



# Thermoaktive Bauteilsysteme

*Nichtwohnungsbauten energieeffizient heizen und kühlen auf hohem Komfortniveau*



## Zur Sache

*Lassen sich Gebäude mit Umweltenergie kühlen? Ja – mit Hilfe von thermoaktiven Bauteilsystemen. Auf herkömmliche Kältemaschinen kann verzichtet werden, wenn Gebäude architektonisch und bauphysikalisch energieoptimiert geplant und gebaut sind. Und wenn mit thermoaktiven Bauteilsystemen die gebäudeeigene Speicherkapazität zum Temperaturengleich genutzt und über natürliche Wärmesenken wie das Erdreich, das Grundwasser oder die kühle Nachtluft aktiviert werden kann. Seit den 1990er Jahren werden mehr und mehr Gebäude mit diesen Systemen gekühlt – und auch beheizt.*

*Doch wie flexibel bleibt die Nutzung von Gebäuden? Wie energieeffizient sind die thermisch trägen Flächenkühl- und Flächenheizsysteme? Unter welchen Voraussetzungen ist das Konzept wirtschaftlich anwendbar? Welches Komfortniveau wird tatsächlich erreicht? Diese Fragen werden hier diskutiert – auch auf der Basis von drei Neubauten aus dem Monitoring-Programm „Energieoptimiertes Bauen“ (EnOB), einer Forschungsinitiative des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi). Unter realen Betriebsbedingungen werden hier Gebäude- und Energiekonzept sowie neue Materialien und Technologien ausgiebig getestet und nach wissenschaftlichen Maßstäben bewertet. Mit diesem Themeninfo präsentieren wir eine erste fundierte Auswertung zur Betonkerntemperierung, einem häufig eingesetzten thermoaktiven Bauteilsystem.*

*Der primärenergetisch bewertete Energieverbrauch für Heizung, Kühlung, Lüftung und Beleuchtung unterschreitet bei allen hier vorgestellten Gebäuden 115 kWh/m<sup>2</sup>a und liegt um den Faktor 2 bis 3 unter den Verbrauchswerten heutiger Standard-Büroneubauten. Die thermoaktiven Bauteilsysteme schneiden hier so günstig ab, weil natürliche Wärmequellen und Wärmesenken genutzt werden können.*

*Ein Hinweis in eigener Sache: Nach nunmehr 10 Jahren ist die Zeit für eine grundlegende Überarbeitung von Konzept und Auftritt der Themeninfos gekommen. Weiterhin gilt: Wir präsentieren Ihnen aktuelle Energiethemas im Kontext von anwendungsnahen Forschungsprojekten. Mit den neuen Themeninfos möchten wir Ihnen den Überblick erleichtern, indem die Informationen noch klarer, übersichtlicher und mit neuen Perspektiven dargestellt werden. Wie gefällt Ihnen das neue Erscheinungsbild? Anregungen und Kritik sind willkommen.*

Ihre BINE-Redaktion  
[redaktion@bine.info](mailto:redaktion@bine.info)

## Inhalt

- 3 *Passiv Kühlen mit TABS*
- 5 *Grundwasser in der 40sten Etage*
- 6 *Beton – temperiert gut*
- 10 *Integrale Planung und interdisziplinäres Bauen*
- 11 *Aus der Praxis: Berufsschule in Biberach*
- 12 *Woher kommen Wärme und Kälte?*
- 14 *Aus der Praxis: Bürogebäude nach Passivhauskonzept*
- 15 *Im Portrait: Der Professor und der Planer – zwei Expertenmeinungen*
- 16 *Dynamik von Heizen und Kühlen*
- 17 *Betonkerntemperierung und Behaglichkeit*
- 18 *Aus der Praxis: Bürogebäude in Aachen*
- 19 *Checkliste Betonkerntemperierung*

## Impressum

### ISSN

1610 - 8302

### Herausgeber

FIZ Karlsruhe GmbH  
 Hermann-von-Helmholtz-Platz 1  
 76344 Eggenstein-Leopoldshafen

### Autor

Dr. Jens Pfafferoth, Fraunhofer ISE  
 Doreen Kalz, Fraunhofer ISE

### Redaktion

Johannes Lang

### Titelbild

Bürogebäude Energon in Ulm  
 (Foto: Software AG Stiftung,  
 Darmstadt)

### Nachdruck

Publikation von Texten und Grafiken nur zulässig mit vollständiger Quellenangabe und gegen Zusendung eines Belegs. Nachdruck der Fotos nur mit Zustimmung des jeweils Berechtigten. Soweit nicht anders vermerkt stammen alle Grafiken vom Autor.

BINE ist ein Informationsdienst von Fachinformationszentrum (FIZ) Karlsruhe GmbH und wird vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) gefördert.



# BINE

Informationsdienst

FIZ Karlsruhe, Büro Bonn  
 Kaiserstraße 185-197, 53113 Bonn  
 Tel. 0228/92379-0  
 Fax 0228/92379-29  
[bine@fiz-karlsruhe.de](mailto:bine@fiz-karlsruhe.de)  
[www.bine.info](http://www.bine.info)



# Passiv Kühlen mit TABS

*„Schlanke“ Gebäudekonzepte setzen auf energieeffiziente und nachhaltige Systemlösungen, die sich durch ein geringes Maß an Gebäudetechnik und niedrige Betriebskosten für Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Wartung auszeichnen. Auch unter veränderten Randbedingungen können sie den thermischen, hygienischen und visuellen Raumkomfort sicherstellen. Das Kühlen und unter bestimmten Voraussetzungen Heizen von Bürogebäuden mit Umweltenergie aus Erdreich, Grundwasser und Außenluft ist energetisch und wirtschaftlich besonders interessant.*

**Abb. 1** Thermoaktive Bauteilsysteme kühlen und heizen das Bürogebäude Energon in Ulm.  
Foto: Software AG Stiftung, Darmstadt

Heute sind energieoptimierte Gebäude realisierbar, die einen vergleichsweise geringen Heiz- und Kühlbedarf haben. In diesen Gebäuden lässt sich auch ohne aufwändige Gebäudetechnik ein angenehmes Raumklima erreichen. Möglich wird dies erst mit der Kombination sorgfältig aufeinander abgestimmter Maßnahmen mit folgenden Grundelementen: Sehr guter Wärme- und Sonnenschutz, ausreichende thermische Gebäudespeicherkapazität, luftdichte Gebäudehülle in Verbindung mit einer Grundlüftung und hygienisch notwendigem Luftwechsel sowie Wärmerückgewinnung. Der Verzicht auf aktives Kühlen im Sommer zu Gunsten der passiven Kühlung ist nur möglich, wenn Gebäude sorgfältig geplant werden, so dass Architektur, Baukonstruktion, Nutzeranforderungen und Gebäudetechnik in einem integralen Gesamtkonzept aufeinander abgestimmt werden.

Kühlkonzepte mit freier oder mechanischer Nachtlüftung wurden in den letzten Jahren erfolgreich in Büro- und Gewerbegebäuden eingesetzt. Die Erfahrung mit per Nachtlüftung gekühlten Niedrigenergie-Bürogebäuden zeigt, dass im Sommer angenehme Raumtemperaturen erreicht werden – auch ohne Klimaanlage. Aber bei lang anhaltenden Hitzeperioden – so z. B. in den Sommern 2003 und 2006 – verhindern relativ hohe Außentemperaturen in der Nacht eine ausreichende Kühlung der thermischen Gebäudemasse. Dann reichen bauliche Maßnahmen und eine mechanisch unterstützte Nachtlüftung oft nicht aus, um tagsüber ein behagliches Raumklima zu gewährleisten.

Erheblich wirkungsvoller sind thermoaktive Bauteilsysteme, kurz „TABS“. Hierbei wird die Gebäudestruktur mit bauteilintegrierten Rohrregistern gekühlt, um das Raumklima komplett oder unterstützend zu konditionieren. Werden TABS mit Kälte aus dem Erdreich oder über einen Kühlturm aus der Umgebungsluft versorgt, muss lediglich die Energie zur Verteilung der Kühlenergie, nicht aber zu deren Erzeugung, aufgewendet werden. Gebäude mit niedrigem Wärmebedarf können mit TABS auch beheizt werden.

## Thermoaktive Bauteilsysteme – eine Systematik

Wasserführende Rohrsysteme, welche zwecks ganzjähriger Temperierung von Gebäuden in Decken und Fußböden integriert werden, sind schon seit längerem verbreitet. Dennoch hat sich hierfür noch keine allgemein akzeptierte Bezeichnung durchgesetzt. Es finden sich – je nach Anwendung – vor allem die Begriffe Betonkernaktivierung, Betonkerntemperierung, thermoaktive (Beton-)Decken, Bauteilheizung bzw. Bauteilkühlung, Bauteilaktivierung, Betonkernkühlung sowie Fußbodenheizung oder -kühlung. Vereinzelt werden auch die Begriffe Aktivspeichersysteme, Aktivflächensysteme, Bauteilkonditionierung, Bodentemperierung, teilaktive Böden und eingebettete Flächenheiz- und Flächenkühlsystem gebraucht. Zur Vereinheitlichung scheint der Oberbegriff „Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS)“ geeignet, um all jene Systeme zusammenzufassen, die durch eine geeignete Bauweise die Gebäudestruktur aktiv in das Energiemanagement

### Kühlkonzepte im Vergleich

#### Luftgeführte Konzepte

Außenluft	Taglüftung	
	Nachtlüftung	Freie Nachtlüftung Mechanische Nachtlüftung Freie Nachtlüftung + back-up-System (hybrid)

#### Wassergeführte Konzepte

Erdreich Grundwasser Außenluft	TABS	Betonkerntemperierung, Kapillarrohrsystem, Fußbodentemperierung, Zweiflächen-Bauteiltemperierung
	Kühlsegel	Von der Decke abgehängte Kühlpaneele

#### Klimaanlage

Außenluft	Voll-Klimaanlage (Heizen, Kühlen, Be- und Entfeuchten)
-----------	--

Leistungsfähigkeit, Energiebedarf u. Kosten nehmen zu

Abb. 2 Wie können Gebäude gekühlt werden? – eine Systematik

des Gebäudes mit einbeziehen. Da die meisten TABS mit Wasser als Arbeitsmedium sowohl zum Heizen als auch zum Kühlen eingesetzt werden können, ist für die weitere Klassifizierung der Ausdruck „Temperierung“ angebracht. Die Unterteilung der TABS richtet sich nach der jeweiligen Lage der Rohre im Bauteil: Kapillarrohrsysteme, Betonkerntemperierung, Fußbodentemperierung und Zweiflächen-Bauteiltemperierung.

#### Fokus: Wassergeführte Betonkerntemperierung

Aus der Vielzahl der thermoaktiven Bauteilsysteme beschränkt sich dieser Beitrag auf die häufig eingesetzte wassergeführte Betonkerntemperierung (BKT), für die sich wiederum folgende Systemkombinationen finden:

1. BKT als reine Bauteilkühlung, kombiniert mit konventionellen Heizsystemen (Heizkörpern) sowie natürlicher oder mechanischer Lüftung. Bei dieser Anwendung

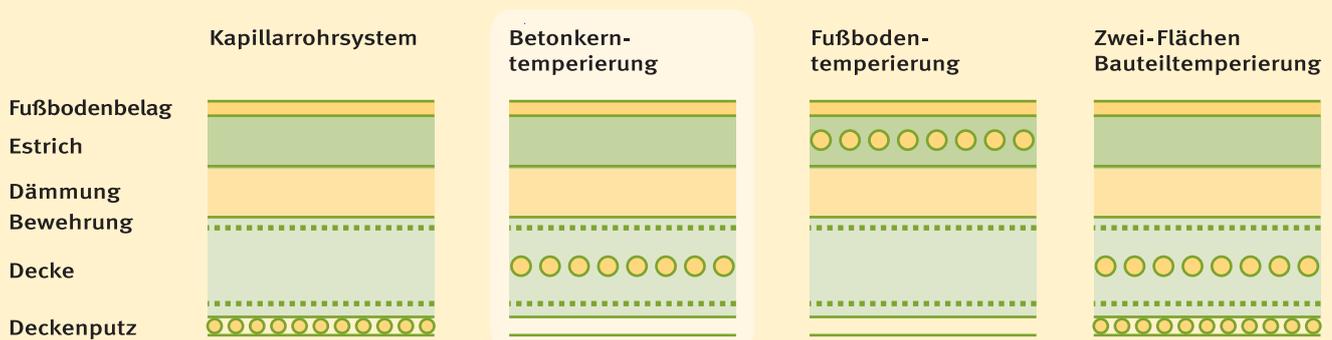
ersetzt die Betonkerntemperierung ein konventionelles Kühlsystem.

2. BKT als einzige Heiz- und Kühlfläche im Raum, kombiniert mit einer mechanischen Lüftung.

3. Ergänzende Systeme: Aufgrund der thermischen Trägheit und der daraus folgenden ungenügenden Regelbarkeit des BKT-Systems, kommen mitunter ergänzende Heiz- und Kühlsysteme zum Einsatz. Das BKT-System dient als Grundlastsystem für Heizung und Kühlung, ergänzt um ein Zusatzsystem im Raum für die individuelle und bedarfsgerechte Raumregelung. Möglich sind Unterflurkonvektoren an der Fassade aber auch Systemkombinationen, die die Decke in einer oberflächennahen Schicht (Randstreifenelement, Kapillarrohrmatten) und im Betonkern thermisch aktivieren. Die Kombination eines BKT-Systems mit Radiatoren oder Konvektoren ist in der Planungsphase kritisch zu hinterfragen.

Abb. 3 Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS): Kapillarrohrsysteme, Betonkerntemperierung, Fußbodentemperierung und Zweiflächen-Bauteiltemperierung. Aus der Vielzahl der unterschiedlichen TABS wird in diesem Themeninfo die wassergeführte Betonkerntemperierung (BKT) herausgestellt.

### Thermoaktive Bauteilsysteme (TABS)





## Bürogebäude mit Perspektive

Wird der gesamte Energieverbrauch von heutigen Bürogebäuden primärenergetisch betrachtet, dann macht der Elektroenergieverbrauch für Lüftung (15%), Beleuchtung (27%) und Nutzung (33%) sowie der Energieeinsatz für aktive Kühlung (11%) einen hohen Anteil am Gesamtenergieverbrauch aus. Zunehmende Dämmmaßnahmen im Zuge der Energie-Einsparverordnung (EnEV) verstärken die Bedeutung des Stromverbrauchs in der Gesamtbilanz. Da die Energiesparpotenziale besonders in den Bereichen Lüftungs-, Klima- und Beleuchtungstechnik liegen, können Kühlkonzepte mit Umweltenergie den elektrischen Energieverbrauch und damit den Primärenergiebedarf deutlich senken.

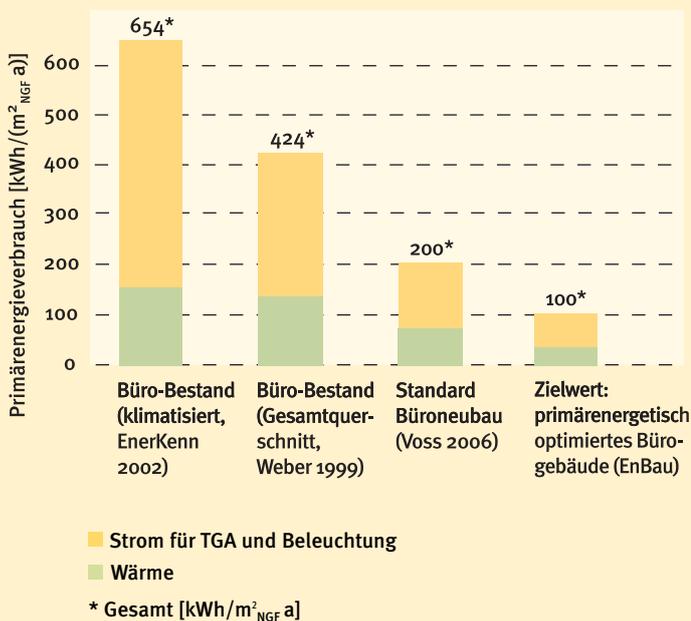


Abb. 4 Gegenüberstellung typischer Primärenergiekennwerte in kWh/m²a für Bürogebäude aus dem Bestand (messtechnisch ermittelte Kennwerte von Verwaltungsgebäuden), Neubauten nach heutigem Standard und Zielwerte für primärenergetisch optimierte Bürogebäude im EnOB-Forschungsbereich »Energieoptimierter Neubau« (EnBau).



## Schlanke Gebäude

Der Begriff „schlanke Gebäude“ bezeichnet Bauten, die bereits auf Basis eines durchdachten Entwurfs und bauphysikalischer Qualitäten Voraussetzungen dafür mitbringen, hohen thermischen Komfort mit einer schlanken Gebäudetechnik zu erreichen. Architektur, Bausystem, Baukonstruktion und Gebäudetechnik werden dabei so aufeinander abgestimmt, dass ein möglichst geringer Energiebedarf für Heizung, Kühlung und Beleuchtung erreicht wird. Schlanke Bürogebäude schaffen somit die Voraussetzung für den Einsatz von thermoaktiven Bauteilsystemen zur Raumkonditionierung.

## En passant



Abb. 5 Das höchste Bürogebäude in Nordrhein-Westfalen wird energieeffizient gekühlt – mit thermoaktiven Bauteilsystemen. Foto: BINE Informationsdienst

## Grundwasser in der 40sten Etage

Der Bauherr Deutsche Post World Net wollte mit seiner neuen Konzernzentrale in Bonn ein vorzeigbares Gebäude und optimale Arbeitsbedingungen für 2.000 Mitarbeiter schaffen. Und es sollte ein „richtungsweisendes Hochhaus für das 21. Jahrhundert“ entstehen. So überragt jetzt der „Post-Tower“ mit seinen 162,5 Metern locker den benachbarten „Langen Eugen“ (112 m) und auch den Kölner Dom (157 m). Das Gebäudekonzept setzt auf eine Doppelfassade mit viel Glas und hoher Transparenz, was aber zugleich eine natürliche Frischluftversorgung und moderate Zulufttemperaturen ermöglicht. Das Energiekonzept setzt auf Grundwasser, bis zu 130 Liter pro Sekunde werden durch das ganze Gebäude gespült. Im Sommer wird das Gebäude auf diese Weise temperiert und im Winter wird die thermische Energie des Grundwassers in Verbindung mit einer Wärmepumpe zur Beheizung genutzt. Die sommerliche Kühlung wird in allen normalen Büros ergänzt durch Bodenkonvektoren, die im Kühlmodus ebenfalls mit Grundwasser betrieben werden. Nur in der Vorstandsetage wollte man auf eine herkömmliche Klimaanlage nicht verzichten.

Doch das Konzept der Betonkerntemperierung scheint auch hier aufzugehen: Selbst an einem besonders heißen Augusttag im Rekordsommer 2003 verharrten die Lufttemperaturen in den nach Süden orientieren Büros unterhalb der 26°C-Marke – für die Mitarbeiter bei Außentemperaturen von mehr als 39°C ein spürbarer Vorteil. Im Jahr 2003 betrug der Aufwand zur Zirkulation des Grundwassers etwa 10 kWh/m².

Weitere Infos zum Post-Tower unter [www.energie-projekte.de](http://www.energie-projekte.de)

Abb. 6 Komplexer Bauprozess in luftiger Höhe – der Post-Tower in Bonn. Architektur: Murphy/Jahn, Chicago. Quelle: Heinle, Wischer und Partner (Bauleitung)



Abb. 7 Im Kern des zukünftigen Betons: Zwischen oberer und unterer Bewehrung fixierte Rohrleitung.  
Foto: solares bauen GmbH



## Beton – temperiert gut

*Ganz gleich, ob es zu warm oder zu kalt ist – mit konventioneller Raumklimatechnik muss jeweils aktiv gegengesteuert, d. h. gekühlt oder geheizt, werden. Nicht so bei der Betonkerntemperierung: Hier wird die Gebäudestruktur dazu genutzt, thermische Energie zu speichern, um sie bei Bedarf wieder freizusetzen.*

Zum besseren Verständnis der Betonkerntemperierung (BKT) unterscheidet man modellhaft die Phasen „Laden“, „Speichern“ und „Entladen“:

**Laden:** Die Geschossdecken werden mit Wärme- oder Kälteenergie beladen, indem warmes oder kaltes Wasser durch die im Bauteil integrierten Rohrregister zirkuliert. Der Wasserstrom gibt bei der Durchströmung des Rohrsystems je nach Wassertemperatur Heiz- oder Kühlleistung an die Decke ab und erwärmt bzw. kühlt diese. Der Vorgang kann durch Variation von Vorlauftemperatur, Massenstrom und Ladezeit aktiv gesteuert werden. Aufgrund der Trägheit des Systems besteht die besondere Herausforderung darin, ausreichend Wärme- bzw. Kälteenergie für die am folgenden Tag zu erwartenden thermischen Lasten im Bauteil einzulagern. Da der benötigte Wärme- bzw. Kältebedarf eines Raumes aber nicht exakt vorhersehbar ist, kommt es systembedingt zu Ladereserven und damit zu einem erhöhten Energieeinsatz. Ideal ist der Betrieb der BKT mit einem geeigneten Speichermanagement, um thermischen Mehraufwand sowie Überhitzung oder Unterkühlung der Räume zu vermeiden.

**Speichern:** Wie jeder thermische Speicher überbrückt die thermisch aktivierte Decke die zeitliche Differenz zwischen Energieangebot und Energiebedarf und bewirkt eine teilweise Verschiebung der thermischen Lasten in die Nachtstunden. Überschüssige Wärme, hervorgerufen durch solare Einstrahlung und Personen- und Geräteabwärme (innere Lasten), werden in der Decke zwischengespeichert und bewirken einen Anstieg der mittleren Bauteiltemperatur. Mit diesem Temperaturanstieg erfolgt parallel der Anstieg der operativen

Raumtemperatur, welcher jedoch durch die Speichermassen stark gedämpft wird. Ein Beispiel: Wird eine 14 cm starke Betonschicht um 2 K erwärmt oder gekühlt, so entspricht dies einer Wärme- bzw. Kältespeicherung von ca. 190 Wh/m<sup>2</sup> oder einer Leistung von 23 W/m<sup>2</sup>, die 8 Stunden lang zur Verfügung steht.

**Entladen:** Die Raumkonditionierung erfolgt bei der BKT durch zwei parallel ablaufende Effekte: Die im Betonkern eingelagerte Wärme oder Kälte wird zu 60% über Strahlung und zu 40% über Konvektion an den Raum abgegeben. Wegen der großen Systemträgheit ist eine raumbezogene, schnelle Temperaturregelung nicht möglich. Die Entladung findet somit ohne direkte Einflussmöglichkeit des Raumnutzers vollkommen passiv statt.

Die große, Wärme übertragende Fläche der Decke ermöglicht es, bei bereits geringen Über- bzw. Untertemperaturen nennenswerte Leistungen an den Raum abzugeben. Daher können BKT-Systeme selbst die vergleichsweise geringe Temperaturdifferenz natürlicher Wärmesenken (Sommer) bzw. Wärmequellen (Winter) gegenüber der Raumtemperatur effektiv nutzen: Erdreich, Grundwasser, Außenluft. Im stationären Zustand werden Kühlleistungen von 30 bis 40 W/m<sup>2</sup> erreicht. Nach oben ist die Kühlleistung durch den Taupunkt der Raumlufttemperatur begrenzt, da sich andernfalls Tauwasser an der Decke bildet. Der Taupunkt liegt bei etwa 15°C für 26°C Raumlufttemperatur und 50% relative Luftfeuchte. Daher muss vor allem der Eintrag solarer Lasten durch einen wirksamen Sonnenschutz gemindert werden. Aufgrund der relativ „hohen“ Vorlauftemperaturen natürlicher Wärmesenken ist eine



Abb. 8 Energiebilanz für den beheizten/gekühlten Raum mittels Betonkerntemperierung

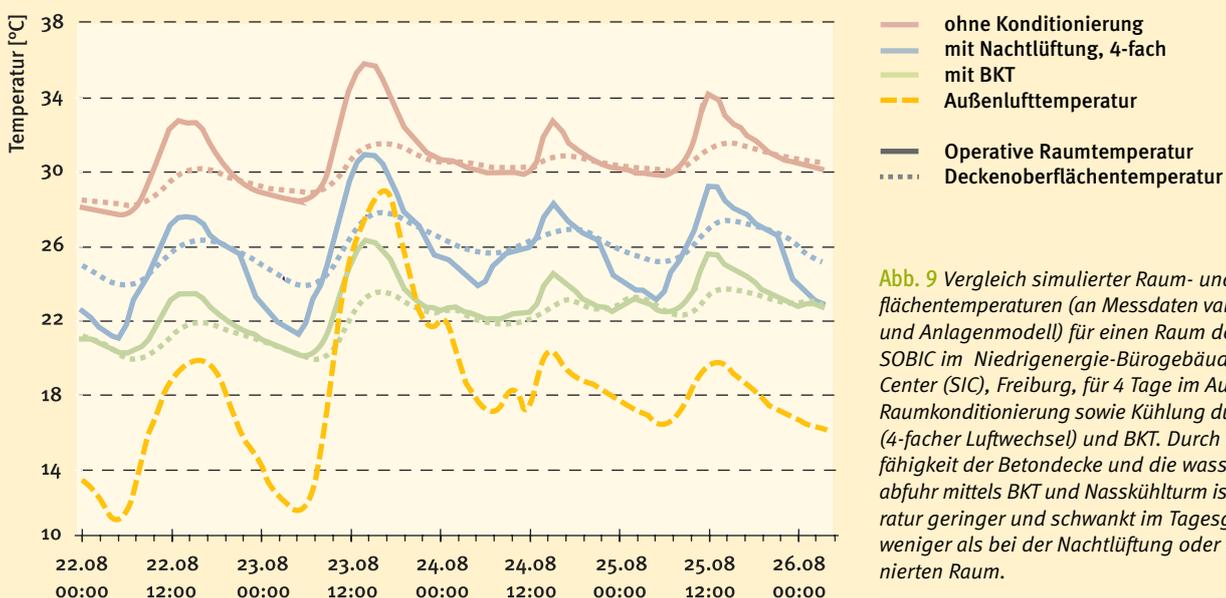
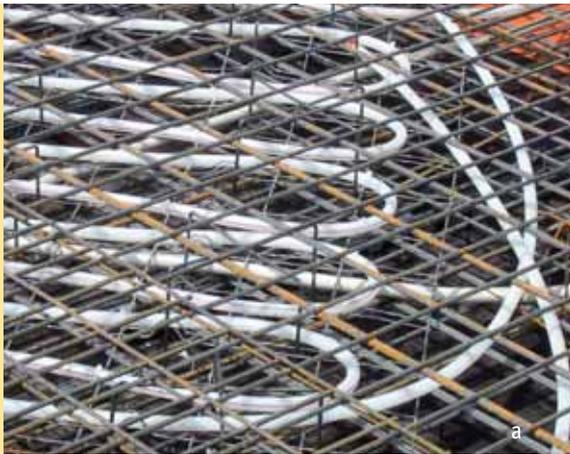


Abb. 9 Vergleich simulierter Raum- und Deckenoberflächentemperaturen (an Messdaten validiertes Gebäude- und Anlagenmodell) für einen Raum des Fraunhofer SOBIC im Niedrigenergie-Bürogebäude Solar Info Center (SIC), Freiburg, für 4 Tage im August 2004: Ohne Raumkonditionierung sowie Kühlung durch Nachtlüftung (4-facher Luftwechsel) und BKT. Durch die Speicherefähigkeit der Betondecke und die wasserseitige Wärmeabfuhr mittels BKT und Nasskühlturm ist die Raumtemperatur geringer und schwankt im Tagesgang deutlich weniger als bei der Nachtlüftung oder dem unconditionierten Raum.



Unterschreitung des Taupunktes fast nie gegeben. Im Heizfall können Leistungsdichten von 25 bis 30 W/m<sup>2</sup> erreicht werden.

### Aufbau des Betonkerns

Die Rohrregister werden direkt in den Betonkern der Decken bzw. Fußböden in mäander- oder spiralförmiger Rohrschlangenführung eingegossen. Als Rohrschlangen werden Kunststoffrohre oder Mehrschichtverbundrohre aus PE und Aluminium eingesetzt. Sie haben einen Durchmesser von 15 bis 20 mm. In Abständen von 10 bis 30 cm liegen die Rohre in mittlerer Höhe meist innerhalb der statisch neutralen Zone der Betondecke. Da die wesentliche Wärmeabgabe über die Decke (etwa 2/3) und nicht über den Boden (1/3) erfolgt, können die Rohrleitungen auch näher an den wärmewirksamen Deckenoberflächen fixiert werden, solange dies aus Gründen der Gebäudestatik machbar ist. Mit der Anordnung der Rohrschlangen und der Einbaulage im Betondeckenaufbau können unterschiedliche Wärmeleistungen zu unterschiedlichen Zeiten gewählt werden. Da bei der BKT generell Wärme von den wasserführenden Leitungen in Richtung der Deckenoberfläche (Heizfall) bzw. in umgekehrter Richtung (Kühlfall) fließt, vermindern alle Schichten mit hohem Wärmedurchgangswiderstand die Leistungsfähigkeit, so z. B. Putze oder abgehängte Decken.

### Die Bauphysik fordert ...

Wenn das Gebäude ausschließlich mittels Betonkern-temperierung beheizt und gekühlt werden soll, dann müssen Architektur und Gebäudetechnik bestimmten Anforderungen genügen. Denn die Leistung der BKT ist aufgrund der geringen Temperaturdifferenz zwischen dem Heiz- oder Kühlmedium und der Raumtemperatur begrenzt – trotz der großen Wärme übertragenden Flächen. Die Anforderungen im Einzelnen:

**1.** Zur Begrenzung der Kühllast im Sommer: Die im Raum wirksamen thermischen Lasten sind auf ein Minimum zu beschränken. In energieoptimierten Bürogebäuden wird der effektive Gesamtenergiedurchlassgrad der Fassade verringert, um den solaren Wärmeeintrag in die Räume zu reduzieren. Dies wird erreicht durch einen maßvollen Fensterflächenanteil, einen reduzier-

ten g-Wert der Fenster und einen außen liegenden Sonnenschutz. Die solare Absorption auf den opaken Flächen der Fassade ist nicht zu vernachlässigen. Daher ist ein niedriger U-Wert der gesamten Fassade auch im Sommer von Vorteil. Oftmals kritisch sind Eckräume, weil sie auch bei gutem Sonnenschutz höhere solare Lasten haben. Durch eine konsequente Tageslichtnutzung, eine bedarfsgerechte Kunstlichtsteuerung und energiesparende Bürogeräte lassen sich die internen Lasten weiter reduzieren.

**2.** Zur Begrenzung der Heizlast im Winter: Der Heizwärmebedarf kann reduziert werden durch eine sehr gute Wärmedämmung der Fassade, mit Wärmerückgewinnung aus der Abluft und mit passiver Solarenergienutzung. Fehlende Randstreifenelemente im Fensterbereich erhöhen die Anforderungen an die Fassade, denn der Kaltluftabfall soll vermieden werden. Eine beson-



### „Geschichte“ thermisch aktivierter Bauteilsysteme

*Heiz- und Kühldeckensysteme haben eine lange Tradition. Bereits 1938 wird über Decken mit Heizfunktion berichtet, die auch zu Kühlzwecken eingesetzt werden. Der Markteinführung folgte aber schnell die Ernüchterung. Dies lag an unzureichenden Wärmeschutz der Gebäude und an mangelhafter Regelungstechnik und Systemgestaltung. Eines der ersten Gebäude mit wasserführender BKT war das „Dow Building“ (Schweiz, 1991, 7.400 m<sup>2</sup> thermisch aktivierte Kühlfläche). Eines der ersten Gebäude mit BKT als integriertes Heiz- und Kühlsystem ist das „Sarinaport Bürogebäude“ (Schweiz, 1994, 9.500 m<sup>2</sup> thermisch aktivierte Heiz- und Kühlfläche). Im Jahre 2001 waren in Deutschland mehr als 60 Nichtwohngebäude mit einer BKT im Bau oder bereits in Betrieb. Bereits im Jahre 2003 wurde der Anteil der gewerblichen Neubauten, bei denen inzwischen Systeme zur Betonkern-temperierung geplant oder realisiert wurden, auf bis zu ein Drittel geschätzt.*



**Abb. 10** Bauablauf in Bildern (Gebäude: Fraunhofer SOBIC im Solar Info Center (SIC) Freiburg).

- a** Nach dem Verlegen der oberen Bewehrung über den Modulen werden die Rohrmatten fixiert. Zu erkennen sind die Abstandshalter zwischen Schalung, unterer und oberer Bewehrung sowie das Drahtgeflecht zur Ausrichtung der Rohre
- b** Die Rohrleitung liegt stabil zwischen unterer und oberer Bewehrung
- c** Verteiler und Deckendurchführungselement: Der Verteiler wird an Stahlprofilen befestigt. Das Durchführungselement wird an die Schalung genagelt
- d** Nach den Betonierarbeiten sieht man nur noch den Verteiler. Der Verteiler wird demontiert und die Rohre aus den Leerrohren durch das Deckendurchführungselement nach unten gezogen. Der Verteiler wird dann als Kühlwasserverteiler genutzt
- e** Nach der Ausschalung: Das Deckendurchführungselement liegt in der fertigen Decke. Der Beton kann jetzt leicht abgeklöpft und die Rohre herausgezogen werden. In diese Aussparung wird dann der Verteiler montiert.
- Fotos a-e: Fraunhofer ISE und solares bauen GmbH

ders sorgfältige Planung ist notwendig für Räume mit erhöhten Transmissionswärmeverlusten im Dach- und Erdgeschoss sowie Eckräume, speziell wenn die Fassade große Glasflächen hat.

**3.** Geschossdecken in Massivbauweise: Die Geschossdecken müssen viel Wärme und Kälte speichern können. Folglich kann die Betonkerntemperatur nur in thermisch „schweren“ Gebäuden eingesetzt werden. Das erfordert Baustoffe mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit und guter Wärmespeicherkapazität (Beton).

**4.** Freie Deckenoberflächen: Abgehängte Decken oder Deckenverkleidungen mindern sowohl die Wärmeübertragung per Konvektion als auch den direkten Strahlungsaustausch deutlich und sind daher nicht mit der BKT vereinbar. Für die BKT werden möglichst freie Deckenoberflächen (Sichtbeton) benötigt. Weil unverkleidete Betondecken akustisch „hart“ sind, muss auf die Nachhallzeit geachtet werden – meist sind Schall absorbierende Konstruktionen notwendig. Diese haben aber in der Regel auch eine wärmedämmende und strahlungsmindernde Wirkung und sollten möglichst nicht vor die thermisch aktivierten Flächen montiert werden. Untersuchungen haben gezeigt, dass die Schall absorbierenden Flächen vorteilhaft auf Trennwänden oder Büromöbel platziert werden können.

### Gut geplant

Für die BKT kann das Gebäude in Zonen unterteilt werden, um die verschiedenen Bereiche je nach Anforderung temperieren zu können. Die Zonen werden nach Orientierung, Geschoss, Nutzung oder Fassadenkonzeption eingerichtet und je nach Bedarf mit unterschiedlichen Vorlauftemperaturen (3-Leiter System) und zu verschiedenen Beladezeiten versorgt. Der entsprechenden Zone wird eine Registergröße zugeordnet, ähnlich der Festlegung der Heizkörpergröße für einen Raum. Allerdings ist der Spielraum eng, weil die zur Verfügung stehende Deckenfläche beschränkt ist und der Rohrabstand in den Registern aus produktionstechnischen Gründen nicht kleiner als 10 cm sein darf. Kann die Wärme im Sommer in einzelnen Räumen nicht abgeführt werden, sind ergänzende Maßnahmen, wie zum Beispiel schnell reagierende und dezentral regelbare Kühlsegel, erforderlich.

Für die Konzeptphase gibt es zwar Planungshandbücher und einfache Auslegungshilfsmittel – doch die thermische Gebäude- und Anlagensimulation ist das wichtigste Planungsinstrument. Auf Basis der Lastverläufe für Heizung und Kühlung des Gebäudes erhält man die notwendigen Vor- und Rücklauftemperaturen und die Gesamtmassenströme an den Hauptverteilern der BKT. Parallel dazu wird erzeugungsseitig die Wärmesenke/Wärmequelle, die Anlagenhydraulik und ein einfaches Regelkonzept kalkuliert. Schließlich können mit der Simulation die Energiebilanz und der Energieverbrauch des Gebäudes in Zusammenspiel mit der Wärmesenke/Wärmequelle für unterschiedliche Varianten bzw. spezielle Planungsentscheidungen bewertet und optimiert werden.

### Bei der Planung sind besonders zu beachten:

1. Die Planer benötigen spezielle Planungstools: Die für die Auslegung von Kühldecken und Fußbodenheizungen bekannten Rechenverfahren, hydraulische Schaltungen und Regelungskonzepte sind für die Dimensionierung und den Betrieb der BKT aufgrund deren Trägheit nicht ausreichend.
2. Der Einsatz der BKT kann die bislang üblichen Erwartungen an eine Klimaanlage nur begrenzt erfüllen.



## Integrale Planung und interdisziplinäres Bauen

*Kühlkonzepte mit Umweltenergie haben weitreichende Auswirkungen auf Architektur, Bauphysik und Gebäudetechnik: Begrenzung der Heiz- und Kühllasten, Nutzung der Wärmespeicherfähigkeit des Gebäudes, Einbeziehung der Gebäudestruktur in das Energiemanagement des Gebäudes, Wahl und Dimensionierung geeigneter natürlicher Wärmequellen- und -senken, Auslegung der Betonkerntemperatur und der Hydraulik sowie eine aufgrund der systembedingten großen thermischen Trägheit durchdachte Regelung. Somit erfordern diese Gebäudekonzepte eine komplexe, ganzheitliche Denkweise im Zusammenspiel der unterschiedlichen Gewerke in der Planung und am Bau. Eine hohe Nutzungsqualität kann nur durch eine hohe Planungs- und Ausführungsqualität erreicht werden, da nach Fehlplanung, fehlerhafter Bauausführung oder in Folge von Nutzungsänderungen der Komfort nicht per Klimaanlage aktiv wieder eingestellt werden kann.*

Abb. 11 Integraler Planungs- und Ausführungsprozess für thermoaktive Bauteilsysteme (nach Zent-Frenger)



Bauherr, ggf. Nutzer und Planer müssen die Anforderungen an den thermischen Komfort klar definieren. Dazu liefert die aktuelle Normung (prEN 15251 oder ASHRAE 55) entsprechende Kriterien.

3. Vorgaben zur Regelung und Betriebsführung müssen klar definiert werden. Dies umfasst viele Bereiche der Gebäudetechnik – von Sonnenschutz bis Pumpensteuerung.

### So wird gebaut

Im Gegensatz zur Fußbodenheizung und -kühlung muss die Verlegung der Rohrleitungen bei der Betonkerntemperierung in den Ablauf der Schalungs-, Bewehrungs- und Betonierarbeiten integriert werden. Dies erfordert eine sorgfältige Planung und intensive Abstimmung mit der Tragwerksplanung, um statisch besonders hoch beanspruchte Bereiche im Umfeld von Stützen und Schächten nicht zu schwächen. Vor der Einbettung erfolgt eine Überprüfung auf Undichtheiten der Rohre mittels Sichtabnahme und Druckprüfung. Es ist auf eine sorgfältige Verlegung der Rohre zu achten, da Schäden an den Rohrregistern später nicht mehr repariert werden können. Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass

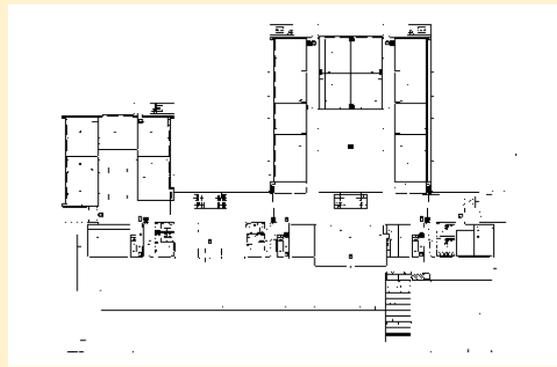
sich Verzögerungen im Bauablauf durch das Vorhandensein routinierter Systemanbieter und entsprechende logistische Maßnahmen vermeiden lassen.

### Temperieren und Lüften

Die Betonkerntemperierung als Heiz- und Kühlsystem dient dazu, den thermischen Komfort im Gebäude sicherzustellen. Das System leistet keinen Beitrag zur Verbesserung der Raumluftqualität oder zur Regulierung der Raumluftfeuchte. In der Regel werden die Bürogebäude mit BKT zur Sicherung des hygienischen Mindestluftwechsels während der Anwesenheit der Nutzer mechanisch be- und entlüftet, wobei die Zuluft über ein Erd-Luft-Register oder ein Erdwärmesonden-Register vorgewärmt bzw. vorgekühlt werden kann. Die Zu- und Abluftanlagen sind mit einer Wärmerückgewinnung ausgestattet, um die Lüftungswärmeverluste bzw. zusätzliche Nachheizung der Zuluft im Winter zu reduzieren. Parallel zur Lüftungsanlage sind in der Regel öffentbare Fenster zur individuellen Fensterlüftung vorhanden. In Abhängigkeit von den klimatischen Bedingungen und der Feuchtebildung in den betreffenden Räumen kann auf eine „aktive“ Entfeuchtung der zugeführten Außenluft in der Regel ganzjährig verzichtet werden.

# Aus der Praxis

## Berufsschule in Biberach



**Abb. 12** Ansicht und Grundriss der Gebhard-Müller-Schule in Biberach. Die Berufsschule mit einer Netto-Grundfläche von 10.650 m<sup>2</sup> wurde als Niedrigenergiegebäude konzipiert. Architektur: Projektgemeinschaft Elwert & Stottele (Ravensburg), Energiekonzept: Ebert-Ingenieure (München), Monitoring: Hochschule Biberach. Foto: Hochschule Biberach

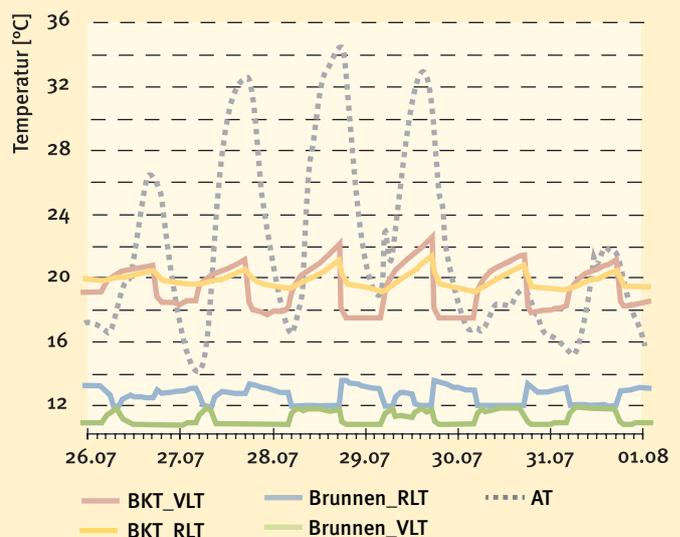
Das dreigeschossige Schulgebäude besteht aus einem Gebäuderiegel in Massivkonstruktion aus Stahlbeton und aus einem kubischen Unterrichtsgebäude in Stahlbeton-Skelettkonstruktion. Aufgrund der hohen Belegungsdichte sind relativ hohe Luftwechselraten notwendig. Gegenüber einem konventionellen Schulgebäude mit Fensterlüftung sorgt hier eine kontrollierte Be- und Entlüftung mit Wärmerückgewinnung für gute Luftqualität und reduzierte Lüftungswärmeverluste. Die Zuluft wird per Mischgassensoren raumweise nach Luftqualität geregelt. Pro Raummodul kann ein Fenster geöffnet werden. Sobald dies geschieht, stellt sich die Lüftungsanlage im entsprechenden Raum ab.

Das Gebäude nutzt in erster Linie thermoaktive Bauteilsysteme (TABS) zur Heizung und Kühlung: In den Unterrichtsräumen und Fluren erfolgt die Konditionierung über eine Betonkerntemperierung, in den Toiletten und im Atrium über eine Fußbodenheizung. In den Klassenräumen gibt es keine zusätzlichen Heizkörper. Als Wärme- und Kältequelle dient Grundwasser, für dessen Nutzung am Standort aufgrund vorhandener Grundwasserströme sehr gute Voraussetzungen vorliegen. Die Grundlast der Wärmeversorgung des Gebäudes wird über zwei in Stufen schaltbare Wärmepumpen realisiert, die über einen 16 m tiefen Förderbrunnen und zwei Schluckbrunnen an das Grundwasser gekoppelt sind. Für einen optimalen Betrieb der Wärmepumpen im Zusammenhang mit der Betonkerntemperierung wird ein maximales Temperaturniveau des Heizwassers von bis zu 28°C angestrebt. Darüber hinaus steht zur weiteren Spitzenlastdeckung ein Holzpelletkessel bereit, der bisher jedoch nur sehr selten zum Einsatz kam. Im Sommer wird das Gebäude ebenfalls über die Betonkerntemperierung mit Grundwasser über einen Wärmeübertrager gekühlt. Eine aktive Kälteerzeugung ist nicht erforderlich. Das Temperaturniveau des gesamten Gebäudes wird zentral geregelt und kann für einzelne Räume nicht verändert werden.

Das Gebäude hatte im Jahr 2005 einen Heizwärmeverbrauch von 36 kWh/m<sup>2</sup>a. Etwa 2/3 der Wärme stammen aus dem Grundwasser und 1/3 aus der Elektroenergie für die Wärmepumpen. Grundsätz-

lich belegen die Monitoring-Ergebnisse eine hohe thermische Behaglichkeit bei guter Luftqualität sowohl im Winter als auch im Sommer. Der Biomassekessel wurde in 2005 praktisch nicht benötigt, weil die Leistung der Wärmepumpen völlig ausreichte.

Insgesamt wurde das gesetzte Ziel – ein Primärenergiekennwert für Heizung, Lüftung, Kühlung und Beleuchtung von 100 kWh/m<sup>2</sup>a zu unterschreiten – mit 116 kWh/m<sup>2</sup>a in 2005 noch nicht ganz erreicht. Die bereits durchgeführten Optimierungsmaßnahmen insbesondere in der Regelungstechnik lassen dies aber in Zukunft erwarten.



**Abb. 13** Außentemperatur (AT), Vor- und Rücklauftemperatur der BKT sowie Vor- und Rücklauftemperatur des Grundwassers vor dem Kaltwasser-Wärmeübertrager [°C] für eine Woche im Juli 2005. Die BKT wird nachts mit Kälteenergie beladen. Über einen Wärmeübertrager wird der Wasserkreislauf der BKT auf eine Vorlauftemperatur von 18 bis 19°C gekühlt. Daten: Hochschule Biberach

### Energiekonzept

#### Lüftung

- Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (70%)
- Fensterlüftung

#### Heizung

- BKT-System (Räume und Flure)
- Fußbodenheizung (Atrium, WC)
- Grundwasser
- Wärmepumpe, Holzpelletkessel (Spitzenlast)

#### Kühlung

- BKT-System
- Grundwasser

Weitere Infos zu diesem Gebäude unter [www.enob.info](http://www.enob.info)

Abb. 14 Nach dem Verlegen der Bewehrung und der Rohrmatten gehen die Betonier arbeiten zügig voran. Foto: Heinle, Wischer und Partner (Bauleitung Post-Tower)



## Woher kommen Wärme und Kälte

Die Vorzüge der Betonkerntemperierung werden optimal genutzt, wenn bei Beheizung und Kühlung jeweils mit kleinen Temperaturdifferenzen gearbeitet wird. Folglich können ökologisch und primärenergetisch vorteilhafte Energiequellen mit niedrigem Temperaturniveau zur Wärme- und Kältebereitstellung eingesetzt werden. Hierfür in Frage kommen das Erdreich und das Grundwasser, als Wärmesenke unter Umständen auch die Außenluft.

Prinzipiell kann die Energiebereitstellung für die Betonkerntemperierung auf gewöhnliche Weise erfolgen. Doch der Vorteil bei der BKT ist ja gerade, dass man aufgrund der großen Wärme bzw. Kälte übertragenden Fläche bereits mit sehr kleinen Temperaturdifferenzen zwischen Decken- und Raumtemperatur effektiv heizen oder kühlen kann. Die Kühlwassertemperaturen betragen häufig 18 bis 22°C, die Heizwassertemperaturen maximal 27 bis 29°C. Also kann gut mit regenerativ bereitgestellter Wärme und Kälte geheizt und gekühlt werden. Im Winter wird das natürlich vorhandene Temperaturniveau der Umweltenergie durch eine Wärmepumpe noch geringfügig und damit wirtschaftlich günstig erhöht. Auch Abwärme, soweit vorhanden, kann aufgrund des niedrigen Tempera-

turniveaus zum Heizen genutzt werden. Im Sommer wird die Umweltenergie direkt genutzt. Optional kann eine Kältemaschine als Backup-System vorgesehen werden.

### Aus der Erde

Die annähernd konstanten Temperaturen des tiefen Erdreichs (bis 100 m) können energetisch und betriebstechnisch besonders günstig genutzt werden für die (direkte) geothermische Kühlung/Heizung beispielsweise durch Erdwärmesonden oder Energiepfähle. Bei Erdwärmesonden handelt es sich in der Regel um 2 bis 3 Doppelrohre aus Kunststoff mit 32 mm Durchmesser, die in ein 50 bis 100 m tiefes Bohrloch eingelassen werden. Durch dieses erdverlegte System wird Wasser gepumpt, welches je nach Jahreszeit Wärme an das Erdreich abgibt oder Wärme aufnimmt. Energiepfähle sind Gründungspfähle eines Gebäudes, die 20 bis 30 m in den Boden reichen und als Erdwärmesonden genutzt werden.

Sowohl Erdwärmesonden als auch Energiepfähle nutzen die saisonale Wärmespeicherfähigkeit des Erdreichs oder Wärmeströme des Grundwassers. Die Temperatur des Erdreichs liegt in Tiefen von 30 bis 100 m nur 1 Kelvin über dem Jahresmittel der Lufttemperatur des Standortes. Die jahreszeitlichen Temperaturschwankungen sind bis in Tiefen von 5 m messbar, darunter herrschen annähernd konstante Temperaturen. Bei

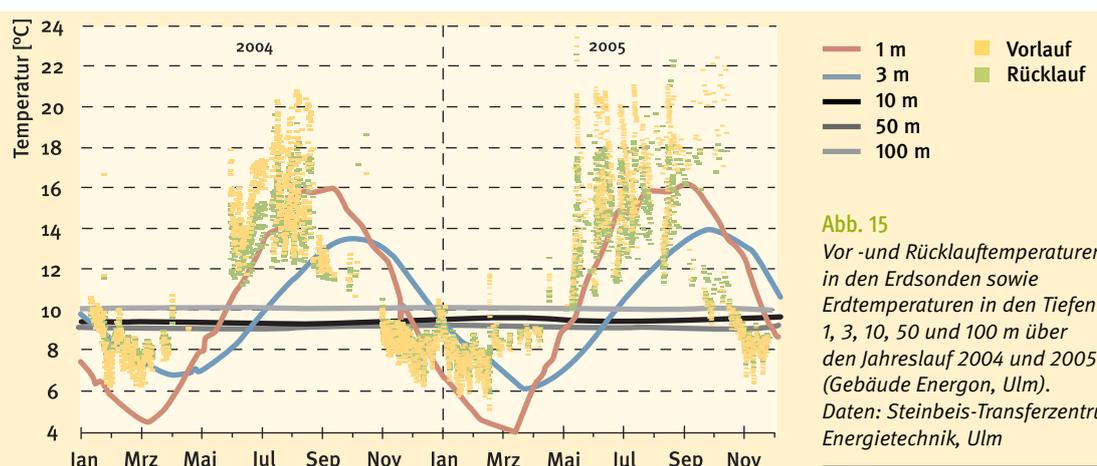


Abb. 15 Vor- und Rücklauftemperaturen in den Erdsonden sowie Erdtemperaturen in den Tiefen 1, 3, 10, 50 und 100 m über den Jahreslauf 2004 und 2005 (Gebäude Eragon, Ulm). Daten: Steinbeis-Transferzentrum Energietechnik, Ulm



**Abb. 16** Erdwärmesonden in der Realisierung (Gebäude BOB Aachen). Fotos: Fachhochschule Köln und VIKA Ingenieur GmbH



**Abb. 17** Nasskühlturm im Fraunhofer SOBIC (im Solar Info Center Freiburg, links) und Brunnenkopf des Saugbrunnens (im Fußpunkt eines Steigschachtes im Gebäude der GMS Biberach, rechts). Fotos: solares bauen GmbH und Hochschule Biberach

einer entsprechenden Auslegung können Erdwärmesonden und Energiepfähle nicht nur im Sommer zur Kühlung, sondern im Winter auch als Wärmequelle genutzt werden, immer in Kombination mit einer Wärmepumpe. Die wechselseitige Nutzung des Erdreichs als Speichermedium für den Heiz- und Kühlbetrieb unterstützt eine schnelle Regeneration des Erdspeichers, denn im Sommer wird Wärme in das Erdreich eingespeichert, die im Winter dem Erdreich wieder entzogen wird. Damit wird die Effizienz des Gesamtsystems gegenüber einer nur einseitigen Nutzung (entweder Heizen oder Kühlen) gesteigert und eine langfristige Temperaturänderung im Erdboden vermieden.

Auswertungen zum Bürogebäude Energon in Ulm (vgl. S. 14) zeigen: Die ungestörte Temperatur des Erdreichs ist über den Tag gesehen stabil und liegt in tieferen Schichten über den Jahresverlauf annähernd konstant bei 10°C. Die sich aus der Erdwärmesonde einstellenden Vorlauftemperaturen variieren von 6 bis 23°C.

### Aus kühler Nachtluft

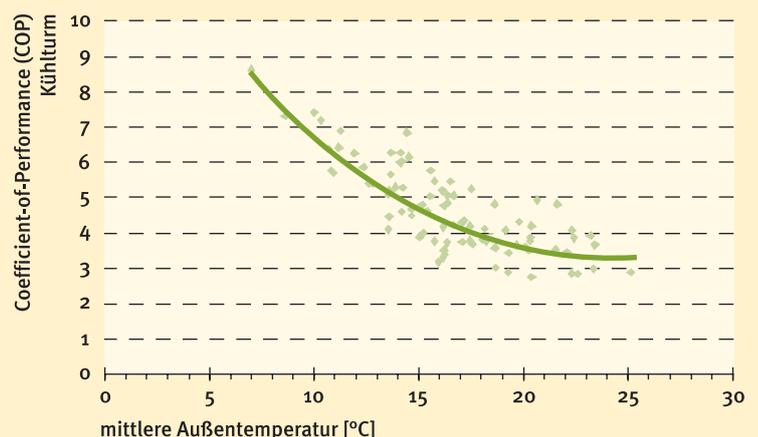
Als weitere natürliche Wärmesenke kann die kühle Nachtluft über einen Kühlturm genutzt werden. Hier unterscheidet man zwischen Trocken- und Nasskühltürmen. Bei den Trockenkühlern ist eine Rückkühlung des Wassers nur machbar, wenn die Außentemperatur unter der zu erreichenden Wassertemperatur liegt. Während der warmen Jahreszeit ist somit die Rückkühlzeit auf die Nacht- und frühen Morgenstunden beschränkt. Bei den Nasskühlern hingegen wird der Wärmetauscher auf der Luftseite zusätzlich durch einen sekundären Wasserkreislauf besprüht. Durch die Verdunstung des Wassers kann einerseits die Wärmetauscherfläche reduziert werden, und andererseits kann anstelle der Außenluft- die Feuchtkugeltemperatur berücksichtigt werden. Die Feuchtkugeltemperatur liegt, speziell bei trockener Außenluft, deutlich unter der Außenlufttemperatur, weil der Effekt der Verdunstungskälte berücksichtigt wird. So kann die Rückkühldauer verlängert werden. Zudem wirkt sich die tiefere Temperatur positiv auf die Energieeffizienz und die maximale Kühlleistung aus. Die Effizienz der Rückkühlung mit Kühlturm steigt mit sinkenden nächtlichen

Außentemperaturen. Im Unterschied zum Erdreich oder zum Grundwasser kommt die Außenluft aber kaum als Wärmequelle für den winterlichen Betrieb in Frage.

### Aus dem Grundwasser

Auch Grundwasser mit seiner ganzjährigen Temperatur von 8 bis 12°C bietet als Wärmequelle bzw. -senke gute Bedingungen. Für die Nutzung wird bis in die wassertragenden Schichten gebohrt. Über eine Tauchpumpe wird einem Förderbrunnen Grundwasser entnommen, welches über einen Wärmetauscher Wärme bzw. Kälte an das Wasser des „internen“ BKT-Kreislaufs abgibt und über einen Schluckbrunnen wieder zurückgeführt wird. Der Abstand zwischen Förder- und Schluckbrunnen sollte zur Vermeidung von thermischen Kurzschlüssen mindestens 10 m betragen. Grundwasser als Wärmequelle/-senke kann ganzjährig ohne zeitliche Einschränkung genutzt werden. Die Leistungsfähigkeit hängt primär von der Menge des zur Verfügung stehenden Grundwassers ab.

**Abb. 18** Die Effizienz (Coefficient of Performance, COP) eines kleinen Nasskühlturms am Fraunhofer SOBIC im Solar Info Center (SIC) in Freiburg steigt mit sinkender Außentemperatur. Betrieben wird der Kühlturm von 22 bis 6 Uhr. Der COP ist definiert als das Verhältnis aus Kälteleistung und dafür benötigter Strombedarf.



# Aus der Praxis

## Bürogebäude nach Passivhauskonzept



**Abb. 19** Bürogebäude Energon in Ulm – mit knapp 7.000 m<sup>2</sup> Nettogrundfläche das weltweit größte Bürogebäude nach Passivhauskonzept (2006). Die Betonkerntemperierung sorgt zusammen mit einer umfassenden Wärmedämmung, mechanischer Be- und Entlüftung sowie beweglichem Sonnenschutz für komfortable Arbeitsbedingungen. Architektur: oehler faigle archkom (Bretten), Energiekonzept: ebök Ingenieurbüro (Tübingen), Monitoring: Steinbeis-Transferzentrum Energietechnik, Fachhochschule Ulm. Foto und Grundriss: Software AG Stiftung, Darmstadt

Im Sommer wird mit der Betonkerntemperierung gekühlt. Die Kälte kommt aus der Erde – mit vierzig jeweils 100 Meter langen Erdwärmesonden erreicht man eine Kälteleistung von bis zu 120 kW. Wasser strömt in einem geschlossenen Kreislauf von den Erdwärmesonden durch die Rohrregister in den Decken und zurück. Insgesamt sind 350 Rohrregister aus Kunststoff auf 5.000 m<sup>2</sup> Deckenfläche verlegt. Die Register liegen in 10 cm Abstand von der Deckenunterseite bei 28 cm Deckenstärke. Über einen zusätzlichen Wärmetauscher mit Frostschutzsicherung wird der Wasserkreislauf der Erdwärmesonden auch zum Kühlen und Heizen der Zuluft eingesetzt.

Die Büroräume werden ausschließlich über die BKT mit gebäudeinterner Abwärme (Server-Räume) und Fernwärme beheizt, die Erdsonden liefern Wärme über das Vorheizregister im Zuluftgerät an die kalte Zuluft. Nur wenige Flächen im Gartengeschoss mit Sondernutzung (Casino, Seminarräume) sind zusätzlich mit Fußbodenheizung bzw. Akustik-Thermo-Paneelen ausgestattet.

Die BKT wird grundsätzlich nachts, also außerhalb der Büronutzungszeiten betrieben. Nach dem Einschalten der Zirkulationspumpe wird der Ladezustand des Betonkerns aus der Vorlauf-/Rücklauf-Temperaturdifferenz ermittelt. In Verbindung mit der erforderlichen Vorlauftemperatur wird eine Pumpenlaufzeit berechnet, die in regelmäßigen Zeitabständen bedarfsgerecht korrigiert wird. Durch die intermittierende Betriebsweise ergeben sich hier größere Temperaturschwankungen im Erdsonden-Kreis.

Beim Kühlen wird tagsüber vorrangig die Zuluft gekühlt, der Betrieb der BKT erfolgt möglichst nachts, also außerhalb der Büro-

nutzungszeiten. Beim Heizen wird die Decke nachts mit gebäudeinterner Abwärme (Lebensmittel- und Serverkühlung) und Fernwärme beladen. Die Vorlauftemperatur liegt immer unter 24°C, die Betonkerntemperaturen erreichen maximal 23,5°C. Die Temperatur von Betonkern und Raumluft sind nur geringen Schwankungen unterworfen (1 Kelvin). Aufgrund des Passivhausstandards sind die Vorlauftemperaturen auch im Heizfall immer so gering, dass Räume mit hohen internen Lasten automatisch gekühlt werden. Dies erlaubt beim Energon die Realisierung einer einheitlichen Regelzone für alle Räume. Die BKT wird gegen 19 Uhr in Betrieb genommen. Bis zu diesem Zeitpunkt zeigen alle Temperaturen im Bauteil den bei Entladung zu erwartenden, leicht fallenden Verlauf. Beim Kühlen ist die Dynamik größer: Nachts wird aus der Decke Wärme mittels Kaltwasser (21 bis 22°C) abgeführt. Die Deckenoberflächentemperatur und die Raumtemperatur sind morgens am geringsten und steigen mit Arbeitsbeginn aufgrund interner und solarer Lasten. Eine Vorlauftemperatur von 20°C wird nie unterschritten.

Der Endenergieverbrauch des Gebäudes für Heizung, Lüftung, Kälte und Licht lag 2005 bei 46,8 kWh/m<sup>2</sup>a inklusive Gebäudekühlung und Casino (Endenergieverbrauch: Strom 23,4 kWh/m<sup>2</sup>a und Wärme 23,4 kWh/m<sup>2</sup>a). Der Primärenergieverbrauch des Gebäudes für 2005 betrug 81,0 kWh/m<sup>2</sup>a.

Bauherr und Nutzer sind mit dem Gebäude und dem Arbeitsplatzkomfort sehr zufrieden. Selbst während der Inbetriebnahmephase, als die Lüftung noch nicht voll funktionierte und die Heizung von Hand geregelt werden musste, kam es für die Mieter zu keinen Nutzungseinschränkungen.

Energiekonzept		
Lüftung	Heizung	Kühlung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung ( 65%)</li> <li>• Fensterlüftung</li> <li>• Temperierung der Zuluft durch Erdwärmetauscher, Erdwärmesonden, Wärmerückgewinnung und Fernwärme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BKT-System</li> <li>• Gebäudeinterne Abwärme</li> <li>• Fernwärme</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• BKT-System</li> <li>• Erdwärmesonden</li> </ul>

Weitere Infos zu diesem Gebäude unter [www.enob.info](http://www.enob.info)

**Abb. 21** Oben: Heiz- und Kühlarbeit der Erdwärmesonden der Jahre 2004 und 2005 (Ablesewerte, bezogen auf die beheizte Nettogrundfläche von 6.911 m<sup>2</sup>) sowie mittlere monatliche Außen- und Raumlufttemperaturen. Hinweis: Für 9/2004 liegen keine vollständige Messdaten vor. Unten: Jahresheiz- und Jahreskühlarbeit der Erdwärmesonden. Daten: Steinbeis-Transferzentrum Energietechnik, Ulm

## Im Portrait

### Der Professor und der Planer – zwei Expertenmeinungen



**Prof. Roland Koenigsdorff**  
 Lehrgebiete Simulationstechnik, Bauphysik sowie Energiekonzepte an der Hochschule Biberach, Forschung und Projekte zur Systemeinbindung thermoaktiver Bauteile, Evaluierung der Gebhard-Müller-Berufsschule in Biberach (EnBau-Modellprojekt)

„Binnen eines Jahrzehnts haben sich thermoaktive Bauteilsysteme als weiteres System der Flächenheizung und -kühlung in Deutschland etabliert. Zu Recht. Viele erfolgreiche und gut funktionierende Beispiele stehen für diesen Siegeszug, dem sich mehr und mehr Bauherren und Planer anschließen. Jedoch: einmal gebaut, sind thermoaktive Bauteilsysteme zementierte Planung und Ausführung im wörtlichen Sinne – mit systemtypisch engen Grenzen der Leistungsfähigkeit und Regelbarkeit. Bei Standardanwendungen stellt dies kein Problem dar. In anspruchsvollen Einsatzfällen können dagegen die Anforderungen an eine optimale Planung, Systemtechnik und Betriebsführung sehr hoch sein – und gerade hierfür sind bislang keineswegs alle Fragen aus der Planungs- und Baupraxis beantwortet. Diesbezüglich besteht also noch Bedarf für anwendungsbezogene Forschung, Lehre und Ausbildung im besten Sinne.“



**Matthias Schuler**  
 Gründer und Geschäftsführer der Firma Transsolar, Gastprofessur an der Graduate School of Design (Harvard University), u. a. Energiekonzept für den Post-Tower.

„Die Betonkerntemperatur ist im heutigen Baugeschehen schon fast Standard. Doch weil man bei vielen Gebäuden mit Rücksicht auf Architektur, Raumklima, Kosten und Energieeffizienz an die Grenzen des Machbaren geht, können thermoaktive Bauteilsysteme ihre Vielseitigkeit beweisen. Ein im erweiterten Sinne thermisch aktivierter Fußboden wurde z. B. in der Akademie der Künste in Berlin und auch im neuen internationalen Flughafen in Bangkok realisiert. Dabei dient die temperierte Bodenfläche weniger als aktives Kälteelement denn als Wärmesenke für alle kurz- und langwelligen Strahlungsgewinne, die aus dem Raum abgeführt werden können noch bevor sie die Bodenfläche und damit den Raum spürbar erwärmen. In Deutschland gibt es bereits viele erfolgreiche Projekte mit thermoaktiven Bauteilsystemen. Jetzt ist es an der Zeit, diese Planungs- und Baukompetenz international zu multiplizieren, zumal angepasste Systeme auch unter anderen Klimabedingungen, wie z. B. in Winnipeg, Baltimore, Peking, von uns angewandt werden.“

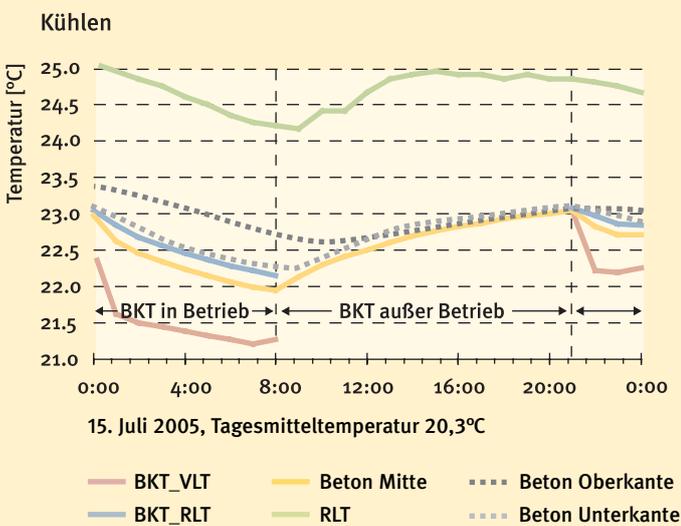
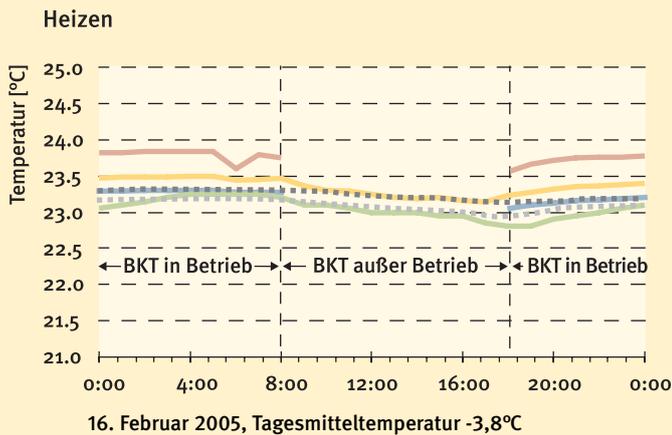
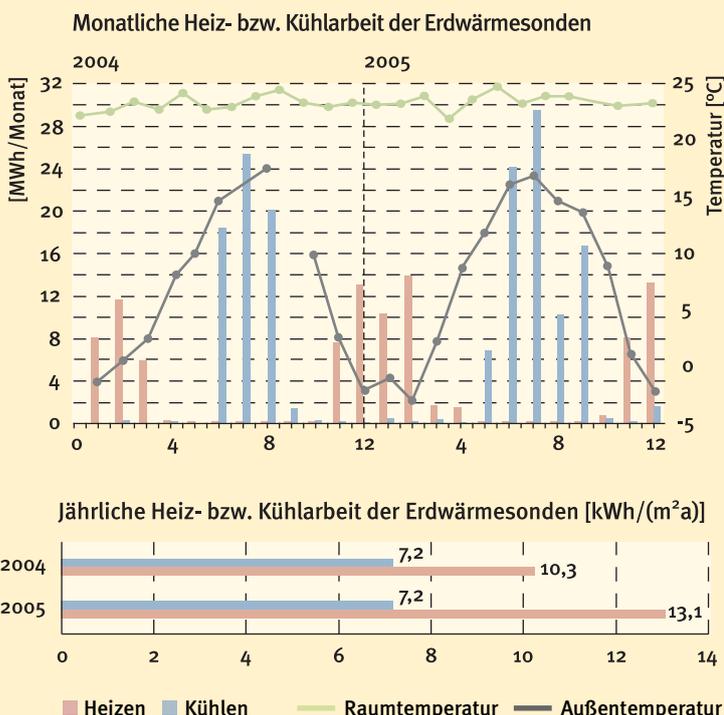


Abb. 20 Dynamik in der thermisch aktivierten Decke. Oben Heizen und unten Kühlen. Daten: Steinbeis-Transferzentrum Energietechnik, Ulm



**Abb. 22** Hoher thermischer und visueller Komfort lässt sich auch mit einer reduzierten, schlanken Gebäudetechnik erreichen. Gebäude Energon in Ulm. Foto: Software AG Stiftung, Darmstadt



## Dynamik von Heizen und Kühlen

*In Gebäuden mit Betonkerntemperierung als alleiniges Heiz- und Kühlsystem kann die Raumtemperatur nicht individuell oder schnell angepasst werden. Weil die Raumtemperaturen auch durch die Nutzung beeinflusst werden, etwa durch interne und solare Lasten sowie durch die Lüftung, ist ein vorausschauendes Wärme- oder Kälte-Beladungsmanagement notwendig.*

Durch den geringen Unterschied zwischen Bauteiloberflächen- und Raumtemperatur entsteht ein wirkungsvoller Selbstregelleffekt: Üblicherweise bewegen sich die Oberflächentemperaturen der thermisch aktivierten Decke in einem schmalen Band zwischen ca. 21° und 25°C. Liegt die Raumtemperatur über der Deckenoberflächentemperatur, so wirkt das Bauteil als Flächenkühlung, im umgekehrten Fall dagegen als Flächenheizung. Wenn z. B. bei einer Deckenoberflächentemperatur von ca. 20°C ein noch unbelegter Raum am Morgen eine Raumtemperatur von 18°C aufweist, wird er zwangsläufig beheizt. Steigt infolge innerer und äußerer Lasten die Raumtemperatur im Laufe des Tages auf über 21°C an, findet eine Kühlung des Raumes statt. Die Wärmeübertragung zwischen thermisch aktivierter Decke und Raum regelt sich ein Stück weit selbst.

### Betriebsweise und Regelstrategien

Die kurzzeitige Leistungsregelung innerhalb eines Tageszyklus erfolgt im Wesentlichen durch den bereits beschriebenen Selbstregelungseffekt. Passend zur gewünschten Systemfunktion (Heizen bzw. Kühlen) sind folgende Betriebsweisen und Regelstrategien möglich:

**Tag-Nacht-Betrieb:** Wird die Betondecke außerhalb der Nutzungszeit (Nachtstunden) mit Wärme- oder Kälteenergie beladen, ist ausreichend Speicherkapazität notwendig, um die Decke soweit zu heizen oder zu kühlen, damit tagsüber ausreichend Leistung zur Verfügung steht. Da dies in der Praxis kaum möglich ist,

muss entweder mehr Energie als erforderlich gespeichert oder eine erhöhte Schwankungsbreite der Raumtemperatur zugelassen werden. Im eigentlichen Sinn findet bei dieser Betriebsweise keine Regelung nach der Raumtemperatur statt. Vielmehr wird ein mehr oder weniger effektives Speichermanagement betrieben. Dieses kann weiter optimiert werden, wenn neben dem aktuellen Beladezustand des Speichers noch eine Prognose des am nächsten Tag zu erwarteten Witterungsverlaufs sowie eine Annahme über die zu erwartende Wärmefreisetzung aus inneren Quellen in die Regelstrategie mit einbezogen werden. Der jeweils pro Regelkreis ungünstigste Raum gibt das Beladungsniveau vor.

**Durchgehender Betrieb:** Die Beladung der Geschossdecken mit Kälteenergie kann auch durchgehend betrieben werden, wenn die Wärmesenke wie zum Beispiel das Erdreich oder Grundwasser ohne zeitliche Einschränkung zur Verfügung steht.

**Regelung:** Die Decken werden in Abhängigkeit der mittleren Außentemperatur, der Raumtemperatur oder der Differenz zwischen Vor- und Rücklauftemperatur mit Wärme- oder Kälteenergie be- bzw. entladen oder deaktiviert. Auch eine prädikative, wetterprognosenbezogene Steuerung ist möglich. Als Regelparameter dienen die Vorlauftemperatur, der Massenstrom und die Pumpenlaufzeit, um die Raumtemperatur im begrenzten Umfang anzupassen. Werden die Erdsonden oder der Kühlturm im Direktbetrieb genutzt, findet keine Regelung der Vorlauftemperatur statt.



## Betonkerntemperierung und Behaglichkeit

Die Strahlungsverhältnisse im Raum beeinflussen die Behaglichkeit. Unter Strahlungsasymmetrie versteht man die maximale Temperaturdifferenz, die in einem Raum zwischen zwei sich gegenüberliegenden Flächen auftritt. Die daraus folgende einseitige Erwärmung bzw. Abkühlung des Menschen durch uneinheitliche Temperaturen der Umschließungsflächen kann zu thermischen Unbehagen führen. Wird allein über die Decke geheizt, darf deshalb die Oberflächentemperatur ca. 27°C nicht überschreiten. Im Kühlfall sollte die Temperaturdifferenz der kalten Deckenfläche mit anderen Flächen im Raum nicht größer als 14 K sein (ISO 7730). Diese Kriterien werden in Niedrigenergiegebäuden mit Betonkerntemperierung eingehalten. In Kombination mit natürlichen Wärmesenken liegen die Vorlauftemperaturen bei minimal 18°C und maximal 29°C, sodass die Deckenoberflächentemperaturen nahe an der Raumtemperatur liegen – beim Gebäude Energon z. B. bewegen sich die Deckenoberflächentemperaturen in 2005 innerhalb eines Temperaturbands von 20,5 bis 25,0°C. Aufgrund der geringen Strahlungsasymmetrie ist das Raumklima voll im Behaglichkeitsbereich.

Die detaillierten Auswertungen zu den Gebäuden Energon (vgl. S. 14) und BOB (vgl. S. 18) zeigen, dass durch Kühlung mit Betonkerntemperierung die geforderten Raumtemperaturen unter Berücksichtigung des Nutzerverhaltens (fast) immer eingehalten werden können – eine konsequente Reduzierung solarer und interner Wärmelasten vorausgesetzt. Auch im Winter kann die Betonkerntemperierung den thermischen Komfort ohne zusätzliche statische Heizflächen in diesen Gebäuden gewährleisten.

Da die Lüftung in Zusammenhang mit einer BKT nur eine hygienische und keine konditionierende Aufgabe übernimmt, kann die Luftmenge auf den hygienisch bedingten Mindestluftwechsel (40 m<sup>3</sup>/h\*Person) für Büroräume) begrenzt werden. Die aus dem reduzierten Luftvolumenstrom resultierenden geringen Luftgeschwindigkeiten und die Geräuschreduktion erhöhen ebenfalls den Komfort.

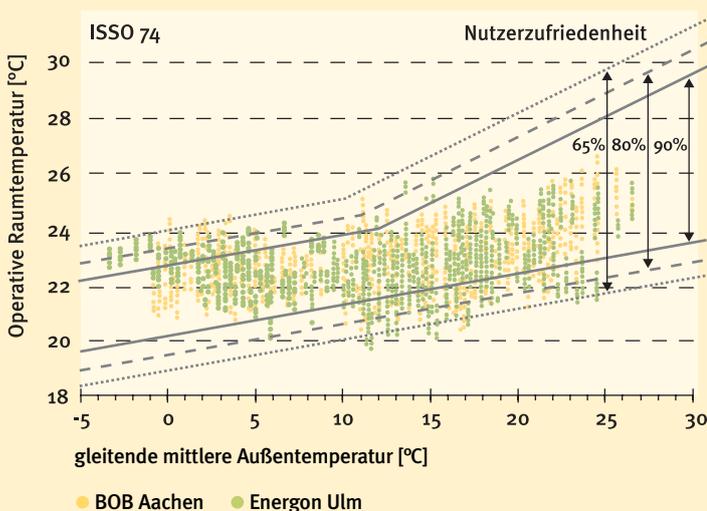


Abb. 23 Thermischer Komfort exemplarisch für die Gebäude Energon Ulm (grün) und BOB Aachen (gelb): Dargestellt ist die gemessene mittlere Raumtemperatur der Büros während der Anwesenheitszeit der Nutzer (8:00 bis 18:00) in Abhängigkeit des gleitenden Mittels der Außentemperatur (Richtlinie ISSO 74). Gemäß den Behaglichkeitskriterien sind 65% der Nutzer immer mit der Raumtemperatur zufrieden (Nutzerezufriedenheit: 90% (schwarze Linie), 80% (dunkelgraue Linie), 65% (hellgraue Linie)). Alle Daten für das Jahr 2005. Daten: Steinbeis-Transferzentrum Energietechnik, Ulm.



## Forschungsschwerpunkt »Energieoptimiertes Bauen« (EnOB)



# EnOB

Forschung für  
Energieoptimiertes Bauen

EnOB ist ein Forschungsschwerpunkt des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi) im Rahmen des 5. Energieforschungsprogramms „Innovation und neue Energietechnologien“. In den Forschungsprojekten von EnOB wird am Gebäude der Zukunft gearbeitet. Für Neubauten bedeutet das, dass der Primärenergiebedarf gegenüber dem heutigen Stand der Technik (EnEV 2006/DIN V 18599) nochmals mindestens halbiert werden soll. Das schließt den Energieaufwand für die Trinkwassererwärmung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung sowie Hilfsenergien für Pumpen und Ventilatoren mit ein. Zugleich wird an Konzepten und Technologien für Nullemissionshäuser gearbeitet.

Bei der Gebäudesubstanz geht es um eine Weiterentwicklung von Konzepten zur konsequenten und nachhaltigen energetischen Sanierung. Dabei sollen im Nichtwohnungsbau die Anforderungen an Neubauten nach EnEV 2006/DIN V 18599 um mindestens 30% unterschritten werden. Im Wohnungsbau gilt es, die Anforderungen an Neubauten nach EnEV 2006 um mindestens 50% zu unterschreiten. Ambitionierte Sanierungskonzepte werden hier in Verbindung mit innovativen Technologien in forschungsintensiven Vorhaben erprobt. Ein wichtiger Forschungsbereich von EnOB ist EnBau, was für »Energieoptimierter Neubau« steht:



# EnBau

Im Forschungsbereich EnBau (früher SolarBau) wurden in der Vergangenheit mehr als zwanzig Büro- und Verwaltungsgebäude sowie öffentliche und gewerbliche Gebäude mit minimalem Energiebedarf geplant und gebaut. Zukünftig: Die Gebäude werden über eine längere Nutzungsdauer wissenschaftlich evaluiert und im laufenden Betrieb optimiert. Die Möglichkeiten und Vorteile einer primärenergetisch optimierten Planung werden also an konkreten Modellprojekten ausgelotet.

Voraussetzung zur Teilnahme an »EnBau«: Der Heizwärmebedarf der Gebäude darf 20 kWh/m<sup>2</sup>a nicht übersteigen und der gesamte Primärenergieaufwand für Heizung, Licht, Lüftung und Klima muss unter 75 kWh/m<sup>2</sup>a liegen bzw. die Anforderungen für das Referenzgebäude nach EnEV 07 um mindestens 50% unterschreiten. Ein neuer Schwerpunkt von EnBau sind Wohngebäude mit Nullemission in der Jahresbilanz.

Weitere Infos hierzu unter [www.enob.info](http://www.enob.info)

# Aus der Praxis

## Bürogebäude in Aachen



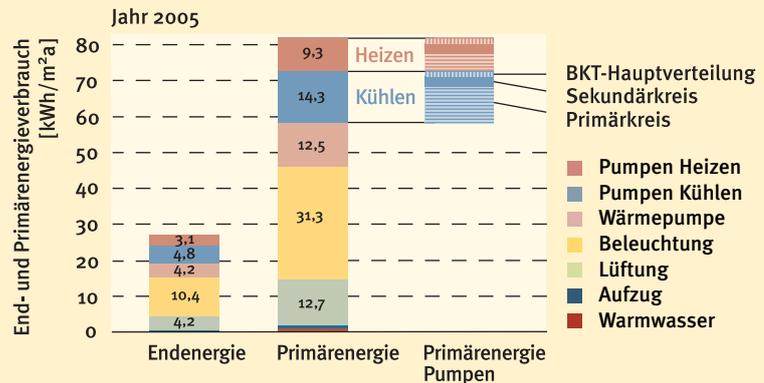
**Abb. 24** BOB Balanced Office Building in Aachen mit einer Nettogrundfläche von 2.151 m<sup>2</sup>. Ansicht und Grundriss. Architektur: Hahn Helten Architekten (Aachen), Energiekonzept: VIKA Ingenieur GmbH (Aachen), Monitoring: Fachhochschule Köln. Foto: Jörg Hempel, Aachen

Das viergeschossige Bürogebäude hat einen kompakten Baukörper in Massivbauweise und sehr gutem Wärmeschutz. Der Jahresheizwärmeverbrauch lag in 2005 bei 25,0 kWh/(m<sup>2</sup>a). Durch den niedrigen g-Wert der Verglasung von ca. 50% und einem Fensterflächenanteil von 30% wurde auf eine außen liegende Verschattung verzichtet. Es gibt einen innen liegenden Blendschutz. Das Bürogebäude wird mechanisch be- und entlüftet. Stockwerksweise arbeitet die Zu- und Abluftanlage mit einer Wärmerückgewinnung (Wärmerückgewinnungsgrad 75%). Die Zuluft wird nur über die Wärmerückgewinnung und die Tatsache, dass die Kanäle im Betonkern verlegt sind, temperiert.

Mit 28 Erdwärmesonden (je 45 m) wird im Winter dem Erdreich die benötigte Wärme entzogen und durch eine elektrische Kompressionswärmepumpe auf Nutztemperatur gebracht (26°C). Über die Betonkerntemperierung (insgesamt 2.070 m<sup>2</sup>) wird die Wärme in die Räume gebracht. Pro Etage gibt es zwei Regelkreise (Nord und Süd). Die Rohre sind mit einem Abstand von 12 cm von der Deckenunterseite verlegt. Das BKT-System wird ganzjährig mit einer Vorlauftemperatur zwischen 22 und 26°C betrieben. Auf den Betrieb zusätzlicher Heizflächen wird verzichtet. Im Sommer wird das Gebäude direkt über die Erdwärmesonden gekühlt. Für die Gebäudebeheizung und -kühlung wird ausschließlich der Endenergieträger Strom eingesetzt.



**Abb. 25** Blick auf eine Geschossdecke mit den BKT-Rohrregistern in der Bewehrung und den weißen Lüftungsrohren. Foto: VIKA Ingenieur GmbH



**Gesamter Energieverbrauch [kWh/m<sup>2</sup>a]**  
 Endenergie: 27,4, Primärenergie: 82,2, davon Primärenergie Pumpen: 23,6

**Abb. 26** Messtechnisch erfasste Endenergie- und Primärenergieverbrauchskennwerte für das Jahr 2005. Der Primärenergiefaktor für Netzstrom beträgt 3,0 kWh<sub>pri</sub>/kWh<sub>end</sub> (Quelle: DIN 4701-10:2003-08). Die Darstellung des Energieverbrauchs umfasst Lüftung, Beleuchtung, Sonstiges (Aufzug, Warmwasser) sowie die Erzeugung und Verteilung von Wärme und Kälte bis einschließlich der Hauptverteilerpumpe. Neben der Beleuchtung weist der Hilfsenergieeinsatz für die Gebäudebeheizung und -kühlung den größten Anteil am gesamten Endenergie- und Primärenergieverbrauch auf: Der anteilige Energiebedarf von Pumpen im Primär- und Sekundärkreis beträgt 23,6 kWh/m<sup>2</sup>a bzw. 29% des gesamten Primärenergieverbrauchs (2005). Daten: FH Köln

Energiekonzept		
<b>Lüftung</b>	<b>Heizung</b>	<b>Kühlung</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Zu- und Abluftanlage mit Wärmerückgewinnung (75%)</li> <li>Fensterlüftung möglich</li> <li>Temperierung der Zuluft durch Wärmerückgewinnung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BKT-System</li> <li>Erdwärmesonden + Wärmepumpe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>BKT-System</li> <li>Erdwärmesonden</li> </ul>

Weitere Infos zu diesem Gebäude unter [www.enob.info](http://www.enob.info)

# Checkliste Betonkerntemperierung

## Anforderungen

- **Neubau:** Die Betonkerntemperierung kann nicht in der Gebäudesanierung eingesetzt werden, sondern beschränkt sich auf Neubauten. Altbauten können z. B. mit Kapillarrohrsystemen aktiviert werden.
- **Gebäudehülle:** Ein integral geplantes Gebäudekonzept (optimale Abstimmung von Architektur, Bauphysik und Gebäudetechnik) mit konsequenter Begrenzung der Heiz- und Kühllast ist Voraussetzung für den Einsatz einer Betonkerntemperierung. Dies verringert den Energieeinsatz zum Kühlen, senkt die Anforderungen an die BKT-Regelung und verbessert das Raumklima.
- **Bauschwere:** Da die Speicherfähigkeit „aktiv“ in das Lastmanagement des Gebäudes mit einbezogen wird, ist eine gute thermische Speicherkapazität (Gebäude in Massivbauweise) erforderlich. Die Betondecken sollten nicht verkleidet bzw. abgehängt sein, um den Wärmeaustausch mit dem Raum zu gewährleisten.
- **Raumakustik:** Der Einsatz durchgehender abgehängter Decken mit dämmenden Elementen zur Gestaltung der Raumakustik (Nachhallzeit, Schallverteilung) ist in den Räumen mit Betonkerntemperierung nicht möglich bzw. in der Fläche und Anordnung stark eingeschränkt. Räume mit hohen akustischen Anforderungen verlangen ein entsprechendes Raumakustik-Konzept.
- **Leistungsfähigkeit:** Üblicherweise bewegen sich die Oberflächentemperaturen der thermisch aktivierten Bauteile in einem schmalen Band zwischen ca. 21 und 25°C. Trotz großer Wärmeübertragungsflächen der Decke sind daher die erreichbaren Heiz- und Kühlleistungen auf 30 bis 40 W/m<sup>2</sup> begrenzt.
- **Regelbarkeit:** Aufgrund der großen thermischen Masse und Trägheit der BKT ist eine genaue Regelung auf eine Raumsolltemperatur nicht möglich. Sollen bestimmte Raumtemperaturen gewährleistet werden, ist ein zusätzliches, regelbares und schnell reagierendes Heiz- bzw. Kühlsystem erforderlich.
- **Zonierung:** In bisherigen Projekten wurde die Deckenfläche meist ohne Berücksichtigung der späteren Raumaufteilung mit Rohrregistern eines steuerbaren Wasserkreises belegt. Aus diesem Grund war eine individuelle, raumbezogene Regelung nicht gegeben. Heute erfolgt die Zonierung der BKT-Rohrregister oft raumweise, wodurch die Raumtemperatur einzelner Räume unabhängig voneinander geregelt werden kann.

## Nutzen

- **Nutzung von Umweltenergie:** Zum Kühlen oder Heizen, beispielsweise durch freie Kühlung (Kühltürme), Erdwärmesonden, Erdkollektoren, Solarkollektoren oder Grundwasser. Die Umweltenergie kann direkt oder mit geringer Temperaturänderung durch Kältemaschinen bzw. Wärmepumpen wirtschaftlich genutzt werden.
- **Niedriger Primärenergieverbrauch:** Speicherverluste, begrenzte Regelbarkeit und nicht beeinflussbare Wärmeströme vom Bauteil an den Raum bzw. umgekehrt bedingen höhere Wärme- und Kälteverbräuche als bei einer idealen Raumkonditionierung. Daraus ergibt sich systembedingt ein erhöhter Mehrverbrauch an Nutzenergie gegenüber gut regelbaren Systemen, die mit geringen Abweichungen von der Raumsolltemperatur auskommen. Durch den Einsatz von Umweltenergie zum Heizen und Kühlen wird aber der Primärenergieverbrauch der BKT-Systeme entscheidend reduziert. Der Hilfsenergieeinsatz für die Wärme- und Kälteverteilung ist bei wassergeführten Systemen geringer als bei luftgeführten Systemen.
- **Reduktion der Lastspitzen:** Eine ausreichend dimensionierte BKT führt zur Reduktion von Lastspitzen und ein teilweises Verschieben dieser Last außerhalb der Anwesenheitszeit. Durch den Nachtbetrieb lässt sich der Energieverbrauch durch eine größere Effizienz (Coefficient of Performance, COP) reduzieren und gegebenenfalls von geringeren Nachtstromtarifen profitieren.
- **Selbstregelungseffekt:** Aufgrund der relativ geringen Unter- und Übertemperaturen der Decke zum Raum ist der Selbstregelungseffekt sehr gut. Liegt die Raumtemperatur über der Bauteiloberflächentemperatur, so wirkt das Bauteil als Flächenkühlung, im umgekehrten Fall dagegen als Flächenheizung. Dies ist besonders in der Übergangsjahreszeit effektiv.
- **Reduzierung des Lüftungssystems:** Die BKT bedingt die Entkopplung von thermischer Raumkonditionierung (Heizen und Kühlen) und Lüftungsanforderungen. Der auf das hygienisch erforderliche Maß reduzierte Luftvolumenstrom führt zur Verkleinerung des Kanalnetzes um bis zu 70% und zur Reduzierung der Betriebskosten und des Energieverbrauchs.
- **Komfort:** Die nahe an der Raumlufttemperatur liegenden System- und Oberflächentemperaturen, der hohe Strahlungsanteil an der Wärmeübertragung sowie die Abwesenheit hoher Luftwechselraten und je nach System eventuell hoher Luftgeschwindigkeiten bringen thermische Behaglichkeit.
- **Architektur:** Da die Rohrregister im Bauteil integriert sind, wird die innenarchitektonische Gestaltung kaum beeinflusst – allerdings sind abgehängte Decken zu vermeiden.



## Ausblick

Mit thermoaktiven Bauteilsystemen kann die Gebäudestruktur und die Speicherfähigkeit der Bauteile für ein aktives Energiemanagement von Gebäuden genutzt werden. Die Systeme sind vielseitig einsetzbar. Die Betonkerntemperierung als derzeit am stärksten verbreitetes thermoaktives Bauteilsystem ist insbesondere für die Kombination von Heizen und Kühlen interessant, als reines Heizsystem jedoch nicht wirtschaftlich. Der Einsatz der Betonkerntemperierung ist deshalb auf den Neubau von Nichtwohnungsbauten beschränkt. Für den Wohnungsbau kommen eher andere thermoaktive Bauteilsysteme wie z. B. Kapillarrohrsysteme oder die Fußbodentemperierung in Frage.

Die Energieeffizienz des gesamten Systems, also die Relation von Nutzenergie (Energiestrom an den Raum) zu Endenergieaufwand (Strom für Ventilation und Wärme-/Kältemaschinen), wird mit dem Faktor COP (Coefficient of Performance) beschrieben. In den vorgestellten Gebäuden erreicht die Energieeffizienz der thermoaktiven Bauteilsysteme COP-Werte zwischen 2 und 4. Sie kann noch deutlich gesteigert werden. COP-Werte von etwa 10 sollten angestrebt werden. Dies setzt eine konsequente Optimierung der hydraulischen Anlage und der Regelstrategie voraus, um den Hilfsenergieverbrauch von z. B. Pumpen entscheidend zu verringern. Soll die Betonkerntemperierung mit zusätzlichen Heiz- und Kühlsystemen kombiniert werden, ist die Planung und Systemauslegung besonders anspruchsvoll, weil dynamische Speichervorgänge im Gebäude und die Fremdwärmegewinne berücksichtigt werden müssen. In weiteren Projekten werden diese Zusammenhänge genauer untersucht.

Eine Erweiterung des TABS-Konzepts sind verschiedene Niedrig-Exergie-Systeme. Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts „Energieoptimiertes Bauen (EnOB)“ fördert das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie das Verbundprojekt „Niedrig-Exergie-Technologien (LowEx – Low Exergy)“. Hier werden unter anderem neue Bausysteme entwickelt, die sich durch eine deutlich erhöhte Wärmespeicherfähigkeit aufgrund integrierter Latentwärme speichernder Materialien auszeichnen. Aktiv beladen und entladen werden diese neuartigen Baustoffe über Wasser führende Systeme wie z. B. Kapillarrohrmatten. Dabei werden Regelstrategien und Betriebsweise der Systeme mit Blick auf Energiebilanz und Komfort optimiert. Mit solchen Bausystemen könnte das Wärme- und Kühlmanagement in Gebäuden effektiver und flexibler auf dynamisch auftretende Wärme- und Kühllasten reagieren.

## Mehr von BINE

- ▶ Komfortabel lernen und arbeiten, BINE-Projekt-Info 12/2006
- ▶ Bürokomfort mit regenerativer Kühlung, BINE-Projekt-Info 5/2006
- ▶ Forschen - energetisch optimiert, BINE-Projekt-Info 5/2005
- ▶ Passive Kühlung mit Nachtlüftung, BINE-Themeninfo I/2003
- ▶ Heizen und Kühlen mit Kapillarrohrmatten, BINE-Projekt-Info 6/2003
- ▶ [www.bine.info](http://www.bine.info)

## Links

- ▶ [www.enob.info](http://www.enob.info)
- ▶ [www.enbau.info](http://www.enbau.info)
- ▶ [www.lowex.info](http://www.lowex.info)

## Literatur

Voss, K.; Löhnert, G.; Herkel, S. u.a.: Bürogebäude mit Zukunft – Konzepte, Analysen, Erfahrungen. Berlin : Solarpraxis, 2006. 282 S., 2. Aufl., ISBN 3-934595-59-6, 49,00 €

Koschenz, M.; Lehmann, B.: Thermoaktive Bauteilsysteme tabs. Dübendorf (Schweiz): EMPA-Akademie, 2000. 100 S., ISBN-3-905594-19-6, 40,00 €

Olesen, B.; Dossi, F.: Neue Erkenntnisse über Regelung und Betrieb für die Betonkernaktivierung. In: HLH. Jg. 56 (2005), H. 1, S. 29-34 (Teil 1) und HLH. Jg. 56 (2005), H. 3, S. 35-40 (Teil 2)

## Förderung

Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi)  
11019 Berlin

Projektträger Jülich von BMWi und BMU  
Forschungszentrum Jülich GmbH  
52425 Jülich

### Förderkennzeichen

0335007 C, G, N, P

## Kontakt · Info

Fragen zu diesem Themeninfo?  
Wir helfen Ihnen weiter:

**0228/92379-44**

Weitere Informationen zum Thema sind beim BINE Informationsdienst oder unter [www.bine.info](http://www.bine.info) (Service/InfoPlus) abrufbar.

