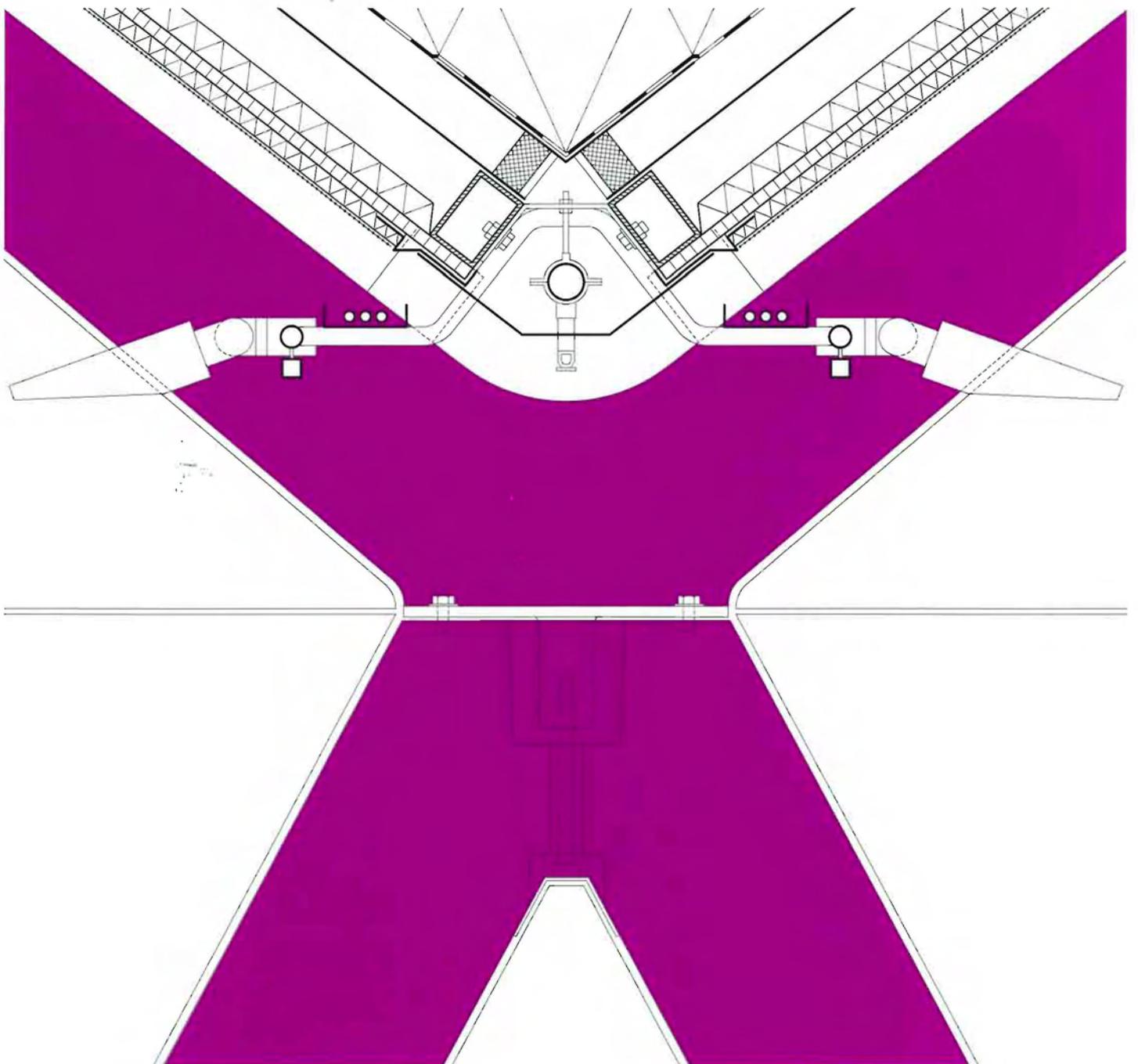


■ Betonarchitektur: Vielfalt an
Konstruktionen, Formen, Oberflächen
■ Beton im Hochhausbau

DETAIL

Zeitschrift für Architektur + Baudetail · Review of Architecture · Revue d'Architecture
Serie 2010 · **1/2** · Bauen mit Beton · Concrete Construction · Construire en béton



Stark, dauerhaft, energieeffizient – zukunftsfähiges Bauen mit Beton

Strong, long lasting, energy efficient – addressing future needs with concrete

Martin Peck

Aktuell bestimmen neue globale Herausforderungen die Rahmenbedingungen des Bauens. Dies betrifft auch die Baustoffe. Üblicherweise waren, neben gestalterischen Anforderungen, vor allem deren konstruktive und wirtschaftliche Eigenschaften die leitenden Kriterien für ihre Auswahl. Diese Betrachtung reicht zukünftig nicht mehr aus. Neben dem Nachweis einer nachhaltigen und ökologisch vertretbaren Herstellung und Anwendung müssen zeitgemäße Materialien energieeffiziente Gebäude unterstützen und zu wirtschaftlichen und intelligenten Lösungen führen.

Die Eigenschaften von Beton, dem wohl wichtigsten Massivbaustoff des 20. und 21. Jahrhunderts, lassen sich gezielt für die Umsetzung solcher Bauweisen einsetzen.

Bauen im Wandel

Gebäude sind in der Regel sehr dauerhaft und deshalb zukunftswirksam. Sie bestimmen nicht nur, wie Städte und Landschaften aussehen, ihr Betrieb verursacht auch einen

großen Teil des Energiebedarfs und hat daher langfristige Konsequenzen. Dies weist nationalen und internationalen Regulatorischen Behörden eine erhebliche Verantwortung zu, um den zukünftigen globalen Veränderungen zu entsprechen, die noch nie so tiefgreifend waren wie heute.

Die europäische Angleichung der technischen Regelwerke für Planung, Bauverfahren und Baustoffe allein ändert als rein formeller Prozess das Qualitäts- und Entwicklungsniveau von Bautechnik und Baustoffen kaum. Wirkungsvoller ist die fortschreitende Veränderung der politischen Rahmenbedingungen für Planung und Betrieb von Gebäuden, motiviert durch zwei globale Probleme: den drohenden Klimawandel und die steigende Ressourcenverknappung.

Die absehbare Endlichkeit der fossilen Energieträger, ihre konzentrierte globale Besitzverteilung und damit ihre unsichere wirtschaftliche Verfügbarkeit werden mittlerweile als bedrohlich empfunden und stellen die nationalen Volkswirtschaften in eine Vorsor-

gepflicht. Aufgrund der stetigen Verteuerung von Öl und Gas ist das energieeffiziente Bauen heute eben auch ökonomisch motiviert, was der praktischen Umsetzung einen spürbaren Schub verliehen hat und sich deutlich von den ökologischen Ansätzen des ausklingenden 20. Jahrhunderts unterscheidet.

Die Hauptursache des Klimawandels und der Ressourcenverknappung ist die Verbrennung von Öl; die Lösung besteht in der Einsparung von Energie und die Nutzung alternativer Energieformen. Dadurch werden Haushalte, Betriebe und Nationalökonomie unabhängig von den Einflüssen eines immer instabiler werdenden Energiemarkts. Zudem fördert nationale, regionale oder lokale Energieerzeugung die heimische Industrie. Die energetische Gebäudeplanung ist fortan eine lokale Einzelfallbetrachtung. Hierdurch wird die Loslösung von großen Zentralversorgern eingeläutet. Die Nutzung des lokalen Energieangebots aus Sonnenenergie, Erd- und Grundwasserwärme sowie eine



		Beton concrete	Holz wood	Mauerwerk masonry	Wasser water	Stahl steel		
1	Museum Maxxi, Rom, Architekten: Zaha Hadid Architects, 2009 (s. Dokumentation S. 55ff.)	spez. Wärmekapazität [c] specific heat capacity [c]	KJ/(kgK)	1,0	1,7	0,9	4,2	0,4
2	bauphysikalische Kenndaten ausgewählter Baustoffe, ungefähre Praxiswerte	Rohdichte [ρ] density in raw state [ρ]	Kg/dm³	2,5	0,7	1,8	1,0	7,8
1	Maxxi Museum in Rome, architects: Zaha Hadid Architects, 2009 (see documentation on p. 55ff.)	Wärmespeicherungszahl [s] = c × ρ heat storage value [s] = c × ρ	KJ/(m³K)	2,5	1,2	1,6	4,2	3,1
2	Building physics characteristics of selected building materials, approximate values for realizations	Wärmeleitfähigkeit [λ] thermal conductivity [λ]	W/(mK)	2,1	1,3	1,0	0,6	60,0

möglichst verlustarme gebäudeinterne Kreislaufwirtschaft reduzieren den Energieverbrauch meist auf eine relativ geringe Restmenge elektrischen Stroms. Das Ziel ist der Verzicht auf die unmittelbare Verbrennung von Öl oder Gas zum Heizen eines Gebäudes.

Energieeffizienz durch Planung

Die grundlegende Veränderung der Rahmenbedingungen zum Bau und Betrieb von Gebäuden betrifft zuvorderst die Planung. Sie ist durch die in Deutschland erst kürzlich deutlich verschärften Regelungen der »Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung – EnEV)« an strenge nationale Regelungen gebunden. Die Planung eines Hochbauobjekts kann heute nicht mehr allein von Architekt und Tragwerksplaner geleistet werden, denn die geltende Verordnungslage gibt der energetischen Gebäudeplanung eine deutliche Priorität vor Architektur und Konstruktion. Dabei sind energetische Kriterien in die Architektur zu integrieren. Diese können z.B. sein:

- die Ausrichtung des Gebäudes nach der solaren Einstrahlung
- die Verwendung einer qualifizierten Wärmedämmung
- die angemessene Aufteilung der Fassade in transluzente und opake Flächenanteile
- die Anordnung von Bauteilen zur Verschattung
- die Nutzung von Dächern und Fassaden für den Betrieb von Solaranlagen
- die Integration haustechnischer Anlagen in das Tragwerk

Die energetische Planung eröffnet neue Tätigkeitsgebiete und Marktfelder und bietet derzeit noch attraktive Alleinstellungsmöglichkeiten. Vor allem im Wirtschaftshochbau werden die ökonomischen Vorteile einer energieeffizienten Gebäudeplanung mit Nutzung alternativer Energien bereits bei überschlüssigen Kosten-/Nutzen-Betrachtungen deutlich. Neben erheblichen Kosteneinsparungen im Gebäudebetrieb zählt auch die Versorgungs- und Kostensicherheit, wenn

der Bauherr nicht mehr vom Öl- und Gasmarkt abhängig ist. Die Auftragsbücher der Energieplaner sind voll, denn der Nutzen einer »guten« energetischen Gebäudeplanung ist für den Bauherrn berechenbar und nachvollziehbar.

Letztlich zeigt sich, dass langjährige Planungsstrategien neu betrachtet und gegebenenfalls verändert und angepasst werden müssen. Dies betrifft aber nicht nur die Planung, sondern auch die Entwicklung technischer Möglichkeiten zur baulichen Umsetzung. Die alleinige Aufwertung der Wärmedämmung ist lediglich eine Standardmaßnahme ohne innovativen Anspruch. Sie erfüllt meist kaum die Mindestforderungen und ist allein in den wenigsten Fällen zielführend: Hier sind intelligenter Lösungen zur Energiewirtschaft in Gebäuden möglich und gefordert.

Beton, ein energieeffizienter Baustoff?

Für eine ganzheitliche energetische Gebäudeplanung sollte zunächst die entsprechende Leistungsfähigkeit der Materialien und Stoffe beurteilt werden, die aus konstruktiven Gründen ohnehin einzusetzen sind. Hierbei stößt man bereits bei Betrachtung der Fundamente auf den Baustoff Beton, dessen physikalische Stoffeigenschaften zusammen mit den Möglichkeiten des flüssigplastischen Einbaus einer näheren Betrachtung lohnen: Beton hat im erhärteten Zustand ein hohes Wärmespeichervermögen bei einer in Relation zu Mauerwerk und Holz gut nutzbaren Wärmeleitfähigkeit – er eignet sich also sehr gut als Speicher-, Puffer- und Transportmedium für Wärme (Abb. 2). Die flüssigplastische Verarbeitung von Beton ermöglicht, dass technische Anlagen wie z. B. Leitungen für Austauschmedien sicher, robust und wartungsfrei direkt im Bauteil platziert werden. Durch die vollflächige Umhüllung der Einbauteile mit dem zunächst flüssigen und dann festen Beton entsteht ein inniger »thermischer Kraftschluss« zwischen dem Austauschmedium und den umgebenden Bauteilbereichen. Auf diese Weise ist ein verlustfreier Energieübergang mit maximalen Austauschraten möglich. Dieses

Arbeitsprinzip legt gleich mehrere Arten der Anwendung zum Heizen und Kühlen des Gebäudeinneren und zur Energiegewinnung an der Gebäudehülle nahe, von denen die bereits recht häufig eingesetzte »Bauteilaktivierung« (Betonkernaktivierung) nur eine mögliche Form der Nutzung ist. Auf diese Weise lassen sich z.B. auch solare Wärmeinträge in außenliegende Bauteilflächen, entweder aus direkter Einstrahlung oder als Abwärme einer Photovoltaikanlage (Massivabsorber), zur Energiegewinnung nutzen. Die energetische Aktivierung von Betonbauteilen schränkt die statische Tragfähigkeit und gestalterische Verwendung nicht ein, da die integrierten Anlagenteile klein sind und keine statisch relevanten Querschnittseffekte verursachen. Normalerweise ist zur energetischen Nutzung tragender Betonbauteile keine Neudimensionierung erforderlich, eine Anpassung der Bauteildimensionen zur Optimierung der energetischen Leistungsfähigkeit kann im Einzelfall jedoch von Vorteil sein.

Die nachfolgenden Bauteilgruppen sind Beispiele für die gleichzeitige energetische und tragwerksaktive Nutzung von Betonkonstruktionen:

- Geothermiefähle (Tragwerksgründung und Energiegewinnung)
- geothermische Flächengründungen (Gründung und Energiegewinnung)
- saisonale Wärmespeicher in Gründungsbauteilen (Speicherung und spätere Rückgewinnung von Wärmeenergie)
- Betonkernaktivierung in Geschossdecken und Wandbauteilen (Heizen/Kühlen/Energierückgewinnung)
- solaraktive Massivdach oder Außenwandkonstruktionen (Photovoltaik-Modul mit Abwärmegewinnung, simultane Strom- und Wärmeerzeugung, Abb. 9)
- Massivabsorber (Energiegewinnung aus Sonneneinstrahlung und Außenluft)

Vor allem im Wirtschaftshochbau gibt es heute bereits zahlreiche Realisierungen, in denen Betonbauteile in Kombination mit Wärmepumpen und anderen Anlagensystemen der energetischen Bewirtschaftung des Gebäudes dienen. Betonbauteile mit geo-



3

thermischer Funktion oder solche mit thermischer Aktivierung werden besonders häufig eingesetzt. Mit solaraktivierten Bauteilen an der Gebäudehülle und einem saisonalen Wärmespeicher, etwa im Gebäudefundament, können zusätzlich Elektrizität und Wärme gewonnen und gespeichert werden. Bei all diesen Anwendungen gibt es hinsichtlich der bauphysikalischen Stoffeigenschaften und der intensiven energetischen Verbindung zwischen Beton und den Austauschmedien in den integrierten Leitungen keine vergleichbar systemfähigen Massivbaustoffe.

Ortbeton oder Fertigteil

Der Anteil von Bauwerken aus Betonfertigteilen am gesamten Massivbauvolumen erhöht sich seit einigen Dekaden stetig. Die Anforderungen an die Randbedingungen der Ausführung zeigen, dass vor allem die Fertigteilbauweise hinsichtlich der energetischen Nutzung von Betonbauteilen ein besonderes Potenzial besitzt (Abb. 4, 5). Das Bauen mit Fertigteilen ermöglicht höhere Genauigkeiten und Qualitäten in den Bauteilabmessungen, den Baustoffeigenschaften und der Platzierung integrierter und peripher montierter Ein- und Anbauteile. Die werksmäßige Fertigung der Elemente schließt die im Ortbetonbau unvermeidlichen Witterungseinflüsse aus. Produktionsfehler gelangen durch entsprechende Vorprüfung der Bauteile und ihrer energetischen Funktion im Fertigteilwerk gar nicht erst auf die Baustelle. Von Vorteil ist auch die Fertigung auf horizontalen Schalltischen: Die Wandbauteile werden in der Regel liegend hergestellt, was baubetrieblich ein lagenweises Arbeiten »von der einen Wandseite zur anderen« bedeutet. Hierdurch ist der Einbau von Heiz- und Kühlelementen, Rohrleitungen etc. direkt ins Bauteil einfach, schonend und exakt möglich. Durch die Variation der wärmetechnischen Betoneigenschaften der einzelnen Einbaulagen können in einem Wandbauteil Zonen mit unterschiedlicher Funktion hergestellt werden, z. B. wird im Kernbereich die Speicherfähigkeit betont und die Wandaußenseiten mit

unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit hergestellt, wodurch die Wärme mit geringer Trägheit an einer vorher bestimmten Bauteilseite aus- oder eintritt. So wird im konkreten Fall die Heiz- oder Kühlleistung des Bauteils in bestimmten Raumsektoren gesteuert. Auch das Aufbringen einer Wärmedämmung, der Einbau von hausinternen Gas-, Wasser- und Elektroinstallationen oder die Anordnung gestalterischer Elemente kann in qualitativ hochwertiger Werksfertigung erfolgen. Insbesondere die Herstellung kerngedämmter Sichtbetonbauteile erfordert gegenüber einer Ortbetonherstellung wesentlich geringere Bauteildicken und garantiert eine gute Qualität der Ansichtsflächen. Zeitgemäße Fertigteilproduktionen arbeiten weitgehend EDV-gesteuert. Die Vorbereitung der Schalung, die Ermittlung und der Einbau der Bewehrung sowie aller Einbauteile erfolgt zum großen Teil oder komplett über Automaten. Dabei sind die Abläufe standardisiert und die einmalige Fertigung eines individuellen Bauteiltyps bedeutet einen geringen baubetrieblichen Aufwand. Demgegenüber stehen Typenbauteile mit energetischen Funktionen, die in den letzten Jahren von einigen Fertigteilherstellern entwickelt wurden.

Qualifizierte Fertigteilhersteller leisten Architekten und Tragwerksplanern technische Unterstützung bei der konstruktiven Gebäudeplanung, da auch logistische und baubetriebliche Belange beachtet werden müssen. Dabei ist der Fertigteilhersteller neben Produktion, Lagerung und Transport am erfolgreichen Einbau der Teile interessiert. Generell sollte der federführende Architekt den Tragwerksplaner, den Energieplaner und das technische Büro des Fertigteilherstellers möglichst frühzeitig an der Planung beteiligen. Es wird deutlich, dass die Betonfertigteiltechnik hinsichtlich der Leistungsfähigkeit und der Steuerbarkeit ihrer thermischen Wirkung im Gebäude ein erhebliches Potenzial besitzt. Dieses wird derzeit noch nicht in ganzer Größe erkannt und sollte vor allem in Kombination mit anderen energetisch relevanten Technologien möglichst rasch genutzt werden.

Die folgenden Beispiele für energetisch genutzte Betonbauteile sind mit weiterführenden Internetverweisen versehen. Sie stehen exemplarisch für gleiche oder im Prinzip ähnliche Bauteile anderer Hersteller/Links to sites containing examples of thermally activated concrete building components. The list is a sample; the products are comparable to building components produced by other manufacturers:

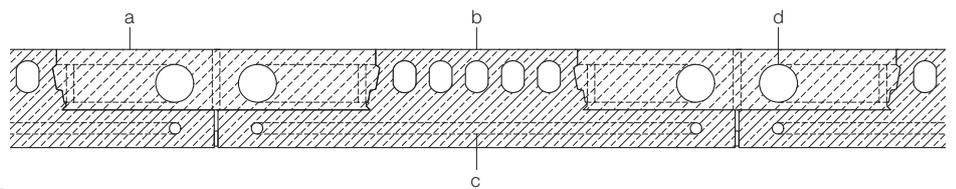
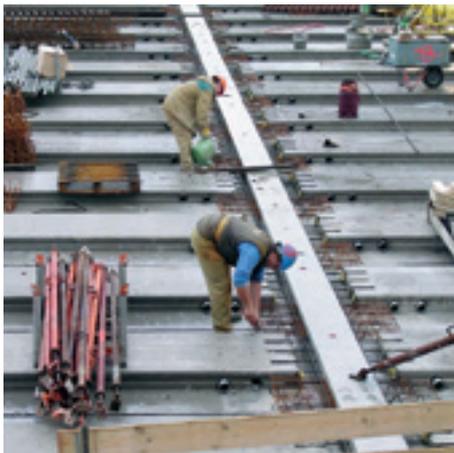
- Klimadecken zum Heizen und Kühlen (www.rudolph-baustoffwerk.de)
- solaraktivierte Betonbauteile zur simultanen Strom- und Wärmeerzeugung (www.beton.org/fileadmin/imagepool/bauherreninformationen/eigenheim/iRoof-iWall_Stand_11.06.pdf)
- Wärmespeichersysteme für solar erzeugte Wärme »Wärmetanks« (www.mall.info/produkte/neue-energien/pufferspeicher-fuer-waerme.html)

Nachstehend wird ein energetisch wirksames Deckenfertigteil sowie ein Ortbetonbauwerk mit energetischer Wirkung in der praktischen Anwendung vorgestellt. Die genutzten Technologien und baulichen Lösungen eignen sich zwar besonders für Objekte des Wirtschaftshochbaus, sind jedoch im Grundsatz auch für alle anderen Bauarten des Hochbaus einsetzbar.

Klimadecken, thermisch aktive Betonfertigteile

Der Begriff »Klimadecke« wird von verschiedenen Herstellern als Sammelbegriff verwendet für ein ganze Gruppe thermoaktiver Bauteile. Dabei basieren nicht alle auf einer Ausführung in Stahlbeton. Planer sollten deshalb genau prüfen, ob die technischen Leistungsdaten der ihnen angebotenen Bauteile für den vorgesehenen Einsatz genügen oder ob es leistungsfähigere Alternativen gibt (Abb. 3).

Die Vorteile, welche die Herstellungsbedingungen von Fertigteilen für den Baubetrieb und die Nutzung gegenüber thermischer Bauteilaktivierung in Ortbetondecken bieten, wurden bereits erläutert und zeigen sich bei den Klimadecken in besonderem Maße. Sie sind technisch komplex ausgestattete Bauteile, in denen die Eigenschaften des Betons und die integrierten haustechnischen Anlagenteile besonders exakt aufeinander abgestimmt werden. Die Rohrleitungen für das thermische Austauschmedium liegen nahe an der Oberfläche und sind damit in der Lage, die Heiz- bzw. Abwärme sehr schnell an den Raum abzugeben oder aufzunehmen. Eine detaillierte Leistungsabstimmung erlaubt es, unter einer geschlossenen Bauteileinheit Raumzonen unterschiedlich intensiver Beheizung bzw. Kühlung anzuordnen und zu steuern. Klimadeckenelemente bestehen aus einem so genannten Sandwichquerschnitt: einer oberen und einer unteren Stahlbetonschale. Konstruktive Verbindungen in Form von Stegen erzeugen ein statisches System, das in seiner Tragfähigkeit einem Vollquerschnitt vergleichbar ist. Die Abmessungen der Platten orientieren sich am Raster des Haupttragwerks, im Einfeldsystem sind Spannwei-



5

- 3 Aufbau einer Klimadecke zum Heizen und Kühlen, Darstellung von Rudolph Baustoffwerk
- 4 energetisch genutzte Fertigteildecke, Hauptverwaltungsgebäude Rijkswaterstraat Zeeland, Middleburg/NL, Architekt: Paul de Ruiter, 2004
- 5 Querschnitt dieser Fertigteildecke, Maßstab 1:20
 - a Leichtbetonverguss 160 mm
 - b Fertigteil-Deckenelement Stahlbeton 100 mm
 - c Wasserführung Bauteilaktivierung
 - d Lüftungsrohr

- 3 Assembly of a thermally activated ceiling (for heating and cooling), image by Rudolph Baustoffwerk
- 4 Thermally activated precast slab, Rijkswaterstraat Zeeland administration building in Middleburg/NL, architect: Paul de Ruiter, 2004
- 5 Cross-section of the precast ceiling, scale 1:20
 - a 160 mm cast-in-place lightweight concrete
 - b 100 mm reinforced-concrete precast slab element
 - c water pipes for building-component activation
 - d ventilation pipe

ten von bis zu 16 m möglich. Zur Beschränkung der Durchbiegung gibt es die Elemente auch vorgespannt. Die Art der statischen Belastung der unteren Schale erlaubt es, diese gegenüber Vollquerschnitten sehr dünn herzustellen, was für die Heiz- oder Kühlwirkung äußerst kurze Reaktionszeiten ergibt. Üblicherweise wird die untere Schale thermisch aktiviert, Doppellösungen mit Decken- und Fußbodenheizung sind ebenfalls möglich. Aufgrund der hohen Leistung dieses flächigen Heizkörpers sind im Austauschmedium nur geringe Vorlauftemperaturen ($< 32^{\circ}\text{C}$) erforderlich.

Der Hohlraum zwischen den beiden Schalen kann mit Grenzen in seiner Höhe variieren und für Installationen aller Art (Elektro, Gas, Wasser, Abwasser, EDV, Telekommunikation etc.) dienen. Auch dezentrale haustechnische Kleinaggregate können in diesen Installationsraum eingebaut werden. Der Installationsraum ist durch Bodenklappen von oben zugänglich, die enthaltene Anlagentechnik damit revidierbar verbaut. Die Integration sämtlicher Einbauteile erfolgt bereits bei der Herstellung der Fertigteile. Nach dem Verlegen der Klimadecken-Fertigteile auf der Baustelle müssen die integrierten Systemteile nur noch miteinander gekoppelt werden. Zusätzlich spart der Hohlraum zwischen den Platten Transport-, Verlege- und statisches Eigengewicht. Trotz der relativen Dünnschaligkeit der unteren Platte erfüllt das Gesamtsystem aufgrund seiner Doppelschaligkeit die üblichen Schallschutzanforderungen in Wirtschaftsgebäuden auch ohne eine zusätzliche Trittschalldämmung. Dadurch können die Teile bereits mit belagsfertigen Oberflächen hergestellt und eingebaut werden. Aufgrund des üblichen Herstellverfahrens sind untere und obere Bauteilfläche »geschalt«, eine glättende Spachtelung kann daher entfallen. Die heiz- und kühltechnischen Leistungsdaten der Fertigteile sind Teil der energetischen Gesamtplanung und werden nach den entsprechenden Vorgaben der Planung hergestellt. Die Bauteilgeometrie und die Tragfähigkeit der Betonteile werden im Zuge der konstruktiven Bauteilplanung erstellt.

Praxisbeispiel mit Ortbeton

Neben den energetisch wirksamen Deckenfertigteilen werden Ortbetonbauwerke mit energetischer Nutzung vielfach ausgeführt. Die genutzten Technologien und baulichen Lösungen eignen sich zwar besonders für Objekte des Wirtschaftshochbaus, sind jedoch im Grundsatz auch für alle anderen Bauarten des Hochbaus einsetzbar.

Das von den Architekten Boesel Benkert Hohberg Architekten entworfene Verwaltungsgebäude der EON Kraftwerks GmbH in Zolling bei München nutzt ein spezielles Raumkonzept: Fünf Büroebenen sind als Split-Level angeordnet und organisieren sich um ein gemeinsames Atrium (Abb. 6–8). Bei der Planung des Gebäudes simulierten die Architekten zunächst die im ganzjährigen Mittel optimale Sonneneinstrahlung des Standorts. Eine Aufheizung des Gebäudeinneren durch direkte Sonneneinstrahlung sollte bei gleichzeitig maximaler Nutzung des Tageslichts vermieden werden. Aus den Ergebnissen der Simulation ergab sich eine südliche Gebäudeneigung von 26° . Dies reduziert die Wärmeeinstrahlung im Süden und ermöglicht vermehrt blendfreies Tageslicht im Norden.

Eine Ausführung des Gebäudes in Stahlbetonbauweise wurde bereits bei den konstruktiven und gestalterischen Vorüberlegungen entschieden. Durch die Gebäudeneigung und die großen Deckenspannweiten ergab sich eine anspruchsvolle Tragwerksstatik. Die zusätzliche Möglichkeit, den Baustoff als Heiz- und Kühlmedium zu nutzen, und der gestalterische Wunsch des Bauherrn nach hochwertigen Sichtbetonflächen im Inneren des Gebäudes waren weitere Gründe für eine Ausführung in Stahlbeton. Dies zeigt deutlich die vereinbarte Leistungsfähigkeit von Baustoff und Bauweise.

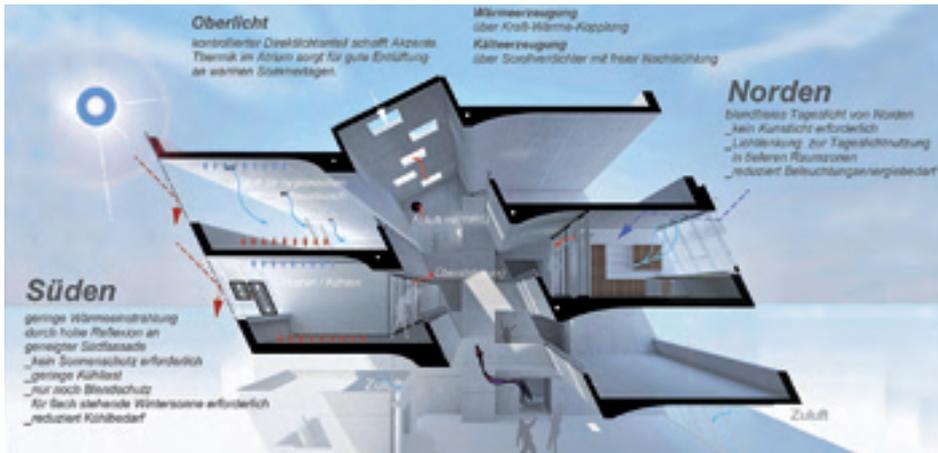
Für die Bereitstellung der erforderlichen Heizlasten von 60 W/m^2 sorgt ein komplexes Kühl- und Heizsystem, das aus einer thermisch gesteuerten automatischen Belüftung und einer oberflächennah in die Betondecken integrierten Bauteilaktivierung besteht. Lediglich in einzelnen Teilbereichen

im Erdgeschoss kommt zur Deckung von Grundlasten eine unterstützende Fußbodenheizung zum Einsatz. Auf den Einbau von konventionellen Heizkörpern konnte im ganzen Gebäude verzichtet werden.

Die Kunststoff-Rohrregister der Bauteilaktivierung wurden nur 40 mm unter der Betonoberfläche integriert. Hierdurch werden sehr kurze Reaktionszeiten sowie ein im Vergleich zur konventionellen Betonkernaktivierung weit größeres Leistungsspektrum erreicht. Die eingesetzten Rohrleitungen für die Austauschmedien haben eine Nennweite von $14 \times 2 \text{ mm}$ und bestehen aus sauerstoffdichtem und hochdruckvernetztem Polyethylen (PE-Xa). Für die Bauteilaktivierung wurden in insgesamt 1200 m^2 Deckenuntersichten Hochleistungsmodule mit einem Rohrabstand von 85 mm verlegt.

Die Neigung der Längsfassade um 26° bewirkt vor allem eine hohe Reflexion (Fresnel-Effekt) und verhindert dadurch im Sommer eine zu starke Sonneneinstrahlung auf der Südseite des Gebäudes. Für die präzise numerische Bewertung der thermischen Auswirkungen der Gebäudeneigung wurde ein grafisches Simulationsmodell erstellt. Die speziell für maximale Tageslichtnutzung konzipierte Nordfassade des Neubaus reduziert den Bedarf an künstlicher Beleuchtung deutlich. Ergänzt durch Oberlichter im Atrium wird durch die offene Bauweise Tageslicht in fast alle Bereiche des Gebäudes geleitet. Die sommerliche Kühlleistung übernimmt erforderlichenfalls eine Kältemaschine, die mit Temperaturen von $16^{\circ}\text{C}/19^{\circ}\text{C}$ (VL/RL) arbeitet.

Durch die Ausstattung mit einem auf dem Dach sitzenden »Free Cooling Register« wird freie Nachtkälte genutzt, die mittels der Bauteilaktivierung in der Betondecke zwischengespeichert wird. In der Heizphase nutzt das Verwaltungsgebäude kraftwerks-eigene Fernwärme (Kraft-Wärme; VL 32°C , RL 29°C). Durch die Luftaustauschanlage mit Wärmerückgewinnung und raumabhängiger Regelung wurde eine deutliche Verringerung der Heizlast erreicht. Auf die Installation eines zusätzlichen Heizsystems konnte damit verzichtet werden.



6–8 Verwaltungsgebäude EON Kraftwerks GmbH,
Zolling bei München von Boesel Benkert Hoh-
berg Architekten, 2008

6 grafische Darstellung des Energiekonzepts

6–8 Administration building, EON Kraftwerk in Zolling/
Munich by Boesel, Benkert, Hohberg
(BBH Architekten), 2008

6 Diagram of the energy concept

Energieeffizient, aber auch nachhaltig?

Der Begriff der Nachhaltigkeit stammt ursprünglich aus der Forstwirtschaft und wird im Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland-Report) von 1987 folgendermaßen definiert: »Nachhaltig ist eine Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.« Diese Definition ist bis heute das leitende Paradigma der viel zitierten Nachhaltigkeit. Sie ist mittlerweile ein globaler Begriff, der politischen Entscheidungen, wirtschaftlichen und industriellen Prozessen und Produkten besondere Qualität und Rechtfertigung verleiht und dabei immer wieder erhebliche Elastizität beweisen muss: »Nachhaltig« ist ein steigerbares Adjektiv, bei welchem der Superlativ nicht existiert. Dennoch ist die Brundtland-Definition eine sehr einfache, klare und grundlegende Erläuterung des Gedankens und zeitlos gültig.

Nach dieser Definition kann die Nachhaltigkeit eines Baustoffs in einfache Kriterien gefasst werden. Zu betrachten sind die Einflüsse und Folgeeffekte bei:

- Gewinnung und Herstellung
- Lagerung und Transport
- Verwendung
- Recyclingfähigkeit und Entsorgung

Was heißt das für den Baustoff Beton und seine mineralischen Ausgangsstoffe Zement, Kies und Sand? In Deutschland werden mit leicht rückläufiger Tendenz jährlich etwa 700 Mio. Tonnen Mineralstoffe für das Bauwesen gewonnen. Die Reserven an mineralischen Rohstoffen sind groß genug, um den Bedarf bei stabilem Verbrauch über mehrere Jahrhunderte zu decken. Anders als bei Energieträgern, wie z. B. Erdöl, ist das Problem des Ressourcenverbrauchs bei mineralischen Rohstoffen in erster Linie ein Problem der Flächeninanspruchnahme. Für die Gewinnung von Zementrohstoffen wird jährlich nur 0,0002 % der Landesfläche in Anspruch genommen. Die nach Ende der Rohstoffgewinnung stattfindende Renaturierung oder Rekultivierung ehemaliger Abbau-

flächen ist seit langem integraler Bestandteil jeder Abbautätigkeit.

Die durch Zement- und Betonherstellung induzierten Stoffströme belaufen sich auf etwa 40 Mio. Tonnen Kalkstein, Mergel und Kreide für die Herstellung von etwa 30 Mio. Tonnen Zementklinker und etwa 120 Mio. Tonnen Gesteinskörnungen (Kies und Sand) jährlich. Da die mineralischen Rohstoffe in einem Bauwerk normalerweise über einen sehr langen Zeitraum (> 50 Jahre) verbleiben, akkumulieren sich diese Stoffe im Gebäudebestand. Der Bundesverband der Deutschen Zementindustrie geht davon aus, dass diese Akkumulation um das Jahr 2000 ihren Höhepunkt erreicht hatte und die im Gebäudebestand gespeicherte Baustoffmenge langsam abnehmen wird.

Für ökologische Betrachtungen im Zusammenhang mit der Produktion mineralischer Baustoffe sind insbesondere die Gewinnung der Rohstoffe in Steinbrüchen und die zur Versorgung der Kunden erforderlichen Transporte von Bedeutung. Der Abbau mineralischer Rohstoffe erfordert zunächst den Eingriff in bestehende Natur. Steinbrüche heben sich von der meist land- oder forstwirtschaftlich genutzten Umgebung deutlich ab. Entgegen dieser auffälligen Wahrnehmung ist die Beeinträchtigung der Natur durch Steinbrüche nach vorliegenden Erkenntnissen tatsächlich sehr gering, da die im Ursprung als natürlich empfundene Kulturlandschaft nicht in allen Fällen ökologisch wertvoll ist. Oft stellt sich in aufgelassenen Steinbrüchen sogar eine höhere Artenvielfalt ein als im flächenmäßig wesentlich größeren Umfeld. Homogene Massengüter wie mineralische Rohstoffe können nur über kurze Distanzen wirtschaftlich transportiert werden. Deshalb sind die deutschen Zementstandorte relativ gleichmäßig über die Bundesrepublik verteilt. Dies gilt in noch größerem Maße für die Abbaustätten von Gesteinskörnungen. Im Gegensatz zu Holz oder zu Produkten der Erdölchemie handelt es sich bei mineralischen Baustoffen daher fast immer um regionale Produkte.

Auch die Wiederverwertung und Entsorgung mineralischer Baustoffe genügt heute den

Prinzipien von Nachhaltigkeit und Ökologie weit besser als dies bei vielen anderen Industriegütern der Fall ist. Oft sind die bei Abbruch und Rückbau von Gebäuden und Bauwerken anfallenden Materialien direkte Ausgangsstoffe zur erneuten Herstellung hochwertiger Baustoffe. Insgesamt fielen im Jahr 2000 etwa 90 Mio. Tonnen mineralischer Bauschutt, Straßenaufbruch und Baustellenabfälle an. Von dieser Gesamtmenge wurden mehr als 80 Mio. Tonnen stofflich wiederverwertet. Obwohl das Bauwesen große Stoffströme erzeugt, ist der Anteil am Gesamtabfallaufkommen von etwa 400 Mio. Tonnen pro Jahr gering.

Forschung und Technik sind bemüht, für die anfallenden Reststoffe eine möglichst hochwertige Wiederverwertung zu gewährleisten. So kann Abbruchbeton seit langem nach entsprechender Aufbereitung als »rezyklierte Gesteinskörnung« erneut zur Herstellung von Beton verwendet werden. Dieser so genannte Recyclingbeton ist integraler Bestandteil der deutschen Betonnormung und wurde bereits vielfach angewendet. Allerdings fallen derzeit am Markt insgesamt zu geringe Mengen Altbeton an, um eine kontinuierliche, flächendeckende Versorgung mit Recyclingbeton zu erfüllen.

Fit for Future?

Nach der geschilderten Faktenlage ist Beton ein zukunftsfähiger Baustoff, der mit gutem ökologischen Gewissen verwendet werden kann. Auch wenn seine Eignungen für das energieeffiziente Bauen erst in Ansätzen entwickelt sind, beweisen die Möglichkeiten der Betonbautechnik und die Baustofftechnologie ein großes innovatives Potential. Die Herstellungs- und Gewinnungsprozesse der Betonausgangsstoffe und ihre Effekte auf die Umwelt sind seit vielen Jahren bekannt, beherrscht und ökologisch geregelt. Kurze Transportdistanzen und eine hohe Recyclingrate sind weitere ökologische Nachhaltigkeitsfaktoren. Beton wird in der Region für die Region hergestellt, dadurch schafft und sichert der heimische Baustoff Arbeitsplätze und belegt die ökologische Nachhaltigkeit.



7



8

At the moment, new global challenges are determining the parameters of construction. This applies to all areas, and not least of all, to building materials. Thus, simply taking into consideration a building material's technical attributes is no longer sufficient to evaluate its fitness for the future. Contemporary solutions – aside from being verifiably sustainable and ecologically sound fabrication and application – must contribute to a building's energy efficiency and lead to economical, intelligent solutions. The characteristics of concrete – probably the most important heavyweight building material in the twentieth and twenty-first centuries – can be purposefully employed to attain such goals. .

Erecting buildings in a time of flux
 How we build is a crucial issue to the future of the planet, because buildings are, as a rule, long lasting. The means of construction not only determines the appearance of cities and landscapes, but operating buildings is also responsible for a large portion of the energy requirement. Hence, how we build has long-term consequences, and the market is increasingly becoming an international network. This places a great deal of responsibility on national and international regulatory agencies to cope with the foreseeable changes to come, which have never been so profound in the western world as they are at present. The harmonization of Europe's technical regulations on planning, building methods and materials has unified national regulatory principles. But this official process has little or no impact on the standard of building technology and materials. A second motor of change is the continuing modification of the political parameters for designing, erecting and operating buildings, spurred on by two global problems: the threat of global climate change and the increasing shortage of resources. In practice, this political process also ultimately leads to laws, regulations and specifications or adaptations to them. The foreseeable depletion of fossil fuels, the small number of corporations in control of them, and the accompanying uncertainty of attaining them at an economical price are, in the meantime, perceived as

threatening, and national economies bear the burden of providing them. Due to the continually rising prices of oil and gas, energy-efficient construction is presently motivated predominantly by economics, which has sparked a noticeable increase in realisation and is clearly distinguished from the ecological approaches typical of the outgoing twentieth century. In addition, the frightening spectre of climate change is giving politicians cause to act. The main cause of climate change is the combustion of petroleum. The solutions require: conserving energy and using alternative forms of energy. In this way households, businesses and national economies become independent of the vagaries of the energy market. In addition, creating energy nationally, regionally or locally fosters the economy of the respective locality. From now on, energy-conscious design must be grounded in a specific place and considered on a case-by-case basis. This will ring in an era of liberation from the conglomerates currently providing energy. Using energy available locally – e.g. solar energy, geo-thermal and ground water heat – and minimizing thermal losses within the building's circular economy usually reduces the energy consumption to a relatively small residual amount of electricity.

Achieving energy efficiency through design
 This fundamental change in parameters for erecting and operating buildings is first and foremost a matter to be addressed by design and planning professionals. To meet Germany's new standards, architects and structural engineers will require the assistance of other consultants, because the current ordinances clearly put energy-conscious design ahead of architecture and structural engineering. Energy saving criteria must thus be integrated in the design. These could include:

- the building's orientation to solar radiation
- employing certified thermal insulation
- a suitable allocation of translucent and opaque surfaces in the facade
- integrating components providing shade
- using roofs and facades for solar-energy systems

Dipl.-Ing. (TH) Martin Peck ist seit 1973 im In- und Ausland in der Betontechnologie tätig. Berufsbegleitend studierte er bis 1999 Bauingenieurwesen an der RWTH Aachen. Ab 2000 war er als Bauberater beim Bundesverband der Deutschen Zementindustrie in Köln tätig. Seit 2003 leitet er die Aktivitäten in Marketing und Technik bei der Beton Marketing Süd GmbH in München.

Martin Peck has been involved with concrete technology in Germany and abroad since 1973. While working, he studied structural engineering at RWTH Aachen, completing the program in 1999. Beginning in 2000 he worked as construction consultant at the German cement industry in Cologne. He has been director of marketing and technology at Beton Marketing Süd in Munich since 2003.

- integrating building services systems in structural members

Concrete: an energy-efficient material?
 In holistic energy-conscious design, the performance of the materials to be employed structurally should first be evaluated; concrete comes into play from the start, for example, when the planners consider what type of foundations to employ. In its hardened state, concrete has high thermal storage capacity and in comparison to brick masonry and wood, favourable thermal conductivity – it is well suited to thermal storage and buffer and as transport medium (ill. 2). Because concrete is initially in a viscous state, it is possible to place technical equipment directly in the building component. By completely cloaking the building component in concrete – first liquid and then solid – a frictional bond is created between the exchange medium and the building component it surrounds. This enables energy transfer free of thermal losses and with maximal exchange rates. This work principle suggests several different ways of heating and cooling building interiors and extracting energy via the building envelope; the commonly employed "building component activation" (concrete core activation) is only one of the possible forms. In this manner, solar thermal gains in building components on the building's outer surfaces – either from direct radiation or as thermal discharge of a photovoltaic system – can also be used to extract energy. Activating concrete components thermally does not diminish their load-bearing capacity or use as a design element, because the integrated components are typically small and have no bearing on the structurally relevant cross section. When used in the energy concept, load-bearing concrete members normally do not have to be redimensioned, though in certain cases it may be advantageous to adapt the dimensions of the building component to optimize energy performance.

The following building component groups are examples of concurrent load-bearing and energy-saving use of concrete structures:

- geo-thermal piles (load-bearing foundations and energy extraction)



9

- geo-thermal slab foundations (foundations and energy extraction)
- seasonal heat store in foundation components (storage and subsequent recovery of thermal energy)
- concrete core activation in ceiling decks and wall components (heating/cooling/energy recovery)
- solar-activated solid roof or exterior wall assemblies (photovoltaic module with extraction of thermal discharge, simultaneous electricity and energy production, ill. 9)
- massive absorber (energy extraction from solar radiation and outdoor air)

Particularly in commercial buildings there are already a large number of realizations in which concrete components function in combination with heat pumps and other systems to manage the building's energy household. Concrete building components with a geo-thermal function or which are thermally activated are often employed. With solar-activated building components on the building envelope and seasonal heat store, foundations, to name one example, can also extract and store electricity and warmth.

Thermally activated building components
The share of buildings employing precast concrete units in overall heavyweight construction has increased steadily for decades. Construction with precast elements holds great potential (ills. 4, 5). Not all systems designated "thermally activated ceilings" are executed in reinforced concrete. Hence, design professionals should verify whether the performance data of the building components offered to them are sufficient for the intended use, or whether there are higher performing alternatives (ill. 3) Precast units are complexly equipped building components that make it possible to precisely coordinate the properties of concrete and the integrated building services. The tubing for the thermal exchange medium are placed near the surface and consequently can emit heat into the room or absorb it quickly. Thermally activated ceiling elements are made up of a so-called sandwich cross-section: an upper and a lower reinforced-concrete shell. Structural connections in the

form of webs create a structural system that, in its load-bearing capacity, is comparable to a complete cross section. The dimensions of the slabs are derived from the grid of the primary structural members; in single span systems, spans of up to 16 m can be attained. With pre-stressed elements, the deflection can be limited. The type of load bearing on the lower shell makes it possible to – in contrast to solid cross-sections – execute it thinly, which results in very short reaction times for the heating or cooling effect. Normally the lower shell is thermally activated, but solutions for both ceiling and underfloor heating are also possible. Thanks to the high capacity of the planar heating elements, the exchange medium the system only requires a low supply temperature (< 32 °C). The height of the cavity between the shells can vary – within limits – and can accommodate all sorts of installations (electric wiring, gas, water, waste water, computer systems, telecommunications, etc.). The EON administration building (ills. 6–8) demonstrates the use of cast-in-place concrete for thermal activation. Preliminary studies verified that rotating the building 26° (to reduce the solar radiation in the south), activating a ceiling surface of 1200 m², and making use of free cooling register (cool nighttime air) would produce the optimal results.

Are energy efficiency and sustainability one and the same?

The Brundtland definition of a material's sustainability is based on simple criteria. It takes the following factors into consideration:

- extraction and production
- storage and logistics
- utilization
- recyclability and disposal

What is the significance for concrete and its mineral ingredients (cement, gravel and sand)? In Germany about 700 million tons of mineral substances are extracted annually – in a downward trend – for use in construction. The reserves of mineral raw materials are large enough – should consumption remain stable – to cover the consumption for several centuries to come. In contrast to other sources of energy – as, for example, petroleum –

9 »iRoof« – solaraktivierte Betonbauteile für massive Dach- und Fassadenkonstruktionen. Sie erzeugen simultan Strom und Wärmeenergie, konzipiert u. a. von m-g-h ingenieure + architekten.

9 iRoof – solar-activated concrete component for solid roof and facades. These components simultaneously produce electricity and thermal energy; m-g-h ingenieure + architekten were part of the team that developed the concept.

the problem associated with the consumption of mineral raw materials primarily relates to the land usage. Extracting raw materials for cement utilizes only 0.0002 % of Germany's surface area. The renaturation or re-cultivation of former quarry site that takes place once resource extraction is complete has long been an integral part of all quarry enterprises. The materials flow set off by concrete production come to about 40 million tons of limestone, marl and chalk to produce about 30 million tons of clinker and about 120 million tons of aggregate (gravel and sand) annually. Because mineral raw materials are normally stored in a building for a long period of time (> 50 years), these substances accumulate in the building fabric. It is generally agreed that this accumulation reached its peak around the year 2000 and that the amount of building materials stored in the building stock will slowly diminish. For ecological considerations, in connection with the production of mineral-based building materials, the logistics of extracting raw materials from quarries and supplying them to the customers are of particular significance. Quarrying mineral raw materials requires intervening in an existing habitat, and quarries typically stand out clearly from their surroundings. But contrary to conventional wisdom, the latest findings show that there is very little impact on the natural world, because the cultural landscape is not always of value ecologically. In many cases quarries no longer in use possess more biodiversity than their surroundings. A further factor to be considered: homogeneous bulk goods such as mineral raw materials can, as a rule, only be economically transported a short distance. Researchers are working on attaining the greatest possible quality of recycled building materials. Consequently, concrete from demolished buildings, prepared properly, has long been employed as recycled aggregate and can be used to produce concrete again. This so-called recycled concrete has long been an integral component of Germany's concrete standardization. However, at the moment there is too little "recycled" concrete on the market to enable providing it constantly and comprehensively.



