

## DIN EN ISO 11855-4



ICS 91.140.10; 91.140.30

Ersatz für  
DIN EN 15377-3:2007-12

**Umweltgerechte Gebäudeplanung –  
Planung, Auslegung, Installation und Steuerung flächenintegrierter  
Strahlheizungs- und -kühlsysteme –  
Teil 4: Auslegung und Berechnung der dynamischen Wärme- und  
Kühlleistung für thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) (ISO 11855-4:2012);  
Deutsche Fassung EN ISO 11855-4:2015**

Building environment design –

Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems –

Part 4: Dimensioning and calculation of the dynamic heating and cooling capacity of Thermo Active Building Systems (TABS) (ISO 11855-4:2012);

German version EN ISO 11855-4:2015

Conception de l'environnement des bâtiments –

Conception, construction et fonctionnement des systèmes de chauffage et de refroidissement par rayonnement –

Partie 4: Dimensionnement et calculs relatifs au chauffage adiabatique et à la puissance frigorifique pour systèmes thermoactifs (TABS) (ISO 11855-4:2012);

Version allemande EN ISO 11855-4:2015

Gesamtumfang 60 Seiten

DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS)

## Nationales Vorwort

Der Text von ISO 11855-4:2012 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 205 „Building environment design“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als EN ISO 11855-4:2015 durch das Technische Komitee CEN/TC 228 „Heizungsanlagen und wasserbasierte Kühlanlagen in Gebäuden“ übernommen, dessen Sekretariat vom DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 041-01-58 AA „Heizungsanlagen und wassergeführte Kühlanlagen in Gebäuden (SpA CEN/TC 228)“ im DIN-Normenausschuss Heiz- und Raumlufttechnik (NHRS).

Für die in diesem Dokument zitierten Internationalen Normen wird im Folgenden auf die entsprechenden Deutschen Normen hingewiesen:

ISO 11855-1      siehe DIN EN ISO 11855-1

### Änderungen

Gegenüber DIN EN 15377-3:2007-12 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Abschnitt 4 „Zusammenhang mit weiteren EPBD-Normen der EN 15377-3“ wurde nicht übernommen;
- b) Abschnitt 5 „Systemoptimierung zur Erleichterung der Nutzung von erneuerbaren Energiequellen“ der EN 15377-3 wurde nicht übernommen;
- c) Begriffsdefinitionen sowie Komfortkriterien wurden in DIN EN ISO 11855-1 behandelt;
- d) Norm wurde redaktionell überarbeitet.

### Frühere Ausgaben

DIN EN 15377-3: 2007-12

## Nationaler Anhang NA (informativ)

### Literaturhinweise

DIN EN ISO 11855-1, *Umweltgerechte Gebäudeplanung — Planung, Auslegung, Installation und Steuerung flächenintegrierter Strahlheizungs- und -kühlsysteme — Teil 1: Begriffe, Symbole und Komfortkriterien*

Deutsche Fassung

Umweltgerechte Gebäudeplanung —  
Planung, Auslegung, Installation und Steuerung flächenintegrierter  
Strahlheizungs- und -kühlsysteme —  
Teil 4: Auslegung und Berechnung der dynamischen Wärme-  
und Kühlleistung für thermoaktive Bauteilsysteme (TABS)  
(ISO 11855-4:2012)

Building environment design —  
Design, dimensioning, installation and control of  
embedded radiant heating and cooling systems —  
Part 4: Dimensioning and calculation of the dynamic heating  
and cooling capacity of Thermo Active Building Systems  
(TABS)  
(ISO 11855-4:2012)

Conception de l'environnement des bâtiments —  
Conception, construction et fonctionnement des systèmes  
de chauffage et de refroidissement par rayonnement —  
Partie 4: Dimensionnement et calculs relatifs au chauffage  
adiabatique et à la puissance frigorifique pour systèmes  
thermoactifs (TABS)  
(ISO 11855-4:2012)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 30. Juli 2015 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-CENELEC 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, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



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

CEN-CENELEC Management-Zentrum: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

## Inhalt

|                                                                                  | Seite |
|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
| Europäisches Vorwort .....                                                       | 3     |
| Einleitung .....                                                                 | 4     |
| 1 Anwendungsbereich.....                                                         | 5     |
| 2 Normative Verweisungen .....                                                   | 5     |
| 3 Begriffe .....                                                                 | 5     |
| 4 Symbole und Abkürzungen.....                                                   | 5     |
| 5 Das Konzept thermoaktiver Oberflächen.....                                     | 9     |
| 6 Berechnungsmethoden .....                                                      | 14    |
| 6.1 Allgemeines .....                                                            | 14    |
| 6.2 Ungefähre Größenbestimmungsmethode.....                                      | 16    |
| 6.3 Vereinfachte Größenbestimmung mittels Diagrammen.....                        | 16    |
| 6.4 Vereinfachtes Modell beruhend auf der Finite-Differenzen-Methode (FDM) ..... | 22    |
| 6.4.1 Kühlsystem .....                                                           | 23    |
| 6.4.2 Hydraulikkreis und Platte.....                                             | 23    |
| 6.4.3 Raum .....                                                                 | 25    |
| 6.4.4 Anwendungsgrenzen der Methode .....                                        | 27    |
| 6.5 Dynamisches Gebäudesimulationsprogramm.....                                  | 28    |
| 7 Eingangsdaten für Computersimulationen der energetischen Leistung .....        | 28    |
| Anhang A (informativ) Vereinfachte Diagramme.....                                | 29    |
| Anhang B (normativ) Berechnungsmethode.....                                      | 35    |
| B.1 Rohrebene .....                                                              | 35    |
| B.2 Thermische Knoten, die den Raum und die Platte ausmachen .....               | 35    |
| B.3 Berechnungen für die generische $h$ -te Stunde.....                          | 39    |
| B.4 Dimensionierung des Systems.....                                             | 45    |
| Anhang C (informativ) Anleitung zur Bewertung des Modells .....                  | 46    |
| Anhang D (informativ) Computerprogramm .....                                     | 49    |
| Literaturhinweise.....                                                           | 57    |

## Europäisches Vorwort

Der Text von ISO 11855-4:2012 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 205 „Building environment design“ der Internationalen Organisation für Normung (ISO) erarbeitet und als EN ISO 11855-4:2015 durch das Technische Komitee CEN/TC 228 „Heizungsanlagen und wassergeführte Kühlanlagen in Gebäuden“ übernommen, dessen Sekretariat vom DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis Februar 2016, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis Februar 2016 zurückgezogen werden.

Diese Norm gilt für die Planung, den Bau und den Betrieb von Strahlheizungs- und -kühlsystemen. Die in Teil 2 beschriebenen Verfahren dienen der Bestimmung der Heiz- oder Kühlleistung für die Planung und Auswertung der Leistung des Systems. Zur Identifizierung von Produkteigenschaften durch Prüfung und Nachweis der thermischen Leistung flächenintegrierter Heiz- und Kühlflächen in Fußböden, Decken und Wänden kann die Reihe der Normen EN 1264 verwendet werden.

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

Dieses Dokument DIN EN 15377-3:2007

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

### Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 11855-4:2012 wurde vom CEN als EN ISO 11855-4:2015 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

## **Einleitung**

Das Strahlheizungs- und -kühlsystem besteht aus Systemen für die Abgabe bzw. Absorption, Bereitstellung und Verteilung von Wärme sowie aus Mess-, Steuer- und Regeleinrichtungen. Die Normenreihe ISO 11855 beschäftigt sich mit dem integrierten Flächenheizungs- und -kühlsystem, das den Wärmeübergang im Raum direkt reguliert. Sie behandelt jedoch nicht die Systemausstattung, wie die Wärmequelle, das Verteilungssystem und die Regeleinrichtung.

Die Normenreihe ISO 11855 beschreibt ein flächenintegriertes System, das in die Gebäudestruktur eingebunden ist. Daher werden Flächenheiz- und -kühlssysteme mit offenem Luftspalt, die nicht in die Gebäudestruktur eingebunden sind, in dieser Normenreihe nicht behandelt.

Die Normenreihe ISO 11855 ist für Systeme anzuwenden, die nicht nur Wasser, sondern auch andere Flüssigkeiten oder Strom als Heiz- und Kühlmittel nutzen.

Ziel der Normenreihe ISO 11855 ist es, Kriterien bereitzustellen, welche die effektive Planung flächenintegrierter Systeme ermöglichen. Zu diesem Zweck werden in dieser Normenreihe Behaglichkeitskriterien für Räume mit flächenintegrierten Systemen, die Berechnung der Wärmeleistung, die Auslegung, die dynamische Analyse, die Installation, die Bedienung und die Steuermethode flächenintegrierter Systeme dargelegt.

## 1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der Normenreihe ISO 11855 ermöglicht die Berechnung der Spitzenkühlleistung thermoaktiver Bauteilsysteme (TABS) auf der Grundlage von Wärmeeinträgen, wie solaren Wärmeeinträgen, internen Wärmeeinträgen und Lüftung, sowie in Hinblick auf Kühlergröße, Flüssigkeitsstrom usw. die Berechnung des wasserseitigen Bedarfs an Kühlleistung, die für das System vorgesehen ist.

In diesem Teil der Normenreihe ISO 11855 wird ein detailliertes Verfahren für die Berechnung der Heiz- und Kühlleistung bei nichtstationären Bedingungen festgelegt.

Die Normenreihe ISO 11855 ist für integrierte Flächenheizungs- und -kühlsysteme mit Wasserdurchströmung in Wohn-, Gewerbe- und Industriegebäuden anwendbar. Die Verfahren gelten für in Wände, Fußboden- und Deckenkonstruktionen flächenintegrierte Systeme ohne offene Luftspalte. Flächensysteme mit offenen Luftspalten, die nicht in die Gebäudestruktur eingebunden sind, werden nicht von ihr erfasst.

Die Normenreihe ISO 11855 ist zudem gegebenenfalls für die Verwendung von anderen Flüssigkeiten als Wasser als Heiz- und Kühlmittel anwendbar. Die Prüfung von Systemen ist in der Normenreihe ISO 11855 nicht erfasst. Die beschriebenen Verfahren gelten nicht für beheizte oder gekühlte Deckenpaneele oder Träger und Balken.

## 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 11855-1, *Building environment design — Design, dimensioning, installation and control of embedded radiant heating and cooling systems — Part 1: Definition, symbols, and comfort criteria*

## 3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO 11855-1.

## 4 Symbole und Abkürzungen

Die in Tabelle 1 aufgeführten Symbole und Abkürzungen gelten für die Anwendung dieses Teils der Normenreihe ISO 11855.

**Tabelle 1 — Symbole und Abkürzungen**

| Symbol    | Einheit           | Größe                                                                                    |
|-----------|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|
| $A_F$     | $m^2$             | Flächeninhalt der Heiz- bzw. Kühlfläche                                                  |
| $A_W$     | $m^2$             | Gesamtflächeninhalt der Innenwände (d. h. vertikale Wände, ausschließlich Außenfassaden) |
| $C$       | $J/(m^2 \cdot K)$ | Spezifische Wärmeleistung des betrachteten thermischen Knotens                           |
| $C_W$     | $J/(m^2 \cdot K)$ | Mittlere spezifische Wärmeleistung der vertikalen Innenwände                             |
| $c_j$     | $J/(kg \cdot K)$  | Spezifische Wärmeleistung des Materials der $j$ -ten Schicht der Platte                  |
| $c_w$     | $J/(kg \cdot K)$  | Spezifische Wärmeleistung von Wasser                                                     |
| $d_a$     | m                 | Außendurchmesser des Rohrs                                                               |
| $E_{Day}$ | $kWh/m^2$         | Spezifische tägliche Energieeinträge                                                     |

| Symbol         | Einheit               | Größe                                                                                                                    |
|----------------|-----------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_{rm}^h$     | —                     | Betriebsmodus (1 wenn das System eingeschaltet ist; 0 wenn das System ausgeschaltet ist) in der $h$ -ten Stunde          |
| $f_s$          | —                     | Auslegungs-Sicherheitsfaktor                                                                                             |
| $F_{vF-C}$     | —                     | Sichtfaktor zwischen dem Fußboden und der Decke                                                                          |
| $F_{vF-EW}$    | —                     | Sichtfaktor zwischen dem Fußboden und den Außenwänden                                                                    |
| $F_{vF-W}$     | —                     | Sichtfaktor zwischen dem Fußboden und den Innenwänden                                                                    |
| $h_{A-C}$      | W/(m <sup>2</sup> ·K) | Konvektionswärmeübergangskoeffizient zwischen der Luft und der Decke                                                     |
| $h_{A-F}$      | W/(m <sup>2</sup> ·K) | Konvektionswärmeübergangskoeffizient zwischen der Luft und dem Fußboden                                                  |
| $h_{A-W}$      | W/(m <sup>2</sup> ·K) | Konvektionswärmeübergangskoeffizient zwischen der Luft und den Innenwänden                                               |
| $h_{F-C}$      | W/(m <sup>2</sup> ·K) | Strahlungswärmeübergangskoeffizient zwischen dem Boden und der Decke                                                     |
| $h_{F-W}$      | W/(m <sup>2</sup> ·K) | Strahlungswärmeübergangskoeffizient zwischen dem Boden und den Innenwänden                                               |
| $H_A$          | W/K                   | Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem thermischen Knoten der Luft („A“)         |
| $H_C$          | W/K                   | Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem thermischen Knoten der Decke („C“)        |
| $H_{Circuit}$  | W/K                   | Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem Kreislauf                                 |
| $H_{CondDown}$ | W/K                   | Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem nächsten Knoten                           |
| $H_{CondUp}$   | W/K                   | Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem vorherigen Knoten                         |
| $H_{Conv}$     | —                     | Anteil der internen Konvektionswärmeeinträge, die am betrachteten thermischen Knoten entstehen                           |
| $H_F$          | W/K                   | Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem thermischen Knoten des Fußbodens („F“)    |
| $H_{Inertia}$  | W/K                   | Koeffizient, der mit dem Trägheitsbeitrag am betrachteten thermischen Knoten verbunden ist                               |
| $H_{IWS}$      | W/K                   | Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem thermischen Knoten der Innenwände („IWS“) |
| $H_{Rad}$      | —                     | Anteil der Gesamtstrahlungswärmeeinträge, der sich auf den betrachteten thermischen Knoten auswirkt                      |
| $h_t$          | W/(m <sup>2</sup> ·K) | Gesamtwärmeübergangskoeffizient (Konvektion + Strahlung) zwischen den Oberflächen und dem Raum                           |
| $J$            | —                     | Anzahl der Schichten, die eine Platte als Ganzes ausmachen                                                               |
| $J_1$          | —                     | Anzahl der Schichten, die den oberen Teil einer Platte ausmachen                                                         |
| $J_2$          | —                     | Anzahl der Schichten, die den unteren Teil einer Platte ausmachen                                                        |

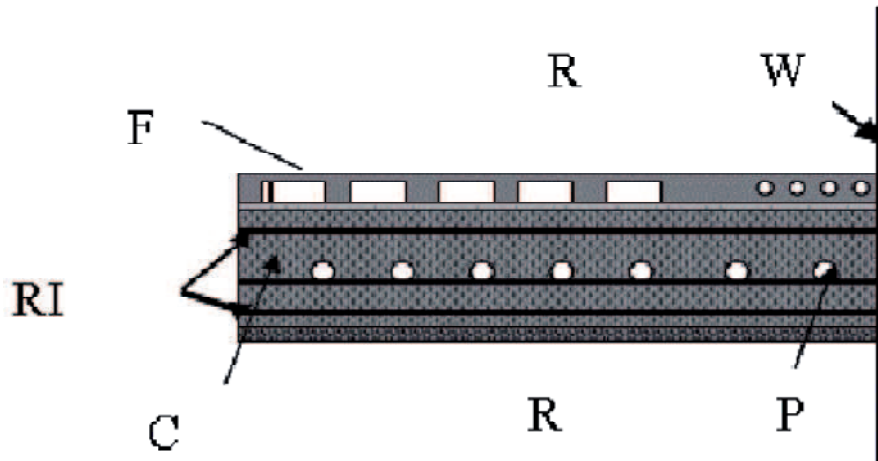
| Symbol                   | Einheit                | Größe                                                                                                                                    |
|--------------------------|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $L_R$                    | m                      | Länge der verlegten Rohre                                                                                                                |
| $\dot{m}_{H,sp}$         | kg/(m <sup>2</sup> ·s) | Spezifischer Wassermassenstrom in einem Kreislauf; berechnet für die vom Heiz- bzw. Kühlkreis abgedeckte Fläche                          |
| $m_j$                    | —                      | Anzahl der Teilbereiche der $j$ -ten Schicht der Platte                                                                                  |
| $n$                      | —                      | Tatsächliche Anzahl der Iterationen bei den Iterationsberechnungen                                                                       |
| $n_h$                    | h                      | Anzahl der Betriebsstunden des Kreislaufs                                                                                                |
| $n^{Max}$                | —                      | Maximale Anzahl der Iterationen, die bei den Iterationsberechnungen zulässig sind                                                        |
| $P_{Circuit}^{Max,h}$    | W                      | Maximale Kühlleistung, die vom betrachteten Kühlkreis in der $h$ -ten Stunde erzeugt wird                                                |
| $P_{Circuit,Spec}^{Max}$ | W/m <sup>2</sup>       | Maximale spezifische Kühlleistung (je Quadratmeter Fußboden)                                                                             |
| $q_i$                    | W/m <sup>2</sup>       | Nach innen gerichteter spezifischer Wärmestrom                                                                                           |
| $q_u$                    | W/m <sup>2</sup>       | Nach außen gerichteter Wärmestrom                                                                                                        |
| $Q_C^h$                  | W                      | Wärmestrom, der sich in der $h$ -ten Stunde auf die Deckenoberfläche („C“) auswirkt                                                      |
| $Q_{Circuit}^h$          | W                      | Wärmestrom, der vom Kreislauf in der $h$ -ten Stunde entzogen wird                                                                       |
| $Q_{Conv}^h$             | W                      | Gesamtkonvektionswärmeeinträge in der $h$ -ten Stunde                                                                                    |
| $Q_F^h$                  | W                      | Wärmestrom, der sich in der $h$ -ten Stunde auf die Fußbodenoberfläche („F“) auswirkt                                                    |
| $Q_{IntConv}^h$          | W                      | Interne Konvektionswärmeeinträge in der $h$ -ten Stunde                                                                                  |
| $Q_{IntRad}^h$           | W                      | Interne Strahlungswärmeeinträge in der $h$ -ten Stunde                                                                                   |
| $Q_{IWS}^h$              | W                      | Wärmestrom, der sich in der $h$ -ten Stunde auf die Innenwände („IWS“) auswirkt                                                          |
| $Q_{PrimAir}^h$          | W                      | Konvektionswärmeeinträge durch Zuluft in der $h$ -ten Stunde                                                                             |
| $Q_{Rad}^h$              | W                      | Gesamtstrahlungswärmeeinträge in der $h$ -ten Stunde                                                                                     |
| $Q_{Sun}^h$              | W                      | Wärmeeinträge in einem Raum durch Sonnenenergie in der $h$ -ten Stunde                                                                   |
| $Q_{Transm}^h$           | W                      | Transmissionswärmeeinträge in der $h$ -ten Stunde                                                                                        |
| $Q_W$                    | W/m <sup>2</sup>       | Durchschnittliche spezifische Kühlleistung                                                                                               |
| $R$                      | (m <sup>2</sup> ·K)/W  | Allgemeiner Wärmedurchgangswiderstand                                                                                                    |
| $R_{AddC}$               | (m <sup>2</sup> ·K)/W  | Zusätzlicher Wärmedurchgangswiderstand des unteren Bereichs der Platte                                                                   |
| $R_{AddF}$               | (m <sup>2</sup> ·K)/W  | Zusätzlicher Wärmedurchgangswiderstand des oberen Bereichs der Platte                                                                    |
| $RCAC$                   | K/W                    | Konvektionswärmedurchgangswiderstand, der den thermischen Knoten der Luft („A“) mit dem thermischen Knoten der Decke („C“) verbindet     |
| $RCAF$                   | K/W                    | Konvektionswärmedurchgangswiderstand, der den thermischen Knoten der Luft („A“) mit dem thermischen Knoten des Fußbodens („F“) verbindet |

| Symbol                                       | Einheit               | Größe                                                                                                                                           |
|----------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| RCAW                                         | K/W                   | Konvektionswärmedurchgangswiderstand, der den thermischen Knoten der Luft („A“) mit dem thermischen Knoten der Innenwände („IWS“) verbindet     |
| $R_{\text{int}}$                             | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Interner Wärmedurchgangswiderstand des wärmeleitenden Bereichs der Platte                                                                       |
| $R_{L,p}$                                    | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Konduktiver Wärmedurchgangswiderstand, der den $p$ -ten thermischen Knoten mit der Grenze des ( $p + 1$ )-ten thermischen Knoten verbindet      |
| $R_r$                                        | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Wärmedurchgangswiderstand der Rohrdicke                                                                                                         |
| RRFC                                         | K/W                   | Strahlungswärmedurchgangswiderstand, der den thermischen Knoten des Fußbodens („F“) mit dem thermischen Knoten der Decke („C“) verbindet        |
| RRWC                                         | K/W                   | Strahlungswärmedurchgangswiderstand, der den thermischen Knoten der Innenwände („IWS“) mit dem thermischen Knoten der Decke („C“) verbindet     |
| RRWF                                         | K/W                   | Strahlungswärmedurchgangswiderstand, der den thermischen Knoten der Innenwände („IWS“) mit dem thermischen Knoten des Fußbodens („F“) verbindet |
| $R_t$                                        | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Gesamtwärmedurchgangswiderstand des Kreislaufs                                                                                                  |
| $R_{U,p}$                                    | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Konduktiver Wärmedurchgangswiderstand, der den $p$ -ten thermischen Knoten mit der Grenze des ( $p - 1$ )-ten thermischen Knoten verbindet      |
| $R_{\text{Walls}}$                           | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Wärmedurchgangswiderstand der Wand                                                                                                              |
| $R_w$                                        | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Wärmedurchgangswiderstand der Wasserdurchströmung                                                                                               |
| $R_x$                                        | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Wärmedurchgangswiderstand der Rohrebene                                                                                                         |
| $R_z$                                        | (m <sup>2</sup> ·K)/W | Konvektionswärmedurchgangswiderstand an der Rohrrinnenseite                                                                                     |
| $s_r$                                        | m                     | Dicke der Rohrwand                                                                                                                              |
| $s_1$                                        | m                     | Dicke des oberen Teils der Platte                                                                                                               |
| $s_2$                                        | m                     | Dicke des unteren Teils der Platte                                                                                                              |
| $W$                                          | m                     | Rohrabstand                                                                                                                                     |
| $\delta_j$                                   | m                     | Dicke der $j$ -ten Schicht der Platte                                                                                                           |
| $\Delta\theta$                               | K                     | Allgemeine Temperaturdifferenz                                                                                                                  |
| $\Delta\theta_{\text{Comfort}}^{\text{Max}}$ | K                     | Maximale operative Temperaturdrift, die für Behaglichkeitsbedingungen zulässig ist                                                              |
| $\Delta t$                                   | s                     | Berechnungszeitschritt                                                                                                                          |
| $\theta_A^h$                                 | °C                    | Temperatur des thermischen Knotens der Luft („A“) in der $h$ -ten Stunde                                                                        |
| $\theta_C^h$                                 | °C                    | Temperatur des thermischen Knotens der Decke („C“) in der $h$ -ten Stunde                                                                       |
| $\theta_{\text{Comfort}}^{\text{Max}}$       | °C                    | Maximale operative Temperatur, die für Behaglichkeitsbedingungen zulässig ist                                                                   |
| $\theta_{\text{Comfort,Ref}}$                | °C                    | Maximale operative Temperatur, die für Behaglichkeitsbedingungen im Referenzfall zulässig ist                                                   |

| Symbol                         | Einheit           | Größe                                                                                           |
|--------------------------------|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $\theta_F^h$                   | °C                | Temperatur des thermischen Knotens des Fußbodens („F“) in der $h$ -ten Stunde                   |
| $\theta_{IW}^h$                | °C                | Temperatur des thermischen Knotens des Kerns der Innenwände („IW“) in der $h$ -ten Stunde       |
| $\theta_{IWS}^h$               | °C                | Temperatur des thermischen Knotens der Oberfläche der Innenwände („IWS“) in der $h$ -ten Stunde |
| $\theta_{MR}^h$                | °C                | Mittlere Strahlungstemperatur des Raums in der $h$ -ten Stunde                                  |
| $\theta_{Op}^h$                | °C                | Operative Temperatur des Raums in der $h$ -ten Stunde                                           |
| $\theta_p^h$                   | °C                | Temperatur des $p$ -ten thermischen Knotens in der $h$ -ten Stunde                              |
| $\theta_{PL}^h$                | °C                | Temperatur des thermischen Knotens der Rohrebene („PL“) in der $h$ -ten Stunde                  |
| $\theta_{Slab}^{Av}$           | °C                | Tägliche Durchschnittstemperatur des wärmeleitenden Bereichs der Platte                         |
| $\theta_{Water,In}^h$          | °C                | Tatsächliche Eintrittstemperatur des Wassers in der $h$ -ten Stunde                             |
| $\theta_{Water,In}^{Setp,h}$   | °C                | Soll-Eintrittstemperatur des Wassers in der $h$ -ten Stunde                                     |
| $\theta_{Water,In,Ref}^{Setp}$ | °C                | Soll-Eintrittstemperatur des Wassers im Referenzfall                                            |
| $\theta_{Water,Out}^h$         | °C                | Austrittstemperatur des Wassers in der $h$ -ten Stunde                                          |
| $\lambda_b$                    | W/(m·K)           | Wärmeleitfähigkeit des Materials der Schicht, in welche das Rohr integriert ist                 |
| $\lambda_j$                    | W/(m·K)           | Wärmeleitfähigkeit des Materials der $j$ -ten Schicht der Platte                                |
| $\lambda_r$                    | W/(m·K)           | Wärmeleitfähigkeit des Rohrmaterials                                                            |
| $\xi$                          | K                 | Tatsächliche Toleranz der Iterationsberechnungen                                                |
| $\xi_{Max}$                    | K                 | Maximale Toleranz, die bei Iterationsberechnungen zulässig ist                                  |
| $\rho_j$                       | kg/m <sup>3</sup> | Materialdichte der $j$ -ten Schicht der Platte                                                  |
| $\omega$                       | verschiedene      | Steigung der Korrelationskurven                                                                 |

## 5 Das Konzept thermoaktiver Oberflächen

Eine thermoaktive Oberfläche ist ein integrierte Flächenheiz- und -kühlssystem mit Wasserdurchströmung, dessen Rohre in den zentralen Betonkern einer Baustruktur eingelassen sind (siehe Bild 1).

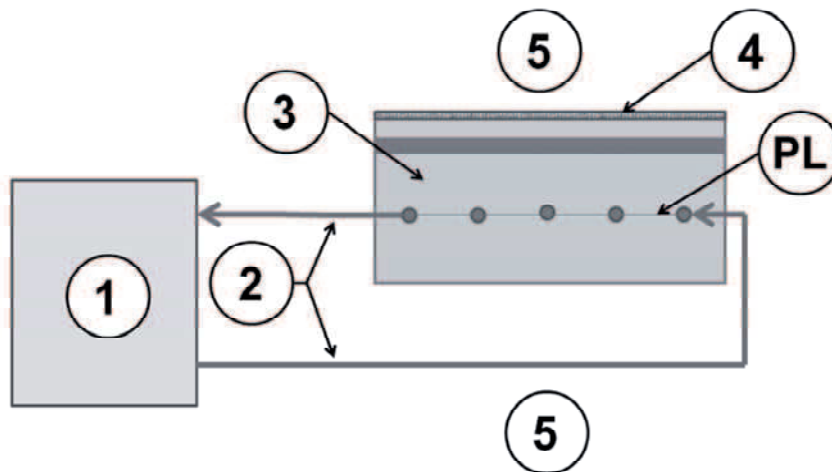


### Legende

- C Beton
- F Fußboden
- P Rohre
- R Raum
- RI Bewehrung
- W Fenster

**Bild 1 — Beispiel der Rohrpositionierung in thermoaktiven Oberflächen**

Bei den Baustrukturen, in welche Rohre integriert sind, handelt es sich gewöhnlich um horizontale Strukturen. Daher werden in den folgenden Abschnitten Fußböden und Decken als aktive Oberflächen bezeichnet. Bei typischen thermoaktiven Oberflächen wird der Luft durch ein Kühlsystem (etwa ein Kühler) mit Rohren, die in die Platte eingelassen sind, Wärme entzogen. Das System kann in die Elemente untergliedert werden, die in Bild 2 dargestellt sind.

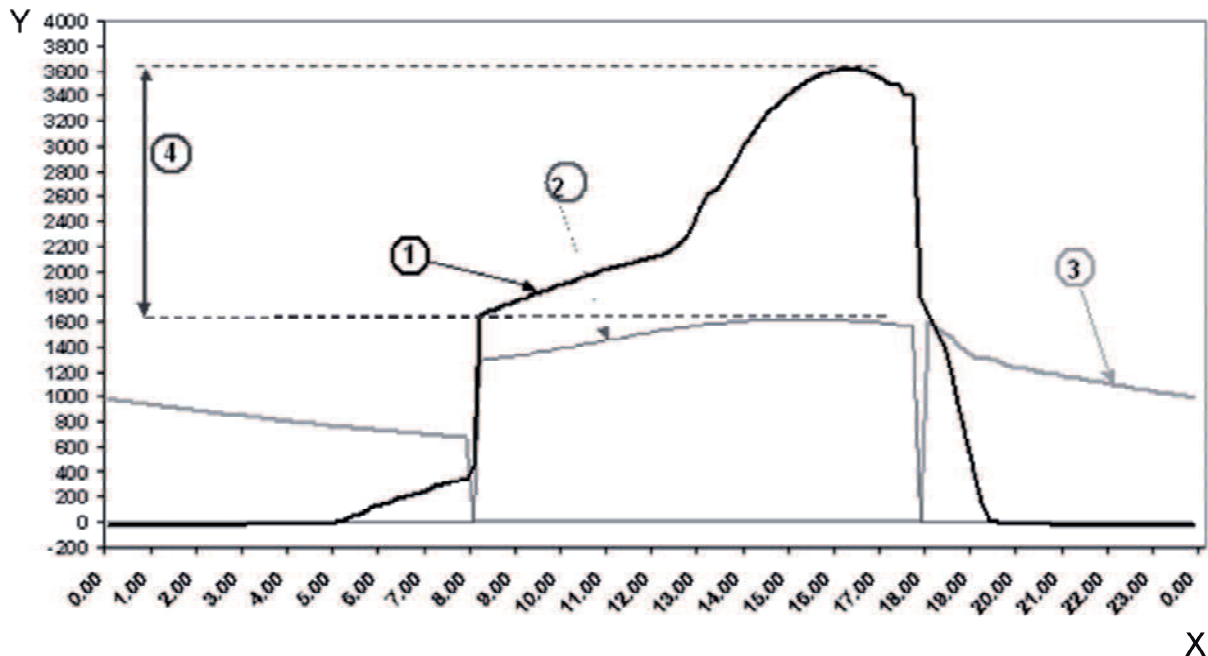


### Legende

- 1 Heiz- bzw. Kühlvorrichtung
- 2 Hydraulikkreis
- 3 Platte einschließlich Kernschicht mit Rohren
- 4 mögliche zusätzliche Widerstände (Fußbodenbelag oder abgehängte Decke)
- 5 Raum darunter und Raum darüber
- PL Rohrebene

**Bild 2 — Einfache schematische Darstellung einer thermoaktiven Oberfläche**

Thermoaktive Oberflächen nutzen die hohe Wärmeträgheit der Platte, um Lastspitzen abzubauen. Dazu zählt die Reduzierung der Spitzenwerte der erforderlichen Kühlleistung (siehe Bild 3), indem die Gebäudestrukturen zu Zeiten gekühlt werden, an denen sich die Personen nicht im Gebäude aufhalten (in Geschäftsräumen während der Nacht). So kann der Energieverbrauch verringert und ein niedrigerer Nachtstromtarif genutzt werden. Gleichzeitig ist der Einsatz kleinerer Heiz- bzw. Kühlsystemkomponenten (einschließlich dem Kühler) möglich.



### Legende

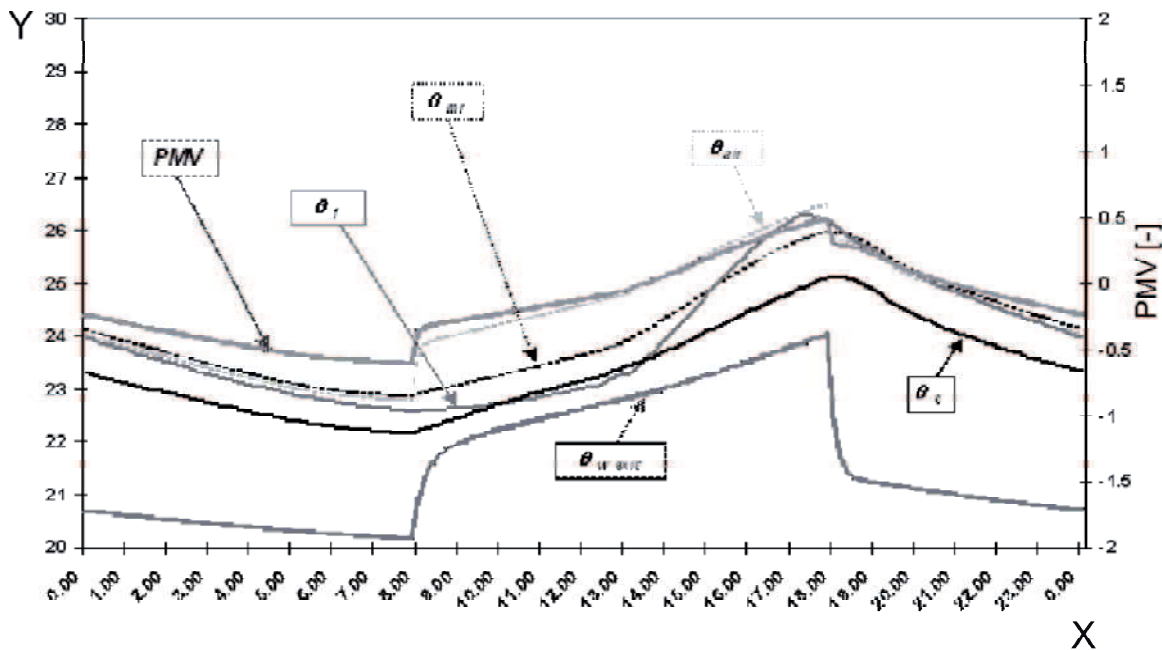
- X Uhrzeit, h
- Y Kühlleistung, in W
- 1 Wärmeeinträge
- 2 zur Konditionierung der Ventilationsluft erforderliche Kühlleistung
- 3 auf der Wasserseite erforderliche Kühlleistung
- 4 Reduzierung der erforderlichen Spitzenleistung

**Bild 3 — Beispiel für den Lastspitzenabbau**

TABS dürfen sowohl mit natürlicher als auch mit ventilatorgestützter Lüftung (in Abhängigkeit von den herrschenden Witterungsbedingungen) eingesetzt werden. In Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen und der Feuchtigkeitsentstehung in den Räumen kann eine ventilatorgestützte 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.

Bei der Planung von TABS muss der Planer wissen, ob die Leistung bei einer bestimmten Wassertemperatur ausreicht, um die Raumtemperatur in einem bestimmten Behaglichkeitsbereich zu halten. Darüber hinaus muss der Planer den wasserseitigen Wärmestrom kennen, um das Wärmeverteilungssystem und den Kühler bzw. Wärmeerzeuger auslegen zu können. Dieser Teil der Normenreihe ISO 11855 beschreibt Verfahren für beide Zwecke.

Wenn TABS eingesetzt werden, findet während des Tages nur eine geringfügige Änderung der Innentemperatur statt; das Ziel einer guten Planung von TABS ist die Einhaltung des Behaglichkeitsbereichs während des Tages, d. h. ISO 7730 entsprechend innerhalb von  $-0,5 < \text{vorausgesagtes mittleres Votum} < 0,5$  (siehe Bild 4).



#### Legende

|                   |                                |
|-------------------|--------------------------------|
| X                 | Uhrzeit, h                     |
| Y                 | Temperatur, in °C              |
| PMV               | vorausgesagtes mittleres Votum |
| $\theta_{air}$    | Lufttemperatur                 |
| $\theta_c$        | Temperatur der Decke           |
| $\theta_{mr}$     | mittlere Strahlungstemperatur  |
| $\theta_f$        | Temperatur des Fußbodens       |
| $\theta_{w exit}$ | Wasserrücklauftemperatur       |

**Bild 4 — Beispiel für Temperaturprofile und Werte des vorausgesagten mittleren Votums bezogen auf die Uhrzeit**

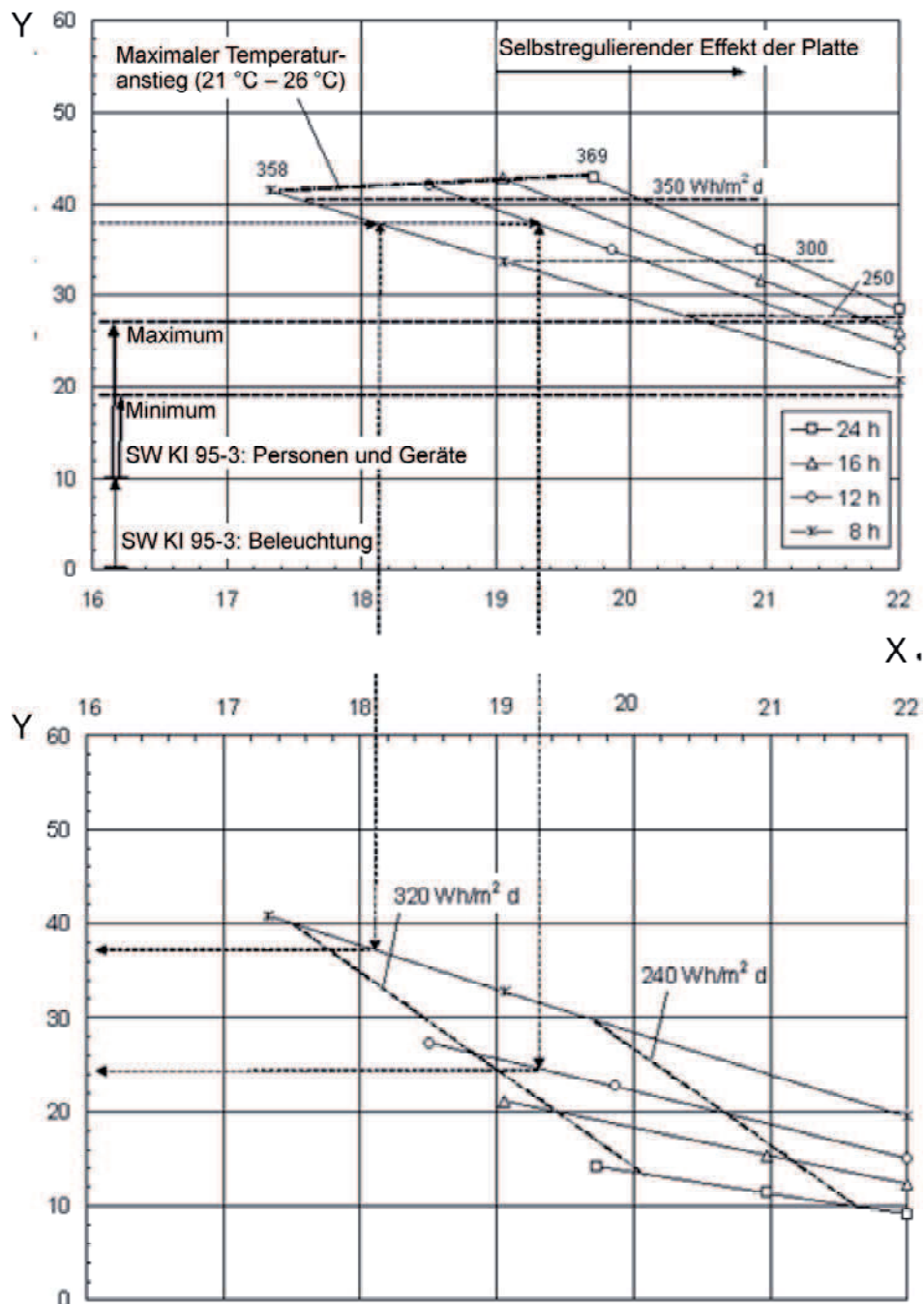
Zur Bestimmung des Wärmeübergangs unter nichtstationären Bedingungen in einem einzigen Raum, zur Bestimmung der Temperatur- und Feuchtigkeitsbilanz der Raumluft, zur Vorausbestimmung von Behaglichkeitsbedingungen, zur Prüfung auf Kondensatbildung an den Oberflächen, zum Bereitstellen von Regelstrategien und zur Berechnung der in einen Raum eintretenden Sonnenstrahlung wurden einige detaillierte Berechnungsmodelle für Gebäudesysteme entwickelt. Der hohe Zeitaufwand, den die Simulationen verursachen, führt jedoch zur begrenzten Anwendung solcher detaillierter Berechnungsmodelle. Daher ist die Entwicklung von anwenderfreundlicheren Werkzeugen erforderlich. In diesem Teil der Normenreihe ISO 11855 wird ein solches Werkzeug beschrieben, mit dem die Simulation thermoaktiver Oberflächen möglich ist.

Die Diagramme in Bild 5 zeigen ein Beispiel für die Beziehung zwischen den internen Wärmeeinträgen, der Wasservorlauftemperatur, der Wärmeübertragung im Raum, der Betriebsdauer sowie der wasserseitigen Wärmeübertragung. Die Diagramme beziehen sich auf eine Betonplatte bei einem Doppelboden ( $R = 0,45 \text{ (m}^2\cdot\text{K)/W}$ ) und einen zulässigen Raumtemperaturbereich von 21 °C bis 26 °C.

Im oberen Diagramm sind auf der Y-Achse die maximal zulässigen Gesamtwärmeeinträge im Raum (interne Wärmeeinträge plus solare Wärmeeinträge)  $[\text{W/m}^2]$  und auf der X-Achse die erforderliche Wasservorlauftemperatur dargestellt. Die Linien im Diagramm entsprechen verschiedenen Betriebszeiträumen (8 h, 12 h, 16 h und 24 h) und verschiedenen Höchstwerten an bereitgestellter Energie je Tag  $[\text{Wh}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$ .

Im unteren Diagramm ist die wasserseitig erforderliche Kühlleistung  $[\text{W/m}^2]$  (zur Auslegung des Kühlers) für thermoaktive Oberflächen als Funktion der Wasservorlauftemperatur und Betriebszeit dargestellt. Zudem wird die Menge der täglich entzogenen Energie  $[\text{Wh}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$  angegeben.

Das Beispiel zeigt, dass bei einem maximalen internen Wärmeeintrag von  $38 \text{ W/m}^2$  bei 8 Stunden Betriebszeit eine Wasservorlauftemperatur von  $18,2^\circ\text{C}$  erforderlich ist. Wenn das System jedoch 12 Stunden lang betrieben wird, ist eine Wasservorlauftemperatur von  $19,3^\circ\text{C}$  erforderlich. Die Gesamtenergie, die dem Raum entzogen wird, beträgt etwa  $335 \text{ Wh/m}^2$  je Tag. Unter den gleichen Bedingungen beträgt die wasserseitig erforderliche Kühlleistung  $37 \text{ W/m}^2$  (für 8 Stunden Betriebszeit) bzw.  $25 \text{ W/m}^2$  (für 12 Stunden Betriebszeit). Bei 12 Stunden Betriebszeit kann daher ein wesentlich kleinerer Kühler eingesetzt werden.



### Legende

|                      |                                                                         |
|----------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| X (oberes Diagramm)  | Schritte der Eintrittstemperaturen, $^\circ\text{C}$                    |
| Y (oberes Diagramm)  | maximaler Gesamtwärmeeintrag im Raum ( $\text{W/m}^2$ , Fußbodenfläche) |
| Y (unteres Diagramm) | Schritte der mittleren Kühlleistung ( $\text{W/m}^2$ , Fußbodenfläche)  |

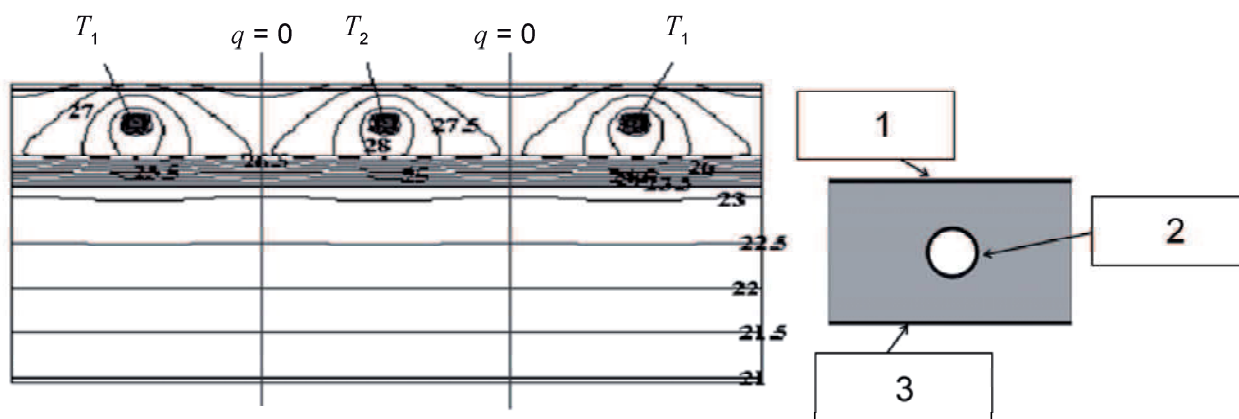
Bild 5 — Funktionsweise von TABS

## 6 Berechnungsmethoden

### 6.1 Allgemeines

TABS sind Systeme mit hoher Wärmeträgheit. Daher müssen dynamische Simulationen durchgeführt werden, wenn die mit ihnen verbundenen Kühler bemessen werden sollen. Grundsätzlich müssen bei Anwendungen, bei denen die Wärmeübertragung im Inneren einer Struktur, in welche Rohre integriert sind, stattfindet, 2-D-Berechnungen angewandt werden (siehe Bild 6). Der Berechnungszeitaufwand, der zur Betrachtung des 2-D-Wärmefeldes und für den gesamten Abgleich des restlichen Raums erforderlich ist, ist gewöhnlich zu hoch. Mathematische Modelle beruhen in der Literatur daher normalerweise auf einer Verbindung zwischen Rohroberfläche und den oberen und unteren Oberflächen (d. h. Fußboden und Decke).

Eine Möglichkeit, Strahlsysteme darzustellen, ist die Anwendung von Empfindlichkeitsfaktoren an der Rohroberfläche sowie an der oberen Oberfläche und an der unteren Oberfläche der Platte (siehe Bild 7). Die Wärmeleitung wird so durch neun Empfindlichkeitsfaktorserien bestimmt, die aufgrund von Gegenseitigkeitsregeln auf sechs Empfindlichkeitsfaktorserien reduziert werden können.



#### Legende

- 1 obere Oberfläche
- 2 Rohroberfläche
- 3 untere Oberfläche

Bild 6 — Wärmeleitung durch Strukturen mit integrierten Rohren

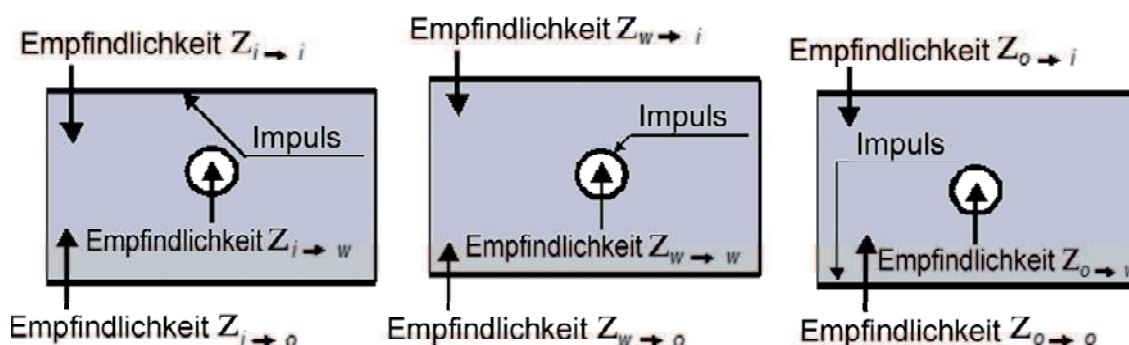
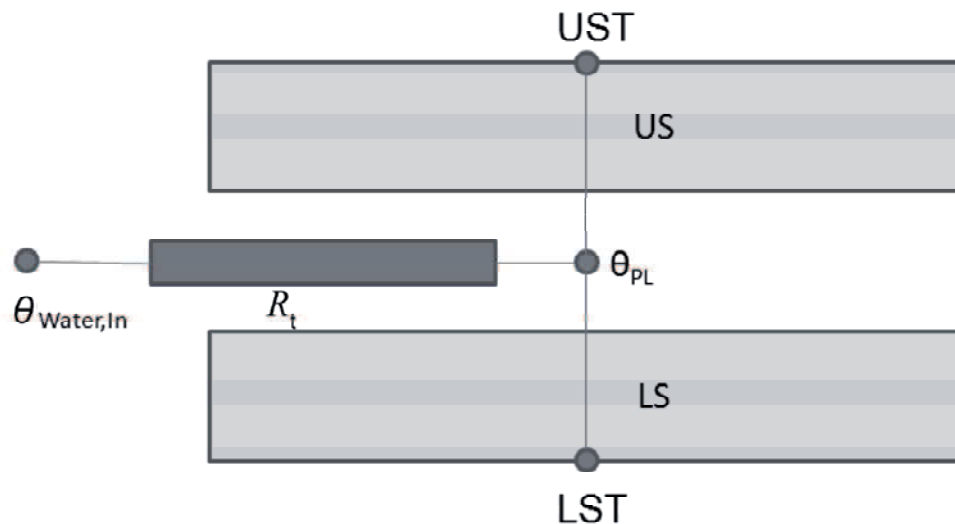


Bild 7 — Übertragungsfunktionen für Bauteilelemente mit integrierten Rohren

Eine weitere Möglichkeit ist die Einbeziehung eines Widerstands zwischen der äußeren Rohroberfläche und einer äquivalenten Kerntemperatur auf der Rohrebene, welche die mittlere Temperatur entlang der Axialebene der Rohre darstellt (siehe Bild 8). Ein eindimensionales Widerstands-Kapazitäts-Schaltbild oder eine eindimensionale Empfindlichkeitsfaktorserie (oder Übertragungsfunktion) kann von der Kernebene zur oberen und unteren Ebene verwendet werden.



#### Legende

|                     |                                                |
|---------------------|------------------------------------------------|
| LS                  | unterer Teil der Platte                        |
| LST                 | untere Oberflächentemperatur (Decke)           |
| $R_t$               | Gesamtwärmedurchgangswiderstand des Kreislaufs |
| US                  | oberer Teil der Platte                         |
| UST                 | obere Oberflächentemperatur (Fußboden)         |
| $\theta_{PL}$       | mittlere Temperatur auf der Rohrebene          |
| $\theta_{Water,In}$ | Wasservorlauftemperatur                        |

**Bild 8 — Vereinfachtes Modell für die Wärmeleitung in einer Struktur mit integrierten Rohren**

In diesem Teil der Normenreihe ISO 11855 werden die folgenden Berechnungsmethoden beschrieben:

- ungefähre Größenbestimmungsmethode beruhend auf einer Standardberechnung der Kühllast (Fehler: 20 % bis 30 %). Anzuwenden ausgehend von der Kenntnis der täglichen Wärmeeinträge in dem Raum (siehe 6.2);
- vereinfachte Methode anhand von Diagrammen beruhend auf der Kenntnis der täglich zu entziehenden Gesamtenergie zur Gewährleistung von Behaglichkeitsbedingungen (Fehler: 15 % bis 20 %). Nähere Angaben unter 6.3;
- vereinfachtes Modell beruhend auf der Finite-Differenzen-Methode (FDM) (Fehler: 10 % bis 15 %). Es besteht aus detaillierten Simulationen, welche mittels FDM die Wärmeübertragung in der Platte und sogar in einem Raum vorhersagen. Ausgehend von den Kenntnissen der Werte der veränderlichen Kühllasten des Raums zu jeder Stunde des Tages. Nähere Angaben unter 6.4;
- detaillierte Simulationsmodelle (Fehler: 6 % bis 10 %). Sie schließen das dynamische Gesamtsimulationsmodell für das Strahlensystem und den Raum durch detaillierte Simulationssoftware für Bauteilsysteme (siehe 6.5) mit ein.

## 6.2 Ungefähre Größenbestimmungsmethode

Die Größe des Kühlsystems ist mit folgender Gleichung zu bestimmen:

$$P_{\text{Circuit,Spec}}^{\text{Max}} = \frac{E_{\text{Day}}}{n_h} \cdot 100 \cdot f_s \text{ [W/m}^2\text{]} \quad (1)$$

Dabei ist

- $P_{\text{Circuit,Spec}}^{\text{Max}}$  die maximale spezifische Kühlleistung (je Quadratmeter Fußboden) [W/m<sup>2</sup>];
- $E_{\text{Day}}$  die spezifischen täglichen Energieeinträge [kWh/m<sup>2</sup>];
- $n_h$  die Anzahl der Betriebsstunden des Kreislaufs [h];
- $f_s$  der Konstruktionssicherheitsfaktor (größer als 1, normalerweise 1,15) [-].

Zu diesem Zweck ist  $E_{\text{Day}}$  folgendermaßen zu berechnen:

- mit einem Energiesimulationsprogramm oder einer geeigneten Methode für die Berechnung von Wärmeeinträgen werden die stündlichen Werte der Wärmeeinträge für den Raum unter Auslegungsbedingungen nach den Raumnutzungszeitplänen berechnet;
- $E_{\text{Day}}$  ist die Summe der 24 Werte der Wärmeeinträge.

Zu Zwecken der Konstruktionssicherheit muss die Berechnung der Wärmeeinträge unter Verwendung einer operativen Temperatur, die während der Raumnutzungszeiten um 0,5 °C unter der mittleren operativen Temperatur liegt, erfolgen. Wenn daher die operative Raumtemperaturdrift während der Raumnutzungszeiten zwischen 21 °C und 26 °C liegt, dann beträgt die mittlere operative Raumtemperatur während der Raumnutzungszeiten 23,5 °C und die operative mittlere Referenzraumtemperatur für die Berechnung der Wärmeeinträge 23,0 °C.

## 6.3 Vereinfachte Größenbestimmung mittels Diagrammen

In diesem Fall muss die Berechnung der Wärmeeinträge anhand der Werte der Gesamtkühlenergie durchgeführt werden, die zur Gewährleistung von Behaglichkeitsbedingungen bei der mittleren operativen Temperatur (z. B. 23,0 °C) während des Tages bereitgestellt werden muss. Diese Methode beruht auf der Annahme, dass der gesamte wärmeleitende Teil der Platte aufgrund seiner eigenen Wärmeträgheit und des Wärmedurchgangswiderstands, der die Platte von den darüber und darunter angrenzenden Räumen trennt, den ganzen Tag lang bei einer nahezu konstanten Temperatur gehalten wird. Diese mittlere Temperatur der Platte wird nach der Methode selbst berechnet und wird zur Errechnung der Wasservorlauftemperatur genutzt, die von der Betriebsdauer des Heiz- bzw. Kühlkreises abhängig ist.

Die folgenden Größen sind in diese Methode eingebunden:

- $E_{\text{Day}}$ : spezifische tägliche Energieeinträge in einem Raum während des Auslegungstages. Es handelt sich um die Summe der Werte der Wärmeeinträge innerhalb des gesamten Auslegungstages geteilt durch die Fußbodenfläche, in kWh/m<sup>2</sup>;
- $\theta_{\text{Comfort}}^{\text{Max}}$ : die für Behaglichkeitsbedingungen maximal zulässige operative Raumtemperatur, in °C;
- die Ausrichtung des Raums: bestimmt, wann die Spitzenlast aus Wärmeeinträgen auftritt: Osten (morgens), Süden (mittags) oder Westen (nachmittags);
- Anzahl aktiver Oberflächen: kennzeichnet, ob die Platte durch Wärmeübertragung sowohl durch den Fußboden als auch durch die Decke oder nur durch die Decke wirkt (siehe Bild 9);
- $n_h$ : Anzahl der Betriebsstunden des Heiz- bzw. Kühlkreises, in h;