

Nutzen des Speichervermögens von Betonbauteilen für die wirtschaftliche Klimatisierung von Gebäuden

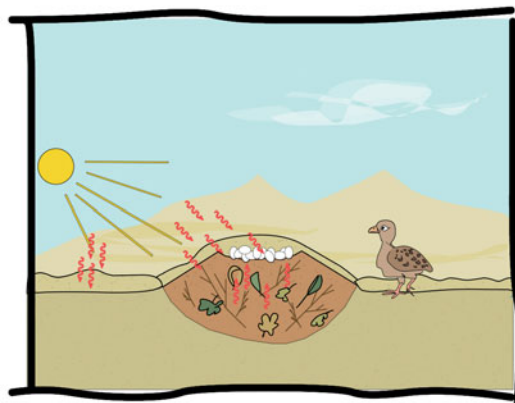
Teil 4: Ergänzungen zur Bauteilaktivierung zur Steigerung der Behaglichkeit

Bislang wurde von den Möglichkeiten berichtet, wie der tragende Betonquerschnitt von Decken und Wänden als Speicher für die thermische Energie genutzt werden kann. Zudem steht mit der Oberfläche dieser Betonbauteile eine sehr große Fläche für die Aufnahme beziehungsweise die Abgabe der thermischen Energie zur Verfügung. Gegenüber der klassischen Heizung über Heizkörper bietet diese Technik den großen Vorteil, Wärme zu speichern und über eine große Fläche an den Raum weiterzugeben. Damit verbunden ist die außerordentlich angenehme Wärmeübertragung, die weitgehend über Strahlung anstelle über der Konvektion stattfindet. Die Flächen werden erwärmt und strahlen die Energie ab. Dabei wird der jeweilige Gegenstand im Raum von der Strahlung getroffen und derart aufgewärmt. Während die konventionelle Heizung alleine über Konvektion die Luft erwärmt und diese dann in Bewegung bringt, erzeugt die Strahlungswärme eine angenehme Wärme von allen Seiten, auch ohne die Luft zu erwärmen. In letzter Konsequenz wird deshalb keine Luft aufgewirbelt und es kommt zu keinen Zugerscheinungen, was der Nutzer als angenehm empfindet. Die Nachteile der thermischen Bauteilaktivierung sind jedoch auch bekannt

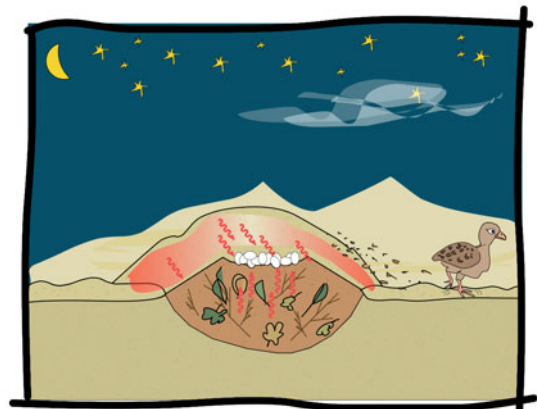
und wurden ebenfalls aufgeführt. Um den thermischen Komfort der Gebäude dennoch zu steigern, stehen weitere Möglichkeiten zur Verfügung, auf die nachfolgend näher eingegangen wird. Diese Optionen dienen als Ergänzung zu der Bauteilaktivierung, um deren Nachteile zu kompensieren, aber nicht auf die Vorteile zu verzichten. Im Vordergrund steht die Bauteilaktivierung in den verschiedenen Ausführungen, die sich je nach den gewünschten Anforderungen des Nutzers hinsichtlich der erforderlichen technischen Ergänzung optimieren lässt. Es geht dabei weiterhin darum, bei einer einfachen und überschaubaren Technik zu verbleiben. Wie einfach diese Lösungen oftmals sein können, zeigt und lehrt uns die Natur, von deren Weisheit wir bei unseren technischen Lösungen jederzeit lernen können und auch müssen.

Das Thermometerhuhn (Lernen von der Weisheit der Natur)

In Australien lebt das sogenannte Thermometerhuhn, welches in der Lage ist, eine gleichmäßige Temperatur von 33°C in seinem Bruthügel zu gewährleisten, unabhängig von den sehr unterschiedlichen jahreszeitlichen und tageszeitlichen Klimabedingungen [1]. Dabei



Bruthügel des Thermometerhuhns im Herbst während des Tages (Einfangen der direkten Sonnenstrahlen auf den flachen Bruthügel) [1,2]



Bruthügel des Thermometerhuhns im Herbst während der Nacht (Nutzung der im Sand gespeicherten Wärmeenergie als Abdeckung) [1,2]

nutzt das Tier einige einfache Mittel der Natur, um die Temperatur zu regeln. Im Sommer, wenn die Sonne sehr intensiv scheint und die Temperatur auf bis zu 46°C ansteigt, schützt das Huhn den Bruthügel mit einer zusätzlichen isolierenden Sandschicht. Im Herbst, bei stark wechselnden Temperaturen zwischen Tag und Nacht, muss das Huhn kurzfristig die Schwankungen ausgleichen. Tagsüber gilt es die Strahlen der niedrig stehenden Sonne einzufangen, indem der Hügel abflacht wird und nur eine sehr dünne Sandschicht zur Abdeckung dient. In der Nacht wird die Brutstätte durch eine ergänzende Sandschicht erwärmt, deren Sand tagsüber neben dem Hügel durch die Sonne erwärmt wurde. Wie man erkennen kann, wird die durch die Sonne zur Verfügung stehende Wärmeenergie verschiedentlich genutzt, wobei die Speicherkapazität des umgebenden Sandmaterials genutzt wird. Zur Optimierung des Klimas (des Bruthügels) bedarf es verschiedener Aktionen durch Zufügen und Wegnehmen von Material. Gesteuert wird diese moderne „Gebäudetechnik“ durch hohe Fähigkeit des Biothermometers, welches in dem Schnabel des Huhns eingebaut ist. Das Huhn nutzt weitere Techniken und natürliche Ressourcen, um über Monate hinweg eine konstante Temperatur in dem Bruthügel zu gewährleisten, auch bei unterschiedlich äußeren Einflüssen, während der gesamten Jahreszeiten. Die gesamte Geschichte zu dieser raffinierten Technik finden Sie in einer bebilderten Darstellung [2].

Da wir Menschen als einziges Lebewesen das Feuer beherrschen, haben wir uns über Jahrhunderte hinweg damit beschäftigt, ohne Rücksicht auf Nachhaltigkeit unsere Ressourcen zu verbrennen. Wir haben verlernt, die natürlichen Energiequellen so einfach wie die Tierwelt zu nutzen. Im Rahmen der Energiewende müssen wir umdenken, und wie sich zeigt von der Weisheit der Natur lernen!

Was können wir daraus lernen? Auch wir können für unsere Gebäude auf natürliche Ressourcen zurückgreifen, um ein angenehmes Wohlfühlklima zu erzeugen. Wir brauchen allerdings – wie das Huhn – eine Speichermasse, die wir mit thermischer Energie be- und entladen. Die Massen stehen im Gebäude, wie bereits

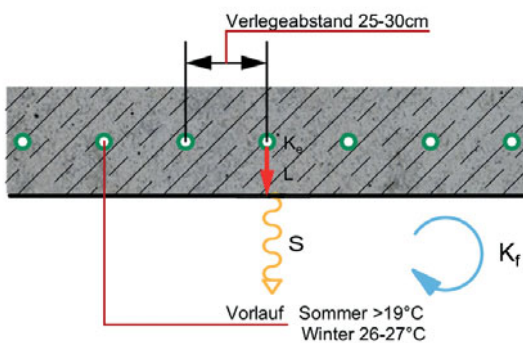


Einzelnes Deckensegel für die nachträgliche Befestigung an der Decke

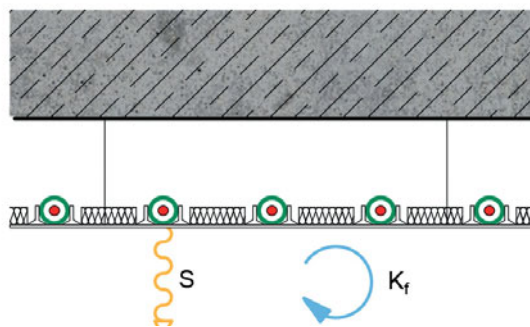
berichtet, ausreichend zur Verfügung und müssen nur intelligent genutzt werden.

Deckensegel

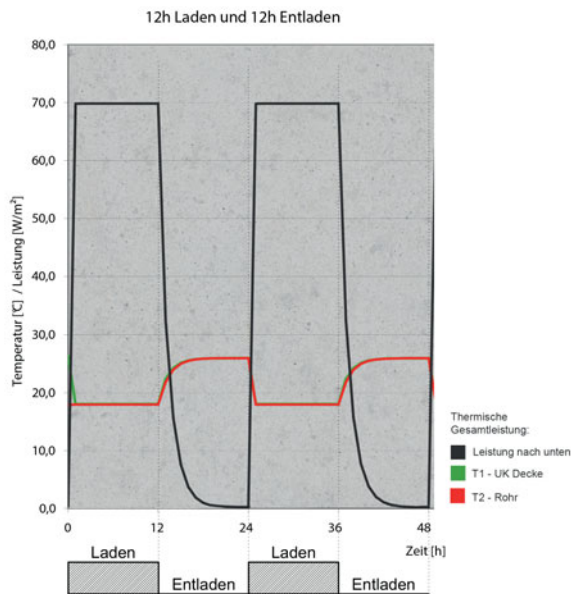
Um die gespeicherte thermische Energie effizienter zu verteilen, besteht die Möglichkeit, Deckensegel ergänzend unterhalb der Decke anzubringen. Diese Segel bestehen in der Regel aus einem metallischen Material, wodurch die Übertragung der thermischen Energie rascher in und aus dem Raum transportiert wird. Da die Segel in der Regel aus dünnem Metall oder sonstigen Trockenbaumaterial gefertigt sind, besitzen sie keine Speichermasse. Genau wie die Bauteilaktivierung erzeugt eine geschlossene Deckenunterseite von Deckensegeln eine gleichmäßige Strahlungsenergie mit einer höheren thermischen Leistung und der bereits angesprochenen schnelleren Reaktionszeit. Es liegt nun nahe, die beiden Systeme zu kombinieren, um die als Nachteil der Bauteilaktivierung bekannte träge Reaktionszeit zu kompensieren und um auf die Speicherkapazität der Betondecke nicht zu verzichten. Allerdings dürfen die Segel keine geschlossene Fläche unterhalb der Betondecke bilden. Deren positive Wirkung wird nur durch einzelne Elemente erzeugt, die auf Abstand voneinander an der Decke angebracht werden. Nur so ist der energetische Austausch mit dem thermischen Speicher der Betondecke möglich. Gleichzeitig können die Deckensegel auch zur Reduktion der



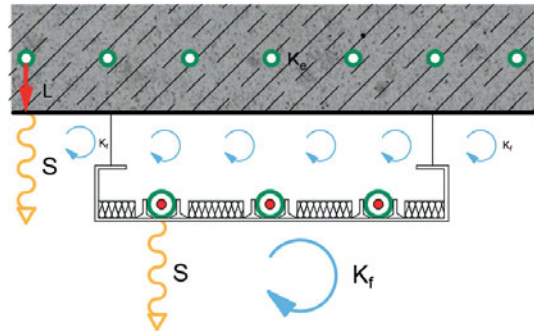
Konventionelle Bauteilaktivierung (tabs) [5]



Kühldecke mit geschlossenen Segeln unterhalb der tragenden Betondecke



Strahlungsleistung eines einzelnen Segels



Kühldecke mit offenem Segel:
höher Leistung dank zusätzlicher Konvektion

Nachhallzeit beitragen und damit die akustische Behaglichkeit vergrößern. Diese Eigenschaft ist insbesondere bei den schallharten Betondecken von Vorteil, wenn keine anderen schallreduzierenden Maßnahmen in der Decke vorhanden sind. Deshalb stellen einzelne, abgehängte Deckensegel die ideale Ergänzung zu der klassischen Bauteilaktivierung dar, da sie sowohl die thermischen als auch die akustischen Eigenschaften einer Betondecke verbessern.

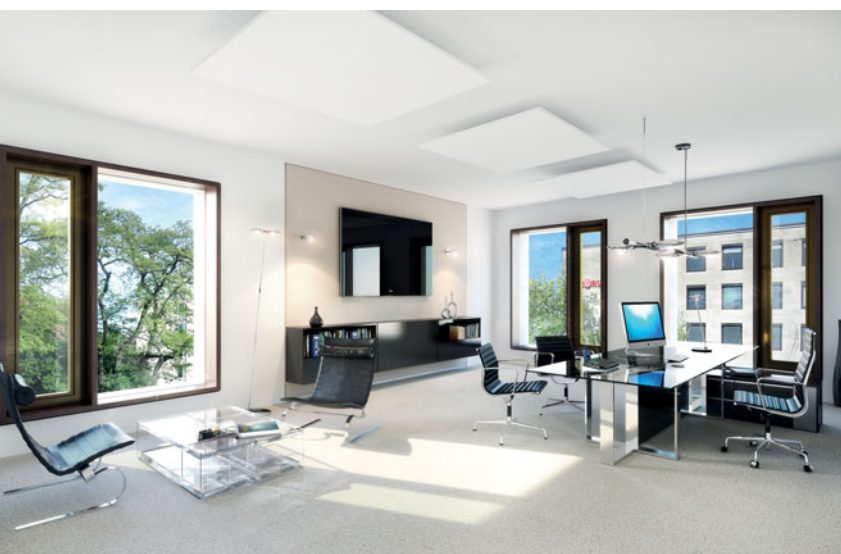
Leistungsvermögen von Deckensegeln

Deckensegel geben die Wärmeenergie ebenfalls über Strahlung an den Raum ab. Der Wärmeübergangskoeffizient verhält sich bei den Kassetten aus Metall oder Trockenbau nahezu gleich wie bei einer Betonplatte. Allerdings reagiert die Oberfläche des Segels schneller als der Beton. Dennoch zeigen abgehängte und seitlich zugängliche Deckensegel eine größere Leistung als die reine Betonoberfläche. Dazu gibt es mehrere Gründe. Die höhere Strahlungsleistung beruht auf der geringen

Überdeckung und der geringeren umgebenden Masse der auf den Segeln angeordneten Rohrleitungen. Eine weitere Leistungssteigerung wird durch die zusätzliche Konvektion hervorgerufen. Der Raum zwischen abgehängter Segeloberfläche und Betonunterkante der Decke wird für die Strömung der Luft genutzt. Durch den natürlichen Auftrieb wird die warme Luft nach oben geleitet und zirkuliert durch den horizontalen Spalt. Dort wird die Luft entweder weiter erwärmt oder abgekühlt, je nach Temperaturdifferenz. Die derart konditionierte Luft steht dem Raum ergänzend zur Strahlungsenergie für die Klimatisierung zur Verfügung. Bei den von verschiedenen Herstellern angegebenen Leistungswerten sind die zugehörigen Temperaturunterschiede zwischen Raumluft und der Temperatur von Segel beziehungsweise Betondecke zu beachten. Die angegebene Leistung bezieht sich dann immer nur auf die Fläche des Segels. Die Leistung auf den gesamten Raum ist dann anteilmäßig zu berechnen. Dank der zweifachen thermischen Wirkung der Segel über Strahlung und Konvektion besteht auch die Option, die Segel ohne ein ergänzendes Rohrregister zu nutzen. Dann wird die thermische Leistungssteigerung nur durch den konvektiven Anteil erzeugt. Eine Übersicht über die verschiedenen Heiz- und Kühlsysteme findet sich in [3]. Dort wird in einem Diagramm insbesondere die Leistung der Systeme der Bauteilaktivierung und der verschiedenen Bauformen der Deckensegel dargestellt. Die unterschiedlichen Leistungen einer geschlossenen und einer offenen Kühldecke wird ebenfalls dargestellt.

Verschiedene Ausführung von Deckensegeln

Verschiedene Ausführungsvarianten ermöglichen die Kombination mit dem zugehörigen Untergrund, der thermisch aktiviert sein kann oder auch nicht. Die Deckensegel selbst können ebenfalls aktiviert sein oder nur passiv an die Decken angebracht sein. Aus dieser Kombination ergeben sich drei Ausführungsvarianten, unter Berücksichtigung, dass zumindest ein Element immer thermisch aktiviert ist. Bei den meisten Überlegungen zur Leistungsbetrachtung existiert bereits eine Betondecke mit thermischer Aktivierung. In thermisch hoch beanspruchten Räumen (zum Bei-



Deckenflächen mit offenen Deckensegeln

Photos: HOCHTIEF Projektentwicklung GmbH, Visualisierung 3DWayshim

Typ von Varianten der Deckensegel	Betondecke thermisch aktiviert	Deckensegel thermisch aktiviert
A		X
B	X	
C	X	X

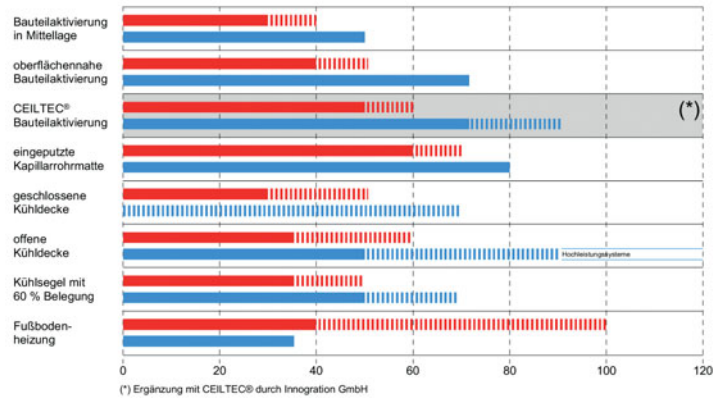
Mögliche Kombinationen von Deckensegel und integrierter Bauteilaktivierung

spiel gefangene Innenräume, Besprechungsräume, Eckräume mit einem hohen Fassadenanteil aus Glas) werden Segel zur Leistungssteigerung eingesetzt. Oftmals werden Segel auch nur zur Steigerung der akustischen Behaglichkeit eingesetzt, weshalb auf eine Aktivierung der Segeln dann verzichtet wird. Die ergänzenden Segel können punktuell zu einer Leistungssteigerung führen. In diesen Fällen werden die Segel sowohl mit als auch ohne eine thermische Aktivierung eingesetzt. Eine Aktivierung ist in jedem Fall zu empfehlen, wenn ein Auslass für die Frischluftzufuhr direkt über dem Segel angeordnet ist, um die Luft entsprechend dem Raum zu konditionieren.

Um die Aktivierung der Segel in Verbindung mit einer Bauteilaktivierung umsetzen zu können, braucht es einen Anschluss an das Rohrleitungsnetz der im Beton eingelegten Rohrregister. Das erfolgt mit einer thermischen Steckdose, die bereits in der Betondecke vorzusehen ist. Dieser Anschluss kann innerhalb eines bestehenden Registers erfolgen, oder losgelöst davon als eine eigene Zuleitung ausgeführt werden. Werden die einzelnen Register über einen dezentralen Verteiler versorgt, dann kann der Anschluss für die thermische Steckdose wie ein einzelnes Register behandelt werden.



Thermische Steckdose für den Anschluss von zusätzlichen Deckensegel



Leistungsfähigkeit von Heiz- und Kühlsystem mit besondere Fokus auf thermoaktive Bauteilsysteme

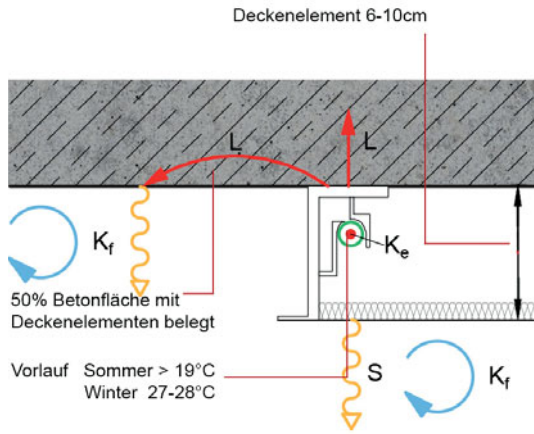
Externe Bauteilaktivierung – TGA-Leitungen: Raus aus dem Beton

Über die Systemtrennung beziehungsweise über die Integration von Beton und Gebäudetechnik wird lebhaft diskutiert. Unter dem Aspekt einer immer aufwendigeren Gebäudetechnik werden wir immer öfter gezwungen, Synergiepotentiale für interdisziplinäre Lösungen zu suchen und gleichzeitig funktionale und architektonische Mehrwerte zu schaffen [4]. Einen Beitrag dazu stellt die spezielle Ausführung von aktivierten Deckensegeln dar, die in Verbindung mit einem nicht aktivierten Betonquerschnitt stehen [5]. Der Betonuntergrund wird passiv genutzt und arbeitet vorwiegend als reine Speichermasse. Die thermische Energie wird über thermisch leitende Verbindungen und über die Konvektion in dem Luftspalt zwischen Segel und Betonunterseite in und aus dem Beton transportiert. Die einzeln angeordneten Segel sind mit Rohrregistern bestückt und geben die thermische Energie direkt über ihre Fläche in Form von Strahlung und Konvektion ab. Ergänzend wird die Masse des Betons über eine leitende Verbindung geladen. Dieser Vorgang vollzieht sich jedoch sehr langsam. Die im Beton



Ergänzende Deckensegel in Verbindung mit einer integrierten Bauteilaktivierung

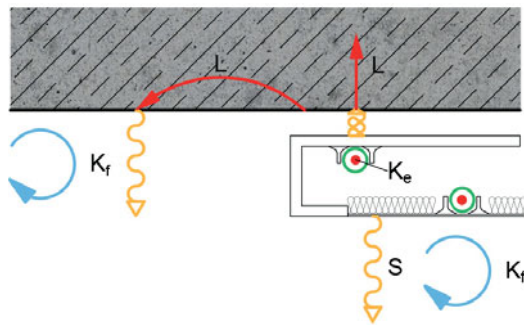
Photo: HOCHTIEF Projektentwicklung GmbH / Derek Henning Photography



Externe Bauteilaktivierung:
Bauteil aufgesetzte Bauteilaktivierung [5]



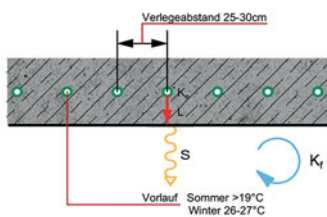
Externe Bauteilaktivierung mit aufgesetzten
Blechkassetten



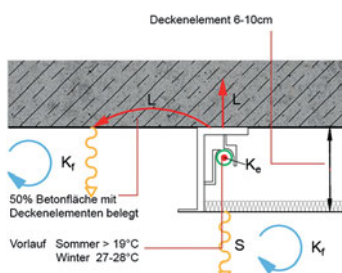
Externe Bauteilaktivierung:
Bauteil angehängte Bauteilaktivierung [5]

gespeicherte Energie kann dann wie bei der klassischen Bauteilaktivierung üblich über die freie Fläche zwischen den Segeln abgegeben werden. Die Ausführung wurde in der Schweiz entwickelt im Hinblick auf die Forderungen keine TGA-Elemente in die starre Betondecke zu integrieren. Mit dieser Technik wird eine weitere Möglichkeit geschaffen, bestehende Betonstrukturen nachträglich auszurüsten, so dass die positiven Aspekte der Speichermasse des Betons genutzt werden können. Insbesondere können mit dieser Ausführung auch diejenigen Kritiker beruhigt werden, die Bedenken gegenüber der Integration der Komponenten der Haustechnik in dem Betonquerschnitt aufführen. Hinsichtlich der Befestigung der Deckensegel unterscheidet man bei diesem System zwischen einer „Bauteil aufgesetzten Bauteilaktivierung“ und einer „Bauteil angehängten Bauteilaktivierung“. Im Vergleich zu der Bauteilaktivierung mit im Querschnitt angeordneten Rohrleitungen ergeben sich unterschiedliche Eigenschaften der drei Systeme. Der graphischen Darstellung entnimmt man die Leistungskurven für die drei Systeme. Die geschlossenen Kurven stellen den Be- und den Entladevorgang dar. Die von den Kurven umschlossene Fläche entspricht der im Bauteil gespeicherten Wärme. Die Ausführung mit den integrierten Rohrleitungen lebt deutlich von der gespeicherten Energie in der Betonmasse. Mit einem schmalen Band an Leistung reagiert das System träge auf eine sehr große Bandbreite von Raumlufttemperaturen. Ohne die thermische Leistung in den wassergeführten Rohren zu verändern, lässt sich eine große Variation an Raumlufttemperaturen abdecken. Hier wird der sogenannte Selbstregelleffekt der Bauteilaktivierung genutzt. Mit diesem System kann auch die größte Menge an Energie gespeichert werden. Dieses Spektrum an Temperaturen kann bereits mit dem System der „aufgesetzten Bauteilaktivierung“ nicht mehr erreicht werden. Es braucht eine größere Variation an Leistung, um das ohnehin schon schmalere Band an Raumlufttemperaturen abzudecken. Noch mehr Leistung benötigt es bei dem System der „angehängten Bauteilaktivierung“. Hier wird die geringere Interaktion zwischen Segel und Betonquerschnitt noch deutlicher, denn über Konvektion lässt sich weniger Energie übertragen als über Leitung. Im Vergleich der drei Systeme wird auch der Unterschied in der Reaktionszeit deutlich. Mehr Leistung in den Deckensegel ermöglicht eine rasche

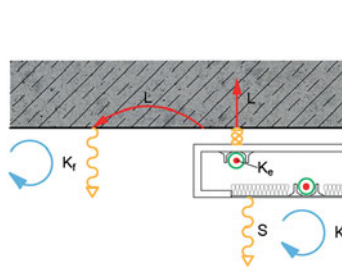
**INTEGRIERTE
BAUTEILAKTIVIERUNG**



**BAUTEIL AUFGESETZTE
BAUTEILAKTIVIERUNG**

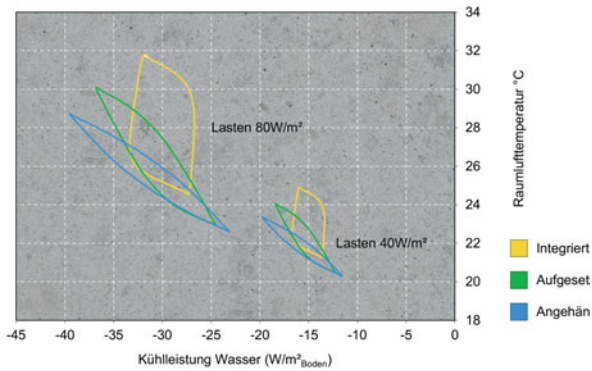


**BAUTEIL ANGEHÄNGTE
BAUTEILAKTIVIERUNG**

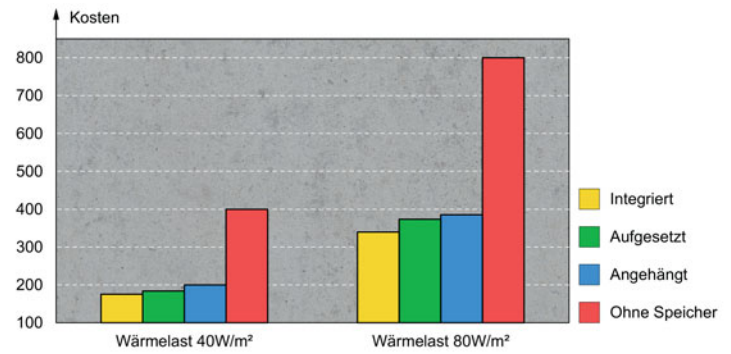


- K_e = erzwungene Konvektion
- K_f = freie Konvektion
- S = Wärmestrahlung
- L = Wärmeleitung

Übersicht über Bauteilaktivierung und Deckensegel als Beispiel für die Massenaktivierung [6]



Wirkungsweise der verschiedene Systeme einer externen Bauteilaktivierung [5]



Erforderliche Investitionen für die zentrale Kälteleistung in Abhängigkeit der Massenaktivierung [6]

Veränderung der Temperatur im Raum. Deutlich zeigt sich jedoch auch wie wertvoll die Speicherung der thermischen Energie ist, um damit Spitzenlasten im Raum abzudecken. Das wiederum hat große Auswirkungen auf die Gesamtkosten der Gerätschaften zur Erzeugung der thermischen Leistungen. Für die drei Systeme mit Speichermöglichkeiten wurden die Kosten für die Kälteerzeugung ermittelt und einem Layout ohne Speichermöglichkeiten gegenüber gestellt [6]. Unabhängig von der Höhe der Wärmelast im Gebäude lassen sich die Anlagekosten mehr als halbieren. Dabei fallen für die klassische Bauteilaktivierung mit den im Beton integrierten Rohrleitungen die geringsten Kosten an. Je nach Ausführung mit Deckensegel entstehen geringfügig höhere Kosten.

Fazit

Mit den vorgestellten Möglichkeiten der Deckensegel und den in der Schweiz durchgeführten Untersuchungen konnte erneut gezeigt, welche großen Vorteile die lokale Speicherung von thermischer Energie sowohl auf die Kosten als auch auf die Behaglichkeit bietet. Die von der Bauteilaktivierung her bekannten Nachteile wie die geringe Leistung und die träge Reaktionszeit lassen sich vermeiden, wenn ergänzend Deckensegel mit und ohne zusätzliche Aktivierung eingesetzt werden. Auch hier können wir von der Weisheit der Natur lernen, indem wir diese Techniken an unsere Gegebenheiten adaptieren. Noch nutzen wir die Vorgänge der Natur zu wenig, um für unsere Bedürfnisse ein Optimum zu finden.

Thomas Friedrich,
Innogrations GmbH

LITERATUR

- [1] Mario Ludwig: „Genial gebaut – von fleißigen Ameisen und anderen tierischen Architekten“ Konrad Theiss Verlag 2015
- [2] Newsletter Februar 2017 von Innogrations GmbH - Geschichte #3 2/2017 „Von der Weisheit der Natur lernen“ - www.innogrations.de
- [3] Jens Pfafferoth, Doreen Kalz, Roland Königsdorff: „Bauteilaktivierung – Einsatz – Praxiserfahrung – Anforderungen“ Fraunhofer IRB Verlag 2015
- [4] Adrian Altenburger: „Beton und Gebäudetechnik Systemtrennung oder –Integration“? 10. Schweizer Betonforum, Betonsuisse Zürich 17.08.2016
- [5] Hansjürg Leibundgut, Rolf Mielebacher: „Bauteilaktivierung: Raus aus dem Beton“ – Firmenzeitschrift Z.B. 25, Amstein + Walthert, Mai 2014

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

Winterspecial: Energieeffizienz:
was können wir von der Natur lernen?

- 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 Bauprojekte