

Wassertemperaturen und Aufheizzeiten von Fußbodenheizungen mit Estrichverlegung

Bernd Glück, Jößnitz

Die erforderliche mittlere Heizwassertemperatur und die Dynamik unterschiedlicher Fußbodenheizflächen, die im Nassverlegesystem erstellt sind, sollen verglichen werden. Dies ist natürlich nicht allgemein gültig, sondern nur an konkreten Beispielen möglich. Klassische, sehr gut bewährte Konstruktionen werden modernen Lösungen, die zwar erprobt sind, aber deren Marktanteil noch sehr gering ist, gegenübergestellt.

Autor



Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück, Jahrgang 1942, war an der TU Dresden, in der Anlagenplanung, im Industriemuseum TGA und im Zentralbereich Ingenieurtechnik bei ROM in leitender Funktion auf dem Gebiet der Heizungs- und Lüftungstechnik tätig. Jetzt betreibt er ein Forschungs- und Entwicklungsbüro für Technische Gebäudeausrüstung. Gleichzeitig ist er als Honorarprofessor an der Westsächsischen Hochschule Zwickau (FH) tätig. Er ist bisher mit über 170 Buch- und Zeitschriftenveröffentlichungen hervorgetreten.

Es ist dabei nicht möglich, aber auch nicht sinnvoll, alle denkbaren Konstruktionen detailliert zu untersuchen. Als charakteristische Merkmale gelten die Formen der Rohrregister, die Estrichdicken sowie die Arten der Fußbodenbeläge.

Modelle

Rohrregister

Die markantesten Unterschiede bestehen in der Form der Rohrregister.

□ Für die klassische Bauart wird aus der Vielzahl der Varianten ein vernetztes PE-Rohr mit den Abmessungen 17 mm x 2 mm und einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R = 0,35 \text{ W/(m K)}$ ausgewählt. Die Rohr-abstände betragen $l = 150 \text{ mm}$ und $l = 300 \text{ mm}$.

□ Grundlage für die neuzeitlichen Konstruktionen bildet eine spezielle Kunststoff-Kapillarrohrmatte der Fa. Clina aus PP mit den Abmessungen 4,3 mm x 0,9 mm und einer Wärmeleitfähigkeit $\lambda_R = 0,21 \text{ W/(m K)}$. Die Röhrchenabstände betragen $l = 20 \text{ mm}$ und $l = 30 \text{ mm}$. Sie ist auch unter dem Namen „Betonmatte“ eingeführt, da diese eine höhere Festigkeit und größere Röhrchenabstände aufweist, als die übliche, bewährte Matte für den Kühldeckenbau. Sie ist somit für den Einsatz im Beton prädestiniert.

Estrich

Für schwimmende Estriche und Heizestriche gelten die Anforderungen nach DIN 18560 Teil 2. Eine Bewehrung des Estrichs ist generell nicht notwendig, denn sie kann das Entstehen von Rissen nicht verhindern. Die Anordnung einer Bewehrung kann jedoch bei Belägen aus Stein oder Keramik zweckmäßig sein, da bei Rissanten ein Höhenversatz vermieden wird. Bei Anhydritestrichen ist die Bewehrung gegen Korrosion zu

schützen. Im Bereich von Bewegungsfugen ist die Bewehrung zu unterbrechen. Bewegungsfugen sind bei Flächen $> 40 \text{ m}^2$ oder bei Seitenlängen $> 8 \text{ m}$ erforderlich.

□ Bei den klassischen Varianten werden meistens die Bauarten A1 und A2 eingesetzt. Bei den weiteren Betrachtungen bildet die Bauart A2 die Grundlage. Für die Estrichnenndicke gilt $d_E = d_{R,\text{außen}} + 50 \text{ mm}$. Die Estrichschicht unter dem Rohr darf 5 bis 15 mm betragen. Gewählt wird bei den weiteren Untersuchungen eine Estrichnenndicke von 67 mm.

□ Bei den neuen Konstruktionen soll die Bauart A3, in Sonderfällen A1 Anwendung finden. Gegenüber den bisherigen Einsatzbedingungen sind jedoch nachfolgende Änderungen kennzeichnend:

- Die Heizwassertemperatur liegt unter 40°C . Die allgemein gültige Obergrenze bei Heizestrichen liegt bei 60°C .
- Die im Estrich eingelegten Kapillarrohrmatten – kombiniert mit einer dünnen Bewehrungsmatte – sind durch eine besondere Technologie der Lagearretierung (Fa. Clina) während der Estricheinbringung nach unten beweglich. Die nach DIN 18560 Teil 2 aus fertigungstechnischen Gründen geforderte Überdeckungshöhe des Estrichs über den Heizelementen von mindestens 25 mm bzw. etwa dem Dreifachen des Größtkorns des Zuschlages ist in dem besonderen Fall zu überdenken.

Nach DIN 18560 Teil 2 sind Abweichungen der Estrichnenndicke bei den Bauarten A1 und A3 auf $d_E = d_{R,\text{außen}} + 30 \text{ mm}$ zulässig, wenn durch eine Eignungsprüfung nachgewiesen wird, dass die Tragfähigkeit und bei Einsatz von Stein- bzw. Keramikbelägen auch die Durchbiegung einem Zementestrich der Festigkeitsklasse ZE 20 mit einer Dicke von 45 mm entspricht. Bei einem Röhrchen-Außendurchmesser von 4,3 mm könnten somit Estrichdicken von 35 mm realisiert werden. Bei den nachfolgen-

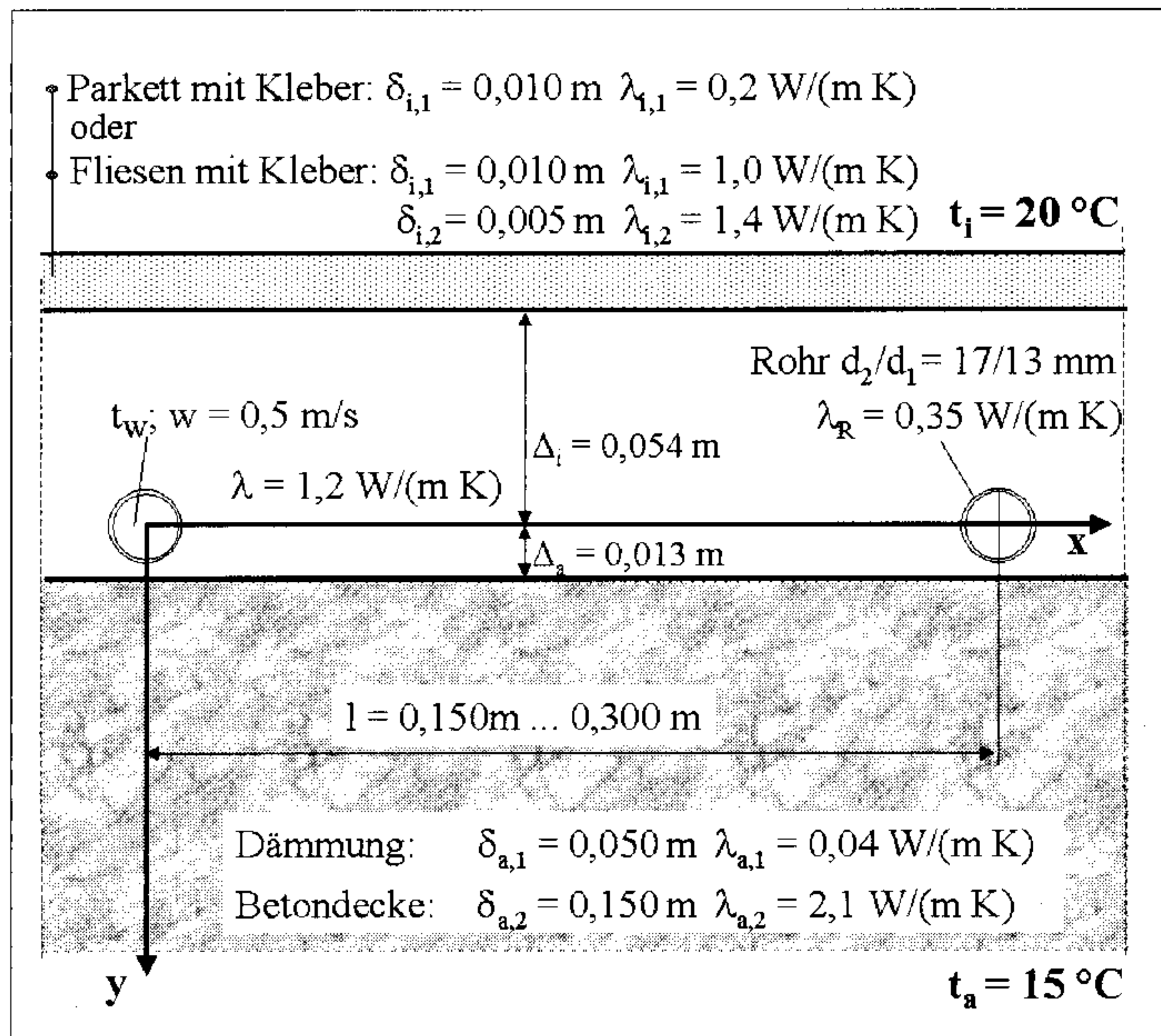


Bild 1

Konventionelle Fußbodenheizung mit einem Rohrregister (Rohr 17x2 mm, Abstand 150 mm und 300 mm) und geklebtem Parkettbelag oder geklebtem Fliesenbelag

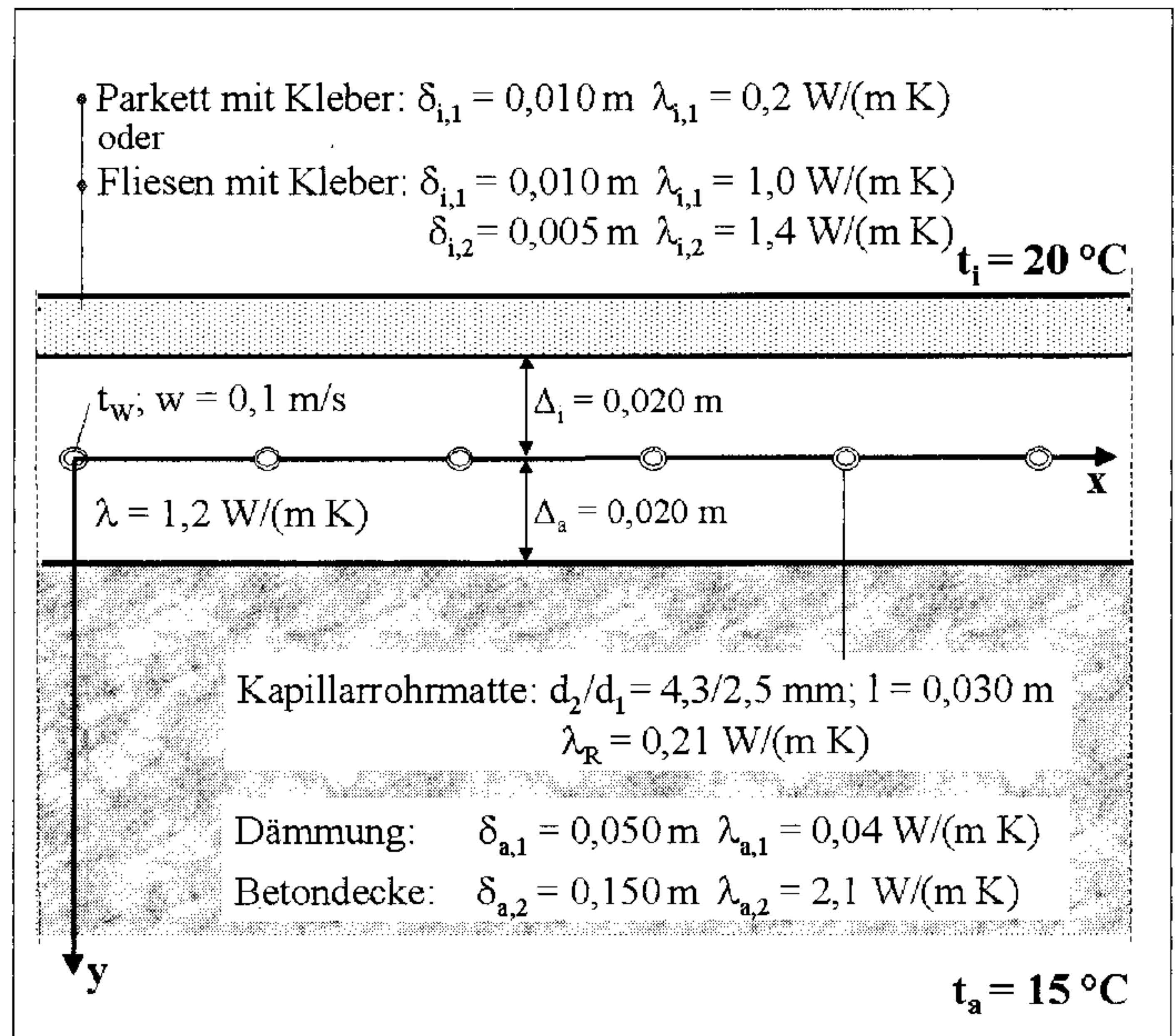


Bild 2

Neuzeitliche Fußbodenheizung mit einer Kapillarrohrmatte (Rohr 4,3x0,9 mm, Abstand 20 mm und 30 mm) und geklebtem Parkettbelag oder geklebtem Fliesenbelag

den Berechnungen wird eine Estrichdicke von 40 mm zugrunde gelegt.

Für alle Heizestriche wird gemäß DIN 4725 Teil 2 eine Wärmeleitfähigkeit $\lambda_E = 1,2 \text{ W/(m K)}$ angenommen.

□ Um das Entwicklungspotential von Fußbodenheizungen mit Kunststoff-Kapillarrohrmatten im Nassverlegesystem abschätzen zu können, wird als Vergleichsvariante eine Einbettung der Kapillarrohrmatten in einer Kleberschicht von 10 mm Dicke (Wärmeleitfähigkeit $\lambda_K = 1,2 \text{ W/(m K)}$) betrachtet. Diese Schicht liegt auf einem Trockenestrich der Dicke 25 mm (Wärmeleitfähigkeit $\lambda_{TE} = 0,21 \text{ W/(m K)}$).

Fußbodenbelag

Um gleiche Bedingungen zu haben, seien die Fußbodenheizflächen jeweils mit Parkett (Parkett und Kleber als homogene Schicht: $\delta_p = 10 \text{ mm}$; $\lambda_p = 0,2 \text{ W/(m K)}$) sowie mit einem Fliesenbelag (Fliesen: $\delta_F = 10 \text{ mm}$; $\lambda_F = 1,0 \text{ W/(m K)}$; Kleber: $\delta_K = 5 \text{ mm}$; $\lambda_K = 1,4 \text{ W/(m K)}$) betrachtet.

Deckenaufbau

Die Deckenaufbauten sind selbstverständlich für alle Varianten einheitlich gewählt worden. Sie bestehen aus: Wärmedämmung $\delta_{Da} = 50 \text{ mm}$; $\lambda_{Da} = 0,04 \text{ W/(m K)}$; Deckenkonstruktion $\delta_{De} = 150 \text{ mm}$; $\lambda_{De} = 2,1 \text{ W/(m K)}$.

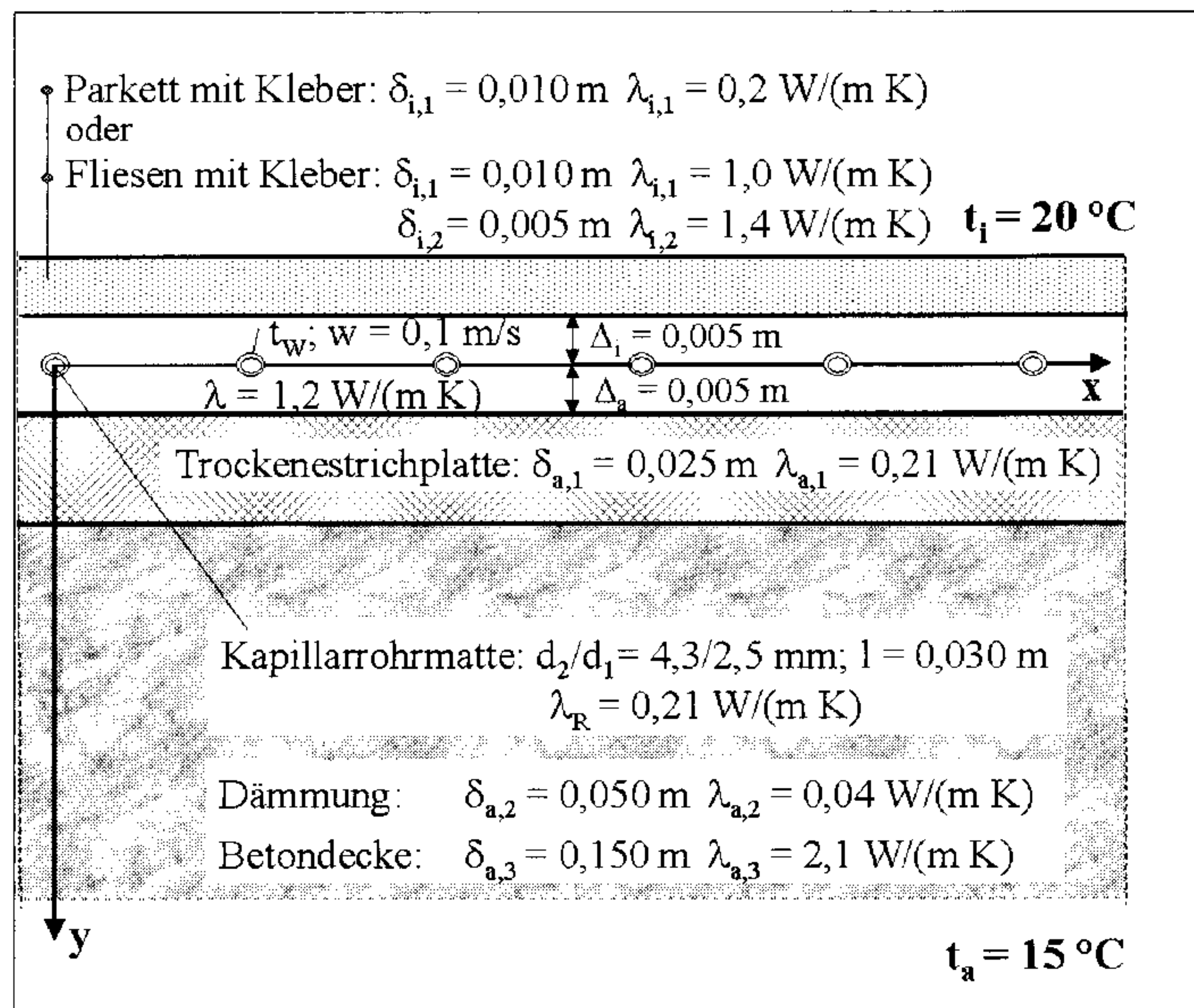


Bild 3

Sonderlösung einer Fußbodenheizung mit einer Kapillarrohrmatte (Rohr 4,3x0,9 mm, Abstand 20 mm und 30 mm) in einer Kleberschicht auf einer Trockenestrichplatte und geklebtem Parkettbelag oder geklebtem Fliesenbelag

Untersuchte Konstruktionen

In den **Bildern 1 bis 3** sind die konstruktiven Fußboden- und Deckenaufbauten dargestellt und die wärmetech-nischen Größen der verwendeten

Schichten, die zur stationären Berechnung benötigt werden, vermerkt.

Ergänzend zur Darstellung im Bild 2 wird die Lage der Kunststoff-Kapillarrohrmatten bei konstanter Estrichdicke von 40 mm variiert. Es gelten:

	l = 20 mm	l = 30 mm
$\Delta_a = 5 \text{ mm}$; $\Delta_i = 35 \text{ mm}$	Variante 1	Variante 5!
$\Delta_a = 10 \text{ mm}$; $\Delta_i = 30 \text{ mm}$	Variante 2	Variante 6
$\Delta_a = 20 \text{ mm}$; $\Delta_i = 20 \text{ mm}$	Variante 3	Variante 7!
$\Delta_a = 30 \text{ mm}$; $\Delta_i = 10 \text{ mm}$	Variante 4!	Variante 8

Die Variante 5 stellt voraussichtlich die wärmetechnisch schlechteste Variante bezüglich der erforderlichen Heizmedientemperatur und der Aufheizzeit dar, da die Kapillarrohrmatte tief im Estrich liegt und der Röhrenabstand groß ist. Wegen der umgekehrten Verhältnisse wird Variante 4 die günstigsten wärmetechnischen Werte ergeben. Die angestrebte technologische Lösung verkörpert Variante 7.

Stationäre Leistungsberechnung

Die zweidimensionale, stationäre Wärmeleitung in homogenen Bauteilen mit integrierten Rohrregistern wird nach dem in [1] vorgestellten Verfahren und Rechenprogramm untersucht. Dabei ist eine mehrschichtige, zweidimensionale Betrachtung zugelassen, vereinfachend wird aber in allen Varianten nur die rohrführende Schicht zweidimensional betrachtet. Alle anderen Schichten unterhalb und oberhalb der rohrführenden Schicht leisten somit rechnerisch keinen Anteil am horizontalen Wärmetransport. Dies ist eine gute Näherung, wenn die Wärmeleitfähigkeiten der angrenzenden Schichten klein gegenüber der rohrführenden Schicht ist. Dies ist bei einer Dämmschicht, einem Trockenestrich und bei einem Parkettbelag zutreffend. Es ist eine weniger gute Näherung bei Vorhandensein eines Fliesenbe-

lages. Die konventionellen Verlegevarianten sind aufgrund der großen Rohrabstände dabei am meisten benachteiligt. Eine Berechnung mit realen Größen zeigte jedoch die Kleinheit des Fehlers. Bei $l = 300$ mm ergab sich beim verwendeten Berechnungsmodell bei einer Raumtemperatur von 20°C und einer gewünschten Heizleistung von 50 W/m^2 eine erforderliche, mittlere Heizwassertemperatur von $36,2^\circ\text{C}$. Beim Einbeziehen des Fliesenbelages und des Klebers (Gesamtdicke 15 mm) in die homogene Rohrschicht der Dicke 82 mm mit der Wärmeleitfähigkeit des Estrichs ergab die Rechnung eine erforderliche Wassertemperatur von $36,0^\circ\text{C}$. Dies ist in Anbetracht der Unwägbarkeiten der übrigen Annahmen eine vernachlässigbar kleine Abweichung. Luftspalte um die Rohre werden nicht angenommen.

Spezielle Untersuchungen

Die vergleichenden Berechnungen werden für eine raumseitige Heizleistung $\dot{q}_i = 50 \pm 0,04\text{ W/m}^2$ bei $t_i = 20^\circ\text{C}$ vor-

genommen (Iterationen der mittleren Wassertemperatur).

Die Kenntnis der erforderlichen Wassertemperatur ist von grundlegendem Interesse, um zu erkennen von welcher Qualität Niedertemperaturwärmequellen sein müssen. Es kann damit eine exergetische Bewertung der Systeme erfolgen. Die Größe der mittleren Wassertemperatur ist auch erforderlich, um anschließend das Aufheizverhalten untersuchen zu können.

Nach DIN 4725, Teil 2 ist die maximale Oberflächentemperatur auf 29°C begrenzt. Sie tritt normalerweise senkrecht über dem Rohrscheitel auf. Für die einzelnen Varianten werden die minimalen und maximalen Oberflächentemperaturen bei 50 W/m^2 berechnet.

Ergebnisse der stationären Berechnung und Schlussfolgerungen

Tabelle 1 zeigt die Ergebnisse in zusammengefasster Form. Die quantitativen Ergebnisse sind in der gleichen Weise eingetret, wie sie nach Abschnitt 1 vermutet wurden.

Die mittleren Heizwassertemperaturen liegen bei den neuzeitlichen Fußbodenheizungen mit der beabsichtigten Konstruktion – mittige Lage der Kapillarrohrmatten im Estrich und Abstand der Röhren 30 mm (Variante 7) – gegenüber der konventionellen Konstruktion mit 300 mm Rohrabstand um ca. 9 K niedriger.

Die Temperaturwelligkeit reduziert sich von ca. 3 K bei der konventionellen Konstruktion mit 300 mm Rohrabstand bei Einsatz von Kapillarrohrmatten auf 0 K .

Die mögliche Absenkung der mittleren Heizwassertemperatur innerhalb der Variantenreihe der Kapillarrohrmatten beträgt:

⇒ bei verringerter Verlegetiefe (10 mm statt 20 mm) ca. $0,4\text{ K}$

⇒ bei kleinerem Rohrabstand (20 mm statt 30 mm) ca. $0,4\text{ K}$

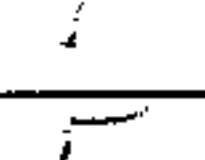
⇒ bei Ausschöpfung des Entwicklungspotentials (Trockenestrich) ca. $0,6\text{ K}$.

Beim beabsichtigten Modell – mittige Lage der Kapillarrohrmatten im Estrich und Abstand der Röhren 30 mm (Variante 7) – wäre gegenüber der Trockenestrichvariante mit 20 mm Röhrenabstand nur noch ein Entwicklungspotential von 1 K gegeben.

Die angestrebte Variante 7 stellt somit eine sehr gute Lösung dar!

Tabelle 1

Ergebnisse der stationären Berechnung für die Heizleistung $\dot{q}_i = 50\text{ W/m}^2$ und die Raumtemperatur $t_i = 20^\circ\text{C}$

Konstruktion	Rohrabstand (Rohrtiefe) mm	Belag	Oberflächentemperatur min. °C max		mittlere Wasser- temperatur °C
Konventionelle Fußbodenheizung					
Bild 1	150 (54)	Parkett	24,6	25,0	32,4
	300 (54)		23,7	26,3	38,3
	150 (54)	Fliesen	24,6	25,0	30,5
	300 (54)		23,5	26,6	36,2
Neuzeitliche Fußbodenheizung					
Bild 2	Var. 1	Parkett	24,8	24,8	29,5
	Var. 5!		24,8	24,8	29,9!
	Var. 2		24,8	24,8	29,2
	Var. 6		24,8	24,8	29,7
	Var. 3		24,8	24,8	28,8
	Var. 7		24,8	24,8	29,3!
	Var. 4!		24,8	24,8	28,4!
	Var. 8		24,8	24,8	28,8
	Var. 1	Fliesen	24,8	24,8	27,6
	Var. 5!		24,8	24,8	28,1!
	Var. 2		24,8	24,8	27,4
	Var. 6		24,8	24,8	27,9
	Var. 3		24,8	24,8	27,0
	Var. 7		24,8	24,8	27,4!
	Var. 4!		24,8	24,8	26,6!
	Var. 8		24,8	24,8	27,0
Neuzeitliche Fußbodenheizung (Entwicklungspotential) mit Trockenestrichplatte					
Bild 3	20 (10) 	Parkett	24,8	24,8	28,2!!
	30 (10) 		24,7	24,9	28,7
	20 (10) 	Fliesen	24,7	24,9	26,4!!
	30 (10) 		24,7	25,0	26,8

Berechnung des instationären Verhaltens (Aufheizvorgang)

Es wurde ein Rechenprogramm zur numerischen Untersuchung der zweidimensionalen, instationären Wärmeleitung mit Rohrregistern entwickelt. Grundlage bildete die zweidimensionale Fouriersche Differentialgleichung

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} \right)$$

mit der Temperaturleitfähigkeit

$$a = \frac{\lambda}{\rho c}$$

Dem Algorithmus liegt eine fest definierte Gittergestaltung mit speziellen Approximationen für die Rohre und Bauteilbegrenzungen zugrunde. Algorithmus und Rechenprogramm sind in [1] detailliert dargestellt. Das Verfahren arbeitet rein explizit im Zeitschritt, weshalb aus Stabilitätsgründen eine Beschränkung für den Zeitschritt $\Delta\tau$ in Abhängigkeit der Temperaturleitfähigkeit a und der geometrischen Diskretisierungen $\Delta x, \Delta y$ besteht.

Spezielle Untersuchungen

Als Besonderheiten werden bei der Programmanwendung berücksichtigt:

- Die Gitterteilungen sind sehr fein gewählt. Es gelten für die
 - konventionellen Systeme $\Delta x = 2,25 \text{ mm}$ und $\Delta y = 2,68 \text{ mm}$
 - Systeme mit Kapillarrohrmatten im Estrich $\Delta x = 1,25 \text{ mm}$ und $\Delta y = 1,00 \text{ mm}$
 - Systeme mit Kapillarrohrmatten im Kleber $\Delta x = 0,925 \text{ mm}$ und $\Delta y = 1,00 \text{ mm}$.
- Das Rohr wird als Rechteck, vorzugsweise als Quadrat approximiert. Es besteht bei den konventionellen Rohren aus 22 und bei den Kapillarrohren aus 12 bzw. 14 Gitterpunkten.
- Die Zeitschrittweite beträgt bei den konventionellen Rohren $\Delta\tau = 2,5 \text{ s}$ und bei den Kapillarrohren $\Delta\tau = 0,5 \text{ s}$ bzw. $0,4 \text{ s}$.
- Die Wärmeübergangsbedingungen an den Oberflächen sind nach den Vorschlägen in [1] approximiert. An der Fußbodenoberfläche gilt die Basiskennlinie für Fußbodenheizungen.
- Die Rohroberflächentemperatur wird den realen Verhältnissen angepasst, indem der Wärmestrom vom Rohr an das Bauteil im vorhergehenden Zeitschritt berechnet und für das reale Rohr ($d_i/d_a, \lambda_R$) aus der gegebenen Wassertemperatur bestimmt wird. Eine Dämpfung bei Temperatursprüngen ist eingebaut. Sie

wirkt im vorliegenden Fall nur zu Beginn.

□ Die Untersuchung wird für eine konstante Raumtemperatur $t_i = 20^\circ\text{C}$ und eine Außentemperatur $t_a = 15^\circ\text{C}$ vorgenommen. Die Wassertemperatur t_w ist prinzipiell als Zeitfunktion darstellbar. Im vorliegenden Fall wird sie gleich der Temperatur gesetzt, die im stationären Berechnungsfall eine Heizleistung $\dot{q}_i = 50 \text{ W/m}^2$ ergab. Sie bleibt während der Aufheizzeit konstant.

□ Der Teilwärmehduregangskoeffizient κ_a beinhaltet den Wärmeübergangswiderstand an der Deckenunterseite, die Wärmeleitwiderstände der Wärmedämmung und der Deckenkonstruktion, im Sonderfall (Bild 3) auch den der Trockenestrichplatte.

□ Der Teilwärmehduregangskoeffizient κ_i beinhaltet den Wärmeübergangswiderstand am Fußboden gemäß Basis-kennlinie in Abhängigkeit der Übertemperatur und im Falle des Parkettbelages den Wärmeleitwiderstand des Parketts und des Klebers. Im Falle des Fliesenbelages wird dieser einschließlich Kleber – wegen der fast gleichen wärmetechnischen Eigenschaften – gemeinsam mit dem Estrich als homogene Schicht betrachtet. Damit sind die Annahmen geringfügig verändert gegenüber der Berechnung unter stationären Bedingungen. Im oberen Kapitel wurde aber bereits festgestellt, dass der Fehler in der Wassertemperatur nur maximal $0,2 \text{ K}$

beträgt. Er wird bei der Auswertung weitestgehend berücksichtigt.

Für die instationären Berechnungen gelten die ergänzenden, wärmetechnischen Annahmen einheitlich für Estrich, Kleber oder Estrich plus Fliesenbelag: $\rho = 2100 \text{ kg/m}^3$; $\lambda = 1,2 \text{ W/(m K)}$; $c = 1000 \text{ J/(kg K)}$.

Ergebnisse der instationären Berechnung und Schlussfolgerungen

Die Berechnung erstreckte sich im Falle der größten Trägheit auf über 13 Stunden Echtzeit. **Tabelle 2** zeigt die Ergebnisse in stark komprimierter Form. Sie gelten für eine mittlere Wassertemperatur t_w die zu einer raumseitigen Heizleistung $\dot{q}_i = 50 \text{ W/m}^2$ nach unendlich langer Zeit (stationärer Fall) führt, und für eine Raumtemperatur $t_i = 20^\circ\text{C}$. Das jeweils untersuchte Bauteil hat zu Beginn $\tau = 0$ die homogene Temperatur 20°C (Raumtemperatur). Die mittlere Wassertemperatur springt zur Zeit $\tau = 0$ auf den einheitlichen Wert t_w (übliche

Tabelle 2

Ergebnisse der instationären Berechnung für eine mittlere Wassertemperatur, die der Heizleistung $\dot{q}_i = 50 \text{ W/m}^2$ im stationären Fall entspricht, und Raumtemperatur $t_i = 20^\circ\text{C}$, wenn zur Zeit $\tau = 0$ die Rohrschichtung 20°C galt

Konstruktion		Rohrabstand (Rohrtiefe) mm	Belag	mittlere. Wasser- temperatur °C	Aufheizzeit $\tau_{90\%}$ $\tau_{98\%}$ min	
Konventionelle Fußbodenheizung						
Bild 1		150 (54)	Parkett	32,4	240	390
		300 (54)		38,3	410	680
		150 (54)	Fliesen	30,5	255	415
	300 (54)	36,2		400	645	
Neuzeitliche Fußbodenheizung						
Bild 2	Var. 1	20 (35)	Parkett	29,5	58	89
	Var. 5!	30 (35)		29,9!	77!	124!
	Var. 2	20 (30)		29,2	53	86
	Var. 6	30 (30)		29,7	69	109
	Var. 3	20 (20)		28,8	44	72
	Var. 7	30 (20)		29,3!	61!	96!
	Var. 4!	20 (10)		28,4!	43!	76!
	Var. 8	30 (30)		28,8	64	114
	Var. 1	20 (35)	Fliesen	27,6	88	133
	Var. 5!	30 (35)		28,1!	105!	154!
	Var. 2	20 (30)		27,4	79	117
	Var. 6	30 (30)		27,9	95	137
	Var. 3	20 (20)		27,0	65	94
	Var. 7	30 (20)		27,4!	87!	131!
	Var. 4!	20 (10)		26,6!	57!	86!
	Var. 8	30 (10)		27,0	80	124
Neuzeitliche Fußbodenheizung (Entwicklungspotential) mit Trockenestrichplatte						
Bild 3		20 (10) 	Parkett	28,2!!	10!!	15!!
		30 (10) 		28,7	15	24
		20 (10) 	Fliesen	26,4!!	27!!	39!!
		30 (10) 		26,8	38	59

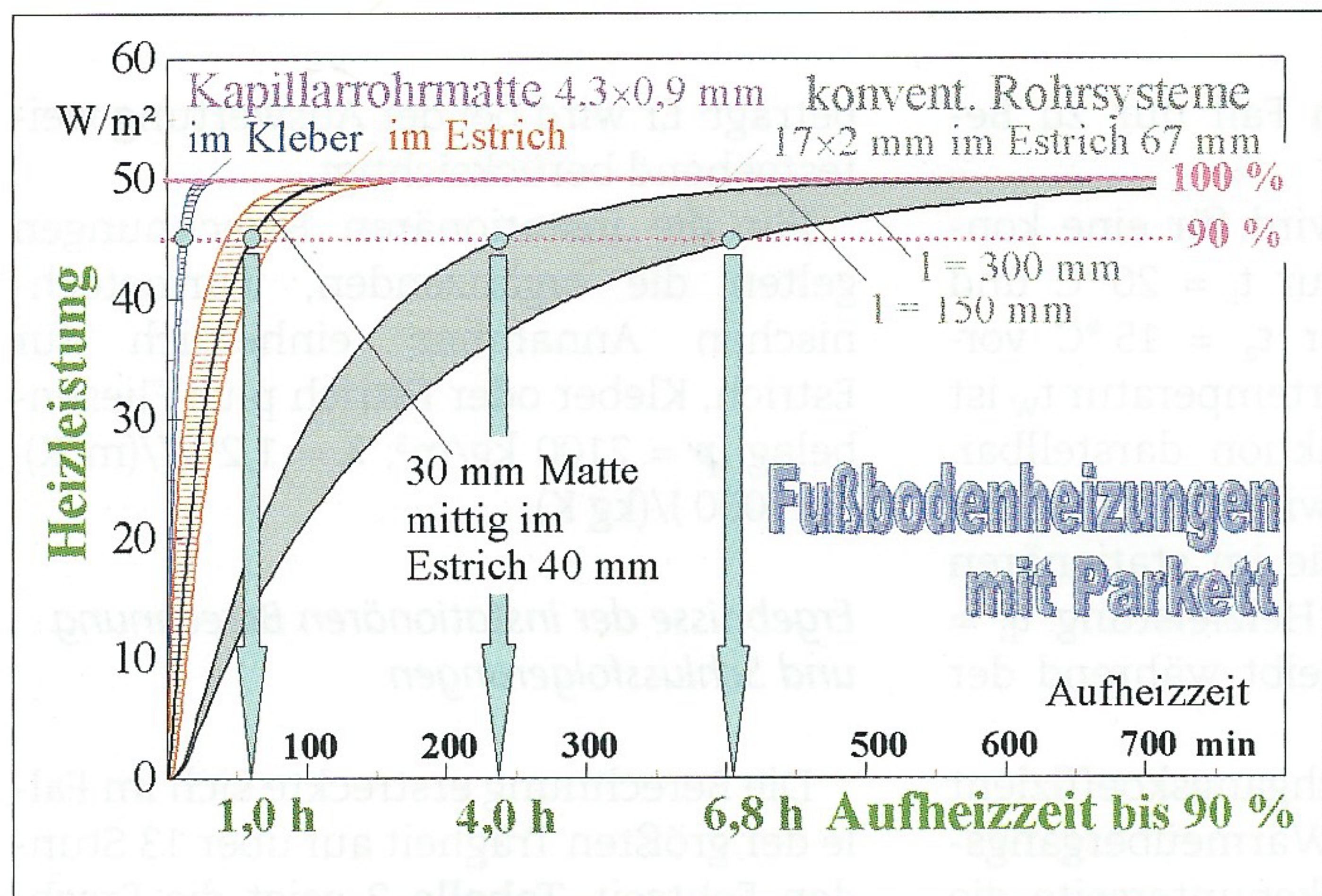


Bild 4

Heizleistung in Abhängigkeit der Aufheizzeit bei einer mittleren Wassertemperatur, die zu einer Endleistung von 50 W/m² führt, für die untersuchten konventionellen und neuzeitlichen Fußbodenheizsysteme mit Parkettbelag (Raumtemperatur 20 °C)

□ Der Fliesenbelag wurde bei der instationären Berechnung in die zweidimensionale Betrachtung einbezogen. Dadurch vollzieht sich auch in horizontaler Richtung, d.h. zwischen den Rohren eine verstärkte Wärmeleitung. Diese bewirkt bei großen Rohrabständen eine Verkürzung der Aufheizzeit, wodurch die vergrößerte Speicherefähigkeit und die damit verbundene verlängerte Aufheizzeit teilweise kompensiert wird. Die Wirkung dieser Einflüsse zeigt sich deutlich in den Bildern 4 und 5.

Die Zeiten $\tau_{90\%}$ sind dadurch bei den konventionellen Verlegeverfahren in erster Näherung nahezu unabhängig vom Belag. Bei den Varianten mit Kapillarrohrmatten, die sich aufgrund des geringen Rohrabstandes ohnehin durch eine sehr gute Temperaturverteilung in horizontaler Richtung auszeichnen, macht sich die höhere Speicherefähigkeit des Fliesenbelages negativ bemerkbar. Dadurch entstehen „nur“ Zeitreduzierungen auf 22 % anstelle von 15 %.

Idealvorstellung). Als signifikante Größen werden die Aufheizzeiten $\tau_{90\%}$ und $\tau_{98\%}$ bis zum Erreichen der Heizleistungen $\dot{q}_i = 45 \text{ W/m}^2$ bzw. $\dot{q}_i = 49 \text{ W/m}^2$ betrachtet. Wegen der asymptotischen Annäherung der Heizleistung an die Endheizleistung 50 W/m² ist der Wert $\tau_{90\%}$ aussagekräftiger für eine vergleichende Betrachtung.

Die grafische Darstellung der Aufheizverläufe für die unterschiedlichen Konstruktionen ist aus den Bildern 4 und 5 ersichtlich. Bei den Kapillarrohrmatten sind nur die Variante 5 (ungünstigster Verlauf), die Variante 4 (günstigster Verlauf) und die Variante 7 (beabsichtigte Variante) dargestellt. Alle übrigen Varianten liegen zwischen den Grenzwerten.

Aus den Ergebnissen folgen interessante Feststellungen mit genereller aber auch spezieller Aussage.

□ Fußbodenheizungen mit Kunststoff-Kapillarrohrmatten zeichnen sich infolge der geringeren Trägheit durch bedeutend kürzere Aufheizzeiten als konventionelle Systeme aus.
□ 90 % der Endleistung werden bei folgenden Relationen erreicht:

konventionelle Fußbodenheizung		Kapillarrohrmatten im Estrich			Kapillarrohrmatten im Kleber	
$l = 300 \text{ mm}$ $t = 54 \text{ mm}$	$l = 150 \text{ mm}$ $t = 54 \text{ mm}$	Variante 4 $l = 20 \text{ mm}$ $t = 10 \text{ mm}$	Variante 7 $l = 30 \text{ mm}$ $t = 20 \text{ mm}$	Variante 5 $l = 30 \text{ mm}$ $t = 35 \text{ mm}$	$l = 20 \text{ mm}$ $t = 5 \text{ mm}$	$l = 30 \text{ mm}$ $t = 5 \text{ mm}$
Parkettbelag						
100 %	59 %	10 %	15 %!	19 %	2 %	4 %
Fliesenbelag						
100 %	64 %	14 %	22 %!	26 %	7 %	10 %

l Rohrabstand; t Verlegetiefe der Rohrachse unter der Estrichoberfläche

Mit der beabsichtigten technologischen Lösung – mittige Lage der Kapillarrohrmatten im Estrich und Abstand der Röhrchen 30 mm (Variante 7) – ist gegenüber der konventionellen Systeme eine Reduzierung der Aufheizzeit auf 15 % bzw. 22 % verbunden.

Würde man als Bezugswert die konventionelle Systemvariante mit 150 mm Rohrabstand wählen, dann reduzierte sich die Aufheizzeit der Kapillarrohrvariante immerhin noch auf ein Viertel bzw. auf ein Drittel.

Bild 5

Heizleistung in Abhängigkeit der Aufheizzeit bei einer mittleren Wassertemperatur, die zu einer Endleistung von 50 W/m² führt, für die untersuchten konventionellen und neuzeitlichen Fußbodenheizsysteme mit Fliesenbelag (Raumtemperatur 20 °C)

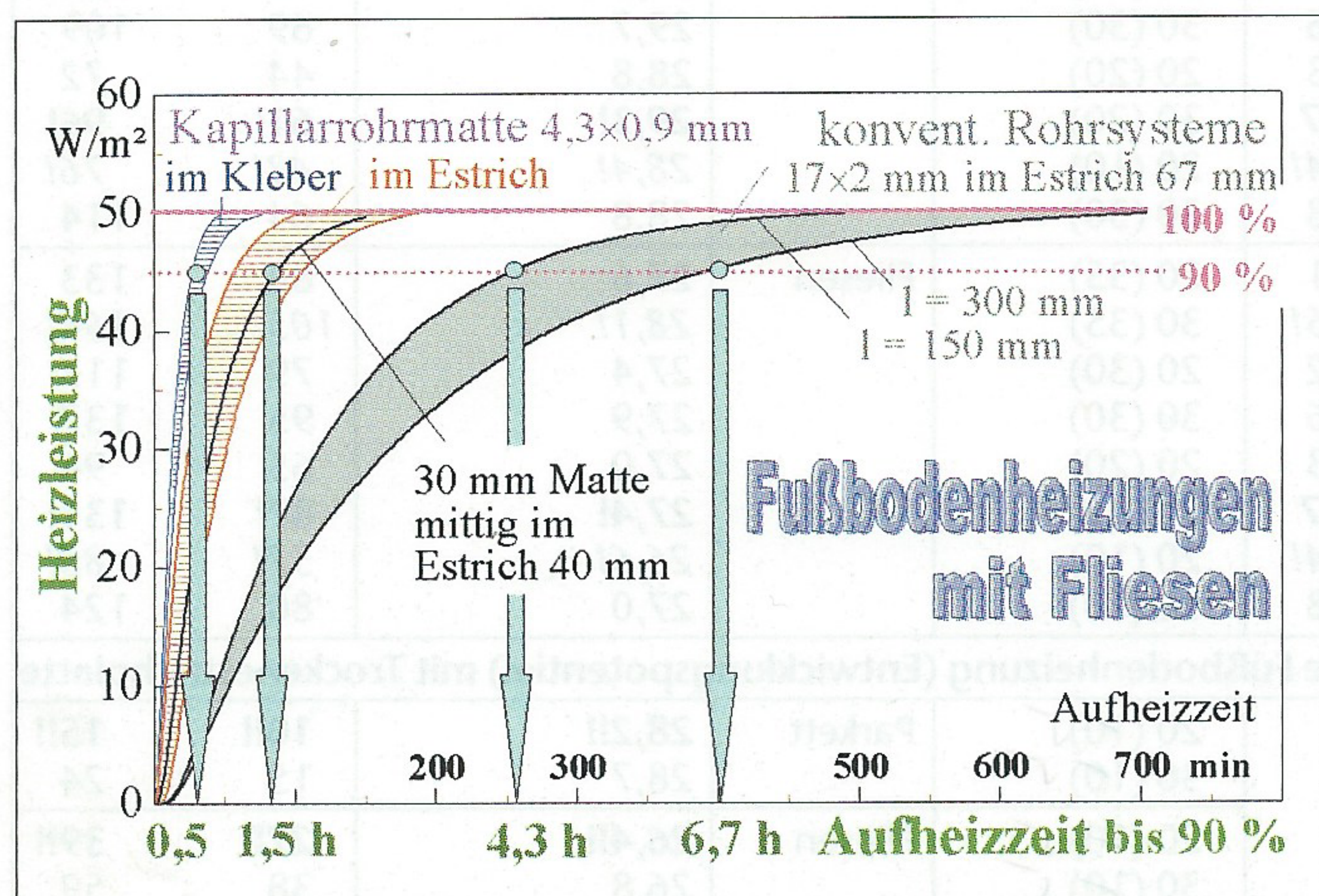
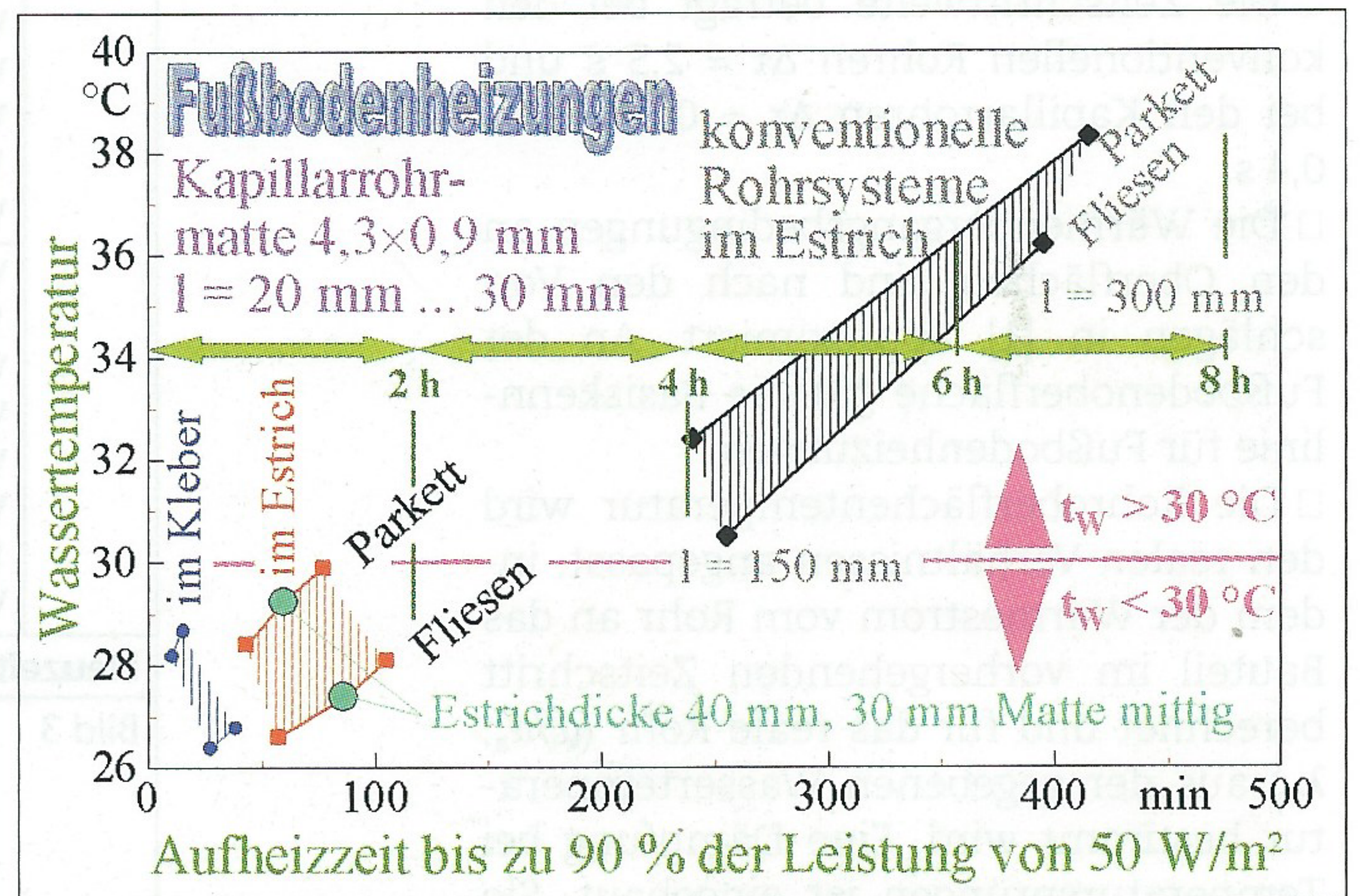


Bild 6

Erforderliche mittlere Wassertemperaturen bei einer Heizleistung von 50 W/m² und Aufheizzeiten bei diesen Wassertemperaturen bis zu einer Heizleistung von 45 W/m² für die untersuchten konventionellen und neuzeitlichen Fußbodenheizsysteme mit Parkett- und Fliesenbelägen



Beim beabsichtigten Modell – mittige Lage der Kapillarrohrmatten im Estrich und Abstand der Röhrchen 30 mm (Variante 7) – ist gegenüber der Trockenestrichvariante mit 20 mm Röhrchenabstand noch ein Entwicklungspotential bezüglich der Reduzierung der Aufheizzeit auf 16 % bis 31 % gegeben.

Die beabsichtigte Lösung wird unter der Voraussetzung der Estrichverlegung als optimaler Kompromiss erachtet!

Gesamtbewertung

Die Ziele der modernen Fußbodenheizungen bestehen in der Realisierung von

- niedrigen Heizwassertemperaturen
- kurzen Aufheizzeiten.

Um den Stand der beiden Zielstellungen beurteilen zu können, sind die zusammengehörigen Ergebnisse im **Bild 6** veranschaulicht. Die Aufheizzeiten sind auf der Abszisse und die mittleren Heizwassertemperaturen auf der Ordinate aufgetragen. Je näher die entsprechenden Punkte am Koordinatenursprung liegen, um so besser werden beide Zielstellungen erreicht.

Die Aussagen sind zugunsten der Systeme mit integrierten Kunststoff-Kapillarrohrmat-

ten außerordentlich überzeugend. Dabei wird auch deutlich, dass es sich bei Kapillarrohrmatten im Estrich bereits um eine sehr gute Lösung handelt, da sie sehr nahe am derzeit technisch möglichen Entwicklungsstand (Kapillarrohrmatten in einer Kleberschicht) liegt.

Ausblick

- Der sehr einfache Aufbau des Systems gestattet es, dieses auch kostengünstig z.B. als zusätzliche Brüstungs- oder Wandheizflächen auszubilden. Dadurch können die Nachteile der Fußbodenheizung (Kaltluftabfall und Strahlungstemperatur-Asymmetrie durch die Fenster) vermieden und infolge der Heizflächenvergrößerung die mittleren Heizwassertemperaturen sogar noch weiter abgesenkt werden.

- Bei der heute üblichen Wärmedämmung der Gebäude sind mittlere Heizwassertemperaturen unter 27 °C im Auslegungsfall möglich.

- Eine Senkung der mittleren Heizmedientemperatur in dieser Größenordnung eröffnet ganz neue Perspektiven beim Einsatz von Wärmepumpen und der direkten Umweltenergienutzung

über lange Zeiträume des Jahres. Damit sinkt beispielsweise der theoretische Exergieaufwand für eine Wärmepumpe bei einer 10 °C-Wärmequelle auf ca. Zweidrittel des Ursprungswertes.

- Die Temperaturwelligkeit an der Oberfläche ist beim Kapillarrohrsystem gleich Null.

- Die Konstruktionshöhen bei Kapillarrohrsystemen können sehr klein gehalten werden, wodurch sich diese Systeme auch sehr gut zur Altbausanierung eignen.

- Diesen Konstruktionen kann zusätzlich eine sommerliche Kühlfunktion mit „Kälte“ aus Erdreichkollektoren oder Kellerfußböden übertragen werden. Die zugehörigen Leistungsberechnungen sind mit den gleichen Algorithmen möglich.

H 101

Literatur

[1] Glück, B.: Thermische Bauteilaktivierung. C. F. Müller Verlag 1999 (ISBN 3-7880-7674-7).