

DIN EN ISO 13791

ICS 91.120.10

**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –
Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik –
Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren (ISO 13791:2004);
Deutsche Fassung EN ISO 13791:2004**

Thermal performance of buildings –

Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling –

General criteria and validation procedures (ISO 13791:2004);

German version EN ISO 13791:2004

Performance thermique des bâtiments –

Calcul des températures intérieures en été d'un local sans dispositif de refroidissement –

Critères généraux et méthodes de calcul (ISO 13791:2004);

Version allemande EN ISO 13791:2004

Gesamtumfang 95 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

Nationales Vorwort

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuss zu CEN/TC 89 eingesetzte Arbeitsausschuss 00.89.00 „Wärmeschutz“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau).

Für die in Abschnitt 2 zitierten Internationalen und Europäischen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen verwiesen:

EN 410 siehe DIN EN 410
EN ISO 6946 siehe DIN EN ISO 6946
EN ISO 7345 siehe DIN EN ISO 7345
EN ISO 9251 siehe DIN EN ISO 9251
EN ISO 9288 siehe DIN EN ISO 9288
EN ISO 9346 siehe DIN EN ISO 9346
EN ISO 10077-1 siehe DIN EN ISO 10077-1
EN ISO 13370 siehe DIN EN ISO 13370

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

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

DIN EN ISO 6946, *Bauteile — Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient — Berechnungsverfahren*

DIN EN ISO 7345, *Wärmeschutz — Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 9251, *Wärmeschutz — Zustände der Wärmeübertragung und Stoffeigenschaften — Begriffe*

DIN EN ISO 9288, *Wärmeschutz — Wärmeübertragung durch Strahlung — Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 9346, *Wärmeschutz — Stofftransport — Physikalische Größen und Definitionen*

DIN EN ISO 10077-1, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen — Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten — Teil 1: Vereinfachtes Verfahren*

DIN EN ISO 13370, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — Wärmeübertragung über das Erdreich — Berechnungsverfahren*

Deutsche Fassung

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden —
Sommerliche Raumtemperaturen bei
Gebäuden ohne Anlagentechnik —
Allgemeine Kriterien und Validierungsverfahren
(ISO 13791:2004)

Thermal performance of buildings —
Calculation of internal temperatures of a room in summer
without mechanical cooling —
General criteria and validation procedures
(ISO 13791:2004)

Performance thermique des bâtiments —
Calcul des températures intérieures en été d'un local sans
dispositif de refroidissement —
Critères généraux et méthodes de calcul
(ISO 13791:2004)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. Juni 2004 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 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, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe, Symbole und Einheiten	7
3.1 Begriffe.....	7
3.2 Symbole und Einheiten	8
3.3 Indizes	9
4 Ermittlung der Raumtemperatur	9
4.1 Annahmen.....	9
4.2 Ermittlung der interessierenden Temperaturen.....	10
4.3 Wärmebilanz eines Raumes.....	14
4.4 Randbedingungen.....	15
4.5 Terme in den Gleichungen für die Wärmebilanz.....	19
5 Verfahren zur Berechnung	30
5.1 Allgemeines	30
5.2 Meteorologische Bemessungs-Daten	30
5.3 Geometrische und wärmeschutztechnische Bemessungs-Kenngrößen des Raumes	31
5.4 Innere Bemessungs-Wärmequellen	31
5.5 Bemessungs-Verhalten der Nutzer	31
5.6 Bemessungs-Berechnungsalgorithmus.....	32
6 Bericht über die Berechnung	32
7 Validierungsverfahren	33
7.1 Einleitung.....	33
7.2 Validierungsverfahren für den entsprechenden Wärmeübertragungsvorgang	33
7.3 Validierungsverfahren für das gesamte Berechnungsverfahren.....	42
Anhang A (informativ) Beispiel eines Lösungsverfahrens	54
A.1 Einleitung.....	54
A.2 Wesentliche Annahmen für das Berechnungsverfahren	54
A.3 Berechnungsalgorithmus.....	54
A.4 Wärmebilanz des Raumes.....	60
Anhang B (informativ) Konvektive Wärmeübertragung durch belüftete Hohlräume	61
B.1 Einleitung.....	61
B.2 Konvektive Wärmeübertragung für einen senkrechten Hohlraum	61
B.3 Konvektive Wärmeübertragung für einen horizontalen außenseitigen Hohlraum.....	66
Anhang C (informativ) Verschattung infolge Auskragungen und Seitenteile	68
C.1 Einleitung.....	68
C.2 Berechnungsalgorithmen für Auskragungen	70
C.3 Berechnungsalgorithmus für das vertikale Ausladungsende einer Auskragung.....	71
C.4 Berechnungsalgorithmus für Seitenteile.....	71
C.5 Berechnungsalgorithmen für eine solare Fläche infolge von kurzen Seitenteilen.....	73
C.6 Äußere Hindernisse	73
C.7 Sonnenlichtfaktor.....	75
Anhang D (informativ) Meteorologische Bemessungs-Daten für den Sommer	76
Anhang E (informativ) Berechnung des langwelligen Strahlungsaustausches in Gebäuden	77
E.1 Einleitung.....	77
E.2 Anwendungsgrenzen	77
E.3 Berechnungsalgorithmus.....	77

Anhang F (informativ) Äußerer Wärmeübergangskoeffizient der langwelligen Strahlung.....	78
F.1 Einleitung.....	78
F.2 Terme und Berechnungsverfahren	78
Anhang G (informativ) Sonnenfaktoren	80
G.1 Einleitung.....	80
G.2 Strahlungszuordnungsfaktor Luft.....	80
G.3 Verteilungsfaktoren	80
G.4 Sonnen-Verlustfaktor	81
Anhang H (informativ) Innere Wärmegewinne.....	82
H.1 Einleitung.....	82
H.2 Wohngebäude	82
H.3 Andere Gebäude als Wohngebäude	83
Anhang J (informativ) Lüftung	84
J.1 Einleitung.....	84
J.2 Berechnungsalgorithmus	84
J.3 Beispiel für die Berechnung der natürlichen Lüftungsraten für ein einfaches Gebäude	89
Anhang K (informativ) Detaillierte Ergebnisse der Validierungsprüfungen, die im Ablauf des Validierungsverfahrens für das gesamte Berechnungsverfahren berücksichtigt wurden.....	91
Literaturhinweise	93

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 13791:2004) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“, dessen Sekretariat vom SIS gehalten wird, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ISO/TC 163 „Wärmetechnisches Verhalten und Energieverbrauch in der gebauten Umgebung“ erarbeitet.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Mai 2005, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Mai 2005 zurückgezogen werden.

Diese Norm ist Bestandteil einer Reihe von Normen, die sich mit Berechnungsverfahren für die Bemessung und Bewertung des wärmetechnischen Verhaltens von Gebäuden und Bauteilen befassen.

Diese Norm enthält Literaturhinweise.

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

Einleitung

Dieses Dokument ist für die Verwendung durch Spezialisten zur Entwicklung und/oder für Validierungsmethoden stündlicher Berechnungen innerer Temperaturen eines Einzelraumes bestimmt.

Beispiele von Anwendungen in diesen Methoden sind:

- a) Abschätzung des Risikos einer inneren Überheizung;
- b) Optimierungsaspekte von Baukonstruktionen (Wärmemaß des Bauwerks, Sonnenschutz, Lüftungsrate usw.), um Bedingungen für Wärmekomfort bereitzustellen;
- c) Abschätzung der Notwendigkeit einer mechanischen Kühlung im Bauwerk.

Kriterien der Leistungsbeschreibung sind nicht enthalten. Diese können im nationalen Normen berücksichtigt werden. Diese Norm kann ebenfalls als Verweis genommen werden, einfachere Methoden für oben genannte und ähnliche Anwendungen zu entwickeln.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Annahmen, Randbedingungen, Gleichungen und Validierungsverfahren zur Berechnung der sommerlichen Raumtemperaturen (Luft und operativ) eines Einzelraumes ohne Kühlungs-/Heizungsanlage unter instationären Randbedingungen fest. Mit diesem Dokument werden keine spezifischen Techniken vorgeschrieben. Im Abschnitt 7 ist ein Validierungsverfahren angegeben. Ein Lösungsbeispiel ist im Anhang A gegeben.

Dieses Dokument enthält keine ausreichenden Informationen zur Verfahrensbestimmung, um die inneren Bedingungen von speziellen Zonen, wie z. B. Sonnenplätze, Vorhallen, indirekte passive Sonnenkomponenten (Thrombenwände, Sonnenpaneele), und von Zonen, in denen die Sonneneinstrahlung in den Raum dringt, zu bestimmen. Für solche Situationen werden unterschiedliche Annahmen und mehr detaillierte Ergebnismodelle benötigt (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).

EN 410, *Glas im Bauwesen — Bestimmung des Lichtdurchlassgrades, des solaren direkten Durchlassgrades, des solaren Gesamtenergiedurchlassgrades, des UV-Durchlassgrades und der damit zusammenhängenden Glasdaten*

EN ISO 6946, *Bauteile — Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient — Berechnungsverfahren (ISO 6946:1996)*

EN ISO 7345, *Wärmeschutz — Physikalische Größen und Definitionen (ISO 7345:1987)*

EN ISO 9251, *Wärmeschutz — Zustände der Wärmeübertragung und Stoffeigenschaften — Begriffe (ISO 9251:1987)*

EN ISO 9288, *Wärmeschutz — Wärmeübertragung durch Strahlung — Physikalische Größen und Definitionen (ISO 9288:1989)*

EN ISO 9346, *Wärmeschutz — Stofftransport — Physikalische Größen und Definitionen (ISO 9346:1987)*

EN ISO 10077-1, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen — Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten — Teil 1: Vereinfachtes Verfahren (ISO 10077-1:2000)*

EN ISO 10077-2, *Wärmetechnisches Verhalten von Fenstern, Türen und Abschlüssen — Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten — Teil 2: Numerisches Verfahren für Rahmen (ISO/DIS 10077-2:2003)*

EN ISO 13370, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — Wärmeübertragung über das Erdreich-Berechnungsverfahren (ISO 13370:1998)*

3 Begriffe, Symbole und Einheiten

3.1 Begriffe

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

3.1.1

Innenumgebung

geschlossener Raum, der durch eine Gebäudestruktur von der Außenumgebung oder angrenzenden Räumen abgegrenzt ist

3.1.2

Element der Umschließungsfläche

Wände, Decke, Dach und Bodenplatte inklusive Tür und Fenster, die die Innenumgebung von angrenzenden Räumen trennen

3.1.3

Raumluft

Luft der Innenumgebung

3.1.4

Raumlufttemperatur

Temperatur der Raumluft

3.1.5

innere Oberflächentemperatur

innere Oberflächentemperatur jedes Elementes der Umschließungsfläche

3.1.6

mittlere Strahlungstemperatur

einheitliche Oberflächentemperatur eines Gehäuses, mit der ein Bewohner die gleiche Menge Strahlungswärme austauschen würde wie mit dem nicht einheitlichen Gehäuse

3.1.7

operative Temperatur

einheitliche Temperatur eines Gehäuses, mit der ein Bewohner die gleiche Menge Wärmestrahlung und Konvektion austauschen würde wie mit dem nicht einheitlichen Gehäuse

3.2 Symbole und Einheiten

Im Folgenden sind die in diesem Dokument verwendeten Symbole und Einheiten erläutert.

Symbol	Bedeutung	Einheit
A	Fläche	m^2
A_s	Sonnenfläche	m^2
C	Wärmekapazität	J/K
F	Einstrahlzahl	—
I	Gesamtstrahlungsintensität	W/m^2
R	Wärmedurchlasswiderstand	$\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$
T	absolute Temperatur	K
U	Wärmedurchgangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
V	Volumen	m^3
a	Temperaturleitfähigkeit	m^2/s
c	spezifische Wärmekapazität	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
c_d	Entladungsbeiwert	—
c_p	spezifische Wärmekapazität der Luft bei konstantem Druck	$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$
d	Dicke	m
f_d	Solarer Bezugswert	—
f_{ic}	innerer Konvektionsfaktor	—
f_s	Sonnenlichtfaktor	—
f_{sa}	Strahlungszuordnungsfaktor Luft	—
f_{sl}	solarer Verlustfaktor	—
g	Wärmestrom je Volumen	W/m^3
h	Wärmeübergangskoeffizient	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
l	Länge	m
m	Masse	kg
q_a	Masse des Luftstroms	kg/s
p	Druck	Pa
q	Wärmestromdichte	W/m^2
t	Zeit	s
v	Geschwindigkeit	m/s
x, y, z	Koordinaten	m
Λ	Wärmedurchlasskoeffizient der Luftschicht	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Φ	Wärmestrom	W
J	direkte Gesamtstrahlung	W/m^2
α	Gesamtabsorptionsgrad für direkte Sonneneinstrahlung	—
ε	hemisphärischer Emissionsgrad	—
θ	Celsius-Temperatur	$^{\circ}\text{C}$
λ	Wärmeleitfähigkeit	$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$
μ	dynamische Viskosität	$\text{kg}/(\text{m} \cdot \text{s})$
ρ	Reflexionsgrad für Sonneneinstrahlung	—

3.3 Indizes

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

4 Ermittlung der Raumtemperatur

4.1 Annahmen

Die Ermittlung der Innentemperatur eines Raumes schließt die Lösung des Gleichungssystems ein, bei dem die zeitabhängigen Wärmeströme als Operatoren ausgedrückt werden, die die Wärmeströme an der Innenoberfläche jedes Elementes auf die Temperaturänderung an der Innen- und Außenoberfläche und auf die Raumluft beziehen. Die in diesem Dokument angegebenen Algorithmen ermöglichen es dem Anwender, die Temperatur jedes Bauteils, einschließlich der Raumtemperatur, zu bestimmen. Als anerkannte Annahmen für eine vereinfachte Berechnung der Innentemperaturen eines einzelnen Raumes unter instationären Bedingungen ohne Kühlanlage gilt, dass:

- die Lufttemperatur im gesamten Raum gleich ist;
- die unterschiedlichen Oberflächen der Umschließungsfläche isotherm sind;
- die wärmeschutztechnischen Eigenschaften der die Umschließungsfläche bildenden Baustoffe zeitunabhängig sind;
- die Wärmeleitung durch die Umschließungsfläche als eindimensional angenommen wird;
- die Wärmeleitung durch die Umschließungsfläche mit einer äquivalenten eindimensionalen Wärmestromrate nach EN ISO 13370 behandelt wird;
- der Effekt von Wärmebrücken grundsätzlich vernachlässigt wird. Bei Betrachtung ist ihr Beitrag zur Wärmespeicherung zu vernachlässigen;
- Hohlräume behandelt werden als Luftschichten, die durch zwei isothermische und parallele Oberflächen begrenzt sind;
- die konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten an Außenoberflächen von der Windgeschwindigkeit und -richtung, an Innenoberflächen von der Richtung des Wärmestroms abhängen;
- der Wärmeaustausch durch langwellige Strahlung an den Außenoberflächen einem zeitunabhängigen Wärmeübergangskoeffizienten entspricht;
- die äußere Strahlungsumgebung (der Himmel wird vernachlässigt) bei der äußeren Lufttemperatur (siehe 4.5.4.1) liegt;

- die Verteilung der Sonneneinstrahlung innerhalb des Raumes zeitunabhängig ist;
- die Maße jedes Bauteils an der Innenseite der Umschließungsfläche gemessen werden;
- die mittlere Strahlungstemperatur durch Gewichtung von unterschiedlichen inneren Oberflächentemperaturen gemäß den entsprechenden Bereichen berechnet wird;
- die operative Temperatur der arithmetische Mittelwert zwischen der inneren Lufttemperatur und der mittleren Oberflächentemperatur ist.

4.2 Ermittlung der interessierenden Temperaturen

4.2.1 Raumlufthtemperatur

Die Lufttemperatur eines Raumes zu jedem beliebigen Zeitpunkt ergibt sich nach Gleichung (1), wobei der Wärmestrom zur Raumlufth als positiv angesehen wird:

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

Dabei ist

- N die Anzahl der die Raumlufth begrenzenden Innenoberflächen;
- A die Fläche jedes Elementes der Umschließungsfläche;
- $q_{c,i}$ die Wärmestromdichte, die durch Konvektion von jedem Element der Umschließungsfläche j ausgetauscht wird (siehe 4.5.2.2);
- Φ_v der durch Lüftung ausgetauschte Wärmestrom (siehe 4.5.6);
- $\Phi_{i,c}$ der konvektive Teil des Wärmestroms infolge innerer Wärmequellen (siehe 4.4.5);
- Φ_{sa} der durch Absorption in der Luft erzeugte Wärmestrom (siehe 4.5.3.4);
- Φ_v der Wärmestrom, der von Raumlufth durch Luftschichten in den von Elementen begrenzten Raum eintritt;
- c_a die spezifische Wärmekapazität der Raumlufth;
- $m_{a,i}$ die Masse der Raumlufth;
- $\theta_{a,i}$ die Temperatur der Raumlufth;
- t die Zeit.

ANMERKUNG Aufgrund des sehr geringen Wertes des Termes ($c_a m_{a,i}$) ist die rechte Seite der Gleichung (1) gleich null.

4.2.2 Innere Oberflächentemperatur

Die innere Oberflächentemperatur jedes Elementes der Umschließungsfläche (j) ergibt sich nach Gleichung (2), wobei der Wärmestrom zur inneren Oberfläche, mit Ausnahme von $q_{c,j}$, als positiv angesehen wird:

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

Dabei ist

- q_{lr} die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch mit den anderen Innenoberflächen (siehe 4.5.4.2);
- q_{sr} die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung (siehe 4.5.3.2);
- q_c die Wärmestromdichte durch Konvektion (siehe 4.5.2.2);
- q_{cd} die Wärmestromdichte durch Leitung (siehe 4.5.1);
- Φ_{lr} der Wärmestrom infolge innerer Wärmequellen mit langwelligem Anteil (siehe 4.5.5);
- N die Anzahl der die Raumlufte begrenzenden Innenoberflächen;
- A_j die Fläche des Elementes j der Umschließungsfläche.

4.2.3 Oberfläche zwischen Bauteilschichten

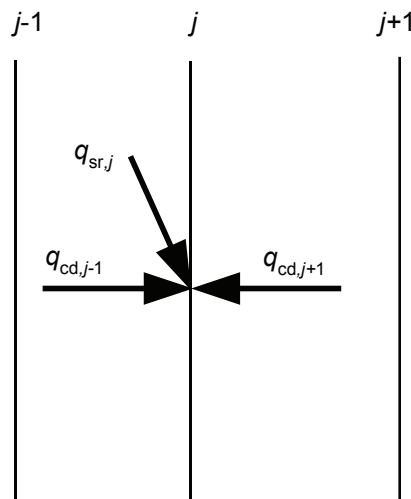


Bild 1 — Oberfläche zwischen Bauteilschichten

Die Temperatur der Oberfläche (j) zwischen Bauteilschichten (Bild 1) ergibt sich nach Gleichung (3):

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

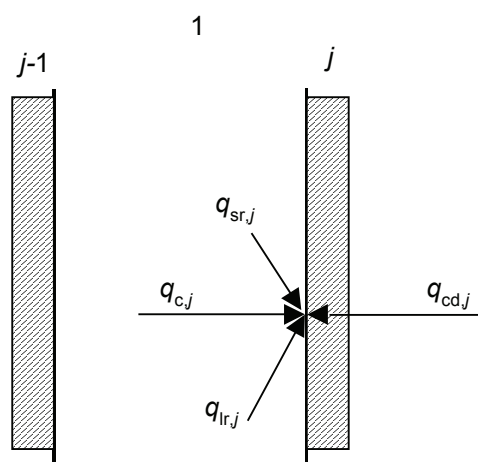
Dabei ist

$q_{cd,j-1}$ die Wärmestromdichte durch Leitung in das $j-1$. Bauteil (siehe 4.5.1);

$q_{cd,j+1}$ die Wärmestromdichte durch Leitung in das $j+1$. Bauteil (siehe 4.5.1);

$q_{sr,j}$ die Wärmestromdichte, die von der Oberfläche j infolge einer äußeren Quelle (d. h. Sonnenstrahlung) absorbiert wird.

4.2.4 Oberfläche eines Hohlraums



Legende

1 Hohlraum

Bild 2 — Oberfläche zwischen einer Luftschicht

Die Temperatur einer Oberfläche j eines Hohlraums (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 Gesamtwärmestromdichte durch Konvektion über den Hohlraum (siehe 4.5.2);

q_{lr} die Wärmestromdichte langwelliger Strahlung über den Hohlraum (siehe 4.5.4);

q_{cd} die Wärmestromdichte durch Leitung (siehe 4.5.1);

q_{sr} die Wärmestromdichte, die von der Oberfläche j infolge einer äußeren Quelle (d. h. Sonnenstrahlung) absorbiert wird.

4.2.5 Äußere Oberfläche jedes Bauteils der Umschließungsfläche

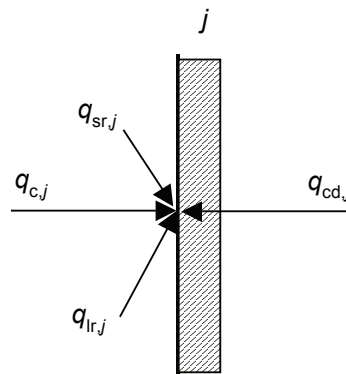


Bild 3 — Äußere Oberfläche eines Bauteils

Die Temperatur der Oberfläche j eines Bauteils (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 Wärmestromdichte langwelliger Strahlung nach außen (siehe 4.5.4.1);
- q_{sr} die Wärmestromdichte kurzwelliger Strahlung, die von der Oberfläche absorbiert wird (siehe 4.5.3.1.1);
- q_c die Wärmestromdichte durch Konvektion an die Luft (siehe 4.5.2.2);
- q_{cd} die Wärmestromdichte durch Leitung (siehe 4.5.1).

4.2.6 Interimmielle Temperaturen für spezielle Bauteile

4.2.6.1 Decke unter einem Dachgeschoss

Das von der Decke, dem Luftraum und dem Dach gebildete System wird als einzelnes horizontales Element mit eindimensionalem Wärmestrom betrachtet. Der Luftraum wird als Hohlraum betrachtet, der in 4.5.2.3 und 4.5.2.4 behandelt wird.

4.2.6.2 Geschossdecke auf dem Erdreich

Das von der Geschossdecke und dem Erdreich gebildete System wird als einzelnes horizontales Element mit eindimensionalem Wärmestrom betrachtet und nach EN ISO 13370 behandelt. Randbedingungen werden nach 4.4.4 festgelegt.

4.2.6.3 Kellerdecke

Der Keller wird als unbeheizter Keller nach EN ISO 13370 behandelt. Randbedingungen sind in 4.4.3 festgelegt.

4.2.6.4 Geschossdecke über einem Kriechkeller

Das von der Geschossdecke, dem Kriechkeller und dem Erdreich gebildete System wird als aufgeständerte Bodenplatte nach EN ISO 13370 behandelt. Der Kriechkeller wird als belüfteter Hohlraum behandelt. Randbedingungen sind in 4.4.5 festgelegt.

4.2.6.5 Fenster mit Mehrfachverglasung

Ein Fenstersystem wird aus mehreren Ebenen bestehend betrachtet, die sich miteinander im Gleichgewicht befinden. Für jede gesonderte Ebene wird eine Wärmebilanz aufgestellt. Danach müssen die thermischen Gleichungen für jedes Element des Systems mit folgenden Annahmen formuliert werden:

- die Wirkungen der Wärmespeicherung in den verschiedenen Elementen werden vernachlässigt;
- der Wärmestrom infolge Konvektion durch die Hohlräume wird nach 4.5.2.3 und 4.5.2.4 berechnet;
- die Wärmeströme infolge des langwelligen Strahlungsaustauschs zwischen den verschiedenen die Hohlräume begrenzenden Oberflächen wird nach 4.5.4.3 berechnet;
- die Wärmeströme infolge der von jedem Element absorbierten kurzwelligen Strahlung wird als Quellenterm behandelt.

4.3 Wärmebilanz eines Raumes

In jeder Gleichung von 4.2 müssen die zeitabhängigen Kenngrößen der Wärmeströme als Operatoren ausgedrückt werden, die die Wärmeströme an der Innenoberfläche jedes Elementes auf die Temperaturänderung an der Innen- und Außenoberfläche und auf die Raumlufth beziehen, indem geeignete mathematische Modelle der Wärmeübertragungsvorgänge verwendet werden. Die Temperatur der Raumlufth muss zusammen mit der Temperatur der unterschiedlichen Oberflächen durch Lösen der globalen Systemgleichungen für jeden betrachteten Zeitschritt bestimmt werden. Im Folgenden wird eine allgemeine Darstellung der Systemgleichung 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 die Raumlufth begrenzenden Elemente;
- Π die Koeffizienten der unbekannten Temperaturen (θ) (von 1 bis N auf die Innenoberflächen bezogen, $N+1$ auf die Raumlufth bezogen);
- Γ die Koeffizienten der bekannten Größen (von 1 bis N auf die Innenoberflächen bezogen, $N+1$ auf die Raumlufth bezogen);
- θ die unbekannten Temperaturen (von 1 bis N auf die Innenoberflächen bezogen, $N+1$ auf die Raumlufth bezogen).

Die Terme Π und Γ erhält man durch Umschreibung der Gleichungen (1) und (2), indem man die unbekannten Parameter (Lufttemperatur und die gegebene Zeit t bei Gleichung (1), sowie die innere Oberflächentemperatur jedes Bauteils zum gegebenen Zeitpunkt t bei Gleichung (2)) von den bekannten Parametern trennt. Die Form dieser Gleichungen ist abhängig vom Lösungsverfahren, das angewendet wird.

4.4 Randbedingungen

4.4.1 Einzonenraum

Ein Einzonenmodell erfordert die Kenntnis der Bedingungen der angrenzenden Räume. Es werden die folgenden zwei Situationen betrachtet:

- angrenzender Raum unter gleichen Bedingungen (adiabatische Bedingungen);
- angrenzender Raum mit bekannter Lufttemperatur.

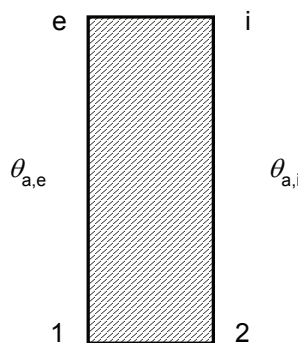
Wenn die Randbedingungen sehr von obigen Bedingungen abweichen, darf das in diesem Dokument angegebene einfache Modell nicht verwendet werden, und es sind die tatsächlichen Randbedingungen mittels eines Mehrzonenmodells zu berechnen, bei dem die Wärmeübertragung zwischen den verschiedenen Räumen berücksichtigt werden kann. Dies kann erreicht werden mittels:

- a) gleichzeitiger Lösung der globalen Systemgleichungen für alle Räume oder
- b) eines iterativen Verfahrens, bei dem die in dem vorangegangenen Schritt für jeden Raum bestimmten Temperaturen als Randbedingung betrachtet werden.

4.4.2 Vergleichbare Räume

4.4.2.1 Adiabatische Trennwand

Nach Bild 4 werden folgende Randbedingungen berücksichtigt:



Legende

- 1 Vergleichsraum
- 2 Innerer Raum

Bild 4 — Adiabatische Trennwand

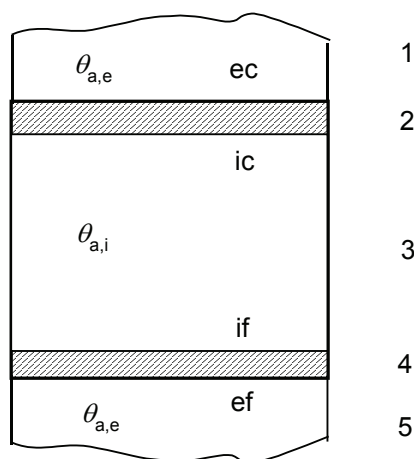
$$\begin{aligned}
 \theta_{a,e} &= \theta_{a,i} \\
 q_{sr,e} &= q_{sr,i} \\
 q_{lr,e} &= q_{lr,i} \\
 h_{c,e} &= h_{c,i}
 \end{aligned}
 \tag{7}$$

Dabei ist

- $\theta_{a,e}$ die Lufttemperatur des angrenzenden Raumes;
- $\theta_{a,i}$ die Raumlufthtemperatur;
- $q_{sr,e}$ die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Außenoberfläche;
- $q_{lr,e}$ die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch mit den anderen Außenoberflächen des angrenzenden Raumes;
- $q_{sr,i}$ die Wärmestromdichte infolge der an den Innenoberflächen absorbierten kurzwelligen Strahlung (siehe 4.5.3.2);
- $q_{lr,i}$ die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch mit den anderen Innenoberflächen (siehe 4.5.4.2);
- $h_{c,e}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Außenoberfläche;
- $h_{c,i}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Innenoberfläche (siehe Tabelle 1).

4.4.2.2 Geschossdecke/Flur

Nach Bild 5 werden folgende Randbedingungen berücksichtigt:



Legende

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

Bild 5 — Geschossdecke/Fußboden an angrenzenden vergleichbaren Räumen

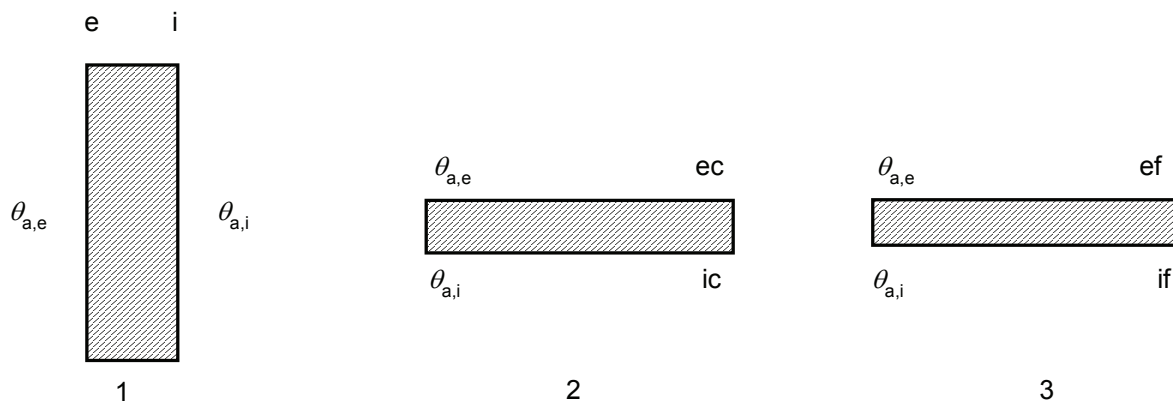
$$\begin{aligned}
 \theta_{a,e} &= \theta_{a,i} \\
 q_{sr,ec} &= q_{sr,if} \\
 q_{lr,ec} &= q_{lr,if} \\
 q_{sr,ef} &= q_{sr,ic} \\
 q_{lr,ef} &= q_{lr,ic} \\
 h_{c,ec} &= h_{c,if} \\
 h_{c,ef} &= h_{c,ic}
 \end{aligned} \tag{8}$$

Dabei ist

- $\theta_{a,e}$ die Lufttemperatur des angrenzenden Raumes;
- $\theta_{a,i}$ die Raumlufttemperatur;
- $q_{sr,ec}$ die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Außenoberfläche der Decke;
- $q_{sr,ic}$ die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Innenoberfläche der Decke (siehe 4.5.3.2);
- $q_{sr,ef}$ die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Außenoberfläche des Fußbodens;
- $q_{sr,if}$ die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Innenoberfläche des Fußbodens (siehe 4.5.3.2);
- $q_{lr,ef}$ die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Außenoberfläche des Fußbodens mit anderen Außenoberflächen;
- $q_{lr,if}$ die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Innenoberfläche des Fußbodens mit anderen Innenoberflächen (siehe 4.5.4.2);
- $q_{lr,ec}$ die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Außenoberfläche der Geschossdecke mit anderen Außenoberflächen;
- $q_{lr,ic}$ die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Innenoberfläche der Geschossdecke mit anderen Innenoberflächen (siehe 4.5.4.2);
- $h_{c,ec}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Außenoberfläche der Geschossdecke;
- $h_{c,if}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Innenoberfläche des Fußbodens (siehe Tabelle 1);
- $h_{c,ef}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Außenoberfläche des Fußbodens;
- $h_{c,ic}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Innenoberfläche der Geschossdecke (siehe Tabelle 1).

4.4.3 Angrenzender Raum mit definierten Werten der Lufttemperatur

Für jedes Element der Umhüllung (siehe Bild 6) gelten folgende Randbedingungen:



Legende

- 1 Wand
- 2 Geschossdecke
- 3 Fußboden

Bild 6 — Wand, Geschossdecke und Flur angrenzend zu einem Raum mit definierten internen Bedingungen

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

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

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

(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 Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligigen Strahlung an der Außenfläche;

$h_{c,e}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Außenoberfläche der Trennwand (siehe Tabelle 1);

$h_{c,i}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Innenoberfläche der Trennwand (siehe Tabelle 1);

$h_{c,ec}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Außenoberfläche der Geschossdecke;

$h_{c,if}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Innenoberfläche des Fußbodens (siehe Tabelle 1);

$h_{c,ef}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Außenoberfläche des Fußbodens;

$h_{c,ic}$ der konvektive Wärmeübertragungskoeffizient an der Innenoberfläche der Geschossdecke (siehe Tabelle 1).

4.4.4 Geschossdecke auf dem Erdreich

Der Wärmestrom zwischen dem Raum und der Außenumgebung durch das Erdreich wird als Summe aus einer stationären und einer monatlichen Variablen nach EN ISO 13370 berechnet. Die monatliche Variable wird als eindimensional und rechtwinklig zur Geschossdecke angesehen. Das Berechnungsverfahren ver-

knüpft diesen Wärmestrom mit der thermischen Eigenschaft der Geschossdecke und einer 0,5 m tiefen Erdbodenschicht.

ANMERKUNG Ein zulässiger Weg ist die Einführung einer monatlich variierenden Grenztemperatur bei einer Tiefe von 0,5 m über der Konstruktion der Geschossdecke. Diese Grenztemperatur ist so definiert, dass der Wärmestrom der Raumlufte bei einer mittleren monatlichen Temperatur zur Grenzschicht gleich dem Wärmestrom ist, der zu und durch das Erdreich nach EN ISO 13370 berechnet wird.

4.4.5 Kellerdecke oder Kriechkeller

Die Kellerdecke wird als ein unbeheizter Keller nach EN ISO 13790 behandelt. Wärmeströme werden nach 4.4.4 und mit 0,5 m Erdbodenschicht an jeder Seite und unterhalb der Kellerdecke berechnet. Ein Kriechkeller wird als aufgeständerte Bodenplatte nach EN ISO 13370 behandelt. Randbedingungen werden nach 4.4.3 festgelegt.

4.4.6 Decke unter einem Dachgeschoss

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

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

$q_{sr,e}$ ist definiert durch Gleichung (17) in 4.5.3.1;

$q_{lr,e}$ ist definiert durch Gleichung (24) in 4.5.4.1.

4.5 Terme in den Gleichungen für die Wärmebilanz

4.5.1 Wärmeleitung durch Bauteile

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

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

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

Dabei ist

- θ die Temperatur am Punkt x (in Richtung des Wärmestroms) zur Zeit t ;
- q der Vektor der Wärmestromdichte in Richtung n ;
- λ die Wärmeleitfähigkeit des Mediums;
- c die spezifische Wärmekapazität;
- ρ die Dichte des Mediums;
- g der Term für Wärmequellen (Wärmestrom je Volumen);
- x, y, z die 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 und in Hohlräumen auf.

4.5.2.2 Konvektive Wärmestromdichte an den Oberflächen eines Elements

Die konvektive Wärmestromdichte an der Innen- und Außenoberfläche von Element j ergibt sich nach:

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

Dabei ist

h_c der konvektive Wärmeübergangskoeffizient der Oberfläche;

θ_s die Oberflächentemperatur;

θ_a die Lufttemperatur.

Die Werte des äußeren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten $h_{c,e}$ ergeben sich nach:

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

Dabei ist

v die Windgeschwindigkeit (m/s) in der Nähe der Oberfläche.

Die Windgeschwindigkeit v in der Nähe der Oberfläche hängt von den meteorologischen Daten des Standortes und von der Charakteristik der Umschließungsfläche ab. Wenn keine Werte vorgegeben sind, darf der Wert 1 m/s verwendet werden. Tabelle 1 gibt die Werte des inneren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten $h_{c,i}$ an.

Tabelle 1 — Innerer konvektiver Wärmeübertragungskoeffizient

Vertikale Wand $W/(m^2 \cdot K)$	Wärmestrom (Strömung aufwärts) $W/(m^2 \cdot K)$	Wärmestrom (Strömung stehend) $W/(m^2 \cdot K)$
2,5	5,0	0,7
ANMERKUNG Die Werte von Tabelle 1 wurden mit den in EN ISO 6946 angegebenen Gleichungen unter Beachtung folgender Bedingungen bestimmt: — Temperaturdifferenz ($\theta_{s,i} - \theta_{a,i}$) < 10 K; — Hydraulischer Oberflächendurchmesser = 4,5 m (4 × Fläche/Umfang).		

Die in Gleichung (12) benötigte Außenlufttemperatur ist:

- für Innenoberflächen: die Raumlufthtemperatur;
- für Außenoberflächen: die in Tabelle 2 angegebenen Bedingungen.

Tabelle 2 — Außenlufttemperatur

Außenwand	Bedingungen der Lufttemperatur
Außenwand, Dachgeschoss	Bemessungs-Außenlufttemperatur
Trennwand, Decke und Dachgeschoss zu einem vergleichbaren Raum	Raumlufttemperatur
Trennwand, Decke und Dachgeschoss zu einem angrenzenden Raum unter unterschiedlichen Bedingungen	Lufttemperatur des angrenzenden Raumes
Geschossdecke auf dem Erdreich	Mittlere monatliche Außenlufttemperatur
Kellerdecke	Bemessungs-Temperatur des Kellers

4.5.2.3 Konvektive Wärmeübertragung durch unbelüftete Hohlräume

Die konvektive Wärmeübertragung q_c durch unbelüftete Hohlräume hindurch ergibt sich nach:

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

Dabei ist

$\Delta \theta$ die Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen der Hohlräume;

λ_a der Wärmedurchlasskoeffizient der Hohlräume.

Der Wärmedurchlasskoeffizient des Gases eines unbelüfteten Hohlraums ergibt sich nach:

- EN ISO 6946 zwischen opaken Oberflächen;
- EN ISO 10077-1 zwischen transparenten Oberflächen.

ANMERKUNG Für transparente Oberflächen kann der Wärmedurchlasskoeffizient eines unbelüfteten Hohlraumes mit Hilfe folgender Referenzbedingungen errechnet werden:

- Dichte der Luft: $1,139 \text{ kg/m}^3$;
- dynamische Zähigkeit: $1,861 \times 10^{-5} \text{ kg/(ms)}$;
- Wärmeleitfähigkeit: $0,0264 \text{ W/(mK)}$;
- spezifische Wärmekapazität: 1008 J/(kgK) ;
- absolute Temperatur: 300 K ;
- Temperaturdifferenz: 5 °C .

In der Tabelle 3 sind Werte des Wärmedurchlasskoeffizienten λ_a für vertikale und horizontale Hohlräume zwischen transparenten Bauteilen angegeben. Für andere Tiefen kann der Wärmedurchlasskoeffizient durch Interpolation erzielt werden.

Tabelle 3 — Wärmedurchlasskoeffizient für unbelüftete Hohlräume

Tiefe des Hohlraumes	Vertikaler Hohlraum	Horizontaler Hohlraum	
	Wärmedurchlass- koeffizient	Wärmedurchlass- koeffizient Strömung aufwärts	Wärmedurchlass- koeffizient Strömung stehend
m	Λ_a W/(m ² · K)	Λ_a W/(m ² · K)	Λ_a W/(m ² · K)
0,01	2,65	2,06	2,06
0,05	1,16	1,71	0,41
0,10	1,29	1,50	0,21
0,20	1,42	1,48	0,10

4.5.2.4 Konvektive Wärmeübertragung durch belüftete Hohlräume

Die konvektive Wärmeübertragung durch belüftete Hohlräume, Φ_{va} , ist abhängig von der Luftübertragung im Hohlraum. Die zu betrachtende Wärmeübertragung sind:

- a) Die konvektive Wärmeübertragung, Φ_{va} , aufgrund von Belüftung durch den Hohlraum in den Raum:

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

Dabei ist

$m_{a,v}$ die Masse der Luftübertragung durch den Hohlraum;

θ_l die Lufttemperatur aus dem Hohlraum.

- b) Die konvektive Wärmeübertragung, $\Phi_{c,j}$ zwischen Oberflächen und Luft:

$$\Phi_{c,j} = h_a A_c (\theta_j - \theta_{eq})$$

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

Dabei ist

A_c die mit dem Hohlraum berührende Oberfläche;

h_a die konvektive Wärmeübertragung für belüftete Hohlräume;

θ_{eq} die äquivalente Temperatur der Luft im Hohlraum;

j und $j+1$ beziehen sich auf die den Hohlraum begrenzenden Oberflächen.

ANMERKUNG Ein Verfahren zur Ermittlung der Parameter in den Gleichungen (1) und (16) sind in Anhang B gegeben.

4.5.3 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung

4.5.3.1 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung an der Außenoberfläche eines opaken Bauteils

Die Wärmestromdichte durch kurzwellige Strahlung an der Außenoberfläche 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 Absorptionsgrad für Sonneneinstrahlung;

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 Absorptionsgrades für Sonneneinstrahlung der opaken Außenoberflächen α_{sr} hängen von der Charakteristik der Außenoberfläche des Bauteils ab. Tabelle 4 gibt den Wert des Absorptionsgrades für Sonneneinstrahlung als Funktion der Farbe der Außenoberfläche an, der verwendet werden darf, wenn keine spezifischen Werte zur Verfügung stehen.

Tabelle 4 — Absorptionsgrad für Sonneneinstrahlung von opaken Außenoberflächen

	Hell	Mittel	Dunkel
α_{sr}	0,3	0,6	0,9

Die Werte des direkten Anteils I_{D} und des diffusen Anteils I_{d} der die unterschiedlich orientierten Oberflächen erreichenden Sonnenstrahlung werden von nationalen Daten abgeleitet.

Der Sonnenlichtfaktor f_{s} ergibt sich nach:

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

Dabei ist

A_{s} die Sonnenlichtfläche auf der Wand (beschrieben in 4.5.3.5);

A die Gesamtfläche der Wand.

4.5.3.2 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung an Innenoberflächen opaker Bauteile

Der Wärmestrom durch an der Oberfläche w 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 Sonnenfaktor zum Luftfaktor im Raum;
- f_{sl} der Sonnenverlustfaktor des Raumes;
- f_d der Verteilungsfaktor der Sonneneinstrahlung auf der Innenoberfläche des Elements;
- $\Phi_{sr,D}$ die Wärmestromdichte aufgrund der direkten Sonneneinstrahlung in den Raum;
- $\Phi_{sr,d}$ die Wärmestromdichte aufgrund der diffusen Sonneneinstrahlung in den Raum.

Die Wärmestromdichte aufgrund direkter und diffuser Sonneneinstrahlung in den Raum ergibt sich nach Gleichungen (20) bzw. (21):

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

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

Dabei ist

- J die Anzahl der verglasten Bauteile;
- I_D der direkte Anteil der die Außenoberfläche des j -ten verglasten Systems erreichenden Sonnenstrahlung;
- I_d der diffuse Anteil der die Außenoberfläche des j -ten verglasten Systems erreichenden Sonnenstrahlung;
- τ_D der Transmissionsgrad für direkte Sonneneinstrahlung des verglasten Systems;
- τ_d der Transmissionsgrad für diffuse Sonneneinstrahlung des verglasten Systems;
- A_s die von der Sonne bestrahlte verglaste Fläche (siehe 4.5.3.5);
- A die verglaste Fläche.

Der Transmissionsgrad für direkte und diffuse Sonneneinstrahlung jedes verglasten Systems τ_D und τ_d muss nach EN 410 bestimmt werden. Wenn die Werte nicht zur Verfügung stehen, dürfen die entsprechenden Werte, die bei senkrechtem Einfall berechnet wurden, verwendet werden.

Strahlungszuordnungsfaktor Luft

Der Strahlungszuordnungsfaktor Luft f_{sa} berücksichtigt, dass ein Teil der durch das Fenster eindringenden Strahlung sofort in einen Wärmestrom für die Raumluft umgewandelt wird. Dieser Teil hängt vom Vorhandensein von Innenelementen mit sehr geringer Wärmekapazität ab, wie z. B. Teppiche, Anstriche usw. Er wird als zeitunabhängig angenommen.

Strahlungszuordnungsfaktor Verlust

Der Strahlungszuordnungsfaktor Verlust f_{sl} berücksichtigt, dass ein Teil der durch das Fenster eindringenden Strahlung nach außen zurückreflektiert wird. Er hängt von den geometrischen Kenngrößen und dem strahlungsphysikalischen Verhalten des verglasten Systems, der Ausrichtung des Fensters, den Sonnenwinkeln und der strahlungsphysikalischen Raumgeometrie ab. Er wird als zeitunabhängig angenommen.

Verteilungsfaktor

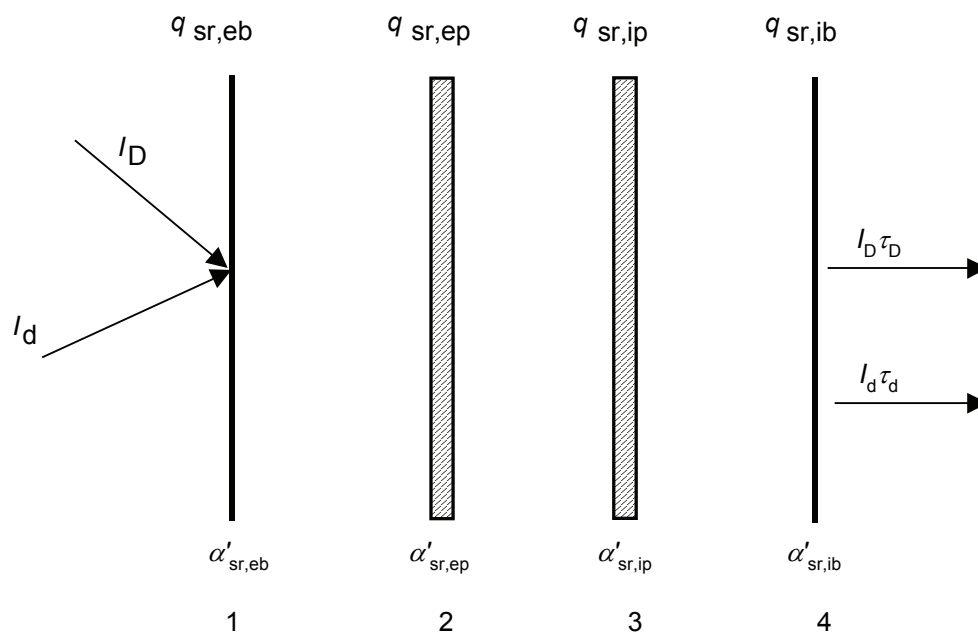
Die Verteilungsfaktoren f_d definieren den Betrag der direkten Sonnenstrahlung, die an den verschiedenen Innenoberflächen der Wände, der Decke, dem Fußboden usw. absorbiert wird. Sie hängen von den Sonnenwinkeln, den geometrischen Abmessungen von Verglasung und Raum, dem kurzwelligen Reflexionsgrad der Bauteile und von Möbeln und Einrichtungen ab. Sie werden als zeitunabhängig angenommen.

ANMERKUNG Soweit nicht näher beschrieben, dürfen die Werte f_{sa} , f_{sl} und f_d von Anhang G verwendet werden.

4.5.3.3 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung bei transparenten Bauteilen (einschließlich Jalousie und Vorhang)

Transparente Bauteile übertragen, reflektieren und absorbieren die auf ihre Außenoberfläche einfallende Sonnenstrahlung. Für Bauteile mit Mehrfachverglasung (d. h. Fenster mit Doppelverglasung mit Innen- und/oder Außenjalousie) sind die folgenden solaren Parameter erforderlich:

- der Transmissionsgrad für direkte und diffuse Sonneneinstrahlung des Systems τ_D und τ_d ;
- der äquivalente Absorptionsgrad für direkte und diffuse Sonneneinstrahlung jedes Elementes des verglasten Systems α'_{sr}



Legende

- 1 Außenjalousie (eb)
- 2 Außenverglasung (ep)
- 3 Innenverglasung (ip)
- 4 Innenjalousie (ib)

Bild 7 — Doppelverglasung mit Innen- und Außenjalousie

Die solaren Parameter müssen nach EN 410 berechnet werden, wobei der Einfluss der gegenseitigen Wechselwirkung, beginnend mit den strahlungsphysikalischen Eigenschaften jedes Elementes berücksichtigt wird. Wenn für unterschiedliche Einfallswinkel keine Werte zur Verfügung stehen, dürfen die Parameter bei senkrechtem Einfall festgelegt werden. Die Wärmestromdichte für jedes verglaste Bauteil j infolge der absorbierten 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 verglasten Bauteils;
 α'_{sr} der äquivalente Absorptionskoeffizient.

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

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

In Fall a) werden verglastes Bauteil und Vorhang als ein einziges Bauteil der Umschließungsfläche mit entsprechenden strahlungsphysikalischen Eigenschaften behandelt.

In Fall b) müssen zwei verschiedene Komponenten betrachtet werden:

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

4.5.3.4 Wärmeübertragung infolge Sonneneinstrahlungsabsorption in der Luft

Sie stellt den Betrag des Wärmestroms infolge Sonneneinstrahlung dar, der durch das verglaste System eindringt und direkt mit der Raumluft in Austausch tritt. Er ergibt sich nach:

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

Die Parameter in Gleichung (23) sind dieselben wie in Gleichung (19).

4.5.3.5 Von der Sonne bestrahlte Wandfläche

Wenn äußere Hindernisse vorhanden sind, kann die Wandfläche teilweise verschattet sein. Hindernisse, die in diesem Dokument behandelt werden, sind horizontale Auskragungen, Seitenteile, Fensterrücksprünge und Verbauungen. Ein Reduktionsfaktor kann für die diffuse Strahlung in den Gleichungen (16) und (19) addiert werden. Es darf angenommen werden, dass

- die Wirkung von Verschattungen nur die direkte Sonneneinstrahlung verringert,
- die Wirkung gegenseitiger Reflexionen vernachlässigbar ist.

Die Ermittlung der Größe der von der Sonne bestrahlten Fläche kann mit jedem geeigneten Verfahren bestimmt werden, das zu Ergebnissen führt, die sich mit den in Abschnitt 7 angegebenen Validierungsverfahren in Übereinstimmung befinden.

ANMERKUNG Ein geeignetes Verfahren ist in Anhang C beschrieben.

4.5.4 Wärmeübertragung durch langwellige Strahlung

4.5.4.1 Wärmestrom an der Außenoberfläche

Nach den Annahmen in 4.1 ergibt sich die Wärmestromdichte infolge langwelligem Strahlungsaustauschs von einer Außenfläche, $q_{lr,e}$, durch:

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

Dabei ist

- $h_{lr,e}$ der Wärmeübergangskoeffizient der langwelligen Strahlung;
- $\theta_{a,e}$ die Außenlufttemperatur;
- $\theta_{s,e}$ die Temperatur der Außenoberfläche;
- q_{sk} die Korrektur für den langwelligen Strahlungsaustausch von der Wand zum Himmelsgewölbe.

Unter Verwendung der thermodynamischen Temperaturen ($T = \theta + 273,15$) ist die Annäherung an den Wert $h_{lr,e}$

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

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 fixen Wert von $h_{lr,e}$ durchzuführen.

ANMERKUNG 1 Die Werte der Terme in Gleichung (24) sind unter der Annahme folgender Referenzbedingungen zu berechnen:

- Emissionsgrad der Außenoberfläche $\varepsilon_{lr,e} = 0,93$;
- Referenztemperatur $T_m = \frac{T_{a,e} + T_{s,e}}{2} = 303 \text{ K}$.

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

Die Korrektur für die langwellige Strahlung vom Element zum Himmelsgewölbe, q_{sk} , ergibt sich nach:

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

Dabei ist

- F_{sk} der Darstellungsfaktor des Elements mit der Himmelswölbung (Raumwinkel dividiert durch 2π);
- $T_{a,e}$ die Außenlufttemperatur;
- T_{sk} die Temperatur der Himmelswölbung.

Die Temperatur der Himmelswölbung ist abhängig von den atmosphärischen Merkmalen und dem Dampfgehalt. Diese Parameterwerte werden national genormt.

ANMERKUNG 2 Wenn keine Informationen vorliegen, darf das Verfahren im Anhang E zur Bestimmung der verschiedenen Parameter verwendet werden. Die Gleichung (F.2), gültig für klaren Himmel, darf zur Bestimmung der Himmelstemperatur angewendet werden. Die Gleichung (F.5) darf zur Bestimmung der Korrektur des Termes q_{sk} verwendet werden.