THERMISCH AKTIVIERTE BAUTEILE FÜR DIE ENERGIESPEICHERUNG

Thomas Friedrich[1], Sebastian Groh[2]
[1] *Innogration GmbH, 54470 Bernkastel-Kues, E-Mail: th.friedrich@innogration.de*
[2] *Innogration GmbH, 54470 Bernkastel-Kues, E-Mail: s.groh@innogration.de*

Kurzfassung

In Verbindung mit den Flachdecken für Wohn- und Nichtwohngebäude werden Rohrleitungen im Querschnitt integriert, um damit die Räume zu klimatisieren. In diesem Zusammenhang spricht man von der Bauteilaktivierung, weil die Masse des Betonquerschnitts für die Verteilung der Wärmeenergie genutzt wird. Aufgrund der Veränderung der Querschnittsformen der Flachdecken ändert sich die thermische Leistungsfähigkeit der Bauteilaktivierung. Die aufgelösten Querschnitte erlauben eine ausreichende Wärmespeicherung und ermöglichen eine schnelle Reaktionsfähigkeit. Bei Auslegung der Anlage für den durchschnittlichen Verbrauch braucht es spezielle Regelungen zur Abdeckung der Spitzenlasten. Dazu wird eine Mikrowärmepumpe auf Basis von Peltier Elementen vorgestellt. Diese arbeitet in Verbindung mit der Bauteilaktivierung, um kurzfristig und lokal höhere thermische Leistungen zu erzeugen.

Abstract

In combination with flat slabs for residential and non-residential buildings, pipes are integrated into the cross-section to provide space conditioning. In this context, the term *thermally activated building systems* (TABS) is used, because the mass of the concrete cross-section is utilized to distribute thermal energy. Changes in the cross-sectional geometry of the flat slabs affect the thermal performance of the thermally activated system. Optimized (segmented) cross-sections allow sufficient thermal storage while enabling a fast response time.

When the system is designed for average demand, special control strategies are required to cover peak loads. For this purpose, a micro heat pump based on Peltier elements is introduced. It operates in combination with the thermally activated building system to provide higher thermal output locally and at short notice.

Einleitung

Über die Deckenoberfläche erfolgt die Abgabe der Wärmeenergie über Strahlung an den Raum. Mit der Strahlungswärme werden die Objekte im Raum gleichmäßig erwärmt.
Im Gegensatz dazu steht die Erwärmung der Luft des Raums über Konvektion. Insbesondere die Heizkörper aber auch die Fußbodenheizung nutzen die Konvektion, um die Wärme an den Raum abzugeben.

Über Konvektion gelingt es nicht, einzelne Bauteile bzw. Körper im Raum ausreichend zu erwärmen. Vom Benutzer werden dann diese kalten Flächen als unbehaglich empfunden.

Die Strahlungswärme hingegen wird von dem Nutzer des Raums als sehr angenehm empfunden, da die Wärme von allen Seiten des Raums an die Personen abgegeben werden. Dank der direkten Erwärmung der Körperteile des Benutzers kann die Lufttemperatur im Raum um 1 bis 2°C gesenkt werden. Das spart Energie und somit Kosten. Die Abgabe der Wärmeenergie über Strahlung entlang der Deckenoberfläche erlaubt auch, die Räume effizient zu kühlen.
Flachdecken mit einem massiven Querschnitt zeigen große Defizite, was die Funktion der Bauteilaktivierung betrifft. Die Reaktionszeit ist ausgesprochen langsam und die thermische Leistung ist gering. Das liegt an dem überdimensionierten Querschnitt der Flachdecke mit sehr viel Masse. Zudem bestimmt die oftmals zentrische Lage der Rohrleitungen im Querschnitt die Reaktions- und Leistungsfähigkeit.

Geänderte Querschnitte von Flachdecken

Die Konstruktion der Flachdecken als Basis für die Bauteilaktivierung steht im Wandel.
Im Gegensatz zu den Vollquerschnitten der Flachdecken aus der Vergangenheit, muss heute Material eingespart werden. Aktuelle Entwicklungen nutzen aufgelöste Querschnitte wie z.B. Hohlkörper oder auch Sandwichquerschnitte, um Material und somit Zement einzusparen (IEA Task Group, 2026). Vorteilhaft werden vorgefertigte Plattenbauteile verwendet, bei denen die Rohrleitungen sowie sonstige Elemente der Haustechnik bereits im Werk eingebaut werden.

In diesem Zusammenhang muss auch die Wirkungsweise der Bauteilaktivierung neu geplant werden. Bei aufgelösten Querschnitten wird i.d.R. nur der untere Teil (< 40% der Gesamtmasse) des Querschnitts mit Rohrleitungen zum Heizen/Kühlen versehen. Hierbei zeigen sich deutliche Vorteile, was die thermische Leistung betrifft. Die geringe Masse verbunden mit der oberflächennahen Anordnung der Rohrleitungen führt zu verbesserten Reaktionszeiten.

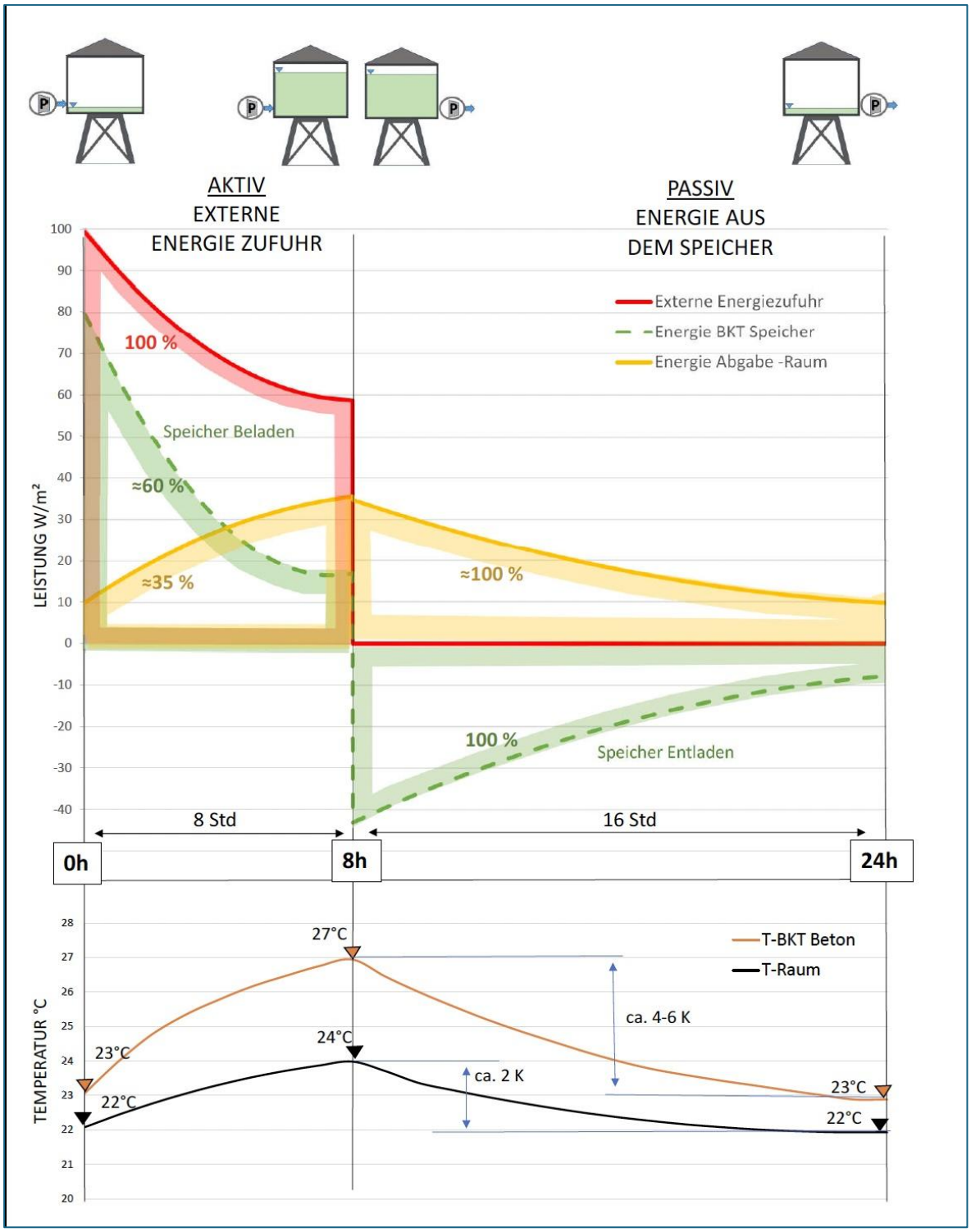

Abbildung 1 Speicherverhalten einer Bauteilaktivierung (Leistung, Temperatur, Energie

Wirkung der Bauteilaktivierung in Verbindung mit einem Sandwichquerschnitt

Die Reduktion der wirksamen Betonmasse auf die untere Schale von 10cm des Sandwichquerschnitts liefert bereits eine ausreichende Masse, um Wärme für einen überschaubaren Zeitraum speichern zu können. Die Wärmeenergie wird über die Rohrleitungen in die untere Schale des Sandquerschnitts eingeleitet. In der Betonmasse wird die Energie teilweise gespeichert, bzw. direkt an den Raum abgegeben. Um dieses Verhalten zu analysieren, wurden umfangreiche

Versuche an dem klassischen Sandwichquerschnitt des Gebäudes InnoLiving® vorgenommen. Dabei wurden die Temperaturen im Beton, an der Oberfläche und im Raum gemessen. Ergänzend wurden die Wärmeflüsse an den Betonbauteilen gemessen. Die in den Teilquerschnitt eingeleitete Wärmeenergie erhöht die Temperatur im Beton, während die Auswirkungen auf die Raumtemperatur geringer ausfallen. Dieser Effekt lässt sich darauf zurückzuführen, dass die Energie zum großen Anteil (60%) anfänglich gespeichert wird und nur der geringere Anteil (35%) direkt als thermische Leistung an den Raum abgegeben wird. Die Messungen haben gezeigt, dass die Wärme kontrolliert in dünnwandigen Betonbauteilen gespeichert werden kann. Dieses Verhalten erlaubt, die Betonmasse idealerweise als Pufferspeicher zu nutzen und den Einsatz der Wärmepumpe auf bestimmte Zeitintervalle zu beschränken (getakteter Einsatz der Wärmepumpe). Dieses Verhalten hilft, auf das schwankende Angebot der erneuerbaren Energie Einfluss zu nehmen. Anstatt den Strom in kostenintensiven Batterien zu speichern, kann er somit direkt in Wärme umgewandelt werden, um dann in dem Gebäude selbst gespeichert zu werden.

Selbstregeleffekt der Betonmasse

Dank dem Selbstregeleffekt der Betonbauteile wird die thermische Leistung ausschließlich von der Temperaturdifferenz zwischen Raum und Betonoberfläche bestimmt. Entsprechend wird dann automatisch der Speicher entleert. Dieses Verhalten erfolgt ohne jegliche Steuerung.
Dieser Effekt wird auch genutzt, wenn solare Gewinne oder hohe interne Lasten im Raum anstehen. Entsteht dadurch eine höhere Raumtemperatur als die Oberflächentemperatur der Betondecke, wird die Wärmeenergie im Beton gespeichert und erst wenn sich die Temperaturdifferenz umkehrt, dann wird die kurzfristig gespeicherte Energie wieder an den Raum abgeben.
Mit diesem Effekt bleibt die Raumtemperatur weitgehend konstant und verändert sich nur geringfügig

.

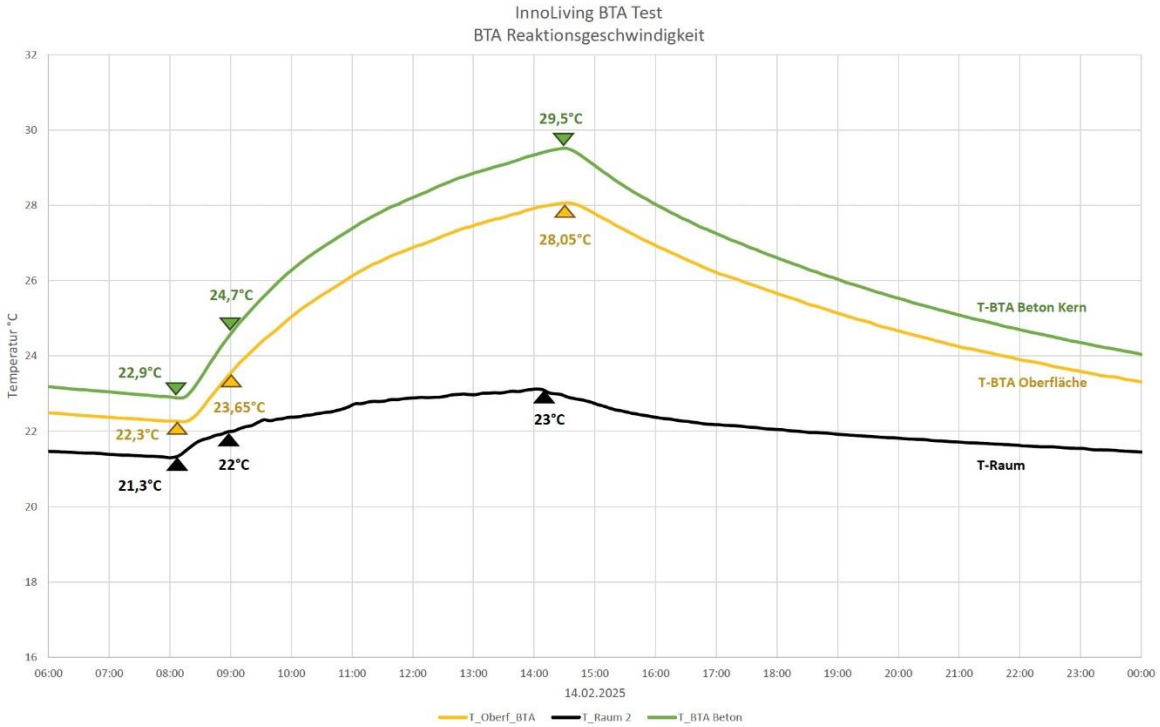

Abbildung 2 Temperarturverlauf bei einer Bauteilaktivierung (Raum, Betonoberfläche, Betonkern)

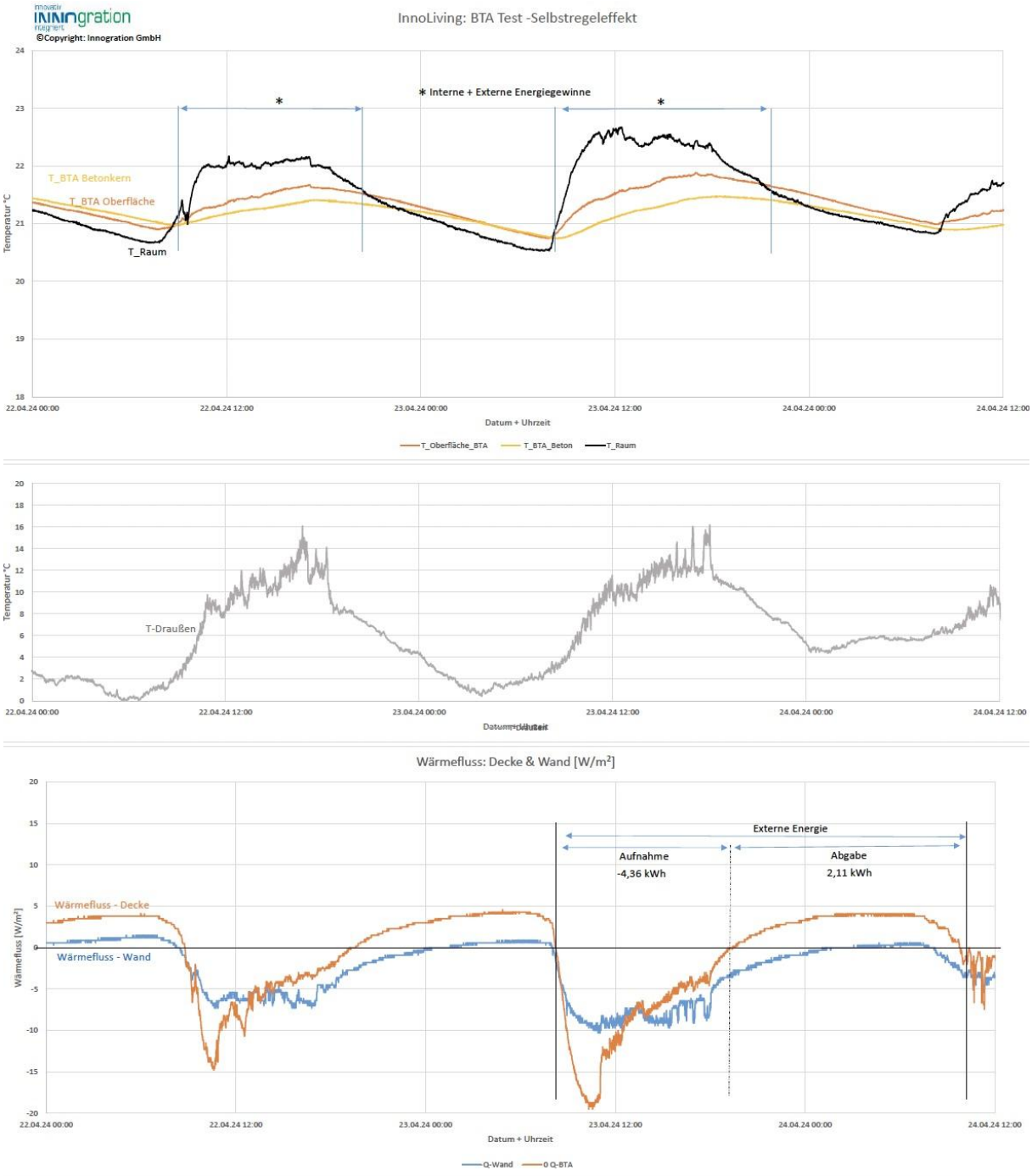

Abbildung 3 Selbstregeleffekt von Betonbauteilen mit Bauteilaktivierung bei internen Lasten (Temperatur und Wärmefluss)

Wärmeenergie für mehrere Tage

Unabhängig von der kurzfristigen Speicherung der Wärme kann auch mehr Energie in den Betonquerschnitt für einen längeren Zeitraum eingelagert werden. Damit sind höhere Temperaturen im Beton verbunden, während sich die Raumtemperatur nur geringfügig verändert. Damit ist der Raum in der Lage, auch über mehrere Tage ohne zusätzliche Energie ein akzeptables Raumklima aufrecht zu erhalten. Je höher die Bauteiltemperatur durch die erhöhte Energiezufuhr ausfällt, umso länger die Zeitspanne, in der ohne Zufuhr von Energie klimatisiert werden kann. Damit werden gezielt Zeitintervalle überbrückt, in denen keine erneuerbare Energie vorhanden ist. Sollte die Raumtemperatur nach der längeren Zeit ohne Energiezufuhr zu stark abfallen, erlaubt die schnelle Reaktionszeit das Temperaturniveau des Raums wieder auf das alte Niveau zu bringen.

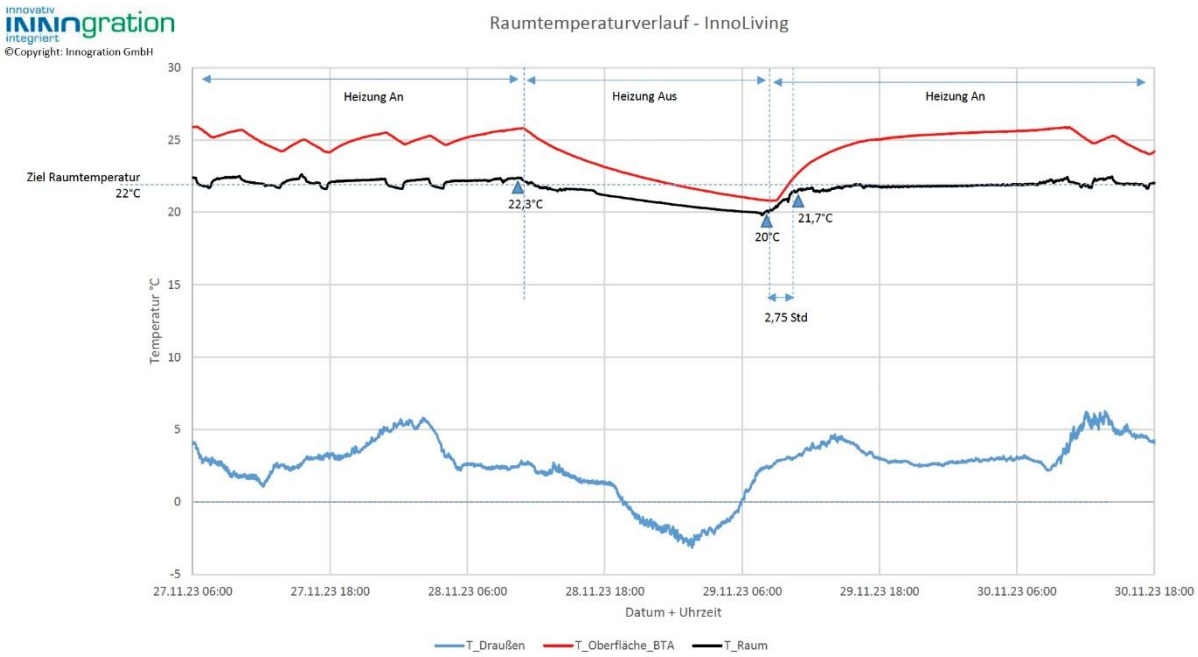

Abbildung 4 Speichervermögen der Betonbauteilen und schnelle Reaktionszeit der Bauteilaktivierung

Wie umgehen mit thermischen Spitzen beim Wärmebedarf?

Die Anlage bzw. die Wärmepumpe für den Betrieb der Bauteilaktivierung wird i.d.R. für einen durchschnittlichen Verbrauch ausgelegt. Diese Auslegung hilft, die Investitionen für die Energieerzeuger (Wärmepumpe) überschaubar zu halten. Der Wärmetransfer innerhalb der Räume kann damit auch wirtschaftlich betrieben werden. Damit wird eine Klimatisierung mit konstanten Temperaturen in allen Räumen sichergestellt. Über die Einzelraumregelung lässt sich bereichsweise die Temperatur der Räume regeln.

Dennoch entstehen in einzelnen Räumen jedoch Spitzenlasten, die dann nicht abgedeckt werden können. Spitzenlasten sind durch zusätzliche externe bzw. interne Einflüsse gekennzeichnet:

- Eckräume mit hohem solarem Energieeintrag über zwei Fassaden;
- Räume für Besprechungen mit kurzfristig hohen internen Lasten;
- Bei Wohngebäuden brauchen einzelne Räume nur zu bestimmten Zeiten höhere Energie;

In diesen Fällen sollte die Möglichkeit bestehen, mit lokal angeordneten Gerätschaften, individuell reagieren zu können. Hierbei hilft eine Mikrowärmepumpe, die begrenzt zusätzliche thermische Leistung und die Raumtemperatur an den Bedarf anpasst.

Einsatz einer Mikrowärmepumpe auf der Basis von Peltier-Elementen

Da bei diesen Maßnahmen die Temperaturdifferenz gering ist, empfehlen sich aufgrund der kompakten Bauweise die Anordnung mehrerer in Reihe angeordneter Peltier Elemente. Peltier Elemente arbeiten ausschließlich mit Strom und ohne jegliche mechanisch rotierende Bauelemente. Die keramischen Bauteile erzeugen bei Stromfluss eine warme und eine kalte Seite, ähnlich wie bei einer Wärmepumpe. Der Aufbau der Einheit von Peltier Elementen braucht eine Energiesenke und eine Quelle.
Da für die erhöhten Anforderungen kurzfristig höhere bzw. kältere Temperaturen als die vorhandene Bauteilaktivierung gefordert werden, bietet sich deren Wasser geführtes Leitungssystem als Quelle an. Über Wärmetauscher sind die Peltier Elemente mit der Bauteilaktivierung verbunden. Auf der Seite der Senke kann z.B. die Raumluft erwärmt werden, oder ein Deckensegel angeschlossen werden. Die von den Peltier Elementen erzeugte Energie wird über einen Wärmetauscher an die Raumluft abgegeben.
Die gesamte Einheit von Wärmetauschern und Peltier Elementen ist sehr kompakt und kann in einem kleinen Gehäuse angeordnet werden. Diese Einheiten werden dann i.d.R. an der Decke befestigt oder in einem weiten Bauteil wie z.B. ein Turm mit Akustikelementen angeordnet.
In dieser Anwendung arbeiten die Peltier Elemente wie eine Mikrowärmepumpe. Bei den geringen Temperaturdifferenzen führt eine geringe Stromstärke für

die Peltier zu einer wirtschaftlichen Anwendung. Bei geringem Stromverbrauch werden COP-Werte von ca. 3 erzielt. Bei dem Einsatz einer derartigen kompakten Einheit aus Peltier Elementen und Wärmetauschern wurden die Temperaturen bei Lufteintritt und -austritt gemessen. So kann kurzfristig auf lokale thermische Veränderungen im Raum reagiert werden, ohne einen Eingriff auf die Rohrregister der Bauteilaktivierung in der Decke.
Damit kann der vom Durchschnittsfall abweichende Bereich mit hohen Spitzenlasten individuell angepasst werden.

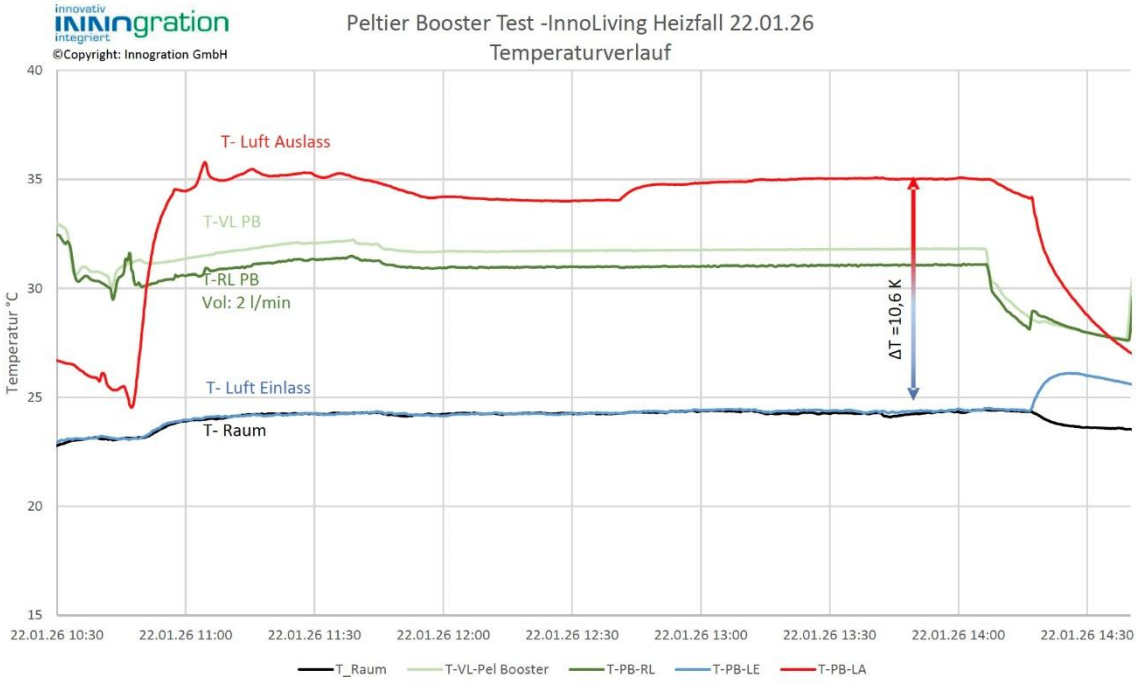

Abbildung 5 Temperaturverhalten bei Spitzenlasten mit einer Mikrowärmepumpe aus Peltier Elemente

Zusammenfassung

Die Querschnitte der Flachdecken haben sich vom Vollquerschnitt zu aufgelösten Querschnitten hin verändert. Das hat auch Auswirkungen auf die Wirkungsweise der Bauteilaktivierung. Aufgrund der Notwendigkeit, Material einzusparen, kommt ein aufgelöster Querschnitt bei Flachdeckenkonstruktionen zur Anwendung. Die geänderte Geometrie des Querschnitts erweist sich jedoch vorteilhaft für ein optimales Funktionieren der Bauteilaktivierung. Die thermische Leistung ist ausreichend und steht kurzfristig und rasch zur Verfügung. Auch die Speicherfähigkeit ist ausreichend, um z.B. den Raum über mehrere Tage ohne Energiezufuhr zu klimatisieren. In umfangreichen Messungen über den gesamten Jahresverlauf an einem Objekt mit Bauteilaktivierung innerhalb eines Sandwichquerschnitts wurde deren thermisches Verhalten überprüft.

Literatur

IEA Task Group Energy Storage: Subtask A Construction and Materials - Kapitel 2.4 Construction of prefabricated systems, 202