

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

## Teil 2: Möglichkeiten mit einer klassischen Bauteilaktivierung

### EINLEITUNG / ZUSAMMENFASSUNG

In den beiden veröffentlichten Artikeln zu dem Thema der Energiespeicherung wurden die generellen Möglichkeiten mit dem Werkstoff Beton aufgezeigt. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Speicherung der Wärme, die wir kostenlos aus der frei zur Verfügung stehenden Sonnenenergie erhalten. Dabei wurde aufgezeigt, mit welchen Mitteln und Maßnahmen die Strahlung der Sonnenenergie auf die Konstruktionselemente aus Beton trifft und von diesen absorbiert wird. Die originär als tragende Elemente entworfenen Betonbauteile stellen sich ergänzend zur Verfügung, die Wärmeenergie aufzunehmen, zu speichern und wieder abzugeben. Dabei werden zwei Effekte zur Ausbildung eines optimalen Raumklimas genutzt:

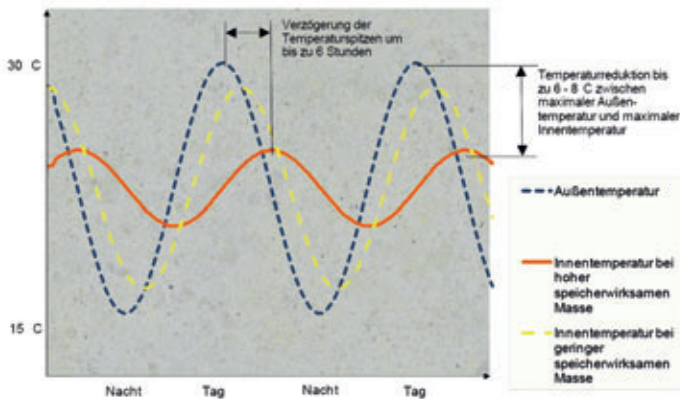
- Dämpfung insbesondere der Spitzen des Wärmeeintrags, um diese dann verzögert abzugeben. Dabei handelt es sich um einen natürlichen Prozess in Form einer passiven Nutzung ohne den Eingriff von weiteren Hilfsmitteln
- Speicherung der Wärmeenergie, um diese dann zeitversetzt über mechanische Einrichtungen zu entladen um die Wärmeenergie zur Klimatisierung zu nutzen. Hierbei sprechen wir von einer aktiven Nutzung

Beide Verfahren sind jede für sich alleine wertvoll aber heutzutage macht es mehr Sinn, diese in Kombination zu nutzen.

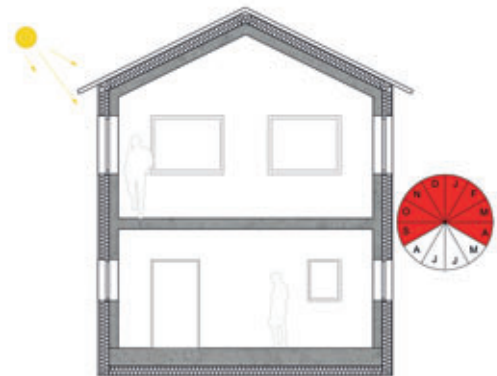
Nicht nur Wärme sondern auch Kälte muss gespeichert werden können

Bei der Klimatisierung von Gebäuden geht es prinzipiell darum, beide Möglichkeiten abzudecken, sowohl zu Heizen als auch zu Kühlen. Während im Wohnungsbau (EFH, MFH) mehrheitlich geheizt werden muss und die Kühlung eher nicht erforderlich ist, müssen die modernen Bürogebäude vorwiegend gekühlt werden. Das liegt insbesondere daran, dass die Fassaden der Wohngebäude zum größten Teil aus tragenden Elementen bestehen und die Fensterflächen im Gegensatz dazu einen eher geringeren Anteil ausmachen. Die tragenden Teile sind zudem noch gedämmt. Die Fassade bildet dann eine sehr gute Wärmehülle für den gesamten Bau. Diese Voraussetzungen führten aktuell auch wieder dazu, die klassische Bauteilaktivierung bei Wohngebäuden hauptsächlich als Speicher zu nutzen, um die eingefangene Sonnenenergie zu speichern und kurzfristig zu nutzen. Das führt beispielsweise bei den neueren Konzepten für Sonnenhäuser dazu, dass die sonst üblichen Wasserbehälter für die thermische Speicherung im Volumen reduziert werden können [1,2].

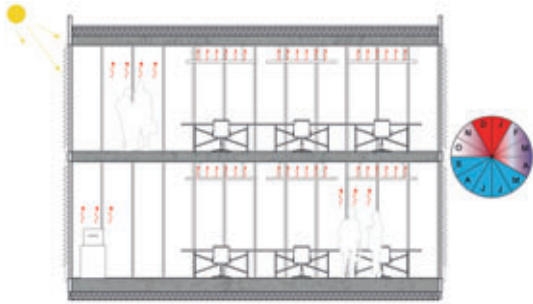
Das stellt sich bei den Bürogebäuden anders dar, denn bei dieser Form von Bauwerken überwiegt der Glasanteil in der Fassade. Obwohl heute sehr gut isolierende Gläser am Markt verfügbar sind, bleibt die Fassade



Einfluss der Bauteilmasse auf die Innenraumtemperatur (Phasenverschiebung) gemäß [3]



Thermischer Energiebedarf bei Wohngebäuden: vorwiegend Heizen



*Thermischer Energiebedarf bei Bürogebäuden: mehrheitlich Kühlen*

das Element mit dem meisten Energieeintrag. Ergänzend kommt hinzu, dass in den Bürogebäuden die hohe Belegungsdichte mit Personen zu hohen Energieeinträgen führen, die durch die Gerätschaften wie PC, Drucker und die Beleuchtung noch erhöht werden. Deshalb ist bei Bürogebäuden mehrheitlich die Kühlung angesagt und bei Wohngebäuden braucht man eher die Heizung.

Die Masse von Beton ist für die Wärmespeicherung ideal, sowohl als Puffer als auch als langfristiger Speicher. Allerdings muss die eingelagerte Wärme insbesondere bei Bürogebäuden abgeführt werden, damit es nicht zur Überhitzung kommt. Das kann nur auf mechanischem Wege erfolgen, indem die Betonmasse aktiv bewirtschaftet wird. Desbezüglich bestehen mehrere Möglichkeiten. Die Nutzung dieser verschiedenen Verfahren hat schlussendlich auch zu der heute verwendeten klassischen Bauteilaktivierung geführt.

### Entwicklung der Bauteilaktivierung

Wir kennen heute die klassische Bauteilaktivierung mit den in den Beton eingelegten Wasser führenden Leitungen, die zur aktiven Bewirtschaftung der Speichermasse des Betons beitragen. Es gibt jedoch auch andere Möglichkeiten, wie beispielsweise die Aktivierung über die mit Luft geführten Leitungen. Insgesamt stellt die träge Reaktionszeit jedoch nach wie vor ein Hindernis dar, um die Bauteilaktivierung flexibel zu nutzen. Gewünscht ist eine Flexibilität im Heizfall wie bei den guten alten Heizkörpern und im Kühlfall wie bei einer Kühldecke. Dazu bedarf es allerdings einiger konstruktiver Eingriffe in die Konstruktion und Ausbildung der tragenden Querschnitte und der Anordnung der gewünschten Betonmasse.



*Flachdecke als ideale Fläche für den Wärmeübertrag zwischen Raum und Decke*

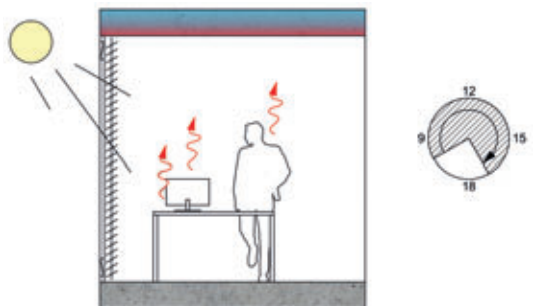
Eine Änderung in der Ausbildung der Masse des Querschnitts bedingt auch den Eingriff in die Konstruktion. Die Suche nach neuartigen Lösungen erfordert ein tiefes Verständnis sowohl von der Bewirtschaftung der Wärmeenergie als auch von der Tragkonstruktion. Hierbei sind Kenntnisse von den Schnittstellen zwischen der Tragwerksplanung und der technischen Gebäudeausrüstung gefragt.

Beginnen wir jedoch erst mit der Darlegung der Entwicklung, um daraus die Grundlage für neue Ideen zu finden. Klassisch haben wir es mit massiven Querschnitten für die Konstruktion von Decke und Wand zu tun. Insbesondere die Entwicklung der Flachdecke und deren verstärkte Verbreitung ab den Jahren um 1980 hat die Nutzung der Betonmasse als Speicher begünstigt. Die freien und zugänglichen Oberflächen der Decken boten und bieten sich heute noch für den ungehinderten Austausch der Wärmeenergie zwischen Raum und Konstruktionsteil an. Die Deckenoberfläche ist im Gegensatz zu Boden und Wand frei von Einbauten oder Möbeleinheiten.

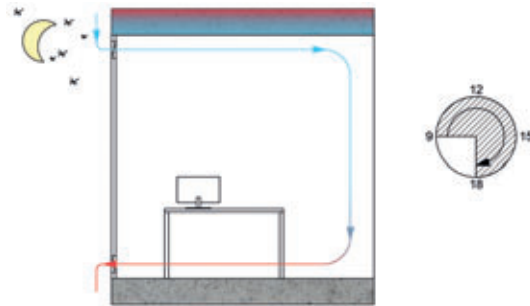
### Beginn der Entwicklung:

#### Thermisch aktivierte Bauteile für die Kühlung

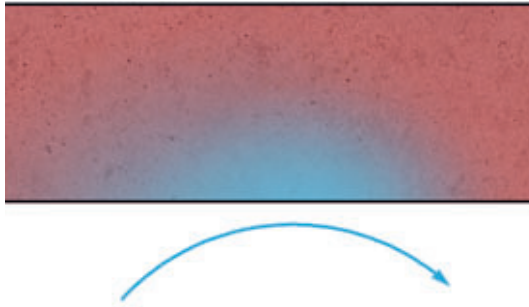
Während man die ersten Entwicklungen ausschließlich zur Gebäudeheizung mit Wasser geführten Rohrleitungen im Beton bereits auf die Deckenkonstruktion des Engländers Crittall (1908) zurückführen kann, hat die Entwicklung der Bauteilaktivierung so recht erst Fahrt aufgenommen mit der Erkenntnis, dass der Beton als Masse große Vorteile bei der Pufferung mit Phasenverschiebung und bei der eigentlichen Speicherung bietet. Die ersten Ansätze zur Nutzung des Betons als Speichermasse basieren auf der Überlegung, die intern



*Wärmeentwicklung über Tag und Aufnahme der Energie durch die Decke*



*Entladen der gespeicherten Wärme aus der Decke durch Nachtauskühlung*



Prinzip der Nachtauskühlung

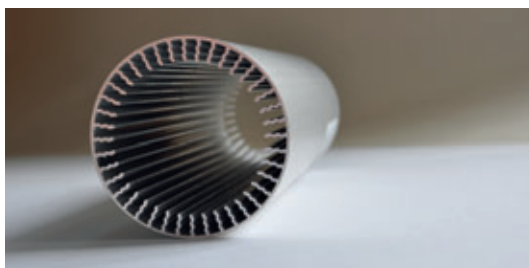


Prinzip der Nachtauskühlung mit integrierten Lüftungsleitungen

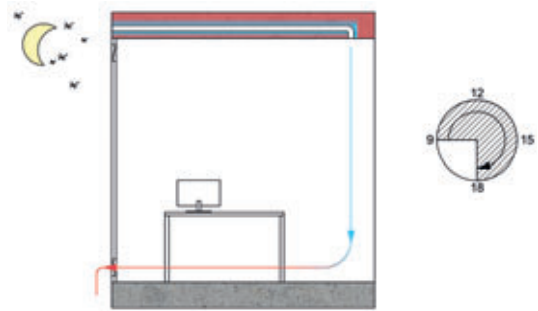
und extern vorhandene Wärmeenergie kurzfristig zu speichern und dann zeitversoben in der nutzungs-freien Zeit abzuführen. Insbesondere die Technik, den Betonquerschnitt während des Tages mit der Wärme zu beladen und dann in der Nacht diese Wärme abzuführen, bestimmten die anfänglichen Konzepte. Wie bereits oben erwähnt, ermöglichte die Flachdecke als Konstruktion mit dem massiven Querschnitt und der glatten Deckenunterseite diese Option. Stellvertretend für viele Publikationen zu dem Thema dient die Ab-handlung „Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau“ [3]. Schlussendlich liefert damit die Kühlung als wichtigste Funktion den Antrieb für die weitere Entwicklung der Bauteilaktivierung.

Den größten energetischen und auch wirtschaftlichen Vorteil bietet die Masse der tragenden Bauteile, die als Energiespeicher innerhalb eines entsprechenden Gebäudekonzepts genutzt wird. Dieses Grundprinzip hat man in den Anfängen insbesondere für die Kühlung von Gebäuden genutzt. Dass dieses Prinzip auch für die Heizung funktioniert, beweisen die Gebäude im alpinen Raum mit ihren dicken Außenwänden, beziehungsweise die Entwicklung der Römer mit Ihren Hypokausten.

Entsprechend dieser Erkenntnisse positioniert sich die klassische Bauteilaktivierung über die große Masse,



Speziell ausgeformtes Lüftungsrohr für die Wärmeübertragung [4]



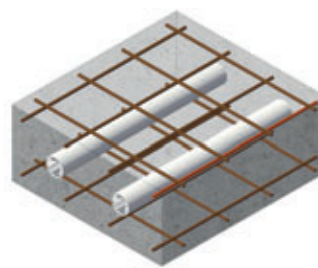
Integrierte Lüftungsleitungen für die optimierte Nachtauskühlung

und trägt damit den bis heute manifestierten Ruf, ein in der Reaktion sehr träges Heiz- und Kühlsystem zu sein. Aufgrund der damit zu erzielenden Leistungen, die im Vergleich zu der Kühldecke bzw. zur statischen Heizung deutlich geringer ausfallen, betrachten die Planer die klassische Bauteilaktivierung als so genannte Grundversorgung für die Klimatisierung. Ergänzende Gerätschaften zur Abdeckung der Spitzenlasten werden dann erforderlich. Das sind in der Regel statische Heizkörper und Kühlsegel.

Aufgrund der ursprünglichen Überlegungen, die intern und extern entstandene Wärme zwischen zu speichern und dann phasenverschoben abzuführen, wurden verschiedene Maßnahmen entwickelt. Diese reichen von der natürlichen, nächtlichen Lüftung als so genannte Nachtauskühlung, über eine mechanische extern beziehungsweise intern im Querschnitt geführte Lüftung bis zu der Entladung über die Wasser geführten Rohre. Letzteres wird dann als die klassische Bauteilaktivierung bezeichnet. Mit der mechanisch betriebenen Be- und Entladung wurde dann die auf Crittall zurück führende ursprüngliche Idee der Heizung wieder belebt. Schlussendlich wurde damit sichergestellt, dass die klassische Bauteilaktivierung eine außerordentliche wirtschaftliche Lösung zur Klimatisierung darstellt.

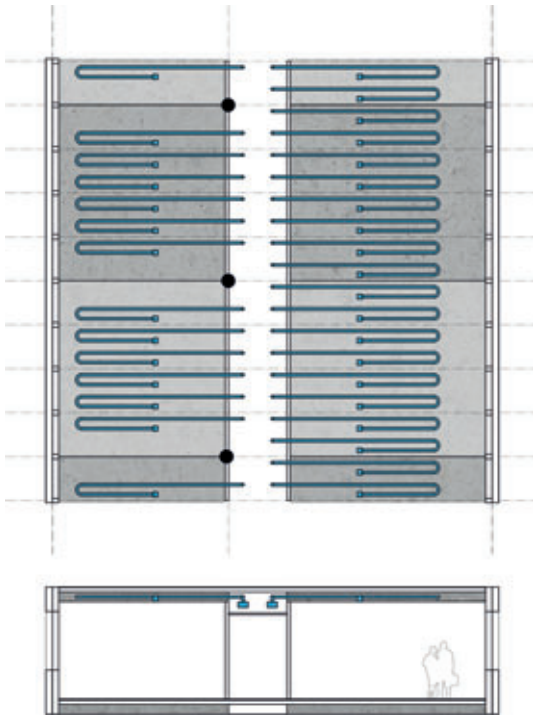
### Nachtauskühlung

Wir nutzen im täglichen Rhythmus zwischen Tag und Nacht unsere Gebäude. Tagsüber entsteht Wärme durch die externen Lasten aus der Sonneneinstrahlung und durch die internen Lasten von Personen und Gerätschaften. Während der Nacht werden in der Regel keine weiteren Lasten erzeugt. Daher liegt es nahe, die tagsüber entstandenen thermischen Lasten während der Nachtstunden abzuführen.



Anordnung der Lüftungsleitungen im Deckenquerschnitt

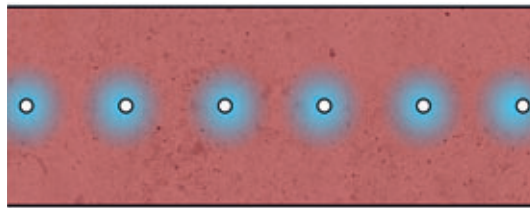




Schema für die Anordnung der Lüftungsleitungen in einem zweizügigen Bürogrundriss



Anordnung der Lüftungsleitungen im Grundriss der bewehrten Rohbaudecke (Copyright Kiefer Luft und Klimatechnik GmbH, Stuttgart)



Prinzip der Auskühlung durch integrierte, Wasser führende Rohrleitungen

Bei dem Prinzip der Nachtauskühlung nutzt man die in unseren Breiten geringeren Temperaturen in der Nacht, die sich selbst an heißen Tagen einstellen. Nachweislich liegt die Durchschnittstemperatur im mitteleuropäischen Raum zwischen 8 bis 11 °C. Der Anteil der Jahresstunden mit einer Temperatur von  $\leq 12$  °C beträgt i.M. ca. 60%. Damit ist bereits die Voraussetzung gegeben, innerhalb eines passablen Nutzungszeitraums auf eine kostenfreie Kühlung zurück zu greifen. Allerdings gilt es auch zu beachten, dass in den Sommermonaten mit den heißen Tagen in der Regel die Temperaturen auch in der Nacht über dem vorgenannten Mittelwert liegen.

Die Umsetzung der Nachtauskühlung erfolgt über das Öffnen der Fenster in der Nacht. Die kühlere Luft dringt von Außen in die Räume ein und streicht entlang der Oberfläche der Bauteilmasse. Dabei erfolgt der Austausch der Energie, indem die kühlere Luft ihre Energie an das Bauteil abgibt und gleichzeitig die angestaute Wärme aus dem Bauteil aufnimmt und abführt. Man spricht dann von Querlüftung, wenn die

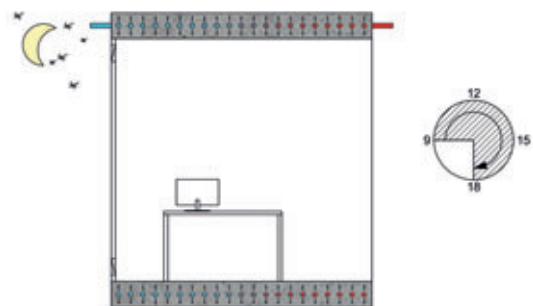
Außenluft durch die bereichsweise geöffneten Fenster eintritt und andernorts wieder entweicht. In der Regel nutzt man die natürliche Lüftung, bei der die Thermik im Gebäude für den Luftstrom genutzt wird. Dabei wird der Effekt des Luftstroms durch die sogenannte Kaminwirkung verstärkt. Die im Gebäude zumeist zentral angeordnete Atrien oder Schächte ermöglichen das Aufsteigen der warmen Luft, wodurch die Luft auf natürlichem Wege aus den Räumen gezogen wird. Das Entweichen der Luft erfolgt über Öffnungen in Schacht ober in dem Dach der Atrien.

Sofern diese natürlichen Hilfsmittel im Gebäude fehlen, lässt sich dieser Vorgang auch über automatisch gesteuerte Lüftungssysteme umsetzen. Ventilatoren sorgen für den Transport der Luft.

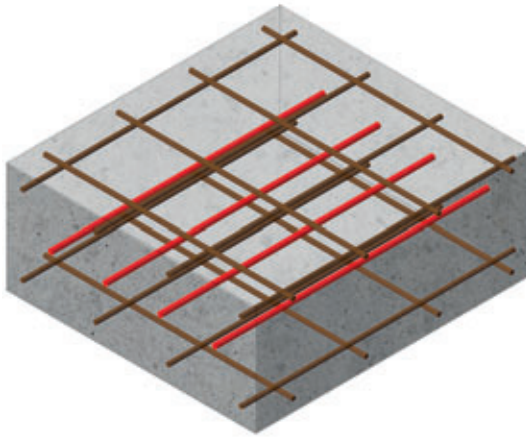
#### Verfeinerung der Auskühlung mit Luft über eine Bauteilaktivierung mit Zuluft

Das Grundprinzip der Kühlung mit Luft lässt sich noch verfeinern und verbessern, indem die in das Bauteil eingelegten Lüftungsleitungen den Luftstrom gezielter zur Energieübertragung einsetzen. Durch die einbetonierten Rohrleitungen erfolgt der Energieübertrag mit einem deutlich größeren Wärmeübertragungsgrad (bis zu 90%) als bei der oben beschriebenen Nachtauskühlung. Die eingeblasene kalte Luft mit einer Temperatur von ca. 12 bis 14°C kühlt die Betonmasse ab und erwärmt zugleich während der vorgesehenen Rohrstrecke die Zuluft auf die gewünschte Raumlufttemperatur. Sofern die Nachtluft die erforderliche geringe Temperatur nicht zur Verfügung stellt, wird die Luft über mechanische Gerätschaften temperiert.

Das System bietet die Voraussetzungen für eine wirksame thermisch aktivierte Kühldecke als integrierter Bestandteil des Bauteils in Verbindung mit einer konditionierten Zuluft in der Größenordnung des hygienischen



Integrierte Wasser führende Leitungen für die Be- und Entladung des Betonquerschnitts



Anordnungen der Wasser führenden Rohrleitungen im Deckenquerschnitt

Luftwechsels [4]. Damit erfüllt die nahezu kostenfreie Versorgung über Außenluft zwei Funktionen gleichzeitig:

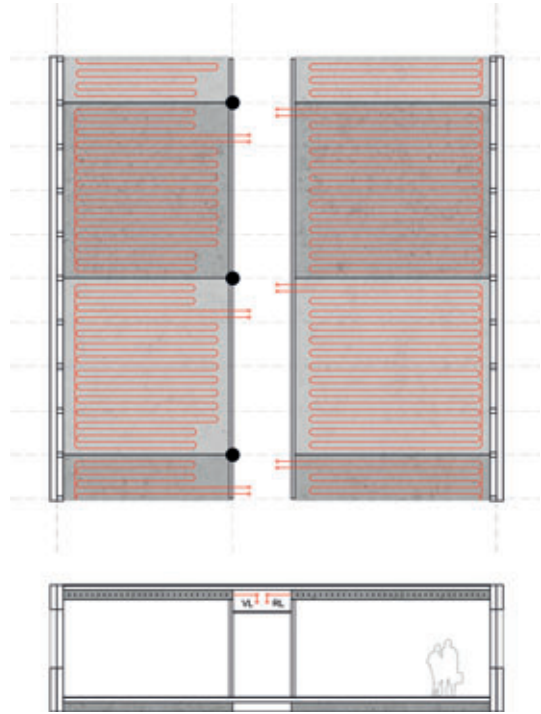
- angepasste Energieversorgung für die Kühldecke
- Konditionierung der Zuluft in der Folge

Die zweifache Wirkung für die Klimatisierung wird mit einem absoluten Minimum an Aufwand erzielt. Der Aufwand wird begrenzt durch die Laufzeit der Ventilatoren, die den gezielten Transport der Luft durch die in der Betonmasse eingelegten Lüftungsleitungen sicherstellt. Im Fall der Heizung wird entsprechend konditionierte Luft durch die Leitungen transportiert.

Die Rohrleitungen werden in der neutralen Zone des Betonquerschnitts angeordnet, um die Tragfähigkeit des Querschnitts insbesondere die Querkrafttragfähigkeit so wenig wie möglich zu beeinflussen. Um die Energie an den Beton abzugeben, braucht es eine entsprechende Länge für die Lüftungsleitung. Die Leitungen sind dann in Schlaufen angelegt. Der Zugriff erfolgt über die zentral unter der Decke angeordneten Hauptkanäle. Allenfalls kann an dieser Stelle über einen Volumenstromregler eine mögliche Steuerung jedes einzelnen Strangs erfolgen. Die Steuerung erfolgt dann für die Energieübertragung an den Beton sowie für die Luftmenge.



Vorgefertigte Rohrregister auf einer Bewehrungsmatte



Schema für die Anordnung der Wasser führenden Rohrleitungen in einem zweizügigen Bürogrundriss

Aus statischer Sicht sind die Zonen mit erhöhter Querkraft (Auflager am Rand, im Bereich der Stütze) hinsichtlich des geänderten Widerstands durch die vorge-sehene Rohrleitung zu prüfen. Allenfalls sind diese Zonen von Leitungen frei zu halten.

### Klassische Bauteilaktivierung mit Wasser geführten Rohrleitungen

Die Alternative und das am häufigsten eingesetzte Verfahren nutzt die im Betonquerschnitt eingelegten Rohrleitungen mit Wasserfüllung, um die Wärmeenergie abzuführen. Je nach Energieerzeugung kann sowohl kaltes als auch warmes Wasser durch die Rohrleitungen geführt werden. Damit lässt sich dann klassisch über die Decke als Fläche sowohl Heizen als auch Kühlen. Diese Form der Klimatisierung erfolgt über Strahlungsenergie, die von den Nutzern deutlich



Einbau der vorgefertigten Rohrregister zwischen die Bewehrungslagen (Copyright: Rehau AG + CO)

angenehmer empfunden wird als die klassische Klimatisierung über Konvektion.

Die Rohrleitungen werden in der sogenannten neutralen Zone des Betonquerschnitts eingelegt, weshalb man auch gerne von der Betonkerntemperierung spricht. Hinsichtlich des Einflusses auf die Tragfähigkeit des Betonquerschnitts gelten die gleichen Hinweise wie bei den luftgeführten Rohrleitungen. Auch hier gilt, dass die Leitungen in der Regel nicht direkt in der Zone um die Stütze einer Flachdecke zu verlegen sind. Diese Maßnahme hat dann allerdings auch Auswirkungen auf die thermische Leistung insgesamt, da in dieser Zone die Heiz- beziehungsweise Kühlleistung nicht vorhanden ist.

In der Regel werden einzelne zumeist vorgefertigte Rohrregister auf die untere Bewehrung verlegt und nachdem die obere Bewehrung eingebaut wurde, in die Mitte des Querschnitts angehoben. Mehrere einzelne Register werden dann durch Kopplung vor Ort zu einer größeren Einheit zusammengefasst. Aus hydraulischen Gründen sollte die Länge der Leitungen nicht mehr als circa 120.0 lfm betragen. Der Abgang der Leitungsenden für den Anschluss von Vorlauf und Rücklauf erfolgt i.d.R. in dem Bereich des späteren Flurkoffers. Die später zu montierenden Hauptleitungen für die Kälte beziehungsweise Wärme verlaufen unterhalb der Decke. Die Leitungsenden jeder Zone werden dann daran angeschlossen. Eine optionale Steuerung dieser Zone kann über zwischen geschaltete Ventile erfolgen.

Da die thermische Leistung begrenzt ist und die Reaktionszeit sehr träge ausfällt, macht eine entsprechende Regelung wenig Sinn. Auch unter dem Aspekt, dass keine Einzelraumsteuerung möglich ist, sondern nur größere zusammenhängende Zonen einheitlich zu regeln sind, erübrigt sich die Regelung über Ventile. Diese Randbedingungen ermöglichen wenig Flexibilität und bestätigen die Aussage, dass es sich bei der klassischen Bauteilaktivierung um eine nahezu unregelte thermische Grundleistung bei der Klimatisierung handelt.

### Mehr Flexibilität für die thermischen Speichermassen aus Beton

Im Verlauf der letzten Jahre hat man erkannt, dass der Beton mit seiner Masse auch thermisch idealerweise zu nutzen ist. Alle heutigen Anforderungen hinsichtlich der wirtschaftlichen Klimatisierung von Gebäuden betreffen die folgenden Eigenschaften:

- Betonquerschnitte mit thermischer Energie beladen
  - Betonquerschnitte zur Speicherung von thermischer Energie nutzen
  - Betonquerschnitte mit thermischer Energie entladen.
- Dazu braucht es nicht nur einzelne Techniken sondern übergreifende Konzepte wie, und mit welcher Technik die geforderten Eigenschaften für die Klimatisierung erbracht werden können [5].

Thomas Friedrich,  
Innogratiion GmbH

# CEILTEC®

## Bauteilaktivierung



### ALLES IN DER DECKE:

- leistungsfähige Kühldecke
- angenehme Strahlungswärme
- Energiespeicher-Beton
- Gestaltungsflexibilität
- Energieeffizienz
- schnelle Reaktionszeit
- Einzelraumregelung
- Benutzerfreundlichkeit
- Vorfabrikation
- wirkungsvolle Akustiklösung
- Nachhaltigkeit
- kostenoptimiertes System





*Auslass der Rohrenden zum Anschluss an die Hauptleitungen*



*Anschluss der Rohrregister an die Hauptversorgungsleitungen unterhalb der Deckenkonstruktion*

#### LITERATUR

- [1] Ch. Büttner et.al.: Bauteilaktivierung als Grundlastheizung in einem neuen Sonnenhauskonzept – Modellvergleich und Simulation, 5.th IBPSA-Conference, RWTH-Aachen, BauSIM 2014
- [2] Wärmende Decken – Sonnenhaus mit Bauteilaktivierung, Gebäudeenergieberater GEB 06, 2016.
- [3] Energie Markt Analyse – G. Hofer et. al.: Nachhaltig Massiv AP 7, Wirksame Speichermasse im modernen, nutzungsflexiblen Bürobau, Wien, September 2009
- [4] Weitere Informationen auf [www.kieferklima.de](http://www.kieferklima.de)
- [5] Thomas Friedrich: Energie speichern und verteilen – Multifunktionale Betondecken in Bürogebäuden; CEB 2016 Kongress „Energieeffiziente Nichtwohngebäude und Quartiere“ Karlsruhe Juni 2016

Innogrations GmbH  
 Cusanusstraße 23  
 54470 Berncastel-Kues  
 T +49 6531 968260  
 F +49 6531 968261  
[office@innogrations.de](mailto:office@innogrations.de)  
[www.innogrations.de](http://www.innogrations.de)

#### OPUS C-SERIE

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

- Teil-1a+b: Vorteile und Möglichkeiten der bisherigen Energiespeicherung
- 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

