

DIN EN ISO 11855-4



ICS 91.040.01

Ersatz für
DIN EN ISO 11855-4:2016-11

**Umweltgerechte Gebäudeplanung –
Flächenintegrierte Strahlungsheiz- und -kühlsysteme –
Teil 4: Auslegung und Berechnung der dynamischen Heiz- und
Kühlleistung für thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) (ISO 11855-4:2021);
Deutsche Fassung EN ISO 11855-4:2021**

Building environment design –
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 11855-4:2021);
German version EN ISO 11855-4:2021

Conception de l'environnement des bâtiments –
Systèmes intégrés de chauffage et de refroidissement par rayonnement –
Partie 4: Dimensionnement et calculs relatifs au chauffage adiabatique et à la puissance
frigorigène pour systèmes d'éléments de construction thermoactifs (TABS)
(ISO 11855-4:2021);
Version allemande EN ISO 11855-4:2021

Gesamtumfang 72 Seiten

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

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 11855-4:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 205 „Building environment design“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 228 „Heizungsanlagen und wassergeführte Kühlanlagen in Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale 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 Raumlufttechnik sowie deren Sicherheit (NHRS).

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 7730	siehe	DIN EN ISO 7730
ISO 11855-1	siehe	DIN EN ISO 11855-1
ISO 11855-2	siehe	DIN EN ISO 11855-2
ISO 52017-1	siehe	DIN EN ISO 52017-1

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Änderungen

Gegenüber DIN EN ISO 11855-4:2016-11 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) redaktionelle Korrekturen;
- b) Neuerstellung von Bildern;
- c) aktualisierte Literaturhinweise;
- d) Verbesserungen des Wortlauts.

Frühere Ausgaben

DIN EN 15377-3: 2007-12
DIN EN ISO 11855-4: 2015-11, 2016-11

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 7730, *Ergonomie der thermischen Umgebung — Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit*

DIN EN ISO 11855-1, *Umweltgerechte Gebäudeplanung — Flächenintegrierte Strahlungsheiz- und -kühlsysteme — Teil 1: Begriffe, Symbole und Behaglichkeitskriterien*

DIN EN ISO 11855-2, *Umweltgerechte Gebäudeplanung — Flächenintegrierte Strahlungsheiz- und -kühlsysteme — Teil 2: Bestimmung der Auslegungs-Heiz- und Kühlleistung*

DIN EN ISO 52017-1, *Energieeffizienz von Gebäuden — Fühlbare und latente Wärmelasten und Innentemperaturen — Teil 1: Allgemeine Berechnungsverfahren*

— Leerseite —

Deutsche Fassung

Umweltgerechte Gebäudeplanung —
Flächenintegrierte Strahlungsheiz- und -kühlsysteme —
Teil 4: Auslegung und Berechnung der dynamischen Heiz- und
Kühlleistung für thermoaktive Bauteilsysteme (TABS)
(ISO 11855-4:2021)

Building environment design —
Embedded radiant heating and cooling systems —
Part 4: Dimensioning and calculation of the dynamic
heating and cooling capacity of Thermo Active Building
Systems (ISO 11855-4:2021)

Conception de l'environnement des bâtiments —
Systèmes intégrés de chauffage et de refroidissement
par rayonnement —
Partie 4: Dimensionnement et calculs relatifs au
chauffage adiabatique et à la puissance frigorifique pour
systèmes d'éléments de construction thermoactifs
(TABS) (ISO 11855-4:2021)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 29. Juli 2021 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 CEN-CENELEC-Management-Zentrum 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 CEN-CENELEC-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, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, 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: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	3
Vorwort	4
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Symbole	6
5 Das Konzept thermoaktiver Bauteilsysteme (TABS)	10
6 Berechnungsmethoden	15
6.1 Allgemeines	15
6.2 Überschlägige Größenbestimmungsmethode	18
6.3 Vereinfachte Größenbestimmung mittels Diagrammen	18
6.4 Vereinfachtes Modell beruhend auf der Finite-Differenzen-Methode (FDM)	26
6.4.1 Kühlsystem	26
6.4.2 Hydraulikkreislauf und Platte	26
6.4.3 Raum	28
6.4.4 Anwendungsgrenzen der Methode	30
6.5 Dynamisches Gebäudesimulationsprogramm	31
7 Auswirkungen von Akustikdecken auf die Kühlleistung von TABS	31
8 Eingangsdaten für Computersimulationen der Energieeffizienz	32
Anhang A (informativ) Vereinfachte Diagramme	33
Anhang B (normativ) Berechnungsmethode	39
B.1 Rohrebene	39
B.2 Thermische Knoten, die den Raum und die Platte ausmachen	39
B.3 Berechnungen für die generische h -te Stunde	43
B.4 Dimensionierung des Systems	49
Anhang C (informativ) Anleitung zur Bewertung des Modells	50
Anhang D (informativ) Computerprogramm	53
Literaturhinweise	67

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 11855-4:2021) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 205 „Building environment design“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 228 „Heizungsanlagen und wassergeführte Kühlanlagen in Gebäuden“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis März 2022, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis März 2022 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Dieses Dokument ersetzt EN ISO 11855-4:2015.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

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

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 11855-4:2021 wurde von CEN als EN ISO 11855-4:2021 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 205, *Building environment design*, in Zusammenarbeit mit dem Europäischen Komitee für Normung (CEN), Technisches Komitee CEN/TC 228, *Heizungsanlagen und wassergeführte Kühlanlagen in Gebäuden*, in Übereinstimmung mit der Vereinbarung zur technischen Zusammenarbeit zwischen ISO und CEN (Wiener Vereinbarung) erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 11855-4:2012), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen im Vergleich zur Vorgängerausgabe sind folgende:

- redaktionelle Korrekturen;
- Neuerstellung von Bildern;
- aktualisierte Literaturhinweise;
- Verbesserungen des Wortlauts.

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 11855 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Das Strahlungsheiz- und -kühlssystem 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 Flächenheiz- und -kühlssystem, 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 integrierte Flächenheiz- und -kühlssysteme mit Wasserdurchströmung in Gebäuden anwendbar. Die Normenreihe ISO 11855 wird für Systeme angewendet, die nicht nur Wasser, sondern auch andere Flüssigkeiten oder Strom als Heiz- und Kühlmittel nutzen. 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.

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 Steuermethode flächenintegrierter Systeme und die Eingangsparameter für die Energiekalkulationen dargelegt.

Die Normenreihe ISO 11855 besteht unter dem allgemeinen Titel *Building environment design — Embedded radiant heating and cooling systems* aus den folgenden Teilen:

- Part 1: *Definitions, symbols, and comfort criteria*
- Part 2: *Determination of the design and heating and cooling capacity*
- Part 3: *Design and dimensioning*
- Part 4: *Dimensioning and calculation of the dynamic heating and cooling capacity of Thermo Active Building Systems (TABS)*
- Part 5: *Installation*
- Part 6: *Control*
- Part 7: *Input parameters for the energy calculation*

ISO 11855-1 legt die Behaglichkeitskriterien fest, die bei der Auslegung flächenintegrierter Strahlungsheiz- und -kühlssysteme berücksichtigt werden sollten, da das Hauptziel des Strahlungsheiz- und -kühlsystems darin besteht, die thermische Behaglichkeit der Bewohner zu erfüllen. ISO 11855-2 enthält Berechnungsmethoden zur Bestimmung der Heiz- und Kühlleistung im stationären Zustand. ISO 11855-3 legt Planungs- und Auslegungsmethoden für Strahlungsheiz- und -kühlssysteme fest, um die Heiz- und Kühlleistung sicherzustellen. ISO 11855-4, dieses Dokument, enthält eine Auslegungs- und Berechnungsmethode zur Planung thermoaktiver Bauteilsysteme (TABS) zum Zweck der Energieeinsparung, da Strahlungsheiz- und -kühlssysteme den Energieverbrauch und die Größe der Wärmequelle durch die Nutzung erneuerbarer Energie reduzieren können. ISO 11855-5 befasst sich mit dem Installationsprozess, um den bestimmungsgemäßen Betrieb des Systems sicherzustellen. ISO 11855-6 zeigt eine geeignete Regelungsmethode für die Strahlungsheiz- und -kühlssysteme, um das Erreichen der höchsten Leistung, die in der Planungsphase beabsichtigt war, sicherzustellen, wenn das System tatsächlich in einem Gebäude betrieben wird. ISO 11855-7 stellt ein Berechnungsverfahren für Eingangsparameter für ISO 52031 vor.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument 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 Dokument wird ein detailliertes Verfahren für die Berechnung der Heiz- und Kühlleistung bei nichtstationären Bedingungen festgelegt.

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).

ISO 11855-1, *Building environment design — Embedded radiant heating and cooling systems — Part 1: Definitions, symbols, and comfort criteria*

ISO 11855-2, *Building environment design — Embedded radiant heating and cooling systems — Part 2: Determination of the design heating and cooling capacity*

3 Begriffe

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

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

- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>
- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

4 Symbole

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 aufgeführten Symbole und Abkürzungen.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Einheit	Größe
A_F	m^2	Flächeninhalt der Heiz- bzw. Kühlfläche
A_W	m^2	Gesamtflächeninhalt der Innenwände (d. h. vertikale Wände, außer den Außenfassaden)
C	$J/(m^2 \cdot K)$	spezifische Wärmekapazität des betrachteten thermischen Knotens
C_W	$J/(m^2 \cdot K)$	mittlere spezifische Wärmekapazität der Innenwände
c_j	$J/(kg \cdot K)$	spezifische Wärmekapazität des Werkstoffs der j -ten Schicht der Platte
c_{Wa}	$J/(kg \cdot K)$	spezifische Wärmekapazität von Wasser
d_a	m	Außendurchmesser des Rohrs

Symbol	Einheit	Größe
E_{Day}	kWh/m ²	spezifischer täglicher Energieeintrag
f_{rm}^h	-	Betriebsart (1 wenn das System läuft; 0 wenn das System ausgeschaltet ist) in der h -ten Stunde
f_s	-	Auslegungs-Sicherheitsfaktor
$F_{\text{vF-C}}$	-	Sichtfaktor zwischen dem Fußboden und der Decke
$F_{\text{vF-EW}}$	-	Sichtfaktor zwischen dem Fußboden und den Außenwänden
$F_{\text{vF-W}}$	-	Sichtfaktor zwischen dem Fußboden und den Innenwänden
$h_{\text{A-C}}$	W/(m ² ·K)	Konvektionswärmeübergangskoeffizient zwischen der Luft und der Decke
$h_{\text{A-F}}$	W/(m ² ·K)	Konvektionswärmeübergangskoeffizient zwischen der Luft und dem Fußboden
$h_{\text{A-W}}$	W/(m ² ·K)	Konvektionswärmeübergangskoeffizient zwischen der Luft und den Innenwänden
$h_{\text{F-C}}$	W/(m ² ·K)	Strahlungswärmeübergangskoeffizient zwischen dem Boden und der Decke
$h_{\text{F-W}}$	W/(m ² ·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_{Cct}	W/K	Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem Kreislauf
H_{CondDn}	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 wirken
H_{F}	W/K	Wärmeübergangskoeffizient zwischen dem betrachteten thermischen Knoten und dem thermischen Knoten des Fußbodens („F“)
H_{I}	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 Gesamtwärmeeinträge durch Strahlung, der sich auf den betrachteten thermischen Knoten auswirkt
h_t	W/(m ² ·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

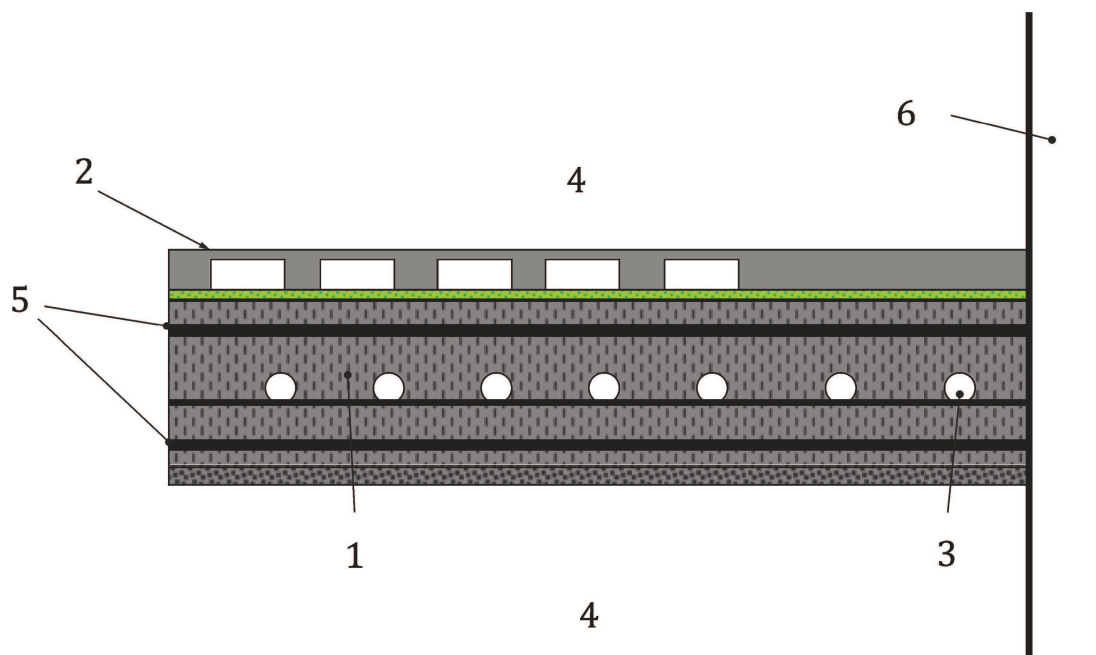
Symbol	Einheit	Größe
L_R	m	Länge der verlegten Rohre
$\dot{m}_{H,sp}$	kg/(m ² ·s)	spezifischer Wassermassenstrom in einem Kreislauf; errechnet mit der Fläche, die vom Heizkreislauf eingenommen wird
m_j	-	Anzahl der Teilbereiche der j -ten Schicht der Platte
n	-	tatsächliche Anzahl der Iterationen bei den Iterationsberechnungen
n_h	h	Anzahl der Betriebsstunden des Kreislaufs
n_{Max}	-	maximal zulässige Anzahl der Iterationen bei Iterationsberechnungen
$P_{Cct}^{Max,h}$	W	maximale Kühlleistung, die vom betrachteten Kreislauf in der h -ten Stunde erzeugt wird
$P_{Cct,Spec}^{Max}$	W/m ²	maximale spezifische Kühlleistung (je Quadratmeter Fußboden)
q_i	W/m ²	nach innen gerichtete spezifische Wärmestromdichte
q_u	W/m ²	nach außen gerichtete spezifische Wärmestromdichte
Q_C^h	W	Wärmestromdichte, die sich in der h -ten Stunde auf die Deckenoberfläche („C“) auswirkt
Q_{Cct}^h	W	Wärmestromdichte, die vom Kreislauf in der h -ten Stunde abgegeben wird
Q_{Conv}^h	W	Gesamtwärmeeintrag durch Konvektion in der h -ten Stunde
Q_F^h	W	Wärmestromdichte, die 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	Wärmestromdichte, die 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	Gesamtwärmeeinträge durch Strahlung in der h -ten Stunde
Q_{Sun}^h	W	solare Wärmeeinträge in einem Raum in der h -ten Stunde
Q_{Transm}^h	W	Transmissionswärmeeinträge in der h -ten Stunde
Q_W	W/m ²	durchschnittliche spezifische Kühlleistung
R	(m ² ·K)/W	allgemeiner Wärmedurchgangswiderstand
$R_{Add C}$	(m ² ·K)/W	zusätzlicher Wärmedurchgangswiderstand des unteren Bereichs der Platte
$R_{Add F}$	(m ² ·K)/W	zusätzlicher Wärmedurchgangswiderstand des oberen Bereichs der Platte
R_{int}	(m ² ·K)/W	interner Wärmedurchgangswiderstand des wärmeleitenden Bereichs der Platte
$R_{L,p}$	(m ² ·K)/W	Wärmeleitwiderstand, der den p -ten thermischen Knoten mit der Grenze des $(p + 1)$ -ten thermischen Knotens verbindet
R_r	(m ² ·K)/W	Wärmedurchgangswiderstand der Rohrdicke

Symbol	Einheit	Größe
R_t	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$	Gesamtwärmedurchgangswiderstand des Kreislaufs
$R_{U,p}$	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$	Wärmeleitwiderstand, der den p -ten thermischen Knoten mit der Grenze des $(p - 1)$ -ten thermischen Knoten verbindet
R_W	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$	Wärmedurchgangswiderstand der Wand
R_{Wa}	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$	Wärmedurchgangswiderstand des fließenden Wassers
R_x	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$	Wärmedurchgangswiderstand der Rohrebene
R_z	$(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$	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
δ_j	m	Dicke der j -ten Schicht der Platte
$\Delta\theta$	K	allgemeine Temperaturdifferenz
$\Delta\theta_{\text{Comf}}^{\text{Max}}$	K	maximal zulässige operative Temperaturdrift für Behaglichkeitsbedingungen
Δt	s	Berechnungszeitschritt
θ_A^h	°C	Temperatur des thermischen Knotens der Luft („A“) in der h -ten Stunde
θ_C^h	°C	Temperatur des thermischen Knotens der Decke („C“) in der h -ten Stunde
$\Delta\theta_{\text{Comf}}^{\text{Max}}$	°C	maximal zulässige operative Temperatur für Behaglichkeitsbedingungen
$\theta_{\text{Comf,Ref}}$	°C	maximal zulässige operative Temperatur für Behaglichkeitsbedingungen im Referenzfall
θ_F^h	°C	Temperatur des thermischen Knotens des Fußbodens („F“) in der h -ten Stunde
θ_{IW}^h	°C	Temperatur des thermischen Knotens des Kerns der Innenwände („IW“) in der h -ten Stunde
θ_{IWS}^h	°C	Temperatur des thermischen Knotens der Oberfläche der Innenwände („IWS“) in der h -ten Stunde
θ_{MR}^h	°C	mittlere Strahlungstemperatur des Raums in der h -ten Stunde
θ_{Op}^h	°C	operative Temperatur des Raums in der h -ten Stunde
θ_p^h	°C	Temperatur des p -ten thermischen Knotens in der h -ten Stunde
θ_{PL}^h	°C	Temperatur des thermischen Knotens der Rohrebene („PL“) in der h -ten Stunde
$\theta_{\text{Slab}}^{\text{Av}}$	°C	tägliche Durchschnittstemperatur des wärmeleitenden Bereichs der Platte
$\theta_{Wa,\text{In}}^h$	°C	tatsächliche Eintrittstemperatur des Wassers in der h -ten Stunde
$\theta_{Wa,\text{In}}^{\text{Setp},h}$	°C	Soll-Eintrittstemperatur des Wassers in der h -ten Stunde

Symbol	Einheit	Größe
$\theta_{\text{Wa,In,Ref}}^{\text{Setp}}$	°C	Soll-Eintrittstemperatur des Wassers im Referenzfall
$\theta_{\text{Wa,Out}}^h$	°C	Austrittstemperatur des Wassers in der h -ten Stunde
λ_b	W/(m·K)	Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs der Schicht, in welche das Rohr integriert ist
λ_j	W/(m·K)	Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffs der j -ten Schicht der Platte
λ_r	W/(m·K)	Wärmeleitfähigkeit des Rohrwerkstoffs
ξ	K	tatsächliche Toleranz der Iterationsberechnungen
ξ_{Max}	K	maximal zulässige Toleranz bei Iterationsberechnungen
ρ_j	kg/m ³	Werkstoffdichte der j -ten Schicht der Platte
ω	verschiedene	Steigung der Korrelationskurven

5 Das Konzept thermoaktiver Bauteilsysteme (TABS)

Ein thermoaktives Bauteilsystem (TABS) ist ein integriertes Flächenheiz- und -kühlsystem mit Wasserdurchströmung, dessen Rohre in den zentralen Betonkern einer Baustruktur eingelassen sind (siehe Bild 1).

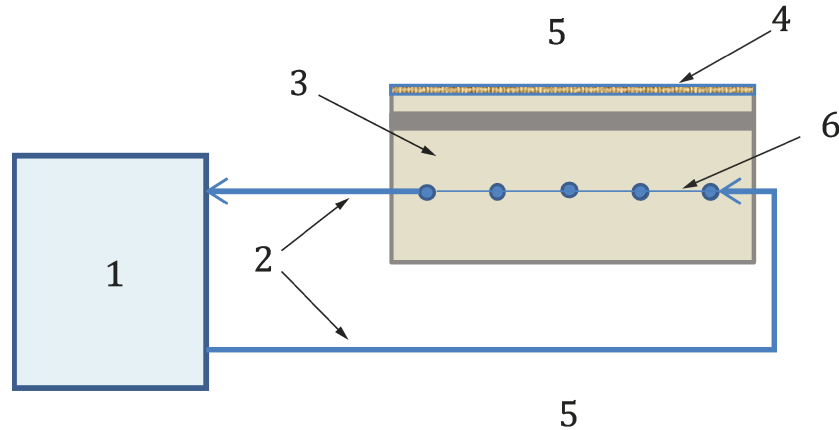


Legende

- 1 Beton
- 2 Fußboden
- 3 Rohre
- 4 Raum
- 5 Bewehrung
- 6 Fenster

Bild 1 — Beispiel der Rohrpositionierung in TABS

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 Bauteilsystemen (TABS) 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.

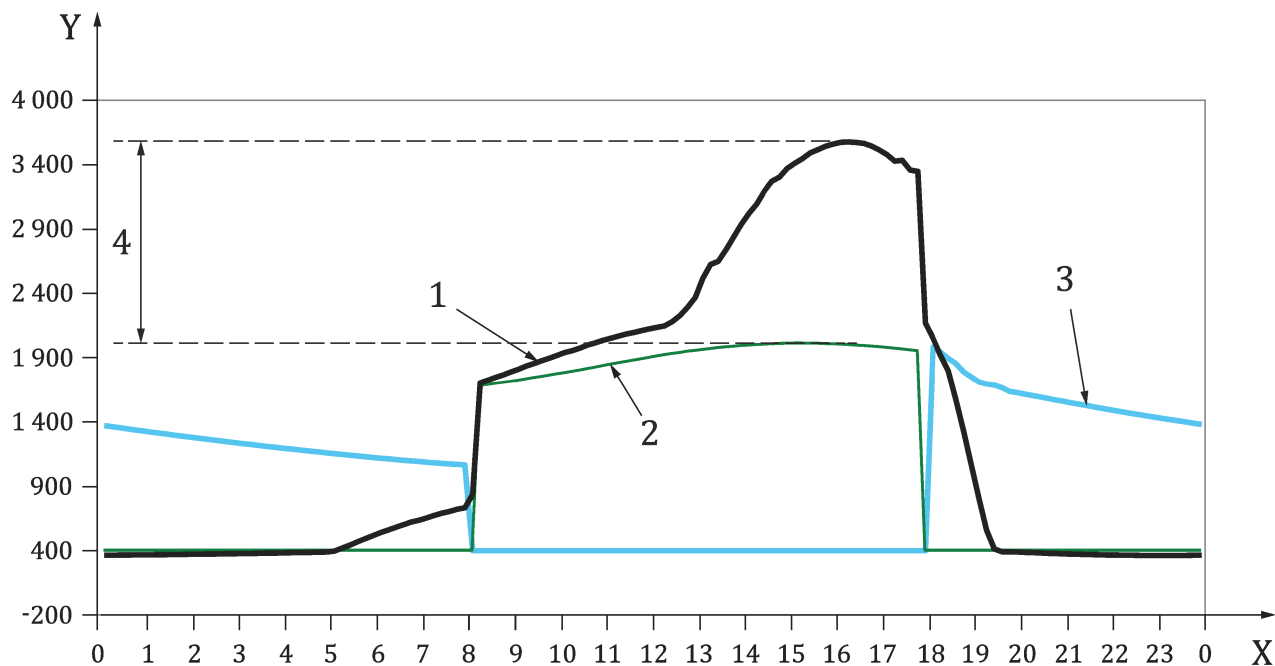


Legende

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

Bild 2 — Einfache schematische Darstellung eines TABS

Thermoaktive Bauteilsysteme 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- und Kühlsystemkomponenten (einschließlich dem Kühler) möglich.



Legende

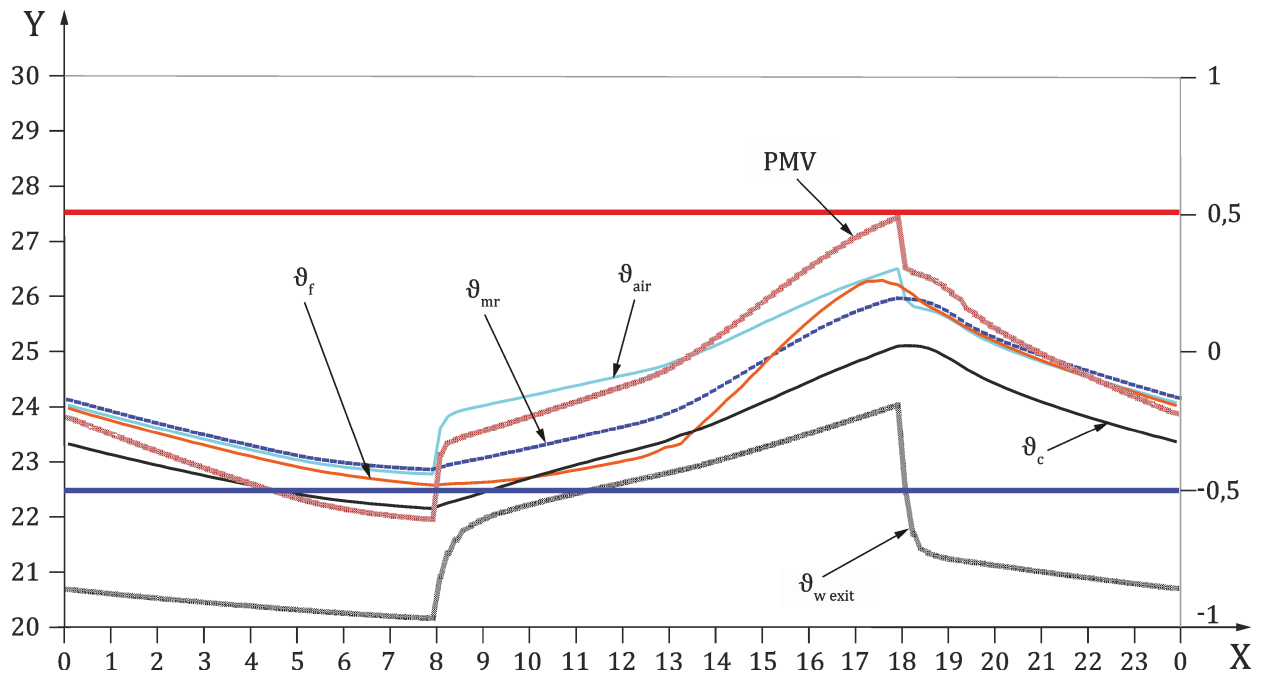
- X Uhrzeit, in h
- Y Kühlleistung, in W
- 1 Wärmeeinträge
- 2 zur Konditionierung der Ventilationsluft erforderliche Kühlleistung
- 3 auf der Wasserseite erforderliche Kühlleistung
- 4 Reduzierung der erforderlichen Spitzenleistung

Bild 3 — Beispiel für den Lastspitzenabbau

TABS können 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 die wasserseitige Wärmestromdichte kennen, um das Wärmeverteilungssystem und den Kühler und den Wärmeerzeuger auslegen zu können. Dieses Dokument beschreibt Verfahren für beide Zwecke.

Wenn TABS eingesetzt werden, findet während des Tages nur eine geringfügige Änderung der Raumtemperatur 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, in h
Y	Temperatur, in °C
PMV	vorausgesagtes mittleres Votum
θ_{air}	Lufttemperatur
θ_c	Temperatur der Decke
θ_{mr}	mittlere Strahlungstemperatur
θ_f	Temperatur des Fußbodens
$\theta_{w exit}$	Wasserrücklauftemperatur

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

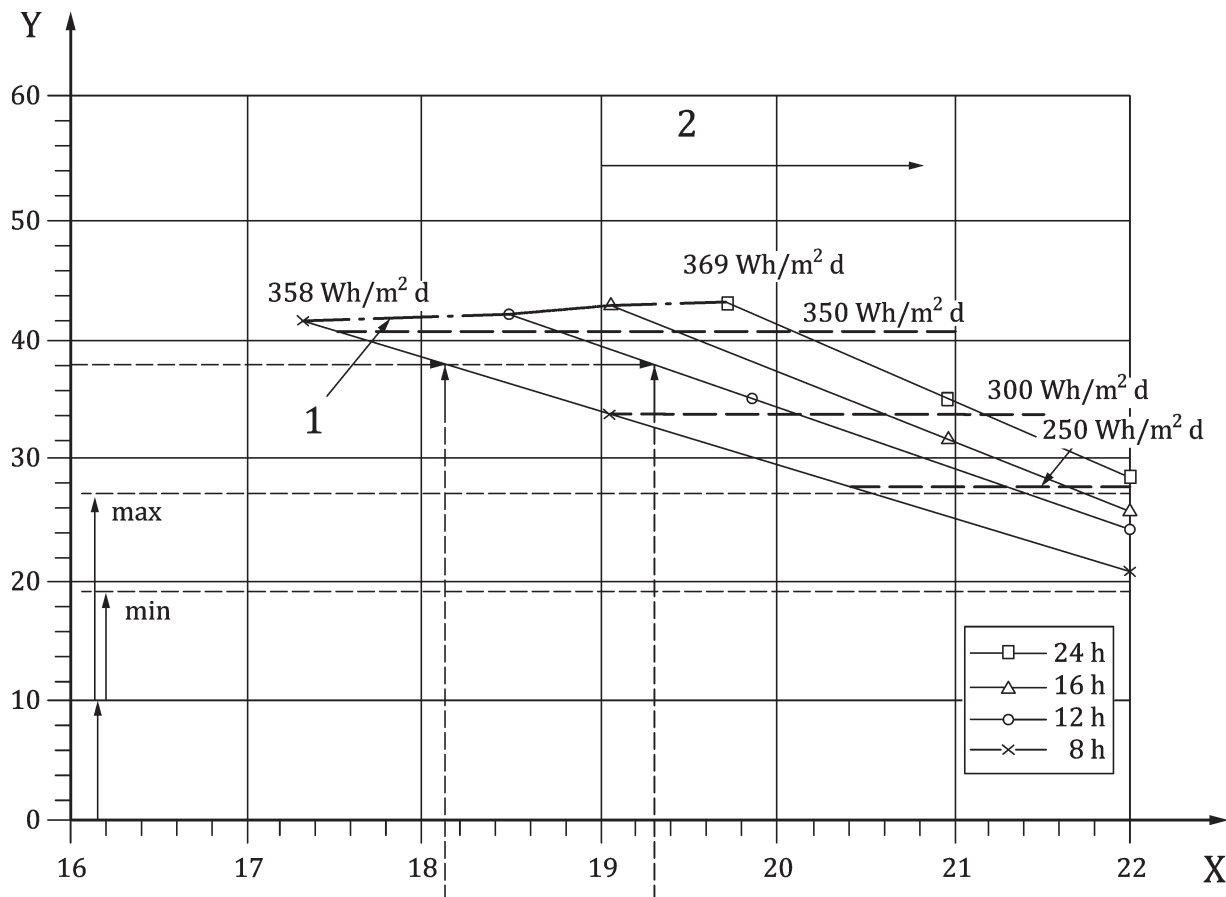
Zur Bestimmung des Wärmeübergangs unter nichtstationären Bedingungen in einem einzigen Raum, zur Bestimmung der Temperatur- und Feuchtigkeitsbilanz der Raumluft, zur Vorausbestimmung von Behaglichkeitsbedingungen, zur Prüfung auf Kondensatbildung an den Oberflächen, zum Bereitstellen von Regelstrategien und zur Berechnung der in einen Raum eintretenden Sonnenstrahlung wurden einige detaillierte Berechnungsmodelle für Gebäudesysteme entwickelt. Der hohe erforderliche Zeitaufwand für die Simulationen führt jedoch zur begrenzten Anwendung solcher detaillierter Berechnungsmodelle. Daher ist die Entwicklung von anwenderfreundlicheren Werkzeugen erforderlich. In diesem Dokument wird ein solches Werkzeug beschrieben, mit dem die Simulation thermoaktiver Bauteilsysteme 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 mit einem Doppelboden ($R = 0,45 \text{ (m}^2 \cdot \text{K)/W}$) und einem zulässigen Raumtemperaturbereich von 21 °C bis 26 °C.

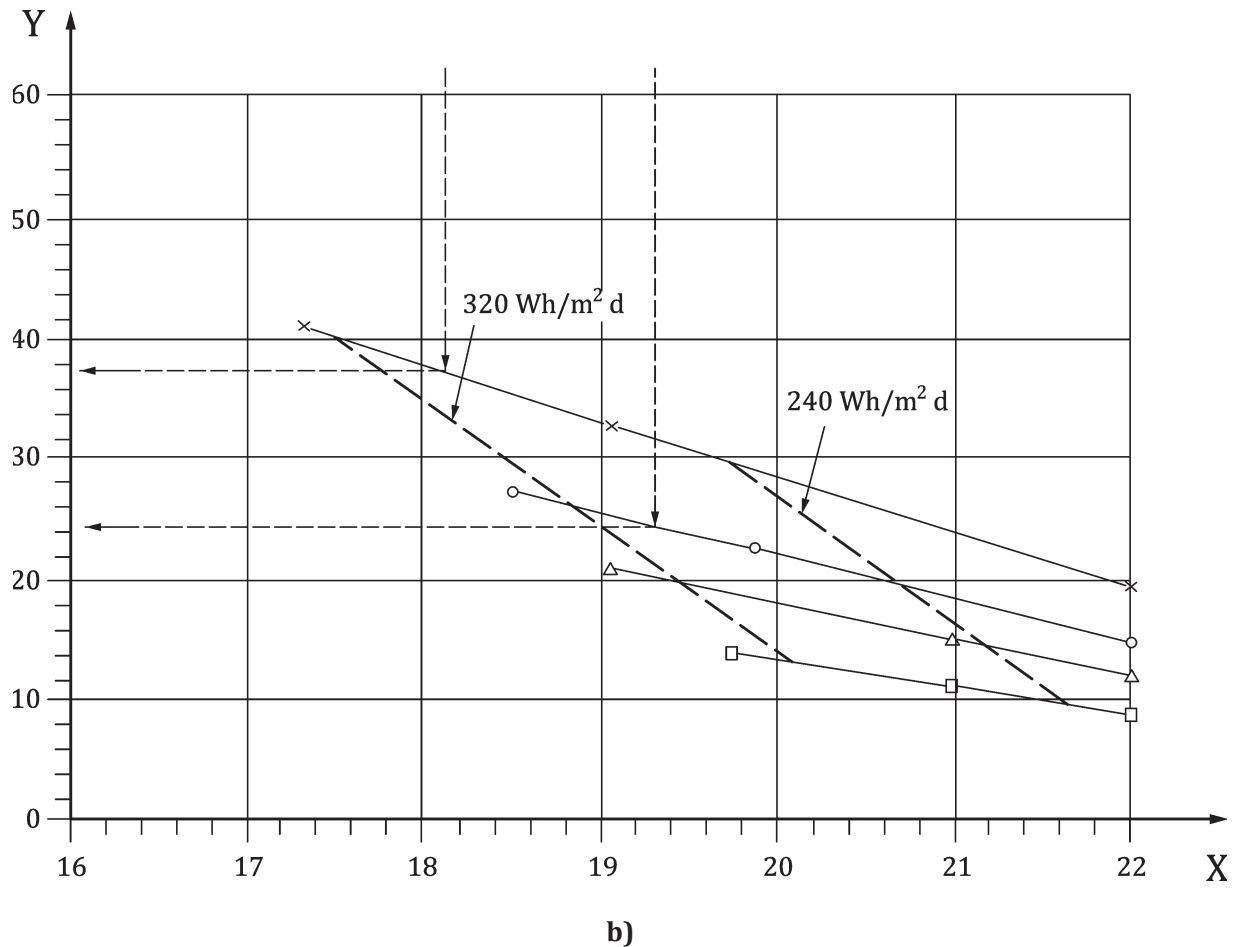
Im oberen Diagramm sind auf der Y-Achse die maximal zulässigen Gesamtwärmeeinträge im Raum (interne Wärmeeinträge plus solare Wärmeeinträge) [W/m^2] und auf der X-Achse die erforderliche Wasservorlauftemperatur dargestellt. Die Linien im Diagramm entsprechen verschiedenen Betriebszeiträumen (8 h, 12 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 $[W/m^2]$ (zur Auslegung des Kühlers) für thermoaktive Bauteilsysteme als Funktion der Wasservorlauftemperatur und Betriebszeit dargestellt. Zudem wird die Menge der täglich abgeführten Energie in $[Wh/(m^2 \cdot d)]$ angegeben.

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



a)



Legende

X (oberes Diagramm)	Eintrittstemperatur des TABS, in °C
Y (oberes Diagramm)	maximaler Gesamtwärmeeintrag im Raum, in W/m ² Fußbodenfläche
Y (unteres Diagramm)	mittlere Kühlleistung des TABS, in W/m ² Fußbodenfläche
1	maximale Temperaturzunahme (21 °C bis 26 °C)
2	Selbstregulierungseffekt der Platte

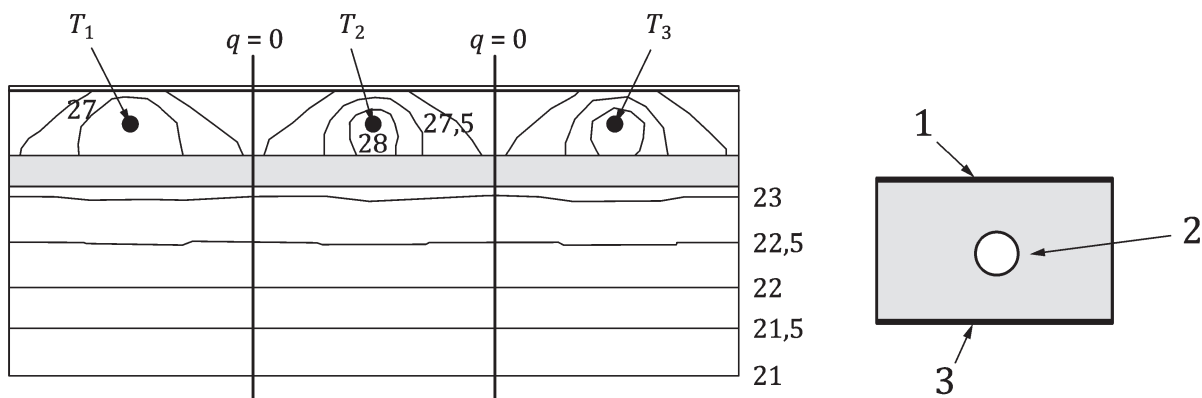
Bild 5 — Funktionsweise von TABS

6 Berechnungsmethoden

6.1 Allgemeines

TABS sind Systeme mit hoher Wärmeträgheit. Für die Bemessung der mit ihnen verbundenen Kälteerzeuger müssen daher dynamische Simulationen durchgeführt werden. 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 zur Betrachtung des 2-D-Wärmefeldes und für den gesamten Abgleich des restlichen Raums erforderliche Berechnungszeitaufwand ist gewöhnlich zu hoch. Mathematische Modelle beruhen in der Literatur daher üblicherweise auf einer Verbindung zwischen Rohroberfläche und den oberen und unteren Oberflächen (d. h. Fußboden und Decke).

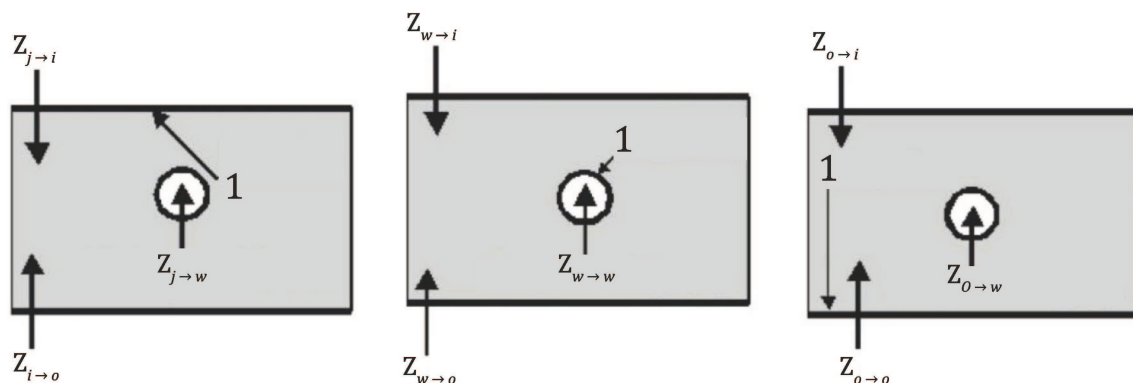
Eine Möglichkeit, Strahlungssysteme darzustellen, ist die Anwendung von Empfindlichkeitsfaktoren an der Rohroberfläche sowie an der oberen Oberfläche und an der unteren Oberfläche der Platte (siehe Bild 7). Die Wärmeleitung wird so durch neun Empfindlichkeitsfaktorserien bestimmt, die aufgrund von Gegenseitigkeitsregeln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



Legende

- 1 obere Oberfläche
- 2 Rohroberfläche
- 3 untere Oberfläche

Bild 6 — Wärmeübertragung durch Strukturen mit integrierten Rohren

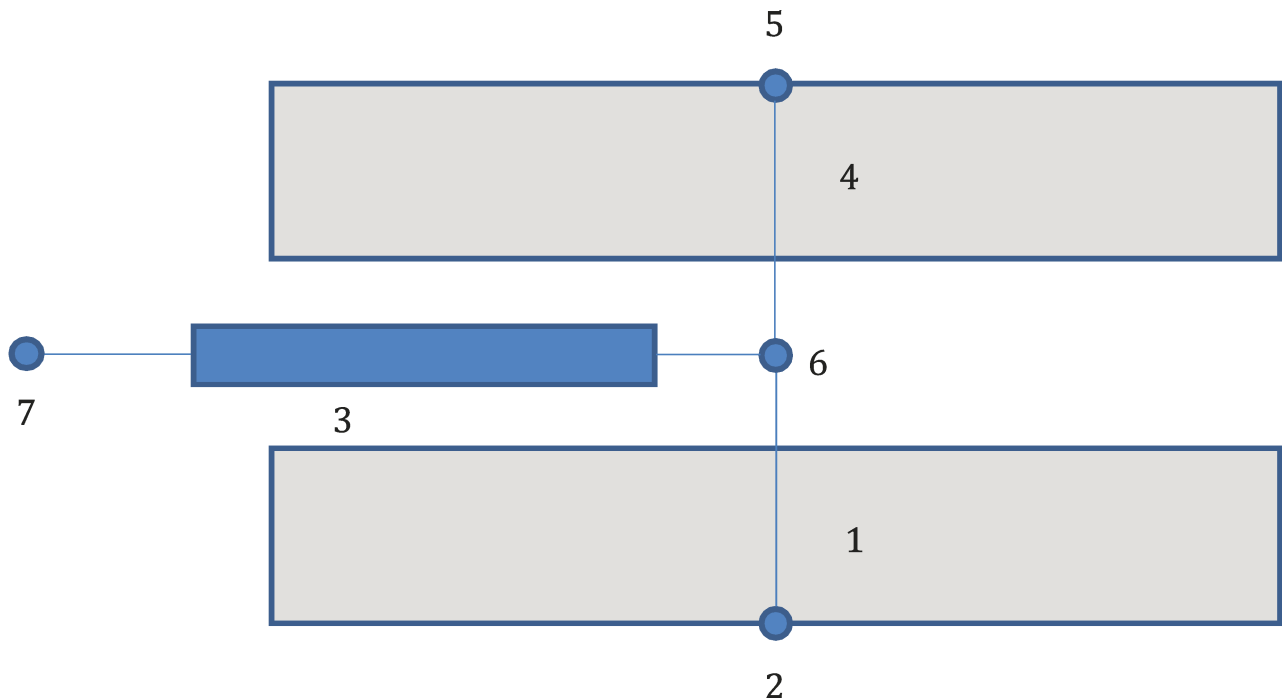


Legende

- 1 Impuls

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

- 1 unterer Teil der Platte
- 2 untere Oberflächentemperatur (Decke)
- 3 Gesamtwärmedurchgangswiderstand des Kreislaufs
- 4 oberer Teil der Platte
- 5 obere Oberflächentemperatur (Fußboden)
- 6 mittlere Temperatur auf der Rohrebene
- 7 Wasservorlauftemperatur

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

In diesem Dokument werden die folgenden Berechnungsmethoden beschrieben:

- ungefähre Größenbestimmungsmethode beruhend auf einer Standardberechnung der Kühllast (Unsicherheit: 20 % bis 30 %). Anzuwenden ausgehend von der Kenntnis der täglichen Wärmeeinträge in den Raum (siehe 6.2);
- vereinfachte Methode anhand von Diagrammen beruhend auf der Kenntnis der täglich zu entziehenden Gesamtenergie zur Sicherstellung von Behaglichkeitsbedingungen (Unsicherheit: 15 % bis 20 %). Nähere Angaben unter 6.3;
- vereinfachtes Modell beruhend auf der Finite-Differenzen-Methode (FDM) (Unsicherheit: 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. Anhang A beschreibt ausgehend von der in 6.4 angegebenen vereinfachten Berechnungsmethode vereinfachte Diagramme;
- detaillierte Simulationsmodelle (Unsicherheit: 6 % bis 10 %). Sie schließen das dynamische Gesamtsimulationsmodell für das Strahlungssystem und den Raum durch detaillierte Simulationssoftware für Bauteilsysteme (siehe 6.5) mit ein.

6.2 Überschlägige Größenbestimmungsmethode

Die Größe des Kühlsystems muss mit folgender Gleichung (1) bestimmt werden:

$$P_{\text{Cct,Spec}}^{\text{Max}} = \frac{E_{\text{Day}}}{n_h} \cdot 1\,000 \cdot f_s \quad (1)$$

Dabei ist

$P_{\text{Cct,Spec}}^{\text{Max}}$ die maximale spezifische Kühlleistung (je Quadratmeter Fußboden), in W/m²;

E_{Day} die spezifischen täglichen Energieeinträge, in kWh/m²;

n_h die Anzahl der Betriebsstunden des Kreislaufs, in h;

f_s der Konstruktionssicherheitsfaktor (größer als 1, normalerweise 1,15), in -.

Zu diesem Zweck muss E_{Day} folgendermaßen berechnet werden:

- 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_{Day} ist die Summe der 24 Werte der Wärmeeinträge.

Aus Gründen 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 21,0 °C und 26,0 °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 Sicherstellung von Behaglichkeitsbedingungen bei der mittleren operativen Temperatur (z. B. 23,0 °C) während des Tages bereitgestellt wird. 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. Kühlkreislaufs abhängig ist.

Die folgenden Größen sind in diese Methode eingebunden:

- E_{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/m²;
- $\theta_{\text{Comf}}^{\text{Max}}$: 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);