

DIN EN 1264-2



ICS 91.140.10

Einsprüche bis 2020-03-17
Vorgesehen als Ersatz für
DIN EN 1264-2:2013-03

Entwurf

**Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit
Wasserdurchströmung –
Teil 2: Fußbodenheizung: Prüfverfahren für die Bestimmung der
Wärmeleistung unter Benutzung von Berechnungsmethoden und
experimentellen Methoden;
Deutsche und Englische Fassung prEN 1264-2:2020**

Water based surface embedded heating and cooling systems –
Part 2: Floor heating: Prove methods for the determination of the thermal output using
calculation and test methods;
German and English version prEN 1264-2:2020

Systèmes de surfaces chauffantes et rafraîchissantes hydrauliques intégrées –
Partie 2: Chauffage par le sol: Méthodes de démonstration pour la détermination de l'émission
thermique utilisant des méthodes par le calcul et à l'aide de méthodes d'essai;
Version allemande et anglaise prEN 1264-2:2020

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2020-01-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und
Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs
besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nhrs@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRS), 10772 Berlin, Saatwinkler Damm 42/43, 13627 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten
Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 86 Seiten

DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRS)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1264-2:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 130 „Raumheiz-einrichtungen ohne eingebaute Wärmequelle“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI (Italien) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Arbeitskreis NA 041-01-69-15 AK „Integrierte Flächenheizungen und -kühlungen (SpA CEN/TC 130/WG 9 und ISO/TC 205/WG 8)“ im DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik sowie deren Sicherheit (NHRS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 1264-2:2013-03 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Titel modifiziert;
- b) Anwendungsbereich präzisiert;
- c) Wortlaut verbessert, insbesondere für den Begriff „Prüfverfahren“;
- d) Abschnitt 9 modifiziert;
- e) Abschnitt 10 „Experimentelles Verfahren zur Bestimmung des wirksamen Wärmewiderstands von Teppichen“ und alle Verweisungen auf diesen Abschnitt gestrichen;
- f) Bilder A.9, A.10 und A.11 entfernt;
- g) Tabelle A.13 „Wärmeleitfähigkeit von Werkstoffen“ in Anhang D verschoben und erweitert;
- h) Anhang B „Experimentelles Verfahren für die Bestimmung von Parametern zur Anwendung in EN 15377“ gestrichen;
- i) neuer Anhang C „Berechnung der spezifischen Wärmekapazität (C-Wert)“ hinzugefügt.

Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung — Teil 2: Fußbodenheizung: Prüfverfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung unter Benutzung von Berechnungsmethoden und experimentellen Methoden

Systèmes de surfaces chauffantes et rafraîchissantes hydrauliques intégrées — Partie 2 : Chauffage par le sol: Méthodes de démonstration pour la détermination de l'émission thermique utilisant des méthodes par le calcul et à l'aide de méthodes d'essai

Water based surface embedded heating and cooling systems — Part 2: Floor heating: Prove methods for the determination of the thermal output using calculation and test methods

ICS:

Deskriptoren

Dokument-Typ: Europäische Norm
Dokument-Untertyp:
Dokument-Stage: CEN-Umfrage
Dokument-Sprache: D

STD Version 2.9p

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Einleitung	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	6
4 Thermische Randbedingungen	6
5 Unterlagen für die Prüfung	7
6 Berechnung der spezifischen Wärmeleistung (Kennlinien und Grenzkurven)	7
6.1 Allgemeiner Ansatz	7
6.2 Systeme mit Rohren innerhalb des Estrichs (Typ A und Typ C)	8
6.3 Systeme mit Rohren unter dem Estrich oder Holzfußboden (Typ B)	10
6.4 Systeme mit Flächenelementen (Typ D)	12
6.5 Grenzwerte der spezifischen Wärmeleistung	12
6.6 Einfluss von Rohrwerkstoff, Rohrwanddicke und Rohrummantelung auf die spezifische Wärmeleistung	14
6.7 Wärmeleitfähigkeit des Estrichs mit Einbauten	14
7 Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe	15
8 Wärmeverlust nach unten	15
9 Experimentelles Verfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung von Systemen, die nicht nach Abschnitt 6 berechnet werden können	16
10 Prüfbericht	18
11 Prüfsystem	19
11.1 Allgemeines	19
11.2 Master-Probekörper	19
11.3 Verifizierung der Prüfstände	20
11.4 Bestimmung der Werte s_m und $\phi_{M,s}$ ($q_{N,M,s}$, $q_{G,M,s}$ ($R_{\lambda,B} = 0,15$)) der ersten Master-Probekörper	20
11.5 Verifizierung der Software	20
Anhang A (normativ) Bilder und Tabellen	22
Anhang B (informativ) Einfluss der Wärmeübertragungskoeffizienten im Rohr auf die spezifische Wärmeleistung	37
Anhang C (normativ) Berechnung der spezifischen Wärmekapazität (C-Wert)	38
Anhang D (normativ) Werkstoffdaten	39
Literaturhinweise	41

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 1264-2:2020) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 130 „Raumheiz-einrichtungen ohne eingebaute Wärmequelle“ erarbeitet, dessen Sekretariat von UNI gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur CEN-Umfrage vorgelegt.

Dieses Dokument wird EN 1264-2:2008+A1:2012 ersetzen.

Die Europäische Norm EN 1264, *Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung* besteht aus folgenden Teilen:

- Teil 1: *Definitionen und Symbole*;
- Teil 2: *Fußbodenheizung: Prüfverfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung unter Benutzung von Berechnungsmethoden und experimentellen Methoden*;
- Teil 3: *Auslegung*;
- Teil 4: *Installation*;
- Teil 5: *Heiz- und Kühlflächen in Fußböden, Decken und Wänden — Bestimmung der Wärmeleistung und der Kühlleistung*.

Die hauptsächlichen Änderungen gegenüber der vorherigen Ausgabe sind nachfolgend aufgeführt:

- a) Titel modifiziert;
- b) Anwendungsbereich präzisiert;
- c) Wortlaut verbessert, insbesondere für den Begriff „Prüfverfahren“;
- d) Abschnitt 9 modifiziert;
- e) Abschnitt 10 „Experimentelles Verfahren zur Bestimmung des wirksamen Wärmewiderstands von Teppichen“ und alle Verweisungen auf diesen Abschnitt gestrichen;
- f) Bilder A.9, A.10 und A.11 entfernt;
- g) Tabelle A.13 „Wärmeleitfähigkeit von Werkstoffen“ in Anhang D verschoben und erweitert;
- h) Anhang B „Experimentelles Verfahren für die Bestimmung von Parametern zur Anwendung in EN 15377“ gestrichen;
- i) neuer Anhang C „Berechnung der spezifischen Wärmekapazität (C-Wert)“ hinzugefügt.

Einleitung

EN 1264 beruht auf der Erkenntnis, dass im kommerziellen Handel die Wärme- bzw. Kühlleistung von Heiz- und Kühlsystemen die Bewertungsgrundlage darstellen. Um verschiedene Heiz- und/oder Kühlsysteme beurteilen und vergleichen zu können, ist es deshalb erforderlich, sich auf Werte zu beziehen, die nach einem einzigen, eindeutig definierten Verfahren bestimmt werden. Grundlage hierfür sind die in EN 1264-2 festgelegten Prüfverfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung von Fußbodenheizsystemen. Analog zu EN 442-2, *Radiatoren und Konvektoren — Teil 2: Prüfverfahren und Leistungsangabe* liefern diese Prüfverfahren unter definierten Randbedingungen Teillastkennlinien sowie als systemcharakteristischen Leistungswert die Normwärmeleistung mit der zugehörigen Normdifferenz zwischen Heizmittel und Raumtemperatur.

1 Anwendungsbereich

EN 1264 behandelt in Wohn- und anderen Gebäuden (z. B. Bürogebäuden, öffentlichen Gebäuden sowie Gewerbe- und Industriegebäuden) installierte raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme und legt einen Schwerpunkt auf Systeme, die für den Zweck der thermischen Behaglichkeit installiert werden.

EN 1264 gilt für Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung, die in die Raumumschließungsflächen (Fußboden, Wände, Decke) des zu heizenden oder des zu kühlenden Raumes eingebettet sind. Sie gilt ggf. auch für die Verwendung anderer Heizmittel als Wasser.

EN 1264 gilt für die Identifizierung standardisierter Produktmerkmale durch Berechnung und Prüfung der Wärmeleistung der Heizung für technische Spezifikationen und die Zertifizierung. Für das Design, den Bau und den Betrieb dieser Anlagen gilt EN ISO 11855.

Die in EN 1264 abgedeckten Systeme grenzen an den tragenden Untergrund der Umschließungsflächen des Gebäudes an und werden direkt oder mit Befestigungshalterungen angebracht. In abgehängten Decken montierte Deckensysteme mit einem auslegungsgemäßen offenen Luftspalt zwischen dem System und der Gebäudestruktur, der eine thermisch induzierte Umwälzung der Luft erlaubt, werden nicht behandelt. Die Wärmeleistung dieser Systeme kann nach ISO 18566, EN 14037 und EN 14240 bestimmt werden.

EN 1264-2 gilt für Warmwasser-Fußbodenheizsysteme. Die Anwendung von EN 1264-5 erfordert die vorherige Anwendung von EN 1264-2. EN 1264-5 behandelt die Umrechnung der in EN 1264-2 bestimmten Wärmeleistung der Fußbodenheizsysteme in die Wärmeleistung von Heizflächen in Wänden und Decken sowie in die Kühlleistung von Kühlflächen in Fußböden, Wänden und Decken.

EN 1264-2 legt die Randbedingungen und die Prüfverfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung von Warmwasser-Fußbodenheizsystemen in Abhängigkeit von der Differenz zwischen der Heizmittel- und der Raumtemperatur fest.

Die Wärmeleistung wird durch ein Berechnungsverfahren und ein Messverfahren geprüft. Das Berechnungsverfahren ist auf Systeme anwendbar, die den Definitionen nach EN 1264-1 (Typ A, Typ B, Typ C, Typ D) entsprechen. Bei Systemen, die diesen Definitionen nicht entsprechen, ist das Messverfahren anzuwenden. Das Berechnungsverfahren und das Messverfahren entsprechen einander und liefern korrelierende, adäquate Prüfergebnisse.

Als Prüfergebnisse werden die spezifische Normwärmeleistung mit der zugehörigen Normdifferenz zwischen der Heizmittel- und der Raumtemperatur sowie Kennlinienfelder für die Beziehung zwischen der spezifischen Wärmeleistung und der Differenz zwischen der Heizmittel- und der Raumtemperatur in Abhängigkeit von weiteren Parametern angegeben.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 1264-1, *Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung — Teil 1: Definitionen und Symbole*

prEN 1264-3:2019, *Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung — Teil 3: Auslegung*

EN 1264-5, *Raumflächenintegrierte Heiz- und Kühlsysteme mit Wasserdurchströmung — Teil 5: Heiz- und Kühlflächen in Fußböden, Decken und Wänden — Bestimmung der Wärmeleistung und der Kühlleistung*

EN ISO 11855, *Umweltgerechte Gebäudeplanung — Planung, Auslegung, Installation und Steuerung flächenintegrierter Strahlheizungs- und -kühlsysteme*

EN 14037, *An der Decke frei abgehängte Heiz- und Kühlflächen für Wasser mit einer Temperatur unter 120 °C*

EN 14240, *Lüftung von Gebäuden — Kühldecken — Prüfung und Bewertung*

EN ISO/IEC 17025, *Allgemeine Anforderungen an die Kompetenz von Prüf- und Kalibrierlaboratorien* (ISO/IEC 17025:2017)

ISO 18566, *Building environment design — Design, test methods and control of hydronic radiant heating and cooling panel systems*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 1264-1.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>

4 Thermische Randbedingungen

Eine Fußbodenheizfläche mit vorgegebener mittlerer Oberflächentemperatur gibt in beliebigen Räumen mit derselben Innentemperatur (Norm-Innentemperatur ϑ_i) dieselbe Wärmeleistung ab. Es ist deshalb möglich, eine vom Heizsystem unabhängige, für alle Fußbodenheizflächen (auch für solche mit stärker heizenden Randzonen) geltende Basiskennlinie für die Beziehung zwischen spezifischer Wärmeleistung und mittlerer Oberflächentemperatur anzugeben (siehe Bild A.1).

Demgegenüber existiert für jedes Fußbodenheizsystem eine systemeigene maximal zulässige spezifische Wärmeleistung, die spezifische Grenzwärmeleistung q_G . Diese Leistung wird für eine (Norm-)Innentemperatur $\vartheta_i = 20\text{ °C}$ berechnet. Die zweite Bedingung besteht darin, dass die maximale Oberflächentemperatur bei einer Temperaturspreizung von $\sigma = 0\text{ K}$ zwischen Heizmittel-Vorlauf und Heizmittel-Rücklauf $\vartheta_{F,\max} = 29\text{ °C}^1$ beträgt. Die maximale spezifische Wärmeleistung für die Randzone wird bei einer maximalen Oberflächentemperatur $\vartheta_{F,\max} = 35\text{ °C}^2$ und $\sigma = 0\text{ K}$ erreicht.

Für das Berechnungs- und das experimentelle Verfahren wird, unabhängig vom Typ des Systems, der Mittelpunkt der Heizfläche als Bezugspunkt für $\vartheta_{F,\max}$ verwendet.

Die mittlere Oberflächentemperatur $\vartheta_{F,m}$, die die spezifische Wärmeleistung bestimmt (siehe Basiskennlinie), steht mit der maximalen Oberflächentemperatur im Zusammenhang. Dabei gilt stets $\vartheta_{F,m} < \vartheta_{F,\max}$.

1 Nationale Vorschriften können diese Temperatur auf einen niedrigeren Wert begrenzen.

2 Einige Fußbodenbelagmaterialien können niedrigere Temperaturen erforderlich machen.

Der erreichbare Wert $\vartheta_{F,m}$ ist sowohl vom Fußbodenheizsystem als auch von den Betriebsbedingungen abhängig (Temperaturspreizung $\sigma = \vartheta_V - \vartheta_R$, Wärmeabgabe nach unten q_u und Wärmewiderstand des Fußbodenbelags $R_{\lambda,B}$).

Der Berechnung der spezifischen Wärmeleistung liegen folgende Bedingungen zugrunde:

- Der Wärmeübergang an der Fußbodenoberfläche entspricht der Basiskennlinie.
- Eine Temperaturspreizung des Heizmittels $\sigma = 0$; die Abhängigkeit der Kennlinie von der Temperaturspreizung wird durch Anwendung der logarithmisch bestimmten Differenz zwischen der Heizmittel- und der Raumtemperatur $\Delta\vartheta_H$ erfasst (siehe Gleichung (1)).
- Turbulente Rohrströmung: $m_H/d_i > 4\,000 \text{ kg}/(\text{h}\cdot\text{m})$.
- Es findet kein seitlicher Wärmefluss statt.
- Die Heizebene des Fußbodenheizsystems wird durch Wärmedämmung thermisch vom tragenden Untergrund des Gebäudes abgekoppelt.

ANMERKUNG Die vorstehend aufgeführte letzte Bedingung gilt nicht für das experimentelle Verfahren nach Abschnitt 9.

5 Unterlagen für die Prüfung

Für die Bestimmung der Wärmeleistung werden die Unterlagen des Lieferers des Systems zugrunde gelegt. Folgende Unterlagen sind bereitzustellen:

- Einbauzeichnung (Schnitt) des Fußbodenheizsystems über zwei Rohrteilungen, einschließlich der Randzone und mit Angabe der verwendeten Werkstoffe (erforderlichenfalls sind die Prüfergebnisse zur Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe vorzulegen).
- technische Unterlagen zum System.

Diese Angaben müssen sämtliche notwendigen Einzelheiten für die Berechnung des baustellenüblichen Aufbaus enthalten. Sie müssen in gleicher Form dem Installateur zur Verfügung gestellt werden.

In Anwesenheit eines Mitarbeiters der Prüfstelle wird eine Demonstrationsfläche von etwa $2 \text{ m} \times 2 \text{ m}$ verlegt, die dem tatsächlichen Aufbau vor Ort entspricht.

6 Berechnung der spezifischen Wärmeleistung (Kennlinien und Grenzkurven)

6.1 Allgemeiner Ansatz

Die spezifische Wärmeleistung q an einer Fußbodenoberfläche wird durch folgende Parameter bestimmt:

- Rohrteilung T ;
- Dicke s_u und Wärmeleitfähigkeit λ_E der Schicht über dem Rohr;
- Wärmeleitwiderstand des Fußbodenbelags $R_{\lambda,B}$;

- Rohraußendurchmesser $D = d_a$, inklusive Ummantelung ($D = d_M$), falls nötig, und Wärmeleitfähigkeit des Rohrs (λ_R) oder der Ummantelung (λ_M). Bei Rohren mit einem nicht kreisförmigen Querschnitt wird für die Berechnung der äquivalente Durchmesser eines Rohrs mit kreisförmigem Querschnitt mit demselben Umfang verwendet (die Estrichüberdeckung darf nicht geändert werden). Die Dicke und die Wärmeleitfähigkeit dauerhaft montierter Diffusions-Sperrschichten mit einer Dicke von bis zu 0,3 mm brauchen bei der Berechnung nicht berücksichtigt zu werden. In diesem Fall ist $D = d_a$ anzuwenden;
- Wärmeleiteinrichtungen, die nach 6.3 durch die Kenngröße K_{WL} gekennzeichnet sind;
- Kontakt zwischen den Rohren und den Wärmeleiteinrichtungen oder dem Estrich, gekennzeichnet durch den Faktor a_K .

Die spezifische Wärmeleistung ist proportional zu $(\Delta\vartheta_H)^n$, wobei die Differenz zwischen Heizmittel- und Raumtemperatur wie folgt ist:

$$\Delta\vartheta_H = \frac{\vartheta_V - \vartheta_R}{\ln \frac{\vartheta_V - \vartheta_i}{\vartheta_R - \vartheta_i}} \quad (1)$$

und mit einem Exponenten n , für den experimentelle und theoretische Untersuchungen Folgendes ergeben haben:

$$1,0 < n < 1,05 \quad (2)$$

Innerhalb der Grenzen der erreichbaren Genauigkeit wird

$$n = 1$$

gesetzt.

Die spezifische Wärmeleistung wird nach Gleichung (3) berechnet.

$$q = B \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot \Delta\vartheta_H \quad (3)$$

Dabei ist

B ein systemabhängiger Koeffizient, in $W/(m^2 \cdot K)$;

$\prod_i (a_i^{m_i})$ ein Potenzprodukt, das die Parameter des Fußbodenaufbaus miteinander verknüpft (siehe 6.2, 6.3 und 6.4).

Es ist zwischen Systemen, bei denen die Rohre innerhalb oder unterhalb des Estrichs bzw. Holzfußbodens verlegt werden, und Systemen mit Flächenelementen zu unterscheiden. Bei üblichem Aufbau gilt Gleichung (3) unmittelbar. Bei Systemen mit zusätzlichen Einrichtungen für die Wärmeverteilung, bei mit Luft gefüllten Hohlprofilen oder bei sonstigen Bauteilen, die die Wärmeverteilung beeinflussen, erfolgt die Bestimmung der Wärmeleistung experimentell nach Abschnitt 9.

6.2 Systeme mit Rohren innerhalb des Estrichs (Typ A und Typ C)

Bei diesen Systemen (siehe Bild A.2) werden die Kennlinien nach Gleichung (4a) berechnet.

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u^{m_u} \cdot a_D^{m_D} \Delta \cdot \vartheta_H \quad (4a)$$

Das Produkt $B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u^{m_u} \cdot a_D^{m_D}$ wird als äquivalenter Wärmedurchgangskoeffizient K_H bezeichnet, wodurch sich folgende abgekürzte Form des Ausdrucks ergibt, Gleichung (4b):

$$q = K_H \cdot \Delta\vartheta_H \quad (4b)$$

Dabei ist

$B = B_0 = 6,7 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ für eine Wärmeleitfähigkeit des Rohres $\lambda_R = \lambda_{R,0} = 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und eine Rohrwanddicke $s_R = s_{R,0} = (d_a - d_i)/2 = 0,002 \text{ m}$.

a_T ein Teilungsfaktor nach Tabelle A.1, $a_T = f(R_{\lambda,B})$;

a_u ein Überdeckungsfaktor nach Tabelle A.2, $a_u = f(T, R_{\lambda,B})$;

a_D der Faktor für den Rohraußendurchmesser nach Tabelle A.3, $a_D = f(T, R_{\lambda,B})$.

$$m_T = 1 - \frac{T}{0,075} \quad \text{gilt für } 0,050 \text{ m} \leq T \leq 0,375 \text{ m} \quad (5)$$

$$m_u = 100 \cdot (0,045 - s_u) \quad \text{gilt für } s_u \geq 0,010 \text{ m} \quad (6)$$

$$m_D = 250 \cdot (D - 0,020) \quad \text{gilt für } 0,008 \text{ m} \leq D \leq 0,030 \text{ m} \quad (7)$$

Für andere Werkstoffe mit abweichenden Wärmeleitfähigkeiten oder Rohrwanddicken sowie für ummantelte Rohre ist B nach 6.6 zu berechnen.

Für einen Heizestrich mit vermindertem Feuchtigkeitszusatz muss $\lambda_E = 1,2 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ angesetzt werden. Dieser Wert gilt auch für andere Heizestriche. Wenn ein abweichender Wert verwendet wird, ist dessen Gültigkeit zu überprüfen.

a_B ist der Fußbodenbelag-Faktor nach Gleichung (8):

$$a_B = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_E} + R_{\lambda,B}} \quad (8)$$

Dabei ist

$\alpha = 10,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

$\lambda_{u,0} = 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

$s_{u,0} = 0,045 \text{ m}$;

$R_{\lambda,B}$ der Wärmeleitwiderstand des Fußbodenbelags, in $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

λ_E die Wärmeleitfähigkeit des Estrichs, in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;

In den Gleichungen (5), (6) und (7) ist

T die Rohrteilung;

D der Außendurchmesser des Rohres, gegebenenfalls einschließlich der Ummantelung;

s_u die Dicke der Estrichüberdeckung über dem Rohr.

Für eine Rohrteilung $T > 0,375$ m wird die spezifische Wärmeleistung näherungsweise nach folgender Gleichung berechnet

$$q = q_{0,375} \frac{0,375}{T} \quad (9)$$

Dabei ist

$q_{0,375}$ die spezifische Wärmeleistung, berechnet für eine Rohrteilung $T = 0,375$ m.

Für Systeme mit $s_u \leq 0,065$ m ebenso wie für Systeme mit $0,065 \text{ m} < s_u \leq s_u^*$ (für s_u^* siehe unten) gilt Gleichung (4a) unmittelbar. Der Wert für s_u^* ist wie folgt von der Rohrteilung abhängig:

Beträgt die Teilung $T \leq 0,200$ m, so gilt $s_u^* = 0,100$ m.

Beträgt die Teilung $T > 0,200$, so gilt $s_u^* = 0,5 T$. In diese Beziehung ist stets die tatsächliche Teilung T einzusetzen, auch wenn die Berechnung nach Gleichung (9) erfolgt.

Für Rohrüberdeckungen $s_u > s_u^*$ ist Gleichung (4b) anzuwenden. In diesem Fall ist der äquivalente Wärmedurchgangskoeffizient nach Gleichung (10) zu bestimmen:

$$K_H = \frac{1}{\frac{1}{K_{H,s_u=s_u^*}} + \frac{s_u - s_u^*}{\lambda_E}} \quad (10)$$

In Gleichung (10) ist $K_{H,s_u=s_u^*}$ das Potenzprodukt aus Gleichung (4a), berechnet für die Rohrüberdeckung s_u^* .

Die Grenzkurven werden nach 6.5 berechnet.

6.3 Systeme mit Rohren unter dem Estrich oder Holzfußboden (Typ B)

Bei diesen Systemen (siehe Bild A.3) werden die variable Dicke s_u der Lastverteilschicht und deren variable Wärmeleitfähigkeit λ_E durch den Faktor a_u erfasst. Der Rohrdurchmesser hat keine Auswirkungen. Der Kontakt zwischen dem Heizrohr und der Wärmeleiteinrichtung oder einer anderen Wärmeverteileinrichtung ist jedoch ein ausschlaggebender Parameter. Die Kennlinie wird dann nach Gleichung (11) berechnet:

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u \cdot a_{WL} \cdot a_K \cdot \Delta\vartheta_H \quad (11)$$

Dabei ist

$B = B_0 = 6,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, unter den für die Gleichungen (4a) und (4b) aufgeführten Bedingungen;

a_T der Rohrteilungsfaktor nach Tabelle A.6, $a_T = f(s_u/\lambda_E)$;

m_T siehe Gleichung (5);

a_u der Überdeckungsfaktor, berechnet nach Gleichung (12):

$$a_u = \frac{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_{u,0}}{\lambda_{u,0}}}{\frac{1}{\alpha} + \frac{s_u}{\lambda_E}} \quad (12)$$

Dabei ist

$$\begin{aligned} \alpha &= 10,8 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}); \\ \lambda_{u,0} &= 1 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K}); \\ s_{u,0} &= 0,045 \text{ m}; \\ a_{WL} &\text{ der Wärmeleitfaktor (siehe ab Tabelle A.10), } a_{WL} = f(K_{WL}, T, D). \end{aligned}$$

Für den Kennwert K_{WL} gilt Gleichung (13):

$$K_{WL} = \frac{s_{WL} \cdot \lambda_{WL} + b_u \cdot s_u \cdot \lambda_E}{0,125} \quad (13)$$

Dabei ist

$$\begin{aligned} b_u &= f(T) \text{ Tabelle A.7 zu entnehmen;} \\ s_{WL} \cdot \lambda_{WL} &\text{ das Produkt aus Dicke und Wärmeleitfähigkeit der Wärmeleiteinrichtung;} \\ s_u \cdot \lambda_E &\text{ das Produkt aus Dicke und Wärmeleitfähigkeit der Estrich- oder Holz-Überdeckung.} \end{aligned}$$

Wenn die Breite L der Wärmeleiteinrichtung kleiner als die Rohrteilung T ist, muss der nach Tabelle A.10 bestimmte Wert $a_{WL,L=T}$ nach Gleichung (14) korrigiert werden:

$$a_{WL} = a_{WL,L=T} - (a_{WL,L=T} - a_{WL,L=0}) \left[1 - 3,2 \left(\frac{L}{T} \right) + 3,4 \left(\frac{L}{T} \right)^2 - 1,2 \left(\frac{L}{T} \right)^3 \right] \quad (14)$$

Die Wärmeleitfaktoren $a_{WL,L=T}$ und $a_{WL,L=0}$ sind Tabelle A.10 bis Tabelle A.15 zu entnehmen. Für $L = T$ gelten die Tabellen mit K_{WL} nach Gleichung (13) unmittelbar; für $L = 0$ gelten die Tabellen mit K_{WL} nach Gleichung (13) mit $s_{WL} = 0$.

a_K ist der Korrekturfaktor für den Kontakt nach Tabelle A.9; $a_K = f(T)$.

Mit dem Korrekturfaktor für den Kontakt a_K werden zusätzliche Wärmedurchgangswiderstände infolge des nur punkt- oder linienförmigen Kontakts zwischen dem Heizrohr und der Wärmeleiteinrichtung erfasst. Diese Widerstände sind von den Fertigungstoleranzen der Rohre und der Wärmeleiteinrichtungen sowie von der Sorgfalt der Verlegung abhängig und daher in Einzelfällen Schwankungen unterworfen. Deshalb ist in Tabelle A.9 ein mittlerer Rechenwert für a_K angegeben.

a_B ist der Fußbodenbelag-Faktor:

$$a_B = \frac{1}{1 + B \cdot a_u \cdot a_T^{m_T} \cdot a_{WL} \cdot a_K \cdot R_{\lambda,B} \cdot f(T)} \quad (15)$$

mit $f(T) = 1 + 0,44 \sqrt{T}$

Die Grenzkurven werden nach 6.5 berechnet.

6.4 Systeme mit Flächenelementen (Typ D)

Für Fußböden mit Flächenelementen (siehe Bild A.4) gilt Gleichung (16):

$$q = B \cdot a_B \cdot a_T^{m_T} \cdot a_u \cdot \Delta\vartheta_H \quad (16)$$

Dabei ist

$B = B_0 = 6,5 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ und

$$a_T^{m_T} = 1,06;$$

a_u der Überdeckungsfaktor nach Gleichung (12);

a_B ist der Fußbodenbelag-Faktor:

$$a_B = \frac{1}{1 + B \cdot a_u \cdot a_T^{m_T} \cdot R_{\lambda,B}} \quad (17)$$

6.5 Grenzwerte der spezifischen Wärmeleistung

Das Prinzip des Verfahrens zur Bestimmung der Grenzwerte der spezifischen Wärmeleistung ist in Bild A.5 dargestellt.

Die Grenzkurve (siehe Bild A.5) gibt die Beziehung zwischen spezifischer Wärmeleistung und Temperaturdifferenz zwischen Heizmittel und Raum für den Fall an, dass die maximal zulässige Differenz zwischen Oberflächentemperatur und Innentemperatur (9 K bzw. 15 K) erreicht wird.

Die Grenzkurve wird nach Gleichung (18) berechnet:

$$q_G = \varphi \cdot B_G \cdot \left[\frac{\Delta\vartheta_H}{\varphi} \right]^{n_G} \quad (18)$$

Dabei ist

B_G ein Koeffizient nach Tabelle A.4 (gültig für $s_u/\lambda_E \leq 0,079 \text{ 2}$) und Tabelle A.5 (gültig für $s_u/\lambda_E > 0,079 \text{ 2}$) für Systeme vom Typ A und Typ C oder nach Tabelle A.10 für Systeme vom Typ B, bzw. $B_G = 100 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ für Systeme mit Flächenelementen vom Typ D;

n_G ein Exponent nach Tabelle A.5a (gültig für $s_u/\lambda_E \leq 0,079 \text{ 2}$) und Tabelle A.7 (gültig für $s_u/\lambda_E > 0,079 \text{ 2}$) für Systeme vom Typ A und Typ C oder nach Tabelle A.11 für Systeme vom Typ B, bzw. $n_G = 0$ für Systeme mit Flächenelementen vom Typ D;

φ ein Faktor für die Umrechnung auf beliebige Werte der Temperaturen $\vartheta_{F,\max}$ und ϑ_i .

$$\varphi = \left[\frac{\vartheta_{F,\max} - \vartheta_i}{\Delta\vartheta_o} \right]^{1,1} \quad \text{Dabei ist } \Delta\vartheta_o = 9 \text{ K} \quad (19)$$

Der Grenzwert der Temperaturdifferenz zwischen Heizmittel und Raum $\Delta\vartheta_{H,G}$ wird nach Gleichung (20) aus dem Schnittpunkt der Kennlinie mit der Grenzkurve (siehe Bild A.5) berechnet:

$$\Delta\vartheta_{H,G} = \varphi \cdot \left[\frac{B_G}{B \cdot \prod_i \alpha_i^{m_i}} \right]^{\frac{1}{1-n_G}} \quad (20)$$

Für Systeme vom Typ A und vom Typ C gelten die vorstehenden Gleichungen (18) und (20) bei Rohrteilungen $T \leq 0,375$ m unmittelbar. Ist die Teilung $T > 0,375$ m, so ist für diese Systeme eine Umrechnung nach Gleichung (21) und (22) vorzunehmen:

$$q_G = q_{G;0,375} \frac{0,375}{T} \cdot f_G \quad (21)$$

$$\Delta\vartheta_{H,G} = \Delta\vartheta_{H,G;0,375} \cdot f_G \quad (22)$$

Dabei ist

$q_{G;0,375}$ der Grenzwert der spezifischen Wärmeleistung, berechnet für eine Teilung $T = 0,375$ m;

$\vartheta_{H,G;0,375}$ der Grenzwert der Temperaturdifferenz zwischen Heizmittel und Raum, berechnet für eine Teilung $T = 0,375$ m.

Der Faktor f_G ist in Abhängigkeit vom Verhältnis s_u/T wie folgt zu bestimmen:

Für $s_u/T \leq 0,173$ gilt $f_G = 1$.

Für $s_u/T > 0,173$ gilt Gleichung (23):

$$f_G = \frac{q_{G,\max} - \left(q_{G,\max} - q_{G;0,375} \cdot \frac{0,375}{T} \right) \cdot e^{-20 \cdot \left(\frac{s_u}{T} - 0,173 \right)^2}}{q_{G;0,375} \cdot \frac{0,375}{T}} \quad (23)$$

Dabei ist

$q_{G,\max}$ die maximal zulässige spezifische Wärmeleistung nach Tabelle A.12, berechnet bei isothermer Oberflächentemperaturverteilung aus der Basiskennlinie (Bild A.1), mit $(\vartheta_{F,m} - \vartheta_i) = (\vartheta_{F,\max} - \vartheta_i)$.

Für Systeme vom Typ B gelten die Gleichungen (18) und (20) unmittelbar, wenn die Rohrteilung T und die Breite der Wärmeleiteinrichtung L übereinstimmen. Im Falle $L < T$ ist der nach Gleichung (18) berechnete Wert der spezifischen Wärmeleistung $q_{G,L=T}$ nach Gleichung (24) zu korrigieren:

$$q_G = \frac{a_{WL}}{a_{WL,L=T}} \cdot q_{G,L=T} \quad (24)$$

Dabei ist

$a_{WL,L=T}$ der Wärmeleitfaktor nach Tabelle A.10;

a_{WL} der Wärmeleitfaktor, berechnet nach Gleichung (14).

Der Grenzwert der Temperaturdifferenz zwischen Heizmittel und Raum $\Delta\vartheta_{H,G}$ bleibt unverändert, wie für den Fall $L = T$.

Für $\Delta\vartheta_{F,\max} - \Delta\vartheta_i = 9 \text{ K}$, $\varphi = 1$ und $R_{\lambda,B} = 0$ werden der Grenzwert der spezifischen Wärmeleistung q_G als spezifische Normwärmeleistung q_N und der zugehörige Grenzwert der Temperaturdifferenz zwischen Heizmittel und Raum $\Delta\vartheta_{H,G}$ als Normtemperaturdifferenz zwischen Heizmittel und Raum $\Delta\vartheta_N$ bezeichnet (siehe Bild A.5). Diese Werte dienen als Kenngrößen für den Systemvergleich.

Der maximal mögliche Wert der spezifischen Wärmeleistung $q_{G,\max}$ bei isothermer Oberflächentemperaturverteilung liegt auf der Basiskennlinie (siehe Bild A.1) als Ordinatenwert zu $\vartheta_{F,m} = \vartheta_{F,\max}$.

Tabelle A.12 enthält Werte für $q_{G,\max}$ in Abhängigkeit von der maximalen Fußbodenoberflächentemperatur $\vartheta_{F,\max}$ und der Norm-Innentemperatur ϑ_i .

Werden (aufgrund von Rechen- und Interpolationsungenauigkeiten sowie Linearisierungen) nach Gleichungen (18), (21), (24) höhere Werte für q_G als $q_{G,\max}$ bestimmt, ist $q_{G,\max}$ einzusetzen.

6.6 Einfluss von Rohrwerkstoff, Rohrwanddicke und Rohrummantelung auf die spezifische Wärmeleistung

Die Faktoren B_0 sind in den Gleichungen (4a) und (11) für eine Wärmeleitfähigkeit des Rohres $\lambda_{R,0} = 0,35 \text{ W/(m·K)}$ und eine Wanddicke $s_{R,0} = 0,002 \text{ m}$ festgelegt. Bei anderen Werkstoffen (siehe Anhang D) mit einer Wärmeleitfähigkeit des Rohrwerkstoffs λ_R oder anderen Wanddicken s_R ist der Faktor B wie folgt zu berechnen:

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot T \cdot \left[\frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_R} - \frac{1}{2\lambda_{R,0}} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_{R,0}} \right] \quad (25)$$

Wenn das Rohr eine zusätzliche Ummantelung mit dem Außendurchmesser d_M , dem Innendurchmesser d_a und der Wärmeleitfähigkeit der Ummantelung λ_M besitzt, gilt Gleichung (26):

$$\frac{1}{B} = \frac{1}{B_0} + \frac{1,1}{\pi} \cdot \prod_i (a_i^{m_i}) \cdot T \cdot \left[\frac{1}{2\lambda_M} \ln \frac{d_M}{d_a} + \frac{1}{2\lambda_R} \ln \frac{d_a}{d_a - 2s_R} - \frac{1}{2\lambda_{R,0}} \ln \frac{d_M}{d_M - 2s_{R,0}} \right] \quad (26)$$

Gegebenenfalls vorhandene Sauerstoffdiffusions-Sperrschichten brauchen bei Dicken $\leq 0,3 \text{ mm}$ nicht berücksichtigt zu werden. In diesem Fall ist Gleichung (25) anzuwenden.

In Fällen mit Luftspalten innerhalb der Ummantelung gilt Gleichung (26) nur, wenn ein gültiger Durchschnittswert λ_M verfügbar ist, der die Luftspalte mit einschließt.

6.7 Wärmeleitfähigkeit des Estrichs mit Einbauten

Bei Systemplatten für Systeme nach Typ A wird durch Einbauten (z. B. durch Haltenoppen oder ähnliche Bauteile) die Wärmeleitung im Estrich verändert. Wenn deren Volumenanteil im Estrich $15 \% \geq \psi \geq 5 \%$ beträgt, so ist mit einer effektiven Wärmeleitfähigkeit des Bauteils λ'_E zu rechnen.

$$\lambda'_E = (1 - \psi) \cdot \lambda_E + \psi \cdot \lambda_W \quad (27)$$

Dabei ist

λ_E die Wärmeleitfähigkeit des Estrichs;

λ_W die Wärmeleitfähigkeit der Haltenoppen;

ψ der Volumenanteil der Haltenoppen im Estrich.

7 Wärmeleitfähigkeit der Werkstoffe

Für die Durchführung der Berechnung werden die in Anhang D festgelegten Wärmeleitfähigkeiten verwendet. Wenn die in Anhang D aufgeführten Werkstoffe verwendet werden, müssen die Werte aus Tabelle D.1 eingesetzt werden. Für andere Werkstoffe ist die Wärmeleitfähigkeit aus den anwendbaren Europäischen Normen zu entnehmen, sofern verfügbar, oder durch ein von einer anerkannten Prüfstelle herausgegebenes Zertifikat nachgewiesen sein.

8 Wärmeverlust nach unten

Der spezifische Wärmeverlust von Fußbodenheizsystemen nach unten in Richtung unter dem System gelegener Räume wird nach Gleichung (28) berechnet (siehe Bild A.5 von prEN 1264-3:2019):

$$q_u = \frac{1}{R_U} \cdot (R_O \cdot q + \vartheta_i - \vartheta_U) \quad (28)$$

Dabei ist

q_u der spezifische Wärmeverlust nach unten;

q die spezifische Wärmeleistung des Fußbodenheizsystems;

R_U der Teil-Wärmedurchgangswiderstand des Fußbodenaufbaus nach unten;

R_O der Teil-Wärmedurchgangswiderstand des Fußbodenaufbaus nach oben;

ϑ_i die Norm-Innentemperatur des mit der Fußbodenheizung beheizten Raumes;

ϑ_U die Innentemperatur eines Raumes unter dem fußbodenbeheizten Raum;

Im Hinblick auf Bild A.5 von prEN 1264-3:2019 gilt:

$$R_O = \frac{1}{\alpha} + R_{\lambda,B} + \frac{s_U}{\lambda_U} \quad (29)$$

Dabei ist

$$1/\alpha = 0,092 \text{ 6 m}^2 \cdot \text{K/W}$$

$$R_U = R_{\lambda,ins} + R_{\lambda,Decke} + R_{\lambda,Putz} + R_{\alpha,Decke} \quad (30)$$

Dabei ist

$$R_{\alpha,Decke} = 0,17 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

In dem Sonderfall $\vartheta_i = \vartheta_U$ gilt die vereinfachte Gleichung

$$q_u = q \cdot \frac{R_O}{R_U} \quad (31)$$

Für eine ausführlichere Berechnung des Wärmeverlusts nach unten siehe Teil 3 dieser Europäischen Norm.

9 Experimentelles Verfahren für die Bestimmung der Wärmeleistung von Systemen, die nicht nach Abschnitt 6 berechnet werden können

Bei Konstruktionen, die nicht dem grundsätzlichen Aufbau der Typen A, B, C oder D entsprechen, oder wenn Maße bzw. Werkstoffdaten außerhalb des Anwendungsbereichs des Berechnungsverfahrens liegen, ist die spezifische Wärmeleistung mit dem nachfolgend beschriebenen experimentellen Prüfverfahren zu bestimmen.

In dem Prüfstand nach Bild A.6 wird ein aus mindestens drei Heizrohren bestehender Probekörper mit der zu prüfenden Rohrteilung entsprechend dem Systemaufbau der zu untersuchenden Fußbodenheizung angeordnet. Der Probekörper muss, nach Vereinbarung mit dem Prüflaboratorium, Maße von etwa $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ aufweisen. Es sind vorzugsweise drei Rohrteilungen zu verwenden. In Bild A.6 simulieren die Kühlplatten den über dem Fußbodenheizsystem gelegenen Raum (siehe Legende 1), d. h. die Temperatur des beheizten Raumes ϑ_i und des darunter gelegenen Raumes (siehe Legende 4). Für die Kühlplatten wird die Ausführung nach Bild A.7 empfohlen, bestehend aus Flachprofilrohr-Plattenheizkörpern, in denen Trennscheiben für den geeigneten Kühlwasserstrom sorgen. Die Kühlplatte muss mindestens $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ groß sein. Die obere Platte muss während der Messungen eine Gewichtskraft von $450 \pm 50\text{ N}$ ausüben. Der Wärmeübergangswiderstand $1/\alpha$ an der Fußbodenoberfläche wird durch eine wärmeleitende Schicht simuliert (siehe Legende 2). Die beiden seitlichen Heizrohre dienen als Schutzfeld, um ein möglichst ungestörtes Temperaturfeld um das mittlere Rohr zu erreichen. Der Wärmeübergangswiderstand $1/\alpha$ an der Fußbodenoberfläche entsprechend der Basiskennlinie wird durch den Wärmeleitwiderstand s/λ der wärmeleitenden Schicht (siehe Legende 2) gleicher Größe (im Mittel) ersetzt.

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{s}{\lambda} = 0,092\text{ m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \quad (32)$$

Die Grenzabweichung des Wertes s/λ beträgt $\pm 0,01\text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Die Temperaturspreizung $\vartheta_V - \vartheta_R$ des Probekörpers (siehe Bild A.8) darf $0,5\text{ K}$ nicht übersteigen. Die Erwärmung des Wasserstroms in den Kühlplatten $\vartheta_{C,\text{out}} - \vartheta_{C,\text{in}}$ (siehe Bild A.7) darf nicht über $0,3\text{ K}$ liegen.

ϑ_V ist die Heizwasser-Vorlauftemperatur des Probekörpers

ϑ_R ist die Heizwasser-Rücklauftemperatur des Probekörpers

$\vartheta_{C,\text{out}}$ ist die Kühlwasser-Austrittstemperatur der Kühlplatten

$\vartheta_{C,\text{in}}$ ist die Kühlwasser-Eintrittstemperatur der Kühlplatten

Die zulässige Unsicherheit bei der Messung der Temperaturen beträgt $\pm 0,1\text{ K}$.

Das Temperaturfeld der Fußbodenoberfläche wird gemessen, um die Werte $\vartheta_{F,m}$ und $\vartheta_{F,\text{max}}$ zu bestimmen. Die Messung ist im ungestörten Bereich um das mittlere Rohr bzw. um die mittleren Rohre durchzuführen, und zwar mindestens in der Breite einer Rohrteilung. Es wird empfohlen, möglichst zwei Rohrteilungen zu verwenden. Das Prinzip der Anordnung der Messstellen bei zwei Rohrteilungen sollte Bild A.8 entsprechen. Mit den Messwerten $\vartheta_{F,i}$ (siehe Bild A.8) wird die Berechnung beispielsweise wie folgt ausgeführt:

$$\vartheta_{F,m} = \left(\sum_2^8 \vartheta_{F,i} + \sum_{11}^{17} \vartheta_{F,i} + \frac{\vartheta_{F,1} + \vartheta_{F,9} + \vartheta_{F,10} + \vartheta_{F,18}}{2} \right) / 16$$

$$\vartheta_{F,\text{max}} = \frac{\vartheta_{F,5} + \vartheta_{F,14}}{2}$$

Dabei ist/sind

- $\vartheta_{F,i}$ die lokalen Fußbodenoberflächentemperaturen (Messstellen)
- $\vartheta_{F,m}$ die mittlere Fußbodenoberflächentemperatur
- $\vartheta_{F,max}$ die maximale Fußbodenoberflächentemperatur

Im Falle nicht verwendbarer Werte für das gemessene Temperaturfeld, das durch die Inhomogenität des Estrichs verursacht wird, ist ein anderer Teil der Oberfläche anzuwenden.

Da die Temperaturspreizung $\vartheta_V - \vartheta_R$ des Probekörpers sehr gering ist und die Temperaturmessungen im ungestörten Bereich um das mittlere Rohr durchzuführen sind, ist keine unterschiedliche Behandlung in Abhängigkeit vom Verlegesystem (spiralförmig oder mäanderförmig) erforderlich.

Die vorstehend angegebenen Erläuterungen beziehen sich auf den am häufigsten auftretenden Fall, bei dem das Fußbodenheizsystem durch sich wiederholende Rohrteilungen gekennzeichnet ist. Der Probekörper in Bild A.6, der in Bezug auf das mittlere Rohr symmetrisch ist, beruht auf diesem Sachverhalt. Ist das System durch andere Maße gekennzeichnet, muss das Verfahren entsprechend angepasst werden.

In einem ersten Arbeitsschritt wird der Versuch für $R_{\lambda,B} = 0$ durchgeführt.

Die mittlere Fußbodenoberflächentemperatur $\vartheta_{F,m}$ bestimmt die spezifische Wärmeleistung, und die maximale Fußbodenoberflächentemperatur $\vartheta_{F,max}$ begrenzt die Wärmeleistung. Die Messung wird durchgeführt, wenn ein stationärer Zustand erreicht ist und die Temperatur beider Kühlplatten konstant $\vartheta_i = 20\text{ °C} \pm 0,5\text{ K}$ beträgt. Unter diesen Bedingungen wird die mittlere Heizmitteltemperatur ϑ_H so eingestellt, dass eine maximale Fußbodenoberflächentemperatur von $\vartheta_{F,max} = 29\text{ °C}$ (d. h. $\vartheta_{F,max} - \vartheta_i = 9\text{ K}$) erreicht wird; in diesem Fall gilt für die Differenz zwischen der mittleren Temperatur des Heizmittels und der Temperatur der Kühlplatten $\vartheta_H - \vartheta_i = \Delta\vartheta_H = \Delta\vartheta_N$ (Normwert).

Kann der Temperaturdifferenzwert ($\vartheta_{F,max} - \vartheta_i$) nicht genau auf 9 K eingestellt werden, sind ein Wert knapp unterhalb von 9 K und ein Wert knapp oberhalb von 9 K einzustellen, und aus den Ergebnissen ist ein Mittelwert zu bilden.

Bei aufrechterhaltener Temperaturdifferenz ($\vartheta_{F,max} - \vartheta_i$) = 9 K und Bestimmung der mittleren Temperaturdifferenz zwischen Fußbodenoberfläche und Raum ($\vartheta_{F,m} - \vartheta_i$) wird diese Temperaturdifferenz auf die Basiskennlinie (Bild A.1) angewendet und ergibt die spezifische Normwärmeleistung:

$$q_N = 8,92 \cdot (\vartheta_{F,m} - \vartheta_i)_N^{1,1} \quad (33)$$

Die spezifische Normwärmeleistung q_N und der vorstehend bestimmte zugehörige Wert der Normtemperaturdifferenz $\Delta\vartheta_N$ ergeben die Gleichung für die Kennlinie für $R_{\lambda,B} = 0$:

$$q_N = K_{H,N} \cdot \Delta\vartheta_N$$

mit der folgenden Kennliniensteigung (dem äquivalenten Wärmedurchgangskoeffizienten):

$$K_{H,N} = \frac{q_N}{\Delta\vartheta_N} \quad (34)$$

Gilt für einen gegebenen Belagswiderstand $R'_{\lambda,B}$ die Kennliniensteigung K'_H (zur Bestimmung von K'_H siehe Gleichung (36)), so kann für einen beliebigen Fußbodenbelagswiderstand $R_{\lambda,B} > 0$ die zugehörige Kennliniensteigung $K_H(R_{\lambda,B})$ nach Gleichung (35) bestimmt werden:

$$K_H = K_H(R_{\lambda,B}) = \frac{K_{H,N}}{1 + \frac{R_{\lambda,B}}{R'_{\lambda,B}} \left(\frac{K_{H,N}}{K'_H} - 1 \right)} \quad (35)$$

Mit Gleichung (35) lassen sich die Steigungen der Kennlinien $K_H(R_{\lambda,B})$ bei Wärmewiderständen $R_{\lambda,B} = 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ und $0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ berechnen.

Zur Bestimmung der Kennliniensteigung K'_H zur Verwendung in Gleichung (35) ist eine weitere Messung wie vorstehend für $R_{\lambda,B} = 0$ beschrieben durchzuführen, jedoch mit einem Fußbodenbelagswiderstand von $R'_{\lambda,B} = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \pm 0,01 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$. Mit dieser Messung werden der Grenzwert der spezifischen Wärmeleistung q'_G und der Grenzwert der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta'_{H,G}$ ermittelt, woraus sich der erforderliche Wert K'_H ergibt:

$$K'_H = K'_H(R'_{\lambda,B}) = \frac{q'_G}{\Delta\vartheta'_{H,G}} \quad (36)$$

Nach Gleichung (37) ergeben sich die Grenzwerte der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_{H,G}$ für die Wärmeleitwiderstände $R_{\lambda,B} > 0$ als Schnittpunkte der Kennlinien mit der Grenzkurve aus den Messdaten und der nach Gleichung (35) berechneten Kennliniensteigung K_H :

$$\Delta\vartheta'_{H,G} = \varphi \cdot \frac{q'_G \cdot \Delta\vartheta'_N - q_N \Delta\vartheta'_{H,G}}{K_H \cdot (\Delta\vartheta'_N - \Delta\vartheta'_{H,G}) - q_N + q'_G} \quad (37)$$

Bei Systemen mit mehreren Teilungen sind die größte und die kleinste Teilung sowie ausreichend dazwischen liegende Teilungen nach dem beschriebenen Verfahren zu prüfen, sodass das Verhältnis der Teilungen nicht größer als 1 : 2 ist. Werte für nicht auf diese Weise geprüfte Teilungen sind mit geeigneten Polynomen durch Interpolation zu bestimmen. Die Ergebnisse sind in einem Prüfbericht nach Abschnitt 10 darzustellen.

10 Prüfbericht

Die Ergebnisse für eine gegebene Konstruktion sind für jede planmäßige Rohrteilung T und jede planmäßige Dicke s_U über dem Rohr zu dokumentieren. Die Prüfstelle gibt die Ergebnisse in einem Prüfbericht an. Die Ergebnisse werden in einem Kennlinienfeld mit linearen Koordinatenteilungen unter Anwendung von Gleichung (38) dokumentiert:

$$q = f(\Delta\vartheta_H, R_{\lambda,B}) \quad (38)$$

Die Kennlinien werden für die Werte des Wärmewiderstands $R_{\lambda,B} = 0 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $R_{\lambda,B} = 0,05 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$, $R_{\lambda,B} = 0,10 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ und $R_{\lambda,B} = 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ gezeichnet. Werte von $R_{\lambda,B} > 0,15 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$ entsprechen nicht dieser Norm.

In dieses Kennlinienfeld werden auch die Grenzkurven nach Gleichung (18) eingetragen. Diese Kennlinien ergeben für $R_{\lambda,B} = 0$ die spezifische Normwärmeleistung q_N und die zugehörige Normtemperaturdifferenz $\Delta\vartheta_N$ nach 6.5. Darüber hinaus sind die Grenzwerte der spezifischen Wärmeleistung q_G und die zugehörigen Grenzwerte der Temperaturdifferenz $\Delta\vartheta_{H,G}$ nach 6.5 für die übrigen, vorstehend erwähnten $R_{\lambda,B}$ -Werte zu dokumentieren.

Das geprüfte System ist durch eine technische Beschreibung nach Abschnitt 5 zu identifizieren. Diese Unterlagen müssen sämtliche, die wärmetechnischen Eigenschaften beeinflussenden Maße und Werkstoffe/Materialien enthalten. Die Ergebnisse gelten nur für das geprüfte System. Werden durch den Lieferer des Systems jegliche Änderungen durchgeführt, die die Grundsätze der wärmetechnischen Prüfung beeinflussen, ist eine erneute Prüfung durchzuführen.

11 Prüfsystem

11.1 Allgemeines

Das Prüfsystem setzt sich wie folgt zusammen:

- nach EN ISO/IEC 17025 akkreditiertes zugelassenes Prüflaboratorium. Das Laboratorium nimmt an allen von den zugelassenen Laboratorien durchgeführten Ringversuchen teil. Das Laboratorium muss die Anforderungen dieser Norm erfüllen;
- Computersystem mit Software zur Berechnung der spezifischen Wärmeleistung (Kennlinienfeld und Grenzkurven) nach Abschnitt 6 dieser Norm;
- Prüfstand für das experimentelle Verfahren nach Abschnitt 9 dieser Norm;
- primärer und sekundärer Master-Probekörper;
- bauliche Übereinstimmung: Das teilnehmende Laboratorium muss die Übereinstimmung seiner Prüfstände mit dieser Europäischen Norm erklären;
- Softwarekonformität: Das teilnehmende Laboratorium muss die Übereinstimmung seiner Software mit dieser Europäischen Norm erklären.

11.2 Master-Probekörper

Ausführung und Werkstoffe der für den Prüfstand nach Abschnitt 9 verwendeten Master-Probekörper sind in Bild A.9 dargestellt. Der erste und der zweite Master-Probekörper sind in gleicher Weise ausgeführt und aus den gleichen Werkstoffen gefertigt. Das Laboratorium muss für die eigene Ausstattung mit dem Master-Probekörper 2 sorgen. Master-Probekörper 1 wird unter den am Prüfsystem teilnehmenden Laboratorien in Umlauf gebracht. Im Rahmen des Herstellungsprozesses ist sicherzustellen, dass die Werkstoffe und Maße aller Probekörper genau übereinstimmen. Dies ist zu verifizieren und in einem umfassenden Bericht zu dokumentieren. Der Bericht ist für alle weiteren Überprüfungen bereitzuhalten.

Die Master-Probekörper dienen folgendem Zweck:

- a) Verifizierung, ob die Vergleichspräzision der Versuchswerte zwischen den Prüflaboratorien innerhalb der von diesem Dokument festgelegten Grenzen liegt;
- b) Schaffung einer gemeinsamen Grundlage für alle Prüfstände um zu verifizieren, ob die Wiederholpräzision der Versuchswerte eines jeden Prüfstands innerhalb der von dieser Europäischen Norm festgelegten Grenzen liegt.

11.3 Verifizierung der Prüfstände

Sämtliche Prüfstände sind auf folgende Aspekte hin zu verifizieren:

Vergleichpräzision der experimentellen Verfahren:

Die Vergleichpräzision ist vom Prüflaboratorium unter Verwendung des ersten Master-Probekörpers zu überprüfen. Die Ergebnisse der mit dem Prüfstand nach Abschnitt 9 durchgeführten Versuche müssen innerhalb der Grenzabweichung $s_m = \pm a_1 \%$ (zur Bestimmung von a_1 siehe 12.4) der Werte $q_{N,M,s}$ und $q_{G,M,s}(R_{\lambda;B} = 0,15)$ liegen. Die Temperaturen sind über die Breite einer Rohrteilung zu messen. Die Prüflaboratorien müssen die Vergleichpräzision in regelmäßigen Prüfungen nachweisen.

Wiederholpräzision der experimentellen Verfahren:

Die Wiederholpräzision ist vom Prüflaboratorium mit dessen eigenem zweiten Master-Probekörper zu überprüfen. Die Versuche sind periodisch in einem Abstand von 12 Monaten durchzuführen. Die Ergebnisse der mit den Prüfständen nach Abschnitt 9 durchgeführten Versuche müssen innerhalb eines Bereichs der Grenzabweichung von $s_0 = 2 \%$ liegen. Mit Beginn der Verwendung der Prüfstände sind drei aufeinanderfolgende Messungen durchzuführen, um die Einhaltung der vorstehend beschriebenen Anforderungen zu überprüfen.

11.4 Bestimmung der Werte s_m und $\phi_{M,s}(q_{N,M,s}, q_{G,M,s}(R_{\lambda;B} = 0,15))$ der ersten Master-Probekörper

Die $\phi_{M,s}$ -Werte der ersten Master-Probekörper werden durch eine Ringmessung sämtlicher am Prüfsystem teilnehmenden Laboratorien bestimmt. Das Verfahren ist von einer Arbeitsgruppe aus Mitgliedern der teilnehmenden Laboratorien unter Zusammenarbeit mit der zuständigen Arbeitsgruppe des CEN/TC 130 durchzuführen. Jedes Laboratorium bestimmt $\phi_{O,s}$ -Werte als Mittelwert von drei aufeinanderfolgenden Messungen. Alle Versuchsergebnisse müssen innerhalb des Bereichs der Grenzabweichung $s_0 = 2 \%$ liegen. Die Arbeitsgruppe der teilnehmenden Laboratorien bestimmt in Übereinstimmung mit der Arbeitsgruppe des CEN/TC 130 für s_m die Werte $\pm a_1 \%$ und $a_2 \%$. Die $\phi_{M,s}$ -Werte werden von der Arbeitsgruppe als Mittelwert aus den $\phi_{O,s}$ -Werten der Laboratorien gebildet, wobei keine $\phi_{O,s}$ -Werte verwendet werden dürfen, die um mehr als $\pm a_1 \%$ bzw. $a_2 \%$ vom jeweiligen Mittelwert aller Laboratorien abweichen.

11.5 Verifizierung der Software

Die Vergleich- und Wiederholpräzision der Software ist zu verifizieren. Dafür sind für folgende Systeme Berechnungen durchzuführen und die Ergebnisse nach dieser Europäischen Norm zu dokumentieren.

a) Fußbodenheizsysteme mit Rohren innerhalb des Estrichs (Typ A), Tackersystem

Rohr	PE-X 16 × 2 mm
Teilung T	50/100/300/450 mm
Zementestrich s_U	50 mm

b) Fußbodenheizsystem mit Rohren innerhalb des Estrichs (Typ A)

Rohr	Cu 12 × 0,7 mm mit 2 mm dicker PVC-Ummantelung mit eingeschlossener Luft
Teilung T	100/200/300 mm
Zementestrich s_U	45 mm

c) Fußbodenheizungssystem mit Rohren unterhalb des Estrichs (Typ B)

Rohr PE-X 14 × 2 mm

Teilung T 100/200/300 mm

Ω -Aluminiumplatten-Wärmeleiteinrichtungen 0,6 mm, $L = 98$ mm

Anhydritestrich s_U 30 mm

d) Fußbodenheizungssystem mit Rohren innerhalb des Estrichs (Typ A)

Rohr PE-X 25 × 2,5 mm

Teilung T 150/300/450 mm

Beton s_U 100 mm

Die gültigen Randbedingungen sind für jedes Berechnungsergebnis zu dokumentieren.

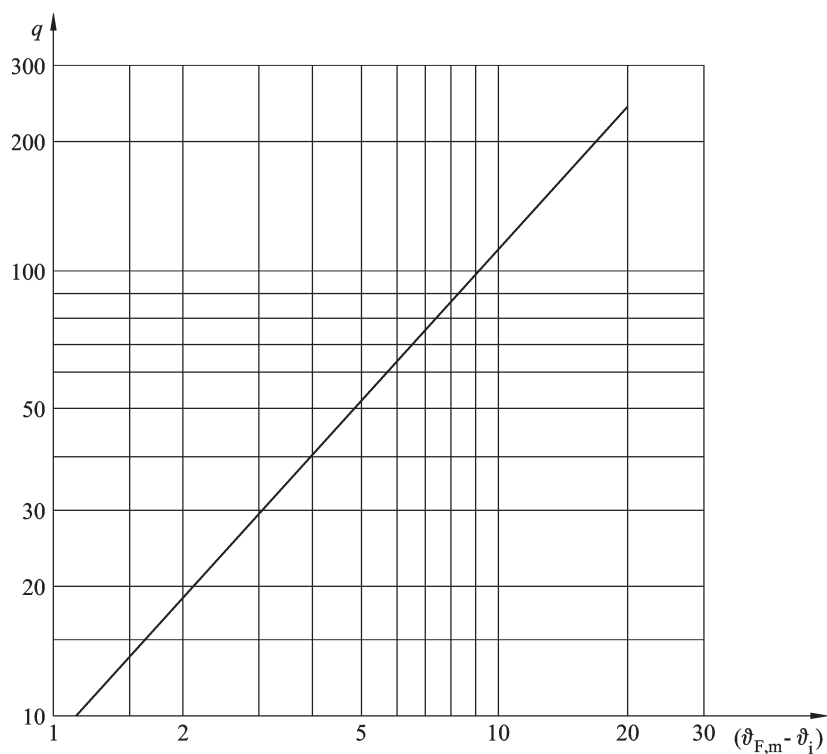
Die Vergleichpräzision der Ergebnisse der (nach Abschnitt 6 durchgeführten) Berechnungen muss innerhalb der Grenزابweichung $s_m = \pm 0,5$ % der Werte $q_{N,M,s}$ und $q_{G,M,s}(R_{\lambda;B} = 0,15)$ liegen.

Die Werte $q_{N,M,s}$ und $q_{G,M,s}(R_{\lambda;B} = 0,15)$ werden in einem Verfahren nach 12.4 bestimmt.

Die Wiederholpräzision ist regelmäßig zu prüfen. Es sind keine Abweichungen zulässig.

Anhang A (normativ)

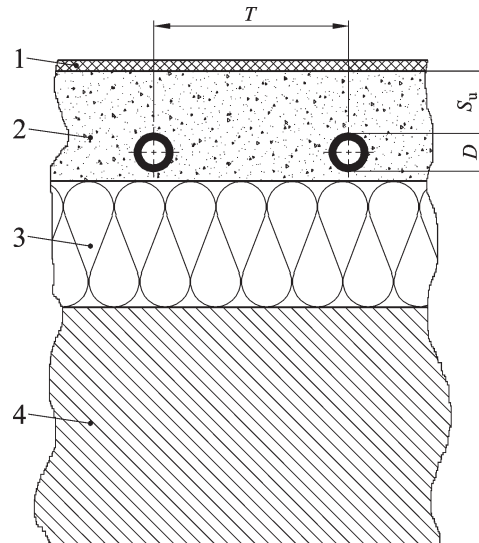
Bilder und Tabellen



Legende

- θ_i Norm-Innentemperatur, in °C
- $\theta_{F,m}$ mittlere Oberflächentemperatur, in °C
- q spezifische Wärmeleistung, in W/m², $q = 8,92 (\theta_{F,m} - \theta_i)^{1,1}$
- 1 spezifische Wärmeleistung q (W/m²)
- 2 mittlere Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Raum $(\theta_{F,m} - \theta_i)$, in K

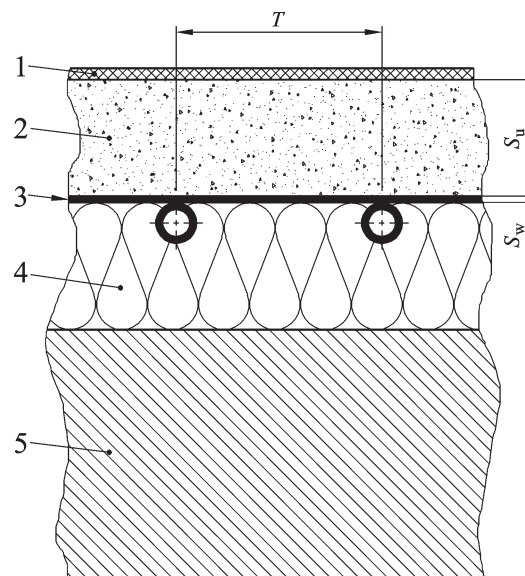
Bild A.1 — Basiskennlinie



Legende

- 1 Fußbodenbelag $R_{\lambda,B}$
- 2 Wärme- und Lastverteilschicht λ_E (Zementestrich, Anhydritestrich, Asphaltestrich). Die Dicke zwischen den Rohren und der Dämmschicht liegt im Bereich von 0 mm bis 10 mm.
- 3 Wärmedämmung
- 4 tragender Untergrund

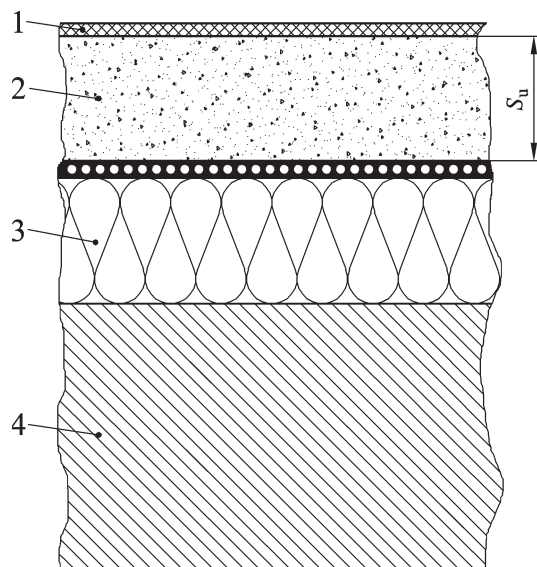
Bild A.2 — Systeme mit Rohren innerhalb des Estrichs (Typ A und Typ C)



Legende

- 1 Fußbodenbelag $R_{\lambda,B}$
- 2 Lastverteilschicht λ_E (Zementestrich, Anhydritestrich, Asphaltestrich, Holz)
- 3 Wärmeleiteinrichtung
- 4 Wärmedämmung
- 5 tragender Untergrund

Bild A.3 — Systeme mit Rohren unterhalb des Estrichs (Typ B)



Legende

- 1 Fußbodenbelag $R_{\lambda,B}$
- 2 Wärme- und Lastverteilschicht λ_E (Zementestrich, Anhydritestrich, Asphaltestrich, Holz)
- 3 Wärmedämmung
- 4 tragender Untergrund

Bild A.4 — Systeme mit Flächenelementen (Typ D)