

DIN EN ISO 13791

ICS 91.120.10

Ersatz für
DIN EN ISO 13791:2005-02**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –
Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik –
Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren (ISO 13791:2012);
Deutsche Fassung EN ISO 13791:2012**

Thermal performance of buildings –
Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling –
General criteria and validation procedures (ISO 13791:2012);
German version EN ISO 13791:2012

Performance thermique des bâtiments –
Calcul des températures intérieures en été d'un local sans dispositif de refroidissement –
Critères généraux et procédures de validation (ISO 13791:2012);
Version allemande EN ISO 13791:2012

Gesamtumfang 110 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 13791:2012) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163 „Thermal performance and energy use in the built environment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ (Sekretariat: SIS, Schweden) unter deutscher Mitarbeit erstellt.

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuss zum CEN/TC 89 eingesetzte Arbeitsausschuss NA 005-56-90 AA „Baulicher Wärmeschutz im Hochbau“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau).

Dieses Dokument ersetzt DIN EN ISO 13791:2005-02.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 13791:2005-02 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 2 wurde ergänzt durch ISO 9050, ISO 10292, ISO 15099, ISO 15927-2 und EN 673;
- b) in Abschnitt 3.2 wurden q_a und v_m gestrichen und m_a hinzugefügt;
- c) Abschnitt 4.2.1 wurde durch Gleichung (1) ergänzt, $m_{a,i}$ wurde gestrichen; hinzugefügt wurden die Beschreibungen von ρ_a und $v_{a,i}$;
- d) in Abschnitt 4.5.6.1 wurde q_a durch m_a ersetzt;
- e) in Abschnitt 8.3.9.1 wurden die Werte in den Tabellen 22 und 23 ergänzt;
- f) in Abschnitt 8.3.9.2 wurden die Werte in den Tabellen 24 und 25 ergänzt;
- g) in I.2.2 wurde m durch m_a ersetzt, die Gleichungen (I.1) und (I.4) wurden ergänzt und die Beschreibungen von n und Δp_0 , sowie von ΔC_w hinzugefügt;
- h) die in Tabelle I.1 verwendete Einheit wurde ergänzt;
- i) in I.2.3 wurde m , m_w und m_T durch m_a , $m_{a,w}$ bzw. $m_{a,T}$ ersetzt und die Gleichungen (I.5), (I.6), (I.9), (I.10), (I.11), (I.12), (I.13) und (I.14) ergänzt;
- j) in Gleichung (I.13) wurde A durch A_T und Δc_p durch ΔC_w ersetzt;
- k) die Beschreibungen der Gleichungen (I.8) und (I.10) wurden hinzugefügt;
- l) in I.2.3.3.3 wurde die Beschreibung von I.2.3.3.3 ergänzt;
- m) in I.3.2 wurde Δc_p durch ΔC_w und m_w durch $m_{a,w}$ ersetzt;
- n) in I.3.3 wurde m_T durch $m_{a,T}$ ersetzt;
- o) im Anhang J wurden die Werte in den Tabellen J.1 und J.2 ergänzt;
- p) Anhang K wurde als neuer Anhang hinzugefügt;
- q) redaktionelle Überarbeitung.

Frühere Ausgaben

DIN EN ISO 13791: 2005-02

Deutsche Fassung

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden —
Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden
ohne Anlagentechnik —
Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren
(ISO 13791:2012)

Thermal performance of buildings —
Calculation of internal temperatures of a room in summer
without mechanical cooling —
General criteria and validation procedures
(ISO 13791:2012)

Performance thermique des bâtiments —
Calcul des températures intérieures en été d'un local sans
dispositif de refroidissement —
Critères généraux et procédures de validation
(ISO 13791:2012)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 14. März 2012 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN-CENELEC oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	5
Einleitung.....	7
1 Anwendungsbereich	8
2 Normative Verweisungen.....	8
3 Begriffe, Symbole und Einheiten	9
3.1 Begriffe	9
3.2 Symbole und Einheiten	10
3.3 Indizes	12
4 Ermittlung der Innentemperaturen.....	13
4.1 Annahmen	13
4.2 Bewertung der relevanten Temperaturen	14
4.2.1 Innenlufttemperatur	14
4.2.2 Innere Oberflächentemperatur	14
4.2.3 Oberfläche zwischen zwei festen Schichten	15
4.2.4 Oberfläche einer Luftschicht	16
4.2.5 Außenfläche eines Raumelements	16
4.2.6 Relevante Temperaturen für spezielle Bauteile	17
4.3 Wärmebilanz eines Raumes	18
4.4 Randbedingungen	18
4.4.1 Einzelraum	18
4.4.2 Vergleichbare Räume	19
4.4.3 Angrenzender Raum mit definiertem Wert der Lufttemperatur	21
4.4.4 Fußboden auf dem Erdreich	22
4.4.5 Keller oder Kriechkeller	22
4.4.6 Decke unter einem Dachgeschoss	22
4.5 Ausdrücke in den Gleichungen für die Wärmebilanz	23
4.5.1 Wärmeleitung durch Bauteile	23
4.5.2 Konvektive Wärmeübertragung	23
4.5.3 Wärmeübertragungsvorgänge durch kurzwellige Strahlung	27
4.5.4 Wärmeübertragung durch langwellige Strahlung	30
4.5.5 Innere Wärmegewinne	33
4.5.6 Wärmestrom durch Lüftung	33
5 Bestimmung der inneren Feuchte.....	34
6 Verfahren zur Berechnung.....	35
6.1 Allgemeines	35
6.2 Bemessungs-Klimadaten	35
6.2.1 Allgemeines	35
6.2.2 Bemessungs-Klimadaten einer Langzeitperiode	35
6.2.3 Bemessungs-Wärmeperiode	35
6.3 Geometrische und thermophysikalische Kenngrößen der Raumelemente	36
6.4 Innere Bemessungs-Wärmegewinne	36
6.5 Bemessungs-Verhalten der Nutzer	36
6.6 Berechnungsverfahren	36
6.6.1 Allgemeines	36
6.6.2 Definition der Anfangsbedingungen	37
6.6.3 Vorhersage der Innentemperaturen	37
7 Berechnungsbericht.....	37

8	Validierungsverfahren.....	38
8.1	Einleitung	38
8.2	Validierung der Wärmeübertragungsvorgänge.....	38
8.2.1	Allgemeines	38
8.2.2	Wärmeleitung durch opake Elemente	38
8.2.3	Innerer Wärmeaustausch durch langwellige Strahlung	40
8.2.4	Sonnenbestrahlte Fläche eines Fensters bei äußeren Hindernissen	43
8.3	Validierungsverfahren für das gesamte Berechnungsverfahren	46
8.3.1	Allgemeines	46
8.3.2	Geometrie der Prüfräume	47
8.3.3	Thermophysikalische Eigenschaften opaker Wände	47
8.3.4	Eigenschaften der Verglasung.....	47
8.3.5	Sonnenparameter	50
8.3.6	Randbedingungen	51
8.3.7	Innere Energiequellen	54
8.3.8	Lüftung	55
8.3.9	Beschreibung der Validierungsprüfungen	56
Anhang A (informativ)	Beispiel eines Lösungsverfahrens	59
A.1	Einleitung	59
A.2	Grundsätzliche Annahmen für das Berechnungsverfahren	59
A.3	Berechnungsverfahren	59
A.3.1	Allgemeines	59
A.3.2	Ermittlung der Temperatur jedes Bauteils des umbauten Raumes	59
A.4	Wärmebilanz des Raumes	66
Anhang B (informativ)	Konvektive Wärmeübertragung durch belüftete Luftschicht	67
B.1	Einleitung	67
B.2	Konvektive Wärmeübertragung für eine senkrechte Luftschicht	67
B.2.1	Allgemeines	67
B.2.2	Ermittlung der Abluftgeschwindigkeit der senkrechten Luftschicht	67
B.2.3	Ermittlung der konvektiven Wärmeübertragung für eine senkrechte Luftschicht	71
B.3	Konvektive Wärmeübertragung für eine äußere horizontale Luftschicht	72
B.3.1	Allgemeines	72
B.3.2	Ermittlung der konvektiven Wärmeübertragung für eine horizontale Luftschicht.....	73
Anhang C (informativ)	Verschattung durch Auskragungen und Seitenteile	74
C.1	Einleitung	74
C.2	Berechnungsweg für Auskragungen	76
C.3	Berechnungsweg für eine vertikale Ausladung am Ende einer Auskragung	77
C.4	Berechnungsweg für Seitenteile.....	78
C.5	Berechnungsweg für die infolge eines kurzen Seitenteils sonnenbestrahlte Fläche	79
C.6	Äußere Hindernisse.....	80
C.7	Sonnenlichtfaktor	82
Anhang D (informativ)	Bemessungs-Klimadaten für die warme Jahreszeit	83
Anhang E (informativ)	Berechnung der inneren Austauschvorgänge langwelliger Strahlung in Gebäuden	84
E.1	Einleitung	84
E.2	Anwendungsgrenzen	84
E.3	Berechnungsverfahren	84
Anhang F (informativ)	Äußere Wärmeübergangskoeffizienten durch langwellige Strahlung	85
F.1	Einleitung	85
F.2	Ausdrücke und Berechnungsverfahren.....	85
Anhang G (informativ)	Sonnenfaktoren.....	87
G.1	Einleitung	87
G.2	Strahlungszuordnungsfaktor Luft	87
G.3	Verteilungsfaktoren.....	87
G.4	Solarer Verlustfaktor	88

Anhang H (informativ) Innere Wärmegewinne	90
H.1 Einleitung.....	90
H.2 Wohngebäude	90
H.3 Nicht-Wohngebäude.....	91
Anhang I (informativ) Lüftung	92
I.1 Einleitung.....	92
I.2 Berechnungsverfahren	92
I.2.1 Allgemeines.....	92
I.2.2 Fugen und kleine Öffnungen	92
I.2.3 Große Öffnungen	93
I.3 Beispiel für die Berechnung der Luftwechselraten bei natürlicher Lüftung für ein einfaches Gebäude	98
I.3.1 Allgemeines.....	98
I.3.2 Wind	98
I.3.3 Temperaturdifferenz	99
Anhang J (informativ) Ausführliche Ergebnisse der Validierungsprüfungen, die im Verfahren für das „Gesamt-Validierungsmodell“ berücksichtigt wurden.....	101
Anhang K (informativ) Berechnungsverfahren für die innere Feuchte ohne Feuchteabsorption oder -desorption durch Wände u. a.	103
K.1 Einleitung.....	103
K.2 Annahmen für das Berechnungsverfahren.....	103
K.3 Berechnung der inneren Feuchte	103
K.4 Erzeugung der inneren Feuchte (G_i).....	104
K.5 Feuchtezufuhr durch Lüften	105
Anhang L (informativ) Normative Verweisungen auf internationale Veröffentlichungen mit deren entsprechenden europäischen Veröffentlichungen.....	106
Literaturhinweise	108

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 13791:2012) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163 „Thermal performance and energy use in the built environment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SIS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis September 2012, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis September 2012 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 13791:2005.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Türkei, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 13791:2012 wurde vom CEN als EN ISO 13791:2012 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Die wesentlichen Änderungen gegenüber der früheren Ausgabe sind wie folgt:

Abschnitt	Änderungen
2	Hinzugefügt: ISO 9050, ISO 10292, ISO 15099, ISO 15927-2 und EN 673
3.2	Gestrichen: q_a und v_m ; hinzugefügt: m_a
4.2.1	Ergänzt: Gleichung (1) Gestrichen: $m_{a,i}$; hinzugefügt: Beschreibungen von ρ_a und v_{ai}
4.5.6.1	Ersetzt: q_a durch m_a
8.3.9.1	Ergänzt: die Werte in den Tabellen 22 und 23
8.3.9.2	Ergänzt: die Werte in den Tabellen 24 und 25
I.2.2	Ersetzt: m durch m_a Ergänzt: Gleichung (I.1); hinzugefügt: Beschreibungen von n und Δp_0 Ergänzt: Gleichung (I.4); hinzugefügt: Beschreibung von ΔC_w Ergänzt: die in Tabelle I.1 verwendete Einheit
I.2.3	Ersetzt: m , m_w und m_T durch m_a , $m_{a,w}$ bzw. $m_{a,T}$ Ergänzt: Gleichungen (I.5), (I.6), (I.9), (I.10), (I.11), (I.12), (I.13) und (I.14) Ersetzt: A durch A_T in Gleichung (I.13) Ersetzt: Δc_p durch ΔC_w Hinzugefügt: Beschreibungen der Gleichungen (I.8) und (I.10)
I.2.3.3.3	Ergänzt: Beschreibung von I.2.3.3.3
I.3.2	Ersetzt: Δc_p durch ΔC_w Ersetzt: m_w durch $m_{a,w}$
I.3.3	Ersetzt: m_T durch $m_{a,T}$
Anhang J	Ergänzt: die Werte in den Tabellen J.1 und J.2
Anhang K	Als neuer Anhang hinzugefügt

Einleitung

Dieses Dokument ist für die Anwendung durch Spezialisten vorgesehen, die Verfahren zur stundenbezogenen Berechnung der Innentemperaturen eines Einzelraumes entwickeln und/oder validieren.

Beispiele der Anwendung derartiger Verfahren sind:

- a) Beurteilung des Risikos einer inneren Überwärmung;
- b) Optimierung von Aspekten der Bauplanung (thermische Masse des Gebäudes, Sonnenschutz, Luftwechselrate usw.), um Bedingungen der thermischen Behaglichkeit zu schaffen;
- c) Beurteilung der Notwendigkeit einer maschinellen Kühlung (Kühlung durch Anlagentechnik) im Gebäude.

Kriterien hinsichtlich der Eigenschaften von Gebäuden sind nicht enthalten. Diese können auf nationaler Ebene berücksichtigt werden. Diese Norm kann auch als Bezugsdokument für die Entwicklung einfacherer Verfahren für die vorstehenden und vergleichbare Anwendungen genutzt werden.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt die Annahmen, Randbedingungen, Gleichungen und Validierungsprüfungen für ein Verfahren zur Berechnung der Innentemperaturen (Luft und operativ) eines Einzelraumes ohne Kühl-/Heizanlage während der warmen Jahreszeit unter stundenbezogenen Übergangsbedingungen fest. In diesem Dokument werden keine spezifischen numerischen Verfahrensweisen vorgeschrieben. Im Abschnitt 7 sind Validierungsverfahren angegeben. Ein Lösungsbeispiel ist im Anhang A gegeben.

Die in diesem Dokument enthaltenen Informationen sind nicht ausreichend, um ein Verfahren festzulegen, mit dem die inneren Bedingungen von speziellen Zonen, wie z. B. angebaute Sonnenräume, Vorhallen, indirekte passive Solarkomponenten (Trombe-Wände, Solarzellenplatten), und von Zonen bestimmt werden können, in denen die Sonnenstrahlung durch den Raum hindurchgehen kann. Für derartige Situationen sind andere Annahmen und ausführlichere Lösungsmodelle erforderlich (siehe Literaturhinweise).

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 6946, *Building components and building elements — Thermal resistance and thermal transmittance — Calculation method*

ISO 7345, *Thermal insulation — Physical quantities and definitions*

ISO 9050, *Glass in building — Determination of light transmittance, solar direct transmittance, total solar energy transmittance, ultraviolet transmittance and related glazing factors*

ISO 9251, *Thermal insulation — Heat transfer conditions and properties of materials — Vocabulary*

ISO 9288, *Thermal insulation — Heat transfer by radiation — Physical quantities and definitions*

ISO 9346, *Hygrothermal performance of buildings and building materials — Physical quantities for mass transfer — Vocabulary*

ISO 10077-1, *Thermal performance of windows, doors and shutters — Calculation of thermal transmittance — Part 1: Simplified method*

ISO 10077-2, *Thermal performance of windows, doors and shutters — Calculation of thermal transmittance — Part 2: Numerical method for frames*

ISO 10292, *Glass in building — Calculation of steady-state U values (thermal transmittance) of multiple glazing*

ISO 13370, *Thermal performance of buildings — Heat transfer via the ground — Calculation methods*

ISO 15099, *Thermal performance of windows, doors and shading devices — Detailed calculations*

ISO 15927-2, *Hygrothermal performance of buildings — Calculation and presentation of climatic data — Part 2: Hourly data for design cooling load*

EN 410, *Glas im Bauwesen — Bestimmung der lichttechnischen und strahlungsphysikalischen Kenngrößen von Verglasungen*

EN 673, *Glas im Bauwesen — Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten (U-Wert) — Berechnungsverfahren*

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 7345, ISO 9251, ISO 9288 und ISO 9346 und die folgenden Begriffe.

3.1.1

Innenumgebung

abgeschlossener Raum, der durch Umfassungsbauteile (Gebäudestruktur) von der Außenumgebung oder angrenzenden Räumen abgegrenzt ist

3.1.2

Raumelement

Wände, Dach, Decke, Fußboden, Türen oder Fenster, die die Innenumgebung von der Außenumgebung oder einem angrenzenden Raum trennen

3.1.3

Raumluft

Luft der Innenumgebung

3.1.4

Innenlufttemperatur

Temperatur der Raumluft

3.1.5

innere Oberflächentemperatur

Temperatur der Innenfläche eines Bauteils

3.1.6

mittlere Strahlungstemperatur

gleichförmige Oberflächentemperatur eines umbauten Raumes, in dem eine Person dieselbe Menge an Strahlungswärme austauschen würde wie im tatsächlichen ungleichförmigen umbauten Raum

3.1.7

operative Temperatur

gleichförmige Temperatur eines umbauten Raumes, in dem eine Person dieselbe Menge an Strahlungs- und Konvektionswärme austauschen würde wie in der tatsächlichen ungleichförmigen Umgebung

3.2 Symbole und Einheiten

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Symbole und Einheiten.

Symbol	Beschreibung	Einheit
A	Fläche	m^2
A_c	Oberfläche in Kontakt mit der Luftschicht	m^2
A_f	Fußbodenfläche	m^2
A_j	Fläche des Raumelements j	m^2
A_p	Projizierte Fläche des betrachteten Systems	m^2
A_s	sonnenbestrahlte Fläche	m^2
A_{sh}	verschaltete Fläche	m^2
a	Temperaturleitfähigkeit	m^2/s
C	Wärmekapazität	J/K
c	spezifische Wärmekapazität	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
c_a	spezifische Wärmekapazität der Luft	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
c_d	Durchflussszahl, Entladungsbeiwert	—
c_{me}	spezifische Wärmekapazität des Mediums	$\text{J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$
c_v	Geschwindigkeitskoeffizient	—
d	Dicke	m
E_r	Lüftungsparameter	—
F	Einstrahlzahl	—
F_{sk}	Einstrahlzahl vom Element zum Himmel	—
f_d	solarer Verteilungsfaktor	—
f_{ic}	innerer Konvektionsfaktor	—
f_s	Sonnenlichtfaktor	—
f_{sa}	Strahlungszuordnungsfaktor Luft	—
f_{sl}	solarer Verlustfaktor	—
G_i	Feuchteerzeugung	kg/s
G_v	Feuchtezufuhr durch Lüftung	kg/s
g_s	volumenbezogener Wärmestrom	W/m^3
g	Erdbeschleunigung	m/s^2
H	Höhe des Elements	m
h	(flächenbezogener) Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
h_a	Konvektionswärmeübergangskoeffizient für belüftete Schichten	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
h_c	Konvektionswärmeübergangskoeffizient der Oberfläche	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
h_g	Konvektionswärmeübergangskoeffizient für geschlossene Räume	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$
h_{lr}	Wärmeübergangskoeffizient für langwellige Strahlung	$\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})$

Symbol	Beschreibung	Einheit
I	Intensität der Sonnenstrahlung	W/m ²
I_d	diffuser Anteil der die Oberfläche erreichenden Sonnenstrahlung	W/m ²
I_D	direkter Anteil der die Oberfläche erreichenden Sonnenstrahlung	W/m ²
$J_{lr,j}$	langwellige Strahlung	W/m ²
k	Fugenkoeffizient	—
l	Länge	m
m_a	Massenluftstrom	kg/s
$m_{a,m}$	erzwungener Massenluftstrom durch maschinelle Lüftung	kg/s
$m_{a,n}$	Massenluftstrom durch natürliche Lüftung	kg/s
$m_{a,T}$	Massenluftstrom aufgrund der Temperaturdifferenz	kg/s
$m_{a,w}$	Massenluftstrom aufgrund von Wind	kg/s
n	Strömungsexponent	—
p	Druck	Pa
q	Dichte des Wärmestroms	W/m ²
q_c	Dichte des Wärmestroms durch Konvektion	W/m ²
q_{cd}	Dichte des Wärmestroms durch Leitung	W/m ²
$q_{c,i}$	Dichte des Wärmestroms an der Innenfläche	W/m ²
q_{lr}	Dichte des Wärmestroms durch den Austausch langwelliger Strahlung mit anderen Innenflächen	W/m ²
q_{sk}	Korrektur für den langwelligen Strahlungsaustausch zwischen Wand und Himmel	W/m ²
q_{sr}	Dichte des Wärmestroms durch die absorbierte kurzwellige Strahlung	W/m ²
R	Wärmedurchlasswiderstand	m ² ·K/W
T	absolute Temperatur	K
T_e	Umgebungstemperatur	K
T_{in}	Temperatur der in die Luftschicht eintretenden Luft	K
T_{out}	Temperatur der aus der Schicht austretenden Luft	K
t	Zeit	s
U	Wärmedurchgangskoeffizient	W/(m ² ·K)
V	Volumen	m ³
v	Geschwindigkeit	m/s
x,y,z	Koordinaten	m
Λ	Wärmedurchlasskoeffizient	W/(m ² ·K)
Φ	Wärmestrom	W

Symbol	Beschreibung	Einheit
Φ_i	Wärmestrom durch innere Wärmequellen	W
Φ_{sa}	Wärmestrom durch den solaren Wärmegewinn in der Luft	W
Φ_{sr}	Wärmestrom der in den Raum tretenden Sonnenstrahlung	W
Φ_v	Wärmestrom durch Lüftung	W
Φ_{va}	Wärmestrom infolge der durch Luftschichten innerhalb der Raumbegrenzungselemente in den Raum eintretenden Luft	W
α	solarer Absorptionsgrad	—
ε	Emissionsgrad der langwelligen Strahlung der Oberfläche	
θ	Celsius-Temperatur	°C
$\theta_{a,d}$	definierte Lufttemperatur des angrenzenden Raumes	°C
$\theta_{a,e}$	Lufttemperatur des angrenzenden Raumes	°C
$\theta_{a,i}$	Temperatur der Raumluft	°C
θ_v	Temperatur der maschinell zugeführten Luft	°C
λ	Wärmeleitfähigkeit	W/(m·K)
μ	dynamische Viskosität	kg/(m·s)
v_i	volumenbezogene Feuchte der inneren Luft	kg/m ³
v_{in}	volumenbezogene Feuchte der eintretenden Luft	kg/m ³
ρ	solarer Reflexionsgrad	—
ρ_a	Luftdichte	kg/m ³
ρ_m	mittlere solare Reflexionskoeffizient der Raumbooberflächen	—
ρ_{me}	Dichte des Mediums	kg/m ³
$\rho_{a,o}$	Luftdichte bei der Temperatur T_0	kg/m ³
σ	Stefan-Boltzmann Konstante	W/(m ² ·K ⁴)

3.3 Indizes

a	Luft	cd	Leitung
b	Gebäude	ec	Außendecke
c	Konvektion	ef	Außenboden
D	direkte Sonnenstrahlung	eq	äquivalent
d	diffuse Sonnenstrahlung	ic	Innendecke
e	außen	if	Innenboden
g	Erdreich/Boden/Grund	il	Eintritt
i	innen	lr	Langwellenstrahlung
l	Verlassen der Ebene	mr	mittlere Strahlung
n	senkrecht zur Oberfläche	op	operativ
r	Strahlung	sa	Strahlungszuordnungsfaktor Luft
s	Oberfläche	sk	Himmel
sl	solarer Verlust	t	Zeit
sr	Kurzwellenstrahlung	v	Lüftung
va	Lüftung durch Lufthohlraum		

4 Ermittlung der Innentemperaturen

4.1 Annahmen

Die Bewertung der Innentemperatur eines Raumes schließt die Lösung eines Systems von Gleichungen zu den transienten Wärme- und Masseübertragungsvorgängen zwischen der Außen- und der Innenumgebung durch die opaken und transparenten Elemente der Raumumschließungsfläche ein. Die in diesem Dokument angegebenen Verfahren ermöglichen es dem Anwender, die zeitabhängige Temperatur jedes Bauteils, einschließlich der Innentemperatur, zu bestimmen. Als anerkannte Annahmen für eine Berechnung der Innentemperaturen eines einzelnen Raumes unter Übergangsbedingungen ohne Kühlanlage gelten die Annahmen, dass:

- die Lufttemperatur im gesamten Raum gleichförmig ist;
- die verschiedenen Oberflächen der Raumelemente isotherm sind;
- die thermophysikalischen Eigenschaften der die Raumelemente bildenden Baustoffe zeitunabhängig sind;
- die Wärmeleitung durch die Raumelemente (mit Ausnahme der in das Erdreich) als eindimensional angenommen wird;
- die Wärmeleitung in das Erdreich durch die Raumelemente auf der Grundlage eines äquivalenten eindimensionalen Wärmestroms nach ISO 13370 betrachtet wird;
- die Auswirkungen von Wärmebrücken im Allgemeinen vernachlässigt werden; im Falle der Betrachtung wird ihr Beitrag zur Wärmespeicherung der Wärmebrücken vernachlässigt;
- Lufträume als Luftschichten behandelt werden, die durch zwei isotherme und parallele Oberflächen begrenzt sind;
- die Konvektionswärmeübergangskoeffizienten an Außenflächen von der Windgeschwindigkeit und -richtung, an Innenflächen von der Richtung des Wärmestroms abhängen;
- der Wärmestrom durch langwellige Strahlung an den Außenflächen der Raumelemente mit einem zeitunabhängigen Wärmeübergangskoeffizienten im Zusammenhang steht;
- die äußere Strahlungsumgebung (mit Ausnahme des Himmels) bei der äußeren Lufttemperatur (siehe 4.5.4.1) liegt;
- die Verteilung der Sonnenstrahlung innerhalb des Raumes zeitunabhängig ist;
- die Maße jedes Elements innerhalb des Raumes gemessen werden;
- die mittlere Strahlungstemperatur durch Gewichtung der verschiedenen Innenflächentemperaturen entsprechend den jeweiligen Bereichen berechnet wird;
- die operative Temperatur der Mittelwert zwischen der Innenlufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur ist.

4.2 Bewertung der relevanten Temperaturen

4.2.1 Innenlufttemperatur

Die Lufttemperatur eines Raumes zu einem beliebigen Zeitpunkt ergibt sich nach Gleichung (1), wobei die Wärmeströme in die Raumluft als positiv angesehen werden:

$$\sum_{j=1}^N (A q_{c,i})_j + \Phi_V + \Phi_{l,c} + \Phi_{sa} + \Phi_{va} = c_a \rho_a V_{a,i} \frac{\partial \theta_{a,i}}{\partial t} \quad (1)$$

Dabei ist

- N die Anzahl der die Raumluft begrenzenden Innenflächen;
- A die Fläche der einzelnen Bauteile;
- $q_{c,i}$ die Dichte des Wärmestroms durch Konvektion (siehe 4.5.2.2);
- Φ_V der Lüftungswärmestrom (siehe 4.5.6);
- $\Phi_{l,c}$ der konvektive Anteil des Wärmestroms durch innere Wärmequellen (siehe 4.5.5);
- Φ_{sa} der Wärmestrom durch den solaren Wärmegewinn in der Luft (siehe 4.5.3.4);
- Φ_{va} der Wärmestrom infolge der durch Luftschichten innerhalb der Raumbegrenzungselemente in den Raum eintretenden Luft;
- c_a die spezifische Wärmekapazität der Luft;
- ρ_a das Volumen der Raumluft;
- $V_{a,i}$ die Masse der Raumluft;
- $\theta_{a,i}$ die Temperatur der Raumluft;
- t die Zeit.

ANMERKUNG Aufgrund des sehr geringen Wertes des Ausdrucks $(\rho_a V_{a,i})$ kann für die rechte Seite der Gleichung (1) ein Wert von null angenommen werden.

4.2.2 Innere Oberflächentemperatur

Die innere Oberflächentemperatur des Elements j ergibt sich nach Gleichung (2), wobei die Wärmeströme zur Innenfläche, mit Ausnahme von $q_{c,j}$, als positiv angesehen werden:

$$q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} + \frac{\Phi_{l,r}}{\sum_{j=1}^N A_j} = 0 \quad (2)$$

Dabei ist

- q_{lr} die Dichte des Wärmestroms durch den Austausch langwelliger Strahlung mit anderen Innenflächen (siehe 4.5.4.2);

- q_{sr} die Dichte des Wärmestroms durch die absorbierte kurzwellige Strahlung (siehe 4.5.3.2);
- q_c die Dichte des durch Konvektion an die Raumluft abgegebenen Wärmestroms (siehe 4.5.2.2);
- q_{cd} die Dichte des Wärmestroms durch Leitung (siehe 4.5.1);
- $\Phi_{i,r}$ der Wärmestrom durch den Strahlungsanteil der inneren Wärmegewinne (siehe 4.5.5);
- N die Anzahl der die Raumluft begrenzenden Oberflächen;
- A_j die Fläche des Raumelements j .

4.2.3 Oberfläche zwischen zwei festen Schichten

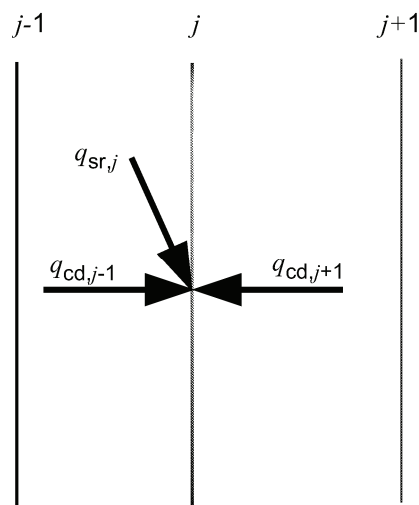


Bild 1 — Oberfläche zwischen zwei Schichten

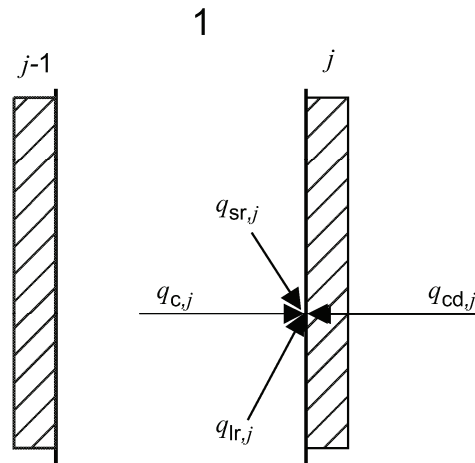
Die Temperatur der Oberfläche j zwischen zwei Schichten eines Elements (Bild 1) ergibt sich nach Gleichung (3):

$$q_{cd,j-1} + q_{cd,j+1} + q_{sr,j} = 0 \quad (3)$$

Dabei ist

- $q_{cd,j-1}$ die Dichte des Wärmestroms durch Leitung von der $j - 1$. Oberfläche (siehe 4.5.1);
- $q_{cd,j+1}$ die Dichte des Wärmestroms durch Leitung von der $j + 1$. Oberfläche (siehe 4.5.1);
- $q_{sr,j}$ die Dichte des Wärmestroms infolge der von der Oberfläche j absorbierten Sonnenstrahlung.

4.2.4 Oberfläche einer Luftschicht



Legende

1 Luftschicht

Bild 2 — Eine Luftschicht begrenzende Oberfläche

Die Temperatur an der Oberfläche j einer Luftschicht (Bild 2) ergibt sich nach Gleichung (4):

$$q_{c,j} + q_{lr,j} + q_{cd,j} + q_{sr,j} = 0 \quad (4)$$

Dabei ist

q_c die Dichte des in die Luftschicht freigesetzten Gesamtwärmestroms (siehe 4.5.2);

q_{lr} die Dichte des durch langwellige Strahlung über die Luftschicht erhaltenen Wärmestroms (siehe 4.5.4);

q_{cd} die Dichte des Wärmestroms durch Leitung (siehe 4.5.1);

q_{sr} die Dichte des von einer äußeren Quelle (z. B. Sonnenstrahlung) absorbierten Wärmestroms.

4.2.5 Außenfläche eines Raumelements

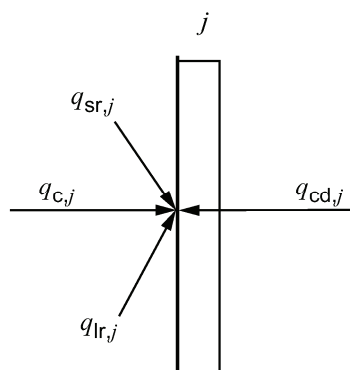


Bild 3 — Außenfläche eines Elements

Die Temperatur an der Oberfläche j eines Raumelements (Bild 3) ergibt sich nach Gleichung (5):

$$q_{lr,j} + q_{sr,j} + q_{c,j} + q_{cd,j} = 0 \quad (5)$$

Dabei ist

- q_{lr} die Dichte des Wärmestroms durch langwellige Strahlung an der Oberfläche (siehe 4.5.4.1);
- q_{sr} die Dichte des Wärmestroms durch die von der Oberfläche absorbierte kurzwellige Strahlung (siehe 4.5.3.1);
- q_c die Dichte des Wärmestroms durch Konvektion mit der Luft (siehe 4.5.2.2);
- q_{cd} die Dichte des Wärmestroms durch Leitung (siehe 4.5.1).

4.2.6 Relevante Temperaturen für spezielle Bauteile

4.2.6.1 Decke unter einem Dachgeschoss

Decke, Luftraum und Dach werden als einzelnes horizontales Element mit eindimensionalem Wärmestrom betrachtet. Der Luftraum wird als Luftschicht betrachtet, die in 4.5.2.3 und 4.5.2.4 behandelt wird.

4.2.6.2 Fußboden auf dem Erdreich

Fußboden und Erdreich werden als einzelnes horizontales Element mit einem Wärmestrom betrachtet, der nach ISO 13370 behandelt wird. Randbedingungen sind in 4.4.4 festgelegt.

4.2.6.3 Geschossdecke über einem Keller

Der Keller wird als unbeheiztes Untergeschoss nach ISO 13370 behandelt. Das Berechnungsverfahren entspricht ISO 13370. Randbedingungen sind in 4.4.5 festgelegt.

4.2.6.4 Geschossdecke über einem Kriechkeller

Geschossdecke, Kriechkeller und Erdreich werden als aufgeständerte Bodenplatte nach ISO 13370 behandelt. Randbedingungen sind in 4.4.5 festgelegt.

4.2.6.5 Verglastes Element

Ein verglastes Element besteht aus mehreren Ebenen (Glasscheiben und möglicherweise Jalousien), die miteinander im thermischen Gleichgewicht stehen. Die Bewertung der Temperaturen für jede Ebene erfolgt unter folgenden Annahmen:

- die Auswirkungen der Wärmespeicherung in den verschiedenen Ebenen werden vernachlässigt;
- der Wärmestrom infolge Konvektion durch die Luftschichten zwischen den einzelnen Scheiben wird nach 4.5.2.3 und 4.5.2.4 berechnet;
- die Dichte des Wärmestroms durch die langwellige Strahlung zwischen den verschiedenen Ebenen wird nach 4.5.4.3 berechnet;
- die Dichte des Wärmestroms durch die von jeder Ebene absorbierte kurzwellige Strahlung wird als Quellenterm behandelt.

4.3 Wärmebilanz eines Raumes

In jeder Gleichung von 4.2 sind die zeitabhängigen Wärmeströme als Operatoren auszudrücken, die die Wärmeströme an der Innenfläche jedes Elements zur Temperatur an der Innen- und der Außenfläche und zur Raumlufttemperatur ins Verhältnis setzen, indem geeignete mathematische Modelle der Wärmeübertragungsvorgänge angewendet werden. Die Temperatur der Raumluft ist zusammen mit der Temperatur der verschiedenen Oberflächen durch Lösen des globalen Gleichungssystems für jeden betrachteten Zeitschritt zu bestimmen. Im Folgenden wird eine allgemeine Darstellung des Gleichungssystems angegeben:

$$\begin{pmatrix} \Pi_{1,1} & \Pi_{1,2} & \Pi_{1,N} & \Pi_{1,N+1} \\ \Pi_{2,1} & \Pi_{2,2} & \Pi_{2,N} & \Pi_{2,N+1} \\ \Pi_{N,1} & \Pi_{N,2} & \Pi_{N,N} & \Pi_{N,N+1} \\ \Pi_{N+1,1} & \Pi_{N+1,2} & \Pi_{N+1,N} & \Pi_{N+1,N+1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \theta_{is,1} \\ \theta_{is,2} \\ \theta_{is,N} \\ \theta_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \Gamma_1 \\ \Gamma_2 \\ \Gamma_N \\ \Gamma_{N+1} \end{pmatrix} \quad (6)$$

Dabei ist

- N die Anzahl der den Raum begrenzenden Elemente, die den die Raumluft begrenzenden Innenflächen entsprechen;
- Π die Koeffizienten der unbekannten Temperaturen (θ) (von 1 bis N auf die Innenflächen bezogen, $N+1$ auf die Raumluft bezogen);
- Γ die Koeffizienten der bekannten Größen (von 1 bis N auf die Innenflächen bezogen, $N+1$ auf die Raumluft bezogen);
- θ die unbekannten Temperaturen (von 1 bis N auf die Innenflächen bezogen, $N+1$ auf die Raumluft bezogen).

Die Ausdrücke Π und Γ ergeben sich durch Umschreiben der Gleichungen (1) und (2), um die unbekannten Parameter (Lufttemperatur zum gegebenen Zeitpunkt t bei Gleichung (1) sowie innere Oberflächentemperatur jedes Bauteils zum gegebenen Zeitpunkt t bei Gleichung (2)) von den bekannten Parametern zu trennen. Die Form dieser Gleichungen ist abhängig vom angewendeten Lösungsverfahren.

4.4 Randbedingungen

4.4.1 Einzelraum

Ein Einzelraummodell erfordert die Kenntnis der Bedingungen der angrenzenden Räume. Es werden die folgenden beiden Situationen betrachtet:

- angrenzender Raum unter gleichen Bedingungen (vergleichbare Räume);
- angrenzender Raum mit definierten Innenbedingungen.

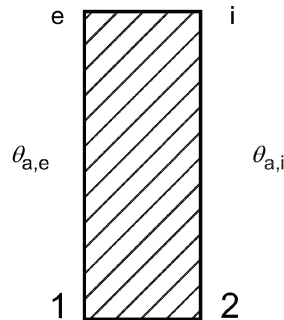
Wenn die Randbedingungen stark von den vorstehend angegebenen Bedingungen abweichen, darf das in diesem Dokument festgelegte einfache Raummodell nicht angewendet werden, und es müssen die tatsächlichen Randbedingungen mit Hilfe eines Mehrraummodells berechnet werden, mit dem die Wärmeübertragung zwischen den verschiedenen Räumen berücksichtigt werden kann. Dies darf durch Folgendes erreicht werden:

- a) gleichzeitige Lösung der globalen Systemgleichungen für alle Räume; oder
- b) iteratives Verfahren, bei dem die beim jeweils vorangegangenen Zeitschritt bestimmten Temperaturen als Randbedingungen für jeden Raum betrachtet werden.

4.4.2 Vergleichbare Räume

4.4.2.1 (Vertikale) Trennwand

Nach Bild 4 werden die folgenden Randbedingungen betrachtet.



Legende

- 1 vergleichbar
- 2 innen

Bild 4 — Vertikale Trennwand

$$\theta_{a,e} = \theta_{a,i}$$

$$q_{sr,e} = q_{sr,i}$$

$$q_{lr,e} = q_{lr,i}$$

(7)

$$h_{c,e} = h_{c,i}$$

Dabei ist

$\theta_{a,e}$ die Lufttemperatur des angrenzenden Raumes;

$\theta_{a,i}$ die Lufttemperatur des Raumes;

$q_{sr,e}$ die Dichte des Wärmestroms durch die an der Außenfläche der Wand absorbierte kurzwellige Strahlung;

$q_{lr,e}$ die Dichte des Wärmestroms durch den Austausch langwelliger Strahlung mit den anderen Oberflächen des angrenzenden Raumes;

$q_{sr,i}$ die Dichte des Wärmestroms durch die an der Innenfläche der Wand absorbierte kurzwellige Strahlung (siehe 4.5.3.2);

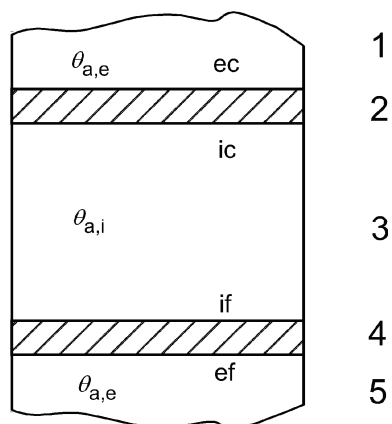
$q_{lr,i}$ die Dichte des durch langwellige Strahlung von den anderen Innenflächen an der Innenfläche der Wand auftreffenden Wärmestroms (siehe 4.5.4.2);

$h_{c,e}$ der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Außenfläche;

$h_{c,i}$ der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Innenfläche (siehe Tabelle 1).

4.4.2.2 Decke/Fußboden

Nach Bild 5 werden folgende Randbedingungen betrachtet:



Legende

- 1 Vergleichbarer Raum
- 2 Decke
- 3 Raum
- 4 Fußboden
- 5 Vergleichbarer Raum

Bild 5 — An vergleichbare Räume angrenzende(r) Decke/Fußboden

$$\theta_{a,e} = \theta_{a,i}$$

$$q_{sr,ec} = q_{sr,if}$$

$$q_{lr,ec} = q_{lr,if}$$

$$q_{sr,ef} = q_{sr,ic}$$

(8)

$$q_{lr,ef} = q_{lr,ic}$$

$$h_{c,ec} = h_{c,if}$$

$$h_{c,ef} = h_{c,ic}$$

Dabei ist

$\theta_{a,e}$ die Lufttemperatur des angrenzenden Raumes;

$\theta_{a,i}$ die Lufttemperatur des Raumes;

$q_{sr,ec}$ die Dichte des Wärmestroms durch die absorbierte kurzwellige Strahlung an der Außenfläche der Decke;

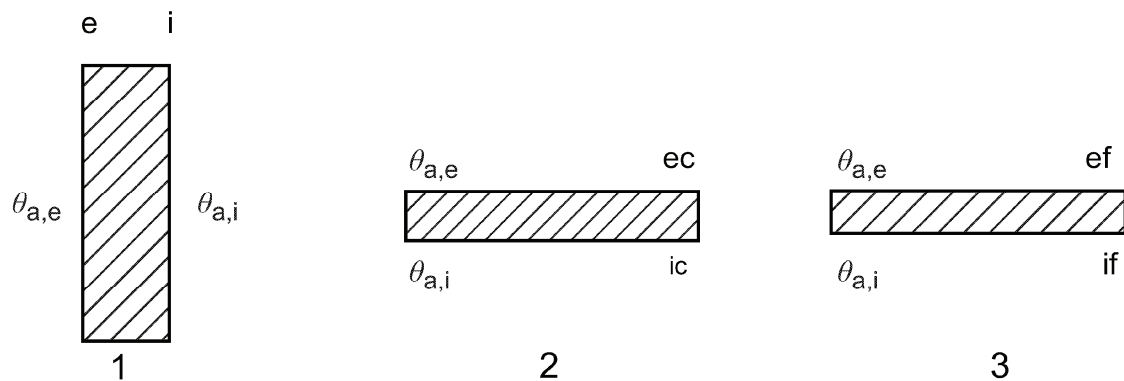
$q_{sr,ic}$ die Dichte des Wärmestroms durch die absorbierte kurzwellige Strahlung an der Innenfläche der Decke (siehe 4.5.3.2);

$q_{sr,ef}$ die Dichte des Wärmestroms durch die absorbierte kurzwellige Strahlung an der Außenfläche des Fußbodens;

$q_{sr,if}$	die Dichte des Wärmestroms durch die absorbierte kurzwellige Strahlung an der Innenfläche des Fußbodens (siehe 4.5.3.2);
$q_{lr,ef}$	die Dichte des Wärmestroms durch den Austausch langwelliger Strahlung der Außenfläche des Fußbodens mit den anderen Außenflächen;
$q_{lr,if}$	die Dichte des Wärmestroms durch den Austausch langwelliger Strahlung der Innenfläche des Fußbodens mit den anderen Innenflächen (siehe 4.5.4.2);
$q_{lr,ec}$	die Dichte des Wärmestroms durch langwellige Strahlung von der Außenfläche der Decke an die anderen Außenflächen;
$q_{lr,ic}$	die Dichte des Wärmestroms durch langwellige Strahlung von der Innenfläche der Decke an die anderen Innenflächen (siehe 4.5.4.2);
$h_{c,ec}$	der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Außenfläche der Decke;
$h_{c,if}$	der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Innenfläche des Fußbodens (siehe Tabelle 1);
$h_{c,ef}$	der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Außenfläche des Fußbodens;
$h_{c,ic}$	der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Innenfläche der Decke (siehe Tabelle 1).

4.4.3 Angrenzender Raum mit definiertem Wert der Lufttemperatur

Für jedes Element der Umschließungsfläche (siehe Bild 6) werden folgende Randbedingungen betrachtet:



Legende

- 1 Wand
- 2 Decke
- 3 Fußboden

Bild 6 — Wand, Decke und Fußboden angrenzend an einen Raum mit definierten inneren Bedingungen

$$\theta_{a,e} = \theta_{a,d}$$

$$q_{sr,e} = 0$$

$$h_{c,e} = h_{c,i} \quad (9)$$

$$h_{c,ec} = h_{c,if}$$

$$h_{c,ef} = h_{c,ic}$$

Dabei ist

$\theta_{a,d}$ die Lufttemperatur des angrenzenden Raumes;

$q_{sr,e}$ die Dichte des Wärmestroms durch die absorbierte kurzwellige Strahlung an der äußeren Oberfläche;

$h_{c,e}$ der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Außenfläche der vertikalen Wand;

$h_{c,i}$ der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Innenfläche der vertikalen Wand (siehe Tabelle 1);

$h_{c,ec}$ der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Außenfläche der Decke;

$h_{c,if}$ der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Innenfläche des Fußbodens (siehe Tabelle 1);

$h_{c,ef}$ der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Außenfläche des Fußbodens;

$h_{c,ic}$ der Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Innenfläche der Decke (siehe Tabelle 1).

4.4.4 Fußboden auf dem Erdreich

Die Wärmeübertragung zwischen dem Raum und der Außenumgebung über das Erdreich wird als Summe aus einer stationären Komponente und einer monatlichen Variablen nach ISO 13370 berechnet. Die monatliche Variable wird als eindimensional und rechtwinklig zur Fußbodenoberfläche angesehen. Das Berechnungsverfahren muss diesen Wärmestrom mit der Wärmespeicherkapazität der Fußbodenkonstruktion und einer darunterliegenden 0,5 m dicken Erdbodenschicht entsprechend der Beschreibung in ISO 13370 verknüpfen.

4.4.5 Keller oder Kriechkeller

Ein Keller wird als unbeheiztes Untergeschoss nach ISO 13790 behandelt. Wärmeübertragungsvorgänge werden nach 4.4.4 berechnet, wobei 0,5 m Erdbodenschicht an jeder Seite und unterhalb des Kellers berücksichtigt werden. Ein Kriechkeller wird als aufgeständerte Bodenplatte nach ISO 13370 behandelt. Die Wärmeübertragungsvorgänge werden nach 4.4.4 berechnet.

4.4.6 Decke unter einem Dachgeschoss

In Übereinstimmung mit den in 4.2.6.1 getroffenen Annahmen gelten folgende Randbedingungen:

$\theta_{a,e}$ ist die Außenlufttemperatur;

$q_{sr,e}$ ist definiert durch Gleichung (17);

$q_{lr,e}$ ist definiert durch Gleichung (24).

4.5 Ausdrücke in den Gleichungen für die Wärmebilanz

4.5.1 Wärmeleitung durch Bauteile

Für Elemente mit konstanter Wärmeleitfähigkeit und spezifischer Wärmekapazität wird die Dichte des Wärmestroms durch Leitung durch folgende Gleichungen beschrieben:

$$q_{cd,n} = -\lambda \left(\frac{\partial \theta}{\partial n} \right) \quad (10)$$

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 \theta}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 \theta}{\partial z^2} \right) + g = c_{me} \rho_{me} \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (11)$$

Dabei ist

- θ die Temperatur des Bauteils (in Richtung des Wärmestroms) zum Zeitpunkt t ;
- $q_{cd,n}$ die Dichte des Wärmestroms in Richtung n ;
- λ die Wärmeleitfähigkeit des Mediums;
- c_{me} die spezifische Wärmekapazität des Mediums;
- ρ_{me} die Dichte des Mediums;
- g der Wärmequellen-Ausdruck (volumenbezogener Wärmestrom);
- x, y, z Koordinaten.

Diese Gleichungen dürfen mit jedem geeigneten Verfahren gelöst werden, das zu Ergebnissen in Übereinstimmung mit dem Validierungsverfahren in Abschnitt 7 führt.

ANMERKUNG In Anhang A ist ein geeignetes Verfahren beschrieben.

4.5.2 Konvektive Wärmeübertragung

4.5.2.1 Allgemeines

Konvektive Wärmeübertragung tritt an den Grenzflächen jedes Bauteils sowie durch Luftschichten auf.

4.5.2.2 Konvektiver Wärmestrom an den Oberflächen eines Elements

Die Dichte des konvektiven Wärmestroms an der Innen- und der Außenfläche eines Elements ergibt sich nach Gleichung (12):

$$q_c = h_c (\theta_s - \theta_a) \quad (12)$$

Dabei ist

- h_c der Konvektionswärmeübergangskoeffizient der Oberfläche;
- θ_s die Oberflächentemperatur;
- θ_a die Lufttemperatur.

Die Werte des Konvektionswärmeübergangskoeffizienten an der Außenfläche, $h_{c,e}$, ergeben sich nach Gleichung (13):

$$h_{c,e} = 4 + 4 \times v \quad (13)$$

Dabei ist

v die Windgeschwindigkeit in der Nähe der Oberfläche.

Die Windgeschwindigkeit v in der Nähe der Oberfläche hängt von den Klimadaten des Standortes und den Merkmalen der Umschließungsfläche ab. Sofern nicht anders festgelegt, ist der Wert 1 m/s zu verwenden. Tabelle 1 gibt die Werte des Konvektionswärmeübergangskoeffizienten an der Innenfläche, $h_{c,i}$, an.

Tabelle 1 — Konvektionswärmeübergangskoeffizient an der Innenfläche

Vertikale Wand W/(m ² ·K)	Aufwärts gerichteter Wärmestrom W/(m ² ·K)	Abwärts gerichteter Wärmestrom W/(m ² ·K)
2,5	5,0	0,7
ANMERKUNG Die Werte in dieser Tabelle wurden mit den in ISO 6946 angegebenen Gleichungen für die folgenden Bedingungen bestimmt: — Temperaturdifferenz ($\theta_{s,i} - \theta_{a,i}$) < 10 K; — Hydraulischer Oberflächendurchmesser = 4,5 m (4 × Fläche/Umfang).		

Die in Gleichung (12) benötigte Lufttemperatur ist:

- für Innenflächen: die Raumlufthtemperatur;
- für Außenflächen: die in Tabelle 2 angegebenen Bedingungen.

Tabelle 2 — Lufttemperatur

Bauteile	Bedingungen der Lufttemperatur
Außenwand, Dach	Außenlufttemperatur
Trennwand, Decke und Dach angrenzend an einen vergleichbaren Raum	Innenlufttemperatur
Trennwand, Decke und Dach angrenzend an einen Raum mit abweichenden Bedingungen	Lufttemperatur des angrenzenden Raumes
Fußboden auf dem Erdreich	Mittlere monatliche Außenlufttemperatur
Geschossdecke über einem Keller	Temperatur des Kellers

4.5.2.3 Konvektive Wärmeübertragung durch unbelüftete Luftschichten

Die Dichte des konvektiven Wärmestroms q_c durch eine unbelüftete Luftschicht ergibt sich nach:

$$q_c = \lambda_a \Delta \theta \quad (14)$$

Dabei ist

$\Delta\theta$ die Temperaturdifferenz zwischen den die Schicht begrenzenden Oberflächen;

λ_a der Wärmedurchlasskoeffizient der Luftschicht.

Der Wärmedurchlasskoeffizient einer unbelüfteten Luftschicht wird nach folgenden Dokumenten berechnet:

- ISO 6946 zwischen opaken Oberflächen;
- ISO 10077-1, ISO 10077-2, ISO 15099, ISO 10292 oder EN 673 zwischen transparenten Oberflächen.

ANMERKUNG Für transparente Oberflächen kann der Wärmedurchlasskoeffizient einer unbelüfteten Luftschicht unter Annahme folgender Bezugsbedingungen berechnet werden:

- Dichte der Luft: 1,139 kg/m³;
- dynamische Viskosität: $1,861 \times 10^{-5}$ kg/(m·s);
- Wärmeleitfähigkeit: 0,026 4 W/(m·K);
- spezifische Wärmekapazität: 1 008 J/(kg·K);
- absolute Temperatur: 300 K;
- Temperaturdifferenz: 5 K.

In Tabelle 3 sind einige Werte des Wärmedurchlasskoeffizienten λ_a für vertikale und horizontale unbelüftete Luftschichten zwischen transparenten Bauteilen angegeben. Für andere Dicken darf der Wärmedurchlasskoeffizient durch Interpolation abgeleitet werden.

Tabelle 3 — Konvektionswärmedurchlasskoeffizient für unbelüftete Luftschichten zwischen opaken Oberflächen (berechnet nach ISO 6946)

Dicke der Luftschicht	Vertikale Luftschicht	Horizontale Luftschicht	
	Wärmedurchlasskoeffizient	aufwärts gerichteter Wärmestrom	abwärts gerichteter Wärmestrom
	λ_a	Wärmedurchlasskoeffizient	Wärmedurchlasskoeffizient
m	W/(m ² ·K)	λ_a	λ_a
		W/(m ² ·K)	W/(m ² ·K)
0,01	2,50	2,50	2,50
0,05	1,25	1,95	0,50
0,10	1,25	1,95	0,33
0,20	1,25	1,95	0,24

Tabelle 4 — Konvektionswärmedurchlasskoeffizient für unbelüftete Luftschichten zwischen transparenten Oberflächen (berechnet nach EN 673)

Dicke der Luftschicht	Vertikale Luftschicht	Horizontale Luftschicht	
	Wärmedurchlasskoeffizient	aufwärts gerichteter Wärmestrom	abwärts gerichteter Wärmestrom
	Wärmedurchlasskoeffizient	Wärmedurchlasskoeffizient	Wärmedurchlasskoeffizient
m	λ_a W/(m ² ·K)	λ_a W/(m ² ·K)	λ_a W/(m ² ·K)
0,01	2,64	2,64	2,64
0,025	1,06	2,00	1,06
0,05	1,16	1,79	0,53
0,10	1,28	1,60	0,26
0,20	1,41	1,43	0,13
ANMERKUNG Der einer Dicke von 25 mm entsprechende Wert ist für die Interpolation erforderlich.			

4.5.2.4 Konvektive Wärmeübertragung durch belüftete Luftschicht

Der konvektive Wärmestrom durch eine belüftete Luftschicht, Φ_{va} , ist abhängig vom Luftvolumenstrom in der Luftschicht. Die zu betrachtenden Wärmeströme sind:

- a) der konvektive Wärmestrom, Φ_{va} , aufgrund des Luftdurchgangs durch die Luftschicht und in den Raum entsprechend:

$$\Phi_{va} = m_{a,v} c_a (\theta_l - \theta_{a,i}) \quad (15)$$

Dabei ist

$m_{a,v}$ der Massenluftstrom durch die Luftschicht;

θ_l die Temperatur der die Schicht verlassenden Luft;

- b) der konvektive Wärmestrom, $\Phi_{c,j}$, zwischen Oberflächen und Luft entsprechend:

$$\begin{aligned} \Phi_{c,j} &= h_a A_c (\theta_j - \theta_{eq}) \\ \Phi_{c,j+1} &= h_a A_c (\theta_{j+1} - \theta_{eq}) \end{aligned} \quad (16)$$

Dabei ist

A_c die mit der Luftschicht in Kontakt stehende Oberfläche;

h_a der Konvektionswärmeübergangskoeffizient für belüftete Schichten;

θ_{eq} die äquivalente Temperatur der Luft in der Schicht;

j und $j + 1$ die Luftschicht begrenzenden Oberflächen.

ANMERKUNG Ein Verfahren zur Ermittlung der Parameter in den Gleichungen (15) und (16) ist in Anhang B gegeben.

4.5.3 Wärmeübertragungsvorgänge durch kurzwellige Strahlung

4.5.3.1 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung an der Außenfläche eines opaken Bauteils

Die Dichte des Wärmestroms durch kurzwellige Strahlung an der Außenfläche eines opaken Bauteils ergibt sich nach:

$$q_{\text{sr,e}} = \alpha_{\text{sr}}(f_{\text{s}}I_{\text{D}} + I_{\text{d}}) \quad (17)$$

Dabei ist

α_{sr} der solare Absorptionsgrad;

f_{s} der Sonnenlichtfaktor;

I_{D} der direkte Anteil der die Oberfläche erreichenden Sonnenstrahlung;

I_{d} der diffuse Anteil der die Oberfläche erreichenden Sonnenstrahlung.

Die Werte des solaren Absorptionsgrades der opaken Außenflächen, α_{sr} , hängen von den Merkmalen der Außenfläche des Bauteils ab. Tabelle 5 enthält Werte des solaren Absorptionsgrades als Funktion der Farbe der Außenfläche, die verwendet werden dürfen, wenn keine spezifischen Werte zur Verfügung stehen.

Tabelle 5 — Solarer Absorptionsgrad von opaken Außenflächen

	Helle Farbe	Mittlere Farbe	Dunkle Farbe
α_{sr}	0,3	0,6	0,9

Die Werte des direkten Anteils, I_{D} , und des diffusen Anteils, I_{d} , der die unterschiedlich ausgerichteten Oberflächen erreichenden Sonnenstrahlung dürfen aus nationalen Daten abgeleitet werden.

Der Sonnenlichtfaktor f_{s} ergibt sich nach:

$$f_{\text{s}} = \frac{A_{\text{s}}}{A} \quad (18)$$

Dabei ist

A_{s} die sonnenbestrahlte Fläche der Wand (definiert in 4.5.3.5);

A die Gesamtfläche der Wand.

4.5.3.2 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung an den Innenflächen opaker Elemente

Die Dichte des Wärmestroms durch die von der Innenfläche eines opaken Elements absorbierte kurzwellige Strahlung ergibt sich nach:

$$q_{\text{sri}} = (1 - f_{\text{sa}})(1 - f_{\text{sl}})(\Phi_{\text{sr,D}} + \Phi_{\text{sr,d}})f_{\text{d}} \quad (19)$$

Dabei ist

f_{sa} der Strahlungszuordnungsfaktor Luft des Raumes;

f_{sl} der solare Verlustfaktor des Raumes;

- f_d der Verteilungsfaktor der Sonnenstrahlung auf der Innenfläche des Elements;
 $\Phi_{\text{sr,D}}$ der Wärmestrom durch die direkten Anteile der in den Raum eintretenden Sonnenstrahlung;
 $\Phi_{\text{sr,d}}$ der Wärmestrom durch die diffusen Anteile der in den Raum eintretenden Sonnenstrahlung.

Die Wärmeströme durch die direkten und diffusen Anteile der in den Raum eintretenden Sonnenstrahlung ergeben sich nach den Gleichungen (20) bzw. (21):

$$\Phi_{\text{sr,D}} = \sum_{j=1}^J (I_D \tau_D A_s)_j \quad (20)$$

$$\Phi_{\text{sr,d}} = \sum_{j=1}^J (I_d \tau_d A)_j \quad (21)$$

Dabei ist

- J die Anzahl der Verglasungssysteme;
 I_D der direkte Anteil der die Außenfläche des Systems j erreichenden Sonnenstrahlung;
 I_d der diffuse Anteil der die Außenfläche des Verglasungssystems j erreichenden Sonnenstrahlung;
 τ_D der direkte solare Energiedurchlassgrad des Verglasungssystems;
 τ_d der diffuse solare Energiedurchlassgrad des Verglasungssystems;
 A_s die sonnenbestrahlte Fläche der Verglasung (siehe 4.5.3.5);
 A die verglaste Fläche.

Der direkte und der diffuse solare Energiedurchlassgrad jedes Verglasungssystems, τ_D und τ_d , sind nach ISO 9050 oder EN 410 zu bestimmen. Wenn keine Werte zur Verfügung stehen, sind τ_D und τ_d bei senkrechtem Einfallswinkel zu berechnen.

Strahlungszuordnungsfaktor Luft

Der Strahlungszuordnungsfaktor Luft, f_{sa} , stellt den Anteil der durch die Verglasung in den Raum eindringenden solaren Wärme dar, der sofort an die Raumluft übergeben wird. Dieser Anteil hängt von der Menge der Innenelemente mit sehr geringer Wärmekapazität ab, wie z. B. Teppiche und Möbel. Er wird als zeitunabhängig angenommen.

Solarer Verlustfaktor

Der solare Verlustfaktor, f_{sl} , ist der Anteil der in den Raum eindringenden Sonnenstrahlung, der wieder an die Außenumgebung zurückreflektiert wird. Er hängt von den geometrischen Kenngrößen und den solaren Eigenschaften des Verglasungssystems, der Exposition der Verglasung, den Einfallswinkeln der Sonnenstrahlung, der Raumgeometrie und den Farben der Oberflächen ab. Er wird als zeitunabhängig angenommen.

Verteilungsfaktoren

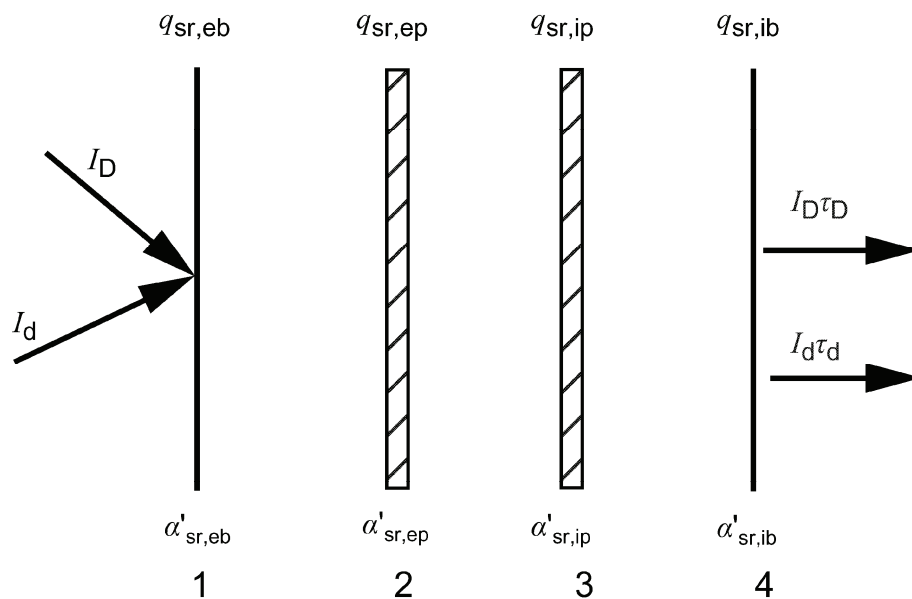
Die Verteilungsfaktoren, f_d , definieren den Betrag der direkten Sonnenstrahlung, der je Flächeneinheit an den verschiedenen Innenflächen der Wände, der Decke, des Fußbodens usw. absorbiert wird. Sie hängen von den Einfallswinkeln der Sonnenstrahlung, den geometrischen Maßen von Verglasung und Raum, dem kurzwelligen Reflexionsgrad der Bauteile sowie von den Möbeln und Einrichtungsgegenständen ab. Sie werden als zeitunabhängig angenommen.

ANMERKUNG Sofern nicht anders festgelegt, können die Werte f_{sa} , f_{sl} und f_d aus dem informativen Anhang G verwendet werden.

4.5.3.3 Wärmestrom durch kurzwellige Strahlung bei transparenten Bauteilen (einschließlich Jalousien und Vorhängen)

Transparente Bauteile übertragen, reflektieren und absorbieren teilweise die auf ihre Außenfläche einfallende Sonnenstrahlung. Für mehrschichtige verglaste Bauteile (z. B. Fenster mit Doppelverglasung mit Innen- und/oder Außenjalousie) sind die folgenden Sonnenparameter erforderlich:

- der direkte und der diffuse solare Energiedurchlassgrad des Systems, τ_D und τ_d ;
- der äquivalente Absorptionsgrad für direkte und diffuse Solarenergie für jedes Element des verglasten Systems α'_{sr} .



Legende

- 1 Außenjalousie (eb, en: external blind)
- 2 Außenscheibe (ep, en: external pane)
- 3 Innenscheibe (ip, en: internal pane)
- 4 Innenjalousie (ib, en: internal blind)

Bild 7 — Doppelverglasung mit Innen- und Außenjalousie

Diese Sonnenparameter sind nach ISO 9050 oder EN 410 zu berechnen, wobei die Transparenz und der Reflexionsgrad für Solarenergie für jedes Bauteil zu berücksichtigen sind. Wenn für unterschiedliche Einfallswinkel keine Daten zur Verfügung stehen, können die Werte dieser Parameter für den senkrechten Einfallswinkel als sichere Werte angesetzt werden. Die Dichte des Wärmestroms für das Bauteil j des Verglasungssystems durch die absorbierte Sonnenstrahlung ergibt sich dann nach:

$$q_{sr,j} = \alpha'_{sr,j} (I_D f_s + I_d) \quad (22)$$

Dabei ist

j das Element des Verglasungssystems;

α'_{sr} der äquivalente solare Absorptionsgrad.

Wenn Vorhänge oder Jalousien vorhanden sind, können folgende Fälle auftreten:

- a) Vorhang/Jalousie vollständig geschlossen;
- b) Vorhang/Jalousie nicht vollständig geschlossen.

Im Fall a) werden Verglasungsbauteil und Vorhang/Jalousie als ein einzelnes Bauteil der Umschließungsfläche mit den entsprechenden solaren Koeffizienten behandelt.

Im Fall b) müssen zwei verschiedene Komponenten betrachtet werden:

- der Teil der verglasten Fläche, der nicht vom Vorhang/der Jalousie bedeckt ist und nur das Verglasungsbauteil umfasst;
- der Teil der verglasten Fläche, der vom Vorhang/der Jalousie bedeckt ist (behandelt in Fall a)).

4.5.3.4 Wärmestrom durch den solaren Wärmegewinn in der Luft

Der Wärmestrom durch den solaren Wärmegewinn in der Luft, Φ_{sa} , stellt den Wärmestrom infolge der Sonnenstrahlung dar, die durch das Verglasungssystem eindringt und direkt an die Raumluft übergeben wird. Er ergibt sich nach:

$$\Phi_{sa} = f_{sa}(1 - f_{sl})(\Phi_{sr,D} + \Phi_{sr,d}) \quad (23)$$

Die Parameter in Gleichung (23) sind die gleichen wie in Gleichung (19).

4.5.3.5 Sonnenbestrahlte Fläche des Raumelements

Wenn äußere Hindernisse vorhanden sind, kann die Fläche eines Elements teilweise verschattet sein. Hindernisse, die in diesem Dokument behandelt werden, sind horizontale Auskragungen, Seitenteile, Fensterrücksprünge und umgebende Konstruktionen. In Gleichung (18) ist ein Sonnenlichtfaktor definiert, der in den Gleichungen (17) und (22) für die diffuse Strahlung addiert werden darf. Aus Sicherheitsgründen darf die Annahme getroffen werden, dass

- die Verschattung nur dazu dient, die direkte solare Komponente zu verringern;
- die Auswirkungen gegenseitiger Reflexionen vernachlässigbar sind.

Die Größe der sonnenbestrahlten Fläche darf mit jedem geeigneten Verfahren bestimmt werden, das zu Ergebnissen führt, die den in Abschnitt 7 angegebenen Validierungsprüfungen entsprechen.

ANMERKUNG Ein geeignetes Verfahren ist in Anhang C beschrieben.

4.5.4 Wärmeübertragung durch langwellige Strahlung

4.5.4.1 Wärmestrom an der Außenfläche

Entsprechend den Annahmen in 4.1 ergibt sich die Dichte des von einer Außenfläche aufgenommenen effektiven Wärmestroms durch langwellige Strahlung, $q_{lr,e}$, durch:

$$q_{lr} = h_{lr} (\theta_{a,e} - \theta_{s,e}) - q_{sk} \quad (24)$$

Dabei ist

- h_{lr} der Wärmeübergangskoeffizient für langwellige Strahlung;
- $\theta_{a,e}$ die Außenlufttemperatur;
- $\theta_{s,e}$ die Temperatur der Außenfläche;
- q_{sk} die Korrektur für den langwelligen Strahlungsaustausch zwischen Wand und Himmel.

Unter Verwendung der absoluten Temperaturen ($T = \theta + 273,15$) wird der Wert h_{lr} näherungsweise wie folgt bestimmt:

$$h_{lr} = 4 \times \varepsilon \sigma \left(\frac{T_{a,e} + T_{s,e}}{2} \right)^3 \quad (25)$$

Dabei ist

- ε der Emissionsgrad der langwelligen Strahlung der Oberfläche;
- σ die Stefan-Boltzmann-Konstante;
- $T_{a,e}$ die Außenlufttemperatur;
- $T_{s,e}$ die Oberflächentemperatur.

Entsprechend den Annahmen in 4.1 sind die Berechnungen mit einem feststehenden Wert von h_{lr} durchzuführen.

ANMERKUNG 1 Die Ausdrücke für Gleichung (24) können unter der Annahme folgender Bedingungen berechnet werden:

- Emissionsgrad der Außenfläche $\varepsilon \cdot l_{lr,e} = 0,93$;
- Bezugstemperatur $T_m = \frac{T_{a,e} + T_{s,e}}{2} = 303 \text{ K}$.

Unter diesen Bedingungen beträgt der Wert von h_{lr} für Außenflächen $5,5 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$.

Die Korrektur für die vom Element an den Himmel abgegebene langwellige Strahlung, q_{sk} , ergibt sich nach:

$$q_{sk} = F_{sk} \times 4 \times \varepsilon \sigma \left(\frac{T_{a,e} + T_{sk}}{2} \right)^3 (T_{a,e} - T_{sk}) \quad (26)$$

Dabei ist

- F_{sk} die Einstrahlzahl vom Element zum Himmel (Raumwinkel dividiert durch 2π);
- $T_{a,e}$ die Außenlufttemperatur;
- T_{sk} die Temperatur des Himmels.