

Die thermische Bauteilaktivierung als Wärmespeicher

TEXT UND GRAFIKEN | Klaus Kreč

Aufgrund ihrer hohen Wärmespeicherfähigkeit erweisen sich thermisch aktivierte Betondecken auch bei unregelmäßigem Wärmeangebot für die Beheizung von Wohngebäuden mittels Nutzung erneuerbarer Energien als bestens geeignet.

Einleitung

Die thermische Aktivierung von Geschoßdecken eignet sich dann als alleiniges System zur Beheizung von Wohngebäuden, wenn die thermische Qualität der Gebäudehülle zumindest jener eines Niedrigenergiehauses entspricht. Zum einen wurde diese Aussage in der Forschungsarbeit „Energiespeicher Beton“ auf rechnerischem Wege abgeleitet. Zum anderen wird durch eine stetig wachsende Anzahl an gebauten Beispielen das Potenzial der Bauteilaktivierung nicht nur in Hinblick auf Energieeffizienz, sondern auch auf die Bereitstellung hohen thermischen Komforts aufgezeigt.

Als wesentliche Eigenschaften von thermisch aktivierten Geschoßdecken sind die großen Heizflächen sowie das hohe Wärmespeichervermögen und die sehr gute Wärmeleitfähigkeit von Stahlbeton zu nennen. Aufgrund der großen Heizflächen kann die erforderliche Wärmeabgabeleistung der Decke bereits mit sehr niedrigen Heizmitteltemperaturen erreicht werden. Die hohe Wärmespeicherfähigkeit einer Stahlbetondecke wirkt zudem ausgleichend. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass auch eine unregelmäßige Wärmezufuhr mit hohen Ansprüchen an die thermische Behaglichkeit verträglich sein wird. Die thermische Bauteilaktivierung ist damit für die Nutzung erneuerbarer Energien prädestiniert. So ist bei der Nutzung von Sonnenkollektoren als Wärmequelle das Angebot an Wärme stark schwankend und schwierig prognostizierbar. Ein ähnliches Bild ergibt sich, wenn z. B. elektrischer Strom aus Windkraft- oder Fotovoltaikanlagen zum Betrieb einer Wärmepumpe herangezogen werden soll.

Wie gebaute Beispiele zeigen, können thermisch aktivierte Decken ohne großen bautechnischen Aufwand realisiert werden. Ein Beispiel für eine rasch und problemlos umsetzbare Lösung zeigt die Schemaskizze der Abb. 1. Auf eine 5 cm dicke Fertigteildecke wird ein Baustahlgitter gelegt, auf dem in der Folge die Heizungsrohre mittels Kabelbindern fixiert werden. Nach dem Betonieren liegt damit eine thermisch aktivierbare Decke vor, deren Rohrregister einen Abstand von 5 cm von der Deckenunterseite hat. Dieser Abstand wird im Folgenden „Betonüberdeckung“ genannt und ist ein Parameter der rechnerischen Untersuchungen.

In diesem Beitrag werden neue Ergebnisse aus der Forschungsarbeit „Energiespeicher Beton“ rekapituliert. Der Fokus wird dabei auf das instationäre – d. h. zeitabhängige – Verhalten thermisch aktivierter Geschoßdecken gelegt. Zudem wird auf das Wärmespeichervermögen von Beton genauer eingegangen.

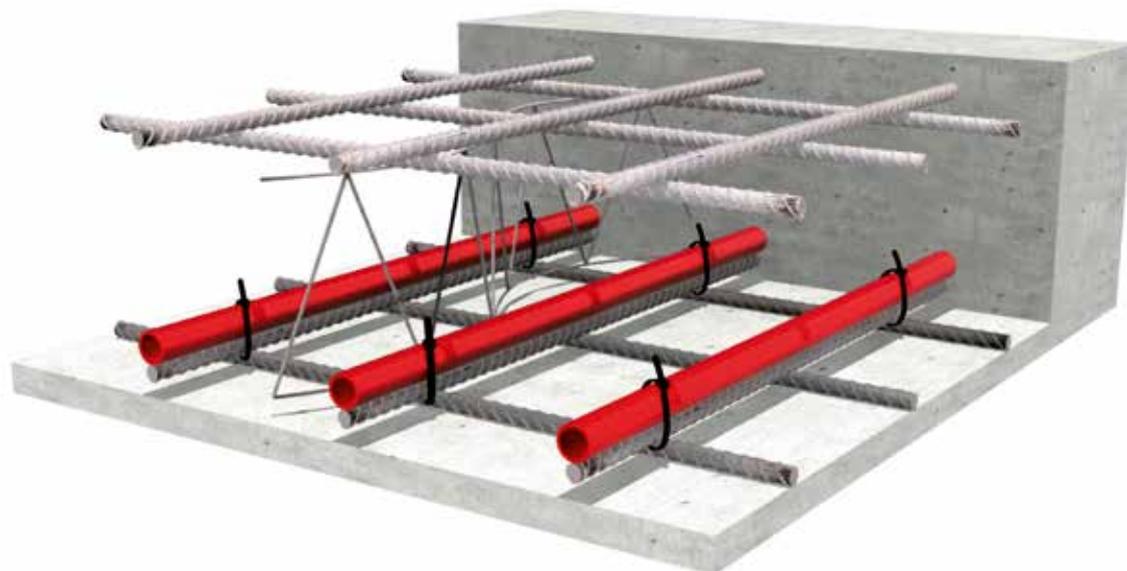


Abb. 1: Schemaskizze des Aufbaus einer thermisch aktivierten Betondecke, © Z + B

Das Wärmespeichervermögen von Beton

Ein Maßstab für das Wärmespeichervermögen eines (Bau-)Materials ist die auf das Volumen bezogene Wärmekapazität. Diese errechnet sich mittels Multiplikation der spezifischen (massenbezogenen) Wärmekapazität c mit der Massendichte ρ . Beton liegt mit einer spezifischen Wärmekapazität von $c \approx 0,278 \text{ Whkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ im Bereich der meisten anderen Baustoffe. Erst die verhältnismäßig hohe Massendichte von $\rho \approx 2.400 \text{ kgm}^{-3}$ bewirkt das sehr hohe Wärmespeichervermögen von Beton. Wird die volumenbezogene Wärmekapazität mit der Dicke der Betonplatte multipliziert, so ergibt sich unmittelbar eine auf die Fläche bezogene Wärmekapazität. Für eine 25 cm dicke Stahlbetondecke sind dies z. B. $166,7 \text{ Whm}^{-2}\text{K}^{-1}$.

Die volumenbezogene Wärmekapazität ist allerdings nur ein Maß für die Wärmeaufnahme eines Materials im Zuge einer isothermen Erwärmung. Es wird somit angenommen, dass beim Erwärmungsprozess in der Baukonstruktion keinerlei Temperaturunterschiede auftreten. Es ist unmittelbar klar, dass diese Annahme in der Realität auch nicht ansatzweise zutrifft. Der berechnete Wert in Höhe von $166,7 \text{ Whm}^{-2}\text{K}^{-1}$ stellt damit eine hypothetische Obergrenze für die in die Betonplatte einspeicherbare Wärmemenge dar.

Ein Maß für die Ausbildung von Temperaturunterschieden während der Erwärmung einer Baukonstruktion ist sicherlich die Wärmeleitfähigkeit des (Bau-)Materials. Je höher die Wärmeleitfähigkeit ist, desto besser wird auch die Wärmeaufnahme ausfallen. Beton – insbesondere Stahlbeton – besitzt mit $\lambda \approx 2,0$ bis $\lambda \approx 2,5 \text{ Wm}^{-1}\text{K}^{-1}$ eine Wärmeleitfähigkeit, die deutlich höher ist als jene anderer Baumaterialien. Salopp gesagt bedeutet dies, dass Beton aufgrund seiner hohen Massendichte nicht nur ein sehr guter Wärmespeicher ist, sondern dass die Wärme aufgrund der relativ hohen Wärmeleitfähigkeit auch leicht in diesen Speicher einzudringen vermag.

Zur Quantifizierung des Wärmespeichervermögens von Baukonstruktionen wurde in der ÖNORM EN ISO 13786 die sog. „wirksame Wärmekapazität“ eingeführt. Diese Kenngröße gibt an, wie viel Wärme bei sinusförmiger Schwankung der Lufttemperatur in die Baukonstruktion eindringt und dort gespeichert wird. Üblicherweise wird die Länge der Sinusschwankung – und damit die Periodenlänge – mit 24 h, also einem Tag, festgelegt. Für die 25 cm dicke Stahlbetondecke errechnet sich die flächenbezogene wirksame Wärmekapazität für die Deckenuntersicht zu $20,1 \text{ Whm}^{-2}\text{K}^{-1}$, wenn der Wärmeübergangswiderstand für die Deckenuntersicht gemäß ÖNORM EN 1264-5 auf $0,154 \text{ m}^2\text{KW}^{-1}$ gesetzt wird. Es fällt auf, dass diese wirksame Wärmekapazität bei nur etwa 12 % der oben berechneten Obergrenze für die Wärmekapazität zu liegen kommt.

Bei einer thermischen Aktivierung wird der Decke hingegen Wärme über das im Rohrregister zirkulierende Heizfluid zugeführt. Es ist nun unmittelbar einsichtig, dass es verfehlt wäre, die wirksame Wärmekapazität als Maß für die in die Decke einspeicherbare Wärmemenge heranzuziehen. Eine Möglichkeit, diese Wärmemenge abzuschätzen, ergibt sich, wenn das Auskühlverhalten der Decke untersucht wird. Abb. 2 zeigt den zeitlichen Verlauf der von der Deckenuntersicht an einen auf 20°C temperierten Raum abgegebenen Wärmemenge, wenn zur Stunde null die Umwälzpumpe abgeschaltet und der Decke somit keine Wärme mehr zugeführt wird.

In Abhängigkeit von der Lage des Rohrregisters in der Decke – ausgedrückt durch die „Betonüberdeckung“ – ergibt sich ein etwas unterschiedliches Auskühlverhalten. Allen drei untersuchten Fällen gemeinsam ist, dass die Auskühlung mit fortschreitender Zeit immer langsamer abläuft. Evident gibt die Deckenuntersicht einen Tag nach dem Ausschalten der Umwälzpumpe noch immer ca. die Hälfte jener Wärmeleistung an den zu temperierenden Raum ab, die bei durchlaufendem Pumpenbetrieb erreicht wurde.

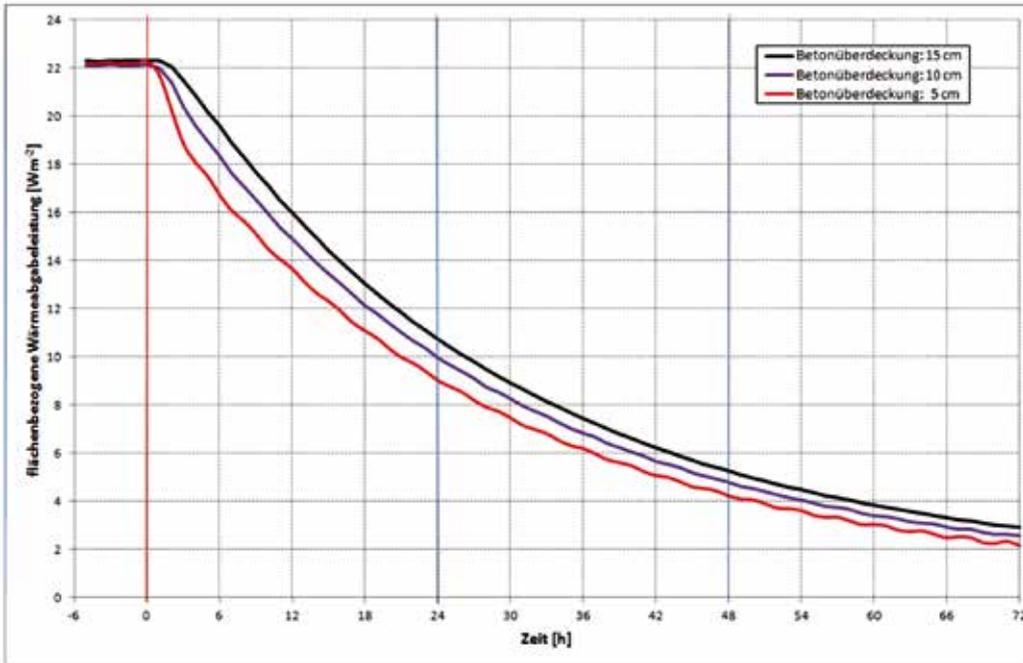


Abb. 2: Flächenbezogene Wärmeabgabeleistung der Deckenuntersicht nach Abschaltung der Umwälzpumpe (Auskühlverhalten)

Im Laufe der Zeit geht die Wärmeabgabeleistung asymptotisch gegen null. Dieses thermische Verhalten ist eine Folge der sehr hohen Wärmespeicherfähigkeit der Stahlbetondecke und zeigt, dass die Wärmeabgabe der Decke auch bei längerer Unterbrechung der Heizmittelzufuhr auf hohem Niveau erhalten bleibt.

Die Frage nach dem flächenbezogenen Wärmespeichervermögen der Stahlbetondecke bei thermischer Aktivierung lässt sich beantworten, wenn die Flächen unter den in Abb. 2 gezeigten Verläufen ermittelt werden, wobei die Zeit natürlich nicht – wie in Abb. 2 – auf 72 Stunden beschränkt wird, sondern auf eine große Anzahl von Tagen ausgedehnt werden muss. Mittels Integration ergeben sich die gespeicherten Wärmemengen zu 633 Whm^{-2} für eine Betonüberdeckung von 5 cm bzw. zu 767 Whm^{-2} bei 15 cm Betonüberdeckung. Die Division dieser flächenbezogenen Wärmemengen durch die Differenz zwischen der Heizmitteltemperatur bei laufender Umwälzpumpe und der Solltemperatur des Raums von 20° C führt für alle drei Registerlagen auf Werte, die knapp über $110 \text{ Whm}^{-2}\text{K}^{-1}$ liegen. Ein Vergleich mit den zuvor berechneten wirksamen Wärmekapazitäten zeigt, dass mittels Bauteilaktivierung die Wärmespeicherfähigkeit des Betons ausgezeichnet ausgenutzt werden kann.

Um Missverständnisse zu vermeiden, sei betont, dass das in Abb. 2 gezeigte Auskühlverhalten der thermisch aktivierten Decke Ergebnis einer bauteilbezogenen Parameterstudie ist. Ein Rückschluss auf das Auskühlverhalten eines Raums oder eines Gebäudes ist daraus unmittelbar nicht ableitbar.

Dennoch lassen sich grobe Hinweise auf die Auswirkung von Heizungsunterbrechungen aus Abb. 2 auf einfache Art ableiten: Die angesetzte flächenbezogene Wärmeabgabeleistung bei laufender Umwälzpumpe von ca. $22,2 \text{ Wm}^{-2}$ ist insofern ein Maximalwert, als die mittlere Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht die mit $25,5^\circ \text{ C}$ angesetzte Obergrenze bei diesem Betriebszustand gerade nicht überschreitet. Bei richtiger Bemessung der Heizflächen bedeutet dies, dass die Solltemperatur des Raums von 22° C unter Auslegungsbedingungen – d. h. bei widrigsten winterlichen außenklimatischen Verhältnissen – aufrechterhalten werden kann. Parameterstudien haben gezeigt, dass bei mittleren außenklimatischen Bedingungen an einem Januar-Tag der Heizwärmebedarf für einen in einem Niedrigenergiehaus gelegenen Raum bei etwa 30 bis 40 % jenes Werts liegt, der unter Auslegungsbedingungen anfällt. Ein Blick auf Abb. 2 zeigt, dass die flächenbezogene Wärmeabgabeleistung erst nach mehr als einem Tag auf 40 % (ca. $8,9 \text{ Wm}^{-2}$) des Maximalwerts abgefallen ist. Dies bedeutet, dass eine Unterbrechung der Heizmittelzufuhr im beheizten Raum bei mittleren außenklimatischen Bedingungen erst nach mehr als einem Tag überhaupt spürbar wird. Mit besser

werdender thermischer Qualität der Gebäudehülle steigt die Länge dieses Zeitintervalls deutlich an. Das Ergebnis dieser Grobabschätzung ist in Übereinstimmung mit Erfahrungen in Passivhäusern mit thermisch aktivierten Decken, wonach eine mehrtägige Unterbrechung der Heizwärmezufuhr kein Problem darstellt.

Zum thermischen Verhalten einer aktivierten Stahlbetondecke

Das Ergebnis der Untersuchung des Auskühlverhaltens einer thermisch aktivierten Decke nach Abb. 2 legt die Frage nahe, inwieweit es möglich ist, die Umwälzpumpe nur während bestimmter Zeiten am Tag zu betreiben und damit die Wärmezufuhr nur unregelmäßig durchzuführen. Als wesentlich erweist sich in diesem Zusammenhang die Frage nach der Oberflächentemperatur an der Deckenuntersicht. Abb. 3 zeigt die berechneten Tagesverläufe der Oberflächentemperatur an der Deckenuntersicht für den Fall, dass die Umwälzpumpe nur im Zeitraum von 22 Uhr bis 6 Uhr früh läuft und untertags ausgeschaltet bleibt. In der Praxis würde dies bedeuten, dass Wärme z. B. über eine allein mit Nachtstrom betriebene Wärmepumpe bereitgestellt wird.

Es zeigt sich, dass die Oberflächentemperatur untertags nur sehr langsam abnimmt und auch am Abend noch deutlich über der Soll-Temperatur des Raums liegt. Detailliertere Berechnungen für einen Modellraum führen zum Ergebnis, dass der Komfort im Raum bei unregelmäßiger Beladung der aktivierten Decke nicht merkbar beeinträchtigt wird.

Neben dem Vorteil der nur sehr niedrigen erforderlichen Heizmitteltemperaturen – diese liegen zumeist in einem Bereich knapp unter 30°C – zeigt sich somit, dass aufgrund der hohen Wärmespeicherfähigkeit der Betondecke auch eine unregelmäßige Wärmezufuhr über das Rohrregister die Wärmeabgabe an den Raum und die Oberflächentemperatur der beheizten Flächen nicht unzulässig zu beeinträchtigen vermag. Damit ist die thermische Bauteilaktivierung von Betondecken für die Nutzung erneuerbarer Energien ausgezeichnet geeignet.

Conclusio

Die durchgeführten zeitabhängigen Berechnungen des thermischen Verhaltens einer aktivierten Betondecke zeigen, dass sich auch bei stark schwankendem Wärmeangebot sowohl die Wärmeabgabeleistung der Deckenuntersicht als auch deren Oberflächentemperatur nur sehr langsam verändern. Dieses Verhalten wird von der hohen Wärmespeicherfähigkeit des Betons verursacht und prädestiniert die thermische Aktivierung von Betondecken für die Nutzung erneuerbarer Energien.

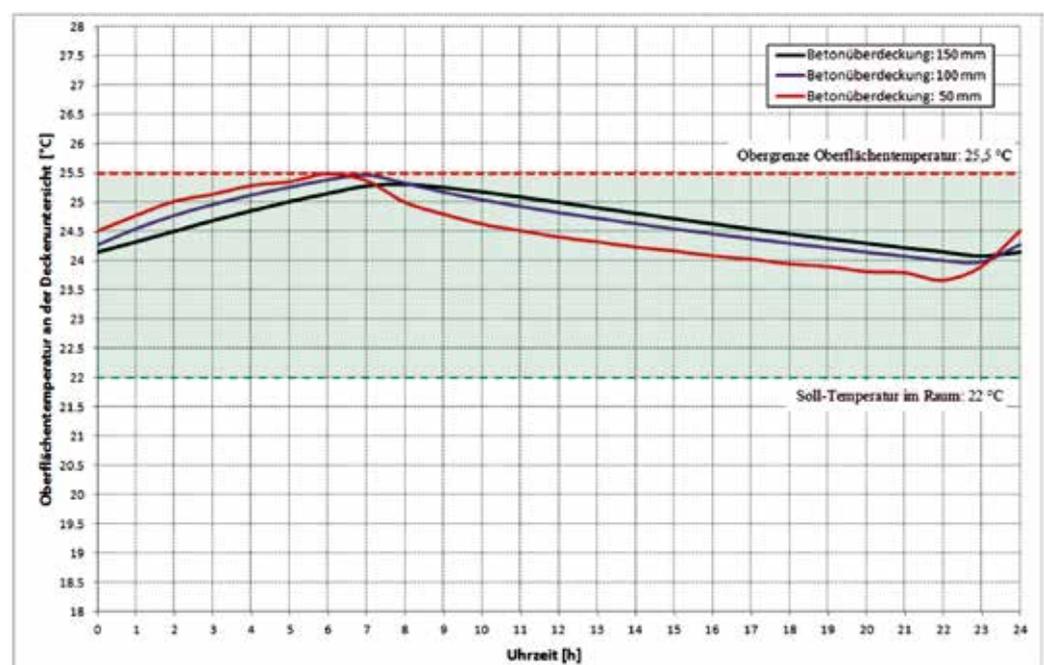


Abb. 3: Berechnete Tagesverläufe der Oberflächentemperatur der Deckenuntersicht bei einem Betrieb der Umwälzpumpe von 22 Uhr bis 6 Uhr

AUTOR

ao. Univ.-Prof. i. R. DI
Dr. techn. Klaus Kreč
Arbeitsgruppe Nachhaltiges Bauen des
Instituts für Architektur und Entwerfen
der Technischen Universität Wien

www.krec.at