

DIN EN 15377-3

ICS 91.140.10; 91.140.30

**Heizungsanlagen in Gebäuden –
Planung von eingebetteten Flächenheiz- und -kühlssystemen mit Wasser
als Arbeitsmedium –
Teil 3: Optimierung für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen;
Deutsche Fassung EN 15377-3:2007**

Heating systems in buildings –
Design of embedded water based surface heating and cooling systems –
Part 3: Optimizing for use of renewable energy sources;
German version EN 15377-3:2007

Conception des systèmes de chauffage et refroidissement par le sol, le mur et le
plafond –
Partie 3: Optimisation pour l'usage des sources d'énergie renouvelable;
Version allemande EN 15377-3:2007

Gesamtumfang 71 Seiten

Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN 15377-3:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 228 „Heizsysteme in Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DS (Dänemark) gehalten wird.

Zuständig für die Deutsche Fassung ist der Normenausschuss Heiz- und Raumluftechnik (NHRS) im DIN Deutsches Institut für Normung e. V.

Deutsche Fassung

Heizungsanlagen in Gebäuden —
Planung von eingebetteten Flächenheiz- und -kühlsystemen mit
Wasser als Arbeitsmedium —
Teil 3: Optimierung für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen

Heating systems in buildings —
Design of embedded water based surface heating and
cooling systems —
Part 3: Optimizing for use of renewable energy sources

Conception des systèmes de chauffage et refroidissement
par le sol, le mur et le plafond —
Partie 3: Optimisation pour l'usage des sources
d'énergie renouvelable

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 18. August 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	3
Einleitung.....	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen.....	6
3 Begriffe und Symbole.....	7
3.1 Auf den Heiz- bzw. Kühlkreis bezogene Daten.....	7
3.2 Daten zur Raumgeometrie und den Randbedingungen	7
3.3 Auf die Platte und ihre Teile bezogene Daten.....	8
3.4 Auf das Anfangstemperaturprofil bezogene Daten.....	9
3.5 Berechnung des Temperaturprofils und der Wärmeströme im generischen Zeitschritt n	9
4 Zusammenhang mit weiteren EPBD-Normen	9
5 Systemoptimierung zur Erleichterung der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen.....	10
6 Das Konzept der thermoaktiven Bauteilsysteme (Bauteilaktivierung, TABS)	10
7 Berechnungsverfahren	15
7.1 Allgemeines.....	15
7.2 Ungefähres Größenbestimmungsverfahren	15
7.3 Vereinfachtes Größenbestimmungsverfahren anhand von Diagrammen	15
7.4 Vereinfachtes Modell, basierend auf der Finite-Differenzen-Methode (FDM).....	21
7.4.1 Kühlsystem.....	21
7.4.2 Hydraulikkreis	21
7.4.3 Platte	22
7.4.4 Raum	22
7.4.5 Anwendungsgrenzen des Verfahrens	23
7.5 Dynamisches Gebäudesimulationsprogramm	24
8 Eingangsdaten für Computersimulationen des energetischen Verhaltens.....	24
Anhang A (informativ) Vereinfachte Diagramme	25
Anhang B (normativ) Berechnungsverfahren	29
B.1 Rohrebene	29
B.2 Unterteilung der Platte	29
B.3 Auswahl des Berechnungszeitschritts.....	33
B.4 Berechnungen für den generischen n -ten Zeitschritt.....	33
B.5 Dimensionierung des Systems	36
Anhang C (informativ) Anleitung zur Bewertung des Modells	37
Anhang D (informativ) Computerprogramm	40
Literaturhinweise	69

Vorwort

Dieses Dokument (EN 15377-3:2007) wurde vom Technischen Komitee CEN/TC 228 „Heizungsanlagen in Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom DS gehalten wird.

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

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone dem CEN erteilt haben (Mandat M/343), und unterstützt grundlegende Anforderungen der EG-Richtlinie 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden (EPBD). Sie ist Teil einer Reihe von Normen mit dem Ziel einer europäischen Harmonisierung der Verfahren zur Berechnung der Energieeffizienz von Gebäuden. Ein Überblick über sämtliche dieser Normen ist in prCEN/TR 15615 enthalten.

CEN/TC 228 behandelt folgende Themen:

- Planung von (Warmwasser-, elektrischen und sonstigen) Heizungsanlagen;
- Installation von Heizungsanlagen;
- Inbetriebnahme von Heizungsanlagen;
- Anweisungen zum Betrieb, zur Wartung und zur Nutzung von Heizungsanlagen;
- Verfahren zur Berechnung des Auslegungs-Wärmeverlusts und der Auslegungs-Heizlasten;
- Verfahren zur Berechnung der Gesamtenergieeffizienz von Heizungsanlagen.

Bei der Betrachtung von Heizungsanlagen sind auch die Auswirkungen der damit verbundenen Systeme, wie z. B. von Wassererwärmungssystemen, zu berücksichtigen.

Alle diese Normen sind Systemnormen, d. h. sie beruhen auf Anforderungen, die an das System als Ganzes gestellt werden und behandeln keine Anforderungen an Produkte innerhalb des Systems.

Falls möglich, wird auf andere Europäische oder Internationale Normen verwiesen, u. a. Produktnormen. Dennoch stellt die Verwendung von Produkten, die den einschlägigen Produktnormen entsprechen, keine Garantie dafür dar, dass auch die Systemanforderungen erfüllt werden.

Die Anforderungen werden hauptsächlich in Form von Funktionsanforderungen angegeben, d. h. als Anforderungen, die die Funktion des Systems behandeln, anstelle solcher, die Form, Materialien, Maße o. Ä. festlegen.

Die Richtlinien beschreiben Verfahrenswege, wie diese Anforderungen erfüllt werden können, es dürfen jedoch auch andere Verfahrenswege gewählt werden, falls nachgewiesen werden kann, dass diese ebenfalls zur Erfüllung der Anforderungen führen.

Aufgrund unterschiedlicher klimatischer Bedingungen, Traditionen und nationaler Rechtsvorschriften sind Heizungsanlagen von Mitgliedsland zu Mitgliedsland sehr unterschiedlich. In einigen Fällen werden die Anforderungen in Form von Klassen angegeben, sodass nationalen oder individuellen Bedürfnissen Rechnung getragen werden kann.

In Fällen, in denen die Normen einschlägigen nationalen Rechtsvorschriften widersprechen, sollten diese Rechtsvorschriften befolgt werden.

prEN 15377, *Heizungsanlagen in Gebäuden — Planung von eingebetteten Flächenheiz- und -kühlssystemen mit Wasser als Arbeitsmedium*, besteht aus folgenden Teilen:

- *Teil 1: Bestimmung der Auslegungs-Heiz- und -Kühlleistung*
- *Teil 2: Auslegung, Dimensionierung und Installation*
- *Teil 3: Optimierung für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen*

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.

Einleitung

Das Ziel der vorliegenden Norm besteht darin, einen Leitfaden für die Auslegung von eingebetteten Heiz- und Kühlsystemen mit Wasser als Arbeitsmedium zu geben, um die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zu fördern und ein Verfahren für die aktive Integration der Gebäudemasse zur Verfügung zu stellen, welche dazu dient, Lastspitzen zu reduzieren, Heiz- bzw. Kühllasten auf Schwachlastzeiten zu verschieben und die Systeme zu verkleinern.

Ein Abschnitt der vorliegenden Norm beschreibt, wie sich die Auslegung und Dimensionierung optimieren lassen, um die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zu erleichtern.

Lastspitzen lassen sich durch Aktivierung der Gebäudemasse mithilfe von in den Betonkern eingelassenen Rohren (thermoaktive Bauteilsysteme, TABS) reduzieren. Für diesen Systemtyp reicht es nicht aus, die Heiz- und Kühlleistung unter den Bedingungen des Beharrungszustandes (nach Teil 1 dieser Norm) zu berechnen. Aus diesem Grunde beschreiben mehrere Abschnitte dieser Norm Verfahren, mit deren Hilfe dem dynamischen Verhalten Rechnung getragen werden kann.

Die vorgeschlagenen Verfahren dienen zur Berechnung und zum Nachweis, dass die Kühlleistung des Systems ausreicht sowie zur Berechnung der Anforderungen an die Kühlung auf der Wasserseite für die Dimensionierung des Kühlsystems, einschließlich der Kälteanlage.

Die energetische Bewertung der Flächenheiz- und -kühlsysteme kann auch in Übereinstimmung mit nationalen Leitlinien erfolgen, welche das Ziel dieser Norm erfüllen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument gilt für Flächenheiz- und -kühlsysteme mit Wasser als Arbeitsmedium in Wohnhäusern, Geschäfts- und Industriebauten.

Die Verfahren gelten für in Wand-, Decken- oder Fußbodenkonstruktionen eingebaute Systeme ohne offene Luftspalte.

Die Verfahren gelten nicht für beheizte oder gekühlte Deckenplatten oder -strahler.

Diese Norm ist Teil 3 einer Reihe von Normen, die folgende Teile umfasst:

- Teil 1: Berechnungsverfahren zur Bestimmung der Auslegungs-Heiz- und -Kühlleistung unter stationären Bedingungen;
- Teil 2: Verfahren für die Auslegung, Dimensionierung und Installation;
- Teil 3: Optimierung für die Nutzung erneuerbarer Energiequellen.

Das Ziel der vorliegenden Norm besteht darin, einen Leitfaden für die Planung bereitzustellen, um die Nutzung erneuerbarer Energiequellen zu fördern sowie ein Verfahren für den Einsatz von thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS) zur Verfügung zu stellen.

Dieses Verfahren ermöglicht die Berechnung der Spitzenkühlleistung eines thermoaktiven Systems auf der Basis der (solaren und durch interne Lasten oder die Lüftung verursachten) Wärmegewinne.

Dieses Verfahren ermöglicht auch die Berechnung des Energiebedarfs auf der Wasserseite (System), der für die Dimensionierung des Kühlsystems, z. B. des Wasserkühlers und des Flüssigkeitsstroms, verwendet wird.

Die Heizleistung unter den Bedingungen des Beharrungszustandes wird nach Verfahren B oder E von prEN 15377-1 (Teil 1 dieser Normenreihe) berechnet.

2 Normative Verweisungen

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

EN 15251, *Eingabeparameter für die Auslegung des Innenraumklimas und für die Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden — einschließlich Temperatur, Raumluftqualität, Licht und Lärm*

EN 15255, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — Berechnung der sensiblen Raumkühllast — Allgemeine Kriterien und Bewertungsverfahren*

EN 15265, *Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden — Berechnung des Heiz- und Kühlenergieverbrauchs — Allgemeine Kriterien und Bewertungsverfahren*

prEN 15377-1:2005, *Heizungsanlagen in Gebäuden — Auslegung von eingebetteten Flächenheiz- und -kühlsystemen mit Wasser als Arbeitsmedium — Teil 1: Bestimmung der Auslegungs-Heiz- und -Kühlleistung*

prEN 15377-2, *Heizungsanlagen in Gebäuden — Auslegung von eingebetteten Flächenheiz- und -kühlsystemen mit Wasser als Arbeitsmedium — Teil 2: Planung, Auslegung und Installation*

3 Begriffe und Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe und Symbole nach prEN 15377-1:2005 sowie die folgenden Symbole.

3.1 Auf den Heiz- bzw. Kühlkreis bezogene Daten

$\dot{m}_{H,sp}$	spezifischer Wasserstrom, berechnet für die vom Heiz- bzw. Kühlkreis abgedeckte Fläche, in $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$;
c_w	spezifische Wärmekapazität des Wassers, in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
T	Rohrteilung, in m;
d_a	Rohraußendurchmesser, in m;
s_r	Rohrwanddicke, in m;
λ_r	Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials, in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
$A_{\text{Fußboden}}$	vom Heiz- bzw. Kühlkreis gekühlte/beheizte Fläche, in m^2 ;
L_R	Heiz- bzw. Kühlkreislänge, in m;
$P_W^{\max}$	maximale Kühlleistung (< 0) oder Heizleistung (> 0) einer Kälte- bzw. Wärme- erzeugungsanlage, in W;
θ_w^0	Vorlaufwassertemperatur zu Beginn der Simulation, in $^{\circ}\text{C}$;
$\theta_w^{\lim}$	von der Anlage erreichbare Tiefsttemperatur (im Falle des Kühlbetriebs) oder Höchsttemperatur (im Falle des Heizbetriebs) des Vorlaufwassers, in $^{\circ}\text{C}$.

3.2 Daten zur Raumgeometrie und den Randbedingungen

$A_{\text{Wände}}$	Gesamtfläche der senkrechten Wände ohne Außenfassade, in m^2 ;
$F_v \text{ Fußboden-Außenwand}$	Einstrahlzahl Fußboden-Außenwand;
$F_v \text{ Fußboden-Decke}$	Einstrahlzahl Fußboden-Decke;
$F_v \text{ Fußboden-Wände}$	Einstrahlzahl Fußboden-Wände;
$R_{\text{add Fußboden}}$	zusätzlicher Belagwiderstand an der Oberseite der Platte, in $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;
$R_{\text{add Decke}}$	zusätzlicher Belagwiderstand an der Unterseite der Platte, in $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;
$R_{\text{Wände}}$	Widerstand der Oberflächenschicht von Innenwänden, in $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$;
$h_{\text{Luft-Fußboden}}$	Wärmeübergangskoeffizient für die Konvektionswärmeübertragung zwischen der Luft und dem Fußboden, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
$h_{\text{Luft-Decke}}$	Wärmeübergangskoeffizient für die Konvektionswärmeübertragung zwischen der Luft und der Decke, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
$h_{\text{Luft-Wände}}$	Wärmeübergangskoeffizient für die Konvektionswärmeübertragung zwischen der Luft und den Innenwänden, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
$h_{\text{Fußboden-Wände}}$	Wärmeübergangskoeffizient für die Strahlungswärmeübertragung zwischen dem Fußboden und den Innenwänden, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
$h_{\text{Fußboden-Decke}}$	Wärmeübergangskoeffizient für die Strahlungswärmeübertragung zwischen dem Fußboden und der Decke, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

$h_{\text{Decke-Wände}}$	Wärmeübergangskoeffizient für die Strahlungswärmeübertragung zwischen der Decke und den Wänden, in $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
$C_{\text{Wände}}$	mittlere spezifische Wärmeträgheit der Innenwände, in $\text{J}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;
Δt	Berechnungszeitschritt, in s.

Die folgenden Daten müssen für den Zeitraum eines ganzen Tages bekannt sein, und die Werte müssen während des n -ten Zeitschritts vom Beginn der Simulation an festgelegt werden:

$T_{\text{Behaglichkeit}}$	die für Behaglichkeitsbedingungen maximal zulässige operative Temperatur, in $^{\circ}\text{C}$;
$\dot{Q}_{\text{Sonne}}^n$	Solargewinn im Raum im betrachteten Berechnungszeitschritt, in W;
$\dot{Q}_{\text{Transm}}^n$	im betrachteten Berechnungszeitschritt von der Außenwand in den Raum abgegebener Wärmestrom, in W;
$\dot{Q}_{\text{Luft}}^n$	durch den Luftkreislauf abgeführter Konvektionswärmestrom, in W;
$\dot{Q}_{\text{IntRad}}^n$	interner Strahlungswärmegewinn aufgrund von Personen oder elektrischen Geräten im betrachteten Berechnungszeitschritt, in W;
$\dot{Q}_{\text{IntKonv}}^n$	interner Konvektionswärmegewinn aufgrund von Personen oder elektrischen Geräten im betrachteten Berechnungszeitschritt, in W;
f_{rm}^n	Betriebsmodus (dessen Wert bei Betrieb des Systems 1 und bei ausgeschaltetem System 0 ist), dimensionslos.

3.3 Auf die Platte und ihre Teile bezogene Daten

s_1	Dicke des oberen Teils der Platte, in m;
s_2	Dicke des unteren Teils der Platte, in m;
J_1	Anzahl der Materialschichten, die den oberen Teil der Platte bilden, dimensionslos;
J_2	Anzahl der Materialschichten, die den unteren Teil der Platte bilden, dimensionslos.

Folglich stellt $J = J_1 + J_2$ die Gesamtanzahl von Materialschichten dar, aus denen die Platte gebildet ist, und es müssen J Datensätze physikalischer Eigenschaften ($\rho_j, c_j, \lambda_j, \delta_j, m_j, R_j$) bekannt sein oder gewählt werden mit:

ρ_j	Dichte des Materials, das die j -te Schicht bildet, in kg/m^3 ;
c_j	spezifische Wärmekapazität des Materials, das die j -te Schicht bildet, in $\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$;
λ_j	Wärmeleitfähigkeit der j -ten Schicht, in $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$;
δ_j	Dicke der j -ten Schicht, in m, $\delta_j = 0$, falls die Schicht nur ein Wärmewiderstand ist;
m_j	Anzahl der Teilungen der j -ten Schicht, dimensionslos;
R_j	Wärmewiderstand der gesamten j -ten Schicht, in $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, $R_j > 0$ falls die Schicht nur ein Wärmewiderstand ist.

Aus Gründen der geometrischen Konsistenz gilt $\sum_{j=1}^{J_1} \delta_j = s_1$ und $\sum_{j=J_1+1}^{J_1+J_2} \delta_j = s_2$.

3.4 Auf das Anfangstemperaturprofil bezogene Daten

Der Anfangswert der Vorlaufwassertemperatur (θ_w^0) und der Grenzflächentemperaturen der Plattenunterteilungen ($\theta_{l,i}^0$ mit $0 \leq i \leq i_L$) muss festgelegt werden. In Bezug auf die Platte besteht eine Möglichkeit darin, allen Grenzflächen denselben Wert zuzuordnen, nämlich den der mittleren Temperatur zu Beginn der Simulation.

Falls die Simulation jedoch mehr als einen Betriebszyklus abdeckt, ist die Wahl der Anfangswerte nicht von entscheidender Bedeutung. Sie beeinflusst tatsächlich nur die ersten Zeitschritte der Simulation.

3.5 Berechnung des Temperaturprofils und der Wärmeströme im generischen Zeitschritt n

Die am Ende des vorhergehenden Zeitschritts an einer bestimmten Grenzfläche erreichte Temperatur wird zur Berechnung der auf die Baustruktur wirkenden Wärmeströme und der sich am Ende des aktuellen Zeitschritts ergebenden Temperaturen verwendet. Diese Größen sind:

$\dot{q}_{\text{Konv}}^n$	spezifischer Gesamtwärmegewinn durch Konvektion, in W/m^2 ;
$\dot{q}_{\text{Rad}}^n$	spezifischer Gesamtwärmegewinn durch Strahlung, in W/m^2 ;
θ_{Luft}^n	Lufttemperatur im Raum im betrachteten Berechnungszeitschritt, in $^{\circ}\text{C}$;
$\theta_{\text{Wände}}^n$	mittlere Temperatur der Wände im betrachteten Berechnungszeitschritt, in $^{\circ}\text{C}$;
θ_{Op}^n	operative Temperatur im Raum im betrachteten Berechnungszeitschritt, in $^{\circ}\text{C}$;
θ_w^{n-1}	Vorlaufwassertemperatur am Ende des vorhergehenden Zeitschritts, in $^{\circ}\text{C}$;
$\theta_{\text{w exit}}^{n-1}$	Austrittswassertemperatur am Ende des vorhergehenden Zeitschritts, in $^{\circ}\text{C}$;
$\theta_{l,i}^{n-1}$	Temperatur der i -ten Grenzfläche mit $0 \leq i \leq i_L$ am Ende des vorhergehenden Zeitschritts, in $^{\circ}\text{C}$.

Die bei jedem Zeitschritt erhaltenen Ergebnisse sind:

θ_w^n	Vorlaufwassertemperatur am Ende des aktuellen Zeitschritts, in $^{\circ}\text{C}$;
θ_F^n, θ_S^n	Temperatur der Ober- und Unterseite der Platte am Ende des aktuellen Zeitschritts, in $^{\circ}\text{C}$;
$\theta_{l,i}^n$	Temperatur der i -ten Grenzfläche mit $0 \leq i \leq i_L$ am Ende des aktuellen Zeitschritts, in $^{\circ}\text{C}$.

4 Zusammenhang mit weiteren EPBD-Normen

Die vorliegende Norm erfordert Eingangsdaten aus folgenden Normen: prEN 15377-1, EN 15251, EN 15255 und EN 15265.

Die vorliegende Norm stellt Eingangsdaten für folgende Normen bereit: EN 15243 und EN ISO 13792.

5 Systemoptimierung zur Erleichterung der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen

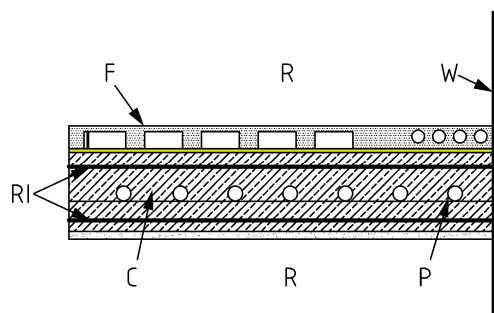
Der Transport der gleichen Energiemenge erfordert bei Verwendung von Wasser als Transportmittel weniger Hilfsenergie für die Pumpen und weniger Installationsraum als bei der Verwendung von Luft. Eine weitere Möglichkeit der Optimierung besteht darin, Wasser mit einer Temperatur nahe der Raumtemperatur zur Heizung und Kühlung zu verwenden: Niedertemperaturheizung — Hochtemperaturkühlung.

Bei üblichen eingebetteten Fußboden-, Wand- und Decken-Strahlungsheiz-/kühlsystemen führt eine Reduzierung der Rohrabstände und eine Verringerung der Temperaturunterschiede zwischen Vorlauf- und Rücklaufwasser zu Wassertemperaturen näher an der Raumtemperatur; dies erhöht jedoch die Durchflussmenge und die Rohrlänge und führt zu größeren Druckverlusten. Dadurch sind Planer gezwungen, zwischen einer Erhöhung der Hilfsenergie für Pumpen und einer Verwendung von Rohren mit größerem Durchmesser zu wählen, wobei keine dieser beiden Optionen wünschenswert ist. Dies lässt sich teilweise durch Verwendung von mehr Heiz- bzw. Kühlkreisläufen mit kleinerer Rohrlänge kompensieren. Diese Faktoren sind durch Anwendung von prEN 15377-2 (Teil 2 dieser Normenreihe) zu optimieren.

Bei Verwendung von thermoaktiven Bauteilsystemen (Bauteilaktivierung) lässt sich die Nutzung von erneuerbaren Energiequellen durch Reduzierung der Lastspitzen, Lastverschiebung auf Schwachlastzeiten, Verkleinerung der Energieerzeugungssysteme und durch den aufgrund des Wassertemperaturniveaus erhöhten Wirkungsgrad der Energieerzeugung noch weiter optimieren. Dies erleichtert die mögliche Nutzung von Energiequellen wie Sonnenkollektoren, Erdwärmepumpen, freier Kühlung, Grundwasser-Wärmetauschern und Grundwasserleitern.

6 Das Konzept der thermoaktiven Bauteilsysteme (Bauteilaktivierung, TABS)

Ein thermoaktives Bauteilsystem (TABS) ist ein Heiz- und Kühlsystem mit Wasser als Arbeitsmedium, dessen Rohre in den zentralen Betonkern eines Gebäudes eingelassen sind (siehe Bild 1). Die Wärme wird zwischen dem Wasser (in den Rohren) und dem Beton, zwischen dem Betonkern und den raumseitigen Oberflächen (Decke, Fußboden) und zwischen diesen Oberflächen und dem Raum übertragen.



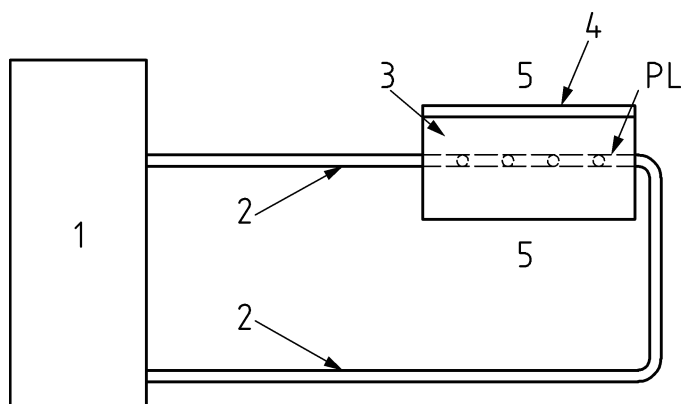
Legende

W Fenster
R Raum
F Fußboden

P Rohre
C Beton
RI Bewehrung

Bild 1 — Thermoaktives Strahlungssystem

Betrachtet man die typische Struktur eines thermoaktiven Systems, so zeigt sich, dass die Wärme von einem Kühlelement (z. B. Kühler, Wärmepumpe) abtransportiert wird, das an die in die Platte eingebetteten Rohre angeschlossen ist. Das System lässt sich in die folgenden Elemente unterteilen (siehe Bild 2):



Legende

PL Rohrebene

1 Kühlelement (Maschine)

2 Hydraulikkreis

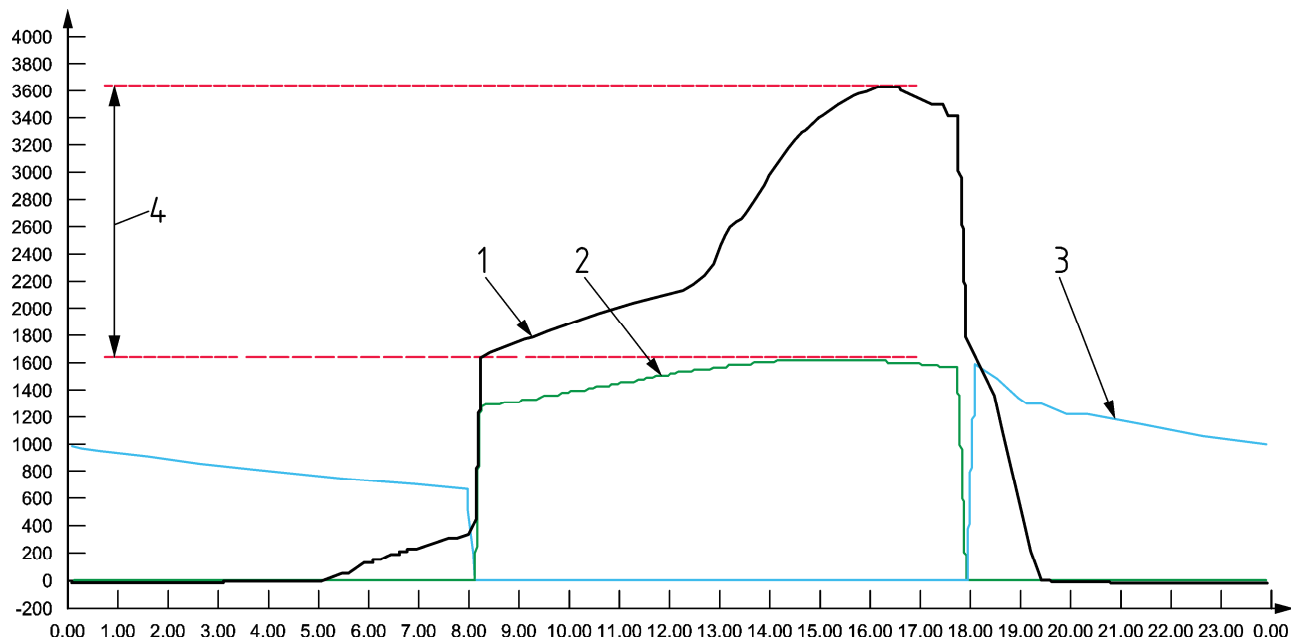
3 Platte, einschließlich Kernebene mit Rohren

4 mögliche zusätzliche Widerstände (Fußbodenbelag oder abgehängte Decke)

5 darunter und darüber liegender Raum

Bild 2 — Schematische Darstellung eines thermoaktiven Systems

Lastspitzenabbau ist die Möglichkeit, die betreffenden Gebäudeteile während einer Zeit zu beheizen und zu kühlen, in der die Nutzer abwesend sein können (z. B. nachts), wodurch auch der Spitzenwert der erforderlichen Leistung herabgesetzt wird (siehe Bild 3). Auf diese Weise lässt sich der Energieverbrauch reduzieren und ggf. von geringeren Nachtstromtarifen (sofern verfügbar) profitieren; darüber hinaus ist eine Verkleinerung des Kühlsystems, einschließlich des Kühlers, möglich.



Legende

- | | | |
|---|--|-------------------------|
| 1 | Wärmegewinn | x -Achse Uhrzeit |
| 2 | für die Aufbereitung der Zuluft erforderliche Leistung | y -Achse Kühlleistung |
| 3 | auf der Wasserseite erforderliche Leistung | |
| 4 | Spitze der Reduzierung der erforderlichen Leistung | |

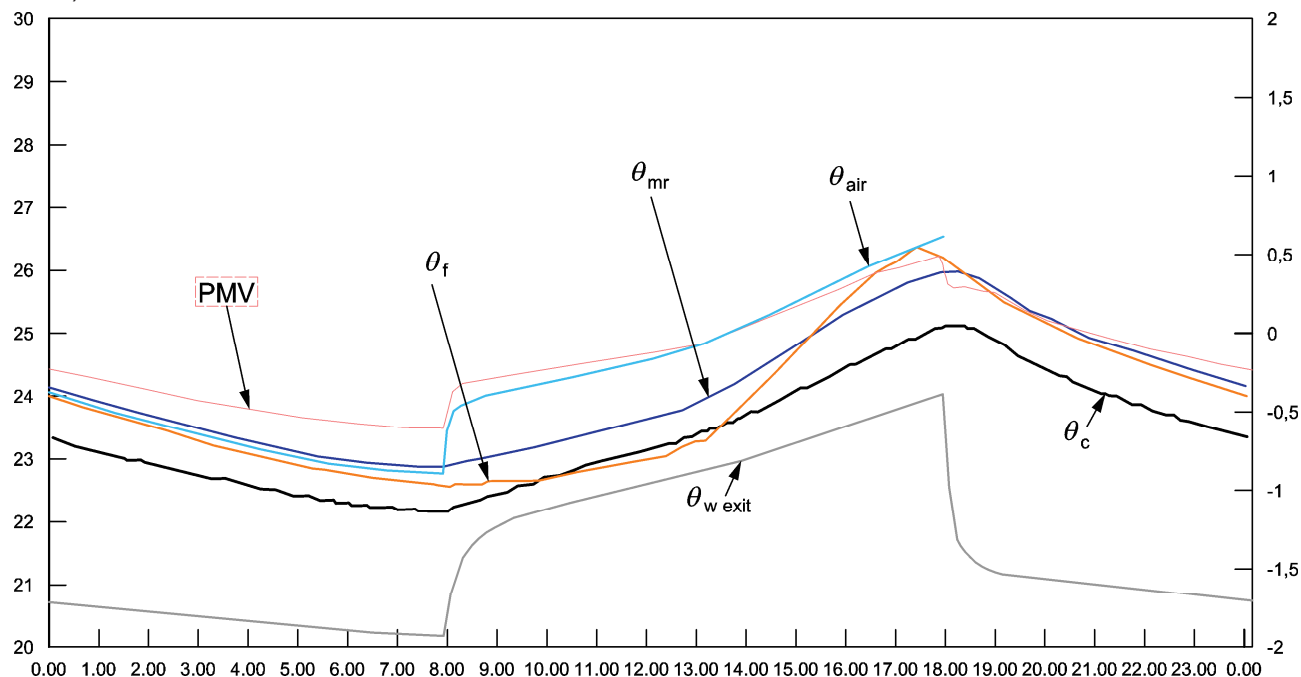
Bild 3 — Beispiel für den Lastspitzenabbau

TABS können sowohl bei natürlicher als auch bei mechanischer Lüftung (je nach den herrschenden Witterungsbedingungen) verwendet werden. In Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen und der Feuchtbildung in den betreffenden Räumen kann eine mechanische Lüftung mit Entfeuchtung erforderlich sein. Bei dem in Bild 3 dargestellten Beispiel reicht die zur Entfeuchtung der Luft tagsüber erforderliche Kühlleistung aus, um die Platte während der Nacht abzukühlen.

Der Planer muss wissen, ob die Leistung bei einer gegebenen Wassertemperatur ausreicht, um die Raumtemperatur im festgelegten Bereich zu halten. Darüber hinaus muss der Planer den Wärmestrom auf der Wasserseite kennen, um das Wärmeverteilungssystem und den Kühler bzw. den Wärmeerzeuger dimensionieren zu können. Das vorliegende Dokument stellt entsprechende Verfahren zur Verfügung.

Es wurden einige detaillierte Modelle zur Berechnung von Gebäudesystemen entwickelt, wie z. B. zur Bestimmung des Wärmeaustauschs unter instationären Bedingungen in einem einzigen Raum, zur Bestimmung des Temperatur- und Feuchtegleichgewichts der Raumluft, zur Vorhersage von Behaglichkeitsbedingungen, zur Überprüfung der Kondensation auf Oberflächen, zur Verfügbarkeit von Regelstrategien und zur Berechnung der eindringenden Sonnenstrahlung. Die Anwendung derartiger detaillierter Berechnungsmodelle ist jedoch wegen des für die Simulationen erforderlichen hohen Zeitaufwands beschränkt. Es besteht Bedarf für die Entwicklung benutzerfreundlicherer Werkzeuge. Nachfolgend wird ein solches Werkzeug, das die einfache Simulation thermoaktiver Systeme ermöglicht, zur Verfügung gestellt.

Die Innentemperatur ändert sich tagsüber nur geringfügig, und das Ziel einer guten Planung von TABS ist die Einhaltung des Behaglichkeitsbereichs während des Tages, d. h. $-0,5 < PMV < 0,5$ nach EN 15251 (siehe Bild 4).



Legende

θ_{mr} mittlere Strahlungstemperatur

θ_{air} Lufttemperatur

θ_f Fußbodentemperatur

θ_c Deckentemperatur

$\theta_{w\ exit}$ Rücklaufwassertemperatur

PMV Behaglichkeitsindex PMV (en: Predicted Mean Vote)

x-Achse

Uhrzeit

y-Achse, links

Temperatur, in °C

y-Achse, rechts

PMV-Werte

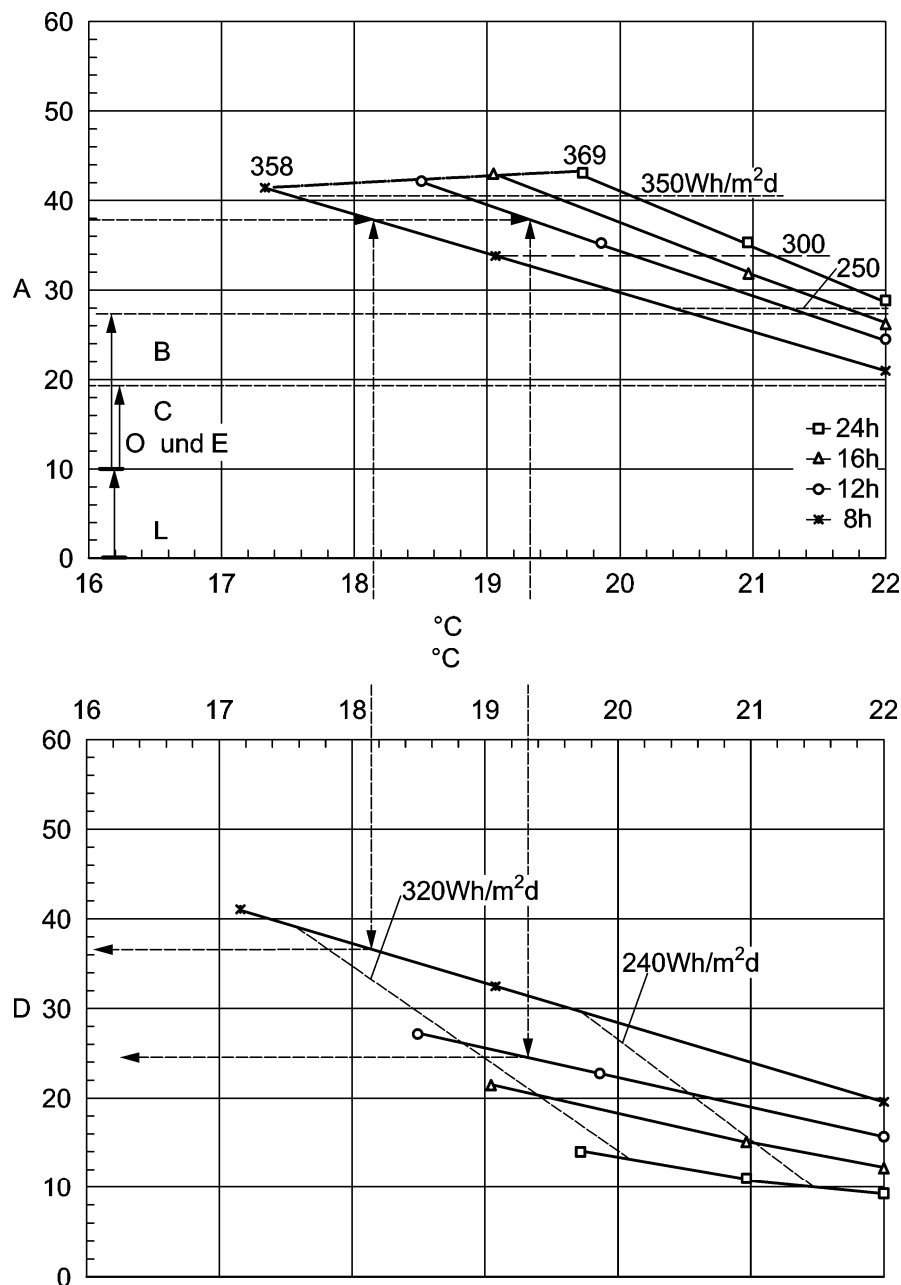
Bild 4 — Beispiel für Temperaturprofile

Die Diagramme in Bild 5 zeigen ein Beispiel für die Beziehung zwischen den internen Wärmegewinnen, der Wasservorlauftemperatur, der Wärmeübertragung auf der Raumseite, den Betriebsstunden und der Wärmeübertragung auf der Wasserseite. Die Diagramme entsprechen einer Betonplatte mit Doppelboden ($R = 0,45 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$) und einem zulässigen Raumtemperaturbereich von 21°C bis 26°C .

Das obere Diagramm zeigt auf der y-Achse den maximal zulässigen Gesamtwärmegewinn im Raum (interne Gewinne plus Solargewinne) in W/m^2 und auf der x-Achse die erforderliche Wasservorlauftemperatur in $^\circ\text{C}$. Die Linien im Diagramm entsprechen verschiedenen Betriebsstunden (8 h, 12 h, 16 h, 24 h) und verschiedenen Höchstmengen an zugeführter Energie in Wh/m^2 je Tag.

Das untere Diagramm zeigt die Kühlleistung in W/m^2 , die auf der Wasserseite (für die Dimensionierung des Kühlers) für thermisch aktivierte Platten erforderlich ist als Funktion der Vorlaufwassertemperatur und der Betriebszeit. Außerdem ist der Betrag an abgeführter Energie in Wh/m^2 je Tag angegeben.

Das Beispiel zeigt, dass im Falle eines maximalen internen Wärmegewinns von 38 W/m^2 und eines 8-h-Betriebs eine Vorlaufwassertemperatur von $18,2^\circ\text{C}$ erforderlich ist. Wird das System dagegen 12 h betrieben, so ist eine Vorlaufwassertemperatur von $19,3^\circ\text{C}$ erforderlich. Die vom Raum abgeführte Energie beträgt insgesamt etwa 335 Wh/m^2 je Tag. Die erforderliche Kühlleistung auf der Wasserseite beträgt im Falle des 8-h-Betriebs 37 W/m^2 und im Falle des 12-h-Betriebs nur 25 W/m^2 . Das bedeutet, dass der Kühler bei 12-h-Betrieb wesentlich kleiner ausfallen kann. Die gesamte abgeführte Wärme auf der Wasserseite beträgt etwa 300 Wh/m^2 je Tag.



Legende

- A = Maximaler Gesamtärmegewinn im Raum [W/m^2 Fußbodenfläche]
- B = Maximum
- C = Minimum
- O und E = Bewohner und Ausstattung (nach SWKI 95-3)
- L = Beleuchtung
- D = Mittlere Kühlleistung TABS [W/m^2 Fußbodenfläche]

Bild 5 — Funktionsprinzip von TABS

7 Berechnungsverfahren

7.1 Allgemeines

Es können folgende Berechnungsverfahren angewendet werden:

- ungefähres Größenbestimmungsverfahren beruhend auf einer Standardberechnung der Kühllast (Genauigkeit 20 % bis 30 %). Anzuwenden aufgrund der Kenntnis des Spitzenwerts der Wärmegewinne, siehe 7.2;
- vereinfachte Größenbestimmung anhand von Diagrammen aufgrund von 24 Ein-Stunden-Werten der Wärmegewinne (Genauigkeit 15 % bis 20 %), siehe 7.3;
- vereinfachtes Berechnungsmodell basierend auf der Finite-Differenzen-Methode, FDM (Genauigkeit 10 % bis 15 %). Ausführliche dynamische Simulation der Wärmeleitung in der Platte über FDM, beruhend auf 24 Ein-Stunden-Werten der variablen Kühllasten des Raums und der Lufttemperaturen, siehe 7.4;
- detaillierte Simulationsmodelle (Genauigkeit 6 % bis 10 %). Dynamisches Gesamtsimulationsmodell für Strahlungssystem und Raum, siehe 7.5.

7.2 Ungefähres Größenbestimmungsverfahren

Das Kühlsystem muss für 70 % der maximalen Kühllast ausgelegt werden (EN 15255, prEN 15377-1 und prEN 15377-2). In diesem Fall muss die Berechnung der Kühllast unter Verwendung einer operativen Temperatur von 24 °C durchgeführt werden.

7.3 Vereinfachtes Größenbestimmungsverfahren anhand von Diagrammen

In diesem Fall muss die Berechnung der Wärmegewinne mithilfe von 24-Stunden-Berechnungen mit einer operativen Temperatur von 24 °C durchgeführt werden. Falls die Wärmegewinne näherungsweise bestimmt werden, müssen für jede Stunde 10 % des Solargewinns hinzuaddiert werden, um den durch Außenfenster gegebenen Wärmegewinnen Rechnung zu tragen. Dieses Verfahren basiert auf der Annahme, dass die Temperatur der gesamten leitfähigen Platte über den ganzen Tag konstant ist. Diese Durchschnittstemperatur der Platte wird nach dem Verfahren selbst berechnet und ist an die Vorlaufwassertemperatur der Betriebszeit des Heiz- bzw. Kühlkreises gekoppelt.

Dieses Verfahren bezieht folgende Daten und Parameter ein:

- Q : die während des Auslegungstages auf den Raum einwirkende spezifische Tagewärmelast, in kWh/m²: Dabei handelt es sich um die Summe der oben genannten 24 Ein-Stunden-Werte der Wärmegewinne, geteilt durch die Fußbodenfläche. Der Verlauf des Lastprofils muss bekannt sein;
- $\theta_{\text{Behaglichkeit}}$: die für Behaglichkeitsbedingungen maximal zulässige operative Temperatur, in °C;
- die Ausrichtung des Raums: bestimmt, wann die Spitzenlast aus den Wärmegewinnen auftritt: Osten (morgens), Süden (mittags) oder Westen (nachmittags);
- die Anzahl aktiver Oberflächen: um zu unterscheiden, ob die Platte durch Wärmeübertragung sowohl auf der Fußbodenseite als auch auf der Deckenseite oder nur auf der Deckenseite wirkt (siehe Bild 6);
- h : Anzahl der Stunden des Fluidstroms durch die Kreise, in h;
- R_{int} : Wärmewiderstand der Platte, in m² · K/W: Dabei handelt es sich um den Wärmewiderstand, der den leitfähigen Bereich der Platte, nahe der Rohrebene mit der Rohrebene verbindet (siehe Bild 7). Anders ausgedrückt, wird davon ausgegangen, dass der leitfähige Bereich der Platte über den ganzen Tag auf einer konstanten Temperatur gehalten wird (siehe Bild 8);

- θ_s : durchschnittliche Plattentemperatur, in °C, die von der Anzahl aktiver Oberflächen, dem Betriebsmodus (24 h oder 8 h) und der Form des Profils der internen Lasten (Mittagspause: ja oder nein) abhängt. Die durchschnittliche Flächentemperatur der Platte wird anhand von in das Verfahren einbezogenen Koeffizienten durch die Gleichung

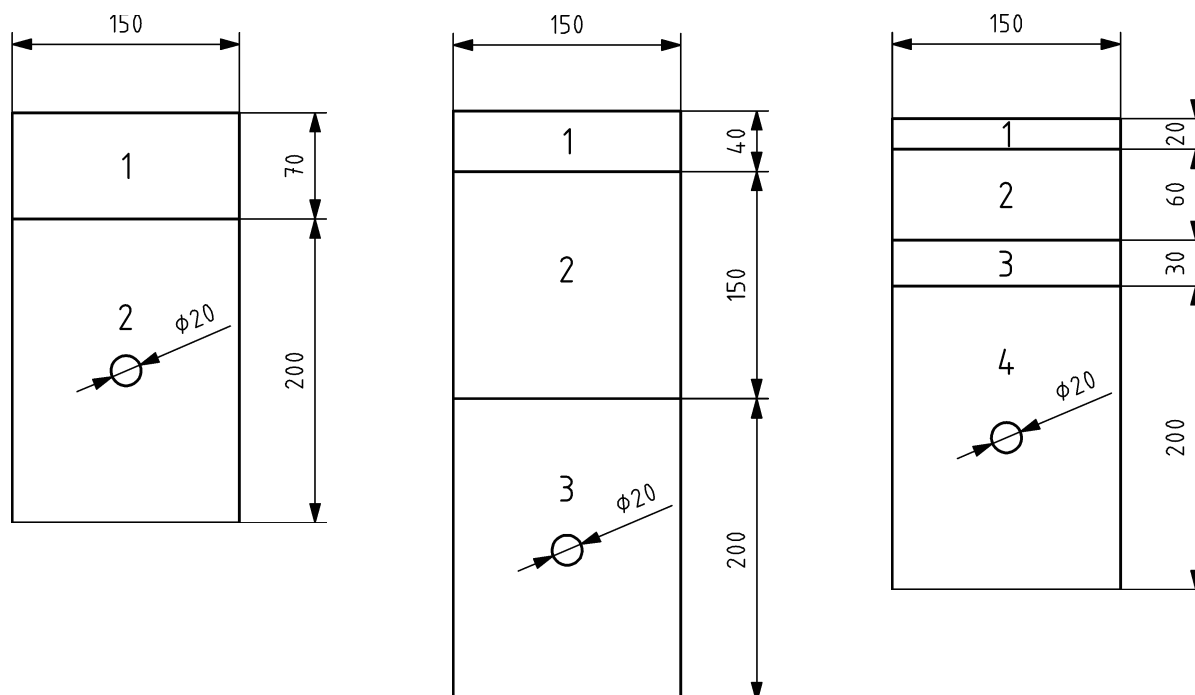
$$\theta_s = \theta_{\text{Behaglichkeit}} + \text{Koeff} \cdot Q \quad (1)$$

bestimmt, wobei die Werte des Koeffizienten in den Tabellen 1 und 2 angegeben sind;

- R_t : Gesamtwärmewiderstand des Heiz- bzw. Kühlkreises, in $\text{m}^2 \cdot \text{K/W}$, der nach dem Widerstandsverfahren bestimmt wird. Dieser Wärmewiderstand hängt von den Kennwerten des Rohrwandwiderstands, des Rohrdurchmessers und der Rohrabstände ab (siehe Bild 10) und wird nach B.1 berechnet;
- θ_w : die erforderliche Vorlaufwassertemperatur, in °C, die durch die Gleichung

$$\theta_w = \theta_s - \frac{Q \cdot (R_{\text{int}} + R_t) \cdot 1\,000}{h} \quad (2)$$

bestimmt wird.



Legende

- 1 Beton
- 2 Stahlbeton

- 1 Holz
- 2 Luft
- 3 Stahlbeton

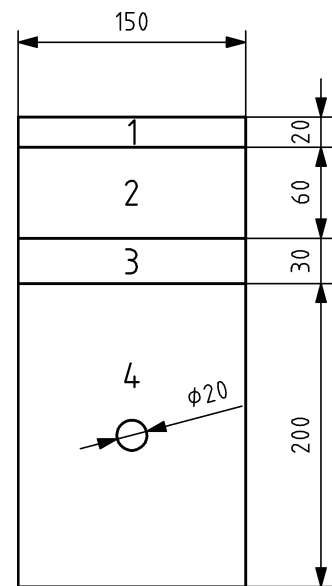
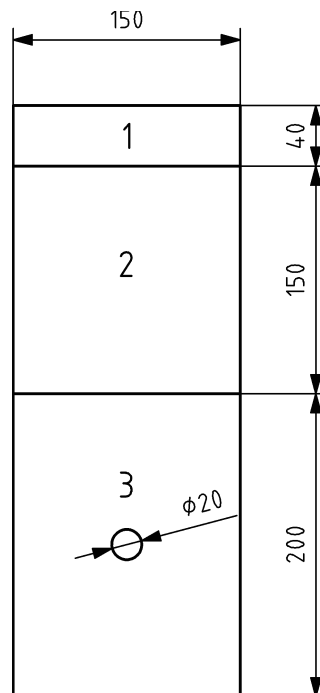
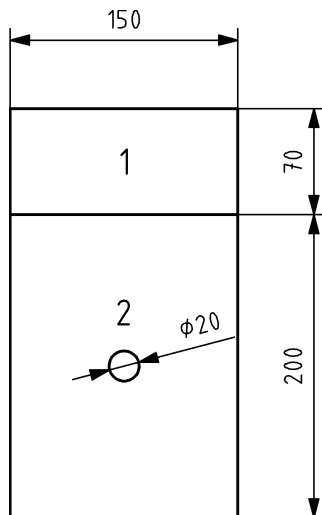
- 1 Holz
- 2 Beton
- 3 Glaswolle
- 4 Stahlbeton

Beispiel einer durch 2 Oberflächen wirkenden Platte

Beispiel einer durch 1 Oberfläche wirkenden Platte

Beispiel einer durch 1 Oberfläche wirkenden Platte

Bild 6 — Anzahl der aktiven Oberflächen



Legende

- 1 Beton
- 2 Stahlbeton

Leitfähiger Bereich:
Materialien 1 und 2

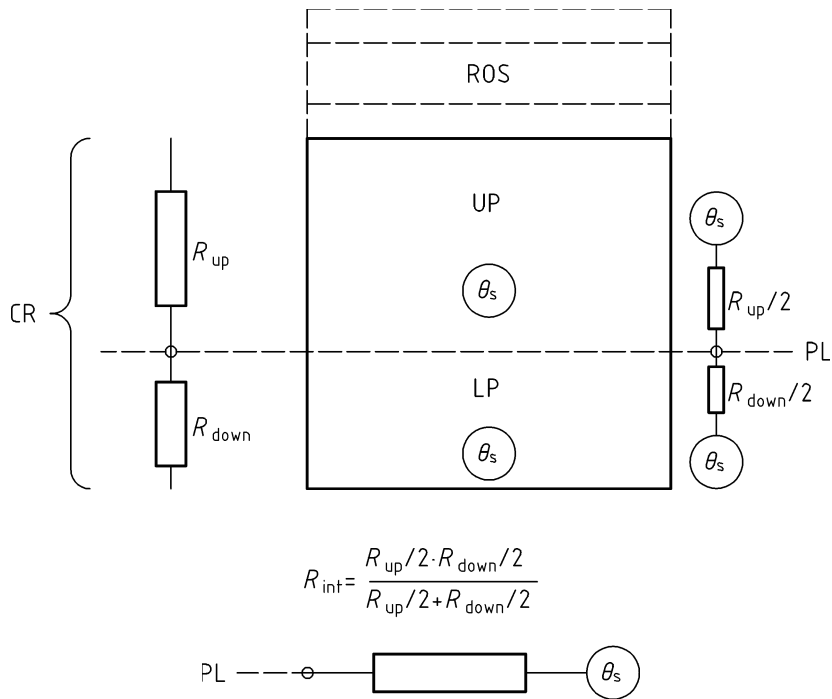
- 1 Holz
- 2 Luft
- 3 Stahlbeton

Leitfähiger Bereich:
Material 3

- 1 Holz
- 2 Beton
- 3 Glaswolle
- 4 Stahlbeton

Leitfähiger Bereich:
Material 4

Bild 7 — Beispiele für leitfähige Bereiche



Legende

- CR leitfähiger Bereich
- UP oberer Teil des leitfähigen Bereichs
- LP unterer Teil des leitfähigen Bereichs
- ROS Rest der Platte
- PL Rohrebene

Bild 8 — Widerstandsdiagramm

Die Koeffizienten für die Berechnung der Durchschnittstemperatur der Platte sind in Abhängigkeit von der Form des Profils der internen Wärmegewinne in den Tabellen 1 und 2 angegeben.

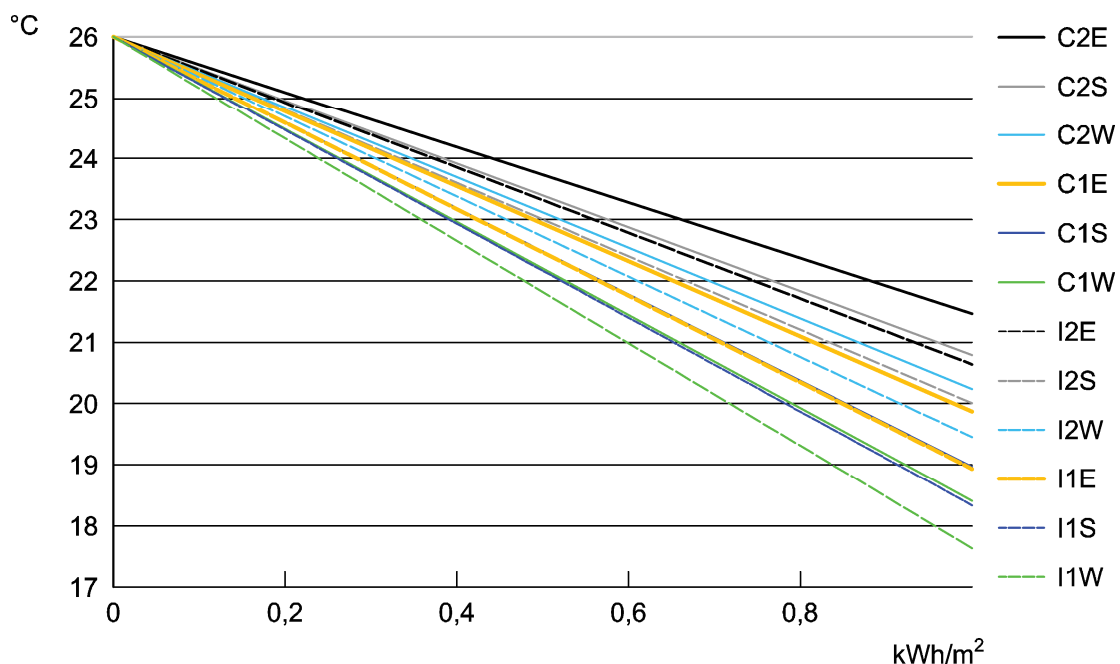
Tabelle 1 — Konstante interne Wärmegewinne von 08:00 Uhr bis 18:00 Uhr

	Art des Fußbodens	Ausrichtung des Raums nach		
		Osten	Süden	Westen
		Koeffizient für die Berechnung der Durchschnittstemperatur der Platte		
Ununterbrochener Betrieb (24 h)	Fußboden und Decke C2	−4,6816	−5,3696	−5,935
	Nur Decke C1	−6,3022	−7,2237	−7,7982
Betrieb mit Unterbrechungen (8 h)	Fußboden und Decke I2	−5,5273	−6,1701	−6,7323
	Nur Decke I1	−7,2853	−7,8562	−8,5791

Tabelle 2 — Konstante interne Wärmegewinne von 08:00 Uhr bis 12:00 Uhr und von 14:00 Uhr bis 18:00 Uhr

	Art des Fußbodens	Ausrichtung des Raums nach		
		Osten	Süden	Westen
		Koeffizient für die Berechnung der Durchschnittstemperatur der Platte		
Ununterbrochener Betrieb (24 h)	Fußboden und Decke	−6,279	−7,1094	−7,368 1
	Nur Decke	−7,966 3	−8,798 9	−8,745 5
Betrieb mit Unterbrechungen (8 h)	Fußboden und Decke	−8,147 4	−8,758	−9,326 4
	Nur Decke	−10,029	−10,685	−10,967

Wenn $\theta_{\text{Behaglichkeit}}$ festgelegt ist, können die Tabellen in Diagrammen zusammengefasst werden. Ist z. B. $\theta_{\text{Behaglichkeit}} = 26^\circ\text{C}$, so gilt das in Bild 9 angegebene Diagramm für konstante interne Wärmegewinne von 08:00 Uhr bis 18:00 Uhr.



Legende

x-Achse spezifische Tagesenergie (kWh/m^2 je Tag)
y-Achse durchschnittliche Plattentemperatur

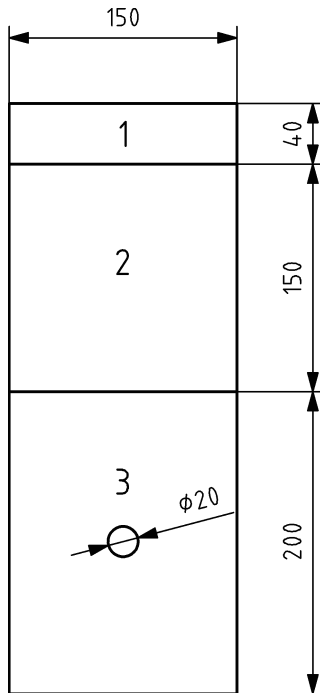
Bedeutung der Geraden:

Betriebsmodus des Heiz- bzw. Kühlkreises (C = ununterbrochen, I = mit Unterbrechungen, 8 h)
Anzahl der aktiven Oberflächen (1 oder 2)
Ausrichtung des Raums (E = nach Osten, S = nach Süden, W = nach Westen)

Bild 9 — Diagramm für die Bestimmung der durchschnittlichen Plattentemperatur im Falle von über den ganzen Tag konstanten internen Wärmegewinnen

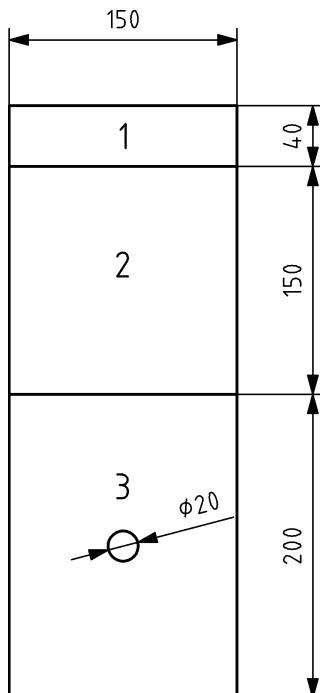
Rechenbeispiel

- Q : 0,6 kWh/m² je Tag; Form der Wärmelasten: 2 Spitzen
- $\theta_{\text{Behaglichkeit}}$: 26 °C
- Ausrichtung des Raums: SÜDEN
- Art des Fußbodens:



- 1 Holz
- 2 Luft
- 3 Stahlbeton

- h : 8 h
- R_{int} :



Für den Fall, dass λ des leitfähigen Bereichs = 1,9 W/(m · K) ist, gilt:

$$R_{\text{up}} = R_{\text{down}} = 0,1/1,9 = 0,053 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W},$$

und

$$R_{\text{int}} = 0,013 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W}$$

CR

CR = leitfähiger Bereich