

# Nutzen des Speichervermögens von Betonbauteilen für die wirtschaftliche Klimatisierung von Gebäuden

## Teil 1a: Vorteile und Möglichkeiten der Energiespeicherung

### EINLEITUNG / ZUSAMMENFASSUNG

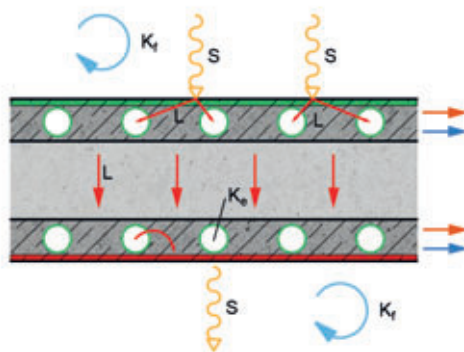
Die Energiewende wird nur dann erfolgreich sein, wenn es auch gelingt, die aus den verschiedenen Quellen frei zur Verfügung stehende erneuerbare Energie einzusammeln, zu speichern und bedarfsgerecht abzurufen. Da im Bereich der Wohn- und Nichtwohngebäude der größte Anteil der Energie verbraucht wird, muss dort primär nach Lösungen gesucht werden. Ein nicht unerhebliches Potential für dieses Vorgehen liegt in der Verwendung des Baustoffs Beton, der wie kein anderes Material neben seinen tragenden Eigenschaften weitere Aufgaben übernehmen kann. Dazu gehört auch die Speicherfähigkeit von Wärmeenergie.

Um die vielfältigen Anwendungen aufzuzeigen, wird in verschiedenen zukünftigen Beiträgen über die Eigenschaften von Systemen in Verbindung mit dem

Baustoff Beton berichtet, die einen wichtigen Beitrag zur energetischen Gebäudeoptimierung leisten.

Den Auftakt der Artikelserie bildet eine Übersicht über die derzeitig bereits eingesetzten Varianten zur Einsammlung und Speicherung von Wärmeenergie. Nachfolgend wird dann über die bekannten Systeme, wie beispielsweise die Bauteilaktivierung, deren Verbesserung sowie über Modifikationen und abschließend über ein neues System berichtet. Bei diesen Betrachtungen geht es darum, die verschiedenen Funktionen klar zu erkennen, um diese nutzbringend und wirtschaftlich einzusetzen.

Es geht darum, Wärmeenergie in Verbindung mit dem Baustoff Beton einzusammeln, zu speichern und wieder abzugeben. Dazu ist es von Vorteil, sich über die verschiedenen Wärmeübertragungsarten in Verbindung mit dem jeweiligen System in Kenntnis zu setzen.



- = Energie abgeben
- = Energie sammeln
- = Energie speichern
- $K_e$  = erzwungene Konvektion
- $K_f$  = freie Konvektion
- S = Wärmestrahlung
- L = Wärmeleitung

*Zusammenhänge zwischen den Vorgängen von Energie einsammeln, speichern und verteilen*

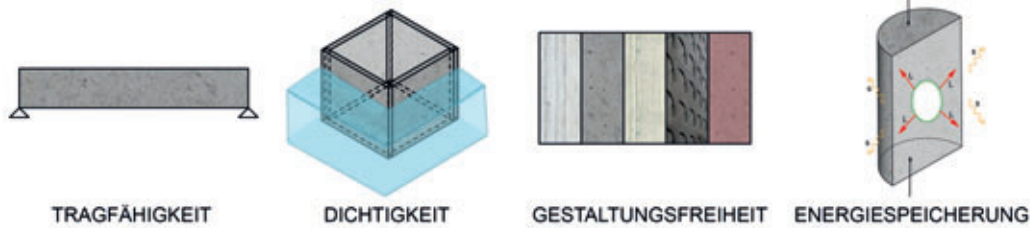
Die Raumheizung beziehungsweise -kühlung nutzt die Wärmeübertragungsarten wie die erzwungene beziehungsweise die freie Konvektion, die Wärmestrahlung und die Wärmeleitung [1]. Die nachfolgenden Ausführungen, die im Detail die einzelnen Bauteile darstellen und deren Vorteile aufzeigen basieren auf einer Vorlesung an der TU Kaiserslautern im Fachgebiet Bauphysik über Energetische Gebäudeoptimierung [2].

### ERWEITERUNG DER EIGENSCHAFTEN DES WERKSTOFFS BETON

Die Eigenschaften des Baustoffs Beton sind vielfältig und noch immer nicht vollständig und wirtschaftlich genutzt. Seine ausgezeichneten Festigkeitseigenschaften in Verbindung mit Stahleinlagen ermöglichen schlanke, tragende Konstruktionen. Hohe Betondruckfestigkeiten und vorgespannte Stahleinlagen lassen noch schlankere Bauwerke entstehen.

Das sehr dichte Gefüge von Beton ermöglicht, flüssigkeitsdichte Bauteile herzustellen. Kellergeschosse und Behälter können ohne zusätzliche Abdichtung Flüssigkeiten fernhalten. Auch für wassergefährdende Stoffe wie Chemikalien bietet der Werkstoff Beton eine dichte Barriere.

## BETON + EIGENSCHAFTEN



Die vielfältigen Eigenschaften des Werkstoffs Beton

Dank seiner anfänglich flüssigen Konsistenz lässt sich nahezu jede Geometrie ermöglichen und bietet damit eine ungeahnte Formenvielfalt. Die Ausbildung beliebiger Oberflächenstrukturen ergänzt die architektonischen Gestaltungsmöglichkeiten mit dem Werkstoff Beton.

Und schlussendlich weist der Betonbaustoff eine hohe thermische Speicherfähigkeit auf, die derzeit noch nicht vollständig ausgenutzt wird. Die Übersicht vermittelt viele unterschiedliche Eigenschaften, die einzeln oder aber auch in Kombination untereinander genutzt werden. Idealerweise lassen sich die verschiedenen Qualitäten miteinander verbinden, um daraus multifunktionale Betonbauteile [3] herzustellen. Es ist jedoch zwingend erforderlich, sich über die gesamte Palette von Möglichkeiten einen Überblick zu verschaffen, um den Werkstoff Beton nutzbringend zu verwenden und damit entsprechende Bauteile zu schaffen.

Im folgenden wird über die Möglichkeiten der Speicherfähigkeit von Beton berichtet, um seine exzellenten Eigenschaften im Zeitalter der Energiewende optimal einzusetzen. In diesem Zusammenhang müssen die einzelnen Eigenschaften wie die Energieaufnahme, die eigentliche Speicherung und schlussendlich die Verteilung bzw. die Abgabe der Energie betrachtet werden.

## WARUM BENÖTIGEN WIR ÜBERHAUPT EINE ENERGIESPEICHERUNG?

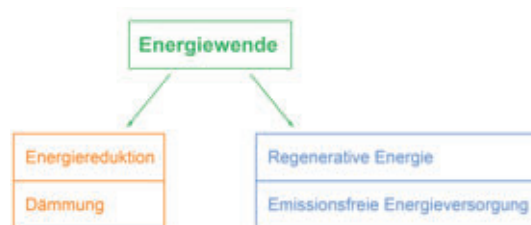
Der Mensch ist das einzige Lebewesen, welches sich nicht selbst direkt gegen Wärme beziehungsweise Kälte schützen kann [4]. So können andere Lebewesen entweder durch ihr Fell, die Haut oder sonstige Einrichtungen direkt den Schutz erzeugen, der gegenüber warmer und kalter Wärmeenergie erforderlich ist. Der Mensch benötigt die Behausung, in der dann das entsprechende Raumklima erzeugt wird und er sich darin wohlfühlt. Unabhängig von den äußeren klimatischen Bedingungen sind die Gebäude so ausgestattet, dass eine für den Menschen nahezu gleichbleibende Temperatur vorhanden ist. Durch die unterschiedlichen Temperaturniveaus zwischen Innen- und Außenraum, braucht die Behausung eine dämmende Hülle, um die

Transmissionsverluste in beide Richtungen so gering wie nötig zu halten. Das Schließen dieser Schwachstelle in der Hülle ist auch das Hauptanliegen der Energieeinsparverordnung, was mittlerweile zu überproportionalen dicken Dämmschichten geführt hat.



Heutige Gebäude mit entsprechend dicker Dämmung

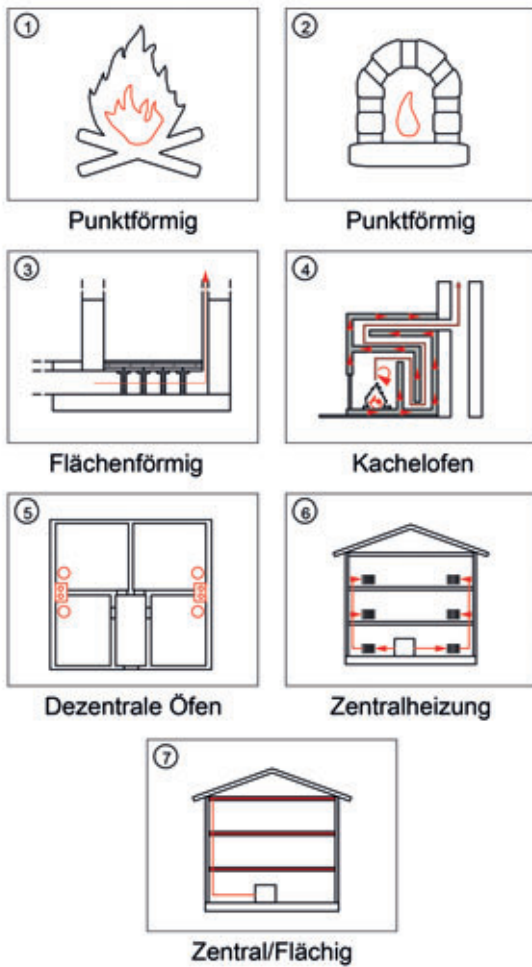
Erst langsam wird diese Entwicklung sichtbar und die Zweifel an den alleinigen Dämmmaßnahmen offenkundig. Denn die von der Bundesregierung propagierten Ziele der Energiewende lassen sich nur dann umsetzen, wenn neben der Energiereduktion auch regenerative Energiemöglichkeiten berücksichtigt werden.



Energiewende besteht aus Mehr als nur der Dämmung

Diese alternativen Energieformen, wie beispielsweise Sonne, Wind und Erdwärme stehen uns reichlich und nahezu kostenfrei zur Verfügung. Deren optimale Nutzung bedingt jedoch eine kurz- bis mittelfristige Speicherung der Energie, da Angebot und Verbrauch zeitlich nicht deckungsgleich sind.

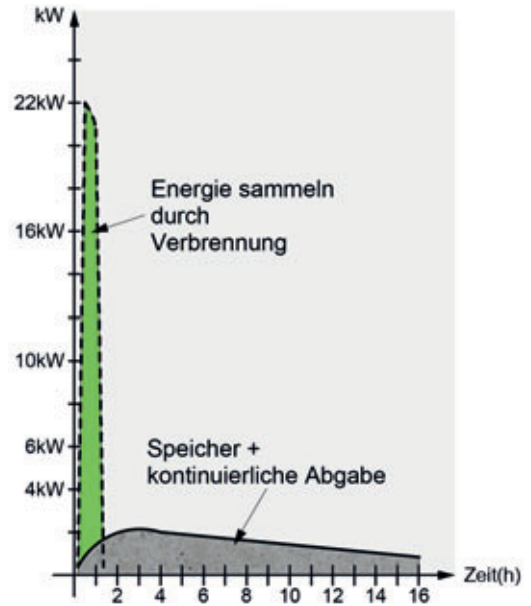
## BISHERIGE TECHNIKEN FÜR DIE WÄRMESPEICHERUNG



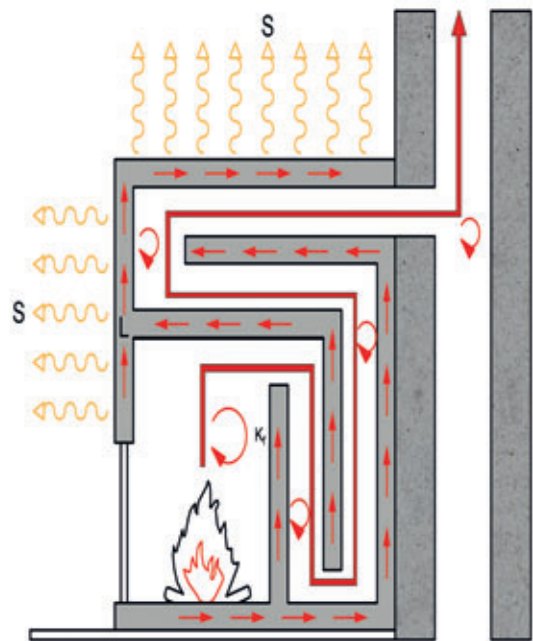
Übersicht über die Entwicklung der Heizungsoptionen

Eigentlich ist dieses Vorgehen nicht ganz neu, denn bereits in den Anfängen der Gebäudeheizung und noch bis in die jüngere Vergangenheit mussten Wege gesucht werden, die kurzfristig sehr hohe Verbrennungsenergie durch den Abbrand von Holz zu speichern und über einen längeren Zeitabschnitt dem Nutzer zur Verfügung zu stellen. Denn das offene Feuer und der Abbrand erzeugen kurzfristig eine große Hitze, die in diesem Augenblick und in nächster Nähe regelrecht ungemütlich wirkt, und vor deren Intensität der Mensch sich eher schützen muss.

Auch hier passen Angebot und Verbrauch der Energie zeitlich nicht zusammen. Die punktuelle Überhitzung durch den Abbrand in der Feuerstelle muss durch Konvektion im Brennraum und den langen Wegen im Abgaskamin an eine speichernde Masse abgegeben werden. So funktioniert der Kachelofen, indem die kurzzeitig große Wärmeenergiemenge von der festen Masse der Kacheln bzw. den Schamottesteinen aufgenommen wird und über einen längeren Zeitraum an den Raum abgegeben wird.



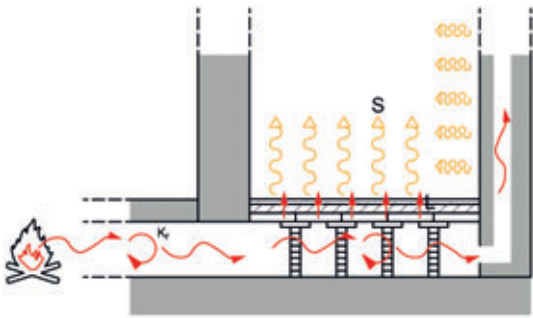
Kurzfristig große Energie beim Verbrennen bedarf der Speicherung für eine langfristige gleichmäßige Nutzung



Der Kachelofen nutzt die Speichermöglichkeiten, um die Wärmeenergie gleichmäßig über Strahlung an den Raum abzugeben.

Die Energieübertragung von dem Speicher der festen Masse an den Raum erfolgt über Strahlung, was sich auf das Temperaturempfinden sehr angenehm auswirkt. Denn die Wärmeübertragung über Strahlung wird von den Menschen gegenüber der Übertragung durch Konvektion als sehr angenehm empfunden. So spricht man auch heute noch von dem Kachelofeneffekt, wenn die Vorzüge der Klimatisierung mit der Strahlungswärme erklärt werden.

Den Vorläufer des Kachelofens mit seinem Prinzip der Wärmeübertragung haben bereits die Römer mit der Hypokaustenheizung gebaut. Auch hierbei geht es darum, die schnell abbrennenden Holzscheite und die damit zur Verfügung gestellte kurzfristige Energiespitze einzulagern und zeitlich verzögert und gleichmäßig an den Raum abzugeben.



Römische Heizanlagen: Hypokausten mit warmen Böden und Wänden

Die Übertragung der Energie an den Raum erfolgt auch hier mittels Strahlung über die großen Flächen wie Boden und Wand. Die erwärmten Oberflächen erzeugen für den Benutzer ein ausgesprochen angenehmes Empfinden.

Bei den früheren Heizsystemen in den Gebäuden geht es um die Speicherung der kurzfristig hohen Energiemengen, die durch den schnellen Abbrand entstehen. Sowie deren anschließende gleichmäßige Bereitstellung über einen längeren Zeitraum. Die heutige Wärmeenergie aus Sonne oder Erdwärme hat eine andere Ent-

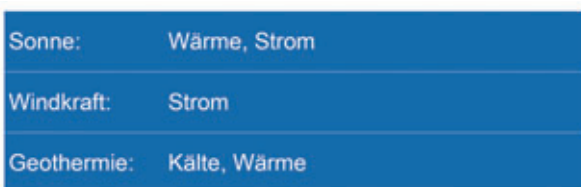
stehung, aber das Angebot muss der zeitlich versetzten Abnahme durch Speicherung ebenfalls angepasst werden. Obwohl die Energiequelle eine andere ist, brauchen wir wie bisher die Speicherung, um ein gleichmäßiges Raumklima zu erzeugen.

## ANPASSUNG DES WÄRMEENERGIE-ANGEBOTS AN DEN VERBRAUCH MITTELS SPEICHERUNG

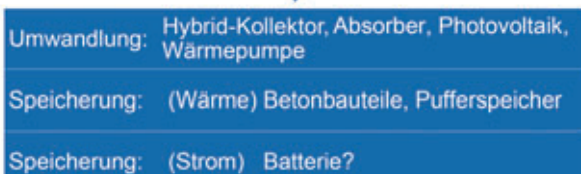
Während wir bei der Wärmeerzeugung mit den Feuerstellen bei der alten Technik der Römer und der Kachelöfen eine Anleihe nehmen können, weist uns die Natur bei der Nutzung der Sonnenenergie einen möglichen Weg. Es gilt die Wärmestrahlung einzufangen, zu speichern und zeitlich versetzt wieder abzugeben. Dieser Vorgang kann in den Weinberglagen und deren Schieferböden nachvollzogen werden.



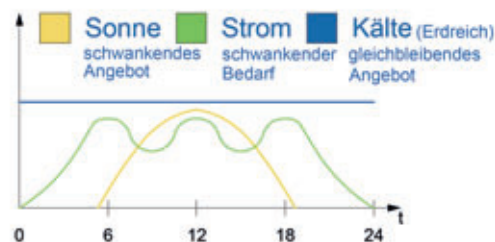
Steile Weinbergschänge mit lockerem Schieferboden



Erneuerbare Energie



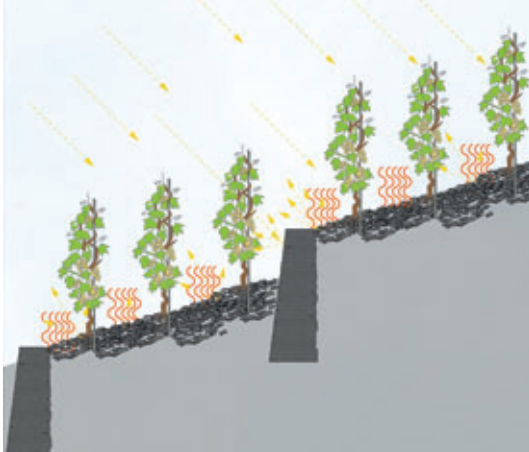
Speicherung des zeitlich verschobenen Angebots



Angebot aus erneuerbaren Energien, deren Umwandlung und Speicherung für die bedarfsgerechte Verteilung

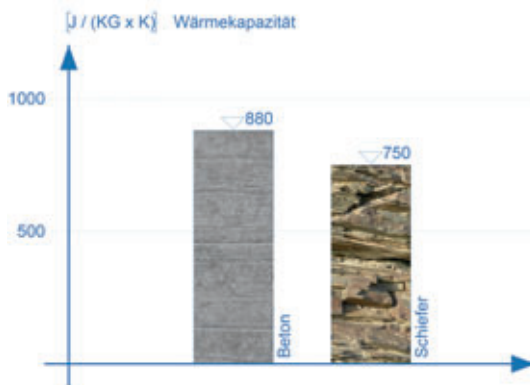


So hilft der Schieferboden in den meist geneigten Weinbergen, die Wärme der Sonneneinstrahlung zu speichern, und zeitversetzt in der kühleren Nacht an die Reben abzugeben. Der Lage der Weinberge und deren Neigung ermöglicht eine senkrechte Sonneneinstrahlung, so dass die Schieferplatten die Wärmeenergie direkt einfangen und im Gestein einspeichern.



Prinzip der Sonneneinstrahlung und deren Speicherung inklusive der verzögerten Abgabe

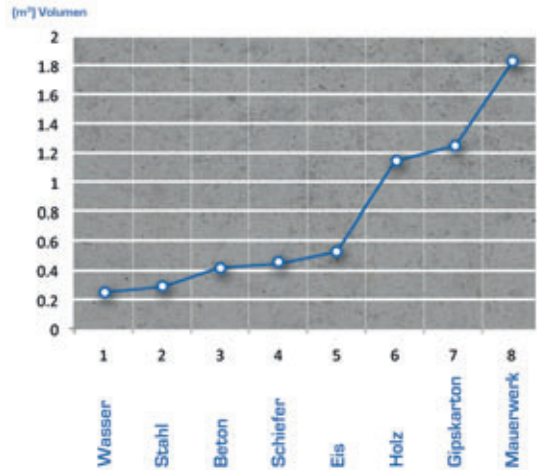
Die besten Lagen sind die nach Süden ausgerichteten Schieferhänge. Das Schiefergestein hat nahezu die gleiche Wärmekapazität wie der Werkstoff Beton. Das möge bereits als Hinweis für die guten Eigenschaften von Beton als Wärmespeicher dienen.



Wärmekapazität von Schieferboden im Vergleich mit dem Werkstoff Beton

Entsprechend kann und wird der Werkstoff Beton als Wärmespeicher eingesetzt. In den heutigen Gebäuden findet sich Beton zumindest in den tragenden Decken und oftmals auch in den Wänden. Vergleicht man die Wärmekapazität von verschiedenen Werkstoffen, so erkennt man die Fähigkeit des Werkstoffs Beton, der mit seinem Wert in der Nähe von Wasser liegt, was bekanntlich als guter Wärmespeicher angesehen wird. Den anderen Baumaterialien wie beispielsweise Holz und Mauerwerk fehlt die Speicherfähigkeit, was dann

### Speichervolumen für 1000 KJ Wärmeenergie

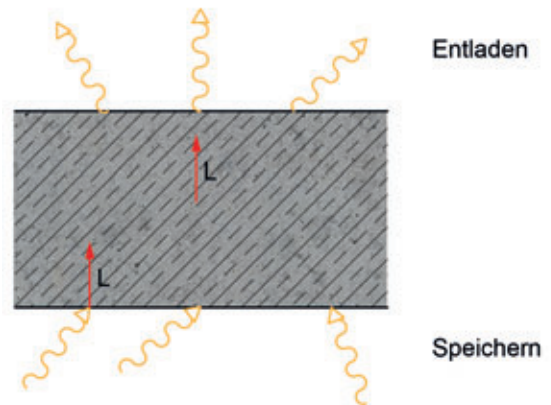


Speichervolumen mit verschiedenen Materialien für die Wärmeenergie von 1000KJ

gelegentlich zu einem Wärmestau in den Räumen führt, da die inneren Wärmelasten nicht abgeführt beziehungsweise aufgenommen werden können. In solchen Fällen nützt eine gute Dämmung wenig, da die Fähigkeit der Speicherung nicht gegeben ist.

Der Werkstoff Beton in den Querschnitten der Konstruktion wird als passiver und als aktiver Wärmespeicher eingesetzt. Als passiver Speicher nimmt er die Wärmeenergie auf, sofern eine Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Raum vorhanden ist.

### Passiver Betonspeicher



Beton als passiver Wärmespeicher

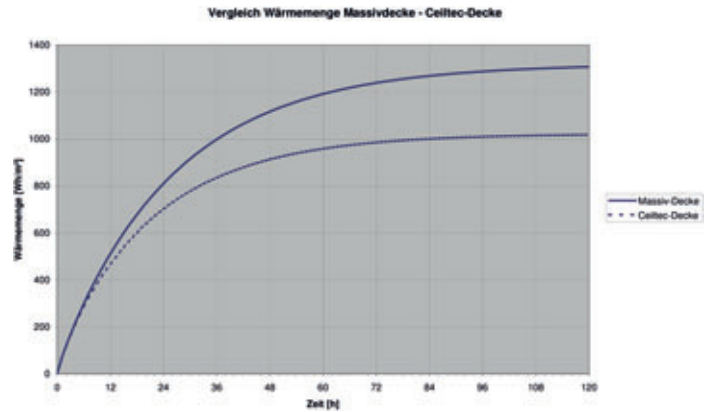
In Funktion des Wärmeübergangskoeffizienten und der Temperaturdifferenz fließt Wärmeenergie aus oder in die Masse des Querschnitts. Das System regelt sich in Abhängigkeit der Temperaturdifferenz selbstständig. Allerdings besteht keine sonstige Regelmöglichkeit. Das System reagiert außerdem sehr träge, da die Wärmeleitung im Beton zeitlich sehr langsam fortschreitet.

Flexibler wird das System, wenn die Wärmeenergie durch die Integration von wasserführenden Rohrleitungen im Betonquerschnitt ergänzend ab- und zugeführt werden kann. Der Beton wird damit zum aktiven Speicher. Derart wird nicht nur die Regelung der gespeicherten Wärmemenge, sondern auch der Einfluss auf die Abgabe an den Raum möglich, was die Regelungsmöglichkeiten des Raumklimas deutlich verbessert. In Verbindung mit der passiven Speicherung besteht eine selbstregelnde Pufferung, so dass kurzfristige Veränderungen der Energie sich nicht direkt auswirken.

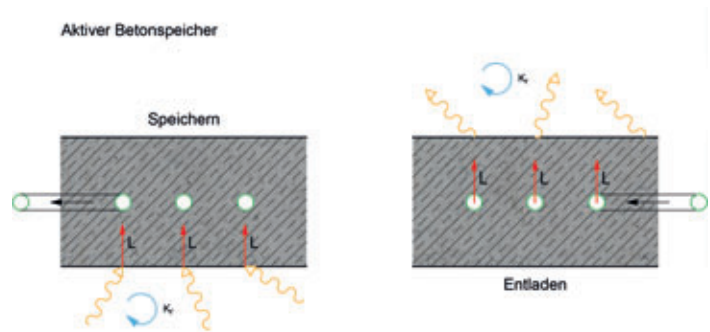
Darüber hinaus gibt es weitere verfeinerte Konstruktionen in Verbindung mit dem aktiven und passiven Betonspeicher, die eine noch gezieltere Beeinflussung des Raumklimas ermöglichen. Diese Möglichkeiten hängen von der Speichermasse ab, der Geschwindigkeit der Wärmeleitung, der Verbindung mit anderen metallischen Werkstoffen, der Anordnung der Rohrleitungen innerhalb und/oder außerhalb des massiven Querschnitts und den Übergangskoeffizienten der verschiedenen Materialien. Auf diese Optionen wird bei den später noch zu beschreibenden Möglichkeiten der Energieverteilung eingegangen. Denn die Energiespeicherung bedingt auch die zugehörige Form der Verteilung. Für den Komfort in den Räumen braucht es Konzepte für eine flexible Reaktion der Speichereinheiten und die angepasste Verteilung der gespeicherten Energie.

Thomas Friedrich,  
Innogrations GmbH

Innogrations GmbH  
Cusanusstraße 23  
54470 Bernkastel-Kues  
T +49 6531 968260  
F +49 6531 968261  
office@innogrations.de  
www.innogrations.de



Zeitlicher Verlauf der Wärmemenge beim Eindringen in einen Querschnitt: Vergleich von verschiedenen starken Querschnitten



Beton als aktiver Wärmespeicher in Verbindung mit wasserführenden Rohrleitungen

**Literatur:**

- [1] Hansjürg Leibundgut; Rolf Mielebacher: „Bauteilaktivierung: Raus aus dem Beton“ – Firmenzeitschrift Z.B. 25, Amstein + Walthert, Mai 2014
- [2] Thomas Friedrich: Vorlesung Energetische Gebäudeoptimierung, Fachgebiet Bauphysik, TU Kaiserslautern WS 2015/2016
- [3] Thomas Friedrich: Multifunktionale Betondecken, Kapitel V in Betonkalender 2016, Ernst & Sohn Verlag, 2015.

**OPUS C-SERIE**

**NUTZEN DES SPEICHERVERMÖGENS VON BETONBAUTEILEN FÜR DIE WIRTSCHAFTLICHE KLIMATISIERUNG VON GEBÄUDEN**

- Teil-1a: Vorteile und Möglichkeiten der bisherigen Energiespeicherung
- Teil-1b: Aktuelle Energiespeicherung mit Bezug zu einem konkreten Objekt
- Teil-2: Möglichkeiten mit einer klassischen Bauteilaktivierung
- Teil-3: Modifikationen der klassischen Bauteilaktivierung zur thermischen Leistungssteigerung
- Teil-4: Ergänzungen zur Bauteilaktivierung zur Steigerung der Behaglichkeit
- Teil-5: Optimierung des Deckenquerschnitts mit Mehrfachfunktion
- Teil-6: Betonwände mit schaltbarer Dämmung
- Teil-7: Umsetzung anhand ausgeführter Bauobjekte