

Aktive Speichermassenbewirtschaftung von Bauteilen aus Beton

Text | DI Dr. Peter Holzer, IPJ Ingenieurbüro P.Jung GmbH

Bilder | © Zement + Beton, Rehau

Grafik | © IPJ Ingenieurbüro P.Jung GmbH

Der vorliegende Beitrag beinhaltet eine systematische Aufbereitung ausgewählter thermodynamischer Grundlagen der thermischen Speichermassenbewirtschaftung von Bauteilen aus Beton.

Diskutiert und anschaulich dargestellt werden die relevanten thermodynamischen Eigenschaften des Materials an sich sowie die Potenziale zweier exemplarischer Systeme, erstens der kernaktivierten Kühldecke und zweitens der Speichermassenbewirtschaftung durch sommerliche Nachtlüftung. Zuletzt wird ein Ausblick gegeben auf gegenwärtige und geplante Forschungsvorhaben im gegenständlichen Themenfeld.

Thermodynamische Grundlagen

Beton eignet sich wie kein zweites gängiges Baumaterial zur aktiven und passiven thermischen Aktivierung. Zwei Eigenschaften sind dafür ausschlaggebend:

- Erstens verfügt Beton mit 1,8 W/mK über eine außerordentlich hohe Wärmeleitfähigkeit.
- Zweitens verfügt Beton über sein bekannt hohes spezifisches Gewicht von 2.400 kg/m³, das in Verbindung mit der für anorganische Baustoffe typischen Wärmekapazität von 1,0 kJ/kgK für eine hohe volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit sorgt.

Die Verbindung beider Eigenschaften begründet eine exzellente Eignung von Betonbauteilen zur thermischen Bewirt-

schaftung, sowohl indirekt über konvektiven und radiativen Wärmefluss über die Bauteiloberfläche als auch direkt über Wärmez- oder -abfuhr im Mittelbereich der Dickenausdehnung, meist durch wasserführende Systeme.

In der folgenden Tabelle 1 sind die erwähnten thermodynamischen Kenngrößen vergleichend für Stahlbeton sowie für die Baumaterialien porosierter Ziegel, Weichholz und Gipskarton dargestellt.

In der Tabelle 1 zu beachten sind insbesondere die gegenüber den anderen drei Baustoffen um zumindest einen Faktor 9 größere Wärmeleitfähigkeit von Beton sowie die um zumindest einen Faktor 2 größere flächenbezogene wirksame Wärmekapazität sowie die um zumindest einen Faktor 3 größere volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit.

Tabelle 1: Thermodynamische Kennwerte exemplarischer Baustoffe

				> 28 cm Beton	> 18 cm Ziegel	> 10 cm Holz	2,5 cm GKP
Wärmeleitfähigkeit	λ	W/mK		1,8	0,2	0,1	0,2
Wärmespeicherkapazität	c_p	kJ/kgK		1,0	1,0	2,5	1,1
spezifisches Gewicht	ρ	10 ³ kg/m ³		2,4	0,8	0,5	0,9
Temperaturleitfähigkeit	a	10 ⁻⁶ m ² /s	$a = \lambda/\rho \cdot c_p$	0,8	0,3	0,1	0,2
dynamische Eindringtiefe für T = 24h	δ	m	$\delta = T \cdot a/\pi$	0,14	0,09	0,05	0,08
flächenbez. wirksame Wärmekapazität	χ	Wh (m ² K)	lt EN ISO 13786 A.2.3.	27	13	12	1
volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit	C	Wh (m ³ K)	$C = \rho \cdot c_p$	667	222	347	263

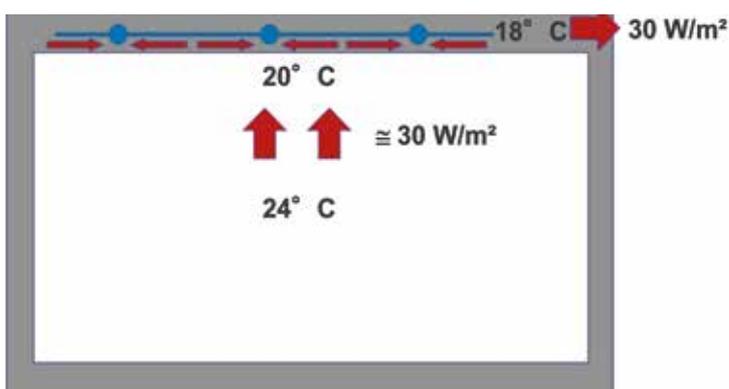
Hinzuweisen ist darauf, dass es sich bei der flächenbezogenen wirksamen Wärmekapazität um die Speicherfähigkeit für eine 24-h-Periode handelt bezogen auf eine sinusförmige Tageschwankung der Raumtemperatur, während die volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit die absolute, auf die mittlere Temperaturveränderung des Bauteils selbst bezogene Speicherfähigkeit abbildet.

Exemplarische Anwendung: kernaktivierte Kühldecke

Die kernaktivierte Decke aus Beton ist, insbesondere für Kühlzwecke, ein im Bürobau mittlerweile gängiges und bewährtes Element der Raumkonditionierung. In diesem gebäudetechnischen System werden die beiden eingangs beschriebenen Eigenschaften des Betons (hohe Wärmeleitfähigkeit und hohe volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit) gezielt genutzt und in ein ebenso einfaches wie wirkungsvolles Element der geräusch- und zugfreien Raumkonditionierung integriert:

- Es ist die hohe Wärmeleitfähigkeit von Beton, die es ermöglicht, mit der Verlegung wasserführender Rohre im Abstand von 20 cm und mehr eine wirksame Querverteilung der Wärmeströme zu den wasserführenden Rohren sicherzustellen und auf ein eigenes Element der horizontalen Wärmeverteilung verzichten zu können, wie es bei den meisten anderen Deckenkühlsystemen erforderlich ist. Die Abbildung 1 veranschaulicht in einer Symbolskizze diese Eigenschaft.
- Bei den angegebenen typischen Temperaturniveaus wird demnach eine Wärmelast in der Größenordnung von 30 Watt pro Quadratmeter aktivierter Deckenfläche aufgenommen und vom wasserführenden System abtransportiert.
- Kommt es im Raum zu erhöhten Wärmelasten und daraus folgend zur Temperaturerhöhung auf z. B. 27 °C Raumtemperatur, steigt auch die abgeführte Wärmeleistung auf typische 50 W/m².

Abbildung 1: Thermodynamisches Funktionsschema der kernaktivierten Kühldecke

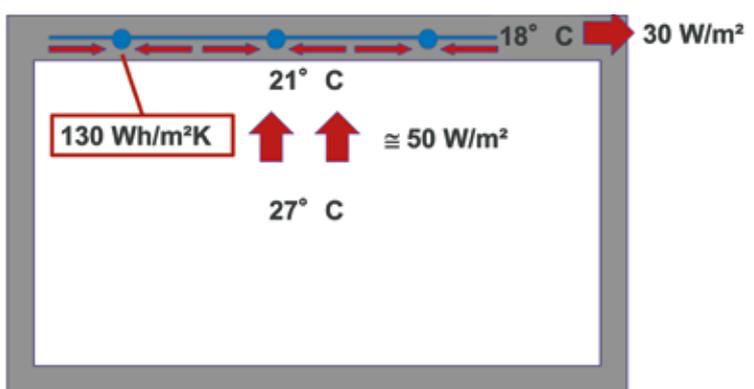


Bauteilaktivierte Firmenzentrale Zementwerk Kirchberg
©: TOM Projektdesign GmbH, Hofmeister Generalunternehmer GmbH & Co. KG

- Jedes andere Deckenkühlsystem müsste auf eine solche Änderung des Betriebspunktes unmittelbar regelungstechnisch reagieren und mit einer Senkung der Kaltwasser-Vorlauftemperatur oder mit einer Erhöhung des Massendurchsatzes eine Abfuhr der erhöhten Wärmelast sicherstellen.
- Der Betonkernaktivierung kommt aber die Wärmespeicherfähigkeit zugute. Unter der Annahme einer thermisch wirksam bewirtschafteten Schichtdicke von 20 cm beinhaltet der Bauteil eine Wärmespeicherfähigkeit von ca. 130 Wh pro m² aktivierter Fläche. Mit nur einer mittleren Temperaturerhöhung kann also die Mehrleistung von 20 W/m² über sechs Stunden lang aufgenommen werden, ohne zu Spitzenlastzeiten die Wärmeabfuhr in das wasserführende System erhöhen zu müssen. Die Abbildung 2 veranschaulicht diesen Effekt.

Zusammenfassend ist die anerkannt hohe Funktionalität der kernaktivierten Kühldecke aus Betonbauteilen demnach begründet erstens in der ausgezeichneten Querverteilung der Wärmeströme aufgrund der hohen Wärmeleitfähigkeit sowie zweitens in der guten Spitzenlastabfederung aufgrund der hohen thermischen Speicherkapazität des Materials.

Abbildung 2: Thermodynamisches Funktionsschema der Spitzenlastpufferung der kernaktivierten Kühldecke



Exemplarische Anwendung: sommerliche Nachtlüftung

Eine weitere, gegenüber der kernaktivierten Decke sogar noch weitaus erprobtere Technologie zur Ausnutzung massiver Bauteile zur sommerlichen Raumkonditionierung ist die Nachtlüftung. Dieses traditionelle Element ist in der Architektur aller Klimazonen mit sommerlichem Kühlbedarf bekannt, in denen im Sommer ein nennenswerter Tagesgang der Außentemperatur vorliegt.

Thermodynamisch kann der Prozess der Raumentwärmung durch Nachtlüftung in vier Teilprozesse zerlegt werden:

1. Ladung durch konvektiven und radiativen Wärmetransport in den Bauteil
2. Speicherung im Bauteil
3. Entladung durch konvektiven Wärmetransport aus dem Bauteil
4. Wärmeabfuhr durch Außenluftwechsel

Die Abbildung 3 veranschaulicht diese vier Teilprozesse.

Werden realistische Randbedingungen für Temperaturniveaus, Wärmeübergangskoeffizienten, Wärmespeichereigenschaften und Luftwechsel zugrunde gelegt, ergibt sich für das Gesamtsystem das nachfolgend skizzierte Zusammenwirken der Teilprozesse.

Die Abbildung 4 veranschaulicht einige wichtige Randbedingungen für erfolgreich umgesetzte Nachtlüftungskonzepte:

- Dem Raum selbst muss ein nennenswerter Tagesgang seiner Luft- bzw. Raumtemperatur zugestanden werden, wie er in obigem Funktionsschema mit Raumtemperaturen bis 27 °C abgebildet ist.

- Selbst bei Mischbauweise oder bei Berücksichtigung diverser Wärmedurchgangswiderstände durch raumseitige Bauteilschichten steht eine adäquate Wärmespeicherkapazität von z. B. 70 Wh/m² der umschließenden Bauteile zur Verfügung.
- Für eine wirksame nächtliche Wärmeabfuhr muss für niedrige Raumtemperaturen gesorgt werden, jedenfalls unter 21–23 °C.
- Als das Nadelöhr im System stellt sich der vierte Teilprozess, die Wärmeabfuhr durch den Außenluftwechsel, heraus. Unter realistischen Annahmen zum Raumvolumen und zum daraus resultierenden Verhältnis der aktivierten Flächen zum Raumvolumen ergibt sich die Notwendigkeit von Außenluftwechseln in der Größenordnung von 10 h.

Für die praktische Ausführung hat die passive Speichermassenbewirtschaftung durch Nachtlüftung als kostengünstiges und unschlagbar langlebiges und robustes System nach wie vor ein hohes Potenzial, allerdings nur dann, wenn folgende Randbedingungen hergestellt werden:

- Hoher, durchaus 10-facher (!) Außenluftwechsel
- Funktionalität in Bezug auf Bedienkomfort, Intimität, Einbruchschutz, Witterungsschutz, Lärmschutz, Staubimmissionsschutz

Mit der neuen ÖNORM B 8110-3 (2012) steht in Österreich ein aktuelles Planungshilfsmittel für Planung und Nachweis des thermischen Sommerverhaltens von Räumen ohne technische Kälte zur Verfügung, in dem auch die Nachtlüftung über geöffnete Fenster sowie auch Beiträge mechanischer Lüftung berücksichtigt werden können.

Abbildung 3: Thermodynamische Teilprozesse der Raumentwärmung durch Nachtlüftung

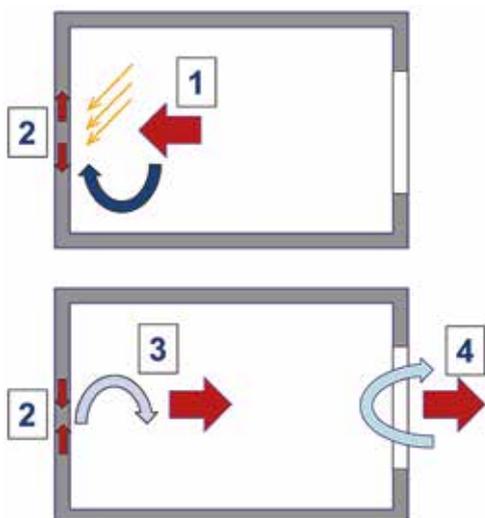
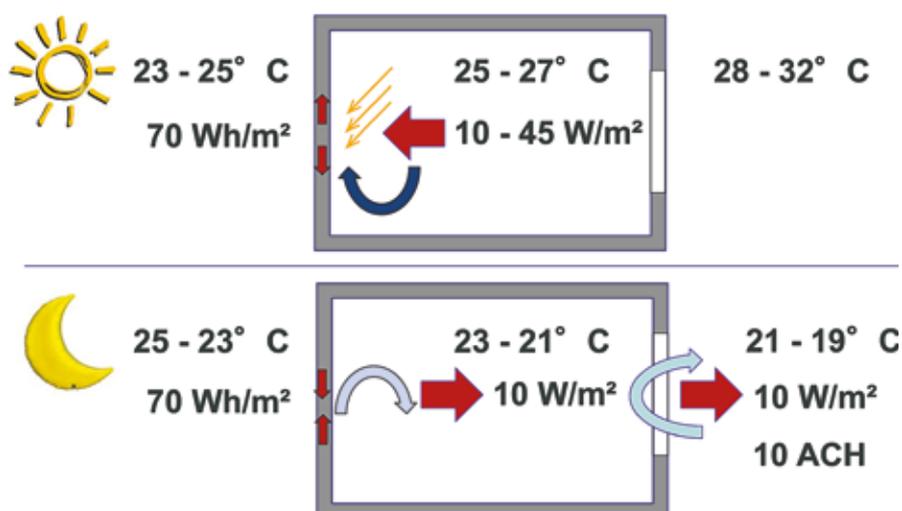


Abbildung 4: Thermodynamischer Gesamtprozess der Raumentwärmung durch Nachtlüftung



Ausblick: Zeitliche und örtliche Lastverschiebung durch aktive Speichermassenbewirtschaftung

Aktuelle Forschungsaktivitäten zielen auf die Entwicklung gebäudetechnischer Systeme zur zeitlichen und örtlichen Lastverschiebung mittels aktiver Speichermassenbewirtschaftung. Infrage kommen Kombinationen aus den folgend genannten Funktionen, wie sie auch in der Abbildung 5 schematisch veranschaulicht sind:

- Sommer: örtliche Verschiebung von Wärmelasten aus thermisch belasteten Gebäudebereichen in solche mit verfügbaren Speichermassen
- Winter: örtliche Verschiebung von Wärmeströmen aus Gebäudebereichen mit Wärmegewinnen in solche mit Wärmebedarf
- Kurzzeitspeicherung von Wärmegewinnen/Wärmelasten in aktivierter Speichermasse mit Bewirtschaftung im „Pendelbetrieb“
- thermische Ankopplung von erdberührten Bauteilen

Offene Fragen bestehen dabei insbesondere in der regelungstechnischen Sicherstellung eines effizienten und dennoch robusten Betriebszustandes und auch in der Festlegung geeigneter Temperaturniveaus dieser Systeme, mit der speziellen Frage, ob grundsätzlich ein Pendelbetrieb ohne technische Wärme- und Kälteerzeugung machbar erscheint oder ob grundsätzlich eine Wärmepumpe bzw. eine Kältemaschine zwischenschalten sein wird.

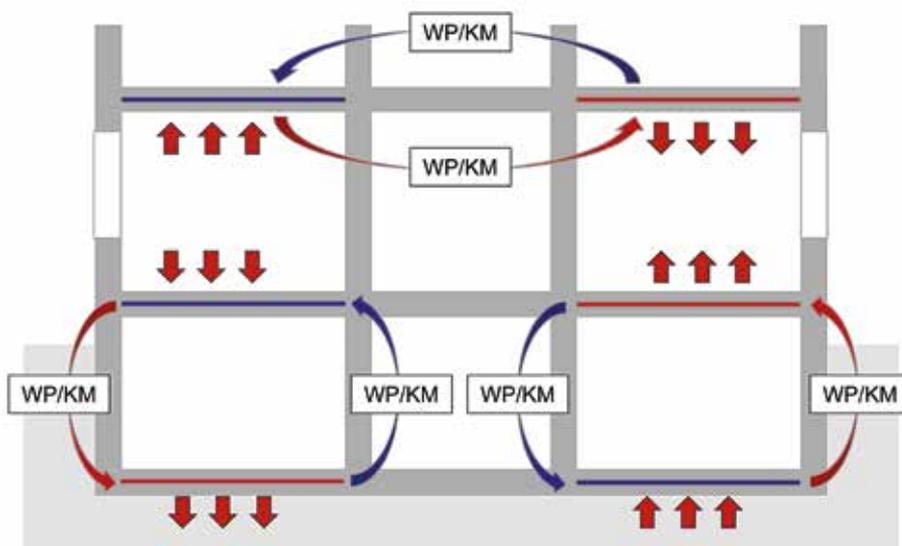
Gegenwärtig sind dem Autor folgende konkrete Forschungsvorhaben zum Themenfeld der Untersuchung und Weiterentwicklung der thermischen Bewirtschaftung von Bauteilen aus Beton bekannt, teils mit eigener Beteiligung:



©: Rehau

1. 2011–2013: Bauakademie Salzburg, ARGE „Salzburger Netzwerk für Nachhaltige Bauteilaktivierung“, TU Wien, VÖZ. Experimentelle Messungen an freistehendem, thermisch aktiviertem Betonkubus
2. 2011–2014: Donau-Universität Krems, Austrian Institut of Technology, MABA, Trepka, Oberndorfer, VÖB. Experimentelle Messungen an zwei thermisch aktivierten Betonkellern
3. In Vorbereitung für 2013–2015: International Energy Agency. Annex 62 „Ventilative Cooling“ zum IEA Task 40 – ECBCS.

Abbildung 5: Funktionsschema der Lastverschiebung durch aktive Speichermassenbewirtschaftung



Aktuelle Forschungsaktivitäten zielen auf die Entwicklung gebäudetechnischer Systeme zur zeitlichen und örtlichen Lastverschiebung mittels aktiver Speichermassenbewirtschaftung.

Autor:

DI Dr. Peter Holzer

www.jung-ingenieure.at