

# Innovative Bauteilheizung und -kühlung

Die derzeit realisierten Systeme zur Bauteilheizung und -kühlung verwenden Konstruktionsprinzipien, die der sogenannten Crittall-Decke aus „uralten Zeiten“ entsprechen. Die Register aus dicken Stahlrohren sind lediglich durch Register aus dicken Kunststoffrohren „verjüngt“ worden.

Neuere technische Entwicklungen – Einsatz von Kapillarrohrmatten – werden nicht beachtet,

obwohl diese kostengünstiger sind und den gewollten Speichereffekt bedeutend vergrößern. So könnte im gleichen Deckenbauteil die Speicherwärme um über 50 % erhöht werden.

Mehrlagige Belegungen mit Kapillarrohrmatten bieten zudem die Möglichkeit der momentanen Lastverschiebung, die im Zusammenspiel mit der Speicherung große Energie- und Kosteneinsparungen ermöglichen.

Dr.-Ing. habil. Bernd GLÜCK,  
Jößnitz

Das Grundprinzip – z. B. des Batiso-Verfahrens – ist es, daß eine *große Speicherwärme* bei *niedriger Temperaturdifferenz* zur Raumtemperatur vorgehalten wird, so daß diese bei Absinken der Raumtemperatur zur Beheizung oder bei Ansteigen der Raumtemperatur zur Kühlung nahezu selbstregelnd einsetzbar ist. Der niedrige Potentialunterschied (Temperaturdifferenz) der Speicherwärme zum thermischen Raumzustand gestattet über lange Zeiträume *Umweltenergie* zur Ladung des Speichers einzusetzen. So könnte beispielsweise die Beheizung mit Wasser aus Sonnenkollektoren einfacher, kostengünstiger Bauart und die Kühlung mit Wasser aus freier Kühlung erfolgen.

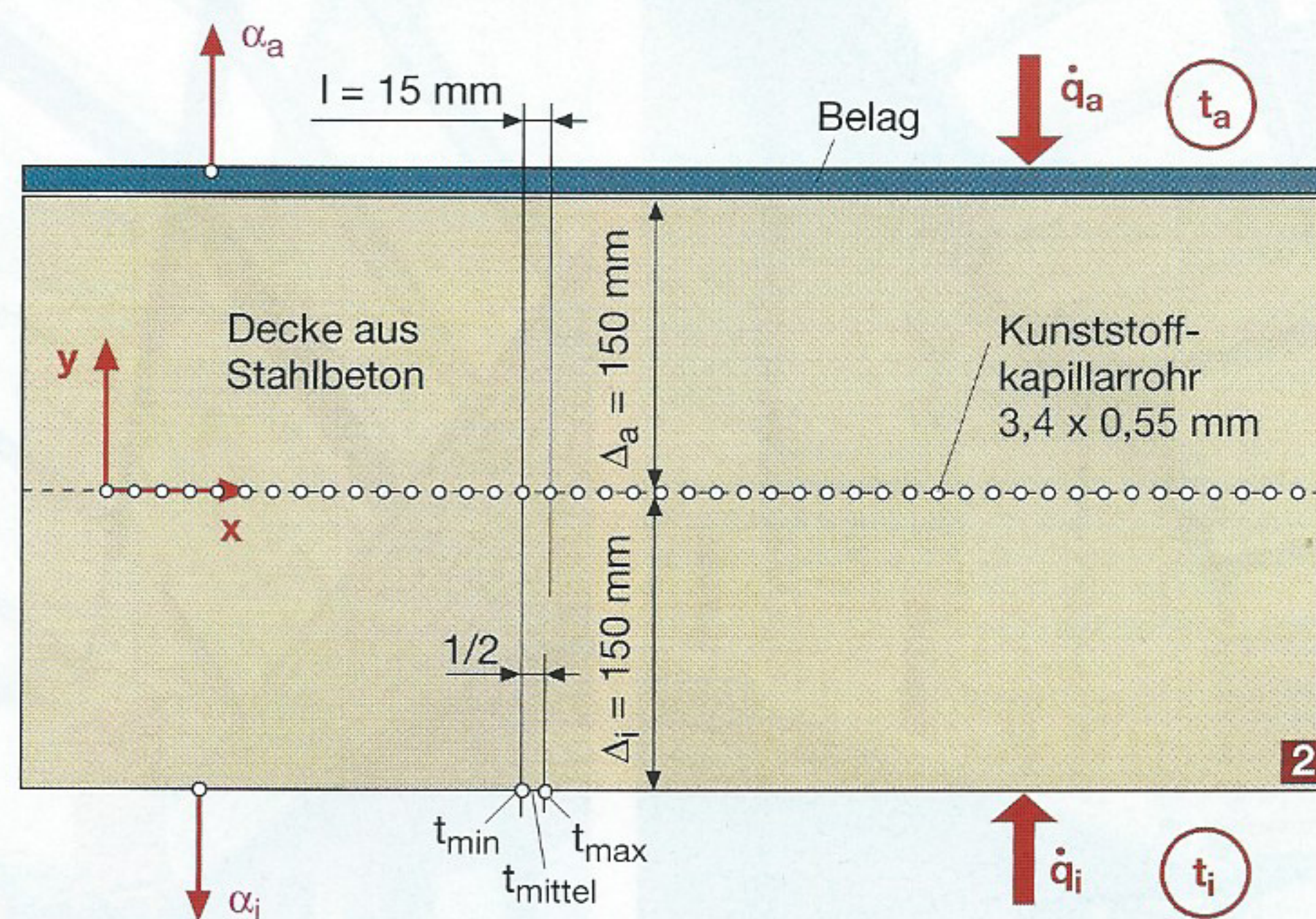
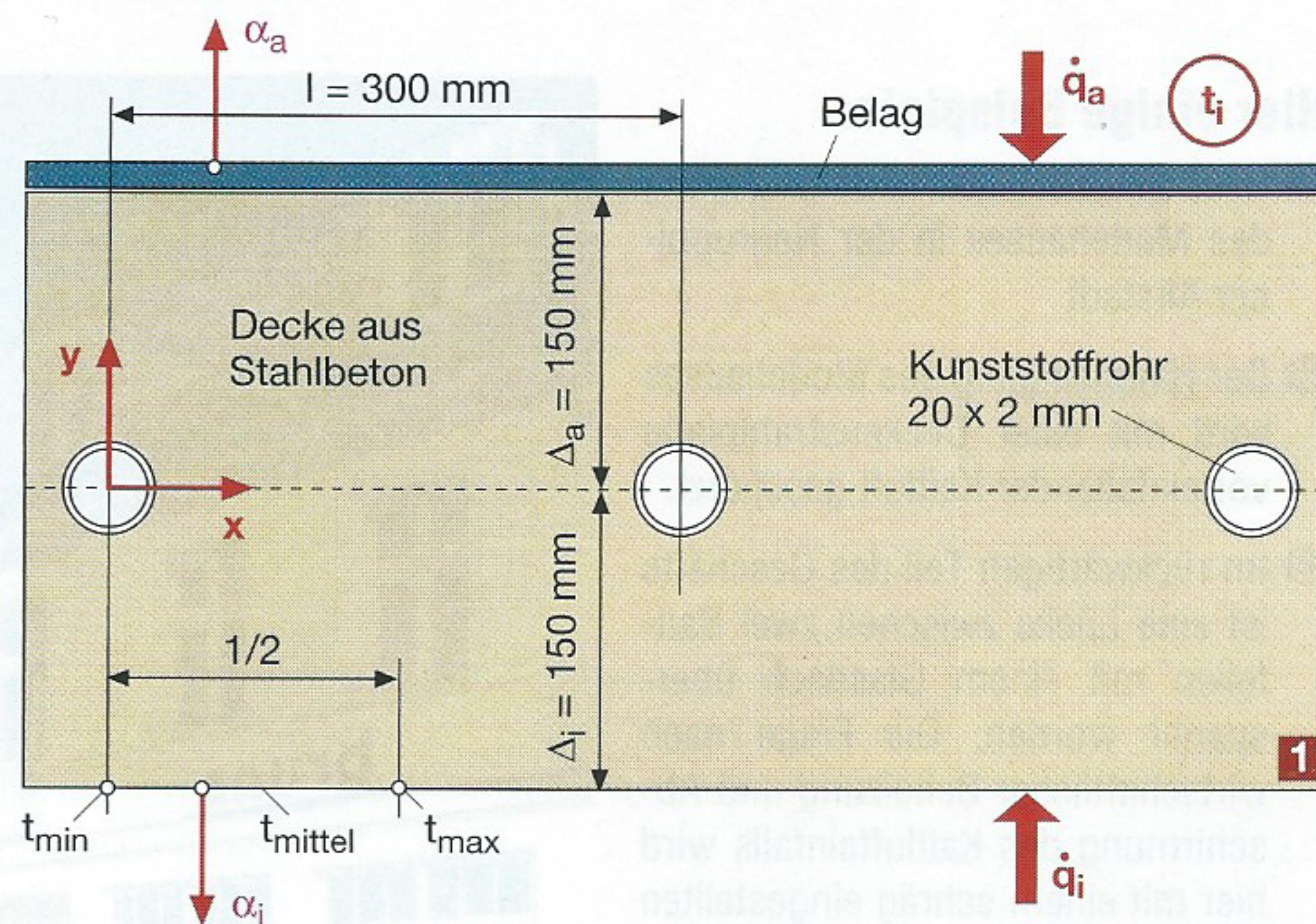
Das Verfahren arbeitet um so effektiver, je mehr *Speicherwärme* verfügbar ist. Die Betonung liegt hierbei auf Speicherwärme und nicht auf Wärmespeicherkapazität. Häufig glaubt man irrtümlich, daß die Bereitstellung von Speicherkapazität (z. B. in Form von dicken Betondecken) ausreichend für die Funktionstüchtigkeit ist. Sie bildet aber nur eine notwendige Voraussetzung. Genauso wichtig ist die möglichst vollständige Beladung des Speicherbauteils. Als Idealfall wäre ein Bauteil mit völlig homogener Temperatur anzustreben.

**Betondecke als Speicherbauteil mit derzeit üblichem Rohrregister (Bild 1, oben) und mit Kapillarrohrmatte zur Erhöhung der Wärmespeicherung und zur Verbesserung der Dynamik (Bild 2, rechts).**

## Konstruktion und Kapazität thermisch aktiver Speicherbauteile

Derzeit werden Konstruktionen nach Bild 1 mit mehr oder weniger großen Abwandlungen realisiert. Betondecken mit 300 mm Dicke bilden eine große Wärmespeicherkapazität, die mit wasserdurchflossenen Rohren beispielsweise symmetrisch verlegt, beheizt oder gekühlt werden.

Anstelle von aufwendigen Modellen, die die Dynamik der Be- und Entladung in Abhängigkeit der Rohrlage, der Raumlasten, der Wassertemperatur usw. simulieren, sollen vereinfachend sofort deutbare Grenzbetrachtungen erfolgen. Mit



einem Simulationsprogramm nach [1, 2] wird der stationäre Zustand für einen typischen Kühlfall betrachtet, um festzustellen, welche „negative“ Speicherwärme bei einer Wassertemperatur von 18 °C und einer konstanten Raumtemperatur von 24 °C theoretisch verfügbar ist. Es gelten: geometrische Daten nach Bild 1 sowie Belagdicke 10 mm, Wärmeleitfähigkeit des Betons 1,4 W/(m K) und des Belages 0,07 W/(m K), spezifische Wärmekapazität des Betons 1050 J/(kg K), Betondichte 2400 kg/m³)

### Die Ergebnisse lauten:

- Kühlleistung (Wärmeaufnahme vom unteren Raum und insgesamt): 17,9 W/m²; 27,0 W/m²

## Systemvergleich

Tabelle 1

Stationäre Temperaturverteilung in einer Decke herkömmlicher Konstruktion nach Bild 1

| Temperaturen in °C | x = 0 mm    | x = 50 mm | x = 100 mm | x = 150 mm |
|--------------------|-------------|-----------|------------|------------|
| y = 150 mm         | 21,1        | 21,2      | 21,2       | 21,3       |
| y = 100 mm         | 20,7        | 20,8      | 20,9       | 21,0       |
| y = 50 mm          | 20,1        | 20,4      | 20,7       | 20,8       |
| y = 0 mm           | 18,0 (Rohr) | 20,2      | 20,7       | 20,8       |
| y = -50 mm         | 20,4        | 20,7      | 21,0       | 21,1       |
| y = -100 mm        | 21,4        | 21,4      | 21,5       | 21,6       |
| y = -150 mm        | 22,1        | 22,1      | 22,2       | 22,2       |

Tabelle 2

Stationäre Temperaturverteilung in einer Decke neuer Konstruktion nach Bild 2

| Temperaturen in °C | x = 0 mm    | x = 2,5 mm | x = 5 mm | x = 7,5 mm |
|--------------------|-------------|------------|----------|------------|
| y = 150 mm         | 19,7        | 19,7       | 19,7     | 19,7       |
| y = 100 mm         | 19,2        | 19,2       | 19,2     | 19,2       |
| y = 50 mm          | 18,7        | 18,7       | 18,7     | 18,7       |
| y = 0 mm           | 18,0 (Rohr) | 18,2       | 18,2     | 18,3       |
| y = -50 mm         | 19,2        | 19,2       | 19,2     | 19,2       |
| y = -100 mm        | 20,2        | 20,2       | 20,2     | 20,2       |
| y = -150 mm        | 21,2        | 21,2       | 21,2     | 21,2       |

- mittlere, minimale und maximale Temperatur an der Deckenunterseite: 22,1 °C; 22,1 °C; 22,2 °C
- Temperaturverteilung im Deckenquerschnitt für den halben Rohrabstand (150 mm): Tabelle 1

Bezogen auf die Raumtemperatur von 24 °C sind in der Decke

$Q = -0,646 \text{ kWh/m}^2$  gespeichert.

Die Bionik lehrt uns, daß die Natur zwar keine direkt und vollständig realisierbaren „Blaupausen“ liefert, daß aber viele Effekte und Teilvorgänge in technische Wirkprinzipien umsetzbar sind. Bezüglich der Temperierung der Raumumfassungsflächen ist eine Analogie zur Durchblutung der menschlichen Haut überprüfenswert. (Bewußt wird nicht von der Haut in ihrer Gesamtheit gesprochen, da deren Funktion so komplex ist, daß ein „Nachbau“ völlig utopisch wäre.) Das Blutgefäßsystem, über das die Wärmeabgabe nach außen erfolgt, könnte eine technische Umsetzung durch Kapillarrohrmatten in der Decke erfahren. Diese Kapillarrohrmatten aus Polypropylen werden zur Zeit mit Röhrchendurchmesser 3,4/2,3 mm und mit Rohrabständen ab 10 mm gefertigt. Ihr Einsatz wird bereits sehr erfolgreich in Kühldecken praktiziert. Nach innovativen Patentanmeldungen der Herstellerfirma CLINA,

Berlin, und nach eigenen Überlegungen sind aber noch zahlreiche Anwendungsfälle im Sinne der Bionik denkbar. Substituiert man in der Betondecke die dicken Rohre durch diese Kapillarrohrmatten mit einem Röhrchenabstand von 15 mm (Bild 2), so liefert die stationäre Berechnung des Kühlfalls unter gleichen Randbedingungen wie vorher folgende Ergebnisse:

- Kühlleistung (Wärmeaufnahme vom unteren Raum und insgesamt): 27,9 W/m<sup>2</sup>; 42,0 W/m<sup>2</sup>
- mittlere, minimale und maximale Temperatur an der Deckenunterseite: 21,2 °C; 21,2 °C; 21,2 °C
- Temperaturverteilung im Deckenquerschnitt für den halben Rohrabstand (7,5 mm): Tabelle 2

Bezogen auf die Raumtemperatur von 24 °C sind in der Decke

$Q = -0,982 \text{ kWh/m}^2$  gespeichert.

*Die Wärmekapazität der Decke ist natürlich gleich geblieben, aufgrund der Einbringung der Kapillarrohrmatte entsteht aber eine Erhöhung der Speicherwärme (in diesem Fall der „gespeicherten Kälte“) um 52 %.*

Bild 3 stellt diesen großen Unterschied nochmals gegenüber. Die Temperaturverläufe in unterschiedlichen Abständen unterhalb der Rohrebene sind jeweils entlang des halben Rohrabstandes aufgetragen. Sie liegen im Bauteil mit der Kapillarrohrmatte deutlich niedriger. Die Vertikalpfeile kennzeichnen den Temperaturbereich der Betondecke im stationären Ladezustand.

Es ist weiterhin bemerkenswert, daß die *Kühlleistung* (Wärmeaufnahme) des Bauteils im Fall des Kapillarrohrmatten-einsatzes ebenfalls um 56 % höher liegt als im Fall herkömmlicher Verrohrung. Dieses thermodynamisch günstige Verhalten ist in zweifacher Weise vorteilhaft:

- Der Vorteil der Lastverschiebung liegt beispielsweise darin, daß nachts bei niedrigen Außentemperaturen besonders viel „Kühlenergie“ umweltgerecht zur Verfügung steht. Damit muß die Decke, aber auch der Raum mit den übrigen Raumumfassungen und dem Interieur heruntergekühlt werden. Man benötigt dazu ein System, das der Deckenmasse möglichst gleichmäßig die Wärme entnimmt, gleichzeitig aber auch eine große Leistung aus dem Raum abführt.
- Für den Fall, daß die Lastspitzen im Raum nicht allein durch die Speicherdynamik kompensierbar sind, muß durch konventionelle Kältetechnik Kaltwasser bereitgestellt werden. Es kommt dann darauf an, einen schnellen und intensiven Wärmeaustausch mit dem Raum herzustellen.

In beiden Fällen liefert die im Beton integrierte Kapillarrohrmatte bessere Voraussetzungen als die konventionelle Rohrverlegung.

### Dynamik der verschiedenen Speichersysteme

Wie bereits erwähnt, ist die Simulation der dynamischen Prozesse sehr kompliziert und wird hier bewußt umgangen. Bei der vergleichenden Bewertung der Systeme sei dagegen eine einfache Überlegung verwendet. Die Dynamik der gezielten, d. h. aktiven Be- oder Entladung des Speichers wird bei gleicher Temperaturleitfähigkeit des Speichermaterials von der Entfernung der „Speicherzelle“ von der Wärmequelle bzw. -senke (dies sind im vorliegenden Fall die Rohre) abhängen. Die Auswertung der „Wärmetransportlängen“, gewichtet mit den Anteilen der Speicherkapazität des jeweiligen Volumenelements – bezogen auf die gesamte Speicherkapazität – ergibt für

- konventionelles Rohrsystem:  
115 mm
- Kapillarrohrmatte in Bauteilmitte:  
75 mm.

Das letzte Ergebnis leuchtet sofort ein, denn die enge Rohranordnung der Kapillarrohre bewirkt eine „Wärmetransportlänge“, die genau der Hälfte der unter- und oberhalb der Matte liegenden Massivenelementdicke entspricht. Die beim konventionellen System um die 1,53fach größere „Wärmetransportlänge“ wirkt sich negativ auf die aktive Beeinflussung des Speicherbauteils aus.

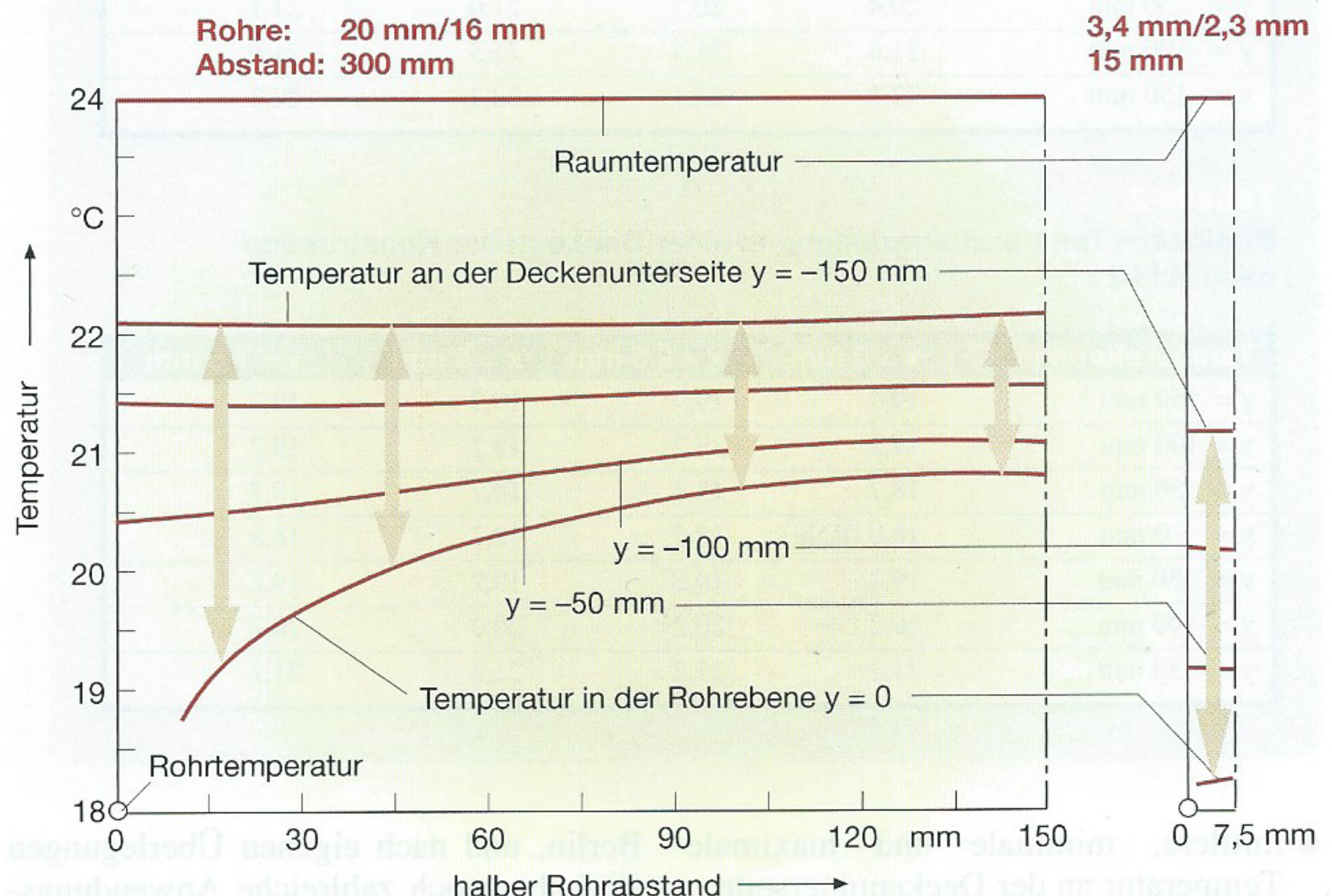
Für eine exakte dynamische Betrachtung sind in den mit Kapillarrohrmatten bestückten Bauteilen wirklichkeitsnahe Vereinfachungen möglich. Die stationären Temperaturverteilungen (siehe Tabelle 2, Bild 3) zeigen bereits ab einem senkrechten Abstand von  $\pm 10$  mm von der Mitte der Rohrebene Isothermen parallel zur Bauteilberandung. Dieser ideale Zustand wird sich auch bei anschließenden dynamischen Vorgängen nicht ändern, so daß für diese Bereiche eine eindimensionale instationäre Betrachtung ausreichend ist. In der Nähe der Matten ( $\pm 10$  mm) könnte unter Einfügen bestimmter Modifikationen mit einer zweidimensionalen quasistationären Wärmeleitung gearbeitet werden, und an den raumseitigen Bauteilbegrenzungen wäre der Anschluß des Programmsystems „Raummodell“ nach [3] zur wärmetechnischen und wärmephysiologischen Beurteilung des Raumes denkbar.

### Entwicklungspotential der Bauteil-Speichersysteme

Die Speicherbauteile sollen vorrangig durch zeitliche Verschiebung des Lastbedarfs die Nutzung der Umweltenergie in großem Umfang ermöglichen. Das weiterentwickelte System soll zusätzlich innerhalb des Gebäudes die Wärmeströme so verschieben, daß eine möglichst große Bedarfsglättung erfolgt. Hierbei können Speichervorgänge mitunter störend wirken, so beispielsweise wenn ein Raum geheizt werden muß, in einem anderen aber plötzlich große innere Wärmelasten zeitgleich entstehen. Der über die Speichermassen geführte Ausgleich kann dies möglicherweise nicht gewährleisten, so daß „nachgeheizt“ werden muß. Der ähnliche Fall tritt ein, wenn die Lastspitzen generell nicht durch die verfügbare Umweltenergie kompensiert werden können. Das Heizen oder Kühlen mit konventionell erzeugter Wärme oder Kälte führt beim Einspeisen in das Speicherbauteil zu einer großen Energieauf-

nahme und stark verzögerter Kompensation der thermischen Raumlaster. In der Übergangszeit kann es zu täglichen Wechseln kommen, die letztlich eine Energievergeudung bedeuten. Das vielfach gehörte Argument, daß dies nur selten passiere, befriedigt nicht. In einigen Projekten werden auch zusätzlich Heizsysteme mit örtlichen Heizkörpern unter den Fenstern eingesetzt, die fehlende

maßgeblichen Kapillarrohrmatte kann in relativ großen Grenzen variiert werden. Würde sie beispielsweise nur 50 mm unter dem Belag (siehe Bild 2) angeordnet und *allein* betrieben, so reduzierte sich das Speichervermögen bei sonst analogem, stationärem Betrieb als Grenzfall nur auf 0,889 kWh/m<sup>2</sup>. Dies sind immer noch 38 % mehr als bei der jetzigen konventionellen mittigen An-



**3 Temperaturverläufe bei Kühlung des Bauteils im stationären Zustand bei einer Wassertemperatur von 18 °C und einer Raumtemperatur von 24 °C, dargestellt von einer Rohrachse bis zur Mitte der jeweils rechts davon liegenden nächsten Rohrachse. Die Vertikalpfeile kennzeichnen den Temperaturbereich des Betons im stationären Ladezustand.**

links: konventionelle Konstruktion nach Bild 1

rechts: Konstruktion mit Kapillarrohrmatte nach Bild 2

Die bezogen auf das Raumtemperaturniveau gespeicherte „Kälte“ ist beim Kapillarrohreinsatz um 52 % größer als bei der konventionellen Lösung.

Heizleistungen kompensieren und gleichzeitig den Kaltluftabfall verhindern. Wie aber werden fehlende Kühlleistungen im Spitzenfall ergänzt? Das Abkühlen der gesamten Decke mit konventionell erzeugter Kälte läuft dem eigentlichen Bemühen völlig entgegen. Eine konstruktive Weiterentwicklung könnte darin bestehen z. B. zwei Kapillarrohrmatten einzulegen, wovon eine oberflächennah eingegossen ist. Diese könnte dann analog zu einer Kühldecke die kurzfristige Spitzenlastdeckung ohne vorrangige Speicherverluste übernehmen oder zur zeitgleichen Lastverschiebung zwischen den Räumen eines Gebäudes herangezogen werden. Die möglichen steuerbaren Lastverschiebungsvarianten gestalten sich damit außerordentlich umfangreich. Die Lage der für die Speiche-

ordnung der dicken Rohrregister. Bei dieser Konstruktion ergäben sich auch größere Gestaltungsfreiheiten bei der bautechnischen Fertigung, da die Matten eventuell außerhalb des Bewehrungsbereichs eingebracht werden könnten. Der Materialaufwand an Kunststoff (Volumen pro Bauteilfläche) beträgt ohne Beachten der Verteilungen:

- konventionelles Rohrsystem:  
0,000377 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>
  - Kapillarrohrmatte: 0,000328 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.
- Dies bedeutet eine Reduzierung des Kunststoffeinsatzes um 13 %. Die Nachfrage bei der Herstellerfirma Clina ergab, daß auch andere Rohrteilungen und -durchmesser gefertigt werden können. Als Anmerkung sei erwähnt, daß wissenschaftlich-technische Untersuchungen

zeigten, daß in ähnlicher Weise die Wärmeleistung von Fußbodenheizungen mit Kapillarrohrmatten gegenüber herkömmlichen Systemen deutliche Vorteile bietet. So kann beispielsweise bei Naß- und Trockenverlegesystemen unter Beibehaltung der Leistung die mittlere Temperaturdifferenz von 20 K bei konventionellen Systemen auf 12 bis 13 K bei innovativen Lösungen gesenkt werden. Dieser Effekt verbessert die Einsatzbedingungen für Solarenergie und Wärmepumpen wesentlich!

## Fazit

Der Einsatz von thermisch aktiv gesteuerten Speicherbauteilen in Gebäuden, um einen möglichst großen Anteil an Umweltenergie zum Heizen und Kühlen verwenden zu können, ist begrüßenswert. Bei der derzeit eingesetzten Konstruktion der wasserdurchflossenen Rohrregister handelt es sich jedoch um eine überholte Technik, die die geforderte Flexibilität an eine effiziente thermische Be- bzw. Entladeeinrichtung nicht bietet. Moderne Systeme sollten die vorhandene

Speicherkapazität in den Bauteilen zu einem möglichst hohen Anteil nutzen und eine Möglichkeit für rasche thermische Ausgleichsvorgänge im Gebäude ebenso bieten wie notwendige, ergänzende Spitzenlastdeckungen möglichst ohne störende Speichervorgänge realisieren. Eine sehr gute Möglichkeit wird im Einsatz von Kapillarrohrmatten gesehen. Zur Aufgabtrennung ist auch das Einbringen zweier, voneinander getrennter Lagen zu überlegen. Große thermodynamische Reserven, Kostenvorteile und ein größerer konstruktiver Gestaltungsspielraum sind derzeit noch ungenutzt!

## Literatur

- [1] Glück, B.: Strahlungsheizung - Theorie und Praxis. Berlin: Verlag für Bauwesen und Karlsruhe: C. F. Müller Verlag, 1991
- [2] Glück, B.: Wärmeübertragung - Wärmeabgabe von Raumheizflächen und Rohren (Reihe Bausteine der Heizungstechnik). 2. Auflage. Berlin: Verlag für Bauwesen, 1990
- [3] Glück, B.: Wärmetechnisches Raummodell. Heidelberg: C. F. Müller Verlag, 1997