmdicken

4.5 Gegenüberstellung der Berechnungsverfahren

Für das Nachweisverfahren des Gebäudeenergiegesetzes können alternativ DIN V 4108-6/DIN V 4701-10 oder DIN V 18599 verwendet werden. Der Vergleichbarkeit der Berechnungsergebnisse beider Verfahren sind Grenzen gesetzt (s. Kap. 9.5). Zwar basiert die Wärmebilanz beider Ansätze auf einer monatlichen Betrachtung, darüber hinaus sind jedoch in allen Prozessbereichen verschiedene Änderungen/Neuerungen im Ansatz der DIN V 18599 zu finden. In der Regel handelt es sich hierbei jedoch nicht um völlige Neudefinitionen von Ansätzen, sondern eher um Verschiebungen von Bilanzanteilen. Unabhängig von den Abweichungen bieten beide Verfahren für sich genommen innerhalb ihrer Bilanzgrenzen plausible Ergebnisse.

Hinsichtlich der Berechnung des Heizwärmebedarfs liegt ein wesentlicher Verfahrensunterschied infolge der schrittweise erfolgenden Bilanzierung (Iteration) der internen Wärmeeinträge vor. Die Wärmeeinträge (solar, intern, Anlagentechnik) werden im Verfahren der DIN V 4108-6 vereinfacht pauschal angenommen und sind in einem Wert zusammengefasst. Im Ansatz der DIN V 18599 erfolgt die explizite Berechnung des Energiebedarfs für Beleuchtung (bei Nichtwohngebäuden) und der Wärmeabgabe von anlagentechnischen Komponenten, letztere in der Regel abhängig von den Umgebungstemperaturen. Diese berechneten Größen gehen nachfolgend schrittweise in die Bedarfsermittlung ein.

Eine Gegenüberstellung weiterer Unterschiede in den Berechnungsverfahren ist in Tafel 3 aufgeführt.

Tafel 3 Gegenüberstellung der Berechnungsverfahren

DIN V 4108 /DIN V 4701	DIN V 18599
Monatsbilanzverfahren (baulich)	Monatsbilanzverfahren (baulich und anlagentechnisch)
„Trennung der Gewerke“ Q_h und e_p	Keine Trennung
Nutzenergie Trinkwarmwasser pauschal (12,5 kWh/(m ² ·a)), Bezug auf Gebäudenutzfläche A_N	Nutzenergie Trinkwarmwasser in Abhängigkeit von der Größe der Nettogrundfläche der versorgten Wohneinheiten
Interne Wärmeeinträge pauschal (5 W/m ²) Bezug auf Gebäudenutzfläche A_N	Interne Wärmeeinträge nach Nutzung (EFH und MFH) differenziert (1,9 und 3,8 W/m ²) Bezug auf Gebäudenutzfläche A_N
Heizwertbezug	Brennwertbezug
Bestandsanlagen in anderen Normenteilen	Bestandsanlagen integriert

4.6 Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung

Die bisherigen Regelungen des Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetzes (EEWärmeG) wurden nahezu unverändert in das Gebäudeenergiegesetz überführt. Ziel der Regelungen ist es, den Ausbau der Nutzung erneuerbarer Wärme für die Gebäudekonditionierung voranzutreiben und damit den Wärmeenergiebedarf anteilig mit erneuerbaren Energien zu decken. Der Wärmeenergiebedarf stellt die Energiemenge (ohne Hilfsenergie) dar, die vom Wärmeerzeuger zu Heizzwecken und zur Warmwasserbereitung bereitgestellt werden muss (Bild 9). Im Falle der Gebäudedekühlung zählt auch die Energiemenge für Kühlzwecke dazu.

Bei Verwendung fester Biomasse (z.B. Holzpellets oder Holz-hackschnitzel), Erdwärme oder Umweltwärme (z.B. unter Ein-satz von Wärmepumpen) muss der Wärmeenergiebedarf zu mindestens 50 % daraus gedeckt werden. Zusätzlich gelten bestimmte Anforderungen an die technischen Komponenten, wie z.B. Jahresarbeitszahlen von Wärmepumpen. Eine Deckung des Wärmeenergiebedarfs zu mindestens 30 % ist bei Einsatz von Biogas in einer KWK-Anlage und zu mindestens 50 % in einem Brennwärtekessel erforderlich. Wird eine solarthermische Anlage oder Strom aus erneuerbaren Energien genutzt, beträgt der Deckungsanteil am Wärmeenergiebedarf mindestens 15 %.

Eine Pauschalisierung sieht das Gesetz vor, wenn die Warmwasserbereitung oder die Heizung durch eine Solaranlage unterstützt wird. Bei Ein- und Zweifamilienhäusern müssen 4 m² Kollektorfläche pro 100 m² beheizter Nutzfläche (gemäß GEG) installiert werden. Bei größeren Gebäuden sind es 3 m² pro 100 m² beheizter Nutzfläche.

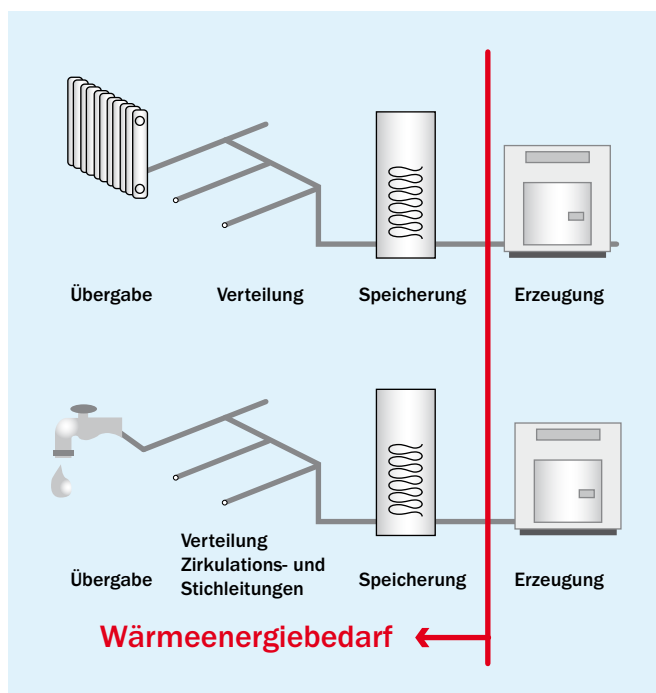


Bild 9 Definition des Wärmeenergiebedarfs für Heizung und Warmwasserbereitung, im Falle der Gebäudedekühlung ist der dazu erforderliche Energieanteil zusätzlich einzubeziehen

Auch bei Einsatz einer Photovoltaikanlage kann ein Pauschalansatz verwendet werden. Die Anforderungen an die Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung gilt als erfüllt, wenn eine PV-Anlage mit 3 kW Nennleistung pro 100 m² Gebäudenutzfläche geteilt durch die Anzahl der beheizten oder gekühlten Geschosse installiert wird.

Diese Maßnahmen können auch kombiniert werden (z.B. 25 % über eine Wärmepumpe und 15 % über Nutzung von Biogas).

Des Weiteren besteht die Möglichkeit, Ersatzmaßnahmen zu ergreifen. Hierzu zählen die Nutzung von Abwärme, beispielsweise aus Abluftwärme oder Produktionsprozessen, oder die Nutzung von Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen mit einem Deckungsanteil des Wärmeenergiebedarfs von mindestens 50 % sowie der Anschluss an ein Netz der Nah- oder Fernwärmeversorgung, das auf Basis erneuerbarer Energien über Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärme betrieben wird. Auch mit verbessertem Wärmeschutz, der zu einer Unterschreitung der Anforderung bei Wohngebäuden an den hüllflächenbezogenen Transmissionswärmeverlust bzw. bei Nichtwohngebäuden an die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten um mindestens 15 % führt, werden die Anforderungen des Gesetzes im Sinne einer Ersatzmaßnahme erfüllt.

Wer weder erneuerbare Energien nutzen noch Ersatzmaßnahmen ergreifen kann, ist von der Nutzungspflicht befreit. Führen Maßnahmen im Einzelfall zu einer unbilligen Härte, kann die zuständige Landesbehörde eine Befreiung von der Nutzungspflicht gewähren.

4.7 Modellgebäudeverfahren (vereinfachtes Nachweisverfahren)

Erstmals im Rahmen der Neugestaltung der Energieeinsparverordnung 2014 wurde von den Bundesländern der Wunsch nach Einführung eines vereinfachten Nachweisverfahrens geäußert. Damit sollte sowohl der öffentlich-rechtliche Nachweis vereinfacht als auch eine leicht handhabbare Prüfung der Nachweise ermöglicht werden. Das als „EnEV-easy“ entwickelte Verfahren wurde fortgeschrieben und ist als Nachweismöglichkeit für Wohngebäude im Gebäudeenergiegesetz aufgenommen.

Der Ansatz des Modellgebäudeverfahrens ist, dass in Abhängigkeit von der Größe des Gebäudes (Bruttogrundfläche zwischen 115 und 2.300 m²) und der vorgesehenen Anlagentechnik (die die Anforderungen an die Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung erfüllt) eine entsprechende Qualität des baulichen Wärmeschutzniveaus vorzusehen ist.

Der Nachweisaufwand über das Modellgebäudeverfahren soll insgesamt geringer ausfallen als der Aufwand für eine detaillierte Berechnung. Allerdings ist zu beachten, dass bei Verwendung des vereinfachten Verfahrens die Anwendungsvoraussetzungen überprüft werden müssen, bestimmte Flächen der Gebäudehülle zu ermitteln sind, die Wärmedurchgangskoeffizienten berechnet werden müssen und alle Angaben und Eintragungen für den Energieausweis zu treffen sind. Insgesamt muss hinterfragt werden, ob das vereinfachte Verfahren tatsächlich zu der erhofften Zeiteinsparung führt.

5. Anforderungen für Wohngebäude im Detail

5.1 Jahres-Primärenergiebedarf und spezifischer Transmissionswärmeverlust

Die wesentlichen Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes werden bei Wohngebäuden über den Jahres-Primärenergiebedarf formuliert. Zusätzlich wird eine Anforderung an den spezifischen, auf die Wärme übertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust (mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient) gestellt.

Mit dem Gebäudeenergiegesetz 2020 wird das Anforderungsmodell der EnEV 2009 fortgeschrieben. Die Vorgabe einer Referenzbautechnik in Verbindung mit einer Referenzanlagentechnik führt zu einem Referenzgebäude, aus dem der maximal zulässige Jahres-Primärenergiebedarf eines Gebäudes resultiert.

Die Gestaltung der Anforderungen über das Referenzgebäudeverfahren geschieht wie folgt: Unter Zugrundelegung der geplanten Gebäudegeometrie (Gebäudevolumen und Hüllfläche), der geplanten Gebäudeausrichtung und der Fenstergrößen wird die Gebäudehülle mit einer bestimmten Ausführung des baulichen Wärmeschutzes und mit einer bestimmten vorgegebenen Anlagentechnik ausgestattet. Berechnet man den Jahres-Primärenergiebedarf dieses Referenzgebäudes und zieht davon 25 % ab, so resultiert ein spezifischer Anforderungswert – der maximal zulässige Jahres-Primärenergiebedarf. Dieser zulässige Jahres-Primärenergiebedarf ist von dem tatsächlich zu errichtenden Gebäude mit der tatsächlich geplanten baulichen Ausführung und der tatsächlich geplanten Anlagentechnik einzuhalten bzw. zu unterschreiten. Die bauliche Ausführung des Referenzgebäudes „Wohngebäude“ ist in Tafel 4 aufgeführt. Eine grafische Darstellung aller wesentlichen Komponenten des Referenzgebäudes – auch die anlagentechnischen Elemente – zeigt Bild 10.

Zusätzlich zu den genannten Anforderungen an den Jahres-Primärenergiebedarf Q_p wird der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T begrenzt. Analog zur Bestimmung des zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs resultiert der Maximalwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts aus der baulichen Qualität des Referenzgebäudes. Die oberen Grenzwerte – als Höchstwerte gemäß EnEV 2016 – entfallen im Gebäudeenergiegesetz.

5.2 Sommerlicher Wärmeschutz

Damit zu Wohn- und ähnlichen Zwecken dienende Gebäude im Sommer möglichst ohne Anlagentechnik zur Kühlung auskommen und zumutbare Temperaturen nur selten überschritten werden, darf der raumbezogene Sonneneintragskennwert gemäß

Tafel 4 Bauliche Ausführung des Referenzgebäudes „Wohngebäude“ gemäß GEG

Zeile	Bauteil/System	Referenzausführung bzw. Wert (Maßeinheit)
1.1	Außenwand, Geschossdecke gegen Außenluft	$U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
1.2	Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen (außer solche nach Zeile 1.1)	$U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
1.3	Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
1.4	Fenster, Fenstertüren	$U = 1,3 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}); g = 0,60$
1.5	Dachflächenfenster	$U = 1,4 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}); g = 0,60$
1.6	Lichtkuppeln	$U = 2,7 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K}); g = 0,64$
1.7	Außentüren	$U = 1,8 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
2	Wärmebrückenzuschlag (Bauteile nach 1.1 bis 1.7)	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
3	Luftdichtheit der Gebäudehülle	Bei Berechnung nach ■ DIN V 4108-6:2003-06: mit Dichtheitsprüfung ■ DIN V 18599-2:2018-09: nach Kategorie I

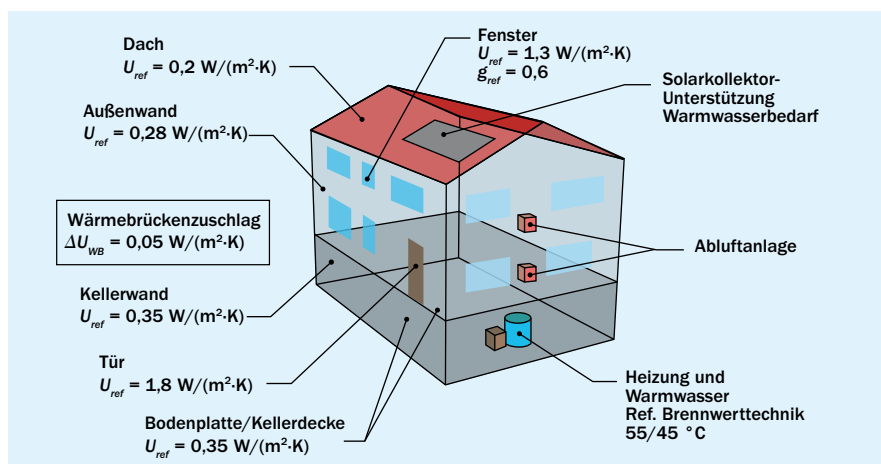


Bild 10 Referenzausführung für Wohngebäude (schematische Darstellung der wesentlichen Komponenten)

DIN 4108-2 [15] den Höchstwert S_{zul} nicht überschreiten. Liegt der Fensterflächenanteil des zu beurteilenden Raums unter den in Tafel 5 angegebenen Grenzen, so gilt der Nachweis als erfüllt.

Im Falle von Wohngebäuden, bei denen der kritische Raum einen grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil von 35 % nicht überschreitet und deren Fenster in Ost-, Süd- oder Westorientierung (inklusive derer eines Glasvorbaus) mit außen liegenden Sonnenschutzvorrichtungen mit einem Abminderungsfaktor $F_C \leq 0,30$ bei Glas mit $g > 0,40$ (Wärmedämmglas) bzw. $F_C \leq 0,35$ bei Glas mit $g \leq 0,40$ (Sonnenschutzglas) ausgestattet sind, kann ebenfalls auf einen Nachweis verzichtet werden.

INFO

Bei Wohngebäuden sowie wohnähnlich genutzten Gebäuden ist davon auszugehen, dass bei Ausführung der Außen- und Innenwände in Mauerwerk aus Steinen der Rohdichteklasse $\geq 1,8$ sowie Stahlbetondecken eine schwere Bauart vorliegt. Eine innenseitige wärmeschutztechnische Bekleidung der massiven Wände und Decken darf dabei nicht vorliegen.

Tafel 5 Zulässige Werte des grundflächenbezogenen Fensterflächenanteils, unterhalb dessen auf einen sommerlichen Wärmeschutznachweis verzichtet werden kann [15]

Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster ¹⁾	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG} [%]
über 60° bis 90°	Nord-West- über Süd- bis Nord-Ost	10
	alle anderen Nordorientierungen	15
von 0° bis 60°	alle Orientierungen	7

¹⁾ Sind beim betrachteten Raum mehrere Orientierungen mit Fenstern vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{WG} bestimmend.
²⁾ Der Fensterflächenanteil f_{WG} ergibt sich aus dem Verhältnis der Fensterfläche zu der Grundfläche des betrachteten Raumes oder der Raumgruppe. Sind beim betrachteten Raum bzw. der Raumgruppe mehrere Fassaden oder z. B. Erker vorhanden, ist f_{WG} aus der Summe aller Fensterflächen zur Grundfläche zu berechnen.

5.2.1 Bestimmung des Sonneneintragskennwerts

Für den bezüglich sommerlicher Überhitzung zu untersuchenden Raum oder Raumbereich ist der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} zu ermitteln.

$$S_{vorh} = \sum_i \frac{A_{w,j} \cdot g_{total,j}}{A_G}$$

mit

A_w Fensterfläche in m²

g_{total} Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases einschließlich Sonnenschutz

A_G Nettogrundfläche des Raums oder Raumbereichs in m²

Der Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases einschließlich Sonnenschutz g_{total} kann vereinfacht berechnet werden.

$$g_{total} = g \cdot F_c$$

mit

g Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases für senkrechten Strahlungseinfall nach DIN EN 410 [16]

F_c Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen nach Tafel 6 bzw. nach Prüfzeugnis

Tafel 6 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit von der Glasart; Auszug aus [15]

Beschaffenheit der Sonnenschutzvorrichtung	Zweifach Sonnenschutzglas	Dreifach Wärmedämmglas	Zweifach Wärmedämmglas
	Abminderungsfaktor F_c		
Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	1,00	1,00
Innenliegend oder zwischen den Scheiben liegend – weiß oder hochreflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz	0,65	0,70	0,65
Außen liegend – Fensterläden, Rollläden, $\frac{3}{4}$ geschlossen	0,35	0,30	0,30
Außen liegend – Jalousie und Raffstore; drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
Außen liegend – Markise, parallel zur Verglasung	0,30	0,25	0,25

Alternativ kann das Berechnungsverfahren für g_{total} nach DIN V 4108-6, Anhang B verwendet werden.

5.2.2 Höchstwert des Sonneneintragskennwerts

Der Sonneneintragskennwert S_{vorh} darf den Höchstwert S_{zul} nicht überschreiten, d.h.:

$$S_{vorh} \leq S_{zul}$$

Der Höchstwert S_{zul} wird als Summe der anteiligen Sonneneintragskennwerte in DIN V 4108-2 nach dem Bonus-Malus-Prinzip ermittelt. Hierbei finden die Klimaregion, die Bauart (schwer, mittel, leicht), eine mögliche Nachtlüftung, der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil, ein ggf. vorhandenes Sonnenschutzglas, die Einbausituation des Fensters und der ggf. vorgesehene Einsatz passiver Kühlung Berücksichtigung.

5.2.3 Bauart

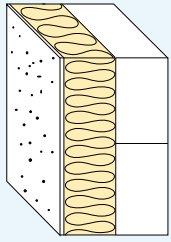
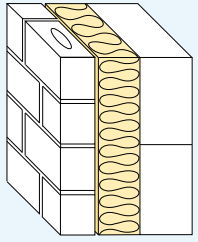
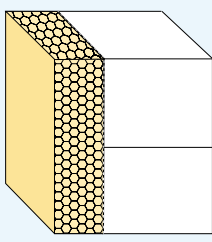
Ohne Nachweis der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit ist die Bauart als „leicht“ einzustufen. Bei Wohngebäuden sowie wohnähnlich genutzten Gebäuden ist davon auszugehen, dass bei Ausführung der Außen- und Innenwände in Mauerwerk aus Steinen der Rohdichteklasse $\geq 1,8$ sowie Stahlbetondecken eine schwere Bauart vorliegt. Beispiele für KS-Außenwandkonstruktionen in schwerer Bauart zeigen Tafel 7 und Tafel 15. Eine innenseitige wärmeschutztechnische Bekleidung der massiven Wände und Decken darf dabei nicht vorliegen. Bei Ausführungen von Mauerwerk mit geringerer Rohdichteklasse ist in der Regel von einer mittleren Bauart auszugehen.

Die positive Auswirkung einer schweren Bauart auf das sommerliche Temperaturverhalten ist in Bild 11 dargestellt.

INFO

Ein einfaches, kostenfreies Programm zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes steht zum Download auf www.kalksandstein.de bereit.

Tafel 7 Außenwände aus Kalksandstein (Rohdichteklasse $\geq 1,8$), Beispiele

Außenwände		Kellerwand
Kalksandstein mit WDVS	Zweischalige KS-Außenwand	(beheizter Keller)
 <p>$U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$</p>	 <p>$U = 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$</p>	 <p>$U = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$ mit Perimeterdämmung $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ inkl. Zuschlag ΔU nach abZ von 0,04 [W/(m²·K)]</p>
<p>Aus Gründen der Luftdichtheit ist auf der Innenseite der Außenwände ein Putz aufzubringen.</p>		

5.3 Heizungstechnische Anlagen, Warmwasseranlagen und Wärmeverteilung, Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien

Bei Einsatz eines Heizkessels im Gebäudebestand wird gefordert, dass diese Kessel dem Stand der Niedertemperatur- oder Brennwerttechnik entsprechen müssen.

Ab dem 1. Januar 2026 dürfen Heizkessel, die mit Heizöl oder mit festem fossilem Brennstoff beschickt werden, in Neu- oder Bestandsgebäuden nur eingebaut und betrieben werden, wenn der Wärme- und Kälteenergiebedarf anteilig durch erneuerbare Energien (siehe 4.6) gedeckt wird, wenn kein Anschluss an ein Gas- oder Fernwärmenetz hergestellt werden kann oder wenn die Anforderung zu einer unbilligen Härte führt.

Heizungsanlagen sind grundsätzlich mit Einrichtungen auszustatten, die es ermöglichen, die gesamte Anlage oder auch Teile (Pumpen, Ventile) zeitabhängig oder in Abhängigkeit einer geeigneten Führungsgröße zu steuern bzw. zu regeln. Weiterhin müssen Heizungsanlagen raumweise regelbar sein (z.B. Thermostatventile). Umwälzpumpen sind selbsttätig steuer- oder regelbar auszuführen. Darüber hinaus gelten für neu zu errichtende Gebäude die in Tafel 8 aufgeführten Anforderungen an die Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen.

Strom aus erneuerbaren Energien darf im Nachweisverfahren angerechnet werden, wenn er unmittelbar am Gebäude erzeugt wird (z.B. PV- oder Windkraft-Anlagen) und vorrangig in dem Gebäude unmittelbar nach der Erzeugung oder nach vorübergehender Speicherung vorwiegend selbst genutzt wird.

Die anrechenbare Strommenge hängt ab von der der installierten Leistung der PV-Anlage, dem Vorhandensein eines Stromspeichers sowie der Höhe des absoluten elektrischen Endenergiebedarfs der Anlagentechnik. Unter Berücksichtigung der genannten Einflussgrößen wird ein anrechenbarer Wert des Jahres-Primärenergiebedarfs als „Bonuswert“ ΔQ_p ausgerechnet und von dem Bilanzergebnis des zu errichtenden Gebäudes abgezogen. Der anrechenbare „Bonuswert“ darf bei Vorhandensein eines Stromspeichers 45 % des maximal zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs (= Anforderungswert gemäß GEG) nicht über-

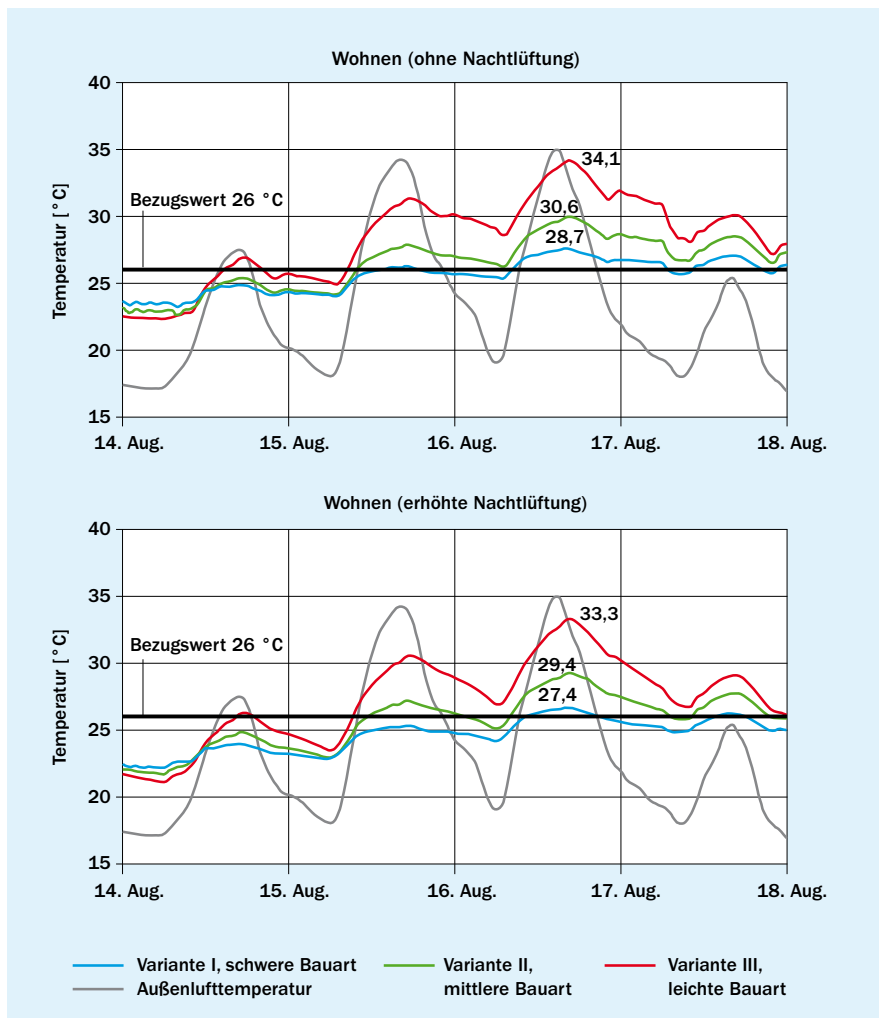


Bild 11 Verlauf von Außentemperatur, Bezugstemperatur und operativer Raumtemperatur der Varianten I bis III mit und ohne Berücksichtigung einer erhöhten Nachtlüftung für den Wohnbereich über eine sommerheiße Periode [17]

Tafel 8 Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen, Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen

Zeile	Art der Leitungen/Armaturen	Mindestdicke der Dämmschicht, bezogen auf eine Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K)
1	Innendurchmesser bis 22 mm	20 mm
2	Innendurchmesser über 22 mm bis 35 mm	30 mm
3	Innendurchmesser über 35 mm bis 100 mm	gleich Innendurchmesser
4	Innendurchmesser über 100 mm	100 mm
5	Leitungen und Armaturen nach den Zeilen 1 bis 4 in Wand- und Deckendurchbrüchen, im Kreuzungsbereich von Leitungen, an Leitungsverbindungsstellen, bei zentralen Leitungsnetzverteilern	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
6	Leitungen von Zentralheizungen nach den Zeilen 1 bis 4, die nach dem 31. Januar 2002 in Bauteilen zwischen beheizten Räumen verschiedener Nutzer verlegt werden	1/2 der Anforderungen der Zeilen 1 bis 4
7	Leitungen nach Zeile 6 im Fußbodenaufbau	6 mm
8	Kälteverteilungs- und Kaltwasserleitungen sowie Armaturen von Raumlufttechnik- und Klimakältesystemen	6 mm

schreiten. Ist kein Stromspeicher vorhanden, dürfen maximal 30 % des Jahres-Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes angerechnet werden.

Bei hohem Stromeinsatz (z.B. Stromdirektheizung) ist eine monatliche Bilanzierung von Stromerträgen und Energiebedarfen unter Anwendung von DIN V 18599 vorzunehmen. Der letztgenannte Punkt wurde unverändert aus der EnEV 2016 § 5 in das Gebäudeenergiegesetz übernommen.

5.4 Gebäude mit Anlagen zur Kühlung

Bei Gebäuden mit Anlagen zur Kühlung ist das Nachweisverfahren gemäß DIN V 18599 anzuwenden. Das Rechenverfahren der Norm in der Fassung von September 2018 [8] erlaubt die Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs der Raumkühlung auch für Wohngebäude.

INFO

Der zulässige Jahres-Primärenergiebedarf wird ohne Berücksichtigung einer Kühlung ermittelt. Somit muss der für die Kühlung erforderliche Energieaufwand im Rahmen der Gesamtbilanzierung kompensiert werden.

5.5 Energieausweise

Wird ein Gebäude errichtet oder geändert und werden im Zusammenhang mit der Änderung die erforderlichen Berechnungen gemäß Gebäudeenergiegesetz durchgeführt, so ist dem Eigentümer ein Energieausweis unter Zugrundelegung der energetischen Eigenschaften des fertiggestellten oder geänderten Gebäudes auszustellen. Der Eigentümer hat den Energieausweis der nach Landesrecht zuständigen Behörde auf Verlangen vorzulegen und zu übergeben.

Beim Verkauf eines Gebäudes hat der Verkäufer oder Immobilienmakler dem Kaufinteressenten einen Energieausweis (inklusive ggf. vorliegender Modernisierungsempfehlungen) spätestens bei der Besichtigung vorzulegen bzw. bei Abschluss des Kaufvertrages zu übergeben.

■ Der Energieausweis bezieht sich – auch beim Verkauf von Wohnungs- und Teileigentum – auf das gesamte Gebäude.

■ Im Falle gemischt genutzter Gebäude (z.B. Gebäude, die teilweise Büronutzung und teilweise Wohnnutzung aufweisen) ist der Energieausweis für die entsprechenden Teile des Gebäudes auszustellen.

Die zuvor genannte Anforderung gilt für den Vermieter, Verpächter und Leasinggeber entsprechend bei der Vermietung, der Verpachtung oder beim Leasing eines Gebäudes, einer Wohnung oder einer sonstigen selbständigen Nutzungseinheit.

Für Gebäude mit mehr als 500 m² (bei öffentlichen Gebäuden mehr als 250 m²) Nettogrundfläche, die einen starken Publikumsverkehr aufweisen, sind vorhandene Energieausweise an einer für die Öffentlichkeit gut sichtbaren Stelle auszuhängen.

In Immobilienanzeigen sind – sofern ein Energieausweis vorliegt – umfassende Aussagen zur energetischen Qualität des Gebäudes zu treffen. Im Falle von bereits vorhandenen Energieausweisen, die nach den Maßgaben vorheriger Verordnungen erstellt wurden, ist in den Anzeigen der Endenergiebedarf oder Endenergieverbrauch anzugeben. Liegen Energieausweise gemäß den Anforderungen der Energieeinsparverordnung bzw. des GEG vor, sind über die Angabe des Endenergiebedarfs oder Endenergieverbrauchs hinaus der wesentliche Energieträger für die Heizung des Gebäudes, das Gebäudebaujahr und die Energieeffizienzklasse aufzunehmen.

Während für Neubauten und in größerem Umfang energetisch modernisierte Bestandsgebäude der Energieausweis auf Basis des Energiebedarfs (berechnete Größe) zu erstellen ist, kann bei bestehenden Gebäuden auch der Energieverbrauch (mess-technisch ermittelte Größe) angegeben werden. Besondere Regelungen zur Aufnahme der Daten von Bestandsgebäuden zur Erstellung von Energiebedarfsausweisen sowie die Vorgehensweise zu Aufnahme und Witterungsbereinigung von Verbrauchsdaten sind in gesonderten Richtlinien zum GEG aufgeführt.

Den Energieausweisen von Bestandsgebäuden (Energiebedarfsausweisen und Energieverbrauchsausweisen) sind Modernisierungsempfehlungen mit Angabe von wirtschaftlichen

Maßnahmen zur Verbesserung der energetischen Qualität des Gebäudes als Einzel- und Gesamtmaßnahmen beizufügen.

Die Energieausweise weisen eine Gültigkeitsdauer von zehn Jahren auf. Die entsprechenden Formulare werden in einer Bekanntmachung im Bundesanzeiger bereitgestellt (siehe auch Abbildung auf S. 37).

INFO

CO₂-Emissionen sind verpflichtend anzugeben (bislang freiwillig).

Der Energiebedarfsausweis ermöglicht sinnvolle Aussagen über die energetische Qualität eines Gebäudes und bei Bestandsgebäuden zusätzlich empfehlenswerte Modernisierungsmaßnahmen.

5.6 Umsetzung des GEG

Wie gemäß Energieeinsparverordnung sind im Gebäudeenergiegesetz hinsichtlich der Verantwortlichkeit für die Einhaltung der Vorschriften explizit auch die Personen einbezogen, die im Auftrage des Bauherrn bei entsprechenden Maßnahmen an dem Gebäude tätig werden. Speziell für die Fälle der Änderung von Außenbauteilen, der Dämmung oberster Geschossdecken sowie dem erstmaligen Einbau oder Ersatz von anlagentechnischen Komponenten wird eine sogenannte Unternehmerklärung gefordert. Hiermit erklärt der Unternehmer, dass er alle Arbeiten entsprechend den Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes ausgeführt hat. Eine Prüfung der Ausführung von Nachrüstungsverpflichtungen für anlagentechnische Komponenten (Heizkessel, Rohrleitungsdämmung) und die Anforderungen hinsichtlich der energetischen Qualität von regelungstechnischen Anlagen und neu eingebauter Umwälzpumpen erfolgt durch den Bezirksschornsteinfegermeister. Dieser weist den Gebäudeeigentümer auf ggf. vorliegende Unzulänglichkeiten hin.

5.7 Gebäudebestand

Bei bestehenden Gebäuden sieht das GEG vor:

- Anforderungen bei baulichen Veränderungen an bestehenden Gebäuden,
- anlagentechnische und bauliche Nachrüstungsverpflichtungen sowie
- Maßnahmen zur Aufrechterhaltung der energetischen Qualität.

Im Falle von Änderungen an bestehenden Gebäuden greifen die Anforderungen, wenn der erstmalige Einbau, der Ersatz oder die Erneuerung einzelner Bauteile einen Anteil von 10 % der gesamten jeweiligen Bauteilfläche des Gebäudes übersteigt. Es dürfen die in Tafel 9 aufgeführten maximalen Wärmedurchgangskoeffizienten nicht überschritten werden. Der Wärmedurchgangskoeffizient für das erneuerte Bauteil kann dabei unter Berücksichtigung vorhandener Bauteilschichten ermit-

telt werden. Die Anforderungen gelten auch als erfüllt, wenn für das gesamte Gebäude – unter Berücksichtigung der baulichen Änderungen – der Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes ($Q_{P,Referenzgebäude}$) sowie der spezifische Transmissionswärmeverlust nach Tafel 10 ($H_{T',Höchstwert}$) um nicht mehr als 40 % überschritten werden.

Nachrüstverpflichtungen bei bestehenden Gebäuden und Anlagen aus der EnEV 2016 wurden im GEG fortgeschrieben und lediglich hinsichtlich der ab dem Jahr 2026 eingeschränkten Möglichkeiten des Einbaus von Heizkesseln, die mit Heizöl oder mit festem fossilem Brennstoff beschickt werden, geändert. Eigentümer von Gebäuden müssen bei heizungstechnischen Anlagen ungedämmte, zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen sowie Armaturen, die sich nicht in beheizten Räumen befinden, zur Begrenzung der Wärmeabgabe dämmen. Die Anforderungen an die einzuhaltenden Dämmdicken sind in Tafel 9 zusammengefasst. Für Wohngebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen, die vom Eigentümer bewohnt werden, gelten in Abhängigkeit vom Datum des Eigentumsübergangs spezielle Anforderungen bzw. Übergangsfristen für die Nachrüstverpflichtungen.

Darüber hinaus werden Festlegungen zur Aufrechterhaltung der energetischen Qualität getroffen. Der bestehende Wärmeschutz der Bauteile darf nicht verringert werden, energiebedarfssenkende Einrichtungen sind betriebsbereit zu halten.

Tafel 9 Anforderungen an den Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenbauteile bei Änderungen im Gebäudebestand

Bauteil	Gebäude mit normalen Innentemperaturen	Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen
	U_{max} [W/(m ² ·K)]	
Außenwände	$U_{AW} \leq 0,24$	$U_{AW} \leq 0,35$
Fenster, Fenstertüren Verglasungen	$U_W \leq 1,3-1,4$ $U_G \leq 1,1$	$U_W \leq 1,9$ $U_G \leq 1,9$
Außentüren	$U_T \leq 1,8$	$U_T \leq 1,8$
Decken, Dächer	$U_D \leq 0,20-0,24$	$U_D \leq 0,35$
Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	U_{ij} bzw. $U_G \leq 0,30-0,50$	keine Anforderungen
Decken nach unten an Außenluft	$U_G \leq 0,24$	keine Anforderungen

Tafel 10 Höchstwerte des spezifischen, auf die Wärme übertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlusts gemäß GEG (§ 50)

Gebäudetyp	Höchstwert des spezifischen Transmissionswärmeverlusts	
Freistehendes Wohngebäude	mit $A_N \leq 350$ m ²	$H_{T'} = 0,40$ W/(m ² ·K)
	mit $A_N > 350$ m ²	$H_{T'} = 0,50$ W/(m ² ·K)
Einseitig angebautes Wohngebäude (z. B. Reihenhäuser)	$H_{T'} = 0,45$ W/(m ² ·K)	
Alle anderen Wohngebäude (z. B. Reihennmittelhaus)	$H_{T'} = 0,65$ W/(m ² ·K)	
Erweiterungen und Ausbauten von Wohngebäuden gemäß § 9 Abs. 5	$H_{T'} = 0,65$ W/(m ² ·K)	

INFOKASTEN: PASSIVE SOLARENERGIEGEWINNE

Infolge der auf Außenbauteile auftreffenden Sonneneinstrahlung können die Wärmeverluste vermindert oder Wärmegewinne erzielt werden. Bei Verglasungen wird zur Kennzeichnung üblicherweise der Gesamtenergiedurchlassgrad g benutzt, wie er im Bild definiert ist. Die Wärmestromdichte q durch die Verglasung ergibt sich dann zu

$$q = U_g \cdot (\theta_i - \theta_e) - g \cdot I$$

$$g = \tau + U_g \cdot \left(\frac{\alpha_a + \alpha_i}{h_e} + \alpha_i \cdot R \right)$$

mit

g	[-]	Wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad
θ_i, θ_e	[°C]	Lufttemperatur innen und außen
I	[W/m ²]	Strahlungsintensität
U_g	[W/(m ² ·K)]	Wärmedurchgangskoeffizient der Verglasung
τ	[-]	Transmissionsgrad
α_a, α_i	[-]	Absorptionsgrad der äußeren und der inneren Scheibe
h_e	[W/(m ² ·K)]	Wärmeübergangskoeffizient außen
R	[(m ² ·K)/W]	Wärmedurchlasswiderstand der Verglasung

Der g -Wert von Zweischeiben-Wärmedämmverglasung liegt bei ca. 0,6 und bei Dreischeiben-Wärmedämmverglasung bei ca. 0,55.

Bei opaken Bauteilen, wie üblichen Außenwänden und Dächern, kann nach gleichem Ansatz ein g -Wert definiert werden (vgl. Bild).

$$g = U \cdot \alpha_s / h_e$$

mit

α_s	[-]	Absorptionsgrad für Sonneneinstrahlung
h_e	[W/(m ² ·K)]	Wärmeübergangskoeffizient außen

Die bei opaken gegenüber transparenten Bauteilen wesentlich geringere Nutzungsmöglichkeit von Sonneneinstrahlung kann anhand obiger Gleichungen leicht ermittelt werden.

Die Wärmeströme Φ_s , die durch Fenster und opake Außenbauteile in das Gebäude gelangen, werden gemäß DIN V 4108-6 bestimmt. Bei opaken Außenbauteilen wird die langwellige Abstrahlung mit berücksichtigt.

Transparente Bauteile:

$$\Phi_s = \sum \left(I_i \cdot F_{s,i} \cdot F_{C,i} \cdot F_{F,i} \cdot g_i \cdot A_i \right)$$

Opake Bauteile:

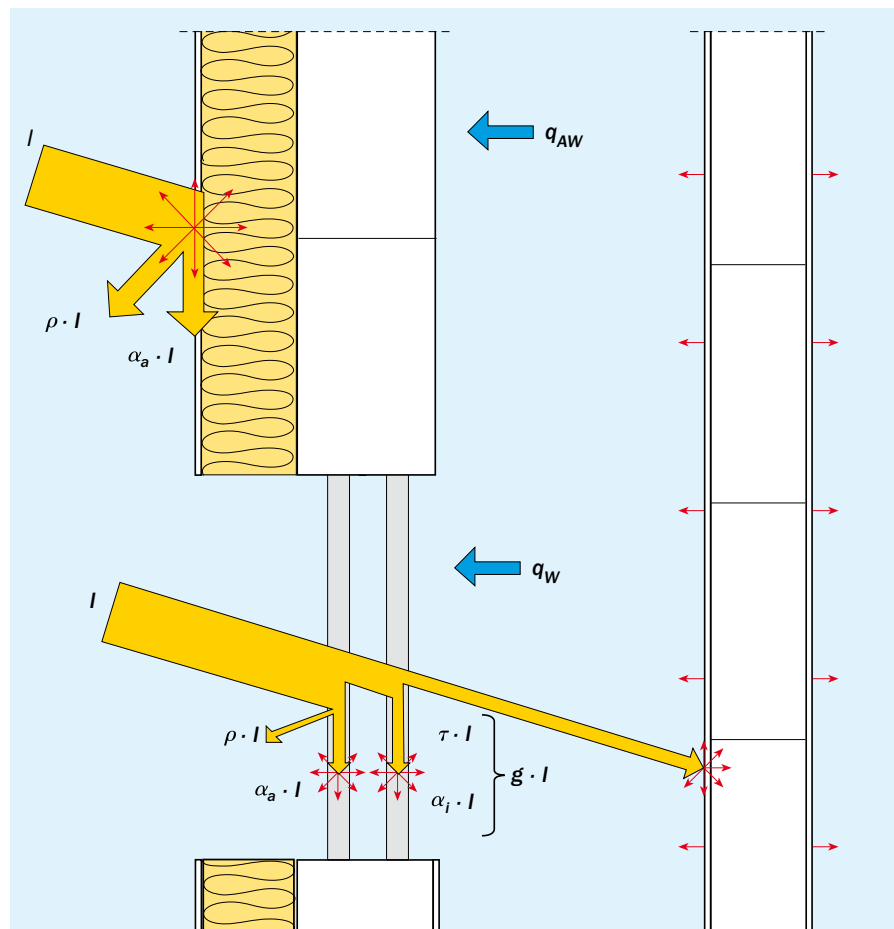
$$\Phi_s = \sum \left[A_i \cdot U_i \cdot R_e \cdot (\alpha_{s,i} \cdot I_i - F_{f,i} \cdot h_{r,i} \cdot \Delta\theta_{er}) \right]$$

mit

I	[W/m ²]	Strahlungsintensität
F_s, F_c	[-]	Minderungsfaktor infolge Verschattung und Sonnenschutz

F_f	[-]	Minderungsfaktor infolge Rahmenanteil
g	[-]	Wirksamer Gesamtenergiedurchlassgrad
A	[m ²]	Fläche des Bauteils
U	[W/(m ² ·K)]	Wärmedurchgangskoeffizient
R_e	[(m ² ·K)/W]	Wärmeübergangswiderstand außen
α_s	[-]	Absorptionsgrad des opaken Bauteils
F_f	[-]	Formfaktor
h_r	[W/(m ² ·K)]	Äußerer Abstrahlungskoeffizient
$\Delta\theta_{er}$	[K]	Temperaturdifferenz Außenluft/Himmel

Sonneneinstrahlung bei Verglasungen und Definition des Gesamtenergiedurchlassgrades sowie Sonneneinstrahlung bei opaken Bauteilen



6. Berechnung des Jahres-Heizwärmebedarfs für Wohngebäude gemäß DIN V 4108-6

6.1 Monatsbilanz

Neben dem sogenannten Heizperiodenverfahren bietet DIN V 4108-6 [4] das genauere Monatsbilanzverfahren an. Im Rahmen des rechnerischen Nachweises gemäß GEG ist ausschließlich das Monatsbilanzverfahren zu verwenden, das nachfolgend in den Grundzügen erläutert wird.

Für jeden Monat wird die Verlust-Gewinn-Bilanz durchgeführt. Anschließend erfolgt die Addition aller positiven monatlichen Bilanzwerte für das gesamte Jahr.

$$Q_{h,M} = Q_{l,M} - \eta_M \cdot Q_{g,M}$$

mit

$Q_{l,M}$ Monatlicher Verlust

$Q_{g,M}$ Monatlicher Gewinn

η_M Monatlicher Ausnutzungsgrad (siehe 6.3.1)

Infolge der Wärmetransmission (Wärmedurchgang durch die Bauteile) und der Gebäudelüftung (Ventilation) entstehen die monatlichen Verluste. Die Anteile werden entsprechend als Transmissionswärmeverluste H_T und Lüftungswärmeverluste H_V gekennzeichnet. Der monatliche Verlust wird wie folgt bestimmt:

$$Q_{l,M} = 0,024 \cdot (H_T + H_V) \cdot (\theta_e - \theta_i) \cdot t_M$$

mit

H_T Spezifischer Transmissionswärmeverlust [W/K]

H_V Spezifischer Lüftungswärmeverlust [W/K]

θ_e Mittlere monatliche Außentemperatur [°C]

θ_i Soll-Innentemperatur in der beheizten Zone [°C] (Mittlere Gebäudeinnentemperatur)

t_M Anzahl der Tage im jeweiligen Monat [d]

0,024 Umrechnung: 0,024 kWh = 1 Wd.

Die monatlichen Wärmegewinne setzen sich zusammen aus den monatlichen Strahlungsgewinnen $\Phi_{s,M}$ und den monatlichen internen Wärmegewinnen $\Phi_{i,M}$.

$$Q_{g,M} = 0,024 \cdot (\Phi_{s,M} + \Phi_{i,M})$$

mit

$\Phi_{s,M}$ Mittlerer monatlicher Solarstrahlungsgewinn [W]

$\Phi_{i,M}$ Wärmegewinn aus internen Wärmequellen [W]

6.2 Wärmeverluste

Für die Bestimmung des Jahres-Heizwärmebedarfs im Rahmen des Nachweisverfahrens des Gebäudeenergiegesetzes sind die Aspekte Wärmebrücken und Luftdichtheit besonders hervorzuheben. Über „Bonusanreize“, die eine gute Detailplanung – und natürlich auch eine gute Detailausführung – belohnen, wird eine verbesserte Qualität der Baukonstruktion und der Gebäude erreicht. Die genannten Aspekte fließen ein in die Bestimmung der Transmissions- und Lüftungswärmeverluste.

6.2.1 Transmissionswärmeverluste

Die rechnerische Bestimmung der Transmissionswärmeverluste erfolgt unter Berücksichtigung der einzelnen Bauteilflächen, der

entsprechenden Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte) und der Temperatur-Korrekturfaktoren, die in Abhängigkeit von Art und Lage des Bauteils angesetzt werden. Die Wärmeverluste im Bereich von Wärmebrücken werden über den Wärmebrückenkorrekturwert ΔU_{WB} erfasst. Dieser Wärmebrückenkorrekturwert wird mit der gesamten Wärme übertragenden Umfassungsfläche A_{ges} multipliziert und zu den Wärmeverlusten über die einzelnen Bauteile der Gebäudehülle addiert.

$$H_T = \sum (F_i \cdot U_i \cdot A_i) + \Delta U_{WB} \cdot A_{ges}$$

bzw.

$$H_T = U_{AW} \cdot A_{AW} + U_W \cdot A_W + F_D \cdot U_D \cdot A_D + F_G \cdot U_G \cdot A_G + U_{DL} \cdot A_{DL} + F_{AB} \cdot U_{AB} \cdot A_{AB} + \Delta U_{WB} \cdot A_{ges}$$

mit

U Wärmedurchgangskoeffizient

A Bauteilfläche

F_D, F_G, F_{AB} Temperatur-Korrekturfaktoren

Indices:

AW Außenwand

W Fenster

D Dach

G Gegen Erdreich

DL Decken nach unten gegen Außenluft

AB Gegen unbeheizte Räume

WB Wärmebrücke

ges Gesamte Wärme übertragende Hüllfläche

Als ΔU_{WB} wird 0,10 W/(m²·K) vorgesehen, es sei denn, die baulichen Details entsprechen den in DIN 4108, Beiblatt 2 [18] dargestellten Musterlösungen (z.B. Bild 12).

Ist eine Gleichwertigkeit der in Planung und Ausführung vorgesehenen Anschlüsse mit den im Beiblatt aufgenommenen Anschlusslösungen der Kategorie A durch die dargestellten konstruktiven Grundprinzipien unter Berücksichtigung der Bauteilabmessungen und Dämmschichtstärken gegeben, darf ΔU_{WB} zu 0,05 W/(m²·K) angesetzt werden. Wird die Gleichwertigkeit zu Kategorie B nachgewiesen, darf ΔU_{WB} mit 0,03 W/(m²·K) berücksichtigt werden. Sind die konstruktiven Grundprinzipien nicht vergleichbar, besteht die Möglichkeit, den längenbezo-

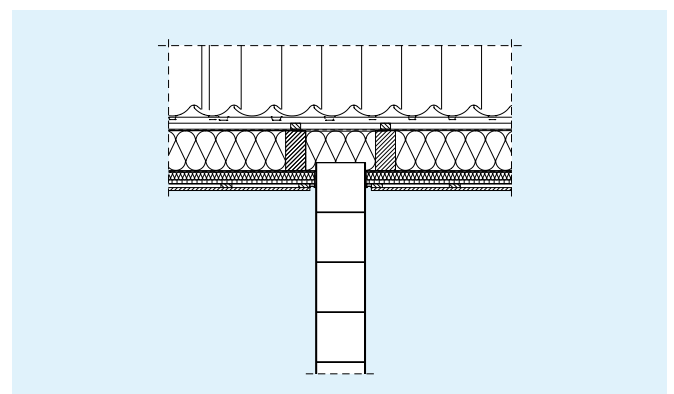


Bild 12 Beispiel einer Ausführung des Dach-Innenwand-Anschlusses in Anlehnung an DIN 4108, Beiblatt 2

genen Wärmedurchgangskoeffizienten (Wärmebrückenverlustkoeffizient) eines Anschlusses zu berechnen bzw. Herstellerangaben oder Wärmebrückenkatalogen zu entnehmen. Dieser Wert muss den jeweiligen im Beiblatt aufgeführten Referenzwert unterschreiten. Beim Gleichwertigkeitsnachweis sind nur die in DIN 4108 Beiblatt 2 aufgenommenen Wärmebrücken zu berücksichtigen [4].

Weiterhin besteht die Möglichkeit des detaillierten Nachweises über einzelne längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten (Ψ -Werte), die aus Wärmebrückenkatalogen wie z.B. [19] bis [23] entnommen werden können. Hierbei sind mindestens folgende Wärmebrücken zu berücksichtigen:

- Gebäudekanten,
- Sockelanschlüsse,
- Fenster- und Fenstertüranschlüsse,
- Fassadenanschlüsse,
- Dachanschlüsse,
- Wand- und Deckeneinbindungen,
- Deckenaufleger,
- Balkonplatten, sonstige auskragende Bauteile.

Der ΔU_{WB} -Wert ergibt sich zu

$$\Delta U_{WB} = \frac{\sum_i (\Psi_i \cdot l_i)}{A_{ges}}$$

mit

Ψ_i Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient (bei der Berechnung des Wärmebrückenzuschlags ist zu beachten, dass je nach Quelle der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ggf. bereits der Temperaturkorrekturfaktor F_i im Ψ -Wert berücksichtigt ist)

l_i Einflusslänge

A_{ges} Wärme übertragende Hüllfläche

INFO

Mit dem detaillierten Nachweis wärmetechnisch besserer Details lassen sich ΔU_{WB} -Werte von 0,02 W/(m·K) und kleiner erzielen, die zu erheblichen Verbesserungen in der Energiebilanz beitragen können.

Fassaden, bei denen die wesentlichen Wärmebrückenwirkungen bereits im U-Wert erfasst sind (z.B. Vorhangfassaden), müssen bei der Ermittlung des ΔU_{WB} -Wertes nicht mehr berücksichtigt werden.

Die zuvor genannte Gleichung zur Berechnung des Transmissionswärmeverlustes H_T wird auch für den Nachweis der Einhaltung des baulichen Wärmeschutzes gemäß GEG herangezogen.

Der spezifische, auf die Wärme übertragende Umfassungsfläche (A_{ges}) bezogene Transmissionswärmeverlust ist wie folgt zu ermitteln:

$$H_T' = \frac{H_T}{A_{ges}}$$

6.2.2 Lüftungswärmeverluste

Im Falle natürlich belüfteter Gebäude und nicht durchgeführter Luftdichtheitsprüfung wird ein Luftwechsel von 0,7⁻¹ angesetzt. Falls bei natürlich belüfteten Gebäuden mittels messtechnischer Überprüfung die Einhaltung des Grenzwerts der Luftdichtheit gemäß DIN V 4108-7 ($n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$) nachgewiesen wird, kann ein Luftwechsel von 0,6 h⁻¹ bei Fensterlüftung und Zu-/Abluftanlagen mit Wärmerückgewinnung bzw. 0,55 h⁻¹ bei Abluftanlagen in Ansatz gebracht werden. Der Lüftungswärmeverlust berechnet sich zu:

$$H_V = 0,34 \cdot n \cdot V$$

Bei Verwendung einer mechanischen Lüftungsanlage und Inanspruchnahme des entsprechenden Bonus ist die messtechnische Überprüfung des Grenzwerts von $n_{50} = 1,5 \text{ h}^{-1}$ erforderlich.

Anders als in der EnEV 2016 erfolgt die Prüfung der Gebäude-dichtheit mit Einführung des Gebäudeenergiegesetzes nach dem Nationalen Anhang der DIN EN ISO 9972: 2018-12 [24]. In diesem Verfahren wird die Qualität der Gebäudehülle ohne die eingebauten haustechnischen Anlagen bewertet. Dabei ist es vorgesehen, alle Fenster und Fenstertüren zu schließen und Zu- bzw. Abluftdurchlässe von raumlufttechnischen Anlagen (dazu gehört nicht die direkt ins Freie fördernde Dunstabzugshaube), Außenwandluftdurchlässe (ALD-Lüftungseinrichtungen) temporär abzudichten. Die nicht der Lüftung dienenden Öffnungen (z.B. Briefkastenschlitze und Katzenklappen) bleiben unverändert und dürfen für die vorgesehene Prüfung nicht abgedichtet werden. Der Nachweis der Dichtheit des Gebäudes ist im Zusammenhang mit seiner Fertigstellung (nach Beendigung aller die Luftdichtheitsebene tangierenden Arbeiten) zu führen.

Bei Nichteinhalten der bei Bauantragstellung zugrunde gelegten Luftdichtheit ist nachzubessern, ähnlich wie dies z.B. auch bei brandschutztechnischen Belangen der Fall ist.

6.3 Wärmespeicherfähigkeit

Die Wärmespeicherfähigkeit eines Gebäudes fließt ein in die Bestimmung des Ausnutzungsgrades solarer und interner Wärmegewinne sowie in die Ermittlung der Energieeinsparung durch unterbrochenen Heizbetrieb (Nachtabstaltung).

INFO

Die hohe Wärmespeicherfähigkeit von Kalksandstein wirkt sich auf den winterlichen und den sommerlichen Wärmeschutz positiv aus. In Kombination mit einer guten energetischen Qualität der Gebäudehülle ist aufgrund der hohen thermischen Trägheit solcher Gebäude der Ansatz einer reduzierten Heizlast für die Dimensionierung der Heizungsanlage möglich.

INFOKASTEN: WÄRMESPEICHERFÄHIGKEIT – PRINZIPIELLE EFFEKTE

Hinsichtlich der Wirkung der Wärmespeicherfähigkeit auf den Heizwärmebedarf ist bekanntermaßen prinzipiell zwischen zwei gegenläufigen Phänomenen zu unterscheiden: Bei instationärem Heizbetrieb, wie z. B. einer Nacht- und Wochenendabsenkung bzw. -abschaltung, kühlt ein Gebäude mit geringerer Wärmespeicherfähigkeit rascher aus als ein Gebäude mit hoher Wärmespeicherfähigkeit. Die Raumtemperaturen werden dadurch im Mittel gegenüber einem Gebäude mit hoher Wärmespeicherfähigkeit abgesenkt und es stellen sich niedrigere Transmissions- und Lüftungswärmeverluste ein. Demgegenüber führen Sonneneinstrahlung oder interne Wärmequellen zu Energiegewinnen, welche die Heizlast erheblich mindern und auch komplett kompensieren können. Bei Gebäuden mit geringer Wärmespeicherfähigkeit treten dadurch höhere Temperaturüberschreitungen (Überheizungen) auf als bei Gebäuden mit einer hohen Wärmespeicherfähigkeit. Hieraus resultieren im Tagesmittel und über die Heizperiode gerechnet höhere mittlere Raumtemperaturen, die bei Gebäuden mit geringerer Wärmespeicherfähigkeit zu größeren Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten führen, d. h., die Energiegewinne können weniger gut genutzt werden als bei schwerer Bauart [26 bis 31].

Für ein frei stehendes Einfamilienhaus wurde bereits in [29] auf der Basis dynamischer Simulationsrechnung der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf den Heizwärmebedarf anhand von fünf typischen Bauarten für drei unterschiedliche Wärmeschutzniveaus untersucht. Eine vergleichbare, auf künftig zu erwartende Wärmeschutzniveaus aktualisierte Untersuchung [31] für eine leichte (Holz-) und eine schwere (Kalksandstein-) Ausführung führt zu den untenstehenden Ergebnissen. Auf die Untersuchung weiterer Varianten der Bauteilmassen wurde hier verzichtet, die Untersuchung dafür um eine weitere Gebäudegeometrie (Mehrfamilienhaus) ergänzt. Das Wärmeschutzniveau „EnEV 2016“ entspricht dabei dem Referenzgebäude des Gebäudeenergiegesetzes 2020, das Anforderungsniveau „EH 55“ bzw. „EH 40“ einer bauteil- und anlagentechnischen Ausführung gemäß

den KfW-Förderkriterien für ein „Effizienzhaus 55“ bzw. „Effizienzhaus 40“.

Die obere Tafel enthält die für die Simulationen maßgeblichen Berechnungsrandbedingungen für die drei genannten Wärmeschutzniveaus. Die wesentlichen Ergebnisse sind in der unteren Tafel zusammengefasst, wobei noch hinsichtlich der Nutzungsrandbedingungen jeweils der Fall mit bzw. ohne Nachtabsenkung gemäß DIN 4108-6 unterschieden wird. Tendenziell werden die in [29] aufge-

fürten Ergebnisse auch für die hier angesetzten Berechnungsrandbedingungen bestätigt. Die Ausführung mit der höheren Wärmespeicherfähigkeit – also die Ausführung mit Kalksandsteinkonstruktionen – führt in allen Fällen zu einem geringeren Jahres-Heizwärmebedarf. Insbesondere gilt dies für die Varianten ohne Nachtabsenkung, während sich die Ergebnisse aus den oben genannten Gründen bei den Fällen mit Nachtabsenkung angleichen.

Berechnungsrandbedingungen für die drei untersuchten Wärmeschutzniveaus

Gebäude	Niveau	Wärmedurchgangskoeffizienten [W/(m ² ·K)]				g [-]	ΔU_{WB} [W(m ² ·K)]	Lüftung
		U_{AW}	U_D	U_G	U_W			
Einfamilienhaus	EnEV 2016	0,28	0,20	0,35	1,30	0,60	0,05	Abluft; $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$
	EH 55	0,16	0,16	0,35	0,90	0,55	0,02	Abluft; $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$
	EH 40	0,12	0,12	0,15	0,90	0,55	0,02	Zu- und Abluft mit WRG; $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$
Mehrfamilienhaus	EnEV 2016	0,28	0,20	0,35	1,30	0,60	0,05	Abluft; $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$
	EH 55	0,20	0,16	0,30	0,90	0,55	0,02	Abluft; $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$
	EH 40	0,12	0,10	0,15	0,90	0,55	0,02	Zu- und Abluft mit WRG; $n = 0,4 \text{ h}^{-1}$

Jahres-Heizwärmebedarf in Abhängigkeit von der Wärmespeicherfähigkeit der Baukonstruktion, dem Wärmeschutzniveau und der Nutzung

Jahresheizwärmebedarf [kWh/(m ² ·a)]		Einfamilienhaus		Mehrfamilienhaus	
		Kalksandstein	Holz	Kalksandstein	Holz
mit Nachtabsenkung	EnEV 2016	47,48	47,54	36,96	37,97
	EH 55	32,93	33,83	26,58	27,20
	EH 40	30,54	31,18	25,66	26,41
ohne Nachtabsenkung	EnEV 2016	52,38	53,13	40,09	41,88
	EH 55	35,50	37,14	28,14	29,47
	EH 40	31,32	32,42	25,80	27,12

6.3.1 Ausnutzungsgrad

Die Quantifizierung der nutzbaren solaren und internen Wärmegewinne erfolgt dabei über einen Ausnutzungsgrad η_M , der vom Wärmegewinn/Wärmeverlust-Verhältnis abhängig ist. Dabei ist die wirksame Wärmespeicherfähigkeit im Berechnungsverfahren der DIN V 4108-6 anzusetzen für:

- leichte Gebäude mit $C_{\text{wirk}} = 15 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \cdot V_e$

und für

- schwere Gebäude mit $C_{\text{wirk}} = 50 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \cdot V_e$

V_e beinhaltet dabei das Bruttovolumen des Gebäudes.

Eine genauere Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit kann gemäß DIN V 4108-6 erfolgen:

$$C_{\text{wirk}} = \sum_i (c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i)$$

mit

- c Spezifische Wärmekapazität [$\text{Wh}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
- ρ Rohdichte [kg/m^3]
- d Wirksame Schichtdicke [m]
- A Bauteilfläche [m^2]

Die Aufsummierung erfolgt über alle Bauteilflächen des Gebäudes, die mit der Raumluft in Berührung kommen, wobei nur die wirksamen Schichtdicken d_i berücksichtigt werden. Zur Bestimmung der wirksamen Schichtdicken gelten folgende Regelungen:

- Bei Schichten mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_i \geq 0,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,
 - die einseitig an Raumluft grenzen, gilt: Aufsummierung aller Schichten bis zu einer maximalen Gesamtdicke von $d_{i,\text{max}} = 0,10 \text{ m}$;
 - die beidseitig an die Raumluft grenzen (Innenbauteile), gilt: halbe Bauteildicke bei einer Schicht, wenn die Dicke $\leq 20 \text{ cm}$ ist, oder höchstens 10 cm , wenn die Dicke $> 20 \text{ cm}$ ist. Bei mehreren Schichten gilt: Vorgehensweise wie zuvor beschrieben, allerdings beidseitig angewendet.
- bei raumseitig vor Wärmedämmschichten (z. B. Estrich auf einer Wärmedämmschicht) liegenden Schichten mit einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_i \geq 0,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ dürfen nur die Dicken der Schichten bis maximal 10 cm in Ansatz gebracht werden. Als Wärmedämmschicht gelten Baustoffe mit Wärmeleitfähigkeiten $\lambda_i < 0,1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ und einem Wärmedurchlasswiderstand $R_i > 0,25 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$.

Bei Außenbauteilen wird die Fläche A_i über Außenmaße (Bruttofläche) und bei Innenbauteilen über die Innenmaße (Nettofläche) bestimmt.

Die so ermittelte Wärmespeicherfähigkeit kann auch für die zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2

erforderliche Einstufung – leichte, mittlere oder schwere Bauart – herangezogen werden.

Für eine detailliertere Betrachtung sind Hinweise in DIN EN ISO 13786 [25] enthalten.

6.3.2 Nachtabschaltung

Die Energieeinsparung durch Nachtabschaltung wird über ein detailliertes Berechnungsverfahren ermittelt, wobei die wirksame Wärmespeicherfähigkeit für

- leichte Gebäude mit $C_{\text{wirk,NA}} = 12 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \cdot V_e$ und für

- schwere Gebäude mit $C_{\text{wirk,NA}} = 18 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \cdot V_e$

anzusetzen ist, falls nicht eine detaillierte Ermittlung erfolgt. Bei der Bestimmung der Wärmespeicherfähigkeit gemäß dem oben dargestellten Ansatz der DIN V 4108-6 ist zu beachten, dass hier nur mit einer wirksamen Dicke der an die Raumluft angrenzenden Schichten von höchstens 3 cm gerechnet wird.

Die Heizunterbrechungsdauer ist bei Wohngebäuden mit sieben Stunden anzusetzen.

6.4 Nicht beheizte Treppenhäuser

Nicht beheizte Treppenhäuser oder angrenzende Gebäudeteile mit wesentlich niedrigeren Raumtemperaturen (Bild 13) können alternativ auf zwei Arten behandelt werden. Dabei ist es unerheblich, ob derartige Räume in das Gebäude integriert oder an das Gebäude angelehnt werden.

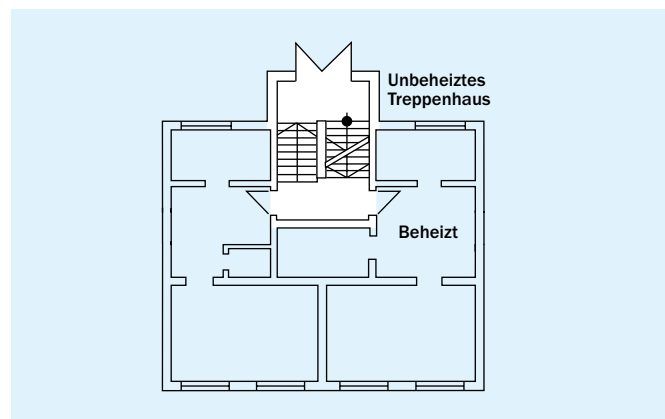


Bild 13 Behandlung unbeheizter Treppenhäuser

Fall 1 (Bild 14)

Das unbeheizte Treppenhaus wird in das beheizte Gebäude mit einbezogen. Die an die Außenluft grenzenden Bauteile des Treppenhauses gehören zur Wärme übertragenden Umfassungsfläche des Gebäudes. Das Volumen V_e wird unter Einbeziehung des Treppenhauses ermittelt.

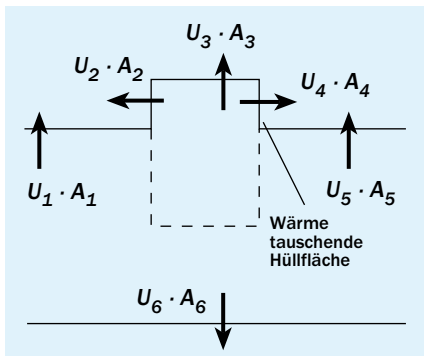


Bild 14 Berechnung nach GEG „einschließend“ – Fall 1

Fall 2 (Bild 15, alternativ zu Fall 1)

Das unbeheizte Treppenhaus wird aus dem beheizten Gebäude ausgegrenzt. Die Bauteile zwischen beheiztem Gebäude und Treppenhaus gehören zur Wärme übertragenden Umfassungsfläche des Gebäudes. Der Wärmedurchgangskoeffizient dieser Bauteile darf mit dem Faktor 0,5 gewichtet werden. Das Volumen V_e wird unter Ausschluss des Treppenhauses ermittelt.

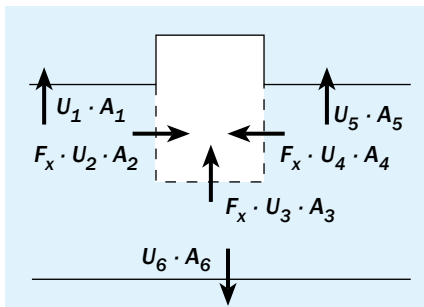


Bild 15 Berechnung nach GEG „ausgrenzend“ – Fall 2

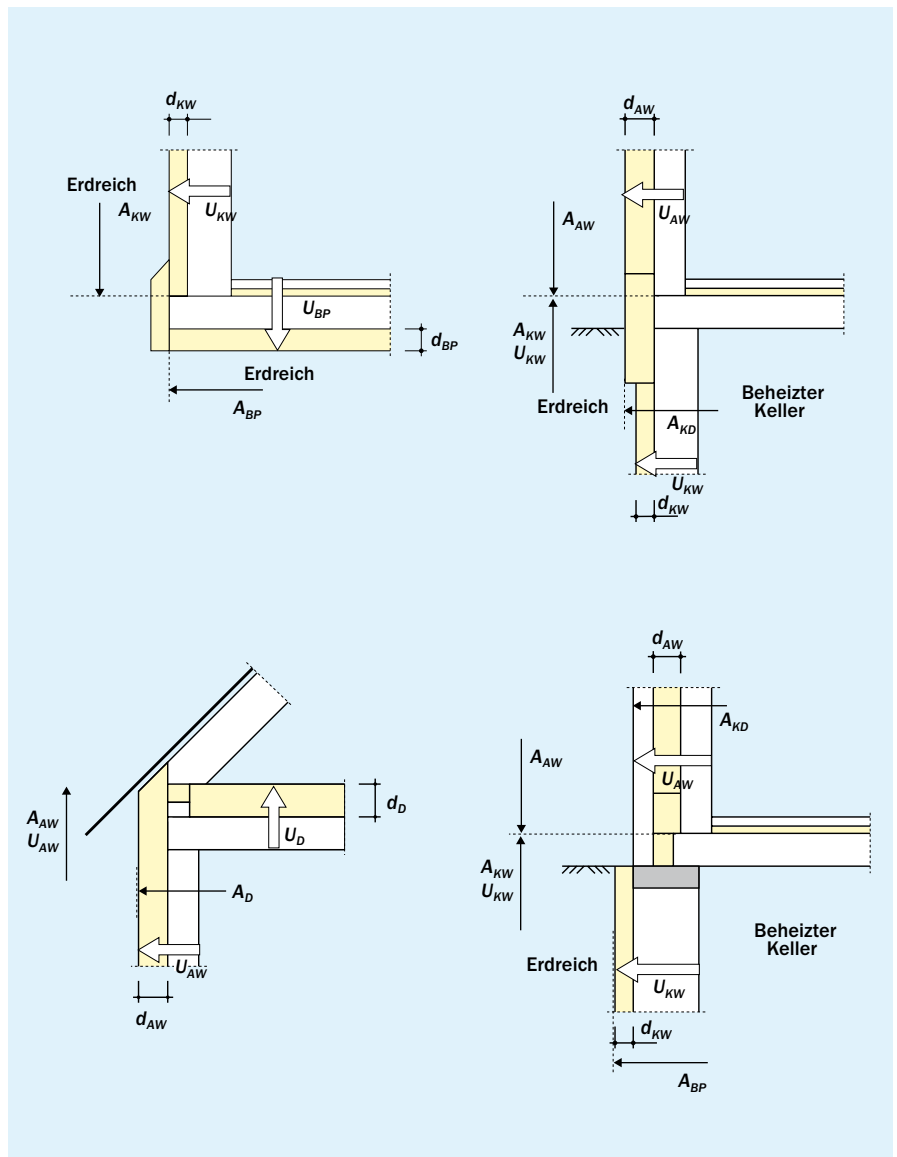


Bild 16 Flächenbezüge nach DIN V 18599-1

INFO

Für den GEG-Nachweis empfiehlt es sich, die Wärme übertragende Umfassungsfläche gemäß Fall 1 zu wählen. Die Behandlung nach Fall 2 hätte zur Folge, dass – zumindest im Referenzgebäude – die Wände zum Treppenhaus mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ anzusetzen wären.

6.5 Maßbezüge

Bezüglich der Ermittlung der Wärme übertragenden Umfassungsfläche eines Gebäudes verweist das Gebäudeenergiegesetz auf DIN V 18599-1 und führt aus, dass alle beheizten und gekühlten Räume in das umschlossene Volumen (Ein-Zonen-Modell) einzubeziehen sind.

DIN V 18599-1 definiert – für Ein-Zonen-Berechnungen, also Wohngebäude – als Bezugsmaße zur Bestimmung der Wärme übertragenden Umfassungsfläche sowie des Bruttovolumens (externen Volumens) folgende Maße in horizontaler Richtung:

- bei Außenbauteilen die Außenmaße nach DIN EN ISO 13789, einschließlich eventuell vorhandener außen liegender Wärmedämmung und, sofern vorhanden, einschließlich Putz.
- bei Innenbauteilen zwischen einer temperierten und einer nicht temperierten Zone das Außenmaß der temperierten Zone, z.B. das trennende Bauteil zwischen einem beheizten und einem nicht beheizten Kellerraum.

Für horizontale Abmessungen wird somit der Maßbezug bis zur Außenseite der wärmetechnisch wirksamen Schichten klar festgelegt. Die äußere Systemgrenze bildet die Außenkante

der Bauteilschicht, die in der U-Wert-Berechnung nach DIN EN ISO 6946 [32] zu berücksichtigen ist.

Im Fall der Abmessungen in vertikaler Richtung wird in DIN V 18599 folgendes ausgeführt:

Bezugsmaß ist die Oberkante der Rohdecke in allen Ebenen eines Gebäudes (unterer Gebäudeabschluss, alle Geschosse), unabhängig von der Lage der eventuell vorhandenen Dämmschicht (Bild 16).

Die Ausnahme bildet der obere Gebäudeabschluss: Hier wird die Oberkante der obersten wärmetechnisch wirksamen Schicht als Außenmaß verwendet (Bild 16).

Im Zweifelsfall ist immer zu prüfen, welcher Maßbezug für die Berechnung der Wärmebrücken herangezogen wurde. Bei Verwendung gleicher Maßbezüge von Bauteilen und Wärmebrücken erfolgt eine bauphysikalisch richtige Berechnung.

Für die Bestimmung der Fensterfläche ist im Rahmen des GEG-Nachweises das lichte Rohbaumaß zu verwenden. Auf Grundlage von DIN EN ISO 10077-1 [33] wird als Fenster-

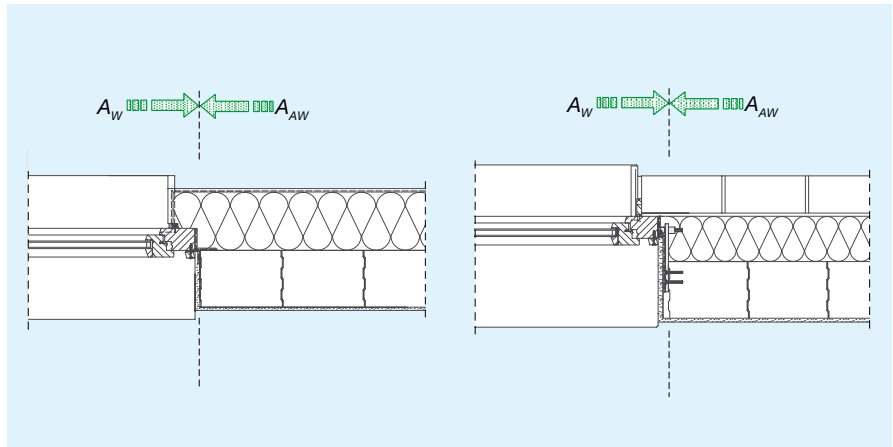


Bild 17 Ermittlung des lichten Rohbaumaßes bei Fensteröffnungen (stumpfer Anschlag, zweischaliges Mauerwerk, mit Innenanschlag); A_w = Fensterfläche, A_{AW} = Fläche Außenwand

fläche das Maß bis zum Anschlag des Blendrahmens festgelegt. Als lichte Rohbaumaß gilt deshalb das Maueröffnungsmaß, bei dem das Fenster angeschlagen wird (Bild 17). Dabei sind Putz oder ggf. vorhandene Verkleidungen (z.B. Gipskartonplatten beim Holzbau) nicht zu berücksichtigen. Von der so ermittelten Fenstergröße kann unter Berücksichtigung der Einbaufuge auch auf das zu bestellende Fenster geschlossen werden.

7. Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs für Wohngebäude gemäß DIN V 4701-10

Die Ausgangsbasis zur Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs stellt der Jahres-Heizwärmebedarf dar, der gemäß den Rechenvorschriften der DIN V 4108-6 ermittelt wird. Für den Warmwasserwärmebedarf ist bei Wohngebäuden pauschal ein flächenbezogener Wert von $q_w = 12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ zu berücksichtigen.

Die Rechenvorschriften im Rahmen von DIN V 4701-10 [6] sehen vor, dass Verluste der Anlagentechnik und Wärmegewinne aus der Umwelt zusammengefasst werden und die Beschreibung der energetischen Effizienz des Gesamtanlagensystems über Aufwandszahlen erfolgt. Die Aufwandszahl stellt das Verhältnis von Aufwand zu Nutzen dar und ist somit der Kehrwert des Nutzungsgrades, der früher in der Anlagentechnik hauptsächlich Verwendung fand.

Unter Berücksichtigung von Primärenergiefaktoren gemäß der Tafel im Infokasten „Anlagentechnische Einflussgrößen“ wird je nach Anlagentechnik und eingesetztem Energieträger eine Anlagen-Aufwandszahl gebildet. Multipliziert mit der Summe aus Heizwärme- und Warmwasserwärmebedarf resultiert die Zielgröße, der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p

$$Q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p$$

mit

- Q_h Jahres-Heizwärmebedarf
- Q_w Jahres-Warmwasserwärmebedarf
- e_p Anlagen-Aufwandszahl

Eine einfache Möglichkeit zur Ermittlung der Anlagen-Aufwandszahl bietet das sogenannte Diagrammverfahren gemäß DIN V 4701-10. Für ein spezifiziertes Anlagensystem (Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasserbereitung) wird die Anlagen-Aufwandszahl in Abhängigkeit von der Gebäudenutzfläche und dem Jahres-Heizwärmebedarf in einem Diagramm und dazugehörigen Tabellenwerten dargestellt. Ein Beispiel hierzu ist in Kapitel 8 dargestellt. Eine umfangreiche Zusammenstellung von Musteranlagen mit dazugehörigen Diagrammen findet sich in DIN V 4701-10, Beiblatt 1 [5]. Neben der Anlagen-Aufwandszahl wird in diesem Verfahren auch der Endenergiebedarf in Abhängigkeit von den genannten Größen in Diagrammen aufgetragen.

Hinweis: Nach DIN V 4108-6 und GEG wird der Jahres-Wärmebedarf bzw. Energiebedarf allgemein mit dem Formelzeichen Q [kWh/a] abgekürzt. Q' [kWh/($\text{m}^3 \cdot \text{a}$)] kennzeichnet den volumenbezogenen, Q'' [kWh/($\text{m}^2 \cdot \text{a}$)] den flächenbezogenen Jahres-Wärmebedarf bzw. Energiebedarf. In DIN V 4701-10 wird

der flächenbezogene Jahres-Wärmebedarf bzw. Energiebedarf mit q [kWh/(m²·a)] bezeichnet.

Die rechnerische Bestimmung der Anlagen-Aufwandszahl und des Endenergiebedarfs kann über das sogenannte Tabellenverfahren erfolgen. Anhand der Kenndaten von Standardprodukten, die in einem Anhang der DIN V 4701-10 aufgenommen sind, erfolgt die Berechnung nach einem einfachen Schema und führt zu Ergebnissen, die einem unteren energetischen Niveau entsprechen.

Als dritte Möglichkeit kann das ausführliche Rechenverfahren der Norm herangezogen werden. Die Anwendung dieses Verfahrens bietet sich insbesondere dann an, wenn z.B. Herstellerdaten des Wärmeerzeugers oder detaillierte Kenntnisse über

Rohrleitungsführung und -länge zur Verfügung stehen. Die Berechnungen, die gegenüber den zuvor beschriebenen vereinfachten Ansätzen mit wesentlich höherem Aufwand verbunden sind, führen in der Regel zu günstigeren Anlagen-Aufwandszahlen. Es besteht auch die Möglichkeit, die Rechenverfahren zu „mischen“, d.h. es kann z.B. die Erzeugeraufwandszahl nach dem ausführlichen Rechenverfahren bestimmt und dieser Wert im Tabellenverfahren eingesetzt werden.

Kommen bei einem Gebäude Einrichtungen zur Kühlung der Raumluft zum Einsatz, sind diese gemäß den Ausführungen in Abschnitt 5.4 bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs durch Anwendung des Nachweisverfahrens nach DIN V 18599 zu berücksichtigen.

8. Beispielrechnungen Wohngebäude

8.1 Nachweis zum GEG (Beispielgebäude)

Das KS-Nachweisprogramm für Wohngebäude auf der Grundlage von Microsoft Excel® liefert eine Berechnungshilfe für den Nachweis nach dem Verfahren gemäß DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 in Verbindung mit dem Gebäudeenergiegesetz. So bleiben dem Nutzer aufwendige Rechenoperationen erspart, er braucht nur die spezifischen Gebäudedaten (Flächen, U-Werte) in die markierten Felder einzugeben und verschiedene begleitende Optionen auszuwählen.

Wärmeverluste und -gewinne sowie der Primärenergiebedarf werden automatisch nach dem Monatsbilanzverfahren ermittelt und den zulässigen Werten gegenübergestellt. Die Anlagentechnik kann über das Diagrammverfahren oder das Tabellenverfahren berücksichtigt werden. Das Programm wendet sich an Architekten, Ingenieure und Fachplaner für Wärmeschutz, die Nachweise entsprechend GEG erstellen. Es bietet zusätzlich die Möglichkeit, auf schnelle und einfache Weise Variantenvergleiche durchzuführen und eignet sich daher auch sehr gut für die Vorplanung von Gebäuden zur Erarbeitung eines Energiekonzepts.

INFO

Das überarbeitete KS-Nachweisprogramm für Wohngebäude zum Gebäudeenergiegesetz steht zum kostenlosen Download auf www.kalksandstein.de zur Verfügung. Für die U-Wert-Berechnung und die Gebäudegeometrie (Gebäudevolumen und Bauteilflächen) können die neu entwickelten Berechnungsformulare genutzt werden.

Umfang und Inhalt des Programms werden nachfolgend anhand eines Beispiels dargestellt. Dieses Beispiel ist auch in dem genannten Programm hinterlegt.

Bei dem betrachteten Gebäude handelt es sich um ein frei stehendes, unterkellertes Einfamilienhaus (siehe Abschnitt 8.2). Das beheizte Volumen wird von den Außenbauteilen Wand, Fenster, Bodenplatte und Dachschräge bzw. Kehlbalckendecke umschlossen. Die Flächen und Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile sind in den farbige hinterlegten Feldern des Formblatts nachzuvollziehen.

Die in Abschnitt 6.2 beschriebene Möglichkeit des detaillierten Nachweises der Wärmebrückenverluste wird bei dem Beispiel so berücksichtigt, dass ein ΔU_{WB} -Wert von 0,014 W/(m²·K) in Ansatz gebracht wird (s. S. 35 und S. 36).

Bei der Ermittlung des ΔU_{WB} -wertes sind nach DIN EN ISO 10211 [34] berechnete Ψ -Werte zu verwenden. Mit dem neuen KS-Wärmebrückenkatalog online [23] kann dieser Nachweis schnell und einfach geführt werden.

Zur Ermittlung des genauen ΔU_{WB} -Wertes werden die Wärmebrückenverlustkoeffizienten (Ψ -Werte) für die relevanten Wärmebrücken im KS-Wärmebrückenkatalog online ausgewählt. Die detailspezifischen Ψ -Werte werden mit den einzutragenden Längen der einzelnen Wärmebrücken multipliziert, aufsummiert und durch die Wärme übertragende Hüllfläche geteilt.

$$\Delta U_{WB} = \frac{\sum_i (\Psi_i \cdot l_i)}{A_{ges}}$$

Eine detaillierte Beschreibung der Behandlung erdberührter Bauteile findet sich im KS-Wärmebrückenkatalog online.

INFO

Unter www.ks-waermebruecken.de ermöglicht der neue KS-Wärmebrückenkatalog online die detaillierte Ermittlung des Wärmebrückenzuschlags ΔU_{WB} .

INFOKASTEN: ANLAGENTECHNISCHE EINFLUSSGRÖSSEN

Anlagen-Aufwandszahl Heizung, Warmwasser und Lüftung

Die Anlagen-Aufwandszahl kennzeichnet die energetische Effizienz der gesamten Energieversorgungskette, deren Bilanzanteile für die Heizung im oberen Bild schematisch dargestellt sind. Die technischen Verluste des Heizsystems setzen sich zusammen aus Übergabeverlusten im Raum Q_{ce} (Heizflächenanordnung, Regelungstechnik), Verteilverlusten Q_d (Rohrleitungsführung und -dämmung, Temperatur des Heizmediums), Speicherverlusten Q_s (Aufstellort, Speicherverlust) und Erzeugungsverlusten Q_g (Aufstellort, Gerätetechnik). Aus den Bildern ist ersichtlich, dass auch die benötigte Hilfsenergie (Pumpen, Regelung usw.) in die Betrachtung einbezogen wird. Die Verlustanteile für Lüftung (mittleres Bild) und Trinkwarmwasserbereitung (unteres Bild), die in die Bestimmung der Anlagen-Aufwandszahl einfließen, werden analog zu der zuvor beschriebenen Vorgehensweise erfasst.

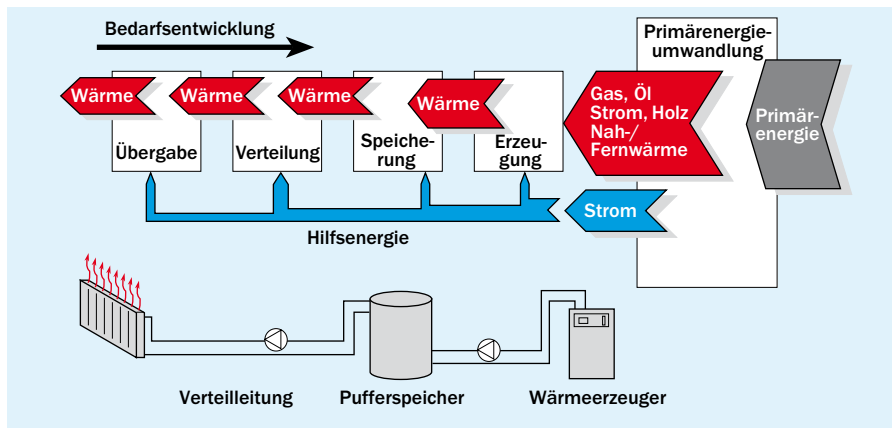
tereres Bild), die in die Bestimmung der Anlagen-Aufwandszahl einfließen, werden analog zu der zuvor beschriebenen Vorgehensweise erfasst.

Primärenergiefaktoren

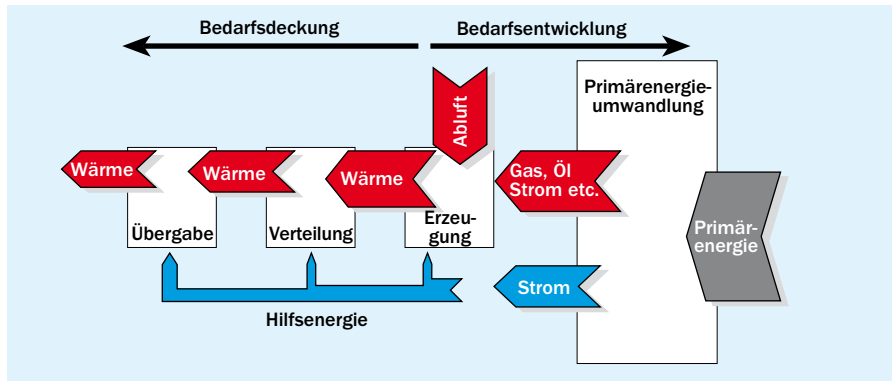
Die Primärenergiebewertungsfaktoren gemäß Gebäudeenergiegesetz sind in der Tafel aufgeführt.

Primärenergiefaktoren (f_p) – nicht erneuerbarer Anteil – nach GEG [2]

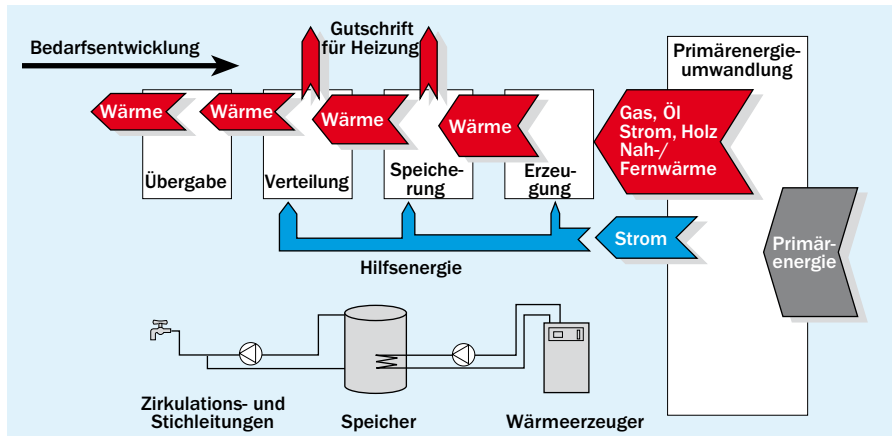
Energieträger		Primärenergiefaktoren nicht erneuerbarer Anteil
Fossile Brennstoffe	Heizöl	1,1
	Erdgas	1,1
	Flüssiggas	1,1
	Steinkohle	1,1
	Braunkohle	1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas	1,1
	Bioöl	1,1
	Holz	0,2
Strom	netzbezogen	1,8
	gebäudenah erzeugt (aus Photovoltaik oder Windkraft)	0,0
	Verdrängungsstrommix für KWK	2,8
Wärme, Kälte	Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme	0,0
	Erdkälte, Umgebungskälte	0,0
	Abwärme	0,0
	Wärme aus KWK, gebäudeintegriert oder gebäudenah	nach Verfahren B gemäß DIN V 18599-9: 2018-09 Abschnitt 5.2.5 o. DIN V 18599-9: 2018-09 Abschnitt 5.3.5.1
Siedlungsabfälle		0,0



Bilanzierungsanteile Heizungsanlage nach DIN V 4701-10 [6]

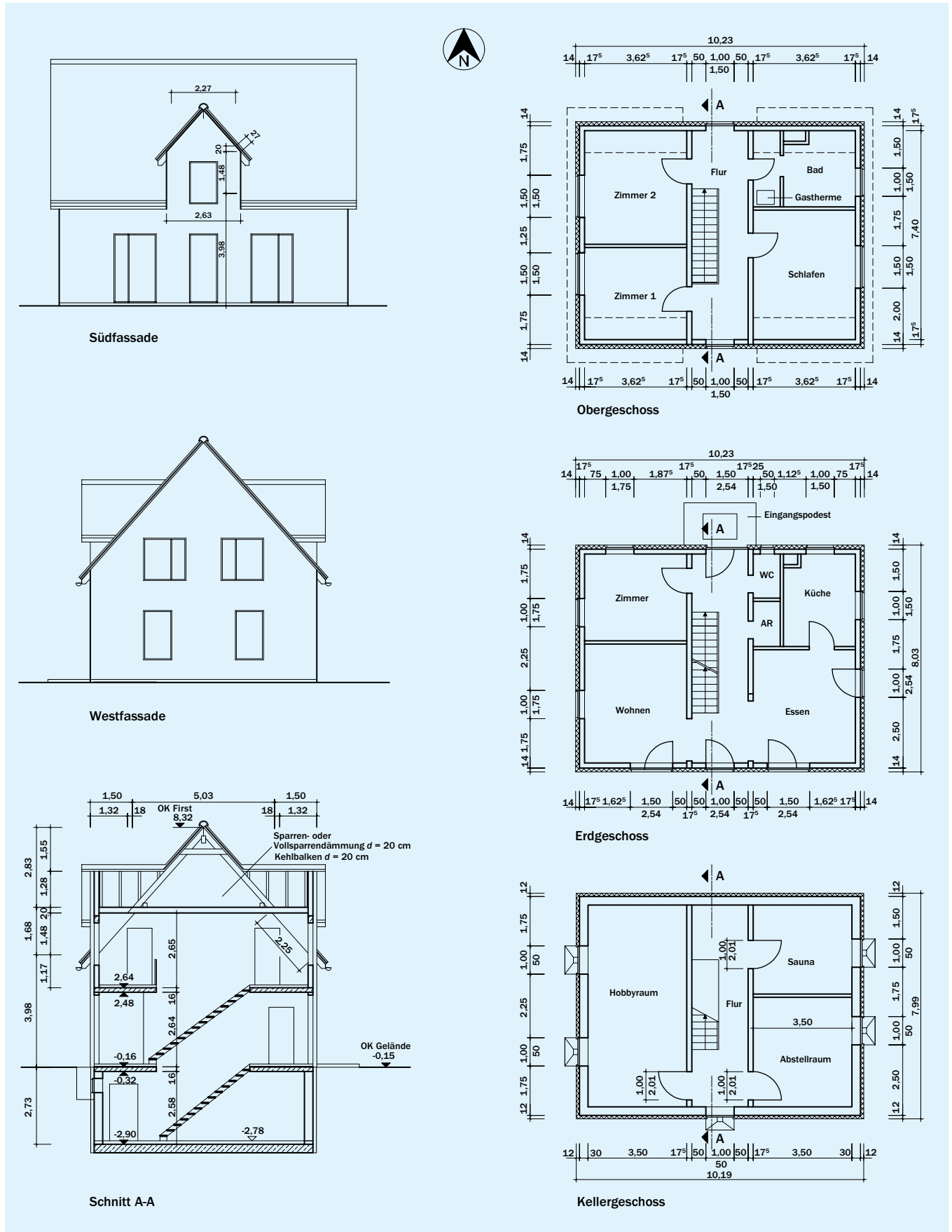


Bilanzierungsanteile Lüftungsanlage nach DIN V 4701-10 [6]



Bilanzierungsanteile Warmwasserbereitung nach DIN V 4701-10 [6]

8.2 Beispiel Wohngebäude: Gebäudegeometrie, Programmausdrucke, Wärmebrückennachweis und Energieausweis



Nachweis der Anforderungen nach Gebäudeenergiegesetz gem. DIN V 4108-6/DIN V 4701-10

Wohngebäude - GEG 2020 - zu errichtendes Gebäude

Objekt (Bezeichnung) *Beispielgebäude Wohnhaus***1 Gebäudedaten**

Volumen (Außenmaß)	V_e [m ³] =	667,96	$f_G = 0,32$ wenn $2,5 \leq h_G \leq 3$ sonst = $1/h_G - 0,04$ m ⁻¹
Geschosshöhe	h_G [m] =	2,80	hier $f_G = 0,32$
Nutzfläche	$A_N = f_G \cdot V_e$ [m ²] =	213,75	
Anzahl Wohneinheiten	n_{WE} [-] =	1	
Anzahl Geschosse	n_G [-] =	2	beheizt/gekühlt; ganzzahlig, bei Teilgeschossen runden

2 Wärmeverluste**2.1 Spezifischer Transmissionswärmeverlust H_T [W/K]**

Kürzel	Orientierung/ Einbausituation	Zuord- nung [Kürzel]	Neigung [°]	Fläche A_i [m ²]	Wärmedurch- gangskoeffizient U_i [W/(m ² K)]	Temperatur- korrekturfaktor $F_{x,i}$ [-]	Transmissions- wärmeverlust $U_i \cdot A_i \cdot F_{x,i}$ [W/K]
2.1.1 Außenwände							
AW 1	Nord		90°	35,79	0,21	1,0	7,57
AW 2	West		90°	36,94	0,21	1,0	7,81
AW 3	Süd		90°	33,44	0,21	1,0	7,07
AW 4	Ost		90°	37,15	0,21	1,0	7,86
AW 5	0		90°	0	0	1,0	
AW 6	0		90°	0	0	1,0	
AW 7	0		90°	0	0	1,0	
AW 8	0		90°	0	0	1,0	
AW 9	0		90°	0	0	1,0	
AW 10	0		90°	0	0	1,0	
AW 11	0		90°	0	0	1,0	
AW 12	0		90°	0	0	1,0	
2.1.2 Fenster, Fenstertüren							
W 1	Nord	AW 1	90°	5,50	1,3	1,0	7,15
W 2	West	AW 2	90°	8,00	1,3	1,0	10,40
W 3	Süd	AW 3	90°	11,66	1,3	1,0	15,16
W 4	Ost	AW 4	90°	7,79	1,3	1,0	10,13
W 5		0	90°	0	0	1,0	
W 6		0	90°	0	0	1,0	
2.1.3 Haustür							
T 1	Nord	AW 1	90°	3,81	1,8	1,0	6,86
T 2		0	90°	0	0	1,0	

Kürzel	Orientierung/ Einbausituation	Zuord- nung [Kürzel]	Neigung [°]	Fläche A_i [m ²]	Wärmedurch- gangskoeffizient U_i [W/(m ² K)]	Temperatur- korrekturfaktor $F_{x,i}$ [-]	Transmissions- wärmeverlust $U_i * A_i * F_{x,i}$ [W/K]
2.1.4 Dach							
D 1	Nord		45°	22,65	0,19	1,0	4,42
D 2	Süd		45°	22,65	0,19	1,0	4,42
D 3	Ost		45°	0,76	0,19	1,0	0,15
D 4	Ost		45°	0,76	0,19	1,0	0,15
D 5	0		0	0	0,19	1,0	
D 6	0		0	0	0	1,0	
D 7	0		0	0	0	1,0	
D 8	0		0	0	0	1,0	
2.1.5 Dachflächenfenster							
W 7		0		0	0	1,0	
W 8		0		0	0	1,0	
W 9		0		0	0	1,0	
W 10		0		0	0	1,0	
2.1.6 Oberste Geschossdecke							
OG 1	oberste Geschossdecke			58,27	0,19	0,8	9,09
OG 2	oberste Geschossdecke			0	0	0,8	
OG 3	oberste Geschossdecke			0	0	0,8	
2.1.7 Wände und Decken zu Abseiten (Drempel)							
AbW 1	Abseitenwand			0	0	0,8	
AbW 2	Abseitenwand			0	0	0,8	
AbW 3	Abseitenwand			0	0	0,8	
2.1.8 Wände, Türen und Decken zu unbeheizten Räumen (angrenzende Bauteile)							
AB 1	Innenbauteil			0	0	0,5	
AB 2	Innenbauteil			0	0	0,5	
AB 3	Innenbauteil			0	0	0,5	
AB 4	Innenbauteil			0	0	0,5	
AB 5	Innenbauteil			0	0	0,5	

Kürzel	Orientierung/ Einbausituation	Zuord- nung [Kürzel]	Neigung [°]	Fläche A_i [m ²]	Wärmedurch- gangskoeffizient U_i [W/(m ² K)]	Temperatur- korrekturfaktor $F_{x,i}$ [-]	Transmissions- wärmeverlust $U_i * A_i * F_{x,i}$ [W/K]
2.1.9 Kellerdecke/-innenwand zum unbeheizten Keller, Fußboden auf Erdreich,							
Flächen des beheizten Kellers gegen Erdreich, aufgeständerter Fußboden							
Bodengrundfläche A_G [m ²]		81,4181		$B' = A_G / (0,5 * P)$ [m] =		4,48	
Umfang Bodengrundfläche P [m]		36,36					
G 1	Fußboden beheizter Keller			81,42	0,280014609	0,45	10,26
G 2	Wand beheizter Keller			96,76	0,261923265	0,6	15,21
G 3	0			0	0	0	
G 4	0			0	0	0	
G 5	0			0	0	0	
2.1.10 Fenster in Kellerwand (Kellerschachtfenster, Annahme Orientierung Nord)							
W 11	Nord	G 2		2,50	1,3	1,0	3,25
W 12	Nord	0		0	0	1,0	
2.1.11 Decken nach unten gegen Außenluft (Durchfahrten, Erker)							
AG 6	Decke über Außenluft			0	0	1,0	
AG 7	Decke über Außenluft			0	0	1,0	
Summe Hüllfläche		$A = \sum A_i$ [m²] =		465,83			
Spezifischer Transmissionswärmeverlust Bauteilflächen					$H_T = \sum U_i * A_i * F_{x,i}$ [W/K] =		126,93
2.1.12 Wärmebrückenkorrekturwert				Auswahl: detailliert - gem. DIN EN ISO 10211-2			
pauschal - ohne Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2				$\Delta U_{WB} = 0,10$ [W/(m ² K)]			
optimiert - mit Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2 Kategorie A				$\Delta U_{WB} = 0,05$ [W/(m ² K)]			
optimiert - mit Berücksichtigung DIN 4108 Bbl. 2 Kategorie B				$\Delta U_{WB} = 0,03$ [W/(m ² K)]			
detailliert - gem. DIN EN ISO 10211-2				$\Delta U_{WB} =$ Eingabe [W/(m ² K)]		0,014	
				ΔU_{WB} [W/(m ² K)] =		0,014	
2.1.13 Berechnung spezifischer Transmissionswärmeverlust							
Spezifischer Transmissionswärmeverlust					$H_T = \sum U_i * A_i * F_{x,i} + \Delta U_{WB} * A$ [W/K] =		133,45
2.2 Transmissionswärmeverlust Q_T [kWh/a]							
Transmissionswärmeverlust				$Q_{T,M} = 0,024 * H_T * (19 \text{ °C} - \theta_{e,M}) * t_M$ [kWh/a] =			11.053,21

2.3 Spezifischer Lüftungswärmeverlust H_V [W/K]

beheiztes Luftvolumen (Netto-Volumen)		Auswahl: Gebäude bis 3 Vollgeschosse	
Gebäude bis 3 Vollgeschosse		$V = 0,76 * V_e$ [m ³]	507,65
übrige Gebäude		$V = 0,80 * V_e$ [m ³]	
Außenluftwechsel		Auswahl: mit Dichtheitsprüfung - Fensterlüftung	
ohne Dichtheitsprüfung		$n = 0,70$ [h ⁻¹]	
mit Dichtheitsprüfung - Fensterlüftung		$n = 0,60$ [h ⁻¹]	0,60
mit Dichtheitsprüfung - Zu-/Abluftanlage		$n = 0,60$ [h ⁻¹]	
mit Dichtheitsprüfung - Abluftanlage		$n = 0,40 + 0,15 = 0,55$ [h ⁻¹]	
mit Dichtheitsprüfung - Abluftanlage bedarfsgeführt		$n = 0,35 + 0,15 = 0,50$ [h ⁻¹]	
Spezifischer Lüftungswärmeverlust		$H_V = 0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3\text{K}) * n * V$ [W/K] =	103,56

2.4 Lüftungswärmeverlust Q_V [kWh/a]

Lüftungswärmeverlust	$Q_{V,M} = 0,024 * H_V * (19 \text{ °C} - \theta_{e,M}) * t_M$ [kWh/a] =	8.577,34
-----------------------------	--	-----------------

3 Wärmegewinne**3.1 Solare Wärmegewinne transparenter Bauteile $Q_{s,t}$ [kWh/a]**

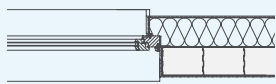
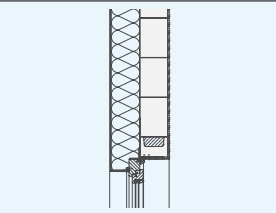
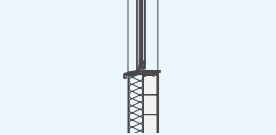
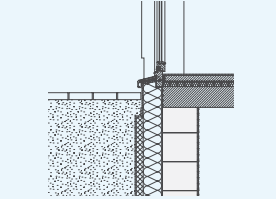
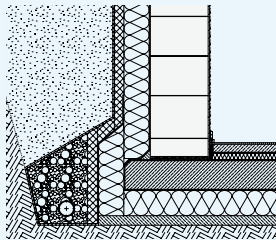
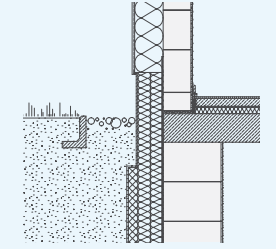
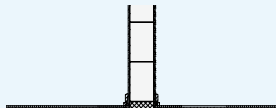
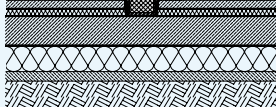
Kürzel	Orientierung	Neigung	Fläche	Gesamt- energie- durchlass- grad	Verschattung	Minderung Rahmen	Strahlungs- intensität	
		[°]	A_i [m ²]	g_i [-]	$F_s \leq 0,9$ [-]	F_F [-]	$I_{s,i,M}$ [W/m ²]	
W 1	Nord	90°	5,50	0,6	0,9	0,7	Monatswerte	
W 2	West	90°	8,00	0,6	0,9	0,7	Monatswerte	
W 3	Süd	90°	11,66	0,6	0,9	0,7	Monatswerte	
W 4	Ost	90°	7,79	0,6	0,9	0,7	Monatswerte	
W 5		90°	0	0	0	0	Monatswerte	
W 6		90°	0	0	0	0	Monatswerte	
W 7			0	0	0	0	Monatswerte	
W 8			0	0	0	0	Monatswerte	
W 9			0	0	0	0	Monatswerte	
W 10			0	0	0	0	Monatswerte	
W 11	Nord	90°	2,50	0,6	0,9	0,7	Monatswerte	
W 12	Nord	90°	0	0	0	0	Monatswerte	
Wärmestrom über transparente Bauteile				$\Phi_{s,t,M} = \sum (A_i * g_i * F_{S,i} * F_C * F_W * F_F * I_{s,i,M})$ [W]				Monatswerte
Solare Wärmegewinne transparente Bauteile				$Q_{s,t} = \sum (0,024 * \Phi_{s,t,Mi} * t_M)$ [kWh/a] =				7.896,12

3.2 Solare Warmegewinne opaker Bauteile $Q_{s,op}$ [kWh/a]							
Kürzel	Orientierung	Neigung	Fläche	Strahlungs- absorptions- grad	weitere Parameter	weitere Parameter [W/m ²]	Strahlungs- intensität
		[°]		A_i [m ²]	α_i [-]	$U_i * R_e$ [-]	
AW 1	Nord	90°	35,79	0,5	0,0085	20	Monatswerte
AW 2	West	90°	36,94	0,5	0,0085	20	Monatswerte
AW 3	Süd	90°	33,44	0,5	0,0085	20	Monatswerte
AW 4	Ost	90°	37,15	0,5	0,0085	20	Monatswerte
AW 5	0	90°	0	0,5	0	20	Monatswerte
AW 6	0	90°	0	0,5	0	20	Monatswerte
AW 7	0	90°	0	0,5	0	20	Monatswerte
AW 8	0	90°	0	0,5	0	20	Monatswerte
AW 9	0	90°	0	0,5	0	20	Monatswerte
AW 10	0	90°	0	0,5	0	20	Monatswerte
AW 11	0	90°	0	0,5	0	20	Monatswerte
AW 12	0	90°	0	0,5	0	20	Monatswerte
T 1	Nord	90°	3,81	0,5	0,0720	20	Monatswerte
T 2		90°	0	0,5	0	0	Monatswerte
D 1	Nord	45°	22,65	0,5	0,0078	40	Monatswerte
D 2	Süd	45°	22,65	0,5	0,0078	40	Monatswerte
D 3	Ost	45°	0,76	0,5	0,0078	40	Monatswerte
D 4	Ost	45°	0,76	0,5	0,0078	40	Monatswerte
D 5	0	0	0	0,5	0,0078	40	Monatswerte
D 6	0	0	0	0,5	0	40	Monatswerte
D 7	0	0	0	0,5	0	40	Monatswerte
D 8	0	0	0	0,5	0	40	Monatswerte
Wärmestrom über opake Bauteile				$\Phi_{s,o,M} = \sum (U_i * A_i * R_e * (\alpha_i * I_{s,i,M} - F_{f,i} * h_r * \Delta\theta_{er}))$ [W]			Monatswerte
Solare Warmegewinne opake Bauteile				$Q_{s,op} = \sum (0,024 * \Phi_{s,o,M} * t_M)$ [kWh/a] =		209,48	
3.3 Interne Warmegewinne Q_i [kWh/a]							
Spezifische auf die Nutzfläche bezogene interne Warmegewinne						$q_i = 5$ W/m ²	
Interne Warmegewinne						$Q_i = 0,024 * q_i * A_N * t_M$ [kWh/a] =	9.362,17
4 Wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} [Wh/K]							
Auswahl: schwere Bauweise							
für Ausnutzungsgrad	leichte Bauweise	Volumenbezug	$C_{wirk,\eta}' = 15$ [Wh/(m ³ K)]				
	schwere Bauweise	Volumenbezug	$C_{wirk,\eta}' = 50$ [Wh/(m ³ K)]				50
	detaillierte Berechnung	Volumenbezug	$C_{wirk,\eta}' =$ Eingabe [Wh/(m ³ K)]				
			absolut	$C_{wirk,\eta} = C_{wirk,\eta}' * V_e$ [Wh/K] =			
bei Nachabschaltung	leichte Bauweise	Volumenbezug	$C_{wirk,NA}' = 12$ [Wh/(m ³ K)]				
	schwere Bauweise	Volumenbezug	$C_{wirk,NA}' = 18$ [Wh/(m ³ K)]				18
	detaillierte Berechnung	Volumenbezug	$C_{wirk,NA}' =$ Eingabe [Wh/(m ³ K)]				
			absolut	$C_{wirk,NA} = C_{wirk,NA}' * V_e$ [Wh/K] =			

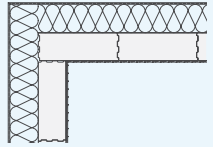
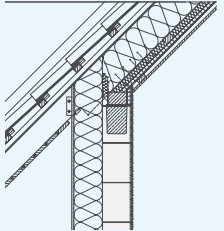
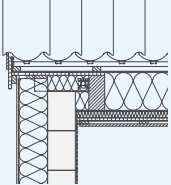
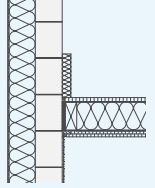
5 Jahres-Heizwärmebedarf Q_h [kWh/a] bzw. flächenbezogen Q_h'' [kWh/(m²a)]			
Wärmeverlust ohne Nachtabschaltung	$Q_{i,M} = 0,024 * (H_T + H_V) * (19 \text{ °C} - \theta_{e,M}) * t_M$ [kWh/a] =		19.630,54
Wärmeverlust bei 7 h Nachtabschaltung	gemäß DIN V 4108-6 Anhang C $Q_{i,NA,M}$ [kWh/a] =		19.025,61
Wärmeverlust abzüglich solare Gewinne opake Bauteile	$Q_{i^*,M} = Q_{i,NA,M} - Q_{s,op,M}$ [kWh/a] =		18.816,14
Summe Wärmegewinn transparente Bauteile und intern	$Q_{g,M} = Q_{s,t,M} + Q_{i,M}$ [kWh/a] =		17.258,28
Wärmegewinn-/verlustverhältnis	$\gamma_M = Q_{g,M} / Q_{i^*,M}$ [-] =	Monatswerte	
numerischer Parameter	$a = a_0 + \tau / \tau_0 = 1 + (C_{\text{wirkl},\eta} / (H_T + H_V)) / (16 \text{ h})$ [-] =		9,8070
Ausnutzungsgrad Wärmegewinne	$\eta_M = (1 - \gamma_M^a) / (1 - \gamma_M^{a+1})$ [-] wenn $\gamma \neq 1$ $\eta_M = a / (a + 1)$ [-] wenn $\gamma = 1$	Monatswerte	
Jahres-Heizwärmebedarf	$Q_{h,M} = Q_{i,NA,M} - Q_{s,op,M} - \eta_M * (Q_{s,t,M} + Q_{i,M})$ [kWh/a] =		8.776,05
Flächenbezogener Jahres-Heizwärmebedarf	$Q_h'' = q_h = Q_h / A_N$ [kWh/(m ² a)] =		41,06
6 Spezifischer flächenbezogener Transmissionswärmeverlust H_T' [W/(m²K)]			
vorhandener spezifischer auf die Hüllfläche bezogener Transmissionswärmeverlust			
	$H_{T'}^{\text{vorh}} = H_T / A$ [W/(m ² K)] =		0,286
spez. flächenbez. Transmissionswärmeverlust des Referenzgebäudes und Nebenanforderung $H_{T',\text{max}}$			
	$H_{T'}^{\text{Ref}} = H_{T',\text{max}}$ [W/(m ² K)] =		0,361
Anforderung an den baulichen Wärmeschutz	$H_{T'}^{\text{vorh}} \leq H_{T',\text{max}}$		erfüllt
7 Auswahl Anlagentechnik und Primärenergieaufwandszahl gemäß DIN V 4701-10 e_P [-]			
Verfahren gemäß DIN V 4701-10	Auswahl: Musteranlage		
Musteranlage	Auswahl: Anlage 7 - Wärmepumpe (Luft/Wasser) mit gebäudezentraler Trinkwassererwärmung		
Anlagen-Aufwandszahl	e_P [-]		0,75
Berechnung gemäß Tabellenverfahren - siehe Blatt "Technik"			
- nicht ausgewählt	e_P [-]		
Musteranlage aus Beiblatt 1, Eingabe Kennwerte - Nachweise und Berechnungen liegen bei			
Anlagen-Aufwandszahl	e_P [-]		
Endenergie Wärme Flächenbezug	$q_{WE,E} = Q_{WE,E}''$ [kWh/(m ² a)]		
Endenergie Hilfsenergie Flächenbezug	$q_{HE,E} = Q_{HE,E}''$ [kWh/(m ² a)]		
Anlagen-Aufwandszahl	e_P [-]		0,75
Jahres-Endenergiebedarf (ohne Hilfsenergie)	$q_{WE,E} = Q_{WE,E}''$ [kWh/(m ² a)] =		20,14
Jahres-Hilfsenergiebedarf	$q_{HE,E} = Q_{HE,E}''$ [kWh/(m ² a)] =		3,91
Treibhausgasemissionen CO ₂ -Äquivalent	x_{CO_2} [kg/(m ² a)] =		12,51
8 Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien (GEG § 23)			

9 Jahres-Primärenergiebedarf $q_{P,vorh}$ [kWh/(m²a)] und Treibhausgasemissionen x_{CO_2} [kg/(m²a)]		
Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes	$q_{P,Ref} = Q_{P,Ref}$ [kWh/(m ² a)] =	69,96
zulässiger Jahres-Primärenergiebedarf		
gem. GEG 2020	$q_{P,max} = Q_{p,max} = 0,75 * q_{P,Ref}$ [kWh/(m ² a)] =	52,47
vorhandener Jahres-Primärenergiebedarf	$q_{P,vorh} = Q_{P,vorh} = e_p * (q_h + 12,5)$ [kWh/(m ² a)] =	40,22
Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien	$q_{P,vorh} = q_{P,vorh} - \Delta q_P$ [kWh/(m ² a)] =	
vorhandener Jahres-Primärenergiebedarf - inkl. Anrechnung PV-Strom	$q_{P,vorh}$ [kWh/(m ² a)] =	40,22
Energieeffizienzklasse gem. Anlage 10 des GEG 2020	[Energieklasse]	A+
Treibhausgasemissionen CO ₂ -Äquivalent	x_{CO_2} [kg/(m ² a)] =	12,51
Anforderung an den Jahres-Primärenergiebedarf	$q_{P,vorh} \leq q_{P,max}$	<i>erfüllt</i>
10.1 Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung (GEG Abschnitt 4)		
Die Pflicht der Nutzung erneuerbarer Energien wird erfüllt durch	Auswahl:	Wärmepumpe
<i>die Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs zu mindestens 50 % durch Nutzung von Geothermie, Umweltwärme oder Abwärme aus Abwasser mittels Wärmepumpen</i>		
10.2 Nutzung von EE - Liste möglicher Maßnahmen (Auswahl über Kurzbezeichnung)		

Detaillierte Ermittlung ΔU_{WB} nach dem KS-Wärmebrückenkatalog – Relevante Details für das Beispielgebäude

1	2	3	4	5	6	7	8
Nr. i	Bauteilanschluss bzw. Wärmebrücke	Anzahl · Einzellängen [m]	Länge l_i [m]	Detail Nr.	Längenbezogener Wärmedurchgangs- koeffizient ψ_i [W/(m·K)]	Produkt $l_i \cdot \psi_i$ [W/K]	Beispielbild und Hinweise
1	Fensterlaibung (seitlich)	18 · 1,50 + 6 · 1,75 + 8 · 2,54 + 10 · 0,50	62,82	2.6.1	0,002	0,126	
2	Fenstersturz	10 · 1,00 + 5 · 1,50 + 1 · 0,50 + 5 · 1,00	23,00	2.6.2.2	0,002	0,046	
3	Fensterbrüstung	8 · 1,00 + 3 · 1,50 + 1 · 0,50 + 5 · 1,00	18,00	2.6.3.1	0,100	1,800	
4	Bodenschwelle Terrassentür	2 · 1,00 + 2 · 1,50	5,00	2.6.3.4	-0,003	-0,015	
5	Haustüre (Laibung, Sturz, Schwelle)	–	–	–	–	–	kann vernachlässigt werden
6	Fundamentanschluss UG-Fußboden	2 · 10,19 + 2 · 7,99	36,36	1.1.2	0,043	1,563	
7	Sockelanschluss UG/EG	2 · 10,23 + 2 · 8,03 - 2 · 1,50 - 2 · 1,00	31,52	2.2.1	0,064	2,017	
8	Geschossdeckenanschluss EG/OG	–	–	–	–	–	kann vernachlässigt werden (WDVS mit $R \geq 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
9a	Innenwand 17,5 cm UG auf UG-Boden	2 · 7,99 - 3 · 1,00	12,98	4.1.3	0,016	1,208	
9b	Innenwand 11,5 cm UG auf UG-Boden	1 · 4,10	4,10	4.1.3	0,008	0,033	

Fortsetzung Detaillierte Ermittlung ΔU_{WB} nach dem KS-Wärmebrückenkatalog – Relevante Details für das Beispielgebäude

1	2	3	4	5	6	7	8
Nr. i	Bauteilanschluss bzw. Wärmebrücke	Anzahl · Einzellängen [m]	Länge l_i [m]	Detail Nr.	Längenbezogener Wärmedurchgangs- koeffizient Ψ_i [W/(m·K)]	Produkt $l_i \cdot \Psi_i$ [W/K]	Beispielbild und Hinweise
10	Innenwandinbindungen in Außenwände UG, EG, OG	–	–	–	–	–	kann vernachlässigt werden (WDVS mit $R \geq 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$)
11	Außenecke Mauerwerk, Außenecke Gauben	$4 \cdot 3,98 + 4 \cdot 1,48$	21,84	2.5.1	-0,058	-1,267	
12	Außenecke erdberührte Kellerwände	–	–	–	–	–	kann vernachlässigt werden (es existieren keine eindeutigen Regeln für die Berechnung dieser Wärmebrücke)
13	Traufe, Traufe Gauben	$2 \cdot 7,60 + 4 \cdot 1,32$	20,48	2.8.1	-0,010	-0,205	
14	Ortgang, Ortgang Gauben	$4 \cdot 2,25 + 4 \cdot 0,27$	10,08	2.8.3	0,019	0,192	
15	Übergang Kehlbalkendecke an Dach	–	–	–	–	–	kann vernachlässigt werden (gleicher Bauteilaufbau)
16	Kehlbalkendecke an Giebelwand, Kehlbalkendecke an Giebelwand Gauben	$2 \cdot 5,03 + 2 \cdot 2,27$	14,60	2.4.4	0,115	1,679	
–	Aufsummation				$\Sigma(l_i \cdot \Psi_i) \text{ [W/K]} =$	6,177	
–	Hüllfläche				Hüllfläche $A \text{ [m}^2\text{]} =$	452,62	
–	Detaillierter vorhandener Wärmebrückenzuschlag				$\Delta U_{WB, \text{vorh}} = \Sigma(l_i \cdot \Psi_i) / A$ [W/(m ² ·K)]	0,014	

8.3 Variationen baulicher und anlagentechnischer Ausführungen

Um die baupraktischen Auswirkungen der Anforderungen und Möglichkeiten zur Erfüllung des Gebäudeenergiegesetzes aufzuzeigen, werden zwei Beispielgebäude betrachtet. Es handelt sich hierbei um ein frei stehendes Einfamilienhaus (Bild 18) und ein als Zweispänner ausgeführtes Mehrfamilienhaus (Bild 19).

Für die Gebäude erfolgen Variantenbildungen im Bereich baulicher und anlagentechnischer Maßnahmen. Zur Einhaltung des jeweiligen maximal zulässigen

■ Primärenergiebedarfs

bzw. des

■ spezifischen Transmissionswärmeverlustes

werden neben anlagentechnischen Maßnahmen die Wärmedurchgangskoeffizienten der Außenwände, des Daches und der Kellerdecke des unteren Gebäudeabschlusses sowie die Wärmebrückenkorrekturwerte beispielhaft angepasst.

In den Tafeln 11 und 12 sind die betrachteten Varianten mit Angabe der Randbedingungen bezüglich des Luftwechsels (n) und des Wärmebrückenkorrekturwertes (ΔU_{WB}), die jeweiligen Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Werte), der spezifische Transmissionswärmeverlust (H_T'), die Anlagenaufwandszahl e_p sowie der flächenbezogene End- (q_e) und Primärenergiebedarf (q_p) aufgeführt. Die jeweils greifende Anforderung – Primärenergiebedarf oder spezifischer Transmissionswärmeverlust – ist farblich unterlegt. Weiterhin ist die auf den Endenergiebedarf bezogene Effizienzklasse der Energieausweise angegeben. Die für Neubauten üblichen Klassen bewegen sich im Bereich A+ (< 30 kWh/(m²·a)), A (< 50 kWh/(m²·a)) bis B (< 75 kWh/(m²·a)).

Beide Gebäude entsprechen im Ausgangsfall (Variante 0) baulich sowie anlagentechnisch der Ausführung des Referenzgebäudes gemäß GEG. Die jeweils resultierenden Werte des Jahres-Primärenergiebedarfs sind gemäß GEG um 25 % zu vermindern. Somit ergeben sich die Anforderungswerte $q_{p,max} = q_{p,Referenz} \cdot 0,75 = 78,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \cdot 0,75 = 58,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ für das EFH und $q_{p,max} = q_{p,Referenz} \cdot 0,75 = 55,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) \cdot 0,75 = 41,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ für das MFH.

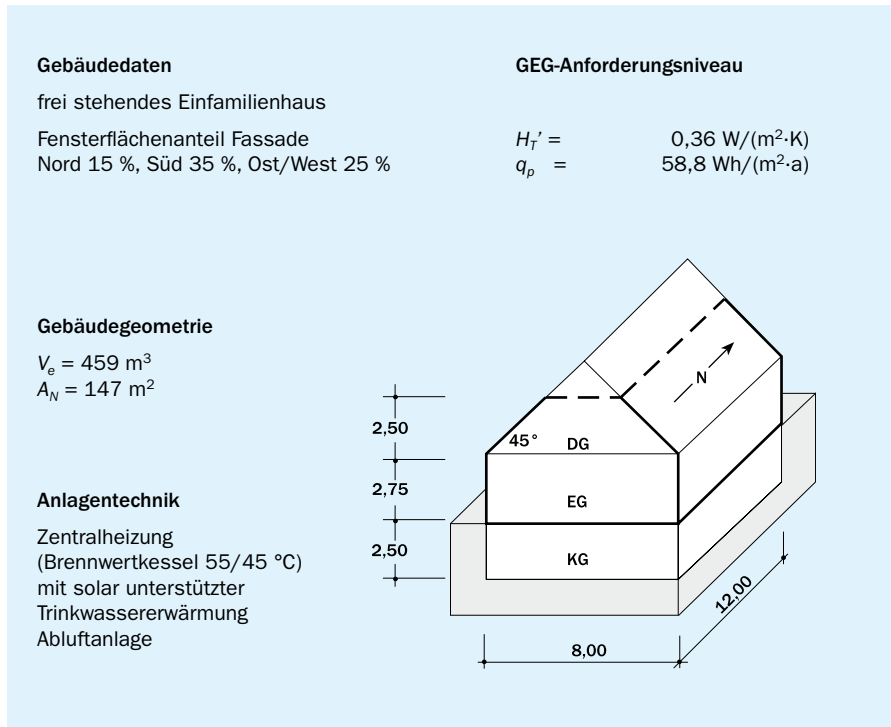


Bild 18 Für die Variationen betrachtetes frei stehendes Einfamilienhaus

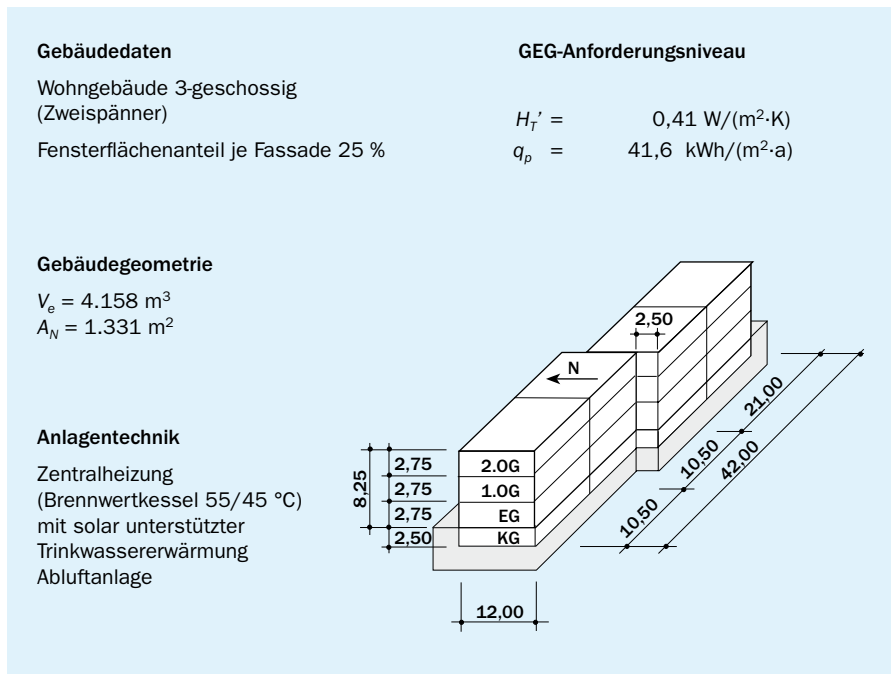


Bild 19 Für die Variation betrachtetes Mehrfamilienhaus

8.3.1 Bauliche Randbedingungen

Auf der baulichen Seite wird für den Ausgangsfall (Referenzausführung) angenommen, dass die Gebäude bei Einsatz einer Abluftanlage den Anforderungen an die Gebäudedichtheit genügen, was durch eine Dichtheitsprüfung nachgewiesen wird. In diesem Fall wird ein Luftwechsel von $0,55 \text{ h}^{-1}$ angesetzt. Die

Tafel 11 Ausführungsbeispiele für das in Bild 18 dargestellte Einfamilienhaus bei unterschiedlichen baulichen und anlagentechnischen Randbedingungen

Variante	n	ΔU_{WB}	$U_{W/\xi}$	U_{AW}	U_D	U_G	H_T'	e_p	q_e	q_p	Effizienzklasse
	[h ⁻¹]	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)] / [-]					[-]	[kWh/(m ² ·a)]		
GEG-Anforderungsniveau											
0 Referenzausführung ($f_{p, Strom} = 1,8$)	0,55	0,05	1,3/0,60	0,28	0,20	0,35	0,36	1,15	68,3	78,4	
1 Verbesserter Wärmeschutz	0,55	0,02	0,90/0,55	0,16	0,16	0,30	0,25	1,18	50,6	58,7	B
2 Ohne Abluftanlage	0,6	0,02	0,90/0,55	0,16	0,16	0,28	0,24	1,13	51,3	58,8	B
3 Verbesserter Wärmeschutz und Lüftungsanlage mit WRG	0,6	0,02	1,3/0,60	0,28	0,17	0,35	0,32	0,91	49,5	58,5	A
4 Sole/Wasser-Wärmepumpe	0,55	0,05	1,3/0,60	0,28	0,20	0,35	0,36	0,59	24,7	44,4	A+
5 EH 55 Luft/Wasser-Wärmepumpe	0,55	0,02	0,90/0,55	0,16	0,16	0,35	0,252	0,66	18,9	34,0	A+
6 EH 40 Sole/Wasser-Wärmepumpe und Lüftungsanlage mit WRG	0,6	0,02	0,90/0,55	0,12	0,12	0,15	0,194	0,70	16,7	30,1	A+
7 EH 40 Plus (2,2 kWp) Sole/Wasser-WP und Lüftungsanlage mit WRG	0,6	0,02	0,90/0,55	0,12	0,12	0,15	0,194	0,70	7,9	14,3	A+
8 EH 55 (Nachweis nach Referenzwerten); Brennwertkessel, Solaranlage, Lüftungsanlage mit WRG	0,6	0,035	0,90/0,55	0,2	0,14	0,25	0,253	0,87	39	46,9	A

Tafel 12 Ausführungsbeispiele für das in Bild 19 dargestellte Mehrfamilienhaus bei unterschiedlichen baulichen und anlagentechnischen Randbedingungen

Variante	n	ΔU_{WB}	$U_{W/\xi}$	U_{AW}	U_D	U_G	H_T'	e_p	q_e	q_p	Effizienzklasse
	[h ⁻¹]	[W/(m ² ·K)]	[W/(m ² ·K)] / [-]					[-]	[kWh/(m ² ·a)]		
GEG-Anforderungsniveau											
0 Referenzausführung ($f_{p, Strom} = 1,8$)	0,55	0,05	1,3/0,60	0,28	0,20	0,35	0,41	1,10	49,1	55,5	
1 Verbesserter Wärmeschutz	0,55	0,02	0,90/0,55	0,18	0,10	0,25	0,26	1,11	36,6	41,5	A
2 Ohne Abluftanlage	0,6	0,02	0,90/0,55	0,16	0,10	0,25	0,25	1,06	37,2	41,5	A
3 Verbesserter Wärmeschutz und Lüftungsanlage mit WRG	0,6	0,05	1,3/0,60	0,28	0,15	0,35	0,40	0,80	35,4	41,4	A
4 Sole/Wasser-Wärmepumpe	0,55	0,05	1,3/0,60	0,28	0,20	0,35	0,41	0,60	16,9	30,3	A+
5 EH 55 Luft/Wasser-Wärmepumpe	0,55	0,02	0,90/0,55	0,20	0,16	0,30	0,288	0,74	16,4	29,6	A+
6 EH 40 Sole/Wasser-Wärmepumpe und Lüftungsanlage mit WRG	0,6	0,02	0,90/0,55	0,12	0,10	0,15	0,224	0,56	11,2	20,2	A+
7 EH 40 Plus (24,5 kWp) Sole/Wasser-WP und Lüftungsanlage mit WRG	0,6	0,02	0,90/0,55	0,12	0,10	0,15	0,224	0,56	4,1	7,4	A+
8 EH 55 (Nachweis nach Referenzwerten); Brennwertkessel, Solaranlage, Lüftungsanlage mit WRG	0,6	0,035	0,90/0,55	0,2	0,14	0,25	0,288	0,74	26,4	31,5	A+

Berücksichtigung der Wärmebrücken erfolgt im Grundfall pauschal, wobei der Bonus einer Halbierung – für Ausführungen vergleichbar zur Kategorie A gemäß Beiblatt 2 der DIN 4108 mit $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ – in Ansatz gebracht wird. Eine detaillierte Berechnung der Wärmebrückeneinflüsse mittels längenbezogenem Wärmedurchgangskoeffizienten (ψ -Werte) kann z.B. zu einem Wert von $\Delta U_{WB} = 0,02 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ führen, wie in den Varianten 1 und 2 sowie 5 bis 7 für das EFH und das MFH dargestellt. Bei allen Varianten gilt, dass für die Gebäude eine schwere Bauweise angenommen wird und eine Nachtabschal-

tung erfolgt. Als Berechnungsverfahren wird die Monatsbilanz nach DIN V 4108-6 zugrunde gelegt.

8.3.2 Anlagentechnische Randbedingungen

Im Ausgangsfall (Referenzausführung) sind die Gebäude mit einer Zentralheizung (Brennwertkessel (verbessert), Spreizung (55/45 °C) mit kombinierter und solar unterstützter Trinkwassererwärmung durch Flachkollektoren ausgestattet. Der Wärmeerzeuger und ein bivalenter Speicher sind beim

EFH innerhalb und beim MFH außerhalb der thermischen Hülle aufgestellt. Die horizontale Verteilung des Trinkwarmwassers (mit Zirkulation) und des Warmwassers für die Raumwärme erfolgt beim Mehrfamilienhaus ebenfalls außerhalb, beim Einfamilienhaus innerhalb der thermischen Hülle. Die vertikalen Verteilstränge werden in beiden Fällen innenliegend angeordnet. Die Heizflächen sind mit Thermostatventilen ausgestattet (Auslegungsproportionalbereich 1 K). Die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs erfolgt nach DIN V 4701-10.

8.3.3 Varianten

In Variante 1 wird das GEG-Anforderungsniveau durch Verbesserung des baulichen Wärmeschutzes (U-Werte und Wärmebrücken) gegenüber der Ausführung des Referenzgebäudes erreicht. Bei der Variante 2 wird auf eine Abluftanlage verzichtet. Hierdurch muss bei nach wie vor nachgewiesener Luftdichtheit der Luftwechsel auf $0,6 \text{ h}^{-1}$ angepasst werden. Variante 3 erfüllt das Anforderungsniveau durch einen verbesserten baulichen Wärmeschutz und den Einsatz einer Zu-/Abluftanlage mit 80 % Wärmerückgewinnung (WRG), DC-Ventilatoren, ohne Nachheizung. Bei Variante 4 wird der im Ausgangsfall eingesetzte Brennwertkessel durch eine Sole/Wasser-Wärmepumpe mit einer Spreizung von $35/28 \text{ °C}$ ersetzt; dies gilt ebenfalls für die Variante 6. Als Wärmeübergabesystem wird für diesen Fall von einer Fußbodenheizung mit elektronischer Regelung ausgegangen.

Das Niveau „KfW-Effizienzhaus 55“ wird in Variante 5 unter Zugrundelegung einer Luft/Wasser-Wärmepumpe erzielt. Bei beiden Gebäuden werden in den Varianten 6, 7 und 8 (KfW-Effizienzhaus 40, 40 Plus und 55 vereinfachtes Verfahren) Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung eingesetzt. Die Kriterien der KfW erfordern beim Effizienzhaus Plus einen Stromertrag von mindestens 500 kWh/a je Wohneinheit und $10 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ bezogen auf die Gebäudenutzfläche. Mit der Berechnung nach DIN V 18599 führt dies zu PV-Kollektorgroßen von $2,2 \text{ kWp}$ für das EFH und $24,5 \text{ kWp}$ für das MFH.

8.3.4 Ergebnisse

Bei unveränderter Anlagentechnik gegenüber dem Ausgangsfall führt die Variante 1 dazu, dass mit dem sehr guten Wärmeschutz der Außenbauteile und der verbesserten Ausführung der Wärmebrücken die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes eingehalten werden.

Der Verzicht auf eine Abluftanlage in Variante 2 verbessert durch den Wegfall des Strombedarfs der Abluftanlage die Anlagenaufwandszahl. Allerdings sind aufgrund des etwas höheren Luftwechsels geringfügige Verbesserungen des baulichen Wärmeschutzes erforderlich (beim EFH der untere Gebäudeabschluss; beim MFH die Außenwand), damit die GEG-Anforderungswerte eingehalten werden.

Mit dem Einsatz der Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung wird gegenüber Variante 1 eine Entlastung im Bereich des baulichen Wärmeschutzes erreicht.

Bei Verwendung einer Sole/Wasser-Wärmepumpe in Variante 4 fließt ein Anteil regenerativer Wärmeerzeugung in die Bilanz ein. Dadurch kann ein hoher Anteil der Primärenergieumwandlungsverluste durch Nutzung regenerativer Energie kompensiert wer-

den. So greift die Zusatzanforderung an den baulichen Wärmeschutz bei beiden Gebäuden, wonach für das Einfamilienhaus der H_T -Wert von $0,36 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und für das Mehrfamilienhaus der H_T -Wert von $0,41 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ einzuhalten ist.

Die Einhaltung des Niveaus Effizienzhaus 55 ist bei beiden Gebäuden durch Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe in Verbindung mit verbessertem baulichen Wärmeschutz möglich. Auch bei Luft/Wasser-Wärmepumpen liegen vergleichsweise geringe Primärenergiebedarfswerte vor und als Anforderung greift daher, wie zuvor, die Zusatzanforderung an den baulichen Wärmeschutz H_T .

Der Einsatz eines Wärmeerzeugers mit kleiner Anlagen-Aufwandszahl (Sole/Wasser-Wärmepumpe oder Pelletkessel) in Verbindung mit einer Lüftungsanlage mit WRG ist beim Niveau Effizienzhaus 40 praktisch unumgänglich. Beim Effizienzhaus 40 Plus ist der Einsatz einer stromproduzierenden Anlage obligatorisch. Meist wird hierfür eine Photovoltaikanlage zum Einsatz kommen, da kleine Windkraftanlagen vergleichsweise geringe Erträge aufweisen und baurechtlich oftmals problematisch umzusetzen sind. Aufgrund der Eigenstromerzeugung bietet sich als Wärmeversorgungssystem beim Effizienzhaus 40 Plus eine Wärmepumpe an. In Variante 7 folgt durch die Anrechnung des selbst erzeugten Stroms bei EFH rund eine Halbierung des End- und Primärenergiebedarfs. Beim MFH liegen die Reduktionen in der Größenordnung von rund $2/3$.

Mit der Umstellung der KfW-Förderkriterien im April 2016 wurde ein alternativer Nachweis (Nachweis nach Referenzwerten) für das Effizienzhaus 55 eingeführt. Bei der Antragstellung kann auf einen rechnerischen Nachweis verzichtet werden, wenn der bauliche Wärmeschutz, ausgedrückt durch die Einhaltung von Wärmedurchgangskoeffizienten der Gebäudehülle und Wärmebrückenkorrekturwerten, eine Mindestqualität aufweist. Zusätzlich muss eines von insgesamt sechs vorgegebenen Anlagenkonzepten umgesetzt werden. Eine Berechnung mit den Mindestqualitäten des baulichen Wärmeschutzes in Verbindung mit dem ersten der vorgegebenen Anlagenkonzepte (Brennwertanlage, solare Trinkwasserbereitung und Lüftungsanlage mit WRG) führt zu den Ergebnissen der Variante 8. Der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T liegt nahe bei dem Wert der Variante 5 (dem rechnerisch nachgewiesenen EH 55). Der Primärenergiebedarf würde die Anforderungswerte $q_{P,max} = q_{P,Referenz} \cdot 0,55 = 43,1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ beim EFH und $q_{P,max} = q_{P,Referenz} \cdot 0,55 = 30,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ beim MFH für die hier betrachtete Anlagenkonfiguration nicht einhalten.

Das EFH liegt beim Niveau des GEG in der Variante 1 in der Effizienzklasse B. Der Einsatz der Sole/Wasser-Wärmepumpe (Variante 4) führt aufgrund des niedrigen Endenergiebedarfs zur Einstufung A+. Aufgrund der höheren Kompaktheit (kleineres A/V-Verhältnis) liegen die Endenergiebedarfswerte beim MFH niedriger als beim EFH; dementsprechend weist das MFH günstigere Effizienzklassen auf. Aus den Beispielrechnungen wird die Problematik der Klasseneinstufung deutlich: Das EFH liegt in der Variante 1 beim Endenergiebedarf um $0,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ oberhalb der Schwelle von $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und wird in die Klasse B eingestuft, in der Variante 3 liegt der Endenergiebedarf um $0,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ unter dem Schwellenwert und dies führt zur Einstufung in die Klasse A.

9. Planungs- und Ausführungsempfehlungen

Auf der Basis der in den vorhergehenden Kapiteln dargestellten Berechnungsansätze und -beispiele lassen sich für den Umgang mit dem Gebäudeenergiegesetz Handlungs- und Ausführungsempfehlungen ableiten.

9.1 Einbeziehung baulicher und anlagentechnischer Randbedingungen im frühen Planungsstadium

Die heute oftmals noch praktizierte Vorgehensweise, den Anlagenplaner bzw. den ausführenden Fachbetrieb nach Festlegung der wärmeschutztechnischen Planung oder gar nach der Ausführung einzubeziehen, wird künftig nicht mehr möglich sein. Da abhängig von den Bestimmungen in einzelnen Bundesländern der GEG-Nachweis mit dem Bauantrag eingereicht werden muss, ist es erforderlich, zumindest die Eckdaten für die bauliche und anlagentechnische Ausführung in einem frühen Planungsstadium zu fixieren. Im Rahmen des rechnerischen Nachweises wird für die Ermittlung des Jahres-Heizwärmebedarfs sicherlich der größte Zeit- und Arbeitsaufwand – wie bisher – bei der Bestimmung des beheizten Gebäudevolumens, der Wärme übertragenden Hüllfläche und der Wärmedurchgangskoeffizienten liegen. Die detaillierten Ansätze des Berechnungsverfahrens werden über geeignete Software leicht zu behandeln sein.

9.2 Wärmebrücken

Der bekannte Zusammenhang, dass bei verbessertem Wärmeschutzniveau der anteilige Wärmeverlust über Wärmebrücken zunimmt, wird im Nachweisverfahren des GEG berücksichtigt. Bei der Berechnung der Transmissionswärmeverluste werden die Wärmebrückeneffekte über Wärmebrückenkorrekturwerte ΔU_{WB} erfasst. Im Referenzgebäude ist $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ als Standardwert vorgegeben. Auch im auszuführenden Gebäude (Ist-Gebäude) sollten die Empfehlungen nach DIN 4108, Beiblatt 2 als Mindeststandard eingehalten werden.

Mit der Fassung vom Juni 2019 bietet das Wärmebrückenbeiblatt der DIN 4108 die Möglichkeit, alternativ die Gleichwertigkeit nach Kategorie A oder Kategorie B zu führen. Mit der Kategorie A wird das wärmeschutztechnische Niveau des früheren Wärmebrückenbeiblatts abgebildet. Folglich beträgt der zugehörige pauschale Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Alle in Kategorie B eingeordneten Planungsbeispiele sind die energetisch (und meist auch feuchteschutztechnisch) höherwertigen Details. Finden bei der Planung von Gebäuden ausschließlich Details der Kategorie B Verwendung, darf im GEG-Nachweis der pauschale Wärmebrückenzuschlag auf $\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ reduziert werden. Darüber hinaus bietet das Berechnungsverfahren der DIN V 18599 die Möglichkeit, die genannten Pauschalwerte anzupassen. Diese Korrektur kann vorgenommen werden, wenn für einzelne Anschlussdetails keine Gleichwertigkeit nachgewiesen werden kann oder wenn im Wärmebrückenbeiblatt nicht enthaltene Wärmebrücken berücksichtigt werden sollen.

Liegen für die im Rahmen des Nachweises verwendeten Baukonstruktionen Lösungen für Wärmebrückendetails vor, so kann eine Optimierung über die detaillierte Ermittlung von ΔU_{WB} erfolgen. Wie das Beispiel in Abschnitt 8 zeigt, lassen sich mit

der detaillierten Planung erhebliche Verbesserungen erreichen. Als Planungshilfsmittel können hierbei Wärmebrückenkataloge, z.B. [22] und [23] herangezogen werden, in denen die Empfehlungen gemäß DIN 4108, Beiblatt 2 und weitere Details aufgenommen sind.

INFO

Die Kalksandsteinindustrie bietet mit dem KS-Wärmebrücken-katalog online ein einfaches Hilfsmittel zur detaillierten Ermittlung und Bewertung von Wärmebrücken an. Er kann kostenlos auf www.ks-waermebruecken.de aufgerufen werden.

9.3 Luftdichtheit

Die Anforderungswerte an die Luftdichtheit der Gebäudehülle sind im Gebäudeenergiegesetz sowie in DIN 4108-7 genannt:

- Gebäude mit natürlicher Lüftung: $n_{50} < 3,0 \text{ h}^{-1}$
- Gebäude mit mechanischer Lüftung: $n_{50} < 1,5 \text{ h}^{-1}$

Das GEG schreibt vor, dass bei Einsatz einer mechanischen Lüftungsanlage und Inanspruchnahme des entsprechenden Bonus eine Dichtheitsprüfung durchgeführt werden muss. Wird bei natürlich belüfteten Gebäuden – diese Form der Lüftung wird in nächster Zukunft noch die am häufigsten anzutreffende sein – eine Dichtheitsprüfung durchgeführt und der genannte Anforderungswert eingehalten, darf im Nachweisverfahren ein Bonus in Ansatz gebracht werden. Mit den Kosten für eine Messung nach dem Blower-Door-Verfahren von rund 300 € für ein Einfamilienhaus und ab rund 600 € für ein Mehrfamilienhaus mit sechs bis acht Wohneinheiten, stellt sich die Einhaltung der Dichtheitsanforderungen als wirtschaftlich sehr günstige Option im rechnerischen Nachweis nach GEG dar. Hierbei ist zu beachten, dass Planung und Ausführung sorgfältig vorzunehmen sind, da Nachbesserungen bei der Luftdichtheit oftmals mit erheblichem Aufwand verbunden sind. Es ist davon auszugehen, dass die Dichtheitsprüfung auch künftig bei den meisten Bauvorhaben Anwendung findet. Dies gilt nicht nur im Hinblick auf die energetischen Aspekte, sondern auch als Qualitätsnachweis für eine Konstruktion, die weniger bauschadensanfällig ist und keine Zugerscheinungen auftreten lässt.

In DIN 4108-7 ist über die genannten Anforderungswerte hinaus eine große Anzahl von Beispielen aufgeführt, die als Planungs- und Ausführungsempfehlungen herangezogen werden können. Grundsätzlich erscheint es sinnvoll, bei der Auswahl von Materialien (Folien, Klebebänder, Manschetten etc.) auf Paketlösungen von Herstellern zurückzugreifen. Hiermit sollte weitgehend sichergestellt sein, dass die verwendeten Produkte aufeinander abgestimmt sind und somit eine lang andauernde Dichtheit gewährleisten.

INFO

Bei Mauerwerk wird eine dauerhafte Luftdichtheit durch den Innenputz hergestellt.

9.4 Anlagentechnik

Die heutzutage am häufigsten eingesetzte Anlagentechnik zur Gebäudebeheizung, die Pumpen-Warmwasserheizung, bietet auch in der nächsten Zukunft Optimierungspotenziale. Im Wesentlichen wird dies durch den Einsatz effizienter Wärmeerzeuger – insbesondere in Verbindung mit dem Ausbau der Nutzung erneuerbarer Energien –, optimierte Rohrleitungsführung (möglichst kurz und im beheizten Bereich geführt) sowie hochwertige Regelungstechnik zu erschließen sein. Weiterhin ist es in jedem Fall sinnvoll, konkrete Produkt-Kennwerte im Nachweis zu berücksichtigen. Die Standard-Werte in DIN V 4701-10 und DIN V 18599 orientieren sich am unteren energetischen Durchschnitt der Marktniveaus und führen somit zu ungünstigeren Ergebnissen.

Über die Erschließung der zuvor genannten energetischen Potenziale heute eingesetzter Anlagentechnik hinaus, sind die Anforderungen an die Nutzung von erneuerbaren Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung einzuhalten. Der Einsatz solarthermischer Anlagen zur Unterstützung der Warmwasserbereitung stellt in dem Zusammenhang meist die wirtschaftlich sinnvollste Lösung dar. In Gebäuden, die das Niveau der KfW-Spitzenförderung erzielen (Effizienzhaus 40), wird als Wärmeerzeuger in der Regel ein auf erneuerbaren Energien basierendes System (Wärmepumpe oder Biomasse-Kessel) Verwendung finden.

Neben der Verwendung einer solarthermischen Anlage bietet auch die neue Option des Einsatzes einer PV-Anlage eine wirtschaftlich interessante Alternative.

Wenn die PV-Anlage mindestens die Größe hat, die zur pauschalierten Erfüllung der Anforderungen an die Nutzung erneuerbarer Energien führt (das 0,03-fache der Gebäudenutzfläche geteilt durch die Anzahl der beheizten oder gekühlten Geschosse), darf eine anrechenbare Korrektur ΔQ_p ausgehend vom Jahres-Primärenergiebedarf des auszuführenden Gebäudes in Abzug gebracht werden. Dabei werden Anlagen ohne und mit Stromspeicher (Batterie) unterschieden. Ein Stromspeicher darf dabei nur berücksichtigt werden, wenn er eine Nennkapazität von mindestens 1 kWh je kW installierter Nennleistung aufweist.

ohne Stromspeicher: $\Delta Q_p = 150 \times P_{nenn} + 0,7 \times Q_{e,AT}$
mit Stromspeicher: $\Delta Q_p = 200 \times P_{nenn} + 1,0 \times Q_{e,AT}$

P_{nenn} ist die Nennleistung der PV-Anlage in kW_p und $Q_{e,AT}$ der jährliche absolute elektrische Endenergiebedarf der Anlagentechnik in kWh.

Ist die PV-Anlage kleiner als für das zuvor genannte Kriterium, entfällt jeweils der zweite Summand in den Gleichungen.

ohne Stromspeicher: $\Delta Q_p = 150 \times P_{nenn}$
mit Stromspeicher: $\Delta Q_p = 200 \times P_{nenn}$

Bei Anlagen ohne Stromspeicher ist die anrechenbare Korrektur ΔQ_p auf höchstens 30 % des maximal zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs (= Anforderungswert des GEG) begrenzt; kommen Speicher zum Einsatz liegt die Begrenzung entsprechend bei 45 %.

Berechnungsbeispiele:

Betrachtet wird ein zweigeschossiges Einfamilienhaus mit einer Gebäudenutzfläche von $A_N = 200 \text{ m}^2$ und einem maximal zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes von $Q_p = 52,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Gemäß Pauschalansatz kann die Anforderungen an die Nutzung erneuerbarer Energien mit einer Nennleistung der PV-Anlage von $P_{nenn} = 0,03 \cdot 200/2 = 3 \text{ kWp}$ erfüllt werden (siehe Abschnitt 4.6).

Bei einem jährlichen absoluten elektrischen Endenergiebedarf der Anlagentechnik einer Gas-Brennwertheizung von $Q_{e,AT} = 1.000 \text{ kWh}$ und Einsatz eines Stromspeichers mit einer Nennkapazität von 3 kWh beträgt die anrechenbare Korrektur des Jahres-Primärenergiebedarfs für das Gebäude $\Delta Q_p = 200 \cdot 3 + 1,0 \cdot 1.000 = 1.600 \text{ kWh/a}$ bzw. $8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Die maximal anrechenbare Höhe der Korrektur ist begrenzt auf 45 % von $Q_{p,max}$ also $\Delta Q_{p,max} = 52,5 \cdot 0,45 = 23,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Somit darf der Wert $\Delta Q_p = 8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ in Abzug gebracht werden.

Kommt für das Gebäude eine Luft/Wasser-Wärmepumpe mit einem jährlichen absoluten elektrischen Endenergiebedarf der Anlagentechnik von $Q_{e,AT} = 5.500 \text{ kWh}$ und sonst gleichen Bedingungen wie zuvor zum Einsatz, ergibt sich die Korrektur des Jahres-Primärenergiebedarfs zu $\Delta Q_p = 200 \cdot 3 + 1,0 \cdot 5.500 = 6.100 \text{ kWh/a}$ bzw. $30,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Die maximal anrechenbare Höhe der Korrektur beträgt gemäß oben durchgeführter Berechnung $\Delta Q_{p,max} = 23,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. In diesem Fall darf nur der Maximalwert $\Delta Q_p = 23,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ angerechnet werden.

9.5 Nachweisverfahren

Als Berechnungsverfahren zur Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs können für Wohngebäude wie im Rahmen des GEG die Normen DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 oder alternativ DIN V 18599 Anwendung finden.

Im Weiteren sind einige Berechnungsergebnisse der beiden Nachweisverfahren für zwei Modellgebäude gemäß Bild 18 und Bild 19 aufgeführt.

Die Tabellen 13 und 14 zeigen, dass die betrachteten anlagentechnischen Maßnahmen in den verschiedenen Rechenverfahren unterschiedliche Ergebnisse hervorrufen. In den Tabellen ist ein Grundfall „BW“ (Heizung und Trinkwarmwasserbereitung erfolgt über einen Brennwertkessel) dargestellt, bei dem der bauliche Wärmeschutz dem Referenzgebäude des GEG entspricht, sowie jeweils vier Varianten. Neben dem Absolutwert des Jahres-Primärenergiebedarfs in $[\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})]$ für beide Verfahren ist die prozentuale Abweichung zwischen den Rechenverfahren angegeben („Differenz-Verfahren“). Für die Variantenbetrachtung sind weiterhin die jeweiligen Abweichungen zum Grundfall relevant, da diese abgesehen von der Grundabweichung die Empfindlichkeit der Verfahren gegenüber anlagentechnischen Maßnahmen darstellen. Im Einzelnen zeigen sich bei den Varianten folgende Ergebnisse:

- Bei „BW-Solar“ wird zusätzlich zum Brennwertkessel eine thermische Solaranlage zur Unterstützung der Trinkwarmwasserbereitung eingesetzt. Bei beiden Gebäudetypen wird die Solartechnik über DIN V 4701-10 besser bewertet als über DIN V 18599.

Tafel 13 Ausführungsvarianten anlagentechnischer Maßnahmen beim EFH gemäß Bild 18

Varianten	q_p [kWh/(m ² ·a)]		Differenz [%]	Differenz zum Grundfall	
	DIN V 4108-6 DIN V 4701-10	DIN V 18599		DIN V 4108-6 DIN V 4701-10 [%]	DIN V 18599 [%]
BW (= Grundfall)	75,8	88,6	17		
BW+Solar (Niveau GEG 2020)	58,7	74,0	26	-23	-16
BW+WLA	62,5	71,9	15	-18	-19
BW+Solar+WLA	45,5	61,6	35	-40	-30
Sole/Wasser-WP	36,9	48,0	30	-51	-46

Tafel 14 Ausführungsvarianten anlagentechnischer Maßnahmen beim MFH gemäß Bild 19

Varianten	q_p [kWh/(m ² ·a)]		Differenz [%]	Differenz zum Grundfall	
	DIN V 4108-6 DIN V 4701-10	DIN V 18599		DIN V 4108-6 DIN V 4701-10 [%]	DIN V 18599 [%]
BW (= Grundfall)	52,7	55,5	5		
BW+Solar (Niveau GEG 2020)	41,5	46,4	12	-21	-16
BW+WLA	39,8	41,1	3	-24	-26
BW+Solar+WLA	28,6	32,1	12	-46	-42
Sole/Wasser-WP	24,8	30,6	23	-53	-45

- Der Einsatz einer Zu-/Abluftanlage zur Wohnungslüftung „BW+WLA“ wird mittels DIN V 18599 ungünstiger und das MFH günstiger bewertet als bei der DIN V 4701-10.
- Die Kombination der zuvor genannten Maßnahmen „BW+Solar+WLA“ führt bei beiden Gebäuden aufgrund der Überlagerung der Einzelmaßnahmen zu deutlichen Abweichungen zwischen den Ergebnissen.
- Die Variante „WP“ stellt eine Sole-Wasser-Wärmepumpe für kombinierten Heizungs-Warmwasser-Betrieb dar. Die Berechnungsansätze für Wärmepumpen in den beiden Verfahren sind praktisch nicht mehr vergleichbar, da gemäß DIN V 18599 auf ein Verfahren zurückgegriffen wird, welches durchgehend auf anderen Ansätzen aufbaut. Daher ist auch eine äquivalente Parametrierung der verglichenen Systeme nur eingeschränkt möglich. Es zeigt sich jedoch, dass die Bewertungen des Einsatzes von Wärmepumpen zu ähnlichen Ergebnissen führen.

Aus den dargestellten Berechnungen lässt sich ableiten, dass für die Ausweisung eines geringen Jahres-Primärenergiebedarfs das bisherige Verfahren (DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10) als vorteilhaft erscheint. Die Überprüfung der Einhaltung der Anforderung des Gebäudeenergiegesetzes wird mit beiden Rechenverfahren gleich bewertet, da sowohl für das Referenzgebäude als auch für das zu errichtende Gebäude der gleiche Berechnungsansatz zu wählen ist.

Gebäudeautomation

In DIN V 18599-11 werden „Güteklassen“ der Gebäudeautomation beschrieben, die zu einer Beeinflussung der Bilanzinnentemperatur bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs führen. Während im Referenzgebäude die Automationsklasse C aufgenommen ist, dürfen bei der Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs mit DIN V 18599 im Zuge der Nachweisführung auch die Klassen A oder B berücksichtigt werden. Diese Regelung ist neu gegenüber der EnEV 2016, bei der auch im Nachweis die Automationsklasse C zu verwenden war.

Die Automatisierungsgrade A und B erfordern über die entsprechenden Standardwerte der Klasse C hinaus den Einsatz von Gebäude- und Raumautomationsfunktionen. Beim Automatisierungsgrad B müssen einzelne Regeleinrichtungen in der Lage sein, untereinander oder mit einem übergeordneten Gebäudemanagementsystem (Rechner) zu kommunizieren. Klasse A kann nur erreicht werden, wenn zusätzlich zum Funktionsumfang der Klasse B Funktionen des energetischen Gebäudemanagements umgesetzt werden. Dazu gehören beispielsweise Verriegelung zwischen Heizung und Kühlung, Monitoring oder Sollwertoptimierung.

Bei Einsatz von Gebäudeautomation der Klassen A oder B werden gegenüber der Klasse C Reduktionen des Jahres-Primärenergiebedarfs bei EFH von ca. 2 % und bei MFH von ca. 5 % erreicht.

10. Das GEG für Nichtwohngebäude

10.1 Anforderungen

Die Anforderungen an neu zu errichtende Nichtwohngebäude werden, wie bereits in der EnEV 2016, über das Referenzgebäudeverfahren formuliert. Hierbei wird für das neu zu errichtende Gebäude – mit seiner vorgesehenen, tatsächlichen Geometrie und Ausrichtung mit einer vorgegebenen Referenzausführung des baulichen Wärmeschutzes und sonstigen Kennwerten der Gebäudehülle sowie einer Referenzanlagentechnik – der Jahres-Primärenergiebedarf ermittelt und nach Abzug von 25 % des Wertes als Maximalwert für das tatsächlich zu errichtende Gebäude definiert. Dieser maximal zulässige Jahres-Primärenergiebedarf ist mit der tatsächlichen Gebäudeausführung einzuhalten.

Zum Referenzgebäude zählen:

- der Wärmeschutz der Gebäudehülle mit ergänzenden thermischen Kennwerten und
- die Anlagentechnik für Heizung, Kühlung, Warmwasserbereitung, Raumluftechnik und Beleuchtung.

Grundlegende Informationen zur Festlegung des Referenzgebäudes für Nichtwohngebäude sind dem Forschungsbericht [35] zu entnehmen.

Die Zusatzanforderungen an den einzuhaltenden Wärmeschutz der Gebäudehülle werden über mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten opaker und transparenter Bauteile vorgegeben. Die Aspekte Wärmebrücken, Luftdichtheit, Mindestluftwechsel sowie sommerlicher Wärmeschutz sind bei Nichtwohngebäuden prinzipiell wie bei Wohngebäuden im GEG 2020 behandelt. Dies gilt auch für Änderungen und Nachrüstungen im Bestand.

10.2 Berechnungsverfahren

Die Berechnung des Jahres-Primärenergiebedarfs für Nichtwohngebäude im Rahmen des GEG erfolgt auf Basis der DIN V 18599 [8]. Die Berechnungen erlauben die Beurteilung aller Energiemengen, die zur bestimmungsgemäßen Heizung, Warmwasserbereitung, raumluftechnischen Konditionierung und Beleuchtung von Gebäuden notwendig sind. Dabei berücksichtigt DIN V 18599 in der Fassung vom September 2018 auch die gegenseitige Beeinflussung von Energieströmen und die daraus resultierenden planerischen Konsequenzen.

DIN V 18599 besteht aus elf Teilen mit nachfolgenden Bezeichnungen:

- Teil 1: Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger
- Teil 2: Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von GebäudEZonen
- Teil 3: Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung
- Teil 4: Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung

- Teil 5: Endenergiebedarf von Heizsystemen
- Teil 6: Endenergiebedarf von Lüftungsanlagen, Luftheizungsanlagen und Kühlsystemen für den Wohnungsbau
- Teil 7: Endenergiebedarf von Raumluftechnik- und Klimakältesystemen für den Nichtwohnungsbau
- Teil 8: Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen
- Teil 9: End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen
- Teil 10: Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten
- Teil 11: Gebäudeautomation
- Teil 12: Tabellenverfahren Wohngebäude
- Teil 13: Tabellenverfahren Nichtwohngebäude

Im Teil 1 sind die Bilanzierungsregeln beschrieben und die Schnittstellen zu den anderen Teilen der Norm definiert. Darüber hinaus sind hier die Zonierungsregeln (Aufteilung eines Gebäudes in Zonen aufgrund unterschiedlicher Nutzungen oder anlagentechnischer Eigenschaften) und die Primärenergiefaktoren festgelegt.

Die Teile 2 bis 4 beschäftigen sich mit der Ermittlung der Nutzenergie für konditionierte Gebäudeteile. Hierbei wird unterschieden zwischen dem Energiebedarf, der in Nutzungszonen entsteht, um die gewünschten thermischen und visuellen Randbedingungen sicherzustellen, und dem Energiebedarf, der für die Luftaufbereitung notwendig ist, um die Zuluft von Außenluftbedingungen auf Zuluftbedingungen zu konditionieren. Hierin sind auch Prozesse wie Be- und Entfeuchtung enthalten. Die Nutzenergie berücksichtigt nicht die Effizienz der Anlagentechnik, sondern gibt Auskunft über den Bedarf an Energie, den ein Gebäude bei vorgegebenen Nutzungsbedingungen erfordert.

In den Teilen 4 bis 8 sind die Regeln für die Ermittlung der Energieeffizienz der Anlagentechnik für Beleuchtung, Heizung, Lüftung, Kühlung und Warmwasser definiert. Im Teil 9 wird beschrieben, wie die Energieaufwendungen in multifunktionalen Generatoren, wie z.B. Blockheizkraftwerken, primärenergetisch zu bewerten sind.

Angaben über die Randbedingungen für unterschiedliche Nutzungen in Gebäuden finden sich im Teil 10 sowohl als standardisierte Nutzungsprofile für die Erstellung des Energieausweises als auch als typische Bandbreiten für die Energieberatung [36].

Teil 11 stellt den Einfluss der Steuerung und Regelung sowie der Raum- und Gebäudeautomation einschließlich des technischen (energetischen) Gebäudemanagements auf den Energiebedarf eines Gebäudes im Betrieb dar.

Die Tabellenverfahren in den Teilen 12 und 13 ermöglichen die Energiebedarfsbilanzierung von Gebäuden mit teilweise festgelegten Randbedingungen.

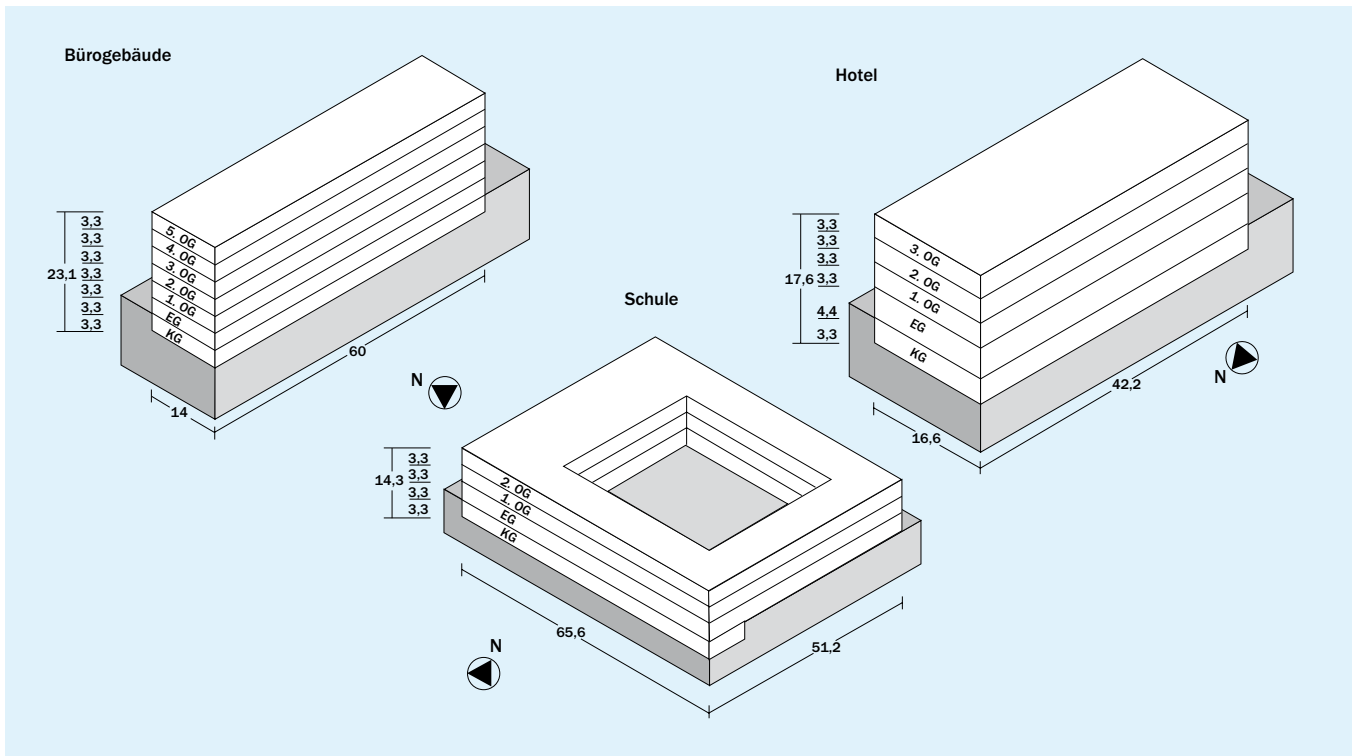


Bild 20 Bürogebäude, Schule und Hotel für die Beispielrechnung

10.3 Beispiele

Für die Beispielgebäude in Bild 20 – ein Bürogebäude, eine Schule und ein Hotel – wird der aus dem Referenzgebäude des Gebäudeenergiegesetzes 2020 resultierende Jahres-Primärenergiebedarf berechnet.

Neben der Vorgabe der Referenzwerte für die Ausführung der Gebäudehülle und der Anlagentechnik sind bei den jeweiligen Gebäuden folgende Annahmen getroffen:

- Bürogebäude: Fensterflächenanteil 50 %; Außenjalousie in Ost-, West- und Südorientierung ($g_{tot} = 0,06$); leichte Ausführung; Blendschutz vorhanden; keine Warmwasserbereitung (Berücksichtigung der Bagatellgrenze gemäß DIN V 18599-10); Zonen mit Kühlung (RLT und Raumkühlung) ca. 20 % der Gesamtläche; Zonen mit freier Lüftung ca. 70 % der Gesamtläche; Zonen mit Lüftungsanlage ca. 10 % der Gesamtläche.
- Schule: Fensterflächenanteil 40 %; Außenjalousie in Ost-, West- und Südorientierung ($g_{tot} = 0,06$); schwere Ausführung; zentrale Warmwasserbereitung; Zonen mit freier Lüftung ca. 95 % der Gesamtläche; Zonen mit Lüftungsanlage ca. 5 % der Gesamtläche (Labor, WC und Duschräume).
- Hotel: Fensterflächenanteil 60 %; Außenjalousie in Ost-, West- und Südorientierung ($g_{tot} = 0,06$); leichte Ausführung; zentrale Warmwasserbereitung; Zonen mit Kühlung (RLT und Raumkühlung) ca. 65 % der Gesamtläche; Zonen mit Lüftungsanlage ca. 35 % der Gesamtläche.

Die für das Anforderungsniveau des GEG erforderlichen Verbesserungen gegenüber dem Referenzgebäude, die jeweils insgesamt zu einer Reduktion des Jahres-Primärenergiebedarfs von 25 % führen, werden beispielsweise durch den Einsatz einer kombinierten Wärmeversorgung aus einem Gas-Brennwert- und einem Pellet-System erreicht. Die Aufteilung der Deckungsanteile der Systeme geschieht wie folgt:

- Bürogebäude
Heizung: 80 % Pellet,
20 % Gas-Brennwert
- Schule
Heizung: 62 % Pellet,
38 % Gas-Brennwert
- Hotel
Heizung: 70 % Pellet,
30 % Gas-Brennwert
Trinkwarmwasser: 57 % Pellet,
43 % Gas-Brennwert

Die Anteile des Jahres-Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung (Raum und RLT), Warmwasser, Beleuchtung, Lufttransport und Hilfsenergie (Heizung und Kühlung) sind für die drei Beispielgebäude in Bild 21 grafisch wiedergegeben. Hierbei ist das Anforderungsniveau des Gebäudeenergiegesetzes berücksichtigt.

Der größte Heizenergiebedarf tritt aufgrund des vergleichsweise hohen A/V_e -Verhältnisses und der reinen Fensterlüftung (keine Wärmerückgewinnung) beim Schulgebäude auf. Der Jahres-Primärenergiebedarf für Beleuchtung ist beim Bürogebäude

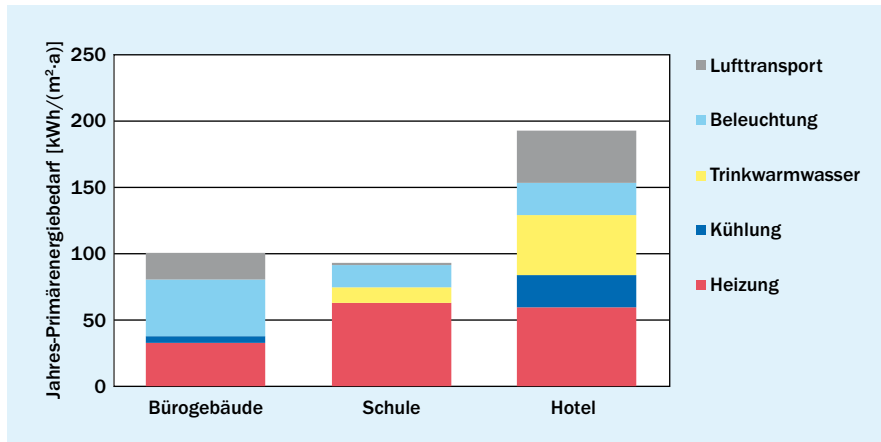


Bild 21 Jahres-Primärenergiebedarf für die Beispielgebäude gemäß Anforderungsniveau Gebäudeenergiegesetz

de am größten. Hier liegen die höchsten Anforderungen an die Beleuchtungsstärke vor. Beim Hotel resultiert aus dem hohen Wärmebedarf für Trinkwarmwasser ein entsprechend hoher Primärenergiebedarf.

10.4 Vereinfachtes Nachweisverfahren für Nichtwohngebäude

Durch die Aufteilung eines Gebäudes in Nutzungszonen wird ein Nachweisverfahren gemäß Gebäudeenergiegesetz, das auf DIN V 18599 verweist, deutlich umfangreicher als bei Wohngebäuden (Ein-Zonen-Gebäude). Hinzu kommt, dass z.B. im Beleuchtungsbereich die einzelnen Nutzungszonen aufgrund des Einsatzes unterschiedlicher Techniken nochmals weiter in Bereiche untergliedert werden können bzw. müssen. Vor diesem Hintergrund ist neben der ausführlichen Vorgehensweise nach

DIN V 18599 für Nichtwohngebäude im Rahmen des Gebäudeenergiegesetzes weitestgehend unverändert gegenüber der EnEV 2016 ein alternatives „vereinfachtes Verfahren“ aufgenommen, welches auf der Grundlage pauschaler Annahmen ebenfalls den Nachweis der Einhaltung des festgeschriebenen Anforderungsniveaus ermöglicht. Basis für die Berechnungen bildet dabei ein „Ein-Zonen-Modell“, bei dem die Hauptnutzung des Gebäudes die anzusetzenden Nutzungsrandbedingungen bestimmt.

Der Anwendungsbereich für das vereinfachte Verfahren berücksichtigt die Gebäudetypen „Bürogebäude“, „Geschäftshäuser (Bürogebäude mit Verkaufseinrichtung; Bürogebäude mit Restaurant)“, „Schulen und Kindergärten“

sowie „Hotels (mit einfacher Ausstattung)“, „Turnhallen“, „Gebäude des Groß- und Einzelhandels bis 1.000 m² NGF“, „Gewerbebetriebe bis 1.000 m² NGF“ und „Bibliotheken“. Dabei sind die Ausführung anlagentechnischer Komponenten für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung sowie Grenzen hinsichtlich der Anwendung des vereinfachten Verfahrens über den Flächenanteil der Hauptnutzung und der Verkehrsflächen vorgegeben: Die Summe der Flächen aus Hauptnutzung und Verkehrsfläche muss mindestens zwei Drittel der gesamten Nettogrundfläche des Gebäudes betragen.

Um eine Berechnung „auf der sicheren Seite“ zu gewährleisten, ist der zulässige Jahres-Primärenergiebedarf gegenüber der Berechnung des Referenzgebäudes um 10 % geringer anzusetzen. Der reduzierte Wert ist der Höchstwert des Jahres-Primärenergiebedarfs des zu errichtenden Gebäudes.

11. Ausblick

Die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes werden von den zuständigen Ministerien im Jahr 2023 überprüft, und es wird kurzfristig einen Gesetzgebungsvorschlag für eine Weiterentwicklung der Anforderungen an Neu- und Bestandsgebäude vorgelegt. Ebenso wird bis zum Jahr 2023 geprüft, wie und in welchem Umfang synthetisch erzeugte Energieträger auf regenerativer Basis in flüssiger oder gasförmiger Form bei der Erfüllung der Anforderungen an Neu- und Bestandsgebäude Berücksichtigung finden können.

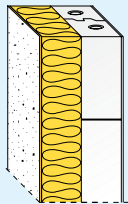
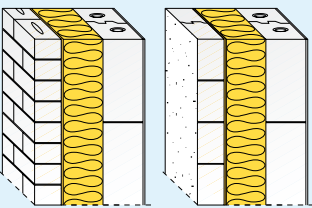
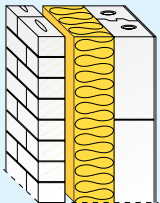
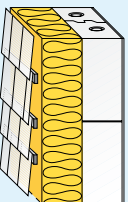
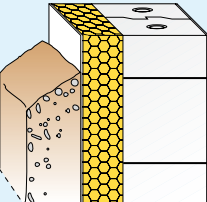
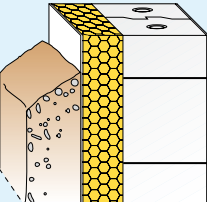
Die Ermittlung der Primärenergiefaktoren von Wärmenetzen, die aus KWK-Anlagen gespeist werden, wird hinsichtlich der Umstellung des Berechnungsverfahrens überprüft. Ebenso die Ermittlung eines Faktors, mit dem der Anteil bestehender Gebäude an den an ein Fernwärmenetz angeschlossenen Gebäuden berücksichtigt wird. Die zuständigen Ministerien werden den Be-

richt über die Untersuchungen bis zum Ende 2025 vorlegen. Ab 2030 sollen die neuen Regelungen in das Gesetz einfließen.

Die für Wohngebäude alternative Berechnungsmöglichkeit des Jahres-Primärenergiebedarfs nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 ist nur noch bis zum 31. Dezember 2023 zulässig. An diese Stelle soll ein vereinfachtes Tabellenverfahren gemäß Teil 12 der Normenreihe DIN V 18599 treten. Die Veröffentlichung des gegenüber der Ausgabe von 2016 deutlich überarbeiteten Normenteils ist für Anfang 2021 vorgesehen.

Die Tabellenverfahren der Normenteile 12 und 13 sollen im Zuge der genannten Überarbeitung des Gebäudeenergiegesetzes in 2023/24 in Bezug genommen werden.

Tafel 15 U-Werte von KS-Außenwänden (Beispiele)

	Dicke des Systems [cm]	Dicke der Dämmschicht [cm]	U [W/(m²·K)] λ [W/(m·K)]				Wandaufbau
			0,022	0,024	0,032	0,035	
	29,5	10	0,20	0,22	0,29	0,31	Einschalige KS-Außenwand mit Wärmedämm-Verbundsystem $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WAP 0,01 m Außenputz $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	33,5	14	0,15	0,16	0,21	0,23	
	35,5	16	0,13	0,14	0,19	0,20	
	39,5	20	0,11	0,11	0,15	0,16	
	43,5	24	0,09	0,10	0,13	0,14	
	49,5	30	0,07	0,08	0,10	0,11	
	41,0	10	0,19	0,21	0,27	0,29	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WZ 0,01 m Fingerspalt $R = 0,15 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,115 m ²⁾ KS-Verblendschale $\lambda = 1,1 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ (KS Vb RDK 2,0) ¹⁾ oder verputzte KS-Vormauerschale $R_{se} = 0,04 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	43,0	12	0,16	0,18	0,23	0,25	
	45,0	14	0,14	0,16	0,20	0,22	
	47,0	16	0,13	0,14	0,18	0,19	
	49,0	18	0,11	0,12	0,16	0,17	
	51,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	44,0	10	0,20	0,22	0,28	0,30	Zweischalige KS-Außenwand mit Wärmedämmung und Luftschicht $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Wärmedämmstoff Typ WZ $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ ≥ 0,04 m Luftschicht 0,115 m ²⁾ KS-Verblendschale (KS Vb RDK 2,0)
	46,0	12	0,17	0,18	0,24	0,26	
	48,0	14	0,15	0,16	0,21	0,22	
	50,0	16	0,13	0,14	0,18	0,20	
	52,0	18	0,12	0,13	0,16	0,18	
	54,0	20	0,10	0,11	0,15	0,16	
	31,5	10	-	-	0,28	0,30	Einschalige KS-Außenwand mit hinterlüfteter Außenwandbekleidung $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,175 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Nichtbrennbarer Wärmedämmstoff WAB $R_{se} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ 0,02 m Hinterlüftung 0,01 m Fassadenbekleidung
	33,5	12	-	-	0,24	0,26	
	37,5	16	-	-	0,18	0,20	
	41,5	20	-	-	0,15	0,16	
	45,5	24	-	-	0,13	0,14	
	51,5	30	-	-	0,10	0,11	
	47,5	10	-	-	-	0,34	Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung) $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,8) ¹⁾ $\lambda = 0,99 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Perimeterdämmung ³⁾ Typ PW $R_{se} = 0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	51,5	14	-	-	-	0,26	
	53,5	16	-	-	-	0,24	
	57,5	20	-	-	-	0,20	
	61,5	24	-	-	-	0,18	
	47,5	10	-	-	-	0,32	
	51,5	14	-	-	-	0,25	Einschaliges KS-Kellermauerwerk mit außen liegender Wärmedämmung (Perimeterdämmung) $R_{si} = 0,13 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ 0,01 m Innenputz 0,365 m Kalksandstein (RDK 1,4) ¹⁾ $\lambda = 0,70 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ Perimeterdämmung ³⁾ Typ PW $R_{se} = 0 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$
	53,5	16	-	-	-	0,23	
	57,5	20	-	-	-	0,20	
	61,5	24	-	-	-	0,17	

Zur Berechnung der U-Werte sind ausschließlich Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_b anzusetzen.

¹⁾ Bei anderen Dicken oder Steinrohdklassen ergeben sich nur geringfügig andere U-Werte.

²⁾ 9 cm möglich, nach DIN EN 1996-2/NA

³⁾ Der Zuschlag $\Delta U = 0,04 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ nach allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist bereits berücksichtigt.

Tafel 16 Empfehlungen und Ausführungsbeispiele zum Bau von KfW-Effizienzhäusern für Einfamilien-, Doppel- und Reihenhäuser

	KfW Effizienzhaus 55	KfW Effizienzhaus 55 (Nachweis nach Referenzwerten) ¹⁾	KfW Effizienzhaus 40 / KfW Effizienzhaus 40 Plus ²⁾	
Kalksandstein-Außenwand mit WDVS	$U \leq 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 20 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 16 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,12 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 28 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 20 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Zweischalige Kalksandstein-Außenwand mit Kerndämmung	Dämmung: $d = 14 \text{ cm}$, $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ oder $d = 18 \text{ cm}$, $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Dämmung: $d = 14 \text{ cm}$, $\lambda = 0,032 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ oder $d = 16 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Dämmung: $d = 20 \text{ cm}$, $\lambda = 0,024 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Dämmung: $d = 20 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
Bodenplatte / Decke zum unbeheiztem Keller, Dämmung unter Estrich	$U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 16 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 15 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 25 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	
Kalksandstein-Kellerwand mit Perimeterdämmung	$U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, Dämmung: $d = 16 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 15 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,18 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Dämmung: $d = 25 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	
Dach	$U \leq 0,16 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Zwischensparrendämmung $d = 24 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ und Untersparrendämmung $d = 3 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Zwischensparrendämmung $d = 24 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ und Untersparrendämmung $d = 6 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	$U \leq 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ Zwischensparrendämmung $d = 24 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ und Untersparrendämmung $d = 12 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	
Oberste Geschossdecke	$U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$U \leq 0,11 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	
Dämmung auf Stahlbetondecke	Dämmung: $d = 24 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Dämmung: $d = 24 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Dämmung: $d = 30 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	
Kehlbalkenlage	Aufsparrendämmung $d = 10 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ und Zwischensparrendämmung $d = 18 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Aufsparrendämmung $d = 10 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ und Zwischensparrendämmung $d = 18 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Aufsparrendämmung $d = 16 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ und Zwischensparrendämmung $d = 18 \text{ cm}$, $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	
Fenster dreifach Wärmeschutzglas	$U_w \leq 1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / g \geq 0,55$	$U_w \leq 0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / g \geq 0,55$	$U_w \leq 0,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) / g \geq 0,55$	
Wärmebrücken mit detailliertem Nachweis	$\Delta U_{WB} \leq 0,025 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\Delta U_{WB} \leq 0,035 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\Delta U_{WB} \leq 0,025 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$\Delta U_{WB} \leq 0,01 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ optimierte Details
Luftdichtheit mit Nachweis	$n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$	$n_{50} \leq 1,5 \text{ h}^{-1}$	
Anlagenvarianten	Brennwertkessel mit solarer Trinkwarmwasser-Unterstützung und Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung oder Wärmepumpe (Luft/Wasser) oder (Erdreich/Wasser) mit solarer Trinkwarmwasser-Unterstützung oder Wärmepumpe (Erdreich/Wasser) mit Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	Brennwertkessel, solare Trinkwarmwasser-Bereitung (Standardwerte nach DIN V 4701-10), zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad > 80 %) oder Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Flächenheizsystem zur Wärmeübergabe, zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad > 80 %)	Wärmepumpe (Luft/Wasser) mit solarer Trinkwarmwasser-Unterstützung und Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung oder Wärmepumpe (Erdreich/Wasser) mit solarer Trinkwarmwasser-Unterstützung und Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung	

¹⁾ Beim „Nachweis nach Referenzwerten“ ist für die energetische Anlagentechnik eines von acht Anlagenkonzepten obligatorisch umzusetzen. Die in der Tabelle aufgeführten Systeme sind exemplarisch genannt. Weitere Angaben sind in der Anlage zum Merkblatt für das Programm Energieeffizient Bauen (153) der KfW zu finden.

²⁾ Das Effizienzhaus 40 Plus erfüllt die Anforderungen an ein KfW-Effizienzhaus 40 und verfügt über eine stromerzeugende Anlage auf Basis erneuerbarer Energien, einen Stromspeicher, eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und eine Visualisierung von Stromerzeugung und Stromverbrauch über ein entsprechendes Benutzerinterface.

Literatur

- [1] Europäische Union: Richtlinie 2010/31/EU des Europäischen Parlaments und des Rats vom 19. Mai 2010 über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD). Amtsblatt der Europäischen Union, 53. Jahrgang, 18. Juni 2010, S. 13–35.
- [2] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG), Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2020, Teil I, Nr. 37, Bundesanzeiger Verlag, 13. August 2020, S. 1728–1794.
- [3] Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung, Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2013, Teil I, Nr. 67, Bundesanzeiger Verlag, 21. November 2013, S. 3951–3990.
- [4] DIN V 4108-6:2003-06 Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden. Berechnung des Jahres-Heizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs.
- [5] DIN V 4701-10 Beiblatt 1:2007-02 Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung; Beiblatt 1: Anlagenbeispiele.
- [6] DIN V 4701-10:2003-08 Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.
- [7] DIN V 4701-10:2006-12, Änderungsblatt A1 Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung.
- [8] DIN V 18599:2018-09: Energetische Bewertung von Gebäuden. Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung.
- [9] Statistisches Bundesamt Deutschland: Verbraucherpreisindizes, August 2020 (www.destatis.de).
- [10] Umweltbundesamt: Daten, Energieverbrauch privater Haushalte; Juli 2020 (www.umweltbundesamt.de).
- [11] statista: Beheizungsstruktur im Wohnungsneubau in Deutschland in 2019, April 2020 (de.statista.com).
- [12] Hauser, G.: Beeinflussung des Innenklimas durch Außenwände und durch Wintergärten. Bauphysik 9 (1987), H. 5, S. 155–162; Glaswelt 41 (1988), H. 10, S. 12–16, H. 11, S. 52–56.
- [13] Hauser, G.; Otto, F.: Auswirkungen eines erhöhten Wärmeschutzes auf die Behaglichkeit im Sommer. Bauphysik 19 (1997), H. 6, S. 169–176; 21. Internationaler Velta Kongreß '99, S. 39–53.
- [14] DIN 4108-7:2011-01 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden, Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele.
- [15] DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- [16] DIN EN 410:2011-04: Glas im Bauwesen – Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen. Deutsche Fassung EN 410:2011.
- [17] Fux, V.: Hochschule für Technik, Stuttgart: Thermische Gebäudesimulation zum sommerlichen Wärmeschutz nach DIN 4108-2:2013, Bericht 2013.
- [18] DIN 4108 Beiblatt 2:2019-06: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele.
- [19] Hauser, G.; Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Mauerwerksbau. Bauverlag, Wiesbaden 1990, 2. durchgesehene Auflage 1993.
- [20] Hauser, G.; Stiegel, H.: Wärmebrücken-Atlas für den Holzbau. Bauverlag, Wiesbaden 1992.
- [21] Hauser, G.; Schulze, H.; Stiegel, H.: Wärmetechnische Optimierung von Anschlussdetails bei Niedrigenergiehäusern und Erarbeitung von Standardlösungen. Fraunhofer IRB-Verlag, Stuttgart 1996.
- [22] Hauser, G.; Stiegel, H.; Haupt, W.: Wärmebrückenkatalog auf CD-ROM. Ingenieurbüro Hauser, Baunatal 1998.
- [23] KS-Wärmebrückenkatalog online unter www.ks-waermebruecken.de.
- [24] DIN EN ISO 9972:2018-12 Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren.
- [25] DIN EN ISO 13786:2008-04 Wärmetechnisches Verhalten von Bauteilen – Dynamisch-thermische Kenngrößen – Berechnungsverfahren.
- [26] Hauser, G.: Vergleich des jährlichen Wärme- und Energieverbrauchs von Einfamilienhäusern in Leicht- und Schwerbauweise. Bundesbaublatt 33 (1984), H. 2, S. 120–124; Bauen mit Holz 86 (1984), H. 5, S. 293–297; wksb 29 (1984), H. 18, S. 10–15.
- [27] Hauser, G.: Einfluss des Wärmedurchgangskoeffizienten und der Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen auf den Heizenergieverbrauch von Gebäuden. – Literaturstudie. Bauphysik 6 (1984), H. 5, S. 180–186, H. 6, S. 207–213.
- [28] Hauser, G.: Einfluss der Baukonstruktion auf den Heizwärmeverbrauch. In: Beckert, J.; Mechel, F. P.; Lamprecht, H.-O.: Gesundes Wohnen. Wechselbeziehungen zwischen Mensch und gebauter Umwelt. Beton-Verlag (1986), S. 405–417.
- [29] Hauser, G.; Otto, F.: Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf Heizwärmebedarf und sommerliches Wärmeverhalten. db 134 (2000), H. 4, S. 113–118.
- [30] Hauser, G.; Otto, F.: Wärmespeicherfähigkeit und Jahresheizwärmebedarf. Mikado (1997), H. 4, S. 18–22.
- [31] Schlitzberger, S.; Kempkes, C.; Maas, A.; Schäfers, M.: Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf Heizwärmebedarf und thermischen Komfort. Bauphysik 39 (2017), H. 3, S. 57–63.
- [32] DIN EN ISO 6946:2018-03 Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren (ISO 6946: 2017); Deutsche Fassung EN ISO 6946:2017.
- [33] DIN EN ISO 10077-1:2018-01 Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten, Teil 1: Allgemeines.
- [34] DIN EN ISO 10211:2018-03 Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen (ISO 10211:2007); Deutsche Fassung EN ISO 10211:2007.
- [35] Maas, A., Erhorn, H., Oschatz, B., Schiller, H.: Untersuchung zur weiteren Verschärfung der energetischen Anforderungen an Gebäude mit der EnEV 2012 – Anforderungsmethodik, Regelwerk und Wirtschaftlichkeit. Forschungsprojekt im Auftrag des BBR, BMVBS-Online-Publikation, Nr. 05/2012, 2012 (www.bbsr.bund.de).
- [36] David, R.; de Boer, J.; Erhorn, H.; Reiß, J.; Rouvel, L.; Schiller, H.; Weiß, N.; Wenning, M.: Heizen, Kühlen, Belüften & Beleuchten. Bilanzierungsgrundlagen nach DIN V 18599. Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2006.

KS* Partner in Ihrer Nähe.



→ ks-original.de/partner
☎ 0800 7002070

KS* Partner im Überblick.

- | | | |
|--|--|---|
| <p>01 Baustoffwerk Kastendiek von Fehm →ks-we.de ¹⁾</p> <p>02 Baustoffwerke Dresden →baustoffwerke-dresden.de</p> <p>03 Baustoffwerke Horsten →bauhorst.de</p> <p>04 BMO KS-Vertrieb Bielefeld-Münster-Osnabrück →bmo-ks.de</p> | <p>05 Cirkel →cirkel.de</p> <p>06 Dennert Baustoffwelt →dennert.de</p> <p>07 E. Bayer Baustoffwerke →eb-bayer.de</p> <p>08 Eifeler Kalksandstein- und Quarzwerke →ekqw.de</p> <p>09 Emsländer Baustoffwerke →emslaender.de</p> <p>10 Hessisches Bausteinwerk Dr. Blasberg →swkv.de ¹⁾</p> <p>11 Höttinghauser Industrierwerke →ks-we.de ¹⁾</p> <p>12 Kalksandsteinwerk Bookholzberg</p> <p>13 Kalksandsteinwerk Bösel →ks-we.de ¹⁾</p> <p>14 Kalksandsteinwerk Krefeld-Rheinhafen →ksw-krefeld.de</p> | <p>15 Kalksandsteinwerk Rückersdorf →h-niemeier.de</p> <p>16 Kalksandsteinwerk Wemding →ks-wemding.de</p> <p>17 Kalksandsteinwerk Wendeburg Radmacher →ks-radmacher.de</p> <p>18 Kalksandsteinwerke Schencking →ks-schencking.de
→fasenstein.de</p> <p>19 Peter Kalksandsteinwerk →swkv.de ¹⁾</p> <p>20 Zapf Daigfuss Vertrieb →zapf-daigfuss.de</p> |
|--|--|---|

Finden Sie den regionalen KS* Partner in Ihrer Nähe sowie detaillierte Informationen rund um den Wandbaustoff Kalksandstein:

→ ks-original.de

Kalksandstein
KS*

DAS ORIGINAL

KS-ORIGINAL GMBH
Entenfangweg 15
30419 Hannover

Tel.: +49 511 27953-0
Fax: +49 511 27953-31
info@ks-original.de
ks-original.de



Einfach einscannen und
Fachinformationen entdecken.