

Verwaltungs GmbH:

**Mein Ziegelhaus
GmbH & Co. KG**

Märkerstraße 44

63755 Alzenau

Internet: www.meinziegelhaus.de

Technische Geschäftsführung:

**Mein Ziegelhaus
GmbH & Co. KG**

Rheinufer 108

53639 Königswinter

Internet: www.meinziegelhaus.de

1. Einleitung			8. Anlagentechnik	
1.1 Chronik der Verordnungsgebung	2		8.1 Allgemeines	32
1.2 Zielsetzung der Novelle 2009	2		8.2 Trinkwarmwasserbereitung	32
1.3 Hinweise zur Nutzung der Broschüre	4		8.3 Mechanische Lüftungsanlagen	33
1.4 Hinweise zu den Anforderungsgrößen	4		8.4 Heizungsanlagen	33
1.5 Verordnungstext	4		8.5 Bewertung nach DIN V 4701-10	34
1.6 Flankierende Normen und Regeln	4		8.6 Anlagen zur Kühlung	35
2. Energiebilanz eines Wohngebäudes			9. Anforderungen 2009	
2.1 Energiebilanz und Heizwärmebedarf	5		9.1 Anforderungen an zu errichtende Wohngebäude	36
2.1.1 Wärmeverluste	5		9.2 Luftdichtheit der Gebäudehülle	39
2.1.2 Wärmegewinne	6		9.3 Berücksichtigung der Wärmebrücken	39
2.1.3 Heizwärmebedarf	7		9.4 Sommerlicher Wärmeschutz	39
2.2 Heizenergiebedarf	7		9.5 Anforderungen an die Anlagentechnik	39
2.3 Primärenergiebedarf	8		9.6 Anforderungen aus dem Erneuerbare-Energien- Wärmegesetz 2009	40
2.4 Klima- und Nutzereinflüsse	8		9.7 Energieausweise	41
3. Monatsbilanz-Verfahren nach DIN V 4108-6			10. Nachweis für zu errichtende Wohngebäude	
3.1 Verfahrensweg	10		10.1 Beispiel Einfamilien-/Doppelhaus	42
3.2 Ermittlung der Wärmeverluste	10		11. Sommerlicher Wärmeschutz	
3.2.1 Transmissionswärmeverluste	10		11.1 Einleitung	46
3.2.2 Lüftungswärmeverluste bei freier Lüftung	11		11.2 Verfahren	46
3.2.3 Lüftungswärmeverluste bei maschineller Lüftung	12		11.3 Anforderungen	47
3.2.4 Gesamtverluste	12		11.4 Speicherfähigkeit und Bauart	47
3.3 Ermittlung der Wärmegewinne	12		12. Bewertung von Bestandswohngebäuden	
3.3.1 Interne Wärmegewinne	12		12.1 Einleitung	48
3.3.2 Solare Wärmegewinne durch transparente Bauteile	12		12.2 Randbedingungen zur Energiebilanz	48
3.3.3 Solare Wärmegewinne durch opake Bauteile	13		12.3 Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung	48
3.3.4 Transparente Wärmedämmung	13		12.3.1 Regeln der Technik	48
3.3.5 Unbeheizte Glasvorbauten	13		12.3.2 Vereinfachungen beim geometrischen Aufmaß	48
3.3.6 Heizunterbrechung – Nachtabstaltung	14		12.3.3 Energetische Qualität von Bauteilen und Anlagentechnik	49
3.3.7 Ausnutzungsgrad der Gewinne	14		12.4 Beispiel Bestandswohngebäude und Sanierungsempfehlungen	50
3.4 Ermittlung des Heizwärmebedarfs	14		12.5 Anforderungen an Einzelbauteile	51
3.5 Klimadaten	15		13. Checkliste zum Niedrigenergiehaus	54
4. Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U			14. Wärmetechnische Bemessungswerte	
4.1 Luftberührte Bauteile	16		14.1 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz	55
4.1.1 Standardfälle	16		14.2 Tabellierte Bemessungswerte	56
4.1.2 Sonderfälle	17		14.3 Historisches Ziegelmauerwerk	63
4.2 U-Wert Ermittlung von Türen, Fenstern und verglasten Bauteilen	17		15. Literatur	
4.3 U-Wert Ermittlung erdberührter Bauteile	17		15.1 Normen und Regelwerke	65
5. Tabellierte Baustoff-/Bauteilkennwerte			15.2 Fachliteratur	66
5.1 Außenwände	18		15.3 Weiterführende Literatur	66
5.2 Innenwände	21		16. Führer durch die Normung	67
5.3 Fenster	22		17. Glossar	68
5.4 Dächer	24		18. Stichwortverzeichnis	69
5.5 Decken, Fußböden	26		Anhang: Energieausweis / Muster	70
6. Wärmebrücken				
6.1 Vorbemerkungen	27			
6.2 Geometrische Wärmebrücken	27			
6.3 Materialbedingte Wärmebrücken	27			
6.4 Konvektive Wärmebrücken	28			
6.5 Zusätzliche Wärmeverluste	28			
6.6 Einfluss auf den Heizwärmebedarf	29			
7. Luftdichtheit				
7.1 Einleitung	30			
7.2 Luftwechselzahlen	30			
7.3 Prüfung der Luftdichtheit	30			
7.4 Luftdichtheitskonzept	31			
7.5 Luftdichte Bauteilanschlüsse	31			

1. Einleitung

1.1 Chronik der Verordnungsgebung

Am 22. Juli 1976 erließ der Bundestag mit Zustimmung des Bundesrates das erste Gesetz zur Einsparung von Energie in Gebäuden (EnEG), das die Grundlage für die von der Bundesregierung erlassenen Rechtsverordnungen über einen energiesparenden Wärmeschutz von Gebäuden (Wärmeschutzverordnung) und über energiesparende Anforderungen an heizungstechnische Anlagen sowie Brauchwasseranlagen (Heizanlagen-Verordnung) bildet. Das festgelegte Anforderungsniveau muss sicherstellen, dass die notwendigen Investitionen im Regelfall je nach Energiepreis und Bedingungen des Kapitalmarktes innerhalb der Gebäudenutzungsdauer erwirtschaftet werden (Wirtschaftlichkeitsgebot). Da diese Festlegungen die energetische Ertüchtigung des Gebäudebestands weitestgehend ausklammerte, ist das EnEG im September 2005 umfänglich erweitert worden. So sind zur Umsetzung der europäischen Richtlinie 2002/91/EG über die „Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden“ neben Regelungen zur Klimatisierung und elektrischen Beleuchtung von zu errichtenden Gebäuden die Erstellung von Energieausweisen für bestehende Gebäude erlassen worden.

In der ersten Wärmeschutzverordnung, die am 1. November 1977 in Kraft trat, wurden Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten der wärmeübertragenden Umfassungsflächen von Gebäuden festgelegt. Für ein durchschnittliches Einfamilien-Doppelhaus mit einem Hüllflächen/Volumen-Verhältnis (A/V) von $0,7 \text{ m}^{-1}$ war ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient k_m von höchstens $0,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ sicherzustellen. Im Laufe der Novellierungen wurden die Anforderungsgrößen von den eingangs betrachteten Transmissionswärmeverlusten erweitert um die passiven Solargewinne, um die internen Wärmegegewinne und um die Lüftungswärmeverluste und somit eine Raumwärmebilanz zur Grundlage der Anforderungen.

Mit der Energieeinsparverordnung 2001 (EnEV) wurden die alte Wärmeschutzverordnung und die Heizanlagenverordnung zusammengeführt, so dass neben den architektonischen Aspekten und baulichen Komponenten auch die anlagentechni-

schen Einflüsse und energieverorgungstechnische Gegebenheiten mit bewertet werden können. Die Anforderungen sollen den Heizenergiebedarf für die Beheizung der Gebäude und die Warmwasserbereitung reduzieren und den dazu notwendigen Primärenergiebedarf begrenzen (Bild 1). Daneben können alternative Energiequellen erstmalig mit ihrem Energiebeitrag angerechnet werden. In einer Nebenanforderung werden die Transmissionswärmeverluste begrenzt, um den Standard des baulichen Wärmeschutzes nicht unter den der Wärmeschutzverordnung von 1995 absinken zu lassen. Diese Begrenzung macht einen Vergleich zum zuvor zitierten Anforderungsniveau der siebziger Jahre deutlich: Für ein Doppelhaus (s.o.) darf nun der mittlere spezifische Transmissionswärmeverlust, der in etwa dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten k_m entspricht, den Wert von $0,51 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nicht überschreiten.

In den letzten Jahren trat auf Grund des nachhaltigen CO_2 -Anstiegs der Erdatmosphäre und der damit in Verbindung stehenden Klimaerwärmung der politische Zwang zu weiteren Energieeinsparungen im Gebäudesektor in den Vordergrund. Das Wirtschaftlichkeitsgebot energiesparender Maßnahmen und der damit verbundene „Bestandsschutz“ bei Gebäuden traten mit dem alten Energieeinspargesetz in den Hintergrund. Die Verpflichtung zur Ausstellung von Energieausweisen sollte im Immobilienmarkt als Anreiz zur energetischen Ertüchtigung der Bestandsgebäude gesehen werden.

Die Vorschriften zur Energieeinsparung bei Neubauten und zur Erstellung von Energieausweisen sind mit der 2007 in Kraft getretenen Energieeinsparverordnung [R1] gegenüber der Verordnung von 2001 nicht verschärft worden. Die Nachweisverfahren für Wohngebäude blieben nahezu unverändert, lediglich bei Vorhandensein einer Raumluftkühlung musste diese über pauschale Ansätze mit bewertet werden. Im Bereich der Nichtwohngebäude entstand allerdings ein gegenüber der Vergangenheit erheblich erweiterter Nachweis- und Bearbeitungsumfang. Hierzu ist eine neue Norm DIN V 18599 [R25] geschaffen worden, mit der die Berechnung beheizter, gekühlter und mit elektrischer Beleuchtung beaufschlagter Gebäude jeglicher Nutzung ermöglicht wird.

1.2 Zielsetzung der Novelle 2009

Die EnEV als umsetzende Verordnung basiert auf den Rahmenbedingungen zur Wirtschaftlichkeit energiesparender Maßnahmen des im Frühjahr 2009 ebenfalls novellierten Energieeinsparungsgesetz (EnEG) [R23]. Sie gehört damit zum Recht der Wirtschaft, vor allem der Bau- und Wohnungswirtschaft. Die Gesetzgebungskompetenz des Bundes beruht auf Artikel 74 Abs. 1 Nr. 11 GG. Zur Wahrung der Rechts- und Wirtschaftseinheit ist im gesamtstaatlichen Interesse eine bundesrechtliche Regelung im Sinne des Artikels 72 Abs. 2 GG erforderlich. Insbesondere die vorgesehenen Verschärfungen der materiell-rechtlichen Anforderungen in der Energieeinsparverordnung haben unmittelbaren Einfluss auf die Herstellung der zur Errichtung, Änderung und Nutzung von Gebäuden benötigten Bauprodukte.

Nach den Beschlüssen der Bundesregierung zum Energie- und Klimaprogramm in der Energieeinsparverordnung soll niemand auf Grund der verschärften Anforderungen wirtschaftlich überfordert werden. Nicht zumutbare finanzielle Härten für die betroffenen Hauseigentümer sollen ausdrücklich Berücksichtigung finden. Praktische Bedeutung gewinnt der Grundsatz der wirtschaftlichen Zumutbarkeit bei Anforderungen im Gebäudebestand, insbesondere in Fällen der Kumulation verschiedener Pflichten, z.B. zur Nachrüstung von Gebäuden und Anlagen und zur Außerbetriebnahme elektrischer Speicherheizsysteme.

Die energetische Ertüchtigung des Wohngebäudebestands wird von der Bundesregierung stärker als bisher eingefordert und mit bislang nicht bekannten Bußgeldtatbeständen im Falle der Nichterfüllung sanktioniert. Ebenso soll der Vollzug der Verordnung durch die wachsamen Augen des Schornsteinfegers eine stärkere Umsetzung erfahren als bisher. Parallel zur Novellierung der EnEV ist bereits Anfang 2009 ein weiteres wichtiges Gesetz, das Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) [R24] in Kraft getreten, das im Neubau den verpflichtenden Einsatz regenerativer Energieträger verlangt. Da dieses Gesetz hinsichtlich der technischen Belange mit dem EnEV-Verfahren korres-

pondiert, ist eine gegenseitige Abstimmung dieser zwei Regelungen unabdingbar, wenngleich bislang nicht befriedigend erfolgt. Die Nachweisverfahren der Verordnung sollen möglichst für alle Gebäudetypen und -nutzungen vereinheitlicht werden. Dies führt zu einer Anpassung der Rechenprozedur, die mit der nächsten EnEV-Novelle 2012 abgeschlossen werden soll.

Der Verordnungsgeber ist bei der Festlegung von Anforderungen in der Verordnung, soweit es sich um zu errichtende Gebäude handelt, an die gesetzlichen Auflagen des §5 Abs.1 des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) gebunden. Danach müssen die zusätzlichen, durch die energiesparenden Maßnahmen bedingten Aufwendungen sich generell durch die eintretenden Einsparungen innerhalb der üblichen Nutzungsdauer

des Gebäudes und seiner Teile erwirtschaften lassen. Werden Anforderungen im Zusammenhang mit der freiwilligen Änderung bestehender Gebäude gestellt, ist die noch zu erwartende Nutzungsdauer des Gebäudes zu berücksichtigen.

Die Bundesregierung hat zu den geplanten materiellen Verschärfungen, Nachrüst- und Außerbetriebnahmeverpflichtungen gutachterliche Einschätzungen zu den daraus resultierenden Mehrkosten, den Energieeinsparpotentialen und den Amortisationszeiten eingeholt. Die Gutachten sollen belegen, dass die Anforderungen dieser Änderungsverordnung den gesetzlichen Vorgaben an die wirtschaftliche Vertretbarkeit genügen. Bei der Festlegung des erhöhten Anforderungsniveaus muss auf bauwirtschaftliche und bautechnische Gesichtspunkte sowie auf die Zumutbarkeit und Vermitt-

telbarkeit gegenüber den Betroffenen Rücksicht genommen werden. Außerdem gilt es, die absehbaren Baukostensteigerungen durch maßvolle Verschärfungen in Grenzen zu halten. In diesem Zusammenhang ist das derzeitige Angebot an Bauprodukten und Bauweisen zu berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund hat die Bundesregierung entschieden, die Verschärfung des Anforderungsniveaus in zwei Schritten zu vollziehen. Neben der nun geltenden Änderungsverordnung 2009 soll im Jahre 2012 ein weiterer Novellierungsschritt vorbereitet werden, der eine neuerliche Verschärfung der energetischen Anforderungen bis zur gleichen Größenordnung erreichen kann, allerdings in Abhängigkeit von den wirtschaftlichen und sonstigen technischen Rahmenbedingungen.

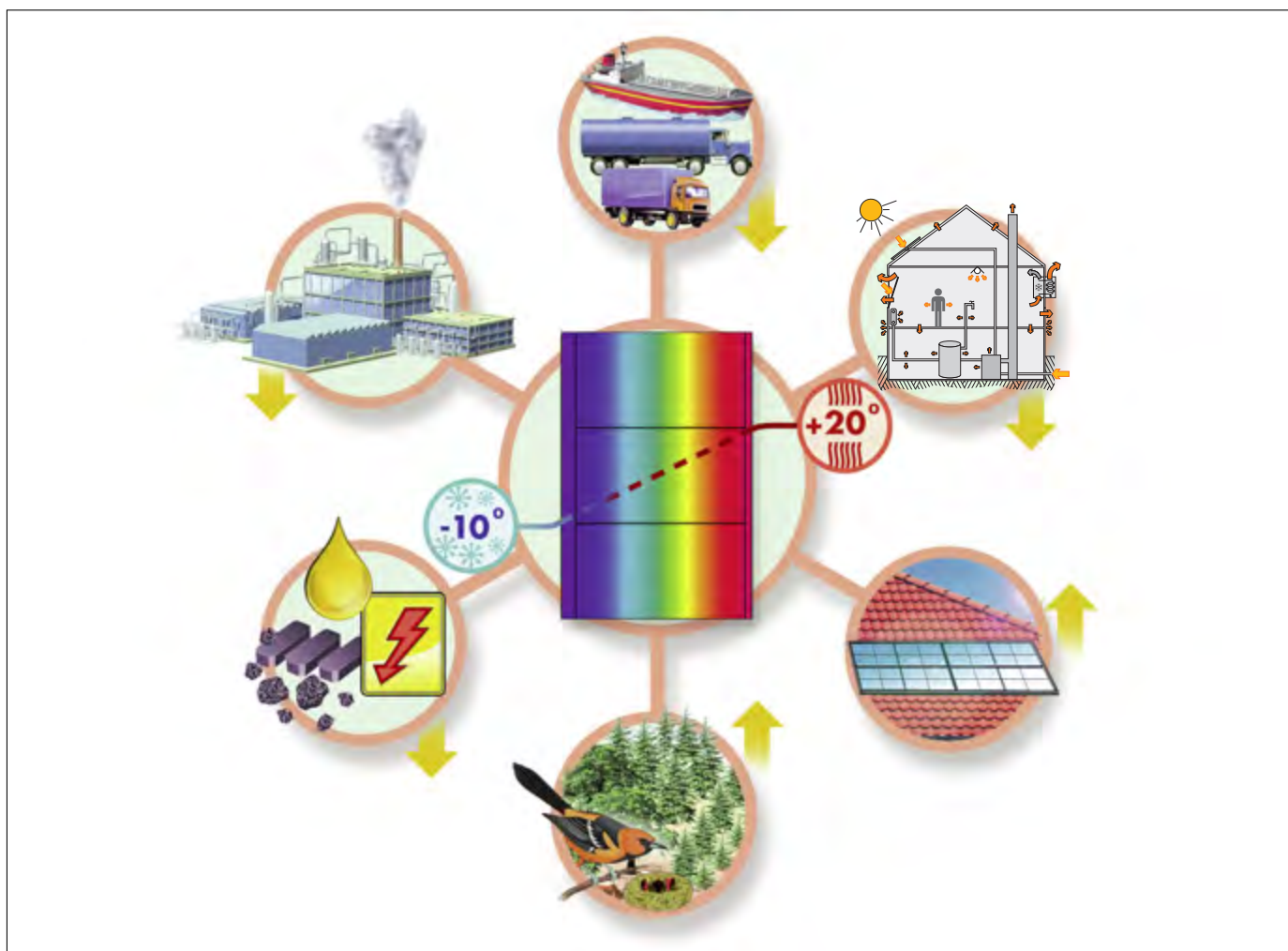


Bild 1: Von der Raumwärme zum CO₂-Verbrauch

1.3 Hinweise zur Nutzung der Broschüre

Es kann nicht erwartet werden, dass ein EnEV-Nachweisführender sämtliche Regelwerke rund um die EnEV kennt oder gar verinnerlicht hat. Diese Broschüre versucht mit Hilfe der Grundlagen zur Energiebilanz, mit Beispielrechnungen und mit der auszugsweisen Darstellung der wichtigsten Regeln dem Leser die Thematik nahe zu bringen. Aus der Erfahrung der letzten Jahre sollte zur Nachweisführung unbedingt ein PC-Nachweisprogramm verwendet werden. Damit lassen sich EnEV-Nachweise schnell und zuverlässig durchführen ohne ein Normenstudium erforderlich zu machen. Nichts desto Trotz lassen sich immer wieder interpretationsbedürftige oder unvollständige Regelungsinhalte finden, die eine ingenieurmäßige Betrachtungsweise herausfordern. Daher wird in diesem Papier immer wieder auf das von der Ziegelindustrie entwickelte PC-Nachweisprogramm verwiesen, welches den Anwender zielgerichtet zum gewünschten Ergebnis führt.

Sowohl diese Broschüre als auch das PC-Programm sind nach bestem Wissen und den Regeln der Technik erstellt. Für den Ausschluss von Fehlern kann von der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel im Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie keine Gewähr übernommen werden. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass die neuen Regelwerke einer ständigen Anpassung unterliegen, die möglichst zeitnah in die Hilfsmittel eingearbeitet wird. Daher wird eine regelmäßige Aktualisierung dieser Hilfsmittel durch die Herausgeber erfolgen.

Für Wohngebäude mit Neu- und Altbaustandard kann der Nachweis immer nach dem Monatsbilanzverfahren geführt werden. Das aus der Vergangenheit bekannte vereinfachte Heizperiodenbilanzverfahren darf in der EnEV 2009 nicht mehr angewandt werden. Als Grund lässt sich anführen, dass der verbesserte Wärmeschutz zukünftiger Gebäude mit dieser Bilanzierungsmethodik einer starren Heizperiodenlänge keine sachgerechte Bewertung des Energiebedarfs zulässt. Daher ist die Anwendung des Monatsbilanzverfahrens innerhalb des angesprochenen Ziegel-PC-Rechenprogramms zukünftig allein möglich.

1.4 Hinweise zu den Anforderungsgrößen

Durch die Inbezugnahme des primär-energetischen Ansatzes unter Berücksichtigung der Anlagentechnik wird der Eindruck verstärkt, dass eine verbrauchsorientierte Nachweisführung vorliegt und die Ergebnisse recht nah an den tatsächlich zu erwartenden Verbrauchsdaten liegen.

Vor diesen zumindest für den Regelfall unberechtigten Erwartungen soll an dieser Stelle ausdrücklich gewarnt werden. Sämtliche Berechnungen zum Energiebedarf werden mit so genannten normierten Randbedingungen durchgeführt und ergeben einen rechnerischen Endenergie- und Primärenergiebedarf. Dies gilt sowohl für zu errichtende Wohngebäude als auch für Bestandswohngebäude, für die zur Erstellung eines Energieausweises deren Energiebedarf rechnerisch ermittelt wird.

Erst im Gebäudebetrieb unter Berücksichtigung des tatsächlichen Innen- und des Außenklimas, des Nutzerverhaltens und der Betriebsweise der Anlagentechnik stellt sich der dann messbare tatsächliche Energieverbrauch ein. Zwischen diesen beiden Kennwerten kann eine erhebliche Differenz liegen, deren Betrag sich aus den verschiedenen in Kapitel 2 näher erläuterten Bilanzeffekten ergibt.

So besteht im Rahmen der Erstellung von Energieausweisen für Bestandsgebäude durchaus die Möglichkeit, diese auf Basis eines Energieverbrauchs anzufertigen. Aber auch bei Anwendung dieser Prozedur ist zumindest eine rechnerische Korrektur der Klimadaten des betrachteten Verbrauchszeitraums vorzunehmen.

1.5 Verordnungstext

Der Verordnungstext der Änderung der Energieeinsparverordnung ist im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23 am 30. April 2009 [R21] veröffentlicht. Eine nichtamtliche Lesefassung des gesamten Verordnungstextes kann im Internet unter www.ziegel.de eingesehen und ausgedruckt werden. Alle in

dieser Novelle berücksichtigten Inhalte zu Wohngebäuden sind in dieser Broschüre sowie im PC-Nachweisprogramm berücksichtigt.

1.6 Flankierende Normen und Regeln

Die zur EnEV-Nachweisführung notwendigen Normen werden in der Literaturübersicht aufgeführt sind und im Broschürentext an entsprechender Stelle zitiert. Zu den wichtigsten Normen gehört DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung im Hochbau“ mit insgesamt 9 Normteilen dieser Reihe [R2-R10]. Daneben sind europäisch harmonisierte Rechenwerke in Bezug genommen, die vor allem Rechenregeln und Bewertungsverfahren bauphysikalischer Effekte beinhalten. Die Bewertung der Anlagentechnik erfolgt mittels DIN V 4701-10 „Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen“ [R11]. Da einige Normpapiere nebeneinander entstanden sind und der Prozess der Harmonisierung noch lange Zeit nicht abgeschlossen ist, lassen sich teilweise widersprüchliche Regelungen nicht vermeiden. Auch auf diese Schwachpunkte wird in der vorliegenden Broschüre an geeigneter Stelle hingewiesen.

Für Bestandswohngebäude stehen weiterhin die Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung zur Verfügung. Diese werden ergänzt um Regeln zu Verbrauchskennwerten von Wohngebäuden. Diese so genannten allgemein anerkannten Regeln der Technik unterliegen einer ständigen Überarbeitung und müssen daher vom Anwender auf Aktualität laufend überprüft werden.

Um dem Leser eine Übersicht der relevanten Regelwerke zu erlauben, sind alle Normen und die unmittelbar zur Verordnung gehörenden Texte in der Literaturübersicht mit dem Buchstaben R gekennzeichnet.

Als besonders hilfreich erweist sich die Beachtung der sogenannten Auslegungsfragen zur EnEV, die durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin in loser Folge kommentiert und im Internet veröffentlicht werden.

2. Energiebilanz eines Wohngebäudes

2.1 Energiebilanz und Heizwärmebedarf

Heizenergie ist im hiesigen Klima notwendig, um ein gewünschtes Temperaturniveau im Raum sicher zu stellen und die daraus resultierenden Wärmeverluste auszugleichen. Hierbei wird eine möglichst hohe Behaglichkeit angestrebt, die durch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der raumschließenden Flächen erreicht wird. Maßnahmen zur Energieeinsparung durch Reduzierung des Behaglichkeitsniveaus, z.B. durch Absenkung der Raumlufttemperatur und Drosselung der Frischluftzufuhr, haben sich in den letzten Jahren als nicht akzeptierte bzw. falsch verstandene Energieeinsparbemühungen herausgestellt; sie haben insbesondere im Altbau zu einer erheblichen Zahl von Bauschäden geführt [L2]. Der erforderliche Heizwärmebedarf, also die Energie, die ein Heizkörper einem Raum zur Verfügung stellen muss, lässt sich aus der Energiebilanz des Raumes oder übergreifend aus der eines gesamten Gebäudes ermitteln. Die dazu notwendigen Rechenverfahren sind seit langem bekannt, mit europäisch harmonisierten Normen hinterlegt [R13] und ausreichend validiert.

Darüber hinaus muss nach der Verordnung auch der Trinkwarmwasserbedarf und der für Anlagenantriebe erforderliche elektrische Strombedarf innerhalb des Gebäudes bilanziert werden, da hier nicht unerhebliche Energieverbräuche entstehen.

Wird in einem Wohngebäude die Raumluft gekühlt, ist auch der hierzu notwendige End- und Primärenergiebedarf zu berücksichtigen. Dieser zusätzliche Energiebedarf wirkt sich verschärfend auf die Anforderungen aus, da die aus dem Referenzgebäude ermittelten zulässigen Werte eine Raumkühlung nicht vorsehen und der zusätzliche Kühllanteil daher kompensiert werden muss.

Bei einer beheizten Wohnfläche von 120 m² ergibt sich für ein nach der Verordnung 2009 geplantes Einfamilienhaus ein jährlicher Heizwärmebedarf von ca. 6.000 kWh, der ungefähr 7.500 kWh Primärenergie oder 750 l Heizöl entspricht.

Der Trinkwarmwasserbedarf eines durchschnittlichen 3 bis 4-Personenhaushalts liegt im Jahr bei etwa 1.500 kWh entsprechend 3.500 - 4.500 kWh Primärenergie. Wird wie vom EEWärmeG und von der EnEV 2009 vorgesehen eine thermische Solaranlage eingesetzt, halbiert sich in der Regel der Primärenergiebedarf.

Der dritte Energieanteil, der Haushaltsstrom liegt für die gleiche Haushaltsgröße bei etwa 5.000 kWh elektrischem Strom bzw. 13.000 kWh Primärenergie unter Berücksichtigung der Umwandlungsverluste. Etwa 500 kWh Endenergie entfallen allein auf Antriebe und Steuerungen der Heizanlage.

Hinweis:

Bei allen Bilanzierungen im Rahmen der EnEV muss beachtet werden, dass normierte Randbedingungen für den Nutzer, das Klima, etc. zugrunde gelegt sind und dass die Prognosen einen **Energiebedarf** ermitteln, der mit dem tatsächlichen **Energieverbrauch** im Einzelfall nicht übereinstimmt !

2.1.1 Wärmeverluste

Im hiesigen Klima muss einer verlustminimierten Bauweise der Vorzug gegeben werden, d.h. die Dämmeigenschaften der Gebäudehülle stehen in ihrer Wichtigkeit an erster Stelle. Zudem wird durch erhöhte Innenoberflächentemperaturen die thermische Behaglichkeit innerhalb der Räume deutlich erhöht.

Die wichtigste Kenngröße zur Beurteilung der opaken, d.h. nicht transparenten Bauteile ist deren Wärmedurchgangskoeffizient, der **U-Wert** [W/(m² · K)]. Dieser ersetzt den aus der Vergangen-

heit bekannten k-Wert und wird nach europäischen Rechenregeln bestimmt. Der U-Wert gibt an, wie viel Wärmeleistung [W] pro ein Grad Temperaturdifferenz [K] durch eine Bauteilfläche von 1 Quadratmeter [m²] zwischen der Innen- und Außenluft abfließt. Summiert man sämtliche mit deren U-Werten multiplizierte Bauteilflächen **A** und berücksichtigt die durchschnittlichen Temperaturdifferenzen während der Heizperiode mittels der Temperatur-Korrekturfaktoren **F_x**, erhält man die temperaturspezifischen Transmissionswärmeverluste **H_T** eines Gebäudes wie folgt:

$$H_T = \sum U_i \cdot A_i \cdot F_{xi} + H_{WB} \quad [W/K] \quad (1)$$

Der Term **H_{WB}** beschreibt die Transmissionswärmeverluste über Wärmebrücken, die nach DIN V 4108-6 gesondert ausgewiesen werden müssen.

Hinweis:

Die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle machen in 1 und 2-Familienhäusern etwa ein Drittel der gesamten Verluste aus – bei größeren und kompakten Gebäuden mitunter deutlich weniger. Eine kostensparende und zugleich energieverbrauchsreduzierende Maßnahme ist eine kompakte Gebäudeform. Das beheizbare Volumen sollte die kleinstmögliche wärmeübertragende Umfassungsfläche und damit ein günstiges, kleines A/V_e-Verhältnis aufweisen. Die Reduktion des A/V_e-Wertes um 0,1 m⁻¹ bewirkt für durchschnittliche Gebäude eine Verringerung des Heizwärmebedarfs von etwa 5-6 kWh/(m² · a) ohne dass zusätzliche Dämm-Maßnahmen ergriffen werden.

Die temperaturspezifischen Lüftungswärmeverluste eines Gebäudes ergeben sich aus dem belüfteten Netto-Volumen **V**, der Luftwechselzahl **n**, die besagt, wie häufig das gesamte Luftvolumen in einer Stunde ausgewechselt wird und der spezifischen Wärmespeicherkapazität der Luft von 0,34 Wh/(m³ · K):

$$H_V = 0,34 \cdot n \cdot V \quad [W/K] \quad (2)$$

Hinweis:

Die EnEV Nachweisführung erfolgt standardmäßig mit dem Wert $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$ und $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$ für Gebäude deren Gebäudehülle besonders luftdicht ist und bei denen dies durch eine Dichtheitsprüfung nachgewiesen wird. In Bestandswohngebäuden mit offensichtlichen Undichtheiten der Gebäudehülle z.B. an Fenstern oder im Dach ist die Luftwechselzahl $n = 1,0 \text{ h}^{-1}$ zu verwenden.

In Gebäuden mit Fensterlüftung liegen beispielsweise gemessene Luftwechselzahlen in Abhängigkeit der Luftdichtheit der Gebäudehülle und vor allem des Nutzerverhaltens zwischen $n = 0,3$ und $0,9 \text{ h}^{-1}$ [L3], bei hohen Belegungsdichten der Wohnungen aber auch bei Werten bis zu $1,5 \text{ h}^{-1}$ [L4]. Wird eine mechanische Lüftungsanlage eingesetzt, wird das tatsächlich ausgetauschte Luftvolumen und die ggf. rückgewonnene Wärme berücksichtigt.

Aus den temperaturspezifischen Wärmeverlusten H_T und H_V lassen sich die Wärmeverluste einer Periode nach folgender Formel ermitteln:

$$Q_i = (H_T + H_V) \cdot 24/1000 \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (3)$$

mit:

$(\theta_i - \theta_e)$ = Temperaturdifferenz in der Periode
 t = Anzahl der Tage

2.1.2 Wärmegewinne

Die Wärmegewinne, die zur Reduzierung der Heizwärme genutzt werden, ergeben sich aus den internen Wärmelasten, die sich aus Personen- und Maschinenabwärme, Beleuchtung, etc. zusammensetzen und den solaren Wärmegewinnen, insbesondere durch den direkten Strahlungsdurchgang über die Fenster aber auch bedingt durch Solarabsorption auf Außenoberflächen, Wintergärten, etc.

Messungen in Wohngebäuden zeigen Wertebereiche der internen Gewinne Q_i zwischen 15 und 35 kWh pro m^2 Nutzfläche A_N in der Heizperiode. In den Rechenverfahren der DIN V 4108-6 müssen konstante Mittelwerte angesetzt werden. Die Bilanzformel lautet:

$$Q_i = q_i \cdot A_N \cdot 24/1000 \cdot t \quad [\text{kWh}] \quad (4)$$

mit:

$q_i = 5 \text{ W/m}^2$ bei Wohngebäuden
 t = Anzahl der Tage

Die Solargewinne Q_s durch die Fensterflächen können grundsätzlich für 4 Haupthimmelsrichtungen, 4 Zwischenrichtungen und für 4 unterschiedliche Flächenneigungen und die Horizontale ermittelt werden. Die Bilanzformel lautet:

$$Q_s = \sum I_s \cdot \sum F_F \cdot F_s \cdot F_c \cdot 0,9 \cdot g \cdot A_w \quad [\text{kWh}] \quad (5)$$

Die Solarstrahlung I_s ist von der Himmelsrichtung und der Neigung der bestrahlten Fläche abhängig. Für vertikale Flächen beträgt sie zwischen 100 (Nord) und 270 (Süd) $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ in der Heizperiode. Der Abminderungs-Faktor F_F bezeichnet den verglasten Flächenanteil des Fensters. Der sogenannte F_s -Wert ist der Minderungsfaktor für eine permanente Verschattung z.B. durch Gebäudeteile oder andere Gebäude und der F_c -Wert beschreibt die Abminderung der solaren Einstrahlung durch bewegliche Sonnenschutzvorrichtungen. Der Faktor 0,9 (F_w -Wert) reduziert den von den Glasherstellern anzugebenden Gesamtenergiedurchlassgrad g der Verglasung, da dieser ausschließlich für senkrechte Sonneneinstrahlung gilt. Die zuvor genannten Abminderungsfaktoren F sind grundsätzlich bei all den Bauteilen anzuwenden, durch die Solarstrahlung hindurchgeht oder absorbiert wird, so auch für transparente Wärmedämmung, Solaranbauten, etc. Die Fensterfläche A_w wird aus den lichten Rohbauöffnungsmaßen ermittelt.

In ähnlicher Weise lassen sich auch Gewinne durch Absorption auf opaken Außenoberflächen berechnen. Neben der solaren Zustrahlung muss bei einer Absorptionsbilanz auch die Abstrahlung an den kalten Himmel berücksichtigt werden. Dies erfolgt mittels eines Abzugs (s. Formel 21). Normalerweise sind derartige Effekte im äußeren Wärmeübergangswiderstand R_{se} schon enthalten. Die Solarabsorption auf Außenwänden führt bei dunklen Anstrichen oder Verklinkerungen bei Südorientierungen zur Reduktion der rechnerischen U-Werte von bis zu 25 % [L5]. Werden diese Effekte für alle Orientierungen entsprechend berücksichtigt, ergeben sich zusätzliche nutzflächenbezogene Heizwärmeeinsparungen von etwa 5 % für dunkle Oberflächen und etwa 2 % für helle Putzoberflächen (siehe Bild 2.1).

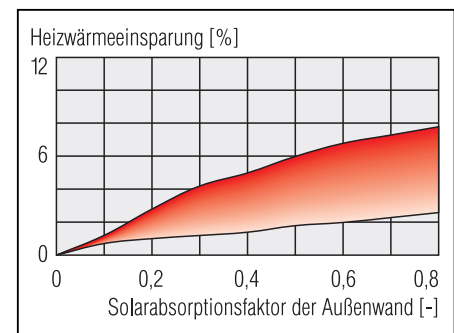


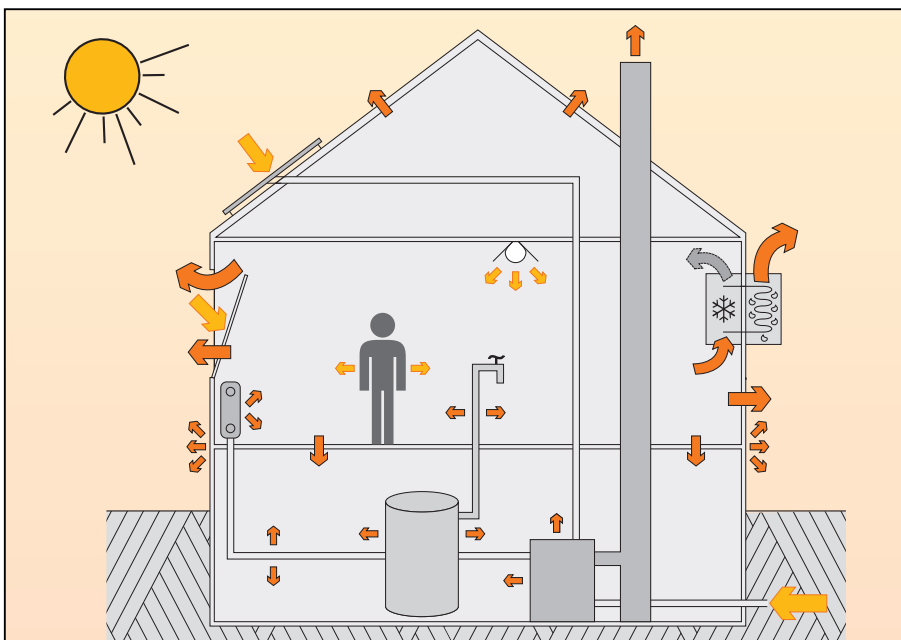
Bild 2.1: Heizwärmeeinsparung durch Solarabsorption auf Außenoberflächen.

Diese absolute Größe ist im übrigen weitestgehend unabhängig vom U-Wert und vom konstruktiven Aufbau der Außenbauteile. Das Solarstrahlungsangebot und die Farbe bestimmen deren Höhe. Bei Anfall großer Energiegewinne kann dies zu Überhitzungen in den betroffenen Räumen führen. In solchen Fällen wird zur Einhaltung erträglicher Temperaturen üblicherweise erhöht gelüftet, d.h. Wärme „abgelüftet“. Dies kann dazu führen, dass die Lüftungswärmeverluste um bis zu ca. 20 % vergrößert werden. Die Überhitzungen und die damit verbundenen erhöhten Wärmeverluste lassen sich durch massive, speicherfähige Bauteile reduzieren. Insbesondere massive Innenbauteile beeinflussen das sommerliche Temperaturverhalten positiv.

Unbeheizte Glasvorbauten ermöglichen bei intelligenter Nutzung eine zusätzliche Heizwärmeeinsparung. Diese ergibt sich durch die Temperaturerhöhung in dieser Zone und die damit verbundene Absenkung der Transmissionswärmeverluste der angrenzenden Bauteile des beheizten Wohnbereichs. Neben diesem Effekt lassen sich auch Lüftungswärmeverluste reduzieren, wenn beispielsweise die Zuluft angrenzender Wohnräume über den Glasvorbau geführt wird. Da die Einsparpotentiale von Glasvorbauten stark von ihrer Nutzung und Geometrie abhängen, sind allgemeingültige Zahlenangaben hierzu nicht möglich. Im Monatsbilanzverfahren der DIN V 4108-6 können die Energiebilanzen von Glasanbauten berechnet werden.

Es darf nicht übersehen werden, dass Glasvorbauten im Sommer zu starken Überhitzungen neigen, die deren Nutzbarkeit deutlich einschränken können. Daher sind große Lüftungsöffnungen und zumindest in den Schrägverglasungen wirksame Verschattungseinrichtungen erforderlich. Die Investitionskosten von Glasanbauten weisen der Regel keine Wirtschaftlichkeit im Hinblick auf eine mögliche Energieeinsparung auf.

Bild 2.2: Schematische Darstellung der Verlust- und Gewinnquellen einer Gebäudeenergiebilanz.



Hinweis:

Werden die beheizten, an den Glasvorbau angrenzenden Bereiche nicht durch eine wirksame räumliche Trennung abgeschottet, zählt der Glasvorbau mit seiner Hüllfläche zum beheizten Gebäudevolumen und muss entsprechend im EnEV-Nachweis berücksichtigt werden.

Eine weiterführende Ausnutzung der Solarerträge wird mit sogenannten Hybrid-Systemen möglich. Mit dieser Technik lassen sich bisher thermisch ungenutzte Gebäudeteile, wie z.B. Decken, Innen- und Außenwände als zusätzliche Speicher nutzen. Solarkollektoren, Verglasungssysteme oder transparente Dämmkonstruktionen (TWD) vor opaken Gebäudehüllflächen können so eine erhöhte Solarenergieerzeugung für das Gebäude ermöglichen, wenn diese über aktive Be- und Entladung meist mittels luftdurchströmter Bauteile gekoppelt werden. Die Gebäudemassen tragen jedoch nur zur kurzzeitigen Speicherung für eine Periode von 3 bis 5 Tagen bei. Größenordnungsmäßig lassen sich 20 bis 30 Prozent der auf die Kollektoroberflächen einfallenden Strahlung zur Heizwärmeeinsparung nutzen. Das entspricht bei senkrechten, südorientierten Kollektoren einer Energieeinsparung zwischen 70 und 110 kWh/(m² · a) bezogen auf die Kollektorfläche [L7, L8].

2.1.3 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf Q_h , also die Wärme, die ein Heizkörper dem Raum zur Verfügung stellen muss, ergibt sich aus den zuvor ermittelten Verlusten und Gewinnen wie folgt:

$$Q_h = Q_t - \eta \cdot (Q_i + Q_s) \quad [\text{kWh}] \quad (6)$$

mit

Q_t = Wärmeverluste aus Transmission und Lüftung (3)

η = Ausnutzungsgrad der Gewinne (siehe 3.3.7)

Q_i = Interne Gewinne (4)

Q_s = Solare Gewinne (5)

2.2 Heizenergiebedarf

Der notwendige Brutto-Heizenergiebedarf Q – setzt sich aus dem Heizwärmebedarf Q_h und bei gekoppelter Erzeugung auch aus dem Trinkwarmwasserbedarf Q_{TW} , den Verlusten der Heizanlage Q_{Anl} abzüglich eventueller Anteile regenerativer Energie Q_r zusammen. Hierbei ist zu berücksichtigen, dass in den Verlusten der Heizanlage auch der Strom der Hilfsenergie für Pumpen, Brenner, etc. enthalten ist. Der so ermittelte Heizenergiebedarf beinhaltet daher unter Umständen zwei oder mehr Energieträger und ist für Vergleiche mit gemessenen Verbräuchen entsprechend aufzuteilen. Nach DIN V 4108-6 ergibt er sich zu:

$$Q = Q_h + Q_{TW} + Q_{Anl} - Q_r \quad [\text{kWh}] \quad (7)$$

2.3 Primärenergiebedarf

Die Hauptanforderung der EnEV wird an den Primärenergiebedarf Q_P gestellt. Dieser umfasst den Heizenergiebedarf sowie alle Vorketten der zur Energieerzeugung erforderlichen fossilen Brennstoffe. Neben der Heizwärme werden der Trinkwasserwärmebedarf und die zum Betrieb der Anlagentechnik erforderliche Hilfsenergie, in der Regel elektrischer Strom, bilanziert. Die primärenergetische Bewertung erfolgt über normierte Primärenergiefaktoren f_p der einzelnen Primärenergien nach DIN V 4701-10 [R11] gemäß Tabelle 2.1 und nach folgender Beziehung:

$$Q_P = \sum_i Q_i \cdot f_{p,i} \quad [\text{kWh}] \quad (8)$$

mit

Q_i = Endenergie nach Energieträger
 f_p = Primärenergiefaktor gemäß Tabelle 2.1

Der vorhandene auf die Nutzfläche bezogene Primärenergiebedarf q_p eines Wohngebäudes lässt sich nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 vereinfachend wie folgt berechnen:

$$q_p = e_p \cdot (q_H + 12,5) \quad [\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})] \quad (9)$$

mit

e_p = Primärenergetische Aufwandszahl der Gesamtanlage
 q_H = Nutzflächenbezogener Heizwärmebedarf nach DIN V 4108-6
 12,5 = Nutzflächenbezogener Trinkwasserwärmebedarf nach DIN V 4701-10 in $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$

Hinweis:

Die Aufwandszahl e_p beinhaltet sämtliche Anlagenverluste für Trinkwassererwärmung, Heizungs- und Lüftungstechnik inklusive der elektrischen Hilfsenergie. Die Teilaufwandszahlen sind in DIN V 4701-10 hinterlegt und werden mit dem entsprechenden Primärenergiefaktor gewichtet. Wird ein Wohngebäude gekühlt, muss der zusätzliche Primärenergiebedarf für den gekühlten Anteil der Nutzfläche berücksichtigt werden. Der flächenbezogene Primärenergiebedarf bewegt sich je nach eingesetzter Kühltechnik zwischen 2,7 und $18,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$.

In Bild 2.3 ist exemplarisch die Energiebilanz eines Hauses mit ihren Bestandteilen qualitativ dargestellt. Die linke Seite stellt die Energieverluste, die rechte Seite die Energieeinträge (Gewinne) in das Gebäude dar. Aus dieser Betrachtung wird deutlich, dass durch die Reduzierung der Transmissionswärmeverluste allein nicht das volle Potential der sinnvollen Heizenergieeinsparmaßnahmen ausgeschöpft wird.

2.4 Klima- und Nutzereinflüsse

Die Ergebnisse, die aus den zuvor definierten Energiebilanzen abgeleitet werden, sind maßgeblich durch die zugrunde gelegten Randbedingungen beeinflusst. Die Klimadaten und der rechnerische Ansatz der Nutzungsbedingungen stellen den Schwerpunkt dar.

Den EnEV-Nachweisen liegt das „synthetische“ Klima eines mittleren deutschen Standorts zugrunde. Sowohl die Außenlufttemperaturen als auch die Solarstrahlung können standort- und jahresbedingt erheblich von diesen Mittelwerten abweichen. Die in den Anhängen der DIN V 4108-6 [R7] niedergelegten Wetterdaten der 15 verschiedenen Klimazonen weisen Unterschiede in den Heizgradtagszahlen von -12 % bis +35 % aus. Auch die Solarstrahlung schwankt um den Mittelwert zwischen -13 % und +10 %. Dabei sind extreme Jahre nicht berücksichtigt. Weiterhin muss unbedingt beachtet werden, dass die Dauer der Heizperiode vom Heizwärmebedarf eines Gebäudes, d.h. von seinem Dämmstandard abhängt. Je besser ein Haus gedämmt

Tabelle 2.1: Primärenergiefaktoren (nicht erneuerbar) f_p nach DIN V 4701-10 und EnEV 2009.

Energieträger*	Primärenergiefaktoren f_p	
Brennstoffe	Heizöl EL	1,1
	Erdgas H	1,1
	Flüssiggas	1,1
	Steinkohle	1,1
	Braunkohle	1,2
	Holz	0,2
Nah-/Fernwärme aus Kraft-Wärme-Kopplung (KWK)**	fossiler Brennstoff	0,7
	erneuerbarer Brennstoff	0,0
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	fossiler Brennstoff	1,3
	erneuerbarer Brennstoff	0,1
Strom	Strom-Mix	2,6
Umweltenergie	Solarenergie, Umgebungswärme	0,0
Biomasse	fest und flüssig, gemäß EEWärmeG	0,5

* Bezugsgröße Endenergie: unterer Heizwert H_i

** Angaben sind typisch für durchschnittliche Nah-/Fernwärme mit einem Anteil der KWK von 70 %

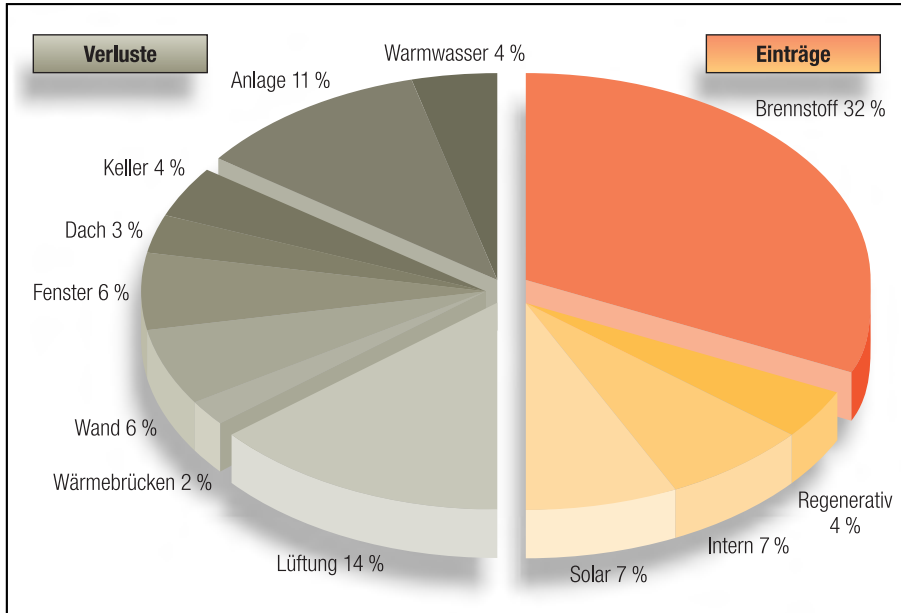


Bild 2.3: Beispielhafte Brutto-Energiebilanz eines Niedrigenergiehauses.

ist, desto kürzer wird die Heizzeit, desto weniger arbeitet die Heizanlage, aber um so geringer wird deren Nutzungsgrad!

Der Wohnungsnutzer beeinflusst durch das gewählte Temperaturniveau und durch sein Lüftungsverhalten maßgeblich die Energiebilanz und damit den Heizenergieverbrauch. Eine Vielzahl wissenschaftlich verfolgter, d.h. gemessener und ausgewerteter Niedrigenergiehausvorhaben der letzten Jahre zeigt, dass der Nutzer entscheidend in die Energiebilanz eingreift [L9].

Es zeigt sich z.B., dass über viele Objekte gemittelt, der Mittelwert der Innentemperatur bei etwa 20° C liegt. Die Abweichung von der Mitteltemperatur zwischen den ausgewerteten Vorhaben beträgt allerdings ca. 5 Kelvin. Die Temperaturen zu Beginn und Ende der Heizperiode liegen ca. 1 Kelvin über den Werten in der Mitte der Heizperiode. Betrachtet man typische Temperaturverläufe getrennt nach Ein- und Mehrfamilienhäusern, kann man feststellen, dass in Einfamilienhäusern ein um ca. 2 Kelvin niedrigeres Temperaturniveau vorliegt. In der Hauptheizzeit beträgt die mittlere Raumlufttemperatur der Einfamilienhäuser ca. 19° C, die der Mehrfamilienhäuser ca. 21° C. Ein Temperaturunterschied von 1 Kelvin Raumtemperatur bewirkt einen Mehr-/Minderverbrauch von durchschnittlich 5 Prozent.

Das Lüftungsverhalten der Bewohner hängt neben der erforderlichen Lufterneuerung von vielen weiteren Parametern wie Kontakt mit der Außenwelt, Außenlärm und vielem mehr ab. Es kann durch die Fensteröffnungszeiten, die sich über Magnetkontakte erfassen lassen beschrieben und quantifiziert werden. Diese täglichen Fensteröffnungszeiten als Produkt aus Zeit und Summe aller Fenster einer Wohneinheit zeigen ein Spektrum mit einem Mittelwert von ca. 2 Stunden pro Tag während der Heizperiode. Dabei verhalten sich die Bewohner in fenstergelüfteten Häusern sehr ähnlich zu denen, die eine Wohnungslüftungsanlage einsetzen. Ein Lüftungssystembedingter signifikanter Unterschied ist nicht zu erkennen. Die Fenster werden in den kalten Wintermonaten etwa 1,5 Stunden pro Tag in ausschließlich fenstergelüfteten und weniger als 1 Stunde in mit Lüftungsanlagen ausgestatteten Häusern geöffnet. In den Übergangsjahreszeiten werden die Fenster grundsätzlich sehr viel häufiger geöffnet, nämlich zwischen 3 und 5 Stunden pro Tag. Man erkennt, dass bei allen Gebäudearten und Lüftungssystemen große Schwankungsbereiche auftreten. Der Mittelwert hat bei allen Systemen tendenziell den gleichen Verlauf. Es bleibt allerdings festzuhalten, dass in allen Gebäudetypen mit oder ohne Lüftungssystem zu jeder Jahreszeit ein Fensteröffnen stattfindet.

Die Auswertung der umfangreichen Messvorhaben [L10] zeigt, dass sowohl in fenstergelüfteten als auch in mechanisch belüfteten Wohnungen der Luftaustausch durch Fensteröffnen eine dominante Größe beim Heizenergieverbrauch darstellt. Er bewirkt im Mittel über die Heizperiode einen Luftwechsel von 0,2 bis 0,4 h⁻¹. Der Infiltrationsluftwechsel durch Undichtheiten der Gebäudehülle ist diesem Luftwechsel untergeordnet. Mit zunehmend besserer Bauqualität wird er künftig 0,1 h⁻¹ nicht mehr übersteigen. Die Wohnungslüftungsanlagen erhöhen den Luftwechsel um ca. 0,3 bis 0,4 h⁻¹.

Der tägliche Trinkwarmwasserbedarf von Wohnungen mit 3-4 Personen liegt bei einer mittleren Speichertemperatur von 50° C zwischen 70 und 150 Litern. Es sind allerdings auch hiervon stark abweichende Verbrauchswerte bekannt, so dass in diesem Energieverbrauchssektor die Nutzereinflüsse bestimmend sind.

Die höchsten Energieverluste im Heizanlagenektor entstehen im Bereich der Verteilverluste. Liegen die Heizungs- und Warmwasserverteilungen vorwiegend in unbeheizten Gebäudezonen und herrschen hohe Systemtemperaturpaarungen und eventuell lange Zirkulationszeiten vor, werden erhebliche Energiemengen ungenutzt verschwendet. Obwohl die Heizkessel heutzutage durchwegs außentemperaturgesteuert sind, hat auch der Nutzer noch Einfluss auf eine z.B. frühzeitige Heizungsabschaltung in warmen Perioden oder aber auf eine nur zu bestimmten Zeiten eingeschaltete Zirkulationspumpe für die Warmwasserversorgung. Die Nutzungsgrade der Zentralheizungen lassen sich durch benutzergesteuerte Eingriffe erheblich beeinflussen, wenngleich abgesicherte Zahlenangaben in diesem Bereich kaum verfügbar sind.

3. Monatsbilanz-Verfahren nach DIN V 4108-6

3.1 Verfahrensweg

Mit dem Monatsbilanzverfahren der DIN V 4108-6 lassen sich umfängliche bauliche Maßnahmen über das vereinfachte Heizperiodenbilanzverfahren hinaus bewerten.

Der wesentliche Unterschied zum vereinfachten Verfahren besteht darin, dass monatliche Gesamtbilanzen gebildet werden. Dabei wird im jeweiligen Monat aus dem Gewinn/Verlust-Verhältnis der Ausnutzungsgrad η_a der Gewinne gebildet und daraus der monatliche Heizwärmebedarf ermittelt. Abschließend werden die positiven monatlichen Heizwärmebedarfswerte addiert und führen so zum Jahresheizwärmebedarf Q_h .

Gegenüber dem vereinfachten Verfahren lassen sich folgende Maßnahmen zusätzlich bilanzieren:

1. Differenzierte Bewertung von Bauteilen an unbeheizte Bereiche und an Erdreich
2. Berücksichtigung von Zusatzverlusten aus Flächenheizungen
3. Berücksichtigung maschineller Lüftung mit und ohne Wärmerückgewinnung
4. Berücksichtigung individueller interner Gewinne
5. Berücksichtigung individueller Verschattungen
6. Berücksichtigung unbeheizter Glasvorbauten
7. Berücksichtigung solarer Wärmegevinne von opaken Bauteilen
8. Berücksichtigung Transparenter Wärmedämmung
9. Berücksichtigung des exakten Speichervermögen eines Gebäudes
10. Berücksichtigung individueller Heizungstemperaturabsenkungen

Die Rechenalgorithmen der zuvor aufgelisteten Bilanzanteile sind in Einzelfällen sehr kompliziert und werden daher in dieser Broschüre nur auszugsweise aufgeführt. Das PC-Nachweisprogramm der Ziegelindustrie beinhaltet alle zuvor genannten Sonderfälle und lässt eine einfache Berechnung der Effekte zu. Im Rahmen des EnEV-Nachweises können eine Reihe von vereinfachenden Annahmen getroffen werden. Diese werden im Folgenden unter den entsprechender Bilanzanteilen dargestellt.

3.2 Ermittlung der Wärmeverluste

3.2.1 Transmissionswärmeverluste

Summiert werden sämtliche mit deren U_i -Werten multiplizierte Bauteilflächen A_i unter Berücksichtigung der dazu gehörenden Temperatur-Korrekturfaktoren F_{xi} . Die temperaturspezifischen Transmissionswärmeverluste H_T eines Gebäudes erhält man wie folgt:

$$H_T = \sum U_i \cdot A_i \cdot F_{xi} + H_{WB} + \Delta H_{T, FH} \quad [W/K] \quad (10)$$

Tabelle 3.1: Pauschale Temperatur-Korrekturfaktoren bei Anwendung des Monatsbilanzverfahrens nach DIN V 4108-6.

Wärmestrom nach außen über	Kennung	Temperatur-Korrekturfaktor F_{xi}
Außenwand, Fenster	F_{AW}, F_w	1
Dach	F_D	1
Oberste Geschossdecke an unbeheizten Dachraum	F_D	0,8
Abseiten-/Drempelwand	F_u	0,8
Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	F_u	0,5
Wände und Decken zu niedrig beheizten Räumen	F_{nb}	0,35
Wand/Fenster zu unbeheiztem Glasvorbau mit:		
Einfachverglasung	F_u	0,8
Zweischeibenverglasung		0,7
Wärmeschutzverglasung		0,5
Fußboden des beheizten Kellers	$F_G = F_{bf}$	0,2-0,45*
Wand des beheizten Kellers	$F_G = F_{bw}$	0,4-0,6*
Fußboden auf dem Erdreich ohne Randdämmung	$F_G = F_{bf}$	0,25-0,6*
Fußboden auf dem Erdreich mit Randdämmung: ≥ 5 m breit, waagrecht** ≥ 2 m tief, senkrecht**	$F_G = F_{bf}$	0,2-0,3* 0,15-0,25*
Kellerdecke/Innenwand zum unbeheizten Keller: mit Perimeterdämmung ohne Perimeterdämmung	F_G	0,45-0,55* 0,55-0,7*
Aufgeständerter Fußboden	F_G	0,9
Bodenplatte niedrig beheizter Räume	F_G	0,1-0,55*

* Zahlenwert abhängig vom Wärmedurchlasswiderstand und den Abmessungen des Bauteils.

** Bei ungedämmter Bodenplatte und $R_{Dämmung} > 2 (m^2 \cdot K)/W$

Die Temperatur-Korrekturfaktoren F_{xi} werden vereinfachend nach der Tabelle 3.1 angesetzt, die Werte erdberührter Bauteile können nach DIN EN ISO 13370 [R14] monatlich exakt ermittelt werden.

Hinweis:

Bei Anwendung des Ziegel-EnEV-Nachweisprogramms werden die notwendigen pauschalen Temperatur-Korrekturfaktoren automatisch ausgewählt und zugeordnet.

Der Term H_{WB} beschreibt die Transmissionswärmeverluste über Wärmebrücken, die nach DIN V 4108-6 gesondert ausgewiesen werden müssen. Die EnEV ermöglicht hierzu vier verschiedene Nachweisverfahren an:

- Berücksichtigung durch Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche,
- bei Anwendung von Planungsbeispielen nach DIN 4108, Beiblatt 2: Berücksichtigung durch Erhöhung der Wärmedurchgangskoeffizienten um $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche,
- werden mehr als 50 % der Außenwände von Bestandsgebäuden mit einer Innendämmung versehen und von einbindenden Massivdecken durchdrungen, beträgt der Wärmebrückenzuschlag $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$,
- durch genauen Nachweis der Wärmebrücken nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit weiteren anerkannten Regeln der Technik.

Fälle a) bis c)

$$H_{WB} = \Delta U_{WB} \cdot A \quad [\text{W}/\text{K}] \quad (11)$$

Fall d)

$$H_{WB} = \sum l \cdot \Psi_e \quad [\text{W}/\text{K}] \quad (12)$$

Die Ermittlung der Einzelwerte aller maßgeblichen Wärmebrücken ist in Kapitel 6 ausführlich beschrieben.

Werden Außenbauteile mit integrierten Heizflächen, sogenannten Flächenheizungen wie z.B. Fußboden- oder Wandheizungen eingesetzt, entstehen durch deren über der Raumtemperaturen liegenden Systemtemperaturen zusätzliche Wärmeverluste $\Delta H_{T,FH}$, die wie folgt bilanziert werden können:

In Bauteilen an die Außenluft:

$$\Delta H_{T,FH} = \sum R_i / (1/U_0 - R_i) \cdot H_0 \cdot \xi \quad [\text{W}/\text{K}] \quad (13)$$

In Bauteilen an das Erdreich grenzend:

$$\Delta H_{T,FH} = \sum R_i / (A_h/L_S - R_i) \cdot H_0 \cdot \xi \quad [\text{W}/\text{K}] \quad (14)$$

für L_S kann vereinfachend U_0 eingesetzt werden.

In Bauteilen an unbeheizte Räume:

$$\Delta H_{T,FH} = \sum R_i / (1/(b \cdot U_0) - R_i) \cdot H_0 \cdot \xi \quad [\text{W}/\text{K}] \quad (15)$$

für b kann vereinfachend F_x eingesetzt werden.

mit:

R_i = Wärmedurchlasswiderstand zwischen Heizelement und Raumluft

U_0 = Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils

H_0 = spez. Wärmeverlust des Raumes

ξ = Deckungsanteil des Heizelements am Raumwärmebedarf

A_h = Heizfläche in der Gebäudehülle.

Hinweis:

Beträgt der Wärmedurchlasswiderstand $R \geq 2,5 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ zwischen der Heizfläche und dem Erdreich bzw. Gebäudeteilen mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen oder $R \geq 4,0 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ zwischen der Heizfläche und der Außenluft, darf auf die gesonderte Ermittlung des zusätzlichen spezifischen Transmissionswärmeverlustes $\Delta H_{T,FH}$ verzichtet werden.

3.2.2 Lüftungswärmeverluste bei freier Lüftung

Die temperaturspezifischen Lüftungswärmeverluste eines Gebäudes mit Fensterlüftung ergeben sich aus dem belüfteten Netto-Volumen V , der Luftwechselzahl n , die besagt, wie häufig das gesamte Luftvolumen in einer Stunde ausgewechselt wird und der spezifischen Wärmespeicherkapazität der Luft von $0,34 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$:

$$H_V = 0,34 \cdot n \cdot V \quad [\text{W}/\text{K}] \quad (16)$$

Das Netto-Volumen V ergibt sich nach EnEV für kleine Wohngebäude unter 3 Vollgeschosse zu $0,76 \cdot V_e$. V_e ist das von der wärmetauschenden Hüllfläche des Gebäudes umfasste Bruttovolumen. Größere Wohngebäude sind mit $V = 0,8 \cdot V_e$ zu berechnen. Darüber hinaus darf für alle Gebäude aber das tatsächliche, individuell ermittelte Netto-raumvolumen V in Ansatz gebracht werden. Dadurch sind unter Umständen erhebliche Entlastungen beim baulichen Wärmeschutz möglich.

Hinweis:

Die EnEV Nachweisführung erfolgt standardmäßig mit dem Wert $n = 0,55 \text{ h}^{-1}$, da im Referenzgebäude eine mechanische Abluftanlage vorgesehen ist und somit eine erfolgreiche Prüfung der Luftdichtheit der Gebäudehülle obligatorisch ist. Falls keine mechanische Lüftungsanlage vorgesehen ist und der Luftwechsel über eine Fensterlüftung sichergestellt wird, kann bei erfolgreicher Dichtheitsprüfung mit einem Luftwechsel $n = 0,6 \text{ h}^{-1}$ gerechnet werden. Ist keine Blower-Door-Messung vorgesehen, beträgt $n = 0,7 \text{ h}^{-1}$. In Bestandswohngebäuden mit offensichtlichen Undichtheiten der Gebäudehülle z.B. an Fenstern oder im Dach ist die Luftwechselzahl $n = 1,0 \text{ h}^{-1}$ zu verwenden.

3.2.3 Lüftungswärmeverluste bei maschineller Lüftung

Gebäude mit einer mechanischen Lüftungsanlage mit oder ohne Wärmerückgewinnung weisen neben der planmäßigen Lüftung zusätzliche Lüftungswärmeverluste über Leckagen oder zusätzliches Fensterlüften auf. Daher ergibt sich eine zusammengesetzte rechnerische Luftwechselzahl n die zu folgender Gleichung führt:

$$H_V = 0,34 \cdot (n_{Anl} \cdot (1 - \eta_V) + n_x) \cdot V \quad [\text{W/K}] \quad (17)$$

mit:

n_{Anl} = Anlagenluftwechselrate

η_V = Nutzungsfaktor des Wärmeübertragers

n_x = zusätzliche Luftwechselrate infolge Undichtheiten und Fensterlüftung; im Rahmen des EnEV Nachweises ist hier der Wert $0,2 \text{ h}^{-1}$ anzusetzen.

Hinweis:

Die EnEV Nachweisführung erlaubt die Anrechnung von Lüftungsanlagen nur für den Fall, dass eine besonders luftdichte Gebäudehülle vorhanden ist. Deren Dichtheit muss mittels Blower Door Test nachgewiesen werden.

3.2.4 Gesamtverluste

Aus den temperaturspezifischen Wärmeverlusten H_T und H_V lassen sich die monatlichen Wärmeverluste $Q_{i,M}$ analog Formel (3) wie folgt ermitteln:

$$Q_{i,M} = (H_T + H_V) \cdot 24/1000 \cdot (\theta_i - \theta_{e,M}) \cdot t_M \quad [\text{kWh}] \quad (18)$$

mit:

$(\theta_i - \theta_{e,M})$ = Temperaturdifferenz innen – außen des Monats

t_M = Anzahl der Tage des Monats

Die Raumtemperatur θ_i soll für beheizte Gebäude nach EnEV mit 19°C angesetzt werden. Darin enthalten ist ein sogenannten Teilbeheizungsfaktor für indirekt beheizte Räume innerhalb der thermischen Hülle und für Zeiten der Abwesenheit mit unplanmäßig reduzierten Raumtemperaturen. Die Außenlufttemperatur $\theta_{e,M}$ ist für verschiedene Standorte Deutschlands tabelliert. Im Rahmen des EnEV Nachweises muss mit den Temperaturen des mittleren deutschen Standorts nach Tabelle D.5 DIN V 4108-6 gerechnet werden.

3.3 Ermittlung der Wärmegewinne

3.3.1 Interne Wärmegewinne

Die monatlichen Wärmegewinne $Q_{i,M}$ ergeben sich aus nutzflächenabhängigen, tabellierten Wärmeleistungen, die DIN V 4108-6 zu entnehmen sind. Im Rahmen des EnEV Nachweises sind pauschale Mittelwerte zu verwenden:

Daraus wird:

$$Q_{i,M} = q_i \cdot A_N \cdot 24/1000 \cdot t_M \quad [\text{kWh}] \quad (19)$$

mit:

q_i = 5 W/m^2 bei Wohngebäuden

A_N = beheizte Gebäudenutzfläche

3.3.2 Solare Wärmegewinne durch transparente Bauteile

Die Solargewinne $Q_{s,M}$ durch die Fensterflächen können für 4 Haupthimmelsrichtungen, 4 Zwischenrichtungen und für 4 unterschiedliche Flächenneigungen und die Horizontale ermittelt werden. Die Bilanzformel lautet:

$$Q_{s,M} = \sum I_{s,M} \cdot \sum F_F \cdot F_s \cdot F_c \cdot 0,9 \cdot g_{\perp} \cdot A_w \cdot 24/1000 \cdot t_M \quad [\text{kWh}] \quad (20)$$

mit:

F_F = Abminderungsfaktor Rahmenanteil (0,6 - 0,9)

F_s = Abminderungsfaktor Verschattung

F_c = Abminderungsfaktor Sonnenschutz

g_{\perp} = Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

A_w = Fensterfläche laut Rohbaumaß

Die Solarstrahlung $I_{s,M}$ ist für verschiedene Standorte Deutschlands tabelliert. Im Rahmen des EnEV Nachweises muss mit Strahlungsdaten des mittleren deutschen Standorts nach Tabelle D.5 DIN V 4108-6 gerechnet werden.

Hinweis:

Die Verschattungsfaktoren F_s zur Berücksichtigung dauerhaft vorhandener baulicher Verschattungen und F_c für Sonnenschutzvorrichtungen können entsprechenden Tabellen der DIN V 4108-6 entnommen werden. Der F_s -Wert wird im EnEV Nachweis pauschal zu 0,9 festgelegt. F_c sollte bei der Ermittlung des Heizwärmebedarfs immer 1,0 betragen, d.h. es ist keine Sonnenschutzvorrichtung eingesetzt (vgl. auch Tab. 11.3).

3.3.3 Solare Warmegewinne durch opake Bauteile

Auch opake, d.h. nicht transparente Oberflächen nehmen Solarstrahlung auf, wandeln sie in Wärme um und lassen einen Teil dieser Wärme in das Gebäudeinnere. Die Farbgestaltung der Oberfläche beeinflusst die Absorption maßgeblich. Dies wird durch den Strahlungsabsorptionsgrad α für das energetisch wirksame Spektrum des Sonnenlichts beschrieben und nach folgender Formel bilanziert:

$$Q_{s,op} = U \cdot A \cdot R_e \cdot (\alpha \cdot I_s - F_f \cdot h_r \cdot \Delta \theta_{er}) \cdot 0,024 \cdot t_M \quad [\text{kWh}] \quad (21)$$

mit:

R_e = Wärmedurchlasswiderstand von der absorbierenden Schicht bis außen

F_f = Formfaktor: 0,5 für senkrechte, 1,0 für waagerechte Bauteile bis 45° Neigung

h_r = Abstrahlungskoeffizient für langwellige Abstrahlung = $5 \cdot \varepsilon$ mit $\varepsilon = 0,8$ (Standardannahme)

$\Delta \theta_{er}$ = Temperaturdifferenz zwischen Umgebungsluft und Himmel = 10 K

Hinweis:

Die Gewinne auf opaken Oberflächen werden direkt von den Transmissionswärmeverlusten der Bauteile abgezogen und gehen damit als sog. negative Verluste bei der Ermittlung des Gewinn/Verlust-Verhältnisses in den Nenner ein.

Tabelle 3.2: Strahlungsabsorptionsgrad α für das energetisch wirksame Spektrum des Sonnenlichts verschiedener Oberflächen nach DIN V 4108-6.

Oberfläche	Strahlungsabsorptionsgrad α
Wandoberflächen:	
heller Anstrich	0,4
gedeckter Anstrich	0,6
dunkler Anstrich	0,8
Klinkermauerwerk (dunkel)	0,8
helles Sichtmauerwerk	0,6
Dächer (Beschaffenheit):	
ziegelrot	0,6
dunkle Oberfläche	0,8
Metall (blank)	0,2
Bitumendachbahn (besandet)	0,6

3.3.4 Transparente Wärmedämmung

Transparente Wärmedämmsysteme (TWD) lassen einen Teil der auftretenden Solarstrahlung bis zur dunklen Absorberschicht vordringen und führen so zu einer Erhöhung der Wandinnentemperatur. In der Bilanzformel muss daher der g_{Ti} -Wert der transparenten Dämmung inklusive Deckschicht eingesetzt werden sowie der Wärmedurchgangskoeffizient U_e dieser Schichten bekannt sein:

$$Q_{s,op} = (A \cdot F_s \cdot F_f \cdot \alpha \cdot g_{Ti} \cdot U/U_e \cdot I_s - U \cdot A \cdot F_f \cdot R_{se} \cdot h_r \cdot \Delta \theta_{er}) \cdot 0,024 \cdot t_M \quad [\text{kWh}] \quad (22)$$

mit:

α = Absorptionskoeffizient der Absorberschicht

U = U-Wert der Gesamtkonstruktion inklusive TWD

F_f = „Rahmenanteil“ der TWD

g_{Ti} = Gesamtenergiedurchlassgrad der TWD

R_{se} = Wärmeübergangswiderstand zur Außenluft

3.3.5 Unbeheizte Glasvorbauten

Die Bilanzierung der Energieströme durch unbeheizte Glasvorbauten ist äußerst komplex und wird daher im Folgenden nur stichwortartig abgehandelt. Zuerst werden die durch den Glasvorbau und die angrenzenden Fenster und Wände in das Gebäude einfallenden direkten Gewinne ermittelt. Dann erfolgt die Berechnung der im Glasanbau absorbierten Energie, die dort zu einer Temperaturerhöhung führt und somit als indirekter Gewinn eine Reduzierung der Transmissionswärmeverluste der angrenzenden Bauteile des Kernhauses bewirkt.

Folgende Angaben zur Berechnung sind notwendig:

1. Art der Verglasung des Glasvorbaus
2. Bodengrundfläche des Glasvorbaus
3. Absorptionskoeffizient des Bodens im Glasvorbau
4. Temperatur-Korrekturfaktor des Glasvorbaus
5. Kennwerte der Fenster zwischen Kernhaus und Glasvorbau
6. Absorptionskoeffizient der Außenwand des Kernhauses im Glasvorbau

Hinweis:

Im PC-Nachweisprogramm der Ziegelindustrie lassen sich die Effekte unbeheizter Glasvorbauten einfach berechnen.

3.3.6 Heizunterbrechung – Nachtabschaltung

Noch umfangreicher als die Ermittlung der Wärmeströme von Glasvorbauten ist die Berechnung der Auswirkung einer Nachtabschaltung der Heizung. Diese Rechenoperationen sind nur mittels PC-Simulation durchführbar und daher wird an dieser Stelle auf eine Darstellung verzichtet. Die Rechenformeln sind in Anhang C der DIN V 4108-6 dokumentiert und führen zu einem monatlichen negativen Wärmeverlust ΔQ_{il} , der mit den Gesamtwärmeverlusten des Gebäudes verrechnet wird. Die Größenordnung der Reduktion, die im Rahmen des EnEV Nachweises mit einer Nachtabschaltung von 7 Stunden bei Wohngebäuden angesetzt werden darf, liegt bei etwa 3 bis 5 Prozent der Gesamtwärmeverluste.

3.3.7 Ausnutzungsgrad der Gewinne

Die internen und solaren Gewinne werden durch den Ausnutzungsgrad η , der sich aus der Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes und dem Verhältnis zwischen Gewinnen und Verlusten ergibt, abgemindert. Das Monatsbilanzverfahren lässt eine pauschalierte Bewertung der Speicherfähigkeit eines Gebäudes zu oder aber die exakte Ermittlung aller im Gebäude eingesetzten effektiven Bauteilmassen. Hierzu ist es erforderlich, für die Speicherfähigkeit der raumschließenden Flächen eine fiktive Größe die sog. Zeitkonstante τ zu ermitteln. Diese gibt die Länge der Auskühlungszeit eines Gebäudes bei 1 K Temperaturabsenkung an und wird nach Formel (24) ermittelt. Weiterhin ist der Ausnutzungsgrad wesentlich vom Gewinn/Verlustverhältnis nach Formel (23) abhängig. Die in der Grafik, Bild 3.1, als theoretisch bezeichnete Kurve stellt die obere Begrenzungslinie des Ausnutzungsgrads dar. Praktisch ist daher nur der rot markierte Bereich nutzbar. Der durchschnittliche Nutzungsgrad üblicher Massivgebäude übersteigt 95 %, bei Leichtbauten liegt er etwa 5 % niedriger [L5, R7]. Die pauschalierten Rechenansätze nach DIN V 4108-6 lauten wie folgt:

Ermittlung des Gewinn/Verlustverhältnisses γ :

$$\gamma = (Q_i + Q_g)/Q_l \quad (23)$$

Die Zeitkonstante ergibt sich zu:

$$\tau = C_{\text{wirk}}/H \quad [\text{h}] \quad (24)$$

mit:

$C_{\text{wirk}} = 15 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \cdot V_g$ für leichte Gebäude mit folgenden Merkmalen:

- Holztafelbauart ohne massive Innenbauteile
- abgehängte Decken und überwiegend leichte Trennwände
- hohe Räume (Turnhallen, Museen, usw.)

$C_{\text{wirk}} = 50 \text{ Wh}/(\text{m}^3 \cdot \text{K}) \cdot V_g$ für schwere Gebäude mit folgenden Merkmalen:

- massive Innen- und Außenbauteile ohne untergehängte Decken

H = spezifischer Wärmeverlust des Gebäudes

Der monatlich zu ermittelnde Ausnutzungsgrad η ergibt sich wie folgt:

$$\eta = 1 - \gamma^a / (1 - \gamma^{a+1}) \quad \text{für } \gamma \neq 1 \quad (25)$$

oder

$$\eta = a / (a + 1) \quad \text{für } \gamma = 1 \quad (26)$$

mit:

$$a = 1 + (\tau / 16 \text{ h})$$

Der Zahlenwerte des Ausnutzungsgrades liegen in den Sommermonaten bei 0 und in der kalten Winterzeit bei 1,0.

3.4 Ermittlung des Heizwärmebedarfs

Der Jahresheizwärmebedarf Q_h ergibt sich aus der Summierung der monatlichen positiven Bedarfswerte $Q_{h,M}$:

$$Q_h = \sum (Q_{i,M} - \eta_{a,M} \cdot (Q_{i,M} + Q_{s,M})) \quad [\text{kWh}] \quad (27)$$

Mit diesem vorläufigen Endergebnis nach DIN V 4108-6 wird der Nachweis der Anlagentechnik nach DIN V 4701-10 begonnen. Weitere Einzelheiten hierzu enthält Kapitel 8.

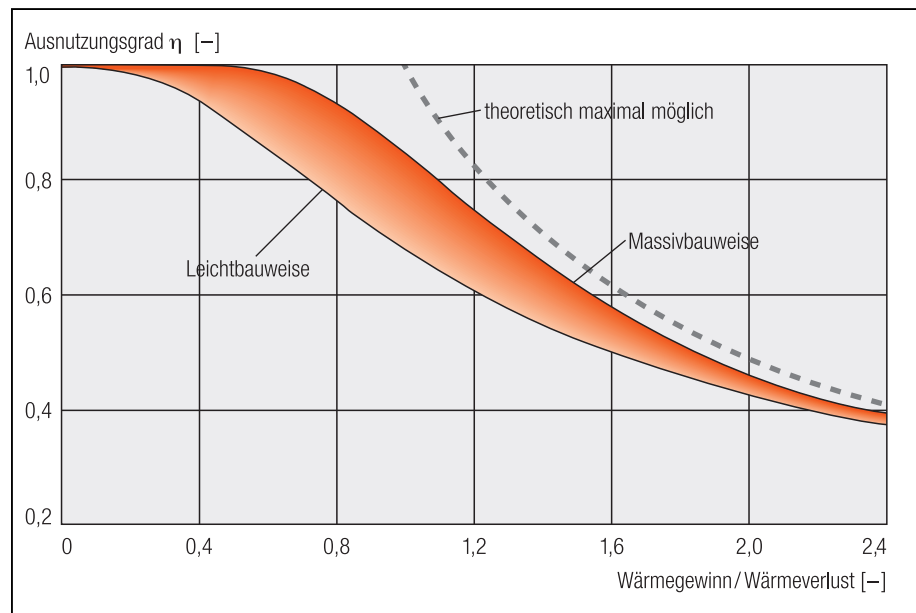


Bild 3.1: Ausnutzungsgrad der Gewinne in Abhängigkeit vom Wärmegewinn-/Verlustverhältnis.

3.5 Klimadaten

Das Erstellen der Monatsbilanz muss mit normierten Klimadaten gemäß DIN V 4108-6 erfolgen. Das in Anhang D, Tabelle D.5 dieser Norm zugrunde gelegte Referenzklima ist für den öffent-

lich-rechtlichen Nachweis anzusetzen und soll Vergleichsmaßstab für alle in Deutschland nachzuweisenden beheizten Gebäude sein. Die hier niedergelegten Klimadaten können durchaus um 30 Prozent nach oben und unten von den tatsächlichen, in einem aktuellen Jahr gemessenen Temperaturen bzw. Einstrahlungsdaten abweichen, so dass ein Ver-

gleich zu tatsächlichen Energieverbräuchen immer nur in Verbindung mit einer Klimadatenkorrektur möglich ist. Diese kann z.B. nach VDI 3807-1994 [R22] erfolgen. In der folgenden Tabelle 3.3 sind die Referenzwerte der Strahlungsintensitäten und der Außentemperaturen für einzelne Monate für Deutschland aufgeführt.

Tabelle 3.3: Referenzwerte der Strahlungsintensitäten und der Außentemperaturen für das Referenzklima Deutschland.

Referenzklima Deutschland		Strahlungsangebot Monatliche Mittelwerte (W/m ²)												
	Monat	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Orientierung	Neigung													
Horizontal	0	33	52	82	190	211	256	255	179	135	75	39	22	
	Süd	30	51	67	99	210	213	250	252	186	157	93	55	31
		45	57	71	101	205	200	231	235	178	157	97	59	34
		60	60	71	98	190	179	203	208	162	150	95	60	35
		90	56	61	80	137	119	130	135	112	115	81	54	33
Süd-Ost	30	45	62	93	203	211	248	251	183	149	87	49	28	
	45	49	64	92	198	200	232	236	175	148	88	51	30	
	60	49	62	88	185	182	208	213	161	140	85	51	30	
Süd-West	90	44	52	70	140	132	146	153	120	109	69	44	26	
	30	45	62	93	203	211	248	251	183	149	87	49	28	
	45	49	64	92	198	200	232	236	175	148	88	51	30	
Ost	60	49	62	88	185	182	208	213	161	140	85	51	30	
	90	44	52	70	140	132	146	153	120	109	69	44	26	
	30	33	51	78	181	199	238	240	170	129	72	38	21	
West	45	32	49	74	172	187	221	224	160	123	69	37	20	
	60	30	46	68	160	171	201	205	148	114	65	35	19	
	90	25	37	53	125	131	150	156	115	90	51	28	15	
	30	33	51	78	181	199	238	240	170	129	72	38	21	
Nord-West	45	32	49	74	172	187	221	224	160	123	69	37	20	
	60	30	46	68	160	171	201	205	148	114	65	35	19	
	90	25	37	53	125	131	150	156	115	90	51	28	15	
	30	22	39	63	151	180	222	221	150	105	57	28	16	
Nord-Ost	45	20	35	56	132	158	194	194	133	91	51	26	14	
	60	18	32	49	116	139	268	170	118	81	46	23	13	
	90	14	25	38	89	105	124	128	90	62	35	18	10	
	30	22	39	63	151	180	222	221	150	105	57	28	16	
Nord	45	20	35	56	132	158	194	194	133	91	51	26	14	
	60	18	32	49	116	139	168	170	118	81	46	23	13	
	90	14	25	38	89	105	124	128	90	62	35	18	10	
	30	20	34	54	137	173	217	214	142	90	49	26	15	
Temperatur	45	19	32	47	101	143	184	180	115	66	45	24	14	
	60	17	29	44	79	109	143	139	90	59	41	22	13	
	90	14	23	34	64	81	99	100	70	48	33	18	10	
Temperatur	°C	-1,3	0,6	4,1	9,5	12,9	15,7	18,0	18,3	14,4	9,1	4,7	1,3	

4. Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

4.1 Luftberührte Bauteile

Die in der Vergangenheit verwendeten sogenannten k-Werte werden nach den Rechenregeln der internationalen Norm DIN EN ISO 6946 „Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren“ [R15] errechnet. Neben geänderten Randbedingungen zum Wärmeübergang an flächigen Bauteilen und in Luftschichten ändert sich auch die Bezeichnung des Wärmedurchgangskoeffizienten vom k-Wert zum U-Wert. Der Anwendungsbereich der DIN EN ISO 6946 erstreckt sich auf flächige, luftberührte Bauteile. Er umfasst nicht die Ermittlung der U-Werte von Türen, Fenstern und anderen verglasten Einheiten sowie von erdberührten Bauteilen. Hierzu sind z.B., die DIN V 4108-4 [R5] und die DIN 4108-2 [R3] anzuwenden.

4.1.1 Standardfälle

Die Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen sind mit Hilfe des Bemessungswertes der Wärmeleitfähigkeit λ der verwendeten Materialien und ihren Schichtdicken d zu berechnen. Diese Werte sind z.B. der DIN V 4108-4 „Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte“ [R5], oder darüber hinaus der DIN EN 12524 „Wärme- und feuchteschutztechnische Eigenschaften – Tabellierte Bemessungswerte“ [R16] zu entnehmen. Für nicht genormte Stoffe sind die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit z.B. in deren bauaufsichtlichen Zulassungen enthalten oder im Rahmen von Übereinstimmungsnachweisen festgelegt. Der U-Wert eines geschichteten, ebenen Bauteils errechnet sich wie folgt:

$$U = 1 / (R_{si} + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + \dots + d_n/\lambda_n + R_{se}) \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (28)$$

R_{si} und R_{se} bezeichnen die Wärmeübergangswiderstände innen und außen und entsprechen den ehemals gültigen $1/\alpha$ -Werten. Die U-Werte müssen mit zwei Stellen hinter dem Komma gerundet werden [R15].

Tabelle 4.1: Wärmeübergangswiderstände R_{si} , nach [R5].

Wärmeübergangswiderstand [(m ² · K)/W]	Richtung des Wärmestroms		
	Aufwärts	Horizontal	Abwärts
R_{si} - Innenraum	0,10	0,13*	0,17
R_{se} - Außenluft, nicht abgedeckt	0,04	0,04	0,04
R_{se} - Außenluft, abgedeckt und hinterlüftet	0,13	0,13	0,13

* über ± 30° zur horizontalen Ebene

Weiterhin wird der U-Wert mit einem Index versehen:

- AW Außenwand
- w Fenster (window)
- G Erdreich (ground)
- D Dach
- u unbeheizt
- nb niedrig beheizt

Die Wärmeübergangswiderstände von der Raumluft zur Bauteiloberfläche R_{si} bzw. zur Außenumgebung R_{se} sind der Tabelle 4.1 zu entnehmen oder aber nach Anhang A der DIN EN ISO 6946 [R15] exakt zu ermitteln. Dabei muss beachtet werden, dass der Wärmeübergangswiderstand abgedeckter Außenoberflächen wie z.B. bei Dächern oder Vorhangfassaden mit dem in der Vergangenheit bekannten $1/\alpha_a$ -Wert von 0,08 (m² · K)/W zukünftig wie eine stark belüftete Luftschicht angesetzt werden muss. Dann wird R_{se} die gleiche Größenordnung annehmen, wie der auf der raumseitigen Oberfläche vorhandene

R_{si} -Wert (siehe Zeile 3, Tabelle 4.1). Befindet sich im Bauteil eine ruhende Luftschicht, ergibt sich deren Wärmedurchlasswiderstand R in Abhängigkeit der Dicke der Luftschicht und der Richtung des Wärmestroms nach Tabelle 4.2. Diese Kennwerte gelten nur für den Fall, dass die Luftschicht von der Umgebung weitestgehend abgeschlossen ist. D.h., dass 500 mm² Belüftungsöffnungen pro laufendem Meter vertikalem Luftspalt bzw. m² Oberfläche bei horizontaler Luftschicht nicht überschritten werden dürfen. Dies bedeutet z.B., dass bei kerngedämmtem, zweischaligen Mauerwerk mit Entwässerungsöffnungen in Form nicht vermörtelter Stoßfugen im Sockelbereich von einer ruhenden Luftschicht zwischen Dämmung und Vormauerung ausgegangen werden kann.

Sind Luftschichten vorhanden, die als schwach belüftet anzusehen sind – Lüftungsöffnungen zwischen 500 und 1500 mm² pro m bzw. m², wird mit der Hälfte des in Tabelle 4.2 angegebenen

Tabelle 4.2: Wärmedurchlasswiderstand R [(m² · K)/W] von ruhenden Luftschichten in Abhängigkeit der Dicke der Luftschicht und der Richtung des Wärmestroms, nach [R15] (Zwischenwerte dürfen interpoliert werden).

Dicke der Luftschicht [mm]	Richtung des Wärmestroms		
	Aufwärts	Horizontal*	Abwärts
0	0,00	0,00	0,00
5	0,11	0,11	0,11
7	0,13	0,13	0,13
10	0,15	0,15	0,15
15	0,16	0,17	0,17
25	0,16	0,18	0,19
50	0,16	0,18	0,21
100	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

* über ± 30° zur horizontalen Ebene

Wertes gerechnet. Dabei ist hier eine Ausnahme bei Außenschichten (zwischen Luftschicht und Umgebung) mit R-Werten $> 0,15 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ zu beachten: Der Wärmedurchlasswiderstand dieser Außenschicht darf nur mit einem Höchstwert von $0,15 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$ angesetzt werden. In der Baupraxis werden schwach belüftete Luftschichten in der Regel kaum zu finden sein. Anders verhält es sich mit stark belüfteten Luftschichten. Diese befinden z.B. unterhalb einer Dacheindeckung aus Dachziegeln oder ggf. in der darunter liegenden unteren Belüftungsebene zwischen Wärmedämmung und z.B. Unterspannbahn. Sie weisen definitionsgemäß Öffnungen zur Außenumgebung $> 1500 \text{ mm}^2$ Belüftungsöffnung pro laufendem Meter vertikalem Luftspalt bzw. m^2 Oberfläche bei horizontaler Luftschicht auf.

Hinweis:

Zweischaliges Mauerwerk mit belüfteter Luftschicht nach DIN 1053 fällt unter die Definition „stark belüftet“. Die Luftschicht und die Vormauerschale werden somit bei der U-Wert Ermittlung nicht berücksichtigt und statt dessen wird der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} nach Tabelle 4.1, Zeile 3, Spalte 1 von $0,13 (\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$, angesetzt.

4.1.2 Sonderfälle

Der Wärmedurchlasswiderstand eines aus homogenen und inhomogenen Schichten zusammengesetzten Bauteils soll nach einem recht komplizierten Schema mit einer Grenzwert- und Fehlerbetrachtung nach DIN EN ISO 6946 ermittelt werden. Dieser Fall trifft z.B. für die U-Wert Berechnung typischer Sparrendächer zu, da Dämmschichten neben Holzsparren mit unter Umständen abweichender Höhe liegen können oder aber bei Unter-/Übersparrendämmungen Felder übergreifende Schichtungen vorliegen. Vereinfachend kann empfohlen werden, die U-Wert Berechnungen für den Sparren- und den Gefachbereich jeweils getrennt durchzuführen und dabei jeweils eine homogene Schichtung anzunehmen. Der Unterschied zwischen diesen beiden Verfahren ist äußerst gering und beträgt bei U_D -Werten der Dächer zwischen 0,15 und

$0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ maximal 5 %. Bei Sparren/Gefach Anteilen $< 10/90$ % liegt er unter 3 % und findet sich erst an 3. Stelle hinter dem Komma wieder. Die Ermittlung des richtigen Flächenanteils ist für die korrekte U_D -Wert Ermittlung daher von wesentlich größerer Bedeutung als die Anwendung des ausführlichen Berechnungsgangs [L20, L21].

Ebenfalls kompliziert ist die vereinfachte „exakte“ Berechnung keilförmiger Schichten, z.B. Flachdachdämmungen mit Gefälle. Auch hier kann empfohlen werden, abschnittsweise mittlere, auf der sicheren Seite liegende homogene Schichtdicken bei der U-Wert Ermittlung anzusetzen.

U-Wert Korrekturen für Bauteile mit Dämmschichten, an deren Rückseite eine Luftzirkulation auftreten kann (z.B. nicht sorgfältig aufgebrauchte WDVS) können je nach Ausführung mit ΔU -Werten beaufschlagt werden. Dies trifft ebenso für punktuelle, eine Dämmschicht durchdringende Befestigungen zu. Auf diese Fälle wird im einzelnen allerdings nicht weiter eingegangen, da hierzu Regelungen z.B. in bauaufsichtlichen Zulassungen derartiger Produkte getroffen sind.

Bei Einsatz von Umkehrdächern aus extrudierten Polystyrolplatten, die nicht langfristig durch Wasser überstaut sein dürfen und gleichzeitig mit einer Kies-schicht oder einem anderen geeigneten Material abgedeckt sind, werden ebenfalls mit einem Zuschlag ΔU versehen, abhängig vom raumseitigen, unterhalb der Abdichtung liegenden Anteil des gesamten Wärmedurchlasswiderstandes.

Tabelle 4.3: Korrekturen ΔU der Wärmedurchgangskoeffizienten von Umkehrdächern nach [R3]

Raumseitiger Anteil des Wärmedurchlasswiderstandes [%]	ΔU [W/($\text{m}^2 \cdot \text{K}$)]
< 10	0,05
10-50	0,03
> 50	0

4.2 U-Wert Ermittlung von Türen, Fenstern und verglasten Bauteilen

Die Ermittlung der U-Werte transparenter Bauteile ist geregelt in DIN EN ISO 10077-1 [R17] – ausgenommen Dachflächenfenster und auf Grund ihrer komplexen Rahmenkonstruktion Vorhang- und Ganzglasfassaden. Die zukünftigen U_w -Werte setzen sich aus dem U_g -Wert der Verglasung, dem U_f -Wert des Rahmens und dem längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_g des Glas-Abstandhalter-Verbundes zusammen. Weiterhin müssen Korrekturen z.B. zur Berücksichtigung von Sprossen vorgenommen werden (vgl. Kapitel 5). Die in der Vergangenheit praktizierte k-Wert Ermittlung mit der Festlegung von 5 verschiedenen Rahmenmaterialgruppen wird damit hinfällig. Der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{w,BW}$ entspricht gemäß DIN V 4108-4 dem vom Fensterhersteller angegebenen Nennwert U_w .

4.3 U-Wert Ermittlung erdberührter Bauteile

Diesen, normalerweise nach DIN EN ISO 13370 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich“ [R14] zu behandelnden Fall regelt die DIN 4108-2 auf vereinfachende Weise. Grundsätzlich werden die raumseitig der Gebäudeabdichtung liegenden Materialschichten analog der Vorgehensweise bei luftberührten Bauteilen berücksichtigt. Im Erdreich liegende, äußere Wärmedämmschichten z.B. aus extrudiertem Polystyrol oder Schaumglas werden als sog. Perimeterdämmung bezeichnet und werden bei der U_g -Wert Ermittlung dann voll angerechnet, wenn diese Dämmung nicht ständig im Grundwasser liegt, lang anhaltendes Stauwasser oder drückendes Wasser vermieden wird und die Dämmplatten dicht gestoßen und im Verband verlegt eben auf dem Untergrund aufliegen [R3].

5. Tabellierte Baustoff-/Bauteilkennwerte

5.1 Außenwände

Im Außenwandbereich haben sich sowohl die monolithischen Außenwände ohne jegliche Zusatzdämmung als auch die mehrschichtigen Bauteile bewährt. Für die monolithischen Konstruktionen ergeben sich die baupraktischen

Grenzen häufig bei einer Dicke der Wand von max. 50 cm. Hochwärmedämmende Mauerziegel mit Spitzenwerten der Wärmeleitfähigkeit werden mit bauaufsichtlichen Zulassungen über die Produktgruppen der Hersteller angeboten. Deren Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit können die Normwerte (vgl. Kapitel 14.2) um bis zu 50 % unterschreiten. Die Bemessungswerte

der Wärmeleitfähigkeit von genormtem Mauerwerk und von Bauplatten aus Massivbaustoffen sind DIN V 4108-4 [R5] zu entnehmen ebenso die Werte für Putze, Mörtel und Dämmstoffe. Die folgenden Tabellen enthalten U-Werte üblicher Ziegelkonstruktionen. Raumseitig ist jeweils ein 15 mm dicker Gipsputz der Wärmeleitfähigkeit 0,51 W/(m·K) angenommen.

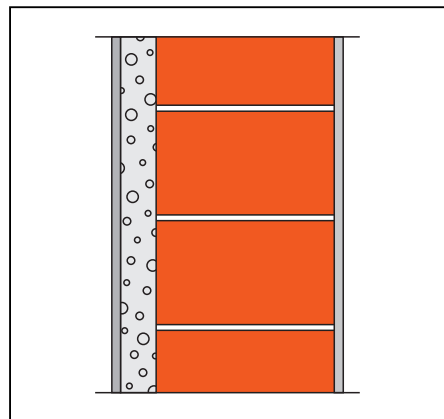
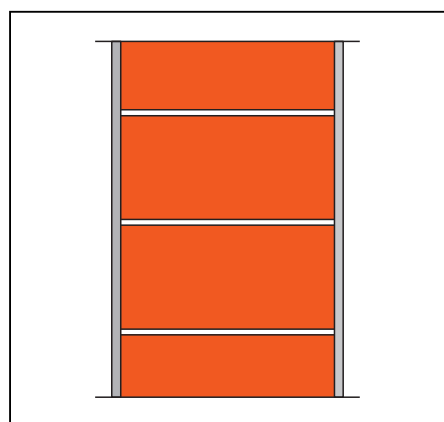


Tabelle 5.1: U-Werte von einschaligem Mauerwerk aus Zulassungsziegeln mit Leichtputz.

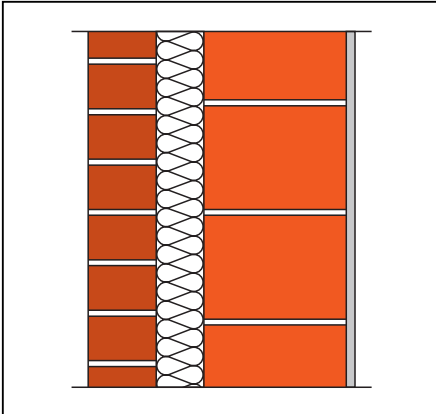
Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ in W/(m·K)	Mineralischer Außenputz $d = 20$ mm	U-Wert in W/(m ² ·K)				
		Mauerwerksdicke in cm				
		24	30	36,5	42,5	49
0,16	Leichtputz $\lambda = 0,25$ W/(m·K)		0,46	0,39	0,34	0,30
0,14		0,50	0,41	0,35	0,30	0,26
0,13		0,47	0,39	0,32	0,28	0,25
0,12		0,44	0,36	0,30	0,26	0,23
0,11		0,41	0,33	0,28	0,24	0,21
0,10		0,37	0,30	0,25	0,22	0,19
0,090		0,34	0,28	0,23	0,20	0,17
0,080		0,31	0,25	0,21	0,18	0,16
0,070			0,22	0,18	0,16	0,14

Tabelle 5.2: U-Werte von einschaligem Ziegelmauerwerk mit Wärmedämmputzen.

Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K)	Dämmputz	U-Wert in W/(m ² ·K)							
		Mauerwerksdicke in cm							
		30		36,5		42,5		49	
Mauerwerk	Dämmputz	Dämmputzdicke in cm		Dämmputzdicke in cm		Dämmputzdicke in cm		Dämmputzdicke in cm	
		2	6	2	6	2	6	2	6
0,16	0,10	0,44	0,37	0,37	0,32	0,33	0,29	0,29	0,26
	0,06	0,42	0,33	0,36	0,29	0,31	0,26	0,28	0,23
0,14	0,10	0,39	0,34	0,33	0,29	0,29	0,26	0,26	0,23
	0,06	0,37	0,30	0,32	0,26	0,28	0,24	0,25	0,21
0,13	0,10	0,37	0,32	0,31	0,28	0,27	0,25	0,24	0,22
	0,06	0,35	0,29	0,30	0,25	0,26	0,22	0,23	0,20
0,12	0,10	0,34	0,30	0,29	0,26	0,25	0,23	0,22	0,20
	0,06	0,33	0,27	0,28	0,24	0,25	0,21	0,22	0,19
0,11	0,10	0,32	0,28	0,27	0,24	0,23	0,21	0,21	0,19
	0,06	0,31	0,25	0,26	0,22	0,23	0,20	0,20	0,18
0,10	0,10	0,29	0,26	0,25	0,22	0,22	0,20	0,19	0,18
	0,06	0,28	0,24	0,24	0,21	0,21	0,18	0,18	0,16
0,090	0,10	0,27	0,24	0,22	0,21	0,20	0,18	0,17	0,16
	0,06	0,26	0,22	0,22	0,19	0,19	0,17	0,17	0,15
0,080	0,10	0,24	0,22	0,20	0,19	0,18	0,16	0,15	0,14
	0,06	0,23	0,20	0,20	0,17	0,17	0,15	0,15	0,14
0,070	0,10	0,21	0,20	0,18	0,17	0,15	0,15	0,14	0,13
	0,06	0,21	0,18	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13	0,12

Hinweis:

Die Wärmeleitfähigkeiten der hochwärmedämmenden Hochlochziegel sind per bauaufsichtlicher Zulassung geregelt. Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit werden immer in Verbindung mit dem zu verwendenden Mauermörtel genannt und gelten für das daraus zusammengesetzte Mauerwerk. Informationen hierzu halten die Produktgruppen und Ziegelwerke bereit.



Zweischaliges Ziegelmauerwerk, d.h. Mauerwerk mit Verblendschale oder mit verputzter Vormauerschale mit Zusatzdämmung und ggf. zusätzlicher Luftschicht hat sich in Gebieten mit hoher Schlagregenbelastung bewährt. Derartige Ausführungen sind in DIN 1053-1 geregelt. Die zur Sicherung der Vormauerschale einzusetzenden Drahtanker brauchen bei der Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U nicht mitberücksichtigt zu werden, da die bis zu max. 5 mm Durchmesser aufweisenden Edelstahlanker lediglich einen marginalen Einfluss auf die gesamte Wärmedämmung der Außenwand ausmachen [L19 + R15]. Bei einem Schalenabstand > 15 cm sind bauaufsichtlich zugelassene Mauerwerkanker zu verwenden. Der damit verbundene Zuschlag ΔU ist zu beachten (vgl. Kapitel 4.1.2).

Der Zuschlag für Mauerwerkanker, die eine Dämmschicht innerhalb eines zweischaligen Mauerwerks durchdringen, berechnet sich nach [R15] wie folgt:

$$\Delta U_f = a \cdot \lambda_f \cdot n_f \cdot A_f \quad [\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})] \quad (29)$$

mit:

- $a = 6 \text{ m}^{-1}$ (konstanter Faktor)
- λ_f = Wärmeleitfähigkeit des Ankers
- n_f = Anzahl Anker je m^2
- A_f = Querschnittsfläche eines Ankers in m^2

Für Edelstahlanker kann $\lambda_f = 17 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ angesetzt werden.

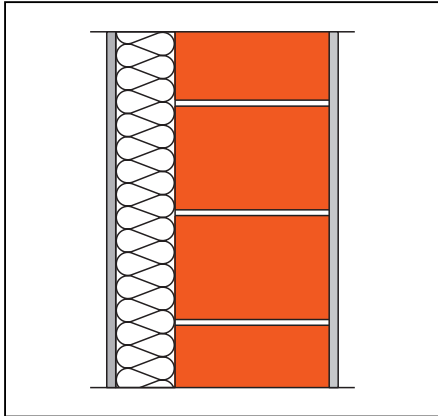
Tabelle 5.3: U-Werte von zweischaligem Mauerwerk mit Dämmstoff ohne Luftschicht (Kerndämmung). Die Wärmeleitfähigkeit der Vormauerung ist mit $0,68 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ angenommen.

Wärmeleitfähigkeit λ in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	U-Wert in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	Mauerwerksdicke der Innenschale in cm					
		17,5			24		
		Dämmstoffdicke in cm					
Mauerwerk (Innenschale) Dämmstoff		8	14	20	8	14	20
0,96	0,035	0,35	0,22	0,16	0,34	0,22	0,16
	0,025	0,27	0,16	0,12	0,26	0,16	0,12
0,58	0,035	0,34	0,21	0,16	0,33	0,21	0,15
	0,025	0,26	0,16	0,12	0,25	0,16	0,11
0,50	0,035	0,33	0,21	0,16	0,32	0,21	0,15
	0,025	0,26	0,16	0,11	0,25	0,16	0,11
0,45	0,035	0,33	0,21	0,15	0,31	0,20	0,15
	0,025	0,25	0,16	0,11	0,24	0,15	0,11
0,42	0,035	0,33	0,21	0,15	0,31	0,20	0,15
	0,025	0,25	0,16	0,11	0,24	0,15	0,11
0,39	0,035	0,32	0,21	0,15	0,31	0,20	0,15
	0,025	0,25	0,16	0,11	0,24	0,15	0,11
0,21	0,035	0,29	0,19	0,14	0,26	0,18	0,14
	0,025	0,23	0,15	0,11	0,21	0,14	0,11
0,18	0,035	0,28	0,19	0,14	0,25	0,18	0,13
	0,025	0,22	0,14	0,11	0,20	0,14	0,10
0,16	0,035	0,27	0,18	0,14	0,24	0,17	0,13
	0,025	0,21	0,14	0,11	0,20	0,13	0,10
0,14	0,035	0,26	0,18	0,14	0,23	0,16	0,13
	0,025	0,21	0,14	0,10	0,19	0,13	0,10

Hinweis:

Ist die Gesamtkorrektur $\Delta U_f \leq 3\%$ des gesamten U -Wertes, kann ein Zuschlag gemäß DIN EN ISO 6946, Absatz 7 unberücksichtigt bleiben.

Die Materialwahl von Wärmedämmstoffen muss unbedingt unter Beachtung der brandschutztechnischen Anforderungen erfolgen, die insbesondere im Geschosswohnungsbau unter Umständen zusätzliche Maßnahmen erforderlich machen.



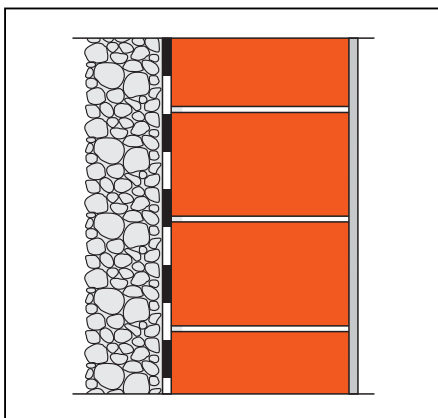
Zusatzgedämmtes Ziegelmauerwerk mit bauaufsichtlich zugelassenen Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) kann vor allem im Geschosswohnungsbau bei schlanken Außenwandkonstruktionen eingesetzt werden. Dabei ist vor allem auf eine schwerere Hintermauerung zu achten, um den Schall- und Lärmschutz im Gebäude sicher zu stellen.

Hinweis:

Verdübelungen im WDVS können sowohl den U-Wert als auch den Schallschutz der Gesamtkonstruktion verschlechtern. Angaben hierzu sind den jeweiligen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen. Bei der Materialwahl der Dämmstoffe sind die Anforderungen an den baulichen Brandschutz zu beachten.

Tabelle 5.4: U-Werte von Ziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Mögliche Zuschläge auf den U-Wert der Gesamtkonstruktion sind nicht berücksichtigt.

Wärmeleitfähigkeit λ in $W/(m \cdot K)$		U-Wert in $W/(m^2 \cdot K)$					
		Mauerwerksdicke in cm					
		17,5			24		
Mauerwerk	Dämmstoff	Dämmstoffdicke in cm					
		8	14	20	8	14	20
0,96	0,040	0,42	0,26	0,19	0,41	0,25	0,18
	0,035	0,37	0,23	0,16	0,37	0,22	0,16
0,81	0,040	0,41	0,26	0,18	0,40	0,25	0,18
	0,035	0,37	0,23	0,16	0,36	0,22	0,16
0,58	0,040	0,40	0,25	0,18	0,38	0,24	0,18
	0,035	0,36	0,22	0,16	0,34	0,22	0,16
0,50	0,040	0,39	0,25	0,18	0,37	0,24	0,18
	0,035	0,35	0,22	0,16	0,34	0,21	0,16
0,45	0,040	0,39	0,24	0,18	0,37	0,24	0,17
	0,035	0,35	0,22	0,16	0,33	0,21	0,16
0,42	0,040	0,38	0,24	0,18	0,36	0,23	0,17
	0,035	0,34	0,22	0,16	0,33	0,21	0,15
0,39	0,040	0,38	0,24	0,18	0,36	0,23	0,17
	0,035	0,34	0,22	0,16	0,32	0,21	0,15
0,21	0,040	0,33	0,22	0,17	0,30	0,21	0,16
	0,035	0,30	0,20	0,15	0,28	0,19	0,14
0,18	0,040	0,32	0,21	0,16	0,28	0,20	0,15
	0,035	0,29	0,19	0,15	0,26	0,18	0,14
0,16	0,040	0,30	0,21	0,16	0,27	0,19	0,15
	0,035	0,28	0,19	0,14	0,25	0,18	0,13
0,14	0,040	0,29	0,20	0,16	0,26	0,18	0,14
	0,035	0,27	0,18	0,14	0,24	0,17	0,13



Ziegelmauerwerk im Erdreich ist bei sachgerechter Ausführung mit und ohne zusätzliche Dämmung möglich. Vor allem bei der Nutzung hochwertiger Auf-

Tabelle 5.5: U-Werte von erdberührten Wänden mit 3-4 mm bituminöser Abdichtung ohne Zusatzdämmung.

Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ in $W/(m \cdot K)$	U-Wert in $W/(m^2 \cdot K)$			
	Mauerwerksdicke in cm			
	30	36,5	42,5	49
0,33		0,78	0,68	0,60
0,30		0,72	0,63	0,55
0,27	0,78	0,65	0,57	0,50
0,24	0,70	0,59	0,51	0,45
0,21	0,62	0,52	0,45	0,40
0,18	0,54	0,45	0,39	0,35
0,16	0,49	0,41	0,35	0,31
0,14	0,43	0,36	0,31	0,27

enthaltene Räume im Keller kann der hohe Wärmeschutz von Ziegelwänden bei gleichzeitig hoher Tragfähigkeit genutzt werden. Unabdingbar zur Dauerhaftigkeit der Konstruktion ist eine regelgerechte Abdichtung gegen Feuchtigkeit nach DIN 18195 (Bauwerksabdichtung) [R26].

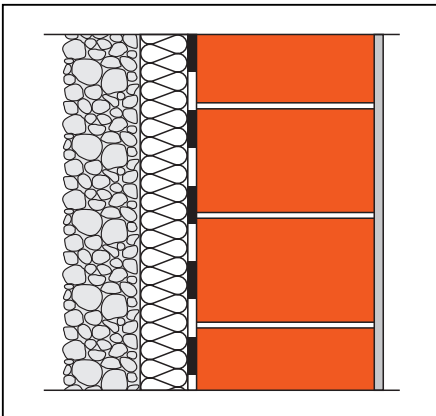


Tabelle 5.6: U-Werte von erdberührten Wänden beheizter Räume mit 3-4 mm bituminöser Abdichtung und zusätzlicher Perimeterdämmung der Wärmeleitfähigkeit 0,04 W/(m·K).

Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ in W/(m·K)	Mauerwerksdicke in cm	U-Wert in W/(m ² ·K)		
		Dämmschichtdicke in cm		
		4	6	8
0,33	30	0,48	0,39	0,32
	36,5	0,44	0,36	0,30
0,27	30	0,44	0,36	0,30
	36,5	0,39	0,33	0,28
0,21	30	0,38	0,32	0,28
	36,5	0,34	0,29	0,26
0,18	30	0,35	0,30	0,26
	36,5	0,31	0,27	0,24
0,16	30	0,33	0,28	0,25
	36,5	0,29	0,25	0,22
0,14	30	0,30	0,26	0,23
	36,5	0,27	0,23	0,21

5.2 Innenwände

An Innenwänden werden in der Regel keine wärmeschutztechnischen Anforderungen gestellt. Hier ist vor allem der

Schallschutz oder die Tragfähigkeit von Bedeutung. Befinden sich unbeheizte oder lediglich durch Raumverbund beheizte Räume ohne Heizkörper neben normal temperierten Bereichen, sollte diese Zonen immer in das gesamte beheizte Volumen eingerechnet werden.

Es ist günstig, derartige Zonen nicht von direkt beheizten Zonen abzuschirmen, da hierdurch das A/V-Verhältnis abgesenkt werden kann.

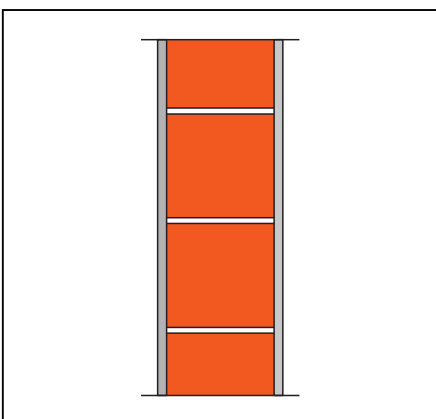


Tabelle 5.7: U-Werte von Innenwänden mit beidseitig je 15 mm Gipsputz.

Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ in W/(m·K)	U-Wert in W/(m ² ·K)			
	Mauerwerksdicke in cm			
	11,5	17,5	24	30
0,39	1,63	1,30	1,07	0,92
0,36	1,57	1,24	1,01	0,87
0,33	1,50	1,18	0,96	0,81
0,30	1,42	1,11	0,89	0,76
0,27	1,34	1,03	0,83	0,70
0,24	1,25	0,95	0,76	0,64
0,21	1,15	0,87	0,68	0,57
0,18	1,04	0,77	0,61	0,50
0,16	0,96	0,71	0,55	0,46

5.3 Fenster

Das geringste Dämmniveau aller Außenbauteile weist in der Regel das Fenster auf. Es lassen sich allerdings erhebliche Solargewinne erzielen, so dass bei sinnvoller Fensteranordnung und -orientierung die passiven Solargewinne die Wärmeverluste voll ausgleichen können. Die U_g -Werte der Mehrscheiben-Isolierverglasungen mit Argon- oder Kryptonfüllung aber ohne Sonderfunktionen wie z.B. erhöhter Schallschutz oder Sonnenschutz liegen bei $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ bei Zweifach-Wärmeschutzverglasungen mit Gesamtenergiedurchlassgraden g von etwa $0,57$. Die Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen warten mit U_g -Werten von bis zu $0,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und entsprechend niedrigeren g -Werten von etwa $0,42$ auf.

Tabelle 5.8.1: Wärmedurchgangskoeffizienten U_w von Fenstern und Fenstertüren in Abhängigkeit vom Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung U_g und Rahmen U_f nach [R17].

	U_g $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	U_f -Wert in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$									
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0	
Einfachglas	5,7	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1	
2-fach Isolierglas	3,3	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,4	3,5	3,6	4,4	
	3,1	2,6	2,7	2,8	2,9	3,1	3,2	3,3	3,5	4,3	
	2,9	2,4	2,5	2,7	2,8	3,0	3,1	3,2	3,3	4,1	
	2,7	2,3	2,4	2,5	2,6	2,8	2,9	3,1	3,2	4,0	
	2,5	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	3,0	3,1	3,9	
	2,3	2,1	2,2	2,3	2,4	2,6	2,7	2,8	2,9	3,8	
	2,1	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	2,7	2,8	3,6	
	1,9	1,8	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,7	3,5	
	1,7	1,6	1,8	1,9	2,0	2,2	2,3	2,4	2,5	3,3	
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2	
1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1		
1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9		

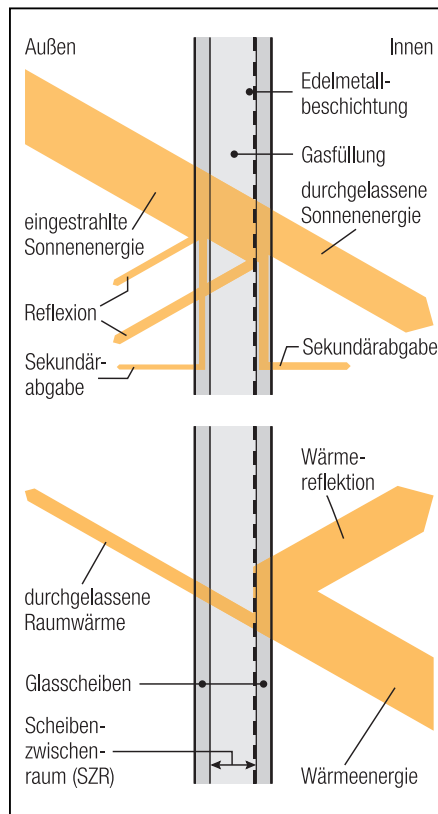


Bild 5.1: Wärmedurchgang durch ein Fenster mit Wärmeschutzglas (schematische Darstellung)

Wird das sehr teure und nur wenig verfügbare Edelgas Xenon eingesetzt, reduzieren sich die U_g -Werte noch einmal um $0,1$ bis $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, ohne dass sich die g -Werte nennenswert verringern. Sonnenschutz- und Schallschutzverglasungen weisen häufig g -Werte unter $0,3$ auf und minimale U -Werte von etwa $1,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Die vom Hersteller angegebenen Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit von Verglasungen U_g und Rahmen U_f sind mit Hilfe der Tabellen 5.8.1 bzw. 5.8.2 in Nennwerte für Fenster U_w zu überführen. Sie gelten für einen Rahmenanteil $\leq 30\%$. Gemäß DIN 4108-4 ist der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{w,BW}$ gleich dem Nennwert U_w .

Tabelle 5.8.2: Wärmedurchgangskoeffizienten U_w von Fenstern und Fenstertüren in Abhängigkeit vom Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung U_g und Rahmen U_f nach [R17].

	U_g	U_f -Wert in $W/(m^2 \cdot K)$								
	$W/(m^2 \cdot K)$	1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
3-fach Isolier- glas	2,3	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,7	2,8	2,9	3,7
	2,1	1,9	2,0	2,1	2,2	2,4	2,5	2,6	2,8	3,6
	1,9	1,7	1,8	2,0	2,1	2,3	2,4	2,5	2,6	3,4
	1,7	1,6	1,7	1,8	1,9	2,1	2,2	2,4	2,5	3,3
	1,5	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,3	2,4	3,2
	1,3	1,4	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,2	3,1
	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,9	2,0	2,1	2,9
	0,9	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	1,8	2,0	2,8
	0,7	0,9	1,1	1,2	1,3	1,5	1,6	1,7	1,8	2,6
	0,5	0,8	0,9	1,0	1,2	1,3	1,4	1,6	1,7	2,5

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Fenster ergeben sich gemäß DIN EN ISO 10077-1 [R17] und sind für Fensterrahmenanteile 30 % in den Tabellen 5.8.1 und 5.8.2 gelistet. Für besondere Glas-Abstandhalter aus Aluminium oder Stahl, für Sprossen etc. können Korrekturen ΔU_w des Wärmedurchgangskoeffizienten erforderlich werden. Diese sind vom Hersteller anzugeben.

Kunststoffrahmen aus PVC-Hohlprofilen mit zwei Hohlkammern sind mit einem U_f -Wert von 2,2 $W/(m^2 \cdot K)$, solche mit drei Hohlkammern mit 2,0 $W/(m^2 \cdot K)$ anzusetzen. Bei Holzrahmen muss zwischen Hartholz und Weichholz unterschieden werden. Übliche Rahmen-Nennstärken von 66 mm weisen einen U_f -Wert von etwa 2,1 $W/(m^2 \cdot K)$ für Hartholz und 1,8 $W/(m^2 \cdot K)$ für Weichholz auf. Insbesondere der Einsatz von Dreifach-Verglasungen macht dickere Rahmen-/Flügelkonstruktionen erforderlich. Werden hier die Nennstärken von z.B. 95 mm eingesetzt, ist mit $U_f = 1,8 W/(m^2 \cdot K)$ für Hartholz und 1,55 $W/(m^2 \cdot K)$ für Weichholz zu rechnen.

Metallrahmen ohne thermische Trennung müssen mit einem U_f -Wert von 5,9 $W/(m^2 \cdot K)$ angesetzt werden, bei Flügelrahmen mit thermischer Trennung liegen die Werte in Abhängigkeit des Abstands der zwei getrennten Metallschalen zwischen 2,5 und 4,0 $W/(m^2 \cdot K)$.

Bei Verwendung von Rollladenkästen sind einige Besonderheiten zu beachten: Die Anforderungen gemäß DIN V 4108-2 an den mittleren Wärmedurchlasswiderstand $R \geq 1,0 (m^2 \cdot K)/W$, sowie an den raumseitigen Deckel mit $R \geq 0,55 (m^2 \cdot K)/W$ werden durch die am Markt verfügbaren Kästen in der Regel deutlich erfüllt. Selbsttragende Einbau-Rollladenkästen werden gemäß Bauregelliste mit einem Ü-Zeichen versehen, die U-Werte der Kästen von den Herstellern angegeben. Die Transmissionswärmeverluste der Kästen können entweder mit ihrem Flächenanteil und dem ausgewiesenen U-Wert oder aber durch Übermessen der Außenwand und entsprechender Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkungen nachgewiesen werden [L22].

Lichtkuppeln weisen nach DIN V 4108-4 U_w -Werte von 3,5 für zweischalige und 2,5 $W/(m^2 \cdot K)$ für 3-schalige Ausführungen auf.

5.4 Dächer

Besonders wirtschaftlich ist es, insbesondere die Dachflächen als die höchstgedämmten Bauteile auszuführen. Neben den zimmermannsmäßig ausgebildeten, vollsparrengedämmten Systemen werden Massivdächer mit zusätz-

licher, oben aufliegender Dämmung sowie selbsttragende Systemdächer aus extruder- oder hartgeschäumten Kunststoffen eingesetzt. Die Wärmeleitfähigkeiten der normalerweise eingesetzten Dämmstoffe sind nach Wärmeleitfähigkeitsklassen zwischen 025 und 040 genormt. Die Dächer erreichen bei Dämmschichtdicken von 20cm unter Berücksichtigung der Wärmebrücken-

effekte der Tragkonstruktion U-Werte von etwa 0,2 W/(m²·K). Werden zusätzliche Dämmschichten als sogenannte Untersparrendämmung aufgebracht oder erfolgt eine Übersparrendämmung, sinken die U-Werte bei ca. 25 cm Systemaufbau auf etwa 0,16, bei 30 cm Aufbauhöhe auf etwa 0,13 W/(m²·K). Neben dem möglichst niedrigen Wärmedurchgangskoeffizienten des

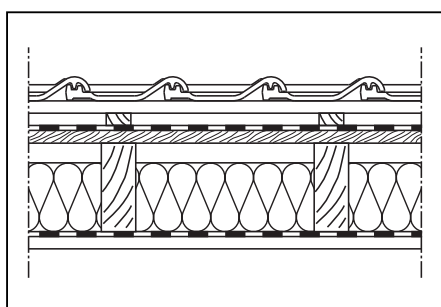


Tabelle 5.10: U-Werte im Sparren-/Gefachbereich von Dächern mit Zwischensparrendämmung und zusätzlicher Belüftungsebene mit oder ohne Unterdach. Raumseitig ist eine 12,5 mm dicke Gipskartonplatte auf Unterkonstruktion angesetzt worden.

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten bzw. des Holzsparren in W/(m·K)	U-Wert in W/(m ² ·K)			
	Dicke der Dämmschicht / wirksame Sparrenhöhe in cm			
	18	20	22	24
0,04	0,20	0,18	0,17	0,16
0,035	0,18	0,16	0,15	0,14
0,13	0,55	0,51	0,47	0,44

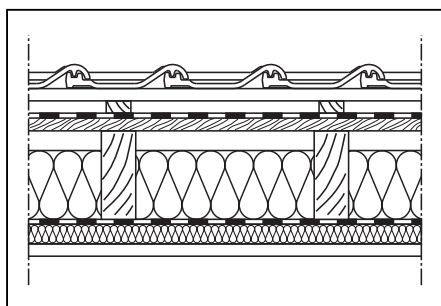


Tabelle 5.11: U-Werte im Sparren-/Gefachbereich von Dächern mit Zwischensparrendämmung und zusätzlicher Belüftungsebene mit oder ohne Unterdach und 4 cm Untersparrendämmung der WLG 040. Raumseitig ist eine 12,5 mm dicke Gipskartonplatte auf Unterkonstruktion angesetzt worden.

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten bzw. des Holzsparren und der Untersparrendämmung in W/(m·K)	U-Wert in W/(m ² ·K)			
	Dicke der Dämmschicht / wirksame Sparrenhöhe in cm			
	18	20	22	24
0,04/0,04	0,17	0,16	0,15	0,14
0,035/0,04	0,16	0,14	0,13	0,12
0,13/0,04	0,38	0,36	0,34	0,32

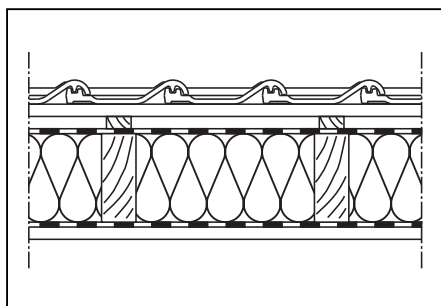


Tabelle 5.12: U-Werte im Sparren-/Gefachbereich von Dächern mit Vollsparrendämmung. Raumseitig ist eine 12,5 mm dicke Gipskartonplatte auf Unterkonstruktion angesetzt worden.

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten bzw. des Holzsparren in W/(m·K)	U-Wert in W/(m ² ·K)			
	Dicke der Dämmschicht / wirksame Sparrenhöhe in cm			
	18	20	22	24
0,04	0,20	0,19	0,17	0,16
0,035	0,18	0,16	0,15	0,14
0,13	0,56	0,52	0,48	0,45

Dachs ist der Luftdichtheit besondere Aufmerksamkeit zu widmen (siehe hierzu Kapitel 7).

Die folgenden Tabellen mit Aufbauten geneigter Dächer geben jeweils die U-Werte im Bereich der Sparren und im Gefachbereich wieder. Die Sparrenabstände liegen in der Regel zwischen 60 und 75 cm. Die Sparrenbreiten liegen

normalerweise zwischen 6 und 10 cm. Somit ergeben sich die prozentualen Anteile Sparren/Gefach zwischen 10/90 und 15/85 Prozent. Höhere Sparrenanteile sind eher ungewöhnlich und sollten vermieden werden. (s. Tabellen 5.10 bis 5.13) Die Ermittlung von U-Werten nach DIN EN ISO 6946 ermöglicht die Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung von Sparren und Gefach (s. Kapitel 4.1.2).

Die Tabellen 5.14 und 5.15 beinhalten die U-Werte von Flachdächern mit zwei verschiedenen Dämmkonstruktionen. Dabei wird davon ausgegangen, dass die tragende Dachkonstruktion aus 20 cm Stahlbeton besteht. Werden Ziegel-Elementdecken oder Ziegel-Einhängedecken verwendet, ergeben sich geringfügig günstigere U-Werte.

Tabelle 5.13: U-Werte von Dächern mit Aufsparrendämmung. Raumseitig ist eine 20 mm dicke Holzschalung angesetzt worden.

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in $W/(m \cdot K)$	U-Wert in $W/(m^2 \cdot K)$			
	Dicke der Dämmschicht in cm			
	18	20	22	24
0,040	0,21	0,19	0,17	0,16
0,035	0,18	0,16	0,15	0,14
0,030	0,16	0,14	0,13	0,12
0,025	0,13	0,12	0,11	0,10

* Der Sparrenbereich ist hier nicht ausgewiesen, da die Sparren vollständig im beheizten Bereich liegen und bei der U-Wert Ermittlung unberücksichtigt bleiben können.

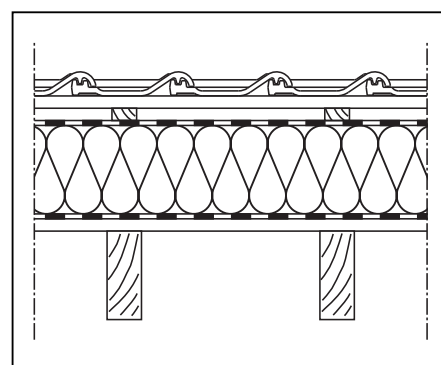


Tabelle 5.14: U-Werte von massiven Warmdächern mit Dämmung unterhalb der Dachhaut. Der massive, tragende Aufbau ist aus Beton mit $d = 20$ cm und mit $\lambda = 2,1 W/(m \cdot K)$ angerechnet worden.

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in $W/(m \cdot K)$	U-Werte in $W/(m^2 \cdot K)$			
	Dicke der Dämmschicht in cm			
	18	20	22	24
0,040	0,21	0,19	0,17	0,16
0,035	0,18	0,17	0,15	0,14
0,030	0,16	0,14	0,13	0,12
0,025	0,13	0,12	0,11	0,10

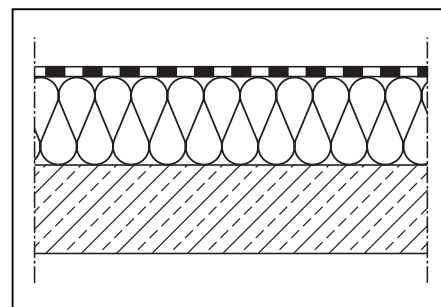
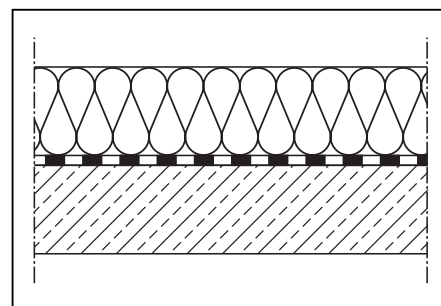


Tabelle 5.15: U-Werte von massiven Dächern mit Umkehrdämmung. Der massive, tragende Aufbau ist aus Beton mit $d = 20$ cm und mit $\lambda = 2,1 W/(m \cdot K)$ angerechnet worden. Unterhalb der Dachisolierung befindet sich keine Dämmung, so dass sich nach [R3] ein Zuschlagswert ΔU von $0,05 W/(m^2 \cdot K)$ ergibt, der in den nachfolgenden Zahlenwerten schon enthalten ist.

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in $W/(m \cdot K)$	U-Werte in $W/(m^2 \cdot K)$			
	Dicke der Dämmschicht in cm			
	18	20	22	24
0,040	0,26	0,25	0,23	0,21
0,035	0,23	0,22	0,21	0,19



5.5 Decken, Fußböden

Die Temperaturdifferenz zwischen z.B. unbeheizten Kellerräumen und dem vollbeheiztem Bereich oder aber auch über eine Bodenplatte zum Erdreich ist im Jahresmittel etwa nur halb so groß wie bei außenluftberührten Bauteilen. Dies bewirkt eine Halbierung der spezifischen Transmissionswärmeverluste und somit eine geringere Effizienz wärmeschutztechnischer Maßnahmen. Die Dämm-

stoffstärken dieser Bauteile sollten daher besonders unter konstruktiven und Wirtschaftlichkeitsaspekten festgelegt werden.

Als vorteilhaft hat sich eine zweischichtige Anordnung der Dämmebenen erwiesen. Die in der Regel unter dem Estrich eingesetzte Trittschalldämmung kann geringfügig erhöht werden, da hierdurch z.B. auf der Rohdecke verlegte Versorgungsleitungen schalltechnisch besser isoliert werden. Eine zweite Dämmebene unterhalb der Decke oder Bodenplatte redu-

ziert neben den flächigen Transmissionswärmeverlusten die Wärmebrückenverluste von aufgehenden Wänden und ggf. der Fundamente. Neue Dämmstoffe mit hoher zulässiger Flächenpressung sind ein geeignetes Mittel, kostengünstige Dämm-Maßnahmen im Bereich nicht unterkellerten Gebäude zu realisieren. Die U-Werte keller- oder erdberührter Bauteile brauchen aus den zuvor genannten Gründen in der Regel nicht niedriger als $0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ sein, was einer Dämmstoffdicke von insgesamt etwa 12 cm entspricht.

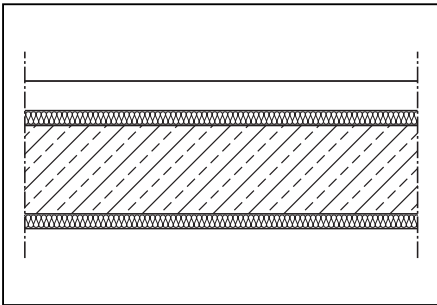


Tabelle 5.16: U-Werte von Geschossdecken aus Stahlbeton mit 5 cm schwimmendem Zementestrich. Die Lage der Dämmschicht (oberhalb oder unterhalb der Massivdecke) spielt für den U-Wert keine Rolle, ebenso wie die Dicke der Stahlbetondecke.

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	U-Werte in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$			
	Gesamtdicke der Dämmschicht in cm			
	6	8	10	12
0,040	0,51	0,41	0,34	0,29
0,035	0,46	0,36	0,30	0,26
50% - 0,040 50% - 0,035	0,48	0,38	0,32	0,27
50% - 0,040 50% - 0,030	0,45	0,36	0,30	0,25

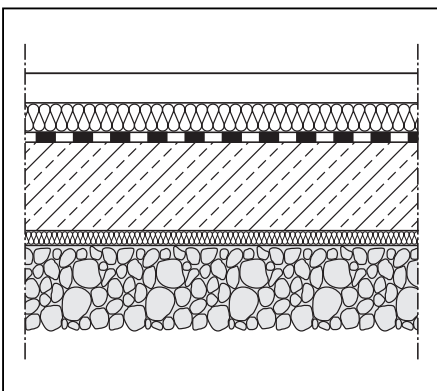


Tabelle 5.17: U-Werte von Bodenplatten auf Erdreich aus Stahlbeton mit 5 cm schwimmendem Zementestrich. Die Lage der Dämmschicht (oberhalb oder unterhalb der Massivdecke) spielt für den U-Wert keine Rolle, ebenso wie die Dicke der Stahlbetondecke.

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	U-Werte in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$			
	Gesamtdicke der Dämmschicht in cm			
	6	8	10	12
0,040	0,56	0,44	0,36	0,30
0,035	0,50	0,39	0,32	0,27
50% - 0,040 50% - 0,035	0,52	0,41	0,34	0,28
50% - 0,040 50% - 0,030	0,49	0,38	0,31	0,26

6.1 Vorbemerkungen

In den letzten Jahren sind einige Wärmebrückenkataloge entstanden, die an prägnanten Baudetails die Temperaturverhältnisse und Wärmeverluste aufzeigen. Berechnet werden diese Werte mit numerischen Rechenverfahren unter Verwendung der DIN EN ISO 10211 [R19]. Als Planungshilfe ist die Norm DIN 4108, Beiblatt 2 „Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele“ [R10] erschienen. Ebenfalls sind einige kommerzielle Rechenprogramme auf dem Markt erhältlich, mit denen zwei- und dreidimensionale Temperatur- und Wärmestromberechnungen durchgeführt werden können. Diese setzen jedoch einen erheblichen Aufwand an Eingabearbeit voraus, so dass sie für die Berechnung bauüblicher Konstruktionen für den Planer sehr aufwändig sind.

Die Ziegelindustrie hat eine einfach zu handhabende Detailsammlung besonders wärmebrückenarmer Konstruktionen mit den dazugehörigen Kennwerten erstellt. Dies Planungsmittel steht sowohl als eigenständiges PC-Programm als auch als Bestandteil des PC-Nachweisprogramms zur EnEV für den detaillierten Wärmebrückennachweis zur Verfügung.

6.2 Geometrische Wärmebrücken

Diese entstehen in homogenen Bauteilen durch Änderung der Bauteilgeometrie. Das sind insbesondere Ecken und Vorsprünge, die aus dem gleichen Material bestehen wie die flächigen Bauteilbereiche. Der typische Fall hierfür ist die zweidimensionale Außenwanddecke. Der Wärmebrückeneffekt kommt dadurch zustande, dass gegenüber der warmen Innenoberfläche eine vergrößerte kalte Außenoberfläche vorhanden ist. Dies verursacht laterale, d.h. seitlich abfließende Wärmeströme, die das Temperaturniveau auf der Innenoberfläche zur Ecke hin absenken. Bei Außenwanddecken, die meist aus gleicher Wanddicke und gleichem Material bestehen, bilden sich ein exakt symmetrischer Wärmestrom- und Oberflächentemperaturverlauf.

6.3 Materialbedingte Wärmebrücken

Dort, wo verschiedene Materialien mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit aufeinander treffen, existieren laterale Wärmeströme, die nicht mehr nur senkrecht von Oberfläche zu Oberfläche fließen. Es entsteht ein Wärmestromverlauf, der seine Richtung in Abhängigkeit der verschiedenen Materialstärken und -leitfähigkeiten ändert. Die Berechnung dieser Temperatur- und Wärmestromverläufe erfordert einen enormen rechnerischen Aufwand. Diese Wärmebrückenart tritt an fast allen Bauteilverbindungen des Hochbaus auf, da die zu verbindenden Bauteile so gut wie immer aus verschiedenen Materialien bestehen. Weiterhin ist eine Kombination aus geometrischen und materialbedingten Wärmebrücken in der Praxis häufig anzutreffen.

Diese lateralen Wärmeströme treten auch innerhalb wärmedämmender Hochlochziegel auf und sind im Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks berücksichtigt. Die inneren ziegel-spezifischen Einflüsse an Wärmebrückendetails können daher vernachlässigt werden und sind nach Beiblatt 2 zu DIN 4108 nicht gesondert zu berücksichtigen.

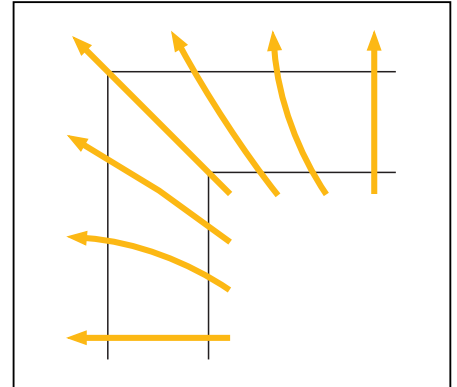


Bild 6.1: Wärmestromverlauf durch eine zweidimensionale, monolithische Außenwanddecke.

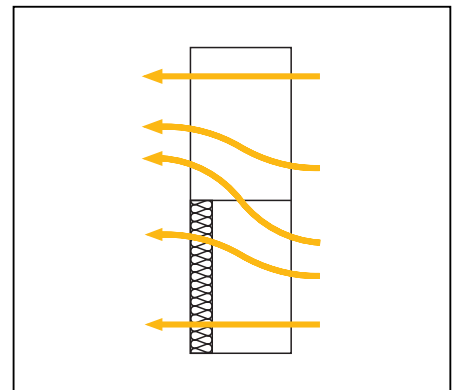


Bild 6.2: Wärmestromverlauf in einem aus zwei nebeneinander liegenden Bereichen zusammengesetzten Außenbauteil.

6.4 Konvektive Wärmebrücken

Wärmebrücken dieser Art sind immer dort vorzufinden, wo Luftundichtheiten insbesondere bei Windanströmungen zur Absenkung der Bauteiltemperaturen führen. Durch Verletzungen der Dampfsperre oder der Luftdichtheitsschicht im Dachbereich entstandene Leckagen verursachen neben den zusätzlichen unkontrollierten Lüftungswärmeverlusten unter Umständen einen erheblichem konvektiven Feuchteintrag in die Konstruktion und führen, da warme, Feuchtigkeit enthaltene Raumluft beim Durchströmen einer Wärmedämmung abkühlt und Tauwasser ausfällt, häufig zu Bauschäden [L2].

6.5 Zusätzliche Wärmeverluste

Die zusätzlichen Wärmeverluste durch Wärmebrücken lassen sich als zusätzlicher Wärmedurchgangskoeffizient ΔU_{WB} mit Hilfe des auf die Außenmaße längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_e [W/(m·K)] wie folgt errechnen:

$$\Delta U_{WB} = \Sigma (l \cdot \Psi_e) / A \quad [W / (m^2 \cdot K)] \quad (30)$$

mit:

Ψ_e = längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke [W/(m·K)]

l = Länge der Wärmebrücke [m]

A = wärmetauschende Hüllfläche (des Gebäudes) [m²]

In der Regel werden die Wärmeverluste der wärmetauschenden Außenbauteile über die Außenmaße ermittelt. Das führt zum Beispiel bei Außenecken dazu, dass sich das Produkt aus wärmetauschender Fläche und deren U-Wert zu groß ergibt, da dies gegenüber der innenmaßbezogenen und tatsächlich wärmetauschenden Fläche und zusätzlicher Berücksichtigung der Wärmebrücke deutlich zu hoch ausfällt. Aus diesem Grunde können bei der Ermittlung der ΔU_{WB} -Werte negative Zahlenwerte zustande kommen.

1. Die seitlichen Fensteranschlüsse bewirken in jedem Fall zusätzliche Wärmeverluste. Die mittige Lage des Fensters in der Außenwand führt in der Regel zu den geringsten Zusatzverlusten. Rollladenkästen bewirken unter Umständen recht hohe zusätzliche Transmissionswärmeverluste. Da diese bei der Ermittlung der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten berücksichtigt werden, brauchen die Rollladenkästen flächenmäßig in der Gebäudehülle üblicherweise nicht angesetzt werden.
2. Die Kellerdeckenanbindung ist für hochwärmedämmende Außenwände bei Einsatz einer Perimeterdämmung, die bis in das Erdreich reicht, unkritisch. Dies gilt in der Regel ebenso für die Geschossdeckenaufleger an den Außenwänden, die sich allerdings insbesondere in Mehrgeschossbauten zu erheblichen Längen aufsummieren. Daher ist eine wärmebrückenarme Ausführung erforderlich.
3. Die Dachanschlüsse werden in den verschiedensten Ausführungen umgesetzt, so dass allgemeingültige Angaben von Zusatzverlusten kaum möglich sind.

Die nachfolgende Tabelle 8.1 zeigt die Spannweite der wichtigsten außenmaßbezogenen Ψ_e -Werte, die nach DIN V 4108-6 zu berücksichtigen sind.

Tabelle 6.1: Bandbreite der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_e verschiedener Bauteilanschlüsse im Massivbau.

Bauteilanschluss	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ_e [W/(m·K)]	
	minimal	maximal
Außenwanddecke	-0,24	-0,07
Fensteranschluss-Leibung	-0,06	0,12
Fensteranschluss-Brüstung	0,02	0,11
Fensteranschluss-Sturz	0,03	0,25
Geschossdeckenaufleger	0,00	0,15
Kellerdeckenaufleger	-0,15	0,20
Dachanschluss-Traufe	-0,12	0,07
Dachanschluss-Ortgang	-0,07	0,07

6.6 Einfluss auf den Heizwärmebedarf

Der Einfluss der Wärmebrücken auf den Heizwärmebedarf lässt sich nach Kenntnis der zuvor genannten Größen leicht berechnen. Nach DIN V 4108-6 Kap. 5.5.2 und EnEV Anlage 3 Absatz 8.1 ergeben sich die vier im Folgenden beschriebenen Möglichkeiten der Nachweisführung:

- Berücksichtigung durch Erhöhung des spezifischen Transmissionswärmeverlustes H_T um $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche,
- bei Anwendung von Planungsbeispielen nach DIN 4108, Beiblatt 2: Erhöhung um $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- bei Bestandsgebäuden an denen > 50 % der Außenwände mit einer Innendämmung versehen sind beträgt $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- durch genauen Nachweis der Wärmebrücken nach DIN V 4108-6 in Verbindung mit anerkannten Regeln der Technik.

Werden die Wärmebrückeneffekte im einzelnen nachgewiesen, müssen nach DIN V 4108-6 mindestens folgende Details rechnerisch berücksichtigt werden:

- Gebäudekanten
- Fenster- und Türanschlüsse (umlaufend)
- Wand- und Deckeneinbindungen
- Deckenaufleger
- wärmetechnisch entkoppelte Balkonplatten

Die Gebäudekanten, also insbesondere Außenecken bedingen in der Regel negative längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten. Fensteranschlüsse bewirken den höchsten Wärmebrückenanteil an einem Gebäude und sind daher besonders sorgfältig zu detaillieren. Die Deckenaufleger der Geschossdecken summieren sich bei mehrgeschossigen Gebäuden zu erheblichen Gesamtlängen. Dabei ist zu beachten, dass im Bereich der Fensterstürze/Rolladenkästen diese Deckenlängen nicht aufsummiert werden, da deren Effekte in denen der Fensteranschlüsse schon berücksichtigt sind. Drahtanker in zweischaligem Mauerwerk brauchen in der Regel ebenfalls nicht berücksichtigt zu werden (s. Kapitel 5.1).

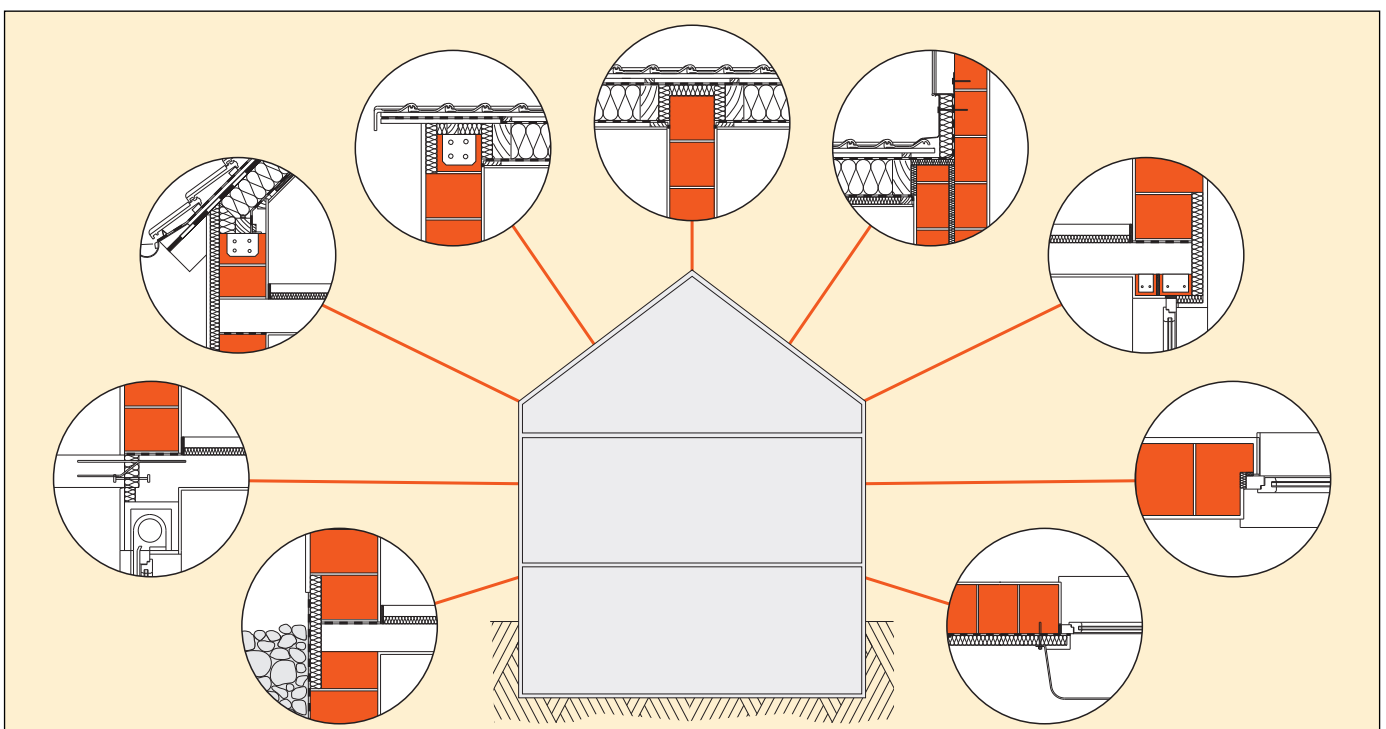
Hinweis:

Das Ziegel-EnEV-Nachweisprogramm enthält eine umfangreiche Sammlung von berechneten Wärmebrückendetails aller im Massivbau wichtigen Anschlüsse mit dem ein Einzelnachweis nach Punkt d) leicht zu führen ist. Hierdurch lassen sich in der Regel die Wärmebrückeneffekte nochmals um mindestens 50 % gegenüber Fall b) mit wirtschaftlichen Maßnahmen vermindern.

Hinweis:

Werden von Beiblatt 2 DIN 4108 abweichende Details realisiert, dürfen diese nur dann über den pauschalen Wärmebrückenzuschlag im Nachweis berücksichtigt werden, wenn die Gleichwertigkeit zur Beiblatt-Lösung nachgewiesen ist. Dies ist für solche Wärmebrücken nicht erforderlich, bei denen die angrenzenden Bauteile kleinere Wärmedurchgangskoeffizienten aufweisen, als in den Musterlösungen zugrunde gelegt sind.

Bild 6.3: Übersicht wichtiger Wärmebrückendetails aus dem Ziegel-Detail-Katalog.



7. Luftdichtheit

7.1 Einleitung

Die Luftdichtheit der Außenhülle eines Gebäudes wird zunehmend als Qualitätsmerkmal verstanden und ist ein wesentlicher Vorteil des Massivbaus. Neben der Schadensfreiheit und vor dem Hintergrund der Energieeinsparung wird ein höherer thermischer Komfort erreicht, ein besserer Schallschutz erzielt und eine nachhaltige Bauqualität sichergestellt. Dies macht es erforderlich, schon in der frühen Planungsphase ein sogenanntes Luftdichtheitskonzept zu erarbeiten. Massive Bauweisen erlauben eine deutlich leichter umzusetzende Ausführung als z.B. die Schichtaufbauten der Holzbauweise.

Eine dauerhaft luftdichte Ausführung aller Bauteilanschlüsse wird schon seit Bestehen der DIN 4108 im Jahr 1952 gefordert. Neben der energetischen Relevanz einer luftdichten Gebäudehülle kommt der Schadensfreiheit der hochwärmegedämmten Bauteile eine besonders große Bedeutung zu. So sind insbesondere nicht ausreichend luftdichte und hochwärmegedämmte Dächer durch konvektiven Feuchteintrag stark gefährdet.

7.2 Luftwechselzahlen

Die in der Bauphysik verwendete Luftwechselzahl n gibt an, wie oft das vorhandene Nettoraumvolumen in einer Stunde mit der Außenluft ausgetauscht wird. Der Mindestluftwechsel in Wohnräumen zum CO_2 -Ausgleich und zur Feuchteabfuhr sollte etwa $0,5 \text{ h}^{-1}$ betragen. Berücksichtigt man eine durchschnittliche Wohn- bzw. Nutzfläche von 35 m^2 pro Person ergibt sich bei lichten Raumhöhen von $2,4 \text{ m}$ ein Wert von über $40 \text{ m}^3/(\text{pers} \cdot \text{h})$, der die Anforderungen der DIN 1946 [R20] an intensiv genutzte Wohn- und Aufenthaltsräume mit einem personenbezogenen Mindestluftwechsel von $30 \text{ m}^3/(\text{pers} \cdot \text{h})$ deutlich übersteigt.

Neben dem in der Regel über Fensterlüftung oder über mechanische Lüftungsanlagen sicherzustellenden Luftwechsel ergibt sich ein unkontrollierbarer zusätzlicher Infiltrationsluftwechsel über die Bauteilfugen, Undichtheiten in der

Gebäudehülle etc. Dieser liegt zwischen $0,1 \text{ h}^{-1}$ bei sehr dichten und $0,3 \text{ h}^{-1}$ bei weniger dichten Gebäuden. Die Rechenregeln der EnEV tragen diesem Umstand Rechnung, in dem sie zwischen nachgewiesener und nicht nachgewiesener Luftdichtheit der Gebäudehülle unterscheiden.

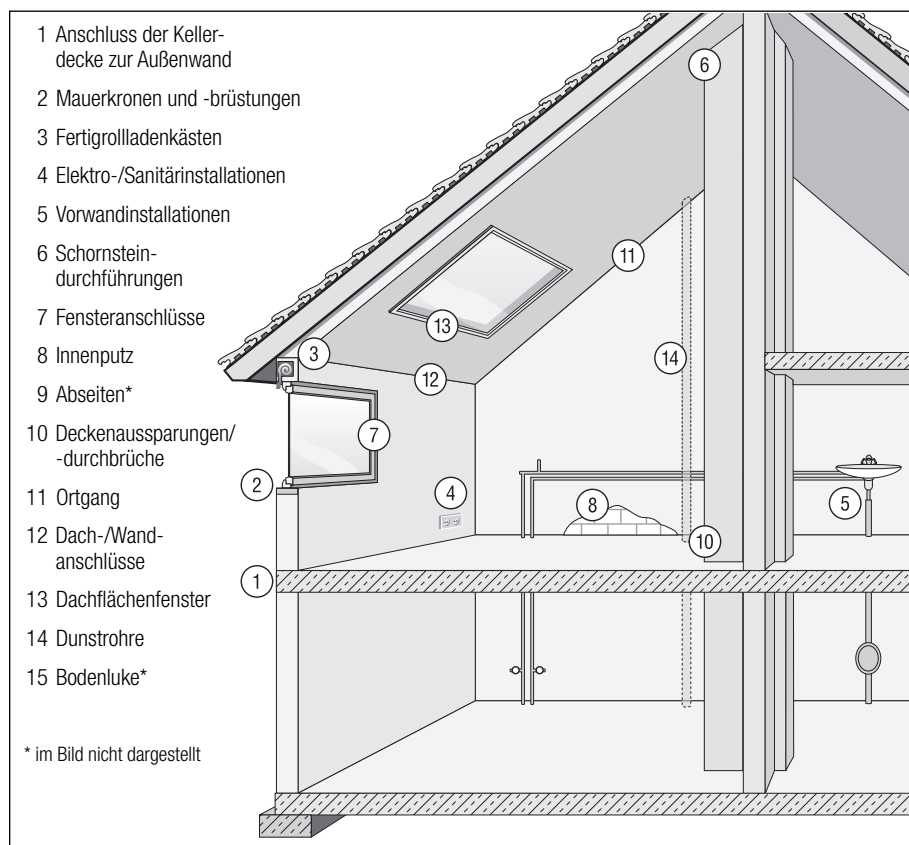
Hinweis:

DIN V 4108-7 [R8] fordert, dass bei Durchführung eines Blower-Door-Tests der gemessene n_{50} -Wert $3,0 \text{ h}^{-1}$ bei fenstergelüfteten und $1,5 \text{ h}^{-1}$ bei mit Lüftungsanlagen ausgestatteten Gebäuden nicht überschreitet. Darauf wird auch in der EnEV (Anlage 4 Nr. 2) noch einmal deutlich hingewiesen. Da die Norm im engen Zusammenhang mit der bauordnungsrechtlich eingeführten DIN 4108-2 steht, darf davon ausgegangen werden, dass im Neubaubereich diese zuvor genannten Grenzwerte eingehalten werden **müssen**. Dies kommt einer Qualität mittlerer Art und Güte nach und wird sicherlich von der Bauherrenschaft mit Interesse verfolgt.

7.3 Prüfung der Luftdichtheit

Die Definition der ausreichenden Luftdichtheit eines Gebäudes erfolgt in DIN V 4108-7. Häuser mit mechanischer Lüftungsanlage müssen dichter sein als solche mit Fensterlüftung. Die Überprüfung der ausreichenden Luftdichtheit der Gebäudehülle erfolgt mit dem sogenannten Blower-Door-Verfahren, bei dem über einen Ventilator ein Über- bzw. Unterdruck zwischen dem Gebäudeinneren und der Außenluft von 50 Pa erzeugt wird [R21]. Dies entspricht dem Winddruck einer senkrecht angeströmten Fläche bei einer Windgeschwindigkeit von etwa $9 \text{ m/s} \approx 30 \text{ km/h}$. Der sich aus den resultierenden Volumenströmen über Fugen oder Fehlstellen ergebende n_{50} -Wert sollte $1,5$ pro Stunde in mechanisch belüfteten bzw. $3,0$ pro Stunde in fenstergelüfteten Wohngebäuden nicht überschreiten.

Bild 7.1: Übersicht typischer Details, deren Luftdichtheit besonders zu beachten ist.



7.4 Luftdichtheitskonzept

Zum Erzielen einer luftdichten Gebäudehülle ist möglichst schon in der Entwurfsphase aber aller spätestens im Rahmen der Detailplanung unbedingt ein Luftdichtheitskonzept zu erstellen. DIN 4108-7 fordert die Planung, Ausschreibung und Bauüberwachung der Maßnahmen zur Sicherstellung der Dauerhaftigkeit. Sämtliche Bauteilanschlüsse mit Konstruktions- oder Materialwechseln sind durchzuplanen, den entsprechenden Gewerken im Rahmen der Ausschreibungen zuzuordnen und nach aller Erfahrung auch bauüberwachend zu begleiten. Die luftdichte Hülle muss das gesamte beheizte Volumen vollflächig umschließen, im Geschosswohnungsbau möglichst jede einzelne Wohneinheit für sich selbst, um hier über Treppenhäuser, Versorgungsschächte, etc. Leckagen auszuschließen. Insbesondere ausgebaute Dachgeschosse mit Pfettendach und Kehlgebälk sind auf Grund der Vielzahl der konstruktionsbedingten Durchstoßpunkte zu beachten. Eine Übersicht der kritischen Details und deren sachgerechte Ausführung gibt die DIN V 4108-7 [R8].

Hinweis:

Im Ziegel-Massivbau gilt, dass nassverputztes Mauerwerk mit mindestens einer verputzten Oberfläche grundsätzlich luftdicht ist; siehe DIN V 4108-7 und DIN 4108-3. Demgegenüber muss bei Holzbauanteilen generell eine zusätzliche Luftdichtheitsschicht angebracht werden [R4 + R8].

Bild 7.1 zeigt die wesentliche Anschlusspunkte, die im Rahmen der Detailplanung zu beachten sind. Zusammen mit den Anmerkungen in Tabelle 7.1 läßt sich somit ein ausreichendes Luftdichtheitskonzept für die Ausführung ableiten.

7.5 Luftdichte Bauteilanschlüsse

Erst die sorgfältige Ausführung der flächigen Bauteile und die entsprechende Fügung der aneinanderstoßenden Konstruktionen kann die

gewünschte Dichtheit der gesamten Hülle bewirken. In der Fläche ist darauf zu achten, dass nach Fertigstellung der Luftdichtheitsschicht durch Folgegewerke diese nicht verletzt wird. Etwa 15 verschiedene Positionen in einem typischen Wohngebäude sind besonders zu beachten.

Tabelle 7.1: Schwachpunkte im Bereich der Luftdichtheitsschicht und mögliche Gegenmaßnahmen.

Rohbau-phase	Detail	Maßnahme
1.	Anschluss der Kellerdecke zur Außenwand	Außenwände vollflächig ohne Überstand aufsetzen
2.	Mauerkronen und -brüstungen	mit oberseitigem Mörtelabgleich versehen
3.	Fertigrolladenkästen	am Auflager rundum mit Mörtel abgleichen
4.	Elektro-/Sanitärinstallationen	Steckdosen rundum eingipsen, Leitungsschlitze vollflächig luftdicht schließen,
5.	Vorwandinstallationen	vor Außenwänden oder zu unbeheizten Bereichen ist das Mauerwerk vorher zu verputzen
6.	Schornstein-durchführungen	Ausstopfen und dauerelastisch verschließen
Ausbau-phase		
7.	Fensteranschlüsse	zum Baukörper komplett einschäumen oder Fugen ausstopfen und in beiden Fällen nachträglich luftdicht versiegeln
8.	Innenputz	Wandfuß der Außenwand bis auf die Rohdecke verputzen
9.	Abseiten	gemauerte Drempe bzw. Kniestöcke komplett verputzen
10.	Deckenaussparungen/-durchbrüche	von Installationen ausstopfen und sorgfältig verschließen
11.	Mauerkronen/Ortgang	zusätzlich oberseitig mit Dämmstoff versehen
12.	Dach-/Wandanschlüsse	an Außen-/Innenwänden mit geeigneten dauerhaften Techniken ausführen
13.	Dachflächenfenster	Luftdichtheitsschicht nachträglich abdichten
14.	Dunstrohre	Luftdichtheitsschicht nachträglich abdichten
15.	Bodenluke	Luftdichtheitsschicht nachträglich abdichten

8. Anlagentechnik

8.1 Allgemeines

Die heute überwiegend eingesetzten Warmwasser-Zentralheizungen zeichnen sich durch eine große Angebotsvielfalt und einen hohen Marktanteil aus. Luftheizungen finden bisher im Wohnungsbau keine nennenswerte Verbreitung. Auch künftig werden sie sicherlich nur bei Einsatz von mechanischen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung verwendet. Dies resultiert nicht nur aus der deutlich schlechteren Wärmespeicherung des Wärmeträgermediums, dessen begrenzter möglicher Übertemperatur und des erforderlichen hohen Kanalquerschnitts, sondern auch aus den häufig damit verbundenen akustischen Problemen durch das Übertragen von Körper- und Luftschall. Elektro-Direktheizungen und auch Elektro-Speicherheizungen sind mit relativ hohen Primärenergie-Aufwandszahlen behaftet, die im Neubaubereich nach den Forderungen der EnEV nur durch einen zusätzlichen Wärmeschutz ausgeglichen werden können. Die Wärmepumpentechnik erfährt derzeit eine Renaissance, wenngleich deren Planung und Auslegung nur sehr erfahrenen Fachplanern überlassen werden sollte. Der Einsatz besonders umweltfreundlicher Energieträger wie z.B. Holz in Form von Pellets oder Hackschnitzeln wird auf Grund der noch hohen Investitionskosten der Anlagentechnik durch Förderprogramme z.B. durch die KfW unterstützt.

Die am weitesten verbreiteten wasserführenden Heizsysteme werden in der Regel im geschlossenen Kreislauf mittels Umwälzpumpen betrieben. Die Auslegungstemperaturen der Heizkreise von Niedertemperatur- und Brennwerttechnik-Kesseln liegen heutzutage meist bei 55° C Vorlauf- und 45° C Rücklauf-temperatur und können weiter reduziert werden, um einerseits die Verteilverluste zu mindern und andererseits alternative Wärmeerzeuger und solarthermische Komponenten effizienter einbinden zu können.

Der Brennwertkessel hat sich bei Erdgasversorgung mittlerweile zum Standard entwickelt, auch für Ölfeuerungen gibt es hierfür Systemlösungen. Ebenso hat sich ein modulierender Brennerbetrieb auch bei kleinen Anlagen durch-

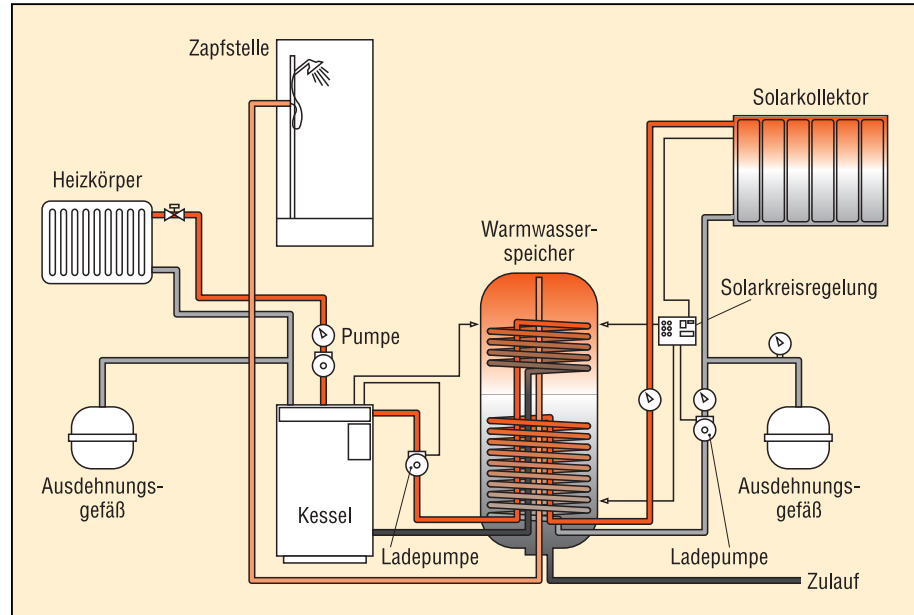


Bild 8.1: Strangschemata einer Warmwasser-Zentralheizung mit gekoppelter Trinkwassererwärmung und thermischer Solaranlage.

gesetzt, wodurch eine weitere Effizienzsteigerung bei den Wärmeerzeugern möglich ist.

8.2 Trinkwarmwasserbereitung

In kleineren und mittleren Wohngebäuden erfolgt die Warmwasserbereitung häufig zentral über die Heizwärmeerzeugung. Dazu wird ein Trinkwasserspeicher über die Zentralheizung beladen. Die standardmäßige Wärmedämmung der Speicher ist in der Regel noch sparsam ausgeführt, so dass sich bei Temperaturdifferenzen aus etwa 50° C Speichertemperatur und 20° C Raumtemperatur Bereitschaftsverluste von etwa 600 kWh/a für einen 200 Liter-Speicher ergeben können, die allerdings mit einer Heizwärmegutschrift von etwa 250 kWh/a einhergehen. Bei Aufstellung des Speichers im unbeheizten Keller gehen ca. 750 kWh/a verloren.

Die Versorgungsleitungen werden in der Regel mit einer zeitlich geregelten Zirkulationsleitung gekoppelt, die zwar durch die sofortige Bereitstellung heißen Wassers an der Zapfstelle einen hohen Komfort bewirkt, gleichzeitig aber die sogenannten Zirkulationswärmeverluste verursacht. Die Jahresnutzungsgrade

der Warmwasserbereitung können so lediglich 35-45 % betragen [L13] – ein hohes Einsparpotential liegt vor.

Dezentrale Warmwasserbereitungssysteme nach dem Durchlauferhitzerprinzip weisen aufgrund der nicht anfallenden Zirkulations- und Bereitstellungsverluste sehr günstige Jahresnutzungsgrade von über 90 % auf. Die EnEV sanktioniert derartige Systeme wegen des nicht möglichen Einsatzes einer Solaranlage mit einer Reduzierung des zulässigen Primärenergiebedarfs um 10,9 kWh/(m² · a). Tabelle 8.1 zeigt eine Übersicht des Warmwasserbedarfs verschiedener Anwendungen [L13, L14].

Tabelle 8.1: Warmwassermenge und Energiebedarf verschiedener Entnahmestellen.

Zapfstelle	Warmwassermenge [Liter]	Energiebedarf [kWh]
Spüle	15	0,53
Badewanne	140	5,8
Dusche	40	1,6
Waschtisch	17	0,7
Handwaschbecken	3	0,12

Der Einsatz thermischer Solaranlagen erfolgt in der Regel in Verbindung mit dem an die zentrale Warmwassererzeugung angeschlossenen Speicher. Dieser weist neben seiner Dimension von etwa dem 2-fachen des täglichen Warmwasserbedarfs zwei Wärmetauscher, einen untenliegenden für die Solaranlage und einem obenliegenden für die Ladeleitung des Wärmeerzeugers auf. Die Solar Kollektoren werden als Flachkollektoren ohne und mit Vakuum (zur besseren Wärmedämmung) oder als Vakuumröhrenkollektoren angeboten. Entsprechend unterschiedlich sind ihre Wirkungsgrade und die Investitionskosten [L15].

Bezogen auf den Energieverbrauch eines 4-Personenhaushalts mit etwa 3000 kWh beträgt die solare Deckung zwischen 50 und 60 % und kann dazu führen, die Heizanlage im Sommer komplett abzuschalten. Die Lebensdauer derartiger Anlagen wird mittlerweile mit 15-20 Jahren angegeben, eine Amortisation unter Zuhilfenahme von Fördermöglichkeiten ist damit möglich.

Hinweis:

Thermische Solaranlagen zur Trinkwassererwärmung werden nach der EnEV im Referenzgebäude zugrunde gelegt. Sie lassen damit gleichzeitig die Anforderungen nach dem EEWärmeG (siehe auch Kapitel 9.6) erfüllen. Wird eine derartige Technik zur Nutzung regenerativer Energien nicht genutzt, müssen zur Kompensation von etwa 10 bis 15 kWh/(m² · a) Primärenergie erhebliche bauliche Zusatzmaßnahmen erfolgen.

8.3 Mechanische Lüftungsanlagen

Bei Einsatz von Lüftungsanlagen zur kontrollierten Be- und Entlüftung können die Lüftungswärmeverluste durch den Einsatz von Wärmerückgewinnungsaggregaten um mehr als die Hälfte gemindert werden.

Praxiserfahrungen zeigen allerdings, dass durch Fensteröffnen und gleichzeitiges mechanisches Lüften hohe Luftwechselzahlen teilweise bis weit über 1,0 h⁻¹ erreicht werden. Durchschnittlich liegen trotz Vorhandenseins von Lüftungsanla-

gen die Außenluftwechsel um etwa 0,3 h⁻¹ höher, als in Gebäuden ohne Lüftungsanlagen. Das bedeutet, dass ein Umdenken im Gebrauch der Anlagentechnik und nutzerfreundliche Steuerungen nötig sind. Andererseits sind Maßnahmen zur Zwangslüftung über definierte Zuluftöffnungen gekoppelt mit Abluftschächten sicherlich eine kosten- und bedienungsfreundliche Alternative, wenn sie einen kontrollierten Luftaustausch ermöglichen [L16, L17].

Die EnEV setzt im Referenzgebäude die Verwendung einer mechanische Abluftanlage in Verbindung mit Außenwand – Luftdurchlässen voraus. Der Heizwärmeeinsparung durch einen um etwa 10 % geringeren Luftwechsel steht der Ventilatorstrom entgegen. Bei Nutzung konventionell erzeugten elektrischen Stroms wirkt sich diese Maßnahme gegenüber einem luftdichten, über die Fenster gelüfteten Gebäude primärenergetisch nicht aus. Weiterhin muss der Einsatz dieser Technik neben den Investitions- und Betriebskosten auch unter den Aspekten der baulichen Zusatzmaßnahmen wie z.B. zusätzlicher Öffnungen in der Fassade zur Zuluftführung betrachtet werden.

Die Rückwärmehzahlen von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung unterschritten in der Vergangenheit allerdings häufig einen Wert von 0,5 bzw. 50 %. Eine Energieeinsparung war damit häufig nicht nachweisbar [L3, L11]. Zu beachten sind weiterhin die Betriebs- und Wartungskosten derartiger Anlagen, da die wohnflächenbezogenen Stromverbräuche zwischen 3 und 7 kWh/(m² · a) liegen können.

Mittels Abluftwärmepumpen lassen sich die Lüftungswärmeverluste nahezu vollständig rückgewinnen. Bei dieser Maßnahme wird in der Regel das Brauchwasser vorgewärmt.

Durch gezielte Luftführung über Erdreichkanäle, Pufferräume, Verglasungs- oder Konstruktionssysteme kann die Außenluft im Winter vorgewärmt und im Sommer unter Umständen vorgekühlt werden. Im Wohnungsbau sind diese Maßnahmen wegen des geringen Frischluftbedarfs allerdings wenig effizient.

Hinweis:

Nach EnEV Anlage 1, Punkt 2.7 dürfen Lüftungsanlagen nur dann angerechnet werden, wenn der Mindestluftwechsel sichergestellt ist und bei Wärmerückgewinnung nur nach den Regeln der Technik nachgewiesene Kennwerte eingesetzt werden. Darüber hinaus müssen die Anlagen durch den Nutzer individuell beeinflussbar sein. Im Nachweis angelegte Wohnungslüftungsanlagen sollen eine Anlagenluftwechselzahl von 0,4 h⁻¹ nicht überschreiten.

DIN V 4701-10 weist einen Bonus zum rechnerischen Heizwärmebedarf von 13,5 bis 17,2 kWh/(m² · a) bei einem Anlagenluftwechsel von 0,4 h⁻¹ aus. Werden von diesem Nutzen die Aufwände für Wärmeübergabe, Regelung und Verteilverluste abgezogen, bleibt eine Mindesteinsparung von etwa 3 und 7 kWh/(m² · a) Primärenergie übrig. Dies gilt allerdings nur für den Fall, dass die Anlagenkomponenten innerhalb der beheizten Gebäudehülle montiert sind.

8.4 Heizungsanlagen

Zwischen den unterschiedlichen am Markt befindlichen Heizsystemen (Radiator-, Konvektor-, Flächen- und Luftheizung) bestehen bei ordnungsgemäßer Ausführung keine signifikanten Unterschiede hinsichtlich des Energieverbrauchs. Zum Mehrverbrauch an Heizenergie kommt es in der Regel nur durch Überdimensionierung einzelner Anlagenteile oder eine schlechte Ausführungsqualität.

Eine besondere Bedeutung kommt der Auslegung und der Betriebsweise des Wärmeerzeugers zu. Im Winter liegen die Nutzungsgrade bei Erreichen der maximalen Heizlast bei annähernd 90 %. Über die Heizperiode gemittelt ergeben sich daraus sogenannte Jahresnutzungsgrade von etwa 0,85 für Niedertemperaturkessel (NT) und etwa 0,95 - 1,05 für Brennwertkessel (BW).

Die Brennwertnutzung erlaubt diese höheren Nutzungsgrade, da durch Kondensation der Abgase die darin enthaltene Energie des Wasserdampfes zusätzlich zur Wärmeerzeugung des Heizwassers beiträgt. Dies bedeutet allerdings, dass die Temperaturen der durch einen feuchteunempfindlichen Schornstein oder durch eine sogenannte Abgasleitung entweichende Abgase unter 50° C sinken müssen und das anfallende Kondensat aufgefangen oder nachbehandelt werden muss.

Neuere Brenner mit variablem Brennstoffdurchsatz vermeiden ein häufiges Ein- und Ausschalten und die damit verbundenen Verluste. Der starke Abfall der Wirkungsgradkurven zu geringen Auslastungen hin, verlangt eine möglichst gute Kesselanpassung an den tatsächlichen Wärmebedarf. Eine Unterdimensionierung des Wärmeerzeugers, z.B. 5 bis 10 % unter Normwärmebedarf könnte erreichen, dass die Kessel mit besserer Auslastung betrieben werden. Die „Unterdeckung“ bei Auslegungsklimabedingungen ließe sich durch regeltechnische Maßnahmen, z.B. Dauerheizbetrieb bei extrem niedrigen Außentemperaturen ausgleichen. Eine Reduzierung des Heizenergiebedarfs von 10 bis 30 % ist durch die optimale Anpassung des Wärmeerzeugers möglich. Wohnflächenbezogene Anlagenverluste moderner Heizsysteme liegen zwischen 10 und 20 kWh/(m² · a) [L18].

Hinweis:

Entscheidend ist, den Jahresnutzungsgrad der **gesamten** Heizanlage, also Kessel, Verteilung, Regelung und Heizkörper zu optimieren und nicht allein den oftmals angegebenen Kesselnutzungsgrad oder gar den vom Schornsteinfeger gemessenen feuerungstechnischen Wirkungsgrad zu betrachten.

Der Einsatz von Wärmepumpen zur Beheizung von Niedrigenergiehäusern ist in der Regel bei Grundwassernutzung sinnvoll, da nur hier eine genügend hohe Energiedichte vorliegt. Die Investitionskosten, die Lebensdauer und die Betriebskosten (Strom) sind gegenüber fossil befeuerten Anlagen kritisch zu prüfen.

Die Verteilung des Wärmeträgers (Wasser oder Luft) vom Wärmeerzeuger zu den einzelnen Räumen im Gebäude ist mit Wärmeverlusten verbunden. Bei Verlegung von Rohren und Kanälen in oder an Innenbauteilen bleiben diese Verluste innerhalb des Gebäudes. Die Höhe der Verteilungsverluste hängt von den Temperaturen des wärmeübertragenden Mediums und der Wärmedämmung der Rohrleitungen und Kanäle ab. Sie betragen bei Verlegung innerhalb der thermischen Hülle im Mittel etwa 5 % des Heizenergiebedarfs. Bei niedrigen Vorlauftemperaturen und optimaler Rohrdämmung können sie bis auf ca. 3 % reduziert werden.

Durch eine sorgfältige Regelung kann unnötiger Wärmeverbrauch aufgrund zeitlicher und räumlicher Überhitzungen vermieden werden. Die durch die Trägheit der Regeleinrichtungen bewirkten Heizenergieverluste bewegen sich je nach Güte der Regelung zwischen 3 und 10 %. Deutliche Energieeinsparquoten lassen sich durch eine Nachtabschaltung und durch Einzelraumregelungen realisieren. Die Einsparungen liegen zwischen 10 und 15 %.

8.5 Bewertung nach DIN V 4701-10

DIN V 4701-10 [R11] „Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung“ beschreibt die energetische Bewertung der Komponenten mittels alternativer Verfahrenswege. Im umfangreichen Anhang C der Norm werden anhand übersichtlicher Tabellen die wichtigsten Einzelgrößen zur Bestimmung des anlagentechnischen Energieaufwandes dargestellt.

Im ausführlichen ersten Teil der Norm sind sämtliche Rechenalgorithmen hinterlegt, so dass individuelle Anlagenkomponenten bewertet werden können. Dadurch ist es möglich, neben den normierten Anlagenkennwerten auch herstellerspezifische Angaben in den Berechnungen zu berücksichtigen. Neben der planerischen Verantwortung ist in diesem Fall die Bauüberwachung von besonderer Relevanz, um die Umsetzung dieser individuellen Techniken gewährleisten zu können.

Selbstverständlich gilt, dass mit dem aufwändigsten der Verfahren eine höhere Genauigkeit erreicht wird, als mit den einfacheren Ansätzen, die mit gewissen Pauschalierungen auskommen müssen. Die Struktur der DIN V 4701-10 orientiert sich an der Reihenfolge der sogenannten Aufwände, die in der Summe dem Kehrwert des in der Vergangenheit eher bekannten Jahresnutzungsgrad einer Anlage entsprechen. Der Begriff des Anlagenaufwands beschreibt die Verluste der verschiedenen Anlagenkomponenten von der Nutzenseite. Hiermit ist die Deckung des erforderlichen Raumwärmebedarfs gemeint, bis hin zur Primärenergiequelle:

1. Die dem Raum zugeführte Heizwärme wird über zu regelnde Heizflächen bereitgestellt. Hier ergeben sich je nach gewähltem System sogenannten Übergabeverluste.
2. Der größte Teil der Verluste entsteht im Bereich der Wärmeverteilung. So bedingen im kalten Keller verlegte Rohrleitungen etwa doppelt so hohe Verteilungsverluste, wie beispielsweise in der Estrichdämmung verlegte Horizontalverteilungen. Die Lage der Vertikalstränge wird zwischen Außenwand- und Innenwandverlegung unterschieden.
3. Den zuvor genannten Verlustanteilen vorgeschaltet sind mögliche Speicherverluste und vor allem die Stillstandsverluste der Heizkessel. Eine Aufstellung im beheizten Bereich des Gebäudes führt zu einem deutlich geringeren Verlust als die Aufstellung im kalten Keller.
4. Letztendlich werden die zusätzlich zu den in der Regel fossilen Brennstoffen benötigten elektrischen Hilfsenergien für Pumpen, Brenner und Regelung saldiert.
5. Die fossilen Energieträger sind mit dem Faktor 1,1 für Transport- und Förderaufwände und der Strombedarf mit einer Aufwandszahl von 2,6 zu multiplizieren, damit eine Bewertung der Primärenergie gemäß EnEV erfolgen kann.

Zur schnellen Ermittlung der Anlagenaufwandszahl müssen folgende Festlegungen in der Vorplanung schon getroffen sein:

1. Heizung:

- Art des Wärmeübergabesystems (z.B. Heizkörper oder Fußbodenheizung)
- Positionierung der Heizflächen an Außen-/Innenwand
- Art der Regelung der Heizflächen (Heizkörperventile o. elektronisch)
- Systemtemperaturpaarung der Heizkreise
- Lage der Verteilleitungen (inner-/außerhalb) der thermischen Hülle
- Art des Wärmeerzeugers (z.B. NT/BW-Kessel, Wärmepumpe, Fernwärme, Biomasse)
- Aufstellort des Wärmeerzeugers (innerhalb/außerhalb) der thermischen Hülle

2. Trinkwassererwärmung:

- zentral mit/ohne Zirkulation oder dezentral
- Lage der Verteilleitungen (inner-/außerhalb) der thermischen Hülle
- Art des Wärmeerzeugers (z.B. NT/BW-Kessel, Solaranlage)
- Aufstellort des Speichers (inner-/außerhalb) der thermischen Hülle
- Aufstellort des Wärmeerzeugers (inner-/außerhalb) der thermischen Hülle

3. Lüftungsanlage:

- Art der Anlage mit allen Komponenten

Die folgende Tabelle 8.2 zeigt die Primärenergie-Aufwandszahlen e_p einiger ausgewählter Muster-Heizanlagen inklusive der Trinkwassererwärmung, wie sie für typische Wohngebäude nach DIN V 4701-10 auszurechnen sind. Die niedrigeren Werte sind in der Regel für Gebäude mit höherem Heizwärmebedarf q_h gültig, während die höheren Grenzwerte bei sehr kompakten und in der Regel auch mit geringerem Heizwärmebedarf ausgestatteten Gebäuden auftreten:

$$q_p = e_p \cdot (q_h + q_{TW}) \quad (31)$$

Hinweis:

Die Spannweite der Anlagenaufwandszahlen resultiert im Wesentlichen aus deren Definition: Während der Trinkwarmwasserbedarf q_{TW} mit $12,5 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ als feststehende Größe definiert ist, kann der Heizwärmebedarf bei Gebäuden nach EnEV durchaus zwischen 40 und $90 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ schwanken. Die absoluten Verluste einer bestimmten Anlagenkombination sind in der Regel relativ unabhängig vom Heizwärmebedarf des Gebäudes und somit nahezu konstant. Es liegt eine hohe Nutzflächen-(Verteillängen)abhängigkeit der Verteilverluste vor. Aus diesem Grund ist die Gesamtaufwandszahl bei kleinen q_h -Werten hoch, bei großen Werten des Heizwärmebedarfs deutlich kleiner, trotz exakt gleicher Anlagenqualität.

8.6 Anlagen zur Kühlung

Die EnEV verlangt die Berücksichtigung des Primärenergiebedarfs zur Raumkühlung. Bei fest installierten Raumklimageräten (Split-, Multisplit- oder Kompaktgeräte) der Energieeffizienzklassen A, B oder C sowie bei Kühlung mittels Wohnungslüftungsanlagen mit reversibler Wärmepumpe ist der Jahres-Primärenergiebedarf um $16,2 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und der flächenbezogenen Endenergiebedarf um $6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ zu erhöhen.

Bei Einsatz von Kühlflächen im Raum in Verbindung mit Kaltwasserkreisläufen und elektrischer Kälteerzeugung, z. B. über reversible Wärmepumpe, ist der Jahres-Primärenergiebedarf um $10,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und der Endenergiebedarf um $4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ zu beaufschlagen.

Erfolgt die Deckung des Energiebedarfs für Kühlung aus erneuerbaren Wärmesenken (wie Erdsonden, Erdkollektoren, Zisternen) muss der rechnerische Jahres-Primärenergiebedarf lediglich um $2,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und der Endenergiebedarf um $1 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ erhöht werden.

Bei Einsatz von Geräten, die weiter oben nicht aufgeführt sind, ist der Jahres-Primärenergiebedarf um $18,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und der Endenergiebedarf um $7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ zu erhöhen. Die Erhöhung gilt für den Anteil der Gebäudenutzfläche, bei dem eine derartige Technik zum Einsatz gelangt. Häufig werden nur Teilbereiche eines Wohnhauses gekühlt.

Tabelle 8.2: Primärenergie-Aufwandszahlen typischer Heizanlagen

Heizanlage inkl. Trinkwassererwärmung	Anlagenaufwandszahl e_p [-]
Niedertemperatur-Kessel $70/55^\circ \text{C}$ mit Horizontal-Verteilung und Kesselaufstellung im Keller	1,4 - 2,0
Niedertemperatur-Kessel $70/55^\circ \text{C}$ komplett im beheizten Bereich aufgestellt	1,3 - 1,8
Brennwert-Kessel $55/45^\circ \text{C}$ komplett im beheizten Bereich aufgestellt	1,2 - 1,6
Brennwert-Kessel $55/45^\circ \text{C}$ komplett im beheizten Bereich aufgestellt und solare Trinkwassererwärmung	1,08 - 1,15
Brennwert-Kessel $55/45^\circ \text{C}$ komplett im beheizten Bereich aufgestellt und Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung	1,13 - 1,48
Biomasse (z.B. Pellets) – Erzeuger, Kesselaufstellung im Keller	0,5 - 0,6

9. Anforderungen 2009

9.1 Anforderungen an zu errichtende Wohngebäude

Die Hauptanforderung an Wohngebäude sowie gemäß Definition auch an Wohn-, Alten- und Pflegeheime sowie ähnliche Einrichtungen (EnEV §2, Satz 1) richtet sich wie mit der EnEV 2002 eingeführt an den einzuhaltenden Primärenergiebedarf der Wärmebereitstellung für Warmwasser, Heizung und auch der Kühlung. Gegenüber den bisher gültigen Anforderungen der EnEV 2007 findet sich eine Verschärfung zwischen etwa 27 und bis über 40 % bezogen auf den Primärenergiebedarf (EnEV §3, Absatz 1). Diese breite Spanne kommt dadurch zustande, dass einerseits das Prozedere der Anforderungsformulierung gewechselt wird. Gebäude mit elektrischer (dezentraler) Trinkwassererwärmung werden eine im Referenzgebäudeverfahren pauschal angesetzte solare Brauchwassererwärmung nicht aufweisen und können daher zusätzlich mit einem Malus von $10,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ belegt werden (EnEV Anlage 1, Absatz 1.1). Dieser Malus greift nur dann nicht, wenn für den aus dem EEWärmeG [R24] geforderten Einsatz erneuerbarer Energien eine Ersatzmaßnahme gemäß EEWärmeG, Anlage VI, also ein verminderter Primärenergiebedarf nachgewiesen wird. Der auf die Gebäudenutzfläche A_N bezogene zulässige Primärenergiebedarf

ist zukünftig nicht mehr abhängig vom Hüllflächen-Volumen-Verhältnis A/V eines Gebäudes, sondern allein von dem Energiebedarf des mit normierten Randbedingungen berechneten Referenzgebäudes (EnEV Anlage 1, Tabelle 1). Eine Übersicht der vom Verordnungsgeber festgelegten Randbedingungen zeigt Tabelle 9.1. Damit wird ein Verfahren gewählt, das exakt dem des Nichtwohngebäudesektors entspricht und welches für derartige Gebäudenutzungen bereits mit der EnEV 2007 eingeführt wurde. Der Vorteil der Vorgehensweise besteht darin, dass der nicht existente Zusammenhang zwischen dem Kompaktheitsgrad (A/V -Verhältnis) des Gebäudes zu den Anlagenverlusten, den Lüftungswärmeverlusten und auch den internen und solaren Einträgen über die Fassaden den zulässigen Primärenergiebedarf nicht mehr unberechtigt dominiert. Selbstverständlich gehen auch Nachteile einher: Die bislang genannten Abhängigkeiten aus Fensterflächenanteilen der Fassaden sowie Einfluss des architektonischen Entwurfs (A/V -Verhältnis) fließen zukünftig nicht mehr vordergründig in die Anforderungen ein.

Die rechnerische Gebäudenutzfläche A_N ergibt sich aus dem Bruttovolumen V_e zu:

$$A_N = 0,32 \cdot V_e \quad [\text{m}^2] \quad (32)$$

Beträgt die Brutto-Geschosshöhe h_G mehr als 3m oder weniger als 2,5m, so ist A_N wie folgt zu ermitteln:

$$A_N = (1/h_G - 0,04) \cdot V_e \quad [\text{m}^2] \quad (33)$$

Hinweis:

Die nach EnEV und DIN 4108-6 ermittelte Gebäudenutzfläche A_N stimmt nur in den wenigsten Fällen mit der Wohnfläche eines Gebäudes überein und ist lediglich eine normierte Bezugsfläche. Allerdings sind sämtliche in DIN 4108-6 und DIN V 4701-10 festgelegten flächenbezogenen Kennwerte auf diesen Flächenansatz bezogen. Das führt in der Regel zu niedrigeren rechnerischen, auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Werten als in der Praxis vorgefunden. Gleichwohl zeigen die Absolutwerte für das Gesamtgebäude eine gute Übereinstimmung mit ausgeführten Objekten [L3-L4, L10-L12].



Bild 9.1: Real geplantes Gebäude (links) und das dazu gehörende Referenzgebäude (rechts) mit Bauteil- und Anlagenausführung gemäß Tabelle 9.1.

Tabelle 9.1: Ausführung des Referenzgebäudes gemäß EnEV Anlage 1, Tabelle 1.

Zeile	Bauteil/System	Referenzausführung / Wert (Maßeinheit)	
		Eigenschaft (zu Zeilen 1.1 bis 3)	
1.1	Außenwand, Geschossdecke gegen Außenluft	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
1.2	Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen (außer solche nach Zeile 1.1)	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
1.3	Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
1.4	Fenster, Fenstertüren	Wärmedurchgangskoeffizient	$U_W = 1,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_{\perp} = 0,60$
1.5	Dachflächenfenster	Wärmedurchgangskoeffizient	$U_W = 1,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_{\perp} = 0,60$
1.6	Lichtkuppeln	Wärmedurchgangskoeffizient	$U_W = 2,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_{\perp} = 0,64$
1.7	Außentüren	Wärmedurchgangskoeffizient	$U = 1,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2	Bauteile nach den Zeilen 1.1 bis 1.7	Wärmebrückenzuschlag	$\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
3	Luftdichtheit der Gebäudehülle	Bemessenswert n_{50}	Bei Berechnung nach <ul style="list-style-type: none"> • DIN V 4108-6 : 2003-06: mit Dichtheitsprüfung • DIN V 18599-2 : 2007-02: nach Kategorie I
4	Sonnenschutzvorrichtung	keine Sonnenschutzvorrichtung	
5	Heizungsanlage	<ul style="list-style-type: none"> • Wärmeerzeugung durch Brennwertkessel (verbessert), Heizöl EL, Aufstellung: <ul style="list-style-type: none"> - für Gebäude bis zu 2 Wohneinheiten innerhalb der thermischen Hülle - für Gebäude mit mehr als 2 Wohneinheiten außerhalb der thermischen Hülle • Auslegungstemperatur 55/45 °C, zentrales Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge und Anbindeleitungen, Pumpe auf Bedarf ausgelegt (geregelt, Δp konstant), Rohrnetz hydraulisch abgeglichen, Wärmedämmung der Rohrleitungen nach Anlage 5 • Wärmeübergabe mit freien statischen Heizflächen, Anordnung an normaler Außenwand, Thermostatventile mit Proportionalbereich 1 K 	
6	Anlage zur Warmwasserbereitung	<ul style="list-style-type: none"> • zentrale Warmwasserbereitung • gemeinsame Wärmebereitung mit Heizungsanlage nach Zeile 5 • Solaranlage (Kombisystem mit Flachkollektor) entsprechend den Vorgaben nach DIN V 4701-10 : 2003-08 oder DIN V 18599-5 : 2007-02 • Speicher, indirekt beheizt (stehend), gleiche Aufstellung wie Wärmeerzeuger, Auslegung nach DIN V 4701-10 : 2003-08 oder DIN V 18599-5 : 2007-02 als <ul style="list-style-type: none"> - kleine Solaranlage bei $A_N < 500 \text{ m}^2$ (bivalenter Solarspeicher) - große Solaranlage bei $A_N \geq 500 \text{ m}^2$ • Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge, gemeinsame Installationswand, Wärmedämmung der Rohrleitungen nach Anlage 5, mit Zirkulation, Pumpe auf Bedarf ausgelegt (geregelt, Δp konstant) 	
7	Kühlung	keine Kühlung	
8	Lüftung	zentrale Abluftanlage, bedarfsgeführt mit geregelter Gleichstrom(DC)-Ventilator	

Der einzuhaltende Wärmeschutz der Gebäudehülle – definiert über den mittleren U-Wert aller Bauteile und als auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogener Transmissionswärmeverlust H'_T bezeichnet – wird losgelöst vom für diesen Fall als Führungsgröße geeigneten A/V-Verhältnis eines Gebäudes. Zukünftig werden fixe Werte für unterschiedliche Wohngebäudetypen (EnEV Anlage 1, Tabelle 2) festgelegt.

Tabelle 9.2 beinhaltet diese Anforderungen an den Neubau gemäß EnEV §3 sowie an Gebäudeerweiterungen mit mehr als 50 m² Nutzfläche gemäß EnEV §9. Vergleicht man diese Zahlenwerte mit den bisherigen Anforderungen, ergeben sich aus Musterberechnungen [L23] Verschärfungen zwischen 10 und 25 %, wobei nicht auszuschließen ist, dass bei sehr großen Fensterflächenanteilen auch deutlich höhere Verschärfungen eintreten können.

Hinweis:

Das Referenzgebäude kann wegen der nicht vorhandenen Einschränkungen der Hüllflächenanteile – z.B. bei sehr großen Fensterflächen – einen höheren Transmissionswärmeverlust H'_T aufweisen, als nach Tabelle 9.2 für das reale Gebäude zulässig ist. Dies führt dazu, dass für solche Fälle ein sehr viel besserer Wärmeschutz der vorhandenen Gebäudehülle einzuplanen ist.

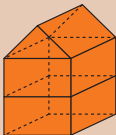
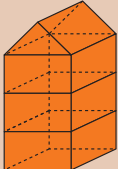
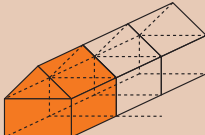
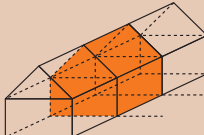
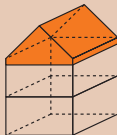
Somit gilt die Aussage nicht, dass ein reales Objekt mit den Ausführungen des Referenzgebäudes immer die EnEV-Anforderungen erfüllt!

Weiterhin ist zu bemerken, dass gegenüber der Verordnung von 2007 nunmehr kein Aufschlag auf den zulässigen Primärenergiebedarf gekühlter Wohngebäude zulässig ist. Dies bedeutet somit eine zusätzliche Verschärfung bei derartigen Gebäudeentwürfen und zwingt den Planer verstärkt zur Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes.

Wie bereits in [L23] gezeigt, lassen sich die Anforderungen mit den verschiedensten Kombinationen aus baulichem Wärmeschutz und vor allem mit primärenergetisch optimaler Anlagentechnik ohne Probleme einhalten, so dass eine allgemein gültige Planungsempfehlung zur Zielerreichung nicht formuliert werden kann. Dies bedeutet vor allem hinsichtlich der Umstellung auf das Referenzgebäude-Verfahren, dass grundsätzlich jedes Objekt mit seinen individuellen Eigenschaften über ein computergeführtes Nachweisprogramm bewertet werden muss. Dazu sieht der Verordnungsgeber vor, dass mit Blick in die Zukunft als Regelverfahren die umfangreiche Bilanzierungsnorm DIN V 18599 [R25] (EnEV Anlage 1 Absatz 2.1.1) oder alternativ noch das Monatsbilanz-Verfahren der DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10 verwendet werden kann (EnEV Anlage 1 Absatz 2.1.2). Sowohl das geplante Objekt als auch das Referenzgebäude müssen immer mit dem selben Verfahren bewertet werden (EnEV §3 Absatz 3), da es bei einem Verfahrenswechsel durchaus zu unterschiedlichen Ergebnissen kommen kann.

So werden beispielsweise die Randbedingungen der bisherigen Nachweisprozedur der DIN V 4701-10 für einen energetischen Standard festgelegt, der eine konstante Heizperiodenlänge von 185 Tagen zur Grundlage hat. Dieser Zeitraum kann insbesondere bei Gebäuden mit sehr kleinem Heizenergiebedarf deutlich zu hoch sein und daher zur Fehlbeurteilung der Anlagenverluste bei hoch wärmedämmten Gebäuden mit deutlich kürzerer Heizperiodenlänge führen. Die Anwendung der DIN V 18599 weist diese Einschränkung nicht auf, da monatsweise Gebäude und Anlagentechnik bilanziert werden. Diese komplexe Methodik bleibt bisher aber nur wenigen Fachingenieuren vorbehalten, da der Umfang des Verfahrens Architekten und Bauingenieure verschreckt. Es muss davon ausgegangen werden, dass spätestens 2012 mit der nächsten Verordnungsnovelle der Systemwechsel der Nachweisverfahren vollzogen werden muss, da die Normungsarbeiten an DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 eingestellt sind.

Tabelle 9.2: Höchstwerte des auf die wärmetauschende Hüllfläche bezogenen Transmissionswärmeverlustes H'_T für fünf verschiedene Gebäudesituationen gemäß [1].

Gebäude freistehend $A_N \leq 350 \text{ m}^2$	Gebäude freistehend $A_N > 350 \text{ m}^2$	Doppelhaushälfte/ Reihenendhaus angebaut	Reihenmittelhaus/ Baulücke	Erweiterung gemäß §9 Abs. 5
				
0,4 W/(m ² · K)	0,5 W/(m ² · K)	0,45 W/(m ² · K)	0,65 W/(m ² · K)	0,65 W/(m ² · K)

9.2 Luftdichtheit der Gebäudehülle

Wie schon in den Verordnungen seit 2002 formuliert, ist die Gebäudehülle luftdicht auszuführen (EnEV §6). Die Verordnung legt im sog. Referenzwohngebäude eine Abluftanlage zugrunde, die nur dann energetisch bilanziert werden darf, wenn zuvor die Luftdichtheit der Gebäudehülle mittels Blower-Door-Verfahren mit einem n_{50} -Luftwechsel $\leq 1,5 \text{ h}^{-1}$ nachgewiesen wurde. So wird die Luftdichtheitsprüfung in Neubauten nahezu obligatorisch. Der Anforderungswert $n_{50} \leq 3,0 \text{ h}^{-1}$ gilt weiterhin für Gebäude(teile) ohne raumlufttechnische Anlagen = Fensterlüftung.

9.3 Berücksichtigung von Wärmebrücken

Ein hoher Wärmeschutz der Gebäudehülle wirkt sich gravierend auf die Wärmebrückenthematik (EnEV §7) der Bauteilanschlüsse aus. Die bisher im Beiblatt 2 zu DIN 4108 beschriebenen und von der EnEV für pauschale Nachweise mit reduziertem Zuschlag anzusetzenden Wärmebrückendetails sind vor allem bei Einsatz von Fenstern mit Dreifachverglasungen, Dachdämmungen $> 20 \text{ cm}$ und mehrlagigen Fußbodendämmungen nicht ohne weiteres anwendbar. Müssen hier z.B. Gleichwertigkeitsnachweise geführt werden, kann dann darauf verzichtet werden, wenn der Wärmeschutz der geplanten Bauteile höher ist, als in den Beiblatt-Beispielen zugrunde gelegt ist.

Darüber hinaus führen die pauschal nach Norm angenommenen Wärmebrückenverluste zu einer deutlich nachteiligen rechnerischen Bewertung der schon heute in der Praxis ausgeführten hochwertigen Anschlussdetails. Eine zahlenmäßige Abschätzung für alle Mauerwerksarten und Gebäudeentwürfe als Durchschnittswert anzugeben ist schwierig. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass der im Referenzgebäude zugrunde gelegte auf die Gebäudehüllfläche bezogene Pauschalwert ΔU_{WB} von $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ beim detaillierten Nachweis um mindestens 50 %, bei optimierten Details sogar auf Null reduziert werden kann.

9.4 Sommerlicher Wärmeschutz

Der Sommerliche Wärmeschutz ist wie bisher gemäß DIN 4108 – 2 oder alternativ mittels Simulationsrechnungen für einzelne Räume, Raumgruppen oder Nutzungszonen nachzuweisen und bleibt damit ohne Änderung gegenüber den Anforderungen der EnEV 2007.

9.5 Anforderungen an die Anlagentechnik

Heizkessel (EnEV §13), die mit flüssigen oder gasförmigen Brennstoffen beschickt werden und deren Nennleistung mindestens vier Kilowatt und höchstens 400 Kilowatt beträgt, dürfen zum Zwecke der Inbetriebnahme in Gebäuden nur eingebaut oder aufgestellt werden, wenn sie über eine CE-Kennzeichnung und damit über Mindest-Wirkungsgrade verfügen. Das Produkt aus der Erzeugeraufwandzahl e_g und dem Primärenergiefaktor f_p darf dabei nicht größer als 1,3 sein. Darüber hinaus gelten weitere Anforderungen an andere als hier genannte Wärmeerzeuger.

Zentralheizungen (EnEV §14) müssen beim Einbau in Gebäude mit zentralen selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie zur Ein- und Ausschaltung elektrischer Antriebe in Abhängigkeit von der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und der Zeit ausgestattet werden. Heizungstechnische Anlagen mit Wasser als Wärmeträger müssen mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur raumweisen Regelung der Raumtemperatur ausgerüstet werden. Zirkulationspumpen müssen beim Einbau in Warmwasseranlagen mit selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Ein- und Ausschaltung versehen sein.

Beim Einbau von Klimaanlage (EnEV §15) mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als zwölf kW und raumlufttechnischen Anlagen, die für einen Volumenstrom der Zuluft von wenigstens 4.000 Kubikmeter je Stunde ausgelegt sind, in Gebäude sowie bei der Erneuerung von Zentralgeräten oder Luftkanalsystemen solcher Anlagen müssen diese so ausgeführt werden,

dass die auf das Fördervolumen bezogene elektrische Leistung der Einzelventilatoren oder der gewichtete Mittelwert der auf das jeweilige Fördervolumen bezogenen elektrischen Leistungen aller Zu- und Abluftventilatoren bestimmte Grenzwerte nicht überschreitet. Der Grenzwert kann um Zuschläge für Gas- und HEPA-Filter sowie Wärmerückführungsbauteile erweitert werden.

Können derartige Anlagen die Feuchte der Raumluft unmittelbar verändern, sind diese mit selbsttätig wirkenden Regelungseinrichtungen auszustatten, mit denen getrennte Sollwerte für die Be- und die Entfeuchtung eingestellt werden können und bei denen als Führungsgröße mindestens die direkt gemessene Zu- oder Abluftfeuchte dient.

Lüftungsanlagen müssen mit Einrichtungen zur selbsttätigen Regelung der Volumenströme in Abhängigkeit von den thermischen und stofflichen Lasten oder zur Einstellung der Volumenströme in Abhängigkeit von der Zeit ausgestattet werden, wenn der Zuluftvolumenstrom dieser Anlagen je Quadratmeter versorgter Nettogrundfläche, bei Wohngebäuden je Quadratmeter versorgter Gebäudenutzfläche neun Kubikmeter pro Stunde überschreitet.

Betreiber von Klimaanlage (Neuanlagen) mit einer Nennleistung für den Kältebedarf von mehr als zwölf kW haben wiederkehrend mindestens alle zehn Jahre die Anlagen einer Inspektion zu unterziehen. Diese ist durch im Sinne der EnEV berechtigten Personen durchführen zu lassen.

Die Anforderungen an die Wärmedämmung von Rohrleitungen (EnEV Anlage 5 Tabelle 1) von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen wie auch der Armaturen sind zukünftig ebenso an Leitungen der Kälteverteilung und des Kaltwassers gestellt. Neben den üblichen Rohrdämmstoffen dürfen auch andere Maßnahmen hinsichtlich ihrer Wärmedämmwirkung angerechnet werden, z. B. die Wärmedämmung von Leitungswänden.

9.6 Anforderungen aus dem Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz 2009

Die Bundesregierung hat im Vorgriff auf die EnEV 2009 bereits im Januar 2009 das Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) [R24] erlassen. Dieses Gesetz steht im engen Zusammenhang mit der EnEV und wird daher an dieser Stelle ebenso angesprochen.

Die Eigentümer neu errichteter Gebäude müssen zukünftig Erneuerbare Energien nutzen. Das gilt unabhängig davon, ob es sich um ein Wohngebäude oder ein Nichtwohngebäude handelt. Auch vermietete Immobilien unterliegen der Pflicht. Eigentümer alter Gebäude können ein Förderprogramm der Bundesregierung in Anspruch nehmen, wenn sie freiwillig erneuerbare Energien nutzen. Ein Gebäude ist ein neues Gebäude im Sinne des EEWärmeG, wenn es nach dem 1.1.2009 fertig gestellt wird.

Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten, den Forderungen des EEWärmeG zu genügen. Die Strahlungsenergie der Sonne kann durch solarthermische Anlagen genutzt werden (EEWärmeG §5, Absatz 1). Um die Nutzungspflicht des Wärmegesetzes zu erfüllen, müssen Gebäude den Wärmeenergiebedarf in diesem Fall zu mindestens 15 Prozent aus Solarenergie decken. Der Nachweis für Wohngebäude gilt als erfüllt, wenn die Kollektorfläche zur Trinkwassererwärmung bei Wohngebäuden mit höchstens zwei Wohnungen 0,04 m² Fläche pro m² beheizter Nutzfläche (berechnet nach EnEV) bei größeren Wohngebäuden 0,03 m² Fläche pro m² beheizter Nutzfläche aufweist. Zu beachten ist, dass die Pflicht nur dann erfüllt wird, wenn der Kollektor mit dem europäischen Prüfzeichen „Solar Key-mark“ zertifiziert ist (eine Ausnahme gilt hier nur für Luftkollektoren).

Hinweis:

Diese pauschale Nachweisführung führt in der Regel zu einer Überdimensionierung der Kollektorfläche, die je nach Warmwasserbedarf zur Unwirtschaftlichkeit und zu technischen Problemen führen kann, wenn die erzeugte Wärmeenergie nicht abgenommen wird. Es ist bislang nicht geklärt, ob eine für Wohngebäude ausführliche Berechnung der Kollektorfläche und der damit verbundenen Solarerträge als Nachweis anerkannt wird.

Auch hierzu sind die schon in Kapitel 1.6 angesprochenen Auslegungsfragen zu beachten.

Grundsätzlich kann auch flüssige, gasförmige und jede Form von fester Biomasse zur Pflichterfüllung genutzt werden (EEWärmeG §5, Absätze 2 und 3). Es muss sich dabei allerdings um Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung handeln. So dürfen die „klassischen“ Brennstoffe Holzpellets, Holzhackschnitzel und Scheitholz genutzt werden. Wer feste Biomasse nutzt, muss seinen Wärmebedarf (Warmwasser, Raumwärme und Kühlung) zu mindestens 50 Prozent daraus decken. Das Gesetz stellt zusätzlich zu diesem Mindestanteil gewisse ökologische und technische Anforderungen, die den umweltverträglichen Einsatz der Technologien gewährleisten sollen. So muss ein Ofen, in dem feste Biomasse verbrannt wird, dem Stand der BImSchV entsprechen und einen Kesselwirkungsgrad von mindestens 86 Prozent erreichen. Damit können auch Einzelraumfeuerungsstätten hinsichtlich der Nutzungspflicht grundsätzlich angerechnet werden, wenn sie die zuvor genannten technischen Bedingungen erfüllen. Die Zulässigkeit der Anrechnung von Einzelfeuerstätten obliegt allerdings den Bundesländern.

Neben Solarenergie und Biomasse kann auch Umweltwärme genutzt werden (EEWärmeG §5, Absatz 4). Dies ist Wärme, die Luft oder Wasser entnommen wird. In Abgrenzung zur Abwärme muss es sich um natürliche Wärmequellen handeln. Geothermie, also Wärme, die aus dem Erdinnern kommt wird je nach Tiefe der Erdbohrung unterschieden zwischen tiefer Geothermie und erdoberflächennaher Geothermie. Während die tiefer gelegenen Erdschichten Wärme mit hohen Temperaturen bergen, muss die erdoberflächennahe Erdwärme mit Hilfe einer Wärmepumpe auf das gewünschte Temperaturniveau angehoben werden. Wer Erdwärme oder Umweltwärme nutzt, muss seinen Wärmebedarf zu mindestens 50 Prozent daraus decken. Das Gesetz stellt auch hier ökologische und technische Anforderungen, z.B. bestimmte Jahresarbeitszahlen beim Einsatz von Wärmepumpen, damit der umweltverträgliche Einsatz der Technologien gewährleistet ist. Die Mindest-Jahresarbeitszahl als das Verhältnis von eingesetzter Energie (Gas oder Strom) und gewonnener Energie (Wärme) wird für unterschiedliche Wärmepumpentypen gefordert. Um diese nachvollziehen zu können, muss die Wärmepumpe grundsätzlich über einen Wärmemengen- und Stromzähler verfügen.

Bezieht ein Gebäudeeigentümer Wärme, die durch einen Müllverbrennungsprozess (EEWärmeG §7) gewonnen wird, muss sichergestellt sein, dass mindestens zu 50 Prozent biologisch abbaubare Anteile am Müll verbrannt werden. Auch kann eine hocheffiziente Anlage mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) Pflicht erfüllend genutzt werden. Bei Nutzung von Wärme aus einem Nah- oder Fernwärmenetze (EEWärmeG §7 Nr. 3), ist die Zusammensetzung dieser Wärme entscheidend. Hiernach gilt der Anschluss an ein Nah- und Fernwärmenetz dann als Pflicht erfüllende Ersatzmaßnahme im Sinne des EEWärmeG, wenn zu einem wesentlichen Anteil erneuerbare Energien (biologisch abbaubare Anteile am Müll), zu mehr als 50 % Abwärme oder hocheffiziente KWK genutzt werden.

Nicht immer ist der Einsatz erneuerbarer Energien sinnvoll und so können anstelle erneuerbarer Energien Ersatzmaßnahmen (EEWärmeG §7) ergriffen werden, die ähnlich Klima schonend sind. Dazu zählt die Nutzung von Abwärme. Dies ist Wärme, die bereits unter Einsatz von Energie gewonnen wurde (z. B. Lüftungswärmerückgewinnung). Die „Wiederverwertung“ von Abwärme ist dann anrechenbar, wenn mindestens 50 % des Wärmebedarfs aus Abwärme gewonnen werden. Die Nutzung von Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen (KWK) nutzt Ressourcen zur Stromerzeugung und gleichzeitigen Wärmeabgabe. Hier ist ein Mindestanteil von 50 % vorgesehen.

Die Verbesserung der Wärmedämmung des Gebäudes um mehr als 15 % gegenüber den Anforderungen der EnEV bei gleichzeitiger Unterschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs gilt ebenso als Ersatzmaßnahme wie der Anschluss an ein Netz der Nah- oder Fernwärmeversorgung, sofern das Netz zu einem wesentlichen Teil mit erneuerbaren Energien bzw. zu mehr als 50 % auf Basis von Kraft-Wärme-Kopplung oder Abwärme betrieben wird.

Entscheidend bei allen Varianten der möglichen Maßnahmen ist deren Kombinationsmöglichkeit. So muss der reduzierte Deckungsanteil einer einzelnen Technologie durch die Restdeckung einer oder mehrerer weiterer Technologien ergänzt werden.

Die EnEV berücksichtigt die Anforderungen des EEWärmeG insofern, als sie beim Referenzwohngebäude schon eine solare Warmwasserbereitung annimmt und im Energieausweis die Dokumentation der Nutzung erneuerbarer Energien regelt.

Die detaillierte Nachweisführung ist bislang z.B. durch Mustervordrucke oder ähnliches nicht vorgegeben, da diese Regelungen Sache der Länderbauaufsicht ist. Der Nachweisführende muss hier in enger Abstimmung mit den Genehmigungsbehörden individuell tätig werden.

9.7 Energieausweise

Der Abschnitt 5 der EnEV regelt die Randbedingungen zur Ausstellung eines Energieausweises. Grundsätzlich sind zwei Arten von Energieausweisen zu unterscheiden. Auf der einen Seite darf für sämtliche Wohngebäude der Ausweis auf Grundlage des rechnerischen Energiebedarfs ausgestellt werden (§18).

Für Bestandswohngebäude dürfen auf Grundlage des erfassten Energieverbrauchs witterungsbereinigte Energieverbräuche in einem Verbrauchsausweis aufgeführt werden (§19). Nach dem 1. Oktober 2008 dürfen Verbrauchsausweise nur für Wohngebäude ausgestellt werden, die mindestens 5 Wohnungen haben und einen Wärmeschutz aufweisen, der mindestens dem der Wärmeschutzverordnung von 1977 entspricht. Gebäude mit schlechterem Wärmeschutz müssen immer über den Energiebedarf bewertet werden.

Die Ausstellungsberechtigung für Energieausweise bei zu errichtenden Gebäuden ist nach den Landesbauordnungen geregelt. Für Bestandswohngebäude sind diese Regelungen in § 21 enthalten. Hierbei ist insbesondere die Qualifikation der Aussteller und eine unter Umständen erforderliche Fortbildungsverpflichtung zu beachten (Anlage 11 EnEV).

Hinweis:

Die Energieausweise können nur mit Hilfe von EDV-Programmen erstellt werden, da die grafische Gestaltung manuell nicht möglich ist. Die Ziegel-Nachweissoftware ermöglicht den Druck und die Abspeicherung der EnEV-Energieausweise sowohl für Neu- als auch Bestandsgebäude nach EnEV §18 und für einen Energieverbrauchsausweis gemäß EnEV §19.

Ein Muster der Energieausweise ist im Anhang der Broschüre abgedruckt.

10. Nachweis für zu errichtende Wohngebäude

10.1 Beispiel Einfamilien-/Doppelhaus

Dieses Beispiel zeigt die Nachweisführung für eine Doppelhaushälfte gemäß nebenstehender Zeichnung mit einem Wärmedämmstandard und einer anlagentechnischen Ausstattung des Referenzgebäudes nach Tabelle 9.1 (Seite 37). Der Primärenergiebedarf für Heizung und Warmwasser beträgt $74,9 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und stellt gleichzeitig die Anforderungsgröße dar. Das Gebäude ist einseitig angebaut (Doppelhaushälfte). Der zulässige auf die Hüllfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H'_{τ} ist $0,45 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Dieses Beispiel wird mit dem Monatsbilanzverfahren zur Ermittlung des Heizwärmebedarfs in Verbindung mit dem Tabellen-Verfahren zur Anlagentechnik berechnet. Aus den Architektenunterlagen ergeben sich folgende Angaben:

Bauteil	Fläche [m^2]	U-Wert [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]
Außenwand		
Nord	30,56	0,28
Ost/West	61,52	
Süd	28,01	
Gaubeiwand		
Ost/West	3,36	0,28
Fenster		
Süd	18,10	1,3 (g = 0,60)
Nord	2,88	
Ost/West	9,59	
Haustürelement		
Nord	3,58	1,8
Dach, schräg	41,73	0,2
Dachgeschossdecke	62,49	0,35
Bodenplatte	96,86	0,35
Summe Hüllfläche	358,68	

Volumen V_G : $528,21 \text{ m}^3$

Fensterflächenanteil:

$$(18,10 + 2,88 + 9,59)/(34,15 + 123,06) = 0,19$$

Für die Bodenplatte ohne Randdämmung ergibt sich der Temperatur-Korrekturfaktor (nach DIN V 4108-6, Tabelle 3) vereinfachend wie folgt:

Fläche der Bodenplatte:

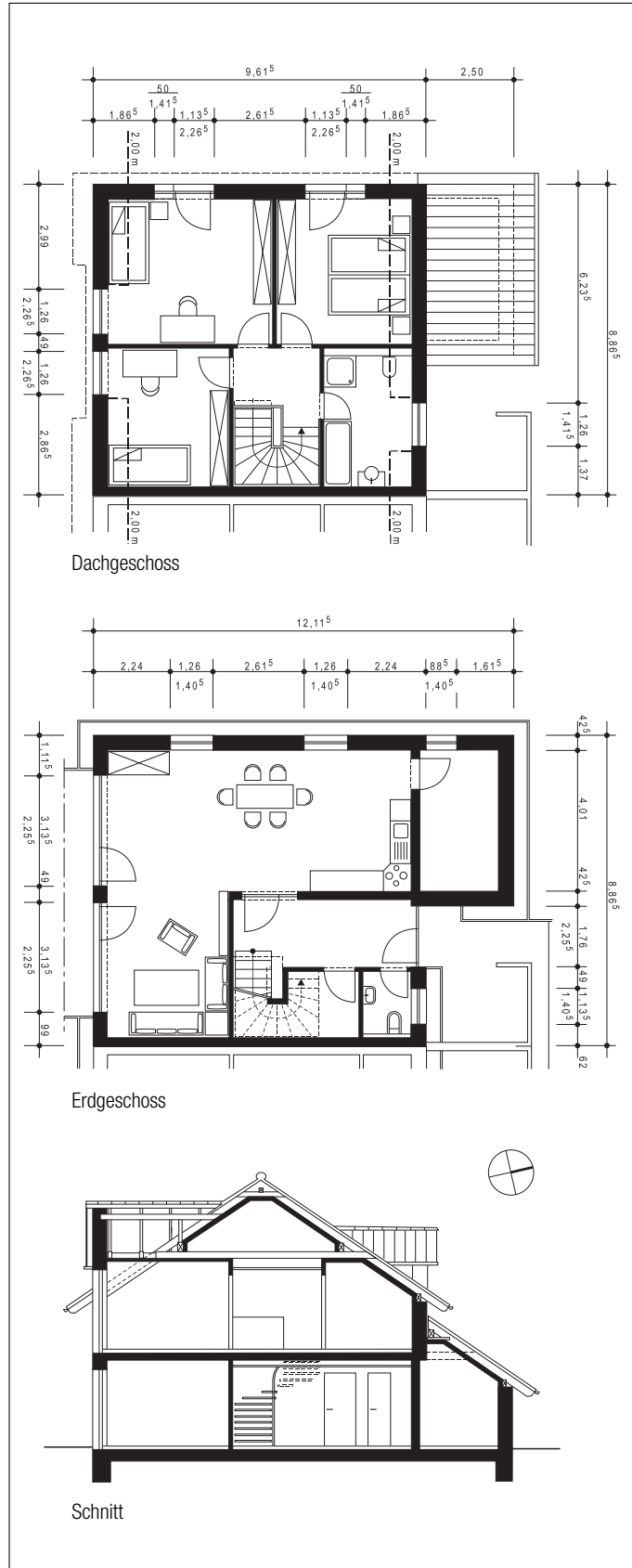
$$A = 8,865 \cdot 12,115 - 4,0 \cdot 2,615 = 96,9 \text{ m}^2$$

Umfang der Bodenplatte:

$$P = 2 \cdot 8,865 + 12,115 + 2,615 = 32,46 \text{ m}$$

$$\text{Kenngröße } B' = A_G/(0,5 \cdot P) = 96,9/(0,5 \cdot 32,46) = 5,97 \text{ m}$$

	$B' < 5$		$5 \leq B' < 10$		$B' \geq 10$	
	Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte R_f [$\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$]					
	≤ 1	> 1	≤ 1	> 1	≤ 1	> 1
F_G	0,45	0,6	0,4	0,5	0,25	0,35



Gebäudekonzept EnEV

Die Außenwände sind aus 36,5 cm dickem Hochlochziegelmauerwerk mit einer Wärmeleitfähigkeit von $0,11 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ geplant. Der U_{AW} -Wert beträgt $0,28 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Die zweifach verglasten Fenster werden mit einem U_{w} -Wert von $1,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angesetzt. Die Dachdämmung zwischen den Sparren ist 18 cm dick, unterhalb der Sparren sind 3 cm Wärmedämmung in der Unterkonstruktion eingesetzt. Der U_{D} -Wert erreicht $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Die unterhalb des Estrichs gedämmte Bodenplatte weist mit 10 cm Wärmedämmung einen U_{G} -Wert von $0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ auf.

Die Luftdichtheit der Gebäudehülle wird als geprüft mit einem n_{50} -Wert $1,5 \text{ h}^{-1}$ angenommen, da eine mechanische Abluftanlage vorhanden ist. Die Wärmebrücken werden pauschal nach den Details des Beiblatt 2 DIN 4108 geplant, so dass ein hüllflächenbezogener Wärmebrückenzuschlag von $0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angenommen werden kann.

Die Doppelhaushälfte mit Referenzgebäudeausführung erreicht einen Transmissionswärmeverlust H_{T} von $0,376 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und liegt damit etwa 15 % unter dem zulässigen Wert.

Die Aufstellung des Brennwertkessels sowie der Trinkwarmwasserspeicherung erfolgt innerhalb des beheizten Volumens, da das Gebäude gemäß Referenzausführung über weniger als 2 Wohneinheiten verfügt. Eine Trinkwasserzirkulation ist vor-

gesehen. In Verbindung mit der mechanischen Abluftanlage und der solaren Trinkwarmwassererzeugung ergibt sich eine primärenergetische Anlagenaufwandszahl e_{P} von 1,22. Dabei ist berücksichtigt, dass der elektrische Strom mit einem Primärenergiefaktor f_{p} für den nichterneuerbaren Energieanteil von 2,6 angesetzt wird. Der Solarertrag der Kollektoranlage beträgt $12,79 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ und geht mit einem f_{p} -Wert von 0 in die Primärenergiebilanz ein.

Optimierung der Wärmebrücken

Wird das Objekt hinsichtlich der Wärmebrückendetails individuell bewertet, ergeben sich deutlich geringere Wärmebrückenverluste als mit dem pauschalen Ansatz. Die Bauteilanschlüsse sind nach Kapitel 6 und nach dem Wärmebrückenkatalog der Ziegelindustrie besonders ausführlich geplant. Es werden für 16 verschiedene Anschlüsse dieses Beispiels die erforderlichen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten ermittelt und mit ihren Anschlusslängen multipliziert. Dabei wird auf tabellierte Ψ -Werte zurückgegriffen, die für ein Mauerwerk der Dicke 36,5 cm und eine Wärmeleitfähigkeit von $0,11 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ gelten. Der spezifische Wärmebrückenverlust beträgt insgesamt $-3,718 \text{ W}/\text{K}$ und liegt damit erheblich unter dem minimalen Pauschalwert von $0,05 \cdot 358,68 \text{ m}^2 = 17,92 \text{ W}/\text{K}$. Die folgende Tabelle gibt eine Übersicht der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten und deren Anschlusslängen.

Detail-Nr.	Bezeichnung	Länge [m]	Ψ_{e} [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	$\Psi_{\text{e}} \cdot l$ [W/K]
9100	Außenwandecke HLz Mauerwerk - außen	7,93	-0,16	-1,268
9110	Außenwandecke HLz Mauerwerk - innen	1,00	0,07	0,070
5020	Laibung - Fenster mit Anschlag	45,72	-0,03	-1,371
6070	2 Flachstürze mit Übermauerung	3,16	0,06	0,189
6013	Fenstersturz Stahlbeton - außen gedämmt - Fenstertür	5,04	0,01	0,050
6020	Fenster-Flachsturz deckengleich	10,05	0,05	0,502
4110	Fenstertür - Bodenplatte innengedämmt, Frostschürze	6,76	-0,19	-1,284
4300	Brüstung - Fenster mittig	5,55	0,01	0,055
8105	Ortgang ohne Ringanker - AW mit Dämmauflage	17,40	-0,08	-1,392
8020	Kniestock-Pfettendach, U-Schale außengedämmt	16,31	0,04	0,652
8105	Ortgang ohne Ringanker - AW mit Dämmauflage	7,60	-0,08	-0,608
8020	Kniestock-Pfettendach, U-Schale außengedämmt	4,20	0,04	0,168
8200	Innenwandinbindung - geneigtes Dach	10,80	0,06	0,648
7010	Geschossdecke mit Abmauerstein	14,75	0,04	0,590
2021	Sohlplatte innengedämmt, AW mit Perimeterdämmung	24,32	-0,14	-3,404
9002	Innenwand auf Bodenplatte, innengedämmt	8,66	0,31	2,684
Summe:				-3,718

Wird der Heizwärmebedarf nach dem Monatsbilanz-Verfahren ermittelt, ergeben sich für die zuvor beschriebene Doppelhaushälfte mit reduzierten Wärmebrückenverlusten die in der untenstehenden Tabelle aufgeführten Energiebilanzanteile.

Gebäudekonzept KfW-70 Effizienzhaus

Die KfW-Förderung von Effizienzhäusern verlangt zur Gewährung von Fördermitteln eine Unterschreitung des zulässigen Primärenergiebedarfs sowie eine prozentuale Unterschreitung des Transmissionswärmeverlustes H_{T} des Referenzgebäudes. Soll das KfW 70 Effizienzhaus-Niveau erreicht werden, ist ein nutzflächenbezogener Primärenergiebedarf von $0,7 \cdot 74,9 = 52,4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ sowie ein hüllflächenbezogener Transmissionswärmeverlust H_{T} von $0,85 \cdot 0,376 = 0,32 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ einzuhalten.

Das Ziel wird dadurch erreicht, dass die Wärmebrückenverluste individuell in der Planung ermittelt und gemäß der auf Seite 43 aufgeführten Liste berechnet werden. Diese Maßnahme allein reicht aus, den Transmissionswärmeverlust H_{T} der Gebäudehülle auf einen Wert von $0,316 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zu verbessern.

Die Einhaltung des 70 %-Wertes des zulässigen Primärenergiebedarfs kann neben der Verbesserung der Gebäudehülle z.B. über zusätzliche Maßnahmen der Anlagentechnik erreicht werden. Da der zentrale Heizerzeuger im auf der Nordseite des Gebäudes angesetzten Hausarbeitsraum aufgestellt ist, können die Küche und Bäder auf sehr kurzem Weg mit Warmwasser versorgt werden. Die kurzen vertikalen Verteilungen benötigen daher keine Warmwasserzirkulation. Die im Referenzgebäude vorgesehene mechanische Abluftanlage wirkt sich zudem primärenergetisch nicht positiv auf das Endergebnis aus, so dass eine mechanische Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung eingeplant wird. Bei mindestens 80 % Wärmerückgewinnungsgrad ergibt sich mit diesen zwei anlagentechnischen Maßnahmen ein Primärenergiebedarf von $49,6 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Mit 66,2 % des zulässigen Primärenergiebedarfs ist somit das Förderkriterium für ein KfW-70 Effizienzhaus erfüllt.

Gebäudekonzept KfW-55 Effizienzhaus

Eine weitergehende Fördermöglichkeit besteht für Gebäude, deren Primärenergiebedarf Q_p lediglich 55 % des zulässigen Wertes beträgt und deren Transmissionswärmeverlust H_{T} unter 70 % des Wertes des Referenzgebäudes liegt. Um diese Ziel zu erreichen, sind zusätzliche Wärmedämmmaßnahmen erforderlich.

Werden die zugrunde gelegten 2-fach verglasten Fenster mit herkömmlichen 3-fach Verglasungen bestückt, ergeben sich U_w -Werte von $1,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Der Gesamtenergiedurchlassgrad sinkt um etwa 10 % auf 0,55. Die Ausführung der Außenwand kann weiterhin mit Hochlochziegelmauerwerk der Wanddicke 36,5 cm, aber einer Wärmeleitfähigkeit von $0,09 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ und einem U-Wert von $0,23 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ umgesetzt werden. Die Decke zum unbeheizten Dachraum wird mit zusätzlicher Wärmedämmung mit einem U_D -Wert von $0,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ausgeführt. In der Summe führen diese baulichen Maßnahmen zu einem Transmissionswärmeverlust H_{T} von $0,26 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, der eine Unterschreitung des Referenzwertes von 31 % bewirkt.

Die Auswahl der Anlagentechnik erfordert die Verwendung hoher Anteile regenerativer Energie. Wird statt des Brennwertkessels und der mechanischen Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung eine Sole/Wasser Wärmepumpe eingesetzt, sinkt der Primärenergiebedarf auf $38,7 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Dies entspricht einem Verhältnis von 52 % bezogen auf den zulässigen Primärenergiebedarf.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass mit verfügbaren Techniken beide KfW-Effizienzhaus-Förderstufen erreicht werden können und es damit in der Hand des Bauherren liegt, diese Möglichkeiten hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen zu bewerten.

Das aktuelle Förderprogramm der KfW-Bankengruppe kann im Internet unter: www.KfW.de eingesehen werden.

	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	
Q_t	1766,8	1446,5	1296,8	800,2	530,9	278,0	87,8	60,9	387,4	861,7	1204,5	1540,5	kWh
Q_{WB}	-56,2	-46,0	-41,2	-25,4	-16,9	-8,8	-2,8	-1,9	-12,3	-27,4	-38,3	-49,0	kWh
Q_{FH}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh
Q_{sop}	-14,2	-5,2	6,2	48,2	61,4	77,5	81,7	48,3	26,4	5,2	-11,3	-21,4	kWh
Q_V	1133,7	928,1	832,1	513,4	340,7	178,3	55,8	39,1	248,6	552,9	772,8	988,5	kWh
Q_{il}	97,6	75,9	63,1	37,1	24,6	12,9	4,0	2,8	17,9	39,9	58,0	79,4	kWh
ΣQ_I	2760,9	2257,9	2018,4	1202,9	768,7	357,1	54,4	47,0	579,4	1342,0	1892,3	2422,0	kWh
Q_s	327,4	348,7	519,9	946,2	922,2	998,5	1070,0	843,3	755,1	518,9	317,9	194,9	kWh
Q_{TWD}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh
Q_{Wiga}	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	kWh
Q_i	628,8	567,9	628,8	608,5	628,8	608,5	628,8	628,8	608,5	628,8	608,5	628,8	kWh
ΣQ_g	956,2	916,6	1148,7	1554,7	1551,0	1607,1	1698,8	1472,1	1363,6	1147,7	926,4	823,7	kWh
γ	0,35	0,41	0,57	1,29	2,02	4,50	31,22	31,34	2,35	0,86	0,49	0,34	-
η_g	1,000	1,000	0,998	0,758	0,495	0,222	0,032	0,032	0,425	0,961	1,000	1,000	-
Q_h	1804,7	1341,4	871,7	23,7	0,4	0,0	0,0	0,0	0,1	238,6	966,4	1598,4	kWh

Nachweis für ein Wohngebäude nach EnEV Anlage 1 mittels DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10							
Objekt: Doppelhaushälfte als EnEV Referenzgebäude							
Beheiztes Gebäudevolumen V_e: 528,21 m ³							
Gebäudenutzfläche $A_N = 0,32 \cdot V_e$: 169 m ²							
Bauteil	Bezeichnung	Fläche A m ²	Wärmedurchgangs- koeffizient U [W/(m ² · K)]	Temperatur- Korrekturfaktor F_x	Wärme- verlust H_T	Einheit	
Außenwand	Nord	30,56	0,28	1,0	8,557	W/K	
	Ost/West	61,52	0,28	1,0	17,226	W/K	
	Süd	28,01	0,28	1,0	7,843	W/K	
Gaubeiwand	Ost/West	3,36	0,28	1,0	0,941	W/K	
Fenster	Nord	2,88	1,3	1,0	3,744	W/K	
	Ost/West	9,59	1,3	1,0	12,467	W/K	
	Süd	18,10	1,3	1,0	23,530	W/K	
Haustürelement	Nord	3,58	1,8	1,0	6,444	W/K	
Dach schräg	an Außenluft	41,73	0,2	1,0	8,346	W/K	
Geschossdecke	an gedämmten Dachraum	62,49	0,35	0,5	10,936	W/K	
Bodenplatte	an Erdreich	96,86	0,35	0,5	16,951	W/K	
Σ A:		358,68			Σ A · U · F_x	116,985	W/K
Wärmebrücken- zuschlag	Wärmebrückenzuschlag pauschal 0,05 W/(m ² ·K) · 358,68 m ²				H_{WB}	17,934	W/K
Transmissionswärmeverlust H_T					Σ (A · U · F_x) + H_{WB}	134,919	W/K
Luftvolumen V	Gebäude bis zu 3 Vollgeschosse				0,76 · V_e	401,4	m ³
	Gebäude über 3 Vollgeschosse				0,8 · V_e	-	m ³
Lüftungswärme- verlust H_V			Luftdichtheit n ₅₀ > 3,0 h ⁻¹		0,7 · 0,34 · V	-	W/K
			Mechanische Abluftanlage Luftdichtheit n ₅₀ < 1,5 h ⁻¹		0,55 · 0,34 · V	75,062	W/K
Hüllflächenfaktor					A/V_e	0,68	m ⁻¹
Solare Wärmegewinne transparenter Bauteile	Bauteil/Orientierung	Fläche A [m²]	Gesamtenergie- durchlassgrad g [-]	F_F	F_S	F_C	spezifischer Gewinn A · g · 0,9 · F_F · F_S · F_C
	Fenster Nord	2,88	0,6	0,7	0,9	1,0	1,089
	Fenster Ost/West	9,59	0,6	0,7	0,9	1,0	3,625
	Fenster Süd	18,10	0,6	0,7	0,9	1,0	6,842
Solare Wärmegewinne opaker Bauteile			Absorptionsgrad α [-]	Formfaktor F_f			
	Außenwände		0,5	0,5			
	Dach, schräg		0,8	1,0			
Interne Wärmegewinne	flächenspezifisch			q_i = 5 W/m²		845	W
Spezifische Wärme- speicherkapazität C_{wirk} · V_e	massive Bauweise			50 Wh/(m³K) · V_e		26410	Wh/K
	leichte Bauweise			15 Wh/(m³K) · V_e		-	Wh/K
Jahresheizwärme- bedarf Q_h	absolut				Q_h = Q_T + Q_V - Q_G	8277	kWh/a
	nutzflächenbezogen				Q^{''}_h	48,97	kWh/(m ² ·a)
Anlagenaufwands- zahl e_p	Brennwertkessel 55/45° C, TW-Solaranlage, mech. Abluftanlage gemäß Tabelle 9.1, Seite 37					e_p	1,22
Primärenergiebedarf Q^{''}_p	vorhanden		Q^{''}_{p,vorh.} = e_p · (Q^{''}_h + 12,5)		74,9	kWh/(m ² ·a)	
	zulässig		Q^{''}_{p,zul.}		74,9	kWh/(m ² ·a)	
Spezifischer, auf die Hüllfläche bezogener Transmissionswärmeverlust H^{''}_T	vorhanden		H^{''}_{T,vorh.} = H_T/A		0,376	W/(m ² ·K)	
	zulässig		H^{''}_{T,zul.}		0,45	W/(m ² ·K)	
Endenergiebedarf	Wärme fossil	Gas/Öl		q_{WE,E}	57,13	kWh/(m ² ·a)	
	Wärme regenerativ	Solarertrag		q_{WE,S}	12,79	kWh/(m ² ·a)	
	Hilfsenergie	elektrischer Strom		q_{HE,E}	4,65	kWh/(m ² ·a)	

11. Sommerlicher Wärmeschutz

11.1 Einleitung

Die EnEV verlangt für Wohngebäude in § 3 Absatz 4 ausdrücklich die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2. Die in der Vergangenheit gewährten Anforderungserleichterungen, die an den Fensterflächenanteil der Fassaden gebunden waren, sind nunmehr ersatzlos gestrichen.

Das sommerliche Temperaturverhalten ist von großer Bedeutung für die Behaglichkeit innerhalb moderner Niedrigenergiehäuser. Die sich maximal einstellenden Raumlufttemperaturen hängen von der Klimaregion, von der Bauweise des Gebäudes sowie von dessen Nutzer ab. Die Beeinflussung der Raumlufttemperatur ist durch die Benutzung des Sonnenschutzes und die Belüftung über Fenster und Lüftungsanlagen möglich. Nach DIN 4108-2 sollen im Nachweisverfahren nach [R9] sogenannte Sonneneintragskennwerte für kritische Raumsituationen, d.h. für einzelne Räume oder auch zusammenhängende Raumgruppen nicht überschritten werden.

Grenzen Räume, für den ein Nachweis geführt werden soll, an unbeheizte Glasvorbauten oder sind sie mit Doppelfassaden oder transparenter Wärmedämmung versehen, kann das im Folgenden dargestellte vereinfachte Nachweisverfahren nur mit Einschränkungen angewandt werden.

11.2 Verfahren

Durch Einhaltung des Sonneneintragskennwertes $S_{\max} = S_{\text{zul}}$ wird unter Standardbedingungen gewährleistet, dass eine bestimmte Grenz-Raumtemperatur in nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit überschritten wird. Diese Grenztemperatur ist abhängig vom Klimastandort und damit von der durchschnittlichen Monatstemperatur des heißesten Monats im Jahr und wird in Deutschland nach drei Regionen gemäß Tabelle 11.1 unterschieden.

Bei Wohn- und wohnähnlich genutzten Gebäuden kann auf den Nachweis des Sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden, wenn raum- oder raumgruppenweise die in Tabelle 11.2 zusammen gestellten, auf die einzelnen Fassaden bezogenen Fensterflächenanteile nicht überschritten werden. Dabei ist zu beachten, dass bei der Ermittlung der Fensterflächenanteile z.B. Dachflächenfenster mit der dazu-

gehörigen Dachfläche berücksichtigt werden müssen. Weiterhin kann auf einen Nachweis verzichtet werden, wenn Ost-, Süd- und Westfenster mit Sonnenschutzvorrichtungen mit einem Abminderungsfaktor $F_C \leq 0,3$ (z.B. Rollläden) ausgestattet sind.

Der Sonneneintragskennwert S eines Raumes ermittelt sich wie folgt:

$$S = \sum_j (A_{w,j} \cdot g_j \cdot F_{C,j}) / A_G \quad (34)$$

mit:

A_w = gesamte Fensterfläche in m^2 (ermittelt nach Rohbaumaßen)

g = Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung

F_C = Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen

A_G = Nettogrundfläche des Raumes

Die Tabelle 11.3 enthält Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen.

Tabelle 11.1: Sommerliche Klimaregionen in Deutschland.

Sommer-Klimaregion	Geografie	Merkmal/ $\theta_{e,M,\max}$	Grenz-Raumtemperatur
A	Mittelgebirgslagen, Voralpenland, Küstengebiete bedingt	sommerkühl $\leq 16,5^\circ\text{C}$	25°C
B	Übriges Deutschland, außer A und C	gemäßigt $16,5 - 18^\circ\text{C}$	26°C
C	südlich von Mosel und Main, außer Mittelgebirgszonen	sommerheiß $\geq 18^\circ\text{C}$	27°C

Tabelle 11.2: Nachweisgrenzen verschiedener Orientierungen und Fensterflächenanteile.

Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster*	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{AG} [%]
$60^\circ - 90^\circ$	Nordost über Süd bis Nordwest	10
	Übrige Nord-Orientierungen	15
$0^\circ - 60^\circ$	Alle Orientierungen	7

* sind mehrere Fensterorientierungen vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{AG} bestimmend.

Tabelle 11.3: Abminderungsfaktoren von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen, nach [R7].

Beschaffenheit der Sonnenschutzvorrichtung	F_c
Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,0
Innenliegend oder zwischen den Scheiben:	
weiß oder reflektierende Oberfläche mit geringer Transparenz*	0,75
helle Farben und geringe Transparenz*	0,8
dunkle Farben und höhere Transparenz*	0,9
Außenliegend:	
drehbare Lamellen, hinterlüftet	0,25
Jalousien und Stoffe mit geringer Transparenz	0,25
Rollläden, Fensterläden	0,3
Vordächer, Loggien, freistehende Lamellen	0,5
Markisen, oben und seitlich ventiliert, Jalousien allgemein	0,4
Markisen, allgemein	0,5

* eine Transparenz < 15 % gilt als gering, ansonsten als erhöht

11.3 Anforderungen

Der nach Formel 34 ermittelte Sonneneintragskennwert S darf den Höchstwert S_{zul} nicht überschreiten. Der Höchstwert wird als Summe aus allen zutreffenden Zuschlagswerten nach folgender Gleichung ermittelt:

$$S_{zul} = \sum S_x \quad [-] \quad (35)$$

Als Zuschläge S_x sind die Werte nach Tabelle 11.4 anzusetzen:

Tabelle 11.4: Zuschlagswerte S_x verschiedener Standortrandbedingungen, Bau- und Betriebsweisen, nach [R9].

Zeile	Gebäudelage und Beschaffenheit	Zuschlagswert S_x
1.1	Gebäude in Klimaregion A	0,04
1.2	Gebäude in Klimaregion B	0,03
1.3	Gebäude in Klimaregion C	0,015
2.1	Leichte Bauart: ohne Nachweis von $C_{wir,k} / A_G$	$0,06 \cdot f_{gew}$
2.2	Mittlere Bauart: $50 \text{ Wh}/(\text{K} \cdot \text{m}^2) \leq C_{wir,k} / A_G \leq 130 \text{ Wh}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$	$0,10 \cdot f_{gew}$
2.3	Schwere Bauart: $C_{wir,k} / A_G \geq 130 \text{ Wh}/(\text{K} \cdot \text{m}^2)$	$0,115 \cdot f_{gew}$
3.1	Erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 1,5 \text{ h}^{-1}$ bei leichter und mittlerer Bauart	+ 0,02
3.2	Erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 1,5 \text{ h}^{-1}$ bei schwerer Bauart	+ 0,03
4	Sonnenschutzverglasung mit $g \leq 0,4$	+ 0,03
5	Fensterneigung 0° - 60° gegenüber der Horizontalen	$- 0,12 \cdot f_{neig}$
6	Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster mit Neigung $> 60^\circ$ und Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind	+ $0,10 \cdot f_{nord}$

mit:

$$f_{gew} = (A_w + 0,3 \cdot A_{AW} + 0,1 \cdot A_D) / A_G$$

A_w = Fensterfläche in m^2 (ermittelt nach Rohbaumaßen)

A_{AW} = Außenwandfläche in m^2

A_D = wärmeübertragende Dach-/Deckenfläche in m^2

A_G = Nettogrundfläche des Raumes in m^2

11.4 Speichermöglichkeit und Bauart

Die Einteilung in Bauarten erfolgt durch die Ermittlung der wirksamen Wärmespeichermöglichkeit des betrachteten Raums nach DIN V 4108-6. Dabei ist folgende Einstufung vorzunehmen:

- leichte Bauart: Gebäude ohne Festlegung der Baukonstruktion, Holzständerkonstruktion, leichter Dachgeschossausbau, abgehängte Decken,
- mittlere Bauart: Wohnräume in Gebäuden aus Wärmedämmziegeln und massivem Innenausbau,
- schwere Bauart: Wohnräume in Ziegelgebäuden aus HLZ mit $\rho \geq 1,0 \text{ kg}/\text{dm}^3$ und massivem Innenausbau.

Die zuvor gemachten Aussagen stützen sich auf Untersuchungen zum EnEV-PC-Nachweisprogramm und müssen daher nicht für jedes Gebäude explizit ermittelt werden.

12. Bewertung von Bestandswohngebäuden

12.1 Einleitung

Nach EnEV §9 dürfen bei Änderungen bestehender Gebäude deren gesamter Primärenergiebedarf sowie der spezifische auf die Hüllfläche bezogene Transmissionswärmeverlust insgesamt nicht mehr als das 1,4fache des Wertes von zu errichtenden Gebäuden aufweisen. Alternativ können die geänderten Gebäudeteile in Abhängigkeit der Festlegungen der Wärmedurchgangskoeffizienten nach Anlage 3 EnEV dimensioniert werden. Zur Erstellung eines bedarfsorientierten Energieausweises macht die Bewertung nach Bauteilkennwerten keinen Sinn, so dass eine Energiebilanz des Gesamtgebäudes zu bevorzugen ist.

Um Bestandswohngebäude zur Erstellung eines Energiebedarfsausweises rechnerisch bewerten zu können, sind in Anlage 3 EnEV sowie in Veröffentlichungen des Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung Regeln der Technik niedergeschrieben worden, die eine sachgerechte Bilanzierung der Energieflüsse erlauben.

12.2 Randbedingungen zur Energiebilanz

Die Randbedingungen zur Energiebilanz nach DIN V 4108-6 weichen in einigen Bereichen von denen zu errichtender Gebäude ab. So sind z.B. bei Vorhandensein von Innendämmungen an Außenwänden die zusätzlichen Wärmebrückeneffekte deutlich größer als bei Neubauten. Wenn mehr als 50 % der Außenwandfläche mit einer Innendämmung versehen wird, ist der pauschale Wärmebrückenzuschlag ΔU_{WB} auf $0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ zu erhöhen (vgl. Formel 11).

Die Luftwechselrate berücksichtigt den aus baulichen Gegebenheiten resultierenden Infiltrationsluftwechsel. Weist ein Bestandsgebäude offensichtliche Undichtheiten an Fensterfugen oder im Dachbereich auf, ist die Luftwechselzahl n mit $1,0 \text{ h}^{-1}$ anzusetzen (vgl. Formel 2 und 16).

Bei Altbauten mit üblicherweise kleineren Fenstern als im Neubau, ist in der Regel von einem höheren Rahmenanteil auszugehen. Der Abminderungsfaktor F_F ist in diesem Fall auf 0,6 festgelegt (vgl. Formel 5 und 20). Alle weiteren Randbedingungen sind exakt gleich mit denen des Monatsbilanzverfahren für zu errichtende Gebäude.

12.3 Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung

12.3.1 Regeln der Technik

Die Bewertung von Bestandswohngebäuden erfordert die Kenntnis der wärmeschutztechnischen Kennwerte der Bauteile und der Kennwerte der Anlagentechnik. Da diese Eigenschaftswerte häufig schwierig zu beschaffen sind, hat das Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung öffentliche Bekanntmachungen gemäß §9 Abs. 2 Satz 3 EnEV veranlasst. Inhalt dieser „Datenrichtlinie“ [R27] genannten Informationen sind Vereinfachungen für die Aufnahme geometrischer Abmessungen, die Ermittlung energetischer Kennwerte sowie Erfahrungswerte für Bauteile und Anlagenkomponenten von Bestandsgebäuden.

Da diesen Bekanntmachungen der Stellenwert anerkannter Regeln der Technik zukommt, können sie im Rahmen der Energieausweiserstellung herangezogen werden. Zur Erstellung eines Energieausweises auf Basis des rechnerischen Energiebedarfs sind die im Folgenden aufgeführten Regeln zu beachten.

12.3.2 Vereinfachungen beim geometrischen Aufmaß

Die geometrischen Abmessungen eines Bestandswohngebäudes können zum Teil mit vereinfachenden Annahmen festgelegt werden. So darf die Ermittlung der Fensterflächen inkl. Außentüren pauschal mit 20 % der Wohnfläche erfolgen. Diese Fensterflächen sind dann vollständig ost-/westorientiert im Rechengang anzunehmen. Ist die Wohnfläche eines Gebäudes nicht bekannt, kann sie aus der nach EnEV ermittelten Gebäudenutzfläche errechnet werden: bei Ein- und Zweifamilien-

häusern mit beheiztem Keller beträgt $A_{Wohnfl.} = A_N/1,35$, bei allen übrigen Wohngebäuden ist $A_{Wohnfl.} = A_N/1,2$.

Rollladenkästen können pauschal mit 10 % der Fensterfläche angesetzt werden. Vor- und Rücksprünge der Fassade bis zu 0,5m dürfen übermessen werden und pauschal mit einem Zuschlag auf H_T von 5 % angesetzt werden. Die gleiche Vorgehensweise ist bei vorhandenen Dachgauben möglich, deren Ansichtslänge l_{Gaube} auf 0,5 m genau bestimmt werden darf und die mit einem Zuschlag auf H_T von 10 W/K pro Gaubenseitenwand berücksichtigt wird. Die aus Gauben bedingte Volumenerhöhung ΔV_e beträgt $9 \text{ m}^3 \cdot l_{Gaube}$.

Innenliegende Kellerabgänge dürfen ebenfalls übermessen werden. In der Berechnung erfolgt ein Zuschlag auf H_T von 50 W/K pro Kellerabgang. Die daraus bedingte Volumenerhöhung ΔV_e beträgt 35 m^3 je Kellerabgang. Heizkörpernischen können mit 50 % der Fensterfläche abgeschätzt werden.

Hinweis:

Die Anwendung pauschaler Ansätze kann vor allem bei der gebotenen Angabe von Sanierungsempfehlungen zu Fehleinschätzungen der Effizienz zusätzlicher Maßnahmen führen. Daher wird von der Verwendung dieser Ansätze abgeraten.

Vor allem ist unklar, wie bei Fassaden- vor- oder Rücksprüngen der pauschale Zuschlag auf H_T anzuwenden ist. Erfolgt dieser auf den Basiswert ohne die eventuell nachfolgenden Zuschläge für Gauben und Kellerabgänge oder wird er erst abschließend auf die Summe aller vorherigen Zuschläge beaufschlagt?

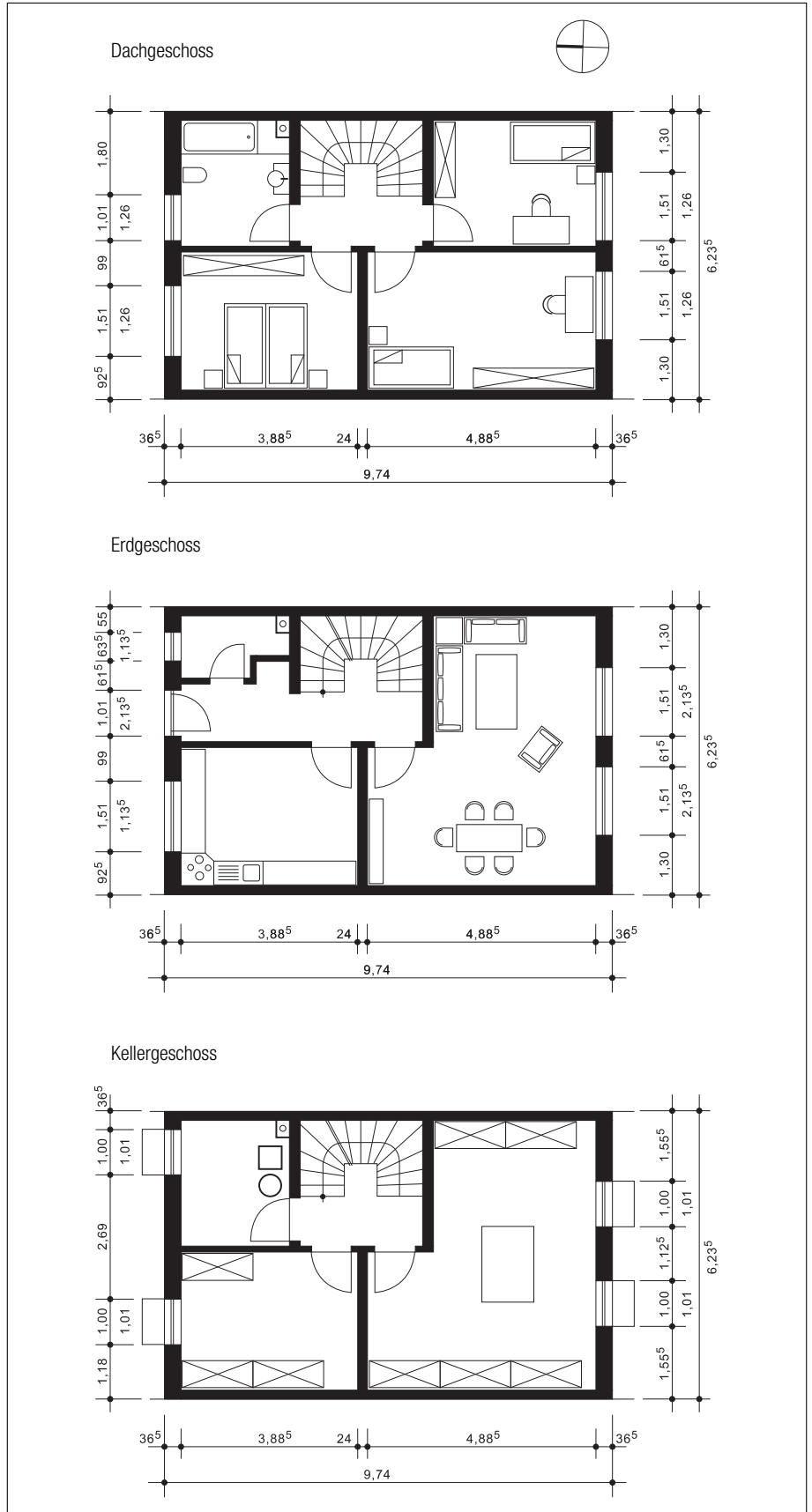
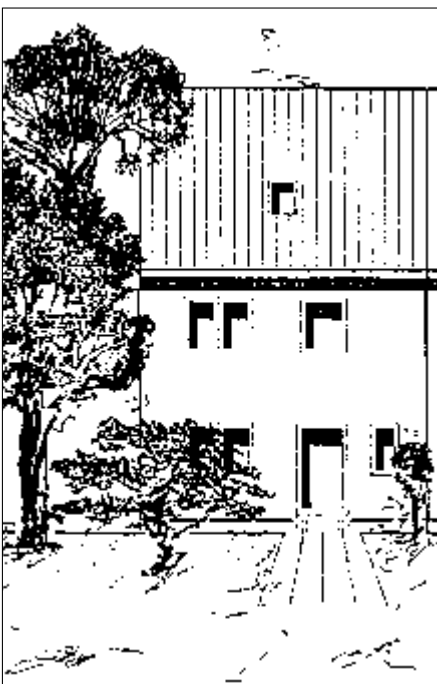
Das Ziegel-EnEV-PC-Programm setzt den prozentualen Zuschlag auf die Transmissionswärmeverluste inkl. der zuvor addierten Teilzuschläge.

12.3.3 Energetische Qualität von Bauteilen und Anlagentechnik

Die Datenrichtlinie des BMVBS [R27] enthält zur Beschreibung der energetischen Qualität der wärmetauschenden Hüllfläche ein umfangreiches Tabellenwerk mit nach Baualtersklassen eingestuftem Wärmedurchgangskoeffizienten für Dächer, Dachgeschossdecken, Außenwänden, Kellerdecken und Fenster. Die Kennwerte der opaken Bauteile sind zudem für die Basisausführung zusätzlich nachträglicher Dämmschichten aufgeführt, so dass eine Abschätzung der Dämmeigenschaften ohne exakte Kenntnis der Bauteilaufbauten möglich ist.

Hinweis:

In Kapitel 14 sind in der Tabelle 14.3 die Wärmeleitfähigkeiten von Mauerziegeln in ihrer historischen Entwicklung aufgelistet, so dass die Wärmedurchgangskoeffizienten derartiger Außenwände sicher bestimmt werden können.



Die energetische Bewertung der Komponenten der Anlagentechnik erfolgt analog dem Tabellen-Verfahren der DIN V 4701-10. Die Datenrichtlinie enthält umfangreiche Tabelleneinträge mit nutzf lächenbezogenen pauschalen Kennwerten der einzelnen Prozessbereiche, so dass in Verbindung mit DIN V 4701-10 und DIN 4701-12 die Gesamtaufwandszahlen bestehender Heiz-, Warmwasser- und Lüftungsanlagen bestimmt werden können. Auf Grund des großen Umfangs dieser Tabellen wird auf eine Darstellung in dieser Broschüre verzichtet.

12.4 Beispiel Bestandswohngebäude und Sanierungsempfehlungen

Am folgendem Beispiel eines Reihenendhauses soll die grundsätzliche Vorgehensweise zu Erstellung eines Energieausweises auf Basis des rechnerischen Energiebedarfs aufgezeigt werden. Das Gebäude weist die in der folgenden Tabelle 12.1 aufgelisteten Wärmedurchgangskoeffizienten und Bauteilflächen auf. Der Keller des Gebäudes wird als unbeheizt angenommen, so dass das beheizte Volumen 334,01 m³ und die beheizte Nutzfläche 106,88 m² beträgt. Der Wärmeschutz des Gebäudes entspricht bei einem mittleren U-Wert der Gebäudehülle von 0,69 W/(m² · K) den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung von 1977. Die Wärmebrücken werden mit einem pauschalen Zuschlag von $\Delta U_{WB} = 0,1 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ berücksichtigt. Die Luftwechselzahl beträgt 0,7 h⁻¹, Undichtheiten sind somit nicht vorhanden.

Der mittels Monatsbilanzverfahren errechnete Jahresheizwärmebedarf ergibt sich zu 127,2 kWh/(m² · a). Die Heizanlage ist im beheizten Keller aufgestellt. Es handelt sich um einen Gas-Niedertemperaturkessel der Baualterklasse 1987-1994 mit einer Systemtemperatur 70/55°C und einer entsprechend gebäudezentralen Verteilung. Die Wärmeabgabe erfolgt über Radiatoren an den Außenwänden. Die Trinkwassererwärmung wird von der selben Anlage bereit gestellt. Eine Zirkulation ist vorhanden.

Tabelle 12.1: Bauteilaufbauten des Bestandsgebäudes

Bauteil	Fläche [m ²]	U-Wert [W/(m ² · K)]
Außenwand	Nord	28,48
	Süd	23,84
	West	51,12
Fenster	Nord	5,61
	Süd	10,25
	West	3,81
Haustür (opak)	2,16	3,0
Dachgeschossdecke an unbeheiztem Dachraum	60,73	0,41
Kellerdecke	60,73	0,84
Summe Hüllfläche	225,34	
Gebäudevolumen V _e	6,235 m · 9,74 m · 5,50 m = 334,01 m ³	

Aus den Tabellen der Datenrichtlinie sind die Anlagenkennwerte in Verbindung mit DIN V 4701-10 ermittelt worden und führen zu einem e_p-Wert von 2,21. Der Endenergiebedarf für Heizenergie und Hilfsstrom beträgt 272,9 kWh/(m² · a) und wird nach Energieträgern getrennt im Energieausweis angegeben.

Die nach §20 zu formulierenden Empfehlungen zur Verbesserung der Energieeffizienz werden für den Fall der Fenstererneuerung, der zusätzliche Dämmung der Dachgeschossdecke sowie einer Kombination beider Maßnahmen in Verbindung mit einer Heizungserneuerung berechnet und im entsprechenden Formblatt auf Seite 74 dieser Broschüre dargestellt. Die Einzelmaßnahmen sind in der folgenden Tabelle 12.2 gelistet. Die Investitionskosten sind dabei grob geschätzt worden.

Die Maßnahmen 1 bis 3 bewirken eine Energieeinsparung von etwa 12.200 kWh pro Jahr. Die geschätzten Investitionskosten von knapp 20.000 Euro können sich unter Zugrundelegung einer statischen Amortisation bei einem Energiepreis von etwa 0,07 Euro/kWh in 23 Jahren amortisieren. Eine dynamische Betrachtung unter Berücksichtigung von Zinsentwicklung und absehbarer Energiepreiserhöhung kann unter Umständen zu einer günstigeren Amortisationsberechnung führen.

Tabelle 12.2: Bewertung unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen

Nr. Maßnahme	Jahresendenergiebedarf [kWh/(m ² · a)]	Investitionskosten [Euro]	Einsparung [%]
0 Istzustand	29.170	-	0
1 Fenstererneuerung – 20 m ²	26.910	8.000	7,5
2 Dachgeschossdecke dämmen – 60 m ²	28.260	1.800	3,0
3 wie Nr. 1 + 2 + Brennwertkessel 55/45° C Thermostatventile + Rohrdämmung	16.970	9.800 10.000	41,8

12.5 Anforderungen an Einzelbauteile

Werden Außenbauteile nach EnEV §9 saniert oder Gebäudeerweiterungen bis zu 50 m² Nutzfläche geplant, sind die betroffenen Außenbauteile nach den folgenden Abschnitten 1 bis 7 auszuführen (Auszug EnEV Anlage 3):

1 Außenwände

Soweit bei beheizten oder gekühlten Räumen Außenwände

- a) ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert werden, dass
 - b) Bekleidungen in Form von Platten oder plattenartigen Bauteilen oder Verschalungen sowie Mauerwerks-Vorsatzschalen angebracht werden,
 - c) Dämmschichten eingebaut werden oder
 - d) bei einer bestehenden Wand mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten größer 0,9 W/(m²·K) der Außenputz erneuert wird,
- sind die jeweiligen Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten nach Tabelle 1 Zeile 1 einzuhalten. Bei einer Kerndämmung von mehrschaligem Mauerwerk gemäß Buchstabe c gilt die Anforderung als erfüllt, wenn der bestehende Hohlraum zwischen den Schalen vollständig mit Dämmstoff ausgefüllt wird. Beim Einbau von innenraumseitigen Dämmschichten gemäß Buchstabe c gelten die Anforderungen des Satzes 1 als erfüllt, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient des entstehenden Wandaufbaus 0,35 W/(m²·K) nicht überschreitet. Werden bei Außenwänden in Sichtfachwerkbauweise, die der Schlagregenbeanspruchungsgruppe I nach DIN 4108-3 : 2001-06 zuzuordnen sind und in besonders geschützten Lagen liegen, Maßnahmen gemäß Buchstabe a, c oder d durchgeführt, gelten die Anforderungen gemäß Satz 1 als erfüllt, wenn der Wärmedurchgangskoeffizient des entstehenden Wandaufbaus 0,84 W/(m²·K) nicht überschreitet; im Übrigen gelten bei Wänden in Sichtfachwerkbauweise die Anforderungen nach Satz 1 nur in Fällen von Maßnahmen nach Buchstabe b. Werden Maßnahmen nach Satz 1 ausgeführt und ist die Dämmschichtdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,040$ W/(m·K)) eingebaut wird.

2 Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster und Glasdächer

- Soweit bei beheizten oder gekühlten Räumen außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster und Glasdächer in der Weise erneuert werden, dass
- a) das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird,
 - b) zusätzliche Vor- oder Innenfenster eingebaut werden oder
 - c) die Verglasung ersetzt wird,
- sind die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 2 einzuhalten. Satz 1 gilt nicht für Schaufenster und Türanlagen aus Glas. Bei Maßnahmen gemäß Buchstabe c gilt Satz 1 nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme der vorgeschriebenen Verglasung ungeeignet ist. Werden Maßnahmen nach Buchstabe c ausgeführt und ist die Glasdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Verglasung mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von höchstens 1,30 W/(m²·K) eingebaut wird. Werden Maßnahmen nach Buchstabe c an Kasten- oder Verbundfenstern durchgeführt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Glastafel mit einer infrarot-reflektierenden Beschichtung mit einer Emissivität $\epsilon_n \leq 0,2$ eingebaut wird. Werden bei Maßnahmen nach Satz 1
1. Schallschutzverglasungen mit einem bewerteten Schalldämmmaß der Verglasung von $R_{w,R} > 40$ dB nach DIN EN ISO 717-1 : 1997-01 oder einer vergleichbaren Anforderung oder
 2. Isolierglas-Sonderaufbauten zur Durchschusshemmung, Durchbruchhemmung oder Sprengwirkungshemmung nach anerkannten Regeln der Technik oder
 3. Isolierglas-Sonderaufbauten als Brandschutzglas mit einer Einzelelementdicke von mindestens 18 mm nach DIN 4102-13 : 1990-05 oder einer vergleichbaren Anforderung verwendet, sind abweichend von Satz 1 die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 3 einzuhalten.

3 Außentüren

Bei der Erneuerung von Außentüren dürfen nur Außentüren eingebaut werden, deren Türfläche einen Wärmedurchgangskoeffizienten von $2,9 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ nicht überschreitet. Nr. 2 Satz 2 bleibt unberührt.

4 Decken, Dächer und Dachschrägen

4.1 Steildächer

Soweit bei Steildächern Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen sowie Decken und Wände (einschließlich Dachschrägen), die beheizte oder gekühlte Räume nach oben gegen die Außenluft abgrenzen,

- a) ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert werden, dass
 - b) die Dachhaut bzw. außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut werden,
 - c) innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen aufgebracht oder erneuert werden,
 - d) Dämmschichten eingebaut werden,
 - e) zusätzliche Bekleidungen oder Dämmschichten an Wänden zum unbeheizten Dachraum eingebaut werden,
- sind für die betroffenen Bauteile die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 4a einzuhalten. Wird bei Maßnahmen nach Buchstabe b oder d der Wärmeschutz als Zwischensparrendämmung ausgeführt und ist die Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung oder der Sparrenhöhe begrenzt, so gilt die Anforderung als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke eingebaut wird. Die Sätze 1 und 2 gelten nur für opake Bauteile.

4.2 Flachdächer

Soweit bei beheizten oder gekühlten Räumen Flachdächer

- a) ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert werden, dass
- b) die Dachhaut bzw. außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut werden,
- c) innenseitige Bekleidungen oder Verschalungen aufgebracht oder erneuert werden,
- d) Dämmschichten eingebaut werden, sind die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 4 b einzuhalten. Werden bei der Flachdacherneuerung Gefälledächer durch die keilförmige Anordnung einer Dämmschicht aufgebaut, so ist der Wärmedurchgangskoeffizient nach DIN EN ISO 6946 : 1996-11 Anhang C zu ermitteln. Der Bemessungswert des Wärmedurchgangswiderstandes am tiefsten Punkt der neuen Dämmschicht muss den Mindestwärmeschutz nach § 7 Absatz 1 gewährleisten. Werden Maßnahmen nach Satz 1 ausgeführt und ist die Dämmschichtdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) eingebaut wird. Die Sätze 1 bis 4 gelten nur für opake Bauteile.

5 Wände und Decken gegen unbeheizte Räume, Erdreich und nach unten an Außenluft

Soweit bei beheizten Räumen Decken oder Wände, die an unbeheizte Räume, an Erdreich oder nach unten an Außenluft grenzen,

- a) ersetzt, erstmalig eingebaut oder in der Weise erneuert werden, dass
- b) außenseitige Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen angebracht oder erneuert,
- c) Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite aufgebaut oder erneuert,
- d) Deckenbekleidungen auf der Kaltseite angebracht oder
- e) Dämmschichten eingebaut werden, sind die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 5 einzuhalten, wenn die Änderung nicht von Nr. 4.1 erfasst wird. Werden Maßnahmen nach Satz 1 ausgeführt und ist die Dämmschichtdicke im Rahmen dieser Maßnahmen aus technischen Gründen begrenzt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn die nach anerkannten Regeln der Technik höchstmögliche Dämmschichtdicke (bei einem Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,040 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$) eingebaut wird.

6 Vorhangfassaden

Soweit bei beheizten oder gekühlten Räumen Vorhangfassaden in der Weise erneuert werden, dass das gesamte Bauteil ersetzt oder erstmalig eingebaut wird, sind die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 2 d einzuhalten. Werden bei Maßnahmen nach Satz 1 Sonderverglasungen entsprechend Nr. 2 Satz 2 verwendet, sind abweichend von Satz 1 die Anforderungen nach Tabelle 1 Zeile 3 c einzuhalten.

7 Anforderungen

Tabelle 1

Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten bei erstmaligem Einbau, Ersatz und Erneuerung von Bauteilen

Zeile	Bauteil	Maßnahme nach	Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen $\geq 19^\circ\text{C}$	Zonen von Nichtwohngebäuden mit Innentemperaturen von 12 bis $< 19^\circ\text{C}$
			Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{\text{max}}^{1)}$	
	1	2	3	4
1	Außenwände	Nr. 1 a bis d	$0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
2a	Außen liegende Fenster, Fenstertüren	Nr. 2 a und b	$1,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{2)}$	$1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{2)}$
2b	Dachflächenfenster	Nr. 2 a und b	$1,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{2)}$	$1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{2)}$
2c	Verglasungen	Nr. 2 c	$1,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{3)}$	keine Anforderung
2d	Vorhangfassaden	Nr. 6 Satz 1	$1,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{4)}$	$1,90 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{4)}$
2e	Glasdächer	Nr. 2 a und c	$2,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{3)}$	$2,70 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{3)}$
3a	Außen liegende Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster mit Sonderverglasungen	Nr. 2 a und b	$2,00 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{2)}$	$2,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{2)}$
3b	Sonderverglasungen	Nr. 2 c	$1,60 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{3)}$	keine Anforderung
3c	Vorhangfassaden mit Sonderverglasungen	Nr. 6 Satz 2	$2,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{4)}$	$3,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})^{4)}$
4a	Decken, Dächer und Dachschrägen	Nr. 4.1	$0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
4b	Flachdächer	Nr. 4.2	$0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
5a	Decken und Wände gegen unbeheizte Räume oder Erdreich	Nr. 5 a, b, d und e	$0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	keine Anforderung
5b	Fußbodenaufbauten	Nr. 5 c	$0,50 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	keine Anforderung
5c	Decken nach unten an Außenluft	Nr. 5 a bis e	$0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$	$0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

1) Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils unter Berücksichtigung der neuen und der vorhandenen Bauteilschichten; für die Berechnung opaker Bauteile ist DIN EN ISO 6946 : 1996-11 zu verwenden.

2) Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters; der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten des Fensters ist technischen Produkt-Spezifikationen zu entnehmen oder gemäß den nach den Landesbauordnungen bekannt gemachten energetischen Kennwerten für Bauprodukte zu bestimmen. Hierunter fallen insbesondere energetische Kennwerte aus europäischen technischen Zulassungen sowie energetische Kennwerte der Regelungen nach der Bauregelliste A Teil 1 und auf Grund von Festlegungen in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

3) Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung; der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung ist technischen Produkt-Spezifikationen zu entnehmen oder gemäß den nach den Landesbauordnungen bekannt gemachten energetischen Kennwerten für Bauprodukte zu bestimmen. Hierunter fallen insbesondere energetische Kennwerte aus europäischen technischen Zulassungen sowie energetische Kennwerte der Regelungen nach der Bauregelliste A Teil 1 und auf Grund von Festlegungen in allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen.

4) Wärmedurchgangskoeffizient der Vorhangfassade; er ist nach anerkannten Regeln der Technik zu ermitteln.

13. Checkliste zum Niedrigenergiehaus

Städtebau:

- ◆ Südorientierung der Fassaden mit Hauptfensterflächen.
- ◆ Ausreichende Gebäudeabstände zur Solarnutzung bei tiefstehender Sonne.
- ◆ Höchstmögliche Verdichtung durch Reihenhäuser oder Blockbebauung.
- ◆ Solarorientierte Dachneigungen und Firstlinien.
- ◆ Begrünung zur sommerlichen Verschattung und zur Beeinflussung des Mikroklimas.

Architektur:

- ◆ Kompakte Baukörper mit möglichst breiter Südfront bei reduzierter Gebäudetiefe.
- ◆ Keine Vor- und Rücksprünge von mehr als 0,5 m aus der Baulinie.
- ◆ Anordnung von Pufferräumen oder Gebäudeteilen untergeordneter Nutzung im Norden.
- ◆ Verzicht auf Erker und Gauben bei vereinfachten Dachformen.
- ◆ Sinnvoll aufeinander abgestimmtes Dämmkonzept.
- ◆ Darstellung aller wichtigen Baudetails im Rahmen der Ausführungsplanung.
- ◆ Erstellung spezifizierter Ausschreibungsunterlagen mit exakten Produktangaben.

Passive Solarenergienutzung:

- ◆ Fensterflächenanteile südorientierter Fassaden $\geq 50\%$, übrige Anteile nicht über die zur Belichtung notwendigen hinaus.
- ◆ Optimierte Flächenorientierung und -neigung zur passiven und aktiven Solarenergienutzung.
- ◆ Gebäudezonierung und -schnitt nach Nutzungszonen mit unterschiedlichen Raumtemperaturen.

- ◆ Anordnung speicherfähiger Innenbauteile im Strahlengang der Sonne.

- ◆ Verzicht auf raumseitige Dämmschichten.

Lüftungskonzept:

- ◆ Luftdichtheit der Gebäudehülle anstreben.
- ◆ Bei Fensterlüftung Möglichkeit der Querlüftung schaffen.
- ◆ Nicht jedes Fenster muss offenbar sein.
- ◆ Innenliegende Räume oder solche mit hohem notwendigen Luftwechsel mit mechanischer Abluft versehen.
- ◆ Zuluftvorwärmung über Glasanbauten oder Erdreich möglich.
- ◆ Notwendigkeit einer mechanischen Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung prüfen.

Baulicher Wärmeschutz:

- ◆ Massive Außenwände mit sinnvollem Wärmeschutz sowohl monolithisch als auch zusatzgedämmt ein- und mehrschalig.
- ◆ Fenster mit mindestens doppelt verglasten Wärmeschutzgläsern mit Edelgasfüllung und Infrarotverspiegelung und gleichzeitig hohem Gesamtenergiedurchlassgrad.
- ◆ Hochwärmedämmende Fensterrahmen mit möglichst großer Blendrahmenstärke zum Erzielen einer hohen Luftdichtheit in der Einbaufuge.
- ◆ Außentüren mit wärmegeämmter Füllung.
- ◆ Schrägdächer mit Vollsparren- und Untersparrendämmung und abgestimmten Dichtheitsschichten.
- ◆ Großzügige Wärme- und Trittschalldämmungen unter schwimmenden Estrichen.
- ◆ Hochwertige Dämmung von Abseitenwänden, Gauben und Deckenflächen gegen Außenluft.

Bauausführung:

- ◆ Vermeidung von Wärmebrücken an Bauteilanschlüssen (Deckenaufleger, Rollladenkästen, Dachanschlüsse).
- ◆ Verwendung geeigneter Materialien und Materialkombinationen (Dämmung der Satteldächer).
- ◆ Einsatz hochwertiger Verglasungen in wärmegeämmten Fensterrahmen (insbesondere bei Dachflächenfenstern).
- ◆ Überwachung der Bauausführung an handwerklich schwierigen Baudetails (Dachanschlüsse, Kehlgebälk, Abseiten).
- ◆ Ausführung dauerhaft luft- und winddichter Anschlüsse (Kehlgebälk, Gauben, Fenstereinbaufugen).
- ◆ Thermische Trennung auskragender und in Kaltbereiche ragender Bauteile (Balkone, Vordächer).
- ◆ Überprüfung der wärmetechnischen Kennwerte anhand von Produktbegleitzetteln und Lieferscheinen.

Haustechnik:

- ◆ Kurze Heiz- und Warmwasserleitungen zur Verringerung der Verteilverluste.
- ◆ Aufstellort der Wärmezeugung innerhalb der thermischen Hülle.
- ◆ Ausreichende Dämmung der Rohrleitungen auch bei Verlegung in Bauteilen und bei Durchdringungen.
- ◆ Einbau zeitlich steuerbarer Zirkulationspumpen, Beleuchtung, etc.
- ◆ Überprüfung der möglichen Dämmstärke bei Brauchwasserspeichern über die vorhandene hinaus.
- ◆ Beschädigungen von Dichtungsebenen durch Elektroinstallationen, Dunstrohre etc. vermeiden.

14. Wärmetechnische Bemessungswerte

14.1 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

Die folgenden Tabellen enthalten Mindestwerte des baulichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2, sowie auszugswise Bemessungswerte genormter Baustoffe nach DIN V 4108-4 und DIN EN 12524. Die Grenzwerte an Einzelbauteile für Gebäude mit normalen Innentemperaturen $\geq 19^\circ\text{C}$ und für solche mit niedrigen Innentemperaturen zwischen 12 und 19°C sind bis auf eine Ausnahme gleich und in der folgenden Tabelle 14.1 aufgeführt. Sie gelten grundsätzlich für Einzelbauteile mit einer flächenbezogenen Gesamtmasse

$\geq 100\text{kg/m}^2$. Für Außenwände, Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen sowie für Dächer mit einer flächenbezogenen Masse unter 100kg/m^2 ist immer ein Wärmedurchlasswiderstand $R \geq 1,75\text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ einzuhalten. Bei Rahmen- und Skelettbauarten gilt dies lediglich für den Gefachbereich. Zusätzlich muss im Mittel ein Wert $R \geq 1,0\text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ eingehalten werden, der auch für Rollladenkästen gilt, deren Deckel einen Wert von $R \geq 0,55\text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ aufweisen muss.

Der nichttransparente Teil der Ausfachungen von Fenstern und Türen, die mehr als 50 % der gesamten Ausfachungsfläche betragen, muss eben-

falls die Anforderungen nach Tabelle 14.1 erfüllen, aber mindestens $R = 1,0\text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$ betragen. Fenster und Fenstertüren sind mindestens mit Doppelverglasung auszuführen.

Bei Außenwänden muss der Mindestwärmeschutz an jeder Stelle gewährleistet sein, d.h. Schlitze, Heizkörpernischen, etc. sind entsprechend zu beachten. Bei Bauteilen mit Abdichtungen darf der Wärmedurchlasswiderstand R nur raumseitig der Abdichtung berücksichtigt werden. Ausgenommen sind sog. Umkehrdächer und erdberührte Bauteile mit Perimeterdämmung (vgl. Kapitel 4).

Tabelle 14.1: Mindestanforderungen an Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen

Zeile	Bauteil	an	Wärmedurchlasswiderstand R [(m ² · K)/W]	Wärmeübergangswiderstand R_s [(m ² · K)/W]*	
				innen, R_{Si}	außen, R_{Se}
1.1	Außenwände; Wände von Aufenthaltsräumen gegen	Außenluft Bodenräume, Durchfahrten	1,2**	0,13	0,04
1.2	Wände von Aufenthaltsräumen gegen	offene Hausflure, Garagen	1,2	0,13	0,13
1.3	Wände von Aufenthaltsräumen gegen	Erdreich	1,2	0,13	0
2	Wände zwischen fremdgenutzten Räumen; Wohnungstrennwände		0,07	0,13	0,13
3	Treppenraumwände	an Treppenräume mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen $\leq 10^\circ\text{C}$, aber frostfrei	0,25	0,13	0,13
4		an Treppenräume mit Innentemperaturen $> 10^\circ\text{C}$, z.B. Verwaltungs- und Geschäftshäuser, etc.	0,07	0,13	0,13
5	Wohnungstrenndecken, Decken zwischen fremden Arbeitsräumen, Decken unter Abseiten ausgebauter Dachräume	allgemein	0,35	0,13	0,13
6		in zentralbeheizten Bürogebäuden	0,17	0,13	0,13
7	Unterer Abschluss nicht unterkellerten Aufenthaltsräume	unmittelbar an Erdreich bis Raumtiefe 5 m	0,90	0,17	0
8		über nicht belüftetem Hohlraum an Erdreich		0,17	(0,13)
9.1	Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen, Dachschrägen		0,90	0,10/0,13	0,04
9.2	Decken unter belüfteten Dachräumen hinter Abseiten			0,13	0,13
10	Kellerdecken; Decke gegen unbeheizte Hausflure u.ä.			0,17	0,17
11.1	Decken und Dächer, die Aufenthaltsräume gegen Außenluft abgrenzen	nach unten, gegen Garagen, Durchfahrten, Kriechkeller	1,75	0,17	0,04
11.2		nach oben, z.B. Flachdächer, Terrassen, (Umkehrdächer *)	1,2	0,13	0,04

* beachte DIN EN ISO 6946 und auch Tabelle 6.1, Seite 20 ** für Gebäude mit niedrigen Innentemperaturen $R = 0,55\text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$

14.2 Tabellierte Bemessungswerte

Tabelle 14.2: Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen nach DIN V 4108-4 und DIN EN 12524.

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a,b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl ^c μ
1	Putze, Mörtel und Estriche			
1.1	Putze			
	Putzmörtel aus Kalk, Kalkzement und hydraulischem Kalk	(1800)	1,00	15/35
	Putzmörtel aus Kalkgips, Gips, Anhydrit und Kalkanhydrit	(1400)	0,70	10
	Leichtputz	< 1300	0,56	
	Leichtputz	≤ 1000	0,38	15/20
	Leichtputz	≤ 700	0,25	
	Gipsputz ohne Zuschlag	(1200)	0,51	10
	Wärmedämmputz nach DIN 18550-3			
	Wärmeleitfähigkeitsgruppe			
	060		0,060	
	070		0,070	
	080	(≥ 200)	0,080	5/20
	090		0,090	
	100		0,100	
	Kunstharzputz	(1100)	0,70	50/200
1.2	Mauermörtel			
	Zementmörtel	(2000)	1,6	15/35
	Normalmörtel NM	(1800)	1,2	15/35
	Dünnbettmauermörtel	(1600)	1,0	
	Leichtmauermörtel nach DIN 1053-1	≤ 1000	0,36	15/35
	Leichtmauermörtel nach DIN 1053-1	≤ 700	0,21	15/35
	Leichtmauermörtel	250	0,10	
		400	0,14	
		700	0,25	5/20
		1000	0,38	
		1500	0,69	
1.3	Asphalt	2100	0,7	50000
1.4	Estriche			
	Zement-Estrich	(2000)	1,4	
	Anhydrit-Estrich	(2100)	1,2	15/35
	Magnesia-Estrich	1400	0,47	
		2300	0,70	
2	Beton-Bauteile			
2.1	Beton nach DIN EN 206			
	mittlere Rohdichte	1800	1,15	60/100
		2000	1,35	60/100
		2200	1,65	70/120
	hohe Rohdichte	2400	2,0	80/130
	armiert (mit 1 % Stahl)	2300	2,3	80/130
	armiert (mit 2 % Stahl)	2400	2,5	80/130
2.2	Leichtbeton und Stahleleichtbeton			
	mit geschlossenem Gefüge nach DIN EN 206	800	0,39	
	und DIN 1045-2, hergestellt unter	900	0,44	
	Verwendung von Zuschlägen mit porigem	1000	0,49	
	Gefüge nach DIN 4226-2 ohne	1100	0,55	
	Quarzsandzusatz ^d	1200	0,62	
		1300	0,70	70/150
		1400	0,79	
		1500	0,89	
		1600	1,0	
		1800	1,3	
		2000	1,6	

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a,b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasser- dampf-Diffusions- widerstandszahl ^c μ	
2.3	Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN 4223-1	350	0,11	5/10	
		400	0,13		
		450	0,15		
		500	0,15		
		550	0,18		
		600	0,19		
		650	0,21		
		700	0,22		
		750	0,24		
		800	0,25		
		900	0,29		
1000	0,31				
2.4	Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge	- mit nichtporigen Zuschlägen	1600	0,81	3/10
		nach DIN 4226-1, z.B. Kies	1800	1,1	
			2000	1,4	
	- mit porigen Zuschlägen nach DIN 4226-2, ohne Quarzsandzusatz ^d	600	0,22	5/15	
		700	0,26		
		800	0,28		
		1000	0,36		
		1200	0,46		
		1400	0,57		
		1600	0,75		
		1800	0,92		
		2000	1,2		
	- ausschließlich unter Verwendung von Naturbims	400	0,12	5/15	
		500	0,15		
		600	0,18		
		700	0,20		
		800	0,24		
		900	0,28		
		1000	0,32		
		1100	0,37		
		1200	0,41		
	1300	0,47			
	- ausschließlich unter Verwendung von Blähton	400	0,13	5/15	
		500	0,16		
		600	0,19		
		700	0,23		
		800	0,26		
900		0,30			
1000		0,35			
1100		0,39			
1200		0,44			
1300		0,50			
1400		0,55			
1500		0,60			
1600		0,68			
1700		0,76			
3		Bauplatten			
3.1	Porenbeton-Bauplatten und Porenbeton-Planbauplatten, unbewehrt nach DIN 4166	Porenbeton-Bauplatten (Ppl) mit normaler Fugendicke und Mauermörtel nach DIN 1053-1 verlegt	400	0,20	5/10
			500	0,22	
			600	0,24	
			700	0,27	
			800	0,29	
	Porenbeton-Planbauplatten (Ppp), dünnfugig verlegt	350	0,11	5/10	
		400	0,13		
		450	0,15		
		500	0,16		
		550	0,18		
		600	0,19		
		650	0,21		
		700	0,22		
		750	0,24		
		800	0,25		

14. Wärmetechnische Bemessungswerte

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{ab} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasser- dampf-Diffusions- widerstandszahl ^c μ	
3.2	Wandplatten aus Leichtbeton nach DIN 18162	800	0,29	5/10	
		900	0,32		
		1000	0,37		
		1200	0,47		
		1400	0,58		
3.3	Wandbauplatten aus Gips nach DIN 18163, auch mit Poren, Hohlräumen, Füllstoffen oder Zuschlägen	750	0,35	5/10	
		900	0,41		
		1000	0,47		
		1200	0,58		
3.4	Gipskartonplatten nach DIN 18180	900	0,25		
4	Mauerwerk, einschließlich Mörtelfugen				
4.1	Mauerwerk aus Mauerziegeln nach DIN V 105-1 bis DIN V 105-6 teilweise ersetzt durch DIN V 105-100 bzw. Mauerziegel nach DIN EN 771-1 in Verbindung mit DIN V 20000-401				
			NM/DM ^f		
	Vollklinker, Hochlochklinker, Keramikklinker	1800 2000 2200 2400	0,81 0,96 1,2 1,4	50/100	
	Vollziegel, Hochlochziegel, Füllziegel	1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400	0,50 0,58 0,68 0,81 0,96 1,2 1,4	5/10	
			LM21/LM36 ^f	NM/DM ^f	
	Hochlochziegel mit Lochung A und B nach DIN V 105-2 bzw. LD-Ziegel nach DIN EN 771-1 in Verbindung mit DIN V 20000-401	550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000	0,27 0,28 0,30 0,31 0,33 0,34 0,36 0,37 0,38 0,40	0,32 0,33 0,35 0,36 0,38 0,39 0,41 0,42 0,44 0,45	5/10
	Hochlochziegel HLzW und Wärmedämmziegel nach DIN V 105-2 bzw. LD-Ziegel nach DIN EN 771-1 in Verbindung mit DIN V 20000-401, Sollmaß h = 238 mm	550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000	0,19 0,20 0,20 0,21 0,22 0,23 0,23 0,24 0,25 0,26	0,22 0,23 0,23 0,24 0,25 0,26 0,26 0,27 0,28 0,29	5/10
			LM21/DM		
	Wärmedämmziegel nach bauaufsichtlicher Zulassung (Richtwerte der Rohdichte und der Wärmeleitfähigkeit)	600 600 600 600 600 650 700 750 800 800	0,070 0,080 0,090 0,10 0,11 0,12 0,13 0,14 0,16 0,18	5/10	
			NM/DM ^f		
4.2	Mauerwerk aus Kalksandsteinen nach DIN V 106-1 bis -2 bzw. nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402	1000 1200 1400 1600 1800 2000 2200	0,50 0,56 0,70 0,79 0,99 1,1 1,3	5/10 15/25	

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a,b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)			Richtwert der Wasser- dampf-Diffusions- widerstandszahl ^c μ	
		NM/DM ^f					
4.3	Mauerwerk aus Hüttensteinen nach DIN 398	1000	0,47			70/100	
		1200	0,52				
		1400	0,58				
		1600	0,64				
		1800	0,70				
		2000	0,76				
		DM ^f					
4.4	Mauerwerk aus Porenbeton- Plansteinen (PP) nach DIN 4165-100 bzw. DIN EN 771-4 in Verbindung mit DIN V 20000-404	350	0,11			5/10	
		400	0,13				
		450	0,15				
		500	0,16				
		550	0,18				
		600	0,19				
		650	0,21				
		700	0,22				
		750	0,24				
		800	0,25				
4.5	Mauerwerk aus Betonsteinen		LM21/DM ^f	LM36 ^f	NM ^f		
Hohlblöcke (Hbl) nach DIN V 18151-100, Gruppe 1 ^e		450	0,20	0,21	0,24	5/10	
		500	0,22	0,23	0,26		
Steinbreite (cm)	Anzahl der Kammerreihen	550	0,23	0,24	0,27		
17,5 - 20,0	≥ 2	600	0,24	0,25	0,29		
24	2 - 4	650	0,26	0,27	0,30		
30	3 - 5	700	0,28	0,29	0,32		
36,5	4 - 6	800	0,31	0,32	0,35		
42,5	≥ 6	900	0,34	0,36	0,39		
49	≥ 6	1000			0,45		
		1200			0,53		
		1400			0,65		
		1600			0,74		
Hohlblöcke (Hbl) nach DIN V 18151-100 und Hohlwandplatten nach DIN 18148, Gruppe 2		450	0,22	0,23	0,28		5/10
		500	0,24	0,25	0,30		
Steinbreite (cm)	Anzahl der Kammerreihen	550	0,26	0,27	0,31		
11,5 - 17,5	1	600	0,27	0,28	0,32		
24	2	650	0,29	0,30	0,34		
30	2	700	0,30	0,32	0,36		
36,5	3	800	0,34	0,36	0,41		
42,5	5	900	0,37	0,40	0,46		
49	5	1000			0,52		
		1200			0,60		
		1400			0,72		
		1600			0,76		
			LM21/DM ^f	LM36 ^f	NM ^f		
Vollblöcke (Vbl,S-W) nach DIN V 18152-100		450	0,14	0,16	0,18	5/10	
		500	0,15	0,17	0,20		
		550	0,16	0,18	0,21		
		600	0,17	0,19	0,22		
		650	0,18	0,20	0,23		
		700	0,19	0,21	0,25		
		800	0,21	0,23	0,27		
		900	0,25	0,26	0,30		
		1000	0,28	0,29	0,32		
Vollblöcke (Vbl) und Vbl-S nach DIN V 18152-100 aus Leichtbeton mit anderen leichten Zuschlägen als Naturbims und Blähton		450	0,22	0,23	0,28	5/10	
		500	0,23	0,24	0,29		
		550	0,24	0,25	0,30		
		600	0,25	0,26	0,31		
		650	0,26	0,27	0,32		
		700	0,27	0,28	0,33		
		800	0,29	0,30	0,36		
		900	0,32	0,32	0,39		
		1000	0,34	0,35	0,42		
		1200			0,49		
		1400			0,57		
		1600			0,62		
		1800			0,68		
		2000			0,74		
						10/15	

14. Wärmetechnische Bemessungswerte

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a,b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)			Richtwert der Wasser- dampf-Diffusions- widerstandszahl ^c μ
	Vollsteine (V) nach DIN V 18152-100	450	0,21	0,22	0,31	5/10
		500	0,22	0,23	0,32	
		550	0,23	0,25	0,33	
		600	0,24	0,26	0,34	
		650	0,25	0,27	0,35	
		700	0,27	0,29	0,37	
		800	0,30	0,32	0,40	
		900	0,33	0,35	0,43	
		1000	0,36	0,38	0,46	
		1200			0,54	
		1400			0,63	
		1600			0,74	
		1800			0,87	
		2000			0,99	
	Mauersteine nach DIN V 18153-100 aus Beton bzw. DIN EN 771-3 in Verbindung mit DIN V 20000-403	800			0,60	5/15
		900			0,65	
		1000			0,70	
		1200			0,80	
		1400			0,90	
		1600			1,1	
		1800			1,2	
		2000			1,4	
		2200			1,7	
		2400			2,1	

Zeile	Stoff	Kategorie I		Kategorie II		Richtwert der Wasserdampf- Diffusions- widerstandszahl ^c μ
		Nennwert λ_D	Bemessungs- wert λ^i	Grenzwert λ_{grenz}^k	Bemessungs- wert λ^m	
5	Wärmedämmstoffe					
5.1	Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162	0,030	0,036	0,0290	0,030	1
		0,031	0,037	0,0299	0,031	
		0,032	0,038	0,0309	0,032	
		0,033	0,040	0,0319	0,033	
		0,034	0,041	0,0329	0,034	
		0,035	0,042	0,0338	0,035	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
0,050	0,060	0,0480	0,050			
5.2	Expandierter Polystyrolschaum (EPS) nach DIN EN 13163	0,030	0,036	0,0290	0,030	20/100
		0,031	0,037	0,0299	0,031	
		0,032	0,038	0,0309	0,032	
		0,033	0,040	0,0319	0,033	
		0,034	0,041	0,0329	0,034	
		0,035	0,042	0,0338	0,035	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
0,050	0,060	0,0480	0,050			
5.3	Extrudierter Polystyrolschaum (XPS) nach DIN EN 13164	0,026	0,031	0,0252	0,026	80/250
		0,027	0,032	0,0261	0,027	
		0,028	0,034	0,0271	0,028	
		0,029	0,035	0,0280	0,029	
		0,030	0,036	0,0290	0,030	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
		0,040	0,048	0,0385	0,040	
5.4	Polyurethan- Hartschaum (PUR) nach DIN EN 13165 ⁿ	0,020	0,024	0,0195	0,020	40/200
		0,021	0,025	0,0204	0,021	
		0,022	0,026	0,0214	0,022	
		0,023	0,028	0,0223	0,023	
		0,024	0,029	0,0233	0,024	
		0,025	0,030	0,0242	0,025	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
0,040	0,048	0,0428	0,045			

Zeile	Stoff	Kategorie I		Kategorie II		Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl ^c μ
		Nennwert λ_D	Bemessungswert λ^l	Grenzwert λ_{grenz}^k	Bemessungswert λ^m	
5.5	Phenolharz-Hartschaum (PF) nach DIN EN 13166	0,020	0,024	0,0195	0,020	10/60
		0,021	0,025	0,0204	0,021	
		0,022	0,026	0,0214	0,022	
		0,023	0,028	0,0223	0,023	
		0,024	0,029	0,0233	0,024	
		0,025	0,030	0,0242	0,025	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
0,035	0,042	0,0338	0,035			
5.6	Schaumglas (CG) nach DIN EN 13167	0,038	0,046	0,0366	0,038	$s_d \geq 1500 \text{ m}$
		0,039	0,047	0,0375	0,039	
		0,040	0,048	0,0385	0,040	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
		0,055	0,066	0,0529	0,055	
5.7	Holzwohle-Leichtbauplatten nach DIN EN 13168					
	Holzwohle-Platten (WW)	0,060	0,072	0,0576	0,060	2/5
	0,061	0,073	0,0585	0,061		
	0,062	0,074	0,0595	0,062		
	0,063	0,076	0,0604	0,063		
	0,064	0,077	0,0614	0,064		
	0,065	0,078	0,0623	0,065		
	⋮	⋮	⋮	⋮		
	0,10	0,12	0,0957	0,10		
	Holzwohle-Mehrschichtplatten nach DIN EN 13168 (WW-C)					
	mit expandiertem Polystyrolschaum (EPS) nach DIN EN 13163	0,030	0,036	0,0290	0,030	20/50
		0,031	0,037	0,0299	0,031	
		0,032	0,038	0,0309	0,032	
		0,033	0,040	0,0319	0,033	
		0,034	0,041	0,0329	0,034	
		0,035	0,042	0,0338	0,035	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
		0,050	0,060	0,0480	0,050	
	mit Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162	0,030	0,036	0,0290	0,030	1
		0,031	0,037	0,0299	0,031	
		0,032	0,038	0,0309	0,032	
		0,033	0,040	0,0319	0,033	
		0,034	0,041	0,0329	0,034	
		0,035	0,042	0,0338	0,035	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
		0,050	0,060	0,0480	0,050	
	Holzwohledeckschicht(en) nach DIN EN 13168	0,10	0,12	0,0957	0,10	2/5
		0,11	0,13	0,1090	0,11	
		0,12	0,14	0,1190	0,12	
		0,13	0,16	0,1280	0,13	
		0,14	0,17	0,1380	0,14	
5.8	Blähperlit (EPB) nach DIN 13169	0,045	0,054	0,0432	0,045	5
		0,046	0,055	0,0443	0,046	
		0,047	0,056	0,0452	0,047	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
		0,065	0,078	0,0624	0,065	
5.9	Expandierter Kork (ICB) nach DIN EN 13170 ^o	0,040	0,049	0,0368	0,040	5/10
		0,041	0,050	0,0377	0,041	
		0,042	0,052	0,0386	0,042	
		0,043	0,053	0,0395	0,043	
		0,044	0,054	0,0404	0,044	
		0,045	0,055	0,0413	0,045	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
0,055	0,067	0,0504	0,055			
5.10	Holzfaserdämmstoff (WF) nach DIN EN 13171 ^o	0,032	0,039	0,0303	0,032	5
		0,033	0,040	0,0312	0,033	
		0,034	0,042	0,0322	0,034	
		0,035	0,043	0,0331	0,035	
		⋮	⋮	⋮	⋮	
		0,060	0,073	0,0565	0,060	

14. Wärmetechnische Bemessungswerte

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a,b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasser- dampf-Diffusions- widerstandszahl ^c μ
5.11	Schaumkunststoffe, an der Verwendungsstelle hergestellt			
	Polyurethan (PUR)-Ortschaum nach DIN 18159-1 (Treibmittel CO ₂)			
	Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035	(> 45)	0,035	30/100
	040		0,040	
	Harnstoff-Formaldehyd (UF)-Ortschaum nach DIN EN 18159-2			
	Wärmeleitfähigkeitsgruppe 035	(≥ 10)	0,035	1/3
	040		0,040	
6	Holz- und Holzwerkstoffe			
6.1	Konstruktionsholz			
		500	0,13	20/50
		700	0,18	50/200
6.2	Holzwerkstoffe			
	Sperrholz	300	0,09	50/150
		500	0,13	70/200
		700	0,17	90/220
		1000	0,24	110/250
	Zementgebundene Spanplatte	1200	0,23	30/50
	Spanplatte	300	0,10	10/50
		600	0,14	15/50
		900	0,18	20/50
	OSB-Platten	650	0,13	30/50
	Holzfaserplatte, MDF-Platte	250	0,07	2/5
		400	0,10	5/10
		600	0,14	10/12
		800	0,18	10/20
7	Beläge, Abdichtstoffe und Abdichtungsbahnen			
7.1	Fußbodenbeläge			
7.2	Abdichtstoffe			
7.3	Dachbahnen, Dachabdichtungsbahnen			
	Bitumendachbahn nach DIN 52128	(1200)	0,17	10000/80000
	Nackte Bitumenbahnen nach DIN 52129	(1200)	0,17	2000/20000
	Glasvlies-Bitumendachbahnen nach DIN 52143	-	0,17	20000/60000
	Kunststoff-Dachbahn nach DIN 16729 (ECB)	-	-	50000/75000 (2,0K) 70000/90000 (2,0)
	Kunststoff-Dachbahn nach DIN 16730 (PVC-P)	-	-	10000/30000
	Kunststoff-Dachbahn nach DIN 16731 (PIB)	-	-	40000/1750000
7.4	Folien			
	Siehe DIN EN 12524			
	PTFE-Folien Dicke $d \geq 0,05$ mm	-	-	10000
	PA-Folie Dicke $d \geq 0,05$ mm	-	-	50000
	PP-Folie Dicke $d \geq 0,05$ mm	-	-	1000
8	Sonstige gebräuchliche Stoffe^a			
8.1	Lose Schüttungen, abgedeckt^h			
	- aus porigen Stoffen:			
	Blähperlit	(≤ 100)	0,060	3
	Blähglimmer	(≤ 100)	0,070	
	Korkschröt, expandiert	(≤ 200)	0,055	
	Hüttenbims	(≤ 600)	0,13	
	Blähton, Blähschiefer	(≤ 400)	0,16	
	Birnskies	(≤ 1000)	0,19	
	Schaumlava	≤ 1200	0,22	
		≤ 1500	0,27	
	- aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln	(15)	0,050	3
	- aus Sand, Kies, Splitt (trocken)	(1800)	0,70	3
8.2	Fliesen			
8.3	Glas			
8.4	Natursteine			
	Siehe DIN EN 12524			

Zeile	Stoff	Rohdichte ^{a,b} ρ kg/m ³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ W/(m·K)	Richtwert der Wasser- dampf-Diffusions- widerstandszahl ^c μ	
8.5	Lehmbaustoffe	500	0,14	5/10	
		600	0,17		
		700	0,21		
		800	0,25		
		900	0,30		
		1000	0,35		
		1200	0,47		
		1400	0,59		
		1600	0,73		
		1800	0,91		
		2000	1,1		
8.6	Böden, naturfeucht	Erdreich - Ton, Schlick, Schlamm	1200 - 1800	1,5	50/50
		Sand, Kies	1700 - 2200	2,0	50/50
8.7	Keramik und Glasmosaik	Keramik, Porzellan	2300	1,3	∞
		Natronglas	2500	1,0	
		Quarzglas	2200	1,4	
		Glasmosaik	2000	1,2	
		8.8	Metalle	Aluminiumlegierungen	
Bronze	8700			65	
Messing	8400			120	
Kupfer	8900			380	
Gusseisen	7500			50	
Blei	11300			35	
Stahl	7800			50	
Nichtrostender Stahl	7900			17	
Zink	7200			110	
8.9	Gummi			Naturkautschuk	910
		Neopren	1240	0,23	10000
		Butylkautschuk	1200	0,24	200000
		Schaumgummi	60-80	0,06	7000
		Hartgummi	1200	0,17	∞
		Ethylen-Propylenedien	1150	0,25	6000
		Polysobutylenkautschuk	930	0,20	10000
		Polysulfid	1700	0,40	10000
		Butadien	980	0,25	100000

a Die in Klammern angegebenen Rohdichtewerte dienen nur zur Ermittlung der flächenbezogenen Masse, z. B. für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes.

b Die bei den Steinen genannten Rohdichten entsprechen den Rohdichteklassen der zitierten Stoffnormen.

c Es ist jeweils der für die Baukonstruktion ungünstigere Wert einzusetzen. Bezüglich der Anwendung der μ -Werte siehe DIN 4108-3.

d Bei Quarzsand erhöhen sich die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit um 20 %.

e Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit sind bei Hohlblöcken mit Quarzsandzusatz für 2 K Hbl um 20 % und für 3 K Hbl bis 6 K Hbl um 15 % zu erhöhen.

f Bezeichnung der Mörtelarten nach DIN 1053-1 : 1996-11:
- NM - Normamörtel;
- LM21 - Leichtmörtel mit $\lambda = 0,21$ W/(m·K);
- LM36 - Leichtmörtel mit $\lambda = 0,36$ W/(m·K);
- DM - Dünnbettmörtel.

g Diese Stoffe sind hinsichtlich ihrer wärmeschutztechnischen Eigenschaften nicht genormt. Die angegebenen Wärmeleitfähigkeitswerte stellen obere Grenzwerte dar.

h Die Dichte wird bei losen Schüttungen als Schüttdichte angegeben.

i $\lambda = \lambda_D \cdot 1,2$ (außer für Zeilen 5.9 und 5.10, dort ist zusätzlich die Umrechnung der Feuchte hinzuzurechnen)

k Der Wert λ_{grenz} ist im Rahmen der technischen Spezifikationen des jeweiligen Dämmstoffs festzulegen.

m $\lambda = \lambda_{\text{grenz}} \cdot 1,05$

n Bei der Ermittlung von Bemessungswerten nach der Kategorie II darf abweichend wie folgt vorgegangen werden:

$\lambda = \lambda_{\text{grenz}} \cdot (1+Z)$, der Zuschlagswert Z ist nach DIN 4108-4 Anhang C zu ermitteln.

o Umrechnung der Feuchte ist enthalten.

14.3 Historisches Ziegelmauerwerk

Die Werte der Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk sind seit Bestehen der DIN 4108 normativ geregelt. So enthält die Ausgabe von 1952 Rechenwerte der Wärmeleitfähigkeit für Ziegelmauerwerk in Abhängigkeit der Steinrohddichte. Die erste Mauerziegelnorm ist im August 1922 veröffentlicht worden. Die aus dieser Zeit stammenden Ziegel hatten gewöhnlich Abmessungen von 25 cm · 12 cm · 6,5 cm, das sog. Reichsmaß. Die Wärmeleitfähigkeit eines so beschaffenen Mauer-

werks war normativ noch nicht beschrieben. Aufzeichnungen verschiedener Autoren weisen eine Wärmeleitfähigkeit zwischen 0,6 und 1,1 W/(m · K) auf.

Lochziegel sind in DIN 105 ab Ausgabe 1952 aufgeführt. Damit waren Steinrohddichten bis zu 1200 kg/m³ möglich. Die Anordnung in Wanddickenrichtung versetzter Stege zur Verringerung der Wärmeleitfähigkeit ist dort erstmalig beschrieben. Porosierte Lochziegel sind ab etwa 1970 auf dem Markt angeboten worden. In Verbindung mit den Steinlochungen waren Rohddichten bis zu 600 kg/m³ möglich. Eine weitere Absen-

kung der Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk resultierte aus der Entwicklung von wärmedämmenden Leichtmörteln (LM) und die mörtellose Stoßfuge mit Verzahnung. Am vorläufigen Ende der Entwicklungsskala steht die Einführung der Dünnbettlagerfuge (DBM) etwa 1985, die bei in Steinhöhe plan geschliffenen Ziegeln zu einer weiteren Verringerung der Wärmeleitfähigkeit bei gleichzeitiger Verbesserung der Druckfestigkeiten des Mauerwerks und schnellerer Verarbeitbarkeit führte. Die Wärmeleitfähigkeit dieser Produkte ist in der Regel den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen zu entnehmen.

Tabelle 14.3: Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk gemäß DIN 4108 im historischen Wandel

Zeitraum	Typ	Format	Rohddichte ρ [kg/m ³]	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]	
				NM	LM21/LM36
ab 1952 DIN 4108 : 1952-7 DIN 4108 : 1960-5 DIN 4108 : 1969-8	KMz, KK		≥ 1900	1,05	
	KHLz, KHK			0,79	
	MZ, HLz		1000	0,46	
			1200	0,52	
			1400	0,60	
		1800	0,79		
ab 1981 DIN 4108-4 : 1981-8 DIN 4108-4 : 1985-12	KMz, KHLz, KK, KHK		1800	0,81	
			2000	0,96	
			2200	1,20	
	MZ, HLz		1200	0,50	
			1400	0,58	
			1600	0,68	
			1800	0,81	
			2000	0,96	
	HLz A+B		700	0,36	0,30
			800	0,39	0,33
			900	0,42	0,36
			1000	0,45	0,39
	HLz W	≥ 238 mm	700	0,30	0,24
			800	0,33	0,27
			900	0,36	0,30
1000			0,39	0,33	
ab 1991 DIN 4108-4 : 1991-11 DIN V 4108-4 : 1998-03	KK, KHK		1800	0,81	
			2000	0,96	
			2200	1,20	
	MZ, HLz		1200	0,50	
			1400	0,58	
			1600	0,68	
			1800	0,81	
			2000	0,96	
	HLz A+B		700	0,36	0,30
			800	0,39	0,33
			900	0,42	0,36
			1000	0,45	0,39
	HLz W	≥ 238 mm	700	0,30	0,24
			800	0,33	0,27
			900	0,36	0,30
1000			0,39	0,33	
ab 2002 DIN 4108-4 : 2002-02 DIN 4108-4 : 2004-07	siehe DIN V 4108-4 : 2007-06 bzw. Tabelle 14.2 Abschnitt 4.1				

KMz, KHLz = Klinker; KK, KHK = Keramikklinker; MZ = Vollziegel; HLz = Hochlochziegel

15.1 Normen und Regelwerke

- [R1] Bundesregierung: Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung (EnEV) vom 29. April 2009 Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 23, Seite 954ff., Bonn.
- [R2] DIN 4108-1: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 1: Größen und Einheiten, Ausgabe August 1981. Beuth Verlag, Berlin.
- [R3] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Ausgabe Juli 2003. Beuth Verlag, Berlin.
- [R4] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Ausgabe Juli 2001. Beuth Verlag, Berlin.
- [R5] DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte, Ausgabe Juni 2007. Beuth Verlag, Berlin.
- [R7] DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfs, Ausgabe Juni 2003. Beuth Verlag, Berlin.
- [R8] DIN V 4108-7: Wärmeschutz im Hochbau – Teil 7, Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen – Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele, Vornorm, Ausgabe August 2001. Beuth Verlag, Berlin.
- [R10] DIN 4108, Beiblatt 2: Wärmeschutz im Hochbau, Beiblatt 2, Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele, Ausgabe März 2006. Beuth-Verlag, Berlin.
- [R11] DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Ausgabe August 2003. Beuth Verlag, Berlin.
- [R12] DIN V 4701-10, Beiblatt 1: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen – Teil 10: Diagramme und Planungshilfen für ausgewählte Anlagensysteme mit Standardkomponenten, Ausgabe Februar 2007. Beuth Verlag, Berlin.
- [R13] DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude, Ausgabe April 2008. Beuth Verlag, Berlin.
- [R14] DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren, Ausgabe April 2008. Beuth Verlag, Berlin.
- [R15] DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren, Ausgabe April 2008. Beuth Verlag, Berlin.
- [R16] DIN EN ISO 10456: Baustoffe und produkte. Wärme und feuchtetechnische Eigenschaften. Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn und Bemessungswerte, Ausgabe April 2008. Beuth Verlag, Berlin.
- [R17] DIN EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1 Allgemeines, Ausgabe Dezember 2006. Beuth Verlag, Berlin.
- [R18] DIN EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren, Ausgabe April 2008. Beuth Verlag, Berlin.
- [R19] DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen, Juni 2005. Beuth Verlag, Berlin.
- [R20] DIN 1946-6: Raumlufttechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung, Ausgabe Mai 2009. Beuth Verlag, Berlin.
- [R21] DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren, Ausgabe Februar 2001. Beuth Verlag, Berlin.
- [R22] VDI 3807: Energie- und Wasserverbrauchskennwerte für Gebäude – Grundlagen, Blatt 1, Technische Regel März 2007. Beuth Verlag, Berlin.
- [R23] Bundesregierung: Drittes Gesetz zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes, (EnEG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2009 Teil I Nr. 17, 1. April 2009, Bonn.
- [R24] Bundesregierung: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich, (Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz – EEWärmeG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008 Teil I Nr. 36, 18. August 2008, Bonn.
- [R25] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung, Teile 1-10, Februar 2007. Beuth Verlag, Berlin.
- [R26] DIN 18195: Bauwerksabdichtungen, Teile 1-10 und Beiblatt 1; Beuth Verlag, Berlin.
- [R27] Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand. Ausgabe Juli 2007, Berlin.

15.2 Fachliteratur

- [L1] Römmling, U., Maas, A., Lorenz, G., Vogler, I.: Evaluierung der Wärmeschutzverordnung '95. Endbericht 2-47/1998, Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. an der TU Berlin, Berlin, 1998.
- [L2] Deutscher Bundestag: III. Bau-schadensbericht. Ausgabe 3/1996, Drucksache 13/3593, Bonn.
- [L3] Reiß, J.; Erhorn, H.: Niedrig-energiehäuser Heidenheim. Abschlussbericht WB 75/1994 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1994).
- [L4] Kluttig, H., Erhorn, H.: Niedrigen-energiehäuser in Ziegelbauweise. WB 100/1998, Bericht des Fraunhofer Instituts für Bauphysik, Stuttgart, 1998.
- [L5] Lindauer, E.; Kießl, K.; Gertis, K.: Einfluss der Absorption von Sonnenstrahlung auf die Transmissionswärmeverluste von Außenwänden aus Ziegelmauerwerk. Bericht REB 4/1996 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen, (1997).
- [L6] Leonhardt, H.; Kießl, K.; Gertis, K.: Hybride transparente Wärmedämmung – Thermische und energetische Freilanduntersuchungen an Wandelementen mit solarenergieabhängiger Steuerung. Bericht REB 1/1997 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Holzkirchen, (1997).
- [L8] Erhorn, H.; Reiß, J.; Stricker, R.: Heizenergieeinsparung durch passive und hybride Solarenergiesysteme im Mehrfamilienwohnungs-bau. gi Gesundheitsingenieur 113 (1992), H.5, S. 243-254.
- [L9] Erhorn, H.: Fördert oder schadet die europäische Normung der Niedrigenergiebauweise in Deutschland? gi 119 (1998), H. 5.
- [L10] Gierga, M., Erhorn, H.: Niedrig-energiehäuser im Mauerwerksbau. Mauerwerk Kalender 2001.
- [L11] Reiß, J.; Erhorn, H.: Effizienz von Solar-, Lüftungs- und Heizsystemen im Mietwohnungsbau – Messergebnisse und rechnerische Analyse. gi Gesundheitsingenieur 116 (1995), H. 5.

- [L12] Reiß, J., Erhorn, H.: Mehrfamilien Niedrigenergiehaus Mannheim. WB 81/1995, Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart, 1995.
- [L13] Recknagel, Sprenger, Schramek: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik. Ausgabe 97/98, Oldenbourg Verlag, München (1997).
- [L14] RWE Energie (Hrsg.): RWE Energie Bau-Handbuch. 11. Ausgabe, Energie-Verlag, Heidelberg (1993).
- [L15] Schüle, R. et al.: Thermische Solaranlagen – Marktübersicht. Ökobuch Verlag, Staufen (1997).
- [L16] Baldau; Horch: Anpassen der Wohnungsbelüftung an die veränderten Bedingungen. Stadt und Gebäudetechnik (1996), H. 5, S. 233-249.
- [L17] Hartmann, T.; Oschatz, B. und Richter, W.: Energieeinsparung durch Wohnungslüftungsanlagen?. Ki 34 (1998), H. 12, S. 562-568.
- [L18] Wolff, D. et al.: Energiesparverordnung und DIN 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen. gi Gesundheitsingenieur 118 (1997), H. 4, S. 183-189.
- [L19] Achtziger, J., Bruus-Jensen, T.: Der Wärmebrückeneinfluss mechanischer Befestigungssysteme bei wärmegeämmten Außenbauteilen. Schlussbericht des Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V., München, (1996).
- [L20] Palecki, S., Wehling, M.: Beispiele zur U-Wert-Berechnung nach der neuen Norm DIN EN ISO 6946. Bauphysik 23 (2002), Heft 5, S. 298-303.
- [L21] Höttges, K.: U-Wert-Berechnung von Bauteilen mit nebeneinander liegenden Bereichen. Bauphysik 22 (2000), Heft 2, S. 121-123
- [L22] Froelich, H., Hegner, H.-D.: Rolladenkästen nach Energieeinsparverordnung – alles im Lot? Bauphysik 25 (2003), H. 4, S. 225-230.
- [L23] Gierga, M.: Die Energieeinsparverordnung 2009 und die Nachfrage nach neuartigen Ziegeln. Mauerwerk 12 (2008) Heft 5.

15.3 Weiterführende Literatur

- Hegner, H.-D., Vogler, I.: Energieeinsparverordnung EnEV – für die Praxis kommentiert. Verlag Ernst & Sohn, Berlin, Mai 2002.
- Wirtschaftsministerium B.-W. (Hrsg.): Energie- und kostensparende Wohngebäude in Schopfheim. Broschüre, Stuttgart, (1995).
- Eicke-Hennig, W.: Erfahrungen mit dem NEH-Förderprogramm in Hessen. IBK Bau Fachtagung 212, Darmstadt, (1996).
- Geißler, A., Hauser, G.: Untersuchung der Luftdichtheit von Holzhäusern. AIF Forschungsvorhaben Nr. 9579, IRB Stuttgart, T 2717, Stuttgart, 1996.
- Stadtwerke Hannover (Hrsg.): Demonstrationsprogramm Niedrig-energiehäuser (Zwischenbericht).
- Feist, W. (Hrsg): Das Niedrigenergiehaus, Neuer Standard für energiebewusstes Bauen. 4. Auflage, C.F. Müller Verlag, Heidelberg (1997).
- Gruber, E.; Erhorn, H. und Reichert, J.: Chancen und Risiken der Solararchitektur „Solarhäuser Landstuhl“. Verlag TÜV-Rheinland, Köln (1989).
- Scharping, H.: Niedrig-Energiehäuser in der Praxis. Bine Informationsdienst, Hrsg. Fachinformationszentrum Karlsruhe, Verlag TÜV Rheinland, Köln (1997).
- Erhorn, H., Gierga, M., Reiß, J., Volle, U.: Niedrig-Energie-Häuser, Zielsetzung – Konzepte – Entwicklung – Realisierung – Erkenntnisse. Broschüre des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1994).
- Gierga, M.; Hoffman, W.: Niedrig-Energie-Haus – Niedrigenergiehäuser aus Ziegeln. Broschüre der Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V., Bonn, (1998).
- Schmidt, Rolf: Welche Heizung braucht das Haus? Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart (2008).

16. Führer durch die Normung

Dieses Kapitel enthält Hinweise zu den wichtigsten, im Rahmen der EnEV-Nachweisführung zu verwendenden Normen. Einige der hier zitierten Normen befinden sich im Entwicklungsstadium und werden daher sicherlich in nächster Zeit überarbeitet. Es ist daher wichtig, die Aktualität dieser Papiere zu hinterfragen. Jede Norm ist daher mit ihrem Erscheinungsdatum gekennzeichnet. DIN Normen und VDI Richtlinien können beim Beuth Verlag, Berlin erworben werden.

DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs, Wohngebäude: 2003-06

Basisnorm zur DIN V 4108-6, zusätzlich mit Aussagen zur Genauigkeit des Verfahrens und Fehlerabschätzung.

DIN 1946-6: Raumluftechnik Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen zur Bemessung, Ausführung und Kennzeichnung, Übergabe/Übernahme (Abnahme) und Instandhaltung: 2009-05

Bemessung und Ausführung von Lüftungsmaßnahmen in Wohnungen.

DIN 4108-1: Wärmeschutz im Hochbau, Größen und Einheiten: 1981-08

Wird zurückgezogen und durch europäische Normen DIN EN ISO 7354 und DIN EN ISO 9346 ersetzt.

DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Mindestanforderungen an den Wärmeschutz: 2003-07

Tabellierte Werte von minimalen Wärmedurchlasswiderständen von Bauteilen, Anforderungen an Wärmebrücken zur Vermeidung von Tauwasser und Schimmelpilzbildung, Anforderungen und Nachweisführung zum sommerlichen Wärmeschutz (Ergänzung A1).

DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung: 2001-07

Rechenverfahren zur Dampfdiffusion, Schlagregenschutz.

DIN V 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte: 2007-06

Tabellierte Bemessungswerte genormter Baustoffe für wärmeschutztechnische Berechnungen, weiterführende Angaben in DIN EN 12524.

DIN V 4108-6: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfs: 2003-06

Rechenprozedur und Randbedingungen zum EnEV-Nachweisverfahren zur Bestimmung des Jahresheizwärmebedarfs.

DIN 4108-7: Wärmeschutz im Hochbau, Luftdichtheit von Bauteilen und Anschlüssen – Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele: 2001-08

Zeichnerische Darstellung luftdichter Bauteilanschlüsse und Empfehlung von Materialien, Definition und Anforderung an Luftwechselzahl bei Dichtheitsprüfung.

DIN V 4108-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe: 2007-07

Definition und tabellierte Kurzzeichen zu Anwendungsbereichen von Wärmedämmstoffen.

DIN 4108, Beiblatt 2: Wärmeschutz im Hochbau, Beiblatt 2, Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele: 2006-03

Zeichnerische Darstellung wärmebrückenarmer Anschlussdetails zur Inanspruchnahme eines reduzierten Wärmebrückenzuschlags im EnEV Nachweisverfahren.

DIN V 4701-10: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung: 2003-08

Rechenverfahren zur Bewertung von Anlagentechniken im Wohnungsbau, tabellierte Kennwerte von Standardkomponenten für Heizung, Lüftung und Trinkwassererwärmung.

DIN V 4701/A1: Energetische Bewertung heiz- und raumluftechnischer Anlagen: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung: 2006-12

Änderung der Primärenergiefaktoren

DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren: 2008-04

Ersetzt teilweise DIN 4108-5 und regelt die Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten nicht transparenter Bauteile auch mit Luftschichten und aus zusammengesetzten Querschnitten.

DIN EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1 Allgemeines: 2006-12

Bemessung von Gläsern, Fensterrahmen, Abstandhaltern und Zusatzelementen über die der DIN V 4108-4 hinaus.

DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen: 2005-06

Beschreibung allgemeiner Rechenverfahren zur numerischen Berechnung von zwei- und dreidimensionalen Wärmebrücken.

DIN EN ISO 10456: Baustoffe und produkte. Wärme und feuchteschutztechnische Eigenschaften. Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn und Bemessungswerte: 2008-04

Bemessungsverfahren und tabellierte Werte üblicher Baustoffe über die der DIN 4108-4 hinaus.

DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren: 2008-04

Ausführliche Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten erdreichberührter Bauteile unter Berücksichtigung instationärer Temperatureffekte.

DIN EN ISO 13789: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Spezifischer Transmissionswärmeverlustkoeffizient – Berechnungsverfahren: 2008-04

Rechenprozedur zur Bestimmung des Transmissionswärmeverlustkoeffizienten an Außenluft und an unbeheizte bzw. niedrig temperierte Räume.

DIN EN 13829: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren: 2001-02

Beschreibung der Messprozedur und der Messausrüstung zum Differenzdruckverfahren (z.B. Blower Door).

DIN EN ISO 14683: Wärmebrücken im Hochbau – Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient – Vereinfachtes Verfahren und Anhaltswerte: 2008-04

Beschreibung und Bewertung von zweidimensionalen Wärmebrücken.

17. Glossar

Abluft

Die aus dem Raum abströmende Luft.

Außenluft

Die aus dem Freien über eine Lüftungsanlage angesaugte Luft (auch Frischluft genannt).

Drei-Liter-Haus

Wohnhaus, das einen Endenergiebedarf von $30 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ zur Heizzwecken und zur Trinkwassererwärmung nicht überschreitet. Definition gemäß Fraunhofer Institut für Bauphysik.

Energieträger

Bei fossilen Energieträgern die Art des Brennstoffs oder der elektrische Strom zum Betreiben eines Wärmeerzeugers bzw. von Hilfsaggregaten.

Energieverbrauch

Am Energiezähler gemessene Endenergiemenge, die individuellem Verbraucherverhalten und z.B. den Klimabedingungen des Abrechnungszeitraums folgt.

Erdwärmetauscher

Vorerwärmung der Zuluft einer Lüftungsanlage über ein im Erdreich verlegtes Rohrleitungsnetz mit Kondensatabscheider.

Fensterlüftung

Über das Öffnen der Fenster erfolgt eine freie Lüftung in Abhängigkeit der Windanströmung und des Auftriebs durch Lufttemperaturunterschiede.

Fortluft

Die ins Freie über eine Lüftungsanlage abgeblasene Luft.

Photovoltaik

Nutzung der Sonnenstrahlung zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Photovoltaikzellen.

Heizwärmebedarf (jährlicher)

Rechnerische Wärmemenge (absolut oder flächenbezogen), die einem Raum oder einer Zone über die Heizflächen zugeführt werden muss, um die gewünschten Raumtemperaturen unter bestimmten Nutzungs- und Klimabedingungen zu gewährleisten [kWh/a oder $\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$].

Heizenergiebedarf

Rechnerischer Endenergiebedarf zur Erzeugung von Heizwärme unter Berücksichtigung normierten Nutzungs- und Klimarandbedingungen und der Effizienz der verwendeten Anlagenkomponenten.

Heizlast

Wärmeleistung, die ein Heizerzeuger in Abhängigkeit der Wärmeverluste zum Erreichen einer gewünschten Raumtemperatur aufbringen muss [W].

Infiltration

Durch Konstruktionsfugen und Fehlstellen der Gebäudehülle hindurchgehende unkontrollierbare Luftströme.

Isothermen

Linien gleicher Temperatur in Bauteilschichten oder auf Bauteiloberflächen.

Konvektion

Wärmetransport über erzwungene oder freie Luftströmungen an Oberflächen.

Luftdichtheit

Eine luftdichte Gebäudehülle wird zur Vermeidung unkontrollierter Infiltrationsluftwechsel und eines konvektiven Feuchtedurchgangs durch die Konstruktion nach DIN V 4108-7 gefordert.

Luftwechselzahl

Gibt an, wie häufig das Luftvolumen einer Zone innerhalb einer Stunde über freie oder maschinelle Lüftung ausgetauscht wird [h^{-1}].

Primärenergie

Rechnerische Energiemenge, die über den Endenergiebedarf hinaus deren vorgelagerte nicht erneuerbare Prozessenergie zur Gewinnung, Transport und Veredelung berücksichtigt.

Raumklimagerät

Elektrische Maschine (meist Hubkolbenverdichter) zur Verringerung des Temperaturniveaus der Raumluft durch Wärmeaustausch am Verdampfer und Verdichtung eines Kältemittels im zur Außenluft angeordneten Verflüssiger oder Kondensator (vgl. Wärmepumpe).

Referenzgebäude

Spiegelbild des real geplanten Gebäudes mit einer standardisierten Bauausführung und Anlagentechnik gemäß EnEV-Vorgabe zur Festlegung des zulässigen Primärenergiebedarfs.

Sole

Wasser-Glykol Gemisch zur Wärmeübertragung in geschlossenem Kreislauf einer Wärmepumpe mit Erdreich als Wärmequelle.

Solarthermie

Nutzung der thermischen Energie der Solarstrahlung z.B. über Solar Kollektoren zur Wassererwärmung.

Transmissionswärmeverlust

Wärmestrom durch die wärmetauschende Gebäudehülle als Produkt aus Wärmedurchgangskoeffizient U und Bauteilfläche A [W/K]. Kann auch auf die Hüllfläche bezogen sein H'_T [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$].

Volumenstrom

Volumentransport eines flüssigen oder gasförmigen Mediums pro Zeiteinheit.

Wärmedurchgangskoeffizient U

Der U -Wert gibt den Wärmestrom an, der durch 1 m^2 Bauteilfläche bei 1 K Temperaturdifferenz der angrenzenden Lufttemperaturen fließt [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]. Je niedriger der U -Wert, desto höher die Wärmedämmung.

Wärmedurchlasswiderstand

Der Widerstand, den die Bauteilschichten mit 1 m^2 Bauteilfläche dem Wärmestrom bei 1 K Temperaturdifferenz zwischen deren Oberflächen entgegenzusetzen. Kehrwert des U -Wertes ohne die Wärmeübergangswiderstände zwischen Oberflächen und Umgebungsluft [$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$].

Wärmeleitfähigkeit λ

Wärmestrom in Watt, der durch eine 1 m^2 große Schicht mit 1 m Dicke hindurchgeht, wenn die Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen 1 K beträgt [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$].

Wärmepumpe

Elektrische Maschine (meist Hubkolbenverdichter) zur Erhöhung des Temperaturniveaus der Wärmequelle (Erdreich, Grundwasser, Außenluft) mit Expansion am Verdampfer und Verdichtung eines Kältemittels im raumseitigen Verflüssiger/Kondensator.

Wärmetauscher

Übertragung von Wärmeenergie eines warmen flüssigen oder gasförmigen Mediums auf ein kälteres Medium (auch Wärmeübertrager WÜT genannt).

Zuluft

Die dem Raum zugeführte Luft über Fenster oder mechanische Lüftungsanlage.

18. Stichwortverzeichnis

Abminderungsfaktor (Solarstrahlung)	6	Jahresnutzungsgrad (Heizkessel)	33	Tabellen-Verfahren	34
Anforderungen (EnEV)	36			Temperatur-Korrektur-Faktor	5,10
Anlagenluftwechsel	12	Kellerwände	20	Thermische Solaranlagen	33
Ausnutzungsgrad (der Gewinne)	7,14	KfW-Effizienzhaus	44	Transmissionswärmeverlust	5,10
Aufwandszahl	8	Klimadaten	15	Transparente Wärme-	
Außenwände	18	Klimaeinfluss	8	dämmung (TWD)	13
		Kühlenergie	8	Trinkwarmwasserbedarf	7
Bestandswohngebäude	48			Übergabeverluste	34
Bemessungswert der		Langwellige Abstrahlung	13	Umkehrdach	17,25
Wärmeleitfähigkeit	16,56ff	Leichte Gebäude/Bauart	14,47		
Biomassenerzeuger	35	Lüftungswärmeverlust	5	Verordnungstext	4
Bodenplatten	26	Luftdichtheit	30	Verschattung	6,12
Brennwertnutzung	34	Luftdichtheitskonzept	31	Verteilverluste	34
Brennwert-Heisanlage	35	Luftdichtheitsschicht	31		
Bruttovolumen	11,36	Luftschicht (stehend, belüftet)	16	Wärmebrücken	27
		Luftwechszahl	5,11	Wärmebrückendetails	29
Dächer	24	Maschinelle Lüftung	12	Wärmedurchgangskoeffizient	5,16
Decken	26	Mechanische Lüftungsanlagen	33	Wärmedurchlasswiderstand	16,55
Dichtheitsprüfung	6,11	Mindestwärmeschutz	55	Wärmegewinne	6
DIN-Normen	65	Monatsbilanz(verfahren)	4,10	Wärmegewinn-/Verlustverhältnis	14
Drahtanker	19			Wärmeleitfähigkeit	16,56ff
		Nachtabsenkung	14	Wärmepumpe	48
Elektrische Trinkwassererwärmung	32	Nettovolumen	5	Wärmerückgewinnung	12,33
Energieausweis	70ff	Niedertemperatur-Heisanlage	35	Wärmespeicherfähigkeit	6
Energieeinspargesetz (EnEG)	2	Normen	65	Wärmestrom(verlauf)	27
Energiebedarf	4	Nutzereinfluss	8	Wärmeübergangswiderstand	16,55
Energieverbrauch	4	Nutzfläche	6,36	Wärmeübertragende	
Energiebilanz	9			Umfassungsfläche	5,38
Endenergie	8	Opake Bauteile	13	Wärmeverluste	5
Erdberührte Bauteile	17			Wetterdaten	15
		Passive Solarenergienutzung	7	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit	14,47
Fenster	22	Perimeterdämmung	10	Wirtschaftlichkeitsgebot	2
Fensterflächenanteil	46	Pellets	32,35	Wohnfläche	48
Flächenheizungen	11	Primärenergiebedarf	8		
Fossile Brennstoffe	8	Primärenergiefaktor	8	Zeitkonstante	14
		Primärenergie-Aufwandszahl	8	Ziegelwände monolithisch	18
Gesamtenergiedurchlassgrad	6			Zirkulation (Trinkwasser)	9,34
Gebäudenutzfläche	36	Rahmenanteil	12	Zulassungsziegel	18,58,64
Glasvorbauten (unbeheizt)	7,13	Raum(luft)temperatur	9,12	Zusatzgedämmte Außenwände	20
		Referenzgebäude	36	Zweischalige Außenwände	19
Heizwärmebedarf	7	Regenerative Energieen	8		
Heizenergiebedarf	7	Rollläden	23,28,47,55		
Heizgradtagszahl	8			Schwere Gebäude/Bauart	14,47
Heizkörpernische	55	Solarabsorption	6,13	Solarabsorption	6,13
Heizunterbrechung	14	Solare Gewinne	7,12	Solare Gewinne	7,12
Hilfsenergie (elektrisch)	8,34	Solarstrahlung	6,15	Solarstrahlung	6,15
Historisches Ziegelmauerwerk	64	Sommerliche Klimaregionen	46	Sommerliche Klimaregionen	46
		Sommerlicher Wärmeschutz	46	Sommerlicher Wärmeschutz	46
Innenwände	21	Sonneneintragskennwert	46	Sonneneintragskennwert	46
Interne Gewinne	6,12	Sonnenschutzvorrichtungen	46	Sonnenschutzvorrichtungen	46
		Speicherverluste	34	Speicherverluste	34
		Stillstandsverluste	34	Stillstandsverluste	34
		Strangschema (Heisanlage)	32	Strangschema (Heisanlage)	32

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV 2009)

gültig bis: 09 / 2019

1

Gebäude

Gebäudetyp	Referenzgebäude DHH
Adresse	12345 Ort
	Straße
Gebäudeteil	---
Baujahr Gebäude	2009
Baujahr Anlagentechnik	2009
Anzahl Wohnungen	1
Gebäudenutzfläche A_N	169,0 m ²
Erneuerbare Energien	für Warmwasser
Lüftung	Lüftungsanlage ohne WRG



Anlass der Ausstellung des Energieausweises

Neubau Vermietung/Verkauf Modernisierung (Änderung / Erweiterung) Sonstiges

Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes

Die energetische Qualität eines Gebäudes kann durch die Berechnung des Energiebedarfs unter standardisierten Randbedingungen oder durch die Auswertung des Energieverbrauchs ermittelt werden. Als Bezugsfläche dient die energetische Gebäudenutzfläche nach der EnEV, die sich in der Regel von den allgemeinen Wohnflächenangaben unterscheidet. Die angegebenen Vergleichswerte sollen überschlägige Vergleiche ermöglichen (Erläuterungen - siehe Seite 4).

- Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Berechnungen des Energiebedarfs erstellt. Die Ergebnisse sind auf Seite 2 dargestellt. Zusätzliche Informationen zum Verbrauch sind freiwillig.
- Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Auswertungen des Energieverbrauchs erstellt. Die Ergebnisse sind auf Seite 3 dargestellt.

Datenerhebung Bedarf / Verbrauch durch Eigentümer Aussteller

- Dem Energieausweis sind zusätzliche Informationen zur energetischen Qualität beigelegt. (freiwillige Angabe)

Hinweise zur Verwendung des Energieausweises

Der Energieausweis dient lediglich der Information. Die Angaben im Energieausweis beziehen sich auf das gesamte Wohngebäude oder den oben bezeichneten Gebäudeteil. Der Energieausweis ist lediglich dafür gedacht, einen überschlägigen Vergleich von Gebäuden zu ermöglichen.

Aussteller 1
Aussteller 2
Aussteller 3

Ort, Datum

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

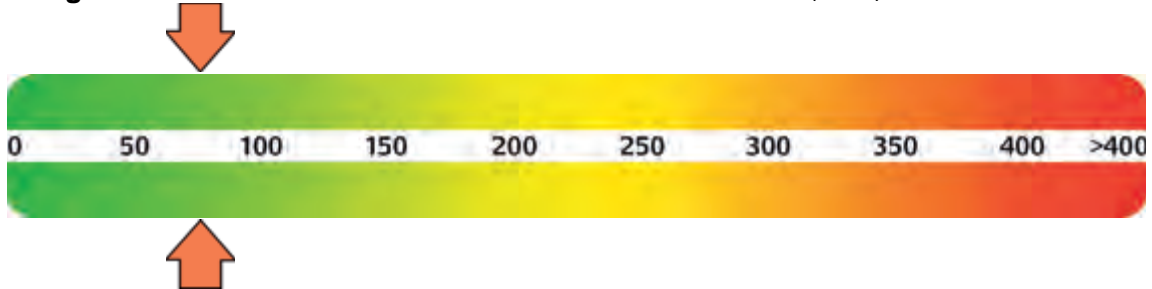
gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV 2009)

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

12345 Ort
Straße

2

Energiebedarf CO₂-Emissionen ¹⁾ **21,1** kg/(m²·a)
Endenergiebedarf dieses Gebäudes **74,6** kWh/(m²·a)



Primärenergiebedarf ("Gesamtenergieeffizienz") **74,9** kWh/(m²·a)

Anforderungen gemäß EnEV ²⁾

Primärenergiebedarf

Ist-Wert: **74,9** kWh/(m²·a) Anforderungswert: **74,9** kWh/(m²·a)

Energetische Qualität der Gebäudehülle H_T

Ist-Wert: **0,376** W/(m²·K) Anforderungswert: **0,45** W/(m²·K)

Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren

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

Vereinfachungen nach § 9 Abs. 2

Endenergiebedarf Energieträger	Jährlicher Endenergiebedarf in kWh/(m ² ·a) für			Gesamt kWh/(m ² ·a)
	Heizung	Warmwasser	Hilfsgeräte ⁴⁾	
Heizöl	44,82	12,31		57,1
Elektrischer Strom			4,65	4,7
Solarertrag		12,79		12,8

Ersatzmaßnahmen ³⁾

Anforderungen nach §7 Nr. 2 EEWärmeG

Die um 15% verschärften Anforderungswerte sind eingehalten.

Anforderungen nach §7 Nr. 2 i.V. mit §8 EEWärmeG

Die EnEV-Anforderungswerte sind um -- verschärft.

Primärenergiebedarf

Verschärfter Anforderungswert: -- kWh/(m² a)

Transmissionswärmeverlust H_T

Verschärfter Anforderungswert: -- W/(m² K)

Vergleichswerte Endenergiebedarf

Passivhaus EFH Durchschnitt EFH energetisch
EFH energetisch
neubau EFH energetisch
Wohngebäude nicht wesentlich
modernisiert



MFH EFH energetisch MFH energetisch
neubau EFH energetisch
gut modernisiert nicht wesentlich
modernisiert

5)

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Die Energieeinsparverordnung lässt für die Berechnung des Energiebedarfs zwei alternative Berechnungsverfahren zu, die im Einzelfall zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Die ausgewiesenen Bedarfswerte sind spezifische Werte der EnEV pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A_N)

1) freiwillige Angabe 2) bei Neubau sowie bei Modernisierung im Falle des § 16 Abs. 1 Satz 2 EnEV

3) nur bei Neubau im Falle der Anwendung von § 7 Nr. 2 Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz

4) ggf. einschließlich Kühlung

5) EFH: Einfamilienhäuser, MFH: Mehrfamilienhäuser

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Erfasster Energieverbrauch des Gebäudes

12345 Ort
Straße

3

Energieverbrauchskennwert

Dieses Gebäude: **77,2 kWh/(m²-a)**



Energieverbrauch für Warmwasser enthalten nicht enthalten

Das Gebäude wird gekühlt; der typische Energieverbrauch für Kühlung beträgt bei zeitgemäßen Geräten etwa 6 kWh je m² Gebäudenutzfläche und Jahr und ist im Energieverbrauchskennwert nicht enthalten.

Verbrauchserfassung - Heizung und Warmwasser

Energieträger	Abrechnungszeitraum		Energieverbrauch [kWh]	Anteil Warmwasser [kWh]	Klimafaktor	Energieverbrauchskennwert (zeitlich bereinigt, klimabereinigt)		Kennwert
	von	bis				Heizung	Warmwasser	
Leichtes Heizöl EL	01/06	12/06	10500	1890	1,28	65,2	11,2	76,4
Leichtes Heizöl EL	01/07	12/07	10000	1800	1,36	66,0	10,7	76,7
Leichtes Heizöl EL	01/08	12/08	11000	1980	1,25	66,7	11,7	78,4
Durchschnitt								77,2

Vergleichswerte Endenergiebedarf

Passivhaus	EFH Neubau	Durchschnitt Wohngebäude	EFH energetisch nicht wesentlich modernisiert
MFH Neubau	EFH energetisch gut modernisiert	MFH energetisch nicht wesentlich modernisiert	

1)

Die modellhaft ermittelten Vergleichswerte beziehen sich auf Gebäude, in denen die Wärme für Heizung und Warmwasser durch Heizkessel im Gebäude bereitgestellt wird.

Soll ein Energieverbrauchskennwert verglichen werden, der keinen Warmwasseranteil enthält, ist zu beachten, dass auf die Warmwasserbereitung je nach Gebäudegröße 20 – 40 kWh/(m²-a) entfallen können.

Soll ein Energieverbrauchskennwert eines mit Fern- oder Nahwärme beheizten Gebäudes verglichen werden, ist zu beachten, dass hier normalerweise ein um 15 – 30 % geringerer Energieverbrauch als bei vergleichbaren Gebäuden mit Kesselheizung zu erwarten ist.

Erläuterungen zum Verfahren

Das Verfahren zur Ermittlung von Energieverbrauchskennwerten ist durch die Energieeinsparverordnung vorgegeben. Die Werte sind spezifische Werte pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A_N) nach Energieeinsparverordnung. Der tatsächlich gemessene Verbrauch einer Wohnung oder eines Gebäudes weicht insbesondere wegen des Witterungseinflusses und sich ändernden Nutzerverhaltens vom angegebenen Energieverbrauchskennwert ab.

1) EFH - Einfamilienhäuser, MFH - Mehrfamilienhäuser

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Erläuterungen

4

Energiebedarf – Seite 2

Der Energiebedarf wird in diesem Energieausweis durch den Jahres-Primärenergiebedarf und den Endenergiebedarf dargestellt. Diese Angaben werden rechnerisch ermittelt. Die angegebenen Werte werden auf der Grundlage der Bauunterlagen bzw. gebäudebezogener Daten und unter Annahme von standardisierten Randbedingungen (z.B. standardisierte Klimadaten, definiertes Nutzerverhalten, standardisierte Innentemperatur und innere Wärmegevinne usw.) berechnet. So lässt sich die energetische Qualität des Gebäudes unabhängig vom Nutzerverhalten und der Wetterlage beurteilen. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch.

Primärenergiebedarf – Seite 2

Der Primärenergiebedarf bildet die Gesamtenergieeffizienz eines Gebäudes ab. Er berücksichtigt neben der Endenergie auch die so genannte „Vorkette“ (Erkundung, Gewinnung, Verteilung, Umwandlung) der jeweils eingesetzten Energieträger (z. B. Heizöl, Gas, Strom, erneuerbare Energien etc.). Kleine Werte (grüner Bereich) signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz und Ressourcen und Umwelt schonende Energienutzung. Zusätzlich können die mit dem Energiebedarf verbundenen CO₂-Emissionen des Gebäudes freiwillig angegeben werden.

Energetische Qualität der Gebäudehülle – Seite 2

Angegeben ist der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust (Formelzeichen in der EnEV: H'T). Er ist ein Maß für die durchschnittliche energetische Qualität aller wärmeübertragenden Umfassungsflächen (Außenwände, Decken, Fenster etc.) eines Gebäudes. Kleine Werte signalisieren einen guten baulichen Wärmeschutz. Außerdem stellt die EnEV Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz (Schutz vor Überhitzung) eines Gebäudes.

Endenergiebedarf – Seite 2

Der Endenergiebedarf gibt die nach technischen Regeln berechnete, jährlich benötigte Energiemenge für Heizung, Lüftung und Warmwasserbereitung an („Normverbrauch“). Er wird unter Standardklima und -nutzungsbedingungen errechnet und ist ein Maß für die Energieeffizienz eines Gebäudes und seiner Anlagentechnik. Der Endenergiebedarf ist die Energiemenge, die dem Gebäude bei standardisierten Bedingungen unter Berücksichtigung der Energieverluste zugeführt werden muss, damit die standardisierte Innentemperatur, der Warmwasserbedarf und die notwendige Lüftung sichergestellt werden können. Kleine Werte (grüner Bereich) signalisieren einen geringen Bedarf und damit eine hohe Energieeffizienz. Die Vergleichswerte für den Energiebedarf sind modellhaft ermittelte Werte und sollen Anhaltspunkte für grobe Vergleiche der Werte dieses Gebäudes mit den Vergleichswerten ermöglichen. Es sind ungefähre Bereiche angegeben, in denen die Werte für die einzelnen Vergleichskategorien liegen. Im Einzelfall können diese Werte auch außerhalb der angegebenen Bereiche liegen.

Energieverbrauchskennwert – Seite 3

Der ausgewiesene Energieverbrauchskennwert wird für das Gebäude auf der Basis der Abrechnung von Heiz- und ggf. Warmwasserkosten nach der Heizkostenverordnung und/oder auf Grund anderer geeigneter Verbrauchsdaten ermittelt. Dabei werden die Energieverbrauchsdaten des gesamten Gebäudes und nicht der einzelnen Wohn- oder Nuteinheiten zugrunde gelegt. Über Klimafaktoren wird der gemessene Energieverbrauch für die Heizung hinsichtlich der konkreten örtlichen Wetterdaten auf einen deutschlandweiten Mittelwert umgerechnet. So führen beispielsweise hohe Verbräuche in einem einzelnen harten Winter nicht zu einer schlechteren Beurteilung des Gebäudes. Der Energieverbrauchskennwert gibt Hinweise auf die energetische Qualität des Gebäudes und seiner Heizungsanlage. Kleine Werte signalisieren einen geringen Verbrauch. Ein Rückschluss auf den künftig zu erwartenden Verbrauch ist jedoch nicht möglich; insbesondere können die Verbrauchsdaten einzelner Wohneinheiten stark differieren, weil sie von deren Lage im Gebäude, von der jeweiligen Nutzung und vom individuellen Verhalten abhängen.

Gemischt genutzte Gebäude

Für Energieausweise bei gemischt genutzten Gebäuden enthält die Energieeinsparverordnung besondere Vorgaben. Danach sind - je nach Fallgestaltung - entweder ein gemeinsamer Energieausweis für alle Nutzungen oder zwei getrennte Energieausweise für Wohnungen und die übrigen Nutzungen auszustellen; dies ist auf Seite 1 der Ausweise erkennbar (ggf. Angabe "Gebäudeteil").

Modernisierungsempfehlungen zum Energieausweis

gemäß den §§ 16 ff. Energieeinsparverordnung (EnEV)

Gebäude

Adresse 12345 Ort Straße Hauptnutzung/ Gebäudekategorie Wohngebäude

Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung sind möglich nicht möglich
Empfohlene Modernisierungsmaßnahmen

Nr	Bau- oder Anlagenteile	Maßnahmenbeschreibung	
1	Fenster erneuern	20 m ² Uw = 1,3 W/m ² K	8.000 Euro
2	Dachgeschossdecke dämmen	60 m ² 10 cm 035 UD = 0,19 W/m ² K	1.800 Euro
3	Heizkessel/-speicher erneuern	BW 55/45°C + Rohrdämmung	
		+ Thermostatventile	10.000 Euro

weitere Empfehlungen auf gesondertem Blatt

Hinweis: Modernisierungsempfehlungen für das Gebäude dienen lediglich der Information. Es sind kurz gefasste Hinweise und kein Ersatz für eine Energieberatung

Beispielhafter Variantenvergleich (Angaben freiwillig)

	Ist-Zustand	Modernisierungsvariante 1	Modernisierungsvariante 2
Modernisierung gemäß Nummern		1 + 2	1 + 2 + 3
Primärenergiebedarf [kWh/(m ² *a)]	308,7	276,1	180,9
Einsparung gegenüber		10,6 %	41,4 %
Energiebedarf [kWh/(m ² *a)]	272,9	243,2	158,8
Einsparung gegenüber		10,8 %	41,8 %
CO ₂ -Emissionen [kg/(m ² *a)]			
Einsparung gegenüber			



Impressum

Herausgeber:
Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel
im Bundesverband der Deutschen
Ziegelindustrie e.V.
Schaumburg-Lippe-Straße 4
53113 Bonn
Internet: www.argemauerziegel.de

Verfasser:
Dipl.-Ing. Michael Gierga, Bonn

6. Ausgabe, September 2009

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise nur
mit ausdrücklicher Genehmigung von
©Arbeitsgemeinschaft Mauerziegel e.V.,
Bonn, 2009

Gestaltung und Satz:
Kleinhans-Grafik, Ratingen

Beratungsstellen der Ziegelindustrie

Anfragen zum Bauen mit Ziegeln
nehmen folgende Stellen entgegen:

Bundesverband der Deutschen
Ziegelindustrie e.V.
Schaumburg-Lippe-Str. 4
53113 Bonn
Telefon: 02 28 - 914 93 - 0
Telefax: 02 28 - 914 93 - 28
info@ziegel.de
<http://www.ziegel.de>

Ziegel-Anwendungstechnik
Bahnhofsplatz 2a
26122 Oldenburg
Telefon: 0441 - 2102612
Telefax: 0441 - 2102620
altaha@ziegelindustrie.de
<http://www.ziegelindustrie.de>

Ziegel-Zentrum NordWest e.V.
Eggestraße 3
34414 Warburg
Telefon: 05642 - 9494 - 69
Telefax: 05642 - 9494 - 70
info@ziegel-zentrum.de
<http://www.ziegel-zentrum.de>

Bayerischer Ziegelindustrie
Verband e.V.
Beethovenstraße 8
80336 München
Telefon: 089 - 74 66 16 - 0
Telefax: 089 - 74 66 16 - 30
bzv@ziegel.com
<http://www.ziegel.com>

Ziegel Zentrum Süd e.V.
Beethovenstraße 8
80336 München
Telefon: 089 - 74 66 16 - 11
Telefax: 089 - 74 66 16 - 60
info@ziegel.com
<http://www.ziegel.com>

ZIEGELWERK BELLENBERG

Ziegelwerk Bellenberg
Wiest GmbH & Co. KG
Tiefenbacher Str. 1
D-89287 Bellenberg
Tel. 0 73 06 - 96 50 - 0
Fax 0 73 06 - 96 50 - 77
info@ziegelwerk-bellenberg.de
www.ziegelwerk-bellenberg.de



POROTON

JUWÖ Poroton Werke
Ernst Jungk und Sohn GmbH
Ziegelhüttenstr. 40 - 42
D-55597 Wöllstein
Tel. 0 67 03 - 910 - 0
Fax 0 67 03 - 910 - 159
info@juwoe.de
www.juwoe.de



Ziegelwerk Klosterbeuren

Ziegelwerk Klosterbeuren
Ludwig Leinsing GmbH + Co KG
Ziegeleistraße 12
D-87727 Babenhausen
Tel. 0 83 33 - 92 22 - 0
Fax 0 83 33 - 44 05
info@zwk.de
www.zwk.de

SÜDWEST ZIEGEL GMBH

Südwest Ziegel GmbH
Stüdlinstraße 2
D-87700 Memmingen
Kontaktdaten der
Bauberater finden Sie unter:
info@sw-ziegel.de
www.sw-ziegel.de

ZELLER POROTON

Adolf Zeller GmbH & Co.
Poroton Ziegelwerke KG
Märkerstr. 44
D-63755 Alzenau
Tel. 0 60 23 - 97 76 - 0
Fax 0 60 23 - 301 57
info@zellerporoton.de
www.zellerporoton.de