

Mindestwärmeschutz

4.2.4

Um hygienischen Wärmeschutz gewährleisten zu können, sind jene Mindestanforderungen an den Wärmeschutz gemäß DIN 4108-2:2013-02 einzuhalten, die von der Art sowie den jeweiligen Temperaturverhältnissen diesseits und jenseits des Bauteils abhängen. Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse von mindestens 100 kg/m² müssen nach DIN 4108-2:2013-02 definierte Mindestanforderungen an den Wärmedurchlasswiderstand erfüllen (Tabelle 1). Für Bauteile mit einer flächenbezogenen Masse von unter 100 kg/m² ist ein Wärmedurchlasswiderstand von $R \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$ einzuhalten.

Tabelle 1: Mindestwerte für Wärmedurchlasswiderstände von Bauteilen nach DIN 4108-2:2013-02

Bauteil		Mindestwert des Wärmedurchlasswiderstands R in [m ² K/W]
Wände beheizter Räume	gegen Außenluft, Erdreich, Tiefgaragen, nicht beheizte Räume (auch nicht beheizte Dachräume oder nicht beheizte Kellerräume außerhalb der wärmeübertragenden Umfassungsfläche)	1,2
	bei niedrig beheizten Räumen	0,55
Dachschrägen beheizter Räume	gegen Außenluft	1,2
Decken beheizter Räume nach oben und Flachdächer	gegen Außenluft	1,2
	zu belüfteten Räumen zwischen Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,9
	zu nicht beheizten Räumen, zu bekriechbaren oder noch niedrigeren Räumen	0,9
	zu Räumen zwischen gedämmten Dachschrägen und Abseitenwänden bei ausgebauten Dachräumen	0,35
Decken beheizter Räume nach unten	gegen Außenluft, gegen Tiefgaragen, gegen Garagen (auch beheizte), Durchfahrten (auch verschließbare) und belüftete Kriechkeller	1,75
	gegen nicht beheizten Kellerraum	0,9
	unterer Abschluss (z. B. Sohlplatte) von Aufenthaltsräumen unmittelbar an das Erdreich grenzend bis zu einer Raumtiefe von 5 m	
Bauteile an Treppenräumen	über einem nicht belüfteten Hohlraum, z.B. Kriechkeller, an das Erdreich grenzend	
	Wände zwischen beheiztem Raum und direkt oder indirekt beheiztem Treppenraum, sofern die anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen der Tabelle erfüllen	0,07
	Wände zwischen beheiztem Raum und indirekt beheiztem Treppenraum, wenn nicht alle anderen Bauteile des Treppenraums die Anforderungen dieser Tabelle erfüllen	0,25
Bauteile zwischen beheizten Räumen	oberer und unterer Abschluss eines beheizten oder indirekt beheizten Treppenraums	wie Bauteile beheizter Räume
	Wohnungs- und Gebäudetrennwände zwischen beheizten Räumen	0,07
Bauteile zwischen beheizten Räumen	Wohnungstrenndecken, Decken zwischen Räumen unterschiedlicher Nutzung	0,35

4.2 Wärmeschutz

4.2.4 Mindestwärmeschutz

4.2.5 Raumklima im Winter und im Sommer

Für die kälteste Oberfläche gilt ein Temperaturfaktor von $f_{\text{Rsi}} \geq 0,7$. Der f_{Rsi} -Wert ist ein Maß, um die Sicherheit einer Baukonstruktion hinsichtlich einer Schimmelbildung anzugeben. Dabei wird von stationären Randbedingungen ausgegangen. Er beschreibt das Verhältnis der Temperaturdifferenzen zwischen Wandoberfläche zu Außentemperatur gegenüber der Differenz von Innen- und Außentemperatur. Unter der Annahme einer Rauminnentemperatur von 20 °C und einer relativen Luftfeuchte von 50 % ist bei Einhaltung des Wertes $\geq 0,7$ gewährleistet, dass die relative Luftfeuchte an der Wandinnenfläche < 80 % bleibt und somit kein Schimmel entstehen kann. Ein f_{Rsi} -Wert $\geq 0,7$ entspricht einer Temperatur von $\theta_{\text{si}} \geq 12,6$ °C und gilt, wenn innen $\theta_{\text{i}} = 20$ °C und außen $\theta_{\text{e}} = -5$ °C angesetzt werden. Für den Nachweis gilt bei beheizten Räumen ein raumseitiger Wärmeübergangswiderstand von $R_{\text{si}} = 0,25$ (m²K)/W.

Der Temperaturfaktor f_{Rsi} berechnet sich wie folgt:

$$f_{\text{Rsi}} = \frac{\theta_{\text{si}} - \theta_{\text{e}}}{\theta_{\text{i}} - \theta_{\text{e}}}$$

θ_{i}	Innenlufttemperatur
θ_{e}	Außenlufttemperatur
θ_{si}	Oberflächentemperatur

Alle in DIN 4108 Beiblatt 2 aufgeführten Konstruktionsdetails erfüllen in der Regel den geforderten Mindestwärmeschutz, so dass kein gesonderter Nachweis erforderlich ist. Gleiches gilt für Gebäudedecken, deren Einzelkomponenten den Mindestwärmeschutz nach Tabelle 1 erfüllen.

4.2.5 Raumklima im Winter und im Sommer

Die klimatischen Bedingungen in Wohn- und Arbeitsräumen werden von Mensch zu Mensch unterschiedlich wahrgenommen. Ob dieser sich wohl und behaglich fühlt, hängt von zahlreichen äußeren Einflussgrößen ab, die sowohl von Lichtverhältnissen und psychologischen Faktoren als auch von thermischen und hygienischen Bedingungen bestimmt werden. Das sind:

- die Raumlufttemperatur
- die Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen
- die Wärmeableitung durch Fußbodenoberflächen
- die Luftgeschwindigkeit
- die relative Feuchte der Raumluft

Einen großen Einfluss haben die Raumluft- sowie die mittlere innere Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen. Ein behagliches Raumklima ist grundsätzlich dann vorhanden, wenn der Mittelwert dieser Größen 19 bis 20 °C beträgt und ihre Differenz 2 bis 3 K (°C) nicht überschreitet. Die raumumschließenden Flächen umfassen die Außen- und Innenwände eines Raums, den Fußboden und die Geschossdecke ebenso wie Möbel, Heizkörper und Fensterflächen. Ihre jeweilige Oberflächentemperatur wird gemäß ihrem Flächenanteil zur mittleren Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen hinzugerechnet.

Behagliches Raumklima und Energiesparen

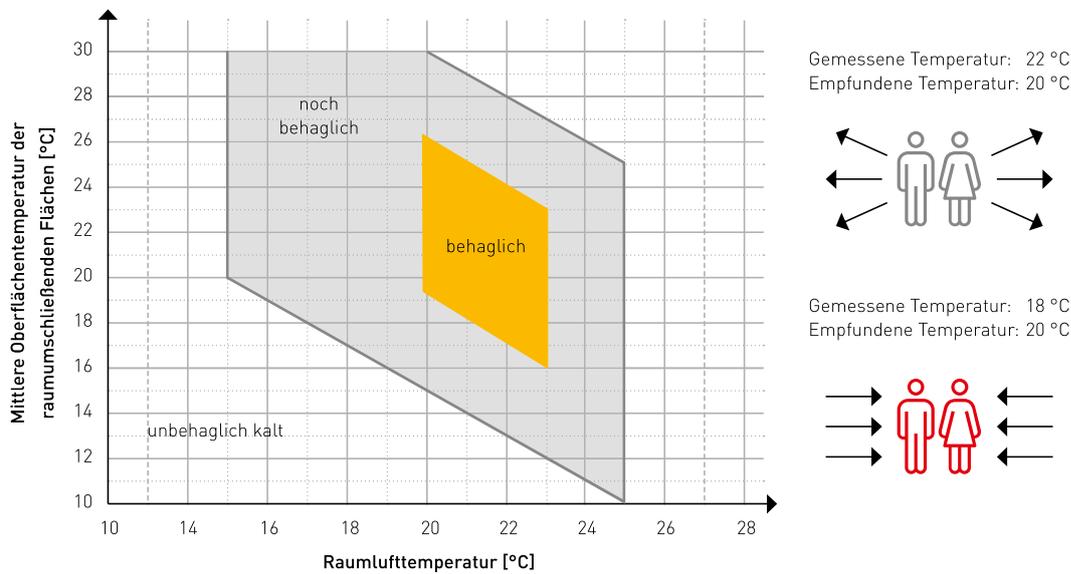
Raumlufttemperaturen lassen sich ohne Verlust an thermischer Behaglichkeit senken, indem man die inneren Oberflächentemperaturen der raumumschließenden Flächen entsprechend anhebt. Voraussetzung: ein verbesserter Wärmeschutz der Außenwände und Fensterflächen sowie weitestgehend minimierte Wärmebrücken.

Senkt man während der Heizperiode die Raumlufttemperatur um nur 1 K (°C), lassen sich rund 5 bis 6 % Heizenergie – und damit Kosten – einsparen. Außerdem sorgt ein verbesserter Wärmeschutz von Außenwänden durch raumseitig erhöhte Oberflächentemperaturen der Außenwände für niedrigere Raumlufttemperaturen – ohne an Behaglichkeit zu verlieren, dafür aber mit hohem Energieeinsparpotenzial.

Wärmespeicherung

Neben der Wärmedämmung sind auch die Wärmespeicherefähigkeit und das Auskühlverhalten eines Bauteils relevant für ein energiesparendes und klimaangepasstes Bauen. Während die Wärmedämmung den Transmissionswärmeverlust eines Hauses bestimmt, nimmt das Wärmespeicherverhalten insbesondere Einfluss auf die Stabilität des Raumklimas, was vor allem für den sommerlichen Wärmeschutz äußerst wichtig ist.

Abb. 1: Thermische Behaglichkeit bei sitzender Tätigkeit, mittlerer Aktivität und entsprechend angepasster Bekleidung als Funktion der mittleren Oberflächentemperatur der raumumschließenden Flächen und der Raumlufttemperatur



Nach W. Frank: „Raumklima und thermische Behaglichkeit“, Berichte aus der Bauforschung, Heft 104, Berlin (1975)

Die wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} von Baustoffen und Bauteilen ist gemäß DIN V 4108-6:2003-06 das Produkt ihrer spezifischen Wärmekapazität c , der Rohdichte ρ , der Bauteilfläche A und der wirksamen Bauteildicke d_{wirk} . Sie beeinflusst maßgeblich das Aufheiz- und Auskühlverhalten von Räumen. Je größer die Wärmespeicherfähigkeit der raumumschließenden Bauteile ist, desto langsamer heizen sie sich auf bzw. kühlen aus.

$$C_{\text{wirk}} = c \cdot \rho \cdot d_{\text{wirk}} \cdot A$$

- c Spezifische Wärmekapazität
- ρ Rohdichte
- d_{wirk} Bauteildicke
- A Bauteilfläche

Eine wichtige rechnerische Größe hierfür ist der Wärmeeindringkoeffizient b . Er ist die Wurzel des Produkts aus Wärmeleitfähigkeit λ der spezifischen Wärmekapazität c und der Rohdichte ρ . Je kleiner die Wärmeeindringzahl b der Raumbegrenzungsflächen ist, desto schneller heizt sich der Raum auf.

$$b = \sqrt{c \cdot \lambda \cdot \rho}$$

- c Spezifische Wärmekapazität
- λ Bemessungswert der Wärmeleitfähigkeit
- ρ Rohdichte

In Tabelle 1 sind die Wärmespeicherfähigkeit C und die Wärmeeindringzahl b für Ytong Porenbeton und Silka Kalksandstein abhängig von ihrer Rohdichte angegeben. Je größer die Wärmeeindringzahl b ist, desto träger reagiert der Raum auf Temperaturschwankungen.

4.2 Wärmeschutz

4.2.5 Raumklima im Winter und im Sommer

Tabelle 1: Raumklimatische Kenndaten

	Rohdichte [kg/m³]	λ [W/(mK)]	Spezifische Wärmekapazität c [J/(kgK)]	Wärmespeichervermögen C (Schichtdicke 100 mm) [J/(m²K)]	Wärme- eindringzahl b [J/(m²Ks ^{0.5})]
Ytong Porenbeton	300	0,07	1.000	30.000	145
	350	0,08		35.000	167
	350	0,09		35.000	177
	400	0,10		40.000	200
	500	0,10		50.000	224
	500	0,12		50.000	245
	600	0,16		60.000	310
Silka Kalksandstein	1.400	0,70	1.000	140.000	990
	1.600	0,79		160.000	1.124
	1.800	0,99		180.000	1.335
	2.000	1,10		200.000	1.483
	2.200	1,30		220.000	1.691
	2.600	1,90		260.000	2.223

Das Wärmespeichervermögen und die Wärmeeindringzahl sind damit Indikatoren für die thermische Trägheit von Baustoffen und Raumumschließungsflächen. Dies spielt nicht nur bei der Auskühl- und Aufheizzeit eine Rolle (beispielsweise bei unterbrochener oder intermittierender Heizung im Winter), sondern vor allem auch beim sommerlichen Wärmeschutz.

Sommerliches Raumklima

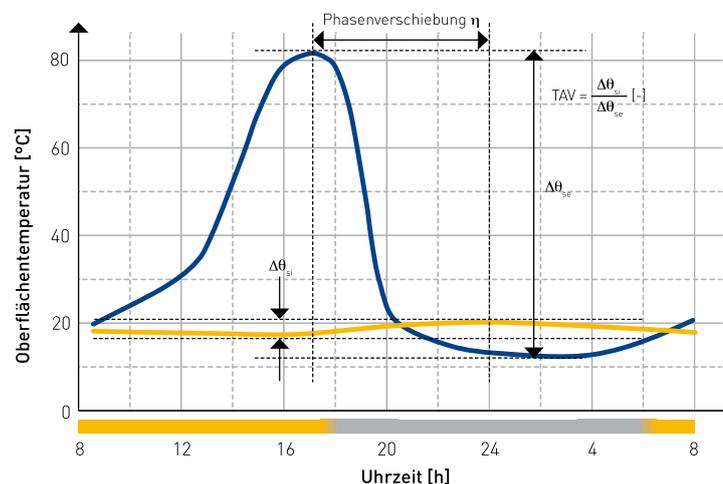
Das sommerliche Raumklima wird u. a. durch die eintreffende Wärme, die Speichervermögen der raumumschließenden Bauteile sowie die Nachtlüftung beeinflusst. Die eintreffende Wärme hängt dabei von der Größe und Orientierung der Fensterflächen, einer möglichen

Verschattung sowie der thermischen Durchlässigkeit opaker Außenbauteile ab. Von außen eindringende Wärme (aufgrund von Sonneneinstrahlung oder erhöhter Außenlufttemperatur) kann das Raumklima unangenehm beeinflussen. Besonders durch Fenster zugeführte Sonnenenergie ist mit Sonnenschutzmaßnahmen jedoch gut zu begrenzen.

Im Sommer sind Außenbauteile besonders hohen Temperaturschwankungen ausgesetzt – in Extremfällen kann die Oberflächentemperatur bis zu 70 °C betragen. Für ein angenehmes Raumklima ist es daher notwendig, große Schwankungen auf ein geringeres Temperaturniveau im Gebäudeinneren zu reduzieren.

Dieser Notwendigkeit trägt das Gebäudeenergiegesetz GEG Rechnung, indem dieses – abhängig von der Gebäudebauart – einen Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 fordert. Kombinationen aus Ytong Porenbeton und Silka Kalksand-

Abb. 2: Temperaturverläufe an der inneren und äußeren Oberfläche einer Porenbetonwand



stein gelten dabei als mittlere bis schwere Bauart, die sich positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirkt. Positive periodische Temperaturschwankungen setzen sich als Schwingungen durch das Bauteil fort, wobei die Temperaturamplitude abgeschwächt wird. Unter dem Temperaturamplitudenverhältnis TAV versteht man das Verhältnis der maximalen Temperaturschwankung an der inneren zur maximalen Schwankung an der äußeren Bauteiloberfläche. Die zeitliche Verzögerung der Wellenbewegung durch das Bauteil – also die Zeitspanne, in der eine Temperaturwelle von außen durch ein Bauteil ins Rauminnere gelangt – bezeichnet man als Phasenverschiebung oder -verzögerung η .

Je kleiner das Temperaturamplitudenverhältnis TAV, desto stärker die Temperaturdämpfung durch das Bauteil. Ein kleiner TAV-Wert begünstigt demnach den sommerlichen Wärmeschutz. Die Phasenverschiebung ist eng mit dem Temperaturamplitudenverhältnis verbunden: Ist das Temperaturamplitudenverhältnis klein, ist die Phasenverschiebung zumeist groß, der Einfluss auf die Behaglichkeit jedoch kaum spürbar. Ist der TAV-Wert wiederum relativ groß (0,70 bis 1,00), ist die Phasenverschiebung nur kurz, wodurch in der Regel ein unbehagliches Raumklima entsteht.

Sommerlicher Wärmeschutz

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes dient der Behaglichkeit für Bewohner bzw. Nutzer und ist eine wichtige planerische Aufgabe. Er wird im Rahmen der energetischen Betrachtung eines Gebäudes nach dem Gebäudeenergiegesetz gefordert. Es gilt, den Raum zu lokalisieren, in dem die sommerlichen Temperaturen ihre höchste Auswirkung zeigen. So schreibt die Norm DIN 4108-2 vor, dass der Nachweis mindestens für diesen Raum zu führen ist. Der Nachweis wird gemäß der Norm für die regionalen Sommerklimaregionen geführt, die drei verschiedene Verfahren unterscheidet:

- Entfall des Nachweises bei eingehaltenen Grenzwerten
- Vereinfachtes Nachweisverfahren mittels Tabellenwerten
- Dynamisch thermisches Simulationsverfahren

Soll der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes entfallen, ist planerisch folgendermaßen vorzugehen: Der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil f_{wG} als Quotient der Fensterfläche A_w bezogen auf die Nettogrundfläche A_G des Raums so zu wählen, dass er die jeweiligen Grenzwerte nach Tabelle 2 unterschreitet. Der Nachweis erfolgt je nach Orientierungsrichtung und Neigung der Fenster.

Tabelle 2: Grenzwerte für einen Verzicht des Nachweises des sommerlichen Wärmeschutzes

Neigung der Fenster gegenüber der Horizontalen	Orientierung der Fenster ¹⁾	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil ²⁾
		f_{wG} [%]
Über 60° bis 90°	Nord-West über Süd bis Nord-Ost	10
	Alle anderen Nordorientierungen	15
Von 0° bis 60°	Alle Orientierungen	7

¹⁾ Sind beim betrachteten Raum mehrere Orientierungen mit Fenster vorhanden, ist der kleinere Grenzwert für f_{wG} bestimmend.

²⁾ Der Fensterflächenanteil f_{wG} ergibt sich aus dem Verhältnis der Fensterfläche zur Grundfläche des betrachteten Raums oder der Raumgruppe. Sind dort mehrere Fassaden oder z. B. Erker vorhanden, ist f_{wG} aus der Summe aller Fensterflächen zur Grundfläche zu berechnen.

Innerhalb der DIN 4108-2 gibt es für Wohngebäude eine Sonderregelung zum Nachweisverfahren des sommerlichen Wärmeschutzes. Sofern hier der grundflächenbezogene Fensterflächenanteil des kritischen Raumes 35% nicht überschreitet und Fenster in Ost-, West- und Südorientierung über einen normativ nachgewiesenen außen liegenden Sonnenschutz verfügen, kann hier auf einen Nachweis verzichtet werden. Als normativ nachgewiesener Sonnenschutz gelten bei Sonnenschutzverglasungen ($g \leq 0,40$) außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen mit einem Abminderungsfaktor F_c kleiner gleich 0,35 und bei bauüblichen Verglasungen ($g > 0,40$) mit einem F_c -Wert kleiner gleich 0,30. In vielen Fällen kann hiermit der Nachweis für Wohngebäude auf recht einfache Art geführt werden.

Bei gewerblich genutzten Gebäuden und moderner Glasarchitektur von Wohngebäuden, die die Grenzwerte aus Tabelle 2 schnell überschreiten, ist mindestens der vereinfachte Nachweis nach DIN 4108-2 erforderlich. Hierbei wird nachgewiesen, dass der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} kleiner als der zulässige S_{zul} ist, wobei S_{vorh} von folgenden fünf Faktoren abhängt:

4.2 Wärmeschutz

4.2.5 Raumklima im Winter und im Sommer

- Fensterflächenanteil A_w
- Gesamtenergiedurchlassgrad g der Fensterflächen
- Nettogrundfläche A_G des betrachteten Raums
- Verglasungsarten (Zwei- und Dreifachverglasung)
- Sonnenschutzeinrichtungen (zwischen-, außen und innen liegend)

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} ergibt sich aus den Tabellenangaben zur Wirksamkeit der beiden letztgenannten Faktoren. Der Fensterflächenanteil wird unter Annahme eines 30%igen Rahmenanteils mit den lichten Rohbauöffnungsmaßen als Blendrahmenaußenmaß ohne Putz ermittelt. Bei Fensterelementen mit opaken Anteilen – z. B. aus Füllungen – wird nur der verglaste Fensterbereich angesetzt.

Um den zulässigen Sonneneintragskennwert S_{zul} zu ermitteln, sind ebenfalls die Tabellen der DIN 4108-2 notwendig, außerdem sieben ergänzende Faktoren:

- Klimazonen A/B/C in Deutschland nach Klimakarte aus DIN 4108-2
- Menge des Luftwechsels während der Nachtlüftung
- Einflüsse aus der Gebäudebauart
- Einsatz von Sonnenschutzgläsern
- Orientierung der Fenster
- Fensterneigung
- Einsatz passiver Kühlung (z. B. durch Kühldecken)

Insbesondere die Gebäudebauart beeinflusst den zulässigen Sonneneintragskennwert, wobei Massivgebäude eine mittlere bis schwere Bauart aufweisen und damit rechnerisch den erforderlichen Sonnenschutz reduzieren. Von leichter Bauart sprechen wir dann, wenn kein Nachweis zur wirksamen Wärmespeicherfähigkeit vorliegt und keine der vereinfachten Eigenschaften für mittlere oder schwere Bauart nachgewiesen sind.

- Mittlere Bauart:
 - Stahlbetondecke
 - Massive Innen- und Außenbauteile (mittlere Rohdichte $\geq 600 \text{ kg/m}^3$)
 - Keine innen liegende Wärmedämmung an den Außenbauteilen
 - Keine hohen Räume ($> 4,5 \text{ m}$) wie z. B. Turnhallen, Museen usw.
 - Keine abgehängte oder thermisch abgedeckte Decke
- Schwere Bauart:
 - Stahlbetondecke
 - Massive Innen- und Außenbauteile (mittlere Rohdichte $\geq 1.600 \text{ kg/m}^3$)
 - Keine innen liegende Wärmedämmung an den Außenbauteilen
 - Keine abgehängte oder thermisch abgedeckte Decke
 - Keine hohen Räume ($> 4,5 \text{ m}$) wie z. B. Turnhallen, Museen usw.

Die wirksame Wärmekapazität darf auch nach DIN EN ISO 13786 (Periodendauer 1 d) für den betrachteten Raum bzw. Raumbereich bestimmt werden, um die Bauart einzuordnen; dabei ist folgende Einstufung vorzunehmen:

- Leichte Bauart: $C_{\text{wirk}} / A_G < 50 \text{ Wh/(Km}^2\text{)}$
- Mittlere Bauart: $50 \text{ Wh/(Km}^2\text{)} \leq C_{\text{wirk}} / A_G \leq 130 \text{ Wh/(Km}^2\text{)}$
- Schwere Bauart: $C_{\text{wirk}} / A_G > 130 \text{ Wh/(Km}^2\text{)}$

Sind beide Größen bestimmt, kann der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes erbracht werden – sofern der Sonneneintragskennwert S_{vorh} kleiner gleich ist als der zulässige S_{zul} ($S_{\text{vorh}} \leq S_{\text{zul}}$).

Ist eine Anwendung des vereinfachten Verfahrens nicht möglich oder führt die bauliche Situation zu unbefriedigenden Ergebnissen, kann der Nachweis auch durch eine thermische Gebäudesimulation erfolgen. Hier wird dann zwischen der Nutzungsart als Wohn- oder Nichtwohngebäude und den normativ festgelegten Sommerklimaregionen unterschieden. Stundenweise werden hier die raumklimatischen Bedingungen ermittelt und dem Bezugswert der normativ festgeschriebenen Innentemperatur gegenübergestellt. Anhand der Übertemperaturgradstunden im kritischen Raum kann beurteilt werden, ob ein Gebäude die Anforderungen an den sommerlichen Wärmeschutz erfüllt. Wichtig ist hierbei, dass hierdurch keine Beurteilung der zulässigen Raumtemperaturen aus Arbeitssicht erfolgt.