

## Heizen und Kühlen mit Beton – Potenziale eines Baustoffs

### Kurzfassung

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 Potentiale zweier exemplarischer Systeme, erstens der kernaktivierten Kühldecke und zweitens der Speichermassenbewirtschaftung durch sommerliche Nachtlüftung.

### 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/m<sup>3</sup>, das in Verbindung mit der für anorganische Baustoffe typischen Wärmespeicherkapazität von 1,0 kJ/kgK für eine hohe volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit sorgen.

Die Verbindung beider Eigenschaften begründet eine exzellente Eignung von Betonbauteilen zur thermischen Bewirtschaftung, sowohl indirekt über konvektiven und radiativen Wärmefluss über die Bauteiloberfläche, als auch direkt über Wärmezu- oder -abfuhr im Mittelbereich der Dickenausdehnung, meist durch wasserführende Systeme.

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

				>28cm Beton	>18cm Ziegel	>10cm Holz	2,5cm GKP
Wärmeleitfähigkeit	$\lambda$	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	$\rho$	10 <sup>3</sup> kg/m <sup>3</sup>		2,4	0,8	0,5	0,9
Temperaturleitfähigkeit	$a$	10 <sup>-6</sup> m <sup>2</sup> /s	$a = \lambda / (\rho \cdot c_p)$	0,8	0,3	0,1	0,2
dynamische Eindringtiefe für T=24h	$\delta$	m	$\delta = T \cdot a / \pi$	0,14	0,09	0,05	0,08
flächenbez. wirksame Wärmekapazität	$\chi'$	Wh/(m <sup>2</sup> K)	It EN ISO 13786 A.2.3.	27	13	12	1
volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit	$C$	Wh/(m <sup>3</sup> K)	$C = \rho \cdot c_p$	667	222	347	263

**Tabelle: Thermodynamische Kennwerte exemplarischer Baustoffe**

In der obigen Tabelle 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 zwei größere flächenbezogene wirksame Wärmekapazität sowie die um zumindest einen Faktor drei größere volumsbezogene Wärmespeicherfähigkeit.

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

## Exemplarische Anwendung 1: 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 folgende Abbildung veranschaulicht in einer Symbolskizze diese Eigenschaft.

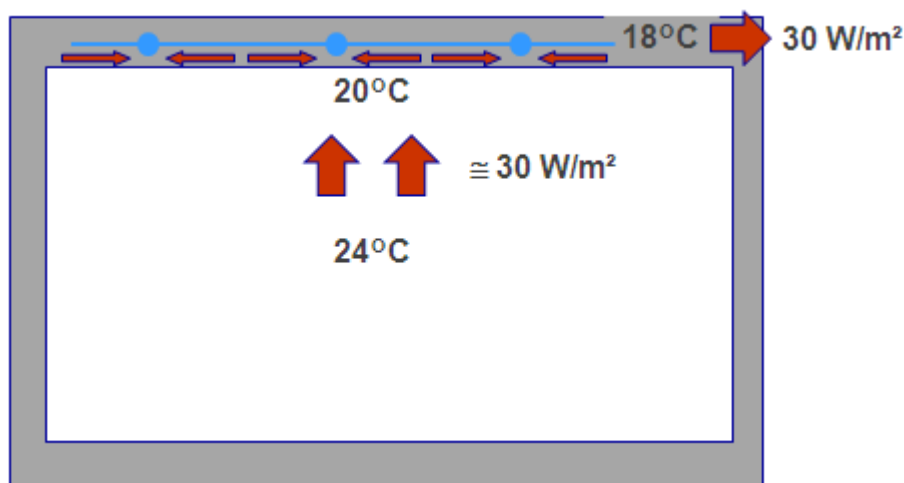


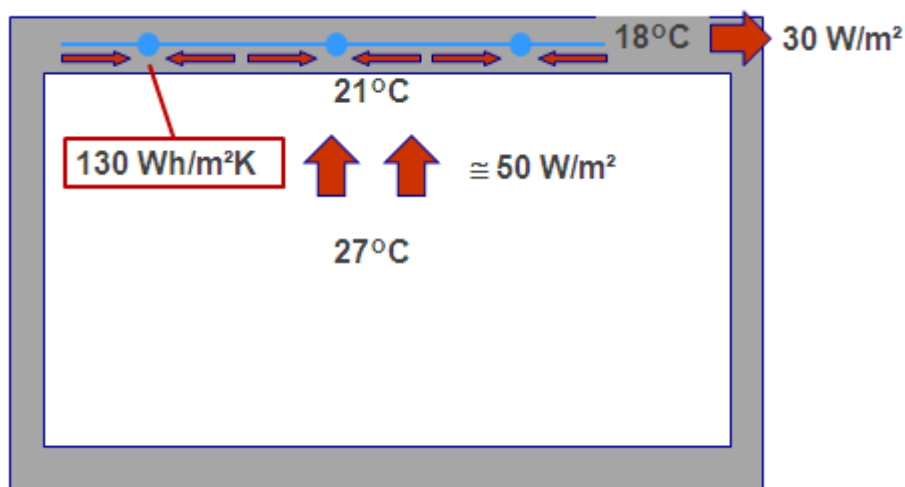
Abbildung 1: Thermodynamisches Funktionsschema der kernaktivierten Kühldecke

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 typischerweise 50 W/m<sup>2</sup>.

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 m<sup>2</sup> aktivierter Fläche. Mit nur einer mittleren Temperaturerhöhung kann also die Mehrleistung von 20 W/m<sup>2</sup> über sechs Stunden lang aufgenommen werden, ohne zu Spitzenlastzeiten die Wärmeabfuhr in das wasserführende System erhöhen zu müssen. Die folgende Abbildung veranschaulicht diesen Effekt.



**Abbildung 2: Thermodynamisches Funktionsschema der Spitzenlastpufferung der kernaktivierten Kühldecke**

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.

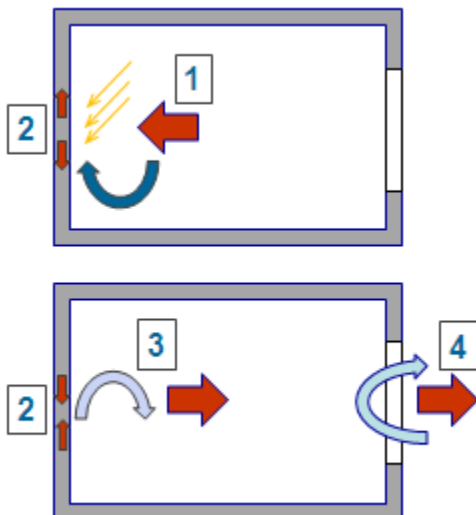
## Exemplarische Anwendung 2: Sommerliche Nachtlüftung

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:

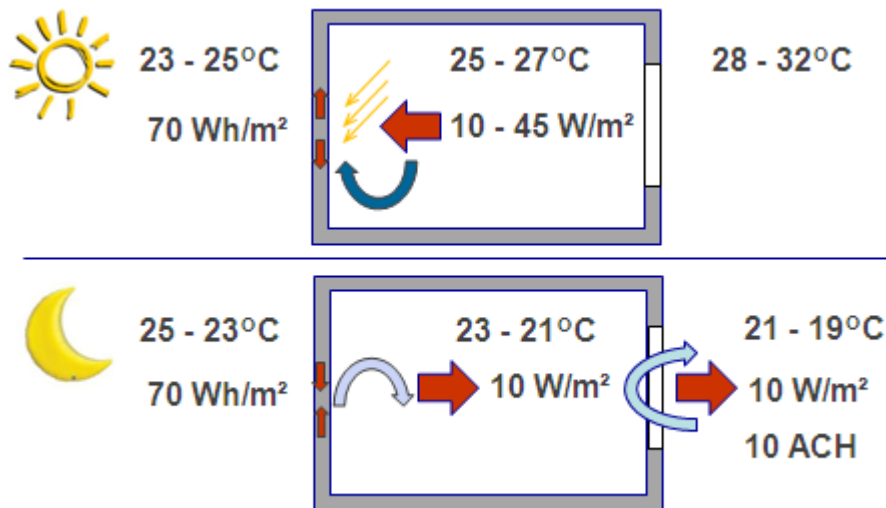
1. Ladung durch konvektiven u. radiativen Wärmetransport in den Bauteil
2. Speicherung im Bauteil
3. Entladung durch konvektiven Wärmetransport aus dem Bauteil
4. Wärmeabfuhr durch Außenluftwechsel

Die folgende Abbildung veranschaulicht diese vier Teilprozesse.



**Abbildung 3: Thermodynamische Teilprozesse der Raumentwärmung durch Nachtlüftung**

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



**Abbildung 4: Thermodynamischer Gesamtprozess der Raumentwärmung durch Nachtlüftung**

Die vorstehende Abbildung 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  $27^{\circ}\text{C}$  abgebildet ist.
- Selbst bei Mischbauweise oder bei Berücksichtigung diverser Wärmedurchgangswiderstände durch raumseitige Bauteilschichten steht eine adäquate Wärmespeicherkapazität von z.B.  $70 \text{ Wh/m}^2$  der umschließenden Bauteile zur Verfügung.
- Für eine wirksame nächtliche Wärmeabfuhr muss für niedrige Raumtemperaturen gesorgt werden, jedenfalls unter  $21 - 23^{\circ}\text{C}$ .
- 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 eines Luftaustausches in der Größenordnung von 10 Luftwechseln pro Stunde.

Für die praktische Ausführung hat die passive Speichermassenbewirtschaftung durch Nachtlüftung als kostengünstiges und unschlagbar langlebiges und robustes System nach wie vor ein hohes Potential, 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.