4. Ausgabe | 2021

| SONDERHEFT |

punktum. betonbauteile

Das Branchenmagazin

Betonfertigteile | Betonwaren | Betonwerkstein

RESSOURCEN-SCHONENDES BAUEN MIT BETONBAUTEILEN

Inhalt

3 Zukunftsgerecht Bauen

4 Potenziale nutzen – Vorgefertigte Betonbauteile

6 Gastbeitrag „Bauen mit Beton neu denken!“

10 Position: Wettbewerbsgleichheit und Technologieoffenheit in der Bauwirtschaft

12 Interview „Die Zementindustrie auf dem Weg in die CO_2-arme Zukunft“

19 Ein Beitrag zur Luftreinhaltung

23 Gastbeitrag „Ökologische Aspekte von Carbonbeton“

26 Ressourceneinsatz und Kreislaufwirtschaft

27 Gastbeitrag „Mineralische Baurohstoffe – haben wir noch genug?“

29 bbs-Studie: Primär- und Sekundärrohstoffe bis 2035

32 Gastbeitrag „Beton als Rohstoff“

36 Position: Recycling-Materialien flexibel einsetzen

38 Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen

40 Baustoff-Recycling im Recht

41 Planen und Bauen mit Betonbauteilen

42 Intelligent Bauen

45 Position: Auf dem Holzweg?!

46 Potenziale der Baustoffe nutzen

49 Planungshilfe

49 Faktencheck

50 Der Fertigteilentwurf

52 Recyclingfähiges Konstruieren

54 Bezahlbarer Wohnungsbau

56 Gastbeitrag „Umweltanforderungen an befestigte Stadt- und Straßenräume“

61 Ökologische Bewertung von Pflastersteinen

63 Zukunftspotenziale des Baustoffs Beton

64 Gastbeitrag „Beton-3D-Druck – eine neue digitale und ressourceneffiziente Fertigungstechnologie“

67 Innovative Betone

70 Impressum

ZUKUNFTSGERECHT BAUEN

In Zeiten des Klimawandels und vor dem Hintergrund der Endlichkeit unserer Ressourcen steht die Bauindustrie zunehmend im Fokus der Öffentlichkeit. Die Forderungen nach nachhaltigeren Bauwerken, die weniger Ressourcen verbrauchen, klimaneutral hergestellt und betrieben werden, dauerhaft sowie vollständig rezyklierbar sind, werden immer lauter. Dem Gebot des Klima- und Ressourcenschutzes stehen auf der anderen Seite die Realisierung wichtiger gesellschaftspolitischer Aufgaben, wie die Bereitstellung von ausreichendem Wohnraum und einer intakten Infrastruktur, gegenüber. Wir brauchen daher einen Paradigmenwechsel im Bauwesen. Als meist verwendetem Baustoff kommt Beton hier eine Schlüsselrolle zu. Bereits heute kommen neue Generationen von Betonen sowie ressourcenschonende und energieeffiziente Techniken bei der Betonherstellung zum Einsatz. Innovative Produktentwicklungen bei Betonbauteilen bieten zusätzliche Funktionalitäten und schaffen neue Einsatzfelder. Doch die Potenziale sind noch lange nicht ausgeschöpft. Dies zeigt nicht zuletzt die 2020 veröffentlichte Roadmap zur Dekarbonisierung von Zement und Beton.

Über viele dieser Aspekte haben wir im Jahr 2020 in unserem Branchenmedium punktum.betonbauteile unter dem Leitthema „Ressourceneffizientes Bauen mit Betonfertigteilen" berichtet. Im vorliegenden Sonderheft sind die relevantesten Beiträge nochmals zusammengefasst.

© vegefox.com – stock.adobe.com

POTENZIALE VORGEFERTIGTE

+ Maßgenau und konstante Qualität

Die witterungsgeschützte automatisierte Produktion der Betonbauteile unter kontrollierten Bedingungen im Werk sorgt für eine hohe Maßgenauigkeit. Im Rahmen der Eigen- und Fremdüberwachung werden die Produkte außerdem regelmäßig kontrolliert und eine konstant hohe Qualität gewährleistet.

+ Ressourcenschonende Produktion

Bei der Produktion von Betonfertigteilen kommen ressourcenschonende und energieeffiziente Techniken zum Einsatz. Durch Vielfachnutzung der Schalung und Fertigung großer Serien werden Abfälle vermieden. Zudem können Restmaterialien, Betonabfälle und Verschnitte, die bei der Produktion anfallen, aufbereitet und wiederverwendet werden. Die Bewehrung besteht in der Regel zu 100 % aus Recyclingmaterial. Auch der Einsatz von Recyclingbeton trägt zur ressourcenschonenden Produktion bei.

+ Integrierte Haustechnik

Bei der Herstellung der Betonfertigteile können viele haustechnische Ver- und Entsorgungsleitungen bereits im Werk eingebaut werden. Von Dosen und Leerrohren für die Stromversorgung und Aussparungen für die Sanitärinstallation über Soleleitungen für die Energiegewinnung in Fassaden oder zur Heizung beziehungsweise Kühlung von Decken und Wänden. Damit entfallen aufwendige Stemmarbeiten.

+ Zeit- und Kostenreduktion

Liefertermine können aufgrund der witterungsunabhängigen Produktion im Werk über das ganze Jahr konsequent eingehalten werden. Durch die Vorfertigung lassen sich Montagezeiten auf der Baustelle und damit die Baukosten reduzieren. Durch die geringe Baufeuchte der Montagebaustelle ist ein schnelles Weiterarbeiten der Ausbaugewerke möglich.

+ Weniger Staub und Lärm und einfaches Baustellenmanagement

Durch die Just-in-time-Lieferung montagefertiger Bauteile wird Lagerfläche auf der Baustelle eingespart. Auch der Einsatz von Personal und energieintensiven Baumaschinen wird reduziert, die Lärm- und Staubemissionen verringert.

+ Ökologischer Baustoff

Betonbauteile werden im Wesentlichen aus natürlichen Ausgangsstoffen wie Wasser, Gesteinskörnung (Kies oder gebrochener Naturstein (Splitt) und Sand) und Zement hergestellt. Die Rohstoffe werden größtenteils regional gewonnen und verarbeitet. Dies sorgt für kurze Transportwege und schont die Umwelt.

+ Langlebig und dauerhaft

Betonbauteile sind extrem widerstandsfähig und langlebig. Sie halten auch extremen Witterungsbedingungen und Umwelteinwirkungen stand. Die hohe Dauerhaftigkeit von Beton sorgt dafür, dass Gebäude lange genutzt werden können, bevor sie ersetzt und neue Ressourcen in Anspruch genommen werden müssen. Das sichert den langfristigen Werterhalt und hält den Unterhaltungsaufwand niedrig

+ Feuerbeständig und sicher

Sicherheit beginnt beim Material. Betonfertigteile sind ausgesprochen tragfähig und standsicher. Ihr Eigengewicht verleiht ihnen zusätzliche Stabilität. Sie sind aufgrund ihrer Nichtbrennbarkeit und hohen thermischen Trägheit in höchstem Maße feuerbeständig. Bauteile aus Beton sind nicht brennbar. Sollte es dennoch zu einem Brandfall im Gebäude kommen, geben die Betonbauteile weder schädliche Dämpfe noch Gase ab.

intelligent zukunftsfähig emissionsfrei Klima innovativ dauerhaft hochwe

NUTZEN BETONBAUTEILE

+ Schalldämmend

Der Baustoff Beton verfügt aufgrund seiner hohen Rohdichte über hervorragende schall- und schwingungsdämpfende Eigenschaften. Betonbauteile schützen damit wirkungsvoll vor Lärm und sind nicht nur in der Nähe von befahrenen Straßen, Bahnstrecken oder in Einflugschneisen die richtige Wahl.

+ Gute Wärmespeicherfähigkeit und natürliche Energieeffizienz

Die Wärmespeicherfähigkeit des Betons wirkt sich positiv auf das Raumklima aus und unterstützt den Heiz- oder Kühlbedarf von Gebäuden. Dieser verringert im Jahresverlauf die Temperaturschwankungen, steigert die Energieeffizienz und trägt dazu bei, CO_2-Emissionen zu senken. Durch die Nutzung thermisch aktiver Betondecken und -wände lässt sich dieser Effekt noch verstärken.

+ Architektonische Vielfalt

Betonfertigteile lassen sich in unterschiedlichen Abmessungen, Farben, Formen und Oberflächentexturen herstellen. Dem architektonischen Gestaltungsspielraum sind kaum Grenzen gesetzt. Es können so gut wie alle individuellen Wünsche verwirklicht werden. Die Oberflächen von Betonfertigteilen sind von hoher Qualität und ersparen, bei glatter und tapezierfähiger Ausführung, das Verputzen.

+ Hohe Flächeneffizienz

Das Bauen mit Betonbauteilen bietet eine hohe Flächeneffizienz. Indikator für die Wirtschaftlichkeit einer Fläche ist die Relation von nutzbarer beziehungsweise vermietbarer Fläche zur Gesamtfläche eines Gebäudes. Die hohe Tragfähigkeit und die präzise Herstellung ermöglichen den Einsatz schlanker Betonbauteile und tragen so zur Flächeneffizienz bei.

+ Hohe Flexibilität

Decken mit großen Spannweiten und unterstützungsfreie Grundrisse bieten ein Höchstmaß an Flexibilität. Insbesondere in der Spannbetonbauweise können Decken mit sehr großen Stützweiten hergestellt werden. So müssen Innenwände nicht tragend sein und können später entfernt und neu gesetzt werden. Anbauten, Umbauten und Aufstockungen sind in einem Gebäude aus Betonfertigteilen einfach umzusetzen.

+ Recycelbar

Am Ende der Lebensdauer eines Gebäudes beweisen Betonbauteile ökologische Qualitäten. Sie lassen sich nahezu vollständig recyceln und als Gesteinskörnung wiederverwenden. Betonfertigteile erleichtern die sortenreine Trennung im Rahmen des Recyclingprozesses. Sie können bei richtiger Planung sogar im Ganzen demontiert werden. Dies ermöglicht die Wiederverwendung von kompletten Bauteilen. Lärm- und staubintensive Abbruchverfahren werden auf ein Minimum reduziert.

+ Vernetzte Kompetenz

Digitale Planungsmethoden wie Building Information Modeling (BIM) mit dem Ziel, Gebäude ganzheitlich und effizient zu planen, auszuführen und zu bewirtschaften, gewinnen immer mehr an Bedeutung. Dabei bietet gerade die industrielle Vorfertigung von Betonbauteilen, bei der die Vernetzung zwischen Planung und Produktion mit standardisierten Schnittstellen schon lange praktiziert wird, enorme Potenziale.

kreativ widerstandsfähig Ökobilanz Raumklima Konstruktion lebenslang Qualität Umwelt ertig

Gastbeitrag

Bauen mit Beton neu denken!

Die klimatischen Veränderungen auf unserem Planeten sind, wie seriöse wissenschaftliche Untersuchungen belegen, unzweifelhaft eine Folge der zivilisatorischen Entwicklung der Menschheit. Bereits heute gehen diese Veränderungen mit verschiedenen Katastrophen wie Stürme, Hochwasser, Erdrutsche, Dürren und Brände einher, deren Ausmaße beträchtlich zunehmen werden, wenn den Ursachen nicht massiv entgegengesteuert wird.

Die Ausgangslage

Die Entwicklung der Zivilisation fand ihren Niederschlag in der Gestalt der gebauten Umwelt. Sie spiegelt auch die Bedürfnisse der modernen Industriegesellschaft wider, deren Weiterentwicklung gewissermaßen ein Axiom ist. Das menschliche Bestreben nach Glück, Wohlstand, Komfort und Sicherheit wird gerade auch die baulichen Aktivitäten weiter vorantreiben. Schätzungen zufolge resultieren aktuell rund 40 % der Massenströme und etwa 40 % des Energieverbrauchs weltweit aus dem Bauwesen. Bereits heute liegt der Ressourcenverbrauch weit jenseits dessen, was unser Planet verkraften kann. Würden alle Menschen auf der Erde so leben wie wir Deutschen, müsste sie dreimal so groß sein.

© Jasmin_Sessler – pixabay.com

Nicht erst seit der Fridays-for-Future-Bewegung wird ein radikales Umdenken in der Politik gefordert.

So trivial die Erkenntnis ist, dass es auf dem eingeschlagenen Weg – physikalischen Gesetzmäßigkeiten folgend – nicht weitergehen kann, so schwierig ist es, den notwendigen Wandel im Kleinen und im Großen, regional und weltweit herbeizuführen. Die Herausforderungen sind riesig und berühren bei Weitem nicht nur technische Aspekte. Aber immerhin ist die Botschaft des früher gerne auch mal belächelten Club of Rome von 1972, „The limits to growth“, inzwischen in jedem Winkel der Erde angekommen. Die später eingesetzte Brundtland-Kommission (1987), die verabschiedeten UN-Konventionen (Sustainable Development Goals, 2015) und viele weitere Initiativen bis hin zur aktuellen Fridays-for-Future-Bewegung verfolgen im Prinzip das gleiche Ziel, nämlich ein radikales Umdenken mit entsprechenden Konsequenzen herbeizuführen. Und genau genommen ist dies das Gebot des angebrochenen Jahrzehnts!

Rolle und Potenzial des Betons

Bei all der Informationsflut zu Fakten und Szenarien unsere Umwelt betreffend, ist vielen nicht bewusst, dass der Baustoff Beton darin eine zentrale Rolle spielt. Er war *der* Baustoff des 20. Jahrhunderts und er wird es aller Wahrscheinlichkeit nach auch im 21. Jahrhundert bleiben.

Der Werkstoff Beton erwies sich als der Schlüssel zum Fortschritt. Sein Verbrauch korreliert direkt mit dem Wirtschaftswachstum und dem Ausbau der Infrastruktur. Jährlich werden derzeit 7 bis 8 Mrd. m³ Beton benötigt. Schätzungen gehen von einem Zuwachs von 300 % in den nächsten 20 Jahren aus. Aber schon heute verursacht die Betonherstellung etwa 6 bis 8 % der globalen CO_2-Emissionen. Man mag sich nicht vorstellen, was geschieht, wenn auch dieser Wert um den Faktor drei ansteigt. Schon heute liegen die CO_2-Emissionen der Betonherstellung beispielsweise ein Mehrfaches über den gegenwärtig kritisch diskutierten Emissionen aus dem Flugverkehr.

Ein weiteres Problem ist die Verknappung wesentlicher Betonausgangsstoffe. In besonderer Weise gilt dies für die Gesteinskomponente Sand. Getrieben durch die Wirtschaftskraft auf-

Prof. Dr.-Ing. Harald S. Müller
Ehrenpräsident der International Federation
for Structural Concrete (fib)

strebender Nationen führt dies zu einem Handel auf geradezu abenteuerlichen Wegen, diametral zu jeglichem nachhaltigen Handeln. Dagegen ist künstliche Verknappung durch politisch gewollte Auflagen hierzulande eine – weltweit gesehen – eher unbedeutende Marginalie.

Trotz dieser fast überkritischen Faktenlage muss einem nicht bange werden angesichts der Potenziale, die der Werkstoff Beton besitzt, und der Chancen, die das Bauen mit ihm impliziert, wenn – und das ist entscheidend – beide voll ausgeschöpft werden! Der Paradigmenwechsel in der Baustoffforschung, weg vom bloßen Verstehen in den sechziger bis achtziger Jahren des letzten Jahrhunderts, hin zur gezielten Weiterentwicklung und Verbesserung der Werkstoffeigenschaften, hat Erstaunliches bewirkt. Dem Laien mag dies daran deutlich werden, dass im Jahre 1931 das Empire State Building in New York (381 m hoch) nur als Stahlkonstruktion ausgeführt werden konnte, weil die Tragfähigkeit des damaligen Betons um das Doppelte überschritten worden wäre. Rund achtzig Jahre später, im Jahre 2010, konnte der Burj Khalifa in Dubai (828 m hoch) selbstverständlich als Betonkonstruktion errichtet werden, deren Tragfähigkeit zudem bei Weitem noch nicht ausgereizt ist. Ob solche Bauhöhen allerdings sinnvoll und erstrebenswert sind, ist eine ganz andere Frage. Jenseits von rund 600 m Höhe ist jedenfalls Wohnen und Arbeiten für Menschen nicht mehr möglich.

Ohne in diesem Gastbeitrag in die technischen Details einsteigen zu wollen, seien zumindest die grundsätzlichen Zielvorgaben einer nachhaltigen Nutzung von Beton und die wissenschaftlichen Ansätze zu ihrer Erreichung kurz aufgezeigt. Ziel muss es sein, vorrangig sowohl den Massenverbrauch als auch die CO_2-Emissionen zu reduzieren, wobei letztere primär aus der Zementproduktion stammen. Andere Umweltfaktoren einer ökologischen Betrachtung zu Beton spielen eine untergeordnete Rolle, wenn man eine nachhaltige Energiegewinnung unterstellt.

Die Tragfähigkeit des Baustoffs Beton hat im Laufe der Jahre erheblich zugenommen. Mit einer Höhe von 381 m konnte 1931 das Empire State Building nur als Stahlkonstruktion gebaut werden. 2010 wurde in Dubai der 821 m hohe Burj Khalifa als Stahlbetonkonstruktion realisiert.

Foto links: © nextvoyage – pixabay.com, Foto rechts: © smarko – pixabay.com

Bewährtes weiterentwickeln, Neues erschließen

Die Steigerung der Betonfestigkeit ist ein äußerst probates Mittel, um den Massenverbrauch abzusenken. Je höher die Betonfestigkeit, desto weniger Material wird zur Erzielung der gleichen Tragfähigkeit einer Konstruktion benötigt. Eine weitere Massenreduktion wird erreicht, wenn die Bewehrung aus Stahl durch sechsmal festeres und viermal leichteres Carbon ersetzt wird. Die Korrosionsbeständigkeit von Carbon erlaubt es, die Betondeckung, die heute den eingebetteten Stahl vor einer Korrosion schützen muss, erheblich zu reduzieren, was die Betonquerschnitte deutlich verschlankt. Eine weitere Verbesserung geht mit der Vorspannung der Carbonbewehrung einher. Große Masseneinsparungen beziehungsweise eine effiziente Nutzung der Eigenschaften von Betonen ergeben sich auch bei der Anwendung des sogenannten Gradientenbetons.

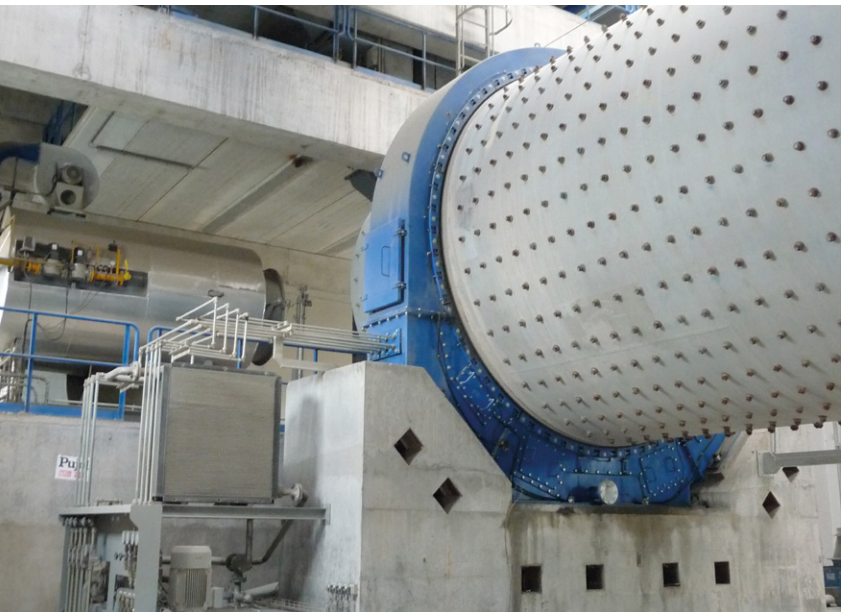
Eine immense Schonung von Ressourcen geht mit einer verlängerten Lebens- beziehungsweise Nutzungsdauer von Bauteilen und mit innovativen Erhaltungs- und Verstärkungsmethoden einher. Dies erfordert ein Umdenken, das durch staatliche Anreize gefördert werden könnte. Aber bereits beim Neubau muss der Nachhaltigkeitsgedanke im Zuge der Planung („Conceptual Design") einen breiten Raum einnehmen, wie dies auch im künftigen fib Model Code niedergelegt sein wird. Solche Konzepte implizieren das Denken in Kreisläufen, schließen also den Recyclingbeton mit ein. Auch die Produktion mittels moderner Fertigungsmethoden, zum Beispiel dem 3D-Drucken beziehungsweise der additiven Fertigung, geht mit wirtschaftlichen und ökologischen Vorteilen einher.

© IZB

Der Einsatz von Gradientenbeton, die additive Fertigung und eine optimierte Formfindung reduzieren den Materialverbrauch.

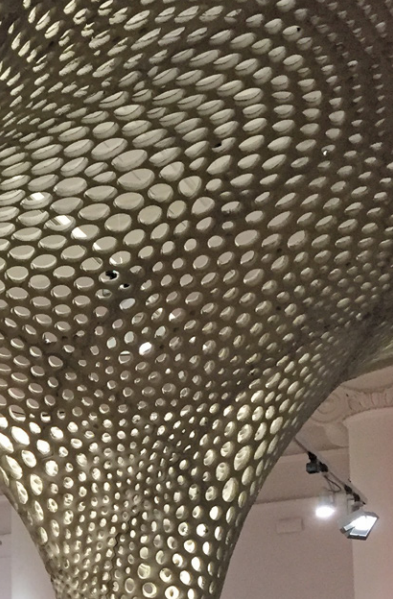
Ideal wäre es, wenn man Zement, genauer gesagt den Portlandzementklinker, durch ein anderes Bindemittel ohne CO_2-Footprint oder wenigstens mit viel geringerem CO_2-Footprint substituieren könnte. Zwar liegen erste Ansätze hierzu vor, aber aus der etwa fünfzehnjährigen Forschung auf diesem Feld, beispielsweise am bisher aussichtsreichsten Produkt Celitement, lässt sich ableiten, dass sicherlich noch viele Jahre verstreichen werden, bis ein vielleicht annähernd gutes Bindemittel verfügbar sein wird. Eine große Frage ist dabei auch, ob überhaupt und bis wann die weltweit erforderlichen Massen produziert werden könnten. Eine Alternative bieten bei erster, gröberer Betrachtung auch die calcinierten Tone. Ob sie jedoch dem Beton eine dem Portlandzementklinker vergleichbare Festigkeit und Dauerhaftigkeit verleihen können, muss die künftige Forschung erst noch zeigen. So bleibt zunächst einmal das bisher schon praktizierte Abmagern von Portlandzement durch Gesteinsmehle oder sekundäre Bindemittel, zum Beispiel Flugasche oder Hüttensand. Dabei ist insbesondere die Verwendung von Flugasche ambivalent kritisch zu sehen. Sie ist der abgeschiedene Filterstaub der Kohleverbrennung, stammt also aus genau dem Prozess der Energiegewinnung, der das größte Problem bezüglich der CO_2-Emmission darstellt.

Vielversprechend ist der Ansatz, den Bindemittelgehalt im Beton drastisch zu reduzieren, etwa von heute 300 bis 450 kg/m³ auf künftig nur noch 100 kg/m³ Bindemittel oder Portlandzementklinker. Solche Ökobetone erreichen bei gleichem Wasserzementwert eine etwa doppelt so hohe Druckfestigkeit als übliche Konstruktionsbetone. Möglich wird dies, indem der Feinstanteil der Betonmischung primär durch in der Korngröße fein abgestufte Gesteinsmehle bereitgestellt wird. Damit verbunden ist der Einstieg in eine „neue" Betontechnologie, da klassische Regeln bei solchen Betonzusammensetzungen nicht



© BBF

Eine klimaschonende Zementherstellung wäre möglich, wenn das bei der Klinkerproduktion im Drehofen emittierte CO_2 abgeschieden würde (analog zur CCS-Technologie).



mehr gelten und auch bekannte Wirkstoffe, wie beispielsweise Fließmittel, nur noch eingeschränkt funktionieren (Mangel an Zement und Wasser). Fest steht jedoch, dass diese Probleme durch entsprechende Forschung beziehungsweise geeignete Entwicklungen gelöst werden können. Entsprechende Gebinde – das klassische Mischen der Ausgangsstoffe im Betonwerk erscheint äußerst schwierig – könnte die Zementindustrie bereits heute produzieren.

Im Weiteren muss die Forschung darauf abzielen, den intelligenten oder smarten Beton zu entwickeln, dessen Festigkeits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften zuverlässig entkoppelt, also voneinander unabhängig eingestellt werden können. Dabei lassen sich weitere positive Eigenschaften wie beispielsweise ein besseres Dämmverhalten (Wärme, Schall) und katalytische Funktionen (Selbstreinigung, Entgiftung) integrieren.

Chancen und Herausforderungen für die Betonfertigteilbranche

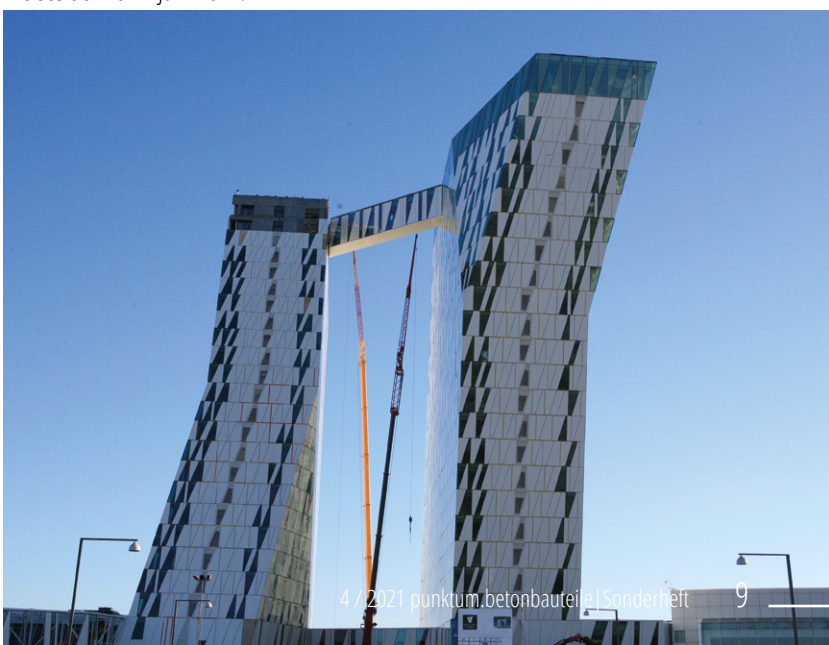
In diesem Gesamtkontext ergeben sich unter anderem für die Fertigteilindustrie große Chancen. Die oben genannten Technologien führen zu Hochleistungsbetonen, die in der Herstellung eine vergleichsweise geringe Robustheit kennzeichnet und ihre Verwendung als Ortbeton kritisch macht. Demgegenüber kann die Betonfertigteilindustrie eine hohe Produktions- und Produktqualität gewährleisten. Die Herausforderung für die Branche besteht darin, verbesserte Verbindungstechniken und neue adaptive Modulbauweisen mit Fließfertigungsmethoden zu entwickeln. Dabei ist das Potenzial, welches das Building Information Modeling (BIM) bietet, zu integrieren. Dies ginge aus vielerlei Gründen mit einer beträchtlichen Ressourcenschonung einher.

Die obigen Ausführungen mögen verdeutlichen, dass es sehr viele Möglichkeiten einer nachhaltigen Verwendung von Beton gibt, auf den als Baustoff in absehbarer Zeit in vielen Bereichen nicht verzichtet werden kann. Entscheidend wird sein, dass durch geeignete Rahmenbedingungen die aufgezeigten Innovationen weltweit vorangetrieben werden. Notwendig ist auch, dass jede Branche im Bereich des Bauwesens entlang der Produktions- und Wirtschaftskette zu einer nachhaltigen Anwendung von Beton beiträgt. Der finanzielle und technische Aufwand für neue Wege darf kein Hindernis darstellen.

Wie erläutert, geht es hinsichtlich des Betoneinsatzes grob betrachtet vor allem darum, sowohl den Massenverbrauch als auch die CO_2-Emissionen zu reduzieren. Beides muss nicht notwendigerweise gekoppelt sein. Was die CO_2-Emissionen anbelangt, sei auch die Frage aufgeworfen, ob die Zementindustrie bereits alle ihre Möglichkeiten vollständig ausgeschöpft hat? Für den konventionellen Produktionsprozess dürfte dies der Fall sein. Aber wäre nicht die vereinzelt schon praktizierte CCS-Technologie, die eine Abscheidung von CO_2 bei der Kohleverfeuerung einschließt, in einer gewissen Modifikation vielleicht auch auf den Brennprozess im Drehofen anwendbar? Forschungsanstrengungen mit dieser Ausrichtung könnten zu einer Wende bezüglich der CO_2-Emissionen ausschlaggebend beitragen.

Hinsichtlich der Umwelt- und Klimaprobleme sitzen wir alle, unabhängig von Branche, Status und Land, unentrinnbar im gleichen Boot. Als eines der am höchsten entwickelten und gleichzeitig reichsten Industrieländer darf und kann Deutschland beim Umwelt- und Klimaschutz durchaus eine Vorreiterrolle einnehmen. Zwar wird der unmittelbare Nutzen hieraus – Deutschland ist für rund 2 % der weltweiten CO_2-Emissionen verantwortlich – vergleichsweise gering ausfallen. Aber die Entwicklungs- und Schwellenländer werden sich am guten Beispiel orientieren, allein schon aus der Erkenntnis der Notwendigkeit, aber auch aus wirtschaftlichen Gründen. Ihr Beitrag zur nachhaltigen Entwicklung ist von immenser Bedeutung und absolut unverzichtbar, wenn wir unseren Kindern und Kindeskindern eine lebenswerte Welt erhalten wollen.

Bella Sky Hotel in Kopenhagen – Fertigteilbau, Gewinner des AOS-Preises der fib im Jahr 2014.



© fib

POSITION.

Wettbewerbsgleichheit und Technologieoffenheit in der Bauwirtschaft

Seit Juli 2020 wird auf der Ebene von Bund und Ländern eine politische Diskussion über die Einführung von Holzbauquoten angeregt. 30 Organisationen und Verbände der deutschen Bauwirtschaft haben in einem Positionspapier dazu Stellung bezogen.

Stahlbeton und Mauersteine sind die Massenbaustoffe für Deutschland

In Deutschland werden die Wohnungs- und Nichtwohnungsbauten in allen Bundesländern überwiegend aus Stahlbeton und Mauersteinen – also in Massivbau – errichtet. Damit leisten die Massivbauer mit ihrer täglichen Arbeit den entscheidenden Anteil zur Errichtung der gebauten Umwelt und somit auch zur Lösung der sozialen Frage Wohnen.

Massivbau ist in puncto Nachhaltigkeit absolut konkurrenzfähig

Die bisherige Anwendung von Baustoffen und Bauweisen hat sich seit Jahrzehnten im freien Wettbewerb auf der Grundlage der Entscheidungen von privaten und institutionellen Investoren, öffentlichen Auftraggebern, von Planern und Bauausführenden entwickelt. Ausschlaggebend für die heutige Situation zur Entscheidung pro Massivbau ist sicher nicht nur die Bautradition. Massive Bauten können im Gleichklang der Nachhaltigkeit, also in der Summe aller ökologischen, ökonomischen und den soziokulturellen Eigenschaften, bestens mit Holzbauten konkurrieren. So sind die Eigenschaften von Massivbauten unter anderen in puncto sommerlicher Wärmeschutz, Lärm- und Brandschutz, für das klimaangepasste Bauen sowie bezüglich minimaler Transportwege gegenüber anderen Bauweisen gleichwertig oder besser. Das gilt insbesondere, wenn man die Nachhaltigkeit der Gebäude über einen realen Lebenszyklus von mehr als 50 Jahren sowie inklusive Rückbau, Recycling, Wiederverwendung und Berücksichtigung ihrer finalen Entsorgung abbildet.

Top-Themen der Prozesskette Bau: Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft

Parallel zu den aktuellen Daten und Fakten werden auf Grundlage politischer Entscheidungen und gesetzlicher Vorgaben mittel- und langfristig Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft die dominierenden Themen für die gesamte Prozesskette Bau sein.

Die Herstellung klimaneutraler mineralischer Baustoffe und die Absicherung einer weitestgehend geschlossenen Kreislaufwirtschaft inklusive Wiederverwendung beziehungsweise Weiternutzung der Baustoffe sind als zukunftssichernde Aufgabe alternativlos und können mit Blick auf die Bedeutung des Baus für alle gesellschaftlichen Bereiche nur gemeinsam mit der Politik gelöst werden – weisen aber auch enorme Chancen auf!

BAUWIRTSCHAFT BADEN-WÜRTTEMBERG • BAYERISCHER BAUINDUSTRIEVERBAND • BAYERISCHER INDUSTRIEV ZIEGELINDUSTRIE-VERBAND • BUNDESVERBAND DER DEUTSCHEN TRANSPORTBETONINDUSTRIE • BUNDESVER BAND DER DEUTSCHEN ZIEGELINDUSTRIE • BUNDESVERBAND KALKSANDSTEININDUSTRIE • BUNDESVERBAND STOFFE • BUNDESVERBAND PORENBETONINDUSTRIE • BUNDESVERBAND SPANNBETON-FERTIGDECKEN • DEUT NUNGSBAU • DEUTSCHE BETONBAUTEILE • FACHVERBAND BETON- UND FERTIGTEILWERKE BADEN-WÜRTTEMBE SACHSEN/THÜRINGEN • FACHVERBAND HOCH- UND MASSIVBAU IM ZENTRALVERBAND DEUTSCHES BAUGEW GERN • FACHVEREINIGUNG DEUTSCHER BETONFERTIGTEILBAU • HAUPTVERBAND DER DEUTSCHEN BAUINDUST GMBH • INDUSTRIEVERBAND STEINE UND ERDEN BADEN-WÜRTTEMBERG • LANDESVERBAND BAYERISCHER BA MINERALISCHE BAUSTOFFE • VERBAND BAUEN IN WEISS • VERBAND BETON- UND FERTIGTEILINDUSTRIE NORD DEUTSCHER ZEMENTWERKE

Die Zukunft der mineralischen Baustoffe ist grün

Das im Dezember 2019 in Kraft getretene Klimaschutzgesetz verpflichtet alle Marktakteure zur CO_2-neutralen Produktion ihrer Produkte respektive Baustoffe bis zum Jahr 2050. Zugleich muss der Energieverbrauch im Gebäudesektor um 80 % sinken und zu einem immer größeren Teil über erneuerbare Energien abgedeckt werden. Außerdem ist durch den ebenfalls beschlossenen Kohleausstieg bis 2038 vorgegeben, dass bereits in etwa 20 Jahren die Nutzung fossiler Brennstoffe für die Erwärmung von Gebäuden stark rückläufig sein wird und die Nutzung von Kohle weitgehend entfällt. Daher ist bei einer erfolgreichen Umsetzung der verabschiedeten Klimaschutzziele bereits ab 2051 davon auszugehen, dass es zu einer völlig neuen ökologischen Bewertung der Baustoffe kommt. Die mit grüner Energie hergestellten mineralischen Baustoffe tragen dann kaum noch graue Energie in die Baukonstruktionen der Gebäude ein. Bei ihrer Herstellung wird kein CO_2 mehr an die Luft abgegeben, so dass durch mögliche Substitution keine CO_2-Emissionen mehr eingespart werden.

ERBAND BAUSTOFFE, STEINE UND ERDEN • BAYERISCHER BAND DER DEUTSCHEN KALKINDUSTRIE • BUNDESVER- LEICHTBETON • BUNDESVERBAND MINERALISCHE ROH- TSCHE GESELLSCHAFT FÜR MAUERWERKS- UND WOH- ERG • FACHVERBAND BETON- UND FERTIGTEILWERKE ERBE • FACHVEREINIGUNG BETONBAUTEILE MIT GITTERTRÄ- RIE • HESSENBETON • INFORMATIONSZENTRUM BETON UINNUNGEN • SOLID UNIT • UNTERNEHMERVERBAND • VERBAND DER BAU- UND ROHSTOFFINDUSTRIE • VEREIN

POLITISCHE FORDERUNGEN

Angesichts der aufgezeigten Fakten und der politischen Zielvorgaben wenden sich die Unterzeichner des Positionspapiers mit folgenden Forderungen an Bund, Länder und Kommunen:

1. **Grundlage von allen anstehenden politischen Entscheidungen zur Vorgabe zukünftiger Anforderungen an Gebäude muss die faire Bewertung aller Baustoffe und Bauweisen unter umfassender Betrachtung der realen Lebensdauer sowie des vollständigen Lebenszyklusses von Gebäuden inklusive Rückbau, Recycling und Wiederverwendung von Baustoffen, Bauprodukten und ganzen Bauteilen sein.**

2. **Der Grundsatz einer offenen Marktwirtschaft mit freiem Wettbewerb ist bei allen politischen und parlamentarischen Entscheidungen zur Vorgabe zukünftiger Anforderungen an Gebäude zu berücksichtigen. Das schließt die Einführung und Umsetzung von Quotenregelungen zugunsten einzelner Baustoffe und Bauweisen aus.**

3. **Technologieoffenheit muss ein Grundsatz für alle zukünftigen gesetzlichen Regelungen von Anforderungen an Bauwerke und Gebäude sein. Das umfasst eine gleichberechtigte und angemessene Förderung aller Bauprodukte und Bauweisen zur Erreichung der politischen Zielsetzungen bezüglich Klimaneutralität und Kreislaufwirtschaft.**

Diesen Forderungen schließen wir uns als Verbände der Betonfertigteilindustrie und Herausgeber des punktum.betonbauteile uneingeschränkt an.

Interview

Die Zementindustrie auf dem Weg in die CO_2-arme Zukunft

Dr. Martin Schneider ist Hauptgeschäftsführer des Vereins Deutscher Zementwerke e. V. (VDZ) und Leiter des Forschungsinstituts der Zementindustrie sowie Geschäftsführer der European Cement Research Academy (ECRA). Nach seiner Promotion in Angewandter Physik an der Universität Bonn und kurzen Zwischenstationen im wissenschaftlichen Bereich begann er 1991 seine Tätigkeit beim VDZ im Bereich Umweltschutz und Zementchemie. Seit 2009 ist Dr. Martin Schneider als Honorarprofessor an der Technischen Universität Clausthal tätig.

Welche Rolle spielen Zement und Beton beim Bauen in der Zukunft?

Zement und Beton spielen bei der Bereitstellung von Lösungen in den Bereichen Wohnen, Infrastruktur, Verkehr sowie der Energie- und Wasserversorgung eine wichtige Rolle. In Zukunft werden das zu erwartende Bevölkerungswachstum bis 2050 und der Trend zur Urbanisierung den Bedarf nach diesen Baustoffen global weiter steigern. Zement und Beton werden also auch künftig in vielerlei Hinsicht wichtig für moderne Gesellschaften und deren nachhaltige Entwicklung sein.

Auf dem Weg in die CO_2-arme Zukunft steht die Zement- und Betonindustrie vor großen Herausforderungen. Welche Ziele hat sich die Industrie gesteckt?

Der Klimaschutz ist den Unternehmen der Zement- und Betonindustrie wichtig und stellt sie in der Tat vor große Herausforderungen: Die Zementproduktion geht zwangsläufig mit einem erheblichen Energiebedarf und hohen CO_2-Emissionen einher. Letztere stammen zu rund zwei Dritteln aus der chemischen Umwandlung des Rohstoffs Kalkstein in Zementklinker und sind mit heute verfügbaren Technologien nur bedingt beeinflussbar. Nur ein Drittel entsteht durch den Einsatz von Brennstoffen. Für eine deutliche Minderung der rohstoffbedingten CO_2-Emissionen bei der Zementherstellung bedarf es also neuartiger Ansätze und Technologien, die derzeit technisch erprobt werden, für die aber heute noch die notwendigen Rahmenbedingungen fehlen.
Um die Ziele des Pariser Klima-Abkommens vom Dezember 2015, also die Begrenzung der globalen Erwärmung auf 2 °C, zu erreichen, werden entlang der gesamten Wertschöpfungskette von Zement und Beton und letztlich bis hin zu den hieraus erstellten Bauwerken massive Anstrengungen notwendig sein. Wir, der Verein Deutscher Zementwerke e. V. und die deutsche Zement- und Betonindustrie, sind bereit, hier mutige Schritte zu gehen. Wir benötigen dafür aber ein Umfeld, in dem innovative Produkte und Prozesse in den Markt kommen können.

Wo stehen wir heute? Und bis wann wird eine Klimaneutralität erreicht werden können?

Mit dem Pariser Abkommen ist es gelungen, für das Ziel der Begrenzung der Erwärmung auf 2 °C im 21. Jahrhundert einen globalen Rahmen zu schaffen. In diesem Kontext haben sich die EU und Deutschland verpflichtet, ihre CO_2-Emissionen bis zur Mitte des Jahrhunderts um 80 bis 95 % zu reduzieren – aktuell zeichnet sich eine weitere Erhöhung des daran orientierten Ambitionsniveaus ab.

Auf diese Rahmenbedingungen hat sich die Zementindustrie früh eingestellt und eine Fülle von Maßnahmen umgesetzt – beginnend bei der Verwendung der Ausgangsstoffe bis hin zur Herstellung von Zement –, um den CO_2-Footprint ihrer Prozesse und Produkte zu reduzieren. So ist es uns in Deutschland gelungen, die spezifischen CO_2-Emissionen je Tonne Zement gegenüber 1990 bis heute um rund 22 % zu verringern, EU-weit um ca. 14 %.

Welche Maßnahmen haben zur bisherigen CO_2-Reduzierung beigetragen?

Maßgeblich dazu beigetragen hat der Einsatz alternativer Brennstoffe, die einen geringeren Kohlenstoff-Anteil als fossile Brennstoffe und einen teilweise hohen Biomasse-Anteil aufweisen. Diese alternativen Brennstoffe decken heute

Dr. Martin Schneider
Hauptgeschäftsführer des Verein Deutscher Zementwerke e. V.
Leiter des Forschungsinstituts der Zementindustrie
Geschäftsführer der European Cement Research Academy

rund zwei Drittel des Brennstoffenergiebedarfs für die Zementherstellung in Deutschland ab. Gleichzeitig hat die Branche bei der Reduzierung des Klinkergehalts im Zement große Fortschritte erreicht. An einer weiteren Erhöhung des Einsatzes alternativer Brennstoffe sowie an der Verbesserung der Klinkereffizienz arbeitet die Industrie mit Hochdruck.

Könnte Zement durch neue alternative Bindemittel ersetzt werden?

Die Zementhersteller in Deutschland forschen seit vielen Jahren intensiv an verschiedenen Ansätzen, um die rohstoffbedingten CO_2-Emissionen bei der Zementherstellung deutlich zu senken. Eine mögliche Option stellt hier die Entwicklung von neuen Bindemitteln dar, die auf der Basis einer anderen Rohstoff-Zusammensetzung und mit weniger Energieaufwand hergestellt werden können. Bislang befinden sich diese Arbeiten aber noch im Entwicklungsstadium. Es ist allerdings aus heutiger Sicht nicht zu erkennen, dass mit solchen neuen Bindemitteln Portlandzement in größerem Umfang ersetzt werden könnte. Dies liegt zum einen an der zum Teil sehr begrenzten Verfügbarkeit der dafür notwendigen Materialien, zum anderen an den bautechnischen Eigenschaften, die sich zumindest aus derzeitiger Sicht nur für sehr spezifische Bauanwendungen eignen dürften.

Welche Rolle könnten CO_2-Abscheidungstechnologien spielen?

Ein weiterer Ansatz, der unter dem Dach der European Cement Research Academy unter besonderer Mitarbeit des VDZ seit nunmehr rund zehn Jahren verfolgt wird, ist die mögliche Anwendung von CO_2-Abscheidungstechnologien bei der Zementklinker-Herstellung – mit dem Ziel, das CO_2 anschließend entweder langfristig zu speichern (Carbon Capture and Storage) oder aber einer anderen Verwendung zukommen zu lassen (Carbon Capture and Utilisation). Ich bin zuversichtlich, dass die großtechnische Erprobung der CO_2-Abscheidung im Zementherstellungsprozess in den kommenden Jahren auch in Deutschland gelingen wird. Was die Frage der CO_2-Nutzung und perspektivisch auch einer Speicherung angeht, sind allerdings noch viele Fragen offen. Darüber hinaus liegt auch noch viel Arbeit vor uns, wenn es um den effizienteren Einsatz von Beton in Bauwerken geht. Wenn die Rahmenbedingungen richtig gesetzt werden, halte ich aber eine weitgehend klimaneutrale Zement- und Betonherstellung für möglich – hierfür müssen wir allerdings alle Minderungsoptionen entlang der gesamten Wertschöpfungskette ausschöpfen.

Welchen Anteil hat die Zementindustrie an den globalen CO_2-Emissionen und welchen an jenen in Deutschland?

Heute ist die Zementindustrie der drittgrößte industrielle Energieverbraucher und ihre Produktion trägt zu 6 bis 7 % zu den globalen vom Menschen beeinflussten CO_2-Emissionen bei. In Deutschland liegt der Anteil an den Gesamt-Treibhausgasemissionen bei etwa 2 %. Da wir bis 2050 mit einem wachsenden globalen Zementverbrauch rechnen, macht dies die Herausforderung der CO_2-Minderung ungleich größer.

Wie sieht es mit den CO_2-Emissionen entlang der Wertschöpfungskette Zement und Beton aus?

Zement ist letztlich das wesentliche Ausgangsmaterial für Beton und damit für viele Gebäude und Infrastrukturen. Er bestimmt daher auch maßgeblich den CO_2-Footprint der Materialien, die beim Bauen verwendet werden. In Deutschland entstehen bei der Herstellung pro Tonne Zement aktuell 594 kg CO_2. Die dem Beton zuzurechnenden CO_2-Emissionen hängen stark von der Betonart, der örtlichen Situation und hier insbesondere von der Bautradition und den nationalen Bauvorschriften ab. Berechnungen des Treibhauspotenzials eines C30/37-Transportbetons mit einer typischen in Deutschland hergestellten Zusammensetzung ergaben im Schnitt Werte von 250 kg CO_2-Äquivalent/m³ für unbewehrten Beton und 312 kg CO_2-Äquivalent/m³ für Stahlbeton.

> « Wenn die Rahmenbedingungen richtig gesetzt werden, halte ich aber eine weitgehend klimaneutrale Zement- und Betonherstellung für möglich ... »

Beton ist ein langlebiger Baustoff. Welche Rolle spielt die Langlebigkeit des Baustoffs hinsichtlich möglicher CO_2-Minderungspotenziale?

Für eine Gesamtbetrachtung spielt neben der Herstellung der Baustoffe natürlich auch die Nutzungslänge eines Bauwerks sowie dessen Verwertung am Ende der Nutzung eine wichtige Rolle. Gerade über den Lebenszyklus hinweg zeigt Beton seine außergewöhnlichen Eigenschaften. So dient seine große thermische Masse der Energiespeicherung und Raumtemperatur-Stabilisierung – Beton schafft ein gutes Raumklima und senkt den Heizenergieverbrauch. Darüber hinaus kann er, was nicht überall bekannt ist, CO_2 aus der Umgebung aufnehmen – und damit seinen CO_2-Footprint über den gesamten Lebenszyklus hin verbessern. Bezogen auf den Gesamtlebenszyklus eines Gebäudes gehen wir davon aus, dass Beton durch die sogenannte Rekarbonatisierung rund 10 bis 12 % der ursprünglich bei seiner Herstellung angefallenen Emissionen wieder einbindet. Wenn man bedenkt, dass der Gebäudesektor in Europa für rund 40 % der CO_2-Emissionen steht, stecken besonders hier erhebliche CO_2-Minderungspotenziale. Niedrigenergiegebäude werden dabei künftig eine entscheidende Rolle spielen. Die Betonbauweise kann hier ein Teil der Lösung sein. So können beispielsweise mittels Betonkernaktivierung Räume effizient geheizt und gekühlt werden. Letztlich muss im Gebäudebereich aber die Materialeffizienz verbessert werden – nicht nur durch die Reduzierung der Materialintensität, sondern auch durch die der Kohlenstoffemissionen bei der Herstellung der Baustoffe.

« Bezogen auf den Gesamtlebenszyklus eines Gebäudes gehen wir davon aus, dass Beton durch die sogenannte Rekarbonatisierung rund 10 bis 12 % der ursprünglich bei seiner Herstellung angefallenen Emissionen wieder einbindet. »

Wie sieht es mit der Umstellung auf alternative Brennstoffe aus?

Alternative Brennstoffe sind im Allgemeinen weniger kohlenstoffintensiv als konventionelle wie Kohle, Öl und Erdgas. Noch wichtiger ist jedoch, dass sie in der Regel einen hohen Anteil an Biomasse enthalten. Der globale Anteil alternativer Brennstoffe am gesamten thermischen Energieverbrauch in der Zementindustrie liegt derzeit bei rund 10 %. In einigen Regionen werden sie in noch deutlich größerem Umfang eingesetzt. Dazu zählt beispielsweise Europa, wo alternative Brennstoffe bei durchschnittlich 41 % liegen – einige Werke in Österreich und Deutschland befinden sich hier im oberen Bereich. In Deutschland wurde 2018 der thermische Energiebedarf im Durchschnitt zu 68 % durch alternative Brennstoffe gedeckt.

Den Klinker-Zement-Anteil haben wir bereits kurz angesprochen. Welche Rolle genau kann dessen Reduzierung spielen?

Klinker ist der Leistungsträger im Zement. Gleichzeitig verursacht seine Herstellung aber auch die hohen CO_2-Emissionen. Wenn man dem Zement daher andere Stoffe zufügt, die sich positiv auf die Zementeigenschaften und seine Festigkeit auswirken, verringern sich dadurch auch diese Emissionen. Insofern ist die Reduzierung des Klinkergehalts im Zement derzeit die mit Abstand effizienteste Maßnahme zur Minderung der CO_2-Emissionen bei der Zementherstellung, da sie sowohl das CO_2 aus den Rohstoffen als auch aus den Brennstoffen erfasst. Der globale Durchschnitt des Klinker-Zement-Faktors liegt nach den letzten verfügbaren Daten bei etwa 0,65. In der EU und in Deutschland ist er mit 0,74 beziehungsweise 0,71 etwas höher. Insofern ist eine weitere Reduzierung des Klinkergehalts im Zement auch hierzulande erstrebenswert und möglich. Sie ist jedoch maßgeblich von der künftigen Verfügbarkeit geeigneter alternativer Rohstoffe – denken wir hier unter anderem an Hüttensand oder Flugasche – abhängig. Ein bestimmter Klinkergehalt darf jedoch nicht unterschritten werden, wenn der Zement nicht seine Leistungsfähigkeit verlieren soll. Er muss schließlich die bautechnischen Anforderungen, insbesondere an die Langlebigkeit der Bauwerke erfüllen. Die Klinkerintensität und damit der CO_2-Gehalt sind deshalb auch immer im Zusammenhang mit der Leistungsfähigkeit und der Dauerhaftigkeit des jeweils hergestellten Mörtels oder Betons zu sehen.

Welche Rolle können klinkereffiziente Zemente zukünftig spielen?

Die Klinkereffizienz im Beton ist seit Jahren Teil vieler Forschungsaktivitäten. Dabei lag der Fokus bisher weniger auf der Festigkeitsentwicklung dieser Betone, sondern auf Dauerhaftigkeitsparametern und robusten Frischbetoneigenschaften, also der Verarbeitbarkeit und Sedimentstabilität. Neue klinkereffiziente Zemente wie CEM II/C-M und CEM VI mit hohen Kalkstein- und Hütten-

sandgehalten könnten künftig die Möglichkeit bieten, den Klinkerfaktor und damit auch den CO_2-Footprint von Zement und Beton weiter zu reduzieren. Untersuchungen des VDZ und anderer Institute zeigen, dass zumindest ein ausreichender Karbonatisierungs- und Frost-Tau-Widerstand bei moderater Wassersättigung erreicht werden kann, wenn das Wasser-Zement-Verhältnis ausreichend niedrig oder die Druckfestigkeit ausreichend hoch ist. In Deutschland beispielsweise werden ca. 65 % der Betone in Festigkeitsklassen hergestellt, die ihren Einsatz in Innenbauteilen (XC1, trocken) oder „normalen" Außenbauteilen (XC4, XF1) anzeigen.
Um es zu ermöglichen, mehr Zemente mit niedrigeren Klinkerfaktoren – wie CEM II/C und CEM VI – im Beton einzusetzen, wird man möglicherweise eine höhere Differenzierung der Anwendung in Abhängigkeit von den verfügbaren Rohstoffen akzeptieren müssen: bei Zementen und Betonen, die in den meisten gängigen Baukonstruktionen verwendet werden, einerseits – und solchen, die unter besonderen Haltbarkeitsbedingungen genutzt werden, andererseits.

Welchen Einfluss hat die CO_2-Intensität auf die Lebensdauer des Betons?

Die Herausforderung für die Zement- und Betonbranche besteht in Zukunft darin, über die gesamte Nutzungsdauer eine möglichst geringe CO_2-Intensität zu erreichen. Auch wenn aus Ökobilanzen von Gebäuden bekannt ist, dass der Anteil des Betons dabei im Vergleich zu anderen Faktoren wie dem Energiebedarf nur einen überschaubaren Anteil an den CO_2-Emissionen hat, werden weitere Potenziale erschlossen. Um ihn hinsichtlich seiner Lebensdauer zu bewerten, könnten Druckfestigkeit und Lebensdauer mit der CO_2-Intensität in Beziehung gesetzt werden. Grundsätzlich sind alle Erwartungen an ein Bauwerk hinsichtlich Lebensdauer und Leistungsfähigkeit durch den richtigen Einsatz der jeweiligen Baustoffe sicherzustellen. Beton bietet hier perfekte Lösungen, die auch im Bauregelwerk abgebildet sind. Für die neuen klinkereffizienten Zemente ergeben sich dabei gute Anwendungspotenziale für normale Betone, die bislang in den Normen noch nicht berücksichtigt werden. Hier liegen viele Erkenntnisse vor, so dass auch künftig jederzeit gewährleistet werden kann, dass die geplante Lebensdauer eines Bauwerks auch erreicht wird.

Welche Rolle spielt das Recycling von Beton?

Das Recycling von Beton ist nicht nur ein wichtiger Beitrag zum nachhaltigen Bauen, sondern kann auch eine wichtige Rolle in der gesamten CO_2-Bilanz der Baukette spielen. Die Karbonatisierung von Beton ist bekannt und wird bei der Planung von Betonkonstruktionen berücksichtigt. Insbesondere kann nach dem Zerkleinern von Beton das Feinmaterial, das im Wesentlichen aus Kalziumsilikathydraten besteht, durch Rekarbonatisierung deutliche Mengen von CO_2 aus der Atmosphäre aufnehmen. Feinkorn aus recyceltem Beton lässt sich unter Umständen auch als

Kalkstein wird in Steinbrüchen gewonnen. Zeitgleich mit der Gewinnung werden heute Renaturierungs- und Rekultivierungsprozesse eingeleitet. Die Entwicklung zu wertvollen Biotopen setzt damit schon nach wenigen Jahren ein.

© HeidelbergCement / Elsa Gerber

© HeidelbergCement / Steffen Fuchs

Zementwerke werden kontinuierlich modernisiert, um sie auf den neuesten Stand der Technik zu bringen. Der Einsatz alternativer Brennstoffe und der vermehrte Einsatz von Biomasse spielt dabei eine große Rolle. In Deutschland wurde 2018 der thermische Energiebedarf für die Zementproduktion im Durchschnitt zu 68 % durch alternative Brennstoffe gedeckt. Dieser Anteil wird kontinuierlich erhöht.

Primärrohstoff für die Klinkerproduktion verwenden. Es besteht aus Calcium- und Silicium-Verbindungen und kann daher natürliche Rohstoffe ersetzen.

Wie sieht es mit der Verbesserung der elektrischen Energieeffizienz aus?

Der Hauptbedarf an elektrischer Energie bei der Zementherstellung entsteht bei der Rohstoffaufbereitung, dem Klinkerbrennen und der Zementmahlung. In Zukunft wird es wichtig sein, dass die Zementindustrie ausreichenden Zugang zu erneuerbarer elektrischer Energie hat, um ihre indirekten CO_2-Emissionen zu minimieren und auch bei der Anwendung neuartiger CO_2-Minderungstechnologien auf grünen Strom setzen zu können. Bereits heute sind die Werke in Deutschland sehr effizient und werden mit Hilfe von Energiemanagement-Systemen kontinuierlich verbessert. Wir stoßen aber auch hier an prozesstechnische Grenzen. Bemerkenswert ist, dass der elektrische Energiebedarf durch Umwelt- und Klimaschutzmaßnahmen in der Regel steigt. Wir müssen für den Klimaschutz also einen höheren Energiebedarf in Kauf nehmen.

Kommen wir noch einmal zur CO_2-Abscheidung. Könnte diese Technologie die große Lösung sein?

Die CO_2-Abscheidung gilt in der Tat als innovative Durchbruchstechnologie, die aber ihren Weg in die industrielle Anwendung erst noch finden muss. Obwohl die CO_2-Abtrennung heute sehr energieintensiv und teuer ist, gilt sie als die einzige Möglichkeit, die CO_2-Emissionen der Zementherstellung deutlich zu reduzieren, um die Minderungsziele im Jahr 2050 zu erreichen: Je nach gewähltem Szenario müssen – und könnten damit – in der Zementindustrie zwischen 552 bis 707 Mio. t CO_2/Jahr weltweit abgetrennt und dauerhaft gespeichert werden. Die geologische Speicherung von CO_2 (Carbon Capture and Storage, CCS) ist seit langem eine bekannte Technologie, insbesondere in der Öl- und Gasindustrie. Außerdem kann CO_2 auch als Kohlenstoff-Rohstoff oder zur Kraftstoffherstellung genutzt werden (Carbon Caupture and Utilization, CCU). In beiden Fällen werden aber entsprechende Mengen an Energie aus erneuerbaren Quellen benötigt werden.

Wie kann man sich die CO_2-Speicherung genauer vorstellen?

Das abgetrennte CO_2 kann über Rohrleitungen oder Behälter transportiert werden. Die Kosten hängen von der Transportdistanz ab, andere Faktoren wie Be- und Entladekosten sowie die Art der Pipeline (Offshore oder Onshore) sind weitere relevante kostenbestimmende Faktoren. Die Speicherung von CO_2 erfolgt durch die Einbringung in geologische Formationen unter der Erdoberfläche. Poröse Gesteine mit dichten Deckgesteinen sind ausreichend und geeignet, um das Gas sowie Gesteinsformationen, die zuvor zur Aufnahme von Gas oder Öl verwendet wurden, zu halten. Es gibt bereits seit Jahrzehnten gute Erfahrungen mit der Offshore-Speicherung von CO_2. Auch ein Pilotprojekt in Brandenburg vor einigen Jahren hat bestätigt, dass eine sichere unterirdische Speicherung an Land grundsätzlich möglich ist. Gleichzeitig gibt es selbstverständlich noch viele Fragen, welche die technische Umsetzung im Industriemaßstab und die rechtlichen Rahmenbedingungen angehen. Um die Potenziale von CCS und CCU auch für die Dekarbonisierung bestimmter Prozesse in der Industrie zu nutzen, ist daher in den kommenden Jahren noch viel politisches Engagement gefragt – und ein gesellschaftlicher Diskurs über die Chancen und Risiken, den wir aktiv mitgestalten möchten.

Wie sieht die globale Roadmap für kohlenstoffarme Technologien für die Zementindustrie aus?

Die globale Herausforderung der CO_2-Minderung sowie die Notwendigkeit, Ziele zu definieren und deren Umsetzungsgrad zu verfolgen, spiegelt sich auch in den sogenannten Roadmaps wider. Hierin sind die verschiedenen Maßnahmen zur CO_2-Minderung und der zeitliche Rahmen, in denen sie umgesetzt werden müssen, aufgeführt. Allen Roadmaps gemeinsam ist der Mix an Maßnahmen zur CO_2-Minderung. Die Reduzierung des Klinkerfaktors, der vermehrte Einsatz von Biomasse, aber auch die CO_2 Abscheidung spielen hier eine besonders große Rolle. Vor allen Dingen gilt es, die Maßnahmen gleichzeitig zu beginnen und nicht nacheinander. Wir würden ansonsten zu viel Zeit verlieren.

Wie sehen die regionalen Implementierungen der globalen Roadmap aus?

Auf der Basis der globalen Roadmap zur Dekarbonsierung der Zementindustrie aus den Jahren 2009 und 2018 wurden mehrere nationale beziehungsweise regionale entwickelt. Im Großen und Ganzen ähneln sie sich, lediglich die Schwerpunkte der Maßnahmen sind leicht unterschiedlich gesetzt, da schließlich den jeweiligen Rahmenbedingungen vor Ort Rechnung getragen werden muss. CEMBUREAU, der Europäische Zementverband, unterstreicht in seiner Roadmap für Europa von 2013 die Bedeutung der verschiedenen Minderungstechnologien im Bereich der Klinker- und Zementherstellung. Dabei wird für die europäische Zementindustrie eine Senkung der CO_2-Emissionen von 177 Mio. t CO_2/Jahr im Jahr 1990 auf 34 Mio. t CO_2/Jahr im Jahr 2050 angenommen. Fast 60 % dieser Emissionsminderung von etwa 79 Mio. t CO_2 würden dabei durch Breakthrough-Technologien wie die CO_2-Abscheidung und -Speicherung bereitgestellt. Der Brennstoffbedarf soll dabei zu 60 % durch alternative Kraftstoffe gedeckt werden, davon 40 % Biomasse. Als Klinkerfaktor wird im Jahr 2050 0,70 als realistisch eingeschätzt, neue Bindemittel mit CO_2-Emissionen von unterhalb 50 % des Durchschnitts aller heutigen Zemente würden in diesem Szenario 5 % des gesamten Zementprodukt-Verbrauchs ausmachen.

Nicht berücksichtigt bei der Reduzierung der direkten Emissionen, aber ebenso wichtig in seinem Beitrag zur globalen CO_2-Einsparung aus der Zement- und Beton-Wertschöpfungskette ist die wachsende Bedeutung von kohlenstoffarmem Beton und weiteren nachgelagerten Maßnahmen wie dem Recycling von Beton und seiner effizienteren Nutzung in Gebäuden und Infrastrukturen. Die in der CEMBUREAU-Roadmap von 2013 vorgeschlagenen Schritte wurden 2018 erneut bewertet. Hier zeigt sich, dass die europäische Zementindustrie auf Kurs ist, sie langfristig auf Klimaneutralität im Bausektor abzielt und dass kommende neue Technologien, vor allem die CO_2-Abscheidung, besonders im Fokus zu stehen haben.

In sogenannten Roadmaps werden verschiedene Maßnahmen zur CO_2-Minderung aufgeführt. Die Reduzierung des Klinkerfaktors, der vermehrte Einsatz von Biomasse, aber auch die CO_2-Abscheidung spielen hier eine besonders große Rolle.

Die CO_2-Reduktion, die der Zementsektor erreichen soll, basiert also auf parallelen Wegen?

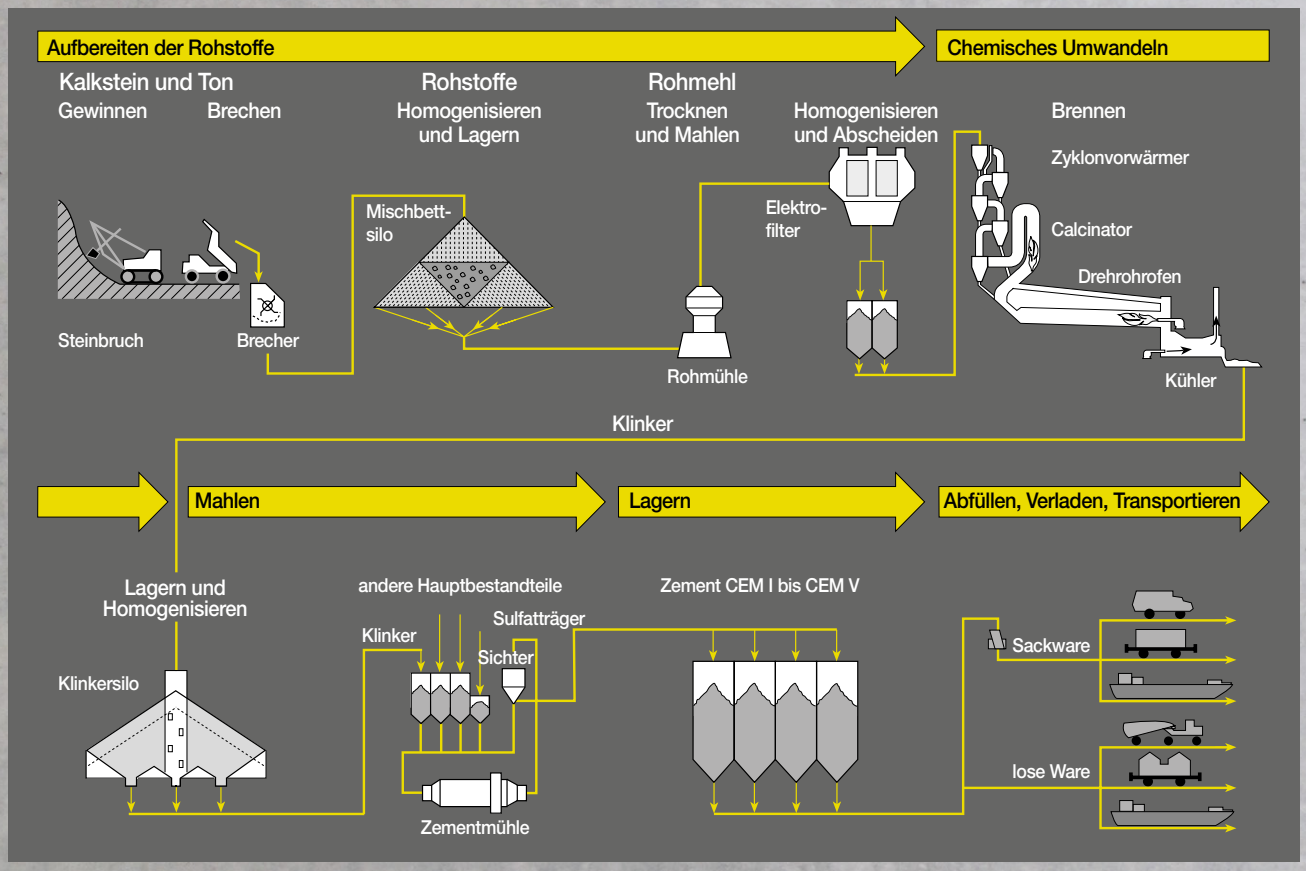
Das ist richtig. Diese parallelen Wege tragen zur Gesamtreduktion bei, jedoch in unterschiedlichem Maß und mit differierenden Zeitvorgaben. Wichtig ist natürlich, dass die CO_2-Effizienz als Teil einer gesamten CO_2-armen Wirtschaft und Wertschöpfungskette zu sehen ist. Ein geringerer Klinkergehalt im Zement kann erst dann zu globalen CO_2-Einsparungen beitragen, wenn diese Zemente auf den Markt kommen. Und sie müssen ihren Weg in die Bauwerke finden. Hierfür ist das Regelwerk anzupassen. Es müssen aber auch geeignete Indikatoren entwickelt und umgesetzt werden, um die Anwendung von kohlenstoffarmen Betonen zu unterstützen und dabei stets ein ausreichendes hohes Qualitätsniveau für sichere Gebäude zu gewährleisten.

Sie gehen die Herausforderungen also mit Zuversicht an?

Natürlich! Die Zement- und Betonindustrie unterstützt mit ihren Innovationen und Ideen zur Weiterentwicklung der Baustoffe aktiv die Klimaziele der Bundesregierung sowie die globalen Zielsetzungen zum Klimaschutz. Obwohl die Herausforderungen für den Zementsektor groß sind, zeigt sich, dass die notwendigen Maßnahmen getroffen werden, um diese Industrie auf ihrem Weg in eine kohlenstoffarme Zukunft zu führen. Die Ressourcen müssen dabei aufeinander abgestimmt und die Kräfte gebündelt werden, und zwar von allen, die Teil der Wertschöpfungskette Zement und Beton sind.

Herzlichen Dank für das Gespräch!

Zementherstellung



Wussten Sie schon...?

1.
Mit mehr als 70 % lag der Effizienzgrad der deutschen Zementwerke 2017 weltweit auf einer Spitzenposition.

2.
Im Durchschnitt haben die deutschen Zementwerke ihren thermischen Energiebedarf seit den 1950er Jahren um 50 % reduziert.

3.
Die deutsche Zementindustrie hat ihre energiebedingten CO_2-Emissionen (Strom+Brennstoff) in den letzten 20 Jahren drastisch verringert.

4.
Weltweit werden rund 25 % der CO_2-Emissionen der Zementherstellung durch die Carbonatisierung von Beton und Mörtel im Laufe ihrer Lebensdauer gebunden.

5.
Heute wird deutschlandweit bereits 65 % der Brennstoffenergie durch alternative Brennstoffe gedeckt – das ist mehr als eine Verdopplung im Vergleich zum Jahr 2000.

Ein Beitrag zur Luftreinhaltung

Photokatalytische Betonpflastersteine

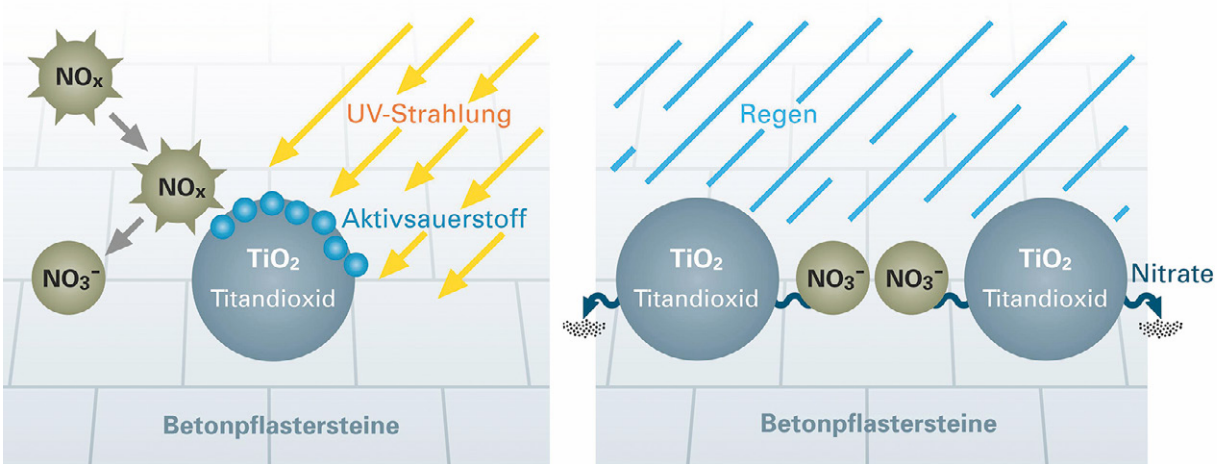
Verkehrsflächenbefestigungen mit einer Betonpflasterdecke können auf sehr unterschiedliche Weise negative Umweltwirkungen reduzieren. Das betrifft vor allem die Bereiche Lärmminderung, Luftreinhaltung, Klimaschutz, Stadtklima und Wasserwirtschaft. Nachfolgend steht die Luftreinhaltung durch photokatalytisch aktive Betonsteine im Vordergrund. Im Wesentlichen handelt es sich um einen Auszug aus einem Aufsatz von Düring, Richard & Ulonska aus 2018. Ein Fachbeitrag dieser Art kann heute nicht mehr ohne eine sachliche Bewertung der „Einstufung von Titandioxid als krebserregend" bleiben, denn es ist dieser in die Kritik geratene Stoff Titandioxid, der die Photokatalyse überhaupt erst ermöglicht. Daher wird dieser Aufsatz am Schluss durch eine Reihe von Informationen zur Thematik Titandioxid ergänzt.

Verbesserung der Luftqualität

In der 39. Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (39. BImSchV) sind verschiedene Luftschadstoffe, unter anderem Feinstaubpartikel (PM_{10}) und Stickstoffdioxid (NO_2), mit Grenzwerten belegt. Zu den Quellen von NO_2 in der Umgebungsluft gehören vor allem Verbrennungsprozesse. Obwohl aufgrund der Entwicklung der Motorentechnik die NO_2-Gesamtemissionen des Kfz-Verkehrs in den letzten 25 Jahren gesenkt werden konnten, gilt der Straßenverkehr weiterhin als wesentlicher Verursacher. Dies führt dazu, dass der Jahresmittelgrenzwert für NO_2 von 40 µg/m³ insbesondere in Ballungsräumen beziehungsweise in eng bebauten Straßenschluchten häufig überschritten wird.

Stickstoffdioxid kann durch eine photokatalytische Reaktion mit Titandioxid (TiO_2), das dem Beton bei der Herstellung zugegeben werden kann, umgewandelt und damit abgesenkt werden (siehe Grafik).

Bezüglich der Bewertung der Wirksamkeit ist zwischen der Abbaurate und dem Minderungspotenzial auf die NO_2-Konzentration zu unterscheiden. Die Abbauraten sind die Minderungen, die sich im Labor (so genannte Reaktorkammern) oder in Freifeld-Prüfkammern (diese werden auf den Straßenbelag aufgesetzt) ergeben. Sie weisen auf das Minderungspotenzial bei direktem Kontakt des Luftpaketes mit dem photokatalytischen Material hin und sind nur auf Konzentrationsänderungen in Bereichen knapp oberhalb des Fahrbahnbelages anwendbar.



© HeidelbergCement AG

Ablauf der NO_2-Reduzierung durch den Einsatz von TiO_2 in Flächenbefestigungen.

Die Minderungspotenziale auf die NO_2-Luftkonzentrationen an beurteilungsrelevanten Immissionsorten (1,50 bis 4 m über Grund oder an Gebäudefassaden) sind wegen der atmosphärischen Vermischung zwischen reduzierten und nicht reduzierten NO_2-Konzentrationen im Allgemeinen deutlich geringer. So zeigen zwar die Abbauraten in Labor- oder Freifeld-Prüfkammern mit 40 % bis 70 % ein sehr hohes Minderungspotenzial, In-Situ-Messungen und deren Auswertung sowie entsprechende Modellrechnungen zeigen aber tendenziell Minderungspotenziale von wenigen Prozent. Diese methodischen Unterschiede zwischen Abbaurate und Minderungspotenzial sind auch der Grund, warum die wenigen vorliegenden Studien deutliche Unterschiede dokumentieren. So werden Minderungspotenziale von „nicht nachweisbar" bis zu 40 % veröffentlicht (Gallus, 2016), (DBU 2010).

© F. C. Nüdling Basaltwerke GmbH + Co. KG

Photokatalytisch wirksames Pflaster lässt sich auf angrenzenden Flächen an viel befahrenen Straßen einsetzen. So werden die Schadstoffe direkt dort abgebaut, wo sie entstehen.

Beispiele

Der Gothaer Platz in Erfurt wurde zwischen 2007 und 2008 mit Betonpflastersteinen komplett neugestaltet. Durch Direktmessungen von Stickoxiden (NO_X) konnten durch Vergleich mit photokatalytisch inaktiven Flächen Abbaukapazitäten von 20 % bis 35 % gezeigt werden. Die Messstelle befand sich 3 m über der Pflasteroberfläche. Es wurde weiterhin festgestellt, dass neben dem photokatalytischen Abbau auch Sorptionsprozesse zur Schadstoffminderung beitragen. So zeigen Langzeituntersuchungen, dass auch nach 23-monatiger Nutzung die anfängliche Abbaukapazität für NO_X noch vorhanden war (DBU 2010).

Beim Neubau des Zentralen Omnibusbahnhofs in Detmold und der damit verbundenen Umgestaltung des Bahnhofsumfeldes wurden in den Jahren 2012 und 2013 rund 4.500 m² Betonsteinpflaster sowie die in Ortbetonbauweise hergestellten Busfahrstreifen mit photokatalytisch aktiver Oberfläche ausgeführt (Bild unten). Als Ergebnis der Untersuchungen zum Nachweis der Wirksamkeit der photokatalytisch aktiven Flächen ist festzustellen, dass in den Wasserproben der photokatalytisch aktiven Flächen eine um etwa 30 % höhere Nitratkonzentration vorliegt, als in den Proben der Referenzflächen (Schlötzer, Deis, & Naarmann, 2015). Der Einsatz der innovativen Werkstoffe führte zu geringen Mehrkosten von etwa 3,4 % bezogen auf die Gesamtkosten des Projektes. Die Stadt Detmold als Bauherr erhielt für das Projekt den Preis „Innovation schafft Vorsprung", der durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) und dem Bundesverband Materialwirtschaft, Einkauf und Logistik (BME) vergeben wird.

Innerhalb eines mehrere Projekte umfassenden

© Hochschule Ostwestfalen-Lippe

ZOB Detmold, Betonpflasterflächen mit TiO_2-Beschichtung.

Pilotprogramms, welches von der Bundesanstalt für Straßenwesen koordiniert wurde, wird zurzeit das Stickoxid-Minderungspotenzial von Titandioxid unter Realbedingungen an verschiedenen Bauwerken quantifiziert. Dabei wurden beziehungsweise werden Studien an hoch frequentierten Verkehrswegen – insgesamt an drei Standorten – durchgeführt: An einer Lärmschutzwand an der Bundesautobahn (BAB) A1 bei Osnabrück, an einem Straßenbelag an der Bundesstraße B433 in Hamburg und in einem Tunnel an der BAB A113 in Berlin. Abschließende Berichte liegen zu den beiden erstgenannten Standorten vor (Baum, Lipke, Löffler, Metzger, & Sauer, 2018) und (Wang, Oeser, Steinauer, & Hüben, 2018).

Die Auswertungen der Ergebnisse zur Studie „BAB A1“ ergaben eine Minderung der Stickoxidbelastung durch photokatalytisch aktive Oberflächen von einstelligen Prozentzahlen. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Entwicklung der Minderungsraten in Verbindung mit den Bewitterungsuntersuchungen über die Jahre der Messdatenaufnahme hinweg vermuten lassen, dass die auf den Lärmschutzwänden aufgetragene photokatalytische Suspension zum Teil mehrere Monate benötigt, um sich „frei zu brennen“ und die aktiven TiO_2-Partikel an die Oberfläche treten zu lassen. Vor diesem Hintergrund werden die in Straßennähe auftretenden, verkehrsbedingten Verunreinigungen auf den photokatalytischen Oberflächen der Lärmschutzwand als kontraproduktiv eingeschätzt, und die Autoren vermuten, dass dieses Phänomen bei einer Verwendung von Betonbauteilen, denen die TiO_2-Partikel unmittelbar zugesetzt werden, nicht auftritt.

Der eingangs erwähnte Aufsatz von Düring, Richard, & Ulonska aus 2018 ist erhältlich unter **www.bit.ly/35olnTu**.

Haben Betonsteine mit Titandioxid noch eine Zukunft?

Zum 9. März 2020 ist die Einstufung von Titandioxid als „Stoff mit Verdacht auf krebserzeugende Wirkung beim Einatmen“ in Kraft getreten (Delegierte Verordnung (EU) 2020/217 zur Änderung der CLP-Verordnung (Verordnung (EG) 1272/2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen)). Diese von der EU angeordnete Einstufung von

Fakten zu Titandioxid

- anorganischer, kristalliner Feststoff
- hergestellt aus Ilmenit- oder Rutilerz (Titaneisenerz)
- chemische Formel TiO_2
- lichtbeständig, thermisch und chemisch stabil
- nicht brennbar, nicht giftig, nicht wasserlöslich
- wichtigstes Weißpigment
- Anwendungen zum Beispiel Farben, Kunststoffe, Papier, Kosmetik, Lebensmitteln, Pharmazeutika, Bauprodukte, Keramik
- Erstmals wurde reines TiO_2 im Jahr 1821 von H. Rose hergestellt, das zur damaligen Zeit als Weißpigment in Künstlerfarbe diente. Die industrielle Herstellung und Vermarktung beginnt etwa in den 1920er Jahren.
- Weltweit werden etwa 6 Mio. t TiO_2 im Jahr hergestellt. 98 % der Produktion werden zu Farbpigment verarbeitet.

Laut einer Presseinformation des Verbandes der deutschen Lack- und Druckfarbenindustrie vom Juli 2020 haben mehrere Unternehmen der hauptbetroffenen Farbenindustrie sowie mehrere Hersteller des in vielen Industriebranchen als unverzichtbar geltenden Pigments TiO_2 Klage beim Europäischen Gericht gegen die Einstufung als „möglicherweise krebserregend beim Einatmen“ erhoben.

Quellen: (Koch, et al., 2020) und **www.forum-titandioxid.de**

Titandioxid bezieht sich nur auf das Einatmen von Titandioxidstäuben. Das heißt konkret, Titandioxid in Pulverform mit mindestens 1 % Partikel mit aerodynamischem Durchmesser ≤ 10 µm ist als „karzinogen Kategorie 2“ einzustufen. Nach Ende der 18-monatigen Übergangsfrist, das heißt ab dem 9. September 2021, werden entsprechende Regelungen verpflichtend. Dazu gehört unter anderem eine Kennzeichnungspflicht für pulverförmige Produkte und flüssige sowie feste Gemische mit einem entsprechenden Titandioxid-Gehalt.

Diese Regelungen gelten nicht für sogenannte „Erzeugnisse“ nach CLP-Verordnung. Bei diesen ist die spezifische Form, Oberfläche oder Gestalt funktionsbestimmender als die chemische Zusammensetzung. Unter diese Definition fallen Betonpflastersteine und andere Betonwaren, wie zum Beispiel Platten und Bordsteine. Damit sind diese Produkte, selbst wenn sie Titandioxid enthalten, nicht kennzeichnungspflichtig. Und das ist auch folgerichtig, denn das enthaltene Titandioxid ist fest in der Zementmatrix des Baustoffs eingebunden.

Müssen Betonwaren auf der Baustelle bearbeitet werden, zum Beispiel durch Sägen, Flexen oder Schleifen, kann Staub entstehen. Unabhängig davon, ob die Betonwaren Titandioxid enthalten oder nicht, ist die Staubbelastung bei diesen Arbeiten auf ein Minimum zu reduzieren. Die Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie (BG RCI) hat in 2020 unter anderem mitgeteilt: „Wenn der allgemeine Staubgrenzwert eingehalten wird, sind alle Maßnahmen getroffen, um die Beschäftigten wirksam vor Gefahren durch Titandioxid und andere ähnlich toxikologisch unbedenkliche, wasserunlösliche und biobeständige Partikel zu schützen. Eine Gefahr, an Lungenkrebs durch Einatmen von Titandioxid zu erkranken, ist bei Einhaltung des Arbeitsplatzgrenzwertes (AGW) nicht vorhanden.“

Bei nüchterner, sachlicher Betrachtung der Fakten muss man feststellen, dass von titandioxidhaltigen Betonwaren nach wie vor keinerlei Gefahren für die menschliche Gesundheit ausgehen. Ob in Anbetracht der in der Vergangenheit hier und da erkennbaren Panikmache und der auf einigen Baustellen eingetretenen Verunsicherung Betonsteine mit Titandioxid noch eine Zukunft haben, wird ganz allein der Markt entscheiden; verdient haben sie eine Zukunft allemal.

Literatur

Düring, I., Richard, J., & Ulonska, D. (Januar 2018). Wirkung von Maßnahmen zur Umweltentlastung – Betonpflasterbauweisen. (Kirschbaum Verlag, Hrsg.) Straßenverkehrstechnik, Heft 1/2018, S. 45 - 52. Bonn.

Gallus, M. et al. (Oktober 2016). Photocatalytic depollution in the Leopold II tunnel in Brussels: NOx abatement results. Building and Environment. 84, S. 125 - 133.

(DBU 2010) F. C. Nüdling Betonelemente GmbH + Co. KG, Fraunhofer Institut für Molekularbiologie und Angewandte Oekologie (2010). Verbesserung der Luftqualität durch photokatalytisches Pflaster. Gefördert durch Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), Förderkennzeichen: AZ 25306-31 [https://www.dbu.de/OPAC/ab/DBU-Abschlussbericht-AZ-25306.pdf], Fulda und Schmallenberg

Schlötzer C. et al. (2015). Wissenschaftliche Überprüfung der photokatalytischen Reaktion von TiO_2-Betonoberflächen des neuen Zentralen Omnibus-Bahnhofs in Detmold. Abschlussbericht Az 29963-23. Hochschule Ostwestfalen-Lippe, Fachbereich Bauingenieurwesen, Lehrgebiet Geotechnik. Detmold. Gefördert durch DBU – Deutsche Bundesstiftung Umwelt, Referat 14.

Baum, A. et al. (2018). Photokatalytische Oberflächen zur Minderung von Stickoxidbelastungen an Straßen – TiO2-Pilotstudie Lärmschutzwand. Bericht zum Forschungsprojekt F1100.6311000. Berichte der Bast, Verkehrstechnik Heft V 309, Bundesanstalt für Straßenwesen (Bast), Bergisch-Gladbach.

Wang, D. et al. (2018). Umweltfreundlicher Straßenbelag – photokatalytischer Stickstoffdioxidabbau unter Nutzung der Nanotechnologie. Bericht zum Forschungsprojekt FE 09.0146/2010/HRB. Berichte der Bast, Verkehrstechnik Heft V 310, Bundesanstalt für Straßenwesen (Bast), Bergisch-Gladbach.

Koch, T. et al. (Juni 2020). Titandioxid – Weißpigment und Photokatalysator. (Verlag Bau + Technik, Hrsg.) beton, Heft 6/2020, S. 216 - 221. Erkrath.

BG RCI (2020). Einstufung von Titandioxid – Information zur Einstufung und Kennzeichnung sowie zum Arbeitsschutz bei Tätigkeiten mit Titandioxid. Hrsg.: Berufsgenossenschaft Rohstoffe und chemische Industrie. Stand 26.02.2020. Quelle: **www.bit.ly/3IJHF93.**

Dr. Klaus Jansen
Geschäftsführer TUDALIT, Dresden

Gastbeitrag

Ökologische Aspekte von Carbonbeton

Beim Carbonbeton ersetzen Kohlenstofffasern den sonst üblichen Bewehrungsstahl. Dies bringt zahlreiche ökologische Vorteile mit sich. Carbonfasern sind korrosionsfrei und eignen sich deshalb besonders als langlebiger Verbundwerkstoff für Betonbauteile. Außerdem können dadurch schlankere Bauteile produziert und Beton eingespart werden. Ein wichtiger Aspekt, wenn es um ressourcenschonendes Bauen geht.

Dank Carbon Ressourcen sparen

Die meisten Betonbauteile erhalten ihre Zugfestigkeit durch den Einsatz von Stahl. Aber Stahl korrodiert, weshalb er mit einer Mindestbetondeckung geschützt werden muss. Dies führt dazu, dass zum Beispiel Plattendicken von 20 bis 30 cm, im Brückenbau sogar 50 bis 60 cm, durchaus üblich sind. Die Bewehrung aus Carbonfasern korrodiert nicht, weshalb die Betondeckung wesentlich dünner ausfallen kann. Zuweilen reichen schon 10 bis 15 mm aus, um die Kräfte einleiten zu können. Das bedeutet, dass bereits bei der Herstellung der Betonbauteile ein Großteil an Zement, Zuschlag und Wasser eingespart wird. Indessen bringt die Verschlankung der Bauteile weitere Vorzüge mit sich: Denn nicht nur bei der Herstellung, sondern auch beim Transport von Kies, Sand, Zementen und Co. fällt CO_2 an. Das heißt, wenn weniger Beton verbaut wird, müssen weniger Ausgangsstoffe auf die Baustelle beziehungsweise ins Fertigteilwerk transportiert werden. Und es geht noch weiter: Werden die Betonbauteile im Fertigteilwerk hergestellt, müssen sie nach der Herstellung auf die Baustelle gebracht werden. Je leichter sie sind, desto weniger Treibhausgase fallen bei ihrem Transport und ihrer Montage an. Ein weiterer Pluspunkt der innovativen Bewehrung ist, dass auch sie selbst um ein Vielfaches leichter und wesentlich dünner als üblicher Armierungsstahl ist. Das kann beispielsweise den Vorteil mit sich bringen, dass für eine Baustelle zwei Lkw-Ladungen mit normalem Bewehrungsstahl erforderlich sind, während bei einer Carbonbewehrung nur eine benötigt wird. Dieser Ansatz lässt sich, je nach Situation, auf weitere Logistikaspekte ausdehnen. Beispielsweise können bei einer vorgehängten Betonfassade, je nach Plattengröße, auch filigranere Befestigungselemente erforderlich sein oder gar die Dimensionierung der tragenden Gebäudestruktur reduziert werden.

Dauerhafter als Stahlbeton

Die Lebensdauer von Stahlbeton ist enorm von den Umgebungsbedingungen abhängig. Hier müssen sich die Verantwortlichen unter anderem fragen: Befindet sich das Bauwerk in Küstennähe? Ist es Frost-Tausalz ausgesetzt? Kann es zu großen Temperaturschwankungen kommen? Denn diese Aspekte können dazu führen, dass die Stahlbewehrung vom Rost angegriffen wird und die Konstruktion nicht mehr die anfallenden Lasten abtragen kann. Dann muss abgewogen werden, was ökonomischer ist – Sanierung oder Abriss und Neubau des Gebäudes. Ein gutes Beispiel sind hierfür viele Brücken in Deutschland. Je nach Situation können die Verantwortlichen schon nach 30 bis 40 Jahren vor dieser Entscheidung stehen. Und auch hier ist der Einsatz von Carbonbeton ein großer Schritt in die Zukunft. Auch wenn es bis jetzt noch keine Langzeiterfahrungen von circa 30 bis 40 Jahren gibt – dazu ist der Baustoff einfach noch zu jung –, kann man davon ausgehen, dass die Objekte auch über lange Zeit keine Korrosionsprobleme bekommen. Für glasfaserarmierte Betonfertigteile ist dieser Nachweis mit rund 10 Jahren Nutzungsdauer bereits erbracht, Carbonfertigteile sind seit mehr als acht Jahren im Einsatz und Glasfaserbeton seit rund 40 Jahren.

Recycelbar

Zu einem ökologischen Baustoff gehört selbstverständlich auch, dass er unproblematisch entsorgt oder – noch besser – recycelt werden kann. Hierzu führen einige Universitäten vielversprechende Forschungen durch. Neueste Untersuchungen haben gezeigt, dass sich sowohl Carbonstäbe als auch Carbongitter von der Betonmatrix trennen lassen. Einige Hersteller geben schon jetzt an, dass ihre textilen Bewehrungen problemlos recycelbar sind und als Fasern erneut dem Beton zugegeben werden können. Sobald sich dies kosteneffizient auf eine breite Masse von Carbonbewehrungen übertragen lässt, ist ein weiterer wichtiger Schritt in Richtung umweltschonenden Bauens getan.

Fazit

Carbonbeton ist ein neuartiger Baustoff, der zahlreiche Türen öffnet. Eine davon ist die in Richtung ökologischen Bauens. Bereits heute werden statisch relevante Bauteile vollständig mithilfe von Carbon bewehrt. Aufgrund der zahlreichen Vorteile, die die Carbonfasern mit sich bringen, wird der Anteil dieser Bewehrung in den nächsten Jahren noch zunehmen – auch wenn er die herkömmliche Bauweise voraussichtlich nicht vollständig ersetzen wird. Eine Hürde hierzu ist allerdings das Baurecht. Aktuell gibt es noch keine Normen für den neuen Verbundbaustoff, was bei jedem Bauprojekt in Deutschland die Zulassung im Einzelfall oder eine allgemeine bauaufsichtliche Zulassung erforderlich macht. Um das Bauen mit Carbonbeton – einem wirklich nachhaltigen Baustoff – zu erleichtern, wären entsprechende Normen sehr hilfreich. Organisationen wie TUDALIT, C³-Carbon Concrete Composite oder Composites United fördern zudem die Verbreitung von Wissen über textile Bewehrung und unterstützen so das Bauen mit Carbonbeton.

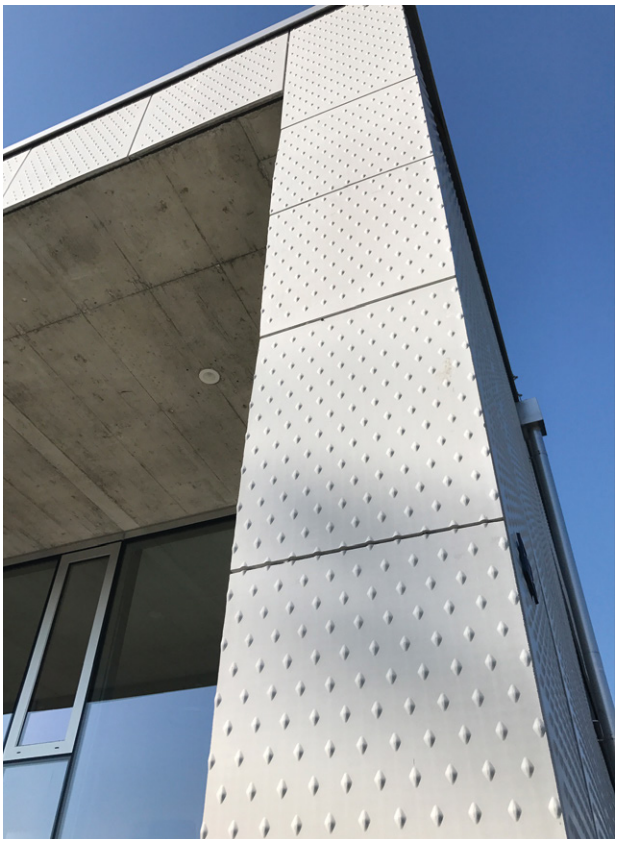
© Heringbau

Dieses Logistikgebäude wurde mit dem German Design Award ausgezeichnet. Für die gelochten, dünnen und beleuchteten Platten waren besonders geringe Toleranzen wichtig, was sich bei der Wahl der geeigneten Carbonbewehrung niederschlug.

© solidian

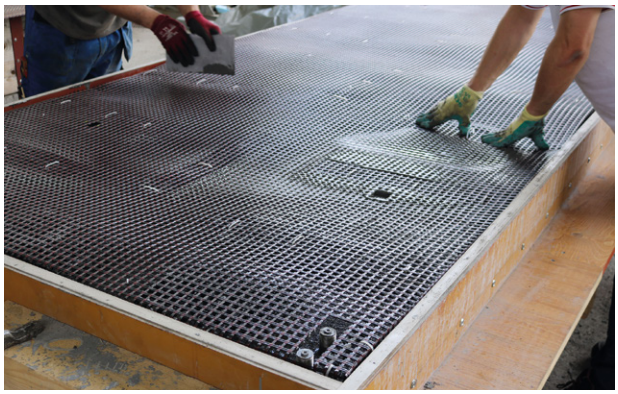
© solidian

Im Jahr 2015 wurde in Albstadt-Ebingen die weltweit erste Carbonbetonbrücke gebaut, die ohne Stahlbewehrung und Vorspannung auskommt.



© Wilhelm Kneitz Solutions in Textile GmbH

Die Fassade des Neubaus wurde mithilfe von Strukturmatrizen in Carbon bewehrtem Beton gestaltet.



© alphabeton

Der hölzerne Belag einer denkmalgeschützten Brücke in Zürich wurde erst durch Stahlbeton ersetzt, der im Laufe der Zeit altersbedingte Mängel aufwies. Im Zuge einer Sanierung kam später Carbonbeton zum Einsatz. Der Vorteil von Carbonbetonplatten: Sie sind ausgesprochen dünn.

RESSOURCENEINSATZ UND KREISLAUFWIRTSCHAFT

Knapper werdende Rohstoffe und zunehmende Deponieengpässe machen es unerlässlich, den Ressourceneinsatz im Bauwesen zu überdenken. Eine funktionierende Kreislaufwirtschaft spielt dabei eine wichtige Rolle. Es gilt, Bau- und Abbruchabfälle zu recyceln und in hoher Qualität wieder aufzubereiten sowie den Einsatz von Sekundärbaustoffen in neuen Bauprojekten deutlich zu erhöhen. Die deutsche Bauwirtschaft hat dies schon früh erkannt und sich bereits im Jahr 1995 als erste Branche gegenüber der Bundesregierung selbstverpflichtet, die Deponierung verwertbarer mineralischer Abfälle innerhalb von zehn Jahren zu halbieren. Dieses Ziel wurde deutlich übertroffen: Nach dem aktuellsten Monitoringbericht wurden im Jahr 2018 rund 90 % der angefallenen mineralischen Bauabfälle wiederverwertet. Dadurch werden Deponien entlastet und Primärrohstoffe geschont. Die Baubranche leistet also bereits heute einen wichtigen Beitrag zur Kreislaufwirtschaft. Gleichzeitig bestehen jedoch noch einige technische und administrative Hürden zur umfänglichen Umsetzung, beispielsweise wenn es um den Einsatz von Recycling-Beton geht.

© mahey – stock.adobe.com

Dipl.-Geol. Dr. Harald Elsner
EurGeol
Fachbereich B 1.2: Geologie der mineralischen Rohstoffe
Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe (BGR)
Deutsche Rohstoffagentur (DERA)
Im GEOZENTRUM HANNOVER

Gastbeitrag

Mineralische Baurohstoffe – haben wir noch genug?

Aktuell wird in den Medien und der Öffentlichkeit diskutiert, ob die Sand-, Kies- und Spilttvorkommen in Deutschland für alle anstehenden Baumaßnahmen verfügbar sind. Ausreichende Rohstoffvorkommen sind in Deutschland durchaus vorhanden. Vielmehr sind es konkurrierende Nutzungen, mangelnde Bereitschaft vieler Grundstücksbesitzer zum Verkauf oder langwierige Genehmigungsverfahren, die die Rohstoffindustrie vor große Herausforderungen stellt und damit die Verfügbarkeit der Vorkommen einschränkt.

Sand, Kies und Splitt sind die wichtigsten mineralischen Baurohstoffe zur Herstellung des bedeutendsten Baustoffs unserer Zeit: Beton. Nach Berechnungen des Bundesverbands der Deutschen Transportbetonindustrie wurden im Jahr 2018 zur Produktion von 52,7 Mio. m³ Transportbeton in Deutschland etwa 96,0 Mio. t Gesteinskörnung eingesetzt, davon circa 44 % Kies (42,2 Mio. t), 35 % Sand (33,6 Mio. t), 20 % Splitt (19,2 Mio. t) und 1 % (< 1 Mio. t) rezyklierte Gesteinskörnung. Für die Produktion von Betonfertigteilen und Betonwaren wurden weitere rund 17,0 Mio. t Kies und Splitt sowie 9,3 Mio. t Sand verwendet.

Aber auch andere Bausparten benötigen mineralische Baurohstoffe, so der Tiefbau mit 53,6 Mio. t Frostschutzkies und 27,5 Mio. t Tragschichtkies im Jahr 2018, die Asphaltproduktion, die Baustoffindustrie zur Herstellung von Putzen, Kleb-, Binde-, Dichtungs- und Spachtelmassen, die Kalksandsteinindustrie oder auch der Garten- und Landschaftsbau. Beim Bedarf von mineralischen Rohstoffen häufig vergessen wird zudem die deutsche Zementindustrie. Zur Herstellung von 33,7 Mio. t Zement im Jahr 2018 setzte sie insgesamt rund 51,1 Mio. t Rohstoffe ein, darunter nicht nur 38,6 Mio. t. Kalkstein, Mergel und Kreide, sondern auch 1,1 Mio. t Sand, 1,2 Mio. t Ton sowie Bentonit, Kaolin, Eisenerz, Ölschiefer, Trass, Gips und Anhydrit in erheblichen Mengen und natürlich eine große Bandbreite an Sekundärrohstoffen.

Deutschlandweite Gesamtproduktion und Verkaufsmengen

Die Gesamtproduktion von Baukies (gemeinsam mit Bausand) und gebrochenem Naturstein (Schotter/Splitt) in Deutschland wird statistisch vom Bundesverband Mineralische Rohstoffe (MIRO) erfasst. Dieser veröffentlichte für das Jahr 2018 in Deutschland – seit dem Jahr 1998 in stets fallender Anzahl:

- 1.910 Gewinnungsstellen von Sand und Kies, in denen 13.370 Mitarbeiter beschäftigt waren, sowie
- 742 Gewinnungsstellen von gebrochenem Naturstein, in denen 8.900 Personen beschäftigt waren.

Verkauft wurden im Jahr 2018:
- 259 Mio. t Bausand und -kies im Wert von 1,733 Mrd. € sowie
- 226 Mio. t gebrochener Naturstein im Wert von 1,632 Mrd. €.

Weil bis auf kaum noch vorhandene Vorratshalden von der deutschen Gesteinsindustrie nur bei entsprechendem Bedarf produziert wird, entspricht die Verkaufsmenge in etwa der Produktionsmenge.

Dabei steigt der Bedarf an mineralischen Baurohstoffen nach rund zwei Jahrzehnten des kontinuierlichen Rückgangs seit dem Jahr 2012 wieder leicht an und so stellt sich die Frage: Haben wir noch genug?

Sand- und Kiesvorkommen in Deutschland

Bausand und -kies sind mit wenigen regionalen Ausnahmen flächenhaft verbreitet. Bei diesen regionalen Ausnahmen handelt es sich im Wesentlichen um die deutschen Mittelgebirge und die Alpen, in denen naturgemäß Festgesteine bis an die Erdoberfläche reichen. Hier finden sich statt Sand- und Kiesgruben die ebenso wichtigen Steinbrüche von Hartgesteinen.

Ganz Norddeutschland ist bis weit nach Sachsen hinein in den Eiszeiten mehrfach vom Inlandeis aus Skandinavien überfahren worden. Dieses brachte riesige Mengen an Schutt mit, der auf dem Weg nach Süden immer weiter zermahlen wurde. In weiten, von mäandrierenden Flüssen durchströmten Ebenen und in einzelnen Tälern wurde der Schutt in Form von Sand und Kies weiter transportiert und dabei sortiert und aufbereitet. Als Folge davon sind in den ehemals von Gletschern bedeckten Gebieten Norddeutschlands heute sehr große Mengen an Sand und Kies vorhanden. In diesen eiszeitlichen Sandebenen und Urstromtälern wurde der gröbere und schwerere Kies jedoch bald wieder abgelagert und nur der Sand weiter transportiert. Dies bedeutet, dass zwar in ganz Norddeutschland Kiessand sehr weit verbreitet ist, jedoch der Kiesanteil darin gering und der Sandanteil sehr hoch ist. So liegt der Kiesanteil („Körnung“) im Kiessand gewöhnlich bei maximal 10 %, was für die Bauindustrie uninteressant ist.

Auch alle deutschen Flüsse, darunter besonders der Rhein und die Elbe, haben seit Jahrhunderttausenden sehr große Mengen an Gesteinsschutt aus ihren Einzugsgebieten flussabwärts transportiert und dabei zu hochwertigem Bausand und -kies aufbereitet. Alle mürben und zerbrechlichen Minerale wurden während des Flusstransports zermahlen und nur die harten, widerstandsfähigen, von der Bauindustrie gesuchten Kiese und Sande blieben zurück. Bei diesem Transport flussabwärts wird aber auch Schotter und Kies immer weiter zerrieben, so dass der Sandanteil sukzessive zunimmt. Dementsprechend enthalten die Rheinablagerungen bei Basel über 90 % Kies, bei Karlsruhe bis zu 70 % Kies, bei Mainz bis zu 50 % Kies und am Niederrhein nur noch bis zu 30 % Kies. Im Bereich der Elbe liegt die „Kiesgrenze“ auf Höhe Leipzig – südlich davon enthalten die Kiessande meist mehr als 50 %, nördlich davon weniger als 50 % Kies.

Verfügbarkeit der geologischen Ressourcen

Sand ist in Deutschland also heute weiter verbreitet als Kies und die zur Splittherstellung genutzten Hartgesteine – diese mineralischen Baurohstoffe sind aber alle zumindest aus geologischen Gesichtspunkten keine Mangelware. Ganz anders sieht es bei der Verfügbarkeit der geologischen Ressourcen in der Praxis aus:

- Ein Großteil der Rohstoffvorkommen Deutschlands ist durch konkurrierende Nutzungen wie Wasserschutz-, Naturschutz-, Landschaftsschutz-, Fauna-Flora-Habitat (FFH)-, Natura-2000- und andere Schutzgebiete sowie natürlich Wohngebiete, Straßen und Eisenbahnlinien teils mehrfach überplant und damit sind diese potenziellen Lagerstätten nicht gewinnbar.

- Kaum noch ein Grundstücksbesitzer will seine Flächen für einen Rohstoffabbau zur Verfügung stellen. In Zeiten niedriger Zinsen und weiterhin stark steigender Preise für Ackerland lohnt es sich für Landwirte nicht – selbst bei guten Angeboten der Rohstoffindustrie – ihre Flächen zu verkaufen oder zu verpachten. Falls Flächen zur Verfügung gestellt werden, wird für die Folgenutzung auch eine Verfüllung zur land- oder forstwirtschaftlichen Nachnutzung erwartet. Eine derartige Verfüllung ist jedoch schwierig, da auf dem Baustoffmarkt kein genehmigungsrechtlich zugelassenes Füllmaterial in ausreichenden Mengen zur Verfügung steht.

- Genehmigungsverfahren werden immer aufwendiger und dauern immer länger. Nach einer aktuellen Umfrage des Bayerischen Industrieverbands Baustoffe, Steine und Erden (BIV) berichten die dortigen Mitgliedsunternehmen, ihre Produktion mittlerweile um durchschnittlich 12 % gedrosselt zu haben, um die genehmigten Reserven zu schonen. Wie auch in vielen anderen Regionen Deutschlands werden dort von den Fachbehörden vorgeschlagene Ersatzflächen für den Rohstoffabbau anderweitig überplant und laufende Genehmigungsverfahren vor allem auf kommunaler Ebene abgelehnt.

Fazit

Die wichtigen mineralischen Baurohstoffe Sand, Kies und Splitt, die beispielsweise für den Ausbau und Erhalt unserer Infrastruktur eine entscheidende Rolle spielen, sind in Deutschland ausreichend vorhanden. Sie aber auch verbrauchernah gewinnen zu können, gestaltet sich aus den vorgenannten Gründen schwierig. Dies sind die aktuellen Herausforderungen, denen sich die gesamte Baustoffindustrie und damit auch die gesamte von ihr abhängige Bauindustrie stellen muss und die gleichermaßen auch Auswirkungen auf die Durchführungen von Projekten des Wohnungsbaus und der Verkehrsinfrastruktur haben.

bbs-Studie: Primär- und Sekundärrohstoffe bis 2035

Langfristige Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und Erden-Industrie

Rund 564 Mio. t Primärrohstoffe wurden 2016 nachgefragt. Je nach Szenario rechnet man bis zum Jahr 2035 mit einem Bedarf an primären Rohstoffen zwischen 555 Mio. t bis 650 Mio. t. Davon entfielen im Jahr 2016 auf Sand, Kies und Naturstein 247 Mio. t, bis 2035 wird eine Nachfrage zwischen 240 Mio. t und 278 Mio. t prognostiziert. Die Substitutionsquote durch Sekundärbaustoffe ist berechnet mit ca. 13,6 %. Grundlage dieser Berechnungen sind Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung. Die bbs-Studie zeigt deutlich, dass auch in Zukunft insbesondere die regionale Gewinnung von Rohstoffen für das gesamtwirtschaftliche Wachstum notwendig ist.

Der Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden (bbs) hat 2019 die nunmehr dritte Auflage der Studie „Die Nachfrage nach Primär- und Sekundärrohstoffen der Steine- und-Erden-Industrie bis 2035 in Deutschland“ veröffentlicht. Auftragnehmer des Gutachtens waren erneut das Deutsche Institut für Wirtschaftsforschung (DIW) Berlin und die SST Ingenieurgesellschaft Aachen.
Ziel der Studie ist die Abschätzung der Nachfrage nach Steine-Erden-Rohstoffen bis 2035 unter Zugrundelegung zweier Szenarien zur volkswirtschaftlichen Entwicklung sowie den Substitutionspotenzialen durch Sekundärrohstoffe.

Wirtschaftliche Dynamik bestimmt im Wesentlichen die zukünftige Nachfrage nach Primärrohstoffen

Ausgangspunkt der Berechnungen ist eine empirische Bestandsaufnahme. Hierbei sind die Verbrauchsmengen mineralischer Primär- (unter anderem Kies/Sand, Naturstein) und Sekundärrohstoffe (zum Beispiel Steinkohlenflugasche) sowie deren Einsatz in den Abnehmerbranchen (wie beispielsweise Baubereich, Eisen/Stahl, Chemie) für das Basisjahr 2016 ermittelt worden. Um die zukünftige Entwicklung in den nachgelagerten Branchen abzuschätzen, wurden durch das DIW – ausgehend von Annahmen zum demografischen Wandel, dem Arbeitskräfteangebot und dem Produktivitätsfortschritt – zwei volkswirtschaftliche Szenarien modelliert (oberes/unteres Szenario). Je nach Szenario liegt das durchschnittliche reale Wachstum der Gesamtwirtschaft bis 2035 bei 0,8 oder 1,7 % pro Jahr. Hieraus können die jährlichen realen Wachstumsraten in den nachgelagerten Wirtschaftsbereichen errechnet werden. Dem Bausektor als Hauptabnehmer von Steine-Erden-Gütern kommt eine gesonderte Analyse zu. Nach entsprechender Fortschreibung kann aus den errechneten Produktionsmengen der Abnehmerbranchen im Jahr 2035 die Nachfrage nach den Primärrohstoffen abgeleitet werden.

Die Gewinnung von Steine-Erden-Rohstoffen bleibt auch in Zukunft notwendig.

© javier Alamo – pixabay.com

© Engin_Akyurt – pixabay.com

Sekundärrohstoffe und Strukturwandel als weitere Determinanten der Primärrohstoffnachfrage

Bei diesen konzeptionellen Überlegungen müssen zwei weitere Aspekte Berücksichtigung finden:

1. Das vom DIW errechnete monetäre Produktionswachstum ist nicht 1:1 auf die mengenmäßige Rohstoffnachfrage übertragbar. Grund hierfür ist ein Strukturwandel, der im Betrachtungszeitraum stattfindet. Produktinnovationen und der Absatz höherwertiger Produkte erhöhen das monetäre Produktionswachstum, ohne einen Mehrverbrauch an Rohstoffen zu generieren. Ein solcher Strukturwandel ist auch im Baubereich zu erkennen. Eine vom bbs erstellte Analyse zeigt, dass sich seit 2007 Bauinvestitionen und Baustoffproduktion um etwa 1 % pro Jahr auseinanderentwickeln. Gründe hierfür sind unter anderem ein zunehmender Anteil der technischen Gebäudeausrüstung im Hochbau sowie eine Verschiebung vom materialintensiven Neubau hin zu Erhaltungsinvestitionen im Tiefbau. Um diesen Entwicklungsprozessen Rechnung zu tragen, wurden Korrekturfaktoren festgelegt, die mit dem jährlichen monetären Produktionswachstum verrechnet wurden.

2. Sekundärrohstoffe können Primärrohstoffe substituieren. Das Aufkommen an Sekundärrohstoffen ist abhängig von der Entwicklung der jeweils zugrundeliegenden Prozesse (Industriestruktur, Energieerzeugung, Abbruchtätigkeit). Künftig werden sich Prozesse ändern, sodass dies über das Aufkommen der Sekundärrohstoffe Einfluss auf die Nachfrage nach Primärrohstoffen hat. Die Autoren dieser Studie widmen sich verstärkt dem Thema Energiewende beziehungsweise der künftigen Energieerzeugung. Grund hierfür ist die besondere Bedeutung der Kohleverstromung für einige Baustoff-Steine-Erden-Produkte. So wird der Rückgang der Kohleverstromung einen negativen Effekt auf das Aufkommen der Kraftwerksnebenprodukte REA-Gips und Steinkohlenflugasche haben. Zudem wird eine verstärkte Nachfrage nach Naturgips zu verzeichnen sein, um das verringerte Aufkommen an REA-Gips zu kompensieren. Grundlage für die Berechnungen in der Studie sind die Empfehlungen des Abschlussberichtes der Kommission „Wachstum, Strukturwandel und Beschäftigung“.

Gewinnung von Steine-Erden-Rohstoffen bleibt in erheblichem Umfang notwendig

Die Studie zeigt, dass bei einer höheren Wachstumsdynamik (oberes Szenario, Ø BIP-Wachstum 2016 bis 2035: 1,7 % p.a.) die Nachfrage nach primären Steine-Erden-Rohstoffen von rund 564 Mio. t im Jahr 2016 auf 650 Mio. t im Jahr 2035 steigen wird. Dies hängt insbesondere mit der stärkeren Bautätigkeit in diesem Szenario zusammen. Im unteren Szenario (Ø BIP-Wachstum 2016 bis 2035: 0,8 % p.a.) wird die Nachfrage leicht sinken und 2035 bei 555 Mio. t liegen. Das bedeutet, dass auch in Zukunft die Gewinnung von Steine-Erden-Rohstoffen in erheblichem Umfang notwendig ist, um das gesamtwirtschaftliche Wachstum abzusichern. Gleichwohl wird das hohe Niveau der 1990er Jahre mit Gewinnungsmengen von über 700 Mio. t – auch bei guten wirtschaftlichen Rahmenbedingungen – nicht mehr erreicht.

Sekundärrohstoffe leisten auch künftig aktiven Beitrag zur Ressourcenschonung

Das Aufkommen an Sekundärrohstoffen wird je nach Szenario im Jahr 2035 bei 88 bis 98 Mio. t liegen (2016: 102 Mio. t). Die in der Studie ebenfalls untersuchte relative Bedeutung der Sekundärrohstoffe (Substitutionsquote) sinkt von 15,3 % (2016) auf 13,2 % (oberes Szenario) beziehungsweise 13,6 % (unteres Szenario) im Jahr 2035. Dies ist insbesondere auf die Energiewende zurückzuführen, da der Ausstieg aus der Kohleverstromung zu einem Wegfall der Kraftwerksnebenprodukte REA-Gips und Steinkohlenflugasche führt. Für Sekundärrohstoffe, die in anderen Prozessen beziehungsweise Industrien anfallen, kann nicht mit einer starken Ausweitung gerechnet werden. Trotz dieser Entwicklung wird der Einsatz von Sekundärrohstoffen auch künftig einen wichtigen Beitrag zur Substitution primärer Rohstoffe leisten und damit aktiv zur Ressourcenschonung beitragen (siehe Grafik rechts).

Kies/Sand und Naturstein mit deutlichen Zuwächsen im oberen Szenario

Im oberen Szenario steigt die Nachfrage nach Kies/Sand von 247 Mio. t im Jahr 2016 auf rund 278 Mio. t im Jahr 2035 und liegt damit über dem langfristigen Durchschnitt (2000 bis 2016) von gut 260 Mio. t. Positiv wirkt sich dabei die Entwicklung im Tiefbau aus: Dieser wächst um 1,9 % pro Jahr – entsprechend stark ist die Nachfrage aus diesem Bausegment. Im unteren Szenario sinkt die Nachfrage nach Sand/Kies auf knapp 240 Mio. t und folgt damit der annahmegemäß verhaltenen Baukonjunktur. Der Tiefbau wächst hier lediglich um 1 % pro Jahr. Wachstumsimpulse aus dem Hochbau (Neubau), die indirekt über Ortbeton und Betonbauteile als größte Abnehmer von Kies/Sand (47 %) auf die Nachfrage wirken, sind in beiden Szenarien begrenzt.

Die Nachfrage nach Naturstein steigt im oberen Szenario auf 265 Mio. t und damit deutlich über die durchschnittliche Produktion von 220 Mio. t, die im Zeitraum von 2000 bis 2016 erreicht wurde. Die merkliche Nachfragesteigerung ist – wie beim Rohstoff Kies/Sand – auf das relativ starke Wachstum im Tiefbau zurückzuführen. Über 50 % der Produktionsmenge von Naturstein gehen in dieses Bausegment. Im unteren Szenario wächst die Nachfrage nach dem Rohstoff entsprechend der verhaltenen Wirtschaftsentwicklung nur leicht auf 223 Mio. t.

Teilweise deutliche Rückgänge bei Hochofenschlacke und Steinkohlenflugasche bis 2035

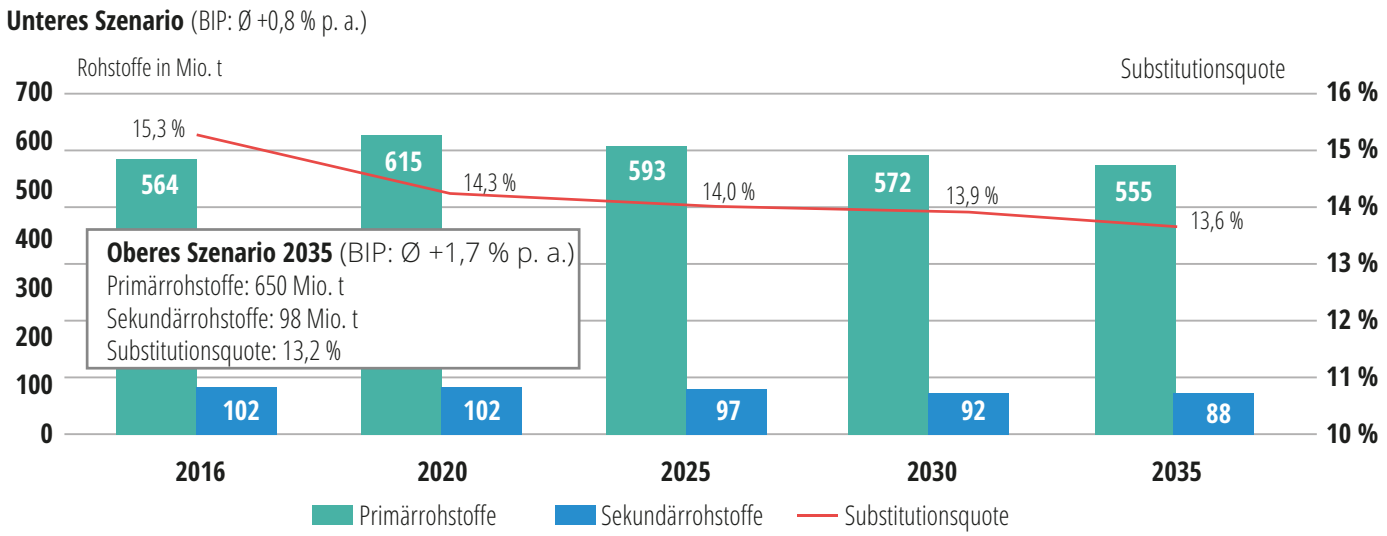
Den Berechnungen zufolge sinkt das Aufkommen an Hochofenschlacke (Hüttensand) im oberen Szenario von 7,5 Mio. t (2016) auf 7,0 Mio. t (2035). Hochofenschlacke ist als Sekundärrohstoff an die Roheisenerzeugung gekoppelt. Hintergrund des Rückgangs sind strukturelle Veränderungen in der Eisen- und Stahlindustrie. Gleiches gilt für das untere Szenario. Hier sinkt die Produktionsmenge bedingt durch die verhaltene wirtschaftliche Entwicklung noch etwas stärker und liegt 2035 bei 6,7 Mio. t.

Die Produktionsmenge von Steinkohlenflugasche (2016: 3,1 Mio. t) wird mit dem Ausstieg aus der Kohleverstromung sukzessive sinken. Den Berechnungen zufolge liegt die Menge im Jahr 2035 bei 0,3 Mio. t (2038: 0,0 Mio. t). Die wegfallenden Mengen an Steinkohlenflugasche, die vorrangig in der Beton- (76 %) und Zementproduktion (10 %) eingesetzt werden, können zum Beispiel durch den vermehrten Einsatz von Kalkstein als weiterem Zementhauptbestandteil kompensiert werden.

Anpassungen im Planungsrecht und der Genehmigungspraxis notwendig

Insgesamt zeigt die Studie, dass zur Absicherung des gesamtwirtschaftlichen Wachstums und zur Kompensation wegfallender Sekundärrohstoffe auch zukünftig erhebliche Mengen an Primärrohstoffen benötigt werden. Um klimafreundlich auf kurzen Transportwegen eine flächendeckende Versorgung sicherzustellen, ist der Zugang zu heimischen Rohstoffen vor allem durch eine Modernisierung der planungs- und genehmigungsrechtlichen Instrumente sowie eine höhere Akzeptanz zu verbessern.

Die Studie kann unter **www.bit.ly/2wSavzD** heruntergeladen werden.



Quelle: bbs-Rohstoffstudie

Gastbeitrag

Beton als Rohstoff

Beton weist eine ganze Reihe von Eigenschaften auf, die ihn zu einem idealen Baustoff machen, der seit der Antike genutzt wird. Als natürlicher Baustoff mit einer hohen Langlebig- und Wirtschaftlichkeit, hervorragenden bautechnischen und bauphysikalischen Eigenschaften (Schutz vor Feuer, Wärme, Wasser, organischem Angriff), hoher regionaler Verfügbarkeit, guter Formbarkeit und Verarbeitungsfähigkeit sowie der Möglichkeit des kombinierten Einsatzes mit anderen Baustoffen, wird er zu Recht als Baustoff des 21. Jahrhunderts bezeichnet.

Eine besondere Eigenschaft, die Beton von anderen industriellen Produkten unterscheidet, ist seine gute Recyclingfähigkeit, so kann der Baustoff mehrere Lebenszyklen durchlaufen. Im Rahmen der Kreislaufwirtschaft und der Ressourcenschonung kommt dieser Eigenschaft eine besondere Bedeutung zu.

Generell lassen sich zwei Stoffströme ausweisen:

- Beton, der unmittelbar bei der Produktion im Transportbeton- oder Betonfertigteilwerk oder als Frischbeton auf der Baustelle in Form von Übermengen oder Fehlchargen anfällt und
- Beton, der nach Ablauf der Nutzungsdauer von Gebäuden, aber auch Infrastruktureinrichtungen als mineralischer Abfall im Rahmen von Rekonstruktion oder Neubau im Bauprozess anfällt.

Beton aus dem Produktionsprozess

Betonwerke verfügen über geschlossene Stoffkreisläufe. Übermengen an Frischbeton werden in der Recyclinganlage des Werks in ihre Bestandteile zerlegt. Hier werden die Gesteinskörnung und das Restwasser voneinander getrennt. Die Gesteinskörnung steht damit erneut für die Produktion von Beton zur Verfügung. Das Restwasser wird nach der Abtrennung der Feinbestandteile in den Wasserkreislauf zurückgeführt. Entstehen im Betonfertigteilwerk im Rahmen der Qualitätskontrolle Fehlchargen, weil beispielsweise bestimmte Qualitätsparameter nicht erfüllt sind, werden die Betonprodukte gebrochen und wieder aufbereitet in den Produktionsprozess eingestellt.

Beton im mineralischen Abfall

Beton, der beim Abriss alter Bausubstanz im Hoch- oder Tiefbau anfällt, unterliegt der Abfallgesetzgebung und ist als mineralischer Abfall einzustufen. Damit aus dem Abfall wieder eine Gesteinskörnung wird, muss er einen langen Weg durchlaufen und qualitative Anforderungen, die in technischen Normen (zum Beispiel Verwendung im geregelten Straßenbau) und Umwelterlassen (zum Beispiel Umweltparameter in Abhängigkeit der Einbauweise) festgeschrieben sind, erfüllen. Dieser Weg ist oft nicht einfach. So treten immer wieder wirtschaftliche, technische aber auch administrative Probleme auf, die den Weg des mineralischen Abfalls zum Recycling-Baustoff begleiten.

In der Vergangenheit sind immer wieder Studien vorgelegt worden, die das Modell des urbanen Bauwerksspeichers in den Mittelpunkt einer zukünftigen Rohstoffversorgung stellen. In einer vom Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung in Auftrag gegebenen Studie von 1998 (Prognose der mittel- und langfristigen Nachfrage nach mineralischen Baustoffen, Bonn 1998), in der der Umfang der Nutzung des urbanen Rohstofflagers zum ersten Mal quantifiziert wurde, ging man davon aus, dass im Jahr 2020 rund 100 Mio. t Recycling-Baustoffe im Hochbau eingesetzt werden.

Um die mengenmäßigen Möglichkeiten der Bereitstellung von Recycling-Baustoffen einschätzen zu können, ist ein Blick auf die Massenströme von mineralischen Abfällen notwendig, die die Basis für das Baustoff-Recycling bilden. Im Jahr 2016 sind in Deutschland 214,6 Mio. t mineralischer Abfälle angefallen. Davon sind allein 125,2 Mio. t der Abfallart „Boden, Steine und Baggergut“ zuzuordnen, die beispielsweise als Bodenaushub im Rahmen von Baumaßnahmen anfallen und nicht zur Herstellung von Recycling-Baustoffen geeignet sind. Rund 16. Mio. t entfallen auf Straßenaufbruch (vor

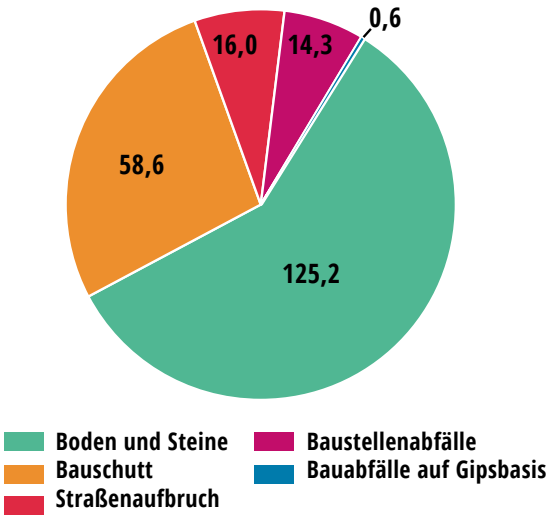
Bert Vulpius
Geschäftsführer Unternehmerverband Mineralische Baustoffe (UVMB)

Dr. Bernd Susset
Geschäftsführer Qualitätssicherungssystem Recycling-Baustoffe Baden-Württemberg,
Umweltreferent des Industrieverbandes Steine und Erden Baden-Württemberg,
Lehrbeauftragter und wissenschaftlicher Angestellter am Zentrum für Angewandte Geowissenschaften
der Universität Tübingen (Mathematische-Naturwissenschaftliche Fakultät)

allem Asphaltmischgut), der zu 95,4 % recycelt wird. Baustellenabfälle (14,3 Mio. t) und Bauabfälle auf Gipsbasis (0,6 Mio. t) liefern ebenfalls keine geeigneten Rezyklate für die Betonherstellung.

Ausgehend von den stofflichen Eigenschaften steht für die Herstellung von Recycling-Baustoffen nur die Bauschuttfraktion zur Verfügung, deren Menge sich seit Jahren stabil in der Größenordnung von rund 60 Mio. t beläuft. Nur diese mineralischen Abfälle sind letztlich für die Herstellung von RC-Baustoffen geeignet. Allein diese Zahl zeigt, in welchen Dimensionen das Potenzial des urbanen Rohstofflagers und insbesondere der Einsatz im Hochbau heute immer noch überschätzt werden. Zudem besteht das Problem der räumlichen und zeitlichen Disparitäten vor dem Hintergrund wirtschaftlicher Transportentfernungen von 25 bis 30 km. So fällt Bauschutt oft dort an, wo abgerissen, aber kaum noch gebaut wird. Nach einer Untersuchung des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung (Deilmann et al.: Materialströme im Hochbau – Potenziale für eine Kreislaufwirtschaft; Bonn 2016) entsteht mittelfristig eine Situation, in der regional Mangel an hochwertigem Recyclingmaterial einerseits und gleichzeitiger Überschuss anderenorts besteht. Deshalb können die theoretischen Recyclingpotenziale nicht ausgenutzt werden. Weiter wird prognostiziert, dass bei einem maximalen

Mineralische Bauabfälle 2016 in Mio. Tonnen



Zusammensetzung der Mineralischen Bauabfälle (nach 11. Monitoring-Bericht der Kreislaufwirtschaft Bau, 2018, www.bit.ly/3dMq7oq)

mineralischen Gesamt-Output aus dem Hochbau in Höhe von 89 Mio. t im Jahr 2050 (abzüglich 8 Mio. t kreisläufig in den Hochbau zurückgeführter Sekundärrohstoffe) rund 81 Mio. t in den Tiefbau gehen würden. Von 100 Mio. t eingesetzten recycelten Gesteinskörnungen im Hochbau (Beton) ist und bleibt man demnach noch sehr weit entfernt.

Aber auch die Bauschuttfraktion bedarf einer näheren Betrachtung. Sie schließt ein breites Spektrum von Stoffen ein. Hierzu gehören neben Beton nach den Abfallschlüsselnummern Ziegel, Fliesen, Keramik und auch Gemische aus diesen Stoffen. Bei der Betrachtung der Recyclingfähigkeit der Bauschuttfraktion muss ebenfalls die Abgrenzung zu Bodenmaterial betrachtet werden. Bauschutt schließt oftmals im großen Umfang Bodenmaterial mit ein, weil Bodenmaterial mit mineralischen Fremdbestandteilen (zum Beispiel Bauschutt, Schlacke, Ziegelbruch) von mehr als 10 Vol.-% mit der passenden Bauschuttabfallschlüsselnummer der Untergruppe 17 01 (Beton, Ziegel, Fliesen und Keramik) zu bezeichnen ist.

Aus der Zusammensetzung der Bauschuttfraktion wird deutlich, dass sich für die Herstellung von Gesteinskörnungen zur Verwendung in Beton schon allein unter bauphysikalischen Gesichtspunkten nur ein sehr geringer Teil der Bauschuttfraktion eignet, der im Wesentlichen auf die Abfallschlüsselnummer 170101 (Beton) beschränkt ist.

Vom mineralischen Abfall zum Recycling-Baustoff

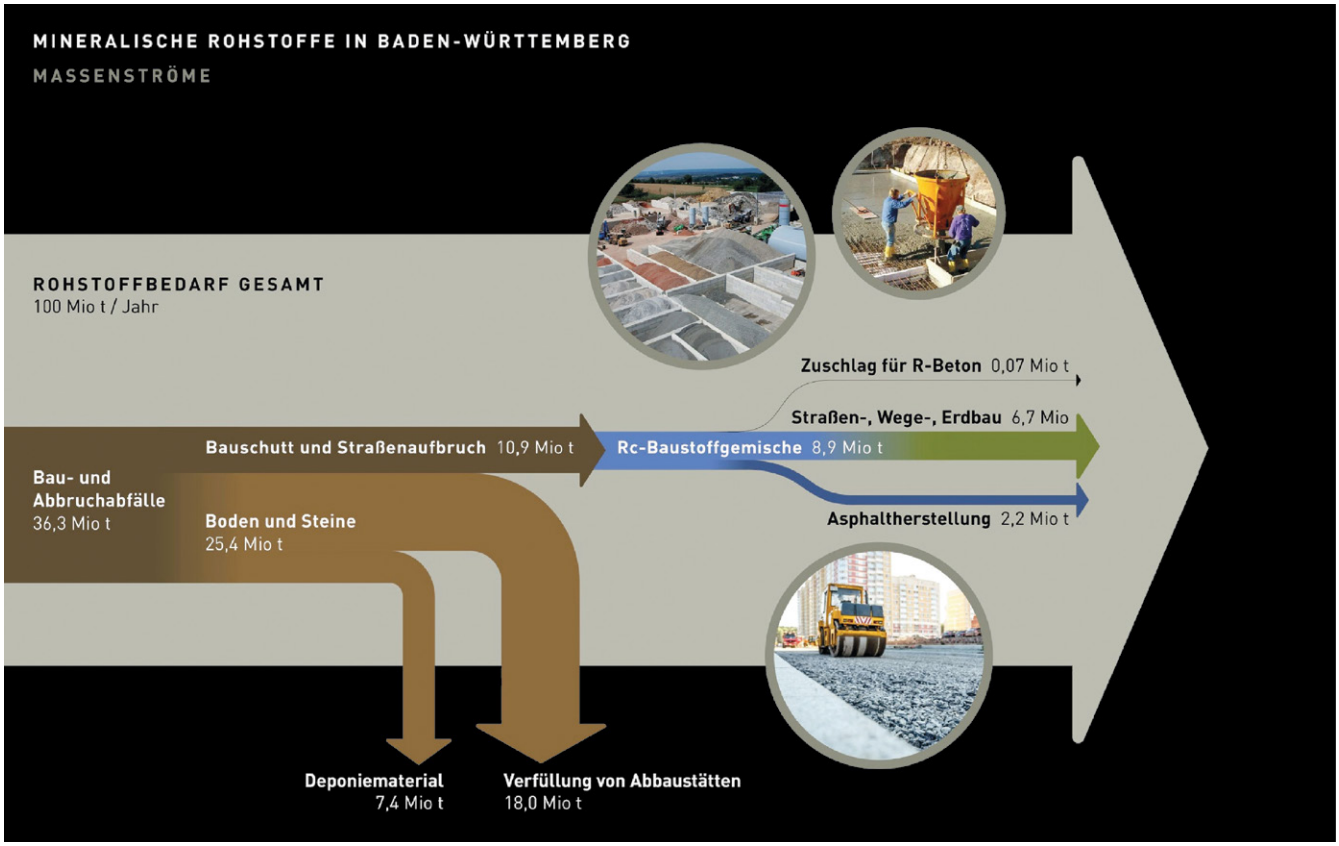
Damit aus einem mineralischen Abfall auch ein Recycling-Baustoff werden kann, ist ein fachgerechter Rückbau der alten Bausubstanz notwendig. Die Entscheidungen, die Art und Umfang des Recyclings sowie die Materialeigenschaften bestimmen, fallen auf der Baustelle am Entstehungsort der mineralischen Abfälle. Durch einen selektiven sortenreinen Rückbau, bei dem gezielt Störstoffe (Holz, Kunststoffe, Gipsbaustoffe, Stahl, Putze, Mörtel usw.) entfernt werden, ist es möglich, die Recyclingquote zu optimieren. Derartige Rückbaukonzepte müssen in die Ausschreibungsunterlagen Eingang finden und auch finanziell bei der Auftragserteilung berücksichtigt werden.

© Industrieverband Steine und Erden Baden-Württemberg

Selektiver Rückbau bietet gute Möglichkeiten für ein optimales Ergebnis beim Recycling.

Die Herstellung von Gesteinskörnungen für Beton stellt schon im Input des Aufbereitungsprozesses die höchsten Anforderungen an das Ausgangsmaterial. In der Regel eignet sich hierfür nur reiner Betonabbruch mit gewissen Anteilen an sortenreinem tongebundenen Ziegelmaterial. Dieses Material kann aufbereitungstechnisch beherrscht werden. Es muss grundsätzlich frei von Gipsbaustoffen sein, da diese einen späteren Einsatz im Beton ausschließen (Sulfattreiben). Im Moment ist derartig hochwertiges Ausgangsmaterial nur begrenzt verfügbar. Vor allem durch die Unsicherheit der öffentlichen Abnehmer von Recycling-Baustoffen hat sich schon heute eine „Rosinenpickerei" im Bereich des Baustoff-Recyclings etabliert, wonach nur noch Beton-Rezyklate hoffähig zu sein scheinen. Weiterhin ist eine zunehmende Sogwirkung auf Betonabbruchmaterial zur Herstellung von R-Beton zu befürchten, die dazu führen kann, dass dem Bauschutt- und Abbruchmaterial seine hochwertigsten Bestandteile entzogen werden.

Gleichzeitig gibt es für Betonrecycling einen großen Markt im qualifizierten Straßentiefbau bei vergleichbaren Material-, Prüf- und Überwachungsanforderungen und mengenmäßig höheren Verwer-



© Statisches Landesamt Baden-Württemberg, Abfallbilanz 2015; Landesamt für Geologie, Rohstoffe und Bergbau, Rohstoffbericht Baden-Württemberg 2012/2013; ISTE

tungsquoten für das Inputmaterial. Da die Umweltanforderungen an recycelte Gesteinskörnungen zumindest in der offenen Bauweise in der Regel höher sind als im Hochbau, ist man aus Umweltschutzgründen im Tiefbau auf gering verunreinigte Materialien angewiesen. Mengenmäßig sind die Recyclingpotenziale viel höher: Während im Straßentiefbau Recyclingmaterial als Mineralgemisch im Kornspektrum von 0 bis 56 mm eingesetzt und damit fast vollständig recycelt werden kann, werden im Beton Gesteinskörnungen nur im Kornspektrum 8 bis 16 mm und vereinzelt auch von 4 bis 8 mm eingesetzt. Für die im Aufbereitungsprozess (Brechen des Korns) entstehende Feinfraktion kleiner 4 mm, und das sind immerhin rund 25 Masse-%, gibt es gegenwärtig kaum Einsatzmöglichkeiten.

Die mengenmäßig begrenzte Verfügbarkeit von Ausgangsmaterial für das Betonrecycling, der technische, administrative und wirtschaftliche Aufwand zur Herstellung von rezyklierten Gesteinskörnungen und das Angebot an natürlichen Gesteinskörnungen führen dazu, dass gegenwärtig der praktische Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen hinter den technischen Möglichkeiten zurückbleibt und im Wesentlichen auf den Straßen-, Wege- und Erdbau beschränkt ist.

Angesichts der sehr geringen Mengen stellt sich die Frage, bei welchen Projekten RC-Baustoffe zur Herstellung von Beton eingesetzt werden und wo die Marktchancen liegen. Bisher wurden diese Baustoffe in hochurbanen Räumen mit Verkehrsproblemen und mangelnder Verfügbarkeit von natürlichen Gesteinskörnungen eingesetzt. Überall dort, wo innerstädtische Bauwerke, die vornehmlich aus Beton in einer Technologie, einem Alter und ähnlicher Zusammensetzung errichtet wurden, abgerissen werden und Neubauprojekten weichen, haben rezyklierte Gesteinskörnungen gute Marktchancen im Hochbau vor Ort wieder eingesetzt zu werden.

© ISTE

Baustoffrecyclinganlage: Im Vordergrund Lager mit verschiedenen Recycling-Produkten, im Hintergrund unterschiedliche mineralische Abfälle (Böden, Ziegel- und Betonbruch), die differenziert aufbereitet werden.

Weiterhin wurden in Leuchtturmprojekten der öffentlichen Hand Gesteinskörnungen für Beton aus RC-Baustoffen eingesetzt und zum Teil erheblich subventioniert. Derartige Subventionen sind kritisch zu hinterfragen und führen in der Praxis meist zu Fehlsteuerungen. So wurde für ein öffentliches Bauvorhaben in Sachsen-Anhalt RC-Baustoffen der Vorzug vor regional, im Umkreis von 30 bis 40 km zum Bauvorhaben verfügbaren Sanden und Kiesen gegeben. Da RC-Baustoffe in der notwendigen Qualität und Menge in der Region nicht verfügbar waren, wurden sie aus einer Recyclinganlage, die 150 km entfernt lag, bezogen.

Verbesserung der Rahmenbedingungen für das Baustoff-Recycling

Wenn man Recycling-Baustoffe und die Kreislaufwirtschaft wirklich fördern möchte, darf man sich nicht nur auf Leuchtturmprojekte konzentrieren. Eine begriffliche Abwertung des Recyclings als sogenanntes „Downcycling“ beim Einsatz von RC-Baustoffen im Tiefbau ist unzulässig. Das Kreislaufwirtschaftsgesetz kennt keine derartige Unterscheidung in der Abfallhierarchie. Alle Recyclingpfade, ob Hoch- oder Tiefbau sind derselben dritten Hierarchiestufe „Recycling“ zugeordnet. Die technischen Anforderungen im geregelten Straßenbau sind gleichwertig und die Umweltanforderungen an RC-Baustoffe im Tiefbau aufgrund des Grundwasser- und Bodenschutzes in der Regel sogar höher als im Hochbau. Im Tiefbau verwendete Sekundärbaustoffe ersetzen heute bereits große Mengen an Primärbaustoffen und werden auch in Zukunft helfen, natürliche Ressourcen zu schonen.

Von großer Bedeutung für die Steigerung der Recyclingquote sind die Erhöhung der Akzeptanz und die Schaffung einer entsprechenden Nachfrage am Markt. Gerade der öffentlichen Hand kommt dabei eine große Bedeutung und Vorbildfunktion zu. Sie ist auf der einen Seite Auftraggeber für Bauprojekte und gleichzeitig auch Verursacher bedeutender Inputmengen an mineralischen Abfällen. Viel zu häufig werden immer noch Recycling-Baustoffe in öffentlichen Ausschreibungen ungerechtfertigt ausgeschlossen. Inzwischen reagiert der Gesetzgeber auf Landesebene, so hat zum Beispiel der Freistaat Sachsen 2019 in seinem neuen Sächsischen Kreislaufwirtschafts- und Bodenschutzgesetz die öffentliche Hand verpflichtet, stärker die Kreislaufwirtschaft zu leben. Hier heißt es im § 10: „Ein Ausschluss von Recyclingmaterial oder -produkten kommt nur ausnahmsweise in Betracht und ist nachvollziehbar zu begründen.“

Um langfristig auch normative Verbesserungen für den Einsatz von RC-Baustoffen im Beton zu erreichen, ist eine verstärkte Grundlagenforschung notwendig. In Abhängigkeit von Druckfestigkeit und Exposition des Betons in Verbindung mit weiteren betontechnologischen Maßnahmen wären hier durchaus Änderungen beim Einsatz von Zuschlagstoffen denkbar, die zu einer Erhöhung des Anteils an Recycling-Material im Beton führen können.

POSITION.

Recycling-Materialien flexibel einsetzen

Der Ruf nach dem Einsatz von Recyclingmaterial im Beton an Stelle von natürlichen Gesteinskörnungen wird immer lauter. Dabei hat die Bau- und Baustoffindustrie ein großes Eigeninteresse, anfallenden Bauschutt soweit wie möglich einer Verwendung zuzuführen anstatt ihn zu entsorgen. Betonbruch hat sich als grobe Gesteinskörnung in Beton oder als ungebundene Schüttung im Straßenbau bewährt und ersetzt dort Primärrohstoffe.

Der europäische Green Deal umfasst einen Fahrplan mit Maßnahmen unter anderem zur Förderung einer effizienteren Ressourcennutzung für den Übergang zu einer sauberen und kreislauforientierten Wirtschaft. Die EU-Kommission fordert, dass alle Wirtschaftssektoren einen Beitrag leisten müssen. In diesem Zusammenhang sprechen viele Indikatoren dafür, dass bei der Überarbeitung des Kreislaufwirtschaftsgesetzes zukünftig sekundäre Rohstoffe bei der Herstellung von mineralischen Baustoffen vorrangig eingesetzt werden müssen. Allerdings ist diese Forderung nicht vorbehaltlos umsetzbar.

Im Hinblick auf die Schonung unserer natürlichen Ressourcen ist der Einsatz von Recyclingmaterial zu begrüßen und auch für die Betonfertigteilindustrie ein wichtiges Thema.

Bei der Forderung nach dem Einsatz rezyklierter Gesteinskörnungen in Beton müssen verschiedene Aspekte berücksichtigt werden, um die damit verbundene Zielsetzung „Ressourcenschonung“ auch ganzheitlich zu erreichen:

- Die Transportentfernungen zwischen Entstehungsort, Recyclingunternehmen und Betonwerk sollten möglichst gering sein, sie können sonst einen erheblichen zusätzlichen Energie- und Zeitaufwand verursachen.
- Das RC-Material muss sortenrein und kontinuierlich verfügbar sein (je sortenreiner, desto größer der mögliche Einsatzbereich).
- Das verfügbare RC-Material muss unbedenklich bezüglich Schadstoffgehalt, Auslaugungen und Fremdstoffgehalt sein.
- Der Einsatz von RC-Material ist vorab bereits zu planen und mit dem Betonwerk abzustimmen. (Lagerungskapazitäten im Betonwerk müssen vorhanden sein).
- Das RC-Material fehlt nicht an anderer Stelle, wo es gegebenenfalls mit geringerem Aufbereitungsaufwand natürliche Gesteinskörnung ersetzen könnte.

© FBF

Die höchste Stufe des Recyclings: Demontierbare Betonfertigteile, die an anderer Stelle wieder aufgebaut werden, hier am Beispiel eines Pavillons, der auf der Bundesgartenschau in Heilbronn stand und derzeit in Meßkirch wieder aufgebaut wird.

In Betonfertigteilwerken kommen überwiegend Betone mit hohen Festigkeiten zum Einsatz. An die Bauteile werden hohe Anforderungen an Statik, Dauerhaftigkeit und Ästhetik gestellt. Da RC-Material unter anderem die Verarbeitbarkeit, die Festigkeit, das Verformungsverhalten, die Dauerhaftigkeit und die Optik des Betons erheblich beeinflussen kann, ist dies bereits bei der Planung und der Betonherstellung zu beachten. Sinnvoll ist die Verwendung von R-Beton vor allem für Innenbauteile ohne Bewitterung oder sonstige besondere Anforderungen.

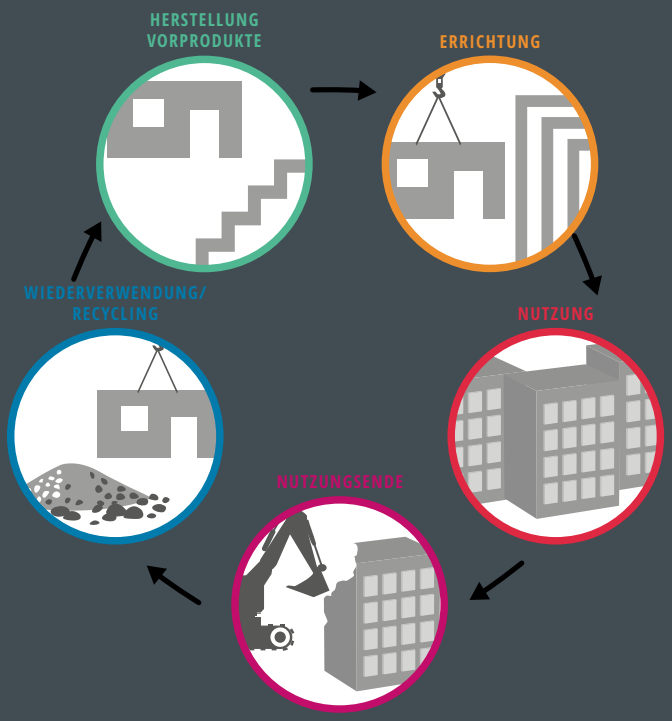
Einen Beitrag zur Reduzierung der Abfallmenge und des Ressourcenverbrauches leisten wiederverwendbare Betonfertigteile, die bei Ausführung lösbarer Verbindungen zerstörungsfrei ausgebaut werden können. Damit wird die höchste Stufe des Recyclings erreicht – die Wiederverwendung als ganzes Bauteil.

Fazit

Zur Schonung natürlicher Primärrohstoffe sollte weiter an innovativen Ideen und Möglichkeiten für den Einsatz von Sekundärrohstoffen in der Betonindustrie gearbeitet werden. Starre Forderungen nach Mindestrezyklatanteilen in Beton führen nicht bedingungslos zu einer Ressourcenschonung. Wichtiger ist der flexibel planbare Einsatz von RC-Material. Denn das Ziel „Schonung natürlicher Primärrohstoffe“ wird nur erreicht, wenn das Material nicht an anderer Stelle fehlt und die Nachfrage somit in andere Bereiche verlagert wird. Dabei ist der gesamte Stoffkreislauf zu betrachten. Darüber hinaus sollten zukünftige gesetzliche Vorgaben geeignete Rahmenbedingungen für den Einsatz von Sekundärrohstoffen schaffen.

Das bedeutet im Einzelnen:

- Prüfung der Einsatz- und Verwendungsmöglichkeiten von RC-Material.
- Keine starren gesetzlichen Vorgaben hinsichtlich des RC-Anteils in Bauprodukten. Stattdessen Schaffung von Anreizen zum Einsatz von RC-Materialien und zur Entwicklung von innovativen Produkten, die einen 100 %igen Verbleib der Materialien im technischen Kreislauf ermöglichen (zum Beispiel lösbare Verbindungen bei Betonfertigteilen).
- Anpassung der einschlägigen Normen und der technischen Anforderungen.
- Recyclinggerechter Entwurf der Fertigteile.
- Grundlagen für einfache und unkomplizierte Umsetzung von Modellprojekten schaffen, anstatt der bisherigen aufwendigen und teuren Zustimmungen im Einzelfall.
- Entwicklung von Verfahren zur sachgemäßen Trennung der Materialien im Abbruchverfahren und damit Schaffung von Versorgungssicherheit der Qualität und Menge von RC-Material.
- Frühzeitiger Übergang des RC-Materials vom Abfall- hin zum Produktstatus.



Betonfertigteile ermöglichen die kreislaufgerechte Gestaltung des Gebäudelebenszyklus.

Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen

Anforderungen aus nutzungstechnischer und umweltrechtlicher Sicht

Die Verwertung der in Deutschland anfallenden mineralischen Bauabfälle erfolgt auf einem weltweit einmalig hohen Niveau. Im Jahr 2016 wurden 89,8 % davon einer umweltverträglichen Verwertung zugeführt.

Das Kreislaufwirtschaftsgesetz (KrWG) fordert und fördert in diesem Zusammenhang in Deutschland die Vermeidung von Abfällen und dient der Vorbereitung zur Verwertung und des Recyclings. Bereits durch die europäische Abfallrahmenrichtlinie werden Vorgaben zur Verstärkung der Abfallvermeidung und zur nachhaltigen Wiederverwendung festgelegt. Auch im European Green Deal spielt die Kreislaufwirtschaft eine zentrale Rolle. Der Aktionsplan für die Kreislaufwirtschaft wird eine Strategie für nachhaltige Produkte umfassen, die ein kreislauforientiertes Design aller Produkte unterstützen soll, das auf gemeinsamen Methoden und Grundsätzen basiert. In diesem Zusammenhang wird ebenfalls das Recycling gestärkt. In Deutschland wird darüber hinaus die erweiterte Herstellerverantwortung im Zuge einer erweiterten Produktverantwortung diskutiert. Ein Kernelement ist der vorrangige Einsatz von Rezyklaten in Produkten.

Grundsätzlich gelten für die Verwendung von rezyklierten Gesteinskörnungen in Beton aus nutzungstechnischer Sicht die Anforderungen an Gesteinskörnungen nach der harmonisierten europäischen Norm DIN EN 12620 Gesteinskörnungen für Beton (Ausgabe Juli 2008).

Ergänzend dazu sind je nach herzustellendem Bauprodukt gegebenenfalls noch die folgenden nationalen Regelungen zu beachten:

- Muster-Verwaltungsvorschrift Technische Baubestimmung (M-VV TB, Ausgabe 2019-1), insbesondere Anhang 10 „Anforderungen an bauliche Anlagen bezüglich der Auswirkungen auf Boden und Gewässer (ABuG)“, (gemäß der Umsetzung in den einzelnen Bundesländern)
- DIN 4226-101 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 – Teil 101: Typen und geregelte gefährliche Substanzen (Ausgabe August 2017)
- DIN 4226-102 Rezyklierte Gesteinskörnungen für Beton nach DIN EN 12620 – Teil 102: Typprüfung und Werkseigene Produktionskontrolle (Ausgabe August 2017)
- DAfStb Richtlinie Beton nach DIN EN 206-1 und DIN 1045-2 mit rezyklierten Gesteinskörnungen nach DIN EN 12620 (Ausgabe September 2010 mit erster Berichtigung September 2019)

Bei Betonwaren, die in der Nutzungsphase meist in unmittelbarem Kontakt mit Wasser oder Boden stehen, sind vor allem die Umweltaspekte (Freisetzung gefährlicher Substanzen) national nachgeregelt, während im Übrigen die Verwendbarkeit durch das Erreichen der Anforderungen am Endprodukt nachgewiesen wird. Bei konstruktiven Betonfertigteilen sind auch die zuverlässige Einhaltung der bemessungsrelevanten Betoneigenschaften und deren Dauerhaftigkeit von zentraler Bedeutung.

Typisierung des Rezyklates nach betonfremden Materialien

Um nachteilige Einflüsse unterschiedlicher Materialien im Beton zu vermeiden, werden rezyklierte Gesteinskörnungen nach DIN 4226-101 in vier Typen unterteilt, die im Wesentlichen den Gehalt an betonfremden Materialien, wie zum Beispiel Mauerziegel, Kalksandstein, Glas, bitumenhaltige Materialien oder Böden, aber auch bestimmte technische Eigenschaften typisieren. Je mehr dieser Stoffe in einer rezyklierten Gesteinskörnung enthalten sind und je ungleichmäßiger die Zusammensetzung ist, desto schwieriger ist es, die Eigenschaften des daraus hergestellten Betons abzuschätzen und zielsicher zu erreichen. Gleiches gilt mit steigendem Anteil der rezyklierten Gesteinskörnungen im Beton, da damit auch die absolute Menge der betonfremden Materialien zunimmt. Daher ist für die konstruktiven Betonfertigteile die Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen auf die Typen 1 und 2 sowie einen Anteil von 25 Vol.-% bis 45 Vol.-% bezogen auf die gesamte Gesteinskörnung mit einem Durchmesser größer 2 mm begrenzt. Die Verwendung von rezyklierter Gesteinskörnung bis 2 mm Durchmesser ist für diese Produkte ausgeschlossen und der Anwendungsbereich auf Betone bis zu einer Druckfestigkeitsklasse C30/37 beschränkt.

<table>
<tr><th>Bestandteile</th><th colspan="4">Anteile in Masse %</th></tr>
<tr><th></th><th>Typ 1</th><th>Typ 2</th><th>Typ 3</th><th>Typ 4</th></tr>
<tr><td>Beton, Gesteinskörnungen</td><td>≥ 90</td><td>≥ 70</td><td>≤ 20</td><td rowspan="3">≥ 80</td></tr>
<tr><td>Klinker, nicht porosierter Ziegel</td><td rowspan="2">≤ 10</td><td rowspan="2">≤ 30</td><td>≥ 80</td></tr>
<tr><td>Kalksandstein</td><td>≤ 5</td></tr>
<tr><td>andere mineralische Bestandteile (z. B. Putz, Mörtel, Porenbeton, Bimsstein)</td><td>≤ 2</td><td>≤ 3</td><td>≤ 5</td><td rowspan="2">≤ 20</td></tr>
<tr><td>Asphalt</td><td>≤ 1</td><td>≤ 1</td><td>≤ 1</td></tr>
<tr><td>Fremdbestandteile (Gips, Glas, Gummi, Holz, Keramik, Kunststoff, Metall, Papier, Pflanzen u. a.)</td><td>≤ 0,2</td><td>≤ 0,5</td><td>≤ 0,5</td><td>≤ 1</td></tr>
</table>

Geprüfte, gütegesicherte und zertifizierte Rezyklate sind bei Erfüllung dieser bautechnischen und umwelttechnischen Anforderungen gleichwertig mit Naturbaustoffen.

Dabei ist es selbstverständlich, dass sich die damit hergestellten Betonfertigteile und Betonwaren bezüglich ihrer Gebrauchstauglichkeit und Sicherheit nicht anders verhalten dürfen als bei Verwendung primärer Gesteinskörnungen. Die hergestellten Produkte müssen gemäß ihren produktspezifischen Normen die gleichen Anforderungen an die technischen Spezifikationen, wie Festigkeit oder Witterungswiderstand, erfüllen.

Erfahrungen aus anderen europäischen Ländern zeigen, dass die deutschen nationalen Einschränkungen der Verwendung rezyklierter Gesteinskörnungen aus technischer Sicht sehr konservativ gewählt sind. Hier wäre auch für Deutschland eine behutsame Ausweitung der Anwendungsmöglichkeiten wünschenswert. Aktuelle Untersuchungen und Forschungsarbeiten untermauern diese Möglichkeit.

Durch die Rückführung von Bau- und Abbruchabfällen in den Wirtschaftskreislauf werden aus umweltrechtlicher Sicht die nicht nachwachsenden natürlichen Ressourcen geschont und der Flächenverbrauch für die Gewinnung von natürlichen Rohstoffen, wie Kiesen und Sanden, verringert. Zudem führt diese Substitution von natürlichen Rohstoffen zur Schonung von Deponiekapazitäten durch die Verwertung anstelle der Beseitigung von Bauabfällen.

Gesetzliche Regelungen und mehr Akzeptanz müssen Anreiz schaffen

Letztendlich ist der Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen ein Spagat zwischen den physikalisch-technischen Eigenschaften der zu produzierenden Produkte selbst, den gesetzlichen Rahmenbedingungen sowie den politischen und gesellschaftlichen Erwartungen. Als mittelständisch geprägte Industrie bekennen wir uns zum Standort Deutschland und zu einer Schonung unserer natürlichen Ressourcen. Die Hersteller von Betonfertigteilen und Betonwaren sind sich bewusst, dass das Wohlergehen künftiger Generationen auch von unserer heutigen Arbeitsweise und Einstellung abhängt. Ein 100 % Einsatz von Rezyklaten in Produkten ist aber nicht möglich.

Es bedarf gesetzlicher Regelungen und vergaberechtlicher Akzeptanzen, die den Einsatz von rezyklierten Gesteinskörnungen nicht verhindern, sondern fördern und Anreize dafür schaffen. Beispielsweise hat das im Zuge der Diskussionen zu Asbest in Bauprodukten vom Bundesumweltministerium (BMU) favorisierte Null-Faser-Konzept bei der Verwertung von Recyclingmaterial zu großen Rechtsunsicherheiten und zu einem Annahmestopp von Bauschutt geführt.

Aus genehmigungsrechtlicher Sicht wäre ferner ein frühzeitiger Übergang des RC-Materials vom Abfall- hin zum Produktstatus wünschenswert. Denn nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) bedürfen die Errichtung und der Betrieb einer ortsfesten Anlage zur Zwischenlagerung, Behandlung oder zum Umschlag von Abfällen sowie die wesentliche Änderung dieser Anlagen einer zusätzlichen Genehmigung.

Baustoff-Recycling im Recht

Bürokratische Hürden erschweren praxistaugliche Lösungswege

Wenn es technisch und wirtschaftlich machbar ist, sollten Baustoffe aufbereitet werden. Leider sind in der Praxis noch einige rechtliche Fragen zu beantworten, bevor wir von einer echten Kreislaufwirtschaft bei mineralischen Abfällen sprechen können.

Ersatzbaustoffe und ihr Ausgangsmaterial unterliegen erst einmal dem Kreislaufwirtschaftsgesetz. Noch immer ist nicht einheitlich geklärt, wann RC-Baustoffe die Abfalleigenschaft verlieren und zum Produkt werden. Die geplante Ersatzbaustoffverordnung des Bundes lässt auf sich warten. Solange ein Stoff aber als Abfall zählt, gelten die entsprechenden Vorgaben. Das schmälert die Akzeptanz und macht zum Beispiel die Dokumentation oder den Transport komplizierter. Die mittelbaren Auswirkungen können noch schwerwiegender sein. Denn schon für die Lagerung, aber auch die Aufbereitung von Abfällen, ist meist eine anspruchsvolle Genehmigung nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz erforderlich.

Das trifft nicht nur die Aufbereiter. Es erschwert bereits die Grundlage der Wiederverwertung – den Rückbau. Gerade in Städten ist auf den Baustellen kein Platz, um die zwingend erforderliche Deklarationsanalytik durchzuführen. Die Zwischenlagerung muss also auf weiter entfernten Flächen erfolgen. Kommen dafür nur immissionsschutzrechtliche Abfalllager in Frage, schränkt das die Alternativen merklich ein. Das steigert die Kosten und die Transportwege gleichermaßen. Eine mögliche Lösung steckt im Kreislaufwirtschaftsgesetz selber. Das Abfallrecht kennt Nebenprodukte und Vorprodukte. Beides sind keine Abfälle. Sekundärrohstoffe aus kontrolliertem Rückbau müssen daher als Neben- oder Vorprodukte anerkannt werden. Die Politik ist gefordert, hier Wege aufzuzeigen. Konkrete Vorschläge der Rechtswissenschaft liegen auf dem Tisch.

Lesetipp

Prof. Dr. Hans D. Jarass LL. M.
Abfallverwertung und das Ende der Abfalleigenschaft – Insbesondere bei Ersatzbaustoffen, in: Neue Zeitschrift für Verwaltungsrecht – NVwZ
Heft 21 (2019), S. 1545

Rohstoffgewinnungsflächen im Außenbereich bieten sich für das Baustoff-Recycling besonders an. Vor allem dann, wenn zu der Rohstoffgewinnung eine Wiederverfüllung mit Bauschuttanteil gehört. Der angelieferte Bauschutt geht gemäß seiner Eignung direkt in die Aufbereitung oder die Verfüllung. Dem Kunden stehen Primär- wie Sekundärbaustoffe zur Verfügung. Alles wird aus einer Hand und an einem Ort angeboten.

Ein Hemmnis kann hier aber das Baurecht darstellen. Behörden lehnen die Genehmigung von Aufbereitungsanlagen im Außenbereich immer wieder ab. Die Anlagen werden als nicht genehmigungsfähig angesehen, da sie nicht ausschließlich der Rohstoffgewinnung dienen. Für das Recycling bleibt dann häufig nur die Ansiedlung in einem Gewerbegebiet. Die räumliche Trennung der Betriebsabläufe führt zu wirtschaftlichen Beeinträchtigungen. Die zusätzlichen Fahrten belasten Mensch und Natur. Wenn es überhaupt so weit kommt.

Erfahrungsgemäß stehen viele Gemeinden einem solchen Vorhaben in „ihrem“ Gewerbegebiet kritisch gegenüber. Mit den potenziellen neuen Nachbarn verhält es sich in der Regel ähnlich. Für den Aufbereiter ein echtes Dilemma. Der Ausweg liegt nahe: Anlagen für die Wiederverwertung von Baustoffen müssen im Zusammenhang mit der Rohstoffgewinnung im Außenbereich genehmigungsfähig sein. Die Kombination von Rohstoffgewinnung, Verfüllung und Baustoff-Recycling an einem Standort muss so einfach wie möglich sein. Auch hier ist die Politik gefragt.

Rechtlich gesehen liegt der Teufel also - wie so oft - im Detail. Die angerissenen Herausforderungen können aber bewältigt werden. Am guten Willen der Beteiligten sollte es jedenfalls nicht scheitern.

PLANEN UND BAUEN MIT BETONBAUTEILEN

Das Gebot des Klima- und Ressourcenschutzes ist nicht die einzige Herausforderung, vor der die Bauwirtschaft steht. So fehlten im Jahr 2020 weiterhin rund 400.000 Wohnungen in deutschen Ballungsräumen, knapp 2.500 Brücken und Teilbauwerke an Autobahnen und Bundesstraßen müssen erneuert werden und 19,4 % des öffentlichen Kanalnetzes ist sanierungsbedürftig.

Wie können diese wichtigen gesellschaftspolitischen Aufgaben bewältigt werden? Welcher Baustoff ist dafür am geeignetsten? Vor diesen Fragen stehen die Planer genauso wie die politischen Entscheider.

Beton, Stahl, Holz, Kunststoffe, Lehm, Asphalt, Aluminium und mehr – die Auswahl ist groß. Daher müssen die unterschiedlichen Baustoffe und Bauweisen umfassend betrachten und fair bewerten werden. Jeder von ihnen hat seine Stärken und Anwendungsbereiche, in denen seine Eigenschaften besonders positiv zum Tragen kommen. Denn ressourceneffizientes Bauen bedeutet auch, den jeweiligen Baustoff intelligent einzusetzen und sein Leistungsvermögen optimal zu nutzen. Die Potenziale des Baustoffs Beton sind dabei noch lange nicht ausgeschöpft.

© Rawf8 – stock.adobe.com

Intelligent Bauen

Der Wert des Baustoffes für die Nachhaltigkeit von Gebäuden

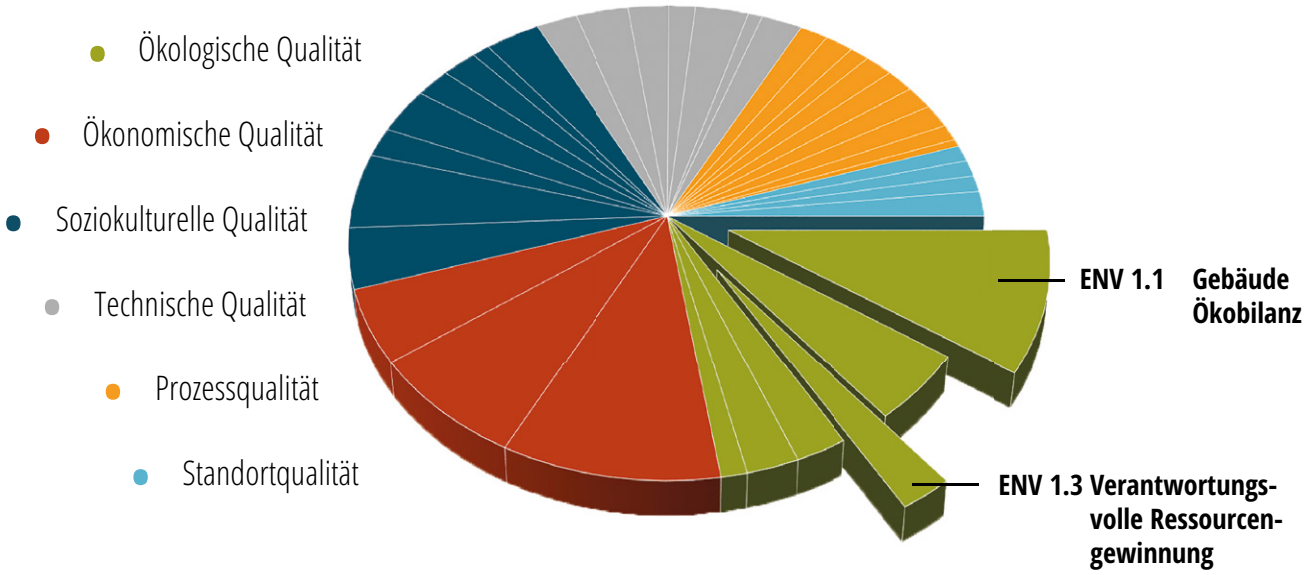
Unter dem Gesichtspunkt der Ressourcenschonung gewinnt die Dauerhaftigkeit von Baustoffen für die Tragkonstruktion immer mehr an Bedeutung. Eine nur auf das Treibhauspotenzial der Baustoffe reduzierte Materialwahl oder nur die Wahl nachwachsender Rohstoffe wird dem Konzept des Nachhaltigen Bauens daher nicht gerecht und vergisst wesentliche Einflussfaktoren auf die Qualität unserer gebauten Umwelt.

Die Nachhaltigkeit eines Gebäudes wird von den verschiedensten Aspekten beeinflusst: Planungsqualität, Grundrissgestaltung, eingesetzte Baustoffe, Nutzungsdauer, Nutzerverhalten, Anlagentechnik, Konstruktionsart und vieles mehr. Der Versuch, all diese Aspekte unter Berücksichtigung der unterschiedlichen Interessenslagen von Immobilienwirtschaft, Bauherren, Baustoffherstellern und Planern seriös zu bewerten und zu gewichten, ist ambitioniert. Im zwangsläufig erforderlichen Abwägungsprozess zwischen den verschiedenen Einflüssen ergeben sich Gestaltungsspielräume, unterschiedliche Interpretationen und offene Frage. Darunter auch diese: Welchen Einfluss hat die Dauerhaftigkeit der eingesetzten Produkte und wie wichtig ist der Einsatz nachwachsender Rohstoffe?

Einfluss der verwendeten Baustoffe

In der allgemeinen Diskussion gelten Baustoffe dann als besonders „ökologisch“ (und „nachhaltig“), wenn sie aus nachwachsenden Rohstoffen hergestellt und nach dem Rückbau vollständig verwertet werden (zum Beispiel Wiederverwendung oder thermische Verwertung). Doch führt der Einsatz dieser Baustoffe automatisch auch zu nachhaltigeren Gebäuden? Und kann man auch mit nicht unter diese Definition fallenden Baustoffen nachhaltige Gebäude errichten?

Zur Erfüllung der Bauaufgabe „Errichtung eines nachhaltigen Bauwerkes“ sind zahlreiche Eigenschaften zu beurteilen und zu gewichten. Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Kriterien



Bei der Bewertung der Nachhaltigkeit eines Gebäudes sind zahlreiche Kriterien zu berücksichtigen. Der Anteil der Gebäude-Ökobilanz liegt bei rund 12 % (Kriterien und Gewichtung nach DGNB -Version Bürogebäude 2018).

© Schlierner – stock.adobe.com

verlangen eine Abwägung der gewünschten technischen, funktionalen, ökonomischen oder ökologischen Eigenschaften und gegebenenfalls eine Priorisierung der einzelnen Bereiche der Nachhaltigkeit. Die Erfüllung zahlreicher Nachhaltigkeitskriterien lässt sich dabei durch die verwendeten Baustoffe gar nicht beeinflussen. Beispielsweise spielt bei den 37 Kriterien im Bewertungssystem für den Neubau von Büro- und Verwaltungsgebäuden der Deutschen Gesellschaft für Nachhaltiges Bauen (DGNB, Version 2018) in 15 Kriterien der eingesetzte Baustoff gar keine Rolle. Das heißt, nur bei gut der Hälfte der Kriterien haben die verwendeten Baustoffe wegen ihrer Materialeigenschaften einen direkten oder aufgrund ihrer Verwendungs- und Konstruktionsmöglichkeiten einen indirekten Einfluss auf das Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung.

Unmittelbar durch die Baustoffe wird vor allem die „Ökologische Qualität“ eines Gebäudes beeinflusst. Für deren Bewertung werden die Umwelteinflüsse und der Ressourcenverbrauch während der Bauphase (insbesondere Gewinnung / Herstellung der Baustoffe), der Nutzungsphase (vor allem Energieverbrauch und etwaige Umnutzung) und der Rückbauphase (vor allem energetische Aufwendungen für den Abbruch, Recycling oder Deponierung der verwendeten Baustoffe) betrachtet. Die Ökobilanz des Gebäudes beeinflusst im DGNB-System rund 52 % des Bewertungsergebnisses der „Ökologischen Qualität“ (siehe Grafik auf S. 15 Kriterien ENV 1.1 Ökobilanz des Gebäudes und ENV 1.3 Verantwortungsvolle Ressourcengewinnung). Im Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung insgesamt hat die Gebäude-Ökobilanz einen Anteil von 11,9 %. Die Bedeutung der Baustoffwahl relativiert sich in Bezug auf das Themenfeld „Ökologie“ und die Gesamtbewertung somit deutlich. Berücksichtigt man zum Beispiel beim Primärenergiebedarf, dass der Anteil der Gebäudeherstellung je nach dessen Energiestandard bei 15 bis 42 % liegt, so beträgt der Einfluss der Baustoff-Ökobilanz auf die Nachhaltigkeit eines Gebäudes lediglich 2 bis 6 %. Damit wird deutlich, dass die Entscheidung für einen Baustoff nur auf Grundlage seiner Ökobilanz oder weil er aus nachwachsenden Ressourcen hergestellt wird, nicht zwangsläufig zu einem nachhaltigen Gebäude führen muss.

Verwendung dauerhafter Baustoffe

Begreift man die Schonung der natürlichen Ressourcen als einen wesentlichen Aspekt der Nachhaltigkeit, so sind Gebäude dann besonders nachhaltig, wenn sie über einen möglichst langen Zeitraum genutzt werden können. Hierfür müssen die eingesetzten Baustoffe möglichst dauerhaft und langlebig sein und der Aufwand zur Anpassung an sich ändernde Nutzeranforderungen nur mit geringem Ressourceneinsatz verbunden sein. Mit der Planung möglichst stützenfreier und damit flexibler Grundrisse ist dieser Grundsatz gut realisierbar. Und wenn die Lebensdauer eines Baustoffes oder Bauteils länger als die geplante Nutzungsdauer des Gebäudes ist, so ist während der Nutzungsphase kein Austausch oder Ersatz erforderlich.

Allerdings spiegelt sich dieser Ansatz in den heute üblichen Betrachtungen zur Nachhaltigkeit von Gebäuden nicht oder nicht vollständig wider. Vielmehr wird der Betrachtungszeitraum begrenzt (oft auf lediglich 50 Jahre) oder gar nur die Errichtungsphase betrachtet. Das heißt, für die Gesamtbetrachtung ist in diesem Fall nur von Bedeutung, wie oft ein Bauteil innerhalb der ersten 50 Jahre voraussichtlich ersetzt werden muss. Ob beispielsweise ein einzelnes Bauteil konkret eine Lebensdauer von 55 oder 120 Jahren auf-

weist, ist somit irrelevant und beeinflusst nicht das Ergebnis der Nachhaltigkeitsbewertung. Dies führt dazu, dass das Potenzial langlebiger Baustoffe, die auch deutlich länger als 50 Jahre im Gebäude bleiben könnten, bei der Nachhaltigkeitszertifizierung in der Regel vernachlässigt wird, die ökologischen Auswirkungen bei Herstellung und Rückbau des Gebäudes jedoch voll ins Gewicht fallen.

Je länger ein Gebäude genutzt wird, desto niedriger ist seine jährliche Umweltbelastung, wenn für die Primärkonstruktion Baustoffe mit langer Lebensdauer eingesetzt werden.

Bauherren sollten ihr Bekenntnis zum nachhaltigen Bauen dadurch demonstrieren, dass Bauwerke bewusst für eine sehr lange Nutzungsdauer konzipiert werden und zwar deutlich über die in den Bewertungssystemen üblicherweise angenommenen 50 Jahren hinaus. Dies trifft im besonderen Maße für die Öffentliche Hand als Bauherr zu. Denn unabhängig vom Betrachtungszeitraum der Zertifizierungssysteme und im Sinne der Schonung unserer endlichen Ressourcen ist davon auszugehen, dass insbesondere unsere jetzigen Neubauten erheblich länger als 50 Jahre werden stehen bleiben müssen.

Die Struktur der deutschen Systeme zur Zertifizierung der Nachhaltigkeit von Gebäuden zeigt, dass die häufige Reduktion des nachhaltigen Bauens auf die Gleichung: nachwachsender Baustoff = nachhaltiger Baustoff = nachhaltiges Gebäude nicht korrekt ist. Vielmehr beweisen sie die Komplexität des nachhaltigen Bauens. Ein auf 50 Jahre begrenzter Betrachtungszeitraum widerspricht jedoch dem Nachhaltigkeitsgedanken „Ressourcenschonung".

Für die Planung und den Bau eines nachhaltigen Gebäudes gibt es kein Patentrezept. Das spezifische Anforderungsprofil des Bauherrn legt fest, mit welchen Schwerpunkten die zahlreichen Kriterien der Nachhaltigkeit gegeneinander abgewogen werden sollen. Die Baustoffwahl ist dabei nur ein Instrument von vielen bei der Optimierung.

Fazit

Nachhaltiges Bauen erfordert die partnerschaftliche Zusammenarbeit aller am Bau Beteiligten. Grundlagen sind:

- die rechtzeitige Festlegung der wesentlichen Ziele,
- eine ganzheitliche Planung über den gesamten Lebenszyklus sowie
- ein effizientes Qualitätsmanagement.

Architekt, Tragwerksplaner, Bauphysiker und Haustechniker entwickeln zusammen mit dem Bauherrn ein ganzheitliches Gebäudekonzept, das neben den aktuellen Nutzungsanforderungen und objektspezifischen Umwelteinwirkungen auch bereits mögliche zukünftige Nutzungsänderungen realistisch einschätzt. Grundsätzlich sind besonders die Wechselwirkungen zwischen den verschiedenen Kriterien der Nachhaltigkeitsbetrachtung zu beachten, denn sehr oft werden durch eine Entscheidung mehrere Kriterien beeinflusst. Dabei kann es auch zu gegenläufigen Auswirkungen kommen.

Den „nachhaltigen" Baustoff an sich gibt es nicht. Die Wahl des Baustoffes beeinflusst zahlreiche Kriterien der Nachhaltigkeitsbetrachtung. Gleichzeitig gibt es aber auch viele baustoffunabhängige Aspekte, so dass die Betrachtung der Nachhaltigkeit eines Bauwerkes ausschließlich auf Basis der verwendeten Baustoffe unangebracht und falsch ist. Dies bezieht sich insbesondere auf die Ergebnisse der Ökobilanz. Die Umweltwirkungen eines einzelnen Bauproduktes/Baustoffs sind kein relevanter Faktor für die Nachhaltigkeit eines Bauwerkes. Vielmehr geht es um den intelligenten Einsatz der verwendeten Baustoffe und die Optimierung eines Bauwerkes im ganzheitlichen Sinne.

POSITION.

Auf dem Holzweg?!

In der politischen Diskussion wird die Verwendung des „Ökorohstoffes Holz als Baustoff“ [92. Umweltministerkonferenz vom 10. Mai 2019] vermehrt propagiert und als „Allheilmittel“ für die Erreichung klimapolitischer Ziele herangezogen. Die Ziele sind unstrittig, aber der gewählte Ansatz zu kurz gedacht.

Bei allen Maßnahmen, die in Zukunft zur Erreichung der klimapolitischen Ziele ergriffen werden, ist es unabdingbar, auf die Verwendung von Produkten in Gebäuden hinzuarbeiten, die hinsichtlich ökologischer und sozialer Auswirkungen über die Wertschöpfungskette transparent sind und deren Rohstoffgewinnung und Verarbeitung anerkannten ökologischen und sozialen Standards entsprechen.

Für den Einsatz von Betonbauteilen sprechen hier zum Beispiel ihre lange Lebensdauer, ihre vollständige Recyclingfähigkeit und die guten energetischen Eigenschaften während der Nutzungsphase: Je länger die Nutzungsdauer, desto mehr verschiebt sich die Ökobilanz zu ihren Gunsten.

Dagegen ist Holz nur dann CO_2-neutral und das Bauen mit Holz damit nur nachhaltig, wenn der Rohstoff aus zertifizierter nachhaltiger Forstwirtschaft stammt, vorzugsweise aus heimischen Wäldern. Aber auch dieses Holz ist endlich und nicht im ausreichenden Maße verfügbar. Schon heute werden rund 15 % des in Deutschland verbrauchten Holzes importiert, im Durchschnitt aus über rund 950 km Entfernung und zum Teil aus prekären Quellen wie den letzten europäischen Urwäldern im Kaukasus. Und ohne Kennzeichnungspflicht ist die tatsächliche Herkunft von Holz und Holzprodukten oft nicht einmal erkennbar. Gesteinskörnungen und Zemente für Betonfertigteile sind hingegen in ganz Deutschland regional verfügbar und weisen nur kurze Transportwege auf.

Bei verantwortungsbewusstem Handeln und bewusster Nutzung seiner positiven Eigenschaften hat jeder Baustoff seine Berechtigung. Die ideologisch geprägte einseitige öffentliche Förderung von Holz und der damit verbundene Eingriff in den Materialwettbewerb ist unverständlich und kontraproduktiv.

© Ilya – stock.adobe.com

Importierte Nadelhölzer legen durchschnittlich 950 km zurück. Mineralische Baustoffe kommen aus der Region. Die Transportentfernungen liegen hier durchschnittlich bei 50 km.

Potenziale der Baustoffe nutzen

Studien widerlegen Vorurteil gegenüber Beton

Internationale Studien belegen, dass es keine empirische Grundlage für die häufig verbreitete Behauptung gibt, Holz sei per se umweltfreundlicher als Beton. Vielmehr wird deutlich, dass bei einem effizienten Einsatz des Baustoffes Beton eine bessere CO_2-Performance erreicht werden kann als mit Holz.

Ein Ziel, warum man die Ökobilanz von Bauwerken und nicht die von Baustoffen vergleicht, ist es, die optimale Kombination verschiedener Baumaterialien zu ermitteln, um ein Gebäude mit über die gesamte Lebensdauer möglichst geringen Umweltbelastungen zu errichten.

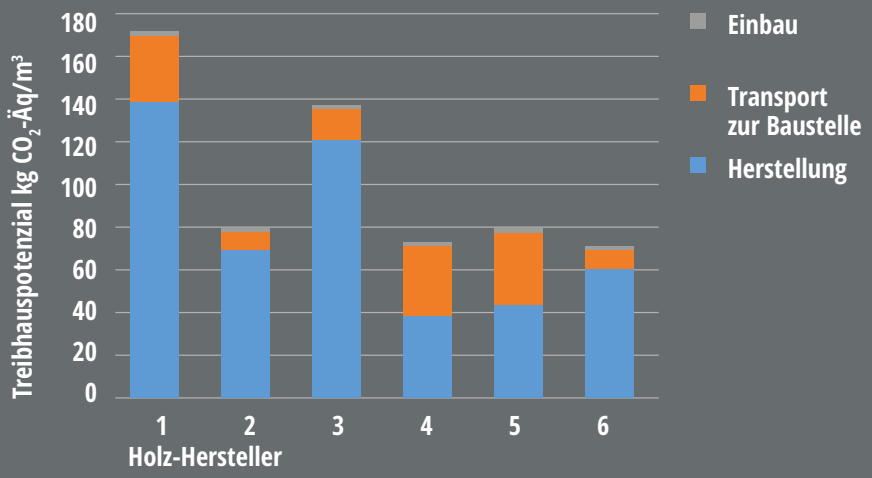
In einer aktuellen norwegischen Studie [1] wurden Bürogebäude mit unterschiedlichen Gebäudehöhen, jeweils als Holzrahmenkonstruktion und aus Betonfertigteilen mit 4, 8 und 16 Geschossen untersucht. Für beide Konstruktionsarten galten die gleichen Anforderungen bezüglich Tragfähigkeit, Schallschutz und Brandschutz. Die Grundrissgestaltung auf einer Fläche von rund 50 mal 16 m sollte vergleichbar und möglichst flexibel sein. Die Fassade, nichttragende Trennwände sowie die Technische Gebäudeausrüstung wurden – weil sie unabhängig von der gewählten Tragkonstruktion sind – nicht mit in die Betrachtungen einbezogen.

Für die Ökobilanzierung wurden die Treibhausgasemissionen aus der Gewinnung der Rohstoffe und der Herstellung der Ausgangsstoffe für die Tragkonstruktionen sowie aller anderen erforderlichen Baumaterialien, wie zum Beispiel Bewehrung und Dämmstoffe berücksichtigt. Ebenfalls eingeflossen sind die Emissionen aus Transporten und aus der Errichtung des Gebäudes. Als Grundlagen für die Ermittlung der CO_2-Emissionen wurden öffentlich verfügbare Umweltproduktdeklarationen (EPDs) aller Baustoffe verwendet. Dabei wurden die Emissionen infolge der Transporte zwischen Werk und Baustelle den konkreten Entfernungen zu den gewählten Gebäudestandorten angepasst und nicht pauschal aus den EPDs übernommen. Hierfür wurden zwei konkrete Standorte angenommen: Trondheim und Kristiansand.

Für den Baustoff Beton wurden in der ersten Phase die Durchschnittsdaten von vier Herstellern verwendet und typische Betonfertigteile eingesetzt, ohne besondere Umweltanforderungen zu stellen. Mit dem Ziel ein möglichst umweltfreundliches Bauwerk zu errichten, kamen in der zweiten Phase umweltschonendere Betone und optimierte Bauteile zum Einsatz.

ANMERKUNG

Ein im Rahmen der Studie durchgeführter Vergleich der verfügbaren EPDs für Holzprodukte hat große Unterschiede für die verschiedenen Hersteller gezeigt. Für den Ökobilanzvergleich wurde eine EPD für in Norwegen gewachsenes Holz verwendet (Hersteller Nr. 4, siehe Grafik). Bei Importholz hätten die höheren Transportaufwendungen einen zusätzlichen negativen Einfluss auf die CO_2-Bilanz gehabt. Das heißt, auch bei der Verwendung von Holz sind entsprechende Anforderungen – insbesondere an die (möglichst regionale) Herkunft – zu stellen.



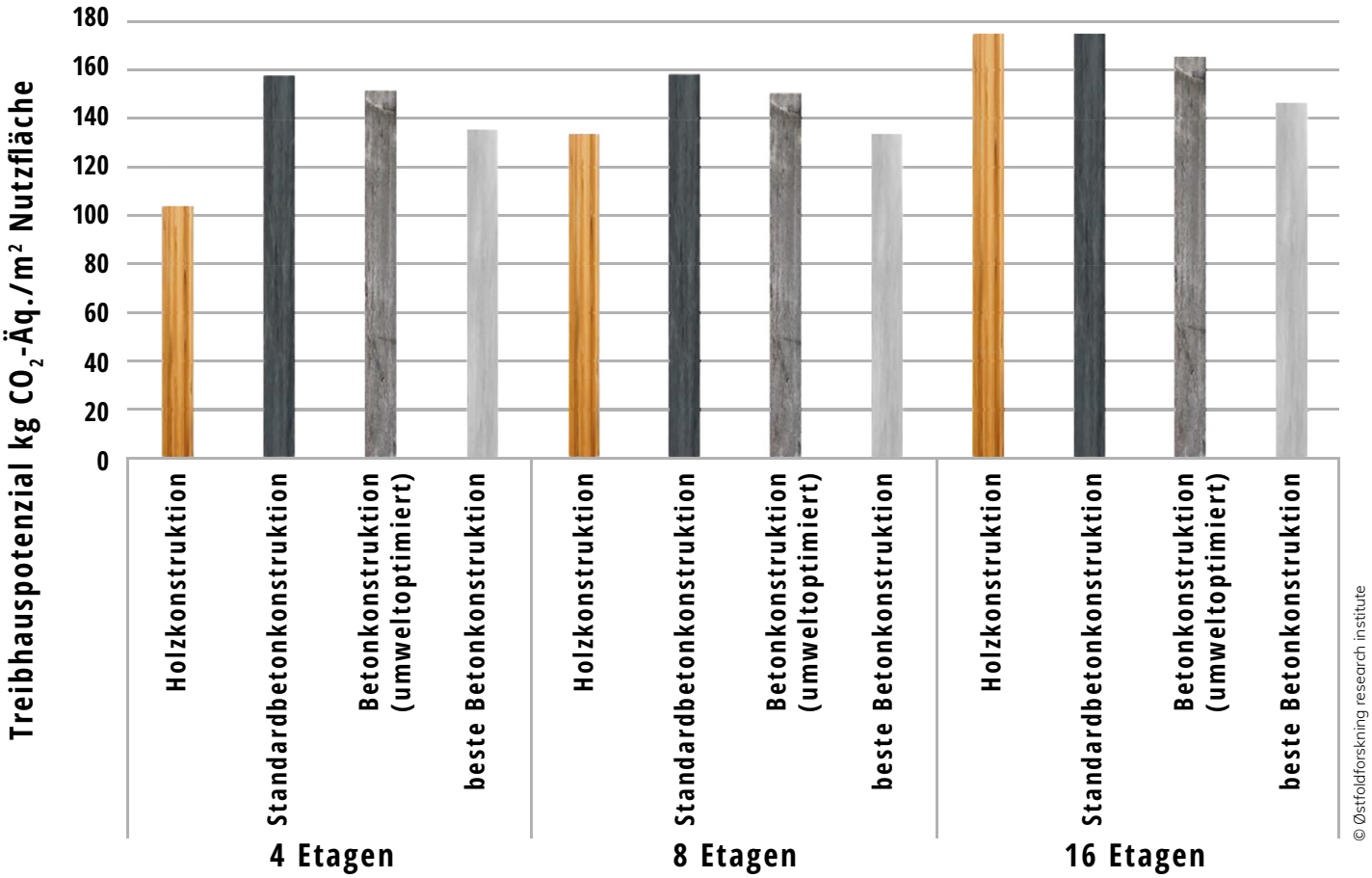
Der CO_2-Fußabdruck zeigt bei verschiedenen Herstellern vor allem aufgrund der Herkunft des Holzes starke Schwankungen.

Ergebnisse des Ökobilanzvergleichs

Die untenstehende Grafik zeigt die CO_2-Emissionen je m² Nutzfläche für die drei untersuchten Gebäudehöhen jeweils für die Holzkonstruktion und drei verschiedene Betonkonstruktionen. Die dunkelsten Säulen stehen für die typische Betonstruktur. Mittelgraue Säulen repräsentieren die umweltoptimierte Betonkonstruktion und die hellgrauen Balken zeigen die Emissionen für die ökologisch beste Betonkonstruktion bezüglich Bauteilwahl und Baustoff.

Für das 4-geschossige Gebäude mit Holztragkonstruktion wurden an beiden untersuchten Gebäudestandorten geringere Emissionen ermittelt als bei den Standard-Betonkonstruktion. Die Unterschiede nahmen jedoch mit der Gebäudehöhe ab.

Die mit der Betonkonstruktion verbundenen Emissionen reduzieren sich durch die Verwendung von Beton mit besserer Umweltqualität und optimierter Konstruktionsweise erheblich. Betrachtet man die umweltoptimierte Betonkonstruktion, so wurde bereits bei dem 8-geschossigen Gebäude (Standort: Trondheim) genauso wenig CO_2 freigesetzt wie bei der Holztragkonstruktion – für den Standort Kristiansand sogar weniger. Insgesamt sanken die Emissionen um 14 bis 23 % (abhängig von den Transportentfernungen zum Gebäudestandort).



Mit einer im Hinblick auf die Umweltwirkungen optimierten Betonfertigteilkonstruktion lassen sich vor allem höhere Gebäude mit geringeren CO_2-Emissionen realisieren als in Holzrahmenbauweise.

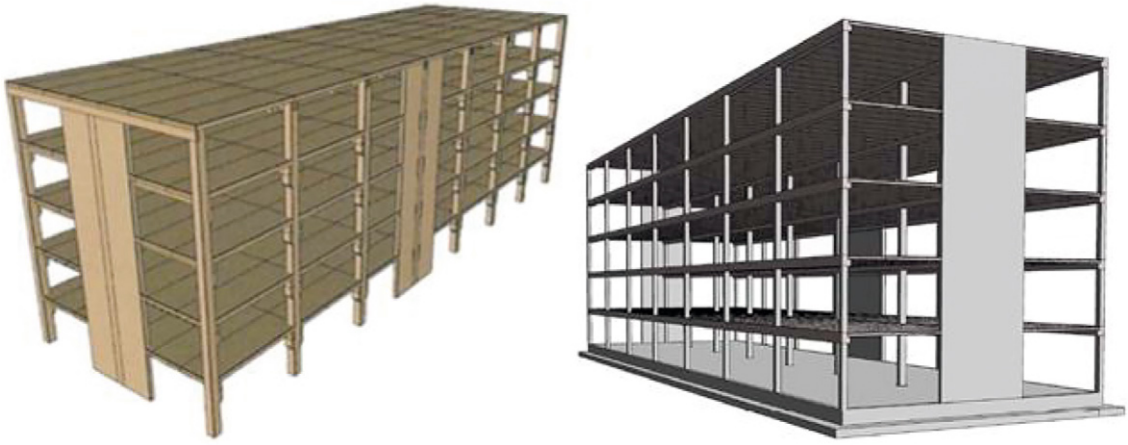
Schlussfolgerungen

Es wird deutlich, dass keine belastbare Grundlage für die generelle Behauptung existiert, dass das Bauen mit Holz umweltfreundlicher oder gar nachhaltiger als das Bauen mit Beton sei. Vielmehr kommt es darauf an, unabhängig von der Baustoffwahl, eine möglichst optimale Lösung der Bauaufgabe zu finden. Welche letztendlich die umweltfreundlichste Lösung ist, hängt vom Kontext jedes Gebäudes ab.

In der Studie wurde ein festgelegter Gebäudetyp (hoch und schlank) an zwei bestimmten Standorten untersucht und bewertet. Andere Grundrissgestaltungen und Gebäudehöhen führen zu anderen Lasten (Lastverteilungen) und damit anderen Konstruktionen und Baustoffmengen.

Trotzdem lässt sich allgemein feststellen, dass Maßnahmen zur Reduzierung des Gesamtmaterialverbrauches mindestens genauso wirksam sind wie einseitige Maßnahmen zur Verwendung von Materialien mit geringen Treibhausgasemissionen. Das heißt, es ist die Aufgabe des Bauherrn eine optimale Konstruktion zu fordern, die die erforderliche Tragfähigkeit und Gebrauchseigenschaften mit einem möglichst geringen Materialeinsatz erfüllt – egal welcher Baustoff verwendet wird. So wird das Know-how des Baustoffherstellers genutzt, um die optimale Lösung mit möglichst geringen CO_2-Emissionen zu erreichen.

Die Ergebnisse aus Norwegen bestätigen auch eine weitere in Schweden durchgeführte Studie [2]. Beim Vergleich eines Wohngebäudekomplexes aus Holz, Transportbeton oder Betonfertigteilen wurden hier über einen Lebenszyklus von 100 Jahren keine signifikanten Unterschiede bezüglich des Treibhauspotenziales und des Primärenergiebedarfs festgestellt. Sie lagen aufgrund von Annahmen und der verwendeten Hintergrunddaten vielmehr im Bereich der üblichen Unsicherheiten jeder Studie.



© Ostfoldforskning (Norway), Arcon Prosjekt AS (Norway)

Modell der untersuchten Bauwerkstypen in der norwegischen Studie [1]

Quellen:
[1] Klimagassregnskap av tre- og betongkonstruksjoner, Ostfoldforskning 2019. ISBN 978-82-7520-812-3 (www.bit.ly/2Ds7Dt3)
[2] Environmental assessment of various frame options for buildings in Brf. Viva. SP Technical Research Institute of Sweden, 2015. ISSN 0284-5172

PLANUNGSHINWEIS

Für die nachhaltige Nutzung von Immobilien sind die Flexibilität und Umnutzungsfähigkeit des Tragwerkes von großer Bedeutung. Hierfür soll eine Anpassung an geänderte Nutzungsanforderungen mit möglichst geringen Kosten und geringem Ressourcenverbrauch realisierbar sein.

Stützenfreie Grundrisse bieten eine maximale Flexibilität für die Innenraumgestaltung. Geschossdecken aus Betonfertigteilen können mit bis zu 20 m Spannweite hergestellt werden, Industriehallen mit Binderspannweiten bis 50 m.

Weitere Planungshinweise gibt das FDB-Merkblatt Nr. 10 zum nachhaltigen Bauen mit Betonfertigteilen **fdb-fertigteilbau.de.**

Planungshilfe

Wohnungsbau mit Betonfertigteilen

Das InformationsZentrum Beton hat gemeinsam mit den Verbänden und Fachorganisationen der Betonfertigteilindustrie die Broschüre „Wohnungsbau mit Betonfertigteilen“ herausgebracht. Sie zeigt, wie zukunftsgerechte Wohngebäude und städtebauliche Architektur mit Betonbauteilen realisiert werden können und führt die Vorteile der Bauweise detailliert aus. Dazu gehören neben der Dauerhaftigkeit, die statisch-konstruktiven und bauphysikalischen Eigenschaften genauso wie die vielfältigen gestalterischen Möglichkeiten. In insgesamt 17 Kapiteln gehen die Autoren auf unterschiedliche Decken- und Wandsysteme ein, stellen verschiedene Betonfassaden vor und gehen auf Produkte wie Treppen, Aufzugschächte, Balkon- und Loggienplatten ein. Weitere Inhalte sind Außenanlagen, Infrastruktur für Ver- und Entsorgung sowie Keller und Tiefgaragen. Ausführliche Kapitel zur Bauphysik und zu Entwurf/Planung sollen bei der Erstellung eines Fertigteilentwurfs helfen und das Verständnis für fertigteilgerechte Konstruktionen verbessern. Zahlreiche Objektbeispiele – vom Mehrfamilienhaus bis zum energieautarken Gebäude – zeigen anschaulich, wie moderne Wohngebäude klimagerecht, wirtschaftlich und von hoher Qualität mit Betonfertigteilen realisiert wurden.

Die Broschüre ist kostenlos unter **www.betonshop.de** erhältlich.

Faktencheck

Beton. Die beste Wahl.

Modernes Bauen ist eine komplexe Aufgabe mit vielfältigen Anforderungen an Stabilität, Dauerhaftigkeit, Ökonomie und Ökologie. Wer baut, braucht daher einen Baustoff, dem er vertrauen kann. Das Vertrauen, das Beton auf der ganzen Welt entgegengebracht wird, hat gute Gründe. Die Broschüre „Beton. Die beste Wahl“, des InformationsZentrums Beton fasst deshalb Fakten zusammen, die für Beton als nachhaltigen Baustoff sprechen.

Die Publikation belegt das anhand von zahlreichen Fakten und erläutert auch die Vorteile gegenüber anderen Baustoffen wie Holz und Stahl. Zum Beispiel werden rund 25 % der CO_2-Emissionen der Zementherstellung durch die Carbonatisierung von Beton und Mörtel im Laufe ihrer Lebensdauer gebunden. Ein Aspekt, der bisher in der Berechnung von Klimabilanzen nicht berücksichtigt wurde. Auch in Sachen Recycling kann Beton punkten. Mineralische Bauabfälle werden schon heute zu 90 % verwertet und in den Stoffkreislauf zurückgeführt. Außerdem bindet die große Oberfläche des beim Recycling zerkleinerten Betons durch Carbonatisierung besonders viel CO_2 aus der Atmosphäre. Dies sind nur einige Beispiel von vielen, die aufzeigen, wie groß das Potenzial von Beton als Baustoff der Zukunft ist.

Den Faktencheck gibt es unter **www.beton-die-beste-wahl.de** oder als Printversion kostenfrei unter **www.betonshop.de.**

Der Fertigteilentwurf

Frühe Entscheidungen und Planungen im Team

Mit Betonfertigteilen lassen sich häufig unvereinbar erscheinende Maßgaben gleichzeitig verwirklichen: Termine und Kosten, Ansprüche an die Qualität von Planung und Ausführung, Abstimmung der architektonischen, statisch-konstruktiven, gebäudetechnischen und bauphysikalischen Anforderungen. Folgende Hinweise sollen bei der Erstellung eines Fertigteilentwurfs helfen und das Verständnis für fertigteilgerechte Konstruktionen verbessern.

Gestiegene Ansprüche von Bauherren und Forderungen nach wirtschaftlichen Bauvorhaben haben zu einer zunehmenden Rationalisierung durch den Einsatz vorgefertigter Bauteile geführt, bei der neben einer Bauzeitverkürzung Einsparungen von Schalungs- und Gerüstkosten im Vordergrund stehen.

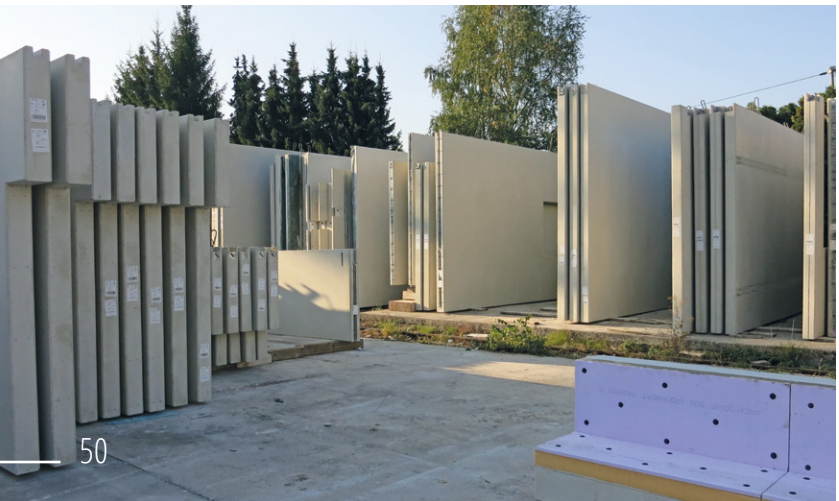
Je mehr der folgenden Entwurfsgrundsätze beachtet werden, umso eher können Termine eingehalten und Kosten gesenkt werden und umso schneller und somit wirtschaftlicher können Projekte realisiert werden:

- Verwendung von typisierten Querschnitten und Verbindungen
- Möglichst viele gleiche oder ähnliche Elemente
- Optimierung der Transportabmessungen und Montagegewichte
- Gleichmäßiges Planungsraster
- Deckenöffnungen im Raster einfügen

Zusammenarbeit im Projektteam

Ein fertigteilgerechter Entwurf muss die Besonderheiten der Bauweise von Anfang an berücksichtigen. Effiziente und flexible Abstimmungsprozesse im Projektteam und die frühe Einbeziehung der verschiedenen Fachplaner sind hierfür unerlässlich.

Lagerung von Wandelementen im Werk.



© FDB

Aufgrund der verstärkten Forderung nach einer verkürzten Planungsdauer ist darüber hinaus eine zeitgleiche Bearbeitung der einzelnen Planungsaufgaben erforderlich. Das Entwerfen mit Betonfertigteilen erfordert daher zunächst die frühzeitige Zusammenarbeit von Architekt und Tragwerksplaner. Das schließt die Überlegung ein, ob ein Bauvorhaben je nach architektonischen und statisch-konstruktiven Erfordernissen komplett oder nur in Teilen aus Fertigteilen hergestellt werden kann und welche Vorteile dieser Bauweise genutzt werden beziehungsweise welche Unverträglichkeiten sich eventuell ergeben können.

Aspekte der Bauphysik und der Technischen Gebäudeausrüstung (TGA) müssen insbesondere dann zu einem möglichst frühen Zeitpunkt einbezogen werden, wenn sie einen maßgeblichen Einfluss auf Anordnung und Ausbildung der Tragstruktur haben. Fragen nach Installationsführungen und erforderlichen Öffnungen müssen daher früh beantwortet werden können, um mit der Produktion der Teile beginnen zu können.

Darüber hinaus sollten rechtzeitig die Fachingenieure der Fertigteilindustrie hinzugezogen werden. Diese sind mit dem aktuellen Stand einer wirtschaftlichen Fertigungstechnik vertraut und können die Realisierbarkeit der Entwürfe am ehesten einschätzen. Beim Entwerfen einer Fertigteilkonstruktion sind Kenntnisse über Folgendes erforderlich:

- Tragsysteme
- Details und Knotenpunkte
- Brandschutz-, schallschutz- und wärmeschutztechnische Bedürfnisse
- Installationsführungen und -öffnungen
- Herstellungsprozesse
- Transport- und Zufahrtswege
- Krankapazitäten
- Montageart und Montagefolge

Serienfertigung und Konstruktionsprinzip

Die Form der Fertigteile und damit der Aufwand für deren Entwicklung, Schalungsherstellung und Produktion haben erhebliche Auswirkungen auf die „optimale“ Seriengröße. Gleichzeitig hat die Serienbildung einen großen Einfluss auf die technische Bearbeitung und die Schalungskosten. Günstige Bedingungen liegen bei einem ungestörten Produktionsfluss vor.

Dabei kann der Begriff „Serie“ im Betonfertigteilbau heutzutage mit dem Prinzip „Klasse statt Masse“ umrissen werden. Moderne Herstellungstechniken in Verbindung mit CAD/CAM-Unterstützung erlauben eine hohe Flexibilität und Variabilität bei kurzen Herstellungsprozessen und spiegeln somit die gesteigerten Anforderungen an individuell gestaltete Bauwerke wider.
Bei Tragwerken aus Fertigteilen kommen häufig einfache, statisch bestimmte Systeme, wie gelenkige Auflagerungen von Deckenplatten auf Wänden zum Einsatz. Die Tragfähigkeit der Struktur ist aufgrund der statischen Bestimmtheit relativ genau definiert und der Rechenaufwand für die statischen Nachweise im Bau- und Endzustand hält sich in Grenzen. Hinzu kommt, dass die einzelnen Konstruktionselemente getrennt bemessen werden können und somit eine schrittweise Betrachtung und Optimierung (Decke – Wand – Stütze – Fundament) erfolgen kann.

Herstellung

Der Herstellungsprozess von Fertigteilen unterscheidet sich vielfach grundlegend von der Fertigung auf der Baustelle. So sichern die technische Ausrüstung, die weitgehend gleichbleibenden, günstigen Arbeitsbedingungen und die qualifizierten Mitarbeiter eines Stahlbetonfertigteilwerks eine ständig hohe Qualität der Bauteile. Die Witterungsunabhängigkeit erlaubt die Fertigung zu jeder Jahreszeit.

Für alle typisierten Betonfertigteilquerschnitte halten die Werke Schalungen bereit, die im vorgesehenen Rahmen die Veränderbarkeit der Form zur Erzielung verschiedener Höhen, Breiten, Längen und dergleichen erlauben. Für große Serien gleichbleibender Teile sind Stahlschalungen zweckmäßig. Bei weniger großen Serien dienen Schalungsbaukästen oder Schalungsroste aus Stahl in Verbindung mit ergänzenden Schalungsteilen aus Holz als stabile Formen für vielfachen Einsatz.

Die günstigsten Herstellungskosten für Stahlbetonfertigteile ergeben sich bei fortlaufendem, unbeeinträchtigten Herstellungsfortgang. Große Serien ermöglichen durch den verminderten Kostenanteil für die Schalung günstigere Preise als kleine Serien oder gar individuell herzustellende Stahlbetonfertigteile, bei denen die Schalung zudem nicht häufig genutzt wird.

Transport und Montage

Herstellung, Transport und Montage beeinflussen sich gegenseitig und bestimmen die Elementierung eines Bauwerkes. Sie sollten deshalb schon bei der Entwurfsplanung berücksichtigt werden. Unter Elementierung versteht man die Unterteilung eines Gebäudes bzw. eines Gebäudeabschnitts in herstellbare, transportable und montierbare Einheiten. Wichtige Faktoren sind hierbei die maximalen Transportabmessungen, das Transportgewicht und die Transportwege sowie die möglichen Montagegewichte und Hebezeuge.

Der übliche Transport auf der Straße bestimmt wegen der begrenzten Fahrzeugbreite und -höhe und der lichten Durchfahrtshöhen unter den Brücken die maximalen Elementabmessungen.

Auch die örtlichen Gegebenheiten und die Montageweise sind von großer Bedeutung. Beim Bauen auf der grünen Wiese sind selten Zwangspunkte zu berücksichtigen, die einen störenden Einfluss auf den Bauablauf haben könnten. Beim Bauen in dicht bebauten innerstädtischen Gebieten kann allerdings aufgrund beengter Bausituationen der ausschließliche Einsatz eines Hochbaukrans unumgänglich sein, so dass die Konstruktion eher kleinteilig gestaltet werden muss.

© www. pixabay.com

Recyclingfähiges Konstruieren

Beitrag für Rückbau- und Recyclingfähigkeit aus konstruktiver Sicht

In den deutschen Systemen zur Zertifizierung der Nachhaltigkeit werden seit mehreren Jahren die Kriterien „Rückbau- und Recyclingfreundlichkeit“ (DGNB) beziehungsweise „Rückbau, Trennung und Verwertung“ (BNB) bewertet, um natürliche Ressourcen zu schonen.

Das Ziel eines vollständigen Stoffkreislaufes kann erreicht werden, wenn nicht nur Wert auf die Verwendung bereits rezyklierter Stoffe gelegt wird, sondern auch auf die Recyclingfähigkeit der Bauweise und Konstruktionen – unabhängig davon, ob neue oder Recyclingmaterialien eingesetzt werden. Im Sinne der Ressourcenschonung und der Kreislaufwirtschaft sind bereits in der Planungsphase der ökologische Aufwand eines Bauwerkes zu minimieren und seine Nutzungsdauer zu verlängern.

Grundsätzlich handelt es sich bei den nachfolgend aufgeführten Prinzipien um keine neuen Erkenntnisse, im Gegenteil, die meisten sollten bereits im Sinne des nachhaltigen Bauens zur Anwendung kommen.

Minimierung der Umweltwirkungen und Werterhalt

Nicht zuletzt, weil eine echte Kreislaufführung im Bauwesen noch nicht umgesetzt wird, sollten die Reduzierung der Umweltwirkungen und die Verlängerung der Nutzungsdauer eines Gebäudes im Vordergrund der Planungsüberlegungen stehen. Die zum Einsatz kommenden Materialien und die Konstruktionsart sollten möglichst langlebig sein und ein geringes Schadenspotenzial aufweisen. Regionale Baustoffe und kurze Transportwege verringern den ökologischen Aufwand für die Gebäudeerrichtung ebenso wie Materialeinsparungen durch statisch optimierte Systeme oder vorgefertigte Bauteile, die Reststoffe und Abfälle auf der Baustelle vermeiden.

Wesentliche Faktoren für die Verlängerung der Nutzungsdauer sowie für den langfristigen Werterhalt sind unter anderem der Einsatz hochwertiger Materialen und die Gewährleistung einer hohen Anpassungsfähigkeit an geänderte Nutzungsanforderungen, zum Beispiel durch eine freie Grundrissgestaltung. Weiterhin erhöhen zugängliche Versorgungsleitungen und die Trennung von langlebigen und kurzlebigen Bauteilen die Reparaturfreundlichkeit eines Gebäudes.

Kreislaufgerecht konstruieren

Am Ende seiner Lebensdauer soll ein Gebäude, und die in ihm eingesetzten Bauprodukte, im Sinne der Kreislaufwirtschaft und der optimalen Ressourcennutzung möglichst einfach und sortenrein zurückgebaut werden können. Folgende Grundprinzipien für kreislauffähiges Konstruieren sind daher zu beachten:

- gute Planung,
- Dokumentation,
- leichte Montage und Demontage,
- gute Rezyklierbarkeit der Baustoffe,
- gute Wiederverwendbarkeit der Bauprodukte.

Grundlage aller Überlegungen zum kreislaufgerechten Konstruieren sind eine gute Planung und Dokumentation, welche Stoffe in einem Gebäude verbaut sind.

Unter anderem bedeutet das, dass der Planer sich bereits im Vorfeld kritisch mit der Auswahl von Funktionsintegration (Zusammenfassung von mehreren Funktionen in einem Bauteil, wie zum Beispiel Schallschutz und Brandschutz in einem Bauteil) und der Funktionstrennung (zum Beispiel von Tragfunktion und Schutzfunktion) auseinandersetzen sollte. So unterstützt die Trennbarkeit von langlebigen und kurzlebigen Strukturen die Reparaturfreundlichkeit und damit die Verlängerung der Nutzungsdauer. Ebenso kann eine hohe Funktionsintegration helfen, die stoffliche Vielfalt im Bauwerk zu reduzieren. Lösbare Verbindungsdetails zum Beispiel für vorgefertigte Bauteile, ermöglichen eine leichte Montage und Demontage und fördern dadurch das Prinzip „Produktrecycling vor Materialrecycling“.

Bereits im Planungsprozess ist auf die Recyclierbarkeit der verwendeten Materialien zu achten. Als recyclinggerecht gelten Materialien, die nach Durchlaufen eines Aufbereitungsprozesses als Recyclingprodukt wieder eingesetzt werden können. Hochwertiges Recycling zeichnet sich dadurch aus, dass dieser Prozess (beliebig oft) wiederholt werden kann. Von besonderer

© ABecke

Beim Rückbau konventioneller Gebäude entsteht als Abbruchmaterial ein Konglomerat verschiedenster Materialien.

Bedeutung ist die Vermeidung von chemischen Zusätzen, die ein hochwertiges Recycling verhindern können. Daher sollten bei der Planung von Maßnahmen gegen Brand, Schimmel, Feuchtigkeit usw. konstruktive Schutzmaßnahmen gegenüber chemischem Schutz vorrangig zum Einsatz kommen.

Um eine gute Wiederverwendbarkeit von Bauteilen zu erreichen, müssen diese einfach demontiert werden können. Im Idealfall ermöglichen die verwendeten Verbindungsmittel eine zerstörungsfreie Trennung der Bauteile. Hilfreich sind auch modulare Kombinierbarkeit, Teilbarkeit oder Kleinteiligkeit sowie vereinheitlichte Verbindungs- und Anschlusselemente.

Fazit

Die aufgezählten Prinzipien stellen kein allgemeingültiges Rezept für das kreislaufgerechte Bauen dar und sollen auch nicht als abschließende Liste verstanden werden. Als Teilaspekt des nachhaltigen Bauens gelten für das recyclinggerechte Konstruieren dieselben Anforderungen im Bezug auf den intelligenten Einsatz der Baustoffe und Konstruktionsarten sowie die gegenseitige Beeinflussung verschiedener Aspekte, die einen Abwägungsprozess unerlässlich machen.

Literatur

gugler! build & print triple zero – Subprojekt 3 „Konstruktionsfähig konstruieren“; IBO – Österreichisches Institut für Baubiologie und -ökologie: **www.bit.ly/2WzkXGE**
BNB-Kriteriensteckbrief 4.1.4 – Neubau: Büro- und Verwaltungsgebäude; Version 2015; Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat
DGNB-Kriterium TEC1.6; Systemversion: Bürogebäude 2018. Deutsche Gesellschaft für nachhaltiges Bauen

Bezahlbarer Wohnungsbau

Politik setzt auf serielles und modulares Bauen

Rund 400.000 Wohnungen müssten jährlich neu gebaut werden, um den Bedarf an Wohnungen in Deutschland zu decken. Eine Zielmarke, die auch im vergangenen Jahr nicht erreicht wurde. Der herrschende Wohnungsmangel treibt die Mieten vielerorts in die Höhe. Rund 30 % müssen Geringverdienende bereits heute im Schnitt von ihrem Einkommen für die Miete aufbringen. Die wachsende Bevölkerung hat den Druck auf den deutschen Wohnungsmarkt noch erhöht.

Laut dem Statistischen Bundesamt lebten 2018 in Deutschland 2,5 Mio. Menschen mehr als noch im Jahr 2012. Das entspricht einem Plus von etwa 3 %. Betroffen sind besonders Großstädte wie Frankfurt am Main, Berlin und München. Schnell, mehr und vor allem bezahlbaren Wohnraum zu schaffen, bleibt somit weiterhin eine der größten Herausforderungen der Zukunft. Serielles und modulares Bauen kann dazu einen wichtigen Beitrag leisten. Bereits im Jahr 2015 hat die Baukostensenkungskommission im Rahmen des Bündnisses für bezahlbares Wohnen und Bauen die Stärkung des seriellen Bauens gefordert, was schließlich auch im 10-Punkte-Programm der Wohnraumoffensive des damaligen Bundesbauministeriums Eingang fand. Größere Kostensenkungseffekte werden durch Serienfertigung nicht erwartet, zumal der Gesamtkostenanteil der Rohbaukosten ohnehin schwindet. Allerdings kann das serielle Bauen wegen des hohen Vorfertigungsgrads die Schnittstellenproblematik reduzieren und so zu einer Qualitätsverbesserung beitragen. Als wesentlich wurde von den Experten auch die Möglichkeit einer Verkürzung der Planungs- und Genehmigungsverfahren durch typisierte Gebäude angesehen. Dem stehen aktuell noch die unterschiedlichen Landesbauordnungen im Wege. Die Bauzeit kann durch die witterungsunabhängige Produktion der Fertigteile hingegen bereits heute erheblich verkürzt werden.

Best-Practice Beispiel

Diese Erfahrung konnte auch die Kommunale Wohnungsbaugesellschaft GmbH (kwb) Rheingau-Taunus, Bad Schwalbach, bei ihrem Vorhaben „In der Eisenbach“ in Idstein machen. Auftragsgrundlage war die Rahmenvereinbarung für serielles und modulares Bauen, die der Gesamtverband der Wohnungswirtschaft (GdW) im Jahr 2018 gemeinsam mit dem Bundesbauministerium, der Deutschen Bauindustrie und der Bundesarchitektenkammer ins Leben gerufen hat. Hauptvorteil dieser Vereinbarung ist der Festpreis, der bei der Bestellung aus dem Katalog von insgesamt neun Wohnungsbaukonzepten zugesichert wird. So wird verhindert, dass sich Bauprojekte angesichts stark ausgelasteter Baukapazitäten und ohnehin immer längerer Bauzeiten während ihrer Realisierung immer weiter verteuern. Die kwb hat im vergangenen Jahr als erstes Unternehmen in Deutschland die Rahmenvereinbarung in Anspruch genommen und in einem bestehenden Wohngebiet der 1970er Jahre in Modulbauweise nachverdichtet.

Entstanden ist ein Mehrfamilienhaus mit acht barrierefreien 2-Zimmerwohnungen und einer Wohnfläche von jeweils rund 63 m² sowie einer 1-Zimmerwohnung mit rund 43 m². Die Nettokaltmiete beträgt 6,80 € pro Quadratmeter. Das Gebäude wurde in acht Wochen errichtet und war nach knapp vier Monaten bezugsfertig. Zum Einsatz kamen vorgefertigte Stahlbetonraummodule der Lechner Group aus Frankfurt. Sie wurden auf der Baustelle just-in-time angeliefert und dann per Kran, quasi nach dem „Lego-Prinzip“, aufeinander gestapelt und miteinander verbunden. Fenster, Bäder, haustechnische Installationen wie Elektro, Heizung und Wasser waren in den Modulen bereits integriert. Die Baukosten (Kostengruppen 300 + 400 brutto) lagen bei rund 2.350 € pro m². Die Wohnungen wurden nach dem hessischen Wohnraumfördergesetz mit einem Darlehen des Landes finanziert.
„Für uns war die Kostensicherheit bei gleichzeitig sehr hoher Qualität des Bauwerks ein entscheidender Vorteil für das Projekt“, erklärte Ditmar Joest, Geschäftsführer der kwb. Durch den hohen Vorfertigungsgrad konnte die Bauzeit um rund zehn Monate reduziert werden. Das bringt nicht nur monetäre Vorteile mit sich. „Durch die kürzere Bauzeit ist die Emissionsbelastung für die Anwohner deutlich geringer als bei einem konventionellen Bau. Dies hat erheblich zur Akzeptanz des Bauprojektes beigetragen“, ergänzt er.

Das Beispiel in Idstein zeigt, dass mit seriellem und modularem Bauen schnell und in hoher Qualität bezahlbarer Wohnraum geschaffen werden

kann. Auch modulare Bauweise und hohe Architekturqualität müssen sich nicht ausschließen. Die Angst vieler Kritiker vor monotonen, einförmigen Plattenbauten im Stil der 1970er Jahre ist mehr als unbegründet. Nun gilt es von der Politik die richtigen Weichen zu stellen. Die bundeseinheitliche Einführung einer Typengenehmigung in den Landesbauordnungen wäre ein erster Schritt.

Förderung durch den Bund

Anne Katrin Bohle, Staatssekretärin im Bundesministerium des Innern, für Bau und Heimat bekräftige anlässlich eines Pressegesprächs im Vorfeld der bautec 2020 in Berlin den Willen der Regierung: „Dem Bund ist es wichtig, das serielle und modulare Bauen zu fördern. Mit ihrem Potenzial können diese Bauweisen bei den aktuellen Wohnraumherausforderungen einen wesentlichen Beitrag leisten. Dabei stellen wir an die heutigen Systemkonzepte des seriellen und modularen Bauens hohe architektonische, städtebauliche und technische Qualitätsanforderungen. Unser gemeinsames Ziel ist die verstärkte Nutzung dieser Technologien modernen Bauens."

Die vorgefertigten Module wurden nach dem „Lego-Prinzip" aufeinander gestapelt und miteinander verbunden.

Das Mehrfamilienhausprojekt „In der Eisenbach" in Idstein stand innerhalb von acht Wochen und war nach etwa vier Monaten bezugsfertig.

Bilder auf dieser Seite © kwb

Die Rahmenvereinbarung für serielles und modulares Bauen wurde für insgesamt neun Wohnungsbaukonzepte unterzeichnet. Zu den zentralen Anforderungen, die alle neun Bieter erfüllen, gehören unter anderem eine gestalterisch ansprechende Architektur, städtebaulich variable Gebäude, ausreichende Belichtung für Wohnkomfort und Energieeffizienz, kompakte und flächeneffiziente Wohnungsgrundrisse, energieeffiziente und nachhaltige Gebäudekonzepte sowie ein hohes Maß an Standardisierung zugunsten von zeit- und kostensparendem Bauen.

www.gdw.de/themen/bauen-und-technik/serielles-bauen

Gastbeitrag

Umweltanforderungen an befestigte Stadt- und Straßenräume

Die letzte Dekade hat zu einem enormen Planungsdruck auf die verbliebenen Freiräume in innerstädtischen beziehungsweise verstädterten Bereichen geführt. Dieser Druck entsteht vor allem durch die dringende Notwendigkeit, mehr kostengünstigen Wohnraum zu schaffen, dem Anspruch auf einen Kita-Platz gerecht zu werden und offene Ganztagsschulen anzubieten. Als Folge ist in fast jeder Stadt der kontinuierliche Verlust an wertvollen innerstädtischen Freiflächen zu beobachten.

Dem steht die Forderung gegenüber, innerstädtische Freiräume aus Gründen der ökologischen Vielfalt (Insektensterben), der Bewältigung der Klimafolgen (Starkregen) und der Erhaltung eines gesunden Stadtklimas (Hitzeinseln) zu erhalten. Nicht zuletzt die Corona-Pandemie hat die hohe gesellschaftliche Bedeutung von wohnungsnahen Freiflächen gezeigt.

Es ist ein Sakrileg, aber die Frage sei dennoch gestattet: Kann die Planungsphilosophie der Stadt der kurzen Wege nach diesen Erfahrungen unkritisch weiterverfolgt werden?

Dieser Widerspruch ist auch in der Politik der Bundesregierung zu erkennen: Einerseits wurde die Kategorie des „Urbanen Gebiets“ in die Baunutzungsverordnung eingeführt. „Urbane Gebiete zeichnen sich durch Nutzungsmischung aus: Gewerbebetriebe, Wohnungen, aber auch soziale, kulturelle und andere Einrichtungen werden in nächster Nähe gemeinsam existieren. Wichtig ist, dass die Wohnnutzung nicht wesentlich gestört ist.“ [Pressemitteilung der Bundesregierung (30.11.2016) „Stärkung des neuen Zusammenlebens in der Stadt“]. Andererseits wird im Weißbuch Stadtgrün ausgeführt: „Urbanes Grün ist ein prägendes Element unserer Städte. Es übernimmt vielfältige soziale, gesundheitliche, wirtschaftliche, ökologische und klimatische Funktionen.“ [Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (BMUB), Weißbuch Stadtgrün, Berlin 2017].

Paradoxe Städtebaupolitik: Mit urbanen Gebieten die letzten Freiflächen bebauen – gleichzeitig Stadtgrün erhalten und vernetzen? Die Lösung des Widerspruchs liegt in einer Festlegung von Stadtentwicklungszielen. Sie dienen der Festlegung der Richtung für die zukünftige Entwicklung. Hier gilt es, im Rahmen der kommunalen Planungshoheit Planungskonflikte abzuwägen und daraus Prioritäten anzuleiten. Mit einer „doppelten Innenentwicklung“ kann dem Anspruch

Bundesgartenschau 2019 in Heilbronn.

Reesepark in Augsburg.

Jochen Richard
Mitinhaber Planungsbüro Richter-Richard
Aachen/Berlin

auf einen ausgewogenen Ausgleich zwischen Nachverdichtung und Freiraumentwicklung entsprochen werden. Dass diese Strategie erfolgreich sein kann, zeigen mutige Beispiele, wie der Reesepark in Augsburg, der Domagkpark in München oder das Gelände der Bundesgartenschau 2019 in Heilbronn. Die Gemeinsamkeit dieser Projekte liegt in dem Mut, sowohl freiraumplanerisch als auch städtebaulich in größeren Dimensionen zu denken und mit nachhaltigen Mobilitätskonzepten zu hinterlegen.

Die Stadt Kopenhagen geht, wie auch andere Metropolen, einen ganz anderen Weg zur Lösung dieses Dilemmas: In vielen Baugebieten werden die Nutzungen nicht in die Fläche entwickelt, sondern gestapelt. Hier sind Parkhäuser auf Bibliotheken zu finden, Kindertagesstätten auf Parkhäusern, Spielplätze auf Dachflächen usw.

Es gibt somit Perspektiven, eine bauliche Nachverdichtung und den Schutz von Freiräumen in Einklang zu bringen – man muss dafür aber eine Vision entwickeln und diese politisch eine lange Zeit durchhalten.

Umgang mit städtischen Verkehrs- und Freiflächen

Die doppelte Innenentwicklung ist eine wesentliche Voraussetzung für eine zukunftsfähige Stadtentwicklung. Die daraus abgeleiteten Ziele bleiben aber theoretisch, wenn sie nicht in die Praxis weitergetragen und ausformuliert werden. Mit der Umsetzung der theoretischen Ziele in konkrete Maßnahmen vor Ort sind praxisorientierte Fragen zu klären. Neben weiteren Aspekten kommt hier die Frage der Gestaltung öffentlicher Räume ins Spiel. Zu den allgemeinen Umweltanforderungen an den öffentlichen Raum zählen zum Beispiel die Entsiegelung von befestigten Flächen, Schatten spenden, „blaue Infrastruktur“ schaffen, Luftqualität verbessern. Hierzu gehört auch die Frage der Gestaltung befestigter städtischer Verkehrs- und Freiflächen als besonders kritischem Bereich. Täglich werden Flächen neu befestigt, umgestaltet oder erneuert. Mit der Wahl der Befestigungsarten und Deckschichten wird entschieden, welche positiven und negativen Auswirkungen auf die Umwelt von diesen Flächen ausgehen. Dieser Verantwortung sollte sich jeder Planer über die zumeist im Vordergrund stehenden gestalterischen Qualitäten hinaus stellen.

Öffentlicher Spielplatz auf dem Dach eines Parkhauses in Kopenhagen.

Bisherige Kriterien zur Festlegung der Gestaltung von Verkehrs- und Freiflächen sind im Wesentlichen:

- Bindungen aus straßenbautechnischen Anforderungen (Belastungsklasse),
- Festlegung der Oberflächenbefestigung (Asphalt, Ortbeton, Betonstein-, Natursteinpflaster oder Klinker),
- gestalterische Anforderungen (Format, Farbe, Verlegemuster, Aufheller, Zuschlagstoffe),
- Wirtschaftlichkeit (Einbau- und Erhaltungskosten).

Die Beachtung von Umweltaspekten ist dagegen häufig noch eine Nebensache. Hieraus ergeben sich deshalb neue Anforderungen an eine zukunftsfähige, robuste Planung. Befestigte Oberflächen können vielfältige Beiträge zur Umweltentlastung leisten:

- Maßnahme zur Lärmminderung,
- Verbesserung der Luftqualität,
- Beitrag zur CO_2 -Minderung,
- Entlastung des Stadtklimas,
- Optimierung der Wasserwirtschaft,
- Nutzung zur Energiegewinnung,
- Verringerung des Energieverbrauchs.

© Planungsbüro Richter-Richard

Betonsteine mit TiO_2-Beimischung (Bahnhofvorplatz Detmold).

© Planungsbüro Richter-Richard

Tempo 30, helle Betonsteinpflasterbeläge, weiche Übergänge zwischen Fahrbahn und Gehweg (Ortsdurchfahrt Rudersberg).

Betonpflasterbefestigungen können bis zu einer Belastungsklasse Bk3,2 gemäß den Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen (RStO), also zum Beispiel für die Straßenkategorien HS III und HS IV nach den Richtlinien für integrierte Netzgestaltung (RIN), eingesetzt werden. Darüber hinaus – ab Belastungsklasse Bk10 – sind andere Befestigungsarten erforderlich.

Eine Prüfung der verkehrsplanerischen Rahmenbedingungen im Vorfeld einer Objektplanung kann zur abschließenden Festlegung der Oberflächenbefestigung hilfreich sein. Das betrifft beispielsweise die Frage, ob eine Reduzierung des Kfz- und insbesondere des Lkw-Verkehrs auf dem betreffenden Straßenabschnitt möglich ist, um die Belastungsklasse zu beeinflussen, oder die Reduzierung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit auf 30 km/h angeordnet werden kann, um negative Lärmeffekte zu vermeiden. Integrierte Planungskonzepte können so die Voraussetzung für den Einsatz von Pflasterbefestigungen schaffen.

Kann eine Pflasterbefestigung verwendet werden, so sollten bei lärmrelevanten Fahrflächen lärmarme Pflasterbauweisen eingesetzt werden. Die technischen Hinweise hierzu sind in dem Merkblatt für Lärmarme Pflasterbauweisen (M LP) zu finden.

Die Luftqualität kann durch die Einhaltung des Jahresmittelgrenzwerts für NO_2 von 40 µg/m³ durch die Beimischung von Titandioxid (TiO_2) bei der Herstellung der Betonsteine verbessert werden. TiO_2 wandelt Stickstoffdioxid (NO_2) durch photokatalytische Reaktion in Nitrat um, das vom Oberflächenwasser weggespült wird. In situ-Studien haben eine starke Streuung von „nicht nachweisbar“ bis zu einer Minderung um 40 % gezeigt. Eine NO_2-Minderung in einer Größenordnung von knapp unter 10 % scheint derzeit realistisch. Um

eine wirksame Schadstoffentlastung zu erreichen, ist jedoch ein großflächiger Einsatz (Platzräume, längerer Straßenabschnitt) anzustreben.

Eine Reduzierung des Energieverbrauchs ist der entscheidende Schlüssel zur globalen Minderung des CO_2-Ausstoßes und damit zur Beeinflussung des Klimawandels. Befestigte Verkehrsflächen können hierzu auf verschiedenen Ebenen beitragen.

Dänemark beispielsweise testet einen klimafreundlichen Asphalt, der durch einen besonders geringen Rollwiderstand den Energieverbrauch von Kraftfahrzeugen reduziert. Helle Oberflächen, zum Beispiel von Betonpflastersteinen, reduzieren den Energieeinsatz für die Straßenbeleuchtung. In den Niederlanden werden die Oberflächen von Radwegen zur photokatalytischen Energiegewinnung genutzt. In Frankreich und den USA gibt es Versuche, auch Fahrbahnoberflächen photokatalytisch zu nutzen. Olivin als Zuschlagstoff in Betonpflastersteinen nimmt CO_2 auf und bindet es durch Verwitterung. Olivinsplitt zur Fugenverfüllung dient gleichfalls der CO_2-Aufnahme und hält gleichzeitig die Fugen wasserdurchlässig. Und schließlich ist auch die Ökobilanz der unterschiedlichen Befestigungsarten zu beachten.

Innerstädtische Bereiche entwickeln sich durch Aufwärmung tagsüber und eingeschränkter Abkühlung nachts immer stärker zu Hitzeinseln. Die Entlastung des Stadtklimas wird deshalb weiter an Bedeutung gewinnen – nicht nur zum Wohlbefinden der Menschen, sondern auch zu deren Gesundheitsvorsorge. Das Wärmespeichervermögen von Oberflächen kann beispielsweise schon durch deren Farbe und Helligkeit beeinflusst werden. Die Quantifizierung erfolgt mit Hilfe des so genannten Solar Reflectance Index (SRI). Danach bedeuten helle Oberflächen = hohe SRI-Werte und dunkle Oberflächen = geringe SRI-Werte. Je höher der SRI-Wert einer Oberfläche, desto geringer ist der Aufheizeffekt der betreffenden Fläche. Das gilt unabhängig vom verwendeten Baustoff. Ein weiterer, noch experimenteller Ansatz ist die Nutzung von Verdunstungskälte (urbane Hygrothermik). Oberflächen von Verkehrsflächen werden zur Wasserspeicherung genutzt, die anschließend durch Verdunstung des Wassers ihre Umgebung abkühlen. Betonsteine erhalten hierzu einen gefügedichten Vorsatz auf einem haufwerksporigen Sockel.

Maßnahmen zur Optimierung der Wasserwirtschaft sind ein weiterer Beitrag, der im Planungsprozess zu beachten ist. So können versickerungsfähige Betonpflasterbefestigungen nicht nur Niederschlagswasser direkt in den Boden zur Grundwasserbildung ableiten, sie können auch Niederschlagswasser von Kfz-Verkehrsflächen behandeln, das heißt reinigen. Schadstoffe in versickerndem Niederschlagswasser werden dazu in speziell konzipierten Betonpflasterdecken zurückgehalten. Geeignet für den Einsatz dieser Decken sind vor allem großflächig befestigte Parkplätze, aber auch Fahrbahndecken bis maximal Bk1,8.

Bundesländer, aber auch Großstädte haben Hinweise für eine wassersensible Straßenraumgestaltung erarbeitet. Eine Strategie liegt beispielsweise darin, Straßenoberflächen als temporäre Retentionsflächen zu nutzen und das Wasser langsam versickern zu lassen beziehungsweise verzögert in die Kanalisation abzuleiten. Einsatzbeispiele sind in Deutschland noch selten, aber erste Erfahrungen liegen beispielsweise aus Hamburg und Bremen vor. Die Stadt Kopenhagen hat damit begonnen, ganze Stadtviertel auf die neuen Anforderungen auszurichten. Die Kopenhagener Beispiele zeigen, welch enormes stadtgestalterisches Potenzial in dieser Anpassung liegen kann, aber auch welch hohe technische Anforderungen an die Umsetzung zu stellen sind. Für eine wassersensible Straßengestaltung sind unter anderem besondere Formsteine erforderlich („vom Hochbeet zum Tiefbeet“), wie sie zum Beispiel aus Beton wirtschaftlich vorgefertigt werden können.

© Planungsbüro Richter-Richard

Photokatalytische Radwegoberfläche (Krommenie, NL).

Bilder © Planungsbüro Richter-Richard

Regenwasserversickerung durch Umbau im Bestand (Kopenhagen).

Zusammenfassung

Es vereinfacht eine umweltgerechte Planung, dass sich die technische Umsetzung der dargestellten Möglichkeiten zur Umweltentlastung nicht gegenseitig ausschließen, sondern als „Bausteine“ verstanden werden können. Die Anforderungen an eine Reduzierung von negativen Umweltwirkungen widersprechen sich nicht mit denen der Bautechnik und der Baustofftechnik – im Gegenteil, deren konzeptionelle Kombination bietet sinnvolle und wirtschaftliche Lösungen, wie die nachfolgende stichwortartige Auflistung zeigt:

- Lärmminderung durch Rollgeräuschreduzierung:
  große Pflastersteinformate, geringe Fase der Steinkanten, geeignete Oberflächentextur,
- Luftreinhaltung:
  Titandioxid (TiO_2) als Beimischung,
- CO_2-Minderung:
  Olivin als Beimischung und als Fugensplitt,
- Reduzierung des Hitzeinseleffekts:
  helle Oberflächen,
- Stadtklima, Klimaanpassung:
  Speicherfähigkeit für Niederschlagswasser,
- Wasserwirtschaft:
  Versickerungsfähigkeit und Reinigung von Niederschlagswasser,
- Klimaanpassung:
  wassersensibler Straßen- und Städtebau (Fahrbahnen als Vorfluter).

Mit vorgefertigten Betonbauteilen (zum Beispiel Betonpflastersteine, Einfassungs- und Entwässerungselemente) lassen sich so unter Berücksichtigung lokaler Umwelterfordernisse angepasste Lösungen realisieren, was das Planungshandwerk wesentlich erleichtert.

Ökologische Bewertung von Pflastersteinen

Betonpflaster versus Klinkerpflaster

Bei der Wahl des richtigen Baustoffs für eine Verkehrsflächenbefestigung spielen zum Teil sehr unterschiedliche Kriterien eine Rolle. Dabei sollte es mit Blick auf die Nachhaltigkeit stets objektiv zugehen. Wenn lediglich die hohe Lebensdauer eines Baustoffs in den Vordergrund gestellt wird, die zudem eher theoretischer Natur ist, bleibt die Objektivität auf der Strecke.

Im November 2019 wendete sich ein Betonwarenhersteller an den Betonverband Straße, Landschaft, Garten (SLG) mit der Bitte um Unterstützung bei einer Frage der ökologischen Bewertung von Pflastersteinen. Der Hersteller wurde von einem offensichtlichen Gegner des Baustoffs Beton mit der Behauptung konfrontiert, dass ein Betonpflaster für die Gestaltung eines Kirchplatzes einer norddeutschen Gemeinde im Vergleich zu einem Klinkerpflaster die schlechtere Wahl sei. Angeführt wurden insbesondere ökologische, aber auch technische Vorteile, die angeblich auf Seiten des Pflasterklinkers zu finden wären. Begründet wurde die Behauptung mit der Studie „Beoordeling duurzaamheid bestratingmateriaal“ aus Mai 2010, die von dem niederländischen Umweltingenieurbüro Tauw Group im Auftrag der Stadtverwaltung Amsterdam erstellt wurde. Über diese Studie berichtet ein im Internet verfügbarer deutschsprachiger Artikel mit der Überschrift „Pflasterklinker oder Betonstein? Studie zu CO_2-Emissionen und Ressourcenverbrauch“.

Die Studie geht allerdings von zum Teil unrealistischen und teilweise falschen Annahmen aus. Dazu gehören neben der Annahme einer Nutzungsdauer für den Pflasterklinker von 100 Jahren auch die wahllos aufgeführten und sachlich nicht begründeten Spekulationen, wonach das Betonpflaster nach einer Lebensdauer von 40 Jahren recycelt werden müsste und wonach die Austauschrate von Betonpflastersteinen bei Straßensanierungsmaßnahmen dreimal höher liege als die von Pflasterklinkern. Die Studie ignoriert offenbar zudem, dass die Baustoffart des Pflastersteins – also ob es sich dabei um Beton oder Klinker handelt – im Allgemeinen keinen Einfluss auf die Lebensdauer der damit hergestellten Verkehrsflächenbefestigung hat. Entscheidend sind vielmehr eine ordnungsgemäße Planung, eine fachgerechte Ausführung, eine bestimmungsgemäße Nutzung sowie eine angemessene Erhaltung. Ein Blick in unsere Regelwerke, zum Beispiel Richtlinien für Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen 12 (RStO 12) und Ablösungsbeträge-Berechnungsverordnung (ABBV) macht deutlich, dass die Nutzungsdauern für ein Pflaster unabhängig vom verwendeten Baustoff betrachtet werden. Eine objektive Bewertung von Umweltwirkungen kann nur nach unabhängigen, anerkannten Regeln für die Erstellung von vergleichenden Ökobilanzen oder

Betonpflasterdecken sind in innerstädtischen Bereichen sehr beliebt.

© SLG

Umwelt-Produktdeklarationen erfolgen. Studien, wie die eingangs beschriebene, sind dafür nicht geeignet.

Der Betonverband SLG konnte in der Angelegenheit „Gestaltung eines Kirchplatzes“ anhand der öffentlich verfügbaren und nach ISO 14025 verifizierten Umwelt-Produktdeklarationen (EPD) für einen Pflasterziegel und für einen Betonpflasterstein nachweisen, dass der Pflasterziegel gegenüber dem Betonstein in der Rubrik Produktionsstadium (Module A1 bis A3) um den Faktor von etwa 2,3 (beim globalen Erwärmungspotenzial GWP) beziehungsweise um den Faktor von etwa 6,0 (beim Primärenergieverbrauch) schlechter ist. Die Ergebnisse dürften für einen „echten“ Pflasterklinker – wie er zum Beispiel von der Arbeitsgemeinschaft Pflasterklinker für Flächenbefestigungen im Außenbereich empfohlen wird – höchstwahrscheinlich noch etwas ungünstiger ausfallen, da ein Klinker im Vergleich zu einem Ziegel bei einer höheren Temperatur gebrannt wird und dadurch der Energieverbrauch und der CO_2-Ausstoß weiter erhöht werden. Eine Einbeziehung der weiteren Module, die in den genannten EDP bewertet sind (A4, A5, C1 bis C4 und D), würde das für den Betonpflasterstein positive Ergebnis nicht signifikant beeinflussen.

Die genannten EPD unterstreichen im Übrigen auch noch einmal die Feststellung, dass es bei der Nutzungsdauer einer Verkehrsfläche im Allgemeinen nicht auf den Baustoff für den verwendeten Pflasterstein ankommt. In den EPD werden nämlich keine Werte für das Nutzungsstadium ausgewiesen. Das heißt, die Nutzungsphase und somit auch die Nutzungsdauer gehen in diesen EPD überhaupt nicht in die Bewertung der Umweltwirkungen ein.

Jetzt könnte man noch auf die Idee kommen, dass die Annahme einer Lebensdauer von 100 Jahren für den Pflasterklinker dadurch gerechtfertigt ist, dass er mehr als drei Mal für eine Verkehrsfläche mit einer Nutzungsdauer von jeweils rund 30 Jahren eingesetzt werden kann. Jedoch ist auch eine derartige Annahme leicht zu widerlegen. Für den Rückbau einer Pflasterdecke – sei sie aus Beton- oder Klinkersteinen – werden aus wirtschaftlichen Gründen in aller Regel Maschinen, zum Beispiel ein Radlader, eingesetzt, wodurch ein Großteil der Steine beschädigt oder derart unbrauchbar wird, dass diese für den Einbau in eine neue Verkehrsfläche nicht mehr zu gebrauchen sind. Weder die einschlägige Fachliteratur, noch die bereits genannten Umwelt-Produktdeklarationen lassen ein Wiederverwertungsszenario erkennen, bei welchem es um einen mehrmaligen Einsatz von Klinkerpflastersteinen geht. In der Regel erfolgt die Wiederverwertung durch die Aufbereitung ausgebauter Pflasterklinker zu Ziegelbruch.

© SLG

Wenn die Busbelastung einer Hotelvorfahrt nicht eingeplant wird, ist es mit der Lebensdauer der Pflastersteine schnell vorbei.

Die Fakten sprechen für sich und für Betonstein

Dem Beton wird häufig nachgesagt, er sei ein nicht besonders umweltfreundlicher Baustoff, weil er Zement enthält, der mit hohem Energieaufwand hergestellt werden muss. Dazu ist zu sagen, dass in einem Betonstein – je nach Einsatzzweck – im Allgemeinen nur zwischen 10 und 15 % Zement enthalten ist und er keinen ökologischen Vergleich mit Substitutionsprodukten scheuen muss. Pflasterziegel und Pflasterklinker werden bei sehr hohen Temperaturen gebrannt, Asphalt üblicherweise mit einer Temperatur von weit über 100° C eingebaut und so mancher Naturstein hat bis zum Einbauort eine Reise von mehreren tausend Kilometern hinter sich.

Verkehrsflächenbefestigungen mit Betonsteinen haben eine gute Ökobilanz. Darauf hat der Betonverband SLG schon in seiner ersten vergleichenden Ökobilanzstudie im Jahr 2009 hingewiesen. Derzeit ist die Broschüre Vergleichende Ökobilanz von Oberbaukonstruktionen für Verkehrsflächen aus Dezember 2014 verfügbar. Die Ökobilanzdaten und die Umwelt-Produktdeklaration für den Standard-Betonpflasterstein werden beim Betonverband SLG derzeit aktualisiert.

Auch bei den technischen und gestalterischen Argumenten muss sich der Betonstein nicht verstecken. Betonpflastersteine werden in Deutschland nach anerkannten Normen in hoher Qualität gefertigt. Sie sind witterungswiderstandsfähig, verschleißfest, farbstabil, rutschsicher und hoch belastbar. Die große Vielfalt bei Formen, Steinstärken, Farben, Oberflächenbearbeitungsmöglichkeiten und Ausbildungsvarianten der Seitenflächen zur Erhöhung der Lagestabilität der Pflasterdecke sind darüber hinaus deutliche Vorteile.

Alle im Text genannten Richtlinien, Verordnungen und Umwelt-Produktdeklarationen erhalten Sie auf Wunsch beim Betonverband SLG unter der Telefonnummer 0228 9545621.

ZUKUNFTSPOTENZIALE DES BAUSTOFFS BETON

Die Rohstoffknappheit und der Klimawandel verändern die Rahmenbedingungen für die Baubranche. Nicht nur der Ausstoß von Treibhausgasemissionen und das Abfallaufkommen müssen gesenkt werden, sondern auch der Materialverbrauch. Dabei kann Beton als meist verwendeter Baustoff der Welt einen wesentlichen Beitrag zur nachhaltigen Gestaltung unserer Umwelt leisten. Mit der Entwicklung neuer, innovativer Betone wurde dieser Prozess bereits vor einigen Jahren eingeleitet. So lässt sich beispielsweise durch die Zugabe von textilen Fasern das Zug- und Biegetragverhalten von Beton enorm verbessern und gleichzeitig der Materialverbrauch verringern. Auch mit einer Gradierung der Betone lassen sich neuartige gewichts- und ressourcenoptimierte Konstruktionen herstellen. Das Innovationspotenzial des Baustoffs Beton auf diesem Gebiet ist noch lange nicht ausgeschöpft. Mit dem 3D-Beton-Druck steht zudem eine digitale Fertigungstechnologie bereit, die neue gestalterische Freiheiten bei effizientem Baustoffeinsatz ermöglicht.

© Röser GmbH – www.roeser-gmbh.de

Gastbeitrag

Beton-3D-Druck – eine neue digitale und ressourceneffiziente Fertigungstechnologie

Mit dem Beton-3D-Druck (Additive Fertigung) steht eine neue digitale Fertigungstechnologie bereit, die im Betonbau neue gestalterische Freiheiten bei gleichzeitig effizientem Baustoffeinsatz ermöglicht. Die Technischen Universitäten in Braunschweig und München forschen seit einigen Jahren in diesem Bereich. Neben der Untersuchung neuer Material- und Prozesskombinationen stellt die durchgängige Digitalisierung von der integralen Planung bis zur Baustelle einen zentralen Forschungsbereich dar.

Einführung

Heutige Bauprozesse sind geprägt von traditionellen, überwiegend handwerklichen Bautechniken, wie dem Schalungsbau beim Betonbau oder individualisierten Anpassungen von Halbzeugen beim Stahl- und Holzbau. Die tradierten Bautechniken begünstigen einfache Bauteilformen und eine ineffiziente Ausnutzung der Werkstoffe. Durch den anhaltend steigenden Ressourcenbedarf im Bauwesen ist eine ineffiziente Materialausnutzung auch vor dem Hintergrund zunehmender CO_2-Emissionen kritisch zu sehen. Mit dem 3D-Drucken (Additive Fertigung) steht eine neuartige digitale Fertigungstechnologie bereit, die das Potenzial hat, zu einer Schlüsseltechnologie für eine automatisierte und ressourceneffiziente Bauwirtschaft zu werden. Der große Vorteil der Additiven Fertigungstechnologie besteht darin, dass Automatisierung und Individualisierung keinen Widerspruch darstellen und das 3D-Drucken ideal zum hohen Individualisierungsgrad von Gebäuden und Infrastrukturbauten passt. In diesem Kontext hat sich der Anfang 2020 neu eingerichtete DFG-Sonderforschungsbereich TRR 277 „Additive Manufacturing in Construction“ (AMC) der beiden Universitäten TU Braunschweig und TU München zum Ziel gesetzt, die Technologie der Additiven Fertigung grundlegend für das Bauwesen zu erforschen. Hierbei verfolgt der TRR 277 den neuen integrativen Forschungsansatz, Strukturdesign, Materialverhalten und Fertigungsprozesse als untrennbare Einheiten zu sehen.

Entsprechend sind die einzelnen Forschungsvorhaben interdisziplinär mit Forschern aus dem Bauwesen und dem Maschinenbau besetzt.

In der 1. Förderperiode werden neuartige Material-Prozesskombinationen erforscht, welche Material nur dort einsetzen, wo es eine Funktion erfüllt. Damit wird der Weg bereitet für eine neue Gestaltungsfreiheit im Bauwesen bei gleichzeitig ressourceneffizientem Einsatz von Baustoffen. Neben der Einheit von Material- und Prozesserforschungen stellt die durchgängige Digitalisierung einen weiteren zentralen Forschungsbereich dar. In diesem Zusammenhang werden vor allem die digitalen Schnittstellen der Additiven Fertigung zu den vorlaufenden Planungsprozessen sowie den nachlaufenden Prozessen der Bauausführung untersucht (Bild 1).

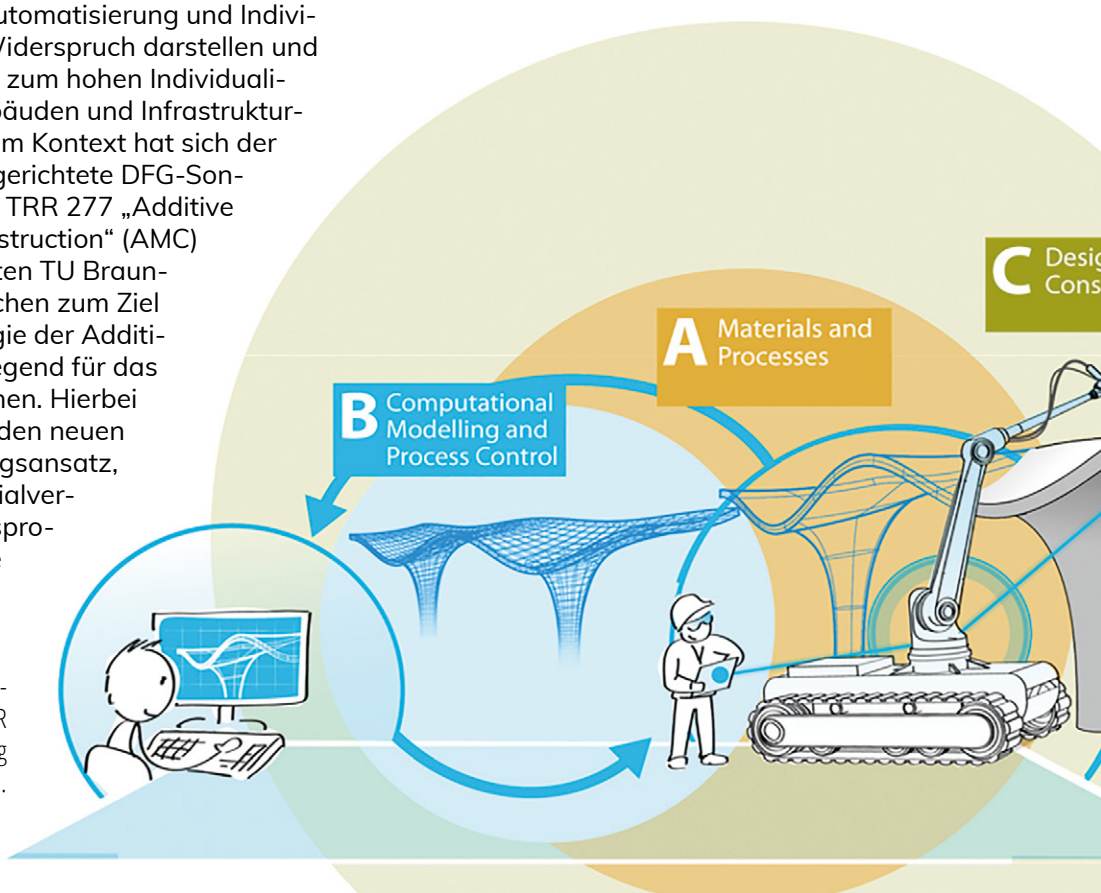
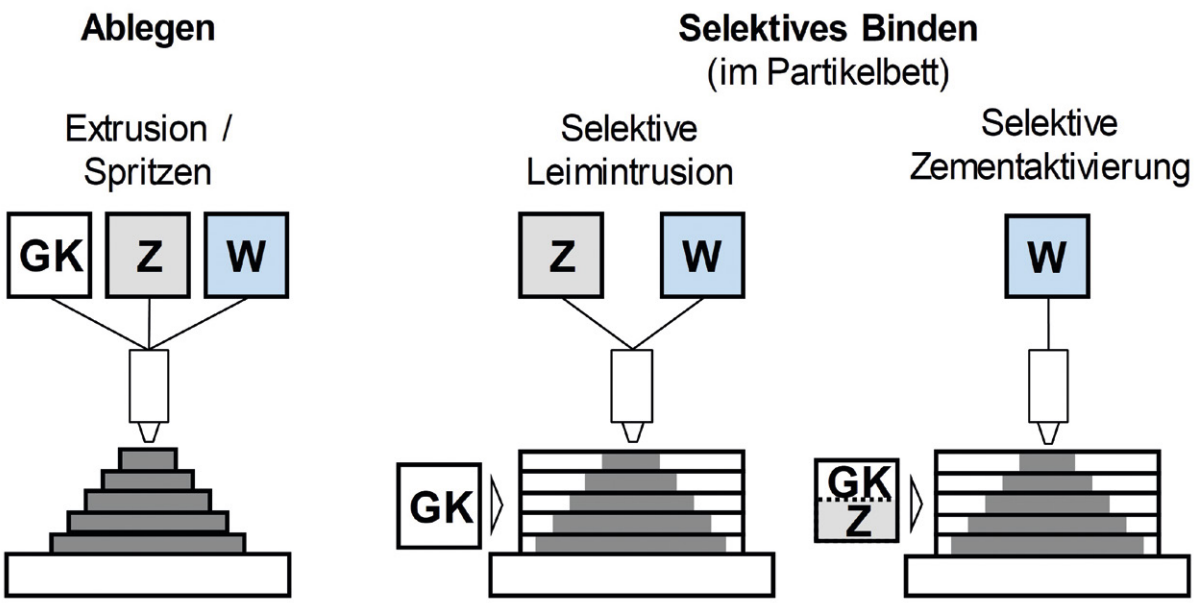


Bild 1: Struktur des DFG-Sonderforschungsbereichs TRR 277 Additive Fertigung im Bauwesen.

Prof. Dr.-Ing. Harald Kloft
Technische Universität Braunschweig

Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen
Technische Universität München



© D. Lowke

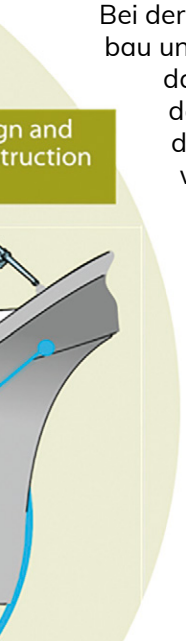
Bild 2: Schematische Darstellung der vorherrschenden 3D-Drucktechniken im Betonbau (GK = Gesteinskörnung, Z = Zement, W = Wasser).

Grundlegende Prinzipien der Additiven Fertigung von Betonbauteilen

Der ursprüngliche Einsatzbereich der Additiven Fertigung liegt in der Herstellung prototypischer Werkstücke in der industriellen Entwicklung (Rapid Prototyping). Da mehr oder weniger jedes Gebäude durch die unterschiedlichen örtlichen Gegebenheiten einem prototypischen Fertigungsansatz unterliegt, passen die Prinzipien der Additiven Fertigung ideal zum Bauwesen. Bei der Additiven Fertigung entfällt der Formenbau und der Bauteilaufbau erfolgt schichtweise, das 3D-Drucken von Beton ist daher prädestiniert für die Additive Fertigung. Allein durch den Wegfall des Schalungsprozesses werden Ressourcen und Bauzeit gespart. Die Herausforderung besteht darin, dass Bauteile materialsparend aufgebaut werden. Hierzu müssen Strukturdesign, Materialzusammensetzung und Fertigungsprozess grundlegend neu gedacht werden. Dies betrifft sowohl die äußere Formgebung als auch die Gradierung der Bauteile in ihrem inneren Aufbau.

Bild 2 zeigt in einer schematischen Darstellung die derzeit vorherrschenden Betondrucktechniken und die prozessbezogene Zusammenführung von Gesteinskörnung (GK), Zement (Z) und Wasser (W) zu einer Betonmatrix [1]. Die für den Werkstoff Beton geeigneten Technologien des schichtweisen Aufbaus können grundsätzlich in zwei Gruppen eingeteilt werden: Ablegende Prozesse, bei denen die Betonmatrix vorab gemischt und anschließend in Strängen schichtweise abgelegt wird (Bild 2, links) und selektiv bindende Prozesse, bei denen zunächst eine Schicht aus trockenen Partikeln aufgebracht und anschließend durch eine flüssige Phase (Zementleim oder Wasser) selektiv gebunden wird (Bild 2, Mitte und rechts) [2].

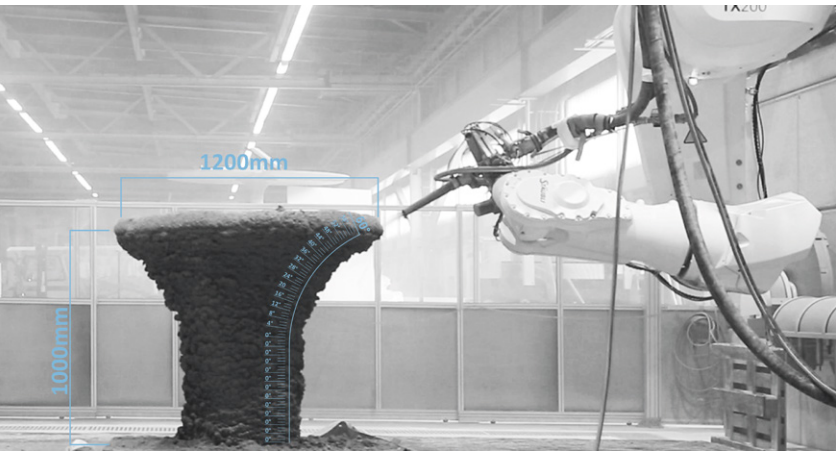
Die derzeit am weitesten verbreitete Methode des 3D-Druckens von Beton ist das schichtenweise Ablegen von plastisch verformbaren Materialsträngen durch Extrusion. Im Unterschied zu einem betonierten Bauteil, bei dem der Frischbeton nachträglich mechanisch verdichtet wird, um die designierten Festbetoneigenschaften zu erreichen, ist dieser Arbeitsschritt bei der Additiven Fertigung nicht vorgesehen. Der Verbund zwischen den Schichten wird schwerkraftinduziert, vorwiegend über chemische Bindung, hergestellt. Entsprechend sensibel ist der Bereich zwischen den Schichten im Hinblick auf homogene Materialeigenschaften.



© TRR 277

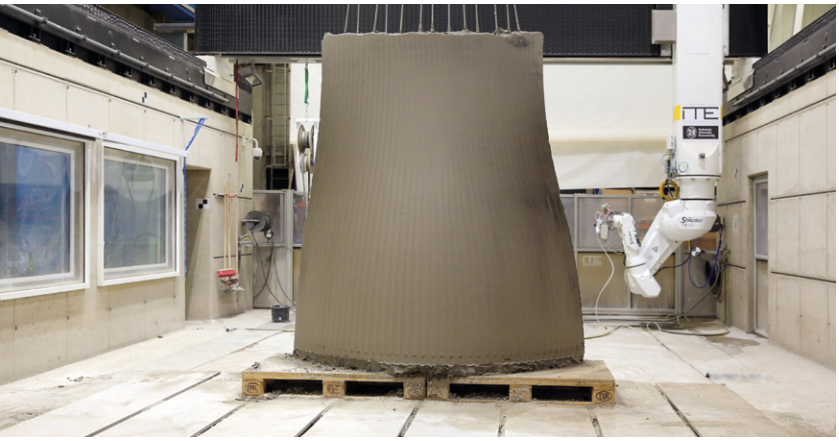
Shotcrete 3D Printing (SC3DP)

Am Institut für Tragwerksentwurf (ITE) und Institut für Baustoffe, Massivbau und Brandschutz (iBMB) der TU Braunschweig wird seit mehreren Jahren an Verfahren für den 3D-Druck von großformatigen Betonbauteilen geforscht. In einem interdisziplinären Verbundvorhaben, gefördert vom Niedersächsischen Ministerium für Wissenschaft und Kultur, wurde das sogenannte Shotcrete 3D Printing Verfahren (SC3DP) entwickelt. Bei der SC3DP-Technologie handelt es sich um ein robotisch gesteuertes, additives Fertigungsverfahren, das – im Unterschied zu den Extrusions-Verfahren – Betonbauteile durch die kontrollierte Zugabe von Druckluft Schicht für Schicht aufbaut [1].



© ITE / TU BS

Bild 3: Herstellung einer Pilzkopfstütze im robotischen SC3DP-Verfahren.



© ITE / TU BS

Bild 4: Im SC3DP-Verfahren gefertigte freigeformte und geglättete Betonwand mit integrierter Stahlbewehrung

Die räumlichen Freiheitsgrade des Roboters ermöglichen entsprechende gestalterische Freiheiten (Bild 3). Da beim 3D-Drucken keine Schalung verwendet wird, ist der Fertigungsprozess auf die Tragfähigkeit der bereits aufgetragenen Frischbetonschichten angewiesen. Am iBMB der TU Braunschweig werden hierfür spezielle Betone entwickelt, die anforderungsspezifisch auf unterschiedliche Werkstoffeigenschaften eingestellt werden können. Die Steuerung der Rheologie und des Erstarrungsverhaltens und damit der Tragfähigkeit der Schichten erfolgt beim SC3DP-Verfahren unter anderem über die Zugabe von Betonzusatzmitteln in den Betonstrahl. Ein Vorteil der SC3DP-Technologie ist die durch die Druckluft erzielte Beschleunigung des Materials. Die hohe kinetische Energie beim Aufprall bewirkt eine Verdichtung des Betons sowie einen guten mechanischen Verbund zwischen zwei aufeinanderfolgenden Schichten [3]. Daraus resultieren gute Festigkeits- und Dauerhaftigkeitseigenschaften der additiv gefertigten Bauteile. Aufgrund der hohen Auftragsrate und der hohen Prozessgeschwindigkeit eignet sich das SC3DP-Verfahren sehr gut für die Fertigung großformatiger Bauteile (Bild 4).

Fazit

Der Beton-3D-Druck hat das Potenzial, eine auf die individuellen Bedürfnisse des Bauwesens zugeschnittene digitale Fabrikationstechnologie zu werden. Durch die integrale Abstimmung von Strukturdesign, Material und Fertigungsprozess können zukünftig ressourceneffiziente großformatige Bauteile gedruckt werden, die gleichzeitig leicht und stabil sind. Neben dem effizienten Einsatz von Ressourcen kann die Technologie des 3D-Druckens zu einer gesteigerten Produktivität in der Bauwirtschaft und der Schaffung neuer qualifizierter Facharbeitsprofile beitragen.

[1] Kloft, H.; Hack, N.; Mainka, J.; Brohmann, L.; Herrmann, E.; Ledderose, L.; Lowke, D. (2019) Additive Fertigung im Bauwesen: Erste 3-D-gedruckte und bewehrte Betonbauteile im Shotcrete 3D Printing Verfahren (SC3DP) in: Bautechnik Volume 96, Issue 12.

[2] Lowke, D.; Dini, E.; Perrot, A.; Weger, D.; Gehlen, C.; Dillenburger, B. (2018) Particle-bed 3D printing in concrete construction – possibilities and challenges in: Cement and Concrete Research 112, no. 10.

[3] Kloft, H.; Krauss, H.-P.;, Hack, N.; Herrmann, E.; Varady, P. A.; Lowke, D. (2020) Influence of process parameters on the interlayer bond strength of concrete elements additive manufactured by Shotcrete 3D Printing (SC3DP) in : Cement and Concrete Research 134, Special issue on Digital Concrete.

Innovative Betone

Beton im Leichtbau – Status quo und Zukunftspotenziale

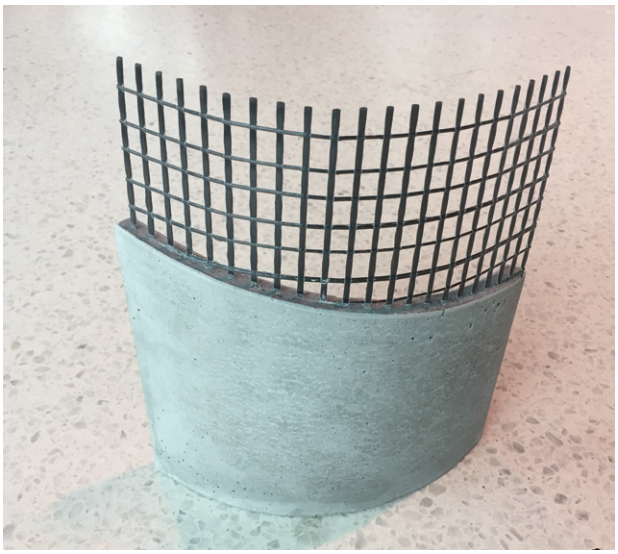
Leichtbau mit Beton – geht das überhaupt? Auch wenn in der öffentlichen Wahrnehmung der Baustoff Beton oftmals noch als schwer und massiv gilt – gerade die Betonbauweise birgt ein hohes Einsparpotenzial an Ressourcen und damit an CO_2-Emissionen. Der Beitrag stellt einige technologische Entwicklungen vor und zeigt, was mit Beton im Leichtbau bereits heute realisiert wird und in naher Zukunft voraussichtlich möglich sein wird.

Textilbeton – leicht, tragfähig

Textilbeton ist eine ressourcenschonende Alternative zum klassischen Stahlbeton. Er ist ein innovativer Verbundwerkstoff, der aus einer Betonmatrix und einer textilen Bewehrung aus Hochleistungsfaserstoffen wie alkaliresistentem Glas (AR-Glas), Carbon oder auch Basalt besteht. Die klassische Armierung aus Stahl wird dadurch ersetzt. Der wesentliche Unterschied des Textilbetons zu den schon seit Jahrzehnten eingesetzten faserbewehrten Betonen ist, dass die Fasern mit Methoden und Geräten der Textiltechnik zu textilen Strukturen verbunden werden und als Gelege damit in Kraftrichtung im Betonbauteil ausgerichtet werden können. Carbonbeton als Variante von Textilbeton besitzt eine nichtrostende und hochtragfähige Bewehrung aus Carbon. Hochleistungsendlosfasern aus Carbon werden in Form eines textilen Gewebes verarbeitet (siehe auch vorheriger Beitrag).

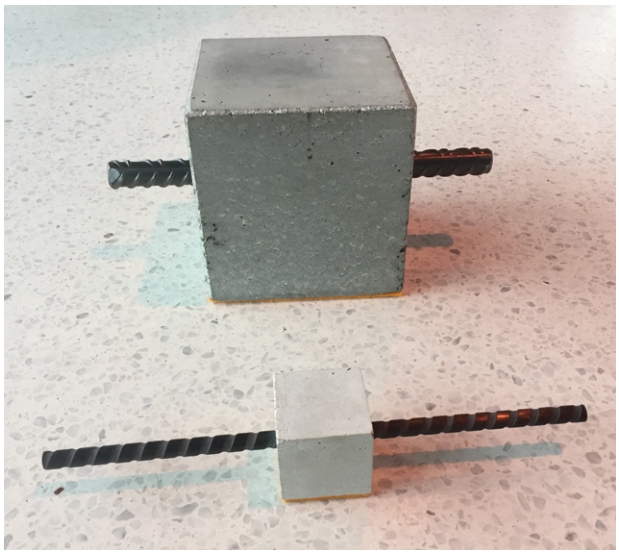
Textilbeton hat eine Reihe von Vorzügen. Die textile Bewehrung rostet nicht, es entstehen keine Korrosionsschäden, die Bauteile sind damit langlebiger. Ebenso können höhere Festigkeiten im Vergleich zu konventionellem Betonstahl erzielt werden. Textilbeton ermöglicht minimierte Betondeckungen und damit dünnere, schlanke und leichtere Konstruktionen mit enormer Tragfähigkeit. Somit werden weniger Material und Energie verbraucht und die CO_2-Emissionen verringert.

Aufgrund seiner Vorteile ist Textilbeton eines von zehn Projekten, das im Rahmen von „Zwanzig20 – Partnerschaft für Innovation“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung gefördert wird. Die über den Verein C³ – Carbon Concrete Composite vernetzten Hochschulen und Unternehmen wollen im Rahmen des Projekts die Voraussetzungen schaffen, dass bis 2030 bei Neubauten mindestens 20 % der Stahlbewehrung durch Carbonbewehrung ersetzt werden kann. Forschungsprojekte des Fraunhofer Wilhelm-Klauditz-Instituts in Braunschweig gehen einen anderen Weg und wollen die Synthesefasern durch ein Textil aus nachwachsenden Rohstoffen wie beispielsweise Flachs ersetzen.



© FBF

Textilgelege als Bewehrung.



Mit Carbonfasern verstärkter Beton (vorne) hat ein viel geringeres Volumen als Stahlbeton (hinten), ist aber genauso stabil.

DUctile CONcrete – mikrobewehrt, selbstverdichtend

DUCON (DUctile CONcrete) ist ein mikrobewehrter Hochleistungsbeton, der sich aus einer räumlichen Mikroarmierung (hochfeste Edelstahlmatten) und einem ultra-hochfesten Beton zusammensetzt. Dies ermöglicht extrem dünne Bauarten, die sehr biegsam und flexibel (duktil) sind, gleichwohl hohe Tragfähigkeiten entwickeln sowie hohe Schutzwirkungen gegenüber dynamischen Einwirkungen wie Explosionen oder Erdbeben.

Die DUCON-Technologie ermöglicht ein breites Anwendungsspektrum. Dieses reicht von Schutzsystemen, gegen Durchbruch, Explosionen oder Beschuss, über Beschichtungssysteme, unter anderem nach Wasserhaushaltsgesetz (WHG), bis hin zu Architektur- und Designbauteilen, wie dünnen Faltwerktreppen, filigranen Möbeln und Fassaden. Außerdem ist es möglich, Fassadenelemente thermisch zu aktivieren. Ein gutes Beispiel hierfür ist die ETA-Fabrik, eine Modellfabrik des produzierenden Gewerbes auf dem Campus der Technischen Universität Darmstadt. Maschinen und Gebäude sind energetisch vernetzt, die Energieströme werden optimal abgestimmt genutzt. Die Außenhülle wurde aus 11 m langen und 5,5 cm dünnen DUCON-Platten hergestellt, die durch den Einbau von Kapillarrohrmatten thermisch aktiviert wurden. Die Fassaden- und Dachplatten sind in den Energiekreislauf des Gebäudes integriert und tragen je nach Bedarf zur Kühlung der Maschinen oder zur Beheizung des Gebäudes bei. Das Monitoring der Anlage hat ergeben, dass die Energiefassade lediglich 600 W Eingangsleistung benötigt, um 22.000 W Kühlleistung zu gewinnen.

Infraleichtbeton – tragend, wärmedämmend

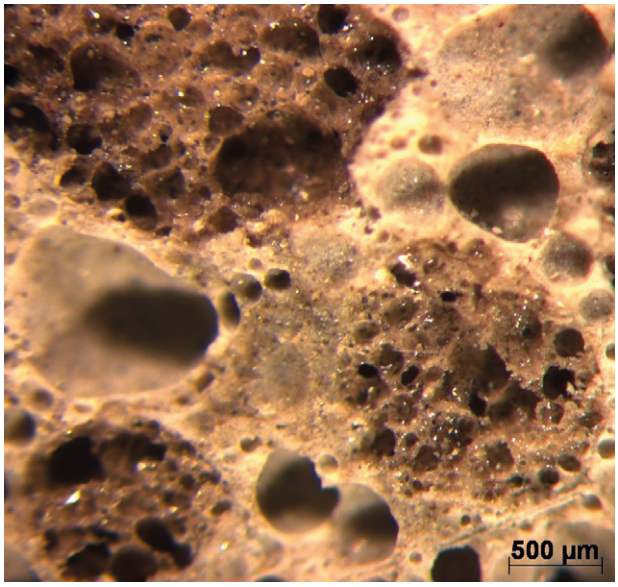
Mit Infraleichtbeton wurde an der Technischen Universität Berlin ein Material entwickelt, das mit einer Rohdichte von 300 bis 800 kg/m³ leichter als Leichtbeton (Rohdichte 800 bis maximal 2.000 kg/m³) ist, trägt und gleichzeitig entsprechend den aktuellen Normen wärmedämmt. Statt Schotter oder Kies werden Zuschläge wie Blähton oder Blähglas verwendet. Dadurch wird der Beton leichter, er ist porös und schließt viel Luft ein. Es entsteht ein tragender und wärmedämmender Beton. Die Konstruktion kann einschalig ausgeführt werden.

Im Vergleich zu einer mehrschichtigen Wand mit vorgeklebter Wärmedämmung liegt somit ein monolithischer, nachhaltiger Werkstoff mit hohem Gestaltungspotenzial vor. Als mineralischer Baustoff ist Infraleichtbeton zu 100 % sortenrein recycelbar. Durch sein homogenes Volumen besitzt er eine zusätzliche Speichermasse, die einer Überhitzung des Gebäudes im Sommer und einer Nachtauskühlung im Winter auf einfache und natürliche Art entgegenwirkt.

Nach dem Bau von Infraleichtbetonhäusern für private Bauherren, wurde dieser Baustoff im Jahr 2018 erstmals in einem öffentlichen Gebäude, dem Jugendclub „Betonoase“ in Berlin-Lichtenfeld, eingesetzt. Es entstand ein Passivhaus mit Wandstärken von rund 50 cm in Ortbetonbauweise. Erste Objekte im Fertigteilbau sind in Vorbereitung. So plant die Wohnungsbaugesellschaft Berlin-Mitte den Bau eines 12-geschossigen Punkthochhauses mit Fertigteilwänden aus Infraleichtbeton. Die Wandelemente kommen ohne zusätzliche Dämmmaterialien aus und müssen weder innen noch außen verkleidet werden.

© Eibe Soennecken, Darmstadt

Die Außenhülle der ETA-Fabrik besteht aus 5,5 cm dünnen thermisch aktivierten DUCON-Platten.



© Holcim (Süddeutschland) GmbH

Infraleichtbeton unter dem Mikroskop.

Gradientenbeton – harte Schale, weicher Kern

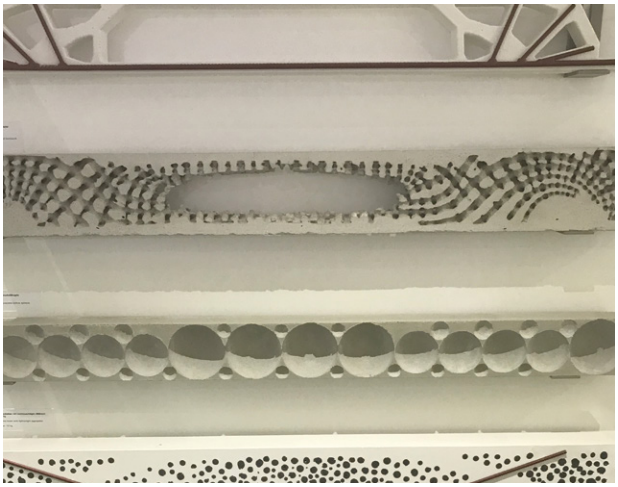
Die konsequente Weiterentwicklung und synergetische Mischung aus hoher Tragfähigkeit und hervorragender Wärmedämmung bildet der sogenannte Gradientenbeton ab. Er ermöglicht die Optimierung der Betoneigenschaften in einem Querschnitt, abgestimmt auf die einwirkenden Belastungen. Hintergrund ist, dass in tragenden Bauteilen der Beton nicht über den gesamten Bauteilquerschnitt gleich stark und in gleicher Weise beansprucht wird. Bei der herkömmlichen Herstellung wird dem nicht Rechnung getragen. Der Beton weist dabei über den ganzen Querschnitt einer Außenwand die gleiche Festigkeit und Wärmedämmeigenschaften auf. Innovative Werkstofftechnologien und Herstellungsverfahren, bei denen die Bauteile im Spritzverfahren mit unterschiedlichen Betonmischungen hergestellt werden, eröffnen ganz neue Möglichkeiten. So können beim Gradientenbeton beispielsweise sehr schlanke Wandelemente produziert werden, die an der inneren und äußeren Grenze hohe Festigkeiten für hohe Tragfähigkeiten besitzen, während sie im Kern haufwerksporige Mischungen für maximale Wärmedämmung (Erfüllung der EnEV 2016 bei Wandstärken von rund 25 bis 30 cm) aufweisen. Damit wird auch der Wunsch der Architekten nach einschaligen, tragenden und wärmedämmenden Wänden in Sichtbetonqualität realisierbar.

Die Gradientenbetontechnologie zeichnet sich durch eine höhere Materialeffizienz, eine signifikante Senkung des Ressourcen- und Energieeinsatzes und damit der CO_2-Emissionen aus. Konkret sind eine Gewichtsreduktion der Betonbauteile um 30 %, ein um 45 % verringerter Ressourceneinsatz sowie Einsparungen bei den Material- und Energiekosten um über 27 % möglich.

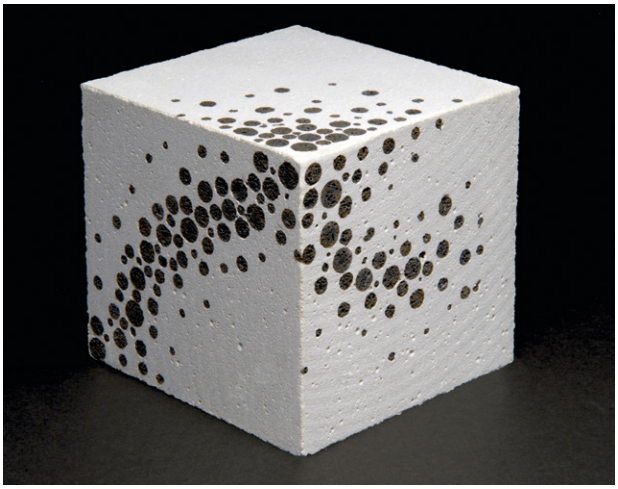
Funktional gradierte Betonbauteile werden in absehbarer Zeit einen signifikanten Beitrag zur Entwicklung des nachhaltigen Bauens leisten. Noch befindet sich das Institut für Leichtbau Entwerfen und Konstruieren (ILEK) der Universität Stuttgart in der Erprobungsphase und arbeitet an weiterführenden Projekten, wie zu Gradientendecken und -wänden. Prototypen aus Gradientenbeton kamen beispielsweise als Exponat auf der Messe BAU 2019 zum Einsatz.

© ILEK

Eine vorgefertigte Wand aus Gradientenbeton.



© FBF



© ILEK

Durch unterschiedliche Porösitätsgrade des Betons im Bauteilinneren, kann Material und CO_2 eingespart werden.

Herausgeber

Bayerischer Industrieverband Baustoffe, Steine und Erden e. V.
Fachgruppe Betonbauteile
Beethovenstraße 8, 80336 München
Tel. 089 51403-181, Fax 089 51403-183
betonbauteile@biv.bayern, www.biv.bayern

Betonverband Straße, Landschaft, Garten e. V.
Schloßallee 10, 53179 Bonn
Tel. 0228 95456-21, Fax 0228 95456-90
slg@betoninfo.de, www.betonstein.org

Bundesverband Spannbeton-Fertigdecken e. V.
Paradiesstraße 208, 12526 Berlin
Tel. 030 61 6957-32, Fax 030 61 6957-40
info@spannbeton-fertigdecken.de
www.spannbeton-fertigdecken.de

Fachverband Beton- und Fertigteilwerke Baden-Württemberg e. V.
Gerhard-Koch-Str. 2+4, 73760 Ostfildern
Tel. 0711 32732-300, Fax 0711 32732-350
fbf@betonservice.de, www.betonservice.de

Fachverband Beton- und Fertigteilwerke Sachsen/Thüringen e. V.
Meißner Straße 15a, 01723 Wilsdruff
Tel. 035204 7804-0, Fax 035204 7804-20
info@fbf-dresden.de, www.fbf-dresden.de

Fachvereinigung Betonbauteile mit Gitterträgern e. V.
Raiffeisenstraße 8, 30938 Großburgwedel
Tel. 05139 9599-30, Fax 05139 9994-51
info@fachvereinigung-bmg.de
www.fachvereinigung-bmg.de

Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e. V.
Schloßallee 10, 53179 Bonn
Tel. 0228 95456-54, Fax 0228 95456-43
info@fbsrohre.de, www.fbsrohre.de

Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e. V.
Schloßallee 10, 53179 Bonn
Tel. 0228 95456-56, Fax 0228 95456-90
info@fdb-fertigteilbau.de, www.fdb-fertigteilbau.de

Hessenbeton e. V.
Grillparzer Straße 13, 65187 Wiesbaden
Tel. 02631 9560452, Fax 02631 9535970
reim@bkri.de, www.hessenbeton.de

Informationsgemeinschaft Betonwerkstein e. V.
Postfach 3407, 65024 Wiesbaden
Tel. 0611 603403, Fax 0611 609092
service@info-b.de, www.info-b.de

InformationsZentrum Beton GmbH
Toulouser Allee 71, 40476 Düsseldorf
Tel. 0211 28048-1, Fax 0211 28048-320
izb@beton.org, www.beton.org

Unternehmerverband Mineralische Baustoffe e. V.
Fachgruppe Betonbauteile
Walter-Köhn-Str. 1 c, 04356 Leipzig
Tel. 0341 520466-0, Fax 0341 520466-40
presse@uvmb.de, www.uvmb.de

Verband Beton- und Fertigteilindustrie Nord e. V.
Raiffeisenstraße 8, 30938 Burgwedel
Tel. 05139 9994-30, Fax 05139 9994-51
info@vbf-nord.de, www.vbf-nord.de

vero – Verband der Bau- und Rohstoffindustrie e. V.
Fachgruppe Betonbauteile NRW
Düsseldorfer Straße 50, 47051 Duisburg
Tel. 0203 99239-0, Fax 0203 99239-97
info@vero-baustoffe.de, www.vero-baustoffe.de

Ideelle Träger

Berufsförderungswerk für die Beton- und Fertigteilhersteller e. V.
Gerhard-Koch-Str. 2 + 4, 73760 Ostfildern
Tel. 0711 32732-323, Fax 0711 32732-350
info@berufsausbildung-beton.de
www.berufsausbildung-beton.de

Forschungsvereinigung der deutschen Beton- und Fertigteilindustrie e. V.
Schloßallee 10, 53179 Bonn
Tel. 0228 95456-11, Fax 0228 95456-90
info@forschung-betonfertigteile.de
www.forschung-betonfertigteile.de

Fragen

Haben Sie noch Fragen? Dann senden Sie uns eine E-Mail an info@punktum-betonbauteile.de

Redaktion
Denny Bakirtzis, M.A.; Dipl.-Ing. Alice Becke; Juliane Bräunlich; Dipl.-Ing. (FH) Michael Fuchs; RA Stephan von Friedrichs; Dipl.-Ing., Dipl.-Wirt.-Ing. Elisabeth Hierlein; Dipl.-Ing.(FH), Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Diana Klose; Holger Kotzan; Dr.-Ing. Markus Lanzerath; Andrea Leusch; Dr. Ulrich Lotz; Dr.-Ing. Jens Uwe Pott; Judith Pütz-Kurth; Christian Reim, M. Sc.; Irina Ruff; Dipl.oec. Gramatiki Satslidis; Franziska Seifert, M. A.; Dipl.-Ing. Mathias Tillmann; Dipl.-Ing. Dietmar Ulonska; Christina Ulrich

Namentlich gekennzeichnete Beiträge geben ausschließlich die persönlichen Ansichten und Meinungen des Autors wieder und müssen nicht unbedingt mit der Meinung der Redaktion übereinstimmen. Für die Richtigkeit und Vollständigkeit der Inhalte übernimmt die Redaktion keinerlei Gewähr.

Verantwortliche Redakteurin
Dipl.oec. Gramatiki Satslidis

Layout
Julia Romeni

Titelbilder
Cover: © Tamara – stock.adobe.com

Druckerei
Onlineprinters GmbH, Dr.-Mack-Straße 83, 90762 Fürth, www.diedruckerei.de

Auflage
1.500

Genderhinweis
Aus Gründen der besseren Lesbarkeit wird bei Personenbezeichnungen und personenbezogenen Hauptwörtern in dieser Veröffentlichung die männliche Form verwendet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung grundsätzlich für alle Geschlechter. Die verkürzte Sprachform hat nur redaktionelle Gründe und beinhaltet keine Wertung.

Klimaneutrale Produktion

Klimaneutral
Druckprodukt
ClimatePartner.com/10170-2108-1066

Unser Magazin wird klimaneutral produziert. Die CO_2-Menge unseres Druckauftrags wird durch ein Projekt zum Schutz des Amazonas ausgeglichen. Die Region Madre de Dios ist Teil des Vilcabamba-Amboró Korridors, einem der größten Gebiete mit der weltweit höchsten biologischen Vielfalt. Neben bedrohten Arten wie dem Mahagoni-Baum, Jaguar oder Puma leben hier auch mehrere indigene, teils unkontaktierte Völker. Ihr wertvoller Lebensraum wird bedroht. Das Projekt schützt ein 100.000 ha großes Gebiet und hilft den lokalen Gemeinden, es nachhaltig zu bewirtschaften.

BIV BAUSTOFFE STEINE UND ERDEN

SLG Betonverband Straße, Landschaft, Garten e.V.

Spannbeton FERTIGDECKEN®

Fachverband Beton- und Fertigteilwerke Baden-Württemberg e. V.

Fachverband Beton- und Fertigteilwerke Sachsen/Thüringen e. V.

Fachvereinigung Betonbauteile mit Gitterträgern

FBS Fachvereinigung Betonrohre und Stahlbetonrohre e.V.

FDB Fachvereinigung Deutscher Betonfertigteilbau e.V. konstruktiv & kreativ

HESSENBETON

Betonwerkstein Info-b Informationsgemeinschaft Betonwerkstein e.V.

Beton

UVMB Unternehmerverband Mineralische Baustoffe

VBF Nord Beton- und Fertigteilindustrie Nord

vero der baustoffverband

bbf Berufsförderungswerk für die Beton- und Fertigteilhersteller e. V.

Forschungsvereinigung der deutschen Beton- und Fertigteilindustrie e.V.

Kompetenz für Betonbauteile