

Stefan Seyffert, Bert Vulpius

Zur Materialität der Bauen für die Stadt der Zukunft

Die Stadt der Zukunft wird sich verändern und muss sich den sich ändernden Gesellschafts- und Umweltbedingungen anpassen. Städte besitzen nach wie vor eine hohe Anziehungskraft, aus der sich eine Vielzahl von Herausforderungen für die Stadtplanung und den Umbau der Städte ergeben. Homeoffice, der Trend zur digitalisierten Arbeitswelt, des überall und jederzeit Arbeitens aber auch alternative Lebens- und Wohnformen werden Eingang in die bauliche Entwicklung finden müssen. Stadtfächen werden zukünftig noch intensiver genutzt werden. Sie werden wahrscheinlich dichter und höher bebaut, sollen aber auch grüner werden. Dabei wird ein expansives Wachstum ausgeschlossen. Ressourceneffizienz und Nachhaltigkeit sind die Kriterien, an denen sich auch die Entwicklung orientieren muss.

Stefan Seyffert, 1974, Dr.-Ing., Geschäftsführer BAU-ZERT e.V. in Berlin, Lehraufträge für Bauverfahren im Betonbau an der Technischen Universität Dresden und der Dresden International University



Bert Vulpius, 1966, Dipl. Geol., Dipl.-Kfm. (FH), Geschäftsführer Unternehmerverband Mineralische Baustoffe (UVMB) e.V. in Berlin



Seit 2002 schreibt die Bundesregierung in regelmäßigen Abständen die Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie fort. Mit dem Beschluss vom 10. März 2021 (BReg 2021) liegt eine aktuell fortentwickelte Nachhaltigkeitsstrategie vor. Aus dem Ziel für nachhaltige Entwicklung SDG 11 (Sustainable Development Goal) „Nachhaltige Städte und Gemeinden“ werden nationale Nachhaltigkeitsindikatoren und -ziele abgeleitet. Der sparsame Umgang mit der Ressource Fläche ist dabei ein wichtiger Indikator. Während die Flächeninanspruchnahme für Siedlungs- und Verkehrszwecke im Jahr 2018 bei durchschnittlich 52 Hektar pro Tag lag, soll diese bis zum Jahr 2030 auf unter 30 Hektar begrenzt werden. Bis 2050 wird eine Flächenkreislaufwirtschaft angestrebt. Es sollen keine weiteren Flächen für Siedlungs- und Verkehrszwecke neu beansprucht werden.

Diese Zielvorgaben der Bundesregierung müssen auf Ebene der Bundesländer und Kommunen mit konkreten Maßnahmen umgesetzt werden. Mit der Baurechtsnovelle von 2017 wurde mit § 6a BauNVO der neue Baugebietstyp des „Urbanen Gebiets“ eingeführt. Er soll eine erleichterte Nachverdichtung in innerstädtischen Bereichen und eine bessere Nutzungsmischung zwischen Wohnen, Gewerbe, Arbeit und Freizeit ermöglichen.

Zahlreiche Untersuchungen und Studien zur Neustrukturierung von Flächen zeigen, dass hier ein großes Potenzial vorhanden ist. So ist beispielsweise in Hamburg geplant, längs der Verkehrsmagistralen in den Randbezirken Bestandsflächen mit Einzelbebauungen künftig nachzuverdichten. Dazu hat man die Kennwerte für die Grundflächenzahl und Geschossflächenzahl erhöht.

Um auf der einen Seite den starken Zuzug in Ballungsräumen mit seinen sozialen und infrastrukturellen Herausforderungen (z.B. Wohnen, Schule, Gesundheit, Freizeit, Nahverkehr) und andererseits den Nachhaltigkeitszielen mit einer

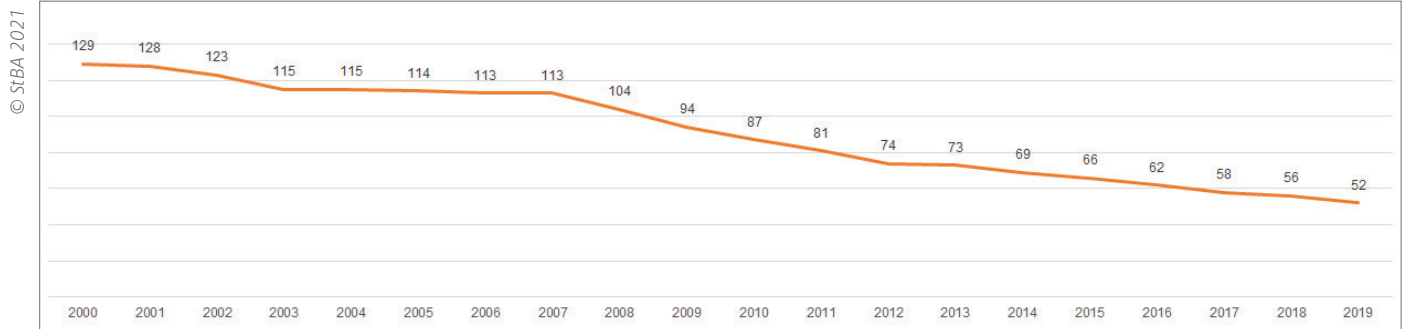


Abb. 1: Entwicklung der Flächeninanspruchnahme durch Siedlungs- und Verkehrsflächen in Hektar pro Tag

deutlichen Verringerung der Flächeninanspruchnahme gerecht zu werden, muss deutlich dichter und vermutlich auch höher als bisher gebaut werden. Aus der Verdichtung der Städte sowie dem stärkeren Miteinander von Wohnen und Arbeiten können auch lärmbedingte Mehrbelastungen resultieren, die an die Bauweise und die eingesetzten Baustoffe neue Anforderungen stellen. Neben Verdichtung und Neubau werden als weitere Handlungsstränge der Erhalt und die Sanierung der bestehenden Bausubstanz angesehen. Die Bundesregierung orientiert in ihrer Rohstoffstrategie auf eine möglichst lange Lebensdauer von Gebäuden (BMWi 2020).

Multifunktionalität ist nachhaltig

Das Bauen in der Zukunft stellt nicht nur Architekten und Planer, sondern auch Baustoffproduzenten vor neue Herausforderungen. Der Wunsch der Nutzer nach individuell gestaltetem Wohnraum sowie die Vorgaben und Ansprüche an sich wandelnde Arbeitsbedingungen fordern multifunktionale Wohn- und Arbeitskonzepte sowie nachhaltige Baustoffe.

Bei künftigen Neubauten sollten die Planer vor Planungsbeginn verstärkt die sogenannte „Phase 0“ dazu nutzen, die Bedürfnisse der Bauherren und Nutzer genauer zu hinterfragen. Außerdem sind in dieser Phase die zukünftige Entwicklung, beispielsweise Umnutzungen, zu betrachten. Damit fließen bedarfsgerecht und nachhaltig die aktuellen und zukünftigen Anforderungen in die Planung ein. Nur so lassen sich Wohn- und Bürobauten ressourceneffizient über einen Zeitraum von 80 bis 100 Jahren nutzen.

Der Faktor der Multifunktionalität einer Gebäudestruktur ist bei der Planung immer zu berücksichtigen. In einem Forschungsvorhaben des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton e.V. (DAfStb) wurde in sechs Teilprojekten die Nachhaltigkeit des Bauens mit Beton untersucht und dokumentiert (IZB 2011). So wurden unter anderem am Beispiel eines Stadtbauwerks drei Nutzungsszenarien für eine angenommene Nutzungsdauer von 100 Jahren entwickelt:

- Phase 1 – 0 bis 20 Jahre Nutzung als Zellenbüro
- Phase 2 – 21 bis 40 Jahre Umnutzung als offene Bürolandschaft
- Phase 3 – 41 bis 100 Jahre Neunutzung als Wohngebäude

mit drei verschiedenen Wohnungsgrundrissen.

Diese Szenarien wurden auf die heute üblichen nichtflexiblen Gebäudestrukturen angewendet. Da diese Strukturen keine Multifunktionalitäten aufweisen, ist eine Umwandlung der Büronutzung in eine Wohnnutzung nicht möglich. Dies hat zur Folge, dass das gerade einmal 40 Jahre alte Gebäude abgerissen und durch ein neues ersetzt werden muss. Damit verbunden ist ein erheblicher Ressourcenverbrauch in Form von Arbeit, Kapital, Baustoffen und Energie.

Anschließend wurde dasselbe Szenario auf eine flexible Gebäudestruktur übertragen. Dabei wurde festgestellt, dass diese dank ihres stützenfreien und leichten Tragsystems eine hohe Flexibilität und Nutzungsvariabilität aufweist. Nutzungsänderungen können somit leichter vollzogen werden und lassen Nutzungszeiträume von 100 und mehr Jahren zu. Eine flexible Gebäudestruktur erweist sich als deutlich ressourceneffizienter. Lediglich in der Planungsphase ergibt sich ein geringfügig höherer Aufwand.

Die Vorfertigung bietet zahlreiche Vorteile

Im Bauwesen rücken immer stärker Themen wie Ressourceneffizienz, Nutzungsdauer, Nachnutzungspotenziale und Kreislaufwirtschaft in den Mittelpunkt der Diskussion. Durch gut geplante Gebäude und die Nutzung entsprechender Baustoffe lässt sich der Einsatz von Ressourcen optimieren. Mit der Verwendung von Recycling-Baustoffen können weitere Potenziale erschlossen werden. Auch Betonfertigteile bieten, wenn es um das Bauen in der Zukunft geht, große Möglichkeiten. Diese können nach dem Ende der Nutzungszeit im Sinne eines echten Produkt-Recyclings wiederverwendet werden. Hierzu liegen bereits praktische Erfahrungen vor (DBU 2009). So wurden aus gebrauchten Betonelementen aus dem Rückbau von Plattenbauten Modellhäuser errichtet, die trotz fester geometrischer Vorgaben attraktive und günstige Lösungen für den Bau von Ein- und Zweifamilienhäusern darstellen (Mettke 2010). Daneben sind auch ein Material-Recycling und die Herstellung von Recycling-Baustoffen möglich.

Weitere Vorteile, die der Einsatz von Betonfertigteilen bietet, bestehen in geringeren Kosten bei der Planung und in der Bauausführung sowie in der Verkürzung der Bauzeit. Gerin-



Abb. 2: Modulares Mehrfamilienhaus als passgenaue Lösung für innerstädtische Nachverdichtung und Bauen im Bestand

gere Vorhaltungskosten für Schalungssysteme, Gerüste und die Baustelleneinrichtung stellen weitere Einsparpotenziale dar.

In den vergangenen Jahren hat sich die architektonische Entwurfsqualität der Gebäude, die aus Fertigteilen errichtet wurden, deutlich weiterentwickelt. Durch die Vorfertigung der Bauteile in Montagehallen in geschützter, wetterunabhängiger Umgebung kann eine sehr hohe Produktqualität gewährleistet werden. So werden Fenster, Balkone, Bäder, Leitungen und Dämmung bereits im Werk in die Module eingebaut. Sogar eine Ausstattung der Module mit Tapeten, Bodenbelägen und der elektrischen Anlagen ist werksseitig möglich. Die so geschaffenen Raummodule kommen per Lkw auf die Baustelle und werden per Kran aufgebaut. An einem Tag können bis zu zehn Raummodule montiert werden.

Weiterhin lässt sich mit speziell konstruierten Bauteilen wie Hohlplatten der Rohstoffeinsatz von Zement und Stahl um etwa die Hälfte gegenüber vergleichbaren Massivkonstruktionen reduzieren und der ökologische Fußabdruck verkleinern.



Abb. 3: Wohnhaus mit selbsttragender Fassade aus Sichtbetonfertigteilen und Balkonwänden in Berlin, Lindenstraße 2-4

Die modulare Bauweise eignet sich auch deshalb im besonderen Maße für das Nachverdichten im urbanen Raum, weil die mit dem Bau eines Gebäudes verbundenen Belastungen deutlich reduziert werden können. Reduzierungen ergeben sich aus der deutlich kürzeren Bauzeit. Gegenüber dem konventionellen Bau ist eine Zeitersparnis von bis zu 80 Prozent möglich. Der andere Belastungspfad, der aus den unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen der Bautätigkeit auf der Baustelle resultiert, wird durch die Vorfertigung der Bauteile in einem Werk in seiner Wirkung erheblich herabgesetzt. Hierunter fallen insbesondere Reduzierungen von Lärm, Staub und Verkehr.

Der starke Zuzug von Menschen in die Ballungsräume stellt unsere Gesellschaft vor große Herausforderungen. Die aktuellen Diskussionen um überdurchschnittlich stark steigende Mieten zeigt dies besonders eindrucksvoll. Die politische Forderung nach bezahlbaren Mieten ist unter den Bedingungen der sozialen Marktwirtschaft nur möglich, wenn auf der Angebotsseite mehr Wohnungen zur Verfügung gestellt werden, die zu günstigen Konditionen errichtet werden. Bereits im Jahr 2015 hat die Baukostensenkungskommission (BMU 2015) das serielle und modulare Bauen als eine mögliche Alternative für kostengünstiges und schnelles Bauen identifiziert. Daraufhin hat der Spitzenverband der Wohnungswirtschaft (GdW) gemeinsam mit dem Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat (BMI), der Deutschen Bauindustrie und der Bundesarchitektenkammer die erste branchenweite Rahmenvereinbarung (GdW 2018) für den seriellen und modularen Wohnungsbau geschlossen. Wohnungsunternehmen können aus einem Katalog neun zukunftsweisende Wohnungsbau-Konzepte auswählen. Festpreise garantieren Planungssicherheit für den Auftraggeber. Die Umsetzung der Vereinbarung wird durch aktive Kommunikation mit den Wohnungsbaugesellschaften, den Kommunen und der Öffentlichkeit unterstützt und durch Expertengremien flankiert.

Mit der Rahmenvereinbarung sind wesentliche Voraussetzungen, die das Potenzial des seriellen und modularen Bauens erschließen, geschaffen worden. Hierzu gehört auch die Ausweitung der Produktionskapazitäten in den Fertigteilwerken.

Dachbegrünung

Dachbegrünungen sind eine effektive Anpassungsmaßnahme an sich verändernde Umweltbedingungen. Urbane Hitzeeffekte werden durch Sonne, dunkle Gebäudehüllen, Straßen, versiegelte Oberflächen und schnell abfließendes Regenwasser deutlich erhöht. Pflanzen haben einen entscheidenden Einfluss auf die Evapotranspiration und auf die damit verbundene Verdunstungskühlung. So liegen die Temperaturen in den Städten in der Regel um 1 bis 3 Grad Celsius über denen im ländlichen Raum, was unter anderem auf die geringe Vegetationsdichte zurückzuführen ist. Die Dachbegrünung mit ihrer Verdunstungskühlung ist eine effektive Möglichkeit, Wärme aktiv abzuführen. Sie hilft den lokalen Wasser- und Energiehaushalt intakt zu halten und urbane Hitzeinseln zu

verhindern. Darüber hinaus kann sie einen Beitrag zur dezentralen Regenwasserbewirtschaftung leisten, führt zu Energieeinsparung durch ihre Dämm- und Kühlfunktionen und schützt die Abdichtung des Dachs.

Auch stellt sie Lebensräume für Tiere und Pflanzen dar und leistet damit einen Beitrag zur Biodiversität. Hier gibt es die Möglichkeit zur Gestaltung eines „Biodiversitäts Gründachs“, das sich stark an naturschutzfachlichen Belangen orientiert. So können durch eine hohe Struktur- und Pflanzenvielfalt für Tiere (vorrangig Insekten) weitere Lebensräume in der Stadt geschaffen werden (BuGG 2020).

Die zunehmende Urbanisierung und das Stadtleben haben auch negative Auswirkungen auf die Psyche der Menschen (Adli und Schöndorf 2020). Stadtbewohner brauchen in ihrem unmittelbaren Wohnumfeld schnell erreichbare Grünflächen zur Entspannung, Erholung sowie zum Sport und Spiel.

Aufgrund der beschränkten Platzverhältnisse und der hohen Intensität der Flächennutzung in der Stadt können Dach- und Fassadenbegrünungen neben ihrem Beitrag zur Verbesserung des Stadtklimas auch positive umweltpsychologische Wirkungen auf den Menschen entfalten.

Urbane Hitzeinseln reduzieren

Durch den Einsatz von hellen Baustoffen und Bauprodukten besteht eine weitere Möglichkeit, urbane Hitzeinseln zu minimieren. Man kennt dies aus dem persönlichen Erleben bei Kleidung, dass sich Oberflächen mit dunklen Farben in der Sonne stärker aufheizen als helle. Das gilt ebenso für Verkehrsflächen, die etwa 10 Prozent der Fläche in einem Stadtgebiet in Anspruch nehmen. Neben der Direkteinstrahlung werden diese Zonen zusätzlich durch Mehrfachreflexion zwischen der dunklen Straße und den Häuserfronten überdurchschnittlich erwärmt. Hier ist die Wahl heller Baustoffe mit einem hohen Reflexionsvermögen besonders sinnvoll. Untersuchungen ergaben (Wistuba et al., 2001), dass Asphalt ein deutlich geringeres Reflexionsvermögen aufweist als nor-

maler Beton. Im Jahr 2007 wurde in Forschungen (Peyerl und Krispel 2008) das unterschiedliche Erwärmungsverhalten der Baustoffe Asphalt, Normal- und Weißbeton untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass der Unterschied in der Aufheizung zwischen Weißbeton und normalen Beton relativ gering ausfällt, während zwischen Asphalt und Beton deutlich Unterschiede auftreten. Beim Asphalt liegt die Aufheizung um 7 Grad Kelvin, in Ausnahmen sogar bei 10 Grad Kelvin, über der des Betons. Welches großes Potenzial in der richtigen Wahl des Bodenbelags zur Vermeidung von Hitzeinseln steckt, zeigen Untersuchungen an Plattenbelägen aus Beton in unterschiedlichen Farbtönen. Es wurden Oberflächentemperaturen bis zu 60 Grad Celsius ermittelt. Zur Mittagszeit betrug die Differenz zwischen dem hellen Perlmutter-Plattenbelag (44,4 Grad Celsius) und einem dunkel eingefärbten Anthrazit-Plattenbelag (58 Grad Celsius) ganze 13,6 Grad Celsius bei einer Lufttemperatur von 29,4 Grad Celsius (VÖB 2020).

Diese Erkenntnisse finden zusehends Eingang in der Stadtplanung. So setzt beispielweise die Stadt Wien in ihrem „Urban Heat Islands Strategieplan“ im Kampf gegen Hitzeinseln unter anderem auf eine höchstmögliche Reduktion von dunklen Asphalt- und Metalloberflächen zugunsten von hellen Betonflächen, Platten- und Pflasterbelägen aus Beton und Naturstein (Stadt Wien 2015).

Mit dem Einsatz heller Straßenbeläge sind mittelbar auch Energieeinsparungen verbunden. Weniger stark aufgeheizte Straßen führen dazu, dass Gebäude weniger stark gekühlt werden müssen. Außerdem sind beim Einsatz heller Beläge durch das gute Reflexionsverhalten Einsparungen bei der Beleuchtung möglich.

Die Speichermasse aus Beton

Ein klimagerechtes Bauen erfordert innovative Lösungen, um Energie deutlich effizienter nutzen zu können. Ein Ansatz sind thermische Bauteilaktivierungen, die die gute Speichereigenschaft des Baustoffes Beton nutzen, um die erforderliche Primärenergie zur Regulierung der Temperatur eines Gebäudes zu reduzieren. Massive Bauteile nehmen bei hohen Temperaturen Wärme auf und geben diese bei abnehmenden Temperaturen wieder an die Umgebung ab. Damit sorgen sie für ein ausgeglichenes Raumklima und helfen Energie zu sparen. Diese Bauteileigenschaften können noch weiter zur Gebäudetemperierung genutzt werden, wenn in Betonbauteile zusätzlich Heiz- und Kühlsysteme integriert werden (punktum 2021).

Die Vorteile von thermisch aktivierten Betonbauteilen sind beispielweise geringe Investitionskosten, ein System zum Heizen und Kühlen, geringerer Temperaturgradient im Raum und in der Konstruktion sowie gleichbleibende Geschosshöhe. Heizen und Kühlen erfolgen gleichmäßig über Strahlung bei geringer Luftbewegung.



Abb. 4: Dachbegrünung im urbanen Raum Berlins

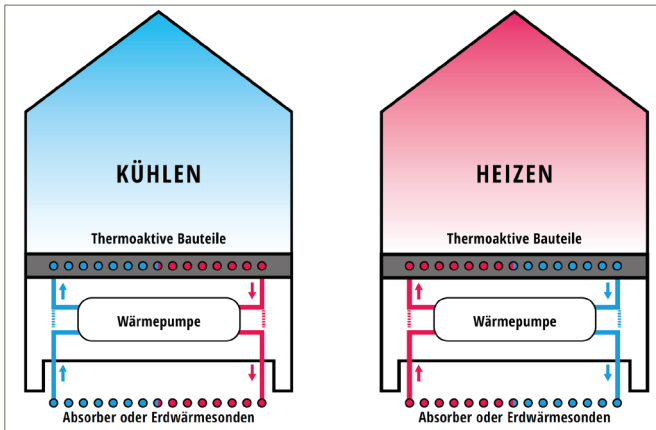


Abb. 5: Arbeitsprinzip von thermoaktiven Bauteilsystemen

Infrastruktur – Kanalnetze

Für den ökologischen Umbau der Stadt hat die Sanierung bzw. den Neubau der Kanalnetze für Wasser, Abwasser und die Regenentwässerung eine hohe Bedeutung. Neben den Anforderungen an einen schonenden Umgang mit der Ressource Wasser sowie des Grundwasser- und Bodenschutzes besteht die Notwendigkeit Lösungsansätze für das Regenwassermanagement zu finden. Die vorhandenen Rohrsysteme stammen aus den 1960er Jahren, meist sind sie sogar noch älter. Seiner Zeit kamen vorwiegend Beton- und Steinzeug-Rohre zum Einsatz, Dichtungssysteme gab es damals noch keine. Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall kommt in einer Untersuchung zum Zustand der Kanalisation in Deutschland zu dem Ergebnis, dass 18 Prozent der Kanalhaltungen im öffentlichen Bereich Schäden aufweisen, die kurz- bzw. mittelfristig sanierungsbedürftig sind (DWA 2020). Die unterirdische Infrastruktur zählt zu den größten Vermögenswerten Deutschlands. Allein das öffentliche Abwassernetz weist einen Wiederbeschaffungswert von rund 1.000 Mrd. Euro auf und verdeutlicht damit auch die ökonomische Dimension dieser Aufgabe.

Neben den aktuellen umwelttechnischen Anforderungen an Kanalsysteme, die sich insbesondere auf die Dichtigkeit beziehen, sind unter dem Aspekt der Nachhaltigkeit Lösungen gefragt, die eine Lebensdauer von mindestens 80 Jahren gewährleisten. Mit Rohr- und Schachtsystemen aus Beton können solche Nutzungszeiträume sicher erreicht werden. Weitere Vorteile ergeben sich aus der Stabilität und Widerstandsfähigkeit des Baustoffs, seinem spezifischen Gewicht, das ein Aufschwimmen verhindert, und in seiner Herstellungsweise aus regional verfügbaren Rohstoffen zu ökonomisch günstigen Konditionen. Weiterhin lässt sich die Lebensdauer durch einfach umsetzbare Sanierungsmaßnahmen wie z.B. dem Inliner-Verfahren verlängern.

Beton der Baustoff der Zukunft?

In der Diskussion um die Reduzierung von Treibhausgasen steht die Betonbauweise mit der energieintensiven Zementherstellung stark im Fokus der öffentlichen Diskussion.

Die deutsche Zementindustrie verfolgt das Ziel, den CO₂-Ausstoß zu minimieren und hat einen Fahrplan zur Dekarbonisierung bis 2050 aufgestellt (VDZ 2020). Seit 1990 ist es den deutschen Zementherstellern gelungen, die CO₂-Emissionen sowohl spezifisch als auch absolut in den Größenordnungen zwischen 20 bis 25 Prozent zu reduzieren. Geholfen haben dabei die Verringerung des Klinkeranteils im Zement und der Ersatz von fossilen Energieträgern zugunsten biomassereicher alternativer Brennstoffe. Im Moment kann davon ausgegangen werden, dass bis 2030 nochmals eine Minimierung beim CO₂-Ausstoß von ca. 27 Prozent gegenüber dem Jahr 2019 (ca. 55 Prozent gegenüber 1990) erreicht werden kann. Bis 2050 will die Zementindustrie die Klimaneutralität unter Ausschöpfung aller verfügbarer Potenziale sowie der Anwendung externer Effekte, wie beispielsweise die CO₂-Speicherung und geeigneter Verfahren zur Nutzung von CO₂, erreichen. Entsprechende Pilotprojekte sind angelaufen. In Baden-Württemberg arbeiten vier Zementhersteller im Projekt „catch4climate“ an der Abscheidung von CO₂ und der klimaneutralen Herstellung synthetischer Kraftstoffe. Auf dem Gelände des Schwenk Zementwerks bei Schwäbisch Hall wird eine Demonstrationsanlage im halbindustriellen Maßstab entstehen (BW 2020).

Wenn es um den Baustoff der Zukunft geht, wird kein Weg am Beton mit seinen hervorragenden bautechnischen und bauphysikalischen Eigenschaften vorbeiführen. Die heute oftmals geführte Debatte um alternative Baustoffe lässt völlig außer Acht, dass sich mittlerweile die Hybridbauweise mit einer Kombination aus verschiedenen Baustoffen durchgesetzt hat. Auch hier bieten sich für den Beton vielfältige Möglichkeiten.



Abb. 6: Beim Geschosswohnungsbau in Brixen (Österreich) kamen Thermowände und Klimadecken zum Einsatz

Zusammenfassung

Die Themen Nachhaltigkeit, Klimaneutralität und Ressourcenschonung werden das Bauen in Zukunft wesentlich beeinflussen. Durch die Attraktivität urbaner Räume ist auch zukünftig mit einem starken Zuzug von Menschen zu rechnen. Daraus ergeben sich für das Bauen in der Stadt besondere Herausforderungen. Die Schaffung von bezahlbarem Wohnraum, der auf die Bedürfnisse der Menschen aber auch Mischnutzungen ausgerichtet sein muss, und die Anpassung der Stadt an die klimatischen Veränderungen stellen wichtige Zukunftsaufgaben dar. Mit multifunktionalen Gebäudestrukturen, dem seriellen und modularen Bauen mit Betonbauteilen, einer modernen Infrastruktur, dem Abbau urbaner Hitzeinseln durch den Einsatz geeigneter Bauprodukte können Beiträge zur Lösung von zukünftigen Aufgaben bei der Stadtentwicklung erbracht werden. Beton in Kombination mit anderen Baustoffen wie Holz, Glas und Stahl kommt dabei eine besondere Rolle zu. Durch das Material- und Produktrecycling besteht die Möglichkeit, diesen Baustoff über einen sehr langen Zeitraum nachhaltig zu nutzen. ■

Literatur

- > Adli, M. und Schöndorf, J. (2020): *Macht uns die Stadt krank? Wirkung von Stadtstress auf Emotionen, Verhalten und psychische Gesundheit*. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz Volume 63, S. 979-986.
- > BMU – Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2015): *Bericht der Baukostensenkungskommission im Rahmen des Bündnisses für bezahlbares Wohnen und Bauen*. Endbericht November 2015. <https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/publikationen/themen/bauen/wohnen/buendnis-bezahlbares-wohnen-baukostensenkungskommission.html> (02.08.2021).
- > BMWi – Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2020): *Rohstoffstrategie der Bundesregierung*. Berlin. <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Publikationen/Industrie/rohstoffstrategie-der-bundesregierung.html> (02.08.2021).
- > BReg – Die Bundesregierung (2021): *Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie – Weiterentwicklung 2021*. Berlin. <https://www.bundesregierung.de/resource/blob/998006/1873516/3d3b15cd92d0-261e7a0bc8f43b7839/2021-03-10-dns-2021-finale-langfassung-nicht-barrierefrei-data.pdf?download=1> (02.08.2021).
- > BuGG – Bundesverband GebäudeGrün e.V. (2020): *BuGG-Fachinformation „Biodiversitätsgründach“ Grundlagen, Planungshilfen, Praxisbeispiele* (Stand: 13.03.2020). Berlin. https://www.gebaeudegruen.info/fileadmin/website/downloads/bugg-fachinfos/Biodiversitaetsgruendach/BuGG-Fachinformation_Biodiversitaetsgruendach_03-2020_1.pdf (02.08.2021).
- > BW – Baden-Württemberg (2021): *Klimaschutz: Mit CO₂ aus Zementwerken erneuerbare Kraftstoffe herstellen*. Pressemitteilung vom 18.11.2020.
- > <https://www.baden-wuerttemberg.de/de/service/presse/pressemitteilung/pid/mit-co2-aus-zementwerken-erneuerbare-kraftstoffe-herstellen/> (02.08.2021).
- > DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (2020): *Zustand der Kanalisation in Deutsch-*

land – Ergebnisse der DWA-Umfrage 2020. Sonderdruck aus KA Korrespondenz Abwasser, 67. Jahrgang, Heft 12/2020, S. 939-953. https://de.dwa.de/files/_media/content/03_THEMEN/Entwaesserungssysteme/Kanalumfrage/Zustand-der-Kanalisation-2020.pdf (08.08.2021).

- > GdW – Die Deutsche Wohnungswirtschaft (2018): *GdW Rahmenvereinbarung – Serielles und modulares Bauen (Überblick über die Angebote)*, Berlin, Juli 2018. https://www.gdw.de/media/2019/11/m10a_broschuere_oeffentlich.pdf (02.08.2021).
- > IZB – BetonMarketing Deutschland GmbH (jetzt Informationszentrum Beton GmbH - IZB) (2011): *Nachhaltiges Bauen mit Beton – Ein Fachbeitrag für Architekten, Planer und Bauherren*. 2. Auflage.
- > DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt (2009): *Gebrauchte Betonbauteile wiederverwenden*. https://www.dbu.de/123artikel29469_341.html (02.08.2021).
- > Mettke, A. (2010): *Material- und Produktrecycling – am Beispiel von Plattenbauten*, Habilitationsschrift, BTU Cottbus-Senftenberg 2010. <https://opus4.kobv.de/opus4-btu/frontdoor/index/index/docId/4613> (02.08.2021).
- > Peyerl, M. und Krispel, S. (2008): *Sommerliches Überhitzen städtischer Strukturen – helle Betonflächen regulieren*. Expertenforum Beton, November 2008, Seite 24-31.
- > punktum (2021): *Thermische Bauteilaktivierung – Die Speichermasse von Beton nutzen*. punktum.betonbauteile, 1. Ausgabe 2021, Seite 10-11.
- > https://www.uvmb.de/index.php?eID=tx_securedownloads&p=70&u=0&q=0&t=1627976725&hash=7b31c9919af9c215abb81339cefd51d4e795b655&file=fileadmin/geschuetzt/UVMB/04_Service/01_Mediathek/03_punktum.betonbauteile/2021_1_punktum.betonbauteile_web.pdf (02.08.2021).
- > StBA (2021): *Statistisches Bundesamt: Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche in ha/Tag* (Publikation). 30. April 2021. <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Landwirtschaft-Forstwirtschaft-Fischerei/Flaechennutzung/Publikationen/Downloads-Flaechennutzung/anstieg-suv.html;jsessionid=7B2EA6CDFoFCoC8030F751A2AoEE2B6E.live741> (02.08.2021).
- > Stadt Wien (2015): *Urban Heat Islands – Strategieplan Wien*. Wiener Umweltschutzabteilung – Magistratsabteilung 22, 2015. <https://www.wien.gv.at/umweltschutz/raum/pdf/uhi-strategieplan.pdf> (02.08.2021).
- > VDZ – Verein Deutscher Zementwerke e.V. (2020): *Dekarbonisierung von Zement und Beton – Minderungspfade und Handlungsstrategien*. Düsseldorf, 2020. <https://www.vdz-online.de/wissensportal/publikationen/dekarbonisierung-von-zement-und-beton-minderungspfade-und-handlungsstrategien> (02.08.2021).
- > VÖB – Verband Österreichischer Beton- und Fertigteilwerke (2020): *Helle Pflastersteine im Kampf gegen Hitzeinseln*, Himmelhoch, Jul 30, 2020, Blogbeitrag <https://blog.voeb.com/helle-pflastersteine-im-kampf-gegen-hitzeinseln/> (02.08.2021).
- > Wistuba, M.; Litzka, J.; Blab, R. (2001): *Klimakenngrößen für den Straßenoberbau in Österreich*. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie, Straßenforschung, Heft 507, Wien 2001.