



Kapitel 11

Stand: 01/2018

SOMMERLICHER WÄRMESCHUTZ

Prof. Dr.-Ing. Martin H. Spitzner, Hochschule Biberach und
Ingenieurbüro für Energie Bauphysik Projekte, München



1. Einleitung

Ein behagliches Raumklima wird neben der Raumluftqualität vor allem durch einen Faktor bestimmt – die Temperatur. Der Begriff, der in diesem Zusammenhang verwendet wird, ist die thermische Behaglichkeit. Sie stellt das Hauptkriterium für ein behagliches Raumklima dar und ist somit ein wesentliches Qualitätsmerkmal von Aufenthaltsräumen in Wohn- und Nichtwohngebäuden.

Eine angemessene thermische Behaglichkeit im Winter wird bereits seit etlichen Jahren über die Mindestanforderungen an den baulichen Wärmeschutz und die Anforderungen an den energiesparenden Wärmeschutz der Wärmeschutzverordnung bzw. der Energieeinsparverordnung sichergestellt.

Die thermische Behaglichkeit in den Sommermonaten ist mit Anforderungen und Nachweisverfahren für den sommerlichen Wärmeschutz hingegen erst seit der EnEV 2007 Bestandteil des Ordnungsrechts. Das Bewusstsein für die Erfordernisse des sommerlichen Wärmeschutzes sowie die Notwendigkeit, diesen

bereits von Beginn der Planung an zu berücksichtigen, ist vor diesem Hintergrund bei den am Bau Beteiligten nicht in gleichem Maße vorhanden wie im Falle des winterlichen Wärmeschutzes.

Angesichts des sich abzeichnenden Klimawandels, welcher voraussichtlich zu einer weiteren Zunahme von Extremwetterereignissen wie sommerlichen Hitzeperioden führen wird, ist abzu-sehen, dass die Bedeutung des sommerlichen Wärmeschutzes weiter zunehmen wird.

Vor diesem Hintergrund wird dem Thema des sommerlichen Wärmeschutzes im vorliegenden Planungshandbuch erstmals ein eigenes Kapitel gewidmet. Zunächst werden die grundlegenden Zusammenhänge und Einflussparameter dargestellt und die Nachweisverfahren erläutert. Darauf aufbauend wird anhand von Berechnungsbeispielen die Anwendung der Nachweisverfahren veranschaulicht und der Einfluss verschiedener Parameter, wie z.B. der Wärmespeicherfähigkeit der Bauteile, anschaulich dargestellt.

2. Sommerlicher Wärmeschutz von Aufenthaltsräumen

Das sommerliche Temperaturverhalten eines nicht klimatisierten Aufenthaltsraums, z.B. Wohnzimmer, Schlafzimmer oder Büroräume, wird maßgeblich von folgenden Faktoren bestimmt:

- Außenklima
- Sonneneinstrahlung
- Fensterfläche, -orientierung und -neigung
- Gesamtenergiedurchlassgrad der Fenster inklusive deren Sonnenschutz
- Lüftungs- und Wohnverhalten der Nutzer: Um das Raumklima behaglich kühl zu halten, müssen die Wärmezufuhr von außen (Nutzung der Verschattungseinrichtungen bei Sonnenschein) und der Wärmegewinn in den Räumen (Abwärme von Geräten, Belegungsdichte) möglichst gering sowie die Wärmeabfuhr nach außen (über erhöhte Nachtlüftung) möglichst groß gehalten werden.
- Wärmespeicherverhalten des betrachteten Raums: Es sollten Speichermassen (mit direktem Kontakt zur Raumluft) zur Verfügung stehen, um tagsüber den Anstieg der Raumtemperatur wirksam zu begrenzen.
- Baulicher Wärmeschutz (U-Wert) der Außenbauteile

Diese Aspekte sind vom Planer in der Gebäudekonzeption und der Planung zu berücksichtigen, und es sind entsprechende Vorkehrungen zu treffen, um möglichst durch bauliche Maßnahmen einen angenehmen thermischen Komfort im Sommer im Gebäude zu ermöglichen, und einen Kühlenergiebedarf zu vermeiden oder gering zu halten.

INFO

Gemäß EnEV ist der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 für alle beheizten Gebäude zu führen.

Im Rahmen des Nachweises nach Energieeinsparverordnung (EnEV) ist bei beheizten Gebäuden der Nachweis eines ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes nach DIN 4108-2 zu führen. Dafür steht in der Norm mit dem so genannten Sonneneintragskennwertverfahren ein einfaches Handrechenverfahren zur Verfügung, welches auch die Berücksichtigung verschieden schwerer Bauweisen, erhöhter Nachtlüftung und passiver Kühlung gestattet. Dieses Handrechenverfahren ist ein einfacher ingenieurmäßiger Nachweis unter Berücksichtigung der wichtigsten Einflussfaktoren. Er soll sicherstellen, dass im Sommer in Gebäuden auch ohne Kühlmaßnahmen keine unzumutbar hohen Temperaturen über längere Zeiträume auftreten. Das Verfahren kann nicht zur Auslegung einer Klimaanlage herangezogen werden.

Alternativ kann im Zuge der detaillierten Planung des Gebäudes eine genaue Berechnung der zu erwartenden sommerlichen Raumtemperaturen mittels einer dynamischen Gebäudesimulation vorgenommen werden. Soll damit auch der Nachweis des ausreichenden sommerlichen Wärmeschutzes gemäß DIN 4108-2 bzw. EnEV erfolgen, sind die in der Norm aufgeführten, standardisierten Berechnungsrandbedingungen und Annahmen zu verwenden, damit die Rechenergebnisse mit den zahlenmäßigen Mindestanforderungen der Norm verglichen werden können. Bei Wohngebäuden mit einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil des kritischen Raums $\leq 35\%$ und Rollläden an den Ost-, Süd- und Westfenstern kann generell auf eine Nachweisführung verzichtet werden. Der sommerliche Mindestwärmeschutz gilt dort pauschal als eingehalten.

Die Begrenzung der direkten Sonneneinstrahlung in den Raum ist die wichtigste Maßnahme zur Wahrung einer angenehmen Raumtemperatur im Sommer. Dies ist bereits bei der Grundkonzeption des Gebäudeentwurfs vom Planer zu berücksichtigen. Am einfachsten ist dies durch angemessene (nicht zu große) Fensterflächen und außenliegende Sonnenschutzvorrichtungen zu erreichen.

Besonders gefährdet hinsichtlich sommerlicher Überhitzung sind Räume, bei denen eine starke Sonneneinstrahlung (z.B. große Süd- bis Westfenster) und geringe Speichermassen (z.B. Großraumbüros, Räume mit abgehängter Decke, Räume mit weniger oder leichten Innenbauteilen, Räume im Dachgeschoss) zusammenkommen. Bei innengedämmten Bauteilen wird die Wärmespeicherfähigkeit des Bauteils durch die Innendämmung vom Raum abgekoppelt, das Bauteil steht nicht mehr als Wärmepuffer im Raum zur Verfügung. Abgehängte Decken, dicke Teppiche etc. haben einen ähnlichen Effekt. Es sollte darauf geachtet werden, dass genügend schwere Bauteile mit direkter Raumanbindung als Speichermasse verbleiben.

Einen praktisch vernachlässigbaren Einfluss auf die sommerliche Raumtemperatur hat die Materialart der Wärmedämmung.

Der Einfluss beträgt im Massivbau nur wenige Zehntel Grad und im Leichtbau bis zu etwa ein Grad. Dies liegt darin begründet, dass der Energieeintrag durch die (gut gedämmten) opaken Bauteilflächen völlig unerheblich ist gegenüber jenem durch die Fenster.

Im sommerlichen Wärmeschutz liegen klare Vorteile der KS-Funktionswand mit außenliegender Wärmedämmung. Aufgrund der viel größeren Speichermasse der KS-Außen- und Innenwände kommt es im Sommer in Gebäuden in Massivbauweise signifikant seltener, oder gar nicht, zu unangenehmen Überhitzungserscheinungen als in Gebäuden in Leichtbauweise.

INFO

Hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes kann die Massivbauweise mit schweren Wänden ($RDK \geq 1,8$) in Kombination mit Betondecken pauschal als „schwere Bauweise“ nach DIN 4108-2 bewertet werden. Die schwere KS-Bauweise wirkt sich hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes positiv aus, erleichtert die Nachweisführung deutlich und trägt erheblich zur Steigerung der thermischen Behaglichkeit bei.

3. Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes

mit dem Sonneneintragskennwertverfahren nach DIN 4108-2

3.1 Überblick

Für den Nachweis steht in der Norm ein einfaches Handrechenverfahren, das so genannte Sonneneintragskennwertverfahren, zur Verfügung, welches trotz seiner Einfachheit eine gute Übereinstimmung mit einer aufwändigeren Gebäudesimulation aufweist. Es handelt sich um ein Nachweisverfahren mit standardisierten Randbedingungen.

Es ist anwendbar für übliche Raumsituationen in Wohngebäuden und typische Aufenthaltsräume in Nichtwohngebäuden. Nicht anwendbar ist das Sonneneintragskennwertverfahren, wenn die nachzuweisenden Räume oder Raumbereiche in Verbindung mit Doppelfassaden oder transparenten Wärmedämmsystemen (TWD) stehen. Auch im Fall von sehr hohen Räumen (z.B. Hallen) oder mehrgeschossigen, nicht abgetrennten Raumsituationen kann die Anwendung nicht empfohlen werden. Für solche Situationen kann der sommerliche Wärmeschutznachweis mittels einer dynamischen Gebäudesimulation erfolgen. Dafür listet die Norm zu verwendende, standardisierte Rechenrandbedingungen auf.

Für den Nachweis wird generell nur der kritische Raum betrachtet. Ist dort die Anforderung eingehalten, gilt die Einhaltung auch für alle anderen Räume des Gebäudes. Bestehen Zweifel, welcher der Räume der kritische ist, weist man die zwei oder drei ungünstigsten Räume nach.

Das vereinfachte Verfahren beruht auf dem Vergleich eines so genannten vorhandenen Sonneneintragskennwerts S_{vorh} mit einem zulässigen Höchstwert S_{zul} . Der vorhandene Sonneneintragskennwert wird in Abhängigkeit von der Fensterfläche, dem Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung, der Abminderung durch Verschattungseinrichtungen, und der Grundfläche des Raums bestimmt. Für S_{zul} werden Teilkennwerte für verschiedene Aspekte des betrachteten Raums addiert. Das Verfahren kann verschieden hohe Nachtlüftungen sowie den Einfluss von passiver Kühlung abbilden.

INFO

Ein Nachweisprogramm zum sommerlichen Wärmeschutz findet sich unter www.kalksandstein.de/downloads

Der Nachweis des sommerlichen Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 kann einfach mit Hilfe des KS-Nachweisprogramms zum sommerlichen Wärmeschutz [1] geführt werden.

3.2 Ausnahmen von der Nachweisführung

Bei Wohngebäuden mit einem grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil des kritischen Raums $\leq 35\%$ und Rollläden an den Ost-, Süd- und Westfenstern darf generell auf einen rech-

nerischen Nachweis verzichtet werden. Ähnliches gilt für Räume hinter unbeheizten, zum Aufenthaltsraum hin abgeschlossenen Glasanbauten, wenn der unbeheizte Glasvorbau einen Sonnenschutz mit einem Abminderungsfaktor $F_C \leq 0,35$ und Lüftungsöffnungen im obersten und untersten Glasbereich hat, die zusammen mindestens 10 % der Glasfläche ausmachen, und der dahinterliegende nachzuweisende Raum nur über den Glasvorbau belüftet wird.

Nicht geführt werden kann der Nachweis nach dem vereinfachten Verfahren bei Räumen mit Doppelfassaden oder transparenten Wärmedämmsystemen (TWD).

3.3 Ablauf des Verfahrens

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} des ungünstigsten Raums darf den zulässigen Wert S_{zul} für diesen Raum nicht überschreiten, d.h. die Einhaltung folgender Forderung ist nachzuweisen:

$$S_{vorh} \leq S_{zul} \quad (3.1)$$

Der Nachweis ist erbracht, wenn $S_{vorh} \leq S_{zul}$ zutrifft. Werden im Rahmen des sommerlichen Wärmeschutznachweises die Planungsdaten des Gebäudes geändert, wie z.B. g -Werte oder Fenstergrößen, müssen diese Änderungen auch in die Berechnung des Energiebedarfs im Winter (EnEV-Nachweis) übernommen werden.

Für die Nachweisführung des sommerlichen Wärmeschutzes mit dem Sonneneintragskennwertverfahren kann wie folgt vorgegangen werden:

- Fensterflächen und Nettogrundfläche des Raums ermitteln
- g - und F_C -Werte festlegen oder aus Herstellerangaben entnehmen
- S_{vorh} bestimmen
- Klimaregion festlegen
- Einstufung der Bauart (leicht/mittel/schwer) entweder pauschal oder rechnerisch vornehmen
- S_{zul} unter Berücksichtigung der weiteren Einflussgrößen (Art der Nachtlüftung, Vorliegen passiver Kühlung oder Sonnenschutzverglasung etc.) bestimmen
- Einhaltung von $S_{vorh} \leq S_{zul}$ prüfen

3.4 Vorhandener Sonneneintragskennwert

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} wird bestimmt durch:

- Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG} : das Verhältnis der Fensterflächen A_w (ggf. inklusive Dachflächenfenster) zur Nettogrundfläche A_G des betrachteten Raums oder Raumbereichs

Tafel 1 Typische Standardwerte und Spannen für den Gesamtenergiedurchlassgrad von Gläsern, für die Vordimensionierung (Die Verwendung produktspezifischer Werte wird empfohlen, vor allem bei Sonnenschutzglas.)

Glas	g -Wert Standardwert	g -Wert Spanne ca.
Einfachglas	0,87	–
Doppelverglasung mit Luftzwischenraum	0,75	–
Zweischeiben-Isolierglas	0,60	0,53 bis 0,72
Dreischeiben-Isolierglas	0,50	0,46 bis 0,55
Sonnenschutzglas zweifach	0,40	0,27 bis 0,48
Sonnenschutzglas dreifach	0,25	0,16 bis 0,34

- Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasung g : gemäß Herstellerangabe ($g = g_{\perp}$); übliche Standardwerte für eine überschlägige Abschätzung finden sich in Tafel 1.
- Abminderungsfaktor F_C der Verschattungseinrichtung: Anhaltswerte für die Abminderungsfaktoren F_C von fest installierten Verschattungseinrichtungen werden in Tabelle 7 der DIN 4108-2 (Tafel 2) genannt; Vorsprünge und bauliche Verschattungen dürfen alternativ nach DIN V 18599-2 berücksichtigt werden.
- Gesamtenergiedurchlassgrad g_{tot} : fasst den Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasungen g und den Abminderungsfaktor F_C der Verschattungseinrichtungen zusammen; $g_{tot} = g \cdot F_C$. Anstelle der Anhaltswerte für g und F_C können produktspezifische Herstellerangaben für g_{tot} verwendet werden.

Mit diesen Angaben ergibt sich der vorhandene Sonneneintragskennwert:

$$S_{vorh} = \frac{\sum (A_{W,j} \cdot g_{tot,j})}{A_G} \quad (3.2)$$

mit:

$A_{W,j}$: Fensterflächen des betrachteten Raums

$g_{tot,j}$: Gesamtenergiedurchlassgrad der Verglasungen einschließlich Sonnenschutz des betrachteten Raums

A_G : Nettogrundfläche des betrachteten Raums oder Raumbereichs.

3.5 Zulässiger Sonneneintragskennwert

Demgegenüber ergibt sich der zulässige Sonneneintragskennwert als Summe von verschiedenen anteiligen Sonneneintragskennwerten S_1 bis S_x , die, je nach Sommerklimaregion, in der das Gebäude steht, tabelliert sind, siehe Tafel 3.

$$S_{zul} = \sum S_x \quad (3.3)$$

mit:

S_x : Anteiliger Sonneneintragskennwert nach Tafel 3

Tafel 2 Anhaltswerte für Abminderungsfaktoren F_c von fest installierten Sonnenschutzvorrichtungen in Abhängigkeit vom Glasererzeugnis nach DIN 4108-2 [2] Tabelle 7

Sonnenschutzvorrichtung ¹⁾	F_c		
	$g \leq 0,40$ (Sonnenschutzglas) zweifach	$g > 0,40$ dreifach	$g > 0,40$ zweifach
Ohne Sonnenschutzvorrichtung	1,00	1,00	1,00
Innenliegend oder zwischen den Scheiben ²⁾			
Weiß oder hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz ³⁾	0,65	0,70	0,65
Helle Farben oder geringe Transparenz ⁴⁾	0,75	0,80	0,75
Dunkle Farben oder höhere Transparenz	0,90	0,90	0,85
Außenliegend mit Fensterläden, Rollläden			
Fensterläden, Rollläden, $\frac{3}{4}$ geschlossen	0,35	0,30	0,30
Fensterläden, Rollläden, geschlossen ⁵⁾	0,15 ⁵⁾	0,10 ⁵⁾	0,10 ⁵⁾
Außenliegend mit Jalousie und Raffstore, drehbaren Lamellen			
Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 45° Lamellenstellung	0,30	0,25	0,25
Jalousie und Raffstore, drehbare Lamellen, 10° Lamellenstellung ⁵⁾	0,20 ⁵⁾	0,15 ⁵⁾	0,15 ⁵⁾
Außenliegend mit Markisen, parallel zu Verglasung ⁴⁾	0,30	0,25	0,25
Außenliegend mit Vordächern, Markisen allgemein, freistehenden Lamellen ⁵⁾	0,55	0,50	0,50

¹⁾ Die Sonnenschutzvorrichtung muss fest installiert sein. Übliche dekorative Vorhänge gelten nicht als Sonnenschutzvorrichtung.
²⁾ Für innen- und zwischen den Scheiben liegende Sonnenschutzvorrichtungen ist eine genaue Ermittlung zu empfehlen.
³⁾ Hoch reflektierende Oberflächen mit geringer Transparenz: Transparenz $\leq 10\%$. Reflexion $\geq 60\%$
⁴⁾ Geringe Transparenz: Transparenz $< 15\%$
⁵⁾ F_c -Werte für geschlossenen Sonnenschutz dienen der Information und sollten für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nicht verwendet werden. Ein geschlossener Sonnenschutz verdunkelt den dahinterliegenden Raum stark und kann zu einem erhöhten Energiebedarf für Kunstlicht führen, da nur ein sehr geringer bis kein Einfall des natürlichen Tageslichts vorhanden ist.
⁶⁾ Dabei muss sichergestellt werden, dass keine direkte Besonnung des Fensters erfolgt. Dies ist näherungsweise der Fall, wenn
– bei Südorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 50^\circ$ ist;
– bei Ost- und Westorientierung der Abdeckwinkel $\beta \geq 85^\circ$ ist, $\gamma \geq 115^\circ$ ist.
Der F_c -Wert darf auch für beschattete Teilflächen des Fensters angesetzt werden. Dabei darf F_s nach DIN V 18599-2:2011-12, A.2 nicht angesetzt werden. Zu den jeweiligen Orientierungen gehören Winkelbereiche von $22,5^\circ$. Bei Zwischenorientierungen ist der Abdeckwinkel $\beta \geq 80^\circ$ erforderlich. Der Abdeckwinkel ist der Winkel vom Rand der Glasfläche zur äußersten Spitze des Vordachs/des Vorsprungs/der Markise.

Tafel 3 Anteilige Sonneneintragskennwerte zur Bestimmung des zulässigen Sonneneintragskennwerts nach DIN 4108-2 [2] Tabelle 8

Anteiliger Sonneneintragskennwert S_x nach Klimaregionen in Wohngebäuden						
S_x	Bedingungen		Klimaregion			
S_1	Nachtlüftung nach Bauart	Bauart	A	B	C	
		Ohne	Leicht	0,071	0,056	0,041
		Mittel	0,080	0,067	0,054	
	Erhöhte Nachtlüftung mit $n \geq 2h^{-1}$	Leicht	0,087	0,074	0,061	
		Mittel	0,098	0,088	0,078	
		Schwer	0,114	0,103	0,092	
	Hohe Nachtlüftung mit $n \geq 5h^{-1}$	Leicht	0,125	0,113	0,101	
		Mittel	0,128	0,117	0,105	
		Schwer	0,160	0,152	0,143	
S_2	Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil f_{WG}	$S_2 = a - (b \cdot f_{WG})$	a	0,060		
			b	0,231		
S_3	Sonnenschutzglas					
S_3	Fenster mit Sonnenschutzglas mit $g \leq 0,4$			0,03		
S_4	Fensterneigung					
S_4	$0^\circ \leq \text{Neigung} \leq 60^\circ$ (gegenüber der Horizontalen)				$-0,035 f_{neig}$	
S_5	Orientierung					
S_5	Nord-, Nordost und Nordwest-orientierte Fenster soweit die Neigung gegenüber der Horizontalen $> 60^\circ$ ist sowie Fenster, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind				$+0,10 f_{nord}$	
S_6	Einsatz passiver Kühlung nach Bauart	Bauart				
		Leicht		0,02		
		Mittel		0,04		
	Schwer		0,06			

3.5.1 Klimaregion

DIN 4108-2 enthält eine Klimakarte zur Zuordnung des Standorts zu einer der Sommerklimaregionen, welche auf den aktuellen Testreferenzjahren basiert. Die Sommerklimaregionen werden mit A, B und C bezeichnet. Kann die Zuordnung aus der Karte nicht eindeutig erkannt werden, wird die höhere der beiden fraglichen Klimaregionen genommen (B statt A, C statt A oder B). Die Karte beruht auf dem Zusammenwirken der Einflussgrößen Lufttemperatur und solare Einstrahlung und berücksichtigt die Adaption des Menschen an das in seiner Gegend vorherrschende Sommerklima (Bild 1).

3.5.2 Bauart

Einstufung der Bauart hinsichtlich ihrer Wärmespeicherfähigkeit

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird pauschal mit „leichter Bauart“ geführt, sofern die Bauart nicht individuell durch Ermittlung der auf die Nettogrundfläche (A_G) bezogenen wirksamen Wärmespeicherfähigkeit (C_{wirk}) nach DIN V 4108-6 eingestuft wird, oder die Bauart nicht pauschal nach Tabelle 8 Fußnote b der DIN 4108-2 eingestuft werden kann. Ein Beispiel für die individuelle Ermittlung von C_{wirk}/A_G und die Einstufung der Bauart findet sich in Abschnitt 4.

Pauschale Ermittlung der Bauweise

DIN 4108-2 definiert entsprechende Kriterien, nach denen eine einfache Einstufung der Bauart erfolgen kann, ansonsten ist standardmäßig (auf der sicheren Seite liegend) eine leichte Bauart anzunehmen. Räume mit Innendämmung oder abgehängten Decken, sowie hohe Räume ($> 4,5$ m, wie z.B. Turnhallen, Museen) gelten ebenfalls als leichte Bauweise.

Von einer mittelschweren Bauart darf pauschal ausgegangen werden, wenn die folgenden Kriterien erfüllt sind:

- Stahlbetondecke
- Außen- und Innenbauteile mit einer flächenanteilig gemittelten Rohdichte $\geq 600 \text{ kg/m}^3$
- Keine hohen Räume und keine abgehängte oder thermisch getrennte Decke

Eine schwere Bauart darf pauschal angesetzt werden, wenn die folgenden Kriterien erfüllt sind:

- Stahlbetondecke
- Keine hohen Räume und keine abgehängte oder thermisch getrennte Decke
- Massive Außen- und Innenbauteile mit einer flächenanteilig gemittelten Rohdichte $\geq 1.600 \text{ kg/m}^3$

Gebäude mit Innen- und Außenwänden aus Kalksandstein-Mauerwerk mit Stahlbetondecken weisen vielfach flächenanteilig gemittelte Rohdichten von über 1.800 kg/m^3 auf; sie gelten somit als schwere Bauart.

INFO

Gebäude aus Kalksandstein-Vollsteinen mit Stahlbetondecken sind generell als schwere Bauart einzustufen.



Bild 1 Sommerklimaregionen nach DIN 4108-2

Rechnerische Ermittlung der Bauweise

Sind die oben genannten Kriterien zur pauschalen Einstufung der Bauweise nicht eingehalten, ist eine genaue rechnerische Ermittlung in Abhängigkeit von der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} der geplanten Bauteile des Raums erforderlich, sofern nicht die leichte Bauweise angesetzt werden soll. Dabei geht die spezifische Wärmekapazität der Baustoffe ein. In Tafel 4 ist die spezifische Wärmekapazität üblicher Bau- und Dämmstoffe dargestellt. Detaillierte Angaben finden sich in DIN EN ISO 10456.

Generell tragen nur die raumnahen Schichten der Bauteile zum Puffern solarer Energie im Tagesgang bei. Die tiefer im Bauteil liegenden Bereiche wirken sich aufgrund der thermischen Trägheit praktisch nicht bei der Pufferung aus.

Wärmedämmschichten (z.B. auf abgehängten Decken) schützen dahinter liegende Speichermassen ab. Zur genauen Berechnung werden die nutzbaren Wärmespeicherfähigkeiten für alle Bauteilinnenflächen des Raums summiert, wobei gilt:

- Von Außenbauteilen werden nur die raumseitigen 10 cm als maximal wirksame Dicke berücksichtigt (Bild 2).
- Innenbauteile, die weniger als 20 cm Dicke aufweisen und an Nachbarräume grenzen, werden bis zur Wandmitte berücksichtigt.
- Von Innenbauteilen, die mehr als 20 cm Dicke aufweisen und an Nachbarräume grenzen, werden nur die raumseitigen 10 cm als maximal wirksame Dicke berücksichtigt.
- Bei Innenbauteilen, die ganz innerhalb des betrachteten Raums liegen, werden beide Seiten wie Innenbauteile zu anderen Räumen behandelt.
- Bei Dämmschichten mit $\lambda < 0,10 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$ in den ersten 10 cm des Bauteils werden nur die Schichten zwischen der Raumluft und der ersten Dämmschicht im Bauteil berücksichtigt.

Für alle berücksichtigungsfähigen Schichten werden jeweils Dicke, Rohdichte, spezifische Wärmekapazität und Fläche multipliziert, und für alle Raumumschließungsflächen aufsummiert. Die so ermittelte wirksame Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} des Raums wird auf die Nettogrundfläche A_G des Raums bezogen, um die Bauart des Raums einzustufen, siehe Tafel 5.

3.5.3 Nachtlüftung

Bei Ein- und Zweifamilienhäusern kann standardmäßig die Möglichkeit zur erhöhten Nachtlüftung angenommen werden. Ist eine Lüftungsanlage vorhanden, so kann die erhöhte Nachtlüftung angesetzt werden, wenn ein nächtlicher Luftwechsel von $n = 2 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt ist.

Besteht die Möglichkeit eine geschossübergreifende Nachtlüftung zu nutzen, z.B. über ein angeschlossenes Atrium, Treppenhaus oder eine Galerieebene, kann eine hohe Nachtlüftung angesetzt werden. Ist eine Lüftungsanlage vorhanden, so kann die hohe Nachtlüftung angesetzt werden, wenn ein nächtlicher Luftwechsel von $n = 5 \text{ h}^{-1}$ sichergestellt ist.

Tafel 4 Spezifische Wärmekapazität c von Baustoffen

Material/Baustoff	Spezifische Wärmekapazität c [J/(kg·K)]
Kalksandstein	1.000
Beton	1.000
Anorganische Dämmstoffe	1.000
Organische Dämmstoffe	1.300 bis 1.800
Holz und Holzwerkstoffe	1.600 bis 1.700
Kunststoffe	900 bis 2.200

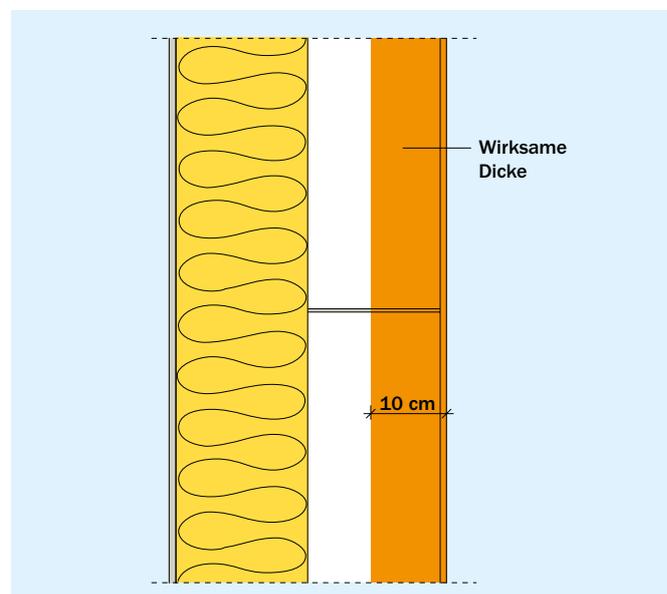


Bild 2 Wirksame Dicke für die Ermittlung der Wärmespeicherfähigkeit

Tafel 5 Einstufung der Bauart in Abhängigkeit von der Speicherfähigkeit des Raums

Bauart	Wirksame Wärmespeicherfähigkeit $C_{\text{wirk}} /$ Nettogrundfläche A_G
Leichte Bauart	$C_{\text{wirk}} / A_G < 50 \text{ Wh}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Mittlere Bauart	$C_{\text{wirk}} / A_G = 50\text{--}130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
Schwere Bauart	$C_{\text{wirk}} / A_G > 130 \text{ Wh}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

3.5.4 Weitere Fenstereigenschaften

In S_{zul} werden als weitere Fenstereigenschaften des kritischen Raums das eventuelle Vorhandensein von Sonnenschutzglas mit $g \geq 0,40$, einer Fensterneigung zwischen 0° und 60° gegenüber der Horizontalen sowie einer Fensterausrichtung nach Norden berücksichtigt. Sind in dem nachzuweisenden Raum Fenster mit unterschiedlicher Verglasung, Fensterneigung und -orientierung vorhanden, so kann nach DIN 4108-2 Tabelle 8 eine flächenanteilige Ermittlung erfolgen. Für vom Gebäude selbst verschattete Fenster ist gemäß DIN 4108-2 Tabelle 8 eine Bestimmung der F_g -Werte nach DIN V 18599-2:2011-12 möglich.

Für die Bestimmung des anteiligen Sonneneintragskennwerts der Fensterneigung und -orientierung ist die Bestimmung der Faktoren f_{neig} und f_{nord} erforderlich:

$$f_{neig} = \frac{A_{W,neig}}{A_{W,gesamt}} \quad (3.4)$$

mit:

$A_{W,neig}$: Geneigte Fensterfläche des Raums
 $A_{W,gesamt}$: Gesamte Fensterfläche des Raums

$$f_{nord} = \frac{A_{W,nord}}{A_{W,gesamt}} \quad (3.5)$$

mit:

$A_{W,nord}$: Nord-, Nordost- und Nordwest-orientierte Fensterfläche (Neigung > 60°) sowie Fensterflächen, die dauernd vom Gebäude selbst verschattet sind
 $A_{W,gesamt}$: Gesamte Fensterfläche des Raums

3.5.5 Passive Kühlung

Sofern vorhanden, kann beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes eine passive Kühlung berücksichtigt werden. Hierunter versteht die Norm eine Kühlung, bei welcher ein Energieaufwand praktisch nur für den Transport des Kühlmediums anfällt (z.B. Bauteilaktivierung in Kombination mit Erdwärmetauscher oder ähnliche Systeme), aber nicht für die Kühlung des Mediums (z.B. maschinelle Kühlung mittels Kühlturm, Kälteaggregat, Eisspeicher etc.)

4. Beispiel: Vergleichsrechnungen zum sommerlichen Wärmeschutz

4.1 Beispielräume

Der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes wird für ein Wohn- und ein Arbeitszimmer im Dachgeschoss eines Mehrfamilienwohnhauses aus Kalksandstein mit Flachdach, das sich in der Klimaregion B befindet, durchgeführt (Bild 3). Der Nachweis erfolgt sowohl mittels Sonneneintragskennwertverfahren als auch mittels thermisch-dynamischer Gebäudesimulation und bei beiden Nachweisverfahren für die drei unterschiedlichen Bauarten schwer, mittel und leicht. Außerdem wird die Art der Nachtlüftung variiert (ohne Nachtlüftung, erhöhte Nachtlüftung).

Die **Flächenermittlung** für den Raum Wohnen erfolgt in Tafel 6. Die Flächenermittlung für das Arbeitszimmer erfolgt analog (nicht dargestellt).

Variantevergleich Bauart

Zum Vergleich wird der Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes für die beiden Räume für jeweils drei Bauartvarianten geführt:

- schwer (Variante I, Bauteilaufbauten siehe Tafel 7)
- mittel (Variante II, Bauteilaufbauten siehe Tafel 8)
- leicht (Variante III, Bauteilaufbauten siehe Tafel 9)

Die Ermittlung der raumflächenbezogenen wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirrk}/A_G für die drei Varianten für das Wohnzimmer erfolgt in Tafel 10. Zur besseren Vergleichbarkeit werden für den Variantenvergleich nur die Wand- und Dachaufbauten variiert, und es wird jeweils mit gleichen Innenraummaßen gerechnet.

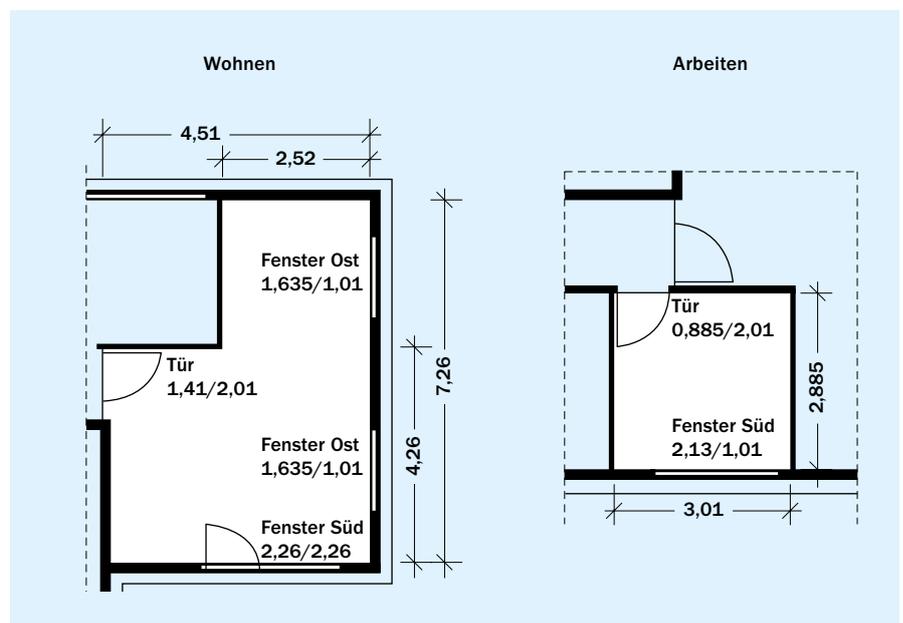


Bild 3 Beispielräume für den sommerlichen Wärmeschutznachweis (Wohnen und Arbeiten)

Tafel 8 Beschreibung der Bauteile für Variante II, KS-Außenwände mit leichten Innenbauteilen und Holzbalkendecken (mittlere Bauart)

Mittlere Bauart = $(c \cdot \rho \cdot d_{\text{wirk}}) \cdot 1.000 / 3.600$		d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{\text{wirk}} / A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m²·K)]
Bauteil 1: Außenwand (Nord, Ost und Süd)	Gipsputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,01	3,89
	KS-Mauerwerk, RDK 1,8	0,175	0,990	1,0	1.700	0,09	42,50
	PS-Hartschaum	0,200	0,035	1,5	20	0,00	0,00
	Außenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
		0,395				0,10	46,39
Bauteil 2: Innenwände	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Mineralwolle	0,075	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
			0,100				0,01
Bauteil 3: Boden	Fliesen	0,020	1,000	1,0	2.000	0,02	11,11
	Estrich	0,040	1,100	1,0	1.900	0,04	21,11
	Trittschalldämmung	0,060	0,040	1,5	20	0,00	0,00
	Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,00	0,00
	Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
			0,330				0,06
Bauteil 4: Decke	Gipsfaserplatte	0,13	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Holz + Spanplatte	0,040	0,130	1,6	500	0,00	0,00
	Mineralwolle	0,220	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Holzfaserdämmplatte	0,022	0,045	2,1	250	0,00	0,00
			0,295				0,01
Bauteil 5: Tür	Holz	0,040	0,130	1,6	500	0,02	4,44
						0,02	4,44
Summe							90,69

Tafel 9 Beschreibung der Bauteile für Variante III, leichte Außen- und Innenbauteile mit Holzbalkendecken (leichte Bauart)

Leichte Bauart = $(c \cdot \rho \cdot d_{\text{wirk}}) \cdot 1.000 / 3.600$		d [m]	λ [W/(m·K)]	c [kJ/kg·K]	ρ [kg/m³]	d_{wirk} [m]	$C_{\text{wirk}} / A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m²·K)]
Bauteil 1: Außenwand (Nord, Ost und Süd)	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Mineralwolle	0,040	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Gipsfaserplatte	0,015	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
	Mineralwolle	0,240	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	MDF-Wolle	0,015	0,120	1,7	600	0,00	0,00
		0,323				0,01	3,82
Bauteil 2: Innenwände	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Mineralwolle	0,075	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,00	0,00
			0,100				0,01
Bauteil 3: Boden	Fliesen	0,020	1,000	1,0	2.000	0,02	11,11
	Estrich	0,040	1,100	1,0	1.900	0,04	21,11
	Trittschalldämmung	0,060	0,040	1,5	20	0,00	0,00
	Beton	0,200	2,000	1,0	2.400	0,00	0,00
	Innenputz	0,010	0,700	1,0	1.400	0,00	0,00
			0,330				0,06
Bauteil 4: Decke	Gipsfaserplatte	0,013	0,320	1,1	1.000	0,01	3,82
	Holz + Spanplatte	0,040	0,130	1,6	500	0,00	0,00
	Mineralwolle	0,220	0,035	1,0	16	0,00	0,00
	Holzfaserdämmplatte	0,022	0,045	2,1	250	0,00	0,00
			0,295				0,01
Bauteil 5: Tür	Holz	0,040	0,130	1,6	500	0,02	4,44
						0,02	4,44
Summe							48,13

Tafel 10 Ermittlung der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit für den Raum Wohnen

	Variante I			Variante II			Variante III		
	$\sum C_{\text{wirk}}/A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m ² ·K)]	A [m ²]	$C_{\text{wirk, 10cm}}$	$\sum C_{\text{wirk}}/A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m ² ·K)]	A [m ²]	$C_{\text{wirk, 10cm}}$	$\sum C_{\text{wirk}}/A_{\text{Bauteil}}$ [Wh/(m ² ·K)]	A [m ²]	$C_{\text{wirk, 10cm}}$
Außenwände	46,39	27,31	1.267	46,39	27,31	1.267	3,82	27,31	104
Innenwände	31,04	19,27	598	3,82	19,27	74	3,82	19,27	74
Boden	32,22	26,77	863	32,22	26,77	863	32,22	26,77	863
Decke	66,67	26,77	1.785	3,82	26,77	102	3,82	26,77	102
Tür	4,44	4,04	18	4,44	4,04	18	4,44	4,04	18
		Summe	4.530		Summe	2.323		Summe	1.161
		A_G	26,77		A_G	26,77		A_G	26,77
		C_{wirk}/A_G	169		C_{wirk}/A_G	87		C_{wirk}/A_G	43
	> 130 Wh/(m ² ·K): schwere Bauart			> 50 < 130 Wh/(m ² ·K): mittlere Bauart			< 50 Wh/(m ² ·K): leichte Bauart		

4.2 Nachweis mit dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren

Für das betrachtete Beispielgebäude in Klimaregion B wird eine Berechnung für alle Bauartvarianten nach dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren gemäß DIN 4108:2013-02 mit Hilfe des KS-Nachweisprogramms zum sommerlichen Wärmeschutz [1] durchgeführt.

Die angesetzten Randbedingungen für die Berechnung nach dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren werden im Folgenden exemplarisch für das untersuchte Wohnzimmer aufgezeigt.

Der vorhandene Sonneneintragskennwert S_{vorh} ergibt sich aus Gleichung (3.2), Abschnitt 3.4 in Abhängigkeit von

- Fensterflächen (unterschieden nach der Orientierung, siehe Bild 3 und Tafel 6),
- Gesamtenergiedurchlassgrad g des jeweiligen Glases ($g = 0,58$),

- Abminderungsfaktor F_C für Sonnenschutzeinrichtungen des jeweiligen Fensters ($F_C = 0,5$),

- Netto-Grundfläche A_G (Bild 3)

zu 0,091 für das Wohnzimmer und 0,072 für das Arbeitszimmer.

Der zulässige Sonneneintragskennwert wird in Tafel 11 für den Fall ohne erhöhte Nachtlüftung ermittelt (je nach Bauartvariante und Raum zwischen 0,043 und 0,077). In Tafel 12 werden vorhandener und zulässiger Sonneneintragskennwert gegenübergestellt.

4.3 Nachweis mittels thermisch-dynamischer Gebäudesimulation

Bei der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation wird die Höhe und Häufigkeit der Überschreitung einer Bezugstemperatur in Stundenschritten für das ganze Jahr ermittelt und zur Kenngröße Übertemperaturgradstunden aufsummiert. Die Bezugstemperatur ist für jede Sommerklimaregion Deutschlands unterschiedlich (Bild 1). Die ermittelten Übertemperaturgradstunden werden einem Anforderungswert nach DIN 4108-2 ge-

Tafel 11 Ermittlung des zulässigen Sonneneintragskennwerts S_{zul} anhand der anteiligen Sonneneintragskennwerte S_x

Nutzung: Wohngebäude, Klimaregion B	S_x	Variante I schwere Bauart		Variante II mittlere Bauart		Variante III leichte Bauart	
		Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten
Klimaregion B, ohne Nachtlüftung	S1	0,074	0,074	0,067	0,067	0,056	0,056
Grundflächenbezogener Fensterflächenanteil	S2	-0,013	0,003	-0,013	0,003	-0,013	0,003
Sonnenschutzglas	S3	0	0	0	0	0	0
Fensterneigung	S4	0	0	0	0	0	0
Orientierung	S5	0	0	0	0	0	0
Einsatz passiver Kühlung	S6	0	0	0	0	0	0
	S_{zul}	0,061	0,077	0,054	0,070	0,043	0,059

Tafel 12 Gegenüberstellung von vorhandenem und zulässigem Sonneintragskennwert

Nutzung: Wohngebäude, Klimaregion B	S_x	Variante I schwere Bauart		Variante II mittlere Bauart		Variante III leichte Bauart	
		Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten
Vorhandener Sonneneintragskennwert	S_{vorh}	0,091	0,072	0,091	0,072	0,091	0,072
Zulässiger Sonneneintragskennwert, ohne erhöhte Nachtlüftung	$S_{\text{zul, ohne Nachtl}}$	0,061	0,077	0,054	0,070	0,043	0,059
Zulässiger Sonneneintragskennwert, mit erhöhter Nachtlüftung	$S_{\text{zul, mit Nachtl}}$	0,100	0,116	0,090	0,106	0,075	0,091

■ = erfüllt
■ = nicht erfüllt

genübertgestellt. Bei Wohngebäuden darf ein Anforderungswert von 1.200 Kh/a und bei Nichtwohngebäuden von 500 Kh/a nicht überschritten werden.

Dem Gebäudestandort Sommerklimaregion B ist als Bezugswert die operative Innentemperatur 26 °C zugeordnet. Für die Simulation wird für die Klimaregion B das Testreferenzjahr TRY-Zone 4 (2011) als Normaljahr zugrunde gelegt [3]. Im Zuge der thermisch-dynamischen Simulation erfolgt die Berechnung der sich im Raum einstellenden operativen Innenraumtemperatur stundenweise für den Verlauf eines Jahres in Abhängigkeit des Außenklimas, des Sonnenstandes und der Fassadenorientierung, der Sonnenschutzrichtungen, der thermischen Speichermassen, des Luftwechsels und der internen Wärmelasten.

Randbedingungen

Der Nachweis wird für folgende Randbedingungen geführt:

- Netto-Grundfläche A_G (Bild 3)
- Klimazone B, z.B. für Standort München
- Fenster mit Gesamtenergiedurchlassgrad $g = 0,58$
- Die Geschosshöhe beträgt 2,80 m. Die lichte Raumhöhe ergibt sich zu 2,50 m (Geschosshöhe abzüglich 20 cm Betondecke, 4 cm Estrich, 6 cm Trittschalldämmung).
- An den Fenstern der beiden Räume wird als geregelter außenliegender Sonnenschutz eine Markise mit Abminderungsfaktor $F_C = 0,5$ vor den Fenstern angeordnet, die ab einer Grenzbestrahlungsstärke von 300 W/m² (Direkt- plus Diffusstrahlung) auf die jeweilige Fassadenfläche herunterfährt.
- Bezüglich der Nachtlüftung werden alternativ die Fälle „ohne Nachtlüftung“ und „erhöhte Nachtlüftung“ betrachtet.
- Die Einstufung der Bauart erfolgt durch detaillierten Nachweis der wirksamen Wärmespeicherfähigkeit C_{wirk} , siehe Tafel 10.
- Erhöhter Tagluftwechsel wird angesetzt: Überschreitet die Raumlufttemperatur 23 °C und liegt die Raumlufttemperatur über der Außenlufttemperatur, wird der Luftwechsel während der täglichen Aufenthaltszeit (06:00 bis 23:00 Uhr) auf $n = 3 \text{ h}^{-1}$ erhöht.

- Weitere für die thermisch-dynamische Simulation relevante Randbedingungen entsprechen den Vorgaben der DIN 4108-2:2013-02, Abschnitt 8.4 „Anforderungen an Randbedingungen für thermische Gebäudesimulationen“.

Tagesverlauf der Innenraumtemperatur

Die Verläufe der berechneten operativen Innenraumtemperaturen und der Außentemperatur für die drei Bauartvarianten als Ergebnis der thermisch-dynamischen Gebäudesimulation sind in Bild 4 für das betrachtete Wohnzimmer ohne und mit erhöhter Nachtlüftung dargestellt. Hier ist aus dem errechneten Temperaturverlauf des gesamten Jahres eine sommerheiße Periode herausgegriffen (14. bis 18. August), da diese die auftretenden Maximaltemperaturen enthält.

Anhand der Temperaturverläufe in Bild 4 ist zu erkennen, dass sich Bauweisen mit hohen wirksamen Speichermassen positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz auswirken. Durch die Wahl massiver Konstruktionen, bestehend aus KS-Außenwänden mit hoher Rohdichte, massiven Geschossdecken und schweren Innenwänden, wird eine hohe wirksame Speichermasse erreicht. Bei der Wahl solcher Konstruktionen darf gemäß DIN 4108-2 automatisch – ohne eine exakte Ermittlung der raumflächenbezogenen wirksamen Wärmespeicherkapazität eines Raums C_{wirk}/A_G – von einer schweren Bauweise ausgegangen werden. Es wird deutlich, dass durch die gezielte Wahl einer massiven Konstruktion die operative Raumtemperatur im vorliegenden Beispiel um bis zu ca. 6 °C unter der operativen Temperatur der leichten Variante liegt, womit eine deutlich bessere thermische Behaglichkeit über einen längeren Zeitraum für die Nutzer gewährleistet wird.

INFO

In vielen Fällen kann bei schwerer Bauart und erhöhter Nachtlüftung eine hohe thermische Behaglichkeit auch ohne kostenintensive Klimatisierung sichergestellt werden.

Übertemperaturgradstunden ohne und mit erhöhter Nachtlüftung

Die Balkendiagramme in den Bildern 5 und 6 stellen für beide Räume die Übertemperaturgradstunden für die drei Bauarten mit und ohne Nachtlüftung dar. Der Bereich oberhalb des maximal zulässigen Anforderungswerts ist rot markiert. Die Bilder zeigen einerseits, wie deutlich sich die Bauart auf die

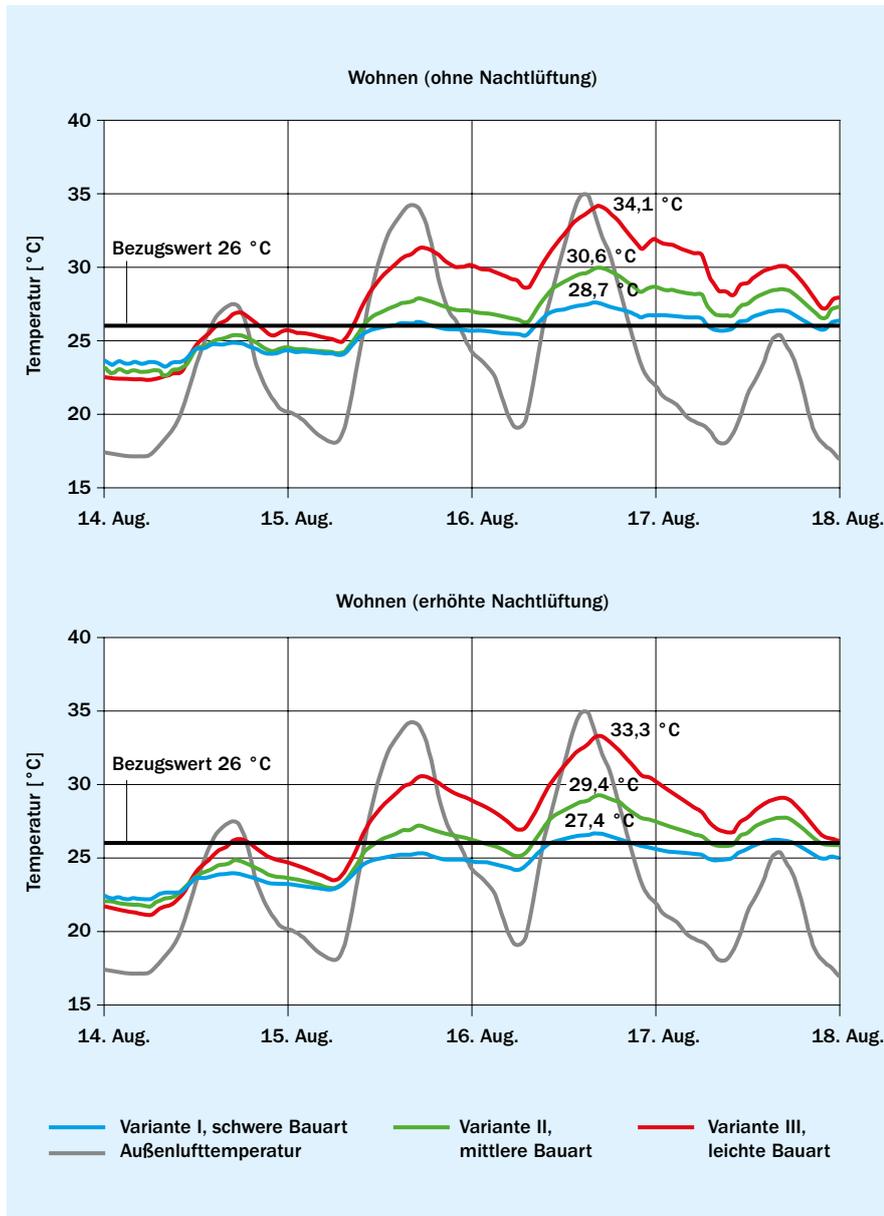


Bild 4 Verlauf von Außentemperatur, Bezugstemperatur und operativer Raumtemperatur der Varianten I bis III mit und ohne Berücksichtigung einer erhöhten Nachtlüftung für den Wohnbereich über eine sommerheiße Periode [3]

auftretenden Übertemperaturgradstunden auswirkt. Der Vergleich von Bild 5 mit Bild 6 zeigt andererseits, dass durch erhöhte Nachtlüftung die auftretenden Übertemperaturgradstunden deutlich reduziert werden können. Bei schwerer Bauart und erhöhter Nachtlüftung tritt im Raum Wohnen nur noch eine sehr geringe Überschreitung der Bezugstemperatur auf (Nulllinie hier bei 1.200 Kh/a). Im Arbeitszimmer überschreitet die operative Temperatur die Bezugstemperatur zu keinem Zeitpunkt. Das verdeutlicht den Vorteil hoher Speichermassen. Je massiver die Konstruktion ist, desto geringer sind die Übertemperaturgradstunden.

Tafel 13 stellt die vorhandenen und die zulässigen Übertemperaturgradstunden gegenüber. Die Gegenüberstellung verdeutlicht nochmals den Vorteil hoher Speichermassen und einer erhöhten Nachtlüftung für die sommerliche thermische Behaglichkeit.

4.4 Vergleich der Ergebnisse

Die Zusammenstellung aller Berechnungsergebnisse ist in Tafel 14 enthalten. Im Vergleich zwischen den beiden Nachweisverfahren liefert das vereinfachte Sonneneintragskennwertverfahren hinsichtlich der Beurteilung des sommerlichen Wärmeschutzes eher strenge Beurteilungen. Somit ist sichergestellt, dass Beurteilungen des sommerlichen Wärmeschutzes nach dem vereinfachten Nachweisverfahren „auf der sicheren Seite“ liegen.

Tafel 13 Gegenüberstellung von berechneten und zulässigen Übertemperaturgradstunden

Nutzung: Wohngebäude, Klimaregion B	Einheit	Variante I schwere Bauart		Variante II mittlere Bauart		Variante III leichte Bauart	
		Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten	Wohnen	Arbeiten
Zulässige Übertemperaturgradstunden	Kh/a	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200
Vorhandene Übertemperaturgradstunden, ohne erhöhte Nachtlüftung	Kh/a	338	35	790	376	1.638	762
Vorhandene Übertemperaturgradstunden, mit erhöhter Nachtlüftung	Kh/a	57	0	285	118	882	322

■ = erfüllt
■ = nicht erfüllt

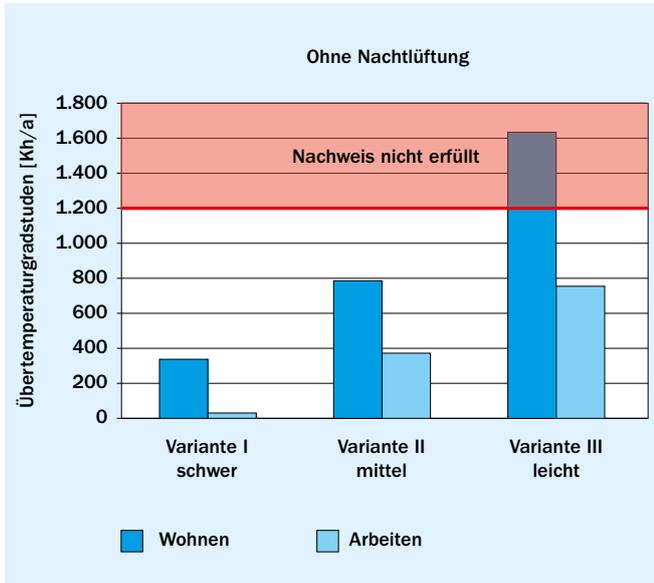


Bild 5 Übertemperaturgradstunden für die betrachteten Räume und Bauart-Varianten ohne Nachtlüftung

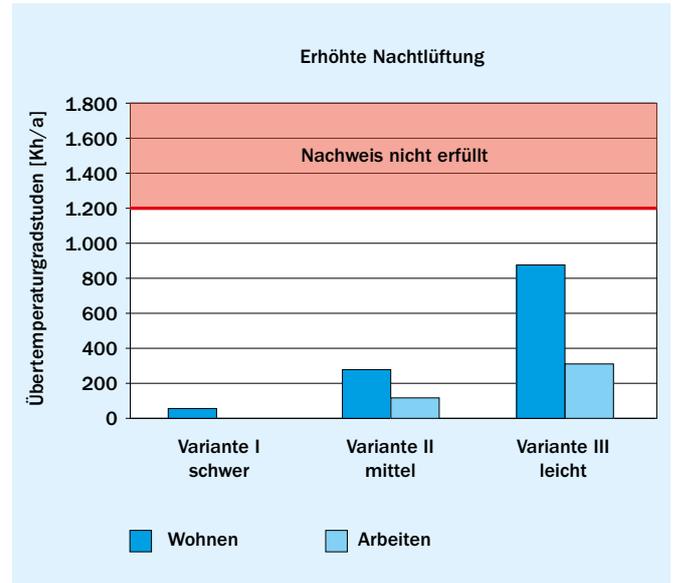


Bild 6 Übertemperaturgradstunden für die betrachteten Räume und Bauart-Varianten mit erhöhter Nachtlüftung

Tafel 14 Gegenüberstellung der Berechnungsergebnisse der thermischen Simulation sowie der Berechnung nach dem vereinfachten Verfahren und Beurteilung nach DIN 4108-2:2013 [3]

OHNE NACHTLÜFTUNG			
Anforderung DIN 4108-2	Bauart		
	Variante I schwer	Variante II mittel	Variante III leicht
Wohnen	$S_{vorh} = (8,41 \cdot (0,58 \cdot 0,5)) / 26,77 = 0,091$		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	nicht erfüllt 0,091 > 0,061	nicht erfüllt 0,091 > 0,054	nicht erfüllt 0,091 > 0,043
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 338 Kh/a	erfüllt 790 Kh/a	nicht erfüllt 1.638 Kh/a
Arbeiten	$S_{vorh} = (2,15 \cdot (0,58 \cdot 0,5)) / 8,68 = 0,072$		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,072 < 0,077	nicht erfüllt 0,072 > 0,070	nicht erfüllt 0,072 > 0,059
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 35 Kh/a	erfüllt 376 Kh/a	erfüllt 762 Kh/a

ERHÖHTE NACHTLÜFTUNG			
Anforderung DIN 4108-2	Bauart		
	Variante I schwer	Variante II mittel	Variante III leicht
Wohnen	$S_{vorh} = (8,41 \cdot (0,58 \cdot 0,5)) / 26,77 = 0,091$		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,091 < 0,100	nicht erfüllt 0,091 > 0,090	nicht erfüllt 0,091 > 0,075
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 57 Kh/a	erfüllt 285 Kh/a	erfüllt 882 Kh/a
Arbeiten	$S_{vorh} = (2,15 \cdot (0,58 \cdot 0,5)) / 8,68 = 0,072$		
Vereinfachtes Verfahren: Eintragskennwerte $S_{vor} < S_{zul}$	erfüllt 0,072 < 0,116	erfüllt 0,072 < 0,106	erfüllt 0,072 < 0,091
Thermische Simulation: Grenzwert max. 1.200 Kh/a	erfüllt 0 Kh/a	erfüllt 118 Kh/a	erfüllt 322 Kh/a

5. Beispiel EFH in unterschiedlichen Bauarten und unterschiedlichem energetischen Niveau

An einem weiteren Beispiel wird der Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf die sommerliche thermische Behaglichkeit demonstriert [4]. Es handelt sich um ein Einfamilienhaus mit elf Räumen, welches für zwei Bauarten (schwer, Kalksandstein; leicht, Holzbau) und jeweils drei energetische Niveaus (EnEV 2016, KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40) mittels dynamischer Gebäudesimulation verglichen wird. Parameter und Nutzungsrandbedingungen entsprechen wie oben denen der DIN 4108-2 bzw. der DIN V 18599, Standort (Klimadatei) ist Potsdam.

Die schwere Bauweise wirkt sich deutlich positiv aus: Die Übertemperaturgradstunden bleiben bei schwerer Ausführung signifikant niedriger, und generell unter 200 Kh/a, was einem guten thermischen Komfort entspricht (Bild 7). Die Werte bei leichter Bauweise liegen, bei ansonsten gleichen Bedingungen, durchweg höher. Sie erreichen bzw. überschreiten in einigen Räumen und Varianten den zulässigen Grenzwert der Norm. Die Spitzentemperatur (Bild 8) liegt im Falle der schweren Bauweise in allen Räumen und bei allen betrachteten energetischen Niveaus im Bereich zwischen 25 und 28 °C. (Der Bezugswert 26 °C für Klimaregion B ist ja kein Grenzwert, sondern darf überschritten werden, aber das Produkt aus Überschreitungshöhe und Überschreitungsdauer darf im Wohnbau 1.200 Kh/a und im Nichtwohnbau 500 Kh/a nicht überschreiten.) Bei fehlender Speichermasse ergeben sich in einigen Räumen im Obergeschoss Spitzentemperaturen von unangenehmen 34 bis 35 °C!

In allen, selbst den kritischen Räumen ist bei schwerer Bauart ein überdurchschnittlicher thermischer Komfort praktisch ganzjährig gegeben, während bei leichter Bauart unter sonst gleichen Randbedingungen die Komfortgrenzen vergleichsweise häufig deutlich überschritten werden [4].

Soll der sommerliche Wärmeschutz in einem Gebäude höheren Ansprüchen genügen als nur die Mindestanforderungen gemäß DIN 4108-2 einzuhalten, kann eine Komfortbewertung auf Stundenbasis gemäß DIN EN ISO 15251 erfolgen. Bei dieser werden drei verschiedene Komfortniveaus definiert. Die in Bild 9 dargestellten, mit dem gleitenden Mittelwert der Außentemperatur ansteigenden Linien definieren diese drei Niveaus. Die im Rahmen einer thermisch-dynamischen Simulation ermittelten, operativen Temperaturen auf Stundenbasis sind für alle betrachteten Räume des Einfamilienhauses als Punktwolken (blau = schwere KS-Bau-

weise, rot = leichte Bauweise) dargestellt. Der auf diese Weise besonders anschauliche Komfortvergleich zeigt, dass auch in den kritischen Räumen bei massiver Bauweise ein überdurchschnittlicher Komfort gemäß Kategorie I praktisch ganzjährig gegeben ist, während bei leichter Bauart unter sonst gleichen Randbedingungen die Komfortgrenzen sehr häufig deutlich überschritten werden.

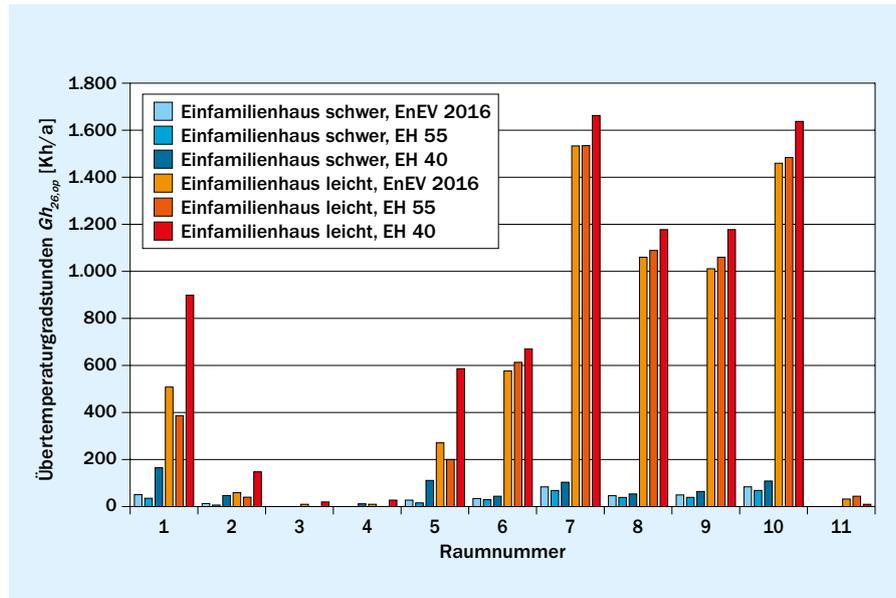


Bild 7 Beispiel: berechnete Übertemperaturgradstunden (Bezugswert 26 °C) für alle elf Räume des Beispiel-Einfamilienhauses, für zwei Bauarten (schwer, mit Kalksandstein und leicht, z.B. Holzbau) und jeweils drei energetische Niveaus (EnEV 2016, KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40) nach [4]

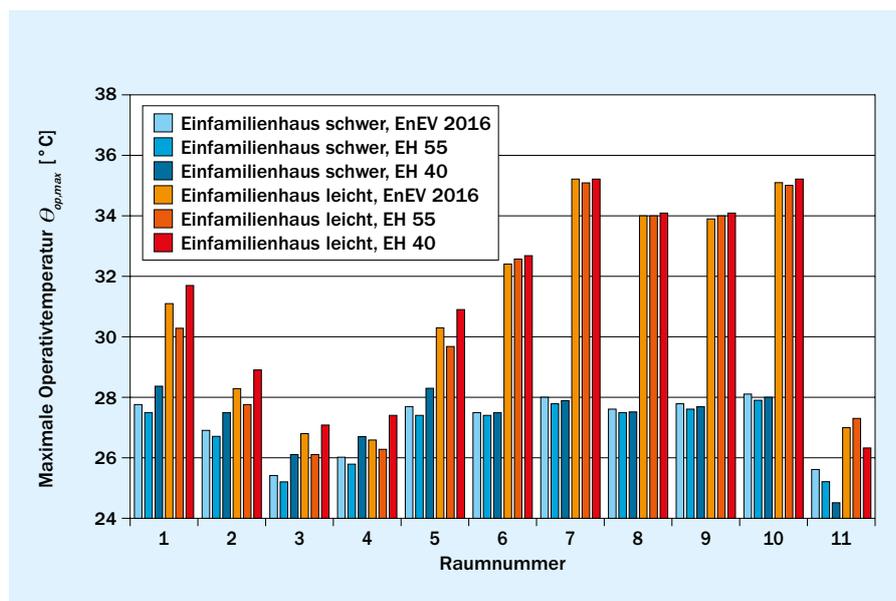


Bild 8 Beispiel: berechnete maximale Operative Temperatur für alle elf Räume des Beispiel-Einfamilienhauses, für zwei Bauarten (schwer, mit Kalksandstein und leicht, z.B. Holzbau) und jeweils drei energetische Niveaus (EnEV 2016, KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40) nach [4]

Neben dem betrachteten Einfamilienhaus wurde in [4] auch ein dreigeschossiges Mehrfamilienhaus betrachtet. Die dafür erzielten Berechnungsergebnisse decken sich weitestgehend mit denen für das Einfamilienhaus und bestätigen ebenfalls den sehr positiven Einfluss einer schweren Bauweise auf den sommerlichen Wärmeschutz.

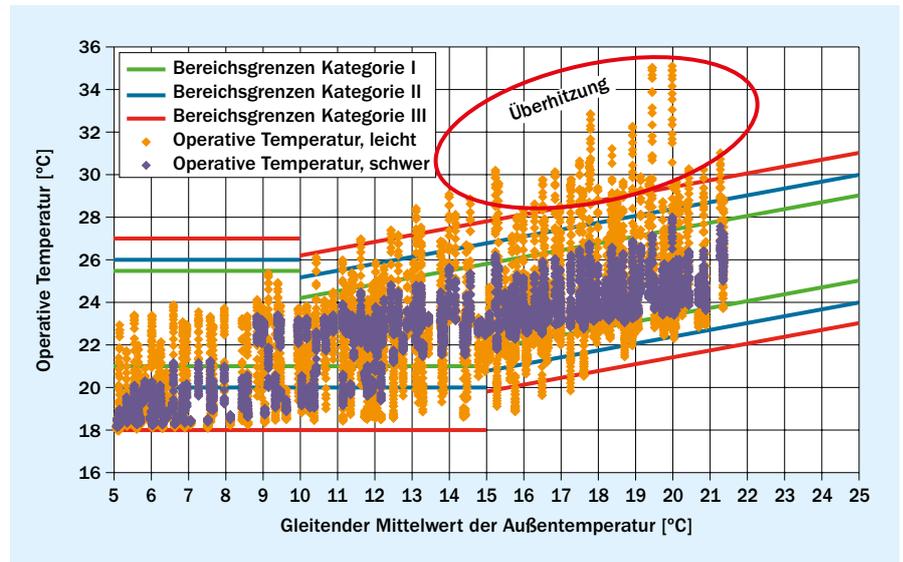


Bild 9 Beispiel: Komfortbewertung auf Stundenbasis gemäß DIN EN ISO 15251 für alle elf Räume des Beispiel-Einfamilienhauses, für zwei Bauarten (schwer, mit Kalksandstein und leicht, z.B. Holzbau) und jeweils drei energetische Niveaus (EnEV 2016, KfW-Effizienzhaus 55 und KfW-Effizienzhaus 40) nach [4]

6. Zusammenfassung

Bestimmend für den sommerlichen Wärmeschutz ist die direkte Sonneneinstrahlung in den Raum; sie hängt von der Fensterfläche, dem Sonnenschutz, und von der Ausrichtung und Konzeption des Gebäudes ab.

INFO

Bauweisen mit hohen wirksamen Speichermassen und eine erhöhte Nachtlüftung wirken sich positiv auf den sommerlichen Wärmeschutz aus und können die thermische Behaglichkeit für die Nutzer erheblich verbessern.

Im üblichen Geschosswohnungsbau ist die Nachweisführung mit dem vereinfachten Sonneneintragskennwertverfahren vollkommen ausreichend. Wird dabei der Nachweis erst einmal nicht eingehalten, empfehlen sich Maßnahmen wie z.B. eine erhöhte Nachtlüftung oder der Einsatz einer Glas-Sonnenschutz-Kombination mit niedrigem g_{tot} -Wert, um das vereinfachte Nachweisverfahren doch zu bestehen. Hierdurch wird gleichzeitig der sommerliche Wärmeschutz für die Benutzer verbessert. Bei Nichteinhaltung der zu vergleichenden Sonneneintragskennwerte kann über eine thermisch-dynamische Gebäudesimulation ein günstigeres Bewertungsergebnis erzielt werden. Im Vergleich zum vereinfachten Nachweisverfahren ist die Simulation aufwändiger sowie zeit- und kostenintensiver. Dafür erlaubt sie, Einflussfaktoren genauer abzubilden, und gestattet eine detaillierte sommerliche Komfortbewertung.

Literatur

- [1] Bundesverband Kalksandsteinindustrie e.V. (Hrsg.), KS-Nachweisprogramm zur Berechnung des sommerlichen Wärmeschutzes (kostenfreier Download über die KS-Homepage www.kalksandstein.de)
- [2] DIN 4108-2:2013-02 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz
- [3] Fux, V.; Schäfers, M.; Pekrul, O.: Neufassung von DIN 4108-2 – Sommerlicher Wärmeschutz mit Konstruktionen aus Kalksandstein. In: Mauerwerk 17 (2013), Heft 2, S. 77–87
- [4] Schlitzberger, S; Kempkes, C.; Maas, A.; Schäfers, M.: Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf Heizwärmebedarf und thermischen Komfort. In: Bauphysik 39 (2017), Heft 1, S. 57–63

Bildnachweis

Bild S. 280: photographee.eu/AdobeStock