

Hinweise zur neuen Europäischen Norm für Flächenheizung und -kühlung

Bernd Glück, Jößnitz (Plauen)

Im März 2007 erschien eine Pressemitteilung, basierend auf der gemeinsamen Erklärung der Obmänner Prof. Zöllner und Prof. Olesen, über Einzelheiten der Neufassung der EN 1264 und der EN 15377. Es wurde mitgeteilt, dass man zukünftig in die EN 1264 auch aktive Wand- und Deckensysteme bei stationären Randbedingungen einbeziehen wird. Mit EN 15377 sollen Rohrsysteme in leichten Holzkonstruktionen und Rohrregister in Massivbauteilen des Gebäudes (TABS) berechenbar sein. Beim weiteren Arbeitsfortschritt soll ein Teil der Norm EN 15377 durch EN 1264 ersetzt werden.

Autor



Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Jahrgang 1942, betreibt ein Forschungs- und Entwicklungsbüro für Technische Gebäudeausrüstung. Gleichzeitig ist er als Honorarprofessor an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH) tätig.

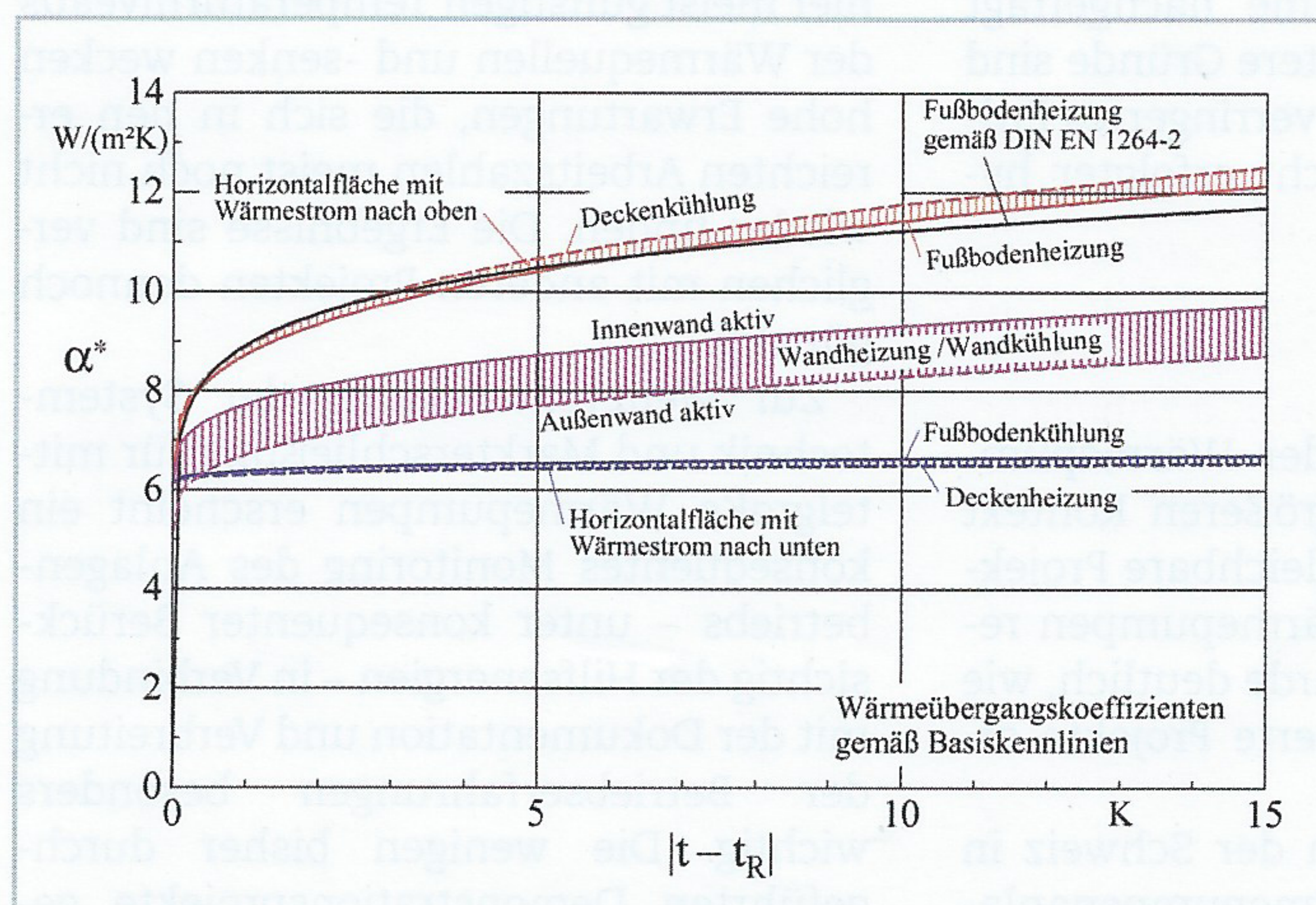


Bild 1

Wärmeübergangskoeffizienten gemäß Basiskennlinien für thermisch aktive Raumumfassungen

Der Autor erlaubt sich darauf hinzuweisen, dass ein Großteil der im Vorspann genannten Arbeiten z.Z. Gegenstand des vom BMWi geförderten und durch das PTJ koordinierten „Verbundvorhabens LowEx – Innovative Wärmeübertragung und Wärmespeicherung“ ist, welches größtenteils bereits vorliegt und teilweise auch schon veröffentlicht wurde. Projektpartner dieses Teilgebietes sind die Westsächsische Hochschule Zwickau (FH) und die Fa. Clina, Berlin.

Nachfolgend werden einige, die Norm betreffende Inhalte in Kurzform vorgestellt.

Wärmeübergangskoeffizienten an Raumbooberflächen

Bei möglichst genauen thermischen-energetischen Raumsimulationen (z.B. [1]) berechnet man die raumseitigen Oberflächentemperaturen t und bestimmt daraus den konvektiven Wärmestrom mit dem Wärmeübergangskoeffizienten α_k unter Beachten der Lufttemperatur in Oberflächennähe und gemäß der Bruttomethode den Strahlungswärmeaustausch mit allen anderen Umgebungsflächen. In vielen praktischen Fällen ist das thermisch aktive Bauteil (Fußbodenheizfläche, Kühldecke usw.) aber losgelöst von einer Raumgeometrie leistungsmäßig zu beurteilen bzw. wärmetechnisch zu optimieren. Üblicherweise wird aus α_k und α_s ein Gesamt-wärmeübergangskoeffizient α gebildet,

wobei die unterschiedlichen Größen Lufttemperatur t_L und Strahlungstemperatur der Umgebung t_U zu beachten sind:

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s \frac{t - t_U}{t - t_L} \quad (1)$$

Schließlich folgt die Gesamtwärmestromdichte zu

$$\dot{q} = \dot{q}_{\text{Konvektion}} + \dot{q}_{\text{Strahlung}} = \alpha(t - t_L) \quad (2)$$

Für die praktische Leistungsermittlung der thermisch aktiven Raumumfassung sowie für deren rechnerischen Normleistungsnachweis ist jedoch in der Regel die operative Raumtemperatur t_R als Planungsgröße bekannt, so dass der analytische Ansatz als sogenannte Basiskennlinie

$$\dot{q} = \alpha^*(t - t_R) \quad (3)$$

mit der Oberflächentemperatur t sinnvoll ist. Ein Beispiel hierfür ist die bewährte Leistungsermittlung von Fußbodenheizungen nach DIN EN 1264-2 mit der Basiskennlinie $\dot{q}_{\text{DIN-FBH}} = 8,92 |t - t_R|^{1,1}$ in W/m^2 und dem Wärmeübergangskoeffizient gemäß Basiskennlinie

$$\alpha_{\text{DIN-FBH}}^* = 8,92 |t - t_R|^{0,1} \text{ in } \text{W/(m}^2\text{K)} \quad (4)$$

In der komplexen Größe α^* ist die Konvektion als Mischkonvektion (Überlagerung der freien sowie erzwungenen Konvektion) und die Strahlung jeweils mit Bezug auf die Raumtemperatur enthal-

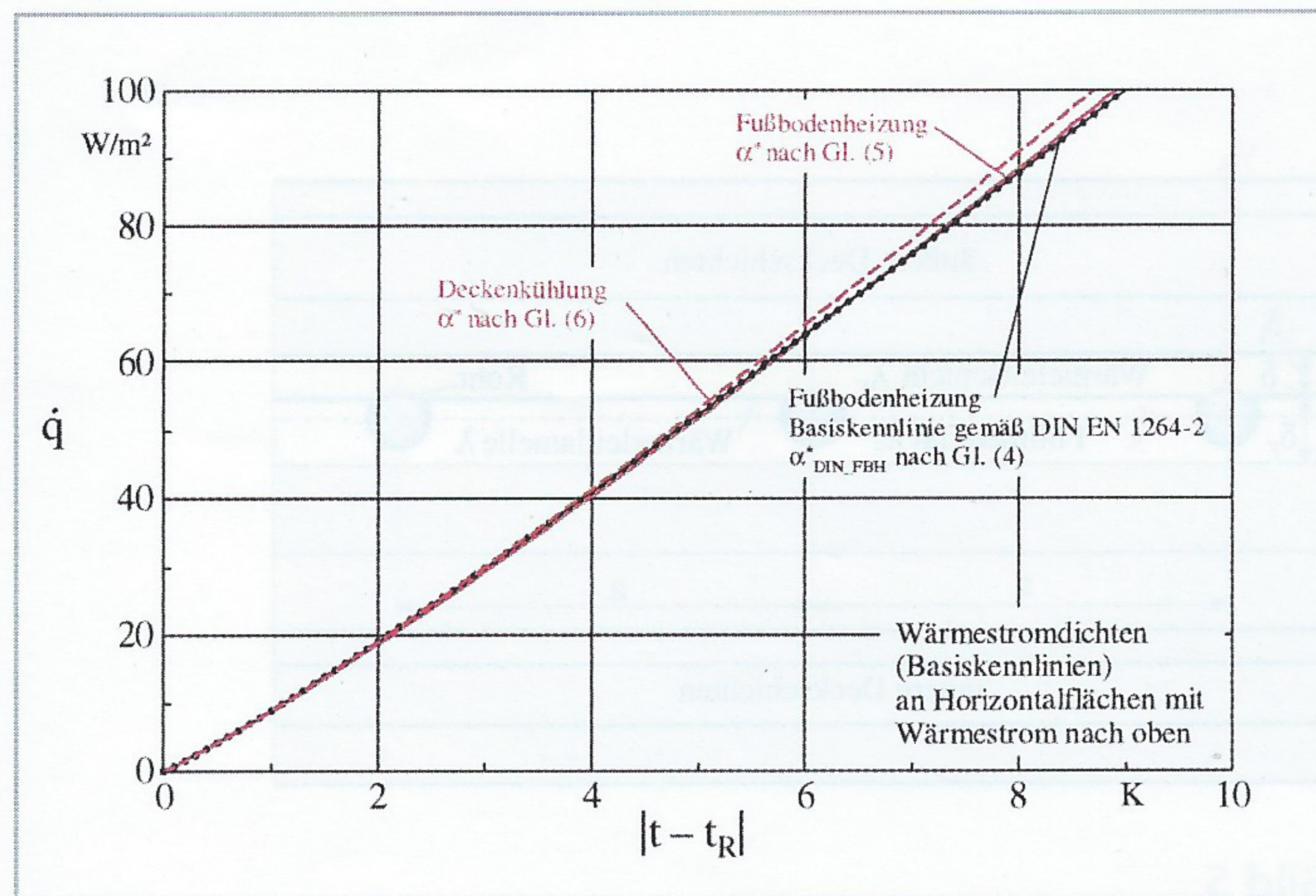


Bild 2

Wärmestromdichten – Basiskennlinien – auf der Grundlage der abgeleiteten Wärmeübergangskoeffizienten α^* für thermisch aktive Bauteiloberflächen in horizontaler Lage mit Wärmestrom nach oben (Fußbodenheizfläche und Kühldecke) in Gegenüberstellung mit den Angaben für Fußbodenheizflächen nach DIN EN 1264

ten. Vorausgesetzt werden Räume mit üblicher Geschosshöhe und Nutzung. Aus einer sehr umfangreichen, physikalisch begründeten Ableitung [2] resultieren die nachfolgenden Wärmeübergangskoeffizienten für thermisch aktive Raumumfassungen unterschiedlicher Lage (siehe auch Bild 1):

□ Horizontale Bauteile mit Wärmestrom nach oben

– Fußbodenheizung

$$\alpha_{FBH}^* = 2,60 |t - t_R|^{0,31} + 6,12 \text{ in W/(m}^2\text{K)} \quad (5)$$

oder nach DIN EN 1264

$$\alpha_{DIN_FBH}^* = 8,92 |t - t_R|^{0,1} \text{ in W/(m}^2\text{K)}$$

– Deckenkühlung

$$\alpha_{DK}^* = 2,76 |t - t_R|^{0,31} + 6,12 \text{ in W/(m}^2\text{K)} \quad (6)$$

oder in Analogie zu DIN EN 1264

$$\alpha_{DIN_FBH}^* = 8,92 |t - t_R|^{0,1} \text{ in W/(m}^2\text{K)}$$

□ Horizontale Bauteile mit Wärmestrom nach unten

– Deckenheizung

$$\alpha_{DK}^* = 0,18 |t - t_R|^{0,31} + 6,12 \text{ in W/(m}^2\text{K)} \quad (7)$$

– Fußbodenkühlung

$$\alpha_{FBK}^* = 0,25 |t - t_R|^{0,31} + 6,12 \text{ in W/(m}^2\text{K)} \quad (8)$$

□ Vertikale Bauteile

– Wandheizung oder Wandkühlung der Innenwand

$$\alpha_{IW}^* = 1,6 |t - t_R|^{0,3} + 6,12 \text{ in W/(m}^2\text{K)} \quad (9)$$

– Wandheizung oder Wandkühlung der Außenwand

$$\alpha_{AW}^* = 1,6 |t - t_R|^{0,3} + 5,1 \text{ in W/(m}^2\text{K)} \quad (10)$$

□ Hinweise

Für $t - t_R = 0$ gilt $\alpha_{DIN_FBH}^* = 0$, während α^* nach Gl. (5) bis (10) stets Werte > 0 liefert. Physikalisch ist letzteres verständlich, da der Term für den Strahlungsaustausch α_s nicht von der Temperaturdifferenz abhängig ist. Der Wärmeübergangskoeffizient gemäß Gl. (4) wurde lediglich mathematisch aus der Basiskennlinie q_{DIN_FBH} bestimmt. Dieser Unterschied ist jedoch praktisch ohne Belang auf die Wärmestromdichte $\dot{q} = \alpha^* |t - t_R|$, wie der Kurvenvergleich im Bild 2 demonstriert.

Bezüglich der Wärmeübergangskoeffizienten an einer thermisch aktiven Fläche, die in der Innenwand Gl. (9) oder in der Außenwand Gl. (10) integriert ist, muss unterschieden werden, da die Strahlungstemperaturen bezogen auf die aktive Fläche unterschiedlich sind (Details siehe [1]).

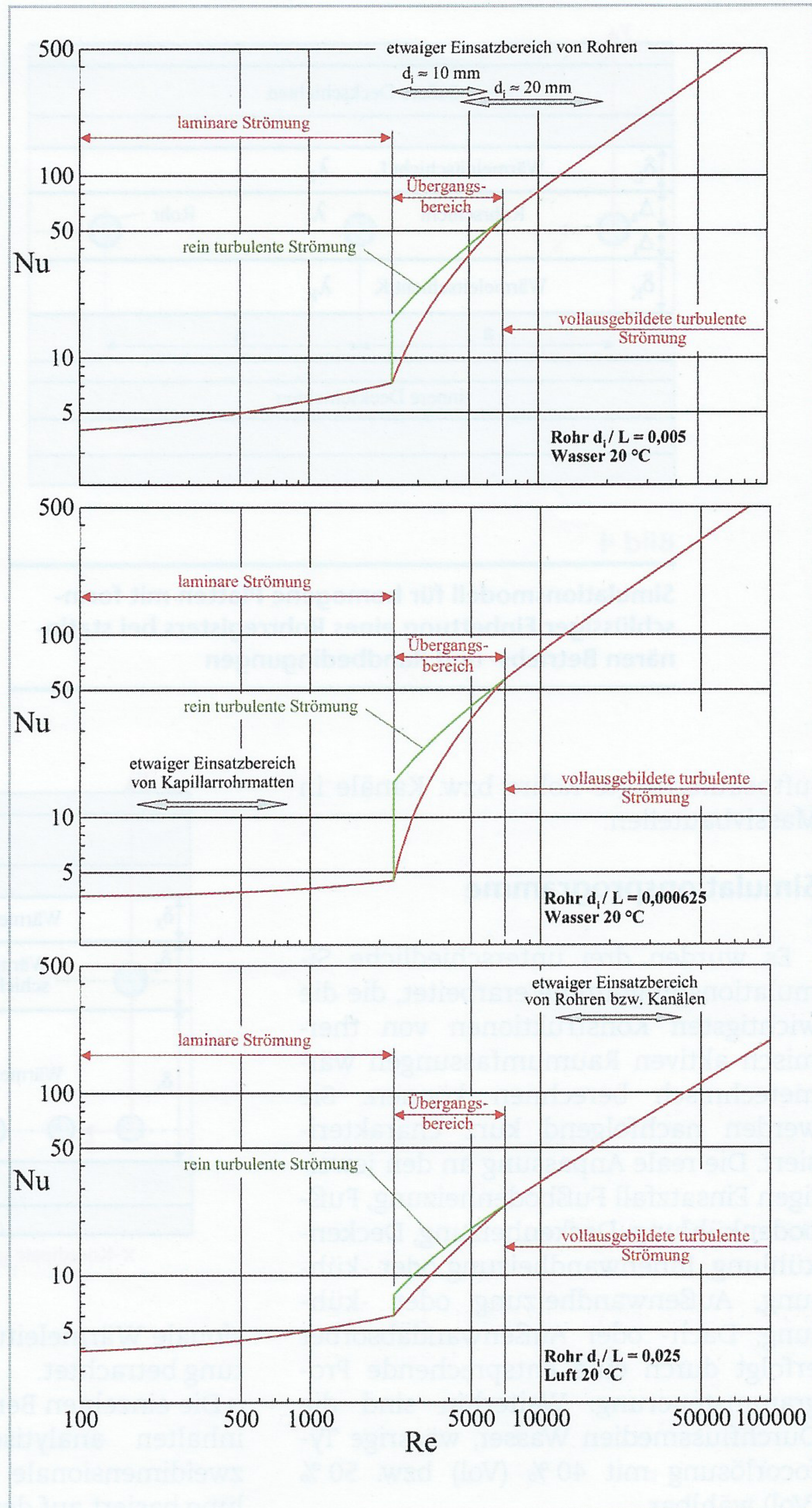


Bild 3

Gegenüberstellung der verwendeten Nußeltgleichungen im laminaren sowie turbulenten Gebiet und im Übergangsbereich in Abhängigkeit von Re und Andeutung möglicher Einsatzbereiche von Rohren bzw. Kanälen im Falle der thermischen Bauteilaktivierung

Wärmeübergangskoeffizienten in den medienführenden Rohren bzw. Kanälen

In Anlehnung der neuesten Veröffentlichungen in [3] werden die Wärmeübergangskoeffizienten in den Durchströmkanälen einheitlich berechnet und zwischen dem laminaren und turbulenten Bereich eine Übergangsfunktion kreiert. Dies dient einerseits der Beseitigung von numerischen Instabilitäten bei wärmetechnischen Berechnungen – beispielsweise Optimierungen – infolge wiederholter Sprünge zwischen $Nu_{laminar}$ und $Nu_{turbulent}$ im Übergangsbereich. Andererseits wird damit der Erkenntnis von Rotta Rechnung getragen, der im Übergangsbereich $Re > 2300$ alternierende Umschläge der Strömungsform feststellte. Bild 3 zeigt beispielhafte Auswertungen für konventionelle Rohrregister, Kunststoff-Kapillarrohmatten und für

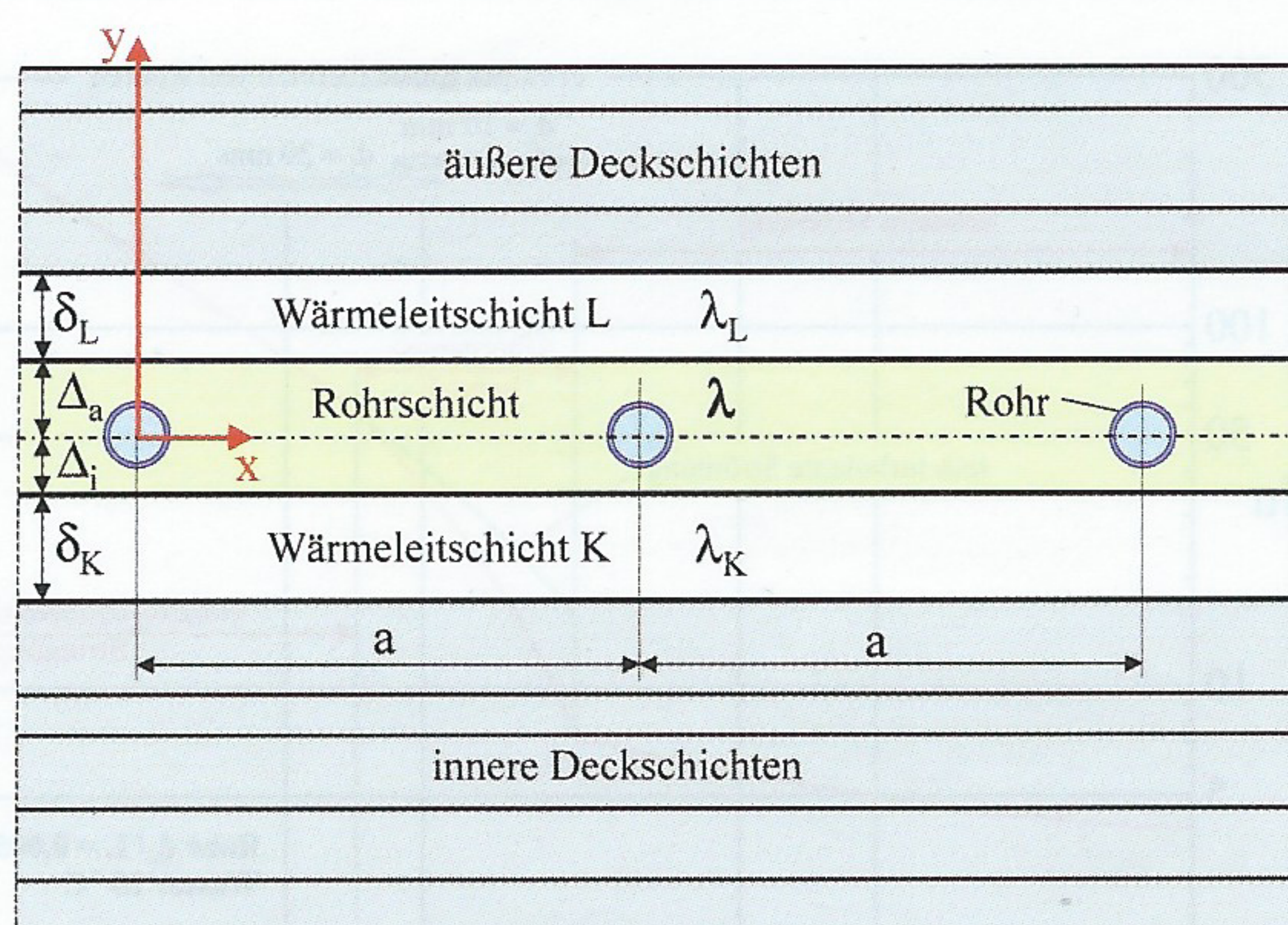


Bild 4

Simulationsmodell für homogene Platten mit formschlüssiger Einbettung eines Rohrregisters bei stationären Betriebs- und Randbedingungen

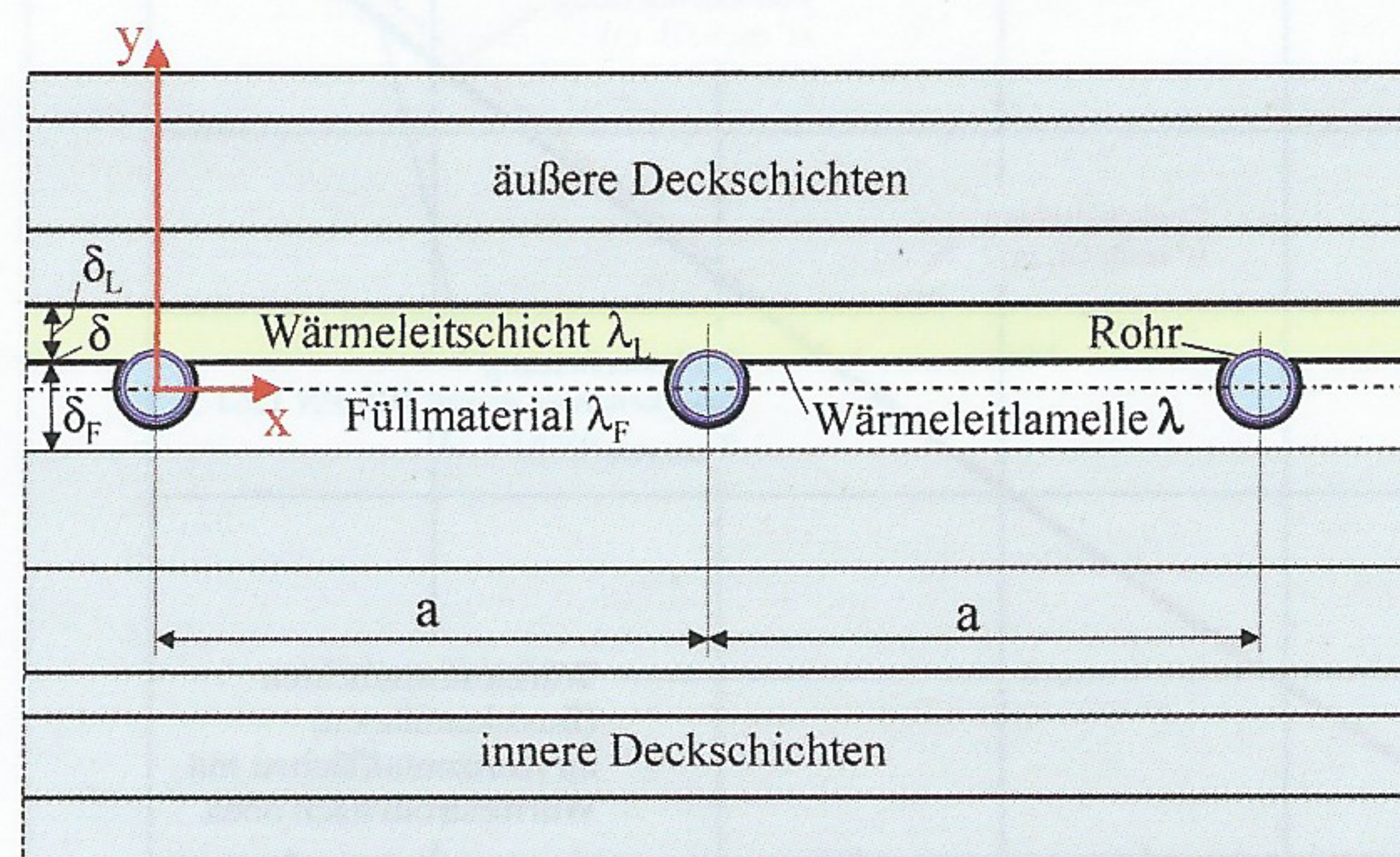


Bild 5

Simulationsmodell für heterogene Platten mit teilweiser formschlüssiger Ummantelung eines Rohrregisters bei stationären Betriebs- und Randbedingungen

luftbeaufschlagte Rohre bzw. Kanäle in Massivbauteilen.

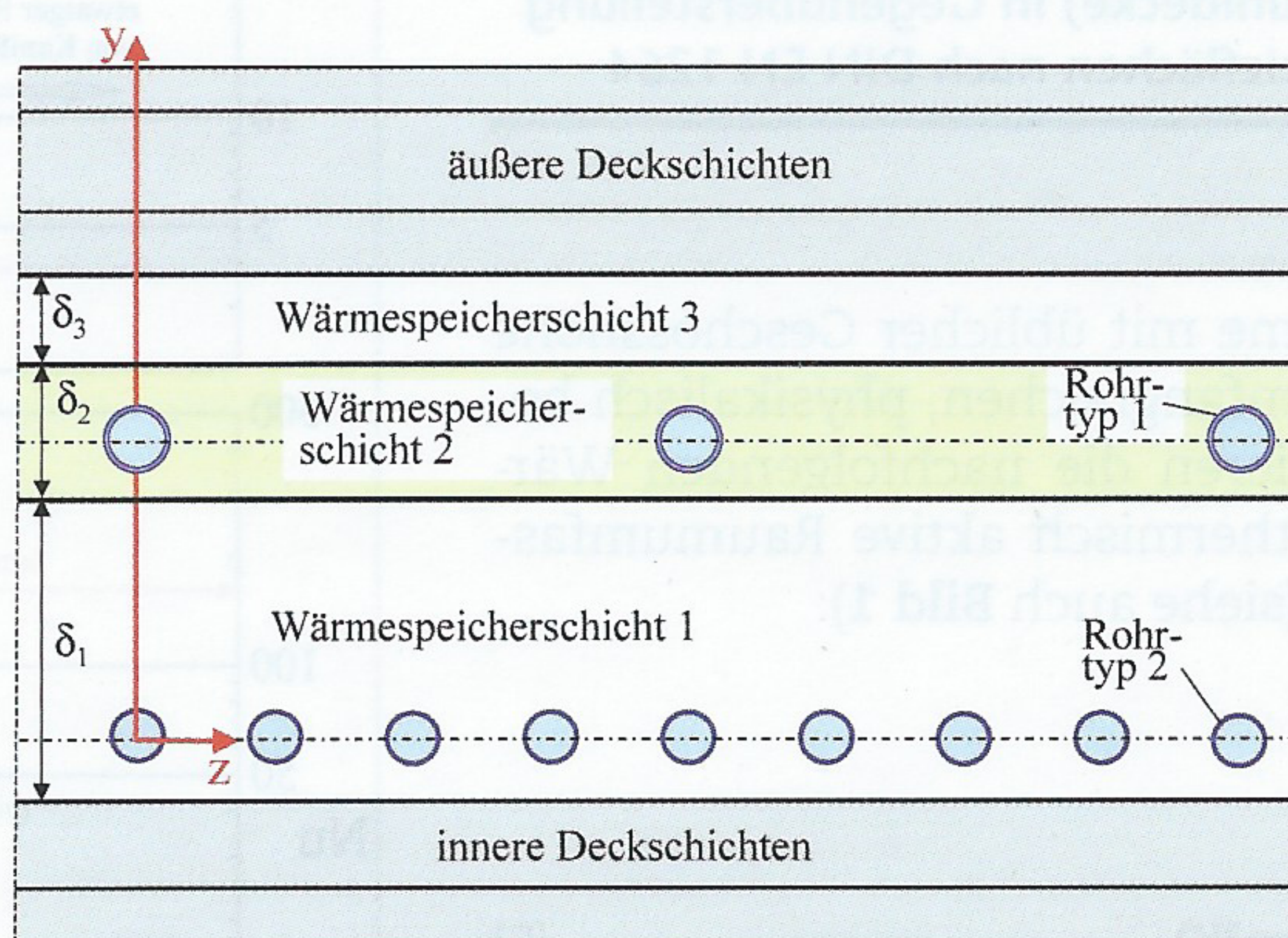
Simulationsprogramme

Es wurden drei unterschiedliche Simulationsprogramme erarbeitet, die die wichtigsten Konstruktionen von thermisch aktiven Raumumfassungen wärmetechnisch berechnen können. Sie werden nachfolgend kurz charakterisiert. Die reale Anpassung an den jeweiligen Einsatzfall Fußbodenheizung, Fußbodenkühlung, Deckenheizung, Deckenkühlung, Innenwandheizung oder -kühlung, Außenwandheizung oder -kühlung, Dach- oder Außenwandabsorber erfolgt durch eine entsprechende Programmsteuerung. Weiterhin sind die Durchflussmedien Wasser, wässrige Tyfocorlösung mit 40 % (Vol) bzw. 50 % (Vol) wählbar.

Die zugehörigen Rechenprogramme sind in Visual Basis.Net geschrieben, besitzen gut handhabbare Oberflächen und Ausgaben als MS Word-Dokumente sowie als Vektorgrafiken.

Algorithmus für homogene Platten mit integrierten Rohrregistern unter stationären Betriebs- und Randbedingungen (Bild 4)

- Es werden mehrlagige Platten mit jeweils unterschiedlichen wärmetechnischen Kennwerten in die Modellierung einbezogen.
- Jede Schicht hat in sich jedoch homogene Eigenschaften.
- In den Deckschichten erfolgt nur eine eindimensionale Wärmeleitung in y-Richtung. Die Wärmeleitwiderstände werden mit dem jeweiligen Wärmeübergangswiderstand (innen bzw. außen) zusammengefasst betrachtet.
- Die Rohrschicht ist stets vorhanden. Die zusätzlichen Wärmeleitschichten K und L können sich anschließen. In diesen drei Schichten wird eine zweidimen-



x-Koordinate geht in die Tafelebene hinein

Bild 6

Simulationsmodell für homogene, wärmespeichernde Platten mit formschlüssiger Einbettung mehrerer Rohr- bzw. Kanalregister bei instationären Betriebs- und Randbedingungen

sionale Wärmeleitung in x- und y-Richtung betrachtet.

- Die einzelnen Berechnungsschritte beinhalten analytische Lösungen. Die zweidimensionale Temperaturverteilung basiert auf der Lösung von Faxén.

Algorithmus für heterogene Platten mit integrierten Rohrregistern unter stationären Betriebs- und Randbedingungen (Bild 5)

- Wärmetechnisches Kernstück ist die Wärmeleitlamelle zusammen mit der Wärmeleitschicht, die eine eindimensionale Wärmeleitung zwischen den Rohren in x-Richtung bewirkt. Diese beiden Bauelemente haben die Funktion einer typischen Wärmeleitrippe.
- Von der „Rippe“ aus erfolgt wiederum eine eindimensionale Wärmeleitung jedoch in y-Richtung durch die Deckschichten. Auf der Innenseite gehört in der Regel das Füllmaterial dazu. Die Wärmeleitwiderstände dieser Schichten werden mit dem jeweiligen Wärmeübergangswiderstand (innen bzw. außen) zusammengefasst betrachtet.
- Die angenommene Trennung der Wärmestromorientierung in x- und y-Richtung setzt voraus, dass die Wärmeleitfähigkeit der „Rippe“ bedeutend größer ist als die des Füllmaterials und der

Deckschichten. Dies sollte zumindest für die unmittelbar an der „Rippe“ liegenden Schichten gelten. In praxi ist dies beispielsweise dadurch gegeben, dass das Füllmaterial eine Dämmplatte mit Einformungen für die Lamelle und das Rohr darstellt.

- Im Sonderfall, d.h. bei Füllmaterialien mit hoher Wärmeleitfähigkeit wird das Füllmaterial unter der Wärmeleitlamelle bei der Bildung einer Ersatzwärmeleitrippe mit einbezogen.
- Die Berechnung erfolgt schrittweise, wobei die Rippentheorie sowohl für die Lamelle zwischen den Rohren als auch im Rohranliegebereich Verwendung findet. Die Wärmeströme vom unmittelbaren Rohrbereich nach innen und außen werden gesondert betrachtet und zu denen des Zwischenrohrbereichs (Wärmeleitrippe) addiert.

Algorithmus für homogene, sensibel und eventuell auch latent wärmespeichernde Platten mit integrierten Rohrregistern unter instationären Betriebs- und Randbedingungen (Bild 6)

- Es werden mehrlagige Platten mit jeweils unterschiedlichen wärmetechnischen Kennwerten in die Modellierung einbezogen.

Hauptprogramm

Thermisch aktives Bauteil
Homogene Platte mit stationärem Betrieb

Autor: Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück (Version 1 2007)

Berechnung ist beendet! F:\SDAFE_WHZ\LowEx3\TAB\Beispiel1

Die Richtigkeit und die Plausibilität der Eingaben obliegt der Verantwortung des Nutzers. Es wird durch eine programmierte Prüfung nur auf einige grobe Eingabefehler hingewiesen.

Betriebsweise des Bauteils als:

☒ Fußbodenheizung im Raum a ☐ Deckenheizung im Raum i ☐ Wandheizung oder -kühlung im Raum i ☐ Umweltabsorber im "Raum a"

☐ Fußbodenkühlung im Raum a ☐ Deckenkühlung im Raum i ☐ Innenwand ☐ Außenwand

Raum a: $\alpha_a = 0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $t_a = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Raum i: $\alpha_i = 0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $t_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$

Durchflussmedium: Wasser ☒ Tyfoor L ☐ 40 % ☐ 50 %

Mittlere Fluidtemperatur $(t_{\text{Vorlauf}} + t_{\text{Rücklauf}}) / 2$: min. 40 $^\circ\text{C}$ max. 40 $^\circ\text{C}$

Durchflussgeschwindigkeit: 0,8 m/s

Schichtaufbau:

Lambda W/(m K)	Dicke mm	Bezeichnung
1	0	äußere Deckschicht 5
1	0	äußere Deckschicht 4
1	0	äußere Deckschicht 3
1	0	äußere Deckschicht 2
0,1	10	äußere Deckschicht 1
1,2	0	Wärmeleitschicht L
1,2	54	Delta a
1,2	14	Delta i
1,2	0	Wärmeleitschicht K
0,04	40	innere Deckschicht 1
2,1	200	innere Deckschicht 2
1	0	innere Deckschicht 3
1	0	innere Deckschicht 4
1	0	innere Deckschicht 5

Rohrdaten:

mm	W/(m K)	mm	mm	m	Bezeichnung
17					Außendurchmesser
2					Wanddicke
0,35					Wärmeleitfähigkeit
0					Dicke eines Luftspaltes
200					Rohrabstand
4					Registerlänge

Eingabehinweise:

Eine detaillierte Beschreibung der Eingabewerte ist der Anwenderinformation zu entnehmen!

Die gelb gekennzeichneten Eingabefelder sind unbedingt mit sinnvollen Daten zu füllen!

Werden Alpha_a und Alpha_i vorgegeben (> 0), dann gelten diese verbindlich, ansonsten erfolgt eine interne Berechnung gemäß Basisdaten nach Abschnitt 2.1.4. Bei Betriebsweise "Umweltabsorber" ist Alpha_a unbedingt - passend zu t_a - anzugeben!

t_a und t_i sind Raumtemperaturen oder Außentemperaturen. Bei der Betriebsweise "Umweltabsorber" ist die Sonnenlufttemperatur nach Abschnitt 2.5.1 einzugeben.

Ist die maximale Vorlauftemperatur "Blank" (auch kein Leerzeichen), so erfolgt nur die Berechnung für die minimale Fluidtemperatur. Ansonsten wird eine Tabelle erzeugt.

Nicht vorhandene Deckschichten haben die Dicke = 0 und Lambda = 1.

Nicht vorhandene Wärmeleitschichten haben die Dicke = 0 und Lambda = Lambda der Rohrschicht!

Die Dicke des Luftspaltes sollte möglichst 0 sein.

Ablauf:

1. STARTEN drücken und Pfad bestätigen bzw. neu eingeben!
2. Daten aus Datei laden oder Neueingabe vornehmen!
3. Bei Eingabe oder Korrektur der Werte bitte nur Zahlen, Komma, Minuszeichen oder "Blank" verwenden!
4. DATENSPEICHERUNG drücken!
5. BERECHNUNG, DRUCK oder DIAGRAMM drücken!
6. Die Ergebnisse der letzten Berechnung (höchste Fluidtemperatur) sind nebenstehend eingefügt.
7. Die Leistungstabelle ist über DRUCK und die Kennlinie über DIAGRAMM erreichbar.

Ergebnisse: Temperaturen in $^\circ\text{C}$

Oberfläche Raum a			
Mittelwert	25,7	Extremwerte	26,2 25,3
Oberfläche Raum i			
Mittelwert	21,8	Extremwerte	22,3 21,6
Rohrregisterebene		Fluidtemperatur	
Mittelwert	34,5	Rohrwandtemperatur	39,2

Ergebnisse: Leistungen in W/m^2

Wärmeströme		Summe
Raum a	60,8	72,3
Raum i	11,5	

Wärmeübergangskoeffizienten in $\text{W/(m}^2\text{K)}$

Alpha	
Alpha _a	10,6
Alpha _i	6,3
Alpha Rohr	4919,6

STARTEN DATEI LADEN DATENSPEICHERUNG BERECHNUNG DRUCK DIAGRAMM BEENDEN

Bild 7

Oberfläche für das Simulationsprogramm „Homogene Platte mit stationärem Betrieb“ gemäß Bild 4 mit eingetragenen Beispiel für eine konventionelle Fußbodenheizung

Hauptprogramm

Thermisch aktives Bauteil
Homogene Platte mit stationärem Betrieb

Autor: Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück (Version 1 2007)

Berechnung ist beendet! F:\SDAFE_WHZ\LowEx3\TAB\Beispiel3

Die Richtigkeit und die Plausibilität der Eingaben obliegt der Verantwortung des Nutzers. Es wird durch eine programmierte Prüfung nur auf einige grobe Eingabefehler hingewiesen.

Betriebsweise des Bauteils als:

☒ Fußbodenheizung im Raum a ☐ Deckenheizung im Raum i ☐ Wandheizung oder -kühlung im Raum i ☐ Umweltabsorber im "Raum a"

☐ Fußbodenkühlung im Raum a ☐ Deckenkühlung im Raum i ☐ Innenwand ☐ Außenwand

Raum a: $\alpha_a = 10000 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $t_a = 26 \text{ }^\circ\text{C}$

Raum i: $\alpha_i = 0 \text{ W/(m}^2\text{K)}$ $t_i = 26 \text{ }^\circ\text{C}$

Durchflussmedium: Wasser ☒ Tyfoor L ☐ 40 % ☐ 50 %

Mittlere Fluidtemperatur $(t_{\text{Vorlauf}} + t_{\text{Rücklauf}}) / 2$: min. 18 $^\circ\text{C}$ max. 18 $^\circ\text{C}$

Durchflussgeschwindigkeit: 0,22 m/s

Schichtaufbau:

Lambda W/(m K)	Dicke mm	Bezeichnung
1	0	äußere Deckschicht 5
1	0	äußere Deckschicht 4
1	0	äußere Deckschicht 3
0,04	100	äußere Deckschicht 2
1	170	äußere Deckschicht 1
0,32	12,5	Wärmeleitschicht L
0,35	2,8	Delta a
0,35	10,7	Delta i
0,35	0	Wärmeleitschicht K
1	0	innere Deckschicht 1
1	0	innere Deckschicht 2
1	0	innere Deckschicht 3
1	0	innere Deckschicht 4
1	0	innere Deckschicht 5

Rohrdaten:

mm	W/(m K)	mm	mm	m	Bezeichnung
3,4					Außendurchmesser
0,55					Wanddicke
0,21					Wärmeleitfähigkeit
0					Dicke eines Luftspaltes
15					Rohrabstand
3,5					Registerlänge

Eingabehinweise:

Eine detaillierte Beschreibung der Eingabewerte ist der Anwenderinformation zu entnehmen!

Die gelb gekennzeichneten Eingabefelder sind unbedingt mit sinnvollen Daten zu füllen!

Werden Alpha_a und Alpha_i vorgegeben (> 0), dann gelten diese verbindlich, ansonsten erfolgt eine interne Berechnung gemäß Basisdaten nach Abschnitt 2.1.4. Bei Betriebsweise "Umweltabsorber" ist Alpha_a unbedingt - passend zu t_a - anzugeben!

t_a und t_i sind Raumtemperaturen oder Außentemperaturen. Bei der Betriebsweise "Umweltabsorber" ist die Sonnenlufttemperatur nach Abschnitt 2.5.1 einzugeben.

Ist die maximale Vorlauftemperatur "Blank" (auch kein Leerzeichen), so erfolgt nur die Berechnung für die minimale Fluidtemperatur. Ansonsten wird eine Tabelle erzeugt.

Nicht vorhandene Deckschichten haben die Dicke = 0 und Lambda = 1.

Nicht vorhandene Wärmeleitschichten haben die Dicke = 0 und Lambda = Lambda der Rohrschicht!

Die Dicke des Luftspaltes sollte möglichst 0 sein.

Ablauf:

1. STARTEN drücken und Pfad bestätigen bzw. neu eingeben!
2. Daten aus Datei laden oder Neueingabe vornehmen!
3. Bei Eingabe oder Korrektur der Werte bitte nur Zahlen, Komma, Minuszeichen oder "Blank" verwenden!
4. DATENSPEICHERUNG drücken!
5. BERECHNUNG, DRUCK oder DIAGRAMM drücken!
6. Die Ergebnisse der letzten Berechnung (höchste Fluidtemperatur) sind nebenstehend eingefügt.
7. Die Leistungstabelle ist über DRUCK und die Kennlinie über DIAGRAMM erreichbar.

Ergebnisse: Temperaturen in $^\circ\text{C}$

Oberfläche Raum a			
Mittelwert	26	Extremwerte	26 26
Oberfläche Raum i			
Mittelwert	19	Extremwerte	19 19
Rohrregisterebene		Fluidtemperatur	
Mittelwert	16,7	Rohrwandtemperatur	18,5

Ergebnisse: Leistungen in W/m^2

Wärmeströme		Summe
Raum a	-3,4	-79,1
Raum i	-75,7	

Wärmeübergangskoeffizienten in $\text{W/(m}^2\text{K)}$

Alpha	
Alpha _a	10000
Alpha _i	10,8
Alpha Rohr	999,7

STARTEN DATEI LADEN DATENSPEICHERUNG BERECHNUNG DRUCK DIAGRAMM BEENDEN

Bild 8

Oberfläche für das Simulationsprogramm „Homogene Platte mit stationärem Betrieb“ mit eingetragenen Beispiel für eine Putzkühldecke mit Kapillarrohrmatte nach Bild 9

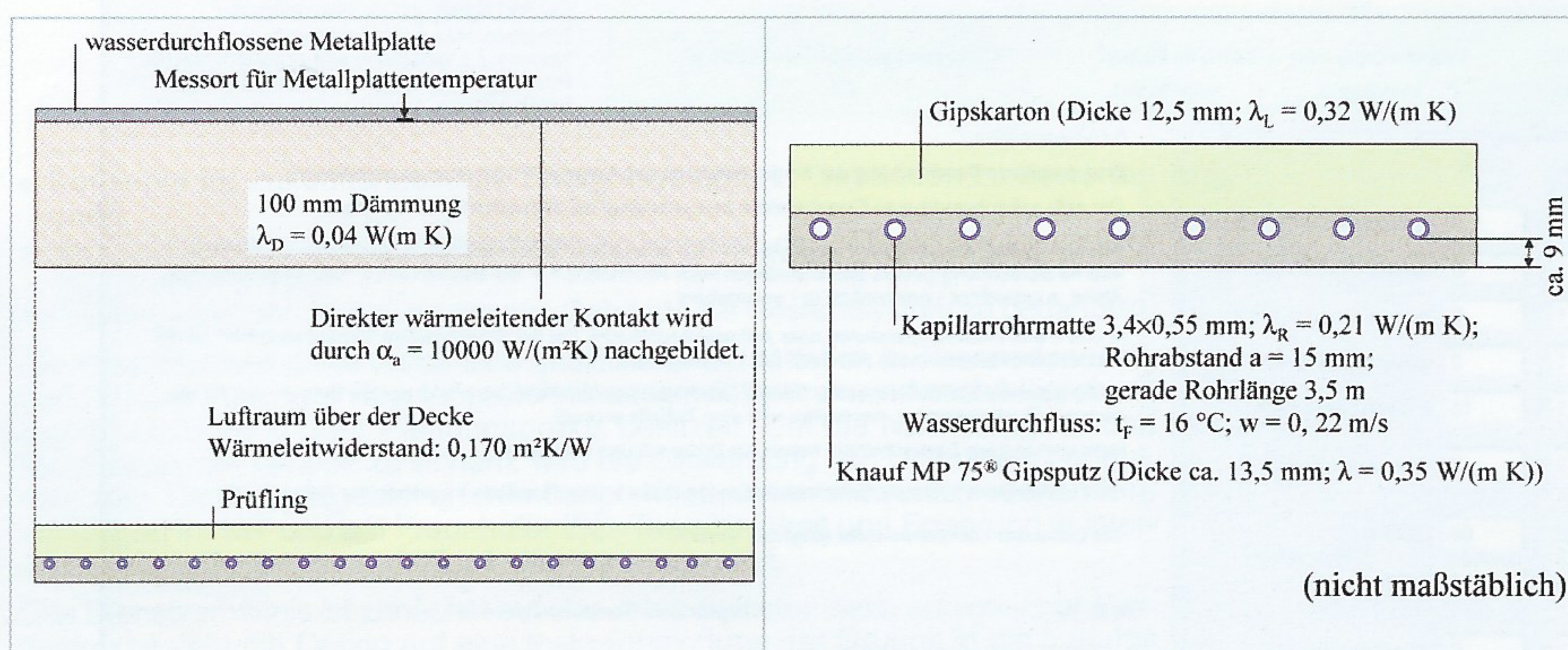


Bild 9

Aufbau der im Bild 8 simulierten, untergehängten Kühldecke und ihre Anordnung im Prüfraum

links: Kühldeckenprüfling und Prüfraumdecke mit wasserdurchflossenen Metallplatten zur Sicherung definierter Prüfbedingungen

rechts: Putzkühldecke als spezieller Prüfling mit geometrischer und wärmetechnischer Detaillierung

- Jede Schicht hat in sich jedoch homogene Eigenschaften.
- Es sind mehrere Rohr- bzw. Kanalregister, deren Achsen in x-Richtung verlaufen, integrierbar.
- Die Wärmespeicherschichten können die Wärme sensibel und latent speichern. PCMs werden in die Modellierung ausdrücklich eingeschlossen. Dabei sind Phasenwechsel sowohl bei einer festen Phasenwandeltemperatur als auch in einem Phasenwandelbereich möglich. Tritt beim Phasenwechsel eine Hysterese auf, so findet diese näherungsweise Beachtung.

- In den Deckschichten erfolgt nur eine eindimensionale Wärmeleitung in y- Richtung. Die Wärmeleitwiderstände werden mit dem jeweiligen Wärmeübergangswiderstand (innen bzw. außen) zusammengefasst betrachtet.
- In den drei Wärmespeicherschichten wird eine dreidimensionale Wärmeleitung in x-, y- und z-Richtung untersucht. Somit kann auch die Temperaturänderung der Fluide in den Rohren bzw. Kanälen in Strömungsrichtung verfolgt werden.
- Die Fluideintrittstemperaturen und die thermischen Randbedingungen sind als Zeitfunktionen formulierbar.
- Es kommt ein numerisches Lösungsverfahren, das auf der Finite-Volumen-Methode beruht, zum Einsatz.
- Grundsätzlich könnten auch Konstruktionen nach Bild 4 mit dem instationären Lösungsverfahren bearbeitet werden.

Fazit

Mit den vorgestellten Ausarbeitungen, Algorithmen und Rechenprogrammen dürften alle in den oben genannten Normen beabsichtigten Simulationen unter Wahren eines einheitlichen Duktus möglich sein, wobei auch Latentspeichermaterialien einbezogen sind.

Bild 7 zeigt beispielhaft die Berechnung einer konventionellen Fußbodenheizung (Nassverlegesystem). Die Abweichung zur Norm beträgt hier 0,7 %. Im **Bild 8** ist die Normprüfung einer Kühldecke mit Kapillarrohrmatte nach DIN 4715 (bzw. DIN EN 14240) simuliert. Die Normkühlleistung weicht um 1,5 % vom Prüfergebnis ab, wobei die DIN EN 14240 eine maximale Messunsicherheit von 4 % angibt.

Die vorgestellten Simulationsprogramme lassen auch die Berechnung innovativer Systeme mit Kunststoff-Kapillarrohrmatten zu. Sie werden trotz der großen Verbreitung bisher von der DIN EN 1264 ausgeschlossen (Rohrdurchmesser ≥ 10 mm; Teilung ≥ 50 mm usw.).

Literatur

- [1] Glück, B.: *Dynamisches Raummodell zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Bewertung. Bericht der RUD. OTTO MEYER – Umwelt – Stiftung, Hamburg 2004 bis 2006.* http://www.rom-umwelt-stiftung.de/arb_bisher/pdf/Glueck_Kurzbericht01.pdf
- [2] Glück, B.: *Wärmeübergangskoeffizienten an thermisch aktiven Bauteiloberflächen und der Übergang zu Basiskennlinien für die Wärmestromdichte. Gesundheits-Ingenieur 128 (2007) H. 1, S. 1-10.*
- [3] VDI-Wärmeatlas, 2. bis 9. Auflage. Düsseldorf: VDI-Verlag 1994 bis 2002.