

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | <b>Wärmeschutz im Hochbau</b><br>Teil 20: Thermisches Verhalten von Gebäuden<br>Sommerliche Raumtemperaturen bei Gebäuden ohne Anlagentechnik<br>Allgemeine Kriterien und Berechnungsalgorithmen<br>(Vorschlag für eine Europäische Norm) | <b>DIN</b><br><b>4108-20</b> |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                           | Einsprüche bis 31. Okt 1995  |
| ICS 91.120.10                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Anwendungswarnvermerk<br>beachten!                                                                                                                                                                                                        |                              |
| Thermal performance of buildings – Part 20: Internal temperatures in<br>summer of a room without mechanical cooling; General criteria and<br>calculation procedures; (Proposal for a European Standard)                                                                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| <b>Nationales Vorwort</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuß im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist<br>der als Spiegelausschuß zu CEN/TC 89 eingesetzte Arbeitsausschuß 00.89.00 "Wärmeschutz" des<br>Normenausschusses Bauwesen (NABau).                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Für die im Abschnitt 2 zitierten Internationalen und Europäischen Normen wird im folgenden auf die<br>entsprechenden Deutschen Normen verwiesen:                                                                                                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| <ul style="list-style-type: none"><li>– ISO 7345 : 1987 siehe DIN 4108-1, E DIN EN 27345;</li><li>– ISO 9251 : 1987 siehe E DIN EN 29251;</li><li>– ISO 9288 : 1989, siehe E DIN EN 29288;</li><li>– ISO 9346 : 1987, siehe E DIN EN 29346;</li><li>– prEN 1190 : 1993, siehe E DIN EN 1190 : 1994-01;</li><li>– prEN 26946-1, siehe DIN 4108-5, E DIN EN 30211 : 1992-12.</li></ul> |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Dieser Vorschlag für eine Europäische Norm wurde dem zuständigen Sekretariat CEN/TC 89 zur Annahme<br>zu einer in Arbeit befindlichen Europäischen Norm eingereicht.                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Falls der Europäische Norm-Entwurf als Europäische Norm durch CEN angenommen wird, muß er nach der<br>Übernahmeverpflichtung in das Deutsche Normenwerk übernommen werden.                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| <b>Anwendungswarnvermerk</b>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Dieser Norm-Entwurf wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses<br>Entwurfes besonders zu vereinbaren.                                                                                                                                                                                                                                             |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Stellungnahmen werden erbeten an den Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für<br>Normung e. V., Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.                                                                                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Fortsetzung Seite 2 bis 74                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |
| Normenausschuß Bauwesen (NABau) im DIN Deutsches Institut für Normung e.V.                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                           |                              |

## Inhalt

|                                                                                                                  | Seite |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Vorwort                                                                                                          | 2     |
| 1 Anwendungsbereich                                                                                              | 3     |
| 2 Normative Verweisungen                                                                                         | 3     |
| 3 Definitionen und Symbole                                                                                       | 3     |
| 4 Ermittlung der Raumtemperatur                                                                                  | 5     |
| 5 Algorithmus zur Berechnung der sommerlichen Raumtemperatur                                                     | 23    |
| 6 Bericht über die Berechnung                                                                                    | 25    |
| Anhang A (normativ) Validierungsverfahren                                                                        | 26    |
| Anhang B (normativ) Äußerer Wärmeübergangskoeffizient der langwelligen Strahlung                                 | 46    |
| Anhang C (informativ) Beispiel eines Lösungsverfahrens                                                           | 48    |
| Anhang D (informativ) Ermittlung der verschatteten Fläche einer ebenen Oberfläche<br>infolge äußerer Hindernisse | 58    |
| Anhang E (informativ) Meteorologische Bemessungs-Daten für den Sommer                                            | 61    |
| Anhang F (informativ) Berechnung des langwelligen Strahlungsaustausches<br>in Gebäuden                           | 62    |
| Anhang G (informativ) Innere Wärmegegewinne                                                                      | 64    |
| Anhang H (informativ) Lüftung                                                                                    | 66    |
| Anhang L Bibliografie                                                                                            | 73    |
| Anhang NA (informativ) Literaturhinweise in nationalen Zusätzen                                                  | 74    |

## Vorwort

Diese Europäische Norm wurde von CEN/TC89 "Thermisches Verhalten von Gebäuden und Bauteilen" erarbeitet.

Es wird keine bestehende Europäische Norm ersetzt.

Diese Norm gehört zu einer Reihe von Normen, die sich mit Berechnungsverfahren für die Bemessung und Bewertung des thermischen Verhaltens von Gebäuden und Bauteilen befassen. Andere Internationale Organisationen haben zu dieser Norm beigetragen.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt die Eingabedaten und die Algorithmen zur Berechnung der sommerlichen Raumtemperatur eines einzelnen Raumes ohne Kühleinrichtung unter instationären Randbedingungen fest. Mit dieser Norm werden keine spezifischen Techniken vorgeschrieben. Im informativen Anhang C ist ein Beispiel eines Lösungsverfahrens angegeben. In Anhang A ist ein Validierungsverfahren angegeben, das die zahlenmäßige Bewertung von Lösungen ermöglicht.

## 2 Normative Verweisungen

Diese Europäische Norm enthält durch datierte und undatierte Verweisungen Festlegungen aus anderen Publikationen. Diese normativen Verweisungen sind an den jeweiligen Stellen im Text zitiert, und die Publikationen sind nachstehend aufgeführt. Bei starren Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nur zu dieser Europäischen Norm, wenn sie durch Änderung oder Überarbeitung eingearbeitet sind. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikationen.

|                        |                                                                                                                                                                                                       |
|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ISO 7345               | Thermal insulation – Physical quantities and definitions                                                                                                                                              |
| ISO 9346               | Thermal insulation – Mass Transfer – Physical quantities and definitions                                                                                                                              |
| ISO 9288               | Thermal insulation – Heat transfer by radiation – Physical quantities and definitions                                                                                                                 |
| ISO 9251               | Thermal insulation – Heat transfer conditions and properties of materials – Vocabulary                                                                                                                |
| prEN 26946-1           | Bauelemente und Bauteile – Berechnung des Wärmedurchlaßwiderstandes und des Wärmedurchgangskoeffizienten                                                                                              |
| prEN 673               | Wärmedämmung von Verglasungen – Rechenregeln zur Bestimmung des stationären U-Wertes (Wärmedurchgangskoeffizienten) von Verglasungen                                                                  |
| prEN 1190              | Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Wärmeaustausch an das Erdreich – Berechnungsverfahren                                                                                                       |
| prEN 410               | Glas im Bauwesen – Bestimmung des Lichtdurchlaßgrades, des solaren direkten Durchlaßgrades, des solaren Gesamtenergiedurchlaßgrades, des UV-Durchlaßgrades und der damit zusammenhängenden Glasdaten. |
| prEN AAA <sup>1)</sup> | Meteorologische Daten                                                                                                                                                                                 |

## 3 Definitionen und Symbole

### 3.1 Definitionen

Für die Anwendung dieser Norm gelten ISO 7345 und die folgenden Definitionen.

#### 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.

---

<sup>1)</sup> Von TC 89/WG 9 vorzubereitendes Dokument

### 3.1.5 Innere Oberflächentemperatur:

Innere Oberflächentemperatur jedes Elementes der Umschließungsfläche.

### 3.1.6 Empfundene Temperatur des Raumes:

Arithmetischer Mittelwert der Raumlufttemperatur und der mittleren Strahlungstemperatur aller die Innenumgebung umschließenden Oberflächen.

## 3.2 Formelzeichen

Im folgenden sind die in dieser Norm verwendeten Formelzeichen erläutert.

| Formelzeichen | Größe                                                | Einheit           |
|---------------|------------------------------------------------------|-------------------|
| $A$           | Fläche                                               | $m^2$             |
| $C$           | Wärmekapazität                                       | J/K               |
| $F$           | Einstrahlzahl                                        | -                 |
| $m$           | Massenstrom                                          | kg/s              |
| $I$           | Gesamtstrahlungsintensität                           | $W/m^2$           |
| $R$           | Wärmedurchlaßwiderstand                              | $(m^2 \cdot K)/W$ |
| $T$           | absolute Temperatur                                  | K                 |
| $U$           | Wärmedurchgangskoeffizient                           | $W/(m^2 \cdot K)$ |
| $V$           | Volumen                                              | $m^3$             |
| $a$           | Temperaturleitfähigkeit                              | $m^2/s$           |
| $c$           | spezifische Wärmekapazität                           | J/(kg·K)          |
| $d$           | Dicke                                                | m                 |
| $h$           | Wärmeübergangskoeffizient                            | $W/(m^2 \cdot K)$ |
| $l$           | Länge                                                | m                 |
| $M$           | Masse                                                | kg                |
| $q$           | Wärmestromdichte                                     | $W/m^2$           |
| $r$           | Wärmedämmfähigkeit                                   | $(m \cdot K)/W$   |
| $t$           | Zeit                                                 | s                 |
| $v$           | Geschwindigkeit                                      | m/s               |
| $\Lambda$     | Wärmedurchlaßkoeffizient                             | $W/(m^2 \cdot K)$ |
| $\Phi$        | Wärmestrom                                           | W                 |
| $J$           | direkte Gesamtstrahlung                              | $W/m^2$           |
| $\alpha$      | Gesamtabsorptionsgrad für direkte Sonneneinstrahlung | -                 |
| $\epsilon$    | hemisphärischer Emissionsgrad                        | -                 |
| $\lambda$     | Wärmeleitfähigkeit                                   | $W/(m \cdot K)$   |
| $\rho$        | Reflexionsgrad für Sonneneinstrahlung                | -                 |
| $\theta$      | Celsius-Temperatur                                   | °C                |
| $\tau$        | Transmissionsgrad für direkte Sonneneinstrahlung     | -                 |

## Indizes

| Symbol    | Größe         |
|-----------|---------------|
| <i>i</i>  | innen         |
| <i>e</i>  | außen         |
| <i>s</i>  | Oberfläche    |
| <i>cd</i> | Leitung       |
| <i>c</i>  | Konvektion    |
| <i>v</i>  | Lüftung       |
| <i>r</i>  | Strahlung     |
| <i>g</i>  | Gas(Luft)raum |
| <i>a</i>  | Umgebung      |
| <i>il</i> | Eintritt      |

## 4 Ermittlung der Raumtemperatur

## 4.1 Annahmen für einen vereinfachten Berechnungsalgorithmus

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. Jede Gleichung repräsentiert ein Modell der physikalischen Vorgänge, die gemeinsam die thermische Umgebung innerhalb eines Raumes beeinflussen. Die physikalischen Vorgänge, die das wärmeschutztechnische Verhalten einer Innenumgebung regeln, werden durch die instationären Wärme- und Massenübertragungen zwischen Außen- und Innenumgebung durch die opaken und transparenten Bauteile dargestellt, die die Umschließungsfläche des Raumes bilden. Die in dieser Norm 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;
- Hohlräume behandelt werden als Schichten, die durch zwei parallele und zur Richtung des Wärmestroms senkrechte 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 Verteilung der Sonneneinstrahlung innerhalb des Raumes zeitunabhängig ist;
- die Maße jedes Bauteils an der Innenseite der Umschließungsfläche gemessen werden.

Wegen der getroffenen Annahmen darf diese Norm nicht zur Bestimmung der Innenbedingungen spezieller Zonen, wie Glasanbauten, Dachgeschoßausführungen, indirekte passive Solarsysteme und

Zonen, in denen die Sonnenstrahlung durch den Raum hindurchgehen kann, verwendet werden. Wenn diese Situationen eintreten, sind andere Annahmen erforderlich; es müssen detailliertere Lösungsmodelle betrachtet werden (es wird auf Anhang L verwiesen).

## 4.2 Ermittlung der interessierenden Temperaturen

### 4.2.1 Raumlufthtemperatur

Die Lufttemperatur eines Raumes zu jedem beliebigen Zeitpunkt ergibt sich nach:

$$\sum_{j=1}^N (A \cdot q_{c,lsj}) + \Phi_v + \Phi_{ic} + \Phi_{sa} = c \cdot M \cdot \frac{\partial \theta_a}{\partial t} \quad (1)$$

Dabei ist:

|             |                                                                                                                                      |
|-------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $N$         | die Anzahl der die Raumlufth begrenzenden Innenoberflächen                                                                           |
| $A$         | die Fläche jedes Elementes der Umschließungsfläche                                                                                   |
| $q_{c,ls}$  | die Wärmestromdichte, die durch Konvektion von jedem Element der Umschließungsfläche $j$ ausgetauscht wird (siehe Abschnitt 4.4.2.1) |
| $\Phi_v$    | der durch Lüftung ausgetauschte Wärmestrom (siehe Abschnitt 4.4.6)                                                                   |
| $\Phi_{ic}$ | der konvektive Teil des Wärmestroms infolge innerer Wärmequellen (siehe Abschnitt 4.4.5)                                             |
| $\Phi_{sa}$ | der durch Absorption in der Luft erzeugte Wärmestrom (siehe Abschnitt 4.4.3.4)                                                       |
| $c$         | die spezifische Wärmekapazität der Raumlufth                                                                                         |
| $M$         | die Masse der Raumlufth                                                                                                              |
| $\theta_a$  | die Temperatur der Raumlufth                                                                                                         |
| $t$         | die Zeit                                                                                                                             |

### 4.2.2 Innere Oberflächentemperatur

Die innere Oberflächentemperatur jedes Elementes der Umschließungsfläche ( $j$ ) ergibt sich nach:

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

Dabei ist:

|          |                                                                                                                        |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $q_r$    | die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch mit den anderen Innenoberflächen (siehe Abschnitt 4.4.4.2) |
| $q_{sr}$ | die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung (siehe Abschnitt 4.4.3.2)                         |
| $q_c$    | die Wärmestromdichte durch Konvektion (siehe Abschnitt 4.4.2.1)                                                        |
| $q_{cl}$ | die Wärmestromdichte durch Leitung (siehe Abschnitt 4.4.1)                                                             |
| $\Phi_v$ | der Wärmestrom infolge innerer Wärmequellen mit langwelligem Anteil (siehe Abschnitt 4.4.5)                            |

### 4.2.3 Oberfläche / zwischen Bauteilschichten

Die Temperatur jeder Oberfläche ( $j$ ) zwischen Bauteilschichten ergibt sich nach:

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

Dabei ist:

- $q_{\alpha,j-1}$  die Wärmestromdichte durch Leitung in das  $j-1$ . Bauteil (siehe Abschnitt 4.4.1)
- $q_{\alpha,j+1}$  die Wärmestromdichte durch Leitung in das  $j+1$ . Bauteil (siehe Abschnitt 4.4.1)
- $q_{sr,j}$  die Wärmestromdichte, die von der Oberfläche  $j$  infolge einer äußeren Quelle (d. h. Sonnenstrahlung) absorbiert wird

### 4.2.4 Oberfläche $j$ eines Hohlraums

Die Oberfläche eines Hohlraums ergibt sich nach:

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

Dabei ist:

- $q_{c,j}$  die Gesamtwärmestromdichte durch Konvektion über den Hohlraum (siehe Abschnitt 4.4.2.2)
- $q_{lr,j}$  die Wärmestromdichte langwelliger Strahlung über den Hohlraum (siehe Abschnitt 4.4.4.3)
- $q_{\alpha,j}$  die Wärmestromdichte durch Leitung (siehe Abschnitt 4.4.1)
- $q_{sr,j}$  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

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

Dabei ist:

- $q_{lr}$  die Wärmestromdichte langwelliger Strahlung nach außen (siehe Abschnitt 4.4.4.1)
- $q_{sr}$  die Wärmestromdichte kurzwelliger Strahlung, die von der Oberfläche absorbiert wird (siehe Abschnitt 4.4.3.1.1)
- $q_c$  die Wärmestromdichte durch Konvektion an die Luft (siehe Abschnitt 4.4.2.1)
- $q_{\alpha}$  die Wärmestromdichte durch Leitung (siehe Abschnitt 4.4.1)

### 4.2.6 Interimelle Temperaturen für spezielle Bauteile

Spezielle Bauteile sind wie folgt zu behandeln:

#### 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 den Abschnitten 4.4.2.2 und 4.4.4.3 behandelt wird.

### Geschoßdecke auf dem Erdreich

Das von der Geschoßdecke und dem Erdreich gebildete System wird als einzelnes horizontales Element mit eindimensionalem Wärmestrom betrachtet und nach prEN 1190 behandelt. Die thermischen Eigenschaften jeder die Geschoßdecke bildenden Schicht werden nach prEN 30211 gewählt; die thermischen Eigenschaften des Erdreichs und seine geometrische Abmessung werden nach prEN 1190 gewählt. Randbedingungen werden nach Abschnitt 4.3.1.5 festgelegt.

### Kellerdecke

Der Keller wird als angrenzender Raum nach prEN 1190 behandelt. Randbedingungen sind in Abschnitt 4.3.1.5 festgelegt.

### Geschoßdecke über einem Kriechkeller

Das von der Geschoßdecke, dem Kriechkeller und dem Erdreich gebildete System wird als ein einzelnes horizontales Element mit eindimensionalem Wärmestrom betrachtet und nach prEN 1190 behandelt. Der Kriechkeller wird als belüfteter Hohlraum behandelt.

### 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 den Abschnitten 4.4.2.2 und 4.4.2.3 berechnet;
- die Wärmeströme infolge des langwelligen Strahlungsaustauschs zwischen den verschiedenen die Hohlräume begrenzenden Oberflächen wird nach Abschnitt 4.4.4.3 berechnet;
- die Wärmeströme infolge der von jedem Element absorbierten kurzwelligen Strahlung wird als Quellterm behandelt.

### 4.3 Wärmebilanz eines Raumes

In jeder Gleichung von Abschnitt 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:

$$\begin{pmatrix} K_{1,1} & K_{1,2} & K_{1,N} & K_{1,N+1} \\ K_{2,1} & K_{2,2} & K_{2,N} & K_{2,N+1} \\ K_{N,1} & K_{N,2} & K_{N,N} & K_{N,N+1} \\ K_{N+1,1} & K_{N+1,2} & K_{N+1,N} & K_{N+1,N+1} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} \theta_{k,1} \\ \theta_{k,2} \\ \theta_{k,N} \\ \theta_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_N \\ Y_{N+1} \end{pmatrix}$$

Dabei ist:

- $N$  die Anzahl der die Raumlufth begrenzenden Elemente;
- $K$  die Koeffizienten der unbekannten Temperaturen ( $\theta$ ) ( von 1 bis  $N$  auf die Innenoberflächen bezogen,  $N+1$  auf die Raumlufth bezogen);

- $Y$  die Koeffizienten der bekannten Größen (von 1 bis  $N$  auf die Innenoberflächen bezogen,  $N+1$  auf die Raumlufth bezogen)  
 $\theta$  die unbekannten Temperaturen (von 1 bis  $N$  auf die Innenoberflächen bezogen,  $N+1$  auf die Raumlufth bezogen)

#### 4.3.1 Randbedingungen

Ein Einzonnenmodell 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 dieser Norm angegebene einfache Modell nicht verwendet werden, und es sind die tatsächlichen Randbedingungen mittels eines Mehrzonnenmodells 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.

##### 4.3.1.1 Adiabatische Trennwand

$$\begin{aligned} q_{sr,e} &= q_{sr,i} \\ \theta_{a,e} &= \theta_{a,i} \\ q_{ir,e} &= q_{ir,i} \end{aligned} \quad (7)$$

Dabei ist:

- $q_{sr,e}$  die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Außenoberfläche  
 $\theta_{a,e}$  die Außenlufttemperatur  
 $q_{ir,e}$  die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch mit den anderen Außenoberflächen (siehe Abschnitt 4.4.4.2)  
 $q_{sr,i}$  die Wärmestromdichte infolge der an den Innenoberflächen absorbierten kurzwelligen Strahlung (siehe Abschnitt 4.4.3.2)  
 $\theta_{a,i}$  die Raumlufthtemperatur  
 $q_{ir,i}$  die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch mit den anderen Innenoberflächen (siehe Abschnitt 4.4.4.2)

##### 4.3.1.2 Adiabatische obere Geschoßdecke (Decke)

$$\begin{aligned} q_{sr,e,c} &= q_{sr,i,f} \\ \theta_{a,e} &= \theta_{a,i} \\ q_{ir,e,c} &= q_{ir,i,f} \end{aligned} \quad (8)$$

Dabei ist:

- $q_{sr,e,c}$  die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Außenoberfläche der Decke  
 $\theta_{a,e}$  die Außenlufttemperatur  
 $q_{ir,e,c}$  die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Außenoberfläche der Decke mit den anderen Außenoberflächen  
 $q_{sr,i,f}$  die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Innenoberfläche

des Fußbodens (siehe Abschnitt 4.4.3.2)  
 $\theta_{a,i}$  die Raumlufttemperatur  
 $q_{r,i,f}$  die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Geschoßdecke mit den anderen Innenoberflächen (siehe Abschnitt 4.4.4.2)

#### 4.3.1.3 Adiabatische untere Geschoßdecke (Fußboden)

$$\begin{aligned} q_{sr,e,f} &= q_{sr,i,c} \\ \theta_{a,e} &= \theta_{a,i} \\ q_{r,e,f} &= q_{r,i,c} \end{aligned} \quad (9)$$

Dabei ist:

$q_{sr,e,f}$  die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Außenoberfläche des Fußbodens  
 $\theta_{a,e}$  die Außenlufttemperatur  
 $q_{r,e,f}$  die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Außenoberfläche des Fußbodens mit den anderen Außenoberflächen  
 $q_{sr,i,c}$  die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Innenoberfläche der Decke (siehe Abschnitt 4.4.3.2)  
 $\theta_{a,i}$  die Raumlufttemperatur  
 $q_{r,i,c}$  die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Innenoberfläche der Decke mit den anderen Innenoberflächen (siehe Abschnitt 4.4.4.2)

#### 4.3.1.4 Wand, obere und untere Geschoßdecke (Decke und Fußboden) zum angrenzenden Raum mit unterschiedlicher Lufttemperatur

$$\begin{aligned} q_{sr,e} &= 0 \\ \theta_{a,e} &= \theta_{a,d} \\ q_{r,e} &= \text{durch Gleichung (28) in Abschnitt 4.4.4.1 definiert} \end{aligned} \quad (10)$$

Dabei ist:

$q_{sr,e}$  die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung an der Außenoberfläche  
 $\theta_{a,d}$  die Lufttemperatur des angrenzenden Raumes

#### 4.3.1.5 Bodenplatte

Nach prEN 1190 ergibt sich der Wärmestrom durch das Bauteil als Summe aus einem stationären und einem variablen Beitrag.

##### Stationärer Beitrag

Die Wärmeübertragung erfolgt zwischen Innen- und Außenlufttemperatur, die als konstant und gleich dem monatlichen Mittelwert angenommen werden. Der Wärmedurchgangskoeffizient des Bauteils wird nach prEN 1190 bestimmt.

##### Variabler Beitrag

Das Bauteil wird als adiabatisch und der Wärmestrom eindimensional angenommen. Die Tiefe des zu betrachtenden Erdreichs ist 0,5 m.

Der Wärmestrom an der unteren Oberfläche wird mit 0 angenommen.

$$\begin{aligned} q_{sr,e,f} &= 0 \\ q_{r,e,f} &= 0 \\ q_{c,e} &= 0 \end{aligned} \quad (11)$$



Dabei ist:

- $q_{sr,e,t}$  die Wärmestromdichte infolge der absorbierten kurzwelligen Strahlung der Außenoberfläche der Bodenplatte
- $q_{tr,e,t}$  die Wärmestromdichte durch langwelligen Strahlungsaustausch der Außenoberfläche der Bodenplatte mit den anderen Außenoberflächen
- $q_{c,e}$  die Wärmestromdichte durch konvektiven Wärmetransport an der Außenoberfläche der Bodenplatte

#### 4.3.1.6 Keller oder Kriechkeller

Der Keller wird als angrenzender Raum mit feststehender Temperatur betrachtet (siehe Abschnitt 4.3.1.4).

Der Kriechkeller wird als untere Geschoßdecke auf dem Erdreich nach prEN 1190 behandelt. Die Randbedingungen sind in Abschnitt 4.1.3.5 angegeben.

#### 4.3.1.7 Decke unter dem nicht ausgebauten Dachgeschoß

$$\begin{aligned} \theta_{a,e} &= \theta_e \\ q_{sr,e} &= \text{nach Gleichung (23) in Abschnitt 4.4.3.1.1 definiert} \\ q_{tr,e} &= \text{nach Gleichung (27) in Abschnitt 4.4.4.1 definiert.} \end{aligned} \quad (12)$$

Dabei ist:

$\theta_e$  die Außenlufttemperatur

### 4.4 Terme in den Gleichungen für die Wärmebilanz

Nach den in Abschnitt 4.1 definierten Vereinfachungen und Annahmen wird nun ein mathematisches Modell der in den Gleichungen für die Wärmebilanz enthaltenen Wärmeübertragungsvorgänge abgeleitet.

#### 4.4.1 Wärmeleitung durch Bauteile

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

$$q = - \lambda (\nabla \theta) \quad (13)$$

$$\nabla q + q_H = \rho c \frac{\partial \theta}{\partial t} \quad (14)$$

Dabei ist:

- $\theta$  die Temperatur am Punkt x (in Richtung des Wärmestroms) zur Zeit t;
- $q$  der Vektor der Wärmestromdichte;
- $\lambda$  die Wärmeleitfähigkeit des Mediums;

$c$  die spezifische Wärmekapazität;  
 $\rho$  die Dichte des Mediums;  
 $q_H$  der Term für Wärmequellen.

Diese Gleichungen können mit jedem geeigneten Verfahren gelöst werden, das zu Ergebnisse in Übereinstimmung mit dem Validierungsverfahren in Anhang A führt.

ANMERKUNG 1: In Anhang C ist ein geeignetes Verfahren beschrieben.

#### 4.4.2 Konvektive Wärmeübertragung

Konvektive Wärmeübertragung tritt an den Grenzflächen jedes Bauteils und in Hohlräumen auf.

##### 4.4.2.1 Konvektive Wärmestromdichte $q_c$ an der Innen- und Außenoberfläche von Element $j$

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

$$q_c = h_{c,j}(\theta_a - \theta_{s,j}) \quad (15)$$

Dabei ist:

$h_{c,j}$  der konvektive Wärmeübergangskoeffizient der Oberfläche  $j$   
 $\theta_a$  die Lufttemperatur  
 $\theta_{s,j}$  die Oberflächentemperatur von Oberfläche  $j$

Die Werte des äußeren konvektiven Wärmeübergangskoeffizienten ergeben sich nach:

$$h_{ce} = 4 + 4v \quad (\text{W/m}^2) \quad (16)$$

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  $h_i$  nach prEN 26946-1 an.

**Tabelle 1: Innerer konvektiver Wärmeübergangskoeffizient in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$**

| Vertikale Wand | Horizontal (Strömung aufwärts) | Horizontal (Strömung stehend) |
|----------------|--------------------------------|-------------------------------|
| 2,5            | 5,0                            | 0,7                           |

ANMERKUNG 2: Die Werte von Tabelle 1 wurden mit den in prEN 26946-1 angegebenen Gleichungen unter Beachtung folgender Bedingungen bestimmt:

Temperaturdifferenz  $(\theta_{s,i} - \theta_a) < 10 \text{ }^\circ\text{C}$

hydraulischer Oberflächendurchmesser  $L = 4,5 \text{ m}$  ( $L = 4 \text{ Fläche/Umfang}$ )

Tabelle 2 gibt die in Gleichung (15) geforderten Außenlufttemperaturen an.

**Tabelle 2: Außenlufttemperatur**

|             |                       |                                         |
|-------------|-----------------------|-----------------------------------------|
| Außenwand   |                       | Bemessungs-Außenlufttemperatur          |
| Innenwand   | adiabatisch           | Raumlufttemperatur                      |
| Innenwand   | zum angrenzenden Raum | Lufttemperatur des angrenzenden Raums   |
| Bodenplatte |                       | mittlere monatliche Außenlufttemperatur |
| Kellerdecke |                       | Bemessungs-Temperatur des Kellers       |

**4.4.2.2 Konvektive Wärmeübertragung durch unbelüftete Hohlräume**

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

$$q_c = h_g \Delta\theta \quad (18)$$

Dabei ist:

$\Delta\theta$  die Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen der Hohlräume;  
 $h_g$  Wärmedurchlaßkoeffizient des Gases.

Der Wärmedurchlaßkoeffizient des Gases eines unbelüfteten Hohlraums ergibt sich nach:

**- zwischen opaken Oberflächen**

Nach prEN 26946-1:

für Wärmestrom horizontal:  $h_c$  ist der größere der Werte von  $1,25 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und  $0,025/d \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

für Wärmestrom aufwärts:  $h_c$  ist der größere der Werte von  $1,95 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und  $0,025/d \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

für Wärmestrom abwärts:  $h_c$  ist der größere der Werte von  $0,12d^{-0,44} \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  und  $0,025/d \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

wobei  $d$  die Dicke des Hohlraumes (in Wärmestromrichtung) ist.

**- zwischen transparenten Oberflächen**

Aus prEN 673 werden die folgenden Referenzbedingungen angenommen:

- Dichte der Luft:  $1,139 \text{ kg}/\text{m}^3$
- dynamische Zähigkeit:  $1,861 \times 10^{-6} \text{ kg}/\text{ms}$
- Wärmeleitfähigkeit:  $0,0264 \text{ W}/\text{mK}$
- spezifische Wärmekapazität  $1008 \text{ J}/\text{kgK}$
- absolute Temperatur:  $300 \text{ K}$
- Temperaturdifferenz:  $5 \text{ }^\circ\text{C}$

In den Tabellen 3 und 4 sind Werte des Wärmedurchlaßkoeffizienten  $h_g$  für vertikale und horizontale Hohlräume zwischen transparenten Bauteilen angegeben.

**Tabelle 3: Wärmedurchlaßkoeffizient für vertikalen Hohlraum in  $W/(m^2 \cdot K)$**

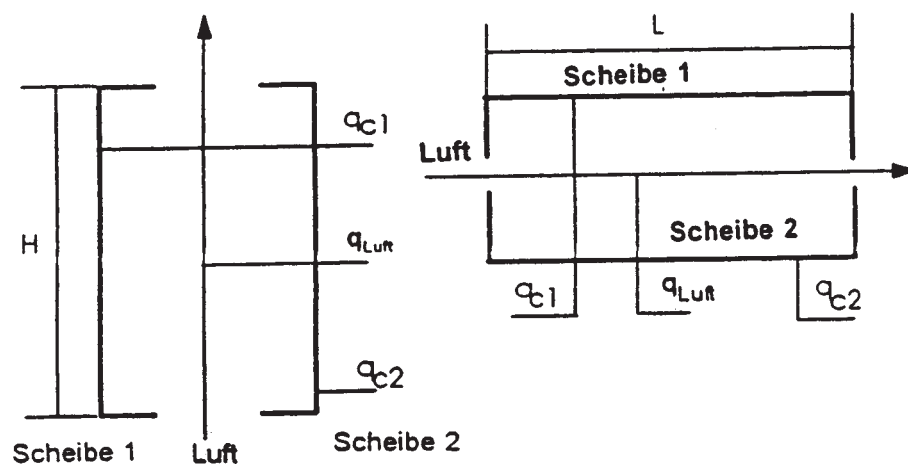
| Abstand zwischen den Begrenzungsflächen (cm) |      |      |      |      |
|----------------------------------------------|------|------|------|------|
| $d$                                          | 1    | 5    | 10   | 20   |
| $h_0$                                        | 2,65 | 1,16 | 1,29 | 1,42 |

**Tabelle 4: Wärmedurchlaßkoeffizient für horizontalen Hohlraum in  $W/(m^2 \cdot K)$**

|       | Strömung<br>aufwärts                         |      |      |      | Strömung<br>abwärts |      |      |      |
|-------|----------------------------------------------|------|------|------|---------------------|------|------|------|
|       | Abstand zwischen den Begrenzungsflächen (cm) |      |      |      |                     |      |      |      |
| d     | 1                                            | 5    | 10   | 20   | 1                   | 5    | 10   | 20   |
| $h_0$ | 2,06                                         | 1,71 | 1,50 | 1,48 | 2,06                | 0,41 | 0,21 | 0,10 |

#### 4.4.2.3 Konvektive Wärmeübertragung durch belüftete Hohlräume

Die Luft strömt mit einer Temperatur  $\theta_1$  in den Hohlraum ein. Die mittleren Temperaturen der Luftschicht an den Scheiben 1 und 2 sind  $\theta_1$  bzw.  $\theta_2$ .



Die konvektiven Wärmegewinne für Scheiben und Luft ergeben sich nach:

$$q_{c1} = h'_c \left[ \frac{\left( \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right) + G_r (\theta_1 - \theta_1)}{1 + G_r} \right]$$

$$q_{c2} = h'_c \left[ \frac{\left( \frac{\theta_1 - \theta_2}{2} \right) + G_r (\theta_1 - \theta_2)}{1 + G_r} \right] \quad (19)$$

$$q_{Luft} = h'_c \left[ \frac{\theta_1 + \theta_2 - 2\theta_l}{1 + 1/G_r} \right]$$

Dabei ist:

- $q_{c1}$  die Dichte des konvektiven Wärmegewinns für Oberfläche 1
- $q_{c2}$  die Dichte des konvektiven Wärmegewinns für Oberfläche 2
- $q_{Luft}$  die Wärmegewinndichte der durch den Hohlraum strömenden Luft
- $h'_c$  der konvektive Wärmeübergangskoeffizient zwischen Oberfläche und Luft
- $\theta_l$  die Lufteintrittstemperatur
- $\theta_1$  die mittlere Temperatur von Oberfläche 1
- $\theta_2$  die mittlere Temperatur von Oberfläche 2
- $G_r$  ein dimensionsloser Parameter, der sich ergibt nach:

$$G_r = 0,75 \frac{\rho_s \cdot c_s \cdot G_s}{h'_c} \quad (20)$$

Dabei ist:

- $\rho_s$  die spezifische Dichte von Luft
- $c_s$  die spezifische Wärmekapazität der Luft an der Eintrittsöffnung
- $G_s$  der Luftmassenstrom durch die Schicht je Einheit Wandfläche

Die Terme in Gleichung (19) und Gleichung (20) ergeben sich nach:

- horizontaler Hohlraum

$$G_s = 0,61 \cdot v_f \cdot A_{eq}/A_w \quad (21)$$

$$h_c' = 2 \cdot h_g + 4 \cdot G_s \cdot L/d$$

- vertikaler Hohlraum

$$G_s = 0,61 \frac{A_{eq}}{A_w} \sqrt{\left[ 2 \left( \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} - \theta_l \right) g \cdot H / T_m \right]} \quad (22)$$

$$h_c' = 2 \cdot h_g + 4 \cdot G_s \cdot H/d$$

Dabei ist:

0,61 die Durchflußzahl  
 $A_{eq}$  ergibt sich nach:

$$A_{eq} = 1 / (\sqrt{(1/A_e)^2 + (1/A_a)^2})$$

$h_g$  der Wärmedurchlaßkoeffizient des Gases für eine abgeschlossenen Luftschicht  
 $H$  die Höhe der vertikalen Schicht in m  
 $A_e$  die Fläche am Eintrittsabschnitt  
 $A_a$  die Fläche am Austrittsabschnitt  
 $T_m$  die absolute Referenztemperatur (300 K)  
 $d$  der Abstand zwischen den Oberflächen 1 und 2 (Dicke der Luftschicht)  
 $L$  die Länge der horizontalen Schicht in m  
 $v_f$  die Windgeschwindigkeit.  
 $g$  die Erdbeschleunigung 9,81 m/s<sup>2</sup>

#### 4.4.3 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung

Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung tritt an den Oberflächen jedes Bauteils infolge Sonnenstrahlung auf.

#### 4.4.3.1 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung an der Außenoberfläche eines opaken Bauteiles

$$q_{sr,e} = \alpha_{sr,e}(I_D A_d / A + I_d) \quad (23)$$

Dabei ist:

- $\alpha_{sr,e}$  der Absorptionsgrad für Sonneneinstrahlung
- $I_D$  der direkte Anteil der die Oberfläche erreichenden Sonnenstrahlung
- $A_d$  die von der Sonne bestrahlte Wandfläche
- $I_d$  der diffuse Anteil der die Oberfläche erreichenden Sonnenstrahlung

Die Werte des Absorptionsgrades für Sonneneinstrahlung der opaken Außenoberflächen  $\alpha_{sr,e}$  hängen von der Charakteristik der Außenoberfläche des Bauteils ab. Tabelle 5 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 5: Absorptionsgrad für Sonneneinstrahlung von opaken Außenoberflächen  $\alpha_{sr,e}$**

| Farbe           | Hell | Mittel | Dunkel |
|-----------------|------|--------|--------|
| $\alpha_{sr,e}$ | 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 prEN AAA abgeleitet.

#### 4.4.3.2 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung an Innenoberflächen opaker Bauteile

Der Wärmestrom durch an der Oberfläche  $w$  absorbierte kurzwellige Strahlung ergibt sich nach:

$$q_{sr,i} = (1 - f_d)(1 - \eta)[\sum_{j=1}^J (I_D \tau_D A_d)_j f_w + \sum_{j=1}^J (I_d \tau_d A)_j / (\sum_{j=1}^N A_{w,j})] \quad (24)$$

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
- $\tau_D$  der Transmissionsgrad für direkte Sonneneinstrahlung des verglasten Systems
- $\tau_d$  der Transmissionsgrad für diffuse Sonneneinstrahlung des verglasten Systems
- $f_c$  der Strahlungszuordnungsfaktor Luft
- $f_i$  der Strahlungszuordnungsfaktor Verlust
- $A_d$  die von der Sonne bestrahlte verglaste Fläche
- $A$  die verglaste Fläche
- $f_w$  der Verteilungsfaktor des direkten Anteils der Sonneneinstrahlung der Oberfläche  $w$
- $N$  die Anzahl der Bauteile der Umschließungsfläche
- $A_w$  die Fläche jedes Bauteils

Der Transmissionsgrad für direkte und diffuse Sonneneinstrahlung jedes verglasten Systems  $\tau_D$  und  $\tau_d$  muß nach prEN 410 bestimmt werden. Wenn die Werte nicht zur Verfügung stehen, dürfen die entsprechenden Werte, die bei senkrechtem Einfall berechnet wurden, verwendet werden.

#### **Strahlungszuordnungsfaktor Luft $f_e$**

Der Strahlungszuordnungsfaktor Luft  $f_e$  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 und sollte in einem nationalen Anhang definiert werden; alternativ dürfen die Werte von Anhang C verwendet werden.

#### **Strahlungszuordnungsfaktor Verlust $f_l$**

Der Strahlungszuordnungsfaktor Verlust  $f_l$  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. Werte von  $f_l$  sollten in einem nationalen Anhang definiert werden; alternativ dürfen die Werte von Anhang C verwendet werden.

#### **Verteilungsfaktor $f_w$**

Die Verteilungsfaktoren  $f_w$  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. Die Werte von  $f_w$  für jede Innenoberfläche sollten in einem nationalen Anhang definiert werden; alternativ dürfen die Werte von Anhang C verwendet werden.

#### **4.4.3.3 Wärmeübertragung durch kurzwellige Strahlung bei transparenten Bauteilen (einschließlich Jalousie und Vorhang)**

Transparente Bauteile übertragen, reflektieren und absorbieren die auf ihre Außenoberfläche einfallende Sonnenstrahlung. Die solaren Parameter (Transmissionsgrad, Absorptionsgrad) jedes verglasten Elementes (einschließlich Jalousie und Vorhang) müssen nach prEN 410 berechnet werden, wobei der Einfluß der gegenseitigen Wechselwirkung, beginnend mit den strahlungsphysikalischen Eigenschaften jedes Elementes (Transmissionsgrad und Reflexionsgrad) berücksichtigt wird. Wenn für unterschiedliche Einfallswinkel keine Werte zur Verfügung stehen, dürfen die Parameter bei senkrechtem Einfall festgelegt werden.

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  $\tau_D$  und  $\tau_d$
- der äquivalente Absorptionsgrad für direkte und diffuse Sonneneinstrahlung jedes Elementes des verglasten Systems  $\alpha'_{gr}$

Die Wärmestromdichte für jedes verglaste Bauteil  $j$  infolge der absorbierten Sonnenstrahlung ergibt sich dann nach:

$$q_{s,j} = \alpha'_{gr,j} (I_D A_d A + I_d) \quad (25)$$

Dabei ist:

- $j$  das Element des verglasten Bauteils;
- $\alpha'_{gr}$  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:

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

#### 4.4.3.4 Wärmeübertragung infolge Sonneneinstrahlungsabsorption in der Luft $\Phi_{s,l}$

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:

$$\Phi_{s,l} = f_c \cdot (1 - f_l) \cdot \left[ \sum_{j=1}^J (I_D \tau_D A_{d,j}) + \sum_{j=1}^J (I_d \tau_d A) \right] \quad (26)$$

Dabei ist:

- $f_l$  der Strahlungszuordnungsfaktor Verlust
- $f_c$  der Strahlungszuordnungsfaktor Luft

#### 4.4.3.5 Von der Sonne bestrahlte Wandfläche

Wenn äußere Hindernisse vorhanden sind, kann die Wandfläche teilweise verschattet sein. Die Größe der von der Sonne bestrahlten Wandfläche bei vorhandenen äußeren Hindernissen hängt von der Art und der Geometrie der äußeren Hindernisse, den Sonnenwinkeln und den Wandabmessungen ab. Hindernisse, die in dieser Norm behandelt werden, sind horizontale Auskragungen, Seitenteile, Fensterrücksprünge und Verbauungen. 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 Anhang A angegebenen Validierungsverfahren in Übereinstimmung befinden.

**ANMERKUNG:** In Anhang E ist ein geeignetes Verfahren beschrieben.

#### 4.4.4 Wärmeübertragung durch langwellige Strahlung

##### 4.4.4.1 Wärmestrom an der Außenoberfläche

Die Wärmestromdichte infolge langwelligen Strahlungsaustauschs  $q_{r,s}$  für die verschiedenen Randbedingungen ist gegeben durch:

## - Außenteile

Nach Anhang B ist die Wärmestromdichte infolge langwelligen Strahlungsaustauschs gegeben durch:

$$q_{lr,e} = h_{r,e}(\theta_e - \theta_{s,e}) - q_{e,r} \quad (27)$$

Dabei ist:

- $h_{r,e}$  der Wärmeübergangskoeffizient der langwelligen Strahlung
- $\theta_e$  die Außenlufttemperatur
- $\theta_{s,e}$  die Temperatur der Außenoberfläche
- $q_{e,r}$  die Korrektur für den langwelligen Strahlungsaustausch von der Wand zum Himmelsgewölbe

Die Werte der Terme von Gleichung (27) sind unter der Annahme folgender Referenzbedingungen von Anhang B abgeleitet:

- Emissionsgrad der Außenoberfläche  $\epsilon_{r,e} = 0,90$
- Referenztemperatur  $T_m = 300 \text{ K}$

Tabelle 6 gibt die Werte von  $h_{r,e}$  und  $q_{e,r}$  für Außenteile mit einem Emissionsgrad von mehr als 0,8 an.

**Tabelle 6: Parameter der langwelligen Strahlung von Außenoberflächen**

|      |                                              |                                             |
|------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|
| Wand | $h_{r,e} = 5,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ | $q_{e,r} = 0$                               |
| Dach | $h_{r,e} = 5,5 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ | $q_{e,r} = 70 \text{ W/(m}^2\cdot\text{K)}$ |

## - Elemente, die an einen Raum mit bekannten Temperaturen angrenzen

$$q_{lr,e} = h_{r,e}(\theta'_r - \theta_{s,e}) \quad (28)$$

Dabei ist:

- $h_{r,e}$  der Wärmeübergangskoeffizient der langwelligen Strahlung (nach Tabelle 6)
- $\theta'_r$  die mittlere Oberflächentemperatur des angrenzenden Raums, die mit einer Flächenwichtung der Temperatur der Innenoberfläche jedes Bauteils bestimmt wird. Wenn keine Angaben zur Verfügung stehen, darf sie gleich der Lufttemperatur des angrenzenden Raumes angenommen werden
- $\theta_{s,e}$  die Temperatur der Außenoberfläche

## - Geschoßdecke über Keller oder Kriechkeller

$$q_{r,e} = h_{r,e}(\theta_e - \theta_{s,e}) \quad (29)$$

Dabei ist:

- $\theta_e$  die nach den Abschnitten 4.3.1.5 und 4.3.1.6 definierte Außentemperatur
- $h_{r,e}$  der Wärmeübergangskoeffizient der langwelligen Strahlung nach Tabelle 6.

- Decke unter einem nicht ausgebauten Dachgeschoß

$$q_{lr,e} = h_{r,e}(\theta_e - \theta_{s,e}) \quad (30)$$

Dabei ist:

$\theta_e$  die Außenlufttemperatur

#### 4.4.4.2 Wärmestrom an der Innenoberfläche

Der Wärmestrom der langwelligen Strahlung  $q_{r,j}$ , der an der Oberfläche  $j$  ausgetauscht wird, ergibt sich nach:

$$q_{r,j} = \sum_1^N (F_{j,k} J_{r,k}) \quad (31)$$

Dabei ist:

$n$  die Anzahl der die Umgebung begrenzenden Oberflächen  
 $F_{j,k}$  die Einstrahlzahl zwischen Oberfläche  $j$  und  $k$   
 $J_{r,j}$  die langwellige effektive Strahlung der Oberfläche  $j$

Diese Gleichung darf mit jedem geeigneten Verfahren gelöst werden, das zu Ergebnissen führt, die dem in Anhang A angegebenen Validierungsverfahren genügen.

ANMERKUNG: In Anhang F ist ein geeignetes Verfahren beschrieben.

ANMERKUNG: Die langwellige Strahlungsbilanz auf der  $j$ -ten Oberfläche umfaßt zusätzlich zu den gegenseitigen Reflexionen auch die langwellige Strahlung, die von den Oberflächen ausgesendet wird, die hier als graue Körper betrachtet werden. Somit ist die langwellige effektive Strahlung der Oberfläche:

$$J_{r,j} = \rho_{r,j} \sum_1^n (F_{j,k} J_{r,k}) + \epsilon_j \sigma T_j^4 \quad (32)$$

Dabei ist:

$\rho$  der Reflexionsgrad  
 $\epsilon$  der Emissionsgrad  
 $\sigma$  die Stefan-Boltzmann-Konstante

Für die Berechnung der Wärmeströme infolge Strahlung, die durch die ( $n$ ) verschiedenen Innenoberflächen ausgetauscht werden, muß zuerst die Strahlung  $J_r$  der Oberfläche durch Lösen der  $2n$  Gleichungen bestimmt werden. Die Lösung von Gleichung (32) muß für die verschiedenen Oberflächen durchgeführt werden, die die Umschließungsfläche des Raumes bilden.

#### 4.4.4.3 Hohlräume

Die Wärmestromdichte der langwelligen Strahlung durch Hohlräume ergibt sich nach:

$$q_r = h_r \Delta\theta \quad (33)$$

Dabei ist:

$\Delta\theta$  die Temperaturdifferenz zwischen den Oberflächen des Hohlraumes  
 $h_r$  der Wärmedurchlaßkoeffizient der Wärmestrahlung

Die Wärmeübergangskoeffizienten der Strahlung sind angegeben:

- für den Hohlraum zwischen verglasten Oberflächen in prEN 673
- für den Hohlraum zwischen opaken Schichten in prEN 26946-1

Für normale Oberflächen werden folgende Werte angenommen:

- opake Oberfläche ( $\epsilon = 0,90$ )  $h_r = 5,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- transparente Oberfläche ( $\epsilon = 0,837$ )  $h_r = 4,4 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
- opake Oberfläche ( $\epsilon = 0,90$ ) und transparente Oberfläche ( $\epsilon = 0,837$ )  $h_r = 4,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

#### 4.4.5 Innere Wärmequellen

Innere Wärmequelle ergeben sich gewöhnlich aus der Wirkung von Beleuchtung, Einrichtung und Menschen. Der Wärmestrom teilt sich in die Teile Konvektion und langwellige Strahlung auf. Für Wohngebäude wird der Wärmestrom als allein durch Konvektion ( $\Phi_k$ ) bestimmt angenommen. Die Werte des Wärmestroms infolge innerer Wärmequellen sollten in einem nationalen Anhang definiert werden; alternativ dürfen die Werte in Anhang G verwendet werden.  $\Phi_k$  ist in Gleichung (1) und  $\Phi_r$  in Gleichung (2) enthalten.

#### 4.4.6 Wärmestrom infolge eines Massenstroms durch Infiltration und natürliche und/oder erzwungene Lüftung

Der Wärmestrom infolge Luftaustauschs durch Lüftung (natürliche und mechanische Lüftung) wird berechnet nach:

$$\Phi_v = c_s \cdot m \cdot (\theta_e - \theta_i) \quad (34)$$

Dabei ist:

$c$  die spezifische Wärmekapazität der Zuluft  
 $m$  der Luftmassenstrom  
 $\theta_e$  die Lufteintrittstemperatur  
 $\theta_i$  die Raumlufttemperatur

Die Lufteintrittstemperatur hängt von ihrer Quelle ab (d. h. Außenluft oder angrenzender Raum). Der Luftmassenstrom ist die Folge von natürlicher und/oder mechanischer Lüftung.

#### 4.4.6.1 Natürliche Lüftung

Die Menge der durch natürliche Lüftung zugeführten Luft hängt von der Länge und der Art von Fugen, der Öffnung von Türen und Fenstern, der Temperaturdifferenz und der Windgeschwindigkeit und ihrer Richtung ab. Sie ist gegeben durch:

$$m = c_d \cdot \rho \cdot A \left( \frac{2 \Delta p}{\rho} \right)^n \quad (35)$$

Dabei ist:

- $c_d$  die Durchflußzahl
- $A$  die Fläche der Öffnung
- $\Delta p$  die Druckdifferenz zwischen innen und außen
- $\rho$  die Dichte der Luft
- $n$  Exponent zwischen 0,5 und 1

Die Werte für  $c_d$ ,  $n$  und die Fläche  $A$  hängen von der Lage und den Strömungskenngrößen aller Öffnungen ab. Es wird angenommen, daß die Luft im Raum gut durchmischt ist. Für die Ermittlung des Luftvolumenstromes darf das Verfahren von Anhang H verwendet werden.

#### 4.4.6.2 Mechanische Lüftung

Der Luftmassenstrom durch mechanische Lüftung hängt von den Kenngrößen der Anlage ab.

### 5 Algorithmus zur Berechnung der sommerlichen Raumtemperaturen

Die Raumtemperaturen (Luft und innere Oberfläche aller Umschließungsflächen), die entsprechend dem beabsichtigten Nutzen dieser Norm ermittelt werden, sind zur Definition der "Bemessungs-Raumtemperatur" zu verwenden, die als Referenz für die Einschätzung des "Bemessungs-sommerlichen Wärmeverhaltens eines Raums im Sommer ohne Kühlanlagentechnik" dient. Es müssen die meteorologischen Bemessungs-Daten, die geometrischen und wärmeschutztechnischen Größen des Raums, die inneren Bemessungs-Wärmequellen und der Bemessungs-Berechnungsalgorithmus in Hinblick auf die beabsichtigte Verwendung dieser Norm definiert werden.

#### 5.1 Meteorologische Bemessungs-Daten

Das Berechnungsverfahren verwendet instationäre Werte von verschiedenen klimatologischen Daten. Die Charakteristik der meteorologischen Daten, die für die Berechnung der Innentemperatur eines Raumes im Sommer zu verwenden sind, sollten in einem nationalen Anhang nach prEN AAA definiert werden; alternativ darf das in Anhang E angegebene Verfahren verwendet werden. Da die wärmsten Innenbedingungen nicht zwingend mit den wärmsten Außenbedingungen zusammenfallen, muß die Berechnung, falls erforderlich, auf verschiedene Sommermonate ausgedehnt werden. Für jeden Monat müssen die für die Berechnung zu verwendenden meteorologischen Daten definiert sein durch:

- a) in der heißen Witterungsperiode
  - stündliche "Bemessungs"-Werte der direkten und diffusen Anteile der Sonnenstrahlung auf die verschiedenen Fassaden;
  - stündliche "Bemessungs"-Werte der Außenlufttemperatur;
  - Bemessungswert der Windgeschwindigkeit und der vorherrschenden Windrichtung;