GEG 2023
GEBÄUDEENERGIEGESETZ

Leitfaden für Wohngebäude

ZIEGEL.DE

Vorwort

Nach jahrelangem Ringen wurde am 1. November 2020 das Gebäudeenergiegesetz (kurz GEG 2020) verabschiedet, das die bisher parallellaufenden Gesetze / Verordnungen EnEV, EnEG und EEWärmeG ablöste und in einem Gesetz zusammenführte. Mit dem GEG 2020 wurden die europäischen Forderungen zur Festlegung eines nationalen Niedrigstenergiegebäudestandards erfüllt, ohne dass die Anforderungen gegenüber der EnEV 2016 grundlegend verschärft wurden.

Anfang 2023 ist die erste Novelle des GEG in Kraft getreten (GEG 2023). Der zulässige Primärenergiebedarf wurde auf 55 % des Referenzgebäudes abgesenkt. Eine Verschärfung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz wurde hingegen nicht vorgenommen.

Die bislang geltenden (alten) Berechnungsverfahren für Wohngebäude dürfen nur noch bis Ende 2023 angewendet werden. Der Nachweis über die Einhaltung der Anforderungen erfolgt nach wie vor mit dem Referenzgebäudeverfahren, das sich an der Geometrie, der Orientierung der Hüllflächen und der Nutzung des realen Gebäudes orientiert. Der zulässige Wert für die Transmissionswärmeverluste H'_T ist für neu zu errichtende Wohngebäude nur noch vom Referenzgebäudekennwert $H'_{T,Ref}$ abhängig. Für Nichtwohngebäude können die Anforderungen der Gebäudehülle weiterhin über die Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten $\bar{U}_{max}$ gemäß GEG-Anlage 3 nachgewiesen werden. Zur Einhaltung der Anforderungen an den Jahresprimärenergiebedarf Q_P eines Gebäudes muss der Referenzwert $Q_{P,Ref}$ um mindestens 45 % unterschritten werden. Bei den in der Baupraxis inzwischen üblichen primärenergetisch effizienten anlagentechnischen Lösungen (Wärmepumpen, Wärmenetze mit kleinem f_p) ergibt sich durch die alleinige Verschärfung der primärenergetischen Anforderungen im GEG 2023 ein vergleichsweise großer Spielraum für die Ausführung des baulichen Wärmeschutzes. In vielen Fällen reicht der Mindestwärmeschutz des Referenzgebäudes zur Erfüllung der Anforderungen aus.

Mit dem GEG 2020 wurde die Anrechenbarkeit von selbstgenutztem Strom aus erneuerbaren Energien, z. B. aus Photovoltaik, neu geregelt. Das GEG 2023 formuliert hier nochmals neu, PV-Strom wird immer nach dem sogenannten Monatsbilanzverfahren in der Energiebilanz berücksichtigt. PV-Strom kann weiterhin zur Erfüllung der Nutzungspflicht für erneuerbare Energien herangezogen werden.

Zusätzlich besteht seit dem Inkrafttreten des GEG die Pflicht zur Angabe von CO_2-Emissionen im Energieausweis. Die jeweiligen energieträgerbezogenen Emissionsfaktoren sind in der Anlage 9 des GEG aufgeführt. Anforderungen an die Höhe der Treibhausgasemissionen enthält das GEG jedoch weiterhin nicht.

Diese Broschüre stellt ein für die Praxis hilfreiches und wertvolles Hilfsmittel für (Fach-) Planer, Architekten und Ingenieure dar, um sich in kürzester Zeit mit Berechnungsmethoden im Zusammenhang mit der energetischen Bilanzierung und Bewertung von Gebäuden vertraut zu machen. Anhand von Beispielen werden wichtige Zusammenhänge erläutert und Empfehlungen für eine energieeffiziente und wirtschaftliche Planung neu zu errichtender Wohngebäude ausgesprochen.

Dresden, März 2023
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz
ITG – Institut für Technische Gebäudeausrüstung
Dresden, Forschung und Anwendung
Stellv. Obmann des Gemeinschaftsausschusses
NA 005-12-01 GA für die energetische Bewertung
von Gebäuden (NA/FNL/NHRS)

1.	**Das Wesentliche im Überblick**	**4**
1.1	Chronik der Verordnungsgebung	4
1.2	Hinweise zur Nutzung der Broschüre	6
1.3	Hinweise zu den Anforderungsgrößen	7
1.4	Gesetzestext	7
1.5	Flankierende Normen und Regelwerke	7
2.	**Energiebilanz eines Wohngebäudes**	**8**
2.1	Energiebilanz und Heizwärmebedarf	8
2.2	Ermittlung der Wärmeverluste	9
2.2.1	Transmissionswärmeverluste	10
2.2.2	Lüftungswärmeverluste	11
2.2.3	Abstrahlverluste	13
2.3	Wärmeeinträge	13
2.3.1	Interne Wärmequellen	13
2.3.2	Solare Wärmeeinträge durch transparente Bauteile	14
2.3.3	Solare Wärmeeinträge über opake Bauteile	14
2.3.4	Transparente Wärmedämmung	15
2.3.5	Unbeheizte Glasvorbauten	15
2.3.6	Wärmeeinträge durch Wohnungslüftung	16
2.4	Heizwärmebedarf	16
2.4.1	Reduzierter Heizbetrieb	17
2.4.2	Ausnutzungsgrad der Wärmeeinträge	17
2.5	Heizenergiebedarf	18
2.6	Primärenergiebedarf	18
2.7	Klima- und Nutzereinflüsse	19
3.	**Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U**	**21**
3.1	Luftberührte Bauteile	21
3.1.1	Standardfälle	21
3.1.2	Sonderfälle	22
3.2	U-Wert-Ermittlung von Türen, Fenstern und verglasten Bauteilen	23
3.3	U-Wert Ermittlung erdberührter Bauteile	23
3.4	Rollladenkästen	24
4.	**Tabellierte U-Werte**	**24**
4.1	Außenwände	24
4.2	Innenwände	28
4.3	Fenster	29
4.4	Dächer	31
4.5	Decken, Fußböden	33
5.	**Wärmebrücken**	**34**
5.1	Vorbemerkungen	34
5.2	Geometrische Wärmebrücken	34
5.3	Materialbedingte Wärmebrücken	34
5.4	Konvektive Wärmebrücken	34
5.5	Zusätzliche Wärmeverluste	35
5.6	Einfluss auf den Heizwärmebedarf	36
6.	**Luftdichtheit und Lüftung**	**37**
6.1	Einleitung	37
6.2	Luftwechselzahlen	38
6.3	Prüfung der Luftdichtheit	39
6.4	Luftdichtheitskonzept	39
6.5	Luftdichte Bauteilanschlüsse	39
6.6	Lüftungskonzept	39
7.	**Anlagentechnik**	**42**
7.1	Allgemeines	42
7.2	Trinkwarmwasserbereitung	43
7.3	Maschinelle Wohnungslüftung	44
7.4	Heizwärmeerzeugung	45
7.5	Bewertung unterschiedlicher Heizungstechniken	46
7.6	Anlagen zur Kühlung	47
7.7	PV-Strom im GEG	47
7.7.1	PV-Anrechnung auf den Primärenergiebedarf	48
7.7.2	Photovoltaik als Erfüllungsoptionen für die Nutzung erneuerbarer Energien	48
7.7.3	PV-Mindestleistung nach GEG	49
7.7.4	Auswirkungen der neuen PV-Anrechnung	49
7.7.4.1	Randbedingungen – Gebäude und Anlagentechnik	49
7.7.4.2	Anrechenbarer PV-Strom nach GEG	50
7.7.4.3	Resultierender Primärenergiebedarf nach Anrechnung von PV-Strom	50

7.8 Treibhausgasemissionen 52
7.8.1 Berechnung der THG-Emissionen für Energiebedarfsausweise 52
7.8.2 Berechnung der THG-Emissionen für Energieverbrauchsausweise 55

8. Anforderungen aus dem GEG 56
8.1 Zulässiger Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverlust für zu errichtende Wohngebäude 56
8.2 Luftdichtheit der Gebäudehülle 57
8.3 Berücksichtigung von Wärmebrücken 59
8.4 Sommerlicher Wärmeschutz 59
8.5 Anforderungen an die Anlagentechnik 59
8.6 Nutzung erneuerbarer Energien 59
8.7 Energieausweise 61
8.8 Vollzug des GEG 61

9. Nachweis für zu errichtende Wohngebäude 62
9.1 Beispiel Mehrfamilienwohnhaus 62
9.2 Neubau-Förderung der KfW 66
9.3 GEG-Nachweis nach dem Vereinfachten Verfahren 66

10. Sommerlicher Wärmeschutz 69
10.1 Einleitung 69
10.2 Vereinfachtes Verfahren 71
10.3 Anforderungen 72
10.4 Speicherfähigkeit und Bauart 72
10.5 Erhöhte Nachtlüftung 72

11. Bewertung von Bestandswohngebäuden 74
11.1 Einleitung 74
11.2 Randbedingungen zur Energiebilanz 74
11.3 Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung 74
11.3.1 Regeln der Technik 74
11.3.2 Vereinfachungen beim geometrischen Aufmaß 75
11.3.3 Energetische Qualität von Bauteilen und Anlagentechnik 75
11.4 Beispiel Bestandswohngebäude und Sanierungsempfehlungen 76
11.5 Anforderungen an Einzelbauteile 79
11.6 Nachrüstverpflichtungen 79
11.6.1 Nachrüstung eines bestehenden Gebäudes 79
11.6.2 Verteilungseinrichtungen der Heizung 79
11.6.3 Betriebsverbot für Heizkessel 80

12. Checkliste zum Niedrigstenergiehaus 81

13. Wärmetechnische Bemessungswerte 82
13.1 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz 82
13.2 Tabellierte Bemessungswerte 83
13.3 Historisches Ziegelmauerwerk 92

14. Literatur 95
14.1 Normen und Regelwerke 95
14.2 Fachliteratur 96

15. Führer durch die Normung 98

16. Glossar 100

17. Stichwortverzeichnis 102

Impressum Rückseite

1. Das Wesentliche im Überblick

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 (Heizungsanlagen-Verordnung) bildete. Das festgelegte Anforderungsniveau musste 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 ausklammerten, 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 m^{-1} war ein mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient k_m von höchstens 0,9 W/(m^2·K) sicherzustellen. Im Laufe der Novellierungen wurden die Anforderungsgrößen von den betrachteten Transmissionswärmeverlusten erweitert um die passiven Solargewinne, um die internen Wärmegewinne und um die Lüftungswärmeverluste und somit eine Raumwärmebilanz als Grundlage der Anforderungen zu berücksichtigen.

Mit der Energieeinsparverordnung 2002 (EnEV) wurden die alte Wärmeschutzverordnung und die Heizungsanlagen-Verordnung zusammengeführt, so dass neben architektonischen Aspekten und baulichen Komponenten auch die anlagentechnischen Einflüsse und energieversorgungstechnischen Gegebenheiten mit bewertet werden konnten. Die Anforderungen sollten den Heizenergiebedarf für die Beheizung der Gebäude und die Warmwasserbereitung reduzieren und den dazu notwendigen Primärenergiebedarf begrenzen (Bild 1). Daneben konnten alternative Energiequellen erstmalig mit ihrem Energiebeitrag angerechnet werden. In einer Nebenanforderung wurden die Transmissionswärmeverluste begrenzt, um den Standard des baulichen Wärmeschutzes nicht unter den der Wärmeschutzverordnung von 1995 absinken zu lassen. Diese Begrenzung macht ein Vergleich zum zuvor zitierten Anforderungsniveau der siebziger Jahre deutlich: Für ein Doppelhaus durfte nun der mittlere spezifische Transmissionswärmeverlust, der in etwa dem mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten k_m entspricht, den Wert von 0,51 W/(m^2·K) nicht überschreiten.

In den letzten Jahren trat aufgrund 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 gegenüber der Verordnung von 2002 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 die Norm DIN V 18599 geschaffen worden, mit der die Berechnung beheizter, gekühlter und mit elektrischer Beleuchtung beaufschlagter Gebäude jeglicher Nutzung ermöglicht wurde.

Mit Einführung der EnEV 2009 wurden die Anforderungen an den Jahresprimärenergiebedarf bzw. die Gesamtenergieeffizienz um durchschnittlich 30 % verschärft. Zudem wurde die Anwendung des Referenzgebäudeverfahrens für Wohngebäude nach Einführung im Nicht-Wohngebäudebereich im Rahmen der EnEV 2007 obligatorisch. Seit dem 1. Oktober 2009 wird somit für die Einstufung des Objektes ein Gebäude herangezogen, das diesem in Geometrie, Nutzfläche und Ausrichtung gleicht, jedoch einen

festgelegten baulichen Wärmeschutz aufweist und über eine standardisierte Anlagentechnik zur Wärmeerzeugung verfügt. Dadurch erhält jedes Gebäude einen individuellen Höchstwert für den zulässigen Jahresprimärenergiebedarf. Ein weiteres Hauptaugenmerk wurde auf die energetische Ertüchtigung des Wohngebäudebestands, wie beispielsweise die Pflicht zur Nachrüstung von Gebäuden und Anlagen oder die Außerbetriebnahme von elektrischen Speicherheizsystemen, gelegt. Die Nichtbeachtung der Maßgaben wurde durch die Bundesregierung stärker sanktioniert und führte zu Bußgeldtatbeständen. Parallel zur Novellierung der EnEV 2009 ist darüber hinaus ein weiteres wichtiges Gesetz, das

Bild 1: Zusammenwirken von Wärmeverlusten mit der Wärmeerzeugung innerhalb von Gebäuden, der Energiebereitstellung, -erzeugung und -lieferung mit der daraus resultierenden Primärenergie sowie Hinweis auf die damit verbundenen Umweltaspekte

Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz (EEWärmeG) in Kraft getreten, welches den Einsatz von regenerativen Energieträgern im Neubau verbindlich vorschrieb. Zielsetzung war, den Anteil an erneuerbaren Energien am Endenergieverbrauch bis zum Jahr 2020 auf 14 % zu erhöhen. Dies betraf Raum-, Kühl- und Prozessenergie sowie die Warmwasserversorgung.

Mit Veröffentlichung der Europäischen Richtlinie über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD) 2010/31/EU vom 19. Mai 2010 [R1] sind sämtliche EU-Mitgliedstaaten verpflichtet, diese in allen Punkten in nationales Recht umzusetzen. Darin enthalten sind ambitionierte Ziele, nämlich die Verbesserung der Energieeffizienz um 20 % und die Einsparung von CO_2-Emissionen um ebenfalls 20 % bis zum Jahr 2020. Erklärtes Ziel war die Schaffung von Mindeststandards für die Energieeffizienz von neuen oder renovierten Gebäuden. Sie zielte ab auf die Umsetzung eines Niedrigstenergiegebäude-Standards im Neubaubereich bis zum Jahr 2021 und die Umsetzung eines Sanierungsfahrplans für Gebäude im Bestand, verbunden mit einer angestrebten Minderung des Primärenergiebedarfs um 80 %. Wesentliche Elemente der EPBD sind die Anrechenbarkeit der erneuerbaren Energien in den nationalen Berechnungsmethoden sowie eine plakative Darstellung von Energieverbräuchen in Form von Energieausweisen.

Im Juli 2013 wurde daraufhin das novellierte 4. Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) veröffentlicht. Im Wesentlichen sieht der dort definierte Wirtschaftlichkeitsbegriff dabei eine Refinanzierung der Aufwendungen bei der Erstellung des Gebäudes durch die eingesparte Energie vor.

Die im November 2013 veröffentlichte EnEV 2014 führte die Regelungen der EnEV 2009 nahezu ohne materielle Änderungen unverändert fort. Ab dem 1. Januar 2016 galt eine 25-prozentige Verschärfung der Anforderungen an den zulässigen Primärenergiebedarf sowie eine Umstellung der Anforderungen an den baulichen Wärmeschutz von Wohngebäuden.

Die EnEV 2014 sowie das gleichzeitig wirkende EEWärmeG stellten sich in der Praxis anfänglich als nicht harmonisierte Regelwerke dar. Ein Zusammenführen der Anforderungen an die Gebäudeenergieeffizienz und die Nutzungspflicht erneuerbarer Energien erfolgte mit der Veröffentlichung eines Gesetzespakets zur Vereinheitlichung des Energieeinsparrechts für Gebäude und zur Änderung weiterer Gesetze im August 2020. Hauptbestandteil dieses Pakets ist das „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden", auch Gebäudeenergiegesetz oder GEG genannt [R2].

Das Gebäudeenergiegesetz hob damit die ehemalige EnEV als Verordnung auf einen höheren Gesetzesstand und vereinigte sie mit dem nationalen Energieeinspargesetz [R3] und dem EEWärmeG [R4]. Es trat zum 1. November 2020 in Kraft. Das EEWärmeG sowie das Energieeinspargesetz traten außer Kraft. Der gesetzlich eingeführte Effizienzstandard eines Niedrigstenergiegebäudes im Neubaubereich ist damit für die nächsten Jahre festgelegt. Eine Überprüfung des Gesetzes erfolgte bereits im Jahr 2022 und mündete in der aktuellen GEG-Novelle 2023. Bis zum Jahr 2025 stehen noch weitere Überprüfungen an.

Die Anforderungen des GEG 2023 (im weiteren Textverlauf nur GEG genannt) für neu zu errichtende Wohngebäude sind in Kapitel 9 dieser Broschüre auszugsweise aufgeführt.

1.2 Hinweise zur Nutzung der Broschüre

(Anmerkung der Redaktion / Genderhinweis: Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird auf eine geschlechtsneutrale Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für beide Geschlechter. Die verkürzte Sprachform beinhaltet keine Wertung.)

Es kann nicht erwartet werden, dass Nachweisführende sämtliche Regelwerke rund um das GEG kennen oder gar vollständig verinnerlichen. Diese Broschüre versucht mit Hilfe der Grundlagen zur Energiebilanz, mit Beispielrechnungen und mit der auszugsweisen Darstellung der wichtigsten Regelungen dem Leser die Thematik nahe zu bringen. Aus der Erfahrung der letzten Jahre sollte zur Nachweisführung unbedingt eine geeignete Software Verwendung finden. Damit lassen sich Nachweise schnell und zuverlässig durchführen, ohne ein Normenstudium erforderlich zu machen. Dennoch lassen sich immer wieder interpretationsbedürftige oder unvollständige Regelungsinhalte finden, die eine ingenieurmäßige Betrachtungsweise herausfordern. Die Ziegelindustrie bietet daher für die Bauphysik weitere Software-Module wie z. B. den Wärmebrückenkatalog 5.0 [L1] an, mit denen sich die energetische Bilanzierung von Wohn- und Nichtwohngebäuden zielgerichtet und praxisorientiert durchführen lassen.

Die vorliegende Broschüre ist nach bestem Wissen erstellt und berücksichtigt die Regeln der Technik zum energiesparenden Bauen. Für den Ausschluss von Fehlern kann vom Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V. keine Gewähr übernommen werden. Weiterhin wird darauf hingewiesen, dass die neuen Regelwerke einer kontinuierlichen Anpassung unterliegen, die möglichst zeitnah in die Hilfsmittel eingearbeitet wird. Daher wird eine regelmäßige Aktualisierung dieser Arbeitsmittel durch die Herausgeber erfolgen.

Für Wohngebäude mit Neu- und Altbaustandard kann der Nachweis nach dem Regelverfahren die DIN V 18599 [R5] geführt werden.

Darüber hinaus enthält das GEG in seiner Anlage 5 ein vereinfachtes Nachweisverfahren für zu errichtende Wohngebäude in Form von Musterlösungen mit festgelegten Ausführungsvarianten. Die Anwendung dieses Verfahrens ist mit erheblichen Einschränkungen in Bezug auf den Gebäudeentwurf und mögliche Wärmeerzeugungstechniken versehen und stellt nach ersten Erfahrungen der Autoren keine flexiblen Lösungen sowie eher unwirtschaftliche Maßnahmen in Aussicht, die Anforderungen des GEG zu erfüllen. Daher wird dieses vereinfachte Nachweisverfahren im Rahmen dieser Broschüre nicht umfänglich beschrieben.

1.3 Hinweise zu den Anforderungsgrößen

Durch die Inbezugnahme des primärenergetischen Ansatzes und unter Berücksichtigung des Endenergiebedarfs 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 sogenannten normierten Randbedingungen durchgeführt und ergeben einen rechnerischen Nutzenergie-, 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, um eine Vergleichbarkeit mit allen Gebäudestandorten in Deutschland herzustellen.

1.4 Gesetzestext

Die vollständige Textfassung zum „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG)“ ist im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020, Teil I Nr. 37 am 13. August 2020 [R2] veröffentlicht. Die Änderungen des GEG 2023 sind im Bundesgesetzblatt Jahrgang 2022 Teil I Nr. 28 am 28. Juli 2022 im „Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor“ Artikel 18a veröffentlicht worden. Eine nichtamtliche Lesefassung des gesamten Verordnungstextes des GEG 2020 kann im Internet unter **www.ziegel.de** eingesehen und heruntergeladen werden. Alle in diesem Gesetz berücksichtigten Inhalte zu Wohngebäuden sind in dieser Broschüre berücksichtigt.

1.5 Flankierende Normen und Regelwerke

Die zur Nachweisführung notwendigen Normen werden in der Literaturübersicht aufgeführt und sind im Broschürentext an entsprechender Stelle zitiert. Zu den wichtigsten Normen gehört DIN 4108 „Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden" mit insgesamt acht Normteilen dieser Reihe [R6-R14]. Daneben sind europäisch harmonisierte Rechenwerke in Bezug genommen, die vor allem Rechenregeln und Bewertungsverfahren bauphysikalischer Effekte beinhalten. Das Regelverfahren zur Bilanzierung ist die DIN V 18599 mit insgesamt elf Normteilen [R5]. Das GEG enthält datierte Verweise auf die zu verwendenden Normen. Die DIN V 18599 ist mit allen Normteilen des Ausgabedatums September 2018 zu verwenden.

Für Bestandswohngebäude stehen die Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand des Bundesministeriums für Wirtschaft und Energie und des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau- und Reaktorsicherheit zur Verfügung. Diese werden ergänzt um Regeln zu Verbrauchskennwerten von Wohngebäuden. Diese sogenannten allgemein anerkannten Regeln der Technik unterliegen einer ständigen Überarbeitung und müssen daher vom Anwender selbst auf Aktualität laufend überprüft werden.

Um dem Leser eine Übersicht der relevanten Regelwerke zu ermöglichen, 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 bisherigen EnEV sowie in Fortführung zum GEG, die durch das Deutsche Institut für Bautechnik, Berlin, oder aber durch das Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung unter **www.bbsr-energieeinsparung.de** 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 sicherzustellen und die daraus resultierenden Wärmeverluste auszugleichen. Hierbei wird eine möglichst hohe Behaglichkeit angestrebt, die durch ein ausgewogenes Verhältnis zwischen Raumlufttemperatur und Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen erreicht wird. Maßnahmen zur Energieeinsparung durch Reduzierung des Behaglichkeitsniveaus, z. B. durch Absenkung der Raumlufttemperatur und Drosselung der Frischluftrate, 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 oder auch Nutzwärmebedarf genannt, ist die Energie, die ein Heizkörper einem Raum zur Verfügung stellen muss. Sie 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 [R16] und ausreichend validiert.

Darüber hinaus muss nach dem GEG 2023 (im weiteren Textverlauf nur GEG genannt) 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 Kühlanteil daher kompensiert werden muss.

Bei einer beheizten Wohnfläche von 120 m^2 ergibt sich für ein nach dem GEG geplantes Einfamilienhaus ein jährlicher Heizwärmebedarf von ca. 6.000 kWh, der ungefähr 7.500 kWh Primärenergie oder 700 l Heizöl bzw. 650 m^3 Erdgas 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 GEG 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. 9.000 kWh Primärenergie unter Berücksichtigung der Umwandlungsverluste. Etwa 500 kWh Endenergie entfallen allein auf Antriebe und Steuerungen der Heizungsanlage.

Hinweis:

Bei allen Bilanzierungen im Rahmen des GEG 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 übereinstimmen muss.

Mit dem Monatsbilanzverfahren der DIN V 18599-2 lassen sich umfänglich bauliche Maßnahmen sowie die Wärmeeinträge in ihrer Wechselwirkung zur Bestimmung der Nutzenergie bzw. des Heizwärmebedarfs berechnen. Dabei wird bei Wohngebäuden vorausgesetzt, dass die Gebäudeenergiebilanz in Form eines Einzonenmodells für den thermisch konditionierten Bereich erfolgt. Dies bedeutet, dass die Energiebilanz den auf normale Innentemperaturen beheizten Bereich umfasst. Niedrig beheizte Teilbereiche eines Wohngebäudes können als Anteil mitbeheizter Flächen an der Gesamtfläche gemäß DIN V 18599-10 bei Einfamilienhäuern pauschal mit 25 % und bei Mehrfamilienhäusern mit 15 % berücksichtigt werden.

Nicht beheizte Bereiche, wie z. B. Keller, werden als außerhalb der wärmetauschenden Hülle liegende Zonen mit einem Temperatur-Korrekturfaktor hinsichtlich ihrer Wirkung als Wärmesenke behandelt. Das Monatsbilanzverfahren berücksichtigt insbesondere die folgenden Maßnahmen:

1. Berücksichtigung solarer Einträge durch transparente Bauteile
2. Differenzierte Bewertung von Bauteilen an unbeheizten Bereichen und an Erdreich
3. Berücksichtigung maschineller Lüftung mit und ohne Wärmerückgewinnung
4. Berücksichtigung individueller interner Gewinne
5. Berücksichtigung individueller Verschattungen
6. Berücksichtigung unbeheizter Glasvorbauten
7. Berücksichtigung solarer Wärmegewinne von opaken Bauteilen
8. Berücksichtigung transparenter Wärmedämmung
9. Berücksichtigung des exakten Speichervermögens 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.

2.2 Ermittlung der Wärmeverluste

Im hiesigen Klima muss einer verlustminimierten Bauweise der Vorzug vor einer solargewinnmaximierten 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.

Hinweis

Die Wärmeverluste durch die Gebäudehülle machen in Ein- und Zwei-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 $\mathbf{V_e}$ sollte die kleinstmögliche wärmeübertragende Umfassungsfläche **A** und damit ein günstiges, kleines $\mathbf{A/V_e}$-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/($m^2 \cdot a$), ohne dass zusätzliche Dämm-Maßnahmen ergriffen werden müssen.

Die Wärmeverluste werden gemäß DIN V 18599 auch als Wärmesenke bezeichnet und beinhalten alle Wärmeflüsse, die aus dem beheizten Gebäude nach außen abfließen. Die allgemeine Bilanzformel für Einzonenmodelle lautet:

$$Q_{sink} = Q_T + Q_V + Q_S \quad \text{[kWh] (1)}$$

Die Einzelanteile für Transmission **T**, Lüftung **V** und langwellige Abstrahlung **S** bei der Solarstrahlungsbilanz werden im Folgenden erläutert. Die Außenlufttemperaturen für die Berechnungen sind der Tabelle 2.5 zu entnehmen.

2.2.1 Transmissionswärmeverluste

Die wichtigste Kenngröße zur Beurteilung der opaken, d.h. nicht transparenten Bauteile, ist deren Wärmedurchgangskoeffizient, der **U-Wert** [W/(m²·K)]. Dieser wird nach europäischen Rechenregeln bestimmt. Der U-Wert gibt an, wieviel Wärmeleistung [W] pro ein Grad Temperaturdifferenz [K] durch eine Bauteilfläche von 1 Quadratmeter [m²] zwischen der Innen- und Außenluft abfließt. Summiert werden sämtliche mit deren $\mathbf{U_i}$-Werten multiplizierten Bauteilflächen $\mathbf{A_i}$ unter Berücksichtigung der dazu gehörenden Temperatur-Korrekturfaktoren $\mathbf{F_{xi}}$. Die temperaturspezifischen Transmissionswärmeverluste $\mathbf{H_T}$ eines Gebäudes erhält man wie folgt:

$$H_T = \Sigma\, U_i \cdot A_i \cdot F_{xi} + H_{T,WB} \quad \text{[W/K] (2)}$$

Tabelle 2.1: Pauschale Temperatur-Korrekturfaktoren bei Anwendung des Monatsbilanzverfahrens nach DIN V 18599-2

Wärmestrom nach außen über	Kennung	TemperaturKorrekturfaktor F_{xi}
Außenwand, Fenster	F_e	1,0
Dach	F_D	1,0
Oberste Geschossdecke an unbeheiztem Dachraum	F_D	0,80
Abseiten-/Drempelwand	F_u	0,80
Wände und Decken zu unbeheizten Räumen	F_u	0,50
Wände und Decken zu niedrig beheizten Räumen	F_{nb}	0,35
Wand/Fenster zu unbeheiztem Glasvorbau mit: **Einfachverglasung** **Zweischeibenverglasung** **Wärmeschutzverglasung**	F_u	 0,80 0,70 0,50
Fußboden des beheizten Kellers	$F_{f,b}$	0,15 - 0,70*
Wand des beheizten Kellers	$F_{w,b}$	0,35 - 0,75*
Fußboden auf dem Erdreich ohne Randdämmung	$F_{f,b}$	0,15 - 0,80*
Fußboden auf dem Erdreich mit Randdämmung **≥ 5 m breit, waagerecht**** **≥ 2 m tief, senkrecht****	$F_{f,b}$	 0,10 - 0,60* 0,15 - 0,65*
Kellerdecke/Innenwand zum unbeheizten Keller: **mit Perimeterdämmung***** **ohne Perimeterdämmung**	F_G	 0,25 - 0,80* 0,30 - 0,85*
Aufgeständerter Fußboden	F_G	0,90

* Zahlenwert abhängig vom Wärmedurchlasswiderstand und den Abmessungen des Bauteils.
** Bei ungedämmter Bodenplatte und einer Randdämmung bis 5 m unterhalb der Bodenplatte oder 2 m senkrecht am äußeren Rand der Bodenplatte mit R > 2(m²·K)/W.
*** Perimeterdämmung der Kellerwände mit R ≥ 1,5 (m²·K)/W.

Die Temperatur-Korrekturfaktoren $\mathbf{F_{xi}}$ werden vereinfachend nach der Tabelle 2.1 angesetzt, die Werte erdberührter Bauteile können nach DIN EN ISO 13370 [R15] monatlich exakt ermittelt werden.

Der Term $H_{T,WB}$ beschreibt die Transmissionswärmeverluste über Wärmebrücken, die nach DIN V 18599-2 gesondert ausgewiesen werden. Die verschiedenen Möglichkeiten der rechnerischen Berücksichtigung sowie die dazu anzuwendenden Verfahrensschritte sind in Kapitel 5 beschrieben. Die allgemeine Bilanzgleichung lautet:

$$H_{T,WB} = \Delta U_{WB} \cdot A \qquad [W/K] \ (3)$$

ΔU_{WB} = Wärmebrückenzuschlag – siehe Kapitel 5
A = gesamte wärmetauschende Hüllfläche

Die Wärmeenergie aus Transmission eines Bilanzzeitraums ergibt sich zu:

$$Q_T = \Sigma H_{T,j} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \qquad [kWh] \ (4)$$

mit:

$H_{T,j}$ = spezifischer Transmissionswärmeverlust
$(\theta_i - \theta_e)$ = Temperaturdifferenz im Bilanzierungsschritt
t = Dauer des Berechnungsschritts

2.2.2 Lüftungswärmeverluste

Die 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).

Die temperaturspezifischen Lüftungswärmeverluste oder auch Lüftungswärmetransferkoeffizienten $\mathbf{H_V}$ setzen sich aus Infiltration über Fugen und Undichtigkeiten von Außenbauteilen $\mathbf{H_{V,inf}}$ und den Verlusten über den Luftaustausch durch Fensterlüftung $\mathbf{H_{V,win}}$ zusammen. Dabei beeinflusst die Luftdichtheit der Gebäudehülle über den sog. $\mathbf{n_{50}}$–Wert als Luftwechselzahl bei 50 Pa Druckdifferenz die Höhe der Infiltrationsverluste. Der Wärmetransferkoeffizient für Infiltration wird nach folgender Gleichung ermittelt:

$$H_{V,inf} = n_{inf} \cdot V \cdot 0{,}34 \qquad [W/K] \ (5)$$

mit:

n_{inf} = $n_{50} \cdot 0{,}07 \cdot 1$ für Fälle ohne zusätzliche Außenluftdurchlässe

= $n_{50} \cdot 0{,}07 \cdot \left(\min(16; \frac{n_{50} + 1{,}5h^{-1}}{n_{50}})\right)$ für Fälle mit Außenluftdurchlässen

Das zu belüftende Nettovolumen **V** von Wohngebäuden mit bis zu drei Vollgeschossen berechnet sich aus dem Bruttovolumen $\mathbf{V_e}$ des beheizten Gebäudes pauschal zu $0{,}76 \cdot V_e$, bei größeren Gebäuden zu $0{,}8 \cdot V_e$.

Hinweis

Das Nettovolumen darf auch detailliert ermittelt werden. Dieses Vorgehen führt in der Regel zu einem geringeren Zahlenwert als bei pauschaler Ermittlung und damit zu geringeren absoluten Lüftungswärmeverlusten.

Der n_{50}–Wert als Maß der Luftdichtheit der Gebäudehülle wird anhand der Festlegungen in folgender Tabelle 2.2 in einen pauschalen Bemessungswert überführt. Im Falle

Tabelle 2.2: Bemessungswerte n_{50} und q_{50} für Gebäude mit und ohne Luftdichtheitsprüfung

Kategorie zur Einschätzung der Gebäudedichtheit		Nettoraumvolumen ≤ 1500 m³ n_{50} [h⁻¹]	Nettoraumvolumen > 1500 m³ q_{50} [m³/(m²·h)]
I	mit Luftdichtheitsprüfung bei Fensterlüftung	2	3
I	mit Luftdichtheitsprüfung mit maschineller Wohnungslüftung	1	2
II	Neubau ohne Luftdichtheitsprüfung	4	6
III	Einstufung, die nicht den Kategorien I, II und IV entsprechen	6	9
IV	Vorhandensein offensichtlicher Undichtheiten	10	15

einer Luftdichtheitsprüfung mittels Blower-Door kann der gemessene n_{50}-Wert für die Energiebilanz verwendet werden. Nähere Einzelheiten dazu siehe Kapitel 6. Bei größeren Gebäuden mit Nettoraumvolumen > 1.500 m³ bestimmt sich der für die Berechnung erforderliche n_{50}-Wert zu:

$$n_{50} = \frac{q_{50} \cdot A_E}{V} \quad [h^{-1}] \ (6)$$

mit:

q_{50} = hüllflächenbezogene Luftdurchlässigkeit bei 50 Pa Druckdifferenz

A_E = vereinfachend kann die Umfassungsfläche A angesetzt werden

Wird ein Blower-Door-Test für ein Gebäude vorgesehen, ergibt sich rechnerisch ein monatlich konstanter Wert des Infiltrationsluftwechsels n_{inf} von 0,14 h^{-1}.

Der Luftaustausch durch Fensterlüftung $H_{V,win}$ bei Wohngebäuden ohne maschinelle Lüftung wird mit monatlich unterschiedlichen Luftwechselzahlen $n_{win,mth}$ ermittelt. Dies begründet sich aus der empirisch abgeleiteten Abhängigkeit der Fensteröffnungszeiten von der Außenlufttemperatur – bei hohen Außenlufttemperaturen wird intensiver fenstergelüftet als bei niedrigen Außenlufttemperaturen. Die einzelnen Berechnungsgleichungen der DIN V 18599-2 Abs. 6.3.2.2 werden an dieser Stelle nicht im Einzelnen aufgeführt.

Die allgemeine Bilanzgleichung lautet:

$$H_{V,win} = n_{win} \cdot V \cdot 0{,}34 \quad [W/K] \ (7)$$

Beispielhaft sind in Tabelle 2.3 die berechneten Monatswerte der Luftwechselzahlen des Fensterluftwechsels n_{win} für einen Bemessungswert der Luftdichtheit n_{50} von 2 h^{-1} sowie die Gesamtwerte des monatlichen Luftwechsels n_{mth} inklusive Infiltrationsluftwechsel wiedergegeben.

Hinweis

Das Bilanzverfahren der DIN V 18599-2 führt mit der Einführung des saisonalen Luftwechsels zu etwas geringeren Lüftungswärmeverlusten als das bisherige Bilanzmodell der DIN V 4108-6 [R10] mit konstanten Luftwechselzahlen. Dies macht sich bei hoch wärmegedämmten Gebäuden deutlich bemerkbar, da sich die Heizperiode dort bekanntermaßen verkürzt.

Gebäude mit einer mechanischen Lüftungsanlage – mit oder ohne Wärmerückgewinnung – weisen neben dem planmäßigen Luftwechsel geringere aber ebenso unplanmäßige Lüftungsverluste über Infiltration und Anteile eines Luftaustausches über Fenster auf. Bei Anlagen mit Wärmerückgewinnung über Wärmeübertrager (z. B. Kreuzstromwärmetauscher) zwischen Zuluft und Abluft ergeben sich zusätzlich Wärmeeinträge, die den Heizwärmebedarf reduzieren und an dieser Stelle nicht bilanziert werden. Standardwerte des mechanischen Luftwechsels sind 0,4 h^{-1} bei nicht bedarfsgeführter Betriebsweise. Erfolgt ein bedarfsgeführter Betrieb z. B. über Präsenzmelder oder die Luftgüte kann der Luftwechsel auf 0,35 h^{-1} abgesenkt werden. Die spezifischen Lüftungswärmeverluste werden mit $\mathbf{H_{V,mech}}$ bezeichnet. Tabelle 2.3 enthält Monatswerte des Gesamtluftwechsels n_{mth} in h^{-1} eines Wohngebäudes mit bedarfsgeführter Wohnungslüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung und mit einem n_{50}-Wert der luftdicht geprüften Gebäudehülle von 1,0 h^{-1}.

Tabelle 2.3: Monatswerte der Luftwechselzahlen n in h^{-1} für Bemessungswerte n_{50} von 2 h^{-1} bei Fensterlüftung und 1 h^{-1} bei maschineller Lüftung

		Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sept	Okt	Nov	Dez
mit Fensterlüftung	n_{Inf}	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14	0,14
	n_{win}	0,38	0,40	0,45	0,53	0,62	0,67	0,71	0,71	0,63	0,54	0,44	0,38
	n_{mth}	0,52	0,54	0,59	0,67	0,76	0,81	0,85	0,85	0,77	0,68	0,58	0,52
mit maschineller Wohnungslüftung	n_{Inf}	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07
	n_{mth}	0,50	0,51	0,52	0,54	0,56	0,57	0,58	0,57	0,56	0,54	0,52	0,50

Die gesamten Lüftungswärmeverluste $\mathbf{Q_V}$ eines Wohngebäudes im Bilanzzeitraum ergeben sich zu:

$$Q_V = \Sigma H_{V,k} \cdot (\theta_i - \theta_e) \cdot t \qquad \text{[kWh] (8)}$$

mit:

$H_{V,k} = H_{V,inf} + H_{V,win} + H_{V,mech}$

In Gebäuden mit Fensterlüftung liegen gemessene Luftwechselzahlen in Abhängigkeit der Luftdichtheit der Gebäudehülle und vor allem des Nutzerverhaltens zwischen n = 0,3 und 0,9 h^{-1} [L2], bei hohen Belegungsdichten der Wohnungen kann dieser Wert bis auf 1,5 h^{-1} ansteigen [L3]. Neuere Untersuchungen [L4] bestätigen diese Schwankungsbreite in ähnlicher Form auch für Gebäude mit Wohnungslüftungsanlagen. Wird eine mechanische Lüftungsanlage eingesetzt, wird das tatsächlich ausgetauschte Luftvolumen und die ggf. rückgewonnene Wärme berücksichtigt. Angaben dazu enthält Kapitel 2.3.6.

2.2.3 Abstrahlverluste

Werden die Solargewinne gemäß Abschnitt 2.3.3 über opake Bauteile berücksichtigt, müssen auch die langwelligen Strahlungsverluste $\mathbf{Q_{S,opak}}$ an den kalten Himmel nach folgender Gleichung bilanziert werden:

$$Q_{S,opak} = R_{se} \cdot U \cdot A \cdot (F_f \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er} - \alpha \cdot I_s) \cdot t \qquad \text{[kWh] (9)}$$

mit:

R_{se} = Wärmeübergangswiderstand außen in $(m^2 \cdot K)/W$
F_f = Formfaktor 1 für waagerechte Bauteile bis 45°, 0,5 für senkrechte Bauteile
h_r = äußerer Abstrahlungskoeffizient, Standardwert 0,45 $W/(m^2 \cdot K)$
$\Delta\theta_{er}$ = mittlere Temperaturdifferenz zwischen Außenluft und Himmelstemperatur, Standardwert 10 K
$\boldsymbol{\alpha}$ = Absorptionskoeffizient für Solarstrahlung
I_S = Strahlungsintensität in W/m^2 siehe Tabelle 2.5

Die Gleichung (9) ist nur anzuwenden, sofern die absorbierte Solarstrahlung $\alpha \cdot I_s$ kleiner ist, als die an den Himmel abgestrahlte Wärmeleistung.

2.3 Wärmeeinträge

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.

Weitere ungeregelte Wärmeeinträge ergeben sich durch die Wärmeabgabe anlagentechnischer Komponenten wie z. B. Verteilleitungen der Heizungs- und Warmwasserversorgung, Speicherverluste oder durch die Wärmerückgewinnung einer Wohnungslüftungsanlage.

$$Q_{source} = Q_{I,source} + Q_s \qquad \text{[kWh] (10)}$$

Dabei ergeben sich für die solaren Wärmeeinträge unterschiedliche Bilanzierungsansätze, die in den Kapiteln 2.3.2 bis 2.3.5 näher erläutert werden.

2.3.1 Interne Wärmequellen

Messungen in Wohngebäuden zeigen Wertebereiche der internen Gewinne $\mathbf{Q_{I,source}}$ zwischen 15 und 35 kWh pro m^2 Nutzfläche $\mathbf{A_N}$ in der Heizperiode. Diese setzen sich im Wesentlichen aus den Wärmeeinträgen durch Personen und durch Verteilleitungen des Heizsystems zusammen. Die monatsweise Berechnung mittels normierter Ansätze führt zu folgender Bilanzgleichung:

$$Q_{I,source} = q_{I,p} \cdot A_N \cdot d/mon + Q_{I,source,h} \qquad \text{[kWh] (11)}$$

mit:

$q_{I,p}$ = täglicher Wärmeeintrag durch Personen, 45 $Wh/(m^2 \cdot d)$ (Einfamilienhaus), 90 $Wh/(m^2 \cdot d)$ (Mehrfamilienhaus), auf die Nettogrundfläche bezogen
$Q_{I,source,h}$ = monatlich zu berechnende Wärmeeinträge des Heizsystems

2.3.2 Solare Wärmeeinträge durch transparente Bauteile

Die Solargewinne $\mathbf{Q_s}$ durch die Fensterflächen können grundsätzlich für vier Haupthimmelsrichtungen, vier Zwischenrichtungen und für vier unterschiedliche Flächenneigungen und die Horizontale ermittelt werden. Die Bilanzformel lautet:

$$Q_{S,tr} = F_F \cdot A_w \cdot F_S \cdot 0{,}9 \cdot g \cdot I_S \cdot t \qquad \text{[kWh] (12)}$$

Die Solarstrahlung $\mathbf{I_s}$ ist von der Himmelsrichtung und der Neigung der bestrahlten Fläche abhängig. Für vertikale Flächen beträgt sie zwischen 100 (Nord) und 270 (Süd) kWh/(m²·a) in der Heizperiode. Der Abminderungsfaktor $\mathbf{F_F}$ bezeichnet den verglasten Flächenanteil des Fensters. Der sogenannte $\mathbf{F_s}$-Wert ist der Minderungsfaktor für eine permanente Verschattung, z. B. durch Gebäudeteile oder andere Gebäude. Der Faktor 0,9 (F_w-Wert) reduziert den von den Glasherstellern anzugebenden Gesamtenergiedurchlassgrad **g**, da dieser ausschließlich für senkrechte Sonneneinstrahlung gilt. Für den Fall mit beweglichem Sonnenschutz, üblicherweise nur bei Nichtwohnnutzungen in Ansatz gebracht, wird statt g der Rechenwert g_{tot} inklusive Sonnenschutz verwendet.

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 $\mathbf{A_w}$ wird aus den lichten Rohbauöffnungsmaßen ermittelt.

Hinweis

Die Verschattungsfaktoren F_s zur Berücksichtigung dauerhaft vorhandener baulicher Verschattungen können der DIN V 18599-2 entnommen werden. Der F_s-Wert wird gemäß GEG §25 pauschal zu 0,9 festgelegt, sofern keine detaillierte Berücksichtigung der umgebenden Bebauung erfolgt. Eine bewegliche Verschattungseinrichtung, wie z. B. ein Raffstore oder ein Rollladen, wird bei der Ermittlung der Solargewinne bei der Monatsbilanzierung nicht berücksichtigt, da davon ausgegangen wird, dass die vorhandene Solarstrahlung in der Heizzeit vollständig genutzt wird. Bei großen Fensterflächenanteilen kann dies allerdings bereits in der Heizzeit zur Überhitzung einzelner Räume führen.

2.3.3 Solare Wärmeeinträge über opake Bauteile

Auch opake, das heißt 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:

$$Q_{S,opak} = R_{se} \cdot U \cdot A \cdot (\alpha \cdot I_s - F_f \cdot h_r \cdot \Delta\theta_{er}) \cdot t \qquad \text{[kWh] (13)}$$

Die Gleichung (13) ähnelt der zuvor aufgestellten Gleichung (9) und ist nur dann anzuwenden, sofern die absorbierte Solarstrahlung $\alpha \cdot I_s$ größer ist, als die an den Himmel abgestrahlte Wärmeleistung. Tabelle 2.4 enthält α-Werte unterschiedlicher Oberflächen.

Tabelle 2.4: Strahlungsabsorptionsgrad α für das energetisch wirksame Spektrum des Sonnenlichts verschiedener Oberflächen nach DIN V 18599-2

Oberfläche	α
Wandflächen:	
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

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).

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

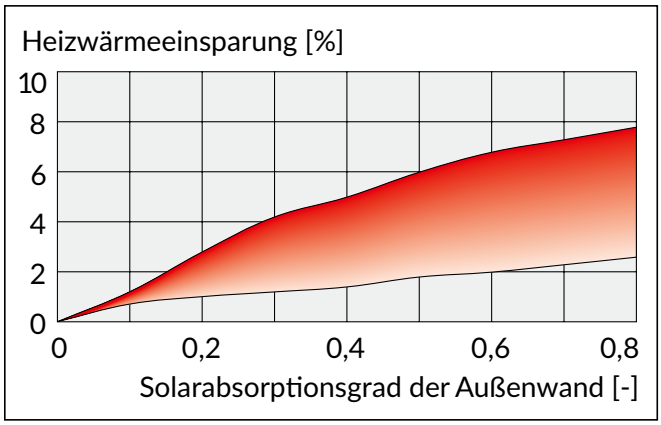


Bild 2.1: Heizwärmeeinsparung durch Solarabsorption auf Außenoberflächen gemäß [L5]

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.

2.3.4 Transparente Wärmedämmung

Transparente Wärmedämmsysteme (TWD) lassen einen Teil der auftreffenden Solarstrahlung bis zur dunklen Absorberschicht vordringen und führen so zu einer Erhöhung der Wandinnentemperatur. In der Bilanzformel muss daher der $\mathbf{g_{Ti}}$-Wert der transparenten Dämmung inklusive Deckschicht eingesetzt werden sowie der äußere Wärmedurchlasswiderstand $\mathbf{R_e}$ sämtlicher Schichten oberhalb der absorbierenden Schicht einschließlich des äußeren Übergangswiderstandes. Die Wärmeeinträge werden wie folgt bilanziert:

$$Q_{S,opak,Ti} = R_e \cdot U \cdot A \cdot F_F \cdot F_S \cdot F_w \cdot g_{Ti} \cdot \alpha \cdot I_s \cdot t \qquad \text{[kWh] (14)}$$

mit:

U = Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Bauteils
A = Gesamtfläche des Bauteils einer Orientierung
F_F = Rahmenanteil des Bauteils
F_w = 0,9 für nicht senkrechten Strahlungseinfall
α = Absorptionskoeffizient der TWD

Eine weiterführende Ausnutzung der Solargewinne wird mit sogenannten Hybridsystemen 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 Solarenergienutzung 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 drei bis fünf Tagen bei. Größenordnungsmäßig lassen sich 20 bis 30 % 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 [L6, L7].

2.3.5 Unbeheizte Glasvorbauten

Unbeheizte Glasvorbauten ermöglichen bei intelligenter Nutzung eine zusätzliche Heizwärmeeinsparung. Diese ergibt sich durch die Temperaturerhöhung in dieser Zone und der damit verbundenen 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 Einsparpotenziale von Glasvorbauten stark von ihrer Nutzung und Geometrie abhängen, sind allgemeingültige Zahlenangaben hierzu nicht möglich. Im Monatsbilanzverfahren der DIN V 18599-2 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 in der Regel keine Wirtschaftlichkeit im Hinblick auf eine mögliche Energieeinsparung auf.

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 GEG-Nachweis berücksichtigt werden.

Aufgrund der komplexen Berechnungsmethodik der Wärmeeinträge und deren Pufferwirkung auf das Gebäude werden die Bilanzgleichungen an dieser Stelle nicht wiedergegeben und es erfolgt lediglich eine stichwortartige Beschreibung der Vorgänge. Die rechnerische Bilanzierung führt zum Kennwert $Q_{S,tr}$ und wird den Solareinträgen zugeordnet.

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

2.3.6 Wärmeeinträge durch Wohnungslüftung

Die Ermittlung der Wärmeeinträge durch Wärmerückgewinnung bei Wohnungslüftungsanlagen erfolgt durch eine zweifache Bilanzierung eines Wohngebäudes. In einem ersten Berechnungsschritt wird die Heizwärmebilanz mit einer gegenüber der Außenluft erhöhten Zulufttemperatur und dem Volumenstrom der Lüftungsanlage ermittelt. Diese Temperatur ergibt sich aus dem Temperaturänderungsgrad der Wärmerückgewinnung als Ergebnis des Wärmerückgewinnungsgrades. In einer zweiten Wärmebilanz erfolgt die Berechnung ohne Wärmerückgewinnung der Abluft. Die Differenz beider Berechnungen liefert den Wärmeeintrag einer Wohnungslüftungsanlage.

Die effektiven Wärmeeinträge von Wohnungslüftungsanlagen bewegen sich in Abhängigkeit des Anlagen-Luftwechsels n_{mech} zwischen 13 und 20 kWh/(m²·a) für geringe Anlagenluftwechsel von 0,35 h^{-1} und 30 bis 40 kWh/(m²·a) bei Anlagenluftwechseln von 1 h^{-1}. Dabei ist zu beachten, dass übliche durchschnittliche Anlagenluftwechsel in der Heizperiode unter 0,4 h^{-1} betragen.

2.4 Heizwärmebedarf

Der Heizwärmebedarf $Q_{h,b}$, also die Nutzwärme, die zur Beheizung dem Raum zur Verfügung gestellt werden muss, ergibt sich aus den Verlusten und Gewinnen wie folgt:

$$Q_{h,b} = Q_{sink} - \eta \cdot (Q_{l,source} + \Sigma\, Q_{S,i}) \quad \text{[kWh]} \quad (15)$$

mit:

Q_{sink} = Wärmeverluste
η = Ausnutzungsgrad der Gewinne (siehe 2.4.2)
$Q_{l,source}$ = Interne Wärmequellen
$\Sigma\, Q_{S,i}$ = Summe der solaren Wärmeeinträge

Die Ermittlung des Energiebedarfs nach DIN V 18599 geschieht monatsweise in einer Gesamtbilanz. Damit wird die Wechselwirkung der Gebäudehülle, der Lüftungswärmeverluste sowie der Wärmegewinne aus solarer Einstrahlung und der Interaktion mit den Wärmeeinträgen der Anlagentechnik sehr viel genauer bilanziert. Die Gebäudeenergiebilanz ist in Bild 2.2 schematisch dargestellt.

Sämtliche Berechnungen zur Nachweisführung gemäß GEG erfolgen unter Zugrundelegung eines einheitlichen Referenzklimas. Der für Deutschland heranzuziehende Referenzstandort ist Potsdam. Die normierten monatlichen Klimadaten mit Außenlufttemperaturen und richtungsabhängigen Solarstrahlungsleistungen sind in Tabelle 2.5 als Auszug von DIN V 18599-10 aufgeführt.

Die Berechnung der Nutzenergie erfolgt über eine Iteration der Bilanzmonate, da die Wärmeeinträge z. B. aus Heizungsverteilungen vom Nutzenergiebedarf abhängig sind und diesen wiederum beeinflussen. Mithilfe des abschließend monatsweise ermittelten Nutzwärme- und ggf. auch Kühlenergiebedarfs wird dann der Endenergiebedarf unter Berücksichtigung der Auslastung und Effizienz der eingesetzten Anlagentechnik ermittelt.

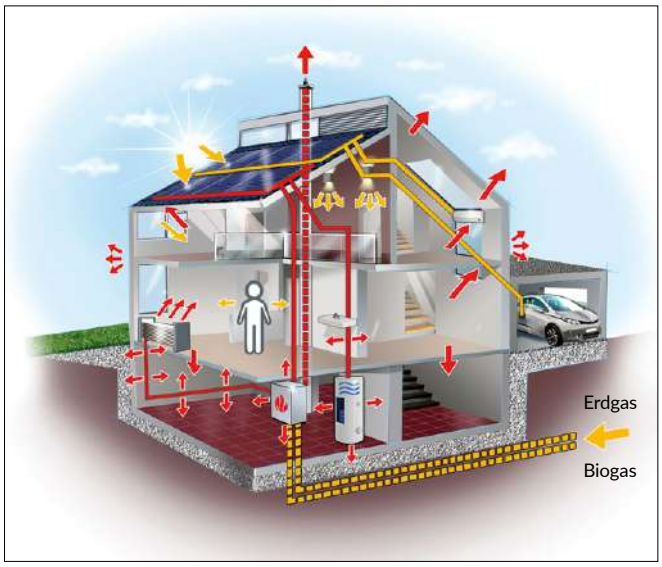


Bild 2.2: Schematische Darstellung einer Gebäudeenergiebilanz mit Wärmequellen und -senken

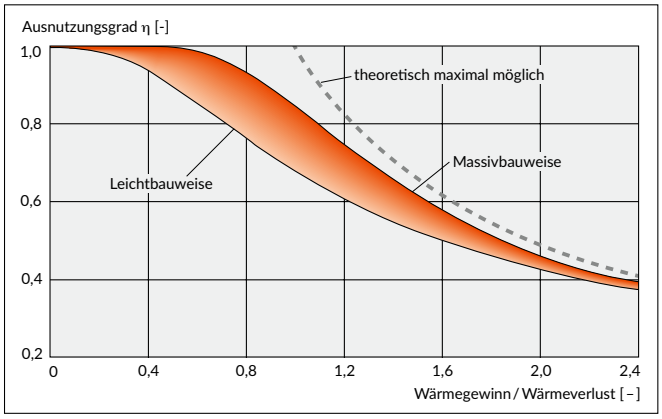


Bild 2.3: Ausnutzungsgrad der Gewinne in Abhängigkeit vom Wärmegewinn-/Verlustverhältnis gemäß [R16]

2.4.1 Reduzierter Heizbetrieb

In der Monatsbilanzierung des Heizwärmebedarfs wird der gemittelte Monatswert der Raumluft-Solltemperatur für den Heizbetrieb unter Berücksichtigung eines zeitlichen Absenk- oder Abschaltbetriebs reduziert. Die Berechnungsalgorithmen sind äußerst komplex und daher wird auf eine weitere Darstellung verzichtet. Die Größenordnung der Einsparung an Heizwärme, die im Rahmen des GEG-Nachweises eine Abschaltdauer von sieben Stunden bei Einfamilienhäusern und einen gleich andauernden Absenkbetrieb bei Mehrfamilienhäusern unterstellt, beträgt etwa 3 bis 5 % der Gesamtwärmeverluste.

2.4.2 Ausnutzungsgrad der Wärmeeinträge

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 raumumschließenden 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 (17) ermittelt. Weiterhin ist der Ausnutzungsgrad wesentlich vom Gewinn-/Verlustverhältnis nach Formel (16) abhängig. Die in der Grafik, Bild 2.3, als theoretisch bezeichnete Kurve stellt die obere Begrenzungslinie des Ausnutzungsgrads dar. Praktisch ist daher nur der rot markierte Bereich nutzbar. Der durchschnittliche Ausnutzungsgrad üblicher Massivgebäude übersteigt 95 %, bei Leichtbauten liegt er etwa 5 % niedriger [L5, R10]. Die pauschalierten Rechenansätze nach DIN V 18599-2 benötigen für die pauschale Berechnung folgende Eingangsgrößen:

Ermittlung des Gewinn-Verlustverhältnisses **γ** mit:

$$\gamma = Q_{source} / Q_{sink} \qquad (16)$$

Ermittlung der Zeitkonstanten τ mit:

$$\tau = C_{wirk} / (\Sigma H_T + \Sigma H_V) \qquad (17)$$

Die wirksame Wärmekapazität $\mathbf{C_{wirk}}$ kann pauschal in Abhängigkeit der Bauweise der Raumumschließungsflächen und der Gebäudenutzfläche $\mathbf{A_N}$ angenommen werden:

C_{wirk} = 50 Wh/(m² · K) · A_N für leichte Gebäude:
- Holztafelbauart ohne massive Innenbauteile
- Abgehängte Decken und überwiegend leichte Trennwände
- Innendämmungen
- Hallengebäude ohne schwere Einbauten

C_{wirk} = 90 Wh/(m² · K) · A_N für mittelschwere Gebäude:

- Stahlbetondecken
- massive Innen- und Außenbauteile
- keine abgehängten Decken
- keine hohen Räume

C_{wirk} = 130 Wh/(m² · K) · A_N für schwere Gebäude:

- Stahlbetondecken
- massive Innen- und Außenbauteile
  Rohdichte > 1.600 kg/m³
- keine abgehängten Decken

Der monatlich zu ermittelnde Ausnutzungsgrad **η** ergibt sich näherungsweise wie folgt:

$$\eta = 1 - \gamma^a/(1 - \gamma^{a+1}) \quad \text{für } \gamma \neq 1 \qquad (18)$$

$$\eta = a/(a + 1) \quad \text{für } \gamma = 1 \qquad (19)$$

mit:

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

Die Zahlenwerte der Ausnutzungsgrade liegen in den Sommermonaten bei 0 und in der kalten Winterzeit bei 1.

2.5 Heizenergiebedarf

Der notwendige Endenergiebedarf für das Heizsystem $\mathbf{Q_{h,f}}$ und für das Trinkwarmwasser $\mathbf{Q_{w,f}}$ beinhaltet sämtliche Verluste des Wärmeerzeugers für Verteilung und Speicherung sowie die Wärmeübergabe. Werden regenerative Energien aus thermischen Solaranlagen genutzt, reduziert sich der rechnerisch ermittelte Heizenergiebedarf gemäß GEG sogleich um den genutzten regenerativen Energieertrag. Neben der Wärmeenergie ist die Hilfsenergie $\mathbf{W_{f,in}}$ in Form von elektrischem Strom zu bilanzieren, die für das Betreiben von Pumpen, Steuerungen und deren Regelung erforderlich wird. Zusätzlich wird auch der Stromaufwand für Wohnungslüftungsanlagen $\mathbf{Q_{rv,f}}$ und im Falle einer Klimatisierung derjenige für die Kälteerzeuger $\mathbf{Q_{rc,f}}$ berücksichtigt. Dabei werden die unterschiedlichen eingesetzten Energieträger differenziert ausgewiesen.

Wird regenerativ erzeugter Strom im Gebäude zur Unterstützung der Heizwärmeerzeugung oder der Kälteerzeugung genutzt, wird er ebenso eigens ausgewiesen. Die rechnerische Bewertung der Effizienz der unterschiedlichen technischen Anlagen ist äußerst komplex und kann im Rahmen dieser Broschüre nicht genauer behandelt werden. Das grundsätzliche Vorgehen ist in Kapitel 7 beschrieben.

In Bild 2.4 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 Potenzial der sinnvollen Heizenergieeinsparmaßnahmen ausgeschöpft wird.

2.6 Primärenergiebedarf

Die Hauptanforderung des GEG wird an den Primärenergiebedarf $\mathbf{Q_P}$ 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 $\mathbf{f_p}$ der einzelnen Energieträger nach folgender Beziehung:

$$Q_P = \Sigma_i\, Q_i \cdot f_{p,i} \qquad [kWh]\ (20)$$

mit

Q_i = Endenergie nach Energieträger
$f_{p,i}$ = Primärenergiefaktor

Die unterschiedlichen Primärenergiefaktoren für den nicht erneuerbaren Anteil der Endenergiebereitstellung können der Tabelle 7.8 in Kapitel 7 entnommen werden. Das Ergebnis der rechnerischen Energiebilanz wird bei Wohngebäuden auf die Gebäudenutzfläche A_N bezogen und im Energieausweis als Kennwert der Endenergie mit einer Klassifizierung versehen. Der errechnete Primärenergiebedarf wird dem des Referenzgebäudes als Vergleichswert für die Anforderungen gegenübergestellt.

2.7 Klima- und Nutzereinflüsse

Die Ergebnisse, die aus den zuvor definierten Energiebilanzen abgeleitet werden, sind maßgeblich durch die zugrunde gelegten Randbedingungen beeinflusst. Die Klimadaten und

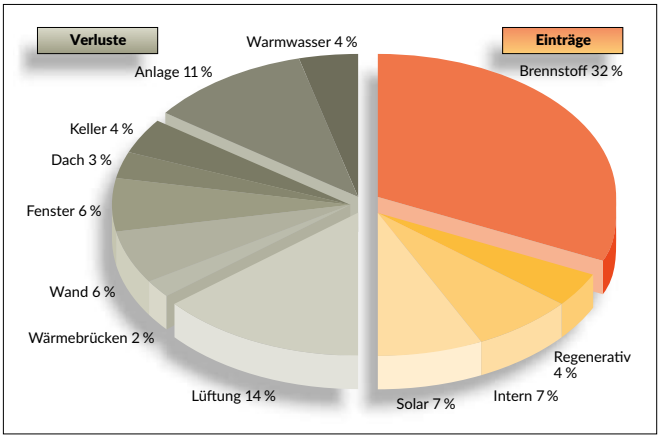


Bild 2.4: Beispielhafte Endenergiebilanz eines Niedrigenergiehauses

der rechnerische Ansatz der Nutzungsbedingungen stellen den Schwerpunkt dar.

Den GEG-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 der DIN V 18599-10 [R5] niedergelegten Wetterdaten der 15 verschiedenen Klimazonen weisen Unterschiede in den Heizgradtagszahlen von -12 % bis +35 % auf. 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 ist, desto kürzer wird die Heizzeit, desto weniger arbeitet die Heizungsanlage, 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 [L8].

Es zeigt sich z. B., dass – über viele Objekte beobachtet – der Mittelwert der Innentemperatur bei etwa 20 °C liegt. Die Abweichung von der Mitteltemperatur zwischen den in [L8] 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 % Heizenergie.

Das Lüftungsverhalten der Bewohner hängt neben der erforderlichen Lufterneuerung von 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. 2,0 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 1,0 Stunde in mit Lüftungsanlagen ausgestatteten Häusern geöffnet. In den Übergangsjahreszeiten werden die Fenster grundsätzlich sehr viel häufiger geöffnet, nämlich zwischen 3,0 und 5,0 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

Tabelle 2.5: Referenzwerte der Strahlungsintensitäten und der Außentemperaturen für das Referenzklima Deutschland

		Strahlungsangebot / Monatliche Mittelwerte (W/m²)											
Monat		Jan	Feb	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Orientierung	Neigung												
Horizontal	0	29	44	97	189	221	241	210	180	127	77	31	17
Süd	30	50	55	121	217	230	241	208	199	157	110	41	26
	45	57	56	124	214	218	224	194	193	160	119	44	29
	60	61	55	121	201	196	197	172	178	155	121	44	31
	90	59	47	98	147	132	124	113	127	123	106	39	29
Süd-Ost	30	46	52	114	214	227	242	212	194	147	102	38	23
	45	51	53	116	212	217	229	201	188	148	107	39	25
	60	54	51	112	201	198	207	183	175	141	107	38	26
	90	50	42	90	156	143	146	132	130	111	91	32	23
Süd-West	30	40	49	110	201	222	234	201	188	145	96	37	23
	45	43	48	110	195	209	218	188	181	145	99	38	24
	60	44	46	105	181	190	195	169	167	138	97	37	25
	90	40	36	83	136	137	135	120	123	108	80	31	22
Ost	30	31	43	95	189	211	231	205	173	122	77	30	17
	45	31	41	91	181	198	217	194	163	115	74	28	16
	60	30	38	85	170	180	198	179	150	106	70	26	15
	90	25	29	68	134	137	150	138	115	83	55	20	12
West	30	25	40	90	172	202	219	188	165	120	70	29	16
	45	24	36	84	159	187	201	174	153	112	65	27	16
	60	22	33	78	146	169	181	157	139	103	60	25	14
	90	17	24	60	114	127	136	117	105	79	47	19	11
Nord-West	30	16	32	68	139	178	199	173	138	91	47	22	12
	45	15	28	58	116	151	169	149	116	77	40	20	11
	60	13	25	50	101	130	144	128	99	66	35	18	9
	90	11	18	38	78	96	108	95	74	51	28	13	7
Nord-Ost	30	17	34	71	151	185	209	187	144	93	50	22	12
	45	15	29	61	131	160	181	167	123	79	42	20	11
	60	14	26	54	114	139	157	148	107	68	36	18	9
	90	11	19	41	87	104	116	112	81	52	29	13	7
Nord	30	16	29	56	128	172	197	175	129	77	36	21	11
	45	15	26	43	90	136	161	145	95	56	33	19	10
	60	13	24	39	71	101	119	113	72	50	30	17	9
	90	10	18	31	58	75	83	81	57	41	25	13	7
		Außenlufttemperatur θ_e °C											
		1,0	1,9	4,7	9,2	14,1	16,7	19,0	18,6	14,3	9,5	4,1	0,9

mehr übersteigen. Die Wohnungslüftungsanlagen erhöhen den Luftwechsel um ca. 0,3 bis 0,4 h^{-1}.

Der tägliche Trinkwarmwasserverbrauch von Wohnungen mit drei bis vier 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 Heizanlagensektor entstehen im Bereich der Verteilverluste. Liegen die Heizungs- und Warmwasserverteilleitungen vorwiegend in unbeheizten Gebäudezonen und herrschen hohe Systemtemperaturpaarungen und eventuell lange Zirkulationszeiten vor, werden erhebliche Energiemengen ungenutzt verschwendet. Obwohl die Heizkessel heutzutage durchweg 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. Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U

3.1 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" [R17] errechnet. Neben geänderten Randbedingungen zum Wärmeübergang an flächigen Bauteilen und in Luftschichten änderte 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 4108-4 [R9] und die DIN 4108-2 [R6] anzuwenden.

3.1.1 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 4108-4 „Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte" [R9] oder darüber hinaus der DIN EN ISO 10456 [R18] 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:

$$U = 1/(R_{si} + d_1/\lambda_1 + d_2/\lambda_2 + d_n/\lambda_n + R_{se}) \qquad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (21)$$

R_{si} und R_{se} bezeichnen die Wärmeübergangswiderstände innen und außen. Die rechnerisch ermittelten U-Werte werden üblicherweise mit zwei wertanzeigenden Ziffern angegeben.

Weiterhin wird der U-Wert bauteilbezogen mit einem Index versehen:

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

Tabelle 3.1: Wärmeübergangswiderstände R, nach [R17]

Wärmeübergangswiderstand [(m²·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**	0,10	0,13	0,17

* über ± 30° zur horizontalen Ebene

** bei stark belüfteten Luftschichten (Hinweis: Bei stark belüfteten Luftschichten sind alle Schichten zwischen der Luftschicht und der Außenluft zu vernachlässigen.)

Die Wärmeübergangswiderstände von der Raumluft zur Bauteiloberfläche R_{si} bzw. zur Außenumgebung R_{se} sind der Tabelle 3.1 zu entnehmen oder aber nach Anhang C der DIN EN ISO 6946 [R17] exakt zu ermitteln. Dabei muss beachtet werden, dass der Wärmeübergangswiderstand abgedeckter Außenoberflächen, wie z. B. bei Dächern oder Vorhangfassaden, 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 Tabelle 3.1). 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 3.2. 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, zweischaligem Mauerwerk mit Entwässerungsöffnungen in Form nicht vermörtelter Stoßfugen im Sockelbereich von einer ruhenden Luftschicht zwischen Dämmung und Vormauerung ausgegangen werden kann.

Tabelle 3.2: Wärmedurchlasswiderstand R [(m²·K)/W] von ruhenden Luftschichten in Abhängigkeit der Dicke der Luftschicht und der Richtung des Wärmestroms, nach [R17] (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

Sind Luftschichten vorhanden, die als schwach belüftet anzusehen sind – Lüftungsöffnungen zwischen 500 und 1.500 mm² pro m bzw. m², wird gemäß DIN EN ISO 6946 Abs. 6.9.3 eine detailiierte Berechnung der Wärmedurchlasswiderstände erforderlich. In der Baupraxis werden schwach belüftete Luftschichten in der Regel kaum zu finden sein. Anders verhält es sich mit stark belüfteten Luftschichten. Diese befinden sich z. B. unterhalb einer Dacheindeckung aus Dachziegeln oder ggf. in der darunter liegenden unteren Belüftungsebene zwischen Wärmedämmung und z. B. Unterspannbahn. Sie weisen definitionsgemäß Belüftungsöffnungen zur Außenumgebung > 1.500 mm² pro laufendem Meter vertikalem Luftspalt bzw. m² Oberfläche bei horizontaler Luftschicht auf.

Hinweis

Zweischaliges Mauerwerk mit belüfteter Luftschicht nach DIN EN 1996-1-1 [R31] fällt unter die Definition „stark belüftet". Die Luftschicht und die Vormauerschale werden somit bei der U-Wert-Ermittlung nicht berücksichtigt, statt dessen wird der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} nach Tabelle 3.1 von 0,13 (m²·K)/W angesetzt.

3.1.2 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 Schichten 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 0,30 W/(m²·K) maximal 5 %. Bei Sparren-/Gefach-Anteilen < 10/90 % liegt er unter 3 % und findet sich erst an dritter Stelle. 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 [L9, L10].

Ebenfalls kompliziert ist die „exakte" Berechnung keilförmiger Schichten, z. B. Flachdachdämmungen mit Gefälle. Diese sollte mittels geeigneter Berechnungssoftware erfolgen oder vereinfachend für abschnittsweise gemittelte homogene Schichten.

U-Wert-Korrekturen für Bauteile mit Dämmschichten, an deren Rückseite eine Luftzirkulation auftreten kann (z. B. nicht fachgerecht aufgebrachte 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 allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen oder Bauartgenehmigungen derartiger Produkte getroffen sind.

U-Werte von Umkehrdächern aus extrudierten Polystyrolplatten (XPS), die nicht langfristig durch Wasser überstaut sein dürfen und gleichzeitig mit einer Kiesschicht oder einem anderen geeigneten Material abgedeckt sind, werden ebenfalls mit einem Zuschlag ΔU versehen (siehe Tabelle 3). Dieser ist abhängig vom raumseitigen, unterhalb der Abdichtung liegenden Anteil des gesamten Wärmedurchlasswiderstandes. Weitere Angaben sind den allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen bzw. Bauartgenehmigungen dieser Produkte zu entnehmen.

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

Die Ermittlung der U-Werte transparenter Bauteile ist geregelt in DIN EN ISO 10077-1 – ausgenommen Dachflächenfenster und aufgrund ihrer komplexen Rahmenkonstruktion Vorhang- und Ganzglasfassaden. Die 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). Der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{w,BW}$ entspricht gemäß DIN 4108-4 dem vom Fensterhersteller angegebenen Nennwert U_w.

3.3 U-Wert-Ermittlung erdberührter Bauteile

Diesen, normalerweise nach DIN EN ISO 13370 „Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich" [R20] zu behandelnden Fall regelt die DIN 4108-2 auf vereinfachende Weise. Dazu ist der sog. konstruktive Wärmedurchlasswiderstand R definiert worden, dem der innere Wärmeübergangswiderstand aufaddiert wird, um dann den entsprechenden U-Wert zu ermitteln. 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 (XPS) oder Schaumglas (CG), werden als sog. Perimeterdämmung bezeichnet. Sie 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].

Tabelle 3.3: Korrekturen ΔU der Wärmedurchgangskoeffizienten von Umkehrdächern nach [R6]

Raumseitiger Anteil des Wärmedurchlasswiderstandes [%]	ΔU [W/(m²·K)]
< 10	0,05
10 - 50	0,03
> 50	0

3.4 Rollladenkästen

Für die Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Rollladenkästen sind einige Besonderheiten zu beachten. Die möglichen Verfahren sind für werkmäßig hergestellte Rollladenkästen in der „Richtlinie über Rollladenkästen (RokR)“ als Anhang der „Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB)“ [R21] beschrieben.

Die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz gemäß DIN 4108-2 erfolgen an den mittleren Wärmedurchlasswiderstand R ≥ 1,0 (m^2·K)/W, sowie an den raumseitigen Deckel mit R ≥ 0,55 (m^2·K)/W oder alternativ durch den Nachweis der Einhaltung eines Wärmedurchgangskoeffizienten U_{sb} ≤ 0,85 W/(m^2·K). Der U_{sb}–Wert ist zweidimensional nach DIN EN ISO 10077-2 [R22] zu berechnen oder aber durch eine wärmetechnische Messung zu bestimmen. Im Ü-Zeichen eines Rollladenkastens ist als wesentliches Merkmal der Wärmedurchgangskoeffizient U_{sb} anzugeben.

Die Transmissionswärmeverluste von Einbau- oder Aufsatzkästen können entweder mit ihrem Flächenanteil und dem ausgewiesenen U_{sb}–Wert oder aber durch Übermessen der Außenwand und entsprechender Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung nachgewiesen werden [R7]. Vorbaukästen vor Rahmenverbreiterungen von Fenstern benötigen hinsichtlich ihres Wärmeschutzes keine Angabe eines U_{sb}–Wertes, da diese Kästen nicht Bestandteil der wärmetauschenden Hüllfläche sind.

4. Tabellierte U-Werte

4.1 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 von bis zu 0,065 W/(m·K) werden mit allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen oder Bauartgenehmigungen über die Produktgruppen der Hersteller angeboten. Deren Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit können die Normwerte (vgl. Kapitel 13.2) um bis zu 50 % unterschreiten. Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit von genormtem Mauerwerk und von Bauplatten aus Massivbaustoffen sind der DIN 4108-4 [R9] 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.

Hinweis

Die Wärmeleitfähigkeiten der hochwärmedämmenden Hochlochziegel sind per allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder Bauartgenehmigung 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.

Tabelle 4.1: U-Werte von einschaligem Mauerwerk aus Zulassungsziegeln mit Leichtputz

Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ in W/(m·K)	Mineralischer Außenputz d = 20 mm / Innenputz d = 15 mm	U-Wert in W/(m²·K)				
		Mauerwerksdicke in mm				
		240	300	365	425	490
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
0,09		0,34	0,28	0,23	0,20	0,17
0,08		0,31	0,25	0,21	0,18	0,16
0,075		0,29	0,24	0,20	0,17	0,15
0,07		0,27	0,22	0,18	0,16	0,14
0,065		0,26	0,21	0,17	0,15	0,13

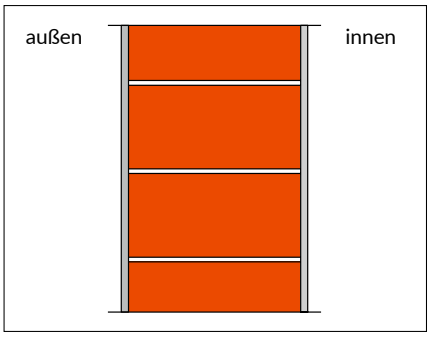
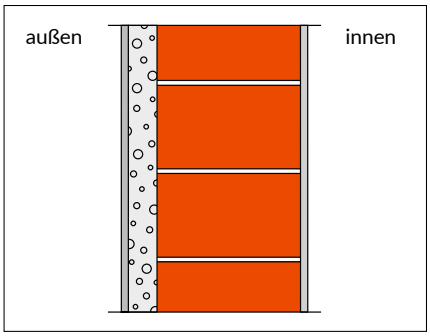
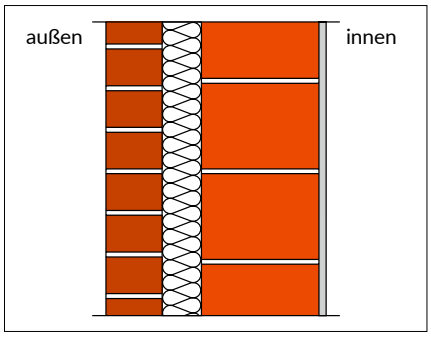


Tabelle 4.2: U-Werte von einschaligem Ziegelmauerwerk mit Wärmedämmputzen

Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K)		U-Wert in [W/(m²·K)]							
		Mauerwerksdicke in mm							
		300		365		425		490	
Mauerwerk	Dämmputz	Dämmputzdicke in mm							
		20	60	20	60	20	60	20	60
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
0,09	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
0,08	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
0,075	0,10	0,23	0,21	0,19	0,18	0,17	0,19	0,15	0,14
	0,06	0,22	0,19	0,19	0,17	0,16	0,15	0,14	0,13
0,07	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





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 [R32] 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 [L11, R17]. Bei einem Schalenabstand > 15 cm sind bauaufsichtlich zugelassene Mauerwerksanker zu verwenden. Der damit verbundene Zuschlag ΔU ist zu beachten (vgl. Kapitel 3.1.2).

Der Zuschlag für Mauerwerkanker, die eine Dämmschicht innerhalb eines zweischaligen Mauerwerks durchdringen, berechnet sich nach [R17] wie folgt:

Tabelle 4.3: U-Werte von zweischaligem Mauerwerk mit Dämmstoff ohne Luftschicht (Kerndämmung). Die Wärmeleitfähigkeit der Vormauerung ist mit 0,68 W/(m·K) angenommen.

Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K)		U-Wert in W/(m²·K)					
		Mauerwerksdicke der Innenschale in mm					
		175			240		
Mauerwerk (Innenschale)	Dämmstoff	Dämmstoffdicke in mm					
		80	140	200	80	140	200
0,96 / 0,81	**0,035** **0,025**	0,35 0,27	0,22 0,16	0,16 0,12	0,34 0,26	0,22 0,16	0,16 0,12
0,58	**0,035** **0,025**	0,34 0,26	0,21 0,16	0,16 0,12	0,33 0,25	0,21 0,16	0,15 0,11
0,50	**0,035** **0,025**	0,33 0,26	0,21 0,16	0,16 0,11	0,32 0,25	0,21 0,16	0,15 0,11
0,45	**0,035** **0,025**	0,33 0,25	0,21 0,16	0,15 0,11	0,31 0,24	0,20 0,15	0,15 0,11
0,42	**0,035** **0,025**	0,33 0,25	0,21 0,16	0,15 0,11	0,31 0,24	0,20 0,15	0,15 0,11
0,39	**0,035** **0,025**	0,32 0,25	0,21 0,16	0,15 0,11	0,31 0,24	0,20 0,15	0,15 0,11
0,21	**0,035** **0,025**	0,29 0,23	0,19 0,15	0,14 0,11	0,26 0,21	0,18 0,14	0,14 0,11
0,18	**0,035** **0,025**	0,28 0,22	0,19 0,14	0,14 0,11	0,25 0,20	0,18 0,14	0,13 0,10
0,16	**0,035** **0,025**	0,27 0,21	0,18 0,14	0,14 0,11	0,24 0,20	0,17 0,13	0,13 0,10
0,14	**0,035** **0,025**	0,26 0,21	0,18 0,14	0,14 0,10	0,23 0,19	0,16 0,13	0,13 0,10
0,11	**0,035** **0,025**				0,21 0,17	0,15 0,12	0,12 0,10
0,08	**0,035** **0,025**				0,18 0,15	0,14 0,11	0,11 0,09
0,07	**0,035** **0,025**				0,16 0,14	0,13 0,11	0,11 0,09

$$\Delta U_f = 0{,}8 \cdot \lambda_f \cdot A_f \cdot n_f/d_1 \cdot (R_1/R_{tot})^2 \quad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (22)$$

Für Edelstahlanker kann λ_f = 17 W/(m·K) angesetzt werden.

mit:

λ_f = Wärmeleitfähigkeit des Ankers
A_f = Querschnittsfläche eines Ankers in m²
n_f = Anzahl der Anker je pro m² Fläche
d_1 = Dicke der Dämmschicht in m
R_1 = Wärmedurchlasswiderstand der Dämmschicht
R_{tot} = Gesamt-Wärmedurchlasswiderstand der Wand inklusive Dämmschicht

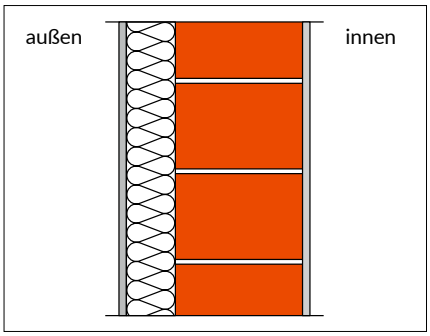
Hinweis

Beträgt die U-Wert-Korrektur U_f für Befestigungselemente weniger als 3 % des berechneten Wärmedurchgangskoeffizienten, kann sie gemäß DIN EN ISO 6946 Abs.6.4 und 6.5 entfallen.

Zusatzgedämmtes Ziegelmauerwerk mit bauaufsichtlich zugelassenen Wärmedämmverbundsystemen (WDVS) kann vor allem im Geschosswohnungsbau bei schlanken Außenwandkonstruktionen eingesetzt werden.

Tabelle 4.4: U-Werte von Ziegelmauerwerk mit Wärmedämmverbundsystem (WDVS). Mögliche Zuschläge durch Verdübelungen auf den U-Wert der Gesamtkonstruktion sind nicht berücksichtigt.

Wärmeleitfähigkeit λ in W/(m·K)		U-Wert in W/(m²·K)					
		Mauerwerksdicke in mm					
		175			240		
Mauerwerk	Dämmstoff	Dämmstoffdicke in mm					
		80	140	200	80	140	200
0,96	0,040 0,035	0,42 0,37	0,26 0,23	0,19 0,16	0,41 0,37	0,25 0,22	0,18 0,16
0,58	0,040 0,035	0,40 0,36	0,25 0,22	0,18 0,16	0,38 0,34	0,24 0,22	0,18 0,16
0,50	0,040 0,035	0,39 0,35	0,25 0,22	0,18 0,16	0,37 0,34	0,24 0,21	0,18 0,16
0,45	0,040 0,035	0,39 0,35	0,24 0,22	0,18 0,16	0,37 0,33	0,24 0,21	0,17 0,16
0,42	0,040 0,035	0,38 0,34	0,24 0,22	0,18 0,16	0,36 0,33	0,23 0,21	0,17 0,15
0,39	0,040 0,035	0,38 0,34	0,24 0,21	0,18 0,16	0,36 0,32	0,23 0,21	0,17 0,15
0,21	0,040 0,035	0,33 0,30	0,22 0,20	0,17 0,15	0,30 0,28	0,21 0,19	0,16 0,14
0,18	0,040 0,035	0,32 0,29	0,21 0,19	0,16 0,15	0,28 0,26	0,20 0,18	0,15 0,14
0,16	0,040 0,035	0,30 0,28	0,21 0,19	0,16 0,14	0,27 0,25	0,19 0,18	0,15 0,13
0,14	0,040 0,035	0,29 0,27	0,20 0,18	0,16 0,14	0,26 0,24	0,18 0,17	0,14 0,13
0,11	0,040 0,035				0,23 0,21	0,17 0,16	0,14 0,12
0,08	0,040 0,035				0,19 0,18	0,15 0,14	0,12 0,11
0,07	0,040 0,035				0,18 0,17	0,14 0,13	0,12 0,11

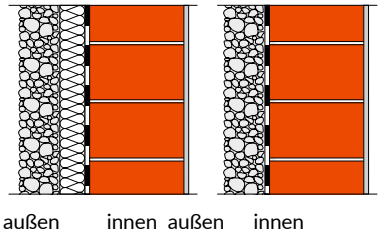


Dabei ist vor allem auf eine schwerere Hintermauerung zu achten, um den Schall- und Lärmschutz im Gebäude sicherzustellen.

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.

Ziegelmauerwerk im Erdreich ist bei sachgerechter Ausführung ohne (siehe Tabelle 4.5) und mit (siehe Tabelle 4.6) zusätzliche Dämmung möglich. Vor allem bei der Nutzung hochwertiger Aufenthaltsräume im Keller kann der hohe Wärmeschutz von Ziegelwänden bei gleichzeitig hoher Tragfähigkeit genutzt werden. Unabdingbar für die Dauerhaftigkeit der Konstruktion ist eine regelgerechte Abdichtung gegen Feuchtigkeit nach DIN 18533 (Bauwerksabdichtung) [R23].



4.2 Innenwände

An Innenwände werden in der Regel keine wärmeschutztechnischen Anforderungen gestellt. Hier ist vor allem der Schallschutz und die Tragfähigkeit von Bedeutung. Befinden sich unbeheizte oder lediglich durch Raumverbund beheizte Räume ohne Heizkörper neben normal temperierten Bereichen, sollten diese Zonen immer in das gesamte beheizte Volumen eingerechnet werden.

4.3 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 ohne Sonderfunktionen, wie z. B. erhöhter Schallschutz oder Sonnenschutz, liegen bei 1,1 W/(m²·K) bei

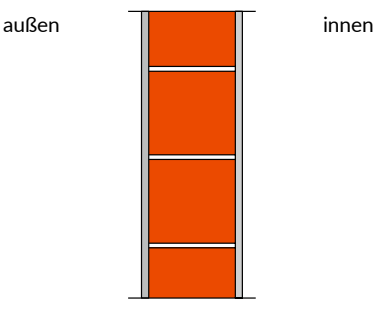


Tabelle 4.5: U-Werte von erdberührten Wänden mit 3-4 mm bituminöser Abdichtung ohne Zusatzdämmung.

Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ in W/(m · K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Mauerwerksdicke in mm			
	300	365	425	490
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

Tabelle 4.6: U-Werte von erdberührten Wänden mit zusätzlicher Perimeterdämmung der Wärmeleitfähigkeit 0,04 W/(m·K)

Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ in W/(m·K)	Mauerwerksdicke in mm	U-Wert in W/(m²·K)		
		Dämmschichtdicke in mm		
		40	60	80
0,33	**300**	0,48	0,39	0,32
	365	0,44	0,36	0,30
0,27	**300**	0,44	0,36	0,30
	365	0,39	0,33	0,28
0,21	**300**	0,38	0,32	0,28
	365	0,34	0,29	0,26
0,18	**300**	0,35	0,30	0,26
	365	0,31	0,27	0,24
0,16	**300**	0,33	0,28	0,25
	365	0,29	0,25	0,22
0,14	**300**	0,30	0,26	0,23
	365	0,27	0,23	0,21

Tabelle 4.7: U-Werte von Innenwänden mit beidseitig je 15 mm Gipsputz

Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks λ in W/(m·K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Mauerwerksdicke in mm			
	115	175	240	300
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
0,27	1,34	1,03	0,83	0,70
0,21	1,15	0,87	0,68	0,57
0,18	1,04	0,77	0,61	0,50
0,14		0,64	0,49	0,41
0,11			0,40	0,33
0,08			0,30	0,25
0,07			0,27	0,22

Zweifach-Wärmeschutzverglasungen mit Gesamtenergiedurchlassgraden g von etwa 0,57. Die Dreischeiben-Wärmeschutzverglasungen warten mit U_g-Werten von bis zu 0,6 W/(m²·K) und entsprechend niedrigeren g-Werten von etwa 0,42 auf.

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 W/(m²·K), ohne dass sich die g-Werte nennenswert verringern. Sonnenschutz- und Schallschutzverglasungen weisen häufig g-Werte unter 0,3 auf und minimale U_g-Werte von etwa 1,0 W/(m²·K). Die vom Hersteller angegebenen Nennwerte der Wärmeleitfähigkeit von Verglasungen U_g und Rahmen U_f sind mit Hilfe der Tabellen 4.8.1 bzw. 4.8.2 in Nennwerte für Fenster U_w zu überführen. Sie gelten für einen Rahmenanteil ≤ 30 %. Gemäß DIN 4108-4 ist der Bemessungswert des Wärmedurchgangskoeffizienten $U_{w,BW}$ gleich dem Nennwert U_w.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der Fenster ergeben sich gemäß DIN EN ISO 10077-1 [R19]. 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/(m²·K), solche mit drei Hohlkammern mit 2,0 W/(m²·K) [R19] anzusetzen. Bei Holzrahmen muss zwischen Hartholz und Weichholz unterschieden werden. Übliche Rahmen-Nenndicken von 66 mm weisen einen U_f-Wert von etwa 2,1 W/(m²·K) für Hartholz und 1,8 W/(m²·K) für Weichholz auf.

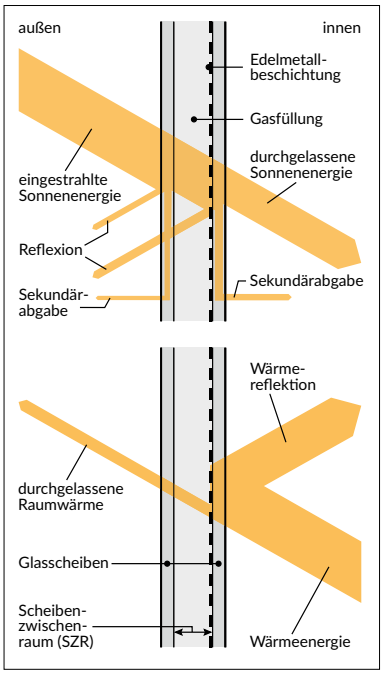


Bild 4.1: Wärmedurchgang durch ein Fenster mit Wärmeschutzverglasung (schematische Darstellung)

Tabelle 4.8.1: Wärmedurchgangskoeffizienten U_w von Fenstern und Fenstertüren in Abhängigkeit vom Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung U_g und des Rahmens U_f nach [R19]

	U_g in W/(m²·K)	U_f-Wert in W/(m²·K)								
		1,0	1,4	1,8	2,2	2,6	3,0	3,4	3,8	7,0
Einfachverglasung	**5,7**	4,3	4,4	4,5	4,6	4,8	4,9	5,0	5,1	6,1
2-fach Isolierverglasung	**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

Tabelle 4.8.2: Wärmedurchgangskoeffizienten U_w von Fenstern und Fenstertüren in Abhängigkeit vom Wärmedurchgangskoeffizienten der Verglasung U_g und Rahmen U_f nach [R19]

	U_g in W/(m²·K)	U_f-Wert in W/(m²·K)								
		1,0	**1,4**	**1,8**	**2,2**	**2,6**	**3,0**	**3,4**	**3,8**	**7,0**
3-fach Isolierverglasung	**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

Tabelle 4.8.3: Gesamtenergiedurchlassgrad und Lichttransmissionsgrad in Abhängigkeit der Konstruktionsmerkmale der Verglasung [R9] und des Wärmedurchgangskoeffizienten

Kontruktionsmerkmale der Glastypen	**Anhaltswerte für die Bemessung**			
	U_g in W/(m²·K)	**$g_\perp$**	**τ_e**	**τ_V**
Einfachglas	5,8	0,87	0,85	0,90
Zweifachglas mit Luftfüllung, ohne Beschichtung	2,9	0,78	0,73	0,82
Dreifachglas mit Luftfüllung, eine Beschichtung	2,0	0,70	0,63	0,75
Wärmedämmglas zweifach mit Argonfüllung, ohne Beschichtung	1,7 1,4 1,2 1,1	0,72 0,67 0,65 0,60	0,60 0,58 0,54 0,52	0,74 0,78 0,78 0,80
Wärmedämmglas dreifach mit Argonfüllung, zwei Beschichtungen	0,8 0,7	0,60 0,50	0,50 0,39	0,72 0,69
Sonnenschutzglas zweifach mit Argonfüllung, eine Beschichtung	1,3 1,2 1,2 1,1 1,1	0,48 0,37 0,25 0,36 0,27	0,44 0,34 0,21 0,33 0,24	0,59 0,67 0,40 0,66 0,50
Sonnenschutzglas dreifach mit Argonfüllung, zwei Beschichtungen	0,7 0,7	0,24 0,24	0,21 0,29	0,45 0,63

Insbesondere der Einsatz von Dreifach-Verglasungen erfordert häufig dickere Rahmenkonstruktionen als in der Vergangenheit. Werden hier die Nenndicken von z. B. 95 mm eingesetzt, ist mit U_f = 1,8 W/(m²·K) für Hartholz und 1,55 W/(m²·K) für Weichholz zu rechnen.

Metallrahmen ohne thermische Trennung müssen mit einem U_f-Wert von 5,9 W/(m²·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/(m²·K).

Lichtkuppeln weisen nach DIN 4108-4 U_w-Werte von 2,7 W/(m²K) für 2-schalige und 1,8 W/(m²·K) für 3-schalige Ausführungen auf.

Die Aufstellung einer Energiebilanz unter Berücksichtigung der Tageslichtversorgung sowie der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes macht die Kenntnis der in Tabelle 4.8.3 dargestellten lichttechnischen Kennwerte und der Gesamtenergiedurchlassgrade erforderlich. Der Wert $g_\perp$ beschreibt den Gesamtenergiedurchlassgrad bei senkrechtem Strahlungseinfall des Sonnenlichtes. Der Lichttransmissionsgrad τ_e beschreibt den Anteil der durch die Verglasung einfallenden Solarstrahlung (durchgelassene Sonnenenergie gemäß Bild 4.1). Der Wert τ_V beschreibt den Transmissionsgrad des senkrechten Lichteinfalls des sichtbaren Lichts. Bei den Zahlenwerten handelt es sich um Anhaltswerte, die von den herstellerspezifischen Angaben abweichen können.

4.4 Dächer

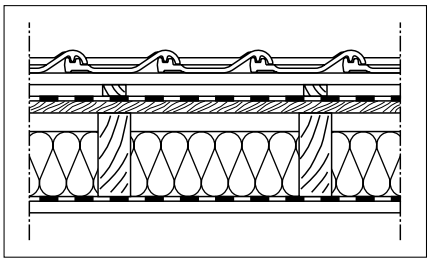
Besonders wirtschaftlich ist es, insbesondere die Dachflächen als die höchstgedämmten Bauteile auszuführen. Neben den zimmermannsmäßig ausgebildeten, vollsparrengedämmten Systemen werden Massivdächer mit zusätzlicher, oben aufliegender Dämmung sowie selbsttragende Systemdächer aus extruder- oder hartgeschäumten Kunststoffen eingesetzt. Die Dächer erreichen bei Dämmschichtdicken von 20 cm unter Berücksichtigung der Wärmebrückeneffekte der Tragkonstruktion U-Werte von etwa 0,2 W/(m²·K). Werden zusätzliche Dämmschichten als sogenannte Untersparrendämmung aufgebracht oder erfolgt eine Aufsparrendämmung, 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 Daches ist der Luftdichtheit besondere Aufmerksamkeit zu widmen (siehe hierzu Kapitel 6).

Die folgenden Tabellen 4.9 bis 4.12 mit Aufbauten geneigter Dächer geben jeweils die U-Werte im Bereich der Sparren und im Gefachbereich wieder.

Die Tabellen 4.13 und 4.14 beinhalten die U-Werte von Flachdächern mit zwei verschiedenen Dämmsytemen. 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 4.9: U-Werte im Sparren-/Gefachbereich von Dächern mit Zwischensparrendämmung und zusätzlicher Belüftungsebene, raumseitig ist eine 12,5 mm dicke Gipskartonplatte angenommen

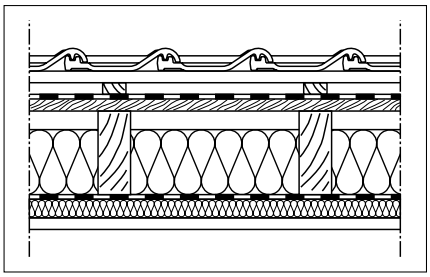
Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten bzw. des Holzsparren in W/(m·K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Dicke der Dämmschicht/wirksame Sparrenhöhe in mm			
	180	200	220	240
0,035	0,18	0,16	0,15	0,14
0,13	0,55	0,51	0,47	0,44



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 %.

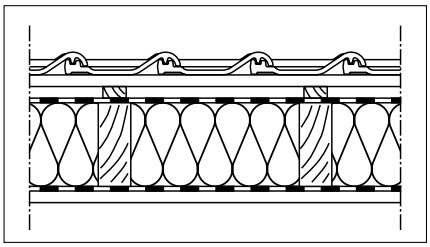
Die Ermittlung von U-Werten nach DIN EN ISO 6946 ermöglicht die Berücksichtigung der Wärmebrückenwirkung von Sparren und Gefach (s. Kapitel 3.1.2).

Tabelle 4.10: U-Werte im Sparren-/Gefachbereich von Dächern mit Zwischensparrendämmung und zusätzlicher Belüftungsebene und 4 cm Untersparrendämmung der WLG 040, raumseitig ist eine 12,5 mm dicke Gipskartonplatte angenommen



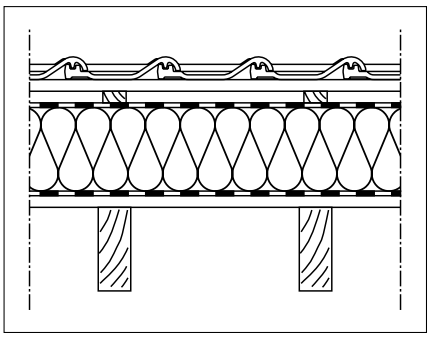
Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten bzw. des Holzsparren und der Untersparrendämmung in W/(m·K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Dicke der Dämmschicht/wirksame Sparrenhöhe in mm			
	180	200	220	240
0,035/0,04	0,16	0,14	0,13	0,12
0,13/0,04	0,38	0,36	0,34	0,32

Tabelle 4.11: U-Werte im Sparren-/Gefachbereich von Dächern mit Vollsparrendämmung, raumseitig ist eine 12,5 mm dicke Gipskartonplatte angenommen



Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten bzw. des Holzsparren in W/(m·K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Dicke der Dämmschicht/wirksame Sparrenhöhe in mm			
	180	200	220	240
0,035	0,18	0,16	0,15	0,14
0,13	0,56	0,52	0,48	0,45

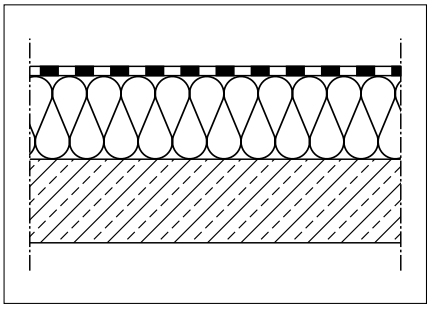
Tabelle 4.12: U-Werte von Dächern mit Aufsparrendämmung, raumseitig ist eine 20 mm dicke Holzschalung angenommen*



Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in W/(m·K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Dicke der Dämmschicht in mm			
	180	200	220	240
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 4.13: U-Werte von massiven Warmdächern mit Dämmung unterhalb der Dachhaut, der massive, tragende Aufbau ist aus Beton mit d = 20 cm und mit λ = 2,1 W/(m·K) angerechnet worden



Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in W/(m·K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Dicke der Dämmschicht in mm			
	180	200	220	240
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

4.5 Decken, Fußböden

Die Temperaturdifferenz zwischen z. B. unbeheizten Kellerräumen und vollbeheizten Bereich oder auch über einer 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 Dämmstoffstärken 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 reduziert neben den flächigen Transmissionswärmeverlusten die Wärmebrückenverluste von aufgehenden Wänden und ggf. der Fundamente. Dämmstoffe mit hoher zulässiger Flächenpressung sind ein geeignetes Mittel, kostengünstige Dämm-Maßnahmen im Bereich nicht unterkellerter Gebäude zu realisieren. Die U-Werte keller- oder erdberührter Bauteile brauchen aus den zuvor genannten Gründen in der Regel nicht niedriger als 0,3 W/(m²·K) zu sein, was einer Dämmstoffdicke von insgesamt etwa 12 cm entspricht.

In den Tabellen 4.15 und 4.16 sind die U-Werte typischer Deckenaufbauten gegen Außenluft und wärmegedämmter Bodenplatten aufgeführt.

Tabelle 4.15: U-Werte von Geschossdecken aus Stahlbeton mit 5 cm schwimmendem Zementestrich

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in W/(m·K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Gesamtdicke der Dämmschichten in mm			
	60	80	100	120
0,040 0,035	0,51 0,46	0,41 0,36	0,34 0,30	0,29 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

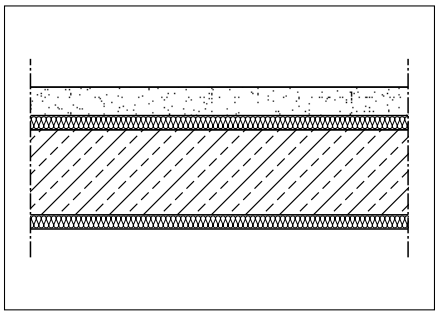
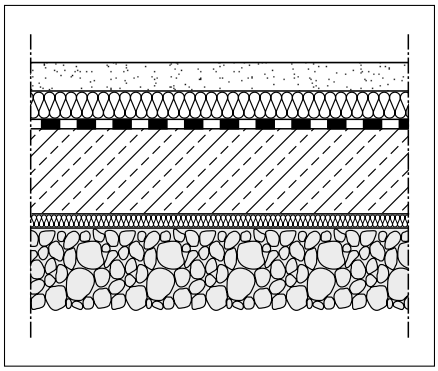


Tabelle 4.16: U-Werte von Bodenplatten auf Erdreich aus Stahlbeton mit 5 cm schwimmendem Zementestrich

Wärmeleitfähigkeit λ der Dämmschichten in W/(m·K)	U-Wert in W/(m²·K)			
	Gesamtdicke der Dämmschichten in mm			
	60	80	100	120
0,040 0,035	0,56 0,50	0,44 0,39	0,36 0,32	0,30 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



5. Wärmebrücken

5.1 Vorbemerkungen

In den letzten Jahren sind viele Wärmebrückenkataloge entstanden, die an prägnanten Bauanschlussdetails die Temperaturverhältnisse und Wärmeverluste aufzeigen. Berechnet werden diese Werte mit numerischen Rechenverfahren unter Verwendung der DIN EN ISO 10211 „Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen“ [R24]. Die als Planungshilfe und Konstruktionsleitfaden zu verstehende Norm DIN 4108 Beiblatt 2 „Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele” [R7] wurde zuletzt im Jahr 2019 überarbeitet und umfassend ergänzt. Das Beiblatt 2 beinhaltet insgesamt 399 Anschlussdetails, die als Planungsempfehlung in zwei wärmetechnische Kategorien eingestuft werden. Zum einen ist das Kategorie A, zu verstehen als Standard-Ausführung eines Anschlussdetails und verbunden mit einem pauschalen Wärmebrückenzuschlag von 0,05 W/(m^2·K), zum anderen ist das Kategorie B, unter der eine gegenüber der Kategorie A verbesserte Anschlusssituation zu verstehen ist. Kategorie B steht für einen Wärmebrückenzuschlag von 0,03 W/(m^2·K). 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 „Ziegel Wärmebrückenkatalog 5.0“ [L1] besonders wärmebrückenarmer und gängiger Konstruktionen mit den dazugehörigen Nennwerten erstellt. Diese Arbeitshilfe steht als PDF-Katalog sowie als Online-Tool mit erweiterten Funktionen für die Nachweisführung für Planer unter https://wb.ax3000-group.de/home kostenfrei zur Verfügung.

5.2 Geometrische Wärmebrücken

Geometrische Wärmebrücken 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 Außenwandecke (siehe Bild 5.1). 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 Außenwandecken, die meist mit gleichbleibender Wanddicke und gleichbleibendem Material bestehen, bildet sich ein exakt symmetrischer Wärmestrom und Oberflächentemperaturverlauf.

5.3 Materialbedingte Wärmebrücken

In Bereichen eines Gebäudes, in denen verschiedene Materialien mit unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit aufeinandertreffen, entstehen laterale Wärmeströme, die nicht mehr nur senkrecht von Oberfläche zu Oberfläche gerichtet sind. Es entsteht ein Wärmestromverlauf, der seine Richtung in Abhängigkeit der verschiedenen Materialstärken und -wärmeleitfähigkeiten ändert (siehe Bild 5.2). Die Berechnung dieser Temperatur- und Wärmestromverläufe erfordert einen enormen rechnerischen Aufwand. Materialbedingte Wärmebrücken treten an fast allen Bauteilverbindungen des Hochbaus auf, da zu verbindende Bauteile so gut wie immer aus verschiedenen Materialien bestehen. Weiterhin treten in der Praxis häufig Wärmebrücken auf, die eine Kombination aus geometrischen und materialbedingten Wärmebrücken darstellen. Die dadurch bedingten lateralen Wärmeströme treten auch innerhalb wärmedämmender Hochlochziegel auf und sind im Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks berücksichtigt. Die inneren ziegelspezifischen Einflüsse des Wärmetransports an Wärmebrücken können daher vernachlässigt werden und sind gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 nicht gesondert zu berücksichtigen.

5.4 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 erheblichen konvektiven Feuchteeintrag in die Konstruktion. Da warme, Feuchtigkeit enthaltende Raumluft beim Durchströmen einer Wärmedämmung abkühlt und Tauwasser ausfällt, führt dies häufig zu Bauschäden [L12].

5.5 Zusätzliche Wärmeverluste

Die nach DIN V 18599-2 zusätzlich zu berücksichtigenden Wärmeverluste durch Wärmebrücken lassen sich als Zuschlag des Wärmedurchgangskoeffizienten ΔU_{WB} mit Hilfe der auf die Längen der Außenmaße bezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_e [W/(m·K)] wie folgt errechnen:

$$\Delta U_{WB} = \Sigma (l \cdot \Psi_e)/A \qquad [W/(m^2 \cdot K)] \quad (23)$$

mit:

Ψ_e = längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient der Wärmebrücke [W/(m·K)]
l = Länge der Wärmebrücke [m]
A = wärmetauschende Hüllfläche (des Gebäudes) [m^2]

In der Regel werden die Wärmeverluste der wärmeübertragenden 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 zusätzliche Wärmeverluste. Die mittige Lage des Fensters in der Außenwand führt in der Regel zu den geringsten Zusatzverlusten.

2. 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 zu werden.

3. 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 Geschossdeckenauflager an den Außenwänden, die sich allerdings insbesondere in Mehrgeschossbauten zu erheblichen Längen aufsummieren. Daher ist eine wärmebrückenarme Ausführung erforderlich.

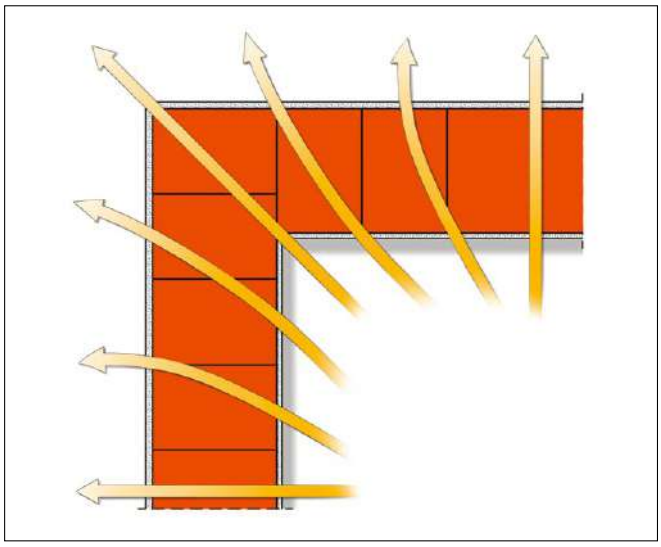


Bild 5.1: Wärmestromverlauf durch eine zweidimensionale, monolithische Außenwandecke

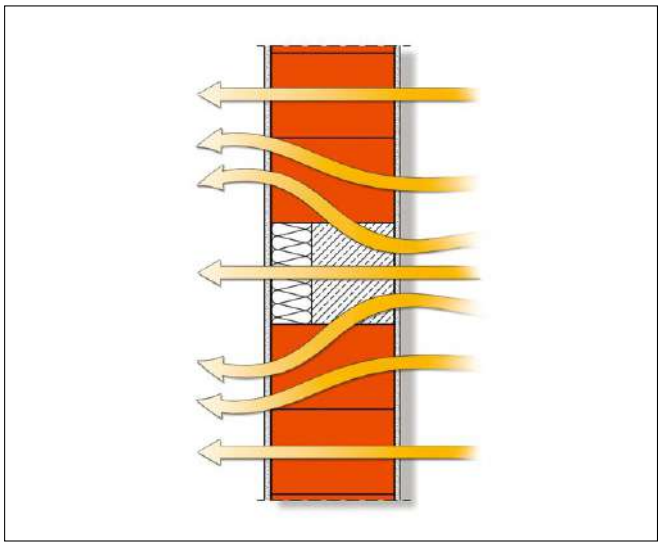


Bild 5.2: Wärmestromverlauf in einem aus zwei nebeneinander liegenden Bereichen zusammengesetzten Außenbauteil

4. Die Dachanschlüsse werden in den verschiedensten Ausführungen umgesetzt, so dass allgemeingültige Angaben von Zusatzverlusten kaum möglich sind.

5. Bei Vorhandensein von Tiefgaragen entstehen durch den erweiterten Umfang nachweispflichtiger Details erhebliche Zusatzverluste, die bereits in der Planungsphase eines Gebäudes aufmerksam beachtet werden sollten.

Die nachfolgende Tabelle 5.1 zeigt die Spannweite der wichtigsten außenmaßbezogenen Ψ_e-Werte, die nach DIN V 18599-2 zu berücksichtigen sind.

Tabelle 5.1: Bandbreite der längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_e verschiedener gängiger Bauteilanschlüsse im Massivbau

Bauteilanschluss	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ_e [W/(m·K)]	
	minimal	maximal
Außenwandecke	-0,20	-0,05
Fensteranschluss – Laibung	0,00	0,12
Fensteranschluss – Brüstung	0,03	0,11
Fensteranschluss – Sturz	-0,01	0,23
Geschossdeckenauflager	0,00	0,12
Kellerdeckenauflager	-0,10	0,26
Dachanschluss – Traufe	-0,11	0,09
Dachanschluss – Ortgang	-0,04	0,10
Innenwand über Tiefgarage	0,20	0,80

5.6 Einfluss auf den Heizwärmebedarf

Der Einfluss der Wärmebrücken auf den Heizwärmebedarf lässt sich nach Kenntnis der zuvor genannten Größen berechnen. Nach DIN V 18599-2 und GEG §24 ergeben sich die folgenden Möglichkeiten zur Berücksichtigung von Wärmebrücken in einer energetischen Bilanzierung:

a) Berücksichtigung durch Erhöhung des spezifischen Transmissionswärmeverlustes H'_T um ΔU_{WB} = 0,1 W/(m²·K) für die gesamte wärmeübertragende Umfassungsfläche (Pauschalwert ohne Nachweisführung).

b) bei Anwendung von Planungsbeispielen der Kategorie A nach DIN 4108 Beiblatt 2: Erhöhung von H'_T um ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²·K), (pauschal mit Gleichwertigkeitsnachweis).

c) bei Anwendung von Planungsbeispielen der Kategorie B nach DIN 4108 Beiblatt 2: Erhöhung um ΔU_{WB} = 0,03 W/(m²·K), pauschal mit Gleichwertigkeitsnachweis).

d) durch Korrekturzuschlag bei von Kategorie A oder B abweichenden Wärmebrücken nach DIN 4108 Beiblatt 2 Anhang C.

e) durch genauen Nachweis der Wärmebrückenverluste nach DIN V 18599-2 in Verbindung mit anerkannten Regeln der Technik.

f) bei Bestandsgebäuden, an denen > 50 % der Außenwände mit einer Innendämmung versehen sind, beträgt ΔU_{WB} = 0,15 W/(m²·K).

Bild 5.3 zeigt beispielhaft Wärmebrücken, die in der Energiebilanz zu berücksichtigen sind. Werden die Wärmebrückeneffekte im Einzelnen nachgewiesen, müssen nach DIN V 18599-2 mindestens folgende Details rechnerisch berücksichtigt werden:

- Gebäudekanten
- Sockelanschlüsse
- Fenster- und Türanschlüsse (umlaufend)
- Wand- und Deckeneinbindungen
- Deckenauflager
- wärmetechnisch entkoppelte Balkonplatten
- obere und untere Gebäudeabschlüsse

Die Gebäudekanten, also insbesondere Außenecken, bedingen in der Regel negative längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten. Fenster- und ggf. Tiefgaragenanschlüsse bewirken den höchsten Wärmebrückenanteil an einem Gebäude und sind daher besonders sorgfältig zu optimieren.

Die Deckenauflager der Geschossdecken summieren sich bei mehrgeschossigen Gebäuden zu erheblichen Gesamtlängen. Dabei ist zu beachten, dass im Bereich der Fensterstürze / Rollladenkästen diese Deckenanschlusslängen nicht aufsummiert werden, da deren Wärmebrückeneffekte in denen der Fensteranschlüsse bereits berücksichtigt sind. Drahtanker in zweischaligem Mauerwerk und Dübel in Wärmedämmverbundsystemen brauchen in der Regel nicht berücksichtigt zu werden (s. Kapitel 4.1)

6. Luftdichtheit und Lüftung

6.1 Einleitung

Die Luftdichtheit der Außenhülle eines Gebäudes ist ein Qualitätsmerkmal und ein wesentlicher Vorteil des Massivbaus. Neben der Schadensfreiheit und vor dem Hintergrund der Energieeinsparung werden ein hoher thermischer Komfort erreicht, ein sehr guter 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

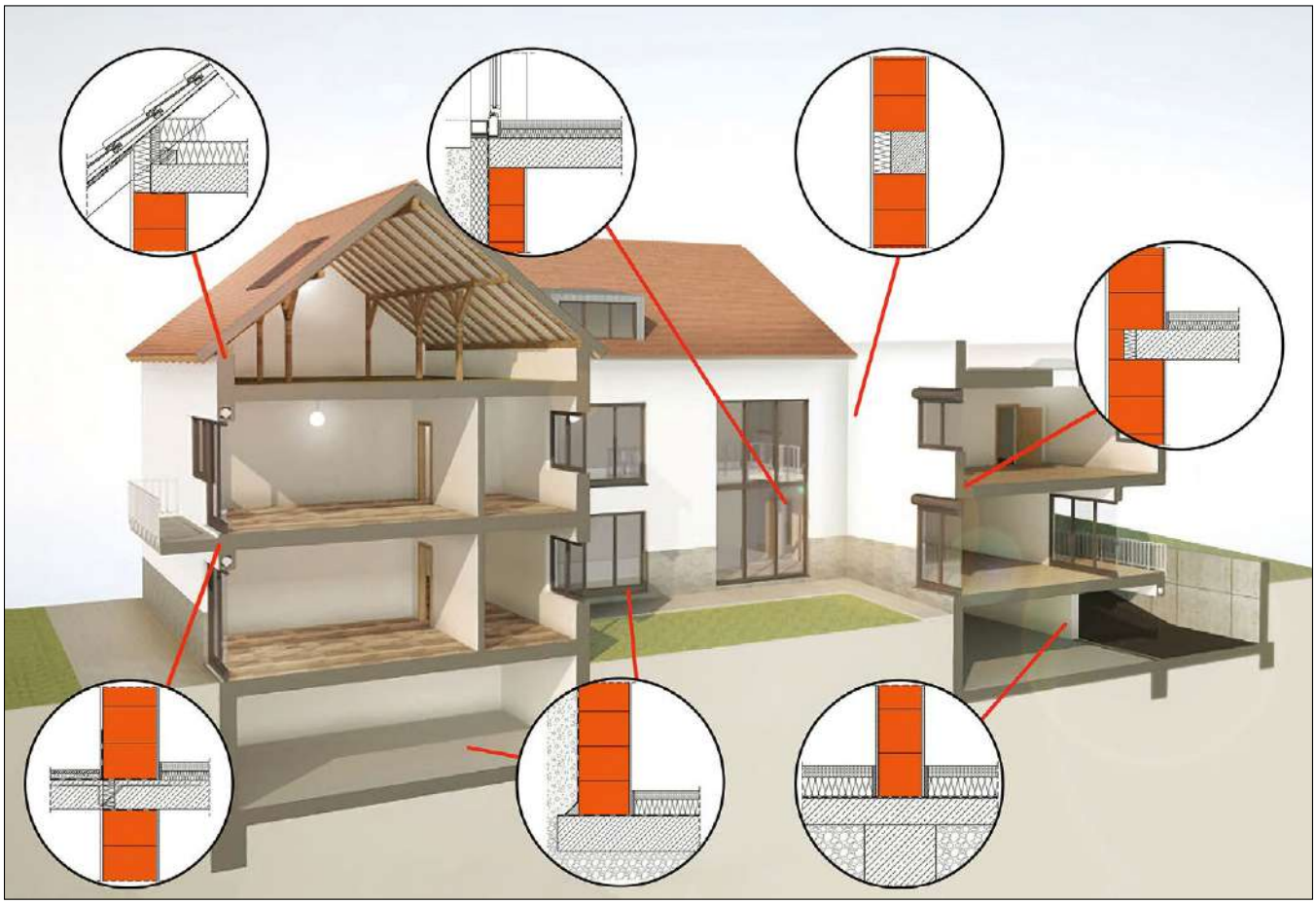


Bild 5.3: Übersicht wichtiger Anschlusssituationen für Wärmebrückendetails im Ziegel Wärmebrückenkatalog 5.0

hochwärmegedämmten Bauteile eine besonders große Bedeutung zu. So sind insbesondere nicht ausreichend luftdichte und hochwärmegedämmte Dächer durch konvektiven Feuchteeintrag stark gefährdet.

Neben der Luftdichtheit der Gebäudehülle besteht gleichermaßen die Forderung, einen ausreichenden Außenluftwechsel zur Sicherstellung der hygienischen Raumluftfeuchte zu ermöglichen. Während der Abwesenheit der Bewohner kann bei geschlossenen Fenstern beispielsweise ein Mindestluftwechsel zum Feuchteschutz nur über Undichtheiten der Gebäudehülle, dem sog. Infiltrationsluftwechsel, ermöglicht werden. Eine Berechnung dieser Mindestluftwechsel über Undichtigkeiten kann mit dem in DIN V 18599-2 hinterlegten Verfahren erfolgen.

6.2 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 h^{-1} betragen. Berücksichtigt man eine durchschnittliche Wohn- bzw. Nutzfläche von 35 m^2 pro Person, ergibt sich bei lichten Raumhöhen von 2,4 m ein Wert von über 40 $m^3/(pers \cdot h)$, der die Anforderungen der DIN 1946-6 [R25] an intensiv genutzte Wohn- und Aufenthaltsräume mit einem personenbezogenen Mindestluftwechsel von 30 $m^3/(pers \cdot h)$ 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 h^{-1} bei sehr dichten und 0,3 h^{-1} bei weniger dichten Gebäuden.

Tabelle 6.1: Lageabhängige Windschutzkoeffizienten von Räumen gemäß [R10]

Lage	Windschutzkoeffizient e_{wind}	
	mehr als eine, dem Wind ausgesetzte, Fassade	eine, dem Wind ausgesetzte Fassade
frei	0,10	0,03
halbfrei	0,07	0,02
geschützt	0,04	0,01

Soll im Rahmen eines Lüftungskonzeptes der über die Gebäudeundichtigkeiten mögliche Luftwechsel rechnerisch ermittelt werden, wird dazu der n_{50}-Messwert oder der Prognosewert aus der Blower-Door-Prüfung herangezogen. Die folgenden Gleichungen gemäß [R5] ergeben den Infiltrationsluftwechsel in Abhängigkeit der Windschutzkoeffizienten e_{wind} = 0,07 und der Ausstattung des Gebäudes mit oder ohne Außenbauteil-Luftdurchlässe (ALD), wie z. B. Fensterfalzlüftern.

$$n_{inf} = n_{50} \cdot 0{,}07 \cdot f_{ATD} \quad [1/h] \ (24)$$

mit:

n_{50} = Luftwechselzahl aus Blower-Door-Messung
f_{ATD} ohne ALD = 1,0
mit ALD =
min (16; $(n_{50} + 1{,}5)/n_{50}$)

Hinweis

DIN 4108-7 [R12] fordert, dass bei Durchführung eines Blower-Door-Tests der gemessene n_{50}-Wert 3,0 h^{-1} bei fenstergelüfteten und 1,5 h^{-1} bei mit Lüftungsanlagen ausgestatteten Gebäuden nicht überschreitet. Darauf wird auch im GEG § 26 deutlich hingewiesen. Da die Norm im engen Zusammenhang mit der bauordnungsrechtlich eingeführten DIN 4108-2 [R6] steht, darf davon ausgegangen werden, dass im Neubaubereich diese zuvor genannten Grenzwerte eingehalten werden **müssen**. Dies kommt einer Qualität mittlerer Art und Güte gleich und muss als geschuldete Eigenschaft angesehen werden.

6.3 Prüfung der Luftdichtheit

Die Definition der ausreichenden Luftdichtheit eines Gebäudes erfolgt in DIN 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 [R26]. Dies entspricht dem Winddruck einer senkrecht angeströmten Fläche bei einer Windgeschwindigkeit von etwa 9 m/s ≈ 30 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.

6.4 Luftdichtheitskonzept

Zum Erzielen einer luftdichten Gebäudehülle ist möglichst schon in der Entwurfsphase, aber 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 bei ausgebauten Dachgeschossen mit Pfettendach und Kehlgebälk ist aufgrund der Vielzahl der konstruktionsbedingten Durchstoßpunkte darauf zu achten. Von besonderer Bedeutung im Mauerwerksbau ist die Sicherstellung der Luftdichtheit bei unverputzten Mauersteinen mit unvermörtelten Stoßfugen. Dies gilt z. B. im Bereich von Vorwandinstallationen an zweischaligen Haustrennwänden oder an zusatzgedämmten Außenwänden. Hinweise zur sicheren Ausführung enthält z. B. [L13]. Eine Übersicht der kritischen Details und deren sachgerechte Ausführung gibt auch die DIN 4108-7 [R12].

Hinweis

Im Ziegel-Massivbau gilt, dass nassverputztes Mauerwerk mit mindestens einer verputzten Oberfläche grundsätzlich luftdicht ist; siehe DIN 4108-7 und DIN 4108-3. Demgegenüber muss bei Holzbauteilen generell eine zusätzliche Luftdichtheitsschicht angebracht werden [R8 + R12].

Bild 6.1 auf Seite 40 zeigt die wesentlichen Anschlusspunkte, die im Rahmen der Detailplanung zu beachten sind. Zusammen mit den Anmerkungen in Tabelle 6.1 läßt sich daraus ein umfassendes Luftdichtheitskonzept für die Ausführung ableiten.

6.5 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 6.2).

6.6 Lüftungskonzept

Nahezu gegensätzlich zum Luftdichtheitskonzept besteht die Forderung nach einem Lüftungskonzept. Dieses wird bislang ausschließlich in der DIN 1946-6 definiert und beschrieben. Die Norm stellt Anforderungen an die Planung, die Ausführung und Inbetriebnahme, den Betrieb und die Instandhaltung von notwendigen Lüftungs-Komponenten und Geräten im Wohnungsbau. Gleichzeitig dient sie zur Planung und Dimensionierung für Einrichtungen zur freien Lüftung und für ventilatorgestützte Lüftungssysteme unter Berücksichtigung bauphysikalischer, lüftungstechnischer, hygienischer sowie energetischer Gesichtspunkte. Sie legt sowohl für die freie Lüftung als auch für die ventilatorgestützten Lüftungssysteme ein Kennzeichnungsschema fest.

Bislang ist diese Norm bauordnungsrechtlich nicht eingeführt und in den Architektenkreisen und bei Bauplanenden nicht sehr bekannt. Insbesondere bei besonders luftdicht ausgeführten Gebäuden mit niedrigen Grenzwerten n_{50} eines Blower-Door-Testes führt die Berechnung der nach dieser Norm erforderlichen Luftmengen häufig zu der Notwendigkeit einer maschinellen Lüftung und verdrängt damit die nutzerabhängige Fensterlüftung.

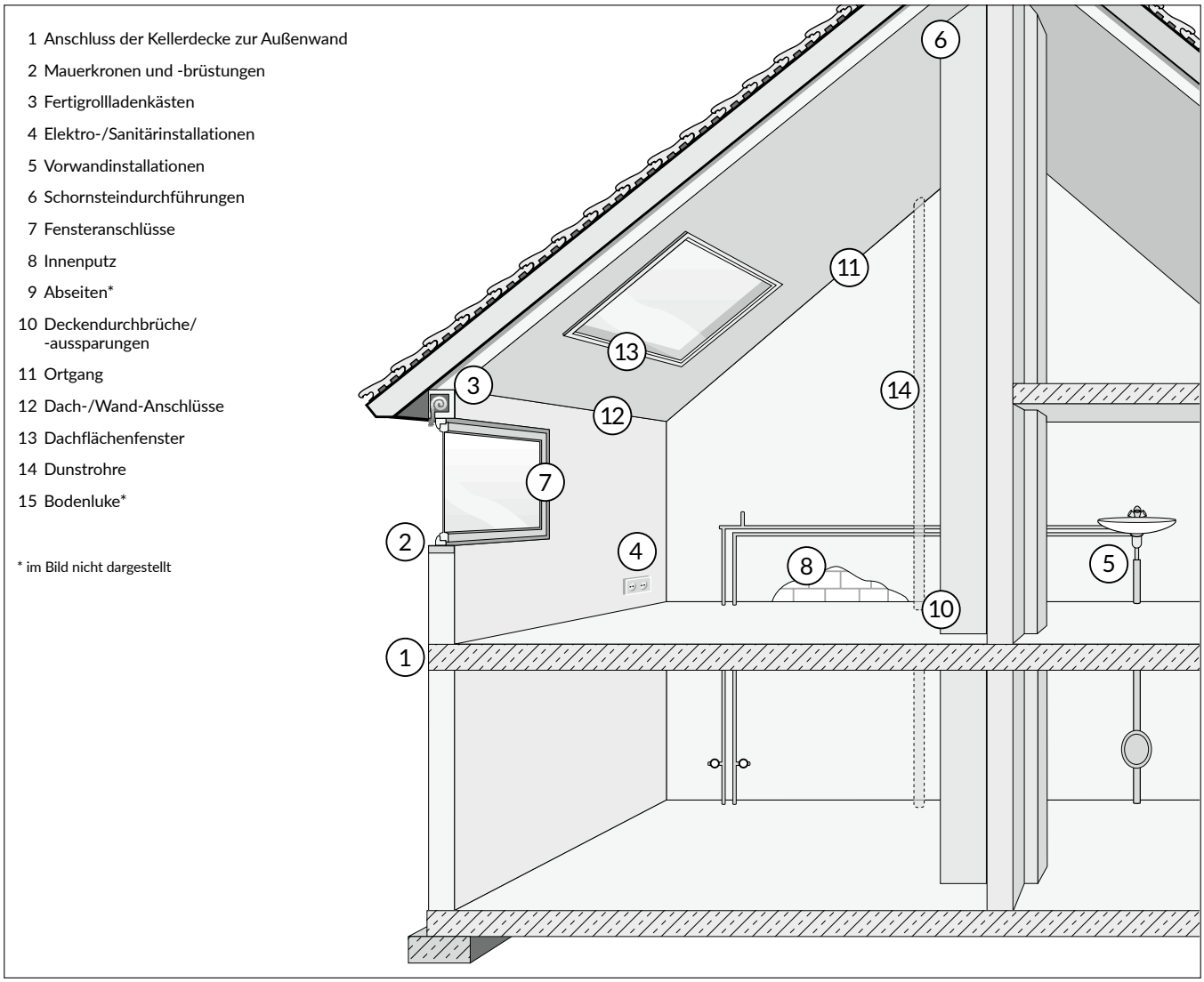


Bild 6.1: Übersicht typischer Details, deren luftdichte Ausführung besonders zu beachten ist

Zur überschlägigen Überprüfung der Notwendigkeit lüftungstechnischer Maßnahmen in Neubauten gemäß GEG kann der erforderliche Luftvolumenstrom für den Feuchteschutz innerhalb einer Wohneinheit nach folgender Gleichung gemäß DIN 1946-6 berechnet werden:

$$q_{v,ges,NE,FL} = f_{ws} \cdot (-0{,}002 \cdot A_{NE}^2 + 1{,}15 \cdot A_{NE} + 11) \quad [m^3/h] \; (25)$$

mit:

f_{ws} = 0,2 bzw. 0,3
A_{NE} = Fläche der Nutzungseinheit in m^2

Der Faktor f_{ws} als Standardwert zur Berücksichtigung des Wärmeschutzes und der Belegungsdichte einer Wohneinheit beträgt 0,2 bei Wohnflächenanteilen von mindestens 40 m^2 pro Person. Bei höherer Belegung, d.h. geringeren Wohnflächenanteilen pro Bewohner, steigt der Wert auf 0,3. Bei geringerem Wärmeschutz, z. B. bei Bestandsgebäuden, steigt der Faktor weiter bis auf 0,4. Aus dem erforderlichen Luftvolumenstrom lässt sich mithilfe der folgenden Gleichung eine Luftwechselzahl n_{FL} errechnen, die mit dem bekannten Zahlenwert des Infiltrationsluftwechsels n_{inf} gemäß Formel (24) verglichen werden kann.

$$n_{FL} = q_{v,ges,NE,FL}/(A_{NE} \cdot 2{,}5\ m) \quad [h^{-1}] \ (26)$$

Übersteigt der zur Feuchteabfuhr notwendige Luftwechsel n_{FL} nach Formel (26) den Wert des vorhandenen Infiltrationsluftwechsel, sind weitergehende lüftungstechnische Maßnahmen angeraten.

Hinweis

Soll bei Einbau besonders dichter Fenster in eine ebenso dichte Gebäudehülle eine möglichst nutzerunabhängige Lüftungsmöglichkeit gegeben sein, bietet es sich an, sämtliche Fenster einer Wohnung mit sog. Fensterfalzlüftern in deren Blendrahmen auszustatten. Diese sorgen in Abhängigkeit des Winddrucks und -sogs für eine permanente aber ausreichend geringe Belüftung der angeschlossenen Räume. Maßnahmen wie diese sind jedoch in der gängigen Praxis umstritten und sollten je nach Anwendungsfall sorgfältig auf ihre Sinnhaftigkeit, z.B. im Hinblick auf den zusätzlichen Energieverlust, überprüft werden.

Tabelle 6.2: Schwachpunkte im Bereich der Luftdichtheitsschicht und mögliche Gegenmaßnahmen

Rohbauphase	Detail	Maßnahme
1.	Anschluss der Kellerdecke zur Außenwand	Außenwände vollflächig ohne Überstand aufsetzen
2.	Mauerkronen und -brüstungen	mit oberseitigem Mörtelabgleich versehen
3.	Fertigrollladenkästen	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 zu spachteln
6.	Schornsteindurchführungen	Ausstopfen und dauerelastisch verschließen
Ausbauphase		
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 Drempel 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

7. Anlagentechnik

7.1 Allgemeines

Die heute überwiegend eingesetzten Warmwasser-Zentralheizungen zeichnen sich durch eine hohe Vielfalt an Ausführungsvarianten aus. Luftheizungen finden im Wohnungsbau keine nennenswerte Verbreitung. Auch künftig werden sie sicherlich nur bei Einsatz von mechanischen Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung als zusätzliche Unterstützung einer Beheizung mit statischen Heizflächen dienen. 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 insbesondere Elektro-Speicherheizungen könnten zwar in Verbindung mit regenerativer Stromerzeugung eine Alternative zu Warmwasserheizungen darstellen, scheitern aber häufig an den erforderlichen Speicherkapazitäten. Grund dafür ist, dass Energiebedarf und Energieangebot zeitverschoben auftreten und dann ein Netzbetrieb mit relativ hohem Primärenergieeinsatz und hohen Energiekosten einhergeht.

Der Einsatz von elektrisch betriebenen Wärmepumpen wird von der Bundesregierung als besonders effiziente Lösung favorisiert. Dies wird begründet aus einer hohen Nutzung der unbegrenzt verfügbaren regenerativen Umweltenergie z. B. aus Luft, Erdreich und dem zunehmend höheren Anteil regenerativ erzeugten elektrischen Stroms im deutschen Stromnetz. Für die Nutzer dieser strombasierten Wärmeerzeugungstechnik ist allerdings zu bedenken, dass voraussichtlich stetig steigende Stromkosten zu einer unbefriedigenden Wirtschaftlichkeit dieser Heiztechnik führen können.

Der Einsatz besonders umweltfreundlicher Energieträger, wird auf Grund der hohen Investitionskosten der

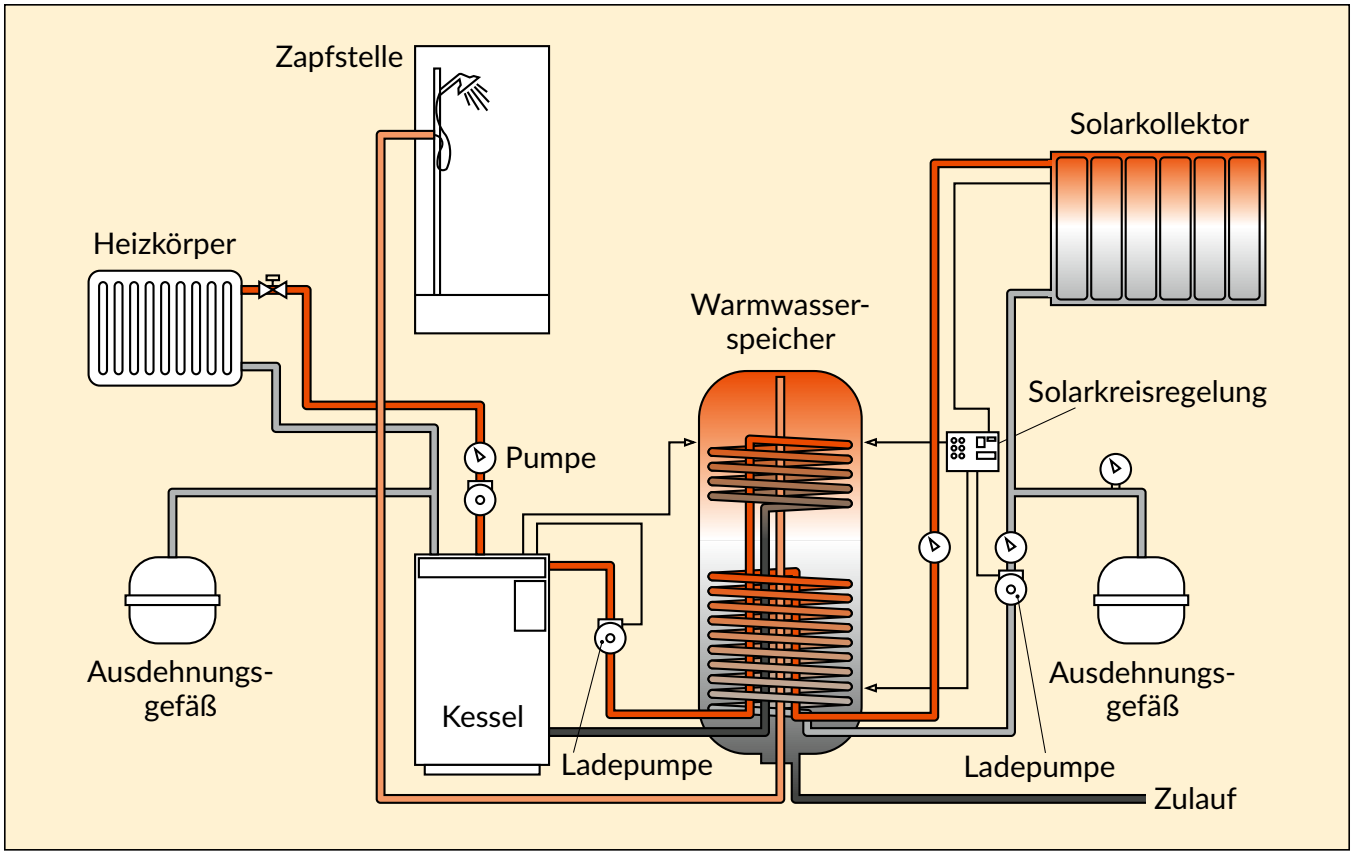


Bild 7.1: Strangschema einer Warmwasser-Zentralheizung mit gekoppelter Trinkwassererwärmung und thermischer Solaranlage

Anlagentechnik durch Förderprogramme, z. B. durch das BAFA oder die KfW, unterstützt. Die wasserführenden Heizsysteme werden in der Regel im geschlossenen Kreislauf mittels Umwälzpumpen betrieben. Die Auslegungstemperaturen der Heizkreise von Niedertemperatur- und Brennwerttechnik-Kesseln liegen heutzutage meist unter 55 °C Vorlauf- und 45 °C Rücklauftemperatur und können weiter reduziert werden, um einerseits die Verteilverluste zu mindern und andererseits regenerative Wärmeerzeuger und solarthermische Komponenten effizienter einbinden zu können (siehe Bild 7.1). Ein Brennwertkessel mit modulierendem Brennerbetrieb ist bei Erdgasversorgung Stand der Technik. Dies gilt mit Einschränkungen auch für Ölfeuerungen. Das GEG fordert in § 72 nahezu ein Verbot von Öl-befeuerten Heizkesseln in Neubauten nach 2026. Auch der Ersatz ölbetriebener Heizkessel in Bestandsgebäuden soll bereits ab dem Jahr 2024 erheblich erschwert werden. Seit Beginn des Ukrainekrieges im Jahr 2022 wird die Versorgung von Gebäuden ohne fossile Energieträger wie Heizöl oder Erdgas verstärkt vorangetrieben. Es müssen daher für Wohngebäude ohne Anschluss an ein Fernwärmenetz sinnvolle Alternativen zur Wärmeversorgung gefunden werden.

7.2 Trinkwarmwasserbereitung

In kleinen und mittelgroßen Wohngebäuden erfolgt die Warmwasserbereitung häufig zentral über eine Kombination mit der Heizwärmeerzeugung. Dazu wird ein Trinkwasserspeicher über die Zentralheizung beladen. Die standardmäßige Wärmedämmung der Speicher ist so ausgeführt, 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 steigen die Speicherverluste auf ca. 750 kWh/a an. 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. Diese Trinkwarmwasserzirkulation darf in großen Wohngebäuden zur Einhaltung der Anforderungen an die Hygiene gemäß Trinkwasserverordnung nicht dazu führen, dass die Warmwasserzapftemperatur unter 55 °C absinkt. Die Kaltwassertemperatur im Leitungsnetz darf hingegen 25 °C nicht überschreiten. Dies macht dann sowohl für die Kalt- als auch Warmwasserleitungen und Zirkulationsleitungen entsprechend dicke Rohrleitungsdämmungen erforderlich. Die Jahresnutzungsgrade der Warmwasserbereitung können so lediglich 25-50 % betragen [L14]. Bei Verwendung von dezentralen Trinkwasserstationen, die zwar keine Speicherverluste aufweisen, können aber auf Grund der hohen Vorlauftemperaturen bis zu den einzelnen Wohnungen und den hohen erforderlichen Volumenströmen sogar höhere Gesamtverteilverluste bzw. geringere Jahresnutzungsgrade auftreten.

Dezentrale in der Regel elektrische Warmwasserbereitungssysteme nach dem Durchlauferhitzerprinzip weisen aufgrund der nicht anfallenden Zirkulations- und Bereitstellungsverluste sehr günstige Jahresnutzungsgrade von über 90 % auf. Derartige Systeme können gemäß GEG § 23 von regenerativ erzeugtem elektrischen Strom und einem in der Zukunft relativ geringen Primärenergiefaktor des netzbezogenen Stroms profitieren. Tabelle 7.1 zeigt eine Übersicht des Warmwasserbedarfs verschiedener Anwendungen [L14, L15].

Der Einsatz thermischer Solaranlagen erfolgt in der Regel in Verbindung mit dem an die zentrale Warmwassererzeugung angeschlossenen Solarspeicher. Dieser enthält neben seiner Dimension von etwa dem 2-Fachen des täglichen Warmwasserbedarfs zwei Wärmetauscher, einen untenliegenden mit Verbindung zur Solaranlage und einen obenliegenden für die Ladeleitung des Wärmeerzeugers. Die Solarkollektoren werden als Flachkollektoren ohne und mit Vakuum (zur besseren Wärmedämmung) oder als Vakuumröhrenkollektoren angeboten.

Entsprechend unterschiedlich sind ihre Wirkungsgrade und die Investitionskosten. Bezogen auf den jährlichen Energieverbrauch eines 4-Personenhaushalts mit etwa 3.000 kWh beträgt

Tabelle 7.1: 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

die solare Deckung zwischen 50 und 60 % und kann dazu führen, die Heizanlage bei hohem sommerlichen Deckungsanteil zeitweise komplett abzuschalten. Die Lebensdauer derartiger Anlagen ist mit 20 Jahren nachgewiesen, eine Amortisation unter Zuhilfenahme von Fördermöglichkeiten ist häufig möglich.

Neben der Trinkwarmwassererwärmung können thermische Solaranlagen in Verbindung mit einem Pufferspeicher auch zur Heizungsunterstützung dienen. Der mögliche Deckungsanteil ist wiederum stark vom Heizwärmebedarf und von der Größe des Speichervolumens anhängig.

Hinweis

Eine thermische Solaranlage zur Trinkwarmwasserbereitung ist Bestandteil der Anlagentechnik im Referenzgebäude. Wird eine derartige Technik zur Nutzung regenerativer Energien nicht genutzt, müssen zur Kompensation von etwa 10 bis 15 kWh/(m^2 · a) Primärenergie erhebliche bauliche Zusatzmaßnahmen erfolgen. Der Deckungsbeitrag einer Solaranlage wird in DIN V 18599-1 als Endenergie mit dem Energieträger „Umweltenergie“ ausgewiesen. Im Rahmen des GEG-Nachweises und im Energieausweis wird diese Energie aber nicht als Endenergie deklariert – siehe § 20 Abs. 4. Dort wird nur der um die Umweltwärme und solare Strahlungsenergie reduzierte scheinbare Endenergiebedarf der Hauptwärmeerzeuger angegeben. Diese gesetzliche Festlegung täuscht darüber hinweg, dass der tatsächlich zu deckende Energiebedarf eines Gebäudes mit regenerativer Energienutzung deutlich höher ist, als die Kennwerte dies vermuten lassen. Insbesondere bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und in der Situation des Ausfalls einer derartigen regenerativen Energienutzung wird der wahre Endenergiebedarf sichtbar.

7.3 Maschinelle Wohnungslüftung

Bei Verwendung 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 des Vorhandenseins von Lüftungsanlagen 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 oder über Außenluftdurchlässe (ALD), eine kosten- und bedienungsfreundliche Alternative, wenn sie einen kontrollierten Luftaustausch ermöglichen [L16, L17].

Das GEG setzt im Referenzgebäude die Verwendung einer mechanischen 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 Rückwärmzahlen von Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung unterschritten in der Vergangenheit allerdings häufig einen Wert von 0,5 bzw. 50 %. Eine Energieeinsparung war damit häufig nicht nachweisbar [L19]. Moderne und fachgerecht eingebaute Anlagen erreichen effektive Wärmerückgewinnungsraten > 80 %. Zu beachten sind weiterhin die Betriebs- und Wartungskosten derartiger Anlagen, da die wohnflächenbezogenen Stromverbräuche zwischen 3 und 7 kWh/(m^2 · 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

Gemäß GEG § 28 darf eine Lüftungswärmerückgewinnung nur dann rechnerisch berücksichtigt werden, wenn die ausreichende Luftdichtheit des Gebäudes nachgewiesen ist (Blower-Door-Test) und der Nutzer die Luftvolumenströme bedarfsgerecht beeinflussen kann. Zudem muss die aus der Abluft entnommene Wärme vorrangig vor der vom Heizsystem bereit gestellten Wärme genutzt werden.

7.4 Heizwärmeerzeugung

Im Wohnungsneubau wird der Wärmebedarf derzeit fast ausschließlich über Fußbodenheizungen gedeckt. Diese sind in der Regel wasserführend und als schwimmender Nassestrich ausgeführt. Der Vorteil dieser Technik liegt in der Möglichkeit der Nutzung niedriger Vor- und Rücklauftemperaturen des Heizmediums und den damit verbundenen geringen Verteilverlusten. Die Temperaturregelung von Fußbodenheizkreisen erfolgt mittels intelligenter Steuerungen, so dass die den Flächenheizungen zugesprochene Trägheit ein geringeres Problem darstellt als in der Vergangenheit.

Zwischen den unterschiedlichen am Markt gängigen 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 [L19].

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 Erwärmung des Heizwassers beiträgt. Dies bedeutet allerdings, dass die Temperaturen der durch einen feuchteunempfindlichen Schornstein oder durch eine sogenannte Abgasleitung entweichenden 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 Auslegungsbedingungen ließe sich durch regeltechnische Maßnahmen, z. B. Dauerheizbetrieb bei extrem niedrigen Außenlufttemperaturen, 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/(m^2·a) [L18].

Hinweis

Entscheidend für eine hohe Energieeffizienz ist, den Jahresnutzungsgrad der gesamten Heizungsanlage, also Kessel, Verteilung, Regelung und Heizkörper, zu optimieren und nicht allein den angegebenen Kesselnutzungsgrad oder gar den vom Schornsteinfeger gemessenen feuerungstechnischen Wirkungsgrad bei der Wahl eines Wärmeerzeugers zu betrachten.

Der Einsatz von Wärmepumpen zur Beheizung von Niedrigenergiehäusern ist in der Regel bei Grundwassernutzung sinnvoll, da hier eine genügend hohe Energiedichte vorliegt. Luft-Wasser-Wärmepumpen sind auf Grund der geringen Quelltemperatur der Außenluft im Winter nicht immer monovalent zu betreiben und erfordern daher häufig einen zusätzlichen Heizerzeuger, wie z. B. einen elektrischen Heizstab. Die Investitionskosten, die Lebensdauer und die Betriebskosten (Strom) sind gegenüber fossil befeuerten Anlagen kritisch zu prüfen.

Die Verteilung des Wärmeträgers vom Wärmeerzeuger zu den einzelnen Räumen im Gebäude ist mit Wärmeverlusten verbunden. Bei Verlegung von Rohren und Kanälen 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 %.

7.5 Bewertung unterschiedlicher Heizungstechniken

Die rechnerische Bewertung der Energieeffizienz unterschiedlicher Heiztechniken erfolgt mithilfe der DIN V 18599 parallel zur Bilanzierung der Energieströme innerhalb des Gebäudes und nach außen. Diese Vorgehensweise ersetzt die alten Bilanzverfahren gemäß DIN V 4108-6 zur Bestimmung des Heizwärmebedarfs eines Gebäudes und der DIN V 4701-10 mit einer darauf aufbauenden Berechnung des Aufwands der Wärmebereitstellung.

Der Vorteil der gemeinsamen Bilanzierung von Gebäude und Anlagentechnik liegt in einer sachgerechten Ermittlung der Anlagenwirkungsgrade in Abstimmung mit dem Gebäudewärmebedarf und der Wechselwirkung zwischen der Gebäudehülle, der Gebäudenutzung und der Anlagentechnik. Dieses Bilanzierungsverfahren der DIN V 18599 mit der Ausgabe 2018 stellt das Regelverfahren im GEG dar.

Hinweis

Das bisherige Rechenverfahren gemäß DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 ist im Rahmen des GEG noch bis zum 31. Dezember 2023 anwendbar. Es ist allerdings darauf hinzuweisen, dass für Neubauten, deren Fertigstellung nach dem 31. Dezember 2023 erfolgt, der Energieausweis dann nicht mehr nach dem alten Rechenverfahren erstellt werden kann. Aus diesem Grund ist der Nachweisführende gut beraten, bereits deutlich früher auf das Bilanzverfahren gemäß DIN V 18599 umzusteigen.

Neben standardisierten Anlagenkennwerten mit konservativen Leistungsdaten können im Berechnungsverfahren auch individuelle Leistungsdaten nach Herstellerangabe in der Berechnung verwendet werden. Diese Möglichkeiten erlauben gegenüber dem alten Bewertungsverfahren eine deutlich einfachere Erfüllung der Anforderungswerte des GEG als in der Vergangenheit. Der Berechnungsaufwand und die Datenbeschaffung zur Nachweisführung werden allerdings in gleichem Maße erhöht, dies lässt sich aber mit bewährter Software in überschaubarem Rahmen lösen.

Die Vorgehensweise bei der Bilanzierung der Wärmebereitstellung kann im Rahmen dieser Broschüre nicht annähernd vollständig dargestellt werden. Aus diesem Grund erfolgt an dieser Stelle nur eine textliche Beschreibung der wesentlichen Berechnungsschritte vom Heizwärmebedarf über den Endenergiebedarf bis zum Primärenergiebedarf.

1. Die dem Raum zugeführte Heizwärme wird über zu regelnde Heizflächen bereitgestellt. Hier ergeben sich je nach gewähltem System sogenannte Übergabeverluste.
2. Der größte Teil der Verluste entsteht im Bereich der Wärmeverteilung. Im kalten Keller verlegte Rohrleitungen bedingen etwa doppelt so hohe Verteilverluste, wie in der Estrichdämmung verlegte Horizontalverteilungen. Für 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 Regelungseinrichtungen saldiert.
5. Fossile Energieträger sind i. A. mit dem Faktor 1,1 (Erdgas) für Transport- und Förderaufwendungen und der aus dem öffentlichen Stromnetz entnommene elektrische Strom mit 1,8 zu multiplizieren, damit eine Bewertung der Primärenergie erfolgt.

Zur Ermittlung des durch die eingesetzte Anlagentechnik bedingten End- und Primärenergiebedarfs sind wie bisher in den einzelnen Prozessbereichen folgende wesentliche Eingangswerte notwendig.

Heizung:

- Art des Wärmeübergabesystems (z. B. Heizkörper oder Fußbodenheizung)
- Positionierung der Heizflächen an Außen-/Innenwänden
- Art der Regelung der Heizflächen (Thermostatventile oder elektronische Raumtemperaturregelung)
- Systemtemperatur der Wärmeverteilung
- Lage, Regelgüte und Wärmedämmung der Verteilleitungen
- Hilfsenergie für Pumpen und Steuerung
- Art und Leistungsdaten des oder der Wärmeerzeuger für fossile Brennstoffe oder regenerative Umweltenergie
- ggf. Leistungsdaten und Deckungsanteil eines zweiten Wärmeerzeugers
- ggf. Speicherung der Heizenergie

Trinkwassererwärmung:

- in Kombination mit Heizwärmeerzeugung oder separate Erzeugung
- zentral mit/ohne Zirkulation oder dezentral
- Lage und Wärmedämmung der Verteilleitungen
- Speicherung und Speicherort des Trinkwarmwassers
- Hilfsenergie für Pumpen und Steuerung
- Art und Leistungsdaten des oder der Wärmeerzeuger für fossile Brennstoffe oder regenerative Umweltenergie

Wohnungslüftung:

- Art der maschinellen Lüftung wie z. B. Abluftanlage oder Zu- und Abluftanlage
- Güte einer Wärmerückgewinnung
- Regelung und Übergabe der Zu- und Abluft
- Hilfsenergiebedarf für Ventilatoren, Vorwärmung, Frostschutz

Die von den Wärmeerzeugern an die Wärmeverteilnetze oder in seltenen Fällen auch direkt an die Räume abgegebene Wärmemenge ist zu bilanzieren und muss zum Nachweis der Nutzung regenerativer Energien gemäß GEG nach Energieträgern getrennt ausgewiesen werden. Diese Aufteilung nach Energieträgern ist auch für die Zuordnung der Primärenergiefaktoren sowie die Zuweisung der CO_2-Emissionsfaktoren erforderlich.

Die Primärenergiefaktoren des nicht erneuerbaren Anteils der Endenergieträger sowie die dazugehörigen Treibhausgas-Emissionen in CO_2-Äquivalent sind in Tabelle 7.2 aufgeführt. Dabei werden die Kennwerte auf den **Heizwert** des Energieträgers bezogen.

7.6 Anlagen zur Kühlung

Das GEG verlangt die Berücksichtigung des End- und Primärenergiebedarfs zur Raumkühlung. Im Referenz-Wohngebäude ist keine maschinelle Kühlung vorgesehen, so dass ein Kühlenergiebedarf immer zusätzlich auf die Wärmeenergiebilanz aufgeschlagen werden muss. Die erforderliche Kühlkälte wird im Wohnungsbau üblicherweise elektrisch erzeugt. Eine Bilanzierung ist gemäß DIN V 18599-6 vorzunehmen.

Es bietet sich für Wohngebäude mit großen Fensterflächen daher an, auf passive Kühlstrategien auszuweichen. Dazu gehören z. B. sogenannte Sohlplattenkühler, die in Verbindung mit einer Fußbodenheizung das Heizungswasser im Sommerfall durch ein in der Sohlplatte integriertes Rohrregister pumpen. Bei Vorhandensein einer Wärmepumpenheizung mit Erdreich-Sole-Wärmeübertrager kann das von der Sonne erwärmte Wasser der Fußbodenheizung einen Wärmeaustausch mit dem Erdreichregister ermöglichen, ohne Inbetriebnahme des Kompressors der Wärmepumpe. Im Rahmen der Primärenergiebilanz werden diese passiven Maßnahmen über den Hilfsenergieaufwand, für z. B. eine Sole-Pumpe oder aber Ventilatoren für Nachtlüftung oder Erdreichregister, bilanziert. Diese passiven Kühlstrategien können auch im Rahmen des Nachweises zum sommerlichen Wärmeschutz angerechnet werden.

7.7 PV-Strom im GEG

Die GEG-Novelle hat folgende zwei Hauptänderungen für die Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien zur Folge:

1. Die vorrangige Nutzung des Stroms aus erneuerbaren Energien im Gebäude ist keine zwingende Voraussetzung für die Anrechenbarkeit. Die Anrechnung ist auch dann möglich, wenn der Strom aus erneuerbarer Energien vollständig eingespeist wird.
2. Das mit GEG 2020 eingeführte Bonusverfahren nach § 23 Absatz 2 und 3 wird gestrichen. Der

anrechenbare Strom aus erneuerbaren Energien wird analog dem Verfahren der EnEV und dem alten § 23 Absatz 4 aus dem GEG 2020 über eine monatsweise Gegenüberstellung von Stromertrag und gebäudebezogenem GEG-relevanten Strombedarf ermittelt.

7.7.1 PV-Anrechnung auf den Primärenergiebedarf

Die Anrechnung von Strom aus erneuerbaren Energien auf den Primärenergiebedarf wird im § 23 GEG geregelt.

Danach darf Strom aus erneuerbaren Energien, der in einem zu errichtenden Gebäude bzw. in einem bestehenden Gebäude bei Änderung, Erweiterung oder Ausbau erzeugt wird, bei der Ermittlung des Jahres-Primärenergiebedarfs des jeweiligen Gebäudes „in Abzug gebracht werden". Im Gegensatz zum GEG 2020 ist die vorrangige Nutzung des Stroms im Gebäude keine zwingende Voraussetzung für die Anrechenbarkeit. Die Anrechnung ist auch dann möglich, wenn der Strom aus erneuerbaren Energien vollständig eingespeist wird.

Zur Ermittlung der abzugsfähigen Strommenge ist der monatliche Ertrag der Anlage zur Erzeugung von Strom aus erneuerbaren Energien dem GEG-relevanten Strombedarf gegenüberzustellen und der jeweils kleinere Wert wird als abzugsfähige Strommenge definiert. Der monatliche Ertrag der Anlage muss dabei nach DIN V 18599-9: 2018-09 bestimmt werden. Bei PV-Anlagen sind die monatlichen Stromerträge unter Verwendung der mittleren monatlichen Strahlungsintensitäten der Referenzklimazone Potsdam nach DIN V 18599-10: 2018-09 Anhang E sowie der Standardwerte zur Ermittlung der Nennleistung des Photovoltaikmoduls nach DIN V 18599-9: 2018-09 Anhang B zu ermitteln. Die Verwendung von Produktkennwerten ist bei der Ermittlung der monatlichen Stromerträge einer PV-Anlage nicht zulässig. Die Effekte eines Batteriespeichers bleiben bei dieser Anrechnungsmethode unberücksichtigt.

Die Höhe der anrechenbaren PV-Strommenge richtet sich somit an dem Strombedarf der Nutzung. Die danach anzurechnende Strommenge stellt also die Strommenge dar, die nach den Bilanzierungsverfahren nach GEG als Endenergiebedarf für Strom berechnet wird. Im Sinne des Gebäudeenergiegesetzes werden für Wohngebäude nur Energieaufwendungen für Raumheizung, Lüftung, Kühlung und Trinkwassererwärmung bilanziert. Bei Nichtwohngebäuden wird zusätzlich der Strombedarf für Beleuchtung berücksichtigt. Der Strombedarf für weitere Nutzeranwendungen wird nach GEG nicht bilanziert und ist damit für die PV-Anrechnung nicht relevant.

Erfolgt keine strombasierte Wärmeerzeugung, ist die Höhe des anrechenbaren PV-Stroms bei Wohngebäuden auf den Hilfsenergiebedarf (ggf. inkl. Hilfsenergie für eine Wohnungslüftungsanlage) begrenzt.

Die seit 1. Januar 2023 gültige Anrechnungsmethodik für PV-Strom entspricht dem in der Energieeinsparverordnung verwendeten Ansatz zur PV-Anrechnung sowie dem bisherigen Ansatz nach § 23 Absatz 4 aus dem GEG 2020 für Stromdirektheizungen und Nichtwohngebäude, bei denen die Nutzung von Strom für Lüftung, Kühlung, Beleuchtung und Warmwasserversorgung die Energienutzung für die Beheizung überwiegt. Das mit GEG 2020 eingeführte Bonusverfahren nach § 23 Absatz 2 und 3 wird gestrichen.

7.7.2 Photovoltaik als Erfüllungsoptionen für die Nutzung erneuerbarer Energien

Analog dem bisher gültigen GEG wird Strom aus erneuerbaren Energien weiterhin als Erfüllungsoption für die Nutzung erneuerbarer Energien ausgewiesen. Im § 36 des GEG heißt es dazu:

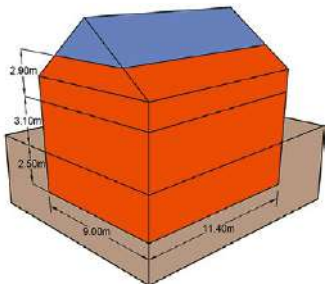
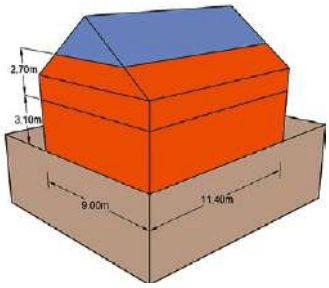
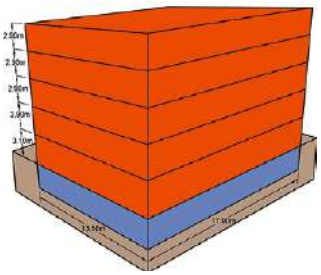
Die Anforderung zur Nutzung erneuerbarer Energien sind erfüllt, *„wenn durch die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien (…) der Wärme- und Kälteenergiebedarf zu mindestens 15 Prozent gedeckt wird. Wird bei Wohngebäuden Strom aus solarer Strahlungsenergie genutzt, gilt die Anforderung bezüglich des Mindestanteils (…), wenn eine Anlage zur Erzeugung von Strom aus solarer Strahlungsenergie installiert und betrieben wird, deren Nennleistung"* mindestens 0,03 kWp je m² Gebäudenutzfläche geteilt durch Anzahl der beheizten/gekühlten Geschosse beträgt.

Die alternative Erfüllung der Nutzungspflicht für erneuerbare Energie über die Mindestleistung der PV-Anlage ist auch dann möglich, wenn der erzeugte PV-Strom nicht für die Wärmeerzeugung im Gebäude eingesetzt wird, sondern z. B. primär den Haushaltsstrombedarf deckt.

7.7.3 PV-Mindestleistung nach GEG

Eine vollständige Erfüllung der Nutzungspflicht für erneuerbare Energien mit einer PV-Anlage ist nach aktuellen GEG ab einer Anlagengröße von 0,03 kWp je m² Gebäudenutzfläche geteilt durch die Anzahl der beheizten/gekühlten Geschosse möglich. In Tabelle 7.2 wird anhand beispielhafter Gebäude die in Abhängigkeit der Gebäudenutzfläche und der Anzahl der beheizten Geschosse berechnete Mindestanlagengröße für eine PV-Anlage ausgewiesen.

Tabelle 7.2: Beispiel zur PV-Mindestanlagengröße für ein EFH mit ca. 150 m² Wohnfläche und ein MFH mit 12 Wohneinheiten in Abhängigkeit der Gebäudenutzfläche und Anzahl der beheizten Geschosse

	EFH 1	EFH 2	MFH
			
Gebäudenutzfläche A_N	259 m²	**177 m²**	1.117 m²
Keller	beheizt	**nicht vorhanden**	unbeheizt
Anzahl beheizter Geschosse	3	**2**	5
Mindestanlagengröße	2,59 kW_p	**2,66 kW_p**	6,70 kW_p

7.7.4 Auswirkungen der neuen PV-Anrechnung

7.7.4.1 Randbedingungen – Gebäude und Anlagentechnik

Die Auswirkungen der Neuregelung der PV-Anrechnung im GEG werden am Beispiel eines freistehenden nicht unterkellerten Einfamilienhauses mit ca. 150 m² Wohnfläche (vgl. EFH_2 in Tabelle 3) veranschaulicht. Bei dem Beispielgebäude wird ein zeitgemäßer baulicher Wärmeschutz entsprechend den Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz für ein Effizienzhaus 55 unterstellt. Hinsichtlich der Wärmeübergabe wird Fußbodenheizung mit Systemauslegungstemperaturen von 35/28°C angenommen.

Im Folgenden werden für den EFH-Neubau folgende Varianten jeweils mit und ohne PV-Anlage betrachtet:

- Gas-Brennwertkessel + indirekt beheizter Speicher (Gas-BW) + zentrale Abluftanlage
- Gas-Brennwertkessel + indirekt beheizter Speicher + zentrale Zu-/Abluftanlage mit WRG

Tabelle 7.3: Kennwerte PV-Anlage

		EFH Neubau
Gebäudenutzfläche A_N		177,1 m²
Netto-Dachfläche (mit Süd-Ausrichtung)		62,2 m²
max. installierbare PV-Fläche A		49,5 m²
max. mögliche installierte Nennleistung (Annahme: K_{pk} = 0,182 kW/m²)		9,0 kW_p
Mindestanforderung nach § 36 GEG (Erfüllung der Pflicht zur Nutzung erneuerbarer Energien)		2,66 kW_p
Berechnungen zugrunde gelegte Parameter	**PV-Nennleistung**	9,0 kW_p
	Speicherkapazität bei Varianten mit Stromspeicher (Batterie)	9,0 kWh

- Luft-Wasser-Wärmepumpe (L/W-EWP) + indirekt beheizter Speicher + zentrale Abluftanlage
- Luft-Wasser-Wärmepumpe (für Heizung) + Elektro-Durchlauferhitzer (E-DLE, für Trinkwassererwärmung) + zentrale Abluftanlage
- Pellet-Brennwertkessel + indirekt beheizter Speicher (Pelletkessel) + zentrale Abluftanlage

Die PV-Anlage wird so dimensioniert, dass die installierte Nennleistung der maximal möglichen aus der theoretisch verfügbaren geeigneten Dachfläche berechneten Nennleistung entspricht (vgl. Tabelle 7.3).

Die Berechnungen erfolgen mit dem Programm „Energieeffizienz Gebäude DIN V 18599/GEG“ auf Basis der DIN V 18599:2018-09. Abweichend von den Standardwerten der Norm werden die elektrische Leistungsaufnahme der Pumpen (Zirkulations- und Umwälzpumpe) angepasst.

In Tabelle 7.4 wird der Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes und der resultierende Anforderungswert nach GEG für den betrachteten EFH-Neubau ausgewiesen.

Tabelle 7.5 stellt den resultierenden Endenergiebedarf (heizwertbezogen) für die betrachteten Anlagenvarianten im EFH-Neubau dar.

7.7.4.2 Anrechenbarer PV-Strom nach GEG

In Tabelle 7.6 wird die Vorgehensweise zur Bestimmung der abzugsfähigen Strommenge am Beispiel zweier Anlagenvarianten, jeweils mit und ohne Batteriespeicher, dargestellt. Dabei wird die von der PV-Anlage erzeugte Strommenge dem GEG-relevanten Strombedarf monatlich gegenübergestellt und jeweils der kleinere Wert als abzugsfähige Strommenge definiert. Die Effekte des Batteriespeichers bleiben bei dieser Anrechnungsmethode unberücksichtigt, somit ist in beiden Fällen (mit und ohne Batteriespeicher) die abzugsfähige und damit anrechenbare PV-Strommenge gleich.

In Tabelle 7.7 wird die unter der Maßgabe der aktuell nach GEG gültigen Vorgehensweise zur PV-Anrechnung bei der primärenergetischen Bewertung eines Gebäudes resultierende abzugsfähige Strommenge für die betrachteten Anlagenvarianten jeweils mit und ohne Einbindung eines Stromspeichers ausgewiesen.

7.7.4.3 Resultierender Primärenergiebedarf nach Anrechnung von PV-Strom

Die für die Anlagenvarianten unter Berücksichtigung der PV-Anrechnung resultierenden Primärenergiebedarfswerte für das betrachtete Beispielgebäude stellt Abbildung 1 dar. Dabei wird der Primärenergiebedarf jeweils mit und ohne Stromspeicher ausgewiesen und dem Wert ohne Einbindung einer PV-Anlage gegenübergestellt.

Tabelle 7.4: Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes und der primärenergetische Anforderungswert nach GEG

	absolut, in kWh/a	bezogen auf AN, in kWh/m²a
Jahres-Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes	16.013	90,4
Anforderungswert nach GEG	8.807	49,7

Tabelle 7.5: Resultierender Endenergiebedarf, heizwertbezogen

	Erdgas	Strom	Holz (Pellets)
	kWh/a		
Gas-BW + Abluftanlage	10.757	435	-
Gas-BW + Zu-/Abluftanlage mit WRG	8.421	547	-
L/W-EWP + Abluftanlage	-	3.787	-
L/W-EWP + E-DLE + Abluftanlage	-	4.881	-
Pelletkessel + Abluftanlage	-	330	11.500

Tabelle 7.6: Vorgehensweise zur Bestimmung der abzugsfähigen Strommenge nach GEG - Beispiel EFH Neubau mit PV-Anlage (mit/ohne Batterie)

	Stromertrag	Gas-BW + Abluftanlage + PV-Anlage		L/W-WP + Abluftanlage + PV-Anlage	
		GEG-relevanter Strombedarf	Abzugsfähige Strom-menge	GEG-relevanter Strombedarf	Abzugsfähige Strom-menge
	kWh				
Januar	242	70	70	692	242
Februar	228	62	62	570	228
März	557	60	60	360	360
April	949	56	56	159	159
Mai	1.021	19	19	114	114
Juni	1.026	18	18	100	100
Juli	917	19	19	96	96
August	893	19	19	97	97
September	698	19	19	120	120
Oktober	520	67	67	213	213
November	187	65	65	527	187
Dezember	125	73	73	739	125
Summe	7.362	547	547	3.787	2.041

Tabelle 7.7: Abzugsfähige PV-Strommenge nach GEG im EFH Neubau

	Abzugsfähige PV-Strommenge			
	PV-Anlage ohne Stromspeicher		PV-Anlage mit Stromspeicher	
	kWh/a	kWh/m²a	kWh/a	kWh/m²a
Gas-BW + Abluftanlage	435	2,5	435	2,5
Gas-BW + Zu-/Abluftanlage mit WRG	547	3,1	547	3,1
L/W-EWP + Abluftanlage	2.041	11,5	2.041	11,5
L/W-EWP + E-DLE + Abluftanlage	2.129	12,0	2.129	12,0
Pelletkessel + Abluftanlage	330	1,9	330	1,9

Die Änderung der Bewertungssystematik gegenüber dem GEG 2020 führt bei den nicht strombasierten Systemen zu höheren Primärenergiebedarfswerten. Eine Erfüllung der aktuellen GEG-Anforderungen in dem betrachteten Neubau-EFH mit zeitgemäßem baulichem Wärmeschutz wäre mit einem Gas-Brennwertkessel, zentraler Abluftanlage und einer PV-Anlage sowohl mit als auch ohne Batteriespeicher nicht möglich. Durch den Einbau einer Zu-/Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung könnte der Primärenergiebedarf um ca. 22 % gegenüber der Anlagenvariante mit einer Abluftanlage reduziert werden. Die Variante würde jedoch weiterhin knapp über dem Anforderungswert liegen. Die zusätzliche Einbindung eines Stromspeichers wirkt sich nach aktuellen Berechnungssystematik nicht auf den Primärenergiebedarf aus.

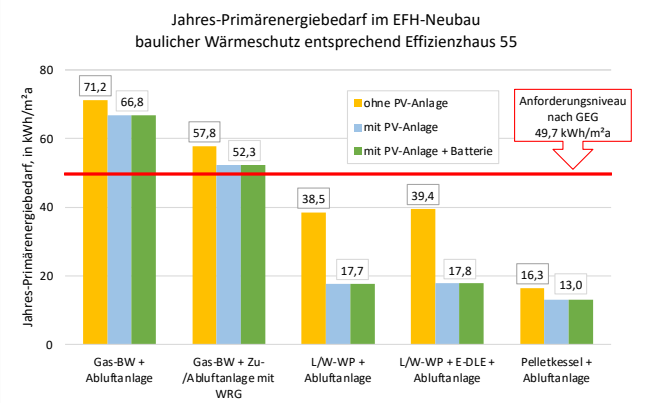


Bild 7.2: Primärenergiebedarf im EFH-Neubau je nach Anlagenvariante jeweils ohne PV-Anbindung, in Verbindung mit PV-Anlage mit 9 kWp sowie in Verbindung mit PV-Anlage mit 9 kWp und Stromspeicher mit 9 kWh beim baulichen Wärmeschutz entsprechend EH-55-Mindestanforderung

Eine Kombination der Luft-Wasser-Wärmepumpe mit PV-Anlage führt zu einem deutlich niedrigeren Primärenergiebedarf als bei den zuvor beschriebenen Gas-Brennwertvarianten und einer deutlichen Unterschreitung des primärenergetischen GEG-Anforderungswertes. Wird eine Luft-Wasser-Wärmepumpe mit dezentraler Trinkwassererwärmung mittels Elektro-Durchlauferhitzer und PV-Anlage kombiniert, ergeben sich vergleichbare Primärenergiebedarfswerte. Die Erfüllung der GEG-Anforderung wäre in beiden Fällen auch ohne Einbindung einer PV-Anlage möglich.

Aufgrund der günstigen primärenergetischen Bewertung von Holz/Pellets weist die Anlagenvariante mit Pelletkessel den niedrigsten Primärenergiebedarf unter den bewerteten Varianten aus.

7.8 Treibhausgasemissionen

Nach § 85 sind die mit dem Gebäudebetrieb verbundenen Treibhausgasemissionen in den Energieausweisen anzugeben. Die Treibhausgasemissionen ergeben sich i. A. aus der Multiplikation der Endenergiekennwerte mit den spezifischen THG-Emissionsfaktoren der eingesetzten Energieträger. Die für die Berechnung nach GEG anzuwendenden THG-Emissionsfaktoren enthält Anlage 9 GEG (vgl. Tabelle 7.8). Die Vorgehensweise zur Berechnung der THG-Emissionen wird in Anlage 9 zu § 85 Absatz 6 GEG in Abhängigkeit von der Art des Energieausweises differenziert (Energieverbrauchs- und Energiebedarfsausweis).

7.8.1 Berechnung der THG-Emissionen für Energiebedarfsausweise

Bei der Berechnung der Treibhausgasemissionen eines Gebäudes werden THG-Emissionen aller zur Beheizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung und Kühlung (ggf. Beleuchtung bei Nichtwohngebäuden) eingesetzter Energieträger incl. der Hilfsenergie bilanziert und zu Gesamttreibhausgasemissionen berechnet. Dabei werden die THG-Emissionen als äquivalente Kohlendioxidemissionen, in Kilogramm pro Jahr und Quadratmeter der Gebäudenutzfläche bei Wohngebäuden oder der Nettogrundfläche bei Nichtwohngebäuden ausgewiesen.

Die Treibhausgasemissionen ergeben sich bei fossilen Brennstoffen (z. B. Erdgas, Heizöl), bei Biomasse, bei Strom und bei Abwärme aus der Multiplikation der nach § 20 oder nach § 21 ermittelten Endenergiebedarfswerte des Gebäudes für die eingesetzten Energieträger und des THG-Emissionsfaktors nach GEG für die jeweiligen Energieträger (vgl. Tabelle 8). Die Verwendung des THG-Emissionsfaktors für „gebäudenahe Erzeugung“ bei gasförmiger und flüssiger Biomasse ist nur dann zulässig, wenn die Voraussetzungen des § 22 Absatz 1 Nummer 1 oder Nummer 2 erfüllt sind. Das betrifft insbesondere den räumlichen Zusammenhang zwischen dem Gebäude und der Erzeugung des biogenen Brennstoffes. Für gebäudeindividuelle Versorgung ist das eher ein seltener Fall.

Für die Berechnung ist der Endenergiebedarf für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung (ggf. Beleuchtung bei Nichtwohngebäuden) als Zwischenergebnis der Berechnung nach DIN V 18599 (Wohn- und Nichtwohngebäude) oder DIN V 4701-10 (nur Wohngebäude) zugrunde zu legen.

Im GEG wird nicht konkretisiert, ob es sich bei dem für die Berechnungen im Zusammenhang mit § 85 GEG zu verwendeten Endenergiebedarf um einen Heizwert- oder Brennwertbezug handelt. Die Berechnungsergebnisse der DIN V 18599 für die Endenergie sind brennwertbezogen. Gemäß der DIN V 18599 soll die Bewertung der CO_2-äquivalenten Emissionen analog der primärenergetischen Bewertung, bei der eine Umrechnung der Endenergie auf Heizwert vorgenommen wird, erfolgen. Anstelle der Primärenergiefaktoren sind CO_2-Äquivalente einzusetzen. Dieser Ansatz wird im Rahmen der Ausarbeitung verfolgt.

Tabelle 7.2: Primärenergiefaktoren und CO_2-Emissionsfaktoren verschiedener Energieträger (Heizwert bezogen)

Energieträger		Primärenergiefaktor nicht erneuerbarer Anteil	CO_2-Äquivalent in g/kWh
Fossile Brennstoffe	**Heizöl**	1,1	310
	Erdgas	1,1	240
	Flüssiggas	1,1	270
	Steinkohle	1,1	400
	Braunkohle	1,2	430
Biogene Brennstoffe	**Biogas**	0,4	140
	Biogas, gebäudenah erzeugt	0,4	75
	Biogenes Flüssiggas	0,4	180
	Bioöl	0,4	210
	Bioöl, gebäudenah erzeugt	0,4	105
	Holz	0,2	20
Strom	**netzbezogen**	1,8	560
	gebäudenah erzeugt aus Photovoltaik oder Windkraft	0,0	0
	Verdrängungsstrommix für KWK	2,8	860
Wärme, Kälte	**Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme**	0,0	0
	Erdkälte, Umgebungskälte	0,0	0
	Abwärme aus Prozessen	0,0	40
	Wärme aus KWK, gebäudeintegriert oder gebäudenah	gemäß DIN V 18599-9	
	Wärme aus Verbrennung von Siedlungsabfällen	0,0	20
Nah-/Fernwärme aus KWK mit Deckungsanteil der KWK an der Wärmeerzeugung > 70 %	**Brennstoff: Stein-/Braunkohle**	0,7	300
	Gasförmige oder flüssige Brennstoffe	0,7	180
	Erneuerbarer Brennstoff	0,0	40
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	**Brennstoff: Stein-/Braunkohle**	1,3	400
	Gasförmige oder flüssige Brennstoffe	1,3	300
	Erneuerbarer Brennstoff	gemäß Gutachten	60

Werden die Berechnungen auf Basis DIN V 4108-6 i. V. m. DIN V 4701-10 durchgeführt, ist der berechnete Endenergiebedarf heizwertbezogen. Damit ist der resultierende auf die Gebäudenutzfläche bezogene jährliche Endenergiebedarf zur Berechnung der THG-Emissionen (ohne weitere Umrechnung) zu verwenden.

Werden die Berechnungen nach DIN V 18599 durchgeführt, ist der berechnete Endenergiebedarf brennwertbezogen. Für die Bestimmung der THG-Emissionen wird der auf den Brennwert bezogener Endenergiebedarf unter Verwendung der Umrechnungsfaktoren nach DIN V 18599-1, Tabelle B.1 auf den Heizwert H_i umgerechnet. Die Umrechnung kann damit wie folgt erfolgen:

$$q_{f,in,Hi,f} = \frac{q_{f,in,f}}{(f_{Hs/Hi})} \quad (27)$$

$q_{f,in,Hi,j}$ = die von außerhalb zugeführte auf die Gebäudenutzfläche (bzw. Nettogrundfläche bei Nichtwohngebäuden) bezogene Endenergie eines Energieträgers j, auf den Heizwert Hi bezogen;

$q_{f,in,j}$ = die von außerhalb zugeführte auf die Gebäudenutzfläche (bzw. Nettogrundfläche bei Nichtwohngebäuden) bezogene Endenergie eines Energieträgers j, auf den Brennwert bezogen;

$f_{Hs/Hi}$ = der Umrechnungsfaktor für die Endenergie nach Tabelle 7.9

In Tabelle 7.10 wird beispielhaft die Berechnung der THG-Emissionen für ein Neubau-EFH dargestellt.

Bei Wärme aus einer gebäudeintegrierten oder gebäudenahen Kraft-Wärme-Kopplungsanlage wird der THG-Emissionsfaktor für die von der kWK-Anlage bereitgestellte Wärme analog zu der Vorgehensweise für die Bestimmung des Primärenergiefaktors nach DIN V 18599-9:2018-09 unter

Tabelle 7.9: Energieträgerabhängige Umrechnungsfaktoren nach DIN V 18599-1:2018-09, Tabelle B.1

Energieträger		**Umrechnungsfaktor für die Endenergie $f_{Hs/Hi}$**
Brennstoffe	**Heizöl, Bioöl**	1,06
	Erdgas, Bioerdgas	1,11
	Flüssiggas	1,09
	Steinkohle	1,04
	Braunkohle	1,07
	Holz	1,08
Andere Energieträger	**Strom**	1,0
	Nah-/Fernwärme, Fernkälte	1,0
	Umweltenergie	1,0
	Abwärme	1,0

Tabelle 7.10: THG-Emissionen im EFH-Neubau für beispielhafte Anlagenvarianten, A_N = 177,14 m²

			Gas-BW + Zu-/Abluftanlage mit WRG	**L/W-EWP + Abluftanlage**	**L/W-EWP + E-DLE + Abluftanlage**	**Pelletkessel + Abluftanlage**
Endenergiebedarf nach DIN V 18599, brennwertbezogen	**Erdgas**	**kWh/a**	9.347	-	-	-
	Holz		-	-	-	12.420
	Strom		547	3.787	3.881	330
Endenergiebedarf, heizwertbezogen (umgerechnet)	**Erdgas**	**kWh/a**	8.421 (9.347/1,11)	-	-	-
	Holz		-	-	-	11.500
	Strom		547 (539/1,0)	3.787	3.881	330
THG-Emissionen		**kg CO_2-Äq./a**	2.327 (8.421 * 240 + 547 * 560) / 1.000)	2.121	2.173	415
		kg CO_2-Äq./ m²a	13,1 (2.327/177,14)	12,0	12,3	2,3

Tabelle 7.11: THG-Emissionen im EFH-Neubau für beispielhafte Anlagenvarianten mit PV-Anlage (Ppeak=9 kWp ohne Stromspeicher), A_N = 177,1 m²

Zeile				Gas-BW + Zu-/Abluftanlage mit WRG	L/W-EWP + Abluftanlage	L/W-EWP + E-DLE + Abluftanlage	Pelletkessel + Abluftanlage
(1)	**Endenergiebedarf, in kWh_{Hi}/a**	**Erdgas**		8.421	-	-	-
(2)		**Holz**		-	-	-	11.500
(3)		**Strom**		547	3.787	3.881	330
(4)	**GEG-relevanter Strombedarf, in kWh/a**		[(3)]	547	3.787	3.881	330
(5)	**Abzugsfähige PV-Strommenge, in kWh/a**			547	2.041	2.129	330
(6)	**Rest-Strombedarf, in kWh/a**		[(4)-(5)]	0	1.746	1.752	0
(7)	**THG-Emissionen nach Abzug für PV, in kg/CO_2-Äq./a*)**		[(1) · 240 + (2) · 20 + (6) · 560] / 1.000	2.021	978	981	230
(8)	**THG-Emissionen nach Abzug für PV, in kg/CO_2-Äq./m²a**		(7) / A_N	11,4	5,5	5,5	1,3

* Bei einem abweichenden Energieträger (kein Erdgas oder Holz) ist der Wert für THG-Emissionsfaktor entsprechend anzupassen (im Berechnungsbeispiel Erdgas mit 240 g CO_2-Äq./kWh und Holz mit 20 g CO_2-Äq./kWh) bzw. die Berechnung ist um weitere Energieträger zu ergänzen.

Berücksichtigung der DIN V 18599-1:2018-09 Anhang A Abschnitt A.4 berechnet. Die THG-Emissionen ergeben sich aus der Multiplikation der von der kWK-Anlage bereitgestellten Wärme (Endenergiewärme) und des ermittelten THG-Emissionsfaktors.

Bei Wärme, die aus Wärmenetzen (Nah-/Fernwärme) bezogen wird und ganz oder teilweise aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen stammt, ist der vom Wärmenetzbetreiber ermittelte und veröffentlichte THG-Emissionsfaktor zu verwenden. Hat der Betreiber des Wärmenetzes keinen THG-Emissionsfaktor ermittelt und veröffentlicht, ist der auf die für den Betrieb der kWK-Anlage eingesetzten Brennstoffe bezogene Emissionsfaktor nach Tabelle 8 zu verwenden. Die THG-Emissionen ergeben sich aus der Multiplikation des Endenergiebedarfs der Wärmeübergabestation und des entsprechenden THG-Emissionsfaktors für die extern bezogenen Wärme.

Strom aus gebäudenaher erneuerbarer Erzeugung (z. B. PV-Anlagen) wird analog der primärenergetischen Bewertung auch bei der Berechnung der THG-Emissionen angerechnet. Gemäß dem Monatsbilanzverfahren zur Ermittlung der anrechenbaren PV-Strommenge wird der GEG-relevante Strombedarf des Gebäudes dem PV-Ertrag monatsweise gegenübergestellt und jeweils der kleinere Wert von dem ursprünglichen GEG-relevanten Strombedarf abgezogen. Der resultierende (Rest)-Strombedarf ist bei der Ermittlung von THG-Emissionen des Gebäudes zu berücksichtigen (vgl. Tabelle 11).

7.8.2 Berechnung der THG-Emissionen für Energieverbrauchsausweise

Für Bestandsgebäude, bei denen der Energieausweis auf Basis des Endenergieverbrauchs ausgestellt wird, werden die mit dem Gebäudebetrieb verbundenen Treibhausgasemissionen als Summe der im Energieverbrauchsausweis angegebenen Energieverbrauchswerte der einzelnen Energieträger jeweils multipliziert mit dem entsprechenden Emissionsfaktor nach Tabelle 7.8 berechnet.

8. Anforderungen aus dem GEG

8.1 Zulässiger Primärenergiebedarf und Transmissionswärmeverlust für zu errichtende Wohngebäude

Die Hauptanforderung an Wohngebäude sowie gemäß Definition auch an Wohn-, Alten- und Pflegeheime sowie ähnliche Einrichtungen (GEG § 3, Satz 1) richtet sich an den einzuhaltenden Primärenergiebedarf der Wärmebereitstellung für Warmwasser, Heizung sowie Kühlung und an die Nutzung erneuerbarer Energien für den Gebäudebetrieb. Der auf die Gebäudenutzfläche A_N bezogene zulässige Primärenergiebedarf ist bereits seit Inkrafttreten der EnEV 2009 nicht mehr abhängig vom Hüllflächen-Volumen-Verhältnis A/V eines Gebäudes, sondern allein vom Energiebedarf des mit normierten Randbedingungen berechneten Referenzgebäudes (GEG § 15 und Anlage 1). Dabei gibt der rechnerisch ermittelte Primärenergiebedarf des sog. Referenzgebäudes als Abbild des real geplanten Gebäudes mit den im GEG festgelegten Referenzbauteilen und der dort definierten Referenz-Anlagentechnik den zulässigen Höchstwert für den Primärenergiebedarf des Neubaus vor. Die Erfüllung der Anforderungen kann technologieoffen durch unterschiedliche bauliche Maßnahmen in Kombination mit energieeffizienter Anlagentechnik erreicht werden und aus höchst individuellen Lösungen bestehen. Eine Übersicht der vom Verordnungsgeber festgelegten Randbedingungen zum Referenzgebäude zeigt Tabelle 8.1. 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 sachgerecht beschreibt. Die Abhängigkeiten aus Fensterflächenanteilen der Fassaden sowie der Einfluss des architektonischen Entwurfs (A/V-Verhältnis) fließen nicht direkt in die Anforderungen ein. Zudem beschreibt die Referenzausführung einen Gebäudestandard, der seit der EnEV 2009 unverändert als Referenz gilt und heutzutage als Standardausführung eines energieeffizienten Gebäudes überholt ist. Dies wird verdeutlicht durch die Multiplikation des Primärenergiebedarfs des Referenzgebäudes mit dem Faktor 0,55 zur Festlegung des zulässigen Höchstwertes. Als Bezugsgröße gilt der auf die beheizte und ggf. gekühlte Gebäudenutzfläche bezogene Primärenergiebedarf sowie informativ auch der im Energieausweis anzugebende Endenergiebedarf der verwendeten Energieträger.

Die rechnerische Gebäudenutzfläche $\mathbf{A_N}$ (auch Energiebezugsfläche genannt) ergibt sich aus dem Bruttovolumen $\mathbf{V_e}$ des beheizten bzw. gekühlten Gebäudeteils zu:

$$A_N = 0{,}32 \cdot \frac{1}{m} \cdot V_e \quad [m^2] \quad (28)$$

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

$$A_N = \left(\frac{1}{h_G} - 0{,}04\,\frac{1}{m}\right) \cdot V_e \quad [m^2] \quad (29)$$

Hinweis

Die so ermittelte Gebäudenutzfläche A_N stimmt im Regelfall nicht mit der Wohnfläche eines Gebäudes überein und ist lediglich eine für baurechtliche Nachweise und Angaben im Energieausweis normierte Bezugsfläche. Allerdings sind sämtliche in DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10 festgelegten spezifischen Kennwerte auf diesen Flächenansatz bezogen. In DIN V 18599 wird wiederum auf die Nettogrundfläche eines Gebäudes oder einer Nutzungszone Bezug genommen, so dass eine weitere Umrechnung zwischen Nettogrundfläche und Gebäudenutzfläche erfolgen muss. So können zwischen den flächenbezogenen Kennwerten durchaus große Unterschiede auftreten, die sich erst nach Multiplikation mit den entsprechenden Flächen als kennzeichnende Absolutwerte eines Gebäudes angleichen. Absolutwerte für das Gesamtgebäude zeigen eine gute Übereinstimmung mit ausgeführten Objekten [L2-L3, L20-L21]. Die Berechnung des Endenergiebedarfs nach DIN V 18599 tendiert nach ersten publizierten Erkenntnissen zu geringeren Zahlenwerten als nach dem bisher gebräuchlichen Normverfahren und erhöht damit die Übereinstimmung zwischen Endenergiebedarf und tatsächlichem Verbrauch von Wohngebäuden im Neubaubereich und von sanierten Objekten [L22-L23].

Der zulässige Transmissionswärmeverlust des zu errichtenden Wohngebäudes resultiert allein aus den Wärmeverlusten der wärmetauschenden Hüllfläche des Referenzgebäudes und stellt eine Fortführung der Anforderungen der EnEV

dar. Die bislang ergänzende Festlegung tabellierter Höchstwerte der auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverluste in Abhängigkeit der Gebäudekubatur entfiel bereits in der Version GEG 2020 ersatzlos. Dieses Vorgehen vereinfacht zwar die rechnerische Nachweisführung, ermöglicht aber die Planung und den Bau vollverglaster Wohngebäude, ohne durch Begrenzungen der Wärmedurchgangskoeffizienten regulierend auf das sommerliche Temperaturverhalten einzuwirken. Daher kommt dem rechnerischen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes weiterhin eine sehr wichtige Bedeutung zu.

Die Primärenergiefaktoren f_p des GEG 2020 werden im GEG 2023 unverändert fortgeführt. Für den nicht erneuerbaren Anteil am Strom-Mix gilt der f_p–Wert von 1,8. Diese Reduktion berücksichtigt den steigenden Anteil der erneuerbaren Stromerzeugung der nächsten Jahre am Strom-Mix in Deutschland. Die seit der GEG-Version 2020 verpflichtende Angabe der mit dem Gebäudebetrieb einhergehenden Treibhausgasemissionen als Produkt aus dem Endenergiebedarf und dem dazugehörigen Emissionsfaktor wird im GEG 2023 fortgeschrieben. Sie bedeutet allerdings bislang keine neue Anforderungsgröße.

Als Referenzklima für Deutschland ist der Referenzstandort Potsdam mit den Klimadaten gemäß DIN V 18599-10 zu verwenden. Dies gilt sowohl für die energetische Bilanzierung von Heizung und Kühlung sowie für die im Rahmen dieser Berechnungen zu ermittelnden Heiz- und Kühllasten zur Bestimmung der Leistungsdaten der Anlagentechnik. Dabei ist dringend zu beachten, dass diese Festlegungen den Planer nicht davon entbinden, die Auslegung der Heizung und ggf. Kälteerzeugung standortbezogen mit den dazu geltenden Normverfahren zu bestimmen. So beträgt z. B. die Außentemperatur zur Auslegung für die Heizung -12 °C. Die standortabhängige Wertespanne zur Heizlastberechnung deutscher Wohnorte liegt aber zwischen -10 °C und -24 °C.

8.2 Luftdichtheit der Gebäudehülle

Die Gebäudehülle ist nach den Regeln der Technik luftdicht auszuführen (GEG § 13). Darüber hinaus wird im sog. Referenzwohngebäude eine Abluftanlage zugrunde gelegt, die nur dann energetisch bilanziert werden darf, wenn die Luftdichtheit der Gebäudehülle mittels Blower-Door-Verfahren gemäß DIN EN ISO 9972 mit einem n_{50}-Luftwechsel ≤ 1,5 h^{-1} bestimmt wird (GEG § 26). So wird die Luftdichtheitsprüfung in Neubauten mit maschineller Wohnungslüftung nahezu obligatorisch. Der Anforderungswert n_{50} ≤ 3,0 h^{-1} gilt weiterhin für Gebäude(teile) ohne raumlufttechnische Anlagen, d.h. mit freier Fensterlüftung.

Angepasst wurden bereits in der EnEV 2014 die Anforderungen an die Dichtheit großer Gebäude. Sobald das konditionierte Luftvolumen den Wert von 1.500 m^3 übersteigt, wird der Volumenstrom auf die Hüllfläche des Gebäudes bezogen. Der nach DIN EN ISO 9972 ermittelte Messwert darf dann bei Gebäuden ohne raumlufttechnische Anlagen 4,5 m^3/m^2h und bei Gebäuden mit raumlufttechnischen Anlagen 2,5 m^3/m^2h nicht überschreiten (GEG § 26).

Parallel zur Luftdichtheit der Gebäudehülle ist im GEG (§ 11) ebenfalls die Durchführung von Mindestluftwechseln durch Inbezugnahme der DIN 4108-2 sowie auch DIN 4108-3 in einem zu errichtenden Gebäude verankert.

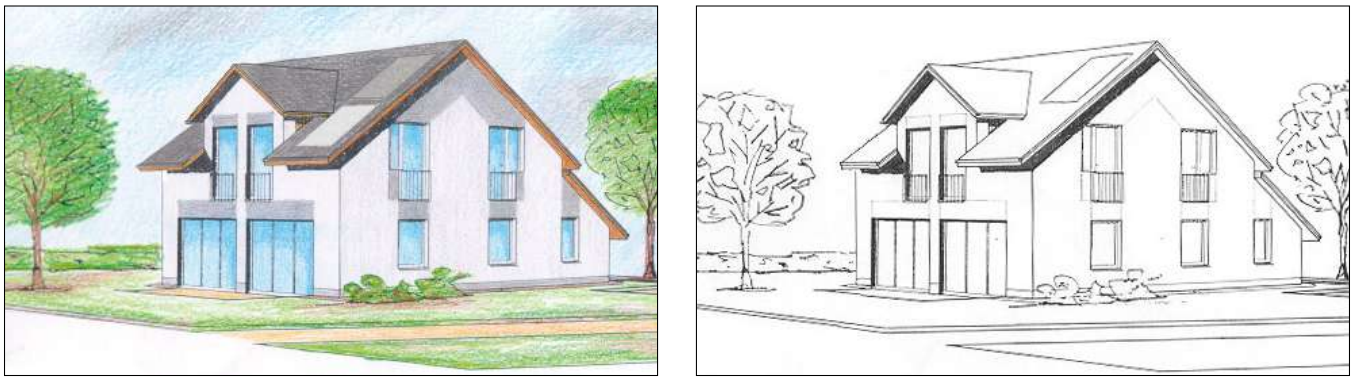


Bild 8.1: Real geplantes Gebäude (links) und das dazu gehörende Referenzgebäude (rechts) gleicher Geometrie und Orientierung wie das reale Gebäude, jedoch mit Bauteil- und Anlagenausführung gemäß Tabelle 8.1

Tabelle 8.1: Ausführung des Referenzgebäudes für Wohngebäude gemäß GEG Anlage 1

Zeile	Bauteil/Systeme	Referenzausführung/Wert (Maßeinheit)	
		Eigenschaft (zu Zeilen 1.1 bis 4)	
1.1	**Außenwand (einschließlich Einbauten, wie Rollladenkästen), Geschossdecke gegen Außenluft**	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,28 W/(m²·K)
1.2	**Außenwand gegen Erdreich, Bodenplatte, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen**	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,35 W/(m²·K)
1.3	**Dach, oberste Geschossdecke, Wände zu Abseiten**	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 0,20 W/(m²·K)
1.4	**Fenster, Fenstertüren**	Wärmedurchgangskoeffizient	U_W = 1,3 W/(m²·K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_\perp$ / bzw. g = 0,60
1.5	**Dachflächenfenster**	Wärmedurchgangskoeffizient	U_W = 1,4 W/(m²·K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_\perp$ / bzw. g = 0,60
1.6	**Lichtkuppeln**	Wärmedurchgangskoeffizient	U_W = 2,7 W/(m²·K)
		Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung	$g_\perp$ /g = 0,64
1.7	**Außentüren; Türen gegen unbeheizte Räume**	Wärmedurchgangskoeffizient	U = 1,8 W/(m²·K)
2	**Bauteile nach den Zeilen 1.1 bis 1.7**	Wärmebrückenzuschlag	ΔU_{WB} = 0,05 W/(m²·K)
3	**Solare Wärmegewinne über opake Bauteile**	wie das zu errichtende Gebäude	
4	**Luftdichtheit der Gebäudehülle**	Bemessungswert n_{50}	Bei Berechnung nach • DIN V 4108-6:2003-06: mit Dichtheitsprüfung • DIN V 18599-2:2018-09: nach Kategorie I
5	**Sonnenschutzvorrichtung**	keine Sonnenschutzvorrichtung	
6	**Heizungsanlage**	• Wärmeerzeugung durch Brennwertkessel (verbessert, bei der Berechnung nach § 20 Absatz 1 nach 1994), Erdgas, Aufstellung: - für Gebäude bis zu 500 m² Gebäudenutzfläche innerhalb der thermischen Hülle - für Gebäude mit mehr als 500 m² Gebäudenutzfläche außerhalb der thermischen Hülle • Auslegungstemperatur 55/45 °C, zentrales Verteilsystem innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge und Anbindeleitungen, Standard-Leitungslängen nach DIN V 4701-10:2003-08 Tabelle 5.3-2, Pumpe auf Bedarf ausgelegt (geregelt, Δp const), Rohrnetz ausschließlich statisch hydraulisch abgeglichen • Wärmeübergabe mit freien statischen Heizflächen, Anordnung an normaler Außenwand, Thermostatventile mit Proportionalbereich 1 K nach DIN V 4701-10:2003-08 bzw. P-Regler (nicht zertifiziert) nach DIN V 18599-5:2018-09	
7	**Anlage zur Warmwasserbereitung**	• zentrale Warmwasserbereitung • gemeinsame Wärmebereitung mit Heizungsanlage nach Nummer 6 • bei Berechnung nach § 20 Absatz 1: allgemeine Randbedingungen gemäß DIN V 18599-8:2018-09 Tabelle 6, Solaranlage mit Flachkollektor nach 1998 sowie Speicher ausgelegt gemäß DIN V 18599-8:2018-09 Abschnitt 6.4.3 • bei Berechnung nach § 20 Absatz 2: Solaranlage mit Flachkollektor zur ausschließlichen Trinkwassererwärmung entsprechend den Vorgaben nach DIN V 4701-10:2003-08 Tabelle 5.1-10 mit Speicher, indirekt beheizt (stehend), gleiche Aufstellung wie Wärmeerzeuger, - kleine Solaranlage bei $A_N \leq 500$ m² (bivalenter Solarspeicher) - große Solaranlage bei $A_N > 500$ m² • Verteilsystem mit Zirkulation, innerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche, innen liegende Stränge, gemeinsame Installationswand, Standard-Leitungslängen nach DIN V 4701-10:2003-08 Tabelle 5.1-2	
8	**Kühlung**	keine Kühlung	
9	**Lüftung**	zentrale Abluftanlage mit Außenwandluftdurchlässen (ALD), nicht gebarfsgeführt mit geregeltem DC-Ventilator; nutzungsbedingter Mindestaußenluftwechsel nNutz = 0,5 h-1 (nach DIN V 18599-10: 2018-09	
10	**Gebäudeautomation**	Klasse C nach DIN V 18599-11: 2018-09	

8.3 Berücksichtigung von Wärmebrücken

Ein hoher Wärmeschutz der Gebäudehülle wirkt sich gravierend auf die Wärmebrückenthematik (GEG § 12 und § 24) der Bauteilanschlüsse aus. Das GEG nimmt das überarbeitete und mit zusätzlichen Details veröffentlichte DIN 4108 Beiblatt 2 [R7] in Bezug und ermöglicht damit die Bilanzierung verbesserter Wärmebrücken in Form reduzierter pauschaler Wärmebrückenzuschläge.

Der weiterhin im Referenzgebäude zugrunde gelegte, auf die Gebäudehüllfläche bezogene Pauschalwert ΔU_{WB} von 0,05 W/(m^2 K) entspricht nunmehr der Kategorie A, d.h. dem bisherigen Niveau üblicher Wärmebrückendetails im Neubau. Das Beiblatt 2 enthält darüber hinaus zahlreiche verbesserte Anschlussdetails der Kategorie B, die einen pauschalen Zuschlag am real geplanten Gebäude mit ΔU_{WB} von 0,03 W/(m^2 K) ermöglichen. Damit wird eine aufwendige individuelle Ermittlung der zusätzlichen Wärmebrückenverluste zur Reduktion der Transmissionswärmeverluste für die Nachweisführenden oftmals hinfällig. Gleichzeitig vervollständigt sich aber auch die Liste der nachzuweisenden Details, z. B. für Anschlüsse bei Tiefgaragen, an unbeheizte Keller, etc. Weitere Informationen zu den Details im Beiblatt 2 sowie zur Anwendung pauschaler Wärmebrückenzuschläge enthält Kapitel 6 dieser Broschüre.

8.4 Sommerlicher Wärmeschutz

Der sommerliche Wärmeschutz wurde letztmalig im Zuge der Überarbeitung der DIN 4108-2 [R6] neu gefasst. Er ist wie bisher normativ im Rahmen eines vereinfachten Verfahrens über eine Begrenzung der Sonneneintragskennwerte oder alternativ mittels dynamischer Gebäudesimulationsrechnungen für einzelne Räume, Raumgruppen oder Nutzungszonen nachzuweisen. Die Zielsetzung lautet in erster Linie, Gebäudenutzer vor hohen Raumtemperaturen zu schützen und eine Energieeinsparung durch die Vermeidung von Klimatisierungsbedarf sicherzustellen. Bei besonders großen Fensterflächenanteilen im Wohnungsbau wird zur rechnerischen Einhaltung der Anforderungen häufig eine Simulationsrechnung der kritischen Raumsituationen erforderlich, um einen Nachweis erfolgreich führen zu können. Im Hinblick auf die sich insbesondere in den Sommermonaten zuspitzende Klimaerwärmung sollten die Planenden die Fensterflächenanteile der Fassaden maßvoll begrenzen, um einer Klimatisierung von Wohnräumen nicht Vorschub zu leisten.

8.5 Anforderungen an die Anlagentechnik

Die bereits in der EnEV formulierte Forderung zur Aufrechterhaltung der energetischen Qualität von Bauteilen und der Anlagentechnik ist im GEG § 57 explizit auf Komponenten der Anlagentechnik erweitert worden. Dies gilt auch für eine sachgerechte Bedienung (GEG § 59) und die Wartung und Instandhaltung derartiger Anlagen (GEG § 60). Weitere Festlegungen betreffen die Regelgüte unterschiedlicher Anlagenkomponenten, die Begrenzung der elektrischen Leistung von Ventilatoren sowie die Wärmedämmung von Rohrleitungen.

Das GEG beinhaltet ein generelles Betriebsverbot von mit Heizöl oder fossilen Festbrennstoffen betriebenen Heizkesseln ab dem 1. Januar 2026 in Neubauten, sofern andere Energieträger wirtschaftlich möglich sind. Auch auf Bestandsgebäude wird dieses Betriebsverbot ausgeweitet (GEG § 72). Zahlreiche Ausnahmeregelungen sind in Fällen besonderer Härte zwar vorhanden, der politische Wille zur Umstellung der Beheizungsstruktur von Wohngebäuden wird aber an dieser Stelle des Gesetzes besonders deutlich.

8.6 Nutzung erneuerbarer Energien

Das EEWärmeG wurde bereits im Vorgriff auf die EnEV 2009 im Januar 2009 erlassen und 2011 geändert. Die dort getroffenen Festlegungen für zu errichtende Gebäude sind in Abschnitt 4 des GEG in den §§ 34-45 verankert. Eigentümer neu errichteter Gebäude müssen erneuerbare Energien nutzen. Das gilt unabhängig davon, ob es sich um ein Wohngebäude oder ein Nichtwohngebäude handelt. Auch vermietete Immobilien unterliegen dieser Pflicht. Eigentümer alter Gebäude können Förderprogramme der Bundesregierung in Anspruch nehmen, wenn sie freiwillig erneuerbare Energien nutzen. Darüber hinaus sind in den Bundesländern eigene Festlegungen zur Nutzung erneuerbarer Energien bei Bestandsgebäuden weiterhin möglich wie z. B. in Baden-Württemberg [R27]. Es existieren unterschiedliche Möglichkeiten, den Forderungen zur Nutzung erneuerbarer Energien bei der Wärme- und Kälteerzeugung nachzukommen.

Die Strahlungsenergie der Sonne kann beispielsweise durch solarthermische Anlagen genutzt werden (GEG § 35). Um die Nutzungspflicht zu erfüllen, müssen Gebäude den Wärmeenergiebedarf in diesem Fall zu mindestens 15 % aus Solarenergie decken. Der Nachweis für Wohngebäude gilt als erfüllt, wenn die Kollektorfläche zur Trinkwassererwärmung

bei Wohngebäuden mit höchstens zwei Wohnungen 0,04 m^2 Fläche pro m^2 beheizter Nutzfläche, bei größeren Wohngebäuden 0,03 m^2 Fläche pro m^2 beheizter Nutzfläche aufweist. Zu beachten ist, dass die Pflicht nur dann erfüllt wird, wenn der Kollektor mit dem europäischen Prüfzeichen „Solar Keymark" 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 zu Unwirtschaftlichkeit und zu technischen Problemen führen kann, wenn die erzeugte Wärmeenergie nicht abgenommen wird. Es wird daher empfohlen, die sich aus dem Solarertrag ergebende Minderung des Endenergiebedarfs > 15 % nachzuweisen und nicht die auf die Nutzfläche bezogene Kollektorfläche heranzuziehen.

Die Nutzung von Strom aus erneuerbaren Energien ist gemäß GEG § 36 seit der GEG-Version 2020 ebenfalls möglich, um die Anforderungen zu erfüllen. Grundsätzlich gilt hier ebenso ein Deckungsanteil der Endenergie der Wärme- und Kälteversorgung von mindestens 15 % oder aber alternativ eine Anlagengröße, deren Nennleistung in Kilowatt mindestens dem 0,03-fachen der Gebäudenutzfläche geteilt durch die Anzahl der beheizten oder gekühlten Geschosse entspricht.

Neben Solarenergie kann auch Geothermie oder Umweltwärme genutzt werden (GEG § 37). Dies ist Wärme, die Luft oder Wasser entnommen wird. In Abgrenzung zur Abwärme muss es sich dabei um natürliche Wärmequellen handeln. Geothermie, also Wärme, die aus dem Erdinneren kommt, wird je nach Tiefe der Erdbohrung unterschieden zwischen tiefer und oberflächennaher Geothermie. Sowohl Wärmeenergie tief liegender Schichten bis 100 Meter Tiefe als auch oberflächennahe Erdwärme muss mit Hilfe einer Wärmepumpe auf das gewünschte Temperaturniveau angehoben werden. Wer Erdwärme oder Umweltwärme nutzt, muss seinen Wärmebedarf zu mindestens 50 % daraus decken. Im GEG 2023 existieren keine technischen Anforderungen an solche Wärmepumpen, z. B. bestimmte Jahresarbeitszahlen beim Einsatz von Wärmepumpen und die Ausstattung mit Wärme- und Stromzählern.

Grundsätzlich kann auch flüssige, gasförmige und jede Form von fester Biomasse zur Pflichterfüllung genutzt werden (GEG §§ 38-40). Es muss sich dabei allerdings um Biomasse im Sinne der Biomasseverordnung handeln. So dürfen die „klassischen" Brennstoffe wie Holzpellets, Holzhackschnitzel und Scheitholz genutzt werden. Wer feste Biomasse nutzt, muss seinen Wärmebedarf (Warmwasser, Raumwärme und Kühlung) zu mindestens 50 % daraus decken. Das Gesetz stellt zusätzlich zu diesem Mindestanteil gewisse ökologische und technische Anforderungen, die den umweltverträglichen Einsatz der Technologien gewährleisten sollen.

Die Nutzung von Kälte aus erneuerbaren Energien gemäß GEG § 41 kommt für Wohngebäude normalerweise nicht in Frage.

Anstatt der Nutzung erneuerbarer Energien können als Ersatzmaßnahme z. B. die Nutzung von Abwärme direkt oder mittels Wärmepumpen gemäß GEG § 42, die Nutzung von Kraft-Wärme-Kopplung gemäß GEG § 43 oder aber Fernwärme gemäß GEG § 44 alternativ in Betracht gezogen werden. Dazu ist in allen Fällen der Wärme- oder Kälteenergiebedarf zu mindestens 50 % aus diesen Prozessen zu decken. Eine Ausnahme bildet die neue Technologie der Brennstoffzellenheizung, die nur einen Anteil von 40 % erfordert.

Eine weitergehende alternative Ersatzmaßnahme ohne Einhaltung der Nutzungspflichten der zuvor beschriebenen anlagentechnischen Maßnahmen enthält GEG § 45 mit der Unterschreitung der Anforderungen an den zulässigen Transmissionswärmeverlust von 15 % gemäß GEG § 16. Dies wäre zumindest theoretisch auf Berechnungsbasis des Referenzgebäudes durch den Bau eines vollverglasten Gebäudes mit 3-fach Wärmeschutzverglasung möglich.

Entscheidend bei allen Varianten der möglichen Maßnahmen ist deren Kombinationsmöglichkeit. So kann der reduzierte Deckungsanteil einer einzelnen Technologie durch die Restdeckung einer oder mehrerer weiterer Technologien ergänzt werden. Eine detaillierte Nachweisführung insbesondere bei kombinierten Ersatzmaßnahmen ist mittels DIN V 18599 Beiblatt 2 möglich, welches entsprechende Formblätter und Erläuterungen zur Erfüllung der Nachweise nach dem bisherigen EEWärmeG enthält und weiterhin verwendet werden kann.

8.7 Energieausweise

Die angegebenen Energieeffizienzklassen bewegen sich in der Spanne von A+ (Endenergie ≤ 30 kWh/m²·a) bis H (Endenergie > 250 kWh/m²·a). Die Zuordnung ist sowohl für Bedarfs- als auch für Verbrauchsausweise gleich. Inwieweit diese Festlegung zur Klarstellung der Gebäudeenergieeffizienz dient, darf hinterfragt werden, wenn regenerative Endenergien in diesen Zahlenwerten der Endenergie nicht enthalten sind – vgl. Kapitel 7.2. In den neu konfigurierten Ausweisformularen [31] für Wohngebäude hat der Gesetzgeber die Aufnahme der flächenbezogenen Angabe zu Treibhausgasemissionen in kg CO_2-Äquivalent verpflichtend angelegt.

Mit Inkrafttreten der letzten Energieeinsparverordnung am 1. Mai 2014 wurde jeder Ausweis für ein Bestandsgebäude sowie für ein zu errichtendes Gebäude über ein elektronisches Antragsverfahren registriert. Die erstellten Ausweise und die Ausstellenden werden weiterhin amtlich registriert. Diese Aufgabe übernimmt bis auf weiteres das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) im Auftrag der Landesbehörden.

Die Forderung der EPBD-Richtlinie zur Einführung eines Kontrollsystems für Energieausweise und Inspektionsberichte für Klimaanlagen ist ebenfalls seit 2014 im DIBt für die 1. Prüfungsstufe aufgebaut und umgesetzt. Ein repräsentativer Anteil aller Neubauvorhaben eines Jahres soll in bis zu drei Prüfstufen stichprobenartig kontrolliert werden. In den meisten Bundesländern existiert offensichtlich bislang keine derartige Kontrollinstanz. Lediglich in Nordrhein-Westfalen und in Baden-Württemberg werden offensichtlich derzeit Kontrollen der Stufen 2 und 3 durchgeführt [32].

8.8 Vollzug des GEG

Nach Fertigstellung eines neu zu errichtenden Gebäudes hat der Bauherr oder Gebäudeeigentümer der nach Landesrecht zuständigen Behörde eine Erfüllungserklärung abzugeben (GEG § 92). Die Ministerien der Länder entscheiden, wer zur Ausstellung derartiger Erklärungen berechtigt ist. Eine Erfüllungserklärung ist ebenso auszustellen bei Änderungen bestehender Gebäude im Sinne des GEG § 48 bzw. §§ 50-51. Die Erfüllungserklärungen müssen Bezug nehmen auf die Berechnungsvorgaben des GEG sowie die technischen Anforderungen und Randbedingungen, um eine Überprüfung der Nachweise zu ermöglichen.

Neben den Erfüllungserklärungen werden sog. Unternehmererklärungen als private Nachweise gewerblicher Unternehmen nach Abschluss folgender Arbeiten an Gebäuden erforderlich:

1. Änderungen von Außenbauteilen im Sinne GEG § 48,
2. Dämmung oberster Geschossdecken,
3. Einbau von Zentralheizungen,
4. Ausstattung von Zentralheizungen mit Regelungseinrichtungen,
5. Einbau von Umwälzpumpen in Zentralheizungen und Zirkulationspumpen in Warmwasseranlagen,
6. erstmaliger Einbau, Ersatz oder Wärmedämmung von Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen
7. Einbau von Klima- und raumlufttechnischen Anlagen (RLT)
8. Ausrüstung von RLT-Anlagen mit Einrichtungen zur Feuchteregelung

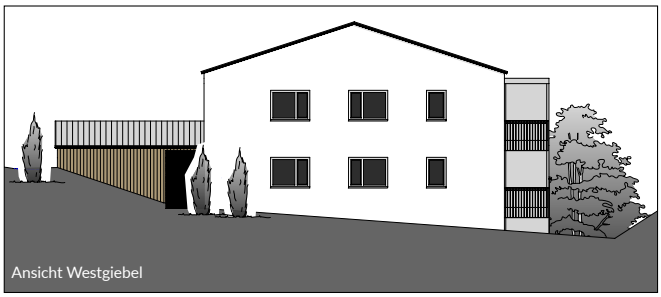
Gewerbliche Lieferanten von fester, gasförmiger oder flüssiger Biomasse müssen mit der Abrechnung der Energielieferungen dem Eigentümer eines Gebäudes bestätigen, dass die Anforderungen an Biomasse nach der Biomasseverordnung [R28] eingehalten sind. Mit diesen Bestätigungen kann die Erfüllung der Nutzungspflichten zur Verwendung erneuerbarer Energien nachgewiesen werden.

Neben den zuvor genannten Erfüllungsbescheinigungen und Unternehmererklärungen kommt bei mit Brennstoffen betriebenen Heizungsanlagen dem Bezirksschornsteinfegermeister die Aufgabe zu, im Rahmen der Inbetriebnahme heizungstechnischer Anlagen oder der Feuerstättenschau die Einhaltung der Anforderungen des GEG im Hinblick auf die Wärmeerzeuger und Wärmeverteileinrichtungen zu prüfen. Darüber hinaus hat er die Eigentümer auf eventuell bestehende Nachrüstverpflichtungen hinzuweisen und im Falle der Nichterfüllung der Anforderungen die nach Landesrecht zuständigen Stellen zu informieren.

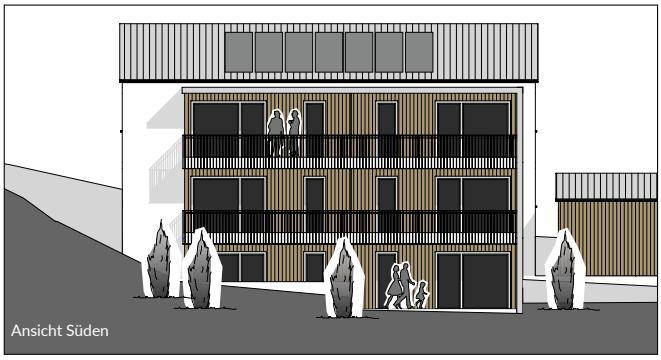
9. Nachweis für zu errichtende Wohngebäude

9.1 Beispiel Mehrfamilienwohnhaus

Im vorliegenden Beispiel werden die Ergebnisse der rechnerischen Nachweisführung eines Mehrfamilienwohnhauses mit fünf Wohnungen auf Basis der untenstehenden Zeichnungen dargestellt. Im Untergeschoss befindet sich neben den Kellerräumen und dem Aufstellort der Wärmeerzeuger eine Wohnung zur Südseite. Der Keller sowie das Treppenhaus werden vollständig als beheizt angenommen. Der Dachboden dagegen ist nicht ausgebaut, die Wärmedämmebene liegt auf der obersten Geschossdecke zum unbeheizten Dachraum. Das beheizte Volumen V_e des Gebäudes beträgt 2.051 m³. Daraus ergibt sich eine beheizte Energiebezugsfläche A_N von 656,3 m³.



Ansicht Westgiebel



Ansicht Süden

In der Ausführung als Referenzgebäude gemäß GEG mit den seit der EnEV 2009 nahezu unveränderten Kennwerten ergibt sich mit dem Rechenverfahren der DIN V 18599 ein Endenergiebedarf von 54,6 kWh/(m²a) und ein Primärenergiebedarf von 58,2 kWh/(m²a).

Das Gebäude wird mit freier Fensterlüftung betrieben und es wird ein Wärmedämmstandard angenommen, der die heute üblichen Bauausführungen widerspiegelt. Die Auswahl einer energieeffizienten Anlagentechnik stellt die große Herausforderung dar und ist von vielen individuellen Gegebenheiten abhängig. In diesem Beispiel wird eine Luft-Wasser-Wärmepumpe zur Wärmeerzeugung für Heizung und Warmwasserbereitung gewählt, die durch einen Spitzenlasterzeuger in Form eines Gas-Brennwertkessels unterstützt wird. Eine kleine Photovoltaikanlage von z. B. 10 m² Größe wird ebenfalls eingesetzt, die ausschließlich zur Deckung des Allgemeinstroms und zur Unterstützung der Wärmepumpe zum Einsatz kommt. Eine Luft-Wasser-Wärmepumpe sollte aus Gründen moderater Investitionskosten eine thermische Leistung von etwa 10 kW nicht überschreiten. Sie kann bei dieser Auslegung etwa 95 % des rechnerisch ermittelten Heizwärmebedarfs und unter Idealbedingungen 100 % des Warmwasserbedarfs decken. Ein Pufferspeicher zwischen 600 und 1.000 Liter Wasservolumen ist zusätzlich erforderlich. Diese Angaben sind allerdings für den Klimastandort Potsdam (Referenzstandort) aus der Energiebilanzierung zu entnehmen und werden im realen Gebäudebetrieb von den Klimabedingungen am Gebäudestandort abhängig sein.

Die Kennwerte der Bauteile der wärmetauschenden Hülle sind der tabellarischen Übersicht 9.1 zu entnehmen. Ein U-Wert für die Außenwand, so wie er in Tabelle 9.1 dargestellt wird, lässt sich z. B. mit einem 36,5 cm Hochlochziegel der Wärmeleitfähigkeit 0,08 W/(mK) oder mit einem 42,5 cm Hochlochziegel mit der Wärmeleitfähigkeit von 0,09 W/(mK) erreichen. Die Fenster der Wohnungen erhalten eine Dreifach-Isolierverglasung und einen Rahmen, welcher im Mittel einen U-Wert der Fenster von 0,9 W/(m²K) ermöglicht. Für die Ausführungen der anderen Bauteile der thermischen Gebäudehülle werden die Dämmstoffdicken entsprechend dem dargestellten U-Wert gewählt.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten der einzelnen Bauteile sind überwiegend geringer als im Referenzgebäude zugrunde gelegt. Unter Berücksichtigung eines pauschalen Wärmebrückenzuschlags von 0,03 W/(m²·K) auf die gesamte wärmetauschende Hüllfläche und unter Berücksichtigung der Temperatur-Korrekturfaktoren bei Dachdecke und den erdberührten Bauteilen ergibt sich ein spezifischer, auf die Hüllfläche bezogener Transmissionswärmeverlust H'_T von 0,245 W/(m²K). Der zulässige Wert entsprechend der Ausführung des Referenzgebäudes beträgt 0,354 W/(m²K). Weitere Kennwerte und ausgewählte Zwischenergebnisse zur Erstellung einer Energiebilanz gemäß DIN V 18599-2 enthält die tabellarische Übersicht auf Seite 64 in Tabelle 9.2.

Tabelle 9.1: Zusammenstellung der Bauteile und Bauteilkennwerte des Beispielgebäudes Mehrfamilienwohnhaus

Bauteil	Fläche in m²				U-Wert in [W/(m²·K)]
	Nord	Ost	Süd	West	
Außenwand	94,7	74,4	84,8	72,1	0,21
Fenster	4,8	9,5	39,1	11,8	0,90 g = 0,5
Fenstertüren barrierearm			18,6		
Fenster Lichtschacht	1,8				1,3
Haustürelement	3,1				1,8
Außenwand an Erdreich	140,6				0,22
Dachgeschossdecke	222,5				0,11
Bodenplatte	222,5				0,27
Σ Hüllfläche	1.000,2				

Unter der Voraussetzung der geprüften Luftdichtheit der Gebäudehülle mittels Blower-Door, des hydraulischen Abgleichs der Fußbodenheizung und eines Gleichwertigkeitsnachweises der Wärmebrücken gemäß DIN 4108 Beiblatt 2 Kategorie B wird ein Primärenergiebedarf von 31,2 kWh/(m²·a) rechnerisch ermittelt. Der zulässige Primärenergiebedarf mit 55 % vom Vergleichswert 58,2 kWh/(m²·a) des Referenzgebäudes beträgt 32,0 kWh/(m²·a).

Anhand ausgewählter Bilanzanteile, die sich als Zwischenergebnisse der Wärmebilanz ergeben, werden die einzelnen Einflüsse auf den Gesamtenergiebedarf des Wohngebäudes veranschaulicht. Die Berechnungen erfolgen dabei nach der DIN V 18599-2 [R5]. Die Ermittlung der Energieflüsse im Gebäude basiert auf Monatsbilanzen mit normierten Nutzungsrandbedingungen und den Klimadaten des Referenzstandortes für Deutschland. Im Gegensatz zur Methodik der getrennten Bilanzierung gemäß DIN V 4108-6 (Gebäude) und DIN V 4701-10 (Anlagentechnik) werden im Berechnungsverfahren der DIN V 18599 die Gebäudeenergiebilanz und die Effizienz der gewählten Wärmeerzeugungstechnik gemeinsam in einer monatlichen Gesamtbilanz bewertet.

Eine per Software erstellte Energiebilanz muss nach einem ersten Berechnungsschritt der erforderlichen Nutzwärme mit Annahmen zur Anlageneffizienz weitere rechnerische Iterationen folgen lassen, um die Wechselwirkung zwischen Gebäude und Anlageneffizienz hinreichend zu berücksichtigen. Bei Wohngebäuden, die als Einzonenmodelle zu bilanzieren sind, ergeben sich in dem hier dargestellten Berechnungsbeispiel fünf Iterationsschritte bis zum endgültigen Berechnungsergebnis. Die Softwareanwender bemerken diese Iterationen in der Berechnung nicht, da monatsweise Berechnungsschritte sehr kurze Rechenoperationen erfordern.

Somit wird deutlich, dass insbesondere die Bewertung der anlagentechnischen Komponenten der DIN V 18599 zu anderen Ergebnissen führen muss, als die Anlagenaufwandszahlen der DIN V 4701-10, die eine starre Heizperiodenlänge und damit auch zu wenig differenzierte Anlagenkennwerte aufweisen. Die wesentlichen Ergebnisse der Gebäudeenergiebilanz für das berechnete Beispielgebäude sind in der folgenden Tabellen 9.3 und 9.4 monatsweise und als Absolutwerte in kWh aufgeführt. Die Bezeichnungen der Bilanzanteile erfolgen mit den Formelzeichen der DIN V 18599 und werden in der Legende zur Tabelle erläutert.

Die Bilanz der Endenergie für die Gebäudeheizung wird mit Standardkennwerten der Anlagentechnik ermittelt. Aus dem in DIN V 18599-2 berechneten Nutzwärmebedarf ergibt sich unter Berücksichtigung weiterer Prozessbereiche wie Wärmeverteilung, Wärmeübergabe und den Wärmeverlusten der Wärmepumpe und des Brennwertkessels der Endenergiebedarf für den Energieträger Strom und Erdgas. Zusätzlich wird die Hilfsenergie elektrischer Strom für Antriebe, Pumpen und Regelung angegeben.

Tabelle 9.2: Erforderliche Gebäudekennwerte für die rechnerische Ermittlung des Heizwärmebedarfs für ein Wohngebäude gemäß GEG § 20 ermittelt nach DIN V 18599-2

Beheiztes Gebäudevolumen V_e = 2.051 m³, Nettovolumen V = 1.410 m³, Nettogrundfläche A_{NGF} = 548,5 m²
Gebäudenutzfläche $A_N = 0{,}32 \cdot V_e$ = 656,3 m², Geschosshöhe h = 3,0 m, Umfang der Bodenplatte U = 60,0 m, 5 Wohneinheiten

Bauteil	Umgebung	Fläche A [m²]	U-Wert [W/(m²·K)]	TemperaturKorrekturfaktor F_x	Wärmeverlust H_T	Einheit
Außenwand	N/O/S/W	325,9	0,21	1	68,4	W/K
Fenster	N/O/S/W	55,9	0,9	1	50,3	W/K
Fenstertüren	S	27,9	0,9	1	25,1	W/K
Fenster Lichtschacht	N	1,8	1,3	1	2,3	W/K
Haustürelement	N	3,1	1,8	1	5,6	W/K
Außenwand UG	Erdreich	140,6	0,22	0,6*	18,6	W/K
Dachgeschossdecke	ungedämmter Dachraum	222,5	0,11	0,8	19,6	W/K
Bodenplatte	Erdreich	222,5	0,27	0,4*	24,0	W/K
	Σ A	1.000,2		**$\Sigma A \cdot U \cdot F_x$**	213,9	W/K
Wärmebrückenzuschlag	Wärmebrückenzuschlag 0,03 W/(m²·K) · 1.000,2 m²			**H_{WB}**	30,0	W/K
Transmissionswärmeverlust H_T				**$\Sigma (A \cdot U \cdot F_x) + H_{WB}$**	243,9	W/K

Luftvolumen V (netto)	Pauschale Ermittlung	Wohngebäude bis zu 3 Vollgeschosse	**$0{,}76 \cdot V_e$**	-	m³
		Wohngebäude über 3 Vollgeschosse	**$0{,}8 \cdot V_e$**	-	m³
	Detaillierte Ermittlung		**$A_{NGF} \cdot H$**	1.410	m³
Luftwechsel bei Fensterlüftung ohne Außenluftdurchlässe	Infiltration n_{inf}	Luftdichtheit nicht geprüft $n_{50} = 4\ h^{-1}$	**4,0 · 0,07**	–	h^{-1}
		Luftdichtheit geprüft $n_{50} = 2\ h^{-1}$	**2,0 · 0,07**	0,14	h^{-1}
	Fensterluftwechsel n_{win}	saisonal variierend	**0,38 … 0,71 · h^{-1}**	0,46	h^{-1}

	Bauteil	Fläche A [m²]	Gesamtenergiedurchlassgrad $g_\perp$	F_F	F_S	F_w	F_V	spezifischer Gewinn** $A \cdot g_\perp \cdot F_F \cdot F_S \cdot F_w \cdot F_V$
Solare Wärmeeinträge über transparente Bauteile ohne Sonnenschutzvorrichtung	Fenster Nord	4,8	0,5	0,7	0,9	0,9	1	1,361 m²
	Fenster Ost	9,5	0,5	0,7	0,9	0,9	1	2,693 m²
	Fenster Süd	38,5	0,5	0,7	0,9	0,9	1	10,915 m²
	Fenster West	11,8	0,5	0,7	0,9	0,9	1	3,345 m²
	Fenster Lichtschacht	1,8	0,67	0,7	0,9	0,9	1	0,612 m²

		Strahlungsabsorptionsgrad α	Formfaktor F_f		
Solare Wärmeeinträge über opake Flächen	Außenwände	0,5	0,5	durch Bilanzierung gemäß Kapitel 2.3.3	
	Dachflächen	0,8	1,0	ohne Beitrag, da unbeheizter Dachraum	

Interne Wärmequellen bezogen auf die Nettogrundfläche	Einfamilienhäuser	45	Wh/m²·d	tägliche Wärmeabgabe q_i	–	kWh/d
	Mehrfamilienhäuser	90	Wh/m²·d	tägliche Wärmeabgabe q_i	49,365	kWh/d
Ungeregelte Einträge durch Wärmeverteilleitungen, Wärmeerzeuger, Wärmespeicher	Trinkwassersystem			durch Bilanzierung gemäß DIN V 18599-8		
	Heizungssystem			durch Bilanzierung gemäß DIN V 18599-5		
	Mechanische Lüftung			durch Bilanzierung gemäß DIN V 18599-6		
Wirksame Wärmekapazität C_{wirk}	schwere Massivbauweise	130	W/(m²·K) · A_{NGF}		-	kWh/K
	mittelschwere Massivbauweise	90	W/(m²·K) · A_{NGF}		49,365	kWh/K
	leichte Bauweise	50	W/(m²·K) · A_{NGF}		-	kWh/K
Trinkwarmwasserbedarf	flächenbezogener Trinkwarmwasserbedarf einer mittleren Wohneinheit $q_{w,B}$ = max [16,5 – ($A_{NGF,WE,m}$ · 0,05); 8,5] kWh/(m²·a)			11,0 kWh/m²·a	6.033,5	kWh/a

* Außenwand an Erdreich und Bodenplatte mit Perimeterdämmung, vgl. Kapitel 2.2.1 ** Der spezifische Gewinn bedeutet die effektive Fläche der Solarapertur, die mit der flächenbezogenen und richtungsabhängigen Solarstrahlung über den Monatszeitraum gemäß Tab. 2.5 und nach Gl. 12 zu multiplizieren ist.

Tabelle 9.3: Monatswerte der Energiebilanz Heizung für das Beispielgebäude in kWh

Bilanzanteil	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
$Q_{h,b}$	3.716	3.263	2.221	548	33	0	0	0	45	969	3.111	4.117	18.022
$Q_{h,d}$	677	592	475	234	16	0	0	0	21	293	570	721	3.601
$Q_{h,ce}$	421	370	252	62	4	0	0	0	5	110	353	467	2.044
$Q_{h,reg}$	3.474	3.032	2.147	633	53	0	0	0	71	1.027	2.924	3.823	17.138
$Q_{h,outg}$	4.815	4.225	2.948	844	53	0	0	0	71	1.372	4.034	5.305	23.668
$Q_{h,gen}$	52	40	26	9	3	0	0	0	4	0	34	57	224
$Q_{h,f,in}$	1.675	1.361	844	221	56	0	0	0	75	345	1.204	1.846	7.628
$W_{h,aux}$	51	46	46	38	30	29	30	30	30	33	47	53	464

$Q_{h,b}$ = Nutzwärmebedarf für Raumwärme
$Q_{h,d}$ = Verluste der Heizungsverteilung
$Q_{h,ce}$ = Verluste der Wärmeübergabe durch Fußbodenheizung/Heizkörper
$Q_{h,reg}$ = Regenerativer Energieeintrag (Umweltenergie) der Wärmepumpe
$Q_{h,outg}$ = Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeuger
$Q_{h,gen}$ = Wärmeverluste des Brennwertkessels
$Q_{h,f,in}$ = Endenergie Erdgas (BW-Kessel) und elektrischer Strom (WP)
$W_{h,aux}$ = Hilfsenergie (elektrisch) für Verteilung und Erzeugung

Tabelle 9.4: Monatswerte der Energiebilanz Trinkwarmwasser für das Beispielgebäude in kWh

Bilanzanteil	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jahr
$Q_{w,b}$	512	463	512	496	512	496	512	512	496	512	496	512	6.034
$Q_{w,d}$	433	391	431	414	424	409	421	421	411	427	417	433	5.033
$Q_{w,s}$	29	26	29	28	28	27	28	28	27	29	28	29	336
$Q_{w,reg}$	216	256	553	937	965	932	962	945	857	561	264	64	7.514
$Q_{w,outg}$	758	623	419	0	0	0	0	17	77	408	677	911	3.889
$Q_{w,gen}$	4	3	1	3	145	148	153	153	136	1	3	5	755
$Q_{w,f,in}$	762	626	420	3	145	148	153	170	212	409	680	916	4.643
$W_{w,aux}$	21	22	37	56	68	66	68	68	62	38	23	14	542

$Q_{w,b}$ = Nutzwärmebedarf Trinkwarmwasser (TWW)
$Q_{w,d}$ = Verluste der Verteilung
$Q_{w,s}$ = Verluste der Speicherung (Pufferspeicher Heizung + TWW)
$Q_{w,reg}$ = Regenerativer Energieeintrag (Umweltenergie) der Wärmepumpe
$Q_{w,outg}$ = Nutzwärmeabgabe der Wärmeerzeuger
$Q_{w,gen}$ = Wärmeverluste des Brennwertkessels
$Q_{w,f,in}$ = Endenergie Erdgas (BW-Kessel) und elektrischer Strom (WP)
$W_{w,aux}$ = Hilfsenergie (elektrisch) für Verteilung, Speicherung und Erzeugung

Hinweis

Bei Verwendung einer Solaranlage wird der Deckungsbeitrag in DIN V 18599-1 als Endenergie mit dem Energieträger „Umweltenergie“ ausgewiesen. Im Rahmen des GEG-Nachweises und im Energieausweis wird diese Energie aber nicht als Endenergie deklariert – siehe § 20 Abs. 4. Dort wird nur der um die Umweltwärme und solare Strahlungsenergie reduzierte fossile Endenergiebedarf angegeben. Diese gesetzliche Festlegung täuscht also darüber hinweg, dass der tatsächliche Energiebedarf eines Gebäudes im Falle regenerativer Energienutzung deutlich höher sein kann, als die Kennwerte dies erscheinen lassen. Insbesondere bei Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und in der Situation des Ausfalls einer derartigen regenerativen Energienutzung wird der wahre Endenergiebedarf sichtbar.

Der rechnerisch ermittelte Primärenergiebedarf beträgt 31,2 kWh/(m²·a), der Endenergiebedarf lediglich 18,6 kWh/(m²·a). Dabei ist allerdings zu beachten, dass der Endenergiebedarf für den elektrischen Strom von Wärmepumpe und Hilfsenergie mit einem Wert 10.500 kWh/a bereits um den Stromertrag von 1.200 kWh/a der 10 m² PV-Anlage gemindert ist.

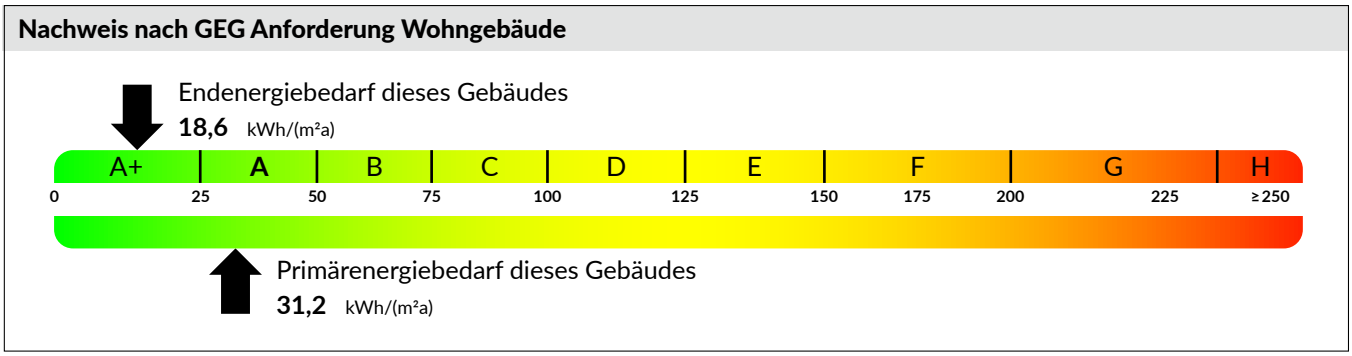


Bild 9.1: Nutzflächenbezogener End- und Primärenergiebedarf des Beispielgebäudes im Energieausweis gemäß [R2]

9.2 Neubau-Förderung der KfW

Seit dem 01.03.2023 gibt es für die Förderung von zu errichtenden Wohngebäuden die neue Förderrichtlinie „Klimafreundlicher Neubau“, die durch die KfW (= Kreditanstalt für Wiederaufbau) genehmigt wird. Die Neubauförderung ist 2-stufig und unterliegt im Einzelnen den folgenden Anforderungen:

Stufe 1 (Kurzbezeichnung KFNWG):

1. Der energetische Standard des geplanten Neubaus muss mind. EH40 aufweisen.
2. Für das geplante Gebäude ist eine vollständige Ökobilanzierung nach den Regeln des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG)[1] durchzuführen und der errechnete Wert muss mind. die QNG-PLUS-Anforderung für Treibhausgasemissionen einhalten.

Stufe 2 (Kurzbezeichnung KFNWG-Q):

1. Der energetische Standard des geplanten Neubaus muss mind. EH40 aufweisen.
2. Das geplante Gebäude muss nach einem der in Deutschland anerkannten Zertifizierungssysteme für Nachhaltiges Bauen zertifziert werden. Es gilt dabei das Vollständigkeitsprinzip und die Prämisse, dass jedes Einzelkriterium den Mindestwert erreichen muss, während gleichzeitig die Gesamt-Bewertung einen Erfüllungsgrad von mind. 50 % aufweisen muss.
3. Die Einhaltung der Punkte 1. und 2. vorausgesetzt, müssen zusätzlich mindestens alle QNG-Plus-Anforderungen des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) je nach Gebäudetyp eingehalten werden.

1 weitere Informationen zum QNG finden sich auf der Seite: www.qng.info

Tabelle 9.5: Voraussetzungen für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens

a	Das Gebäude ist ein Wohngebäude im Sinne des § 3 Nummer 33; wird ein gemischt genutztes Gebäude nach § 106 Absatz 1 oder Absatz 2 in zwei Gebäudeteile aufgeteilt, kann das vereinfachte Nachweisverfahren nach §31 Absatz 1 bei Erfüllung aller anderen Voraussetzungen auf den Wohngebäudeteil angewendet werden.	✓
b	Das Gebäude darf nicht mit einer Klimaanlage ausgestattet sein.	✓
c	Die Dichtheit des Gebäudes ist nach § 26 zu prüfen und muss die dort genannten Grenzwerte einhalten.	✓
d	Damit der sommerliche Wärmeschutz auch ohne Nachweisrechnung als ausreichend angesehen werden kann, muss das Gebäude folgende Voraussetzungen erfüllen: – beim kritischen Raum (Raum mit der höchsten Wärmeeinstrahlung im Sommer) beträgt der Fensterflächenanteil bezogen auf die Grundfläche dieses Raums nicht mehr als 35 %, – sämtliche Fenster in Ost, Süd- oder Westorientierung (inklusive derer eines eventuellen Glasvorbaus) sind mit außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen mit einem Abminderungsfaktor FC ≤ 0,30 ausgestattet.	✓
e	Die beheizte Bruttogrundfläche des Gebäudes ABGF, Gebäude1 darf nicht kleiner als 115 m² und nicht größer als 2 300 m² sein	✓
f	Die mittlere Geschosshöhe[2] nach DIN V 185991: 201809 des Gebäudes darf nicht kleiner als 2,5 m und nicht größer als 3,0 m sein.	✓
g	Die Kompaktheit des Gebäudes in Bezug auf das Verhältnis von Bruttoumfang beheizter Bruttogrundfläche $_{ABGF, Geschoss}$ jedes beheizten Geschosses muss folgende Voraussetzung erfüllen: Das Quadrat des Bruttoumfangs U_{brutto} in Meter darf höchstens das 20fache der beheizten Bruttogrundfläche eines beheizten Geschosses ABGF, Geschoss in m² betragen; bei einem angebauten Gebäude ist in den Bruttoumfang auch derjenige Anteil einzurechnen, der an benachbarte beheizte Gebäude angrenzt.	✓
h	Bei Gebäuden mit beheizten Räumen in mehreren Geschossen müssen die beheizten Bruttogeschossflächen aller Geschosse ohne Vor- oder Rücksprünge deckungsgleich sein; nur das oberste Geschoss darf eine kleinere beheizte Bruttogeschossfläche als das darunter liegende Geschoss besitzen.[3]	✓
i	Insgesamt darf das Gebäude nicht mehr als sechs beheizte Geschosse besitzen.	✓
j	Der Fensterflächenanteil des Gebäudes[4] darf bei zweiseitig angebauten Gebäuden nicht mehr als 35 %, bei allen anderen Gebäuden nicht mehr als 30 % an der gesamten Fassadenfläche des Gebäudes betragen.	✓
k	Die Gesamtfläche spezieller Fenstertüren an der gesamten Fassadenfläche des Gebäudes darf bei freistehenden Gebäuden und einseitig angebauten Gebäuden 4,5 Prozent und bei zweiseitig angebauten Gebäuden 5,5 % nicht überschreiten.	✓
l	Die Fläche der in nördliche Richtung orientierten[5] Fenster des Gebäudes darf nicht größer sein als der Mittelwert der Fensterflächen anderer Orientierungen.	✓
m	Der Anteil von Dachflächenfenstern, Lichtkuppeln und ähnlichen transparenten Bauteilen im Dachbereich darf nicht mehr als 6 % der Dachfläche betragen.	✓
n	Die Gesamtfläche aller Außentüren[6] darf bei Ein- und Zweifamilienhäusern 2,7 %, ansonsten 1,5 % der beheizten Bruttogrundfläche des Gebäudes nicht überschreiten.	✓

1 Die „beheizte Bruttogrundfläche des Gebäudes ABGF“ ist die Summe der Bruttogrundflächen aller beheizten Geschosse, wobei bei Gebäuden mit zwei oder mehr beheizten Geschossen nur 80 Prozent der Bruttogrundfläche des obersten beheizten Geschosses eingerechnet werden.

2 Die „mittlere Geschosshöhe des Gebäudes“ ist der flächengewichtete Durchschnitt der Geschosshöhen aller beheizten Geschosse des Gebäudes.

3 Kellerabgänge und Kellervorräume sind keine beheizten Geschosse im Sinne dieser Regelung, soweit sie nur indirekt beheizt sind.

4 Der Fensterflächenanteil ist der Quotient aus Fensterfläche und der Summe aus Fensterfläche und Außenwand/Fassadenfläche. Die Fensterfläche ist einschließlich Fenstertüren und spezieller Fenstertüren zu ermitteln; spezielle Fenstertüren sind barrierefreie Fenstertüren gemäß DIN 18040-2: 2011-09 sowie Schiebe-, Hebeschiebe, Falt- und Faltschiebetüren.

5 Fenster sind in nördliche Richtungen orientiert, wenn die Senkrechte auf die Fensterfläche nicht mehr als 22,5 Grad von der Nordrichtung abweicht.

6 Öffnungsmaße von Fenstern und Türen werden gemäß DIN V 18599-1: 2018-09 mit den lichten Rohbaumaßen innen ermittelt.

9.3 GEG-Nachweis nach dem Vereinfachten Verfahren

Das GEG hält im § 31 ein vereinfachtes Nachweisverfahren für zu errichtende Wohngebäude bereit, in dem mithilfe tabellierter Festlegungen von Wärmedämmstandards in Kombination unterschiedlicher Anlagenkonzepte der Nachweis der Einhaltung der GEG-Anforderungen ohne größeren Rechenaufwand geführt werden kann. Allerdings weist dieses Verfahren eine Anzahl von Anwendungseinschränkungen auf. Es lässt sich für das hier gewählte Beispielgebäude aber ebenso anwenden. Die Einhaltung der in Tabelle 9.5 aufgeführten baulichen Kriterien gemäß GEG-Anlage 5 (Auszug) ist vorab zu prüfen.

Die Prüfung der Kriterien ist bei dem Beispielgebäude anhand der vorliegenden Dokumentation möglich. Über die in diesem Zusammenhang neu auftretenden Definitionen und Abgrenzungen mögen sich die Leser eine eigene Meinung verschaffen. Da alle Prüfkriterien erfüllt werden, kann der vereinfachte Nachweis für das Beispielgebäude erfolgen. Als Wärmedämmstandard müssen folgende Bauteilanforderungen erfüllt werden:

- Dachflächen, oberste Geschossdecke, Dachgauben: U ≤ 0,14 W/(m²·K)
- Fenster und sonstige transparente Bauteile: Uw ≤ 0,90 W/(m²·K)
- Dachflächenfenster Uw ≤ 1,0 W/(m²·K)
- Außenwände, Geschossdecken nach unten gegen Außenluft: U ≤ 0,20 W/(m²·K)
- Sonstige opake Bauteile (Kellerdecken, Wände und Decken zu unbeheizten Räumen, Wand- und Bodenflächen gegen Erdreich, etc.): U ≤ 0,25 W/(m²·K)
- Türen (Keller- und Außentüren) UD ≤ 1,2 W/(m²·K)
- Lichtkuppeln und ähnliche Bauteile U ≤ 1,5 W/(m²·K)
- Spezielle Fenstertüren (mit Klapp-, Falt-, Schiebe- o. Hebemechanismus) UW ≤ 1,4 W/(m²·K)
- Vermeidung von Wärmebrücken ΔU_{WB} ≤ 0,035 W/(m²·K).
- Die Anforderungen sind über die gesamte Fläche des jeweiligen Bauteils einzuhalten. Zudem müssen die Anforderungen an die Ausführung von Wärmebrücken sowie an die Luftdichtheit der Gebäudehülle eingehalten werden.

Der vorgegebene Dämmstandard darf mit einer der folgenden anlagentechnischen Ausrüstung kombiniert werden:

- Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Flächenheizsystem zur Wärmeübergabe, zentrale Abluftanlage
- Wasser-Wasser-Wärmepumpe mit Flächenheizsystem zur Wärmeübergabe, zentrale Abluftanlage
- Luft-Wasser-Wärmepumpe mit Flächenheizsystem zur Wärmeübergabe, zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad ≥ 80 %)
- Fernwärme mit zertifiziertem Primärenergiefaktor fp ≤ 0,7, zentrale Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (Wärmebereitstellungsgrad ≥ 80 %)
- Zentrale Biomasse-Heizungsanlage auf Basis von Holzpellets, Hackschnitzel oder Scheitholz, zentrale Abluftanlage, solarthermische Anlage zur Trinkwarmwasser-Bereitung.

Zusätzlich sind noch weitere verpflichtende Randbedingungen in Bezug auf die Gebäudetechnik zu gewährleisten:

- Der Aufstellungsort des Wärmeerzeugers beziehungsweise der Wärmeübergabestation muss innerhalb der thermischen Gebäudehülle liegen und es muss eine zentrale Trinkwarmwasser-Bereitung vorhanden sein. Bei Wahl eines Anlagenkonzeptes mit Wärmepumpe dürfen einzelne Komponenten auch außerhalb der thermischen Gebäudehülle aufgestellt werden, wenn sich mindestens die Geräte zur Wärmespeicherung und -verteilung innerhalb der thermischen Gebäudehülle befinden. Bei Wahl einer Wärmepumpe kann die Trinkwarmwasser-Bereitung mittels Durchlauferhitzer dezentral erfolgen. Eine Trinkwarmwasser-Zirkulationist zulässig.
- Eine zentrale Abluftanlage kann durch eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung ersetzt werden. Für diese besteht dann keine Anforderung an einen ausschließlichen Einsatz einer zentralen Anlage. Darüber hinausgehende Abweichungen von den genannten Anforderungen an die Bauteile und den aufgeführten Anlagenkonzepten sind für dieses Nachweisverfahren nicht zulässig. Weitere Wärmeerzeuger für Heizung oder Trinkwarmwasser sind nicht zulässig, auch nicht als ergänzender Wärmeerzeuger. Soweit sinnvoll, können die Konzepte um solarthermische Anlagen (Heizungsunterstützung und Trinkwarmwasser-Bereitung) oder Photovoltaik-Anlagen ergänzt werden.
- Als zentrale Lüftungsanlage gelten sowohl gebäude- als- auch wohnungszentrale Anlagen. Die Anforderung an den Einbau einer Lüftungsanlage besteht dabei an das Gebäude.

Bei dem Einbau wohnungszentraler Anlagen in einem Mehrfamilienhaus sind Anlagen mindestens in jeder einzelnen Wohnung einzubauen. Die jeweiligen Anforderungen an den Wärmebereitstellungsgrad werden für Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung gleichwertig erfüllt, wenn die zentrale Lüftungsanlage einen spezifischen Energieverbrauch von SEV < - 26 kWh / (m² a) gemäß der Definition des SEV nach Anhang 1 Nummer 1 der Verordnung (EU) Nr. 1253/2014 der Kommission vom 7. Juli 2014 zur Durchführung der Richtlinie 2009/125/EG des Europäischen

Parlaments und des Rates hinsichtlich der Anforderungen an die umweltgerechte Gestaltung von Lüftungsanlagen (ABl. L 337 vom 25.11.2014, S. 8) aufweist.

Bewertung des Vereinfachten Verfahren (gemäß GEG-Anlage 5 Tabelle 1): Die so konfigurierte Anlagentechnik (3.Spiegelstrich) entspricht im Wesentlichen der Anlagenkonfiguration des Beispielgebäudes, beinhaltet aber zusätzlich eine maschinelle Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung für fünf Wohneinheiten. Die Angabe des End- und Primärenergiebedarfs als Ergebnis der Nachweisführung nach dem vereinfachten Nachweisverfahren ist im GEG nicht geregelt. Dazu wird es im Bundesanzeiger eine Regelung geben, die zur Drucklegung dieser Broschüre noch nicht vorlag. Diese Regelung wird auch notwendig für die Ausstellung von Energieausweisen für Berechnungen nach dem Vereinfachten Verfahren.

Da die Randbedingungen des Vereinfachten Verfahrens auf der sicheren Seite liegen, kommt es in den meisten Fällen zu einer Überdimensionierung sowohl der baulichen, als auch der anlagentechnischen Gebäudekomponenten.

10. Sommerlicher Wärmeschutz

10.1 Einleitung

Das sommerliche Temperaturverhalten ist von großer Bedeutung für die Behaglichkeit innerhalb moderner Niedrigstenergiehäuser. Die sich maximal einstellenden Raumlufttemperaturen hängen von der Klimaregion, von der Bauweise des Gebäudes sowie von dessen Nutzer ab. Das GEG verlangt für Wohngebäude in § 14, Absatz 2 ausdrücklich die Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2.

Unter der Voraussetzung der Randbedingungen in der DIN 4108-2, z. B. die Sommerklimaregionen für Deutschland (siehe Bild 10.1) und den bereits in der Vergangenheit festgelegten Anforderungsgrößen, der Einhaltung sog. Übertemperaturgradstunden, ergibt sich, dass eine vereinfachte Nachweisführung für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile über etwa 40 % kaum noch möglich ist. Dies erfordert ein Umdenken bei Architekten und Bauherren, die Solararchitektur der letzten Jahrzehnte mit kleineren Fensterflächenanteilen zu realisieren. Ansonsten besteht lediglich die Möglichkeit, in Verbindung mit aufwendigen Sonnenschutzmaßnahmen eine zusätzliche maschinelle Kühlung vorzusehen, damit keine unzumutbare Temperaturbedingungen in Gebäuden entstehen. Die Beeinflussung der Raumlufttemperatur ist durch die Benutzung des Sonnenschutzes und die Belüftung über Fenster und Lüftungsanlagen möglich.

Die Anforderungen führen somit beim Ignorieren der baulichen Möglichkeiten eines guten sommerlichen Wärmeschutzes automatisch zu kostenintensiven anlagentechnischen Maßnahmen, die per se nicht geeignet sind, CO_2-Emissionen zu reduzieren. Neben dem im Folgenden dargestellten vereinfachten Berechnungsverfahren der Sonneneintragskennwerte sind auch Gebäudesimulationen möglich, die im Regelfall eine etwas günstigere Nachweisführung ermöglichen. Näheres hierzu ist in DIN 4108-2 [R6] geregelt.

Tabelle 10.1: Nachweisgrenzen verschiedener Orientierungen und Fensterflächenanteile

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

* Sind mehrere Fensterorientierungen vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{WG} bestimmend.

** Der Fensterflächenanteil f_{WG} ergibt sich aus dem Verhältnis der Fensterfläche zu der Netto-Grundfläche des betrachteten Raumes oder der Raumgruppe. Sind beim betrachteten Raum bzw. der Raumgruppe mehrere Fassaden oder z. B. Erker vorhanden, ist f_{WG} aus der Summe aller Fensterflächen zur Grundfläche zu berechnen.

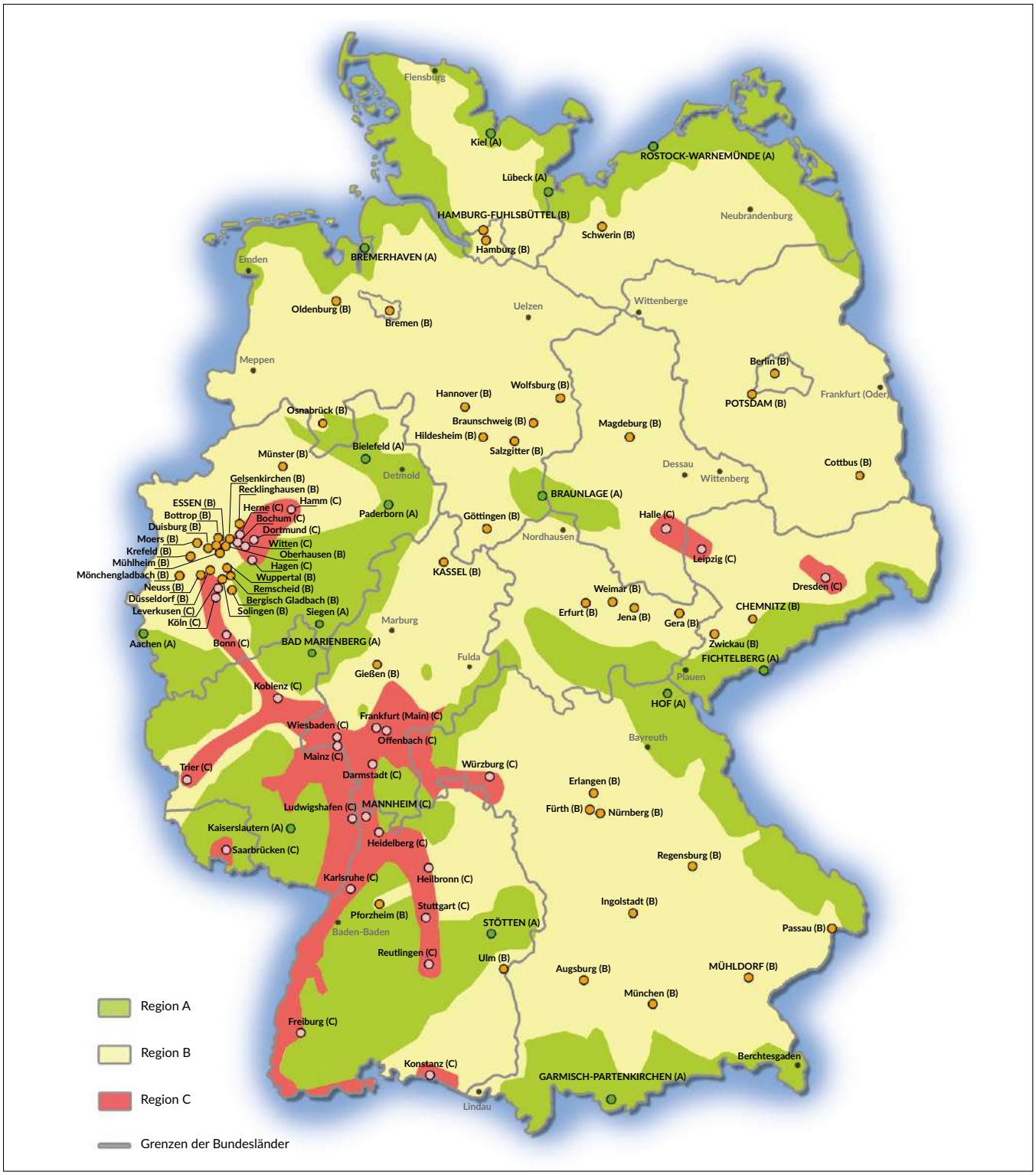


Bild 10.1: Sommerklimaregionen (Auszug DIN 4108-2)

Im rechnerischen Nachweisverfahren dürfen sogenannte Sonneneintragskennwerte für kritische Raumsituationen, d.h. für einzelne Räume oder auch zusammenhängende Raumgruppen, nicht überschritten werden. Grenzen Räume, für die 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.

10.2 Vereinfachtes Verfahren

Durch Einhaltung des Sonneneintragskennwertes $\mathbf{S_{vorh} \leq S_{zul}}$ wird unter Standardbedingungen gewährleistet, dass eine bestimmte Grenz-Raumtemperatur in nicht mehr als 10 % der Aufenthaltszeit überschritten wird. Diese Grenz-Temperatur ist abhängig vom Klimastandort und damit von der durchschnittlichen Monatstemperatur des heißesten Monats im Jahr und wird in Deutschland nach drei Regionen gemäß Bild 10.1 unterschieden.

Tabelle 10.2: Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit der Verglasung, nach [R6]

Sonnenschutzvorrichtung[a]	F_c		
	$g \leq 0{,}40$	$g > 0{,}40$	
	(Sonnenschutzglas) zweifach	**DreifachVerglasung**	**ZweifachVerglasung**
ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	1,00	1,00
Innenliegend oder zwischen den Scheiben[b]			
weiß oder hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz[c]	0,65	0,70	0,65
helle Farben oder geringe Transparenz[d]	0,75	0,80	0,75
dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90	0,90	0,85
Außenliegend			
Fensterläden, Rollläden			
Fensterläden, Rollläden, ¾ geschlossen	0,35	0,30	0,30
Fensterläden, Rollläden, geschlossen[e]	0,15[e]	0,10[e]	0,10[e]
Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen			
Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung[e]	0,20[e]	0,15[e]	0,15[e]
Markise, parallel zur Verglasung[d]	0,30	0,25	0,25
Vordächer, Markisen allgemein, freistehende Lamellen[f]	0,55	0,50	0,50

a Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.

b Für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.

c Hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz, Transparenz ≤ 10 %, Reflexion ≥ 60 %.

d Geringe Transparenz, Transparenz < 15 %.

e F_C-Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden. Ein geschlossener Sonnenschutz verdunkelt den dahinterliegenden Raum stark und kann zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen, da nur ein sehr geringer bis kein Einfall des natürlichen Tageslichts vorhanden ist.

f Dabei muss sichergestellt sein, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist näherungsweise der Fall, wenn
- bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50°$ ist;
- bei Ost- und Westorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 85°$ ist und $\gamma \geq 115°$ ist.

Bei Wohn- und wohnähnlich genutzten Gebäuden kann auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden, wenn raum- oder raumgruppenweise die in Tabelle 10.1 zusammengestellten, auf die Raumgrundfläche bezogenen Fensterflächenanteile nicht überschritten werden. Dabei ist zu beachten, dass bei der Ermittlung der Fensterflächenanteile z. B. auch Dachflächenfenster 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 und der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil 35 % nicht überschreitet.

Der Sonneneintragskennwert $\mathbf{S_{vorh}}$ eines Raumes ermittelt sich wie folgt:

$$S_{vorh} = \Sigma_j \cdot (A_{w,j} \cdot g_{tot,j}) / A_G \quad [-] \ (30)$$

mit:

A_w = Brutto Fensterfläche in m^2
g_{tot} = Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases einschließlich Sonnenschutz
A_G = Nettogrundfläche des Raumes in m^2

Der Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} unter Berücksichtigung einer Verschattungseinrichtung kann Herstellerangaben entnommen, gemäß DIN V 18599-2 oder vereinfachend nach folgender Gleichung berechnet werden:

$$g_{tot} = g \cdot F_c \quad [-] \ (31)$$

mit:

g = Gesamtenergiedurchlassgrad des Glases ohne Sonnenschutzvorrichtung
F_c = Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen

Die Tabelle 10.2 enthält Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren $\mathbf{F_C}$ von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen. Genauere Kennwerte können mit dem in Anhang B der DIN V 4108-6 [R10] beschriebenen Verfahren ermittelt werden.

10.3 Anforderungen

Der nach Formel 29 ermittelte Sonneneintragskennwert $\mathbf{S_{vorh}}$ darf den Höchstwert $\mathbf{S_{zul}}$ nicht überschreiten. Der Höchstwert wird als Summe aus allen zutreffenden Zuschlagswerten nach folgender Gleichung ermittelt:

$$S_{zul} = \Sigma S_x \quad [-] \ (32)$$

Als Zuschläge $\mathbf{S_x}$ sind die Werte nach Tabelle 10.3 anzusetzen.

10.4 Speicherfähigkeit und Bauart

Die Einteilung in Bauarten erfolgt durch die Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit des betrachteten Raumes nach DIN V 4108-6 oder DIN V 18599-2. 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 mit massivem Innenausbau;
- schwere Bauart: Wohnräume in Gebäuden aus HLz mit $\rho \geq 1{,}0$ kg/dm^3 und mit massivem Innenausbau.

Die zuvor gemachten Aussagen stützen sich auf Untersuchungen unterschiedlicher Wohngebäude in Ziegelbauweise [L24] und müssen daher nicht für jedes Gebäude explizit ermittelt werden.

Die Nachweisführung erlaubt die Berücksichtigung passiver Kühlmaßnahmen, wie z. B. den Einsatz von Kühldecken oder Flächenheizungen, die im Sommerfall mit kaltem Wasser, z. B. aus einem Sohlplattenkühler oder Erdreichregister, durchströmt werden. Als passive Maßnahmen zur Kühlung dürfen sie aber nur angerechnet werden, solange keine maschinelle Kälteerzeugung erfolgt.

10.5 Erhöhte Nachtlüftung

Als besonders wirksame Maßnahme zur Verbesserung des sommerlichen Raumklimas bietet sich die gezielte Querlüftung von Räumen während der späten Nachtstunden und der frühen Morgenstunden an. In dieser Zeit der intensiven

Lüftung entlädt sich die in den Massivbauteilen eingespeicherte Wärme des Tages und schafft so die Voraussetzung für eine erneute Wärmeaufnahme an heißen Sommertagen. Eine erhöhte Nachtlüftung ist insbesondere bei Gebäuden mit massivem Innenausbau von Nutzen. Es ist allerdings zu beachten, dass bei Wohngebäuden mit hoher nächtlicher Außenlärmbelastung oder aber insbesondere im Erdgeschoss von Wohnhäusern eine erhöhte Nachtlüftung über geöffnete Fenster nicht immer möglich ist. In solchen Situationen ist auf eine besonders wirksame Außenverschattung zu achten oder bei Vorhandensein einer maschinellen Lüftung diese für hohe nächtliche Volumenströme auszulegen. Eine besonders hohe Nachtlüftung mit Luftwechselzahlen > 5 h^{-1} ist erfahrungsgemäß nur in mehrgeschossigen Wohneinheiten, also z. B. Einfamilien-Reihenhäusern oder -Doppelhäusern möglich, da dort die Wohngeschosse häufig über eine gemeinsame offene Verbindung des Treppenhauses verfügen, die auf Grund der effektiven Höhe der zu belüftenden Zonen einen Kamineffekt erzeugt. Dieser hohe Luftwechsel ist bei Querlüftung in eingeschossigen Wohnungen im Regelfall nicht erreichbar.

Tabelle 10.3: Anteilige Sonneneintragskennwerte zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwertes, nach [R6]

				Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x		
	Nachtlüftung	**Klimaregion**		**A**	**B**	**C**
	ohne	Bauart	leicht mittel schwer	0,071 0,080 0,087	0,056 0,067 0,074	0,041 0,054 0,061
	erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2\ h^{-1}$	Bauart	leicht mittel schwer	0,098 0,114 0,125	0,088 0,103 0,113	0,078 0,092 0,101
	hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5\ h^{-1}$	Bauart	leicht mittel schwer	0,128 0,160 0,181	0,117 0,152 0,171	0,105 0,143 0,160
S_2	**Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil $f_{WG} = A_w / A_G$**					
S_2	$S_2 = a-(b \cdot f_{WG})$	a b		0,060 0,231		
S_3	**Sonnenschutzglas**					
S_3	Fenster mit Sonnenschutzglas mit g ≤ 0,4			$0{,}03 \cdot A_{W,g,tot \leq 0,4}{}^{*} / A_{W,gesamt}$		
S_4	**Fensterneigung**					
S_4	0° ≤ Neigung ≤ 60° (gegenüber der Horizontalen)			$-0{,}035 \cdot f_{neig}{}^{**}$		
S_5	**Orientierung**					
S_5	Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen > 60° ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind			$+0{,}10 \cdot f_{nord}{}^{***}$		
S_6	**Einsatz passiver Kühlung**					
S_6		Bauart	leicht mittel schwer	0,02 0,04 0,06		

* $A_{W,g,tot}$ = Fensterfläche mit $g_{tot} \leq 0{,}4$

** $f_{neig} = A_{W,neig} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,neig}$ = die geneigte Fensterfläche

*** $f_{nord} = A_{W,nord} / A_{W,gesamt}$ mit $A_{W,nord}$ = die Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte senkrechte Fensterfläche sowie ständig vom Gebäude selbst verschattete Fensterfläche

11. Bewertung von Bestandswohngebäuden

11.1 Einleitung

Gemäß GEG besteht die vorrangige Anforderung an Bestandswohngebäude darin, die Außenbauteile nicht derart zu verändern, dass die energetische Qualität des Gebäudes verschlechtert wird. Werden bei bestehenden Gebäuden Außenbauteile beheizter oder gekühlter Räume geändert, kann der Nachweis der Einhaltung der Anforderungen des GEG § 50 dadurch geführt werden, dass das geänderte Wohngebäude insgesamt den 1,4-fachen Primärenergiebedarf des Referenzgebäudes nicht überschreitet. Der ebenfalls einzuhaltende zulässige Höchstwert des Transmissionswärmeverlustes H'_T ergibt sich aus dem mit dem Faktor 1,4 zu multiplizierendem Zahlenwert in Abhängigkeit der Gebäudegröße und -form gemäß der folgenden Tabelle 11.1.

Eine Neuerung im GEG fordert die Durchführung eines „informatorischen Beratungsgesprächs“ im Falle der Beauftragung von Planungsleistungen energiesparender Maßnahmen im Zusammenhang mit GEG § 50 durch einen Energieberater oder eine ähnlich qualifizierte Person, sofern dieses Beratungsgespräch als einzelne Leistung unentgeltlich angeboten wird. Derartige Leistungen sind bislang nur durch öffentlich finanzierte Verbraucherberatungsstellen, z. B. der Bundesländer, durchgeführt worden.

Bei Erweiterungen und dem Ausbau eines Gebäudes um beheizte oder gekühlte Räume kann dagegen ein vereinfachter Nachweis gemäß GEG § 51 geführt werden, indem die Einhaltung des spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlustes der Außenbauteile der neu hinzukommenden Räume den 1,2-fachen Wert des entsprechenden Wertes für das Referenzgebäude einhält. Hier genügt ein Nachweis für die Gebäudehülle und es bestehen keine zusätzlichen Anforderungen an den Jahresprimärenergiebedarf oder an die Nutzung erneuerbarer Energien.

11.2 Randbedingungen zur Energiebilanz

Die Randbedingungen zur Energiebilanz nach DIN V 4108-6 bzw. DIN V 18599 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 W/(m²·K) zu erhöhen (vgl. Kapitel 5.6).

Die Luftwechselrate berücksichtigt den aus baulichen Gegebenheiten resultierenden Infiltrationsluftwechsel. Weist ein Bestandsgebäude offensichtliche Undichtheiten an Fensterfugen oder im Dachbereich auf, kann der n_{50}-Wert entsprechend der Standardwerte gemäß DIN V 18599-2 angenommen werden (vgl. Kapitel 2.2.2).

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 12). Alle weiteren Randbedingungen sind exakt gleich denen des Monatsbilanzverfahrens für zu errichtende Gebäude.

11.3 Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung

11.3.1 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, stellen das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie und das Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat gemeinsame Veröffentlichungen im Bundesanzeiger bereit, zuletzt aktualisiert im Jahr 2020. Inhalt dieser in der „Datenrichtlinie“ [R29] genannten Informationen sind Vereinfachungen

Tabelle 11.1: Auf die Gebäudehüllfläche bezogener Transmissionswärmeverlust zur Ermittlung der Höchstwerte H'_T bei Bestandsgebäuden

Gebäude freistehend $A_N \leq 350$ m²	Gebäude freistehend $A_N > 350$ m²	Doppelhaushälfte/Reihenendhaus, einseitig angebaut	Reihenmittelhaus/ sonstige Gebäude
0,40 W/(m²·K)	0,50 W/(m²·K)	0,45 W/(m²·K)	0,65 W/(m²·K)

für die Aufnahme geometrischer Abmessungen, die Ermittlung energetischer Kennwerte sowie Erfahrungswerte für Bauteile und Anlagenkomponenten von Bestandsgebäuden in Abhängigkeit der Baualtersklasse.

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.

11.3.2 Vereinfachungen beim geometrischen Aufmaß

Die geometrischen Abmessungen eines Bestandswohngebäudes können zum Teil mit vereinfachenden Annahmen festgelegt werden. Die beheizte Wohnfläche kann aus dem externen Bruttovolumen V_e aller beheizten Bereiche eines Wohngebäudes und mit Geschosshöhen zwischen 2,5 und 3,0 Metern für Einfamilienhäuser mit beheiztem Keller zu $0{,}32 \cdot V_e/1{,}35$ und für Einfamilienhäuser sowie Mehrfamilienhäuser ohne beheizte Keller zu $0{,}32 \cdot V_e/1{,}2$ abgeschätzt werden [R5].

Fenster- und Außentürflächen sollten aufgemessen werden. Rollladenkästen können pauschal mit 10 % der Fensterfläche angenommen werden [R29]. Vor- und Rücksprünge in Fassaden unter 0,5 Meter dürfen übermessen werden. Dies gilt auch für Treppenabgänge, Aufzugschächte und Leitungsschächte, die aus dem beheizten Bereich nach unten in einen unbeheizten Keller führen.

Flächen von Treppenaufgängen, Aufzugschächten oder Leitungsschächten, die ohne wirksamen thermischen Abschluss aus dem beheizten Bereich nach oben in einen unbeheizten Dachraum führen, sollten flächenmäßig erfasst und mit einem U-Wert versehen werden. Die Datenrichtlinie gibt hierzu Anhaltswerte in Abhängigkeit der Fläche und der Baualtersklasse dieser Bauteile.

Flächen von Heizkörpernischen dürfen mit der Hälfte der Fläche der darüber liegenden Fenster angenommen werden. Lüftungsschächte und sonstige opake Bauteile der Hüllfläche mit jeweils weniger als 1 m^2 Fläche dürfen übermessen werden.

Die Orientierungen der Fassaden und Dachflächen dürfen nach den nächstgelegenen der vier Haupt- und vier Nebenhimmelsrichtungen im Raster von 45° ausgerichtet werden, z. B. Nord, Nordost, Ost, Südost, usw. Die Neigung von Flächen darf mathematisch auf 0° = horizontal, 30°, 45°, 60° oder 90° gerundet 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.

11.3.3 Energetische Qualität von Bauteilen und Anlagentechnik

Die Datenrichtlinie des BMWi/BMI [R29] enthält zur Beschreibung der energetischen Qualität der wärmetauschenden Hüllfläche ein umfangreiches Tabellenwerk mit nach Baualtersklassen eingestuften Wärmedurchgangskoeffizienten für Dächer, Dachgeschossdecken, Außenwände, Kellerdecken und Fenster. Die Kennwerte der opaken Bauteile sind zudem für die Basisausführung zuzüglich nachträglicher Dämmschichten aufgeführt, so dass eine Abschätzung der Dämmeigenschaften ohne exakte Kenntnis der Bauteilaufbauten möglich ist.

Hinweis

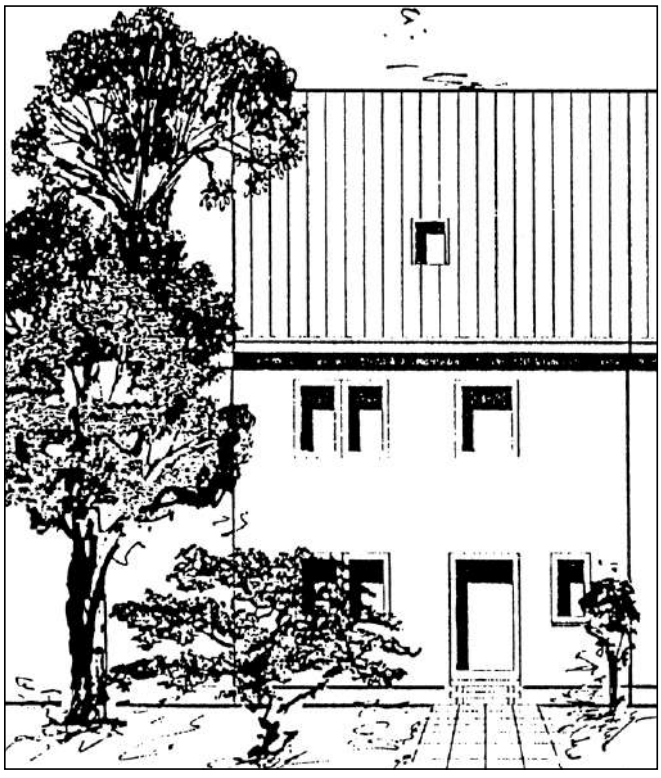
In Kapitel 13 sind in der Tabelle 13.3 die Wärmeleitfähigkeiten von Mauerziegeln in ihrer historischen Entwicklung aufgelistet, so dass die Wärmedurchgangskoeffizienten derartiger Außenwände sicher bestimmt werden können.

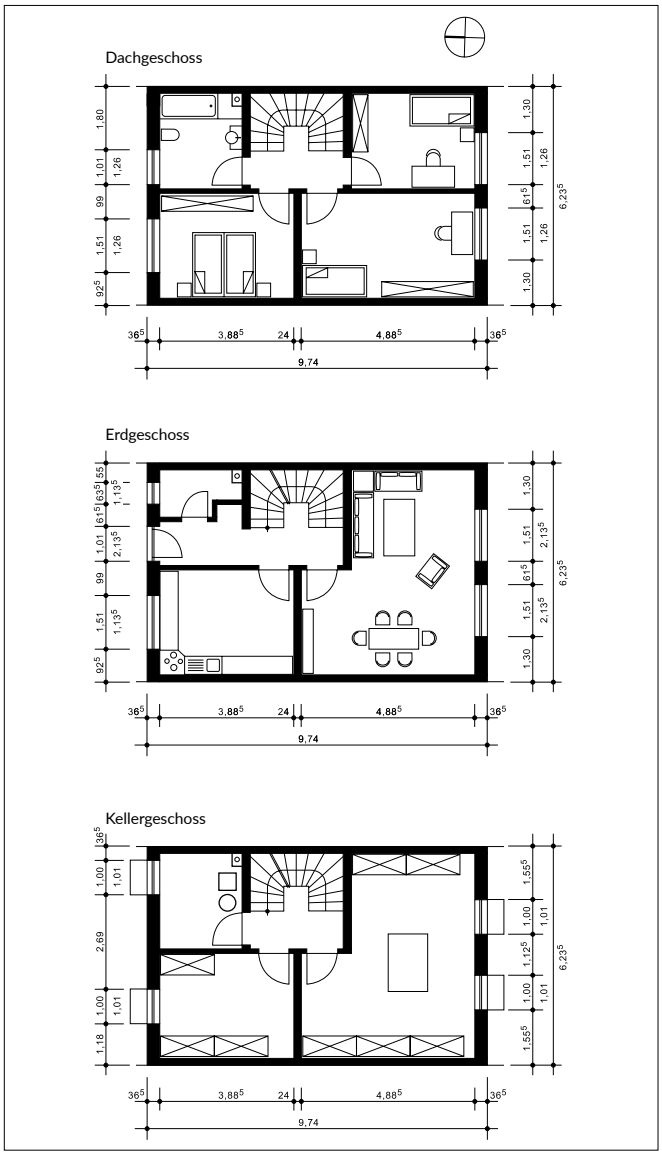
Die energetische Bewertung der Komponenten der Anlagentechnik erfolgt analog dem Tabellen-Verfahren der DIN V 4701-10. Die Datenrichtlinie enthält umfangreiche Tabelleneinträge mit nutzflächenbezogenen pauschalen Kennwerten der einzelnen Prozessbereiche, so dass in Verbindung mit DIN V 4701-10 und DIN 4701-12 [R30] 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.

11.4 Beispiel Bestandswohngebäude und Sanierungsempfehlungen

An folgendem Beispiel eines Reihenendhauses soll die grundsätzliche Vorgehensweise zur Erstellung eines Energieausweises auf Basis des rechnerischen Energiebedarfs aufgezeigt werden. Das Gebäude mit einem Wärmeschutz vor Inkrafttreten der ersten Wärmeschutzverordnung ist bislang nicht energetisch saniert. Der Keller des Gebäudes wird als unbeheizt angenommen, so dass das beheizte Volumen 334,01 m^3 und die beheizte Nutzfläche 106,88 m^2 beträgt. Der Wärmeschutz des Gebäudes entspricht bei einem mittleren U-Wert der Gebäudehülle von 0,69 W/(m^2·K) den Anforderungen der Wärmeschutzverordnung von 1977 [R35]. Die Wärmebrücken werden mit einem pauschalen Zuschlag von ΔU_{WB} = 0,1 W/(m^2·K) berücksichtigt. Die Luftwechselzahl beträgt 0,7 h^{-1}, Undichtheiten sind somit nicht vorhanden.

Der mittels Monatsbilanzverfahren errechnete Jahresheizwärmebedarf ergibt sich zu 130,1 kWh/(m^2·a). Die Heizungsanlage ist im unbeheizten Keller aufgestellt. Es handelt sich um einen Gas-Niedertemperaturkessel der Baualtersklasse 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 derselben Anlage bereitgestellt. Eine Zirkulation ist vorhanden.

Aus den Tabellen der Datenrichtlinie sind die Anlagenkennwerte in Verbindung mit DIN V 4701-10 ermittelt worden und führen zu einer Anlagenaufwandszahl (e_p-Wert) von 2,10. Der Endenergiebedarf für Heizenergie und Hilfsstrom beträgt 267,2 kWh/(m^2·a) und wird nach Energieträgern getrennt im Energieausweis angegeben.

Tabelle 11.2: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten von Außenbauteilen bei Änderung an bestehenden Wohngebäuden gemäß GEG Anlage 7

Nummer	Erneuerung, Ersatz oder erstmaliger Einbau von Außenbauteilen	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max}
Außenwände		
1a[1]	Außenwände: – Ersatz oder – erstmaliger Einbau	U = 0,24 W/(m²·K)
1b[1,2]	Außenwände: – Anbringen von Bekleidungen (Platten oder plattenartige Bauteile), Verschalungen, Mauervorsatzschalen oder Dämmschichten auf der Außenseite einer bestehenden Wand oder – Erneuerung des Außenputzes einer bestehenden Wand	U = 0,24 W/(m²·K)
Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster, Glasdächer, Außentüren und Vorhangfassaden		
2a	Gegen Außenluft abgrenzende Fenster und Fenstertüren: – Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils oder – Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster	U_w = 1,3 W/(m²·K)
2b	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächenfenster: – Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils oder – Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster	U_w = 1,4 W/(m²·K)
2c[3]	Gegen Außenluft abgrenzende Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster: – Ersatz der Verglasung oder verglaster Flügelrahmen	U_g = 1,1 W/(m²·K)
2d	Vorhangfassaden in Pfosten-Riegel-Konstruktion, deren Bauart DIN EN ISO 12631:2018-01 [R36] entspricht: – Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils	U_c = 1,5 W/(m²·K)
2e[3]	Gegen Außenluft abgrenzende Glasdächer: – Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils oder – Ersatz der Verglasung oder verglaster Flügelrahmen	U_w/U_g = 2,0 W/(m²·K)
2f	Gegen Außenluft abgrenzende Fenstertüren mit Klapp-, Falt-, Schiebe- oder Hebemechanismus: – Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils	U_w = 1,6 W/(m²·K)
3a[4]	Gegen Außenluft abgrenzende Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster mit Sonderverglasung: – Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils oder – Einbau zusätzlicher Vor- oder Innenfenster	U_w/U_g = 2,0 W/(m²·K)
3b[4]	Gegen Außenluft abgrenzende Fenster, Fenstertüren und Dachflächenfenster mit Sonderverglasung: – Ersatz der Sonderverglasung oder verglaster Flügelrahmen	U_g = 1,6 W/(m²·K)
3c[3,4]	Vorhangfassaden in Pfosten-Riegel-Konstruktion, deren Bauart DIN EN ISO 12631:2018-01 entspricht, mit Sonderverglasung: – Ersatz oder erstmaliger Einbau des gesamten Bauteils	U_c = 2,3 W/(m²·K)
4	Einbau neuer Außentüren (ohne rahmenlose Türanlagen aus Glas, Karusselltüren und kraftbetätigte Türen)	U = 1,8 W/(m²·K) (Türfläche)
Dachflächen sowie Decken und Wände gegen unbeheizte Dachräume		
5a[1]	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen einschließlich Dachgauben sowie gegen unbeheizte Dachräume abgrenzende Decken (oberste Geschossdecken) und Wände (einschließlich Abseitenwände): – Ersatz oder – erstmaliger Einbau Anzuwenden nur auf opake Bauteile	U = 0,24 W/(m²·K)

Fußnoten zur Anlage 7 (Tabelle 11.2)

1 Werden Maßnahmen nach den Nummern 1a, 1b, 5a, 5b, 5c, 6a, 6b, 6c, 6d oder 6e 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 eingebaut wird, wobei ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,035 W/(m·K) einzuhalten ist. Abweichend von Satz 1 ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von λ = 0,045 W/(m·K) einzuhalten, soweit Dämmmaterialien in Hohlräume eingeblasen oder Dämmmaterialien aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden. Wird bei Maßnahmen nach Nummer 5b eine Dachdeckung einschließlich darunter liegender Lattungen und Verschalungen ersetzt oder neu aufgebaut, sind die Sätze 1 und 2 entsprechend anzuwenden, wenn der Wärmeschutz als Zwischensparrendämmung ausgeführt wird und die Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung oder der Sparrenhöhe begrenzt ist. Die Sätze 1 bis 3 sind bei Maßnahmen nach den Nummern 5a, 5b, und 5c nur auf opake Bauteile anzuwenden.

Nummer	Erneuerung, Ersatz oder erstmaliger Einbau von Außenbauteilen	Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max}
Dachflächen sowie Decken und Wände gegen unbeheizte Dachräume		
5b[1,5]	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen einschließlich Dachgauben sowie gegen unbeheizte Dachräume abgrenzende Decken (oberste Geschossdecken) und Wände (einschließlich Abseitenwände): – Ersatz oder Neubau einer Dachdeckung einschließlich der darunter liegenden Lattungen und Verschalungen oder – Aufbringen oder Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von Wänden oder – Aufbringen oder Erneuerung von Bekleidungen oder Verschalungen oder Einbau von Dämmschichten auf der kalten Seite von obersten Geschossdecken Anzuwenden nur auf opake Bauteile	U = 0,24 W/(m²·K)
5c[1,5]	Gegen Außenluft abgrenzende Dachflächen mit Abdichtung: – Ersatz einer Abdichtung, die flächig das Gebäude wasserdicht abdichtet, durch eine neue Schicht gleicher Funktion (bei Kaltdachkonstruktionen) einschließlich darunter liegender Lattung) Anzuwenden nur auf opake Bauteile	U = 0,20 W/(m²·K)
Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken nach unten gegen Erdreich, Außenluft oder unbeheizte Räume		
6a[1]	Wände, die an Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) grenzen, und Decken, die beheizte Räume nach unten zum Erdreich oder zu unbeheizten Räumen abgrenzen: – Ersatz oder – erstmaliger Einbau Erneuerung von außenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen oder – Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite	U = 0,30 W/(m²·K)
6b[1,5]	Wände, die an Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) grenzen, und Decken, die beheizte Räume nach unten zum Erdreich oder zu unbeheizten Räumen abgrenzen: – Anbringen oder Erneuern von außenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen oder – Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite	U = 0,30 W/(m²·K)
6c[1,5]	Decken, die beheizte Räume nach unten zum Erdreich, zur Außenluft oder zu unbeheizten Räumen abgrenzen: – Aufbau oder Erneuerung der Fußbodenaufbauten auf der beheizten Seite	U = 0,50 W/(m²·K)
6d[1]	Decken, die beheizte Räume nach unten zur Außenluft abgrenzen: – Ersatz oder – Erstmaliger Einbau	U = 0,24 W/(m²·K)
6e[1,5]	Decken, die beheizte Räume nach unten zur Außenluft abgrenzen: – Anbringen oder Erneuern von außenseitigen Bekleidungen oder Verschalungen, Feuchtigkeitssperren oder Drainagen oder – Anbringen von Deckenbekleidungen auf der Kaltseite	U = 0,24 W/(m²·K)

2 Werden Maßnahmen nach Nummer 1b ausgeführt, müssen die dort genannten Anforderungen nicht eingehalten werden, wenn die Außenwand nach dem 31. Dezember 1983 unter Einhaltung energiesparrechtlicher Vorschriften errichtet oder erneuert worden ist.

3 Bei Ersatz der Verglasung oder verglaster Flügelrahmen gelten die Anforderungen nach den Nummern 2c, 2e und 3c nicht, wenn der vorhandene Rahmen zur Aufnahme der vorgeschriebenen Verglasung ungeeignet ist. Werden bei Maßnahmen nach Nummer 2c oder bei Maßnahmen nach Nummer 2e Verglasungen oder verglaste Flügelrahmen ersetzt 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 1,3 W/(m²·K) eingebaut wird. Werden Maßnahmen nach Nummer 2c an Kasten- oder Verbundfenstern durchgeführt, so gelten die Anforderungen als erfüllt, wenn eine Glastafel mit einer infrarot-reflektierenden Beschichtung mit einer Emissivität $\varepsilon_n \leq 0{,}2$ eingebaut wird.

4 Sonderverglasungen im Sinne der Nummern 3a, 3b und 3c sind
– Schallschutzverglasungen mit einem bewerteten Schalldämmmaß der Verglasung von $R_{w,R} \geq 40$ dB nach DIN EN ISO 717-1:2013-06 [R37] oder einer vergleichbaren Anforderung,
– Isolierglas-Sonderaufbauten zur Durchschusshemmung, Durchbruchhemmung oder Sprengwirkungshemmung nach anerkannten Regeln der Technik oder
– Isolierglas-Sonderaufbauten als Brandschutzglas mit einer Einzelelementdicke von mindestens 18 mm nach DIN 4102-13:1990-05 [R38] oder einer vergleichbaren Anforderung.

5 Werden Maßnahmen nach den Nummern 5b, 5c, 6b, 6c oder 6e ausgeführt, müssen die dort genannten Anforderungen nicht eingehalten werden, wenn die Bauteilfläche nach dem 31. Dezember 1983 unter Einhaltung energiesparrechtlicher Vorschriften errichtet oder erneuert worden ist.

Die gemäß GEG § 84 zu formulierenden Empfehlungen zur Verbesserung der Energieeffizienz werden für den Fall der Fenstererneuerung (Maßnahme 1), der zusätzlichen Dämmung der Dachgeschossdecke (Maßnahme 2) sowie einer Kombination beider Maßnahmen in Verbindung mit einer Heizungserneuerung (Maßnahme 3) berechnet und im entsprechenden Formblatt 4 des Energieausweises „Empfehlungen zur kostengünstigen Modernisierung“ aufgeführt.

Die Maßnahmen 1 bis 3 bewirken eine Energieeinsparung von etwa 13.000 kWh pro Jahr. Die geschätzten Investitionskosten betragen knapp 27.000 €. Sie setzen sich zusammen aus den Kosten neuer Fenster (20 m^2) mit ca. 8.000 €, Wärmedämmung der Dachgeschoßdecke (60 m^2) mit ca. 2.000 € und der Erneuerung der Heizung und Warmwasserbereitung mittels Gas-Brennwertkessel in Höhe von ca. 17.000 €. Unter Zugrundelegung einer statischen Amortisation bei einem Energiepreis von etwa 0,12 €/kWh als Mittelwert können sich die Investitionen in ca. 30 Jahren amortisieren. Eine dynamische Betrachtung unter Berücksichtigung von Zinsentwicklung und absehbarer Energiepreissteigerung kann unter Umständen zu einer günstigeren Amortisationsberechnung führen.

11.5 Anforderungen an Einzelbauteile

Werden Außenbauteile beheizter und/oder gekühlter Räume bestehender Gebäude energetisch ertüchtigt oder erstmalig eingebaut, sind die Wärmedurchgangskoeffizienten der betroffenen Bauteilflächen nach den Maßgaben der Anlage 7 des GEG einzuhalten.Die diesbezüglichen Vorgaben des GEG sind in der Tabelle 11.2 wiedergegeben.

11.6 Nachrüstverpflichtungen

Die im Folgenden aufgeführten Nachrüstverpflichtungen können insbesondere durch den bevollmächtigten Bezirksschornsteinfeger im Rahmen der Feuerstättenschau und durch Meldung an die nach Landesrecht zuständige Behörde eingefordert werden.

11.6.1 Nachrüstung eines bestehenden Gebäudes

Eigentümer eines Wohngebäudes, das nach seiner Zweckbestimmung jährlich mindestens vier Monate auf Innentemperaturen von mindestens 19 Grad Celsius beheizt wird, müssen dafür sorgen, dass oberste Geschossdecken, die nicht den Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 genügen, so gedämmt werden, dass der Wärmedurchgangskoeffizient der obersten Geschossdecke , 0,24 W/(m^2·K) nicht überschreitet. Die Pflicht gilt als erfüllt, wenn anstelle der obersten Geschossdecke das darüber liegende Dach entsprechend gedämmt ist oder die Anforderungen an den Mindestwärmeschutz nach DIN 4108-2 erfüllt.

Erfolgt die Wärmedämmung in Deckenzwischenräumen 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 eingebaut wird, wobei ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m·K) einzuhalten ist.

Abweichend davon ist ein Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit von 0,045 W/(m·K) einzuhalten, soweit Dämmmaterialien in Hohlräume eingeblasen oder aus nachwachsenden Rohstoffen verwendet werden. Wird eine Zwischensparrendämmung ausgeführt und ist die Dämmschichtdicke wegen einer innenseitigen Bekleidung oder der Sparrenhöhe begrenzt, gelten die gleichen Grundsätze wie zuvor.

Bei einem Wohngebäude mit nicht mehr als zwei Wohnungen, von denen der Eigentümer eine Wohnung am 1. Februar 2002 selbst bewohnt hat, ist die Pflicht erst im Fall eines Eigentümerwechsels nach dem 1. Februar 2002 von dem neuen Eigentümer zu erfüllen. Die Frist zur Pflichterfüllung beträgt zwei Jahre ab dem ersten Eigentumsübergang nach dem 1. Februar 2002.

Grundsätzlich sind die genannten Nachrüstverpflichtungen nur bindend, wenn die für eine Nachrüstung erforderlichen Aufwendungen durch die eintretenden Einsparungen innerhalb angemessener Frist erwirtschaftet werden können.

11.6.2 Verteilungseinrichtungen der Heizung

Gebäude mit Zentralheizung müssen mit zentralen selbsttätig wirkenden Einrichtungen zur Verringerung und Abschaltung der Wärmezufuhr sowie zur Ein- und Ausschaltung elektrischer Antriebe ausgestattet sein. Die Regelung der Wärmezufuhr sowie der elektrischen Antriebe erfolgt in Abhängigkeit von der Außentemperatur oder einer anderen geeigneten Führungsgröße und der Zeit. Soweit diese Ausstattung bei einer Zentralheizung in einem bestehenden Gebäude nicht vorhanden ist, sind Eigentümer sie seit dem 30. September 2021 verpflichtet, diese nachzurüsten.

Wird eine heizungstechnische Anlage mit Wasser als Wärmeträger in ein Gebäude eingebaut, hat der Bauherr oder der Eigentümer dafür Sorge zu tragen, dass die heizungstechnische Anlage mit einer selbsttätig wirkenden Einrichtung zur raumweisen Regelung der Raumtemperatur ausgestattet ist. Dies ist nicht erforderlich bei Fußbodenheizungen in Räumen mit weniger als sechs Quadratmetern Nutzfläche oder einem Einzelheizgerät, das zum Betrieb mit festen oder flüssigen Brennstoffen eingerichtet ist.

Soweit die zuvor geforderte Ausstattung bei einem bestehenden Gebäude nicht vorhanden ist, muss der Eigentümer sie nachrüsten. Eine Fußbodenheizung, die vor dem 1. Februar 2002 eingebaut worden ist, darf abweichend davon mit einer Einrichtung zur raumweisen Anpassung der Wärmeleistung an die Heizlast ausgestattet werden.

Der Eigentümer eines Gebäudes hat dafür Sorge zu tragen, dass bei heizungstechnischen Anlagen bisher ungedämmte, zugängliche Wärmeverteilungs- und Warmwasserleitungen, die sich nicht in beheizten Räumen befinden, die Wärmeabgabe der Rohrleitungen nach den anerkannten Regeln der Technik begrenzt wird.

11.6.3 Betriebsverbot für Heizkessel

Eigentümer von Gebäuden dürfen ihre Heizkessel, die mit einem flüssigen oder gasförmigen Brennstoff beschickt werden und vor dem 1. Januar 1991 eingebaut oder aufgestellt worden sind, nicht mehr betreiben. Kessel, die nach dem 1. Januar 1991 eingebaut wurden, dürfen nach Ablauf von 30 Jahren nach Einbau oder Aufstellung nicht mehr betrieben werden.

Dies Verbot gilt nicht für Niedertemperatur-Heizkessel und Brennwertkessel sowie für heizungstechnische Anlagen, deren Nennleistung weniger als 4 kW oder mehr als 400 kW beträgt.

Ab dem 1. Januar 2026 dürfen Heizkessel, die mit Heizöl oder mit festem fossilem Brennstoff beschickt werden, nur in Betrieb genommen werden, wenn ein bestehendes Gebäude so errichtet oder geändert worden ist oder geändert wird, dass der Wärme- und Kälteenergiebedarf anteilig durch erneuerbare Energien gedeckt wird, oder bei einem bestehenden Gebäude kein Anschluss an ein Gasversorgungsnetz oder an ein Fernwärmeverteilungsnetz hergestellt werden kann. Das ist genau dann der Fall, wenn kein Gasversorgungsnetz der allgemeinen Versorgung oder kein Verteilungsnetz eines Fernwärmeversorgungsunternehmens am Grundstück anliegt und eine anteilige Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs durch erneuerbare Energien technisch nicht möglich ist oder zu einer unbilligen Härte führt.

12. Checkliste zum Niedrigstenergiehaus

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 ≥ 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 öffenbar 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 wärmegedämmter 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 (Deckenauflager, Rollladenkästen, Dachanschlüsse)
- Verwendung geeigneter Materialien und Materialkombinationen (Dämmung der Satteldächer)
- Einsatz hochwertiger Verglasungen in wärmegedämmten 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 Wärmeerzeugung 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
- Einsatz von Photovoltaik zur Eigenstromversorgung prüfen

13. Wärmetechnische Bemessungswerte

13.1 Mindestanforderungen an den Wärmeschutz

Die folgenden Tabellen enthalten Mindestwerte des baulichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 sowie auszugsweise Bemessungswerte genormter Baustoffe nach DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456 [R18]. Die Anforderungen an den Wärmedurchlasswiderstand ein- und mehrschaliger Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse $m' \geq 100$ kg/m², die Räume gegen die Außenluft, Bereiche mit wesentlich niedrigeren Innentemperaturen oder unbeheizte Bereiche abtrennen, sind in der folgenden Tabelle 13.1 aufgeführt. Der Wärmedurchlasswiderstand ein- und mehrschaliger Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse $m' \leq 100$ kg/m² muss mindestens R = 1,75 (m²·K)/W betragen. Bei thermisch inhomogenen Bauteilen, wie sie beispielsweise bei Skelett-, Rahmen oder Holzständerbauweisen, aber auch bei Fassaden als Pfosten-Riegel-Konstruktionen vorkommen, ist im Bereich des Gefachs ein Wärmedurchlasswiderstand von $R_G \geq 1{,}75$ (m²·K)/W einzuhalten. Zusätzlich gilt für das gesamte Bauteil im Mittel ein Wert $R_m \geq 1{,}0$ (m²·K)/W. Auch bei Rollladenkästen gilt für das gesamte Bauteil im Mittel $R_m \geq 1{,}0$ (m²·K)/W. Im Bereich des Deckels muss darüber hinaus ein Wärmedurchlasswiderstand von mindestens R ≥ 0,55 (m²·K)/W vorhanden sein.

Tabelle 13.1: Mindestanforderungen an Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen gemäß DIN 4108-2

Zeile	Bauteile	Beschreibung	Wärmedurchlasswiderstand des Bauteils[b]	Wärmeübergangswiderstand R_s [(m²·K)/W]	
			R in (m²·K)/W	innen R_{si}	außen R_{se}
1.1	Wände beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2[c]	0,13	0,04
1.2		zu Tiefgaragen nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche)	1,2	0,13	0,13
1.3		gegen Erdreich	1,2	0,13	0
2	Dachschräge beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2	0,10	0,04
3.1	Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer	gegen Außenluft	1,2	0,13	0,04
3.2		zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,90	0,10	0,10
3.3		zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,90	0,10	0,10
3.4		zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35	0,13	0,13
4.1[a]	Decken beheizter Räume nach unten	gegen Außenluft, gegen Tiefgarage, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller	1,75	0,17	0,04
4.2		gegen nicht beheizten Kellerraum	0,90	0,17	0,17
4.3		unterer Abschluss (z. B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen, unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	0,90	0,17	0
4.4		über einen nicht belüfteten Hohlraum, z. B. Kriechkeller, an das Erdreich grenzend	0,90	0,17	0,13
5.1	Bauteile an Treppenräumen	Wände zwischen beheiztem Raum und direkt beheiztem Treppenraum, Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen dieser Tabelle erfüllen	0,07	0,13	0,13
5.2		Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen dieser Tabelle erfüllen	0,25	0,13	0,13
5.3		oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraumes	wie Bauteile beheizter Räume	0,13	0,13
6.1	Bauteile zwischen beheizten Räumen	Wohnungs- und Gebäudetrennwände zwischen beheizten Räumen	0,07	0,13	0,13
6.2		Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35	0,13	0,13

[a] Vermeidung von Fußkälte [b] bei erdberührten Bauteilen: konstruktiver Wärmedurchlasswiderstand [c] bei niedrig beheizten Räumen 0,55 (m²·K)/W

Der Mindestwärmeschutz muss an jeder Stelle vorhanden sein. Hierzu gehören u.a. auch Nischen unter Fenstern, Brüstungen von Fensterbauteilen, Fensterstürze, Wandbereiche auf der Außenseite von Heizkörpern und Rohrkanälen, insbesondere für ausnahmsweise in Außenwänden angeordnete wasserführende Leitungen.

13.2 Tabellierte Bemessungswerte

Die Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B müssen in rechnerischen Nachweisen des Wärmeschutzes verwendet werden. Diese Werte enthalten Zuschläge für Rohdichteschwankungen, für Ausgleichsfeuchtegehalte sowie ggf. für Alterung und sind nicht zu verwechseln mit den deklarierten Werten der Wärmeleitfähigkeit λ_D, die von den Herstellern im Rahmen der CE-Kennzeichnung angegeben werden.

Tabelle 13.2: Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit und Richtwerte der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahlen nach DIN 4108-4 und DIN EN ISO 10456

Zeile	Stoff	Rohdichte[ab] ρ in kg/m³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B in 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	15/20
	Leichtputz	≤ 1000	0,38	
	Leichtputz	≤ 700	0,25	
	Gipsputz ohne Zuschlag	(1200)	0,51	10
	Wärmedämmputz nach DIN 998-1 der Kategorie T1 der Kategorie T2		 0,12 0,24	5/20
	Kunstharzputz	(1100)	0,70	50/200
1.2	**Mauermörtel**			
	Zementmörtel	(2000)	1,6	15/35
	Normalmauermörtel NM	(1800)	1,2	
	Dünnbettmauermörtel	(1600)	1,0	
	Leichtmauermörtel nach DIN EN 1996-1-1, DIN EN 1996-2	≤ 1000 ≤ 700	0,36 0,21	
	Leichtmauermörtel	250 400 700 1000 1500	0,10 0,14 0,25 0,38 0,69	5/20
1.3	**Estriche**			
	Gussasphalt-Estrich	(2300)	0,90	[d]
	Zement-Estrich	(2000)	1,4	15/35
	Anhydrit-Estrich	(2100)	1,2	
	Magnesia-Estrich	1400 2300	0,47 0,70	

Zeile	Stoff	Rohdichte[ab] ρ in kg/m³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B in W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
2	**Beton-Bauteile**			
2.1	**Beton nach DIN EN 206** **Siehe DIN EN ISO 10456**			
2.2	**Leichtbeton und Stahlleichtbeton** mit geschlossenem Gefüge nach DIN EN 206 und DIN 1045-2, hergestellt unter Verwendung von Zuschlägen mit porigem Gefüge nach DIN 4226-2 ohne Quarzsandzusatz[d]	800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1800 2000	0,39 0,44 0,49 0,55 0,62 0,70 0,79 0,89 1,0 1,45 1,35	70/150
2.3	**Dampfgehärteter Porenbeton nach DIN EN 12602**	350 400 450 500 550 600 650 700 750 800 900 1000	0,11 0,12 0,13 0,14 0,16 0,18 0,19 0,20 0,21 0,23 0,26 0,29	5/10
2.4	**Leichtbeton mit haufwerkporigem Gefüge**			
	- mit nichtporigen Zuschlägen nach DIN EN 12620, z. B. Kies	1600 1800	0,81 1,1	3/10
		2000	1,4	5/10
	- mit porigen Zuschlägen nach DIN EN 13055-1, ohne Quarzsandzusatz[d]	600 700 800 1000 1200 1400 1600 1800 2000	0,22 0,26 0,28 0,36 0,46 0,57 0,75 0,92 1,2	5/15
	- ausschließlich unter Verwendung von Naturbims	400 > 450 500 > 550 600 > 650 700 > 750 800 900 1000 1100 1200 1300	0,12 > 0,13 0,15 > 0,16 0,18 > 0,19 0,20 > 0,22 0,24 0,28 0,32 0,37 0,41 0,47	5/15
	- ausschließlich unter Verwendung von Blähton	400 > 450 500 > 550 600 > 650 700 800 900 1000 1100 1200 1300 1400 1500 1600 1700	0,13 > 0,15 0,16 > 0,18 0,19 > 0,21 0,23 0,26 0,30 0,35 0,39 0,44 0,50 0,55 0,60 0,68 0,76	5/15

Zeile	Stoff	Rohdichte[ab] ρ in kg/m³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B in W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
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	400 500 600 700 800	0,20 0,22 0,24 0,27 0,29	5/10
	Porenbeton-Planbauplatten (Pppl), dünnfugig verlegt	350 400 450 500 550 600 650 700 750 800	0,11 0,13 0,15 0,16 0,18 0,19 0,21 0,22 0,24 0,25	5/10
3.2	**Wandplatten aus Leichtbeton nach DIN 18162**	800 900 1000 1200 1400	0,29 0,32 0,37 0,47 0,58	5/10
3.3	**Gips-Wandbauplatten nach DIN EN 12859**	750 900 1000 1200	0,35 0,41 0,47 0,58	5/10
3.4	**Gipsplatten nach DIN 18180, DIN EN 520**	800	0,25	4/10
4	**Mauerwerk, einschließlich Mörtelfugen**			
4.1	**Mauerwerk aus Mauerziegeln nach DIN 105-100, DIN 105-5 und DIN 105-6 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 HLzA und HLzB	550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000	0,27 0,32 0,28 0,33 0,30 0,35 0,31 0,36 0,33 0,38 0,34 0,39 0,36 0,41 0,37 0,42 0,38 0,44 0,40 0,45	5/10
	Hochlochziegel HLzW	550 600 650 700 750	0,19 0,22 0,20 0,23 0,20 0,23 0,21 0,24 0,22 0,25	5/10

Zeile	Stoff	Rohdichte[ab] ρ in kg/m³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B in W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
			LM21/LM36[f] NM/DM[f]	
	Hochlochziegel HLzW	800 850 900 950 1000	0,23 0,26 0,23 0,26 0,24 0,27 0,25 0,28 0,26 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 bzw. nach DIN EN 771-2 in Verbindung mit DIN V 20000-402**	1000 1200 1400	0,50 0,56 0,70	5/10
		1600 1800 2000 2200 > 2400 > 2600	0,79 0,99 1,1 1,3 > 1,6 > 1,8	15/25
		NM/DM[f]		
4.3	**Mauerwerk aus Hüttensteinen nach DIN 398**	1000 1200 1400 1600 1800 2000	0,47 0,52 0,58 0,64 0,70 0,76	70/100
		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**	350 400 450 500 550 600 650 700 750 800	0,11 0,13 0,15 0,16 0,18 0,19 0,21 0,22 0,24 0,25	5/10
4.5	**Mauerwerk aus Betonsteinen**			
			LM21/DM[f] LM36[f] NM[f]	
	Hohlblöcke (Hbl) nach DIN V 18151-100, Gruppe 1[e] Steinbreite (cm) — Anzahl der Kammerreihen 17,5 - 20,0 — ≥ 2 24,0 — 2 - 4 30,0 — 3 - 5 36,5 — 4 - 6 42,5 — ≥ 6 49,0 — ≥ 6	450 500 550 600 650 700 800 900 1000 1200 1400 1600	0,20 0,21 0,24 0,22 0,23 0,26 0,23 0,24 0,27 0,24 0,25 0,29 0,26 0,27 0,30 0,28 0,29 0,32 0,31 0,32 0,35 0,34 0,36 0,39 0,45 0,53 0,65 0,74	5/10

Zeile	Stoff	Rohdichte[ab] ρ in kg/m³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B in W/(m·K)			Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
			LM21/DM[f]	LM36[f]	NM[f]	
	Hohlblöcke (Hbl) nach DIN V 18151-100 und Hohlwandplatten nach DIN 18148, Gruppe 2 Steinbreite (cm) — Anzahl der Kammerreihen 11,5 - 17,5 — 1 24,0 — 2 30,0 — 2 36,5 — 3 42,5 — 5 49,0 — 5	450 500 550 600 650 700 800 900 1000 1200 1400 1600	0,22 0,24 0,26 0,27 0,29 0,30 0,34 0,37	0,23 0,25 0,27 0,28 0,30 0,32 0,36 0,40	0,28 0,30 0,31 0,32 0,34 0,36 0,41 0,46 0,52 0,60 0,72 0,76	5/10
	Vollblöcke (Vbl,S-W) nach DIN V 18152-100	450 500 550 600 650 700 800 900 1000	0,14 0,15 0,16 0,17 0,18 0,19 0,21 0,25 0,28	0,16 0,17 0,18 0,19 0,20 0,21 0,23 0,26 0,29	0,18 0,20 0,21 0,22 0,23 0,25 0,27 0,30 0,32	5/10
	Vollblöcke (Vbl) und Vbl-S nach DIN V 18152-100 aus Leichtbeton mit anderen leichten Zuschlägen als Naturbims und Blähton	450 500 550 600 650 700 800 900 1000 1200 1400	0,22 0,23 0,24 0,25 0,26 0,27 0,29 0,32 0,34	0,23 0,24 0,25 0,26 0,27 0,28 0,30 0,32 0,35	0,28 0,29 0,30 0,31 0,32 0,33 0,36 0,39 0,42 0,49 0,57	5/10
		1600 1800 2000			0,62 0,68 0,74	10/15
	Vollsteine (V) nach DIN V 18152-100	450 500 550 600 650 700 800 900 1000 1200 1400	0,21 0,22 0,23 0,24 0,25 0,27 0,30 0,33 0,36	0,22 0,23 0,25 0,26 0,27 0,29 0,32 0,35 0,38	0,31 0,32 0,33 0,34 0,35 0,37 0,40 0,43 0,46 0,54 0,63	5/10
		1600 1800 2000			0,74 0,87 0,99	15/10
	Mauersteine nach DIN V 18153-100 aus Beton bzw. DIN EN 771-3 in Verbindung mit DIN V 20000-403	800 900 1000 1200			0,60 0,65 0,70 0,80	5/10
		1400 1600 1800 2000 2200 2400			0,90 1,1 1,2 1,4 1,7 2,1	20/30

Zeile	Stoff	Wärmeleitfähigkeit		Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
		Nennwert λ_D [W/(m·K)]	Bemessungswert λ_B [W/(m·K)]	
5	**Wärmedämmstoffe**			
5.1	**Mineralwolle (MW)** nach DIN EN 13162	0,030 0,031 ⋮ 0,049 0,050	0,031 0,032 ⋮ 0,050 0,052	1
5.2	**Expandierter Polystyrolschaum (EPS)** nach DIN EN 13163	0,030 0,031 ⋮ 0,049 0,050	0,031 0,032 ⋮ 0,050 0,052	20/100
5.3	**Extrudierter Polystyrolschaum (XPS)** nach DIN EN 13164	0,022 0,023 ⋮ 0,045	0,023 0,024 ⋮ 0,046	80/250
5.4	**Polyurethan-Hartschaum (PU)** nach DIN EN 13165[n]	0,020 0,021 ⋮ 0,040	0,021 0,022 ⋮ 0,041	40/200
5.5	**Phenolharz-Hartschaum (PF)** nach DIN EN 13166	0,020 0,021 ⋮ 0,035	0,021 0,022 ⋮ 0,036	10/60
5.6	**Schaumglas (CG)** nach DIN EN 13167	0,037 0,038 ⋮ 0,049 0,050 ⋮ 0,055	0,038 0,039 ⋮ 0,050 0,052 ⋮ 0,057	$s_d \geq 1500$ m[g]
5.7	**Holzwolle-Leichtbauplatten nach DIN EN 13168**			
	Holzwolle-Platten (WW)	0,060 0,061 ⋮ 0,069 0,070 ⋮ 0,089 0,090 ⋮ 0,10	0,063 0,064 ⋮ 0,072 0,074 ⋮ 0,093 0,095 ⋮ 0,105	2/5
	Holzwolle-Mehrschichtplatten nach DIN EN 13168 (WW-C) Für die Berechnung des Bemessungswertes des Wärmedurchlasswiderstandes müssen die einzelnen Bemessungswerte der Wärmedurchlasswiderstände der Schichten addiert werden			
	mit expandiertem Polystyrolschaum (EPS) nach DIN EN 13163	0,030 0,031 ⋮ 0,049 0,050	0,031 0,032 ⋮ 0,050 0,052	20/50
	mit Mineralwolle (MW) nach DIN EN 13162	0,030 0,031 ⋮ 0,049 0,050	0,031 0,032 ⋮ 0,050 0,052	1
	Holzwolledeckschicht(en) nach DIN EN 13168	0,10 0,11 0,12 0,13 0,14	0,12 0,13 0,14 0,16 0,17	2/5

Zeile	Stoff	Wärmeleitfähigkeit		Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
		Nennwert λ_D [W/(m·K)]	Bemessungswert λ_B [W/(m·K)]	
5.8	**Blähperlit (EPB)** nach DIN 13169	0,045 0,046 ⋮ 0,049 0,050 ⋮ 0,070	0,046 0,047 ⋮ 0,050 0,052 ⋮ 0,072	5
5.9	**Expandierter Kork (ICB)** nach DIN EN 13170	0,040 0,041 0,042 ⋮ 0,045 0,046 ⋮ 0,049 0,050 ⋮ 0,054 0,055	0,049 0,050 0,052 ⋮ 0,055 0,057 ⋮ 0,060 0,062 ⋮ 0,066 0,068	5/10
5.10	**Holzfaserdämmstoff (WF)** nach DIN EN 13171	0,032 0,033 ⋮ 0,049 0,050 ⋮ 0,060	0,034 0,035 ⋮ 0,051 0,053 ⋮ 0,063	3/5

Zeile	Stoff	Rohdichte[ab] ρ in kg/m³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B in W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
6	**Holz- und Holzwerkstoffe gemäß DIN EN ISO 10456**			
6.1	**Konstruktionsholz**	500 700	0,13 0,18	20/50 50/200
6.2	**Holzwerkstoffe**			
	Sperrholz	300 500 700 1000	0,09 0,13 0,17 0,24	50/150 70/200 90/220 110/250
	Zementgebundene Spanplatte	1200	0,23	30/50
	Spanplatte	300 600 900	0,10 0,14 0,18	10/50 15750 20/50
	OSB-Platten	650	0,13	30/50
	Holzfaserplatte, MDF-Platte	250 400 600 800	0,07 0,10 0,14 0,18	2/5 5/10 10/12 10/20
7	**Beläge, Abdichtstoffe und Abdichtungsbahnen**			
7.1	**Fußbodenbeläge**	**siehe DIN EN ISO 10456**		
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)

Zeile	Stoff	Rohdichte[ab] ρ in kg/m³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B in W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
	Kunststoff-Dachbahn nach DIN 16730 (PVC-P)	-	-	10000/30000
	Kunststoff-Dachbahn nach DIN 16731 (PIB)	-	-	40000/1750000
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 ISO 10456**		
	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[h]**			
8.1	**Lose Schüttungen, abgedeckt[i]**			
	- aus porigen Stoffen: Blähperlit Blähglimmer Korkschrot, expandiert Hüttenbims Blähton, Blähschiefer Bimskies Schaumlava	 (≤ 100) (≤ 100) (≤ 200) (≤ 600) (≤ 400) (≤ 1000) (≤ 1200) (≤ 1500)	 0,060 0,070 0,055 0,13 0,16 0,19 0,22 0,27	3
	- aus Polystyrolschaumstoff-Partikeln	(815)	0,050	3
	- aus Sand, Kies, Splitt (trocken)	(1800)	0,70	3
8.2	**Fliesen**	**siehe DIN EN ISO 10456**		
8.3	**Glas**			
8.4	**Natursteine**			
8.5	**Lehmbaustoffe**	500 600 700 800 900 1000 1200 1400 1600 1800 2000	0,14 0,17 0,21 0,25 0,30 0,35 0,47 0,59 0,73 0,91 1,1	5/10
8.6	**Böden, naturfeucht**			
	Erdreich - Ton, Schlick, Schlamm Sand, Kies	1200-1800 1700-2200	1,5 2,0	50/50
8.7	**Keramik und Glasmosaik**			
	Keramik, Porzellan Natronglas Quarzglas Glasmosaik	2300 2500 2200 2000	1,3 1,0 1,4 1,2	∞

Zeile	Stoff	Rohdichte[ab] ρ in kg/m³	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B in W/(m·K)	Richtwert der Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl[c] μ
8.8	**Metalle**			
	Aluminiumlegierungen	2800	160	
	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	**Massive Kunststoffe**			
	Acrylkunststoffe	1050	0,20	10000
	Polycarbonate	1200	0,20	5000
	Polytetrafluorethylenkunststoffe (PTFE)	2200	0,25	10000
	Polyvinylchlorid (PVC)	1390	0,17	50000
	Polymethylmethacrylat (PMMA)	1180	0,18	50000
	Polyacetatkunststoffe	1410	0,30	100000
	Polyamid (Nylon)	1150	0,25	50000
	Polyamid 6.6 mit 25 % Glasfasern	1450	0,30	50000
	Polyethylen/Polythen, hohe Rohdichte	980	0,50	100000
	Polyethylen/Polythen, niedrige Rohdichte	920	0,33	100000
	Polystyrol	1050	0,16	100000
	Polypropylen	920	0,22	10000
	Polypropylen mit 25 % Glasfasern	1200	0,25	10000
	Polyurethan (PU)	1200	0,25	6000
	Epoxydharz	1200	0,20	10000
	Phenolharz	1300	0,30	100000
	Polyesterharz	1400	0,19	10000
8.10	**Gummi**			
	Naturkautschuk	910	0,13	10000
	Neopren	1240	0,23	10000
	Butylkautschuk	1200	0,24	200000
	Schaumgummi	60-80	0,06	7000
	Hartgummi	1200	0,17	∞
	Ethylen-Propylene-Dien	1150	0,25	6000
	Polyisobutylenkautschuk	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 Mörtelartelarten nach DIN 1053-1 : 1996-11:
- NM - Normalmauermörtel;
- LM21 - Leichtmauermörtel mit λ = 0,21 W/(m·K);
- LM36 - Leichtmauermörtel mit λ = 0,36 W/(m·K);
- DM - Dünnbettmörtel.

g Der sd-Wert ist die diffusionsäquivalente Luftschichtdicke [m], welche sich aus dem Produkt der Schichtdicke eines Materials [m] mit der dimensionslosen Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl **μ** berechnet.

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

i Die Dichte wird bei losen Schüttungen als Schüttdichte angegeben.

13.3 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 Steinrohdichte. 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 Mauerwerks 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 Steinrohdichten bis zu 1200 kg/m³ möglich.

Tabelle 13.3: Bemessungswerte λ_B der Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk gemäß DIN 4108 im historischen Wandel

Zeitraum	Typ	Format	Rohdichte ρ [kg/m³]	Bemessungswert λ [W/(m·K)]	
				NM	LM21/LM36
ab 1952 DIN 4108:1952-7 DIN 4108:1960-5 DIN 4180:1969-8	KMz, KK		≥ 1900	1,05	
	KHLz, KHK			0,79	
	MZ, HLz		1000	0,46	
			1200 1400 1800	0,52 0,60 0,79	
ab 1981 DIN 4108-4:1981-8 DIN 4108-4:1985-12	KMz, KHLz, KK, KHK		1800 2000 2200	0,81 0,96 1,20	
	MZ, HLz		1200 1400 1600 1800 2000	0,50 0,58 0,68 0,81 0,96	
	HLz A+B		700 800 900 1000	0,36 0,39 0,42 0,45	0,30 0,33 0,36 0,39
	HLz W	≥ 238 mm	700 800 900 1000	0,30 0,33 0,36 0,39	0,24 0,27 0,30 0,33
ab 1991 DIN 4108-4:1991-11 DIN 4108-4:1998-03	KK, KHK		1800 2000 2200	0,81 0,96 1,20	
	MZ, HLz		1200 1400 1600 1800 2000	0,50 0,58 0,68 0,81 0,96	
	HLz A+B		700 800 900 1000	0,36 0,39 0,42 0,45	0,30 0,33 0,36 0,39
	HLz W	≥ 238 mm	700 800 900 1000	0,30 0,33 0,36 0,39	0,24 0,27 0,30 0,33
ab 2002 DIN 4108-4:2002-02 DIN 4108-4:2003-06 DIN 4108-4:2004-07	**siehe DIN 4108-4:2017-03 bzw. Tabelle 13.2, Abschnitt 4.1**				

KMz, KHLz = Klinker; KK, KHK = Keramikklinker; MZ = Vollziegel; HLz = Hochlochziegel; NM = Normalmauermörtel; LM = Leichtmauermörtel

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 Rohdichten bis zu 600 kg/m³ möglich. Eine weitere Absenkung der Wärmeleitfähigkeit von Ziegelmauerwerk resultierte aus der Entwicklung von wärmedämmenden Leichtmauermörteln (LM) und der mörtellosen 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 und Bauartgenehmigungen zu entnehmen.

Tabelle 13.4: Wärmedurchgangskoeffizienten U_{MW} von historischem Ziegelmauerwerk gemäß DIN EN ISO 6946

Zeitraum	Typ	Rohdichte ρ [kg/m³]	U_{MW}[1] [W/(m²·K)]			
			Normalmauermörtel Wanddicke d in cm		Leichtmauermörtel Wanddicke d in cm	
			24,0	36,5	24,0	36,5
ab 1952 DIN 4108:1952-7 DIN 4108:1960-5 DIN 4108:1969-8	KMz, KK	≥ 1900	2,32	1,82		
	KHLz, KHK	≥ 1900	1,98	1,51		
	MZ, HLz	1000 1200 1400 1800	1,38 1,51 1,66 1,98	1,00 1,11 1,23 1,51		
ab 1981 DIN 4108-4:1981-8 DIN 4108-4:1985-12	KMz, KHLz, KK, KHK	1800 2000 2200	2,01 2,21 2,49	1,53 1,72 1,98		
	MZ, HLz	1200 1400 1600 1800 2000	1,47 1,62 1,80 2,01 2,21	1,07 1,20 1,35 1,53 1,72		
	HLz A+B	700 800 900 1000	1,15 1,22 1,29 1,36	0,82 0,88 0,93 0,99	1,00 1,08 1,15 1,22	0,70 0,76 0,82 0,88
	HLz W	700 800 900 1000	1,00 1,08 1,15 1,22	0,70 0,76 0,82 0,88	0,83 0,92 1,00 1,08	0,58 0,64 0,70 0,76
ab 1991 DIN 4108-4:1991-11 DIN 4108-4:1998-03	KK, KHK	1800 2000 2200	2,01 2,21 2,49	1,53 1,72 1,98		
	MZ, HLz	1200 1400 1600 1800 2000	1,47 1,62 1,80 2,01 2,21	1,07 1,20 1,35 1,53 1,72		
	HLz A+B	700 800 900 1000	1,15 1,22 1,29 1,36	0,82 0,88 0,93 0,99	1,00 1,08 1,15 1,22	0,70 0,76 0,82 0,88
	HLz W	700 800 900 1000	1,00 1,08 1,15 1,22	0,70 0,76 0,82 0,88	0,83 0,92 1,00 1,08	0,58 0,64 0,70 0,76

Zeitraum	Typ	Rohdichte ρ [kg/m³]	U_{MW}[1] [W/(m²·K)]			
			Normalmauermörtel Wanddicke d in cm		Leichtmauermörtel Wanddicke d in cm	
			24,0	36,5	24,0	36,5
ab 2002 DIN 4108-4:2002-02 DIN 4108-4:2004-07 DIN 4108-4:2007-06 DIN 4108-4:2013-02 DIN 4108-4:2017-03	MZ, HLz, KK KHK	1200 1400 1600 1800 2000 2200 2400	1,47 1,62 1,80 2,01 2,21 2,49 2,68	1,07 1,20 1,35 1,53 1,72 1,96 2,16		
DIN 4108-4:2002-02 DIN 4108-4:2004-07 DIN 4108-4:2007-06 DIN 4108-4:2013-02 DIN 4108-4:2017-03	HLz A+B	550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000	1,05 1,08 1,13 1,15 1,20 1,22 1,27 1,29 1,34 1,36	0,74 0,76 0,80 0,82 0,86 0,88 0,92 0,93 0,97 0,99	0,92 0,94 1,00 1,02 1,08 1,10 1,15 1,18 1,20 1,25	0,64 0,66 0,70 0,72 0,76 0,78 0,82 0,84 0,86 0,90
	HLz W	550 600 650 700 750 800 850 900 950 1000	0,77 0,80 0,80 0,83 0,86 0,89 0,89 0,92 0,94 0,97	0,53 0,56 0,56 0,58 0,60 0,62 0,62 0,64 0,66 0,68	0,68 0,71 0,71 0,74 0,77 0,80 0,80 0,83 0,86 0,89	0,47 0,49 0,49 0,52 0,54 0,56 0,56 0,58 0,60 0,62

[1] Berücksichtigte Putzdicken: Außen: 15 mm Kalkzement-Putz; Innen: 12 mm Gipsputz
KMz, KHLz = Klinker; KK, KHK = Keramikklinker; MZ = Vollziegel; HLz = Hochlochziegel

14. Literatur

14.1 Normen und Regelwerke

[R1] EU-Kommission: Europäische Richtlinie 2010/31/EU Performance of Building Directive (EPBD), Ausgabe Juli 2010, Brüssel.

[R2] Bundesregierung: „Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden“ (Gebäudeenergiegesetz – GEG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2020 Teil I Nr. 37, 13. August 2020, Bonn mit den Änderungen nach dem Bundesgesetzblatt Jahrgang 2022 Teil I Nr. 28 am 28. Juli 2022 im „Gesetz zu Sofortmaßnahmen für einen beschleunigten Ausbau der erneuerbaren Energien und weiteren Maßnahmen im Stromsektor“ Artikel 18a.

[R3] Bundesregierung: Viertes Gesetz zur Änderung des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG), Bundesgesetzblatt Jahrgang 2013, Teil I, Nr. 36, 12. Juli 2013, Bonn.

[R4] Bundesregierung: Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG), Bundesgesetzblatt, Jahrgang 2008, Teil I, Nr. 36, 18. August 2008, Bonn.

[R5] DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung – Teile 1 bis 11, Ausgabe September 2018.

[R6] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen, Ausgabe Februar 2013.

[R7] DIN 4108-2: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden; Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele, mit CD-ROM, Ausgabe Juni 2019.

[R8] DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung, Ausgabe Oktober 2018

[R9] DIN 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte, Ausgabe März 2017

[R12] DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden–Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele, Ausgabe Januar 2011.

[R13] DIN/TS Fachbericht 4108-8: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 8: Vermeidung von Schimmelwachstum in Wohngebäuden, Ausgabe September 2022.

[R14] DIN 4108-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 10: Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe, Ausgabe November 2021.

[R15] DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmetransfer über das Erdreich – Berechnungsverfahren, Ausgabe März 2018

[R16] DIN EN 832: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Berechnung des Heizenergiebedarfs; Wohngebäude, Ausgabe April 2008, (zurückgezogen).

[R17] DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren, Ausgabe März 2018.

[R18] DIN EN ISO 10456: Baustoffe und -produkte. Wärme- und feuchtetechnische Eigenschaften. Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte, Ausgabe Mai 2010.

[R19] DIN EN ISO 10077-1: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 1: Allgemeines, Ausgabe Oktober 2020.

[R20] DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren, Ausgabe März 2018

[R21] Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen (MVV TB), Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin.

[R22] DIN EN ISO 10077-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen, Ausgabe Januar 2018.

[R23] DIN 18533: Abdichtung von erdberührten Bauteilen – Teile 1 bis 3, Ausgabe Juli 2017.

[R24] DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen, Ausgabe März 2018.

[R25] DIN 1946-6: Raumlufttechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung, Ausgabe Dezember 2019.

[R26] DIN EN ISO 9972: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren, Ausgabe Dezember 2018.

[R27] Landesregierung Baden-Württemberg: „Gesetz zur Nutzung erneuerbarer Wärmeenergie in Baden-Württemberg (Erneuerbare-Wärme-Gesetz – EWärmeG)“, Stuttgart, 17. März 2015.

[R28] Bundesregierung: „Verordnung über die Erzeugung von Strom aus Biomasse (Biomasseverordnung – BiomasseV)“ vom 21. Juni 2001 (BGBl I S. 1234), gültig in der Fassung von 2005 bis 31.12.2011.

[R29] BMWi/BMI: „Bekanntmachung der Regeln zur Datenaufnahme und Datenverwendung im Wohngebäudebestand“, Bundesanzeiger AT vom 4.12.2020.

[R30] DIN V 4701-12: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen im Bestand – Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung, Ausgabe Februar 2004.

[R31] DIN EN 1996-1-1: Eurocode 6: Bemessung und Konstruktion von Mauerwerksbauten - Teil 1-1: Allgemeine Regeln für bewehrtes und unbewehrtes Mauerwerk, Ausgabe Februar 2013.

[R32] DIN 1053-1: Mauerwerk - Teil 1: Berechnung und Ausführung, Ausgabe November 1996

[R33] BMWi: „Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Gebäude – Wohngebäude (BEG WG)“, Bundesanzeiger AT vom 1.2.2021.

[R34] DIN 18040-2: Barrierefreies Bauen – Planungsgrundlagen – Teil 2: Wohnungen, Ausgabe September 2011

[R35] Bundesregierung: Verordnung über einen energiesparenden Wärmeschutz bei Gebäuden (Wärmeschutzverordnung – Wärmeschutz V) vom 11. August 1977.

14.2 Fachliteratur

[L1] Ziegel Wärmebrückenkatalog 5.0: https://wb.ax3000-group.de/home, 2021.

[L2] Reiß, J.; Erhorn, H.: Niedrigenergiehäuser Heidenheim, Abschlussbericht WB 75/1994 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1994).

[L3] Kluttig, H.; Erhorn, H.: Niedrigenergiehäuser in Ziegelbauweise, WB 100/1998, Bericht des Fraunhofer Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1998).

[L4] Erhorn, H.; Reiß, J.: Lüftungsverhalten in Wohnungen, EnEV aktuell, Heft II, Beuth Verlag, Berlin (2010).

[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.

[L7] Erhorn, H.; Reiß, J.; Stricker, R.: Heizenergieeinsparung durch passive und hybride Solarenergiesysteme im Mehrfamilienwohnungsbau, gi Gesundheitsingenieur 113 (1992), Heft 5, S. 243-254.

[L8] Erhorn, H.; Fördert oder schadet die europäische Normung der Mauerwerk Niedrigenergiebauweise in Deutschland? gi Gesundheitsingenieur 119 (1998), Heft 5

[L9] 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.

[L10] Höttges, K.: U-Wert-Berechnung von Bauteilen mit nebeneinander liegenden Bereichen, Bauphysik 22 (2000), Heft 2, S. 121-123.

[L11] Achtziger, J.; Bruus-Jensen, T.: Der Wärmebrückeneinfluss mechanischer Befestigungssysteme bei wärmegedämmten Außenbauteilen, Schlussbericht des Forschungsinstituts für Wärmeschutz e. V., München, 1996.

[L12] Deutscher Bundestag: III. Bauschadensbericht, Ausgabe 3/1996, Drucksache 13/3593, Bonn.

[L13] Gierga, M.; Schneiderhan, T.: Ausführung und bauphysikalische Belange von zweischaligen Haustrennwänden, Mauerwerk 18 (2014), Heft 2, S. 82-89.

[L14] Albers, K.-J. (Hrsg.): Recknagel, Sprenger, Albers: Taschenbuch für Heizung + Klimatechnik, 77. Auflage, Ausgabe 2015/2016, Deutscher Industrie Verlag, München 2015.

[L15] EW Medien und Kongresse GmbH (Hrsg./Verlag): RWE Bau-Handbuch. 15. Ausgabe, Frankfurt a.M., 2015.

[L16] Baldau, Horch: Anpassen der Wohnungsbelüftung an die veränderten Bedingungen, Stadt und Gebäudetechnik, 1996, Heft 5, S. 233-249.

[L17] Hartmann, T.; Oschatz, B.; Richter, W.: Energieeinsparung durch Wohnungslüftungsanlagen?, Ki 34 (1998), Heft 12, S. 562-568.

[L18] Reiß, J.; Erhorn, H.: Effizienz von Solar-, Lüftungs- und Heizsystemen im Mietwohnungsbau – Messergebnisse und rechnerische Analyse, gi Gesundheitsingenieur 116 (1995), Heft 5.[L19] Wolff, D.: Flächenheizung im Niedrigenergiehaus, Fachvortrag uponor Kongress 2011, Arlberg, 2011.

[L20] Gierga, M.; Erhorn, H.: Niedrigenergiehäuser im Mauerwerksbau. In: Mauerwerk-Kalender 26 (2001), S. 419-441. Ernst & Sohn, Berlin.

[L21] Deutsche Energie-Agentur (dena) (Hrsg.): Auswertung von Verbrauchskennwerten energieeffizienter Wohngebäude. Berlin, 2016.

[L22] Oschatz, B.: Erarbeitung eines Leitfadens zum Abgleich Energiebedarf – Energieverbrauch. Forschungsbericht F 2737, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2009.

15. Führer durch die Normung

Dieses Kapitel enthält Hinweise zu den wichtigsten, im Rahmen der GEG-Nachweisführung zu verwendenden Normen. Das GEG verweist bei Normen stets auf das Ausgabedatum des Regelwerkes. Ältere Normausgaben, aber auch jüngere Folgeausgaben, dürfen im Nachweisverfahren ausdrücklich nicht verwendet werden. Jede Norm ist mit ihrem Erscheinungsdatum gekennzeichnet. DIN Normen und VDI Richtlinien können beim Beuth Verlag, Berlin erworben werden.

DIN V 18599: Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung: 2018-09

Berechnungsnorm in elf Teilen als Regelverfahren zur Ermittlung des Energiebedarfs von Wohn- und Nichtwohngebäuden als Neubauten und Bestandsgebäude. Ersetzt ab 1. Januar 2024 das bis dahin alternativ geltende Rechenverfahren für Wohngebäude gemäß DIN V 4108-6 in Verbindung mit DIN V 4701-10.

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 (Norm zurückgezogen).

DIN 1946-6: Raumlufttechnik – Teil 6: Lüftung von Wohnungen – Allgemeine Anforderungen, Anforderungen an die Auslegung, Ausführung, Inbetriebnahme und Übergabe sowie Instandhaltung: 2019-12

Bemessung und Ausführung von Lüftungsmaßnahmen in Wohnungen.

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

Ist 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: 2013-02

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

DIN 4108-3: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung: 2018-10

Rechenverfahren zur Dampfdiffusion, Schlagregenschutz.

DIN 4108-4: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte: 2020-11

Tabellierte Bemessungswerte genormter Baustoffe für wärmeschutztechnische Berechnungen.

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

Rechenprozedur und Randbedingungen zum Nachweisverfahren zur Bestimmung des Jahresheizwärmebedarfs. (Berichtigung 1, 2004-03)

DIN 4108-7: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Luftdichtheit von Gebäuden – Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele: 2011-01

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

DIN 4108-10: Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Anwendungsbezogene Anforderungen an Wärmedämmstoffe – Werkmäßig hergestellte Wärmedämmstoffe: 2021-11

Definition und tabellierte Kurzzeichen zu Anwendungsbereichen von Wärmedämmstoffen.

DIN 4108 Beiblatt 2: Wärmeschutz im Hochbau, Beiblatt 2, Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele: 2019-06

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

DIN EN ISO 6946: Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren: 2018-03

Berechnung von Wärmedurchgangskoeffizienten nicht transparenter Bauteile, auch mit Luftschichten und aus zusammengesetzten Querschnitten.

DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen, Detaillierte Berechnungen: 2018-03

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

DIN EN ISO 10456: Baustoffe und Bauprodukte, Wärme und feuchtetechnische Eigenschaften, Tabellierte Bemessungswerte und Verfahren zur Bestimmung der wärmeschutztechnischen Nenn- und Bemessungswerte: 2010-05

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

DIN EN ISO 13370: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeübertragung über das Erdreich – Berechnungsverfahren: 2018-03

Ausführliche Berechnung des Wärmedurchgangs erdreichberührter Bauteile unter Berücksichtigung instationärer Temperatureffekte.

DIN EN ISO 10077-2: Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen – Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten – Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen: 2018-01.

Randbedingungen zur rechnerischen Ermittlung der Wärmedurchgangskoeffizienten von Fenstern und Zusatzelementen.

DIN EN ISO 9972: Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Bestimmung der Luftdurchlässigkeit von Gebäuden – Differenzdruckverfahren: 2018-12:

Beschreibung und Anforderungen zum „Blower-Door-Test“, Ersatz für die bisher gültige DIN EN 13829.

DIN V 4701-12: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen im Bestand – Teil 12: Wärmeerzeuger und Trinkwassererwärmung: 2004-02.

Kennwerte und Aufwandszahlen zur energetischen Bewertung von Wärmerzeugern bei Bestandswohngebäuden.

16. Glossar

Abluft

Die aus dem Raum abströmende Luft.

Außenbauteil - Luftdurchlass ALD

Luftdurchlass in der Gebäudehülle, der das geplante Durchströmen von Luft ermöglicht.

Außenluft

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

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 Verbrauchsverhalten und z. B. den Klimabedingungen des Abrechnungszeitraums folgt.

Erdwärmetauscher

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

Fensterlüftung

Über dass 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.

Gebäudenutzfläche

Die Nutzfläche eines Wohngebäudes, die beheizt oder gekühlt wird. Sie weicht im Regelfall von der Wohnfläche und der Nettogrundfläche ab.

Geothermie

Die dem Erdreich über eine Wärmepumpe entnommene Wärmeenergie.

Heizenergiebedarf

Rechnerischer Endenergiebedarf zur Erzeugung von Heizwärme unter Berücksichtigung normierter 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].

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 kWh/($m^2 \cdot a$)].

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 4108-7 gefordert.

Luftwechselzahl

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

Niedrigstenergiehaus

Gemäß Richtlinie des EU-Parlaments ein Gebäude, das eine sehr hohe Gesamtenergieeffizienz aufweist. Der sehr geringe

Energiebedarf soll zu einem ganz wesentlichen Teil durch Energie aus erneuerbaren Quellen gedeckt werden.

Photovoltaik

Nutzung der Sonnenstrahlung zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Photovoltaikzellen.

Primärenergie

Rechnerische Energiemenge, die über den Endenergiebedarf hinaus deren vorgelagerte, nicht erneuerbare Prozessenergie zu 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 GEG-Vorgabe zur Festlegung des zulässigen Primärenergiebedarfs.

Solarthermie

Nutzung der thermischen Energie der Solarstrahlung, z. B. über Solarkollektoren zur Wassererwärmung.

Sole

Wasser-Glykol-Gemisch zur Wärmeübertragung im geschlossenen Kreislauf einer Wärmepumpe mit Erdreich als Wärmequelle.

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] [W/(m^2·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 [W/(m^2·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 entgegensetzen. Kehrwert des U-Wertes ohne die Wärmeübergangswiderstände zwischen Oberflächen und Umgebungsluft [(m^2·K)/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 [W/(m·K)]. Im Rahmen wärmeschutztechnischer Nachweise ist der Bemessungswert λ_B zu verwenden.

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.

17. Stichwortverzeichnis

Abminderungsfaktor (Solarstrahlung) 14
Anforderungen (GEG) 56
Anlagenluftwechsel 16
Aufwandszahl 63,75
Ausnutzungsgrad (der Gewinne) 17
Außenwände 24

Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit 24,83
Bestandswohngebäude 74
Biogene Brennstoffe 52
Biomasse 52,60
Bodenplatten 33
Brennwert-Heizungsanlage . . . . . 43,49 f
Brennwertnutzung 45
Bruttovolumen 11,56

Dächer 14,23,31
Decken 10,31,33
Dichtheitsprüfung . . . . . 11,38 f
DIN-Normen 95
Drahtanker 26,37

Endenergie 18
Energieausweis 56,66
Energiebedarf 4
Energiebilanz 8,19
Energieverbrauch 9
Erdberührte Bauteile 28

Fenster 14,28
Flächenheizungen 45,72
Fossile Brennstoffe . . . . . .18,43,46 f

Gebäudenutzfläche 18,56
Gesamtenergiedurchlassgrad 14,58,72
Glasvorbauten (unbeheizt) . . . . . 15 f

Heizbetrieb (reduziert) 17
Heizenergiebedarf 18
Heizwärmebedarf 8,16
Hilfsenergie (elektrisch) 18,63
Historisches Ziegelmauerwerk 92

Innenwände 28
Interne Wärmequellen 13

Jahresnutzungsgrad (Heizkessel) 43,45

Kellerwände (im Erdreich) 28
Klimadaten (Referenzklima) 48,57

Langwellige Abstrahlung 10
Leichte Gebäude/Bauart 17,72
Luftdichtheit 13,39
Luftdichtheitskonzept 39
Luftdichtheitsschicht 39,42
Luftschicht (stehend, belüftet) 22
Lüftungswärmeverlust . . . . . 12 f
Luftwechselzahl 12 f,38,44

Mechanische Lüftungsanlagen 12 f,38,44

Mindestwärmeschutz 24,79
Monatsbilanz(verfahren) 9,15,55

Nettovolumen 11
Nutzereinfluss 19
Nutzfläche 13,60,100

Opake Bauteile 10,14

Passive Solarenergienutzung 72,81
Pellets 52,60
Perimeterdämmung 10,23,28
Photovoltaik (PV) 48,68
Primärenergiebedarf 18
Primärenergiefaktor 18,53

Rahmenanteil 15,29
Raum(luft)temperatur 8,17
Referenzgebäude 56 f,58,60,74
Regenerative Energien 42,44
Rollläden 14,71

Schwere Gebäude/Bauart 18,72
Solarabsorption 13,15
Solareinträge 16
Solarstrahlung 13 f,19,31
Sommerklimaregion . . . . . 69 f
Sommerlicher Wärmeschutz 59,69
Sonneneintragskennwert 59,71
Sonnenschutzvorrichtungen 71
Speicherverluste 13,43
Stillstandsverluste 46
Strangschema (Heizungsanlage) 42

Temperatur-Korrekturfaktor 64
Thermische Solaranlage 8 f,44,58
Transmissionswärmeverlust 10 f,35,57
Transparente Wärmedämmung (TWD) 15
Trinkwarmwasserbedarf 8,64

Übergabeverluste 46
Umkehrdach . . . . . 22 f

Verschattung . . . . . 9,14,72 f
Verteilverluste 21,43,46

Wärmebrücken 34 ff,59,62
Wärmedurchgangskoeffizient 10,21
Wärmedurchlasswiderstand 10,21
Wärmegewinn-/Verlustverhältnis 17
Wärmegewinne 16
Wärmeleitfähigkeit 21,24 ff,62,79
Wärmepumpe 42,47,52,60
Wärmerückgewinnung 9,12,16,44
Wärmespeicherfähigkeit 17,72
Wärmestrom(verlauf) 34
Wärmeübergangswiderstand 13,22,82
Wärmeübertragende Umfassungsfläche 9,57,74
Wärmeverluste 9,35
Wetterdaten (Deutschland) 19

Wirksame Wärmespeicherfähigkeit ..... 17,72 f
Wirtschaftlichkeitsgebot 4
Wohnfläche 8,49,56,75

Zeitkonstante 17
Ziegelmauerwerk 24,92
Zirkulation (Trinkwasser) 43
Zulassungsziegel 21,23
Zusatzgedämmte Außenwände 25
Zweischalige Außenwände 26

Notizen

IMPRESSUM

Herausgeber
Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.
Fachgruppe Hintermauerziegel
Reinhardtstraße 12-16
10117 Berlin
Internet:
www.ziegel.de/hintermauerziegel

Alle Rechte vorbehalten.
Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit ausdrücklicher Genehmigung von
© Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e. V.
Fachgruppe Hintermauerziegel,
Berlin, 2023

Bildnachweis Titelseite
Schlagmann Poroton

Illustrationen
S. Sittig (Bild 1, Bild 2.2, Bild 10.1)

Verfasser
Dipl.-Ing. Juliane Nisse
Dipl.-Ing. Michael Gierga †
Prof. Dr.-Ing. Bert Oschatz

Gestaltung und Satz
PR-Agentur Große

Vollständig neu überarbeitete Ausgabe,
Juni 2023

ZIEGEL.DE

WÄRMEBRÜCKEN ENERGIE SCHALL

ziegel-bauphysiksoftware.ax3000-group.de/lrz/

Die IT-Tools der Ziegelindustrie für einfache Nachweisführung und verlässliche Prognosesicherheit

BROSCHÜREN DER ZIEGELINDUSTRIE

kostenlos zum Download auf
ziegel.de/sites/default/files/2023-06/GEG_Leitfaden_2023.pdf

Vollständig neu überarbeitete Ausgabe, Juni 2023