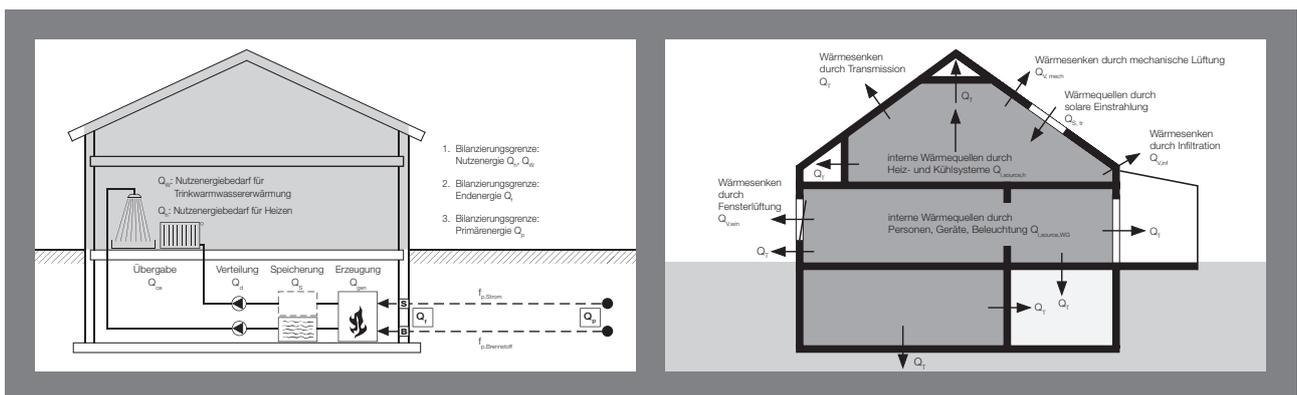
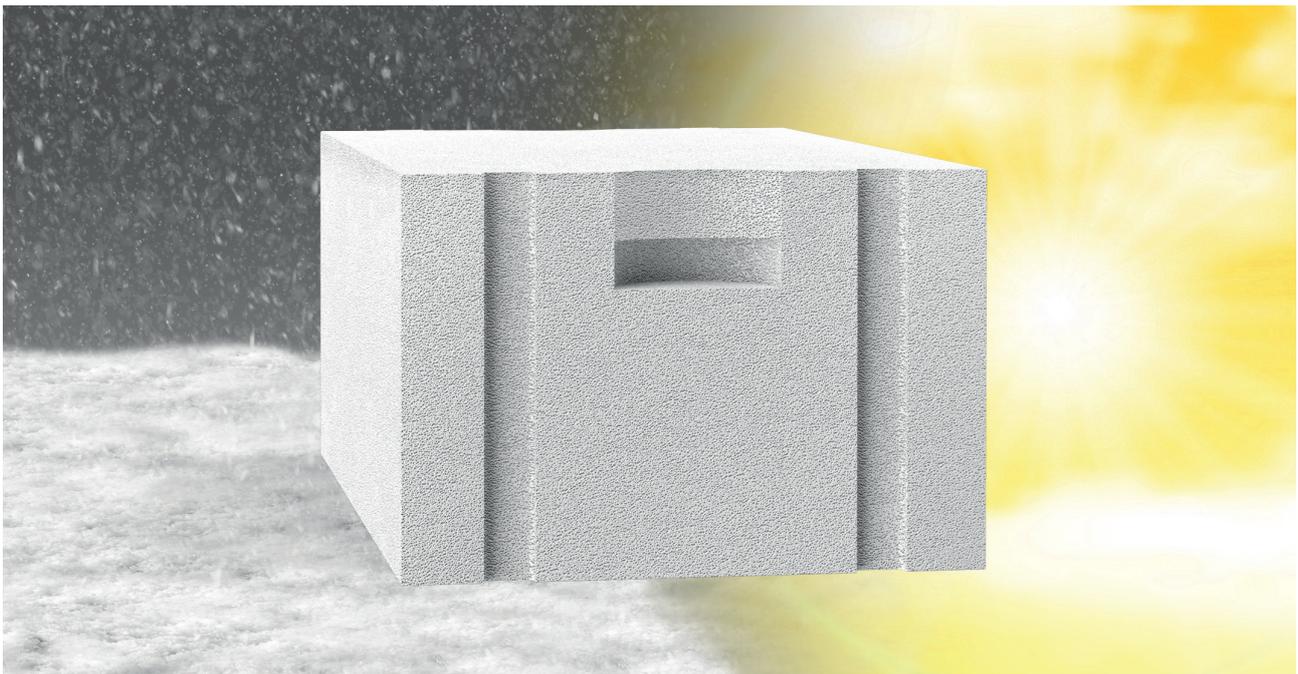


PORENBETON

BERICHT 29

Wärmeschutz mit Porenbeton



PORENBETON

BERICHT 29

Wärmeschutz mit Porenbeton
(GEG 2020 inkl. Änderung zum 01.01.2023)

Prof. Dr.-Ing. Martin Homann

1. Auflage

Impressum

Herausgeber

Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. · Kochstr. 6–7 · 10969 Berlin
Telefon 030 / 25 92 82 14 · www.bv-porenbeton.de

Verfasser/Redaktion

Verfasser: Prof. Dr.-Ing. Martin Homann, Münster/Havixbeck
Redaktion: Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Berlin: Dipl.-Ing. Georg Flassenberg, Petra Lieback

Gestaltung

Gräf und Team, München
Cover: Bundesverband Porenbetonindustrie e.V., Berlin

Der Inhalt dieses Berichtes wurde nach bestem Wissen entsprechend dem neuesten Stand der Technik zum Zeitpunkt der Drucklegung erarbeitet. Da die Verwendung von Produkten und Bauteilen aus Porenbeton den einschlägigen DIN-Vorschriften bzw. Zulassungsbescheiden unterliegt und diese Änderungen unterworfen sind, bleiben die Angaben ohne Gewähr, Irrtümer oder Änderungen sind vorbehalten.

PORENBETON BERICHT 29

1. Auflage (Januar 2023)

© Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

Veröffentlichungen, auch auszugsweise, nur mit schriftlicher Genehmigung des Herausgebers

Inhalt

1	Einführung zum baulichen Wärmeschutz	7
2	Energiesparender Wärmeschutz	9
2.1	Übersicht zum Gebäudeenergiegesetz (GEG).....	9
2.2	Anforderungen an zu errichtende Wohngebäude nach GEG.....	11
2.2.1	Energetische Bewertung von zu errichtenden Wohngebäuden gemäß DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10	12
2.2.2	Energetische Bewertung von zu errichtenden Wohngebäuden gemäß DIN V 18599	13
2.3	Anforderungen an zu errichtende Nichtwohngebäude nach GEG.....	16
2.4	Anforderungen an zu errichtende kleine Gebäude und Gebäude aus Raumzellen nach GEG.....	18
2.5	Nutzung erneuerbarer Energien zur anteiligen Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs nach GEG	18
2.6	Anforderungen an den Gebäudebestand nach GEG.....	19
2.7	Energieausweise nach GEG	20
3	Wärmedurchgang durch Wandkonstruktionen aus Porenbetonmauerwerk	23
3.1	Wärmedurchgang durch Bauteilflächen aus Porenbetonmauerwerk	23
3.2	Wärmedurchgang durch Wärmebrücken in Porenbetonmauerwerk.....	26
3.2.1	Berechnung des Transmissionswärmeverlustes durch Wärmebrücken ohne Bezug auf DIN 4108 Beiblatt 2.....	26
3.2.2	Berechnung des Transmissionswärmeverlustes durch Wärmebrücken mit Bezug auf DIN 4108 Beiblatt 2.....	29
4	Wärmespeicherung von Porenbetonmauerwerk	31
4.1	Raumlufttemperatur und Transmissionswärmeverluste bei intermittierendem Heizen	31
4.2	Passive Solarenergienutzung durch Fenster	32
4.3	Energieeinspareffekte aus intermittierendem Heizen und passiver Solarenergienutzung	32

5	Mindestwärmeschutz im Winter.....	35
5.1	Anforderungen an Bauteilflächen.....	35
5.2	Anforderungen an Wärmebrücken	35
6	Sommerlicher Wärmeschutz	37
6.1	Einflussgrößen auf den sommerlichen Wärmeschutz	37
6.2	Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes	37
6.3	Berechnungsbeispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes	40
	Formelzeichen	42
	Literatur.....	44

Einführung zum baulichen Wärmeschutz

Im Hinblick auf die Schonung der Ressourcen fossiler Energieträger und die Entlastung unserer Umwelt von Schadstoffen, die bei der Verbrennung fossiler Energieträger entstehen, ist das wichtigste Ziel des baulichen Wärmeschutzes die Energieeinsparung bei der Nutzung von Gebäuden. Resultierend daraus kann auch insbesondere das Treibhausgas Kohlenstoffdioxid (CO_2), das hauptsächlich neben weiteren Treib-

hausgasen wie Methan (CH_4) zur Erwärmung der Erdatmosphäre beiträgt, reduziert werden. Der bauliche Wärmeschutz von Gebäuden, vor allem die wärmetechnische Qualität der Außenbauteilflächen und der Wärmebrücken, ist eine wichtige Einflussgröße für den Heizenergieverbrauch während der Nutzung und ein wesentliches Merkmal energiesparender Gebäude (Abb. 1.1).

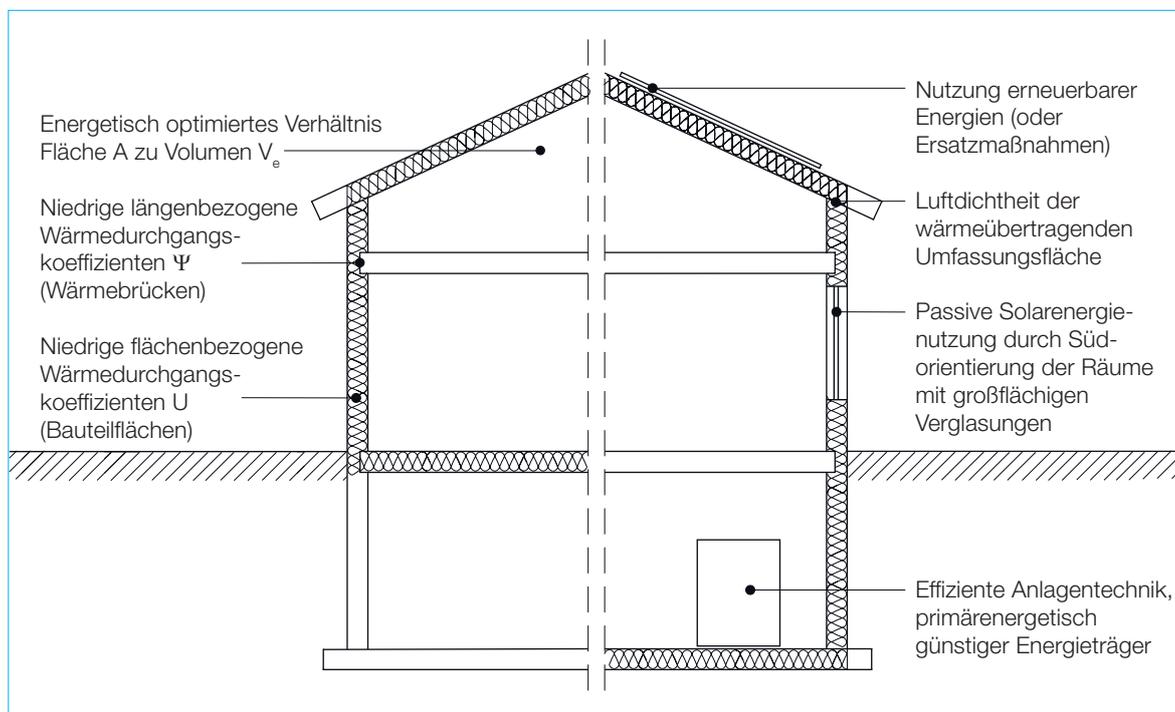


Abb. 1.1: Merkmale energiesparender Gebäude

Weitere Merkmale sind die Luftdichtheit der Gebäudehülle, eine effiziente Anlagentechnik und der Einsatz erneuerbarer Energien. Hinzu kommt, dass die wärmetechnische Qualität der wärmeübertragenden Umfassungsfläche eines Gebäudes Einfluss auf die raumseitigen Oberflächentemperaturen und somit einen wesentlichen Einfluss auf die Behaglichkeit innerhalb von Räumen hat. Auch zur Vermeidung von Bauschäden sind ausreichend hohe Innen-Oberflächentemperaturen erforderlich. Diesen Zielsetzungen entsprechen die unterschiedlichen Schwerpunkte des Wärmeschutzes:

■ Energiesparender Wärmeschutz

Der Bedarf an Primärenergie für Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung insbesondere unter Berücksichtigung erneuerbarer Energien ist im Rahmen eines gesamtheitlichen energetischen Bewertungskon-

zeptes zu begrenzen. Darüber hinaus ist es technisch möglich, Gebäude zu errichten, die einen noch geringeren Energiebedarf haben als das sogenannte Niedrigstenergiegebäude nach dem Gebäudeenergiegesetz (GEG) [1]. Weitere Definitionen, die in Zusammenhang mit energiesparenden Gebäuden genannt werden, sind z. B. KfW-Effizienzhaus, Passivhaus, Nullenergiehaus oder Plusenergiehaus. In diesem Bericht wird der energiesparende Wärmeschutz gemäß GEG in Kapitel 2 betrachtet.

Im Rahmen des öffentlich-rechtlichen Nachweisverfahrens werden zu errichtende Gebäude nach DIN V 18599 [2] energetisch bewertet. Dabei zeigt sich, dass energetische Verluste der Anlagentechnik auch vom Nutzenergiebedarf für Heizen und damit von den Transmissionswärmeverlusten über die wärmeübertragende Umfassungsfläche abhängig

sind. Eine energiesparende Bauweise mit niedrigen flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten U und niedrigen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ im Bereich von Wärmebrücken kann mit Porenbeton realisiert werden und zu einem insgesamt niedrigen Primärenergiebedarf Q_p führen. Daher wird in Kapitel 3.1 auf den Wärmedurchgang durch Bauteilflächen und in Kapitel 3.2 auf den Wärmedurchgang durch Wärmebrücken in Porenbetonmauerwerk eingegangen. Die Wärmespeicherung von Baustoffen ist für alle Arten von Wärmeschutz von Bedeutung und ist Inhalt von Kapitel 4.

■ **Mindestwärmeschutz im Winter**

An die wärmetechnische Qualität von Bauteilflächen und Wärmebrücken werden Mindestanforderungen gestellt, um Tauwasserausfall oder Schimmelpilzbildung an raumseitigen Bauteiloberflächen zu vermeiden. Dabei geht es auch darum, ein hygienisches Raumklima und einen dauerhaften Schutz der Baukonstruktion gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen sicherzustellen. Der winterliche Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2 [3.1] wird in Kapitel 5 betrachtet.

■ **Sommerlicher Wärmeschutz**

Durch Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz im Sommer soll eine zu starke Erwärmung von Aufenthaltsräumen vermieden werden, damit auch ohne Kühlung der Raumluft unter Einsatz von Energie ein behagliches Raumklima erreicht werden kann. Kapitel 6 erläutert die grundlegenden Regelungen und schließt mit einem Beispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 ab.

Energiesparender Wärmeschutz

2.1 Übersicht zum Gebäudeenergiegesetz (GEG)

Der Anwendungsbereich des Gebäudeenergiegesetzes vom 8. August 2020 (GEG) [1], das am 1. November 2020 in Kraft getreten ist, erstreckt sich auf Gebäude, die unter Einsatz von Energie beheizt oder gekühlt werden. Dazu gehören zu errichtende Wohn- und Nichtwohngebäude, zu errichtende kleine Gebäude und Gebäude aus Raumzellen sowie beste-

hende Gebäude. Außerdem gilt das Gesetz für Anlagen der Heizungs-, Kühl-, Raumluf- und Beleuchtungstechnik sowie der Warmwasserversorgung. Eine Übersicht zu den Teilen und Anlagen des Gesetzes enthält Abb. 2.1. Auf Grundlage des Bundesratsbeschlusses vom 8. Juli 2022 treten zum 1. Januar 2023 Änderungen in Kraft, die sich u. a. auf eine Absenkung des höchstens zulässigen Jahres-Primärenergiebedarfs beziehen.

Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (GEG)				
Teil 2 (§§ 10 bis 45)	Teil 3 (§§ 46 bis 56)	Teil 4 (§§ 57 bis 78)	Teil 5 (§§ 79 bis 88)	
Anforderungen an zu errichtende Gebäude	Bestehende Gebäude	Anlagentechnik	Energieausweise	
↓	↓	↓	↓	
Anlage 1 Referenz-Wohngebäude	Anlage 7 U_{max} (Änderungen)	Anlage 8 Dämmung Leitungen	Anlage 9 Treibhausgasemissionen	
Anlage 2 Referenz-Nichtwohngebäude		Anlage 10 Energieeffizienzklassen		
Anlage 3 U_{max} (Nichtwohngebäude)		Anlage 11 Schulung Ausstellungsberechtigter		
Anlage 4 Primärenergiefaktoren f_p				
Anlage 5 Vereinfachtes Verfahren Wohngebäude				
Anlage 6 Vereinfachtes Verfahren Nichtwohngebäude Nutzungsprofile				
Teil 1 (§§ 1 bis 9)	Teil 6 (§§ 89 bis 91)	Teil 7 (§§ 92 bis 103)	Teil 8 (§§ 104 bis 109)	Teil 9 (§§ 110 bis 114)
Allgemeiner Teil	Finanzielle Förderung Erneuerbare Energien/ Effizienz	Vollzug	Besondere Gebäude, Bußgeld, Anschluss-/ Benutzungszwang	Übergangsvorschriften

Abb. 2.1: Inhaltsübersicht über das Gebäudeenergiegesetz (GEG) [1]

Teil 1 (Allgemeiner Teil) des GEG benennt neben dem Anwendungsbereich und den Begriffsbestimmungen u. a. Zweck und Ziel des Gesetzes. Der im Gesetz genannte Zweck besteht darin, dass Energie in Gebäuden möglichst sparsam eingesetzt wird, ergänzt um eine zunehmende Nutzung erneuerbarer Energien zur Erzeugung von Wärme, Kälte und Strom für den Gebäudebetrieb. Ergänzend sind folgende Ziele festgelegt, wobei die Einhaltung des Grundsatzes der Wirtschaftlichkeit vorausgesetzt wird:

- Klimaschutz
- Schonung fossiler Ressourcen
- Minderung der Abhängigkeit von Energieimporten
- Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele der Bundesregierung
- Erhöhung des Anteils erneuerbarer Energien am Endenergieverbrauch für Wärme und Kälte
- Nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung

Der Energieeinsatz für Produktionsprozesse und bestimmte Gebäude (z. B. Betriebsgebäude für die Tierzucht, unterirdische Bauten, provisorische Gebäude, Kirchen) ist vom Anwendungsbereich des GEG ausgenommen. Auch eine begrenzte Nutzungsdauer, ein zu erwartender sehr geringer Energieverbrauch oder sehr niedrige Raum-Solltemperaturen können dazu führen, dass das GEG auf Wohn- oder Nichtwohngebäude nicht anzuwenden ist.

Teil 2 des GEG mit den zugehörigen Anlagen 1 bis 6 beschreibt die Anforderungen an zu errichtende Gebäude, die als Niedrigstenergiegebäude durch drei Merkmale definiert sind:

- Begrenzung des Gesamtenergiebedarfs (Primärenergiebedarf) für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung sowie zusätzlich für eingebaute Beleuchtung bei Nichtwohngebäuden
- Vermeidung von Energieverlusten beim Heizen und Kühlen durch baulichen Wärmeschutz
- Anteilige Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs durch Nutzung erneuerbarer Energien

Die Anforderungen an bestehende Gebäude sowie die Verpflichtung zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärmeerzeugung bei bestehenden öffentlichen Gebäuden sind in Teil 3 und Anlage 7 beschrieben. Teil 4 und Anlage 8 des GEG befassen sich mit den umfangreichen Ausführungen zu den Anlagen der Heizungs-, Kühl- und Raumlüftungstechnik und der Warmwasserversorgung. Regelungen zum Energieausweis enthält Teil 5 mit den Anlagen 9 bis 11. Die Teile 6 bis 9 beziehen sich auf die finanzielle Förderung der Nutzung erneuerbarer Energien für die Erzeugung von Wärme oder Kälte und von Energieeffizienzmaßnahmen. Außerdem beziehen sie sich auf den Vollzug des GEG, auf besondere Gebäude (z. B. kleine Gebäude und Baudenkmäler), auf Bußgeldvorschriften, auf einen Anschluss- und Benutzungszwang und auf Übergangsvorschriften.

Befreiungen von den Vorschriften des Gesetzes können auf Antrag des Eigentümers oder des Bauherrn von den zuständigen Behörden in folgenden Fällen zugelassen werden:

- Die Ziele des GEG können durch andere als dort genannte Maßnahmen in gleichem Umfang erreicht werden.
- Die Anforderungen führen im Einzelfall wegen besonderer Umstände durch einen unangemessenen Aufwand oder in sonstiger Weise zu einer unbilligen Härte.
- Zu errichtende Gebäude: Erforderliche Aufwendungen können innerhalb der üblichen Nutzungsdauer nicht erwirtschaftet werden.

- Bestehende Gebäude: Erforderliche Aufwendungen können innerhalb einer angemessenen Frist durch eintretende Einsparungen nicht erwirtschaftet werden.

Sofern bei Baudenkmälern, bei besonders geschützter Bausubstanz oder sonstiger besonders erhaltenswerter Bausubstanz die Erfüllung der Anforderungen des GEG die Substanz oder das Erscheinungsbild beeinträchtigen oder andere Maßnahmen zu einem unverhältnismäßig hohen Aufwand führen würden, kann von den Anforderungen abgewichen werden.

Soll der Energiebedarf gegenüber den Mindestanforderungen gemäß GEG weiter gesenkt werden, bedürfen die Einsparungsmöglichkeiten noch strengere Beachtung:

- Kompakte, verdichtete Bauweise
- Weitere Verbesserung des Wärmeschutzes der Bauteile der wärmeübertragenden Umfassungsfläche
- Konsequenter Vermeidung von Transmissionswärmeverlusten im Bereich von Wärmebrücken
- Optimierung der Luftdichtheit der Gebäudehülle
- Bessere Nutzung von Energiegewinnen aus passiver Solarstrahlung, vor allem auch bei der städtebaulichen Planung
- Effizientere Anlagentechnik für Heizung, Kühlung, Trinkwassererwärmung und Lüftung
- Sparsamere Beleuchtungstechnik
- Kontrollierte Lüftung mit Wärmerückgewinnung
- Primärenergetisch sinnvolle Energieträger und verstärkte Nutzung erneuerbarer Energien

Die Auflistung macht deutlich, dass zur weiteren Energieeinsparung in Gebäuden eine Reihe zusätzlicher Maßnahmen erforderlich ist und diese Aufgabe nicht nur durch den besonders intensiven Einsatz einzelner Maßnahmen gelöst werden kann. Vielmehr ist – und das gilt auch für die ökonomische Betrachtung – eine ganzheitliche Optimierung erforderlich, bei der auch die Wechselwirkungen der einzelnen bau- und anlagentechnischen Maßnahmen unter Beachtung der Primärenergieträger untereinander einbezogen werden müssen.

Der tatsächliche Energieverbrauch wird wesentlich durch das Heiz- und Lüftungsverhalten des Nutzers bestimmt. Untersuchungen an Wohngebäuden zeigen, dass der berechnete Energiebedarf meistens höher ist als der gemessene Energieverbrauch, wobei der Unterschied mit zunehmender Gebäudegröße tendenziell abnimmt [4].

Dies zeigt, dass der Energieverbrauch im Einzelfall nicht unbedingt mit einem durch Berechnung oder Simulation ermittelten Sollwert übereinstimmen muss. Nutzern in Gebäuden mit sehr niedrigem Energiebedarf wird es leicht gemacht, sich energiesparend zu verhalten. So bewirken z. B. vergleichsweise hohe Oberflächentemperaturen der Außenwände, Fenster, Böden und Decken bzw. Dächer einen thermischen Komfort, der in weniger gut gedämmten Gebäuden durch hohe Raumlufttemperaturen zwar angestrebt, aber dennoch nicht erreicht wird.

Eine kontrollierte Wohnungslüftung mit Wärmerückgewinnung sorgt für einen gleichmäßigen Luftwechsel, stellt eine ausreichende Menge Frischluft bereit und hält die Lüftungswärmeverluste niedrig.

2.2 Anforderungen an zu errichtende Wohngebäude nach GEG

Wohngebäude sind als Gebäude definiert, die überwiegend dem Wohnen dienen. Hierzu zählen auch Wohn-, Alten- und Pflegeheime sowie ähnliche Einrichtungen. Höchstwerte für den auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,max}$ zu errichtender Wohngebäude werden mit Hilfe eines sogenannten Referenzgebäudeverfahrens ermittelt (siehe Abb. 2.2).

Demnach ist ein zu errichtendes Wohngebäude energetisch so auszuführen, dass der auf die Gebäudenutzfläche bezogene Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,max}$ für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung und Kühlung das 0,75-fache (bis 31. Dezember 2022) bzw. das 0,55-fache (ab 1. Januar 2023) des Jahres-Primärenergiebedarfs $Q_{p,Ref}$ eines Referenzgebäudes

gleicher Geometrie, Gebäudenutzfläche und Ausrichtung wie das zu errichtende Gebäude nicht überschreitet. Die technische Referenzausführung eines Wohngebäudes wird auszugsweise in Abb. 2.3 wiedergegeben.

Die wärmeübertragende Umfassungsfläche eines Wohngebäudes, die das beheizte Gebäudevolumen umschließt, besteht aus Bauteilen, die zwischen Raumluft und Außenluft bzw. unbeheizten Bereichen liegen. Die Bautechnik wird durch folgende Kenngrößen beschrieben:

- Flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient U
- Wärmebrückenzuschlagswert ΔU_{WB}
- Gesamtenergiedurchlassgrad g_L der Verglasung
- Luftwechselrate n_{50} bei einer Druckdifferenz von $\Delta p = 50$ Pa

Hinsichtlich der Anlagentechnik listet das GEG alle technischen Merkmale auf, die zur Berechnung der Energiebedarfe in den Bereichen Heizung (h), Warmwasserbereitung (w), Kühlung (c), Lüftung (v) und Automation erforderlich sind.

Bei den detaillierten Angaben zum Referenzgebäude handelt es sich nicht um Anforderungen, die bei der bau- und anlagentechnischen Ausstattung im Einzelfall einzuhalten sind. Die vorgegebenen Größen wie Wärmedurchgangskoeffizienten U dienen nur dazu, den Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,Ref}$ eines Referenzgebäudes bzw. den daraus abgeleiteten höchstens zulässigen Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,max}$ zu berechnen.

Im Vergleich dazu wird für das geplante Gebäude mit der vorgesehenen bau- und anlagentechnischen Ausstattung sowie dem vorgesehenen Energieträger der „vorhandene“ Jahres-Primärenergiebedarf $Q_{p,vorh}$

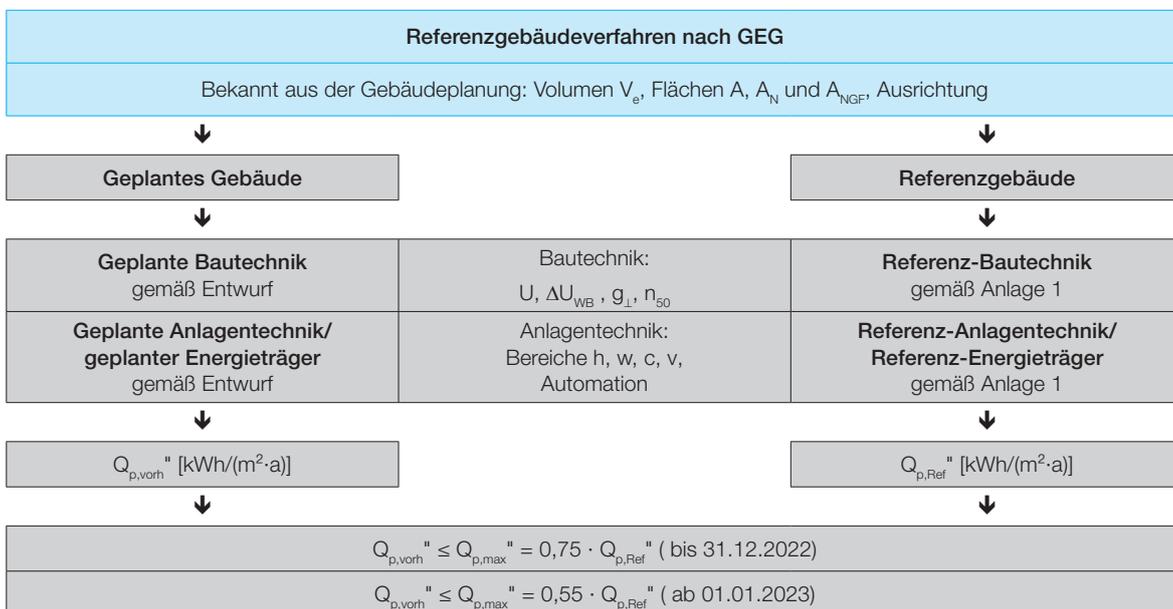
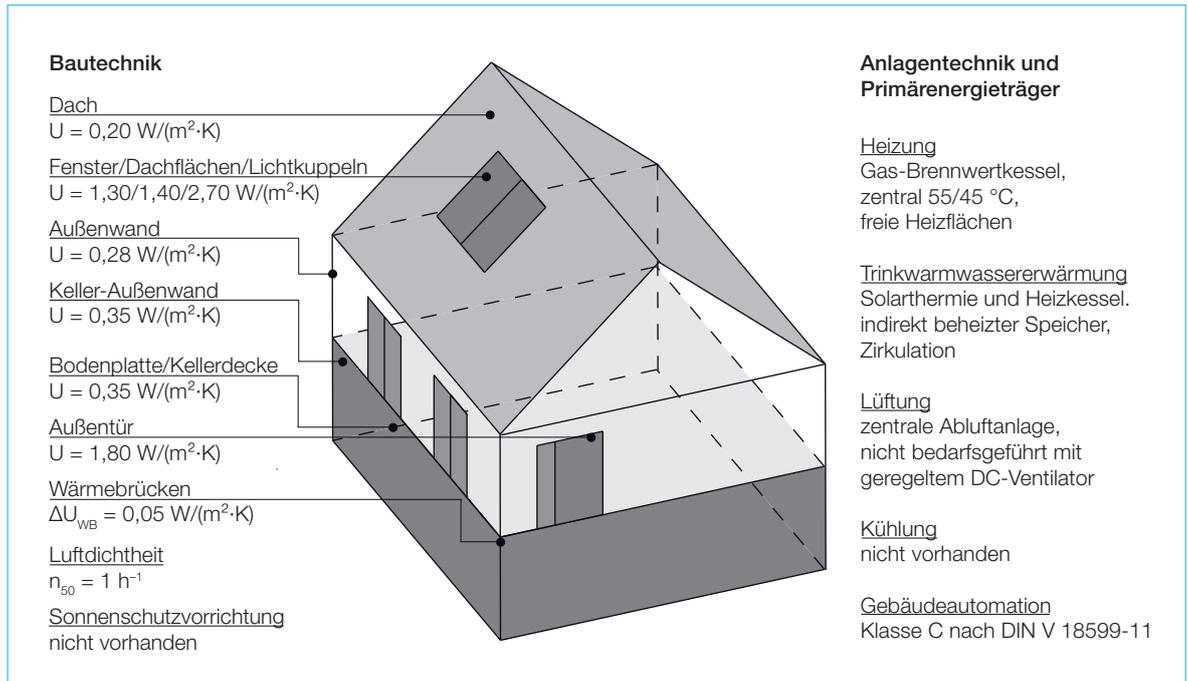


Abb. 2.2: Referenzgebäudeverfahren zur Ermittlung des maximal zulässigen, auf die Gebäudenutzfläche bezogenen Jahres-Primärenergiebedarfs $Q_{p,max}$ von Wohngebäuden nach GEG [1]

Abb. 2.3: Technische Ausführung des Referenz-Wohngebäudes nach GEG [1]



berechnet, welcher den aus dem Referenzgebäudeverfahren ermittelten Maximalwert nicht überschreiten darf. Für Wohngebäude kann der Jahres-Primärenergiebedarf Q_p nach DIN V 18599 [2] oder noch bis zum 31. Dezember 2023 nach den älteren Regelungen in DIN V 4108-6 [3.3] in Verbindung mit DIN V 4701-10 [5] nachgewiesen werden.

2.2.1 Energetische Bewertung von zu errichtenden Wohngebäuden gemäß DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10

Gemäß DIN V 4108-6 wird im Rahmen eines Monatsbilanzverfahrens ein Jahres-Heizwärmebedarf Q_h eines Gebäudes ermittelt. Dazu werden für jeden Monat die Wärmesenken aus Transmission Q_T und Lüftung Q_V sowie unter Berücksichtigung eines Ausnutzungsgrades η_{Monat} die solaren und internen Wärmequellen Q_s und Q_i bilanziert:

$$Q_{h,\text{Monat}} = (Q_{T,\text{Monat}} + Q_{V,\text{Monat}}) - \eta_{\text{Monat}} (Q_{s,\text{Monat}} + Q_{i,\text{Monat}}) \quad \text{Gl. (2.1)}$$

Alle positiven Werte für $Q_{h,\text{Monat}}$ werden zum Jahres-Heizwärmebedarf Q_h addiert:

$$Q_h = \sum Q_{h,\text{Monat}} \quad \text{Gl. (2.2)}$$

Die Transmissionswärmesenken Q_T werden aus einem Umrechnungsfaktor, dem spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T , der Differenz zwischen der

Raumlufttemperatur θ_i und der mittleren monatlichen Außenlufttemperatur $\theta_{e,\text{Monat}}$ sowie der Anzahl der Tage t_{Monat} des betreffenden Monats berechnet:

$$Q_{T,\text{Monat}} = 0,024 \cdot H_T \cdot (\theta_i - \theta_{e,\text{Monat}}) \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (2.3)}$$

Der spezifische Transmissionswärmeverlust H_T umfasst die Berücksichtigung

- der flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten U_i
- der Bauteilflächen A_i
- der Temperatur-Korrekturfaktoren $F_{x,i}$
- des spezifischen Transmissionswärmeverlusts $H_{T,\text{WB}}$ im Bereich von Wärmebrücken (siehe auch Kapitel 3.2 „Wärmedurchgang durch Wärmebrücken in Porenbetonmauerwerk“)

$$H_T = \sum (U_i \cdot A_i \cdot F_{x,i}) + H_{T,\text{WB}} \quad \text{Gl. (2.4)}$$

Maßgebliche Einflussgröße für die Lüftungswärmesenken Q_V ist der spezifische Lüftungswärmeverlust H_V , der u. a. von der Gebäudedichtheit abhängig ist:

$$Q_{V,\text{Monat}} = 0,024 \cdot H_V \cdot (\theta_i - \theta_{e,\text{Monat}}) \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (2.5)}$$

Für transparente Bauteile werden solare Wärmequellen Q_s wie folgt erfasst:

$$Q_{s, \text{Monat}} = 0,024 \cdot \sum (A_i \cdot g_i \cdot F_{F,i} \cdot F_{S,i} \cdot F_{C,i} \cdot I_{s,i, \text{Monat}}) \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (2.6)}$$

A_i	Bauteilfläche	[m ²]
g_i	Gesamtenergiedurchlassgrad	[-]
$F_{F,i}$	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil	[-]
$F_{S,i}$	Abminderungsfaktor infolge Verschattung	[-]
$F_{C,i}$	Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen	[-]
$I_{s,i, \text{Monat}}$	Mittlere monatliche Strahlungsintensität der Sonne	[W/m ²]
t_{Monat}	Anzahl der Tage des Monats	[-]

Interne Wärmequellen Q_i durch Personen, Geräte und Beleuchtung werden aus einem Umrechnungsfaktor, den nutzflächenbezogenen internen Brutwärmeströmen von insgesamt $q_i = 5 \text{ W/m}^2$, der Gebäudenutzfläche A_N und der Anzahl der Tage des Monats t_{Monat} ermittelt:

$$Q_{i, \text{Monat}} = 0,024 \cdot 5 \text{ W/m}^2 \cdot A_N \cdot t_{\text{Monat}} \quad \text{Gl. (2.7)}$$

Neben der Bilanzierung des Jahres-Heizwärmebedarfs Q_h aus den Wärmesenken, den Wärmequellen und dem Ausnutzungsgrad für Wärmequellen (siehe Abb. 2.4) ist die Trinkwassererwärmung mit einer Größe von $Q_w = 12,5 \text{ kWh/(m}^2 \cdot \text{a)}$ als weiterer Nutzenergiebedarf zu berücksichtigen.

Weiterhin wirken sich die energetischen Verluste der Anlagentechnik in den Prozessbereichen Erzeugung Q_{gen} , Speicherung Q_s , Verteilung Q_d und Übergabe Q_{ce} sowie die Art des eingesetzten Primärenergieträgers über den Primärenergiefaktor f_p aus.

DIN V 4701-10 fasst die anlagentechnischen Verluste und die Bewertung des Energieträgers in einer primärenergetischen Anlagenaufwandszahl e_p zusammen:

$$Q_p = (Q_h + Q_w) \cdot e_p \quad \text{Gl. (2.8)}$$

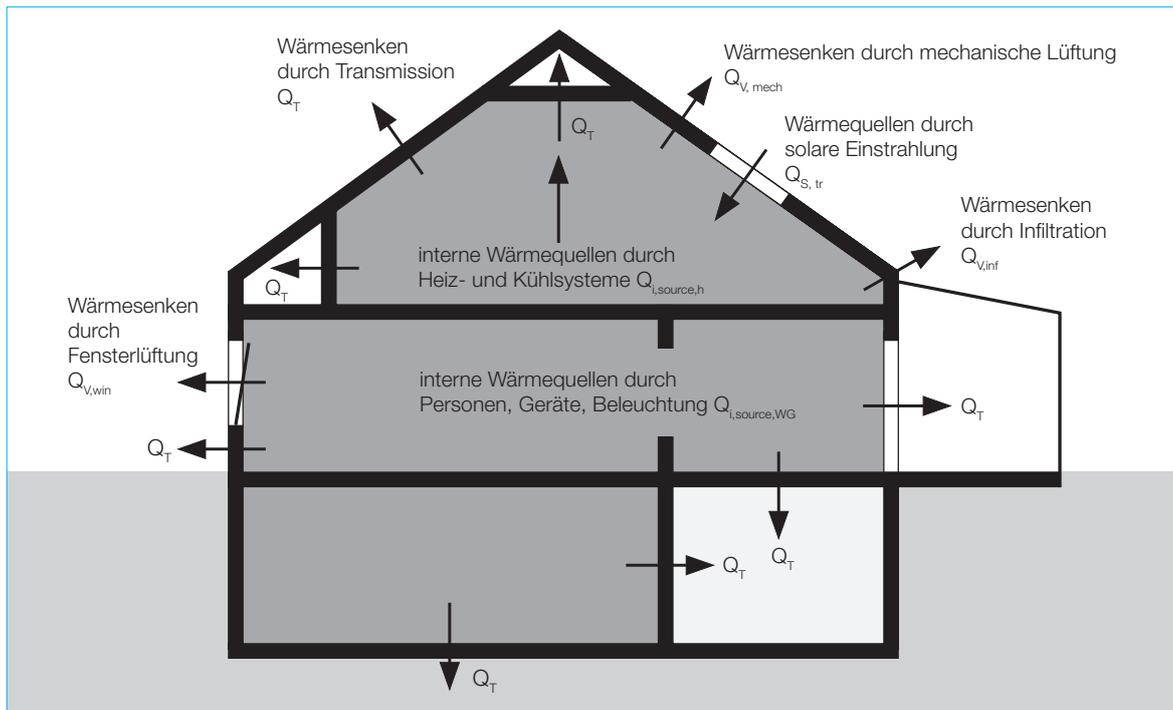


Abb. 2.4: Wärmesenken Q_{sink} und Wärmequellen Q_{source} eines Wohngebäudes zur Berechnung des Nutzenergiebedarfs für das Heizen Q_h

2.2.2 Energetische Bewertung von zu errichtenden Wohngebäuden gemäß DIN V 18599

Gemäß DIN V 18599 können die bautechnischen Eigenschaften, die komplexen Systeme der Anlagentechnik für Heizen, Kühlen, Lüften und Klimatisieren sowie die Primärenergieträger eines Gebäudes unter energetischen Gesichtspunkten bewertet und damit vergleichbar gemacht werden. In zwölf Teilen und drei Beiblättern der Norm wird jeweils ein inhaltlicher Schwerpunkt betrachtet (siehe Tab. 2.1).

Die Berechnung erfolgt schrittweise für die Bilanzierungsgrenzen Nutzenergie-, Endenergie- und Primärenergiebedarf (siehe Abb. 2.5). Dabei werden der Baukörper, die Gebäudenutzung und die Anlagentechnik der verschiedenen Bereiche in ihren gegenseitigen Wechselwirkungen berücksichtigt.

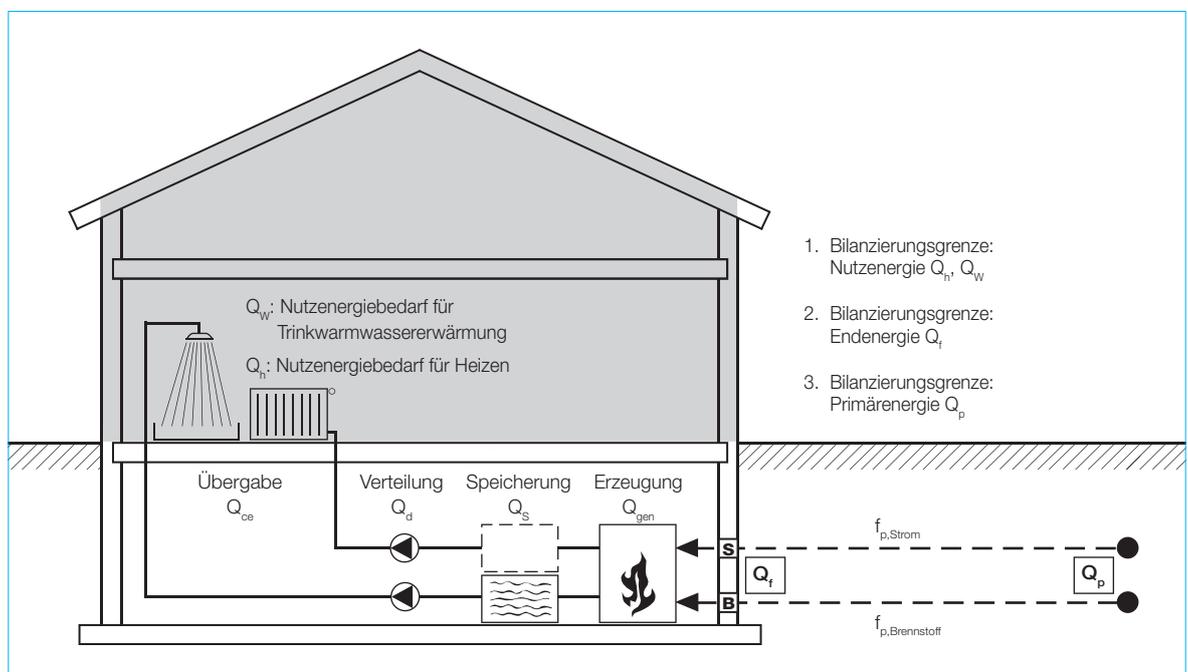
Die Norm kann sowohl als Planungsinstrument für die energetische Optimierung von zu errichtenden Wohn- und Nichtwohngebäuden als auch für die energetische Bewertung von bestehenden Gebäuden verwendet werden.

Tab. 2.1: Teile und Beiblätter der DIN V 18599 „Energetische Bewertung von Gebäuden – Berechnung des Nutz-, End- und Primärenergiebedarfs für Heizung, Kühlung, Lüftung, Trinkwarmwasser und Beleuchtung“ [2]

Teile und Beiblätter der DIN V 18599	
Teil/Beiblatt	Titel
Teil 1	Allgemeine Bilanzierungsverfahren, Begriffe, Zonierung und Bewertung der Energieträger (2018-09)
Teil 2	Nutzenergiebedarf für Heizen und Kühlen von Gebäudezonen (2018-09)
Teil 3	Nutzenergiebedarf für die energetische Luftaufbereitung (2018-09)
Teil 4	Nutz- und Endenergiebedarf für Beleuchtung (2018-09)
Teil 5	Endenergiebedarf von Heizsystemen (2018-09)
Teil 6	Endenergiebedarf von Lüftungs-, Luftheizungsanlagen u. Kühlsystemen für den Wohnungsbau (2018-09)
Teil 7	Endenergiebedarf von Raumlufttechnik- und Klimakätesystemen für den Nichtwohnungsbau (2018-09)
Teil 8	Nutz- und Endenergiebedarf von Warmwasserbereitungssystemen (2018-09)
Teil 9	End- und Primärenergiebedarf von stromproduzierenden Anlagen (2018-09)
Teil 10	Nutzungsrandbedingungen, Klimadaten (2018-09)
Teil 11	Gebäudeautomation (2018-09)
Teil 12	Tabellenverfahren für Wohngebäude (2017-04)
Beiblatt 1	Bedarfs-/Verbrauchsabgleich (2010-01)
Beiblatt 2	Beschreibung der Anwendung von Kennwerten aus der DIN V 18599 bei Nachweisen des Gesetzes zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (EEWärmeG) (2012-06)
Beiblatt 3	Überführung der Berechnungsergebnisse einer Energiebilanz nach DIN V 18599 in ein standardisiertes Ausgabeformat (2015-07)

Wohn- und Nichtwohngebäude	nur Wohngebäude	nur Nichtwohngebäude
----------------------------	-----------------	----------------------

Abb. 2.5: Bilanzierungsgrenzen Nutzenergie, Endenergie und Primärenergie zur Berechnung des Energiebedarfs von Gebäuden



Neben den Berechnungsgrundlagen zur Ermittlung und Beurteilung der Energiemengen, die zum Heizen, Kühlen und Belüften eines Gebäudes benötigt werden, sind in der Norm nutzungsbezogene Berechnungs-Randbedingungen festgelegt. Im Gegensatz zu Nichtwohngebäuden haben Wohngebäude hinsichtlich der Nutzung nur eine beheizte Zone.

In Teil 2 der DIN V 18599 erfolgt die Bilanzierung des Nutzenergiebedarfs für Heizen $Q_{h,b}$ (heating system) und Kühlen $Q_{c,b}$ (cooling system) von Gebäuden oder Gebäudeteilen. Für die Trinkwassererwärmung ergibt sich ein Nutzenergiebedarf $Q_{w,b}$ (domestic hot water system) nach den Randbedingungen aus Teil 10 der DIN V 18599. Für die Wohnraumlüftung wird ein

nach Teil 6 ermittelter Nutzenergiebedarf $Q_{rv,b}$ (residential ventilation) angesetzt. Die Bewertung der Anlagenkomponenten für die Prozessbereiche Übergabe, Verteilung, Speicherung und Erzeugung erfolgt getrennt nach:

- Heizsystem (Teil 5)
- Wohnungslüftungssystem (Teil 6)
- Trinkwarmwassererwärmung (Teil 8)

Alle benötigten, nutzungsbezogenen Randbedingungen sind in Teil 10 der DIN V 18599 festgelegt. Der End- und Primärenergiebedarf stromproduzierender Anlagen wie Photovoltaikanlagen wird nach Teil 9 berechnet. Die Gebäudeautomation findet Berücksichtigung in Teil 11. Teil 1 der DIN V 18599 führt die vorgenannten einzelnen Energieanteile zusammen und es erfolgt die Gesamtbilanzierung zum Jahres-Primärenergiebedarf Q_p .

Die bei der abschließenden primärenergetischen Bewertung zu verwendenden, energieträgerabhängigen Primärenergiefaktoren f_p in Tab. 2.2 zeigen den Einfluss des Einsatzes erneuerbarer Energien auf die

Energieeffizienz von Gebäuden. Ebenso die Emissionsfaktoren m_{THG} nach Tab. 2.3, da im Energieausweis die Treibhausgasemissionen als äquivalente Kohlendioxidemissionen (CO_2 -Emissionen) anzugeben sind.

Neben dem Jahres-Primärenergiebedarf Q_p als Hauptanforderungsgröße wird ein Niedrigstenergiegebäude durch die Qualität des baulichen Wärmeschutzes definiert. Es ist nachzuweisen, dass der spezifische, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H_T' nicht höher ist als der für das Referenzgebäude ermittelte Wert.

Entscheidende bautechnische Kenngrößen für H_T' sind die flächenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten U von Bauteilflächen und die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ im Bereich von Wärmebrücken, die in Kapitel 3 „Wärmedurchgang durch Wandkonstruktionen aus Porenbetonmauerwerk“ mit den Unterkapiteln 3.1 „Wärmedurchgang durch Bauteilflächen aus Porenbetonmauerwerk“ und 3.2 „Wärmedurchgang durch Wärmebrücken in Porenbetonmauerwerk“ differenzierter betrachtet werden.

Energieträgerabhängige Primärenergiefaktoren f_p (nicht erneuerbarer Anteil) nach GEG			
Kategorie	Energieträger		Primärenergiefaktor f_p [-]
Fossile Brennstoffe	Heizöl		1,1
	Erdgas		1,1
	Flüssiggas		1,1
	Steinkohle		1,1
	Braunkohle		1,2
Biogene Brennstoffe	Biogas		1,1
	Bioöl		1,1
	Holz		0,2
Strom	Netzbezogen	Allgemein	1,8
		Wärme erzeugt von einer Großwärmepumpe $Q \geq 500$ kW	1,2
	Gebäudenah erzeugt (Photovoltaik oder Windkraft)		0,0
	Verdrängungsstrommix für Kraft-Wärme-Kopplung		2,8
Wärme, Kälte	Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme		0,0
	Erdkälte, Umgebungskälte		0,0
	Abwärme		0,0
	Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, gebäudeintegriert oder gebäudenah		gemäß DIN V 18599-9
Siedlungsabfälle	Wärme aus Verbrennung von Siedlungsabfällen		0,0

Tab. 2.2: Primärenergiefaktoren f_p für verschiedene Energieträger (nicht erneuerbarer Anteil) nach GEG [1]

Tab. 2.3: Emissionsfaktoren m_{THG} für verschiedene Energieträger nach GEG [1]

Energieträgerabhängige Emissionsfaktoren m_{THG} nach GEG		
Kategorie	Energieträger	Emissionsfaktor m_{THG} [g CO ₂ eq/kWh]
Fossile Brennstoffe	Heizöl	310
	Erdgas	240
	Flüssiggas	270
	Steinkohle	400
	Braunkohle	430
Biogene Brennstoffe	Biogas	140
	Biogas, gebäudenah erzeugt	75
	Biogenes Flüssiggas	180
	Bioöl	210
	Bioöl, gebäudenah erzeugt	105
	Holz	20
Strom	Netzbezogen	560
	Gebäudenah erzeugt (aus Photovoltaik oder Windkraft)	0
	Verdrängungsstrommix	860
Wärme, Kälte	Erdwärme, Geothermie, Solarthermie, Umgebungswärme	0
	Erdkälte, Umgebungskälte	0
	Abwärme aus Prozessen	40
	Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplung, gebäudeintegriert oder gebäudenah	gemäß DIN V 18599-9
	Wärme aus Verbrennung von Siedlungsabfällen	20
Nah-/Fernwärme aus KWK mit Deckungsanteil der KWK an der Wärmeerzeugung $\geq 70\%$	Brennstoff Stein-/Braunkohle	300
	Gasförmiger und flüssiger Brennstoff	180
	Erneuerbarer Brennstoff	40
Nah-/Fernwärme aus Heizwerken	Brennstoff Stein-/Braunkohle	400
	Gasförmiger und flüssiger Brennstoff	300
	Erneuerbarer Brennstoff	60

2.3 Anforderungen an zu errichtende Nichtwohngebäude nach GEG

Nichtwohngebäude sind alle Gebäude, die nicht den Wohngebäuden zugeordnet werden können. Sie sind nach GEG so auszuführen, dass der auf die Nettogrundfläche bezogene Jahres-Primärenergiebedarf Q_p für Heizung, Warmwasserbereitung, Lüftung, Kühlung und eingebaute Beleuchtung das 0,75-fache (bis 31. Dezember 2022) bzw. 0,55-fache (ab 1. Januar 2023) des Jahres-Primärenergiebedarfs eines Referenzgebäudes gleicher Geometrie, Nettogrundfläche, Ausrichtung und Nutzung wie das zu errichtende Gebäude und mit einer technischen Referenzausführung nicht überschreitet.

Zu den bau- und anlagentechnischen Komponenten des Referenz-Nichtwohngebäudes enthält das GEG in Anlage 2 eine umfangreiche Tabelle mit notwendigen Daten zu folgenden Gebäudekomponenten:

- Flächenbezogene Wärmedurchgangskoeffizienten U von Bauteilflächen
- Wärmebrückenzuschlagswert ΔU_{WB} für Wärmebrücken
- Gesamtenergiedurchlassgrad g und Lichttransmissionsgrad $\tau_{\text{v,D6S,SNA}}$ der Verglasung
- Gebäudedichtheit
- Tageslichtversorgungsfaktor $C_{\text{TL,Vers,SA}}$ bei Sonnen- und/oder Blendschutz
- Sonnenschutzvorrichtungen

- Solare Warmegewinne über opake Bauteile
- Beleuchtungsart
- Regelung der Beleuchtung
- Heizung (Raumhöhen ≤ 4 m oder > 4 m, Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung, Wärmeverteilung, Wärmeübergabe)
- Warmwasser (zentrales oder dezentrales System, Wärmeerzeugung, Wärmespeicherung, Wärmeverteilung)
- Raumluftechnik (Zu- und Abluftanlage, Luftbefeuchtung, Nur-Luft-Klimaanlagen)
- Raumkühlung (Kältesystem, Kaltwasserkreis Raumkühlung)
- Kälteerzeugung (Erzeuger, Kaltwassertemperatur, Kaltwasserkreis-Erzeuger inklusive RLT-Kühlung)
- Gebäudeautomation (Klasse C)

Die Bilanzierung und energetische Bewertung erfolgt nach DIN V 18599. Da die unterschiedlichen Nutzungsprofile von Nichtwohngebäuden einen großen Einfluss auf den Energiebedarf haben, ist ein Gebäude vor Berechnungsbeginn gemäß Teil 1 der Norm in Zonen aufzuteilen, falls die Art der Nutzung von Räumen deutlich voneinander abweicht.

Unterschiedliche Bereiche eines Gebäudes, die ähnliche Nutzenergiemengen bzw. im Falle der Heizung/Kühlung ähnliche Wärmequellen und Wärmesenken aufweisen, werden zu einer Zone zusammengefasst.

Das wichtigste Merkmal für ähnliche Nutzenergie/Wärmequellen/Wärmesenken ist eine einheitliche Nutzung. Die Nutzungsrandbedingungen für Zonen sind in Teil 10 der DIN V 18599 definiert. Ergänzend ist bei gleicher Nutzung nur dann von ähnlichen Nutzenergien/Wärmequellen/Wärmesenken auszugehen, wenn die betroffenen Räume die gleiche Art der technischen Konditionierung aufweisen. Weichen die Arten der technischen Konditionierung deutlich voneinander ab, werden die Räume trotz gleicher Nutzung unterschiedlichen Zonen zugeordnet.

Zusätzlich zur Nutzung und Art der Konditionierung gibt es noch weitere Kriterien, die zu derart unterschiedlichen Nutzenergien/Wärmequellen/Wärmesenken führen können, dass die betroffenen Räume nicht in einer gemeinsamen Energiebilanz abgebildet werden können. Diese zusätzlichen Zonenteilungskriterien betreffen vor allem gekühlte Räume mit unterschiedlich hohen Glasflächenanteilen. Der Energiebedarf des Gebäudes ergibt sich aus der Summe des Energiebedarfs aller Gebäudezonen.

Zur Sicherstellung des baulichen Wärmeschutzes von Nichtwohngebäuden dürfen Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U}_{max} der wärmeübertragenden Umfassungsfläche gemäß Tab. 2.4 nicht überschritten werden. Dabei ist nach der Raum-Solltemperatur $\theta_{h,soll}$ im Heizfall zu unterscheiden. Bei der Berechnung des Mittelwerts des jeweiligen Bauteils sind diese nach Maßgabe ihres Flächenanteils zu berücksichtigen.

Höchstwerte der mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U}_{max} der wärmeübertragenden Umfassungsfläche von Nichtwohngebäuden			
Nr.	Bauteile	Zonen mit $\theta_{h,soll} \geq 19 \text{ °C}$ im Heizfall	Zonen mit $\theta_{h,soll} = 12 \dots < 19 \text{ °C}$ im Heizfall
		\bar{U}_{max} [W/(m²·K)]	
1	Opake Bauteile soweit nicht in Bauteilen der Nummern 3 und 4 enthalten	0,28	0,50
2	Transparente Außenbauteile soweit nicht in Bauteilen der Nummern 3 und 4 enthalten	1,5	2,8
3	Vorhangsfassade	1,5	3,0
4	Glasdächer, Lichtbänder, Lichtkuppeln	2,5	3,1

Tab. 2.4: Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U}_{max} der wärmeübertragenden Umfassungsfläche von Nichtwohngebäuden nach GEG [1]

Bei der Berechnung des Mittelwerts des jeweiligen Bauteils sind die Bauteile nach Maßgabe ihres Flächenanteils zu berücksichtigen. Die Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauteilen gegen unbeheizte Räume (außer Dachräume) oder Erdreich sind zusätzlich mit dem Faktor 0,5 zu gewichten. Bei der Berechnung des Mittelwerts der an das Erdreich angrenzenden Bodenplatten bleiben die Flächen unberücksichtigt, die mehr als 5 Meter vom äußeren Rand des Gebäudes entfernt sind. Die Berechnung ist für Zonen mit unterschiedlichen Raum-Solltemperaturen im Heizfall getrennt durchzuführen. Für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten der an Erdreich grenzenden Bauteile ist DIN V 18599-2: 2018-09 Abschnitt 6.1.4.3, und für opake Bauteile ist DIN 4108-4:2017-03 [3.2] in Verbindung mit DIN EN ISO 6946:2008-04 [8] anzuwenden. Für die Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten transparenter Bauteile sowie von Vorhangsfassaden ist DIN 4108-4:2017-03 anzuwenden.

2.4 Anforderungen an zu errichtende kleine Gebäude und Gebäude aus Raumzellen nach GEG

Für kleine Gebäude mit einer Nutzfläche von höchstens 50 m² ist es nicht erforderlich, eine Bilanzierung des Primärenergiebedarfs durchzuführen oder den auf die Gebäudehüllfläche bezogenen spezifischen Transmissionswärmeverlust H_T' bei Wohngebäuden bzw. den mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} bestimmter Bauteile von Nichtwohngebäuden nachzuweisen.

Der Nachweis des energiesparenden Wärmeschutzes ist erbracht, wenn Anforderungen an die Wärmedurchgangskoeffizienten U von Außenbauteilen und dazugehörige Maßnahmen eingehalten werden. Diese Vorgaben gelten auch dann, wenn bei bestehenden Gebäuden Bauteile erneuert werden. Zusammenfassend werden die Anforderungen in Kapitel 2.6 „Anforderungen an den Gebäudebestand nach GEG“ betrachtet.

2.5 Nutzung erneuerbarer Energien zur anteiligen Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs nach GEG

Der Wärme- und Kälteenergiebedarf von zu errichtenden Wohn- und Nichtwohngebäuden ist gemäß GEG anteilig mit erneuerbaren Energien abzudecken. Der Wärmeenergiebedarf ist der nach technischen Regeln berechnete, jährliche benötigte Endenergiebedarf zur Erzeugung von Wärme in Gebäuden. Der Kälteenergiebedarf muss zur Deckung des Kältebedarfs für

Raumkühlung genutzt werden. Für die öffentliche Hand gilt die Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs innerhalb bestimmter Grenzen auch für bestehende Gebäude.

Bei der Verpflichtung, erneuerbare Energien anteilig für die Wärme- und Kälteversorgung zu nutzen, richtet sich der einzusetzende Mindestdeckungsanteil nach der Art der eingesetzten Energiequelle gemäß Tab. 2.5. Ergänzend enthält das GEG eine Vielzahl von Regelungen zum Einsatz der jeweiligen Energie. Zum Beispiel kann bei Nutzung solarer Strahlungsenergie für die Unterstützung der Trinkwassererwärmung in Wohngebäuden der erforderliche Anteil von 15 % am gesamten Wärmeenergiebedarf vereinfacht dadurch nachgewiesen werden, dass in Abhängigkeit von der Gebäudegröße bestimmte Aperturflächen der Solarkollektoren vorhanden sind. Bei Gebäuden mit maximal zwei Wohneinheiten werden 0,04 m² Aperturfläche je m² Gebäudenutzfläche gefordert, bei Gebäuden mit mehr als zwei Wohneinheiten sind es 0,03 m² Aperturfläche je m² Gebäudenutzfläche. Die Kollektoren müssen zertifiziert sein und das Prüfzeichen „Solar Keymark“ tragen.

Bei Verwendung von gasförmiger Biomasse beträgt der Deckungsanteil mindestens 30 % bei Einsatz in hocheffizienten Anlagen mit Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) bzw. 50 % bei Nutzung im Brennwertkessel. Für flüssige Biomasse mit einem Deckungsanteil von mindestens 50 % müssen KWK-Anlagen oder Brennwertkessel vorhanden sein. Feste Biomasse ist mit einem Anteil am Wärmeenergiebedarf von mindestens 50 % zu verwenden. Bei Nutzung von Erd- oder Umweltwärme mit einem Deckungsanteil von mindestens 50 % gelten ergänzende technische Anforderungen, die sich u. a. aus europäischen Ökodesign-Regelungen ergeben.

Tab. 2.5: Mindestanteile Q_{WE+KE} bei der Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung von Gebäuden nach GEG [1]

Mindestanteile Q_{WE+KE} bei der Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung nach GEG		
Erneuerbare Energie	Anteil	Anmerkungen
Solarthermie	$Q_{WE+KE,Solar} \geq 0,15 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Vereinfachter Nachweis Wohngebäude („Solar Keymark“) $\leq 2 \text{ WE} \rightarrow \geq 0,04 \text{ m}^2 (A_{Ap})/\text{m}^2 (A_N)$ $> 2 \text{ WE} \rightarrow \geq 0,03 \text{ m}^2 (A_{Ap})/\text{m}^2 (A_N)$
Strom	$Q_{WE+KE,Strom} \geq 0,15 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Berechnung des monatlichen Ertrags nach DIN V 18599-9
Biomasse fest	$Q_{WE+KE,Biofest} \geq 0,50 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Kleine und mittlere Feuerungsanlagen: Nutzung in Biomassekessel o. automatisch beschicktem Biomasseofen mit Wärmeträger Wasser
Biomasse flüssig	$Q_{WE+KE,Bioflu} \geq 0,50 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Nutzung in KWK-Anlage oder Brennwertkessel Weitere Regelungen Nachhaltigkeit/Treihausgaspotenzial
Biomasse gasförmig	$Q_{WE+KE,Biogas} \geq x \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Nutzung in hocheffizienter KWK-Anlage (KWKG): $x = 0,30 [-]$ Nutzung in Brennwertkessel: $x = 0,50 [-]$
Geothermie/ Umweltwärme	$Q_{WE+KE,G/U} \geq 0,50 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Elektrisch oder mit fossilen Brennstoffen angetriebene Wärmepumpen, europäische Ökodesign-Regelungen

Q_{WE+KE} Energieanteil zur Wärme- und Kälteerzeugung

A_N Gebäudenutzfläche

A_{Ap} Aperturfläche von Solarkollektoren

KWK Kraft-Wärme-Kopplung

KWKG Kraft-Wärme-Kopplungsgesetz (letzte Fassung 21. Dezember 2015; letzte Änderung vom 10. August 2021 mit Inkrafttreten 1. Januar 2024)

Ersatzmaßnahmen anstelle des Einsatzes erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung nach GEG		
Ersatzmaßnahme	Anteil	Anmerkungen
Abwärme	$Q_{WE+KE,Abw} \geq 0,5 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Direkte Nutzung oder Nutzung mittels Wärmepumpen
Kraft-Wärme-Kopplung	$Q_{WE+KE,KWK} \geq 0,5 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Hocheffiziente KWK-Anlage (KWKG)
	$Q_{WE+KE,Brenn} \geq 0,4 \cdot Q_{WE+KE,ges}$	Brennstoffzellenheizung
Fernwärme Fernkälte	Energieträgerabhängig, EE-Anteil nur aus nebenstehenden Energien	<ul style="list-style-type: none"> ■ Wesentlicher Anteil aus EE ■ $\geq 50\%$ aus Anlagen-Abwärmenutzung ■ $\geq 50\%$ aus KWK-Anlagen ■ $\geq 50\%$ aus Maßnahmen-Kombination
Maßnahmen zur Einsparung von Energie	■ Wohngebäude: $H_{T,max}' \leq 0,85 \cdot H_{T,Ref}'$	
	■ Nichtwohngebäude: $\bar{U}_{max} \leq 0,85 \cdot \bar{U}_{max, Anlage 3}$	

Tab. 2.6: Ersatzmaßnahmen anstelle des Einsatzes erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung von Gebäuden nach GEG [1]

Q_{WE+KE} Energieanteil zur Wärme- und Kälteerzeugung
 EE Erneuerbare Energien
 KWK Kraft-Wärme-Kopplung
 H_T' Spezifischer, auf die Gebäudehülle bezogener Transmissionswärmeverlust
 \bar{U} Mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient

Anstelle des Einsatzes erneuerbarer Energien bietet das GEG die Möglichkeit, auf Ersatzmaßnahmen zurückzugreifen (siehe Tab. 2.6): Die Nutzung von Abwärme, die Nutzung von Wärmeenergie aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen sowie aus Nah- und Fernwärmenetzen.

Als Ersatzmaßnahmen zulässig sind auch Maßnahmen am Gebäude, mit denen der spezifische, auf die Gebäudehüllfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H_T' (zu errichtende Wohngebäude) bzw. die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} (zu errichtenden Nichtwohngebäude) um jeweils mindestens 15 % unterschritten werden können.

2.6 Anforderungen an den Gebäudebestand nach GEG

Außenbauteile eines bestehenden Gebäudes dürfen nicht in einer Weise verändert werden, welche die energetische Qualität des Gebäudes verschlechtert. Die hervorragende Wärmedämmfähigkeit und niedrige Wärmeleitfähigkeit von Porenbeton basiert auf seiner geringen Rohdichte und seinem hohen Luftporenanteil. Wärmedurchgangskoeffizienten U von bestehenden Außenwänden aus Porenbetonmauerwerk der 1950er bis 1970er Jahre liegen je nach Wanddicke und Rohdichte bei Werten zwischen

Wärmedurchgangskoeffizienten von Porenbetonmauerwerk der 1950er bis 1970er Jahre						
Rohdichte ρ [kg/m³]	Wärmedurchgangskoeffizient ¹⁾ U [W/(m²·K)]					
	d = 240 mm		d = 300 mm		d = 365 mm	
	Planstein-Mauerwerk	Blockstein-Mauerwerk	Planstein-Mauerwerk	Blockstein-Mauerwerk	Planstein-Mauerwerk	Blockstein-Mauerwerk
470	0,60	0,76	0,49	0,63	0,41	0,52
550	0,67	0,82	0,54	0,68	0,46	0,57
640	0,76	0,91	0,63	0,76	0,52	0,64
780	0,88	1,03	0,73	0,85	0,61	0,72

Tab. 2.7: Wärmedurchgangskoeffizienten U von Porenbetonmauerwerk der 1950er bis 1970er Jahre [6]

¹⁾ ohne Putz

Wärmeleitfähigkeiten von Porenbetonmauerwerk der 1950er bis 1970er Jahre			
Rohdichte ρ [kg/m³]	Wärmeleitfähigkeit ¹⁾		
	λ_{tr} [kcal/(m·h·grad)]	λ_{tr} [W/(m·K)]	$\lambda_{DIN 4108-4}^{2)}$ [W/(m·K)]
470	0,10	0,12	0,16
550	0,11	0,13	0,18
640	0,13	0,15	0,21
780	0,16	0,19	0,25

Tab. 2.8: Wärmeleitfähigkeit λ von Porenbetonmauerwerk der 50er bis 70er Jahre [6]

¹⁾ 1 kcal/(m·h·grad) = 1,163 W/(m·K)

²⁾ bei Blocksteinen, vermauert mit Normalmörtel, den Tabellenwert um $\Delta\lambda = 0,05$ W/(m·K) erhöhen

Abb. 2.6: Anforderungen an bestehende Gebäude bei Änderung sowie bei Erweiterung und Ausbau nach GEG [1]

Anforderungen an bestehende Gebäude bei Änderung sowie bei Erweiterung und Ausbau		
Änderungen an Bauteilen (Erneuerung, Ersatz oder erstmaliger Einbau) $\Delta A > 0,1 \cdot A_{\text{Bauteilgruppe}}$	Erweiterung und Ausbau um beheizte oder gekühlte Räume	
↓	↓	↓
Wohngebäude und Nichtwohngebäude	Wohngebäude	Nichtwohngebäude
$U \leq U_{\text{max}}$	$H_T' \leq 1,2 \cdot H_{T,\text{Ref}}'$	$\bar{U} \leq 1,25 \cdot \bar{U}_{\text{max}}$
U_{max} gemäß GEG Anlage 7	$H_{T,\text{Ref}}'$ gemäß GEG Anlage 1	\bar{U}_{max} gemäß GEG Anlage 3
→ Siehe auch GEG § 50 (Bewertung Bestandsgebäude) ggf. Beratungsgespräch	Falls A_N bzw. $A_{\text{NGF}} > 50 \text{ m}^2$: Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes	

$U = 0,41$ und $1,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (siehe Tab. 2.7), welche auf Grund von Wärmeleitfähigkeiten bestimmter Produktionsstätten nach Tab. 2.8 berechnet wurden [6].

Werden bestehende Gebäude erweitert, geändert oder ausgebaut, sind nach Teil 3 des GEG energetische Anforderungen zu erfüllen (siehe Abb. 2.6).

Änderungen

Werden an Bauteilen von beheizten oder gekühlten Räumen Änderungen vorgenommen, die sich über mehr als 10 % der jeweiligen Bauteilfläche erstrecken, dürfen in Abhängigkeit von der Gebäudeart und der Raum-Solltemperatur $\theta_{h,\text{soll}}$ die Höchstwerte der Wärmedurchgangskoeffizienten U der betreffenden Bauteilflächen nicht überschritten werden.

Die Höchstwerte beziehen sich bei erstmaligem Einbau, Ersatz oder Erneuerung auf folgende Bauteilgruppen:

- Außenwände
- Fenster, Fenstertüren, Dachflächenfenster, Glasdächer, Außentüren und Vorhangfassaden
- Dachflächen sowie Decken und Wände gegen unbeheizte Dachräume
- Wände gegen Erdreich oder unbeheizte Räume (mit Ausnahme von Dachräumen) sowie Decken nach unten gegen Erdreich, Außenluft oder unbeheizte Räume

Beispielsweise dürfen bei der Änderung von Außenwänden durch

- Ersatz
- Erstmaligen Einbau
- Anbringen von Bekleidungen (Platten oder plattenartige Bauteile), Verschalungen, Mauervorsatzschalen oder Dämmschichten auf der Außenseite einer bestehenden Wand
- Erneuerung des Außenputzes einer bestehenden Wand

folgende Wärmedurchgangskoeffizienten U_{max} nicht überschritten werden:

- Wohngebäude und Zonen von Nichtwohngebäuden mit einer Raum-Solltemperatur von $\theta_{h,\text{soll}} \geq 19 \text{ °C}$: $U_{\text{max}} = 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- Zonen von Nichtwohngebäuden mit einer Raum-Solltemperatur von $\theta_{h,\text{soll}} < 19 \text{ °C}$: $U_{\text{max}} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

Anstelle des Nachweises über Wärmedurchgangskoeffizienten U kann ein bestehendes Gebäude insgesamt energetisch bewertet werden, wenn Anforderungen an den Jahres-Primärenergiebedarf von Wohn- oder Nichtwohngebäuden sowie an den spezifischen, auf die wärmeübertragende Umfassungsfläche bezogenen Transmissionswärmeverlust H_T' (Wohngebäude) bzw. an mittlere Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} (Nichtwohngebäude) eingehalten werden. Einzuhaltende Grenzwerte können § 50 des GEG entnommen werden.

Erweiterung und Ausbau

Bei Erweiterung und Ausbau von Bestands-Wohngebäuden ist der spezifische, auf die Gebäudehüllfläche bezogene Transmissionswärmeverlust H_T' nachzuweisen. Der Höchstwert beträgt das 1,2-fache des für das Referenzgebäude berechneten Wertes.

Bei Nichtwohngebäuden sind Grenzwerte für die mittleren Wärmedurchgangskoeffizienten \bar{U} einzuhalten, die höchstens das 1,25-fache des festgelegten Wertes betragen dürfen.

2.7 Energieausweise nach GEG

Die Berechnungsergebnisse einer Energiebedarfsbilanzierung sind Bestandteil des Energieausweises. Ein Energieausweis dient ausschließlich der Information über die energetischen Eigenschaften eines

Abb. 2.7: Energieausweis für zu errichtende Wohngebäude (Auszug) gemäß der Bekanntmachung der Muster von Energieausweisen nach dem Gebäudeenergiegesetz [7]

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 79 ff. Gebäudeenergiegesetz (GEG) vom 1. ...

Gültig bis: _____ Registriernummer: _____ 1

Gebäude

Gebäudetyp	Gebäudelfoto (freiwillig)
Adresse	
Gebäudeteil?	
Baujahr Gebäude?	
Baujahr Wärmeerzeuger?	
Anzahl der Wohnungen	<input type="checkbox"/> nach § 82 GEG aus der Wohnfläche ermittelt
Wesentliche Energieträger für Heizung?	
Wesentliche Energieträger für Warmwasser?	
Erneuerbare Energien	
Art der Lüftung?	
Art der Kühlung?	
Inspektionsschichtige Klimatechniken?	
Anlass der Ausstellung des Energieausweises	

Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes

Die energetische Qualität eines Gebäudes kann durch die Berechnung des **Energiebedarfs** unter Annahme von standardisierten Randbedingungen oder durch die Auswertung des **Energieverbrauchs** ermittelt werden. Als Bezugsfläche dient die energetische Gebäudenutzfläche nach dem GEG, die sich in der Regel von den allgemeinen Wertschätzungsangaben unterscheidet. Die angegebenen Vergleichswerte sollen überschlägige Vergleiche ermöglichen (**Erläuterungen – siehe Seite 5**). Teil des Energieausweises sind die **Moderisierungsempfehlungen** (Seite 4).

Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Berechnungen des **Energiebedarfs** erstellt (Energiebedarfsausweis). Die Ergebnisse sind auf **Seite 2** dargestellt. Zusätzliche Informationen zum Verbrauch sind freiwillig.

Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Auswertungen des **Energieverbrauchs** erstellt (Energieverbrauchsausweis). Die Ergebnisse sind auf **Seite 3** dargestellt.

Datenerhebung Bedarf/Verbrauch durch Eigentümer Aussteller

Dem Energieausweis sind zusätzliche Informationen zur energetischen Qualität beifolgt (freiwillige Angaben).

Hinweise zur Verwendung des Energieausweises

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

Aussteller (mit Anschrift und Berufsbezeichnung) _____ Unterschrift des Ausstellers _____

Ausstellungsdatum _____

1 Datum des angewendeten GEG, gegebenenfalls des angewendeten Änderungsgesetzes zum GEG
2 nur im Fall des § 79 Absatz 2 Satz 2 GEG einzuzeigen
3 Mehrfachangaben möglich

ENERGIEAUSWEIS für Wohngebäude

gemäß den §§ 79 ff. Gebäudeenergiegesetz (GEG) vom 1. ...

Registriernummer: _____ 2

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes

Energiebedarf

Treibhausgasemissionen _____ kg CO₂-Äquivalent/(m²a)

↓

Endenergiebedarf dieses Gebäudes

kWh/(m²a)

A+	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250

↑

Primärenergiebedarf dieses Gebäudes

kWh/(m²a)

Anforderungen gemäß GEG²

Primärenergiebedarf		Für Energiebedarfsberechnungen verwendetes Verfahren	
Ist-Wert _____ kWh/(m ² a)	Anforderungswert _____ kWh/(m ² a)	<input type="checkbox"/> Verfahren nach DIN V 4108-6 und DIN V 4701-10	<input type="checkbox"/> Verfahren nach DIN V 4709
Energetische Qualität der Gebäudehülle H_{tr}³		<input type="checkbox"/> Begleitung nach § 31 GEG („Modellgebäudeverfahren“)	
Ist-Wert _____ W/(m ² K)	Anforderungswert _____ W/(m ² K)	<input type="checkbox"/> Vereinfachungen nach § 50 Absatz 4 GEG	

Sommerlicher Wärmeschutz bei Neubau eingehalten

Endenergiebedarf dieses Gebäudes (Pflichtangabe in Immobilienanzeigen) _____ kWh/(m²a)

Angaben zur Nutzung erneuerbarer Energien³

Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs auf Grund des § 10 Absatz 2 Nummer 3 GEG

Art:	Deckungsanteil	Anteil der Pflichterfüllung	
_____	%	%	
_____	%	%	
Summe:	%	%	

Maßnahmen zur Einsparung³

Die Anforderungen zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs werden durch eine Maßnahme nach § 45 GEG oder als Kombination gemäß § 34 Absatz 2 GEG erfüllt.

Die Anforderungen nach § 45 GEG in Verbindung mit § 16 GEG sind eingehalten.

Maßnahme nach § 45 GEG in Kombination gemäß § 34 Absatz 2 GEG: Die Anforderungen nach § 16 GEG werden um _____ % unterschritten, Anteil der Pflichterfüllung: _____ %

Vergleichswerte Endenergie⁴

kWh/(m²a)

A+	A	B	C	D	E	F	G	H		
0	25	50	75	100	125	150	175	200	225	>250

4 EPH: Einfamilienhaus, MFH: Mehrfamilienhaus

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Das GEG lässt für die Berechnung des Energiebedarfs unterschiedliche Verfahren zu, die im Einzelfall zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Die ausgewiesenen Bedarfswerte der Skala sind spezifische Werte nach dem GEG pro Quadratmeter Gebäudenutzfläche (A_n), die im Allgemeinen größer ist als die Wohnfläche des Gebäudes.

Gebäudes und soll einen überschlägigen Vergleich von Gebäuden ermöglichen. Daher wird er für ein gesamtes Gebäude ausgestellt. Gegebenenfalls wird er für Teile eines Gebäudes ausgestellt, wenn es sich um eine gemischte Wohngebäude-/Nichtwohngebäudenutzung handelt. Der Energieausweis ist zehn Jahre lang gültig. Er wird für zu errichtende Gebäude als Energiebedarfsausweis und für bestehende Gebäude als Energiebedarfs- oder Energieverbrauchsausweis ausgestellt.

Der Energieausweis für zu errichtende Wohngebäude (siehe Abb. 2.7) enthält folgende Angaben:

- Gültigkeitsdatum
- Registriernummer
- Beschreibung des Gebäudes
- Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes
- Hinweise zur Verwendung des Energieausweises
- Berechneter Energiebedarf des Gebäudes
- Gebäudenutzflächenbezogener Endenergiebedarf
- Gebäudenutzflächenbezogener Primärenergiebedarf
- Treibhausgasemissionen
- Energieeffizienzklasse

- Anforderungen gemäß GEG (Jahres-Primärenergiebedarf und energetische Qualität der Gebäudehülle)
- Bestätigung der Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes
- Erläuterungen zum Berechnungsverfahren
- Angaben zur Nutzung erneuerbarer Energien
- Maßnahmen zur Energieeinsparung
- Vergleichswerte zum Endenergiebedarf
- Erläuterungen

Ein Energieausweis für zu errichtende Nichtwohngebäude (siehe Abb. 2.8) ist insgesamt umfassender als der für Wohngebäude und enthält teils abweichende, aber auch weitere Daten:

- Nettogrundflächenbezogener Primärenergiebedarf
- Anforderungen gemäß GEG (Jahres-Primärenergiebedarf)
- Bestätigung über die Einhaltung mittlerer Wärmedurchgangskoeffizienten
- Konditionierungsbereichsabhängiger Endenergiebedarf
- Endenergiebedarf Wärme
- Endenergiebedarf Strom

Abb. 2.8: Energieausweis für zu errichtende Nichtwohngebäude (Auszug) gemäß der Bekanntmachung der Muster von Energieausweisen nach dem Gebäudeenergiegesetz [7]

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 79 ff. Gebäudeenergiegesetz (GEG) vom ¹

Gültig bis: _____ Registriernummer: _____ **1**

Gebäude

Hauptnutzung / Gebäudekategorie _____

Adresse _____

Gebäudeteil ² _____

Baujahr Gebäude ³ _____

Baujahr Wärmeerzeuger ⁴ _____

Nettogrundfläche ⁴ _____

Wesentliche Energieträger für Heizung ⁵ _____

Wesentliche Energieträger für Warmwasser ⁵ _____

Erneuerbare Energien

Art:	Verwendung:
<input type="checkbox"/> Fensterlüftung <input type="checkbox"/> Schachtlüftung <input type="checkbox"/> Passive Kühlung <input type="checkbox"/> Geleiferte Kälte	<input type="checkbox"/> Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung <input type="checkbox"/> Lüftungsanlage ohne Wärmerückgewinnung <input type="checkbox"/> Kühlung aus Strom <input type="checkbox"/> Kühlung aus Wärme

Inspektionspflichtige Klimaanlage ⁶

Anzahl:	Nächstes Fälligkeitsdatum der Inspektion:
<input type="checkbox"/> Neubau <input type="checkbox"/> Vermittlung/Verkauf	<input type="checkbox"/> Modernisierung <input type="checkbox"/> Aushangpflicht <input type="checkbox"/> Sonstiges (freiwillig)

Hinweise zu den Angaben über die energetische Qualität des Gebäudes

Die energetische Qualität eines Gebäudes kann durch die Berechnung des **Energiebedarfs** unter Annahme von standardisierten Randbedingungen oder durch die Auswertung des **Energieverbrauchs** ermittelt werden. Als **Berufstätige dient die Nettogrundfläche**, Teil des Energieausweises sind die Modernisierungsempfehlungen (Seite 4).

Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Berechnungen des **Energiebedarfs** erstellt (Energiebedarfsausweis). Die Ergebnisse sind auf **Seite 2** dargestellt. Zusätzliche Informationen zum Verbrauch sind freiwillig. Diese Art der Ausstellung ist Pflicht bei Neubauten und bestimmten Modernisierungen nach § 80 Absatz 2 GEG. Die angegebenen Vergleichswerte sind die Anforderungen des GEG zum Zeitpunkt der Erstellung des Energieausweises (**Erläuterungen – siehe Seite 5**).

Der Energieausweis wurde auf der Grundlage von Auswertungen des **Energieverbrauchs** erstellt (Energieverbrauchsausweis). Die Ergebnisse sind auf **Seite 2** dargestellt. Die Vergleichswerte beruhen auf statistischen Auswertungen.

Datenerhebung Bedarf/Verbrauch durch Eigentümer Aussteller

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

Hinweise zur Verwendung des Energieausweises

Energieausweise dienen ausschließlich der Information. Die Angaben im Energieausweis beziehen sich auf das gesamte Gebäude oder den oben beschriebenen Gebäudeteil. Der Energieausweis ist lediglich dafür gedacht, einen übersichtlichen Vergleich von Gebäuden zu ermöglichen.

Aussteller (mit Anschrift und Berufsbezeichnung) _____ Unterschrift des Ausstellers _____

Ausstellungsdatum _____

¹ Datum des angewendeten GEG, gegebenenfalls des angewendeten Änderungsgesetzes zum GEG
² nur im Fall des § 79 Absatz 2 Satz 2 GEG
³ Mehrfachangaben möglich
⁴ bei Wärmeräumen Baujahr der Übergabestation

ENERGIEAUSWEIS für Nichtwohngebäude

gemäß den §§ 79 ff. Gebäudeenergiegesetz (GEG) vom ¹

Berechneter Energiebedarf des Gebäudes Registriernummer: _____ **2**

Primärenergiebedarf

Treibhausgasemissionen _____ kg CO₂-Äquivalent (m²a)

Primärenergiebedarf dieses Gebäudes

kWh/(m²a)

Anforderungswert GEG ↑ Neubau (Vergleichswert) ₁ Anforderungswert GEG ↑ modernisierter Altbau (Vergleichswert)

Anforderungen gemäß GEG ²

Primärenergiebedarf	Anforderungswert	kWh/(m ² a)
Min-Wert	<input type="checkbox"/> eingehalten	
Mittlere Wärmeechtkoeffizienten	<input type="checkbox"/> eingehalten	
Sommerlicher Wärmeschutz (bei Neubau)	<input type="checkbox"/> eingehalten	

Für **Energiebedarfsberechnungen** verwendete Verfahren

<input type="checkbox"/> Verfahren nach § 21 GEG
<input type="checkbox"/> Verfahren nach § 30 GEG („En-Zonen-Matrix“)
<input type="checkbox"/> Vereinfachungen nach § 50 Absatz 4 GEG
<input type="checkbox"/> Vereinfachungen nach § 21 Absatz 2 Satz 2 GEG

Endenergiebedarf

Energieträger	Jährlicher Endenergiebedarf in kWh/(m ² a) für				Gebäude insgesamt
	Heizung	Warmwasser	Beleuchtung	Luftung ³	

weitere Einträge in Anlage

Endenergiebedarf Wärme [Pflichtangabe in Immobilienanzeigen] _____ kWh/(m²a)

Endenergiebedarf Strom [Pflichtangabe in Immobilienanzeigen] _____ kWh/(m²a)

Angaben zur Nutzung erneuerbarer Energien ⁴

Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs auf Grund des § 10 Absatz 2 Nummer 3 GEG

Art:	Deckungsanteil:	Anteil der Pflichterfüllung:	
		%	%
Summe:			

Maßnahmen zur Einsparung ⁵

Die Anforderungen zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs werden durch eine Maßnahme nach § 45 GEG oder als Kombination gemäß § 34 Absatz 2 GEG erfüllt:

Die Anforderungen nach § 45 GEG in Verbindung mit § 19 GEG sind eingehalten.

Maßnahme nach § 45 GEG in Kombination gemäß § 34 Absatz 2 GEG: Die Anforderungen nach § 19 GEG werden um _____ % unterschritten. Anteil zur Pflichterfüllung: _____ %

Bei grundlegender Renovierung eines öffentlichen Gebäudes ⁶ Die Anforderungen des § 82 Absatz 1 GEG werden eingehalten.

¹ siehe Folie 1 auf Seite 1 des Energieausweises
² nur bei Neubau sowie bei Modernisierung im Fall des § 80 Absatz 2 GEG
³ nur Hilfsenergiebedarf

Gebäudezonen

Nr.	Zone	Fläche (m ²)	Anteil (%)
1			
2			
3			
4			
5			
6			

weitere Einträge in Anlage

Erläuterungen zum Berechnungsverfahren

Das Gebäudeenergiegesetz lässt für die Berechnung des Energiebedarfs in vielen Fällen neben dem Berechnungsverfahren alternative Vereinfachungen zu, die im Einzelfall zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Insbesondere wegen standardisierter Randbedingungen erlauben die angegebenen Werte keine Rückschlüsse auf den tatsächlichen Energieverbrauch. Die ausgewiesenen Bedarfswerte sind spezifische Werte nach dem GEG pro Quadratmeter beheizte/ gekühlte Nettogrundfläche.

⁴ nur bei Neubau
⁵ nur bei grundlegender Renovierung eines öffentlichen Gebäudes nach § 82 Absatz 1 GEG

Wärmedurchgang durch Wandkonstruktionen aus Porenbetonmauerwerk

3.1 Wärmedurchgang durch Bauteilflächen aus Porenbetonmauerwerk

Die wärmetechnischen Transportmechanismen Wärmeleitung, Wärmestrahlung und Wärmekonvektion führen zu einem Wärmestrom durch ein Bauteil in Richtung eines Temperaturgefälles und damit im Regelfall zu einem Wärmedurchgang von innen nach außen. Die Mechanismen Wärmestrahlung und Wärmekonvektion, die das Maß des Wärmeübergangs an Bauteiloberflächen kennzeichnen, werden bei Berechnungen zur wärmetechnischen Qualität von Bauteilen im Allgemeinen zusammengefasst.

Die Kenngrößen sind der innere Wärmeübergangswiderstand R_{si} und der äußere Wärmeübergangswiderstand R_{se} in $(m^2 \cdot K)/W$, welche nach DIN EN ISO 6946 [8] in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestroms bzw. der Neigung eines Bauteils für innere und äußere Oberflächen unterschieden werden:

- $R_{si} = 0,10 (m^2 \cdot K)/W$
(aufwärts gerichteter Wärmestrom)
- $R_{si} = 0,13 (m^2 \cdot K)/W$
(horizontaler Wärmestrom)
- $R_{si} = 0,10 (m^2 \cdot K)/W$
(abwärts gerichteter Wärmestrom)
- $R_{se} = 0,17 (m^2 \cdot K)/W$
(für alle Wärmestromrichtungen)

Grenzt ein Bauteil an Erdreich, entfallen Strahlung und Konvektion und R_{se} ist Null. Im Falle hinterlüfteter Konstruktionen gilt allgemein die Regel $R_{se} = R_{si}$

Für den Anteil des Wärmedurchgangs, der über die Wärmeleitung der Baustoffschichten erfolgt, sind deren Wärmeleitfähigkeiten λ und die Dicken d der Baustoffschichten maßgebend. Tab. 3.1 enthält eine Übersicht zu den Bemessungswerten der Wärmeleitfähigkeit λ_B von Porenbetonprodukten. Das Spektrum reicht von $\lambda_B = 0,08 W/(m \cdot K)$ bis zu $\lambda_B = 0,21 W/(m \cdot K)$.

Gemäß DIN 4108-4 [3.2] hat Mauerwerk mit Steinhöhen von mehr als 238 mm ohne Stoßfugenvermörtelung und mit Lagerfugen aus Dünnbettmörtel im Bereich von $\lambda_B = 0,08 W/(m \cdot K)$ bis $\lambda_B = 0,18 W/(m \cdot K)$ die gleiche Wärmeleitfähigkeit wie der Mauerstein allein, da bei einer mittleren Fugendicke von 2 mm

die Wärmeleitfähigkeit des Dünnbettmörtels nur einen geringen rechnerischen Einfluss auf die Wärmeleitfähigkeit des Mauerwerks hat.

Der Quotient aus der Dicke d und der Wärmeleitfähigkeit λ ist der Wärmedurchlasswiderstand R in $(m^2 \cdot K)/W$ einer Baustoffschicht. Fasst man die Wärmedurchlasswiderstände aller Baustoffschichten zusammen, erhält man den Wärmedurchlasswiderstand R des gesamten Bauteils. Er ist wichtig für den Nachweis der Mindestanforderungen an den Wärmeschutz von Bauteilflächen im Winter sowie für die weitere Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U und den energiesparenden Wärmeschutz.

Der bei gleichbleibender Wärmeleitfähigkeit λ vorausgesetzte lineare Zusammenhang zwischen der Baustoffdicke d und dem Wärmedurchlasswiderstand R hat bei Luftschichten keine Gültigkeit. Daher ist für Bauteile, die eine ruhende Luftschicht aufweisen, der Wärmedurchlasswiderstand R_a in DIN EN ISO 6946 tabellarisch für bestimmte Luftschichtdicken d und in Abhängigkeit von der Richtung des Wärmestroms zu ermitteln. Beispielhaft sind für 5 mm und 50 mm dicke Luftschichten die Wärmedurchlasswiderstände R_a wie folgt unterschiedlich hoch anzusetzen:

- $d = 5 \text{ mm}$:
 $R_a = 0,11 (m^2 \cdot K)/W$ (alle Wärmestromrichtungen)
- $d = 50 \text{ mm}$:
 $R_a = 0,16 (m^2 \cdot K)/W$ (aufwärts gerichteter Wärmestrom)
- $d = 50 \text{ mm}$:
 $R_a = 0,18 (m^2 \cdot K)/W$ (horizontaler Wärmestrom)
- $d = 50 \text{ mm}$:
 $R_a = 0,21 (m^2 \cdot K)/W$ (abwärts gerichteter Wärmestrom)

Streng genommen hat auch das Emissionsvermögen der die Luftschicht begrenzenden Oberflächen einen Einfluss. Dieser wird jedoch im Allgemeinen bei Baustoffschichten mit mineralischen Oberflächen bei der Berechnung der wärmetechnischen Qualität eines Bauteils nicht im Einzelnen berücksichtigt.

Die Summe aus dem inneren Wärmeübergangswiderstand R_{si} , dem äußeren Wärmeübergangswiderstand R_{se} und den Wärmedurchlasswiderständen R der Baustoffschichten ist der Wärmedurchgangswiderstand R_T . Sein Kehrwert, der Wärmedurchgangskoeffizient U , ist eine Kenngröße zur Beurteilung der

Tab. 3.1: Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B von Porenbetonprodukten

Bemessungswerte der Wärmeleitfähigkeit λ_B von Porenbetonprodukten					
Produkt	Festigkeitsklasse	Rohdichteklasse	Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit λ_B [W/(m·K)]		
			Nach DIN 4108-4 [3.2]	Gemäß Herstellerangabe ¹⁾	
Plansteine, Planelemente	2	0,35	–	0,08	
			0,11	0,09	
		0,40	0,13	0,10	
		0,50	0,16	0,13	
	4				0,14
		0,50	0,16		0,12
					0,13
		0,55	0,18		0,14
					0,13
	6	0,60	0,19		0,14
					0,16
		0,60	0,19		0,16
		0,65	0,21		0,18
					0,21
		0,70	0,22		0,18
				0,21	
Planbauplatten	-	0,35	0,11	-	
		0,40	0,13		
		0,45	0,15		
		0,50	0,16		
		0,55	0,18		
		0,60	0,19		
		0,65	0,21		
		0,70	0,22		
		0,75	0,24		
		0,80	0,25		
Stürze	4,4	0,55	0,16	0,14	
		0,60	0,18	0,16	
		0,65	0,19	0,18	
		0,70	0,20	0,18	
Flachstürze	4,5	0,55	–	0,14 ²⁾	
		0,60		0,16 ²⁾	
		0,65		0,18 ²⁾	
		0,70		0,21 ²⁾	

¹⁾ Der Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit ergibt sich aus dem CE-deklarierten $\lambda_{10,dry,unit,100\%}$ -Wert und dem F_m -Wert zur Berücksichtigung des Einflusses des Feuchtegehaltes auf die Wärmeleitfähigkeit: $\lambda_B = \lambda_{design,unit,100\%} = \lambda_{10,dry,unit,100\%} \cdot F_m$

²⁾ gemäß allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung/allgemeiner Bauartgenehmigung

wärmetechnischen Eigenschaften eines Bauteils. Er gibt an, welcher Wärmestrom in Watt auf einer Fläche von 1 m² zwischen zwei Medien, die durch eine oder mehrere feste Schichten voneinander getrennt sind, übertragen wird, wenn die Temperaturdifferenz 1 Kelvin beträgt:

$$U = \frac{1}{R_T} = \frac{1}{R_{si} + \frac{d_1}{\lambda_1} + \dots + \frac{d_n}{\lambda_n} + R_{se}} \quad \text{Gl. (3.1)}$$

Bei der Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten U ist zu berücksichtigen ist, dass zwischen Bauteilen aus homogenen Schichten wie massiven Mauerwerkskonstruktionen und Bauteilen aus homogenen und inhomogenen Schichten wie Holzrahmenbauweisen zu unterscheiden ist. Im letztgenannten Fall ist die Ermittlung des Wärmedurchgangskoeffizienten U nach DIN EN ISO 6946 aufwendiger, weil neben einem Wärmestrom senkrecht zur Bauteiloberfläche auch ein Wärmestrom parallel zur Bauteiloberfläche,

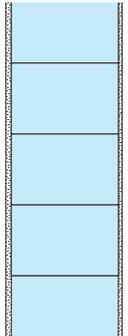
z. B. durch die Wechselwirkung zwischen Sparren und Wärmedämmung im Gefachbereich, ermittelt werden muss.

Nach Berechnung eines oberen Grenzwertes für den Wärmedurchgangskoeffizienten R_T' (senkrecht) und eines unteren Grenzwertes R_T'' (parallel) ergibt sich der Wärmedurchgangswiderstand R_T durch Mittelung. Der Kehrwert von R_T ergibt den Wärmedurchgangskoeffizienten U .

Wärmedurchgangskoeffizienten U für monolithische (einschalige) Außenwände aus Porenbetonmauerwerk können Tab. 3.2 und für zweischalige Außenwände aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und

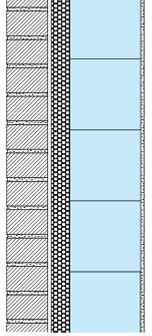
Vormauerschale Tab. 3.3 entnommen werden. Die Werte zeigen, dass Porenbeton aufgrund seiner Baustoffeigenschaften, insbesondere der geringen Wärmeleitfähigkeit bei hoher Festigkeit, eine weitgehend monolithische Bauweise mit Wärmedurchgangskoeffizienten von bis zu $U = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ermöglicht.

Durch Einbau von Wärmedämmschichten bei zweischaligen Außenwänden kann der Wert auf $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ gesenkt werden. Ergänzend ist vor dem Hintergrund des energiesparenden Bauens anzumerken, dass mit mindestens einer Putzschicht versehene Außenwände aus Porenbetonmauerwerk nach DIN 4108-7 [3.4] als luftdicht einzustufen sind.

Wärmedurchgangskoeffizient monolithische (einschalige) Außenwand aus Porenbetonmauerwerk ¹⁾										
Wandaufbau Putz innen 10 mm $\lambda_B = 0,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ Mauerwerk Putz außen 15 mm $\lambda_B = 0,32 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Dicke [mm]		Wärmedurchgangskoeffizient U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]							
	Mauerwerk	Wand	Wärmeleitfähigkeit λ_B der Porenbetonsteine in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$							
			0,08	0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18
	240	265	0,31	0,35	0,38	-	-	-	-	-
	300	325	0,25	0,28	0,31	0,37	0,39	-	-	-
	365	390	0,21	0,23	0,26	0,31	0,33	0,35	0,40	-
	400	435	0,19	0,21	0,24	0,28	0,30	0,32	0,36	-
	425	450	0,18	0,20	0,22	0,27	0,29	0,31	0,35	0,39
	480	505	0,16	0,18	0,20	0,24	0,25	0,27	0,31	0,35
	500	525	0,15	0,17	0,19	0,23	0,25	0,26	0,30	0,33

¹⁾ Porenbetonsteine (Plansteine/Planelemente) mit Dünnbettmörtel

Tab. 3.2: Wärmedurchgangskoeffizienten U von monolithischen (einschaligen) Außenwänden aus Porenbeton

Wärmedurchgangskoeffizient zweischalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk ¹⁾ mit Wärmedämmung und Vormauerschale										
Wandaufbau Putz innen 10 mm $\lambda_B = 0,7 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ Mauerwerk Wärmedämmung Vormauerschale 115 mm $\lambda_B = 0,96 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Dicke [mm]			Wärmedurchgangskoeffizient U [$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$]						
	Mauerwerk	Wärmedämmung $\lambda_B = 0,035 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$	Wand	Wärmeleitfähigkeit λ_B der Porenbetonsteine in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$						
				0,09	0,10	0,12	0,13	0,14	0,16	0,18
	175	100	400	0,20	0,20	0,22	0,22	0,23	0,24	0,24
	175	120	420	0,18	0,18	0,19	0,20	0,20	0,21	0,21
	175	140	440	0,16	0,17	0,17	0,18	0,18	0,19	0,19
	175	160	460	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,17	0,18
	240	100	465	0,17	0,18	0,19	0,20	0,21	0,21	0,22
	240	120	485	0,16	0,16	0,17	0,18	0,18	0,19	0,20
	240	140	505	0,14	0,15	0,16	0,16	0,17	0,17	0,18
	240	160	525	0,14	0,14	0,15	0,15	0,16	0,16	0,17

¹⁾ Porenbetonsteine (Plansteine/Planelemente) mit Dünnbettmörtel

Tab. 3.3: Wärmedurchgangskoeffizienten U von zweischaligen Außenwänden aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale

3.2 Wärmedurchgang durch Wärmebrücken in Porenbetonmauerwerk

Transmissionswärmeverluste durch linienförmige Wärmebrücken (siehe Abb. 3.1) sind Bestandteil der Berechnung des Transmissionswärmeverlustes H_T und damit des Jahres-Primärenergiebedarfs Q_p . Grundsätzlich sind zu errichtende Gebäude so auszuführen, dass der Wärmebrückeneinfluss nach den anerkannten Regeln der Technik und den im jeweiligen Einzelfall wirtschaftlichen Maßnahmen so gering wie möglich gehalten wird.

Dies ist z. B. der Fall, wenn Wärmebrücken nach den Konstruktionsbeispielen der DIN 4108 Beiblatt 2 [3.5] geplant und ausgeführt werden. Entscheidend ist, dass die dort vorgegebenen wärmetechnischen Mindestanforderungen, die sich aus der Baustoffwahl und der Art der Konstruktion ergeben, eingehalten werden. Übliche Konstruktionen von zu errichtenden Gebäuden, bei denen Außenwände aus Porenbetonmauerwerk erbaut werden, finden sich dort wieder. Der sogenannte verbleibende Einfluss konstruktiver Wärmebrücken wird gemäß GEG als Transmissionswärmeverlust $H_{T,WB}$ durch Wärmebrücken auf den Energiebedarf angerechnet.

Die Berechnung, die gemäß DIN V 18599-2 [2] vorgenommen wird, kann auf unterschiedliche Arten erfolgen. Dabei ist die Berechnungsmethode nicht frei wählbar, sondern unterliegt bestimmten Voraussetzungen und Einschränkungen. Ein wesentliches Merkmal ist, ob die Berechnung unter Einbeziehung der Regelungen von DIN 4108 Beiblatt 2 erfolgt.

3.2.1 Berechnung des Transmissionswärmeverlustes durch Wärmebrücken ohne Bezug auf DIN 4108 Beiblatt 2

Genauer Nachweis

Beim genauen Nachweis werden zur Ermittlung des Transmissionswärmeverlustes $H_{T,WB}$ die Längen l_i der einzelnen Wärmebrücken ermittelt und jeweils mit den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_i des betreffenden Wärmebrückendetails multipliziert:

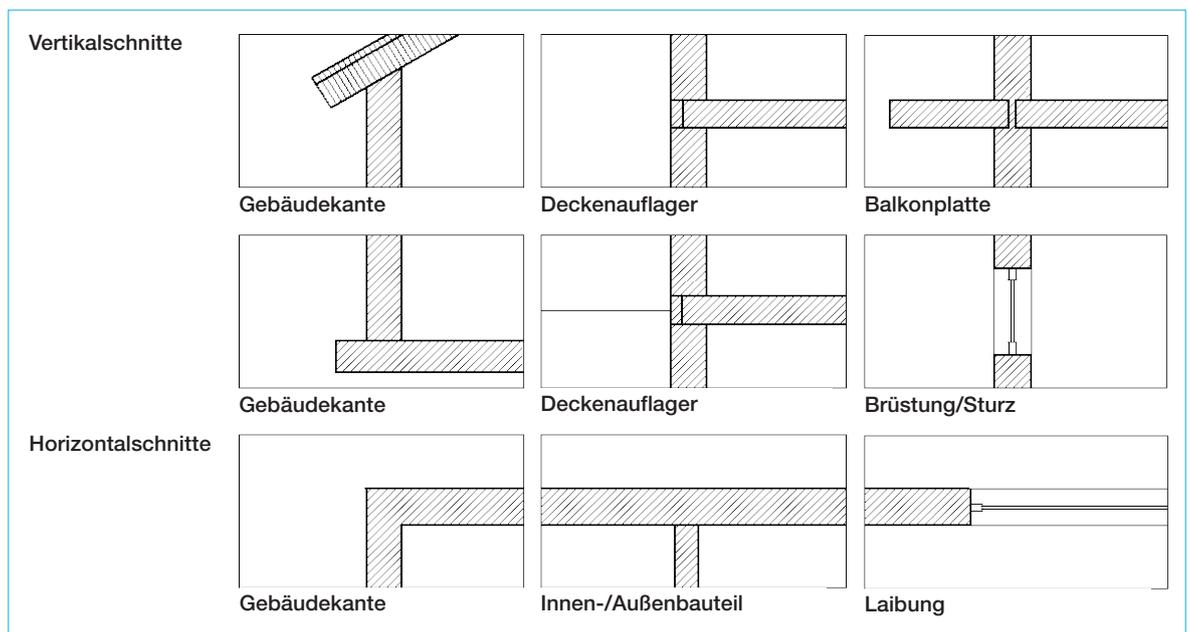
$$H_{T,WB} = \sum (l_i \cdot \Psi_i) + \sum (F_{x,i} \cdot l_i \cdot \Psi_{F_x,i}) \quad \text{Gl. (3.2)}$$

Dabei werden die Ψ -Werte mit Hilfe von PC-Programmen berechnet oder aus Wärmebrückenkatalogen entnommen, z. B. dem Wärmebrückenkatalog des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e. V. [9]. Diese Methode ist sehr genau und kann immer angewendet werden.

Die Größe des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ wird durch die Baustoffwahl und die Art der Konstruktion bestimmt. Aus DIN 4108 Beiblatt 2 und Wärmebrückenkatalogen ist ersichtlich, dass Ψ -Werte für Wandkonstruktionen aus Porenbetonmauerwerk im Allgemeinen niedrig sind.

Insofern führt ein genauer Nachweis mit längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ der jeweiligen Wärmebrücken beim Porenbetonmauerwerk zu niedrigen Transmissionswärmeverlusten durch Wärmebrücken, die je nach Konstruktion nahe bei null liegen können. Von Einfluss ist dabei u. a. die homogene Baustoffstruktur, die in vertikaler und horizontaler Richtung die gleichen wärmedämmenden Eigenschaften aufweist.

Abb. 3.1: Beispiele für linienförmige Wärmebrücken



Konstruktionsbeispiele aus dem Wärmebrücken-katalog des Bundesverbandes Porenbetonindustrie e.V. zeigen, dass je nach Ausführung der Wärmebrücke die längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ auch negative Werte annehmen können. Somit können Transmissionswärmeverluste durch Wärmebrücken, für die bei der Berechnung positive Werte anzusetzen sind, kompensiert werden. Beispielhaft

können Abb. 3.2 (Anschluss einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk an Bodenplatte innenge-dämmt auf Erdreich) und Abb. 3.3 (Anschluss zwei-schalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale an Bodenplatte innengedämmt auf Erdreich) die zugehörigen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ entnommen werden.

Abb. 3.2: Anschlussdetail einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk an Bodenplatte innengedämmt auf Erdreich – Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ für die Berechnung des Transmissionswärmeverlusts $H_{T,WB}$ [9]

Porenbeton-Wärmebrücken-katalog 2022
Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.



1 Einschalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk

1.1 Anschluss einschalige Außenwand an Bodenplatte innengedämmt auf Erdreich

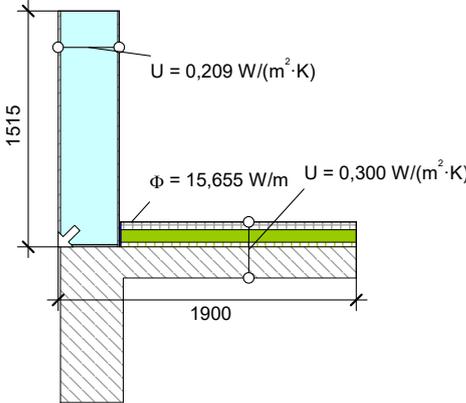
1.1.1 Porenbetonmauerwerk d = 365 mm / Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,08 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

Materialkennwerte und Randbedingungen für die Ψ -Wert Berechnung

Material	$\lambda[\text{W/(m}\cdot\text{K)}]$
Außenputz 15 mm	0,320
Bodenplatte 200 mm	2,300
Dämmung über der Bodenplatte 80 mm	0,035
Estrichrandstreifen 10 mm	0,040
Innenputz 10 mm	0,700
Mörtelausgleichsschicht am Wandfuß 15 mm	1,200
Porenbeton 365 mm	0,080
Trittschalldämmung 30 mm	0,040
Zementestrich 50 mm	1,400

Randbedingung	$q[\text{W/m}^2]$	$\theta[\text{C}]$	$R[\text{m}^2\cdot\text{K)/W}]$
Psi-Aussen, Wand	-5,000		0,040
Psi-Erdreich Bodentemperatur horizontal		5,000	
Psi-Innen-Wärmestrom abwärts		20,000	0,170
Psi-Innen-Wärmestrom horizontal		20,000	0,130
Psi-erdberührt < 1 m Erdreichtiefe, Wand	-5,000		0,040
Symmetrie/Bauteilschnitt		0,000	

Detaildarstellung

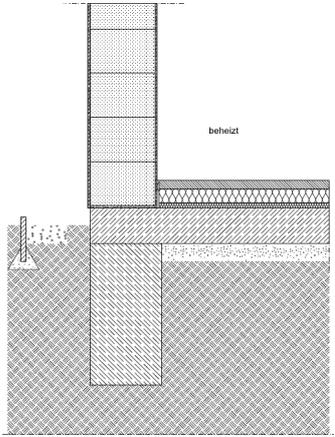


Abmessungen in mm

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ

$$\Psi = \frac{\Phi - U_1 \cdot b_1 \cdot \Delta T_1 - U_2 \cdot b_2 \cdot \Delta T_2}{\Delta T} = \frac{15,655 - 0,3 \cdot 1,9 \cdot 15,0 - 0,209 \cdot 1,515 \cdot 25,0}{25,0} = -0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$$

Konstruktionsdetail (nicht maßstäblich)



Anwendungsrandbedingungen

- Die Bodenplattendämmung besteht aus 80 mm oberseitiger Wärmedämmung mit $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ und 30 mm Trittschalldämmung mit $\lambda = 0,035 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$.
- Der berechnete Ψ -Wert bezieht sich auf die Oberkante der Bodenplatte.

Nachweis der Gleichwertigkeit
Gleichwertigkeit mit Detail Nr. 11 der DIN 4108 Beiblatt 2
Kategorie B, $\Psi_{ref} \leq -0,02 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\Psi = -0,032 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$

27

Abb. 3.3: Anschlussdetail zweischalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale an Bodenplatte innengedämmt auf Erdreich – Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ für die Berechnung des Transmissionswärmeverlusts $H_{T,WB}$ [9]

Porenbeton-Wärmebrückenatolog 2022
Bundesverband Porenbetonindustrie e.V.

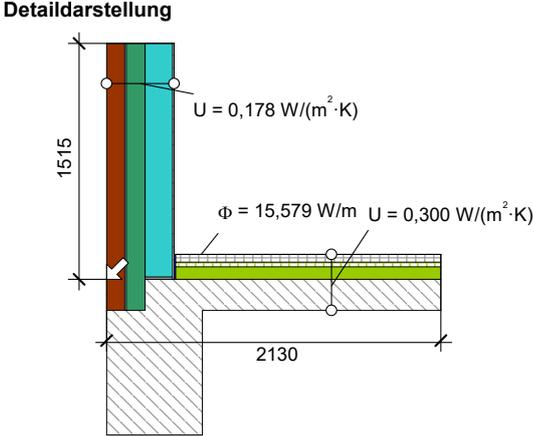


2 Zweischalige Außenwand aus Porenbetonmauerwerk mit Wärmedämmung und Vormauerschale

2.1 Anschluss zweischalige Außenwand an Bodenplatte innengedämmt auf Erdreich

2.1.1 Innenschale aus Porenbetonmauerwerk d = 175 mm mit Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,10$ W/(m·K) / Wärmedämmung d = 120 mm, Vormauerschale d = 115 mm

Detaildarstellung



Abmessungen in mm

Materialkennwerte und Randbedingungen für die Ψ -Wert Berechnung

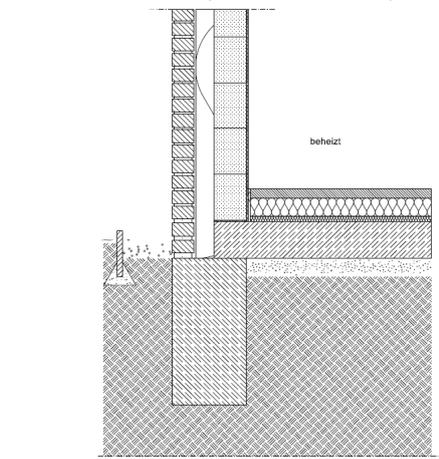
Material	λ [W/(m·K)]
⊘ Bodenplatte 200 mm	2,300
■ Dämmung über der Bodenplatte 80 mm	0,035
■ Estrichrandstreifen 10 mm	0,040
■ Fingerspalt 10 mm	0,067
⊘ Innenputz 10 mm	0,700
■ Kerndämmung 120 mm	0,035
■ Mörtelausgleichsschicht am Wandfuß 15 mm	1,200
■ Porenbeton 175 mm	0,100
■ Trittschalldämmung 30 mm	0,040
■ Vormauerschale 115 mm	1,100
⊕ Zementestrich 50 mm	1,400

Randbedingung	q[W/m²]	θ [°C]	R[(m²·K)/W]
■ Psi-Aussen, Wand	-5,000		0,040
■ Psi-Erdreich Bodentemperatur horizontal	5,000		
■ Psi-Innen-Wärmestrom abwärts	20,000		0,170
■ Psi-Innen-Wärmestrom horizontal	20,000		0,130
■ Psi-erdberührt < 1 m Erdreichtiefe, Wand	-5,000		0,040
■ Symmetrie/Bauteilschnitt	0,000		

Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient Ψ

$$\Psi = \frac{\Phi - U_1 \cdot b_1 \cdot \Delta T_1 - U_2 \cdot b_2 \cdot \Delta T_2}{\Delta T} = \frac{15,579 - 0,3 \cdot 2,13 \cdot 15,0 - 0,178 \cdot 1,515 \cdot 25,0}{25,0} = -0,031 \text{ W/(m·K)}$$

Konstruktionsdetail (nicht maßstäblich)



Anwendungsrandbedingungen

- Die Bodenplattendämmung besteht aus 80 mm oberseitiger Wärmedämmung mit $\lambda = 0,035$ W/(m·K) und 30 mm Trittschalldämmung mit $\lambda = 0,035$ W/(m·K).
- Die deckenstirnseitige Dämmung ist in einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda \leq 0,040$ W/(m·K) mit einer Dicke von min. 60 mm auszuführen.
- Der berechnete Ψ -Wert bezieht sich auf die Oberkante der Bodenplatte.

Nachweis der Gleichwertigkeit
Gleichwertigkeit mit Detail Nr. 26 der DIN 4108 Beiblatt 2
Kategorie B, $\Psi_{ref} \leq 0,14$ W/(m·K)
Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient $\Psi = -0,031$ W/(m·K)

Gegebenenfalls kann der auf diese Art ermittelte, projektbezogene Transmissionswärmeverlust $H_{T,WB}$ in einen projektbezogenen Wärmebrückenzuschlagswert umgerechnet werden:

$$\Delta U_{WB} = \frac{H_{T,WB}}{A}$$

Gl. (3.3)

Pauschaler Ansatz

Mit Hilfe eines pauschalen Ansatzes wird der Transmissionswärmeverlust $H_{T,WB}$ aus einem Wärmebrückenzuschlagswert von ΔU_{WB} und der Größe der wärmeübertragenden Umfassungsfläche A berechnet:

$$H_{T,WB} = \Delta U_{WB} \cdot A \quad \text{Gl. (3.4)}$$

Im Allgemeinen beträgt der Wärmebrückenzuschlagswert $\Delta U_{WB} = 0,10 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Im Falle von zu errichtenden Gebäuden führt diese Methode zu hohen berechneten Transmissionswärmeverlusten. Es ist zu beachten, dass solche Verluste an anderen Stellen kompensiert werden müssen, was zu einem wirtschaftlichen Mehraufwand führen kann. Bei der energetischen Bewertung bestehender Gebäude stellt diese Methode wegen der Einfachheit den Regelfall dar. Ein Wärmebrückenzuschlagswert von $\Delta U_{WB} = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ wird bei der energetischen Bewertung bestehender Gebäude mit den Konstruktionsmerkmalen Innendämmung der Außenwände und einbindende Geschossdecke gewählt.

Soll ein zu errichtendes Gebäude mit einem pauschalen Wärmebrückenzuschlagswert geplant werden, können niedrigere Werte angesetzt werden, wenn auf DIN 4108 Beiblatt 2 Bezug genommen wird.

3.2.2 Berechnung des Transmissionswärmeverlustes durch Wärmebrücken mit Bezug auf DIN 4108 Beiblatt 2

Im Unterschied zur vorgenannten Methode wird im Rahmen eines bildlichen oder rechnerischen Gleichwertigkeitsnachweises nach DIN 4108 Beiblatt 2 (siehe Tab. 3.4) zunächst geprüft, ob geplante Wärmebrückendetails den wärmetechnischen Mindestanforderungen der Norm entsprechen.

Ist dies der Fall, wird im pauschalen Nachweis durch Multiplikation eines Wärmebrückenzuschlagswertes

ΔU_{WB} mit der wärmeübertragenden Umfassungsfläche A der Transmissionswärmeverlust $H_{T,WB}$ ermittelt. DIN 4108 Beiblatt 2 unterscheidet dabei zwei Qualitäten von Wärmebrücken. Im ungünstigen Fall ist ein Wärmebrückenzuschlagswert von $\Delta U_{WB} = 0,05 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ anzusetzen. Wärmebrückendetails dieser Qualität fallen laut Norm in die Kategorie A. Entsprechend gehören höherwertige Wärmebrückendetails in Kategorie B mit Verwendung eines kleineren Wärmebrückenzuschlagwertes von $\Delta U_{WB} = 0,03 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$.

Da nicht immer alle Details entweder in Kategorie A oder Kategorie B fallen oder es auch vorkommen kann, dass nicht alle geplanten Details von DIN 4108 Beiblatt 2 erfasst werden, können die genannten Wärmebrückenzuschlagswerte korrigiert werden. Dazu werden folgende Fälle unterschieden:

- Bei einem oder mehreren Details ist der Gleichwertigkeitsnachweis nicht erbracht:
- Die durch den Gleichwertigkeitsnachweis nachgewiesenen Details entsprechen überwiegend Kategorie A:

$$\Delta U_{WB} = \frac{\sum(\Delta\Psi_i \cdot l_i)}{A} + 0,05 \quad \text{Gl. (3.5)}$$

- Die durch Gleichwertigkeit nachgewiesenen Details entsprechen überwiegend Kategorie B:

$$\Delta U_{WB} = \frac{\sum(\Delta\Psi_i \cdot l_i)}{A} + 0,03 \quad \text{Gl. (3.6)}$$

Dabei ist $\Delta\Psi$ die Differenz aus dem projektbezogenen längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten Ψ_{Projekt} einer Wärmebrücke, die nicht durch Gleichwertigkeit in der jeweiligen Kategorie nachgewiesen ist, und dem Referenzwert Ψ_{Referenz} einer Wärmebrücke aus DIN 4108 Beiblatt 2:

$$\Delta U_{WB} = \Psi_{\text{Projekt}} - \Psi_{\text{Referenz}} \quad \text{Gl. (3.7)}$$

Gleichwertigkeitsnachweis für Wärmebrückendetails nach DIN 4108 Beiblatt 2	
Art des Nachweises	Bestätigung/Nachweis
Bildlich	<ul style="list-style-type: none"> ■ Eindeutige Zuordnung des konstruktiven Grundprinzips ■ Baustoffschichtdicken stimmen überein ■ Baustoffeigenschaften stimmen überein Bei Verwendung von Baustoffen mit abweichendem λ : Nachweis des Wärmedurchlasswiderstandes R der jeweiligen Schicht
Rechnerisch	Einhaltung des genormten Referenzwertes Ψ_{ref} durch: <ul style="list-style-type: none"> ■ PC-Berechnungen von Ψ unter vorgegebenen Randbedingungen oder nach DIN EN ISO 10211 [10] ■ Entnahme von Ψ aus Wärmebrückenkatalogen ■ Entnahme von Ψ aus Veröffentlichungen ■ Entnahme von Ψ aus Herstellernachweisen

Tab. 3.4: Gleichwertigkeitsnachweis für Wärmebrückendetails nach DIN 4108 Beiblatt 2 [3.5]

- Ein oder mehrere Details sind nicht in DIN 4108 Beiblatt 2 enthalten:

- Die durch Gleichwertigkeit nachgewiesenen Details entsprechen überwiegend Kategorie A:

$$\Delta U_{\text{WB}} = \frac{\sum(\Psi_i \cdot l_i)}{A} + 0,05 \quad \text{Gl. (3.8)}$$

- Die durch den Gleichwertigkeitsnachweis nachgewiesenen Details entsprechen überwiegend Kategorie B:

$$\Delta U_{\text{WB}} = \frac{\sum(\Psi_i \cdot l_i)}{A} + 0,03 \quad \text{Gl. (3.9)}$$

Dabei ist Ψ der projektbezogene längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient einer Wärmebrücke, die nicht in DIN 4108 Beiblatt 2 enthalten ist.

Diese pauschalen Methoden liefern im Regelfall höhere rechnerische Wärmeverluste als eine genaue Berechnung, dafür sind sie weniger aufwendig.

Die Referenzkonstruktionen in DIN 4108 Beiblatt 2 beziehen sich in erster Linie auf zu errichtende Gebäude. Die Ausführung der wärmeübertragenden Umfassungsfläche bestehender Gebäude erfüllt die gezeigten Anforderungen im Regelfall nicht. Daher bleibt diese Methode auf zu errichtende Gebäude beschränkt und steht für die energetische Bewertung von Bestandsgebäuden nicht zur Verfügung.

Falls nach einer energetischen Modernisierung das im Beiblatt gezeigte Wärmeschutzniveau erreicht wird, kann dieser pauschale Ansatz wiederum verwendet werden.

Wärmespeicherung von Porenbetonmauerwerk

Die Wärmespeicherung von Baustoffen und Bauteilen hat im Wesentlichen zweifache Bedeutung:

- Beeinflussung der Raumlufttemperatur und damit der Transmissionswärmeverluste bei intermittierendem Heizen
- Ausnutzung der passiven Solarenergie sowie Verringerung von Temperaturspitzen im Sommer durch Speicherung der Wärme in Bauteilen

Die Wärmespeicherfähigkeit eines Bauteils ist umso größer, je mehr Masse das Bauteil hat und umso größer die spezifischen Wärmekapazitäten seiner Baustoffe sind. Sie hat Auswirkungen auf das Auskühl- und Aufheizverhalten von Räumen. Wird die Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile größer, kühlt ein Raum langsamer aus und heizt sich je nach Art der Beheizung langsamer auf.

4.1 Raumlufttemperatur und Transmissionswärmeverluste bei intermittierendem Heizen

Gebäude aus schwerem und dickem Mauerwerk mit einer hohen Wärmespeicherfähigkeit galten in der Vergangenheit gegenüber leichten Konstruktionen wie Holzrahmenbauten als besonders komfortabel. Den thermischen Komfort solcher Gebäude im Winter lieferten die früher üblichen Heizsysteme.

Beispielsweise unterlagen schlecht regelbare Ofenheizungen starken Schwankungen bei der Wärmeabgabe. Überhitzung und Verlöschen des Feuers wechselten sich ab. Eine gut speicherfähige Bauweise bewirkte, dass die Wände nach dem Verlöschen des Feuers im Ofen die vorher aufgenommene Wärme wieder in den Raum abgaben, wodurch eine zu schnelle Auskühlung der Räume verhindert wurde und die Raumlufttemperatur im behaglichen Bereich blieb.

Hieraus darf aber nicht gefolgert werden, dass mit einer hohen Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile bei intermittierendem Heizen (Nachtabsenkung oder Nachtabschaltung) Energie eingespart werden kann. Tatsächlich muss die gleiche Wärmemenge, die nach dem Ausschalten der Heizung von den Bauteilen abgegeben wird, beim Anheizen wieder in die Bauteile eingespeichert werden und erst dann findet eine

spürbare Raumerwärmung statt. Insofern können Räume mit Begrenzungsflächen aus leichten Bauteilen mit geringer Wärmespeicherfähigkeit schneller aufgeheizt werden.

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} wird gemäß DIN V 4108-6 [3.3] aus der spezifischen Wärmekapazität c und der Rohdichte ρ des Baustoffs, der wirksamen Schichtdicke d der Baustoffschichten und der Fläche A aller Bauteile ermittelt:

$$C_{\text{wirk}} = \sum_i (c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i) \quad \text{Gl. (4.1)}$$

Danach erfolgt eine Einteilung in schwere, mittlere oder leichte Bauart gemäß DIN 4108-2 [3.1] (Tab. 4.1)

Einteilung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} in Bauarten		
C_{wirk} bezogen auf die Nettogrundfläche A_G	Einheit	Einstufung
$\frac{C_{\text{wirk}}}{A_G}$	$[(W \cdot h)/(m^2 \cdot K)]$	Bauart
$\frac{C_{\text{wirk}}}{A_G} < 50$	$[(W \cdot h)/(m^2 \cdot K)]$	Leichte Bauart
$50 \leq \frac{C_{\text{wirk}}}{A_G} \leq 130$	$[(W \cdot h)/(m^2 \cdot K)]$	Mittlere Bauart
$\frac{C_{\text{wirk}}}{A_G} > 130$	$[(W \cdot h)/(m^2 \cdot K)]$	Schwere Bauart

Tab. 4.1: Einteilung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} in Bauarten nach DIN 4108-2 [3.1]

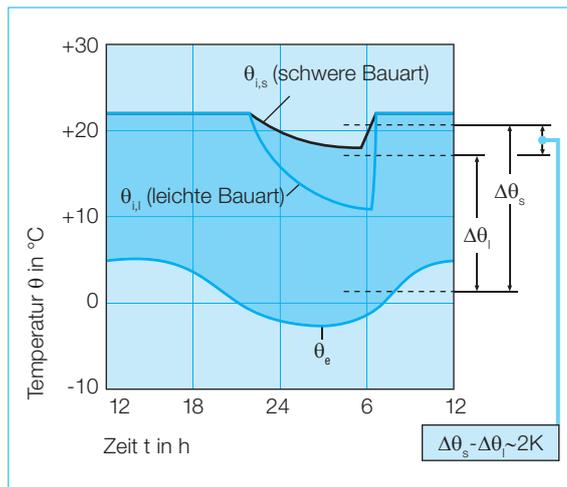
Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit ist nicht mit dem Wärmespeichervermögen eines Bauteils gleichzusetzen, weil z. B. für Heizwärmebedarfsberechnungen nur eine wirksame Schichtdicke der raumbegrenzenden Bauteile von maximal 10 cm berücksichtigt werden darf. Trennwände zwischen zwei Räumen dürfen höchstens mit ihrer halben Dicke Eingang in die Berechnung finden.

Außerdem werden Baustoffschichten nur raumseitig bis zur Wärmedämmebene berücksichtigt, da die Wärmedämmung dahinter liegende Speichermassen sozusagen abschottet. Im Regelfall gehören Gebäude aus Porenbetonmauerwerk zur mittleren, Holzrahmenkonstruktionen zur leichten und Bauten aus Kalksandstein zur schweren Bauart.

Bei kontinuierlichem Heizbetrieb, d. h. ohne Absenkung oder Abschaltung der Heizung in der Nacht oder bei Abwesenheit, besteht hinsichtlich des Heizenergieverbrauchs praktisch kein Unterschied zwischen leichter und schwerer Bauart. Jedoch kann bei intermittierendem Heizbetrieb durch Absenkung der Raumlufttemperaturen θ_i in der Nacht oder bei Abwesenheit eine leichtere Bauart von Vorteil sein (siehe Abb. 4.1).

Bei gleichen wärmeschutztechnischen Eigenschaften der raumumschließenden Bauteile und bei gleicher mittlerer Außenlufttemperatur θ_e sind die Transmissionswärmeverluste von der mittleren Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ zwischen Raumlufttemperatur θ_i und Außenlufttemperatur θ_e abhängig. Diese Temperaturdifferenz ist bei leichter Bauart mit geringer Wärmespeicherefähigkeit ($\Delta\theta_i$) niedriger als bei schwerer Bauart mit hoher Wärmespeicherefähigkeit ($\Delta\theta_s$), da die Raumlufttemperatur nach Absenkung der Heiztemperatur schneller und tiefer absinkt.

Abb. 4.1: Mittlere Temperaturdifferenzen $\Delta\theta_i$ bei leichter Bauart und $\Delta\theta_s$ bei schwerer Bauart zwischen Raumlufttemperatur θ_i und Außenlufttemperatur θ_e bei intermittierendem Heizen



4.2 Passive Solarenergienutzung durch Fenster

Die passive Nutzung der Solarenergie durch Fenster setzt die Möglichkeit zur Wärmespeicherung in den raumumschließenden Bauteilen voraus. Aus Abb. 4.2 ist zu entnehmen, dass bei Sonneneinstrahlung die Erhöhung der Raumlufttemperatur bei schwerer Bauart $\Delta\theta_s$ niedriger ist als die Raumlufttemperaturerhöhung $\Delta\theta_l$ bei leichter Bauart. Die eingestrahlte Energie wird in den Bauteilen gespeichert und zeitversetzt wieder an den Raum abgegeben.

4.3 Energieeinspareffekte aus intermittierendem Heizen und passiver Solarenergienutzung

Die möglichen Energieeinspareffekte aus intermittierendem Heizen und passiver Solarenergienutzung sind situationsbezogen gegenläufig:

- Bei intermittierendem Heizen wird durch geringere Wärmespeicherung gegebenenfalls eine größere Einsparung an Heizenergie erzielt.
- Bei passiver Solarenergienutzung sind große Speichermassen erforderlich, um die Gewinne aus der Sonneneinstrahlung zeitversetzt nutzen zu können.

Je nach den Gegebenheiten des Einzelfalles, insbesondere nach der Art der Gebäudenutzung und dem Heizverhalten der Nutzer, kann eine größere Wärmespeicherefähigkeit der Bauteile von Vorteil oder auch von Nachteil für den Heizenergieverbrauch sein. Häufig wird daher bei der Baustoffauswahl in der Praxis ein Mittelwert angestrebt.

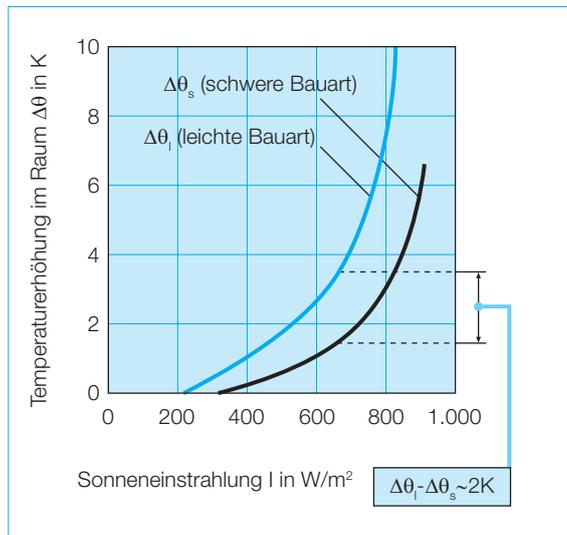
Die in einem Baustoff gespeicherte Wärmemenge Q berechnet sich aus der spezifischen Wärmekapazität c und der Rohdichte ρ des Baustoffs, der Dicke d der Baustoffschicht, der Fläche A des Bauteils und der Temperaturdifferenz $\Delta\theta$ zwischen dem Bauteil und der Umgebung:

$$Q = c \cdot \rho \cdot d \cdot A \cdot \Delta\theta \quad \text{Gl. (4.2)}$$

Das flächenbezogene Wärmespeichervermögen W einer Baustoffschicht wird folgendermaßen ermittelt:

$$W = c \cdot \rho \cdot d \quad \text{Gl. (4.3)}$$

Abb. 4.2: Temperaturerhöhung im Raum $\Delta\theta_l$ bei leichter Bauart und $\Delta\theta_s$ bei schwerer Bauart im Raum unter Sonneneinstrahlung



Vergleich der Wärmespeicherfähigkeit und Auskühlzeit von Baustoffen							
Baustoff	Dicke d [m]	Rohdichte ρ [kg/m³]	Wärmeleitfähigkeit λ [W/(m·K)]	Spezifische Wärmekapazität c [W·h/(kg·K)] ¹⁾	Wärmedurchlasswiderstand R [m²·K/W]	Wärmespeichervermögen W [W·h/(m²·K)]	Auskühlzeit t _A [h]
Porenbeton	0,175	350	0,09	0,278	1,94	17,0	33,00
		600	0,14		1,25	29,2	36,50
	0,240	350	0,09		2,67	23,4	62,30
		600	0,14		1,71	40,0	68,50
	0,300	350	0,09		3,33	29,2	97,20
		600	0,14		2,14	50,0	107,10
	0,365	350	0,09		4,06	35,5	144,10
		600	0,14		2,61	60,9	158,90
	0,425	350	0,09		4,72	41,4	195,40
	0,480	350	0,09		5,33	46,7	248,90
0,500	350	0,09	5,56	48,7	270,80		
Beton ≥ C 20/25	0,200	2.400	2,30	0,278	0,09	133,4	12,00
Dämmstoff	0,200	20	0,04	0,413	5,00	1,7	8,30

Tab. 4.2: Beispielhafter Vergleich der Wärmespeicherung und Auskühlzeit von Porenbeton, Beton und Dämmstoff

Die Auskühlzeit t_A wird aus dem flächenbezogenen Wärmespeichervermögen W und dem Wärmedurchlasswiderstand R berechnet:

$$t_A = W \cdot R \tag{4.4}$$

Daten zur Wärmespeicherfähigkeit und Auskühlzeit von Porenbetonmauerwerk können Tabelle 4.2 entnommen werden.

Mindestwärmeschutz im Winter

Um ein hygienisches Raumklima und einen dauerhaften Schutz der Baukonstruktion gegen klimabedingte Feuchteinwirkungen sicherzustellen, werden in DIN 4108-2 [3.1] wärmetechnische und konstruktive Anforderungen an Bauteilflächen und an Wärmebrücken gestellt. Werden die in der Norm genannten Mindestanforderungen erfüllt, kann davon ausgegangen werden, dass es weder auf Bauteilflächen noch an Wärmebrücken zu einer Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der raumseitigen Oberfläche kommt. Voraussetzung ist, dass die betreffenden Räume ausreichend beheizt und belüftet werden. Ebenso darf die Luftzirkulation an der Wandoberfläche nicht behindert werden.

5.1 Anforderungen an Bauteilflächen

Bei der Beurteilung des Mindestwärmeschutzes an Bauteilflächen ist zunächst festzulegen, ob es sich um homogene nicht transparente, inhomogene nicht transparente oder um transparente oder teiltransparente Bauteile handelt. Im Falle homogener Bauteile wird nach schweren oder leichten Bauteilen unterschieden. Schwere Bauteile, welche eine flächenbezogene Gesamtmasse von $m' \geq 100 \text{ kg/m}^2$ aufweisen, sind so zu planen und auszuführen, dass ein festgelegter Wärmedurchlasswiderstand R nicht unterschritten wird. Für z. B. folgende Bauteile beträgt gemäß DIN 4108-2 die Mindestanforderung $R \geq 1,2 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$:

- Wände beheizter Räume gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen und nicht beheizte Räume
- Dachschrägen beheizter Räume gegen Außenluft
- Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer gegen Außenluft

Im Vergleich zu dieser Mindestanforderung weist eine 30 cm dicke, verputzte Wand aus Porenbetonmauerwerk mit einer Wärmeleitfähigkeit des Porenbetons von $\lambda = 0,09 \text{ W/(m}\cdot\text{K)}$ einen Wärmedurchlasswiderstand von $R = 3,4 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ auf. Mit dieser und allen anderen üblichen Wandkonstruktionen aus Porenbetonmauerwerk wird die Mindestanforderung an den winterlichen Wärmeschutz eingehalten. Im Weiteren benennt die Norm Anforderungswerte für Decken beheizter Räume in anderen Situationen,

Decken beheizter Räume nach unten, Bauteile an Treppenträumen und Bauteile zwischen beheizten Räumen.

Für leichte homogene Bauteile verlangt die Norm einen Wärmedurchlasswiderstand von $R \geq 1,75 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$. Differenzierte Anforderungen werden an inhomogene nicht transparente Bauteile wie Rahmen-, Skelett- oder Holzständerbauweisen gestellt. In solchen Fällen ist ein Wärmedurchlasswiderstand im Gefachbereich von $R \geq 1,75 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ und für das gesamte Bauteil von $R \geq 1,00 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ erforderlich.

5.2 Anforderungen an Wärmebrücken

Im thermischen Einflussbereich von Wärmebrücken können sich deutlich niedrigere raumseitige Oberflächentemperaturen einstellen als an Bauteilflächen. Dadurch nimmt die Gefahr einer Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der Bauteiloberfläche zu. Auch die Transmissionswärmeverluste können größer werden. Dementsprechend muss die Oberflächentemperatur ausreichend hoch sein. In DIN 4108-2 wird verlangt, dass der dimensionslose Temperaturfaktor an der ungünstigsten Stelle $f_{Rsi} \geq 0,7$ beträgt. Dieser Faktor entspricht unter genormten Klimarandbedingungen einer raumseitigen Bauteil-Oberflächentemperatur von $\theta_{si} = 12,6 \text{ }^\circ\text{C}$:

Raumlufttemperatur	$\theta_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$
Außenlufttemperatur	$\theta_e = -5 \text{ }^\circ\text{C}$
raumseitige Bauteil-Oberflächentemperatur	$\theta_{si} = 12,6 \text{ }^\circ\text{C}$
Temperaturfaktor:	

$$f_{Rsi} = \frac{(\theta_{si} - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_e)} = \frac{(12,6 - (-5))}{(20 - (-5))} = 0,7 \text{ [-]} \quad \text{Gl. (5.1)}$$

Falls die wärmetechnische Ausführung einer Wärmebrücke den Planungs- und Ausführungsempfehlungen in DIN 4108 Beiblatt 2 [3.5] entspricht, kann unter den vorgenannten Bedingungen davon ausgegangen werden, dass die Mindestanforderungen im Bereich von Wärmebrücken eingehalten werden.

Sommerlicher Wärmeschutz

6.1 Einflussgrößen auf den sommerlichen Wärmeschutz

Für den sommerlichen Wärmeschutz sind die solare Einstrahlung, die sich aus dem Gebäudestandort ergibt, die Fenster-, die Baustoff- und damit die Bauteileigenschaften sowie die Nachtlüftung von Bedeutung:

- Solare Einstrahlung (Gebäudestandort)
- Fenstereigenschaften
 - Fläche
 - Neigung
 - Rahmenanteil
 - Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung
 - Sonnenschutz
 - Himmelsrichtung
- Baustoff- und Bauteileigenschaften
 - spezifische Wärmekapazität der Baustoffe
 - wirksame Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile
 - Wärmeeindringkoeffizient
 - Temperaturleitfähigkeit
 - Temperaturamplitudenverhältnis
 - Phasenverschiebung
- Nachtlüftung

Während die solare Einstrahlung und die Fenstereigenschaften von großem Einfluss sind, ist bei den Baustoff- und Bauteileigenschaften zu differenzieren. Nennenswerte Bedeutung haben die spezifische Wärmekapazität von Baustoffen und die wirksame Wärmespeicherfähigkeit von Bauteilen (siehe auch Kapitel 4 „Wärmespeicherung von Porenbetonmauerwerk“).

Der Wärmeeindringkoeffizient b , ermittelt aus spezifischer Wärmekapazität c , Wärmeleitfähigkeit λ und Rohdichte ρ , gibt Auskunft darüber, wie schnell Wärme von einem Bauteil aufgenommen oder abgegeben wird [11]:

$$b = \sqrt{c \cdot \lambda \cdot \rho} \quad \text{Gl. (6.1)}$$

Die Temperaturleitfähigkeit a benennt die Ausbreitungsgeschwindigkeit eines Temperaturfeldes in einem Stoff:

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \rho} \quad \text{Gl. (6.2)}$$

Periodische Temperaturschwankungen der Außenluft im 24-Stunden-Rhythmus setzen sich als Schwingungen durch ein Außenbauteil von außen nach innen fort. Die Temperaturamplitude wird während dieses Durchgangs abgeschwächt. Das Verhältnis der maximalen Temperaturschwankung an der inneren Bauteiloberfläche zur maximalen Schwankung an der äußeren Bauteiloberfläche ist das Temperaturamplitudenverhältnis TAV. Die zeitliche Verzögerung der Wellenbewegung durch das Bauteil wird als Phasenverschiebung φ bezeichnet.

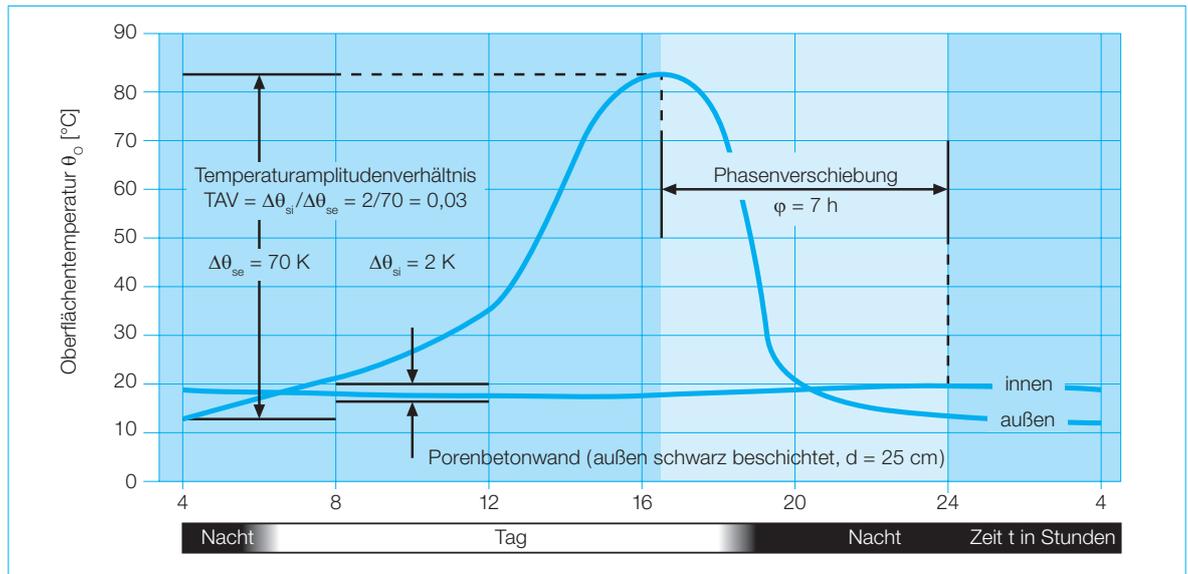
An einer 250 mm dicken Porenbetonwand, schwarz gestrichen und nach Westen orientiert, wurden im Verlauf von 24 Stunden die Oberflächentemperaturen gemessen (siehe Abb. 6.1). Die dort auf der Außenseite aufgetretenen Temperaturschwankungen von $\Delta\theta_{se} \sim 70 \text{ K}$ wurden durch die Wand so stark abgemindert, dass auf der Innenseite nur noch eine Temperaturänderung von $\Delta\theta_{si} \sim 2 \text{ K}$ gemessen wurde [12]. Demnach beträgt das Temperaturamplitudenverhältnis TAV $\sim 0,03 [-]$ und die Phasenverschiebung $\varphi \sim 7 \text{ h}$.

6.2 Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Infolge passiver Solarenergienutzung erwärmen sich Räume von Gebäuden. Durch eine der Situation angepassten Bauausführung ist darauf zu achten, dass keine unzumutbaren Temperaturen entstehen. Denn dies würde dazu führen, dass Räume unter Einsatz von Energie gekühlt werden müssten.

Vor dem Hintergrund des energiesparenden Bauens, das sich nicht nur auf die winterliche, sondern auch auf die sommerliche Situation bezieht, verlangt das GEG den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 [3.1]. Der Nachweis, der raumbezogen durchgeführt wird, ist dann erbracht,

Abb. 6.1: Oberflächen-temperaturverläufe im Tagesverlauf an der inneren und äußeren Oberfläche einer schwarz gestrichenen, nach Westen orientierten Porenbetonwand



wenn ein vorhandener Sonneneintragskennwert einen höchstens zulässigen Sonneneintragskennwert nicht überschreitet. Alternativ kann der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes durch eine thermisch-dynamische Gebäudesimulation erbracht werden.

Gemäß DIN 4108-2 kann auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes verzichtet werden, wenn der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{WG} in Abhängigkeit von der Fensterneigung und der Fensterorientierung unterhalb bestimmter Grenzen liegt:

- $f_{WG} \leq 10 \%$
Neigung α der Fenster gegenüber der Horizontalen $60^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ bei Nordwest- über Süd- bis Nord-ostorientierung
- $f_{WG} \leq 15 \%$
Neigung α der Fenster gegenüber der Horizontalen $60^\circ < \alpha \leq 90^\circ$ bei allen anderen Nordorientierungen
- $f_{WG} \leq 7 \%$
Neigung α der Fenster gegenüber der Horizontalen $0^\circ < \alpha \leq 60^\circ$ bei allen Orientierungen

Der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{WG} ergibt sich aus den Fensterflächen A_w und der Nettogrundfläche A_G des Raumes:

$$f_{WG} = \frac{A_w}{A_G} \quad \text{Gl. (6.3)}$$

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} wird aus den Fensterfläche A_w eines Raumes, den zugehörigen Gesamtenergiedurchlassgraden einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} und der Nettogrundfläche A_G des Raumes ermittelt:

$$S_{vorh} = \frac{\sum_j (A_{w,j} \cdot g_{total,j})}{A_G} \quad \text{Gl. (6.4)}$$

Dabei wird der Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} vereinfacht aus dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g und einem Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen F_C berechnet:

$$g_{total} = g \cdot F_C \quad \text{Gl. (6.5)}$$

Für Sonnenschutzvorrichtungen, die sich innen oder zwischen den Scheiben befinden, liegt F_C nach tabellarischen Vorgaben in DIN 4108-2 zwischen 0,65 [-] und 0,90 [-]. Dadurch wird ein geringerer Sonnenschutz erreicht als mit außenliegenden Sonnenschutzvorrichtungen, deren Werte zwischen 0,15 [-] und 0,55 [-] liegen.

Ein niedriger Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen außenliegender Rollläden mit $F_C = 0,3$ [-] kann dazu führen, dass bei entsprechend ausgestatteten Gebäuden unter bestimmten Bedingungen ein Verzicht auf den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes möglich wird. Bei diesem F_C -Wert wird vorausgesetzt, dass die Rollläden zu $\frac{3}{4}$ geschlossen sind und im Fenster eine Dreifachverglasung vorhanden ist.

Einem vorhandenen Sonneneintragskennwert S_{vorh} ist der zulässige Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} gegenüberzustellen. Für die Ermittlung von S_{zul} ist zunächst die Gebäudenutzung festzulegen. Zu unterscheiden ist zwischen Wohn- und Nichtwohngebäuden. Weiterhin ist für den Standort des



Abb. 6.2: Sommerklimaregionen in Deutschland gemäß DIN 4108-2 [3.1]

Gebäudes gemäß DIN 4108-2 die Sommerklimaregion A, B oder C festzulegen. Bei dieser Einteilung werden die Lufttemperatur, die solare Einstrahlung und das daraus resultierende sommerliche Wärmeverhalten eines Gebäudes erfasst [13]. Abb. 6.2 zeigt, dass Sommerklimaregion A die kühleren Regionen umfasst, u. a. die Küstengebiete von Nord- und Ostsee, die Mittelgebirgslagen und die Alpen. Wärmere Regionen, z. B. Ruhrgebiet, Oberrheingraben oder Rhein-Main-Gebiet, zählen zur Sommerklimaregion C. Beispielsweise lassen sich folgende Städte entsprechend zuordnen:

- Rostock (Mecklenburg-Vorpommern): A
- Garmisch-Partenkirchen (Bayern): A
- Münster (Nordrhein-Westfalen): B
- Berlin: B

- Dortmund (Nordrhein-Westfalen): C
- Freiburg (Baden-Württemberg): C

Der zulässige Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} stellt eine Summe aus anteiligen Sonneneintragskennwerten S_x dar:

$$S_{zul} = \sum S_x \tag{6.6}$$

Folgende Situationen, die auf das Maß der Erwärmung der Räume Einfluss haben, werden durch die anteiligen Sonneneintragskennwerte S_1 bis S_6 erfasst. Aus tabellarischen Festlegungen gemäß DIN 4108-2 werden hier auszugsweise nur Werte für Wohngebäude, die der Sommerklimaregion B zuzuordnen sind, wiedergegeben.

■ S_1 (Nachtlüftung und Bauart)

Bei erhöhter Nachtlüftung mit einer Luftwechselrate von $n \geq 2 \text{ h}^{-1}$

- Leichte Bauart: $S_1 = 0,056 [-]$
- Mittlere Bauart: $S_1 = 0,067 [-]$
- Schwere Bauart: $S_1 = 0,074 [-]$

Hinsichtlich der Nachtlüftung kennt die Norm noch die Kategorien „ohne Nachtlüftung“ und „hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5 \text{ h}^{-1}$ “ mit entsprechenden S_1 -Werten.

Zur Feststellung, ob es sich zur Ermittlung des anteiligen Sonneneintragskennwertes S_1 um eine schwere, mittlere oder leichte Bauart handelt, ist zunächst die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} eines Raumes zu berechnen und dann die Bauart zu bestimmen (siehe auch Kapitel 4 „Wärmespeicherung von Porenbetonmauerwerk“).

■ S_2 (grundflächenbezogener Fensterflächenanteil)

$$S_2 = 0,060 - (0,231 \cdot f_{\text{WG}}) \quad \text{Gl. (6.7)}$$

Die durch S_1 vorgegebenen anteiligen Sonneneintragskennwerte gelten für grundflächenbezogene Fensterflächenanteile von etwa 25 %. Durch den anteiligen Sonneneintragskennwert S_2 erfolgt eine Korrektur des S_1 -Wertes in Abhängigkeit vom grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil f_{WG} , wodurch die Anwendbarkeit des Verfahrens auf Räume mit grundflächenbezogenen Fensterflächenanteilen abweichend von 25 % gewährleistet wird.

■ S_3 (für Fenster mit Sonnenschutzglas, Gesamtenergiedurchlassgrad $g \leq 0,4 [-]$)

$$S_3 = 0,03 [-]$$

■ S_4 (für Fenster mit einer Neigung α gegenüber der Horizontalen $0^\circ \leq \alpha \leq 60^\circ$)

$$S_4 = -0,035 \cdot f_{\text{neig}} \quad \text{Gl. (6.8)}$$

Der Faktor f_{neig} ist der Quotient aus der geneigten Fensterfläche $A_{\text{w,neig}}$ zur gesamten Fensterfläche $A_{\text{w,gesamt}}$:

$$f_{\text{neig}} = \frac{A_{\text{w,neig}}}{A_{\text{w,gesamt}}} \quad \text{Gl. (6.9)}$$

■ S_5 (Orientierung und Verschattung) ist zu berücksichtigen

- Für nord-, nordost- oder nordwestorientierte Fenster mit einer Neigung α gegenüber der Horizontalen $\alpha > 60^\circ$

- Für Fenster, die dauerhaft vom Gebäude selbst verschattet werden

$$S_5 = 0,10 \cdot f_{\text{nord}} \quad \text{Gl. (6.10)}$$

Der Faktor f_{nord} ist der Quotient aus der Fensterfläche $A_{\text{w,nord}}$ vorgenannter Fenster zur gesamten Fensterfläche $A_{\text{w,gesamt}}$:

$$f_{\text{nord}} = \frac{A_{\text{w,nord}}}{A_{\text{w,gesamt}}} \quad \text{Gl. (6.11)}$$

■ S_6 (falls Einsatz passiver Kühlung)

- Leichte Bauart: $S_6 = 0,02 [-]$
- Mittlere Bauart: $S_6 = 0,04 [-]$
- Schwere Bauart: $S_6 = 0,06 [-]$

6.3 Berechnungsbeispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

Ein einfaches Berechnungsbeispiel zeigt den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für den süd-ostorientierten Raum eines Wohngebäudes mit Wänden aus Porenbetonmauerwerk (siehe Abb. 6.3).

Das Gebäude liegt in der Sommerklimaregion B. Der Nachweis ist erforderlich, da der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{WG} gemäß Gl. (6.3) über 10 % liegt:

- Fensterfläche Süd: $A_{\text{w,S}} = 7,80 \text{ m}^2$
- Fensterfläche Ost: $A_{\text{w,O}} = 1,52 \text{ m}^2$
- Nettogrundfläche: $A_{\text{G}} = 59,54 \text{ m}^2$

$$f_{\text{WG}} = \frac{A_{\text{w}}}{A_{\text{G}}} = \frac{7,80 + 1,52}{59,54} = 0,16 [-]$$

Im nächsten Schritt werden die Daten für den vorhandenen Sonneneintragskennwert S_{vorh} ermittelt:

- Gesamtenergiedurchlassgrad einschließlich Sonnenschutzvorrichtung g_{total} gemäß Gl. (6.5)

- Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0,62 [-]$

- Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen (Rollläden 3/4 geschlossen, keine Sonnenschutzverglasung, Dreifachverglasung): $F_{\text{c}} = 0,30 [-]$

- $g_{\text{total}} = g \cdot F_{\text{c}} = 0,62 \cdot 0,30 = 0,186 [-]$

- Vorhandener Sonneneintragskennwert S_{vorh} gemäß Gl. (6.4)

$$S_{\text{vorh}} = \frac{\sum_j (A_{w,j} \cdot g_{\text{total},j})}{A_G}$$

$$= \frac{7,80 \cdot 0,186 + 1,52 \cdot 0,186}{59,54} = 0,029 [-]$$

Durch Addition der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x wird der zulässige Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} ermittelt:

■ Nachlüftung und Bauart

- Erhöhte Nachlüftung, Luftwechselrate $n = 2 \text{ h}^{-1}$
- Wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} gemäß Gl. (4.1) und Tab. 6.1
 $C_{\text{wirk}} = 6.358 \text{ (W·h)/K}$

■ Ermittlung der Bauart

$$\frac{C_{\text{wirk}}}{A_G} = \frac{6.358}{59,54} = 107 \text{ (W·h)/(m}^2\text{·K)}$$

→ Mittlere Bauart

■ Anteiliger Sonneneintragskennwert S_1 bei erhöhter Nachlüftung und mittlerer Bauart

$$S_1 = 0,103 [-]$$

■ Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil gemäß Gl. (6.7)

$$S_2 = 0,060 - (0,231 \cdot f_{\text{WG}}) = 0,060 - (0,231 \cdot 0,16) = 0,023 [-]$$

■ Sonnenschutzglas nicht vorhanden

$$S_3 = 0$$

■ Fensterneigung

Neigung $\alpha = 90^\circ$ gegenüber der Horizontalen

$$S_4 = 0$$

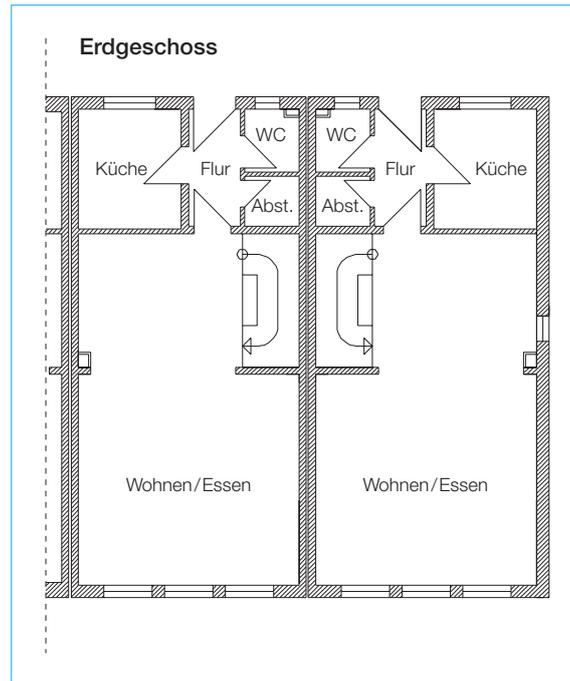


Abb. 6.3: Skizze zum Berechnungsbeispiel für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für den süd-ostorientierten Raum „Wohnen/Essen“

■ Fensterorientierung ost- und südorientiert

$$S_5 = 0$$

■ Einsatz passiver Kühlung nicht vorhanden

$$S_6 = 0$$

■ Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} gemäß Gl. (6.6):

$$S_{\text{zul}} = \sum S_x = 0,103 + 0,023 = 0,126 [-]$$

Damit ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für den Wohnraum gemäß DIN 4108-2 erbracht, da der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} den Höchstwert des Sonneneintragskennwertes S_{zul} nicht überschreitet:

$$S_{\text{vorh}} = 0,029 < S_{\text{zul}} = 0,126$$

Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes							
Bauteil	Baustoff	Spezifische Wärmekapazität		Rohdichte	Wirksame Schichtdicke	Bauteilfläche	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit
		c_i	$[(W·h)/(kg·K)]$	ρ_i	d_i	A_i	$C_{\text{wirk}} = c_i \cdot \rho_i \cdot d_i \cdot A_i$
		$[J/(kg·K)]$		$[kg/m^3]$	$[m]$	$[m^2]$	$[(W·h)/K]$
Fußboden	Zementstrich	1.000	0,278	2.000	0,050	59,54	1.655
Außenwand Süd	Putz	1.000	0,278	600	0,015	7,45	19
	Porenbeton	1.000	0,278	400	0,085	7,45	70
Außenwand Ost	Putz	1.000	0,278	600	0,015	22,86	57
	Porenbeton	1.000	0,278	400	0,085	22,86	216
Haustrennwand	Putz	1.000	0,278	600	0,015	24,40	61
	Porenbeton	1.000	0,278	600	0,070	24,40	285
Innenwand	Putz	1.000	0,278	600	0,015	13,25	33
	Porenbeton	1.000	0,278	600	0,070	13,25	155
Decke	Stahlbeton	1.000	0,278	2.300	0,100	59,54	3.807
Summe							6.358

Tab. 6.1: Berechnungsbeispiel zum Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes – Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk}

Formelzeichen

A	[m ²]	Bauteilfläche wärmeübertragende Umfassungsfläche
A _G	[m ²]	Nettogrundfläche
A _N	[m ²]	Gebäudenutzfläche
C _{wirk}	[(W·h)/K]	wirksame Wärmespeicherfähigkeit
C _{TL,Vers,SA}	[-]	Tageslichtversorgungsfaktor bei Sonnen- und/oder Blendschutz
F _C	[-]	Abminderungsfaktor für Sonnenschutzvorrichtungen
F _F	[-]	Abminderungsfaktor für den Rahmenanteil
F _S	[-]	Abminderungsfaktor infolge Verschattung
F _x	[-]	Temperatur-Korrekturfaktor
H _T	[W/K]	spezifischer Transmissionswärmeverlust
H _{T,WB}	[W/K]	Transmissionswärmeverlust durch Wärmebrücken
H _V	[W/K]	spezifischer Lüftungswärmeverlust
I _{s,i,Monat}	[W/m ²]	mittlere monatliche Strahlungsintensität der Sonne
Q	[(W·h)/(m ² ·K)]	Wärmemenge
Q _c	[kWh/a]	Nutzenergiebedarf für Kühlen
Q _f	[kWh/a]	Endenergiebedarf
Q _h	[kWh/a]	Heizwärmebedarf, Nutzenergiebedarf für Heizen
Q _i	[kWh/a]	interne Wärmequellen
Q _N	[kWh/a]	Nutzenergiebedarf
Q _p	[kWh/a]	Primärenergiebedarf
Q _s	[kWh/a]	solare Wärmequellen
Q _T	[kWh/a]	Transmissionswärmesenken
Q _V	[kWh/a]	Lüftungswärmesenken
Q _w	[kWh/a]	Nutzenergiebedarf für Trinkwarmwassererwärmung
R	[(m ² ·K)/W]	Wärmedurchlasswiderstand von Baustoffschichten
R _g	[(m ² ·K)/W]	Wärmedurchlasswiderstand ruhender Luftschichten
R _{se}	[(m ² ·K)/W]	Wärmeübergangswiderstand außen
R _{si}	[(m ² ·K)/W]	Wärmeübergangswiderstand innen
R _T	[(m ² ·K)/W]	Wärmedurchgangswiderstand
S	[-]	Sonneneintragskennwert
TAV	[-]	Temperaturamplitudenverhältnis
U	[W/(m ² ·K)]	flächenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
\bar{U}	[W/(m ² ·K)]	mittlerer Wärmedurchgangskoeffizient
V	[m ³]	Volumen
W	[(W·h)/(m ² ·K)]	flächenbezogenes Wärmespeichervermögen
a	[m ² /s]	Temperaturleitfähigkeit
b	[J/(m ² ·K·s ^{0,5})]	Wärmeeindringkoeffizient
c	[J/(kg·K)]	spezifische Wärmekapazität
d	[m], [mm]	Dicke
e _p	[-]	primärenergetische Anlagenaufwandszahl
f	[-]	Fensterflächenanteil
f _p	[-]	Primärenergiefaktor
f _{Rsi}	[-]	Temperaturfaktor
f _{wG}	[-] [%]	grundflächenbezogener Fensterflächenanteil

g, g_{\perp}	[-]	Gesamtenergiedurchlassgrad
l	[m]	Länge
m'	[kg/m ²]	flächenbezogene Masse
n, n_{50}	[h ⁻¹]	Luftwechselrate
t	[h], [d]	Zeit
α	[°]	Neigung
Δp	[Pa]	Druckdifferenz
ΔU_{WB}	[W/(m ² ·K)]	Wärmebrückenzuschlagswert
Ψ	[W/(m·K)]	längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient
η	[-]	Ausnutzungsgrad für Wärmequellen
φ	[h]	Phasenverschiebung
λ	[W/(m·K)]	Wärmeleitfähigkeit
θ_e	[°C]	Außenluft-Temperatur
θ_i	[°C]	Raumluft-Temperatur
$\theta_{h,soll}$	[°C]	Raum-Solltemperatur
θ_{si}	[°C]	raumseitige Bauteil-Oberflächentemperatur
$\tau_{v,D6S,SNA}$	[-]	Lichttransmissionsgrad der Verglasung
ρ	[kg/m ³]	Rohdichte

Literatur

- [1] Gesetz zur Einsparung von Energie und zur Nutzung erneuerbarer Energien zur Wärme- und Kälteerzeugung in Gebäuden (Gebäudeenergiegesetz – GEG) vom 8. August 2020, mit Änderung durch Bundesratsbeschluss vom 8. Juli 2022
- [2] 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 2018-09
- [3] DIN 4108: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
 - [3.1] Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Ausgabe 2013-02
 - [3.2] Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Bemessungswerte, Ausgabe 2017-03
 - [3.3] Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und Jahresheizenergiebedarfs, Vornorm, Ausgabe 2003-06
 - [3.4] Teil 7: Luftdichtheit von Gebäuden; Anforderungen, Planungs- und Ausführungsempfehlungen sowie -beispiele, Ausgabe 2011-11
 - [3.5] Beiblatt 2: Wärmebrücken – Planungs- und Ausführungsbeispiele, Ausgabe 2019-06
- [4] Deutsche Energie-Agentur (dena): Energiepass für Gebäude: Evaluation des Feldversuchs – Zusammenfassung der Ergebnisse, Karlsruhe 2005
- [5] DIN V 4701: Energetische Bewertung heiz- und raumlufttechnischer Anlagen, Teil 10: Heizung, Trinkwassererwärmung, Lüftung, Ausgabe 2003-08
- [6] Xella Baustoffe GmbH: Energetische Sanierung von einschaligen Außenwänden aus Porenbeton nach Energieeinsparverordnung – Feststellung der wärmetechnischen Bemessungswerte, Technischer Bericht 5/2003 vom November 2003
- [7] Bekanntmachung der Muster von Energieausweisen nach dem Gebäudeenergiegesetz vom 8. Oktober 2020
- [8] DIN EN ISO 6946: Bauteile; Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren, Ausgabe 2008-04
- [9] Bundesverband Porenbetonindustrie e. V. (Herausgeber): Porenbeton-Wärmebrücken-katalog, Berlin 2022
- [10] DIN EN ISO 10211: Wärmebrücken im Hochbau – Wärmeströme und Oberflächentemperaturen – Detaillierte Berechnungen, Ausgabe 2018-03
- [11] Jenisch, R. und Stohrer, M.: Kapitel Wärme, Lehrbuch der Bauphysik, Teubner Verlag, Stuttgart 2002
- [12] Gertis, K.: Thermische Eigenspannungen und Verformungen von Gasbeton-Außenbauteilen, Holzkirchen, April 1974
- [13] Maas, A. Wärmeschutz, Lehrbuch der Bauphysik, 8. Auflage, Springer Vieweg Verlag, Wiesbaden 2017

PORENBETON BERICHT 29

1. Auflage (Januar 2023)

Herausgeber	Bundesverband Porenbetonindustrie e.V. · Kochstr. 6–7 · 10969 Berlin
Vertrieb	BVP-Porenbeton-Informationen-GmbH · Kochstr. 6–7 · 10969 Berlin Telefon 030 / 25 92 82 14 · info@bv-porenbeton.de · www.bv-porenbeton.de
Schutzgebühr	€ 6,-