

**DIN EN ISO 13370**

ICS 91.120.10

Ersatz für  
DIN EN ISO 13370:1998-12**Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –  
Wärmeübertragung über das Erdreich –  
Berechnungsverfahren (ISO 13370:2007);  
Deutsche Fassung EN ISO 13370:2007**

Thermal performance of buildings –  
Heat transfer via the ground –  
Calculation methods (ISO 13370:2007);  
German version EN ISO 13370:2007

Performance thermique des bâtiments –  
Transfert de chaleur par le sol –  
Méthodes de calcul (ISO 13370:2007);  
Version allemande EN ISO 13370:2007

Gesamtumfang 59 Seiten

Normenausschuss Bauwesen (NABau) im DIN

## **Nationales Vorwort**

Dieses Dokument (EN ISO 13370:2007) wurde vom Technischen Komitee SC 2 vom ISO/TC 163 „Calculation method“ (Sekretariat: SN, Norwegen) in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“, dessen Sekretariat vom SIS (Schweden) gehalten wird, unter deutscher Mitwirkung erarbeitet worden.

Der für die deutsche Mitarbeit zuständige Arbeitsausschuss im DIN Deutsches Institut für Normung e. V. ist der als Spiegelausschuss zu CEN/TC 89/SC 2 und ISO/TC/163 eingesetzte Arbeitsausschuss NA 005-56-91 AA „Wärmetransport“ des Normenausschusses Bauwesen (NABau).

### **Änderungen**

Gegenüber DIN EN ISO 13370:1998-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 4 enthält eine Überarbeitung des ehemaligen Anfangs von Anhang A zur Erläuterung der Ziele der Norm. Der übrige Anhang A wurde in die EN ISO 10211 übernommen;
- b) in 7.2 ist die Tabelle mit den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten gestrichen. Es wird jetzt anerkannt, dass die Verbindungsstelle zwischen Wand und Bodenplatte häufig berechnet werden muss, wie es auch für weitere Wärmebrückenbildungsprozesse gilt;
- c) 9.1 beinhaltet eine alternative Gleichung für gut gedämmte Bodenplatten;
- d) Anhang A beinhaltet Gleichungen für Kühlanwendungen;
- e) in Anhang B wurden geringfügige Überarbeitungen des Textes zu den randgedämmten Bodenplatten durchgeführt;
- f) Anhang F (früherer Anhang C) ist in einen informativen Anhang geändert worden.

### **Frühere Ausgaben**

DIN EN ISO 13370: 1998-12

Deutsche Fassung

Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden –  
Wärmeübertragung über das Erdreich –  
Berechnungsverfahren  
(ISO 13370:2007)

Thermal performance of buildings –  
Heat transfer via the ground –  
Calculation methods  
(ISO 13370:2007)

Performance thermique des bâtiments –  
Transfert de chaleur par le sol –  
Méthodes de calcul  
(ISO 13370:2007)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 7. Dezember 2007 angenommen.

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

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

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, 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 .....	6
3.1 Begriffe .....	6
3.2 Symbole und Einheiten .....	8
4 Berechnungsmethoden.....	9
5 Wärmetechnische Eigenschaften .....	10
5.1 Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs .....	10
5.2 Wärmetechnische Eigenschaften von Baustoffen .....	10
5.3 Wärmeübergangswiderstände .....	10
6 Innentemperatur und Klimadaten .....	11
6.1 Innentemperatur.....	11
6.2 Klimadaten .....	11
7 Wärmedurchgangskoeffizient und Wärmestrom.....	11
7.1 Wärmedurchgangskoeffizient .....	11
7.2 Wärmebrücken am Bodenplattenrand.....	11
7.3 Berechnung des Wärmestromes.....	12
7.4 Einfluss des Grundwassers.....	12
7.5 Sonderfälle .....	12
8 Parameter für die Berechnungen.....	13
8.1 Charakteristisches Bodenplattenmaß .....	13
8.2 Wirksame Dicke .....	13
9 Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten .....	14
9.1 Bodenplatten auf Erdreich .....	14
9.2 Aufgeständerte Bodenplatten .....	15
9.3 Beheizter Keller.....	18
9.4 Unbeheiztes Kellergeschoss .....	20
9.5 Teilweise beheiztes Kellergeschoss.....	21
Anhang A (normativ) Berechnung des Wärmestromes über das Erdreich .....	22
A.1 Berechnungsverfahren .....	22
A.2 Monatlicher Wärmestrom bei sinusförmigen Temperaturvariationen .....	22
A.3 Monatlicher Wärmestrom bei Anwendung monatlicher Mitteltemperaturen .....	24
A.4 Mittlerer Wärmestrom in Heiz- oder Kühlperioden.....	25
A.5 Mittlerer jährlicher Wärmestrom .....	25
A.6 Höchster monatlicher Wärmestrom.....	26
A.7 Monatlicher Wärmeübertragungskoeffizient .....	26
A.8 Gesamtwärmeübertragung während der Heiz- oder Kühlperiode.....	26
Anhang B (normativ) Bodenplatten auf Erdreich mit Randdämmung.....	27
B.1 Allgemeines.....	27
B.2 Waagrechte Randdämmung .....	28
B.3 Senkrechte Randdämmung .....	29
Anhang C (normativ) Wärmeströme für einzelne Räume .....	32
Anhang D (normativ) Anwendung auf dynamische Simulationsprogramme zur Berechnung der Innenraumtemperatur.....	33
Anhang E (normativ) Belüftung unter aufgeständerten Bodenplatten.....	34

E.1	Allgemeine Angaben für mittlere Temperatur und Wärmedurchgangskoeffizienten.....	34
E.2	Luftvolumenstrom .....	35
E.3	Natürliche Lüftung.....	35
E.4	Maschinelle Lüftung von innen.....	36
E.5	Maschinelle Lüftung von außen.....	36
E.6	Unbelüfteter Kriechkeller.....	36
E.7	Unbeheizte Kellerräume.....	36
<b>Anhang F (informativ) Harmonische thermische Leitwerte.....</b>		<b>37</b>
F.1	Allgemeines .....	37
F.2	Periodische Eindringtiefe .....	37
F.3	Phasenverschiebungen .....	37
F.4	Bodenplatte auf Erdreich: ungedämmt oder mit vollflächiger Dämmung.....	38
F.5	Bodenplatte auf Erdreich mit Randdämmung.....	39
F.6	Aufgeständerte Bodenplatte .....	39
F.7	Beheiztes Kellergeschoss .....	40
F.8	Unbeheiztes Kellergeschoss.....	40
<b>Anhang G (informativ) Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs.....</b>		<b>41</b>
<b>Anhang H (informativ) Einfluss von fließendem Grundwasser.....</b>		<b>43</b>
<b>Anhang I (informativ) Erdberührte Bodenplatte mit eingebettetem Heizungssystem.....</b>		<b>45</b>
<b>Anhang J (informativ) Kühlräume .....</b>		<b>46</b>
J.1	Kühlräume sind Kühlgebäude, in denen eine Innentemperatur unterhalb von 0 °C aufrechterhalten wird. ....	46
<b>Anhang K (informativ) Praktische Beispiele .....</b>		<b>47</b>
K.1	Beispiel 1: Bodenplatte auf Erdreich, rechteckige Bodenplatte .....	47
K.2	Beispiel 2: Bodenplatte auf Erdreich: Gebäude mit L-förmiger Grundfläche, verschiedene Dämmmöglichkeiten .....	48
K.3	Beispiel 3: Aufgeständerte Bodenplatte .....	52
K.4	Beispiel 4: Beheiztes Kellergeschoss .....	53
K.5	Beispiel 5: Monatlicher Wärmestrom .....	54
<b>Literaturhinweise.....</b>		<b>57</b>

## **Vorwort**

Dieses Dokument (EN ISO 13370:2007) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 163 „Thermal performance and energy use in the built environment“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 89 „Wärmeschutz von Gebäuden und Bauteilen“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom SIS gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Juni 2008, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Juni 2008 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 13370:1998.

Eine Zusammenfassung der wichtigsten Änderungen der Abschnitte, die fachlich überarbeitet wurden, ist unten angegeben:

- Abschnitt 4 enthält eine Überarbeitung des ehemaligen Anfangs von Anhang A zur Erläuterung der Ziele der Norm. Der übrige Anhang A wurde in die EN ISO 10211 übernommen;
- In 7.2 ist die Tabelle mit den längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten gestrichen. Es wird jetzt anerkannt, dass die Verbindungsstelle zwischen Wand und Bodenplatte häufig berechnet werden muss, wie es auch für weitere Wärmebrückenbildungsprozesse gilt;
- 9.1 beinhaltet eine alternative Gleichung für gut gedämmte Bodenplatten;
- Anhang A beinhaltet Gleichungen für Kühlanwendungen;
- In Anhang B wurden geringfügige Überarbeitungen des Textes zu den randgedämmten Bodenplatten durchgeführt;
- Anhang F (früherer Anhang C) ist in einen informativen Anhang geändert worden.

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

### **Anerkennungsnotiz**

Der Text von ISO 13370:2007 wurde vom CEN als EN ISO 13370:2007 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## Einleitung

Diese Internationale Norm enthält (teilweise) die Mittel zur Beurteilung des Beitrages von Bauprodukten und Gebäudeausrüstungen zur Energieerhaltung und Gesamt-Energieeffizienz von Gebäuden.

Im Gegensatz zu ISO 6946, das ein Verfahren zur Berechnung des Wärmedurchgangskoeffizienten von Bauwerkteilen festlegt, die sich in Kontakt mit der Außenluft befinden, behandelt die vorliegende Norm Bauteile, die sich in wärmetechnischem Kontakt mit dem Erdreich befinden. Die Schnittstelle dieser beiden Internationalen Normen liegt bei Bodenplatten auf Erdreich, aufgeständerten Bodenplatten sowie unbeheizten Kellergeschossen in Höhe der raumseitigen Bodenoberfläche und bei beheizten Kellergeschossen in Höhe der Oberkante der Erdoberfläche. Im Allgemeinen wird beim Nachweis des Gesamtwärmeverlustes eines Gebäudes nach Verfahren wie z. B. ISO 13789 ein Faktor zur Berücksichtigung der mit der Verbindungsstelle zwischen Wand und Bodenplatte verbundenen Wärmebrücken hinzugezogen.

Die Berechnung der Wärmeübertragung über das Erdreich kann durch numerische Berechnungen erfolgen, was außerdem eine Analyse von Wärmebrücken, einschließlich solcher durch Verbindungsstellen zwischen Wand und Bodenplatte, zur Ermittlung der niedrigsten Temperaturen von Innenflächen ermöglicht.

Diese Internationale Norm enthält Verfahren, die den dreidimensionalen Charakter des Wärmestromes im Erdreich unter den Gebäuden berücksichtigen.

Die Wärmedurchgangskoeffizienten von Bodenplatten liefern nützliche Vergleichswerte für die Wärmedämmeigenschaften unterschiedlicher Bodenplattenkonstruktionen, und sie werden in den Bauvorschriften einiger Länder zur Begrenzung der Wärmeverluste durch Bodenplatten angewendet.

Obwohl der Wärmedurchgangskoeffizient für stationäre Zustände definiert ist, bezieht er den mittleren Wärmestrom auch auf die mittlere Temperaturdifferenz. Bei Wänden und Dächern, die der Außenluft ausgesetzt sind, treten mit den täglichen Temperaturschwankungen tägliche periodische Schwankungen des Wärmestromes in die und aus der Speichermasse auf; dies mittelt sich jedoch aus, so dass der mittlere tägliche Wärmeverlust aus dem Wärmedurchgangskoeffizienten und dem Tagesmittel der Differenz von Innen- und Außentemperatur ermittelt werden kann. Bei erdberührten Bodenplatten und Kellerwänden führt die große Wärmespeicherfähigkeit des Erdreichs jedoch zu periodischen Wärmeströmen, die mit dem Jahresgang der Innen- und Außentemperaturen zusammenhängen. Der stationäre Wärmestrom stellt oftmals eine gute Näherung für den mittleren Wärmestrom über die Dauer der Heizperiode dar.

Zusätzlich zur stationären Komponente erhält man einen ausführlichen Nachweis der Verluste über Bodenplatten aus den jährlichen periodischen Wärmeübertragungskoeffizienten, die mit dem Wärmespeicher- vermögen des Erdreichs und dessen Wärmeleitfähigkeit zusammenhängen, gemeinsam mit der Amplitude der Jahresschwankungen der mittleren Monatstemperatur.

Anhang D zeigt ein Verfahren, um die Wärmeübertragung in und vom Erdreich in die Berechnungen in kurzen Zeitspannen (z. B. 1 Stunde) aufzunehmen.

Praktische Beispiele, die die Anwendung dieser Verfahren veranschaulichen, sind in Anhang K angegeben.

## 1 Anwendungsbereich

Diese Internationale Norm gibt Verfahren zur Berechnung von Wärmeübertragungskoeffizienten und der Wärmeübertragung durch Bauteile an, die sich in wärmetechnischem Kontakt mit dem Erdreich befinden, einschließlich Bodenplatten auf Erdreich, aufgeständerter Bodenplatten und Kellergeschosse. Sie gilt für Bauwerksteile oder Teile dieser, die unterhalb einer waagrechten Ebene der angrenzenden Wände des Gebäudes liegen:

- für Bodenplatten auf Erdreich, aufgeständerte Bodenplatten und unbeheizte Kellergeschosse: in Höhe der raumseitigen Bodenplattenoberfläche;

ANMERKUNG In einigen Fällen wird die Grenze der Oberfläche der Bodenplatte von externen Maßsystemen niedriger bestimmt.

- für beheizte Kellergeschosse: in Höhe der Oberfläche des umgebenden Erdreichs.

Die Internationale Norm schließt die Berechnung der stationären Komponente des Wärmestroms über das Erdreich (Jahresmittel des Wärmestromes über das Erdreich) und der Komponente infolge von jährlichen periodischen Temperaturschwankungen (auf das Jahresmittel bezogene jahreszeitliche Schwankungen des Wärmestromes) ein. Diese jahreszeitlichen Schwankungen werden monatsweise ermittelt, diese Norm gilt nicht für kürzere Zeitabschnitte; ausgenommen ist die Anwendung auf die dynamischen Simulationsprogramme nach Anhang D.

## 2 Normative Verweisungen

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

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

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

ISO 10211, *Thermal bridges in building construction — Heat flows and surface temperatures — Detailed calculations*

ISO 10456, *Building materials and products — Hygrothermal properties — Tabulated design values and procedures for determining declared and design thermal values*

ISO 14683, *Thermal bridges in building construction — Linear thermal transmittance — Simplified methods and default values*

## 3 Begriffe, Symbole und Einheiten

### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN ISO 7345 und die folgenden Begriffe.

#### 3.1.1

##### **Bodenplatte auf Erdreich**

Konstruktion, bei der sich die Bodenplatte über ihre gesamte Fläche in direktem Kontakt mit dem Erdreich befindet



### 3.1.2

#### **aufgeständerte Bodenplatte**

Konstruktion, bei der die unterste Bodenplatte in einem Abstand zum Erdreich gehalten wird, wodurch zwischen Bodenplatte und Erdreich ein Luftraum gebildet wird

ANMERKUNG Dieser Luftraum, der auch als Kriechkeller bezeichnet wird, kann belüftet oder unbelüftet sein, und er zählt nicht zum bewohnbaren Raum.

### 3.1.3

#### **Keller**

nutzbarer Gebäudeteil, der sich teilweise oder vollständig unterhalb der Erdreichoberfläche befindet

ANMERKUNG Dieser Raum kann beheizt oder unbeheizt sein.

### 3.1.4

#### **wirksame Dicke (Wärmedurchlasswiderstand)**

Dicke des Erdreichs (mit derselben Wärmeleitfähigkeit wie das tatsächliche Erdreich) mit identischem Wärmedurchlasswiderstand

### 3.1.5

#### **stationärer thermischer Leitwert**

auf die Temperaturdifferenz zwischen Innenraum und Außenumgebung bezogener stationärer Wärmestrom

### 3.1.6

#### **innerer harmonischer thermischer Leitwert**

auf die Amplitude der Schwankungen der Innentemperatur bezogene Amplitude des periodischen Wärmestromes über einen Jahreszyklus hinweg

### 3.1.7

#### **äußerer harmonischer thermischer Leitwert**

auf die Amplitude der Schwankungen der Außentemperatur bezogene Amplitude des periodischen Wärmestromes über einen Jahreszyklus hinweg

### 3.1.8

#### **charakteristisches Bodenplattenmaß**

Bodenplattenfläche, geteilt durch den halben Bodenplattenumfang

### 3.1.9

#### **Phasenverschiebung**

Zeitspanne zwischen dem höchsten oder niedrigsten Wert eines Temperaturgangs und dem daraus resultierenden höchsten oder geringsten Wärmestrom

### 3.2 Symbole und Einheiten

Im Folgenden werden die wichtigsten verwendeten Symbole aufgelistet. Weitere Symbole werden an den entsprechenden Stellen im Text definiert.

Symbol	Größe	Einheit
$A$	Bodenplattenfläche	$m^2$
$B'$	Charakteristisches Bodenplattenmaß	$m$
$c$	Spezifische Wärmekapazität von ungefrorenem Erdreich	$J/(kg \cdot K)$
$d_g$	Wirksame Gesamtdicke der aufgeständerten Bodenplatte	$m$
$d_t$	Wirksame Gesamtdicke der Bodenplatte auf Erdreich	$m$
$d_w$	Wirksame Gesamtdicke der Kellerwand	$m$
$H_g$	Stationärer Wärmeübertragungskoeffizient über das Erdreich	$W/K$
$h$	Höhe der Bodenplattenoberfläche oberhalb der Oberfläche des umgebenden Erdreichs	$m$
$P$	Exponierter Umfang der Bodenplatte	$m$
$Q$	Wärmemenge	$J$
$R$	Wärmedurchlasswiderstand	$m^2 \cdot K/W$
$R_t$	Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplattenkonstruktion	$m^2 \cdot K/W$
$R_{si}$	Innerer Wärmeübergangswiderstand	$m^2 \cdot K/W$
$R_{se}$	Äußerer Wärmeübergangswiderstand	$m^2 \cdot K/W$
$U$	Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Innenraum und Außenumgebung	$W/(m^2 \cdot K)$
$U_{bf}$	Wärmedurchgangskoeffizient der Keller-Bodenplatte	$W/(m^2 \cdot K)$
$U_{bw}$	Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwände	$W/(m^2 \cdot K)$
$U'$	Wirksamer Wärmedurchgangskoeffizient des gesamten Kellergeschosses	$W/(m^2 \cdot K)$
$w$	Dicke der Außenwände	$m$
$z$	Tiefe der Keller-Bodenplatte unterhalb der Erdreichoberfläche	$m$
$\Phi$	Wärmestrom	$W$
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit des ungefrorenen Erdreichs	$W/(m \cdot K)$
$\rho$	Dichte des ungefrorenen Erdreichs	$kg/m^3$
$\theta$	Temperatur	$^{\circ}C$
$\Psi_g$	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient für die Verbindungsstelle zwischen Wand und Bodenplatte	$W/(m \cdot K)$
$\Psi_{g,e}$	Längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient mit Randdämmung	$W/(m \cdot K)$

## 4 Berechnungsmethoden

Die Wärmeübertragung über das Erdreich ist gekennzeichnet durch:

- Wärmestrom, bezogen auf die Bodenfläche, in Abhängigkeit der Bodenkonstruktion;
- Wärmestrom, bezogen auf den Bodenumfang, in Abhängigkeit von Wärmebrücken am Bodenrand;
- jährlichen Wärmestrom, ebenfalls auf den Bodenumfang bezogen, als Ergebnis der thermischen Masse auf den Boden.

Der stationäre oder jährliche Mittelwert der Wärmeübertragung muss nach einer der nachfolgenden Methoden berechnet werden:

- a) Einer vollständigen dreidimensionalen numerischen Berechnung, deren Ergebnis sich direkt auf die betrachtete Bodenplatte bezieht. Die Berechnungen sind nach ISO 10211 durchzuführen. Das Ergebnis gilt nur für die tatsächlich modellierten Bodenplattenmaße.
- b) Einer zweidimensionalen numerischen Berechnung unter Anwendung einer Bodenplatte, die unendlich lang ist und deren Breite dem charakteristischen Bodenplattenmaß entspricht (Bodenplattenfläche, geteilt durch den halben Bodenumfang, siehe 8.1). Die Berechnungen sind nach ISO 10211 durchzuführen. Das Ergebnis ist auf die Bodenplatten anwendbar, die das modellierte charakteristische Maß aufweisen.

ANMERKUNG Üblicherweise treten die größten Wärmeströme in der Nähe der Ränder der Bodenplatten auf; in den meisten Fällen ergeben sich durch die Umwandlung der dreidimensionalen Herangehensweise in eine zweidimensionale Herangehensweise, bei der die Breite des Gebäudes als charakteristisches Maß der Bodenplatte angesetzt wird, nur kleine Fehler.

- c) Der nach den in dieser Norm angegebenen Gleichungen berechneten flächenbezogenen Wärmeübertragung (siehe Abschnitt 9), zusammen mit der mittels einer zweidimensionalen numerischen Berechnung nach ISO 10211 erhaltenen randbezogenen Wärmeübertragung.
- d) Der nach den in dieser Norm angegebenen Gleichungen berechneten flächenbezogenen Wärmeübertragung (siehe Abschnitt 9), zusammen mit den z. B. mittels der Tabellen nach ISO 14683 erhaltenen randbezogenen Koeffizienten.

Für c) und d) ergibt sich die stationäre Komponente der Wärmeübertragung nach Gleichung (1):

$$H_g = (A \cdot U) + (P \cdot \Psi_g) \quad (1)$$

wobei  $\Psi_g$  in Fall c) durch numerische Berechnung oder in Fall d) mit Hilfe einer Wertetabelle bestimmt wird. In beiden Fällen ist das Verfahren auf Bodenplatten jeglicher Größe oder Form anwendbar.  $U$  hängt von der Bodenplattengröße ab,  $\Psi_g$  ist jedoch von den Bodenplattenmaßen unabhängig.

Die Gleichung (1) wird im Fall einer Fußbodenheizung (siehe 9.3.4) und im Fall der Anwendung von Anhang B (siehe B.1) modifiziert.

Für jährlichen periodischen Wärmestrom siehe 7.3 und Anhang A.

## 5 Wärmetechnische Eigenschaften

### 5.1 Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs

Die wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs können in nationalen Vorschriften oder anderen technischen Regeln festgelegt sein; die entsprechenden Werte dürfen gegebenenfalls angewendet werden. Anderenfalls

- a) sind, sofern sie bekannt sind, die Werte für die tatsächliche Lage anzuwenden, die über eine der Breite des Gebäudes entsprechende Tiefe gemittelt wurden und den üblichen Feuchtegehalt berücksichtigen;
- b) sind, wenn die Beschaffenheit des Erdreichs bekannt oder festgelegt ist, die Werte aus Tabelle 1 anzusetzen;
- c) sind die folgenden Werte anzusetzen:  $\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$  und  $\rho \cdot c = 2,0 \times 10^6 \text{ J/(m}^3 \cdot \text{K)}$ .

Tabelle 1 — Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs

Kategorie	Beschreibung	Wärmeleitfähigkeit $\lambda$ W/(m · K)	Volumenbezogene Wärmekapazität $\rho \cdot c$ J/(m <sup>3</sup> · K)
1	Ton oder Schluff	1,5	$3,0 \times 10^6$
2	Sand oder Kies	2,0	$2,0 \times 10^6$
3	Homogener Felsen	3,5	$2,0 \times 10^6$

ANMERKUNG Anhang G enthält Angaben zum Wertebereich der Eigenschaften des Erdreichs.

### 5.2 Wärmetechnische Eigenschaften von Baustoffen

Für den Wärmedurchlasswiderstand eines Bauproduktes sind die entsprechenden Bemessungswerte nach ISO 10456 anzusetzen. Der Wärmedurchlasswiderstand von Produkten, die unterirdisch eingesetzt werden, sollte die Feuchte- und Temperaturbedingungen bei der Anwendung berücksichtigen.

Ist die Wärmeleitfähigkeit bekannt, ist der Wärmedurchlasswiderstand aus dem Quotienten von Dicke und Wärmeleitfähigkeit zu berechnen.

ANMERKUNG Die spezifische Wärmekapazität von in Bodenplattenkonstruktionen eingesetzten Baustoffen ist im Vergleich zu der des Erdreichs klein und wird vernachlässigt.

### 5.3 Wärmeübergangswiderstände

Es sind die Werte nach ISO 6946 anzusetzen.

$R_{si}$  gilt für die Ober- und Unterseite eines Kriechkellers.

## 6 Innentemperatur und Klimadaten

### 6.1 Innentemperatur

Wenn in unterschiedlichen Zimmern oder Räumen unmittelbar über der Bodenplatte voneinander abweichende Temperaturen herrschen, sollte ein Raummittelwert angesetzt werden. Dieser Mittelwert ist durch Gewichten der Temperatur jedes Raumes gegen die erdberührte Fläche dieses Raumes zu ermitteln.

Zur Berechnung der Wärmeströme nach dieser Norm sind folgende Angaben erforderlich:

- a) Jahresmittel der Innentemperatur;
- b) wenn die Schwankungen der Innentemperatur zu erfassen sind: die Amplitude der Schwankungen der Innentemperatur gegenüber dem Jahresmittel: diese Amplitude ist als 50%ige Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert der jeweiligen monatlichen Mitteltemperaturen definiert.

### 6.2 Klimadaten <sup>N 1)</sup>

Zur Berechnung der Wärmeströme nach dieser Norm sind folgende Angaben erforderlich:

- a) Jahresmittel der Außenlufttemperatur;
- b) wenn Schwankungen der Außenlufttemperatur zu erfassen sind: die Amplitude der Schwankungen der Außenlufttemperatur gegenüber dem Jahresmittel: diese Amplitude ist als 50%ige Differenz zwischen dem höchsten und dem niedrigsten Wert der jeweiligen monatlichen Mitteltemperaturen definiert;
- c) bei aufgeständerten Bodenplatten mit freier Lüftung: die in einer Höhe von 10 m oberhalb der Oberfläche des umgebenden Erdreichs gemessene mittlere Windgeschwindigkeit.

Ist die Temperatur der Erdoberfläche bekannt oder kann sie abgeschätzt werden, kann diese anstelle der Außenlufttemperatur eingesetzt werden, um die Auswirkungen einer Schneebedeckung, von solaren Wärmege winnen auf der Erdoberfläche und/oder langwelliger Strahlung bei klarem Himmel zu berücksichtigen. In solchen Fällen sollte  $R_{se}$  in sämtlichen Gleichungen unberücksichtigt bleiben.

## 7 Wärmedurchgangskoeffizient und Wärmestrom

### 7.1 Wärmedurchgangskoeffizient

Wärmedurchgangskoeffizienten für Bodenplatten und Kellergeschosse hängen mit der stationären Komponente der Wärmeübertragung zusammen. In Abschnitt 9 sind Berechnungsverfahren für die verschiedenen Arten von Bodenplatten und Kellergeschossen angegeben. In den Gleichungen werden das charakteristische Maß der Bodenplatte und die wirksame Dicke der Bodenplattendämmung angesetzt, siehe Abschnitt 8.

Wird der spezifische Transmissionswärmeverlustkoeffizient für das Erdreich benötigt, so ist dieser dem stationären Koeffizienten,  $H_g$ , berechnet nach Gleichung (1), gleichzusetzen.

### 7.2 Wärmebrücken am Bodenplattenrand

Die Gleichungen in dieser Norm beruhen auf einer gedämmten Bodenplatte, von der angenommen wird, dass keine Wechselwirkungen stattfinden zwischen Bodenplatte und Wand. Weiterhin werden gleichmäßige wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs vorausgesetzt (ausgenommen sind Auswirkungen, die ausschließlich aus der Randdämmung resultieren).

---

<sup>N 1)</sup> Nationale Fußnote: Die Angaben sind über den Deutschen Wetterdienst (DWD) erhältlich

In der Praxis entsprechen Verbindungsstellen zwischen Wand und Bodenplatten bei Bodenplatten auf Erdreich diesem Ideal nicht, wodurch Wärmebrücken auftreten. Diese müssen bei den Berechnungen des Gesamtwärmeverlustes eines Gebäudes durch Anwendung eines längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten  $\psi_g$  berücksichtigt werden.

**ANMERKUNG** Der längenbezogene Wärmedurchgangskoeffizient ist von dem System abhängig, das für die Festlegung der Gebäudemaße gewählt wurde (siehe ISO 13789).

Der Gesamtwärmeverlust eines Gebäudes wird nun auf der Grundlage einer Trennebene berechnet, die sich

- bei Bodenplatten auf Erdreich, aufgeständerten Bodenplatten und unbeheizten Kellergeschossen in Höhe der raumseitigen Bodenplattenoberfläche oder
- bei beheizten Kellergeschossen in Höhe der Oberfläche des umgebenden Erdreichs befindet.

**ANMERKUNG** In einigen Fällen wird die Grenze der Oberfläche der Bodenplatte von externen Maßsystemen niedriger bestimmt.

Der Wärmedurchgangskoeffizient von Bauteilen oberhalb der Trennebene sollte nach geeigneten Normen wie ISO 6946 bewertet werden.

### **7.3 Berechnung des Wärmestromes**

Die Wärmeübertragung über das Erdreich kann auf jährlicher Basis nur unter Verwendung des stationären thermischen Leitwertes des Erdreichs oder auf jahreszeitlicher oder monatlicher Basis unter Verwendung von zusätzlichen periodischen thermischen Leitwerten berechnet werden, die die thermische Trägheit des Erdreichs berücksichtigen. Die entsprechenden Gleichungen sind in Anhang A angegeben.

### **7.4 Einfluss des Grundwassers**

Grundwasser wirkt sich auf die Wärmeübertragung nur in vernachlässigbarem Maße aus, sofern der Grundwasserspiegel nicht zu hoch liegt und das Grundwasser keine hohe Fließgeschwindigkeit aufweist. Derartige Bedingungen treten nur sehr selten auf; und in den meisten Fällen sollte der Einfluss des Grundwassers unberücksichtigt bleiben.

Sind die Tiefenlage des Grundwasserspiegels unterhalb der Geländehöhe und die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers bekannt, darf der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient  $H_g$  mit einem Faktor  $G_w$  multipliziert werden.

**ANMERKUNG** Veranschaulichende Werte für  $G_w$  sind im Anhang H angegeben.

### **7.5 Sonderfälle**

Die in dieser Norm behandelten Verfahren sind, mit den im jeweiligen Anhang angegebenen Veränderungen, auch auf folgende Situationen anwendbar:

- Wärmeströme für einzelne Räume (siehe Anhang C);
- Anwendung auf dynamische Simulationsprogramme (siehe Anhang D).

**ANMERKUNG** Diese Norm kann auch auf erdberührte Bodenplatten mit eingebettetem Heizungssystem (siehe Anhang I) und auf Kühlräume (Anhang J) angewendet werden.

## 8 Parameter für die Berechnungen

### 8.1 Charakteristisches Bodenplattenmaß

Um das räumliche Verhalten des Wärmestromes im Erdreich zu berücksichtigen, werden die Gleichungen in dieser Norm mit dem „charakteristischen Maß“ der Bodenplatte  $B'$  angegeben, das als Quotient aus Fläche und halbem Umfang der Bodenplatte definiert ist:

$$B' = \frac{A}{0,5 P} \quad (2)$$

ANMERKUNG Bei einer unendlich langen Bodenplatte ist  $B'$  die Bodenplattenbreite; für eine quadratische Bodenplatte ist  $B'$  die Hälfte einer Seitenlänge.

Besondere Einzelheiten der Gründung, beispielsweise eine Randdämmung der Bodenplatte, werden so behandelt, als würden sie den Wärmestrom am Umfang verändern.

Bei Kellergeschossen wird  $B'$  aus Fläche und Umfang der Keller-Bodenplatte errechnet, wobei die Kellerwände unberücksichtigt bleiben; die Wärmeübertragung vom Kellergeschoss enthält weiterhin einen zusätzlichen Wert, der auf den Umfang und die Tiefe der Keller-Bodenplatte unterhalb der Erdreichoberkante bezogen ist.

In dieser Norm ist  $P$  der exponierte Umfang der Bodenplatte <sup>N 2)</sup>: die Gesamtlänge der Außenwand, die das beheizte Gebäude von der Außenumgebung oder von einem unbeheizten Raum außerhalb der gedämmten Gebäudehülle trennt. Folglich

- ist  $P$  bei einem vollständigen Gebäude der Gesamtumfang des Gebäudes und  $A$  die gesamte Grundfläche;
- berücksichtigt  $P$  bei der Berechnung des Wärmeverlustes eines Gebäudeteils (z. B. eines einzelnen Wohnhauses in einer Reihenbebauung) die Längen der Außenwände, die den beheizten Raum von der Außenumgebung abgrenzen, wobei die Wandlängen, die den betrachteten Teil von weiteren beheizten Gebäudeteilen trennen, nicht berücksichtigt werden; hierbei ist  $A$  die betrachtete Grundfläche;
- werden bei der Ermittlung von  $P$  und  $A$  unbeheizte Räume außerhalb der gedämmten Gebäudehülle, z. B. Eingangshallen, Garagenanbauten oder Lagerräume, nicht berücksichtigt (die Wandlänge zwischen dem beheizten Gebäude und dem unbeheizten Raum ist jedoch im Umfang enthalten: die Wärmeverluste an das Erdreich werden so behandelt, als wären die unbeheizten Räume nicht vorhanden).

### 8.2 Wirksame Dicke

Zur Vereinfachung des Ausdrucks für die Wärmedurchgangskoeffizienten wird der Begriff „wirksame Dicke“ eingeführt.

Ein Wärmedurchlasswiderstand wird durch seine wirksame Dicke, d. h. die Dicke des Erdreichs mit identischem Wärmedurchlasswiderstand, angegeben. In dieser Norm ist

- $d_t$  die wirksame Dicke für Bodenplatten;
- $d_w$  die wirksame Dicke für Wände von Kellergeschossen unterhalb der Erdreichoberfläche.

---

<sup>N 2)</sup> Nationale Fußnote: Es sind die Außenabmessungen des Baukörpers zu verwenden

Die stationären Wärmeübertragungskoeffizienten beziehen sich auf den Quotienten aus wirksamer Dicke und charakteristischem Bodenplattenmaß und die harmonischen thermischen Leitwerte auf den Quotienten aus wirksamer Dicke und periodischer Eindringtiefe.

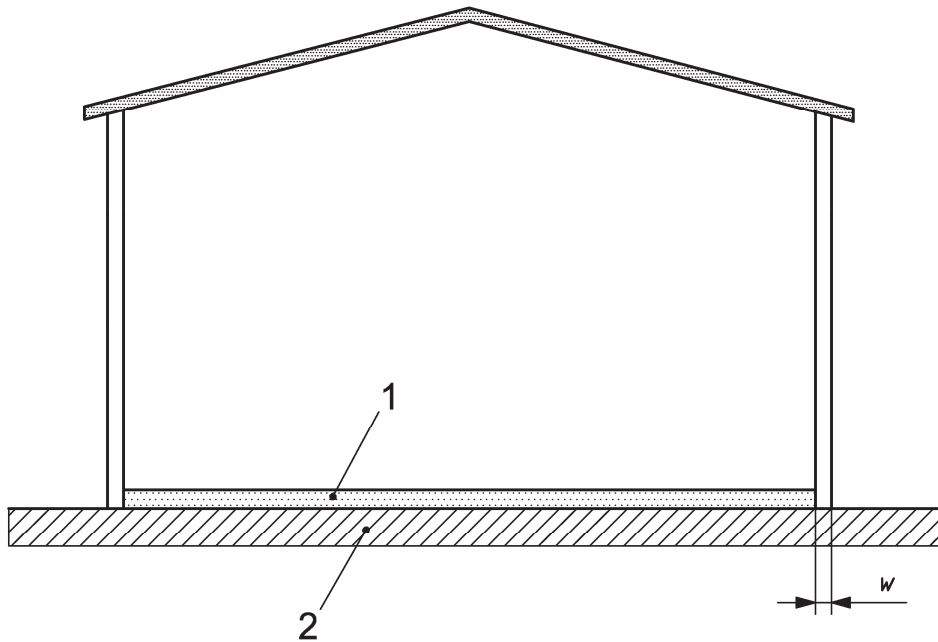
## 9 Berechnung der Wärmedurchgangskoeffizienten

### 9.1 Bodenplatten auf Erdreich

Bodenplatten auf Erdreich umfassen jede Bodenplatte, die aus einer Platte besteht, die über ihre gesamte Fläche erdberührt ist, unabhängig davon, ob sie über die gesamte Fläche durch das Erdreich getragen wird oder nicht, und die sich in Höhe der Erdreichoberkante oder in deren Nähe (siehe Bild 1) befindet. Diese Bodenplatte kann

- ungedämmt oder
- gleichmäßig über die gesamte Fläche (ober-, unter- oder innerhalb der Platte) gedämmt sein.

Weist die Bodenplatte eine waagrechte und/oder senkrechte Randdämmung auf, kann der Wärmedurchgangskoeffizient mit Hilfe des Verfahrens nach Anhang B korrigiert werden.



#### Legende

- 1 Bodenplatte
- 2 Erdreich
- w Dicke von externen Wänden

**Bild 1 — Schematische Darstellung einer erdberührten Bodenplatte**

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist vom charakteristischen Bodenplattenmaß  $B'$  (siehe 8.1 und Gleichung (2)) und von der wirksamen Gesamtdicke  $d_t$  (siehe 8.2) abhängig; diese ergibt sich nach Gleichung (3):

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (3)$$



Dabei ist

$w$  die Gesamtdicke der Wände einschließlich sämtlicher Schichten;

$R_f$  ist der Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte einschließlich einer möglicherweise vorhandenen vollflächigen Dämmschicht ober-, unter- und innerhalb der Bodenplatte sowie der vom eventuell vorhandenen Bodenplattenbelag;

und die anderen Symbole sind in 3.2 definiert.

Der Wärmedurchlasswiderstand von Platten aus Schwerbeton und dünnem Bodenplattenbelag darf vernachlässigt werden. Für Schüttlagen unterhalb der Platte wird dieselbe Wärmeleitfähigkeit wie des Erdreichs angenommen, und ihr Wärmedurchlasswiderstand braucht nicht berücksichtigt werden.

Der Wärmedurchgangskoeffizient ist, je nach Wärmedämmung der Bodenplatte, nach Gleichung (4) oder Gleichung (5) zu berechnen.

Bei  $d_t < B'$  (ungedämmte und leicht gedämmte Bodenplatten) gilt:

$$U = \frac{2 \lambda}{\pi B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_t} + 1 \right) \quad (4)$$

Bei  $d_t \geq B'$  (gut gedämmte Bodenplatten) gilt:

$$U = \frac{\lambda}{0,457 B' + d_t} \quad (5)$$

ANMERKUNG 1 Für gut gedämmte Bodenplatten kann dies alternativ wie folgt geschrieben werden:

$$U_g = \frac{1}{(R_f + R_{si} + R_{se} + w/\lambda) + R_g}$$

Dabei ist  $R_g$  der effektive Wärmedurchlasswiderstand des Erdreichs, der nach folgender Gleichung angegeben wird:

$$R_g = \frac{0,457 \times B'}{\lambda}$$

Wird der Wärmedurchgangskoeffizient als endgültiges Ergebnis dargestellt, ist er auf zwei wertanzeigende Stellen anzugeben. Zwischenergebnisse sind mit mindestens drei wertanzeigenden Stellen anzugeben.

ANMERKUNG 2 Der Wärmedurchgangskoeffizient kann für große Bodenplatten klein sein, so dass weitere Dezimalstellen erforderlich sind.

Der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient zwischen Innenraum und Außenumgebung wird nach Gleichung (1) erhalten.

## 9.2 Aufgeständerte Bodenplatten

Eine aufgeständerte Bodenplatte ist jede Bodenplatte, die auf Abstand zum Erdreich gehalten wird, beispielsweise hölzerne Bodenplatten oder Deckenbalken und Deckensteine (siehe Bild 2). Dieser Abschnitt behandelt die herkömmliche Bemessung von aufgeständerten Bodenplatten, bei denen der Kriechkeller natürlich mit Außenluft belüftet wird. Im Fall von maschineller Belüftung des Kriechkellers oder festgelegter Luftwechselrate wird auf Anhang E verwiesen.

Der Wärmedurchgangskoeffizient ergibt sich nach Gleichung (6):

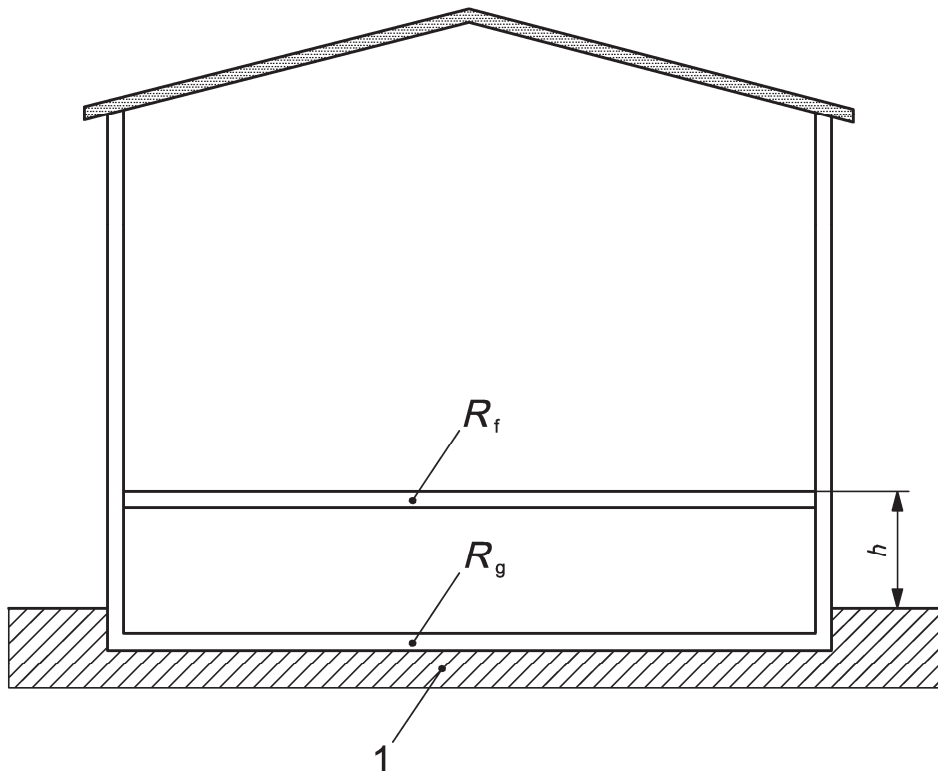
$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x} \quad (6)$$

Dabei ist

$U_f$  der Wärmedurchgangskoeffizient des aufgeständerten Teils der Bodenplatte (zwischen Innenraum und Kriechkeller), in  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$U_g = \frac{1}{R_g}$  der Wärmedurchgangskoeffizient für den Wärmestrom über das Erdreich, in  $W/(m^2 \cdot K)$ ;

$U_x$  der wirksame Wärmedurchgangskoeffizient zwischen Kriechkeller und Außenumgebung zur Berücksichtigung des Wärmestromes durch die Wände des Kriechkellers und durch Belüftung des Kriechkellers, in  $W/(m^2 \cdot K)$ .



**Legende**

- 1 Erdreich
- h Höhe der Bodenplattenoberfläche über dem äußeren Erdreich
- $R_f$  Wärmewiderstand der Bodenkonstruktion
- $R_g$  effektiver Wärmewiderstand des Erdreichs

**Bild 2 — Schematische Darstellung einer aufgeständerten Bodenplatte**

Die Berechnung von  $U_f$  muss die Auswirkungen jeglicher Wärmebrückenbildung berücksichtigen.  $U_f$  kann nach ISO 6946 oder nach einem numerischen Verfahren berechnet werden. Im Falle einer geringen Emissionsoberfläche auf der niedrigen Bodenseite darf der Oberflächenwiderstand nach dem in ISO 6946 angegebenen Verfahren geändert werden. Oberflächenwiderstände für absteigende Wärmeströme finden im Falle eines beheizten Gebäudes Anwendung sowie Oberflächenwiderstände für aufsteigende Wärmeströme.

$U_g$  ist nach den Gleichungen (2), (7) und (8) zu berechnen:

$$d_g = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (7)$$

$$U_g = \frac{2 \lambda}{\pi B' + d_g} \ln \left( \frac{\pi B'}{d_g} + 1 \right) \quad (8)$$

wobei  $R_g$  der Wärmedurchlasswiderstand einer möglicherweise vorhandenen Dämmung auf der Unterseite des Kriechkellers, in  $m^2 \cdot K/W$ , ist.

Ragt der Kriechkeller bis in eine durchschnittliche Tiefe von mehr als 0,5 m unter die Erdoberfläche, sollte  $U_g$  nach Gleichung (E.2) in Anhang E berechnet werden.

Ist die Randdämmung um den Boden des Kriechkellers herum aufgebracht, sollte  $U_g$  entsprechend Gleichung (B.3) abgeändert werden.

$U_x$  ist wie folgt zu bestimmen:

$$U_x = 2 \times \frac{h \cdot U_w}{B'} + 1450 \times \frac{\varepsilon \cdot v \cdot f_w}{B'} \quad (9)$$

Dabei ist

$h$  die Höhe der Bodenplattenoberfläche oberhalb der Oberfläche des umgebenden Erdreichs, in m;

$U_w$  der Wärmedurchgangskoeffizient der Wände des Kriechkellers oberhalb der Erdoberkante, in  $W/(m^2 \cdot K)$ , berechnet nach ISO 6946;

$\varepsilon$  die auf den Umfang der Bodenplatte bezogene Fläche der Lüftungsöffnungen, in  $m^2/m$ ;

$v$  die mittlere Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe, in m/s;

$f_w$  der Windabschirmungsfaktor.

Wenn  $h$  über den Umfang der Bodenplatte Schwankungen aufweist, sollte in Gleichung (9) der Mittelwert eingesetzt werden.

Anhang E enthält Gleichungen zur Berechnung der Mitteltemperatur im Kriechkeller.

Der Windabschirmungsfaktor bezieht die Windgeschwindigkeit in einer Höhe von 10 m (als unbehindert angenommen) auf die Windgeschwindigkeit in Erdreichnähe ein, wodurch die Abschirmung durch benachbarte Gebäude usw. erfasst wird. Repräsentative Werte sind in Tabelle 2 angegeben.

**Tabelle 2 — Werte für den Windabschirmungsfaktor**

Lage	Beispiel	Windabschirmungsfaktor $f_w$
geschützte Lage	Stadtkern	0,02
mittlere Lage	Stadttrand	0,05
exponierte Lage	ländlicher Bereich	0,10

Der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient zwischen Innenraum und Außenumgebung wird nach Gleichung (1) erhalten.

### **9.3 Beheizter Keller**

#### **9.3.1 Allgemeines**

Die Verfahren für Kellergeschosse gelten für Gebäude, in denen sich ein Teil des beheizbaren Raumes unterhalb der Erdoberfläche befindet (siehe Bild 3). Die Grundlagen sind ähnlich denen von erdberührten Bodenplatten, jedoch wird Folgendes berücksichtigt:

- die Tiefe  $z$  der Keller-Bodenplatte unterhalb der Erdoberfläche;
- die Möglichkeit unterschiedlicher Dämmniveaus an Wänden und Bodenplatte des Kellergeschosses.

Wenn  $z$  über den Umfang des Gebäudes unterschiedliche Werte aufweist, sollte bei den Berechnungen der gewichtete Durchschnittswert einfließen.

**ANMERKUNG 1** Bei  $z = 0$  reduzieren sich die Gleichungen auf die in 9.1 für Bodenplatten auf Erdoberfläche angegebenen Gleichungen.

Teilunterkellerte Gebäude, mit einer teilweise unterkellerten Bodenplatte, werden in dieser Norm nicht direkt behandelt. Für ein derartiges Gebäude kann man jedoch eine Abschätzung des Gesamtwärmeverlustes über das Erdreich erhalten, indem das Gebäude so behandelt wird, als wäre es über die gesamte Fläche mit einer Tiefe unterkellert, die gleich der Hälfte der wirklichen Tiefe des unterkellerten Teils entspricht.

**ANMERKUNG 2** Teilweise beheizte Kellerräume werden in 9.5 behandelt.

Die beschriebenen Verfahren liefern die Gesamtwärmeübertragung vom Keller an das Erdreich, d. h. durch die Bodenplatte des Kellergeschosses und die Kellerwände unter dem Erdreich.

**ANMERKUNG 3** Die Wandbereiche oberhalb des Erdreichs sollten mittels ihres nach ISO 6946 berechneten Wärmedurchgangskoeffizienten nachgewiesen werden.

#### **9.3.2 Keller-Bodenplatte**

Zur Bestimmung von  $U_{bf}$  ist das charakteristische Maß für die Keller-Bodenplatte nach Gleichung (3) zu berechnen, wobei jede Dämmung der Keller-Bodenplatte in die wirksame Gesamtdicke,  $d_t$ , nach Gleichung (10) mit einzubeziehen ist:

$$d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se}) \quad (10)$$

Dabei ist

- $w$  die Gesamtdicke der Gebäudewände der Erdoberkante einschließlich sämtlicher Schichten;
- $R_f$  der Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplatte einschließlich eventuell vorhandener vollflächiger Dämmschichten ober-, unter- oder innerhalb der Bodenplatte und eventuell vorhandener Bodenplattenbeläge.

Der Wärmedurchlasswiderstand von Normalbetonplatten und dünnem Bodenplattenbelag darf vernachlässigt werden. Für Schüttlagen unterhalb der Platte wird dieselbe Wärmeleitfähigkeit wie für das Erdreich angenommen, und ihr Wärmedurchlasswiderstand sollte vernachlässigt werden.

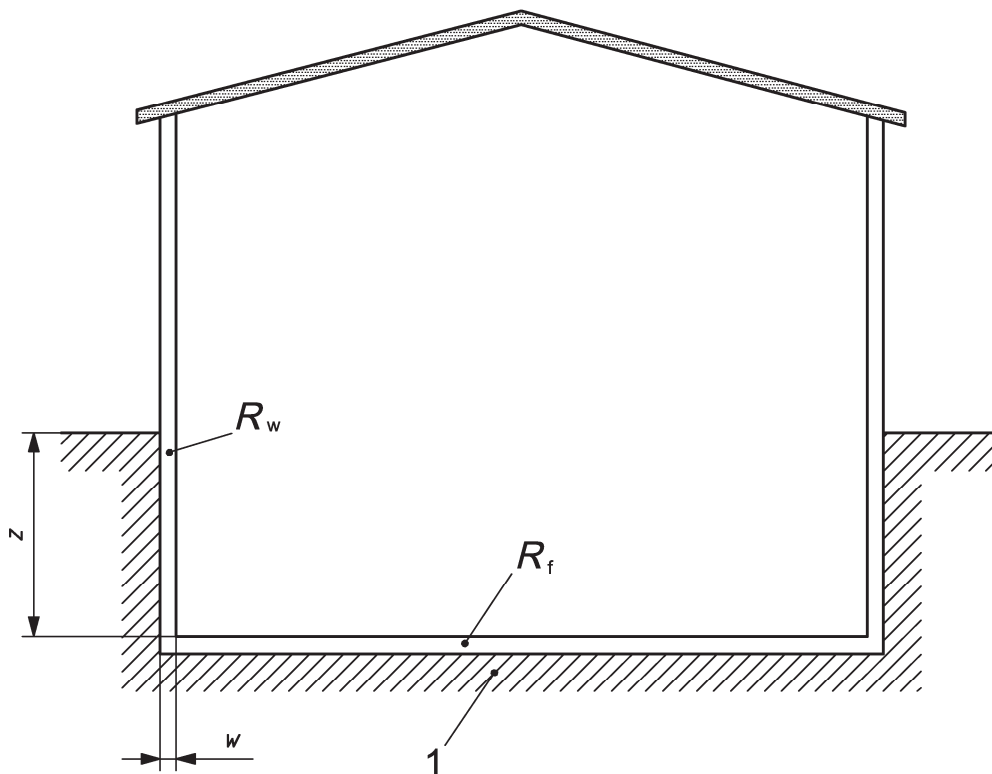
Zur Berechnung ist, je nach Wärmedämmung der Keller-Bodenplatte, Gleichung (11) oder Gleichung (12) anzuwenden.

Bei  $(d_t + 0,5 z) < B'$  (ungedämmte und leicht gedämmte Keller-Bodenplatten) gilt:

$$U_{bf} = \frac{2 \lambda}{\pi B' + d_t + 0,5 z} \ln\left(\frac{\pi B}{d_t + 0,5 z} + 1\right) \quad (11)$$

Bei  $(d_t + 0,5 z) \geq B'$  (gut gedämmte Keller-Bodenplatten) gilt:

$$U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 B' + d_t + 0,5 z} \quad (12)$$



#### Legende

- 1 Erdreich
- w Dicke der Gebäudewände
- z Tiefe der Bodenplatte auf Erdreich
- $R_f$  Wärmewiderstand der Bodenkonstruktion
- $R_w$  effektiver Wärmewiderstand der Kellerwände unter dem Erdreich, einschließlich aller Dämmschichten

**Bild 3 — Schematische Darstellung eines Gebäudes mit beheiztem Kellergeschoss**

#### 9.3.3 Kellerwände

$U_{bw}$  ist von der wirksamen Gesamtdicke der Kellerwände,  $d_w$ , nach Gleichung (13) abhängig:

$$d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se}) \quad (13)$$

Dabei ist

$R_w$  der Wärmedurchlasswiderstand der Kellerwände mit allen Schichten; die weiteren Symbole sind in 3.2 definiert.

$U_{bw}$  ist nach Gleichung (14) zu bestimmen:

$$U_{bw} = \frac{2 \lambda}{\pi z} \left( 1 + \frac{0,5 d_t}{d_t + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad (14)$$

Die Gleichung für  $U_{bw}$  umfasst sowohl  $d_w$  als auch  $d_t$ . Sie gilt für  $d_w \geq d_t$ , was üblicherweise der Fall ist. Ist jedoch  $d_w < d_t$ , sollte  $d_t$  in Gleichung (14) durch  $d_w$  ersetzt werden.

### 9.3.4 Wärmeübertragung aus dem gesamten Keller

Der wirksame Wärmedurchgangskoeffizient, der das gesamte erdberührte Kellergeschoss charakterisiert, ergibt sich nach (siehe auch Abschnitt 4):

$$U' = \frac{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw})}{A + (z \cdot P)} \quad (15)$$

Der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient zwischen Innenraum und Außenumgebung ergibt sich nach:

$$H_g = (A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (P \cdot \Psi_g) \quad (16)$$

ANMERKUNG Gleichung (16) liefert den Wärmestrom vom gesamten Kellergeschoss. Die Wärmeübertragung durch die Bodenplatte und die Wärmeübertragung durch die Wände des Kellergeschosses stehen miteinander in Zusammenhang; daher stellen die ersten beiden Ausdrücke in Gleichung (16) für die Wärmeübertragung durch die Bodenplatte bzw. durch die Wände Näherungswerte dar.

## 9.4 Unbeheiztes Kellergeschoss

Die in diesem Abschnitt angegebenen Gleichungen gelten für unbeheizte Kellergeschosse, die von außen belüftet werden.

Der Wärmedurchgangskoeffizient  $U$  ergibt sich nach Gleichung (17):

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{(A \cdot U_{bf}) + (z \cdot P \cdot U_{bw}) + (h \cdot P \cdot U_w) + (0,33 \cdot n \cdot V)} \quad (17)$$

Dabei ist

$U_f$  der Wärmedurchgangskoeffizient der Bodenplatte (zwischen Innenraum und Kellergeschoss);

$U_w$  der Wärmedurchgangskoeffizient der Kellerwände oberhalb des Erdreichs;

$n$  die Luftwechselrate des Kellers, in  $h^{-1}$ ;

$V$  das Luftvolumen des Kellergeschosses.

Bei Fehlen genauer Angaben darf für  $n$  ein Wert von  $0,3 h^{-1}$  angenommen werden.

$U_f$  und  $U_w$  sind nach ISO 6946 mit den Wärmeübergangswiderständen nach 5.3 zu berechnen.

$U_{bf}$  und  $U_{bw}$  sind nach 9.3 zu berechnen.

ANMERKUNG Die Mitteltemperatur im Kellergeschoss kann nach der Methode in Anhang E berechnet werden.

Der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient zwischen Innenraum und Außenumgebung wird nach Gleichung (1) berechnet.

### **9.5 Teilweise beheiztes Kellergeschoss**

Bei teilweise beheizten Kellergeschossen kann die Wärmeübertragung nach folgenden Verfahren berechnet werden:

- a) Die Wärmeübertragung für ein vollständig beheiztes Kellergeschoss ist zu berechnen.
- b) Die Wärmeübertragung für ein unbeheiztes Kellergeschoss ist zu berechnen.
- c) Die Werte für die Wärmeübertragung aus a) und b) sind proportional zu den Flächenanteilen der beheizten bzw. unbeheizten erdberührten Teile des Kellers zusammenzufassen, um die Wärmeübertragung für ein teilweise beheiztes Kellergeschoss zu erhalten.

## Anhang A (normativ)

### Berechnung des Wärmestromes über das Erdreich

#### A.1 Berechnungsverfahren

Zur Berechnung des Wärmestromes stehen die drei nachfolgenden Methoden zur Verfügung. Der Anwender wählt entsprechend der Zielstellung der Berechnung und der Zuverlässigkeit, die zur Bewertung der Wärmeübertragung erforderlich ist, das geeignete aus:

- Berechnung des Wärmestromes über das Erdreich für jeden Monat getrennt (siehe A.3);
- Berechnung des mittleren Wärmestromes über das Erdreich während der Heizperiode (siehe A.4);
- Berechnung des mittleren jährlichen Wärmestromes über das Erdreich (siehe A.5).

#### A.2 Monatlicher Wärmestrom bei sinusförmigen Temperaturvariationen

Um die Auswirkung der großen thermischen Trägheit des Erdreichs zu berücksichtigen, wird die Wärmeübertragung durch eine stationäre oder mittlere Komponente gemeinsam mit einer jährlichen periodischen Komponente dargestellt. Die stationäre Komponente bezieht sich auf die Differenz des Jahresmittels der Innentemperatur und des Jahresmittels der Außentemperatur. Die periodische Komponente bezieht sich auf die Amplitude der Schwankung der Innen- und Außentemperaturen um ihren jeweiligen Durchschnittswert.

Es wird angenommen, dass die Innen- und Außentemperaturen in der folgenden Weise sinusförmig um ihre Jahresmittel schwanken:

$$\theta_{i,m} = \bar{\theta}_i - \hat{\theta}_i \cos\left(2\pi \frac{m-\tau}{12}\right) \quad (\text{A.1})$$

$$\theta_{e,m} = \bar{\theta}_e - \hat{\theta}_e \cos\left(2\pi \frac{m-\tau}{12}\right) \quad (\text{A.2})$$

Dabei ist

$\theta_{i,m}$  das Monatsmittel der Innentemperatur für den Monat  $m$ , in °C;

$\bar{\theta}_i$  das Jahresmittel der Innentemperatur, in °C;

$\hat{\theta}_i$  die Amplitude der Schwankungen des Monatsmittels der Innentemperatur, in K, wie in 6.1 festgelegt;

$\theta_{e,m}$  das Monatsmittel der Außentemperatur für den Monat  $m$ , in °C;

$\bar{\theta}_e$  das Jahresmittel der Außentemperatur, in °C;

$\hat{\theta}_e$  die Amplitude der Schwankungen des Monatsmittels der Außentemperatur, in K, wie in 6.2 festgelegt;

$m$  die Monatsnummer ( $m = 1$  für Januar bis  $m = 12$  für Dezember);

$\tau$  die Monatsnummer mit der niedrigsten Außentemperatur.

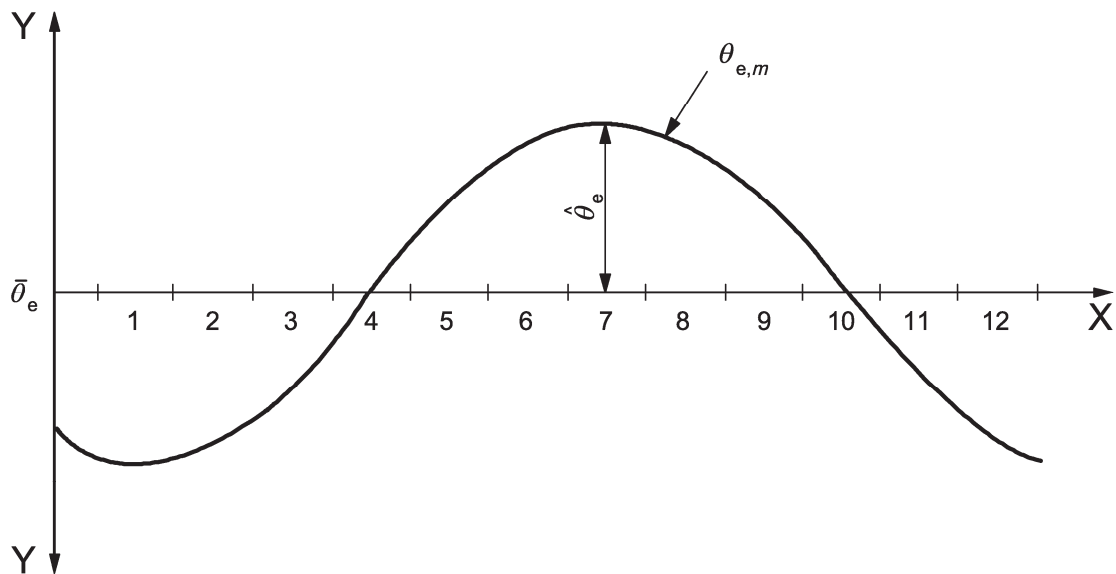


$\tau$  sollte unter Berücksichtigung des Monatsmittels der Außentemperatur für jeden Monat bewertet werden; kurzzeitige Schwankungen sollten nicht erfasst werden. Der Wert kann auf Klimaangaben des betreffenden Landes oder Ortes beruhen, die in ganzzahligen Monaten oder, je nach verfügbaren Angaben, als Teil eines Monats angegeben werden. Beim Fehlen genauer Angaben ist auf der Nordhalbkugel  $\tau = 1$  und auf der Südhalbkugel  $\tau = 7$  anzusetzen.

ANMERKUNG 1  $\tau = 1$  steht für die Annahme, dass die niedrigste Temperatur Mitte Januar und die höchste Temperatur Mitte Juli auftritt, und  $\tau = 7$  bedeutet den umgekehrten Fall: Dies stellt für viele Klimate eine gute Näherung dar.

ANMERKUNG 2 Für die Berechnungen werden nur die Jahresmittel der Temperatur und die Jahresamplitude benötigt: Diese Größen können aus den Monatswerten abgeleitet werden.

Bild A.1 veranschaulicht die Festlegungen für  $\bar{\theta}_e$  und  $\hat{\theta}_e$ . Dasselbe gilt für die Innentemperatur.



#### Legende

X Monatsnummer (1 für Januar bis 12 für Dezember)

Y Temperatur,  $\theta$

$\bar{\theta}_e$  das Jahresmittel der Außentemperatur

$\hat{\theta}_e$  die Amplitude der Schwankungen des Monatsmittels der Außentemperatur

$\theta_{e,m}$  das Monatsmittel der Außentemperatur für den Monat

**Bild A.1 — Veranschaulichung der ganzjährigen Außentemperaturschwankung  
(auf der Nordhalbkugel)**

Der mittlere Wärmestrom im Monat  $m$  ergibt sich folglich nach:

$$\Phi_m = H_g (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - H_{pi} \hat{\theta}_i \cos \left( 2 \pi \frac{m - \tau + \alpha}{12} \right) + H_{pe} \hat{\theta}_e \cos \left( 2 \pi \frac{m - \tau - \beta}{12} \right) \quad (\text{A.3})$$

Dabei ist/sind

$H_g$  der stationäre thermische Leitwert, in W/K;

$H_{pi}$  der innere harmonische thermische Leitwert, in W/K;

$H_{pe}$  der äußere harmonische thermische Leitwert, in W/K;

$\alpha$  der Zeitvorsprung des Wärmestromzyklus gegenüber dem für die Innentemperaturen, in Monaten;

$\beta$  der Zeitrückstand des Wärmestromzyklus gegenüber dem für die Außentemperaturen, in Monaten.

$H_{pi}$  und  $H_{pe}$  enthalten den Wärmebrückeneffekt am Bodenrand. Wenn sie ohne die Wirkung des bodenbezogenen Wärmetransports berechnet werden, muss die Bedingung  $P \cdot \Psi_g$  bei jedem ergänzt werden (siehe Abschnitt 4).

**ANMERKUNG 3** Die periodischen Schwankungen des Wärmestromes eilen der periodischen Schwankung der Innentemperatur voraus und der Schwankung der Außentemperatur nach. In dieser Norm sind sowohl  $\alpha$  als auch  $\beta$  positive Zahlen: Das Voraus-/Nacheilen wird in Gleichung (A.3) berücksichtigt.

Anhang F enthält Näherungsverfahren zur Berechnung der Koeffizienten  $H_{pi}$  und  $H_{pe}$  und der Phasenverschiebungen  $\alpha$  und  $\beta$ . Die Gleichung für  $H_{pe}$  im Anhang F ist für Fälle flächenbezogener Wärmeübertragung. Für detaillierte Berechnungen von  $H_{pe}$  siehe ISO 10211.

Bei Gleichung (A.3) wird angenommen, dass die Jahresschwankung der Innentemperatur so verläuft, dass  $\theta_i$  im Winter niedriger als im Sommer ist. Im umgekehrten Fall sollte  $\hat{\theta}_i$  mit einem negativen Vorzeichen versehen werden.

**ANMERKUNG 5** Bei Berechnungen, die auf der Annahme einer gleich bleibenden Innentemperatur beruhen, brauchen  $\hat{\theta}_i = 0$  und  $H_{pi}$  nicht berücksichtigt zu werden.

### **A.3 Monatlicher Wärmestrom bei Anwendung monatlicher Mitteltemperaturen**

Sind die mittleren monatlichen Innen- und Außentemperaturen bekannt, wird der Wärmestrom wie folgt berechnet:

$$\Phi_m = H_g (\overline{\theta_i - \theta_e}) - H_{pi} (\overline{\theta_i - \theta_{i,m}}) + H_{pe} (\overline{\theta_e - \theta_{e,m}}) \quad (\text{A.4})$$

Dabei wird angenommen, dass die Phasenunterschiede  $\alpha$  und  $\beta$  (siehe A.2) gleich null sind.

#### A.4 Mittlerer Wärmestrom in Heiz- oder Kühlperioden

Bei der Berechnung der jahreszeitlich bedingten Wärmeübertragung kann die Auswirkung der Phasenverschiebung zwischen Wärmestrom und Temperaturschwankungen gewöhnlich vernachlässigt werden. Der mittlere Wärmestrom über das Erdreich wird dann für eine Heizperiode aus dem Mittelwert der Cosinus-Werte in Gleichung (A.3) über die Heizperiode ermittelt:

$$\bar{\Phi} = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) - \gamma H_{pi} \hat{\theta}_i + \gamma H_{pe} \hat{\theta}_e \quad (\text{A.5})$$

wobei sich der Wert für  $\gamma$ , der von der Dauer der Heizperiode abhängt, nach Gleichung (A.6) ergibt:

$$\gamma = \frac{12}{n \pi} \sin\left(\frac{n \pi}{12}\right) \quad (\text{A.6})$$

Dabei ist

$n$  die Anzahl der Monate in der Heizperiode.

Bei Gleichung (A.5) wird angenommen, dass die Jahresschwankung der Innentemperatur so verläuft, dass  $\hat{\theta}_i$  im Winter niedriger als im Sommer ist. Im umgekehrten Fall sollte  $\hat{\theta}_i$  mit einem negativen Vorzeichen versehen werden.

ANMERKUNG Bei Berechnungen, die auf der Annahme einer gleich bleibenden Innentemperatur beruhen, brauchen  $\hat{\theta}_i = 0$  und  $H_{pi}$  nicht berücksichtigt zu werden.

Die Anwendung von Gleichung (A.5) ist eher für die Berechnung von jahreszeitlichen als von monatlichen Wärmeverlusten geeignet.

Gleichung (A.5) kann in den Fällen, in denen die Schwankung der Wärmeverluste an das Erdreich zwischen den Monaten nicht benötigt wird, ebenfalls zur Berechnung von Wärmeverlusten auf monatlicher Basis angewendet werden. Dies hat zur Folge, dass die Wärmeverluste an das Erdreich als konstanter Wert behandelt werden, wodurch die Wärmeverluste am Ende der Heizperiode überbewertet und in der Mitte der Heizperiode unterbewertet werden.

Der durchschnittliche Wärmestrom über die Kühlperiode wird in vergleichbarer Weise berechnet:

$$\bar{\Phi} = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + \gamma H_{pi} \hat{\theta}_i - \gamma H_{pe} \hat{\theta}_e \quad (\text{A.7})$$

Dabei wird  $\gamma$  aus Gleichung (A.6) entnommen, wobei für  $n$  die Anzahl der Monate der Kühlperiode angesetzt wird.

#### A.5 Mittlerer jährlicher Wärmestrom

Wenn  $\hat{\theta}_i$ ,  $\hat{\theta}_e$  oder die Dauer der Heizperiode nicht bekannt ist oder wenn die Verluste an das Erdreich nur näherungsweise benötigt werden, kann die Wärmeübertragung an das Erdreich als konstanter Wert angenommen werden, der der stationären Komponente entspricht:

$$\bar{\Phi} = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) \quad (\text{A.8})$$

Dies ist oftmals eine hinreichende Näherung, insbesondere bei langer Dauer der Heizperiode, oder wenn  $\hat{\theta}_i$  und  $\hat{\theta}_e$  den Wärmestrom in entgegengesetzter Weise beeinflussen.

## A.6 Höchster monatlicher Wärmestrom

Der höchste monatliche Wärmestrom ergibt sich nach folgender Gleichung:

$$\Phi_{\max} = H_g(\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_e) + H_{pe} \hat{\theta}_e \quad (\text{A.9})$$

ANMERKUNG Dieser Ausdruck entspricht einer gleich bleibenden Innentemperatur und dem höchsten Beitrag durch die Schwankung der Außentemperatur.

## A.7 Monatlicher Wärmeübertragungskoeffizient

Der Wärmeübertragungskoeffizient,  $H_{g,m}$ , in Monaten,  $m$ , ergibt sich wie folgt:

$$H_{g,m} = \frac{\Phi_m}{\theta_{i,m} - \theta_{e,m}} \quad (\text{A.10})$$

## A.8 Gesamtwärmeübertragung während der Heiz- oder Kühlperiode

Die Gesamtwärmeübertragung über das Erdreich ist das Integral über den Wärmestrom, das als Summe der Monatswerte dargestellt werden kann:

$$Q = \sum_{m=m_1}^{m_2} Q_m \quad (\text{A.11})$$

$$Q_m = 86\,400 N_m \cdot \Phi_m \quad (\text{A.12})$$

Dabei ist

$Q$  die Gesamtwärmeübertragung, in J;

$Q_m$  die Wärmeübertragung im Monat  $m$ , in J;

$N_m$  die Anzahl der Tage im Monat  $m$ ;

$\Phi_m$  der Wärmestrom im Monat  $m$ , in W;

$m_1$  der erste Monat der Heiz- oder Kühlperiode;

$m_2$  der letzte Monat der Heiz- oder Kühlperiode.

86 400 ist die Sekundenanzahl eines Tages.

Bei einem mittleren Wärmestrom folgt nach den Gleichungen (A.4) oder (A.7):

$$Q = 86\,400 \times N \bar{\Phi} \quad (\text{A.13})$$

wobei  $N$  die Gesamtanzahl der Tage in der Heizperiode ist.

## Anhang B (normativ)

### Bodenplatten auf Erdreich mit Randdämmung

#### B.1 Allgemeines

Bodenplatten auf Erdreich können eine Randdämmung aufweisen, die entweder waagrecht oder senkrecht am Umfang der Bodenplatte angeordnet ist. Die in diesem Anhang angegebenen Gleichungen gelten, wenn die Breite oder Tiefe der Randdämmung,  $D$ , im Verhältnis zur Breite des Gebäudes gering ist.

Alternativ dürfen numerische Verfahren angewendet werden. Wenn numerische Berechnungen des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten die Auswirkungen jeglicher Randdämmung enthalten; dürfen die Berechnungen nach diesem Anhang nicht zusätzlich eingesetzt werden.

Die Auswirkungen der Randdämmung werden als längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient,  $\Psi_{g,e}$ , behandelt, der für die waagrechte Randdämmung nach B.2 und für die senkrechte Randdämmung nach B.3 berechnet wird. Gründungen mit geringer Dichte, deren Wärmeleitfähigkeit unter der des Erdreichs liegt, werden als senkrechte Randdämmung behandelt.  $\Psi_{g,e}$  hat einen negativen Wert.

Weist die Gründungseinzelheit mehr als ein Teil einer Randdämmung auf (waagrecht oder senkrecht, innen oder außen), ist  $\Psi_{g,e}$  für jede Randdämmung einzeln nach den folgenden Verfahren zu berechnen, und es ist der Wert zu verwenden, bei dem sich die größte Abnahme der Wärmeverluste ergibt.

ANMERKUNG 1 Die in diesem Anhang angegebenen Gleichungen liefern gute Näherungswerte für die Auswirkungen, die auftreten, wenn eine Randdämmung auf ungedämmte Bodenplatten aufgebracht wird. Die Wirkung einer zusätzlichen Randdämmung wird bei einer bereits gedämmten Bodenplatte unterbewertet, kann aber dennoch angewendet werden: Die Auswirkungen der Randdämmung entsprechen mindestens den vorhergesagten.

Die Gleichungen (B.5) und (B.6) umfassen die zusätzliche wirksame Dicke,  $d'$ , die sich aus der Randdämmung ergibt und wie folgt definiert wird:

$$d' = R' \cdot \lambda \quad (\text{B.1})$$

Dabei ist

$R'$  der durch die Randdämmung (oder die Gründung) hervorgerufene zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand, d. h. die Differenz zwischen dem Wärmedurchlasswiderstand der Randdämmung und dem des Erdreichs (oder der Bodenplatte), den sie ersetzt:

$$R' = R_n - \frac{d_n}{\lambda} \quad (\text{B.2})$$

Dabei ist

$R_n$  der Wärmedurchlasswiderstand der waagrechten oder senkrechten Randdämmung (oder Gründung), in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;

$d_n$  die Dicke der Randdämmung (oder Gründung), in m.

Wenn  $\Psi_{g,e}$  in die Berechnung eingefügt wird, ist die Gleichung (1) dieser Norm abzuändern in:

$$H_g = (A \cdot U) + P \cdot (\Psi_g + \Psi_{g,e}) \quad (\text{B.3})$$

Für stationäre Berechnungen, darf die Auswirkung der Randdämmung in den Wärmedurchgangskoeffizienten der Bodenplatte nach Gleichung (B.4) mit einbezogen werden.

$$U = U_0 + \frac{2 \psi_{g,e}}{B'} \quad (\text{B.4})$$

Dabei ist

$U_0$  der Wärmedurchgangskoeffizient der Bodenplatte ohne Randdämmung, in dessen Fall die Gleichung (1) für stationäre Berechnungen des Wärmedurchgangskoeffizienten angewendet wird.

ANMERKUNG 2 Jegliche vollflächige Dämmung der Bodenplatte ist in der Berechnung von  $U_0$  mit enthalten.

ANMERKUNG 3  $\psi_g$  und  $\psi_{g,e}$  sind in  $H_{pi}$  und  $H_{pe}$  enthalten (siehe Anhang A).

## **B.2 Waagrechte Randdämmung**

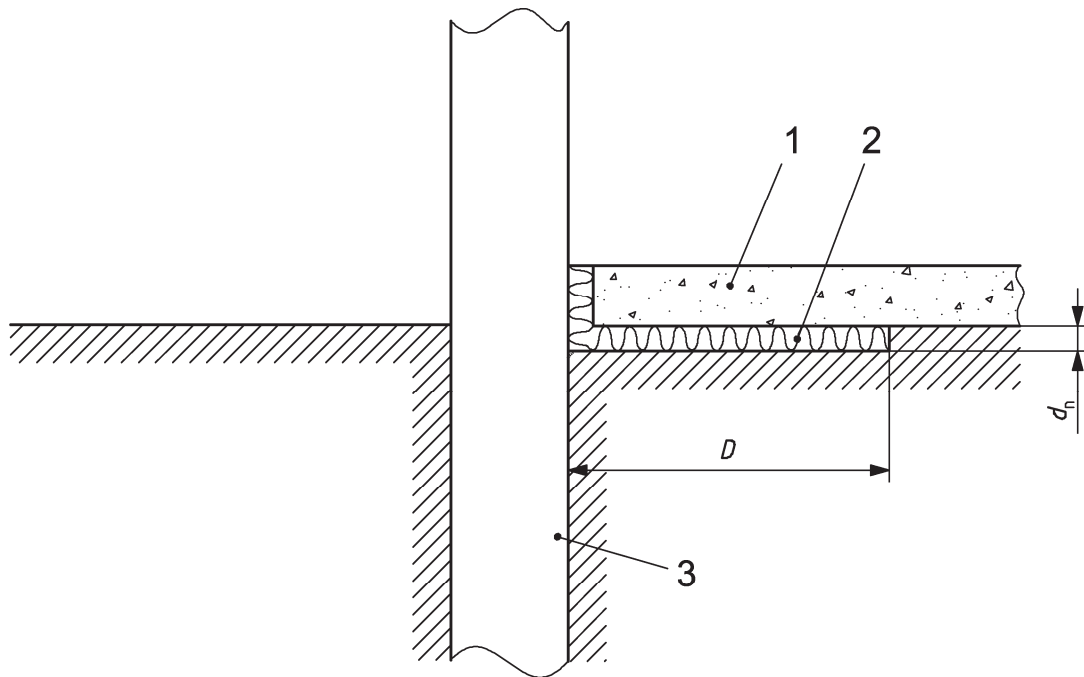
Gleichung (B.5) gilt für eine Dämmung, die waagrecht am Umfang der Bodenplatte angeordnet ist (siehe Bild B.1).

$$\psi_g = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (\text{B.5})$$

Dabei ist

$D$  die Breite der horizontalen Randdämmung (in m) und

$d'$  entsprechend Gleichung (B.1).



#### Legende

- 1 Bodenplatte
  - 2 waagrechte Randdämmung
  - 3 Grundmauer
- $d_n$  Dicke der Randdämmung (oder des Grundes)
- $D$  Breite der horizontalen Randdämmung

**Bild B.1 — Schematische Darstellung einer horizontalen Randdämmung**

Bild B.1 zeigt die Randdämmung unter der Platte. Gleichung (B.5) gilt auch für eine horizontale Randdämmung oberhalb der Platte oder außerhalb des Gebäudes.

### B.3 Senkrechte Randdämmung

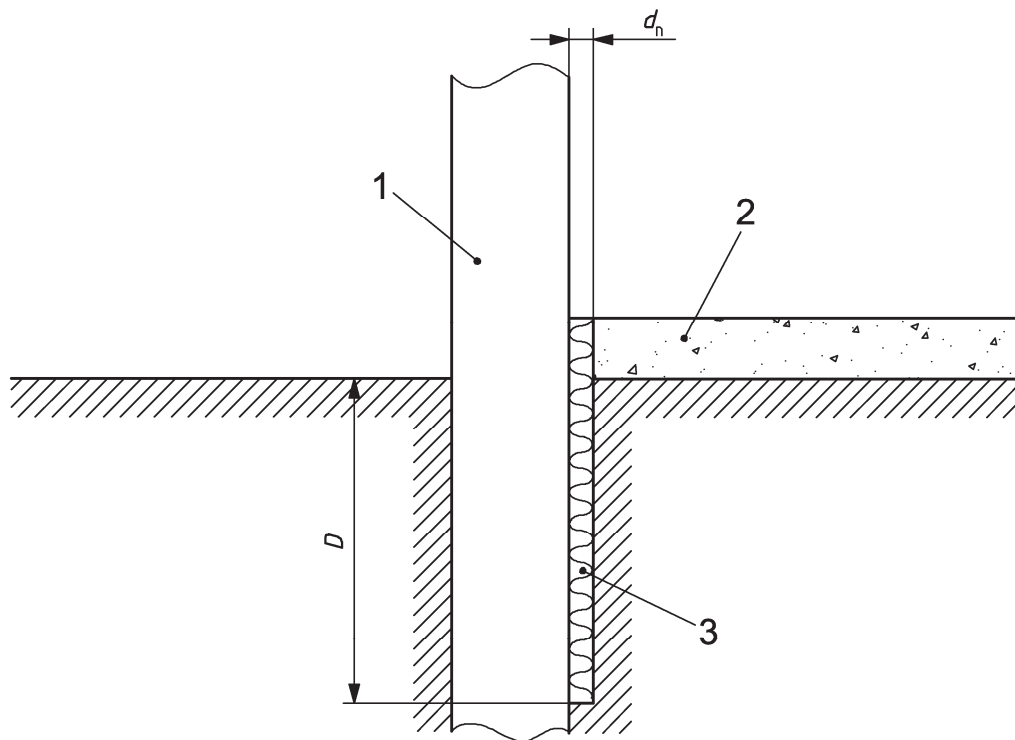
Gleichung (B.6) gilt für eine senkrecht im Erdreich entlang des Umfangs der Bodenplatte angebrachte Dämmung (siehe Bild B.2) und für Gründungen aus Baustoffen, die eine geringere Wärmeleitfähigkeit als das Erdreich aufweisen (siehe Bild B.3):

$$\psi_g = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right] \quad (\text{B.6})$$

Dabei ist

- $D$  die Tiefe der senkrechten Randdämmung (oder Grund) unterhalb der Erdoberkante (in Meter) und
- $d'$  entsprechend Gleichung (B.1).

Bild B.2 zeigt eine raumseitige Randdämmung der Grundmauer. Gleichung (B.6) gilt auch für eine senkrechte Randdämmung außer- oder innerhalb der Grundmauer.



**Legende**

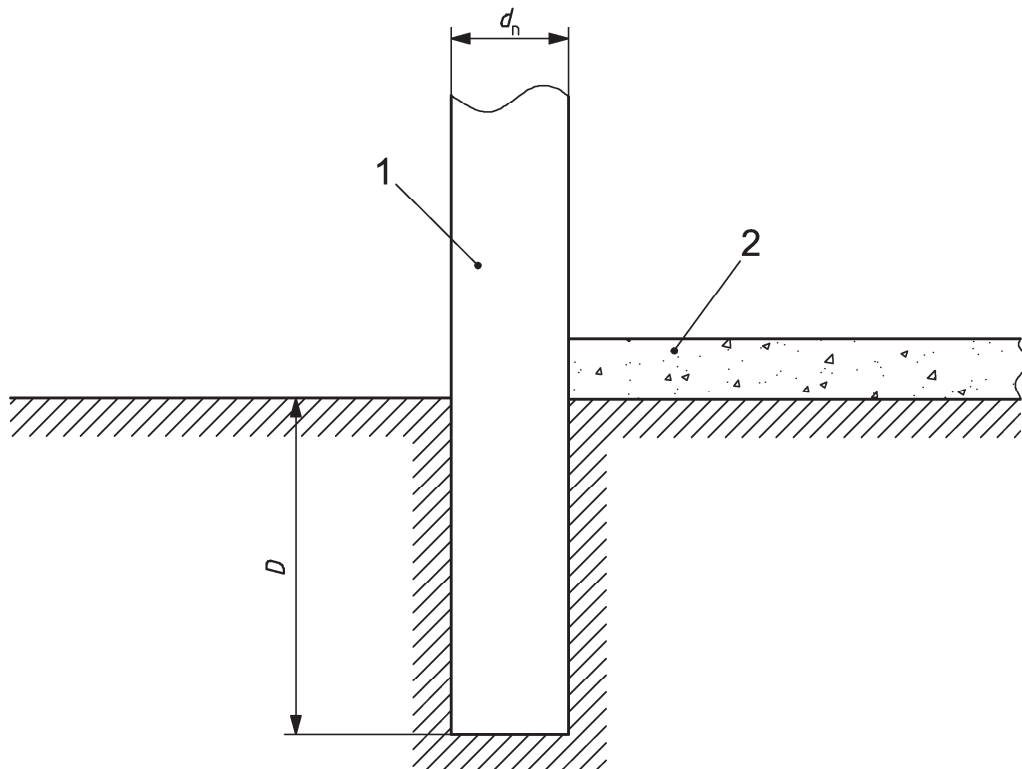
- 1 Gründungsmauer
- 2 Bodenplatte
- 3 senkrechte Randdämmung

$d_n$  Dicke der Randdämmung (oder des Grundes)

$D$  die Tiefe der senkrechten Randdämmung (oder Grund) unterhalb der Erdoberkante

**Bild B.2 — Senkrechte Randdämmung (Dämmschicht)**





**Legende**

1 Grundmauer mit geringer Dichte mit  $\lambda_n < \lambda$

2 Bodenplatte

$d_n$  Dicke der Randdämmung (oder des Grundes)

$D$  die Tiefe der senkrechten Randdämmung (oder Grund) unterhalb der Erdoberkante

**Bild B.3 — Senkrechte Randdämmung (Gründung aus Baustoffen mit geringer Dichte)**

## Anhang C (normativ)

### Wärmeströme für einzelne Räume

Die Gleichungen in dieser Norm liefern den Gesamtwärmestrom durch die gesamte Bodenplatte. Wenn der Wärmestrom für einzelne Räume eines Gebäudes gefordert wird, in dem einige Räume Außenwände besitzen und andere nicht, darf der Gesamtwärmestrom in zwei Teile unterteilt werden, die jeweils auf Räume mit Außenwänden (Randbereich) bzw. solche ohne Außenwände (Gebäudemitte) anwendbar sind. Um den gesamten Wärmestrom für individuelle Räume zu erhalten, ist der Beitrag durch Wände oder andere Elemente hinzuzurechnen.

Der stationäre Wärmestrom wird zuerst für die gesamte Bodenplatte berechnet,  $\Phi_t$ . Dieser Wert wird anschließend wie folgt in den Wärmestrom für den Randbereich,  $\Phi_e$ , und den für die Gebäudemitte,  $\Phi_m$ , zerlegt:

$$\Phi_e = \Phi_t \frac{A_e}{A_m \frac{b + d_t}{0,5 \cdot B' + d_t} + A_e} \quad (\text{C.1})$$

$$\Phi_m = \Phi_t - \Phi_e \quad (\text{C.2})$$

$$q_e = \frac{\Phi_e}{A_e} \quad (\text{C.3})$$

$$q_m = \frac{\Phi_m}{A_m} \quad (\text{C.4})$$

Dabei ist

$q_e$  die Wärmestromdichte von Räumen am Rand des Gebäudes;

$q_m$  die Wärmestromdichte von Räumen in der Gebäudemitte;

$A_e$  die Gesamtgrundfläche von Räumen am Rand des Gebäudes;

$A_m$  die Gesamtgrundfläche von Räumen in der Gebäudemitte;

$b$  die mittlere Breite von Räumen am Rand des Gebäudes;

$B'$  das in 8.1 angegebene charakteristische Maß der gesamten Bodenplatte.

Die periodische Wärmeübertragung infolge der jährlichen Schwankung der Außentemperatur sollte nur auf Räume am Gebäuderand angewendet werden.

## Anhang D (normativ)

### Anwendung auf dynamische Simulationsprogramme zur Berechnung der Innenraumtemperatur

Dieser Anhang enthält ein Verfahren zur Behandlung der Wärmeübertragung über das Erdreich in Verbindung mit transitorischen Verfahren zur Berechnung von Wärmeströmen oder Temperaturen in Gebäuden unter Anwendung von Zeitabständen von 1 h oder darunter.

Die Bodenplattenkonstruktion wird gemeinsam mit dem Erdreich als eine einzige Komponente modelliert, die sich aus allen Schichten der Bodenplattenkonstruktion zuzüglich 0,5 m Tiefe des Erdreichs zusammensetzt.

Die virtuelle Schicht wird ergänzt, so dass der jährlich durchschnittliche Wärmestrom richtig ist. Der enthaltene Wärmedurchlasswiderstand,  $R_v$ , hat eine vernachlässigbare Wärmekapazität.  $R_v$  wird nach Gleichung (D.1) berechnet:

$$R_v = \frac{1}{U} - R_{si} - R_f - R_g \quad (\text{D.1})$$

Dabei ist

$U$  der stationäre Wärmedurchgangskoeffizient der Bodenplatte einschließlich der Auswirkung des Grundes;

$R_{si}$  der innere Wärmeübergangswiderstand der Bodenplatte;

$R_f$  der Wärmedurchlasswiderstand der Bodenplattenkonstruktion;

$R_g$  der Wärmedurchgangskoeffizient von 0,5 m des Grundes.

Für Modellzwecke kann die virtuelle Schicht mit einer Dicke von 0,1 m bestimmt werden, so dass die Wärmeleitfähigkeit  $0,1/R_v$  beträgt. Ihre Dichte und spezifische Wärmekapazität müssen null sein oder sehr niedrige Werte ( $1 \text{ kg/m}^3$  bzw.  $1 \text{ J/(kg} \cdot \text{K)}$ ).

Die Randbedingungen am Boden der virtuellen Schicht ist eine virtuelle Temperatur,  $\theta_v \cdot \theta_v$  kann für jeden Kalendermonat bestimmt werden durch:

$$\theta_{v,m} = \theta_{i,m} - \frac{\Phi_m}{A \cdot U} \quad (\text{D.2})$$

Dabei wird  $\Phi_m$  nach Anhang A berechnet.

ANMERKUNG Dieses beinhaltet jede randbezogene Wärmeübertragung.

Gleichung (D.2) ist eine geeignete Annäherung. Alternativ, kann  $\theta_v$  anhand eines numerischen Verfahrens für unterschiedliche Zeitpunkte berechnet werden:

$$\theta_{v,t} = \theta_{i,t} - \frac{\Phi_t}{A \cdot U} \quad (\text{D.3})$$

Dabei wird  $\Phi_t$  für die Zeit  $t$  nach einem numerischen Verfahren berechnet.

## Anhang E (normativ)

### Belüftung unter aufgeständerten Bodenplatten

#### E.1 Allgemeine Angaben für mittlere Temperatur und Wärmedurchgangskoeffizienten

Die Wärme wird nach drei Möglichkeiten durch die aufgeständerte Bodenplatte an den Kriechkeller und anschließend von diesem an die Außenumgebung übertragen:

- durch das Erdreich;
- durch die Wand (oberhalb der Oberkante des Erdreichs) des Kriechkellers;
- durch Belüftung des Kriechkellers.

Eine stationäre Wärmebilanz der oben genannten Mechanismen liefert für die Mitteltemperatur des Kriechkellers folgende Gleichung:

$$\bar{\theta}_{\text{us}} = \frac{A U_{\text{f}} \bar{\theta}_{\text{i}} + \dot{V} c_{\text{p}} \rho \bar{\theta}_{\text{v}} + (A U_{\text{g}} + h P U_{\text{w}}) \bar{\theta}_{\text{e}}}{A U_{\text{f}} + \dot{V} c_{\text{p}} \rho + A U_{\text{g}} + h P U_{\text{w}}} \quad (\text{E.1})$$

Dabei ist

$\bar{\theta}_{\text{us}}$  das Jahresmittel der Temperatur im Kriechkeller, in °C;

$\bar{\theta}_{\text{i}}$  das Jahresmittel der Innentemperatur, in °C;

$\bar{\theta}_{\text{e}}$  das Jahresmittel der Außentemperatur, in °C;

$\bar{\theta}_{\text{v}}$  das Jahresmittel der Temperatur der Lüftungsluft, in °C;

$U_{\text{f}}$  der Wärmedurchgangskoeffizient des aufgeständerten Teils der Bodenplatte, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$U_{\text{g}}$  der Wärmedurchgangskoeffizient des Erdreichs, in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$U_{\text{w}}$  der Wärmedurchgangskoeffizient der Wände des Kriechkellers (oberhalb des Erdbodens), in  $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ;

$\dot{V}$  der Luftvolumenstrom, in  $\text{m}^3/\text{s}$ ;

$h$  die Höhe der aufgeständerten Bodenplatte oberhalb der Oberkante des Erdreichs, in m;

$c_{\text{p}}$  die spezifische Wärmekapazität von Luft bei konstantem Druck, in  $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ ;

$\rho$  die Dichte von Luft, in  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

$U_g$  sollte mit dem in 9.2 beschriebenen Verfahren ermittelt werden, wenn die Tiefe des Bodens des Kriechkellers unterhalb der Erdoberkante,  $z$ , einen Wert von 0,5 m nicht überschreitet. Ist  $z > 0,5$  m, können Verfahren analog zu den in 9.3 beschriebenen angewendet werden, so dass sich Folgendes ergibt:

$$U_g = U_{bf} + \frac{z P U_{bw}}{A} \quad (\text{E.2})$$

Wobei  $U_{bf}$  und  $U_{bw}$  nach 9.3 ermittelt werden.

Der Wärmedurchgangskoeffizient der Bodenplatte (zwischen Innenraum und Außenumgebung) ergibt sich nach Gleichung (E.3):

$$U = U_f \frac{A U_g + h P U_w + \dot{V} c_p \rho (\bar{\theta}_i - \bar{\theta}_v)}{A U_f + A U_g + h P U_w + \dot{V} c_p \rho} \quad (\text{E.3})$$

Die Gleichungen (E.2) und (E.3) können auch für unbeheizte Kellergeschosse angewendet werden.

## E.2 Luftvolumenstrom

Der Luftvolumenstrom  $\dot{V}$  (m<sup>3</sup>/s) ist für maschinell belüftete Bodenplatten festgelegt.

Für natürlich belüftete Bodenplatten gilt:

$$\dot{V} = 0,59 \cdot \varepsilon v f_w P \quad (\text{E.4})$$

Dabei ist

- $\varepsilon$  die auf den Umfang bezogene Fläche der Lüftungsöffnung, in m<sup>2</sup>/m;
- $v$  der Bemessungswert für die Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe, in m/s;
- $f_w$  der Windabschirmungsfaktor nach 9.2.

Für Berechnungen nach dieser Norm gilt:

- $c_p = 1\,000$  J/(kg · K) (bei 10 °C);
- $\rho = 1,23$  kg/m<sup>3</sup> (bei 10 °C und 100 kPa Druck).

## E.3 Natürliche Lüftung

In diesem Fall gilt  $\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_e$ ; die Umstellung von Gleichung (E.3) ergibt zusammen mit Gleichung (E.4) die Gleichungen nach 9.2.

#### E.4 Maschinelle Lüftung von innen

In diesem Fall gilt  $\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_i$ , und nach Gleichung (E.3) ergibt sich:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1 + \dot{V} c_p \rho l A U_f}{U_g + 2 h U_w l B'} \quad (\text{E.5})$$

#### E.5 Maschinelle Lüftung von außen

In diesem Fall gilt  $\bar{\theta}_v = \bar{\theta}_e$ , und aus Gleichung (E.3) ergibt sich:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + 2 h U_w l B' + \dot{V} c_p \rho l A} \quad (\text{E.6})$$

#### E.6 Unbelüfteter Kriechkeller

In diesem Fall gilt  $\dot{V} = 0$ , und aus Gleichung (E.3) ergibt sich:

$$\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + 2 h U_w l B'} \quad (\text{E.7})$$

#### E.7 Unbeheizte Kellerräume

Es gilt Gleichung (E.6) mit  $\dot{V} c_p \rho = 0,34 \cdot n V$ .

## Anhang F (informativ)

### Harmonische thermische Leitwerte

#### F.1 Allgemeines

Dieser Anhang enthält Gleichungen für die in Anhang A definierten harmonischen thermischen Leitwerte  $H_{pi}$  und  $H_{pe}$ . Die Gleichungen für  $H_{pi}$  können für Bodenplatten angewendet werden, deren Konstruktion über die gesamte Bodenplattenfläche gleich ist. Die Gleichungen für  $H_{pe}$  stellen Näherungen für idealisierte Verbindungsstellen zwischen Wand und Bodenplatte dar. Sie sind für ungedämmte Bodenplatten und solche gedämmten Bodenplatten geeignet, bei denen an den Rändern der Bodenplatte vernachlässigbare Wärmebrücken entstehen. Für weitere Fälle können die Werte mit Hilfe von numerischen Verfahren ermittelt werden (siehe ISO 10211).

#### F.2 Periodische Eindringtiefe

Die periodischen Wärmeübertragungskoeffizienten beziehen sich auf die periodische Eindringtiefe  $\delta$ , dies ist die Tiefe im Erdreich, bei der (bei eindimensionalem Wärmestrom) die Temperaturamplitude auf  $1/e$  der Temperatur verringert wird, die an der Oberfläche herrscht, wobei  $e$  die Basis des natürlichen Logarithmus ist ( $e = 2,718$ ). Bei einem Jahrestemperaturgang ergibt sich  $\delta$  nach:

$$\delta = \sqrt{\frac{3,15 \times 10^7 \lambda}{\pi \rho c}} \quad (\text{F.1})$$

ANMERKUNG  $3,15 \times 10^7$  ist die Anzahl der Sekunden eines Jahres.

In Tabelle F.1 sind Näherungswerte für  $\delta$  angegeben, die für Berechnungen nach dieser Norm angewendet werden dürfen.

Tabelle F.1 — Periodische Eindringtiefe

Kategorie	Beschreibung	$\delta$ m
1	Ton oder Schluff	2,2
2	Sand oder Kies	3,2
3	Homogener Felsen	4,2

#### F.3 Phasenverschiebungen

Die folgenden Gleichungen liefern Näherungswerte für die Phasenverschiebungen bei erdberührten Bodenplatten:

$$\alpha = 1,5 - \frac{12}{2\pi} \arctan \left( \frac{d_t}{d_t + \delta} \right) \quad (\text{F.2})$$

$$\beta = 1,5 - 0,42 \ln \left( \frac{\delta}{d_t + 1} \right) \quad (\text{F.3})$$

Die Randdämmung einer erdberührten Bodenplatte kann den Zeitrückstand, verglichen mit der Schwankung der Außentemperatur, deutlich erhöhen, insbesondere wenn sie senkrecht oder außen am Gebäude angebracht ist.

Bei aufgeständerten Bodenplatten sind die Rückstände geringer, da der Lüftungswärmestrom keinen Zeitrückstand hat.

Bei Kellergeschossen mit einer Tiefe, die mit  $\delta$  vergleichbar ist oder darüber liegt, gelten die Gleichungen (F.2) und (F.3), wobei  $d_t$  durch  $d_w$  ersetzt wird.

Das Ergebnis der Energieberechnungen wird durch den genauen Wert des zeitlichen Voraus-/Nacheilens von Wärmestrom und Temperaturschwankungen nicht wesentlich beeinträchtigt. In Tabelle F.2 sind Richtwerte für die Phasenverschiebungen auf einen Monat gerundet angegeben. Diese sind für die meisten Berechnungszwecke geeignet; in der Praxis treten nur geringfügige Fehler auf, wenn das zeitliche Voraus-/Nacheilen vernachlässigt wird (für Temperaturen und Wärmestrom wird Phasengleichheit angenommen).

**Tabelle F.2 — Phasenverschiebungen (in Monaten)**

Bodenplattenart	$\alpha$	$\beta$
Bodenplatte auf Erdreich, ohne Randdämmung	0	1
Bodenplatte auf Erdreich, mit raumseitiger senkrechter Randdämmung	0	1
Bodenplatte auf Erdreich, mit senkrechter oder außen liegender Randdämmung	0	2
aufgeständerte Bodenplatte	0	0
Keller (beheizt oder unbeheizt)	0	1

## F.4 Bodenplatte auf Erdreich: ungedämmt oder mit vollflächiger Dämmung

### F.4.1 Schwankung der Innentemperatur

Der periodische Wärmeübertragungskoeffizient infolge von Schwankungen der Innentemperatur über einen Jahresgang ist:

$$H_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta / d_t)^2 + 1}} \quad (\text{F.4})$$

### F.4.2 Schwankung der Außentemperatur

Der periodische Wärmeübertragungskoeffizient infolge von Schwankungen der Außentemperatur über einen Jahresgang ist:

$$H_{pe} = 0,37 P \lambda \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \quad (\text{F.5})$$



## F.5 Bodenplatte auf Erdreich mit Randdämmung

### F.5.1 Schwankung der Innentemperatur

Die Randdämmung ist zu vernachlässigen und  $H_{pi}$  nach Gleichung (F.4) zu berechnen.

### F.5.2 Schwankung der Außentemperatur

$H_{pe}$  setzt sich aus zwei Ausdrücken zusammen, von denen einer auf den Rand und der andere auf die Mitte der Bodenplatte bezogen ist.

Bei Bodenplatten mit eingebauter waagrechtter Randdämmung gilt:

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \cdot \lambda \left[ \left(1 - e^{-D/\delta}\right) \ln \left( \frac{\delta}{d_t + d'} + 1 \right) + e^{-D/\delta} \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \right] \quad (F.6)$$

Dabei ist

$D$  die Breite der waagrechtten Randdämmung, in m;

$d_t$  entsprechend 9.1;

$d'$  entsprechend Anhang B.

Bei Bodenplatten mit eingebauter senkrechter Randdämmung gilt:

$$H_{pe} = 0,37 P \lambda \left[ \left(1 - e^{-2D/\delta}\right) \ln \left( \frac{\delta}{d_t + d'} + 1 \right) + e^{-2D/\delta} \ln \left( \frac{\delta}{d_t} + 1 \right) \right] \quad (F.7)$$

Dabei ist

$D$  die Tiefe der senkrechten Randdämmung (oder des Grundes) unterhalb der Erdreichoberfläche (in m).

Weist das Gründungsdetail mehr als eine Randdämmungsvariante auf (waagrecht oder senkrecht, innen oder außen), ist  $H_{pe}$  mit den oben genannten Verfahren für jede Randdämmung getrennt zu berechnen und davon der niedrigste Wert zu wählen.

## F.6 Aufgeständerte Bodenplatte

### F.6.1 Allgemeines

Bei der Berechnung der periodischen Koeffizienten sind  $U_f$ ,  $U_x$  und  $d_g$  nach 9.2 anzuwenden.

### F.6.2 Schwankung der Innentemperatur

$$H_{pi} = A \left[ \frac{1}{U_f} + \frac{1}{\lambda \delta + U_x} \right]^{-1} \quad (F.8)$$

### F.6.3 Schwankung der Außentemperatur

$$H_{pe} = U_f \frac{0,37 \cdot P \lambda \ln(\delta / d_g + 1) + U_x A}{\lambda / \delta + U_x + U_f} \quad (F.9)$$

## F.7 Beheiztes Kellergeschoss

### F.7.1 Schwankung der Innentemperatur

Der periodische Wärmeübertragungskoeffizient infolge von Schwankungen der Innentemperatur über einen Jahresgang setzt sich aus zwei Ausdrücken zusammen, von denen einer auf die Wände und der andere auf die Bodenplatte des Kellergeschosses bezogen ist:

$$H_{pi} = A \frac{\lambda}{d_t} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta / d_t)^2 + 1}} + z P \frac{\lambda}{d_w} \sqrt{\frac{2}{(1 + \delta / d_w)^2 + 1}} \quad (F.10)$$

### F.7.2 Schwankung der Außentemperatur

Der periodische Wärmeübertragungskoeffizient infolge von Schwankungen der Außentemperatur über einen Jahresgang setzt sich aus zwei Ausdrücken zusammen, von denen einer auf die Bodenplatte des Kellergeschosses und der andere auf die Wände bezogen ist:

$$H_{pe} = 0,37 \cdot P \lambda \left[ e^{-z/\delta} \ln\left(\frac{\delta}{d_t} + 1\right) + 2 \left(1 - e^{-z/\delta}\right) \ln\left(\frac{\delta}{d_w} + 1\right) \right] \quad (F.11)$$

## F.8 Unbeheiztes Kellergeschoss

### F.8.1 Schwankung der Innentemperatur

$$H_{pi} = \left[ \frac{1}{A U_f} + \frac{1}{(A + z P) \lambda / \delta + h P U_w + 0,33 \cdot n V} \right]^{-1} \quad (F.12)$$

### F.8.2 Schwankung der Außentemperatur

$$H_{pe} = A U_f \frac{0,37 \cdot P \lambda \left(2 - e^{-z/\delta}\right) \ln(\delta / d_t + 1) + h P U_w + 0,33 \cdot n V}{(A + z P) \lambda / \delta + h P U_w + 0,33 \cdot n V + A U_f} \quad (F.13)$$

## Anhang G (informativ)

### Wärmetechnische Eigenschaften des Erdreichs

Die wärmetechnischen Eigenschaften des Erdreichs sind von verschiedenen Faktoren abhängig, z. B. Dichte, Grad der Wassersättigung, Teilchengröße, Art der Mineralien, aus denen die Teilchen bestehen, Aussage, ob sich das Erdreich im gefrorenen oder ungefrorenen Zustand befindet. Daher weichen die wärmetechnischen Eigenschaften zwischen unterschiedlichen Orten sowie am selben Ort in unterschiedlichen Tiefen beträchtlich voneinander ab, und infolge von Veränderungen des Feuchtegehaltes oder durch Frost-Tau-Wirkungen sind sie außerdem zeitlich veränderlich.

Die in den Wärmeübertragungsberechnungen angewendeten Eigenschaftswerte des Erdreichs, einschließlich der Messwerte, sollten für das Erdreich in der Nähe des Gebäudes und für die Zeitspanne, auf die sich die Berechnung bezieht (z. B. die Heizperiode), repräsentativ sein.

Tabelle G.1 gibt die Wärmeleitfähigkeitsbereiche für verschiedene Arten von ungefrorenem Erdreich und die in 5.1 festgelegten repräsentativen Werte an.

**Tabelle G.1 — Wärmeleitfähigkeit des Erdreichs**

Art des Erdreichs	Trockenroh- dichte $\rho$ kg/m <sup>3</sup>	Massebezogener Feuchtegehalt $u$ kg/kg	Sättigungs- grad %	Wärmeleit- fähigkeit $\lambda$ W/(m · K)	Repräsentative Werte für $\lambda$ W/(m · K)
Schluff	1 400 bis 1 800	0,10 bis 0,30	70 bis 100	1,0 bis 2,0	1,5
Ton	1 200 bis 1 600	0,20 bis 0,40	80 bis 100	0,9 bis 1,4	1,5
Torf	400 bis 1 100	0,05 bis 2,00	0 bis 100	0,2 bis 0,5	—
Trockener Sand	1 700 bis 2 000	0,04 bis 0,12	20 bis 60	1,1 bis 2,2	2,0
Nasser Sand	1 700 bis 2 100	0,10 bis 0,18	85 bis 100	1,5 bis 2,7	2,0
Felsen	2 000 bis 3 000	<sup>a</sup>	<sup>a</sup>	2,5 bis 4,5	3,5

<sup>a</sup> Üblicherweise sehr gering (massebezogener Feuchtegehalt < 0,03), mit Ausnahme von porösem Gestein.

Die volumenbezogene Wärmekapazität,  $\rho \cdot c$ , kann nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$\rho \cdot c = \rho (c_s + c_w u) \quad (\text{G.1})$$

Dabei ist

$c$  die spezifische Wärmekapazität des Erdreichs, in J/(kg · K);

$\rho$  die Trockendichte, in kg/m<sup>3</sup>;

$c_s$  die spezifische Wärmekapazität der Mineralien, in J/(kg · K);

$c_w$  die spezifische Wärmekapazität von Wasser, in J/(kg · K);

$u$  der massebezogene Feuchtegehalt, in kg/kg, bezogen auf das trockene Produkt.

Für die meisten Mineralien ist bei 10 °C  $c_s \approx 1\,000 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$  und  $c_w = 4\,180 \text{ J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$ .

Die in 5.1 festgelegten repräsentativen Werte für  $\rho \cdot c$  werden wie folgt aus Gleichung (G.1) erzielt (auf eine wertanzeigende Stelle gerundet):

Ton/Schluff:  $\rho \cdot c = 1\,600 \times (1\,000 + 4\,180 \times 0,20) = 2,94 \times 10^6 \quad \rightarrow 3 \times 10^6$

Sand:  $\rho \cdot c = 1\,800 \times (1\,000 + 4\,180 \times 0,05) = 2,18 \times 10^6 \quad \rightarrow 2 \times 10^6$

Felsen:  $\rho \cdot c = 2\,500 \times 800 = 2,00 \times 10^6 \quad \rightarrow 2 \times 10^6$

## Anhang H (informativ)

### Einfluss von fließendem Grundwasser

Die Auswirkung von fließendem Grundwasser kann durch Multiplizieren der stationären Wärmeübertragung mit einem Faktor  $G_W$  bewertet werden. Zur Bestimmung des Faktors müssen die Tiefe des Grundwasserspiegels und die Fließgeschwindigkeit des Grundwassers bekannt sein. Bei erdberührten Bodenplatten und Kellergeschossen wird  $G_W$  mit dem stationären Wärmeübertragungskoeffizienten  $H_g$  multipliziert. Bei aufgeständerten Bodenplatten wird  $G_W$  mit dem Wärmedurchgangskoeffizienten des Erdreichs  $U_g$  multipliziert. Der Faktor sollte nicht auf die harmonischen thermischen Leitwerte  $H_{pi}$  und  $H_{pe}$  angewendet werden.

Werte für  $G_W$  sind in Tabelle H.1 in Abhängigkeit von den dimensionslosen Quotienten  $\frac{z_w}{B'}$ ,  $\frac{l_c}{B'}$  und  $\frac{d_t}{B'}$  angegeben.

Dabei ist

$z_w$  die Tiefe des Grundwasserspiegels unterhalb der Erdoberfläche, in m;

$l_c$  die rechnerische Länge, in m, die den Wärmestrom durch Wärmeleitung mit dem Wärmestrom durch das Grundwasser miteinander in Verbindung setzt.

Die Länge  $l_c$  ergibt sich nach:

$$l_c = \frac{\lambda}{\rho_w c_w q_w} \quad (\text{H.1})$$

Dabei ist

$q_w$  die mittlere Driftgeschwindigkeit des Grundwassers, in m/s;

$\rho_w$  die Dichte von Wasser, in kg/m<sup>3</sup>;

$c_w$  die spezifische Wärmekapazität von Wasser, in J/(kg · K).

ANMERKUNG 1 Bei 10 °C ist  $\rho_w c_w = 4,18 \times 10^6$  in J/(m<sup>3</sup> · K).

ANMERKUNG 2 Ist  $l_c \gg B'$ , so überwiegt der Wärmestrom durch Wärmeleitung, und ist  $l_c \ll B'$ , so überwiegt der Wärmestrom durch das Grundwasser.

Tabelle H.1 — Werte für  $G_w$

$z_w/B'$	$l_c/B'$	$G_w$		
		$d_t/B' = 0,1$	$d_t/B' = 0,5$	$d_t/B' = 1,0$
0,0	1,0	1,01	1,01	1,00
0,0	0,2	1,16	1,11	1,07
0,0	0,1	1,33	1,20	1,13
0,0	0,0	—	1,74	1,39
0,5	1,0	1,00	1,00	1,00
0,5	0,1	1,06	1,04	1,02
0,5	0,02	1,11	1,07	1,05
0,5	0,0	1,20	1,12	1,08
1,0	0,1	1,05	1,03	1,02
2,0	0,0	1,02	1,01	1,00

## Anhang I (informativ)

### Erdberührte Bodenplatte mit eingebettetem Heizungssystem

Der Wärmestrom von einer Bodenplatte mit eingebettetem Heiz- oder Kühlsystem, dessen Wärmeabgabe gleichmäßig verteilt erfolgt, kann nach den Verfahren dieser Internationalen Norm berechnet werden, wenn folgende Abänderungen vorgenommen werden:

- Die Innentemperatur  $\theta_i$  ist durch die Mitteltemperatur in der Heizkörperebene  $\theta_h$  zu ersetzen;
- in die Berechnung von  $d_t$  dürfen nur der eventuell vorhandene Wärmedurchlasswiderstand unterhalb des Heizelements, die Wanddicke und der äußere Wärmeübergangswiderstand einfließen.

Die Mitteltemperatur in der Heizkörper-/Kühlebene ist üblicherweise nicht bekannt, da die Regelung entsprechend der Raumtemperatur erfolgt und das System mit Unterbrechungen betrieben werden kann (Nachtabenkung oder Nachtabstaltung). In diesem Fall kann die Mitteltemperatur der Bodenplattenoberfläche nach einem der folgenden Verfahren abgeschätzt werden:

- a) Ist der mittlere Wärmestrom (oder eines Ausschnittes) der Bodenplattenheizung,  $\Phi_h$ , bekannt, ist zuerst unter Anwendung der Raumtemperatur als Innentemperatur der Wärmestrom durch die Bodenplatte zu berechnen und mit  $\Phi_1$  zu bezeichnen. Anschließend ist die mittlere Temperatur in der Heizkörperebene,  $\theta_h$ , nach folgender Gleichung zu berechnen:

$$\theta_h = \theta_i + R_i \frac{(\Phi_h - \Phi_1)}{A} \quad (I.1)$$

Dabei ist

$\theta_i$  die mittlere Raumtemperatur, in °C;

$R_i$  der Wärmedurchlasswiderstand zwischen Innenraum und Heizkörperebene, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ ;

$A$  die Bodenplattenfläche, in  $\text{m}^2$ .

- b) Wenn der mittlere Wärmestrom (oder eines Ausschnittes) der Bodenplattenheizung nicht bekannt ist, ist eine Wärmebilanz des Raumes (unter Vernachlässigung der Wärmeverluste an das Erdreich) aufzustellen, dessen Ergebnis ein Nettwärmebedarf  $\Phi_2$  ist. Die mittlere Temperatur in der Heizkörperebene ergibt sich nach:

$$\theta_h = \theta_i + \frac{R_i \cdot \Phi_2}{A} \quad (I.2)$$

## Anhang J (informativ)

### Kühlräume

**J.1** Kühlräume sind Kühlgebäude, in denen eine Innentemperatur unterhalb von 0 °C aufrechterhalten wird.

Es ist erforderlich, das Erdreich unterhalb des Kühlraumes vor Frosthebungen zu schützen. Aus diesem Grund wird die Bodenplatte des Kühlraumes gedämmt und unterhalb der Dämmung eine Heizung angebracht, um sicherzustellen, dass die Temperatur des Erdreichs über 0 °C bleibt (die gebräuchliche Bemessungstemperatur beträgt 5 °C). Das Verfahren in diesem Anhang kann auch für weitere analoge Gegebenheiten, z. B. Eislaufenanlagen, angewendet werden.

**J.2** Für die Anwendung dieser Norm werden die Berechnungen unter Annahme einer konstanten Temperatur auf der Oberfläche des Erdreichs durchgeführt. (Im Sommer kann die Temperatur des Erdreichs die Bemessungstemperatur überschreiten; die Auswirkung ist jedoch minimal.)

Berechnungen können für Folgendes erforderlich sein:

- die Bemessung der Heizelemente zum Schutz vor Frost;
- die Bemessung der Kühlanlage;
- den Jahresenergieverbrauch.

**J.3** Die maßgebliche Wärmeübertragung erfolgt

- a) von den Heizkörpern an die Außenumgebung (über das Erdreich);
- b) von den Heizkörpern an den Kühlraum.

**J.4** Der Wärmestrom über das Erdreich kann nach den Verfahren dieser Norm berechnet werden, wobei folgende Veränderungen vorzunehmen sind:

- a) Die Innentemperatur  $\theta_i$  ist durch die Bemessungstemperatur der Erdreichoberfläche zu ersetzen (z. B. 5 °C);
- b) in die Berechnung von  $d_t$  dürfen nur der eventuell vorhandene Wärmedurchlasswiderstand unterhalb des Heizkörpers, die Wanddicke und der äußere Wärmeübergangswiderstand einfließen.

**J.5** Der Wärmestrom von den Heizelementen zum Kühlraum ergibt sich nach:

$$\Phi_f = A(\theta_g - \theta_i) / (R_{si} - R_i) \quad (\text{J.1})$$

Dabei ist

- $\Phi_f$  der Wärmestrom, in W;
- $\theta_i$  der Bemessungswert der Innentemperatur des Kühlraumes, in °C;
- $\theta_g$  der Bemessungswert der Temperatur an der Erdreichoberfläche, in °C;
- $R_i$  der Wärmedurchlasswiderstand sämtlicher Bodenplattenschichten zwischen Heizkörper und raumseitiger Bodenplattenfläche, in  $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$ .



## Anhang K (informativ)

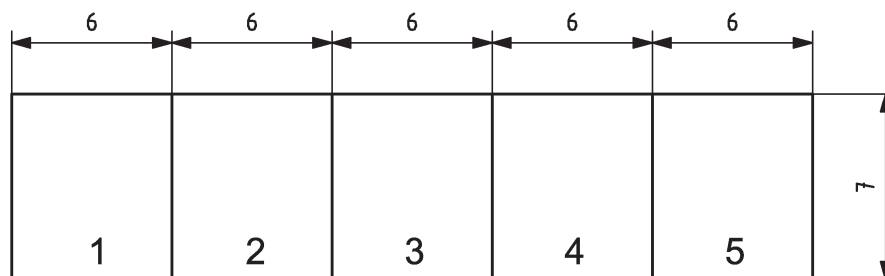
### Praktische Beispiele

#### K.1 Beispiel 1: Bodenplatte auf Erdreich, rechteckige Bodenplatte

##### K.1.1 Definition

Bild K.1 zeigt eine Häuserzeile aus fünf zusammenhängenden Reihenhäusern, von 1 bis 5 benummert, mit einer erdberührten Bodenplatte auf Tonboden; die Bodenplattenmaße sind angegeben; die Bodenplatte ist ungedämmt; die Wanddicke beträgt 0,3 m.

Maße in Millimeter



##### Legende

1, 2, 3, 4, 5 Hausnummer

Bild K.1 — Häuserzeile

Zu berechnen ist der stationäre Wärmeübertragungskoeffizient  $H_g$ :

- für das Gesamtgebäude (alle 5 Häuser zusammen);
- für jedes der 5 Häuser einzeln;
- die Ergebnisse sind zu addieren und dann zu vergleichen.

##### K.1.2 Gesamtgebäude

$$P = 30 + 7 + 30 + 7 = 74 \text{ m und } A = 7 \times 30 = 210 \text{ m}^2$$

$$B' = \frac{210}{0,5 \times 74} = 5,676 \text{ m}$$

Für Tonboden ist  $\lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$ .

$$d_t = 0,3 + 1,5 (0,17 + 0 + 0,04) = 0,615 \text{ m}$$

$d_t < B'$ , folglich gilt:

$$U = \frac{2 \times 1,5}{3,142 \times 5,676 + 0,615} \ln \left( \frac{3,142 \times 5,676}{0,615} + 1 \right)$$

$$= 0,1626 \times \ln(30,00) = 0,553 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

$$H_g = 0,553 \times 210 = 116,1 \text{ W/K}$$

### **K.1.3 Häuser 1 und 5**

$P$  berücksichtigt nicht die Gebäudetrennwände, wie in 8.1 beschrieben.

$$P = 6 + 7 + 6 = 19 \text{ m und } A = 42 \text{ m}^2, \text{ folglich ist } B' = 4,421 \text{ m}$$

$$d_t = 0,615 \text{ m, wie oben}$$

Daraus ergeben sich folgende Werte:

$$U = 0,654 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \text{ und } H_g = 27,4 \text{ W/K}$$

### **K.1.4 Häuser 2,3 und 4**

$$P = 6 + 6 = 12 \text{ m und } A = 42 \text{ m}^2, \text{ folglich ist } B' = 7,0 \text{ m}$$

$$d_t = 0,615 \text{ m, wie oben}$$

Daraus ergeben sich folgende Werte:

$$U = 0,478 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \text{ und } H_g = 20,1 \text{ W/K}$$

### **K.1.5 Vergleich des Gesamtgebäudes mit der Summe der einzelnen Häuser**

Die Addition von  $H_g$  für die einzelnen Häuser ergibt:

$$2 \times 27,4 + 3 \times 20,1 = 115,1 \text{ W/K}$$

Dieser Wert weicht geringfügig vom Wert 116,1 W/K ab, der bei der Beurteilung für das Gesamtgebäude erhalten wird. Diese Abweichung von weniger als 1 % ist für die Größenordnung des Fehlers typisch, der sich ergibt, wenn das Verfahren nicht auf das Gesamtgebäude, sondern auf die Teile des Gebäudes bezogen wird.

## **K.2 Beispiel 2: Bodenplatte auf Erdreich: Gebäude mit L-förmiger Grundfläche, verschiedene Dämmmöglichkeiten**

### **K.2.1 Definition**

Bild L.2 zeigt ein Wohngebäude mit einer L-förmigen Grundfläche mit  $w = 0,3 \text{ m}$ . Die Bodenkategorie beträgt 2, folglich ist:

$$\lambda = 2,0 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$P = 10 + 6 + 6 + 3 + 4 + 9 = 38 \text{ m}$$

Der Flächeninhalt lässt sich leicht aus der Summe der Flächeninhalte zweier Rechtecke ermitteln:

$$A = (10 \times 6) + (3 \times 4) = 72 \text{ m}^2$$

$$B' = 72/19 = 3,789 \text{ m}$$

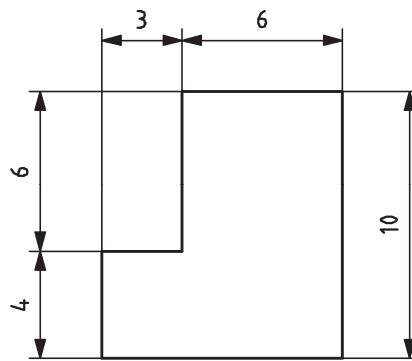


Bild K.2 — L-förmiges Gebäude

### K.2.2 Keine Dämmung der Bodenplatte (Wärmedurchlasswiderstand der Platte vernachlässigt)

$$d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0 + 0,04) = 0,72 \text{ m}$$

$$U = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 3,789 + 0,72} \ln \left( \frac{3,142 \times 3,789}{0,72} + 1 \right)$$

$$= 0,91 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### K.2.3 Grund aus Baustoffen mit geringer Dichte

Der Grund ist 300 mm dick und 600 mm tief und weist eine Wärmeleitfähigkeit von 0,25 W/(m · K) auf. Dieser Zustand wird mit dem Verfahren für senkrechte Randdämmung nachgewiesen.

Für die Gründungen gilt:

$$R' = \frac{0,3}{0,25} - \frac{0,3}{2,0} = 1,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W;}$$

$$d' = R' \times \lambda = 1,05 \times 2,0 = 2,1 \text{ m}$$

$$D = 0,6 \text{ m}$$

$$\psi_g = -\frac{2,0}{3,142} [\ln(2,667) - \ln(1,426)] = -0,400 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

$$U = 0,91 - 2 \times 0,400/3,789 = 0,70 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### K.2.4 Vollflächige Dämmschicht

Die Bodenplattenkonstruktion enthält 25 mm Dämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/(m · K).

$$R_f = 0,025/0,04 = 0,625 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0,625 + 0,04) = 1,97 \text{ m}$$

$$U = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 3,789 + 1,97} \ln \left( \frac{3,142 \times 3,789}{1,97} + 1 \right)$$

$$= 0,56 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### K.2.5 Dämmung mit hohem Wärmedurchlasswiderstand

Die Bodenplattenkonstruktion enthält 100 mm Dämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,04 W/(m · K).

$$R_f = 0,1/0,04 = 2,5 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 2,5 + 0,04) = 5,72 \text{ m}$$

$$U = \frac{2,0}{0,457 \times 3,789 + 5,72} = 0,27 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### K.2.6 Vorhergehendes Beispiel mit Randdämmung (vorwiegend als Frostschutz vorgesehen)

Zusätzlich zur vollflächigen Dämmung nach K.2.5 werden die Gründungen durch eine senkrechte Randdämmung bis zu einer Tiefe von 500 mm gegen die innere Oberfläche der Gründungen geschützt, wobei sich diese Dämmung unterhalb der Gründungen fortsetzt, um eine Dämmung gegen das Erdreich auszubilden, die 600 mm über das Gebäude hinausreicht (siehe Bild K.3). Sowohl die senkrechte Dämmung als auch die Dämmung gegen das Erdreich weisen eine Dicke von 75 mm und eine Bemessungswärmeleitfähigkeit von 0,05 W/(m · K) auf, was einen Wärmedurchlasswiderstand von 1,5 m<sup>2</sup> · K/W ergibt. An den Ecken ist eine zusätzliche Dämmung als Frostschutz vorgesehen, die jedoch bei der Wärmeverlustrechnung vernachlässigt wird.

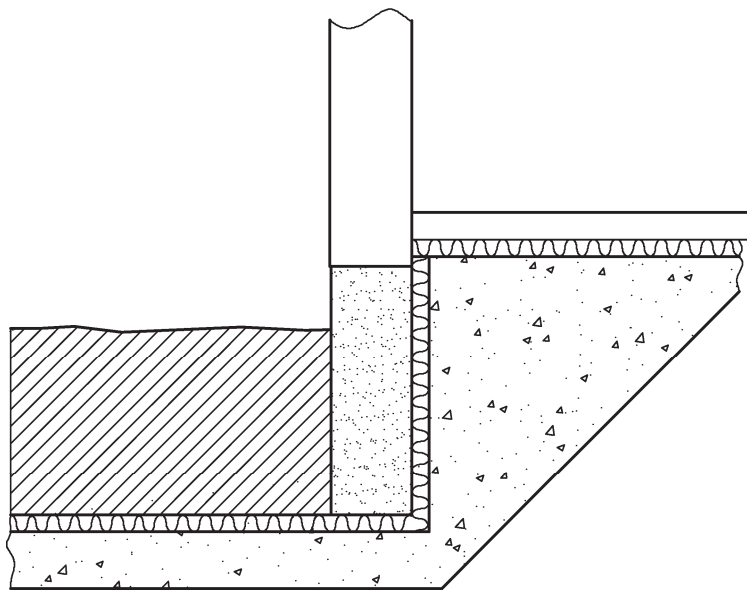


Bild K.3 — Randdämmung für Frostschutz

Nach Anhang B wird der Korrekturwert für den Rand  $\psi_g$  zuerst für die senkrechte Randdämmung und anschließend für die Dämmung gegen das Erdreich berechnet, um zu bestimmen, welcher Wert die größere Abnahme der Wärmeverluste ergibt.

Der zusätzliche Wärmedurchlasswiderstand für die Randdämmung beträgt:

$$R' = 1,5 - 0,075/2,0 = 1,46 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

so dass sich für die zusätzliche wirksame Dicke folgender Wert ergibt:

$$d' = 1,46 \times 2,0 = 2,92 \text{ m}$$

Für die senkrechte Dämmung gilt:

$$\begin{aligned} \psi_g &= -\frac{2,0}{3,142} \left[ \ln\left(\frac{2 \times 0,5}{5,72} + 1\right) - \ln\left(\frac{2 \times 0,5}{5,72 + 2,92} + 1\right) \right] \\ &= -0,033 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \end{aligned}$$

Für die Dämmung gegen das Erdreich gilt:

$$\begin{aligned} \psi_g &= -\frac{2,0}{3,142} \left[ \ln\left(\frac{0,6}{5,72} + 1\right) - \ln\left(\frac{0,6}{5,72 + 2,92} + 1\right) \right] \\ &= -0,021 \text{ W/(m} \cdot \text{K)} \end{aligned}$$

Die größere Auswirkung verursacht  $\psi_g$  für die senkrechte Dämmung; folglich gilt:

$$U = 0,27 - 2 \times 0,033/3,789 = 0,25 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

### K.2.7 Wärmebrücke am Bodenplattenrand

Bodenplattendämmung wie in K.2.5, jedoch unterhalb der Bodenplatte, so dass eine Wärmebrücke über den Bodenplattenrand vorhanden ist (siehe Bild K.4). Zur Ermittlung des längenbezogenen Wärmedurchgangskoeffizienten wird eine zweidimensionale numerische Berechnung durchgeführt.

Wie in K.2.5 ist:

$$U_o = 0,27 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}$$

Die numerische Berechnung nach ISO 10211 ergab:

$$\psi_g = +0,07 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}$$

Die Wärmeverlustrate je Grad zur Berücksichtigung der Wärmebrücke beträgt folglich:

$$H_g = 0,27 \times 72 + 0,07 \times 38 = 22,1 \text{ W/K.}$$

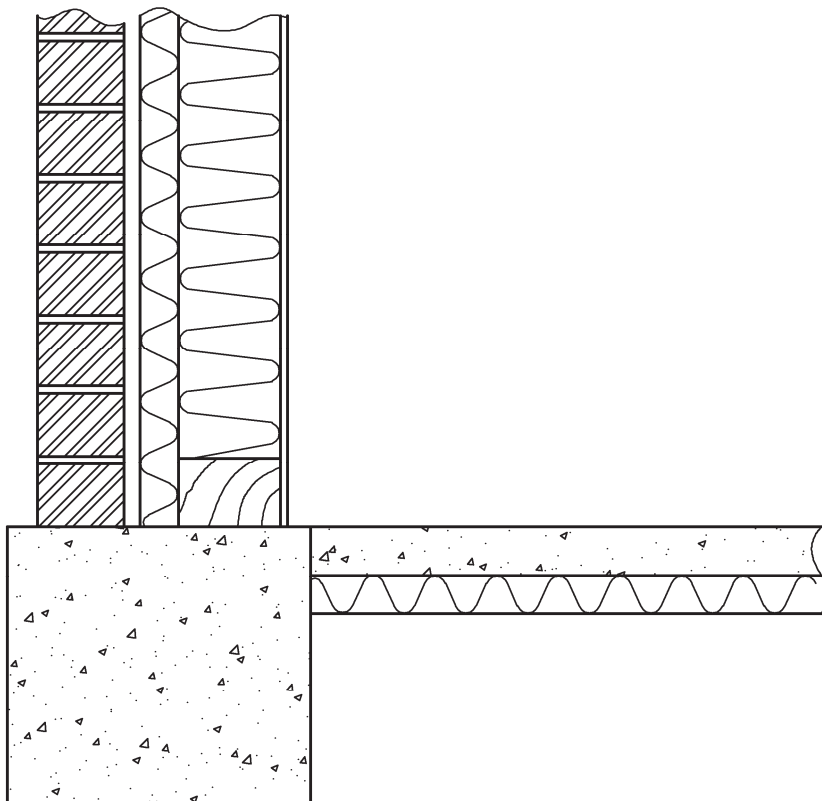


Bild K.4 — Wärmebrücke am Bodenplattenrand

### K.3 Beispiel 3: Aufgeständerte Bodenplatte

#### K.3.1 Definition

Bild K.5 zeigt eine aufgeständerte Bodenplatte mit rechteckiger Grundfläche und den Maßen 10,5 m × 7,2 m. Bei dieser Lage ist mittlere Exposition gegeben, die Bemessungswindgeschwindigkeit beträgt 4,0 m/s, die Lüftungsöffnungen in der Wand des Kriechkellers betragen 0,002 m<sup>2</sup>/m, die Höhe der Bodenplatte über der Erdoberfläche ist 0,3 m, die Wanddicke beträgt 0,3 m, und die Bodenkategorie ist 1.

Dimension in Meter

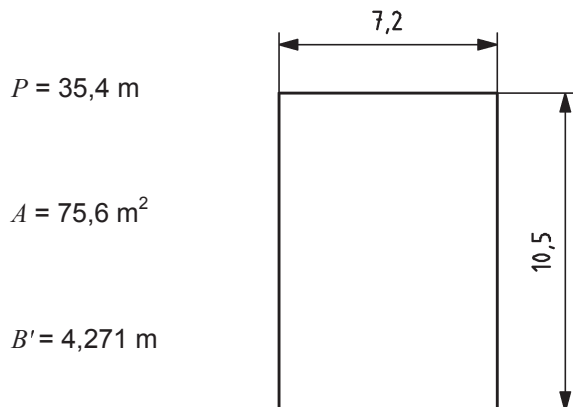


Bild K.5 — Maße der aufgeständerten Bodenplatte

### K.3.2 Ungedämmte aufgeständerte Bodenplatte

Die aufgeständerte Bodenplatte ist ungedämmt ( $U_f = 2,0 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ); die Wände des Kriechkellers sind ebenfalls ungedämmt ( $U_w = 1,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ ).

$U_g$  wird unter Verwendung der wirksamen Gesamtdicke für den Boden des Kriechkellers (ungedämmt:  $R_g = 0$ ) berechnet:

$$d_g = 0,3 + 1,5 (0,17 + 0 + 0,04) = 0,615 \text{ m}$$

$$U_g = \frac{2 \times 1,5}{3,142 \times 4,271 + 0,615} \ln \left( \frac{3,142 \times 4,271}{0,615} + 1 \right) = 0,668 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_x = \frac{2 \times 0,3 \times 1,7}{4,271} + \frac{1\,450 \times 0,002 \times 4,0 \times 0,05}{4,271}$$

$$= 0,375 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

Folglich ist:

$$U = \frac{1}{1/2,0 + 1/(0,668 + 0,373)} = 0,69 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### K.3.3 Dämmung der Wände des Kriechkellers

Wände des Kriechkellers so gedämmt, dass

$U_w = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ist.

$$U_x = \frac{2 \times 0,3 \times 0,5}{4,271} + 0,136 = 0,206 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U = \frac{1}{1/2,0 + 1/(0,668 + 0,206)} = 0,61 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### K.3.4 Dämmung der aufgeständerten Bodenplatte

Aufgeständerte Bodenplatte so gedämmt,

dass  $U_f = 0,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$  ist.

$U_x = 0,375$ , wie in K.3.2

$$U = \frac{1}{1/0,5 + 1/(0,668 + 0,375)} = 0,34 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

## K.4 Beispiel 4: Beheiztes Kellergeschoss

Das Kellergeschoss hat eine Grundfläche von  $10 \text{ m} \times 7,5 \text{ m}$  und eine Tiefe von  $2,5 \text{ m}$  unterhalb der Erdreichoberkante. Die Bodenkategorie ist 2. Die Wanddicke in Höhe der Erdreichoberkante beträgt  $0,3 \text{ m}$ .

Die Keller-Bodenplatte ist ungedämmt. Die Kellergeschosswände bestehen aus 300 mm Mauerwerk (Wärmeleitfähigkeit 1,7 W/(m · K)) und 50 mm Dämmung mit einer Wärmeleitfähigkeit von 0,035 W/(m · K).

$$P = 35 \text{ m}; A = 75 \text{ m}^2; B' = 4,286 \text{ m}; z = 2,5 \text{ m}$$

$$R_f = 0 \text{ und } R_w = 0,05/0,035 + 0,3/1,7 = 1,605 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$d_t = 0,3 + 2,0 (0,17 + 0 + 0,04) = 0,72 \text{ m}$$

$$d_w = 2,0 (0,13 + 1,605 + 0,04) = 3,550 \text{ m}$$

$$d_t + 0,5 z = 0,66 + 1,25 = 1,91$$

Dieser Wert ist kleiner als  $B'$ , folglich ist:

$$U_{bf} = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 4,286 + 0,72 + 1,25} \ln \left( \frac{3,142 \times 4,286}{0,72 + 1,25} + 1 \right)$$

$$= 0,533 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$U_{bw} = \frac{2 \times 2,0}{3,142 \times 2,5} \left( 1 + \frac{0,5 \times 0,72}{0,72 + 2,5} \right) \ln \left( \frac{2,5}{0,3550} + 1 \right) = 0,302 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

$$H_g = A U_{bf} + z P U_{bw} = 75 \times 0,533 + 2,5 \times 35 \times 0,302$$

$$= 66,4 \text{ W/K}$$

$$U' = 66,4 / (75 + 2,5 \times 35) = 0,41 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

### K.5 Beispiel 5: Monatlicher Wärmestrom

Haus 1 aus Beispiel 1, Dämmung mit einem Wärmedurchlasswiderstand von 1,25 m<sup>2</sup> · K/W über die gesamte Bodenplatte. Die Monatsmittel der Außentemperatur sind:

**Tabelle K.1 — Mittlere monatliche Außentemperaturen**

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Temperatur °C	1,3	1,8	3,7	7,6	10,3	13,5	15,4	14,2	10,4	7,3	5,9	4,3

Bezüglich der Innentemperatur liegen weniger genaue Angaben vor: Schätzwerte sind 15 °C im Januar und 19 °C im Juli.

Jahresmittel der Temperaturen:

$$\text{Innen: } \bar{\theta}_i \approx (15 + 19)/2 = 17,0 \text{ °C}$$

$$\text{Außen (Summe der oben aufgeführten Monatsmittel dividiert durch 12): } \bar{\theta}_e = 7,98 \text{ °C}$$

Temperaturamplituden:



Innen:  $\bar{\theta}_i \approx (19 - 15)/2 = 2,0 \text{ K}$

Außen:  $\bar{\theta}_e = (15,4 - 1,3)/2 = 7,05 \text{ K}$

$P = 19 \text{ m}; A = 42 \text{ m}^2; B' = 4,421 \text{ m}; \lambda = 1,5 \text{ W/(m} \cdot \text{K)}; d_t = 2,49 \text{ m}$

$U_o = 0,345 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)}; H_g = 14,49 \text{ W/K}$

Aus Tabelle F.1 folgt  $\delta = 2,2 \text{ m}$ .

$$H_{pi} = \frac{1,5}{2,49} \sqrt{\frac{2}{(1 + 2,2/2,49)^2 + 1}} = 16,78 \text{ W/K}$$

$$H_{pe} = 0,37 \times 19 \times 1,5 \times \ln\left(\frac{2,2}{2,49} + 1\right) = 6,68 \text{ W/K}$$

Unter Annahme von  $\tau = 1$ ,  $\alpha = 0$  und  $\beta = 1$  lässt sich nun der Wärmestrom für jeden Monat berechnen (siehe Tabelle K.2):

$$\begin{aligned} \Phi_m &= 14,49(17,0 - 7,98) - 16,78 \times 2,0 \times \cos\left(6,284 \times \frac{m-1}{12}\right) + 6,68 \times 7,05 \times \cos\left(6,284 \times \frac{m-2}{12}\right) \\ &= 131 - 33,6 \cos\left(6,284 \times \frac{m-1}{12}\right) + 47,1 \cos\left(6,284 \times \frac{m-2}{12}\right) \end{aligned}$$

**Tabelle K.2 — Monatliche Wärmestromrate**

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
<b>Wärmestrom W</b>	138	149	155	154	148	136	124	113	107	107	114	125

Erstreckt sich die Heizperiode von Anfang September bis Ende Mai (9 Monate), ergibt sich aus Tabelle K.2 für diese Periode ein mittlerer Wärmestrom von 133 W.

Alternativ ergibt sich aus den Gleichungen (A.4) und (A.5), d. h. unter Vernachlässigung der Phasenverschiebung, für den mittleren Wärmestrom über die Heizperiode (siehe Tabelle K.3):

$$\begin{aligned} \bar{\Phi} &= 14,49(17,0 - 7,98) - 0,3 \times 16,78 \times 2,0 + 0,3 \times 6,68 \times 7,05 \\ &= 131 - 10 + 14 = 135 \text{ W} \end{aligned}$$

Bei einer konstanten Innentemperatur von 20 °C ergibt sich:

$$\Phi_m = 174 + 47,1 \cos\left(6,284 \frac{m-2}{12}\right)$$

Tabelle K.3 — Monatliche Wärmestromrate, ungeachtet von Phasenunterschieden

Monat	Jan.	Feb.	März	April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sep.	Okt.	Nov.	Dez.
Wärmestrom W	215	221	215	198	174	151	133	127	133	151	174	198

Mittlerer Wärmestrom aus Tabelle K.3 (September bis Mai) = 187 W.

Mittlerer Wärmestrom aus Gleichung (K.37 ) (September bis Mai) = 188 W.

Die Phasenunterschiede haben nur geringen Einfluss auf den mittleren Wärmestrom über die Heizperiode.

## Literaturhinweise

- [1] ISO 13789, *Thermal performance of buildings — Transmission and ventilation heat transfer coefficients — Calculation method*
- [2] Anderson B.R., Calculation of the steady-state heat transfer through a slab-on-ground floor. *Building and Environment*, Bd. 26, Nr. 4, S. 405–415 (1991)
- [3] Anderson B.R., The effect of edge insulation on the steady-state heat loss through a slab-on-ground floor. *Building and Environment*, Bd. 28, Nr. 3, S. 361–367 (1993)
- [4] Claesson J. und Hagentoft C-E., Heat loss to the ground from a building — I. General theory. *Building and Environment*, Bd. 26, Nr. 2, S. 95–208 (1991)
- [5] Hagentoft C-E. und Claesson J., Heat loss to the ground from a building — II. Slab on the ground. *Building and Environment*, Bd. 26, Nr. 4, S. 395–403 (1991)
- [6] Hagentoft C-E., Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow — I. Infinite ground water flow rate. *Building and Environment*, Bd. 31, Nr. 1, S. 3–11 (1996)
- [7] Hagentoft C-E., Heat losses and temperature in the ground under a building with and without ground water flow — II. Finite ground water flow rate. *Building and Environment*, Bd. 31, Nr. 1, S. 13–19 (1996)
- [8] Hagentoft C-E., Steady-state heat loss for an edge insulated slab, Part I. *Building and Environment*, Bd. 37, Nr. 1, S. 19–26 (2002)
- [9] Hagentoft C-E., Periodic heat loss for an edge insulated slab, Part II. *Building and Environment*, Bd. 37, Nr. 1, S. 27–36 (2002)