

NEWSLETTERTECHNIK

Dezember 2021
Engineering & Innovation

HEIDELBERGCEMENT



Liebe Leserinnen, liebe Leser,

zum Jahresausklang 2021 haben wir für Sie eine neue Ausgabe unseres Newsletter Technik zusammengestellt und hoffen, dass unsere Beiträge auch dieses Mal wieder Ihr Interesse finden werden.

Lesen Sie in dieser Ausgabe wie das erste 3D-gedruckte Haus in Deutschland realisiert wurde – von der Idee bis zur Fertigstellung. Das von harmonischen Linien geprägte Wohnhaus wurde in Beckum errichtet. Mit dem Bau wurde die neue Fertigungstechnologie erfolgreich erprobt und in der Praxis umgesetzt.

Seit mehreren Jahren wird an der Aktualisierung der Normenreihe DIN 1045 sowie der als „BBQ-Richtlinie“ bezeichneten Richtlinie des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStB) gearbeitet. Anfang 2020 beantragte der DAfStB die Zusammenführung beider Regelwerke in der Normenreihe DIN 1045. Über die geplante Zeitschiene für die Veröffentlichung und Einführung informieren wir Sie in einem Kurzbeitrag.

Auch in diesem Newsletter ist die Decarbonisierung der Betonbauweise ein Thema. Lesen Sie dazu in unserem zweiten Kurzbeitrag, welche neuen Ansätze es für die CO₂-Verwendung in der Klinker- und Zementproduktion gibt. Am BMBF-geförderten Verbundprojekt C²inCO₂ ist HeidelbergCement als Konsortialführer beteiligt.

Ende September hat der DAfStB seine CO₂-Roadmap zum nachhaltigen Bauen mit Beton veröffentlicht. In unserem dritten Beitrag finden Sie eine kurze Information mit Links zu den einzelnen Dokumenten.

Ich wünsche Ihnen eine interessante Lektüre und schon heute ein schönes Weihnachtsfest, auch wenn dieses erneut von der Corona-Pandemielage geprägt sein wird.

Kommen Sie gut ins neue Jahr und vor allem: Bleiben Sie gesund!



Ihre

Dagmar Küchlin

Teamleiterin Anwendungstechnik Zement,
Abteilung Engineering & Innovation, Leimen



**Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck
in der Baupraxis** [mehr »](#)



Gelbdruckverfahren DIN 1045 / BBQ
[mehr »](#)

**Decarbonisierung
der Zement- und
Betonproduktion:
Einbindung von
CO₂ im Betonzyklus und
Verwendung in der Klinker-
und Zementproduktion** [mehr »](#)



**DAfStB-Roadmap für einen klima-
gerechten und ressourcen-
effizienten Betonbau** [mehr »](#)





↑ Das erste 3D-gedruckte Haus in Deutschland

Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

Dr.-Ing. Daniel Weger

Schießl Gehlen Sodeikat GmbH

M.A. Waldemar Korte

Mense-Korte GbR

Dr.-Ing. Jennifer Scheydt

HeidelbergCement AG

Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen

TU München

Dr. Fabian Meyer-Brötz

PERI AG

Prof. Dr.-Ing. Thorsten Stengel

Hochschule München

Der 3D-Druck mittels additiver Fertigungsverfahren hat sich in industriellen Bereichen, wie z.B. dem Maschinenbau oder der Medizintechnik, bereits seit Jahren bewährt. Auch im Betonbau können additive Fertigungsverfahren eine echte Alternative zu konventionellen Bauweisen sein. Additive Fertigungsverfahren können komplett auf die Verwendung einer Schalung verzichten und komplexe Formen, entkoppelt von der Stückzahl, herstellen.

Pilotprojekte haben gezeigt, dass durch eine geeignete Konstruktion eine große Materialeinsparung an Beton von bis zu 70 % bei vergleichbarer Traglast bzw. 80 % Mindestbewehrung möglich ist. Das führt vor allem bei komplexen Bauteilen zu einer positiven Ökobilanz verglichen mit konventionell gefertigten Bauteilen.

Mit dem Bau des ersten 3D-gedruckten Hauses in Deutschland in Beckum wurde diese neue Fertigungstechnologie im Bauwesen erfolgreich erprobt und damit der Grundstein für die erfolgreiche Einführung des 3D-Druckverfahrens in die Praxis gelegt.

EINLEITUNG

Aktuell werden die Themen Ressourcenschonung und formoptimiertes Bauen vor allem im Hinblick auf die Ressourcenknappheit geeigneter Gesteinskörnungen [1–3] bzw. Zusatzstoffe [4] zur Betonherstellung sowie des Energiebedarfs und CO₂-Ausstoßes der Zement- und Stahlherstellung immer wichtiger [5–7].

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

Bauteile, die unter dem Aspekt der Materialeinsparung konstruiert werden, weisen oft eine komplexere Formgebung auf, die nur noch mit großem Aufwand oder gar nicht mehr durch konventionelle Bauweisen, wie das Füllen einer Schalung, hergestellt werden können. Additive Fertigungsverfahren können dagegen komplett auf die Verwendung einer Schalung verzichten und komplexe Formen, entkoppelt von der Stückzahl, herstellen [8–10]. Des Weiteren haben bereits einige Pilotprojekte gezeigt, dass durch eine geeignete Konstruktion eine große Materialeinsparung an Beton von bis zu 70 % bei vergleichbarer Traglast [11–14] bzw. 80 % Mindestbewehrung [15] möglich ist. Mit dem Verzicht auf Schalung wird weiteres Material eingespart und nach Verwendung Abfall vermieden. Diese Punkte führen vor allem bei komplexen Bauteilen zu einer positiven Ökobilanz verglichen mit konventionell gefertigten Bauteilen [9].

Des Weiteren stellt der Fachkräftemangel im Baugewerbe ein sich verstärkendes Problem dar [16]. Dabei könnte das Schaffen neuer Berufsbilder im Rahmen der Anwendung additiver Fertigungsverfahren auf der Baustelle neue Perspektiven schaffen und das Baugewerbe für Nachwuchskräfte wieder attraktiver machen.

Nach nur wenigen Jahren weltweiter intensiver Forschung ergänzt der 3D-Druck die Herstellungstechnologie von Gebäuden. Neben den partikelbettbasierten Verfahren (Selective Cement Activation – SCA [17–20] und der Selective Paste Intrusion – SPI [21–25]), mit Vorteilen in Oberflächenauflösung und Komplexität sowie den spritzenden Verfahren (Shotcrete 3D Printing) [26], stehen vor allem die ablegenden Verfahren (Extrusion) im weltweiten Fokus [6, 27–30]. Die ablegenden Verfahren ermöglichen es, große Betonbauteile in relativ kurzer Zeit herzustellen. Außerdem ist man in der Regel nicht durch einen Bauraum begrenzt.

Mit dem Bau des ersten 3D-gedruckten Hauses in Deutschland in Beckum wurde nun diese neue Fertigungstechnologie im Bauwesen erfolgreich erprobt und damit der Grundstein für die erfolgreiche Einführung des 3D-Druckverfahrens in die Praxis gelegt.

BETONEXTRUSION – TECHNOLOGIE

Die 3D-gedruckten Wände in Beckum wurden mit Hilfe des ablegenden additiven Fertigungsverfahrens „Extrusion“ hergestellt. Bei diesem Verfahren wird frischer Zementmörtel oder Beton mit einer Pumpe durch einen Schlauch einem Manipulator zugeführt und durch eine Düse extrudiert. Die frischen Betonstränge werden Schicht für Schicht aufgetragen und übereinander gelegt. Ein großer Vorteil der Betonextrusion ist u.a., dass Bauteile ohne Schalung hergestellt werden können (Bild 1).



↑ Bild 1: Druckprozess mit dem BOD2

Für das in diesem Beitrag beschriebene Projekt setzte Peri den BOD2 Betondrucker ein. Diese Drucktechnologie stammt vom dänischen Hersteller COBOD, an dem Peri bereits seit 2018 beteiligt ist. Jeder BOD2 besteht aus einem Portalsystem mit mehreren Modulen. Die Anzahl der Module wird so gewählt, dass sie zu dem jeweiligen Bauprojekt passt. Das Portalsystem ist sowohl für Ortbeton-Projekte als auch für die Herstellung von Elementen außerhalb der Baustelle optimal. Zudem wird durch das Portalsystem häufiges Versetzen und wiederkehrendes Kalibrieren des Druckers vermieden. Zur Beschickung des Druckers mit Material wurde ein Silo und eine Mörtelmischpumpe der Firma mtec genutzt.

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

ANFORDERUNGEN AN DAS MATERIAL – ENTWICKLUNG EINES 3D-DRUCKMÖRTELS

Die Entwicklung innovativer, moderner Materialien sollte immer gekoppelt sein an den Anspruch, den zugehörigen CO₂-Footprint zu minimieren. Vor dem Hintergrund der zunehmenden Ressourcenknappheit sollten zudem weitere Aspekte betrachtet werden, insbesondere die Kreislauffähigkeit eines Materials und die Materialeffizienz. Letzteres bedeutet, dass das Material dazu befähigen sollte, schlank zu bauen. Dies bei einer möglichst langen Nutzungsdauer der daraus hergestellten Bauteile.

Eine Herausforderung speziell bei der Entwicklung von Druckmörteln ist es, dass die einzelnen abgelegten Mörtel- bzw. Betonstränge nicht zu schnell erhärten, um den Verbund der einzelnen Schichten zu gewährleisten.

Bei zu langsamer Druckgeschwindigkeit oder zu langen Druckpausen (z.B. durch einen Druckerausfall, verzögerte Materialzufuhr oder geplante Druckpausen über Nacht) können "kalte Fugen", so genannte „Cold Joints“, entstehen. Der Cold Joint bezeichnet die Übergangszone zwischen zwei Strängen, die nicht unmittelbar nacheinander (frisch in frisch) produziert wurden. Die fortgeschrittene Hydratation und der geringere Feuchtigkeitsgehalt der Kontaktfläche des älteren Strangs im Vergleich zum Frischbeton des neuen Druckabschnitts kann zu einem schlechteren Schichtverbund führen [31–34]. Gleichzeitig müssen die Schichten eine ausreichende Grünstandfestigkeit aufweisen, um die nachfolgenden Schichten mit möglichst geringer Verformung zu tragen [35–38].

Auch bei der Entwicklung des speziellen Druckmörtels „i.tech 3D“ wurden diese Maßstäbe berücksichtigt.

So zeichnet sich der Premix „i.tech 3D“, entwickelt von HeidelbergCement, zunächst dadurch aus, dass er im vorgelagerten Misch- und Transportprozess problemlos verarbeitet werden kann. Das heißt, das Material ist sowohl gut verflüssigbar als auch gut pumpbar. Nach dem Austreten aus der Druckdüse ist der Mörtel hinreichend formstabil. Die Festigkeitsentwicklung ist so angepasst, dass sich die Schichten einerseits verbinden können und der Mörtel andererseits problemlos in der Lage ist, die Lasten aus den weiteren aufgebracht Druckbahnen ohne signifikante Verformung zu tragen. Im

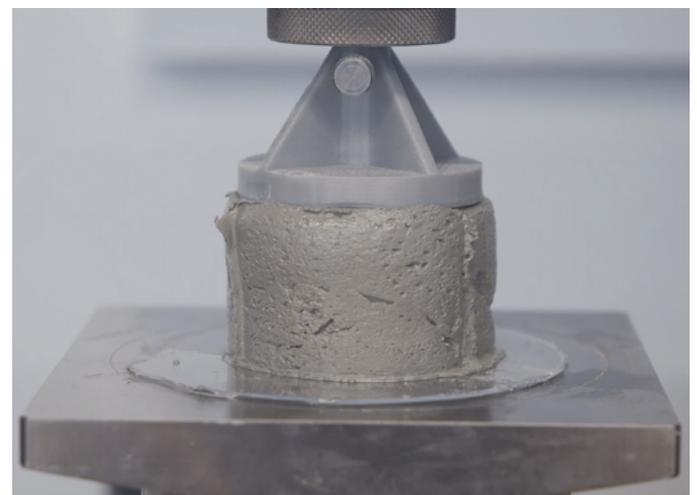
Beckum-Projekt erfolgte zum Beispiel bereits nach ca. 7 bis 12 Minuten jeweils der Auftrag der folgenden Druckschichten.

Das Ausbalancieren dieser Eigenschaften erfordert ein ausgeprägtes betontechnologisches Know-how und ein umfassendes, langjähriges Versuchsprogramm (Bild 2).

Zum einen sind Gesteinskörnung, Zement und Zusatzstoffe im Hinblick auf die zu erzielenden Eigenschaften des Trockenmörtels auszuwählen. Zum anderen ist die Korngrößenverteilung der Ausgangsmaterialien exakt aufeinander abzustimmen. Der Einsatz hochleistungsfähiger Zusatzmittel steuert die gewünschte Materialperformance zusätzlich aus. Das im Premix „i.tech 3D“ eingesetzte Bindemittel wurde mit Blick auf die Nachhaltigkeit so konzipiert, dass es einen um ca. 70 % geringeren CO₂-Footprint aufweist als Portlandzement.

Die Kreislauffähigkeit des Druckmaterials – also dessen Rezyklierbarkeit und die Möglichkeit des Wiedereinbringens in den Materialkreislauf nach Erreichen des Lebensendes – werden bei „i.tech 3D“ dadurch sichergestellt, dass es aus rein mineralischen Komponenten besteht.

Die hohen Festigkeiten des Materials ($R_{c,28} \approx 60$ MPa entsprechend DIN EN 196-1:2016 [39]) sowie die sehr guten Dauerhaftigkeitseigenschaften (Abwitterung < 250 g/m² nach 56 Frost-Tau-Wechseln im CIF-Test, keine innere Schädigung erkennbar [40, 41]) ermöglichen die Herstellung schlanker und gleichzeitig langlebiger Druckbauteile.



↑ Bild 2: Untersuchung der Stabilität des Druckmörtels im Labor

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

ENTWURF DES ERSTEN 3D-GEDRUCKTEN GEBÄUDES IN DEUTSCHLAND – ARCHITEKTONISCHE VISION

Erste Überlegungen

Die Idee, das erste gedruckte Wohngebäude Deutschlands in Beckum zu realisieren, stammt vom Trockenbauunternehmer Georgios Staikos aus Beckum. Von der Idee angesteckt, war nun vor allem die Aufgabe zu meistern, die im kleineren Maßstab bereits entwickelte Technologie in die Praxis zu übertragen, sodass ein reelles Gebäude entsteht, das alle baurechtlichen Anforderungen des Landes Nordrhein-Westfalen erfüllt. Da es im europäischen Umland bereits kleine gedruckte Gebäudestrukturen (Pavillons) zum Zeitpunkt des Projektstarts in Beckum gab, musste die Herausforderung gesteigert werden. Das heißt, es musste ein Gebäude sein, das eine Größe und Komplexität aufweist, die einem hochwertigen Einfamilien-Wohnhaus mit zwei Geschossen gleichkommt. Das Gebäude sollte den tatsächlichen Immobilienmarkt widerspiegeln, den es mittelfristig bedienen können muss. Beginnend mit einer recht einfachen Gebäudestruktur in den ersten Entwurfsgedanken kristallisierte sich schnell heraus, dass es für die kurzfristige Etablierung der Betondrucktechnologie von essentieller Bedeutung sein würde, ein Gebäude zu entwerfen, das sämtliche konstruktiven, gestalterischen und prozess-

technischen Herausforderung der heutigen Baubranche annimmt und lösen kann bzw. optimiert (Bild 3).

Entwurfsprozess

Der anfängliche Entwurfsprozess bei gedruckten Gebäudestrukturen gleicht weitestgehend demjenigen herkömmlicher Bauweisen. Der Planer und der Kunde definieren gemeinsam das Anforderungsprofil an die Gebäudenutzung, die Gebäudegröße und die Architektursprache. In Bezug auf die Gebäudearchitektur kann der Betondruck bereits zum ersten Mal seine Stärke ausspielen. Die Planenden sind bei der Verwirklichung der eigenen Ideen nicht mehr durch kosteneffiziente, rechteckige Grundriss-Geometrien limitiert, sondern können ihren Designvorstellungen freien Lauf lassen. Im 3D-Betondruck sind freie Grundrissformen im Vergleich zu stringenten Formen kosten- und bauzeitneutral realisierbar. So war es möglich, das Gebäude in Beckum im Grundriss völlig frei zu gestalten, um das Potenzial der Drucktechnologie aufzuzeigen. Lediglich bei den Innenwänden wurde ein hoher Grad an Rechtwinkligkeit angestrebt, um die Inneneinrichtung der Räume mit Standardmöbeln zu ermöglichen. Der Entwurfsprozess findet beim 3D-Druck früh am digitalen Gebäudemodell statt, sodass Auswirkungen von Planungsänderungen direkt sichtbar werden und allen Projektbeteiligten Planungssicherheit geben.



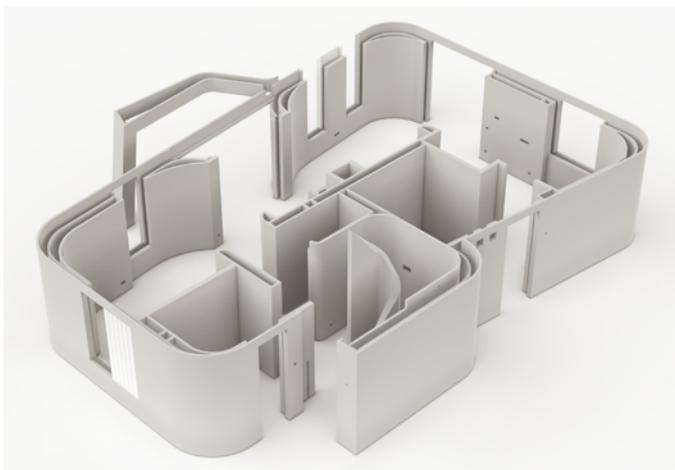
↑ Bild 3: Animation des ersten in Deutschland mittels 3D-Betondruck realisierten Gebäudes

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

Besonderheiten beim Entwurf von 3D-gedruckten Häusern

Das dreidimensionale BIM-basierte Gebäudemodell ist ein essentieller Bestandteil der Projektentwicklung von Gebäuden im Betondruckverfahren. Am 3D-Modell zu planen, bedeutet zum einen eine große Planungstiefe zu einem frühen Zeitpunkt zu generieren, setzt zum anderen aber voraus, dass das Projektteam aus Gebäudeplanern, Statikern und TGA-Planern wesentlich früher zusammenarbeiten muss, als es bei herkömmlichen Bauprojekten der Fall ist. Bei der additiven Fertigung von Gebäuden können bereits Wandaussparungen und Schlitze für Medienleitungen im 3D-Gebäudemodell vorgesehen und vor Ort durch die Maschine präzise hergestellt werden. So konnten bei dem Projekt in Beckum sämtliche Elektro-Leerdosen und Elektroschlitze sowie Steigstränge für die Abwasserleitungen durch den Drucker ausgespart und direkt druckbegleitend händisch mit Leerdosen oder Abwasserleitungen bestückt werden (Bild 4).

Eine nachträgliche Rohinstallation durch die TGA-Gewerke erübrigte sich dadurch größtenteils. Die Funktionsfähigkeit einer lückenlosen digitalen Prozesskette hat sich als wichtiger Baustein in der Planung und örtlichen Realisierung von gedruckten Gebäuden herausgestellt.



↑ Bild 4: BIM-Modell des in Beckum gedruckten Hauses

Konstruktionskonzept

Das Wohngebäude in Beckum wurde als Massivbau mit mehrschaligen Wandaufbauten konzipiert. Durch das Zusammenspiel der unterschiedlichen Wandschalen mit Einzelbreiten von 60 mm war es möglich, Hohlräume zu generieren, die zum einen die Wärmedämmung als Schüttdämmung und zum anderen örtliche unbewehrte Betonverfüllungen für statisch hoch belastete Gebäudeteile aufnehmen konnten. Das Ausschalen von Ortbetonwänden war nicht notwendig, da die Schalung direkt als verlorene Betonschalung mitgedruckt werden konnte. Sämtliche vertikalen Wandbauteile wurden ohne Bewehrung ausgeführt. Die horizontalen Bauteile wie Decken und die Bodenplatte wurden herkömmlich bewehrt, teilweise als teilverfertigte Betonelemente vor Ort auf den gedruckten Wandscheiben verlegt und nachträglich mit Transportbeton aufbetoniert (Bild 5). Die Fassade besteht aus einem 60 mm breiten Strang aus Druckmörtel und ist mit Edelstahlankern mit der tragenden gedruckten Außenwandstruktur verbunden.



↑ Bild 5: Bauprozess mit eingehängter Decke

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

KONZEPT ZUR ERWIRKUNG DER ZiE/vBG*

Bei der Erstellung eines 3D-gedruckten Gebäudes muss beachtet werden, dass sich das Design, die Drucktechnologie und das Material gegenseitig beeinflussen. Somit muss für jedes Gebäude ein individuelles Herstellungskonzept erstellt werden. Dieses Herstellungskonzept beinhaltet u.a. einen auf den Druckprozess abgestimmten architektonischen Entwurf, verfahrenstechnische Details, wie die Düsengeometrie und Layerzeit (Zeit bis die Düse wieder an ihrem Anfangspunkt angekommen ist), oder die Umgebungsbedingungen (Temperatur, Wind, direkte Beregnung etc.), die sich auf die Materialzusammensetzung oder die bauseitige Ausstattung auswirken können [42–45].

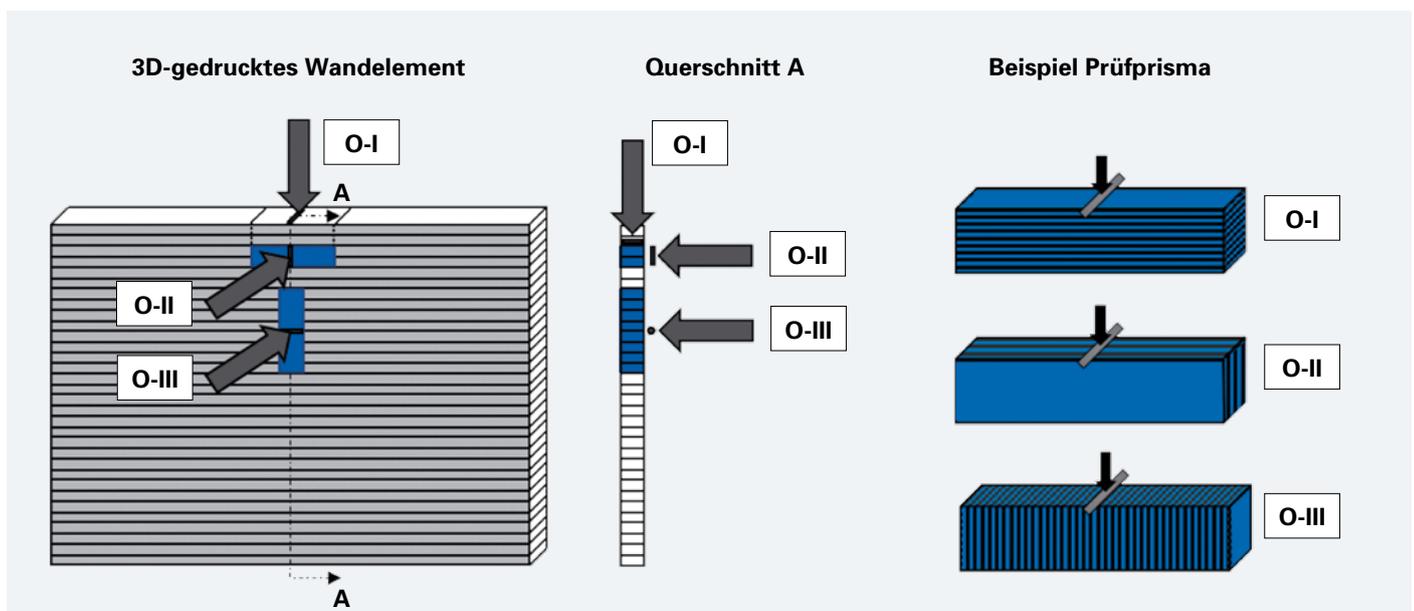
Vor allem bei der Beurteilung der Materialeigenschaften muss beachtet werden, dass es sich um eine geschichtete Bauweise handelt, die ein mehr oder weniger ausgeprägtes anisotropes und heterogenes Verhalten zeigen kann [42, 46]. Dies erfordert die Ermittlung der Materialeigenschaften (Festigkeit und Dauerhaftigkeit) in allen drei Raumrichtungen (O-I bis O-III) (Bild 6).

Zu beachten ist hier auch ein möglicherweise auftretender Skaleneffekt, der beispielsweise in [40] beim Vergleich der Biegezugfestigkeit von herausgesägten kleinformatigen Prismen und der Prüfung ganzer Wandelemente festgestellt wurde.

Bisher gibt es noch keine einheitlichen Prüfprinzipien oder Standards für 3Dgedruckte Bauteile. Jedoch können, sobald das Herstellungskonzept bekannt ist, Analogien zu vorhandenem, technisch verwandten Regelwerk genutzt oder angepasst werden, um ein (Nachweis-) Konzept für eine Genehmigung eines Projekts zu entwickeln.

Die Zulassung für dieses Projekt wurde für den 3D-Druckmörtel in Kombination mit den 3D-gedruckten Wandtypen und dem verwendeten 3D-Drucker erteilt. Die Zulassung erfolgte auf Basis bestehender Normen (DIN EC2 und EC6) für den Beton- und Mauerwerksbau.

Daher wurde zum einen das Verhalten des Materials im frischen (Ausbreitmaß, Erstarrungsbeginn und -ende) und im ausgehärteten Zustand (Druck- und Biegefestigkeit, E-Modul, Haftung zwischen den Schichten nach verschiedenen Umwelteinflüssen, Frost-Tau-Widerstand, Pull-Out-



↑ Bild 6: Richtungsabhängige Prüfung von Bauteileigenschaften, in Anlehnung an [40]

Grafik: Ingenieurbüro Schiessl Gehlen Sodeikat

*ZiE: Zustimmung im Einzelfall, vBG: vorhabenbezogene Bauartgenehmigung

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

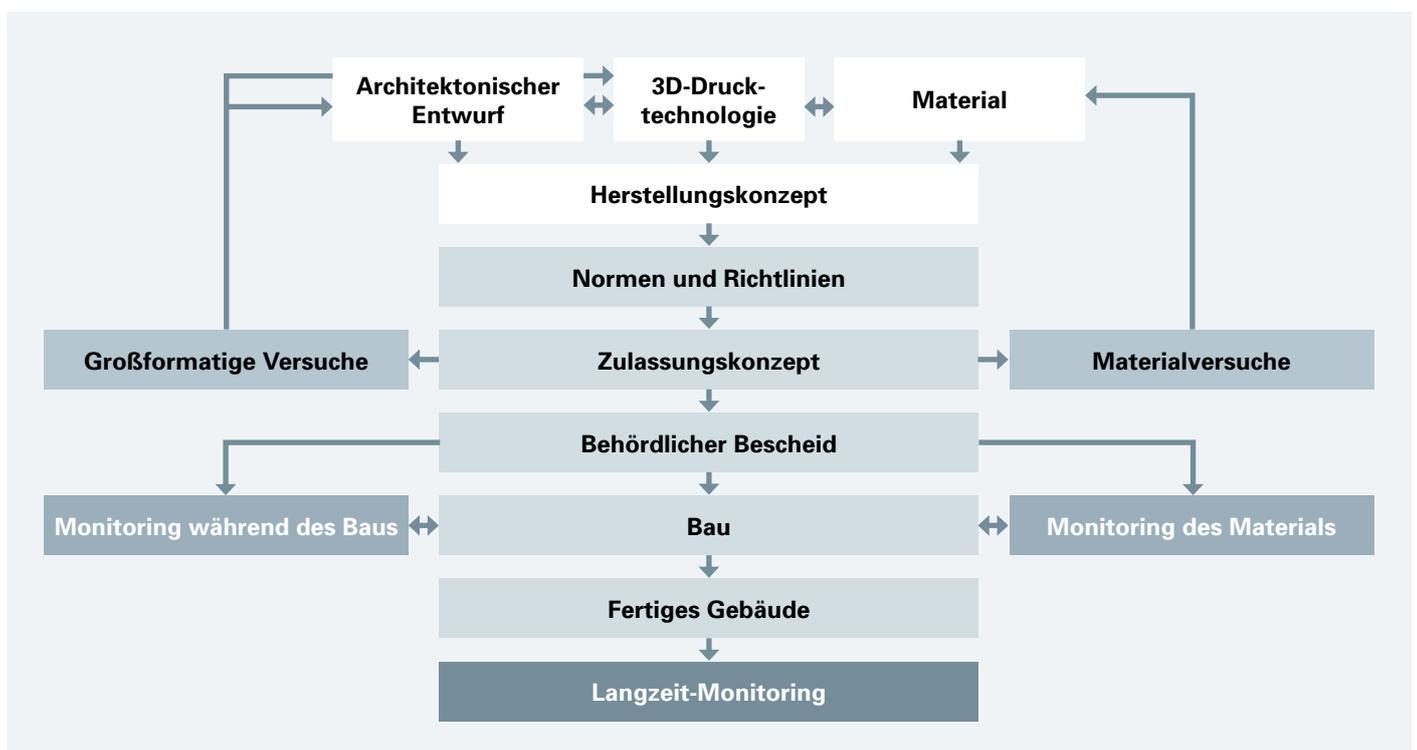
sowie Push-Out-Widerstand von Mauerankern) geprüft. Alle Eigenschaften wurden an geschalteten Referenzprobekörpern sowie an 3D-gedruckten Probekörpern in zwei oder drei Raumrichtungen durchgeführt. Zum anderen wurden großformatige Wandelemente untersucht. Dabei wurden sowohl Anprallversuche, als auch eine Bestimmung der Biegezugfestigkeit an tragenden und nicht tragenden Wandelementen durchgeführt. Des Weiteren wurde die Beständigkeit der 3D-gedruckten verlorenen Schalung gegen den bei der Betonage auftretenden Frischbetondruck untersucht.

Aus den Ergebnissen der Materialversuche und der großmaßstäblichen Untersuchungen wurden charakteristische

Werte sowie Bemessungswerte für die statischen Nachweise und Dauerhaftigkeitsprognosen ermittelt.

Aufgrund der noch nicht geregelten Fertigungstechnologie wurde es darüber hinaus notwendig, ein Monitoring des angelieferten Materials, der Ausführung der konstruktiven Details während des Druckprozesses sowie eine Langzeitüberwachung durchzuführen (Bild 7).

Auf Basis des Konzepts und der Ergebnisse der Prüfungen wurde eine Zustimmung im Einzelfall sowie eine vorhabenbezogene Bauartgenehmigung (ZiE/vBG) für das Vorhaben erteilt.



↑ Bild 7: Zulassungskonzept für das erste 3D-gedruckte Wohnhaus in Deutschland, in Anlehnung an [40]

Grafik: Ingenieurbüro Schiessl Gehlen Sodeikat

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

AUSFÜHRUNG DER DRUCKARBEITEN

Nach dem erfolgreichen Erwirken der ZiE/vBG, wurde der Betondrucker von Peri auf die Baustelle nach Beckum transportiert. Das Portalsystem wurde in ca. 1,5 Tagen auf Betonblöcken mit einem Baustellenkran montiert (Bild 8).



↑ Bild 8: Aufbau des COBOD BOD2 3D-Betondrucker

Der fertig gelieferte Trockenmörtel wurde pneumatisch von BigBags in ein Silo gefördert. Vom Silo ausgehend wurde der Druckmörtel unter Einsatz der nachgeschalteten Mischtechnik verflüssigt und über einen Schlauch bis zur Druckdüse gefördert. Im ersten Schritt wurde die Randabschalung der Bodenplatte mittels des 3D-Druckers hergestellt.

Um die notwendigen Layerzeiten einzuhalten, wurde das Gebäude in einzelnen Sektionen gedruckt. Hierbei ist der Druckprozess durch leichte Variation des Wassergehalts, der Druckgeschwindigkeit und der extrudierten Materialmenge an unterschiedliche Wetter- und Temperaturbedingungen anpassbar.

Somit konnte eine gleichmäßig geformten Fassadenoberfläche erreicht werden, die unverputzt bleibt. Die artikulierte und sichtbare Lagenstruktur unterstreicht den 3D-gedruckten Charakter des Gebäudes. Die Lagen können aber auch maschinell geglättet werden, um eine andere Optik der Oberfläche zu erreichen.

Die Wandaufbauten sowie die Integration von Öffnungen und Elektroinstallationen konnten wie geplant realisiert werden. In Bild 9 sind diese Details sowie der gedruckte Kamin veranschaulicht.

Lediglich sehr kurze Druckpfade konnten nicht mit der erwarteten Genauigkeit erstellt werden, sodass zukünftig Druckpfade von mindestens 30 cm Länge geplant werden.

Da Anpassungen am 3D-Modell leicht möglich sind und direkt in den Drucker geladen werden können, konnten die Erfahrungen aus dem Druckprozess des Erdgeschosses im Obergeschoss des Gebäudes direkt einfließen. Dieses wurde in nur ca. acht Drucktagen fertiggestellt.



↑ Bild 9: Erdgeschoss mit Kamin des 3D-gedruckten Hauses in Beckum

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis



← Bild 10: Außenansicht des ersten 3D-gedruckten Gebäudes in Beckum kurz vor Fertigstellung

In diesem ersten 3D-gedruckten Gebäude Deutschlands konnte auch die Kombination von 3D-gedruckten Fertigteilen und in-situ Druck erfolgreich umgesetzt werden. Um längere Standzeiten des 3D-Druckers während der Arbeiten anderer Gewerke zu vermeiden, wurden die Attika-Elemente im Fertigteilwerk der Firma Röser, einem Kunden von Peri und HeidelbergCement, mit einem BOD2 gedruckt und auf die Baustelle transportiert. Dort wurden die Elemente aufgesetzt und verbunden. Optisch ist der Übergang zwischen in-situ und vorgefertigtem Druck nicht zu erkennen, wie Bild 10 zeigt.

SCHLUSSBETRACHTUNG UND ZUSAMMENFASSUNG

Der Bau des ersten 3D-gedruckten Wohnhauses in Deutschland in Beckum zeigt, dass die additiven Fertigungsverfahren eine echte Alternative zu konventionellen Bauweisen darstellen. Neben den ökologischen und fertigungstechnischen Vorteilen kann eine neue Designsprache in den architektonischen Entwürfen angewendet sowie multifunktionale Bauteile realisiert werden.

Jedoch gibt es noch keine einheitlichen Prüfprinzipien oder Standards für 3D-gedruckte Bauteile. Dies ist aktueller Gegenstand der Aktivität einiger nationaler und internationaler Gremien (siehe u.a. RILEM TC 267-DFC, RILEM TC ADC, ISO/TC 261/JG 80, ACI Committee 564,

fib Task Group 2.11, DAfStb AG Digitaler Betonbau). Aktuell werden Prüfverfahren aus dem Beton- und Mauerwerksbau (z.B. EC2, EC6, ASTM, UL3041, ICC-AC509) adaptiert, abgewandelt und teilweise neu entwickelt.

Auch im Bereich der Forschung wird die additive Fertigung im Bauwesen ständig weiterentwickelt, um neue Prozesse, aber auch Fragestellungen wie die automatisierte Integration von Bewehrung umsetzen zu können (siehe u.a. DFG TRR 277).

LITERATUR

- [1] Sand and sustainability: Finding new solutions for environmental governance of global sand resources: synthesis for policy makers. UNEP, Geneva 2019
- [2] Beiser, V.: The World's Disappearing Sand. New York Times Online (2016-06-23), www.nytimes.com/2016/06/23/opinion/the-worlds-disappearing-sand.html (abgerufen am 2019-11-28)
- [3] Höflinger, L.: The Sand Thieves: World's Beaches Become Victims of Construction Boom. Spiegel Online (2014-10-02), www.spiegel.de/international/world/global-sand-stocks-disappear-as-it-becomes-highly-sought-re-source-a-994851.html (abgerufen am 2019-11-28)
- [4] Gemeinsames Positionspapier BAW und DBV: Beton ohne Steinkohlenflugasche Veränderung der Betonbauweise aufgrund abnehmender Verfügbarkeit von Steinkohlenflugasche und anderen Kraftwerksnebenprodukten als Zusatzstoffe für Beton. Karlsruhe und Berlin 2021
- [5] Global Status Report 2017. UNEP, Nairobi 2017
- [6] Salet, T. A. M.; Wolfs, R. J. M.: Potentials And Challenges In 3D Concrete Printing. Proceedings of the 2nd International Conference on Progress in Additive Manufacturing (Pro-AM 2016), Singapore 2016

► Bauen neu gedacht – 3D-Betondruck in der Baupraxis

- [7] Suhendro, Bambang: Toward Green Concrete for Better Sustainable Environment. *Procedia Engineering* 95 (2014), S. 305-320
- [8] Zäh, M. F.: *Wirtschaftliche Fertigung mit Rapid- Technologien Anwender-Leitfaden zur Auswahl geeigneter Verfahren*. Hanser Verlag, München 2006
- [9] Agustí-Juan, I.; Müller, F.; Hack, N.; Wangler, T.; Habert, G.: Potential benefits of digital fabrication for complex structures: Environmental assessment of a robotically fabricated concrete wall. *Journal of Cleaner Production* 154 (2017), pp. 330-340
- [10] Gebler, M.; Schoot Uiterkamp, A. J. M.; Visser, C.: A global sustainability perspective on 3D printing technologie. *Energy Policy* 74 (2014) No. 74, pp. 158-167
- [11] Meibodi, M.; Bernhard, M.; JIPA, A.; Dillenburger, B.; Glynn, R.; Sheil, B.; Menges, A.; Skavara, M.; Lee, E.: *The Smart Takes from the Strong: 3D printing stay-in-place formwork for concrete slab construction*. Fabricate 2017, UCL Press 2017, pp. 210-218
- [12] López López, D.; Veenendaal, D.; Akbarzadeh, M.; Block, P.: Prototype of an ultra-thin, concrete vaulted floor system. *Proceedings of the IASS-SLTE Symposium "Shells, Membranes and Spatial Structures: Footprints"*, Brasilia 2014
- [13] Asprone, D.; Auricchio, F.; Menna, C.; Mercuri, V.: 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach. *Construction and Building Materials* 165 (2018), pp. 218-231
- [14] Menna, C.: *3D Printed RC Structures: Concept and Technology*. International RILEM Workshop: Digital Fabrication with Concrete, Zurich 2017
- [15] Mata-Falcon, J.; Bischof, P.; Kaufmann, W.; Wangler, T.; Flatt, R. J.: *Exploiting the Potential of Digital Fabrication for Sustainable and Economic Concrete Structures*. RILEM Bookseries 19, Springer Verlag, Berlin 2018
- [16] Weitz, H.: *Fachkräftemangel Die Deutsche Bauindustrie*. www.bauindustrie.de/zahlen-fakten/bauwirtschaft-im-zahlenbild/fachkraeftemangel_bwz/ (abgerufen am 2021-04-16 – Überprüfungsdatum 2021-04-16)
- [17] Lowke, D.; Dini, E.; Perrot, A.; Weger, D.; Gehlen, C.; Dillenburger, B.: Particle-bed 3D printing in concrete construction – possibilities and challenges. *Cement and Concrete Research* 112 (2018), pp. 50-65
- [18] Lowke, D.; Talke, D.; Dressler, I.; Weger, D.; Gehlen, C.; Ostertag, C.; Rael, R.: Particle-bed 3D-Printing by Selective Cement Activation – Applications, material and process technology. *Special Issue for the 2nd RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication in July 2020*, *Cement and Concrete Research* (2020)
- [19] Weger, D.; Kim, H.; Talke, D.; Henke, K.; Kränkel, T.; Gehlen, C.: *Lightweight Concrete 3D-Printed by Selective Cement Activation – Investigation of Thermal Conductivity, Strength and Water Distribution*. *Proceedings of the 2nd RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, Springer Verlag, Berlin 2020
- [20] Shakor, P.; Nejadi, S.; Paul, G.; Sanjayan, J.; Nazari, A.: Mechanical Properties of Cement-Based Materials and Effect of Elevated Temperature on 3-D Printed Mortar Specimens in Inkjet 3-D Printing. *ACI Materials Journal* 116 (2019) No. 2
- [21] Prasittisopin, L.; Pongpaisanseree, K.; Snguanat, C.; Dini, E.: A 3D Printing Cement Mortar for Powderbed (D-Shape) Machine. *Proceedings of RILEM 1st International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, Zurich 2018
- [22] Weger, D.; Baier, D.; Straßer, A.; Pröttung, S.; Kränkel, T.; Bachmann, A.; Gehlen, C.; Zäh, M.: Reinforced Particle-bed Printing by Combination of the Selective Paste Intrusion Method with Wire and Arc Additive Manufacturing – A First Feasibility Study. *Proceedings of the 2nd RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, Springer Verlag, Berlin 2020
- [23] Pierre, A.; Weger, D.; Perrot, A.; Lowke, D.: Penetration of cement pastes into sand packings during 3D printing: Analytical and experimental study. *Materials and Structures* 51 (2018) No. 1, pp. 22
- [24] Weger, D.; Pierre, A.; Perrot, A.; Kränkel, T.; Lowke, D.; Gehlen, C.: Penetration of Cement Pastes into Particle-Beds: A Comparison of Penetration Models. *Materials* 14 (2021) No. 2, pp. 389
- [25] Weger, D.; Gehlen, C.: Particle-Bed Binding by Selective Paste Intrusion Strength and Durability of Printed Fine-Grain Concrete Members. *Materials* 14 (2021) No. 3, pp. 586
- [26] Kloft, H.; Lowke, D.; Hack, N.: Shotcrete 3D Printing – An innovative and efficient technology for 3D printing of large-scale concrete components. *Dry-mix Mortar Yearbook 3D Special* 2019, pp. 38-43
- [27] Wangler, T.; Lloret, E.; Reiter, L.; Hack, N.; Gramazio, F.; Kohler, M.; Bernhard, M.; Dillenburger, B.; Buchli, J.; Roussel, N.; Flatt, R.: *Digital Concrete: Opportunities and Challenges*. *RILEM Technical Letters* 1 (2016), pp. 67
- [28] Matthäus, C.; Back, D.; Weger, D.; Kränkel, T.; Scheydt, J.; Gehlen, C.: *Effect of Cement Type and Limestone Powder Content on Extrudability of Lightweight Concrete*. *Proceedings of the 2nd RILEM International Conference on Concrete and Digital Fabrication*, Springer Verlag, Berlin 2020
- [29] Buswell, R. A.; Da Silva, W. Lealr.; Bos, F. P.; Schipper, H. R.; Lowke, D.; Hack, N.; Kloft, H.; Mechtcherine, V.; Wangler, T.; Roussel, N.: *A process classification framework for defining and describing Digital Fabrication with Concrete*. *Cement and Concrete Research* 134 (2020), p. 106068
- [30] Mechtcherine, V.; Buswell, R.; Kloft, H.; Bos, F. P.; Hack, N.; Wolfs, R.; Sanjayan, J.; Nematollahi, B.; Ivaniuk, E.; Neef, T.: *Integrating reinforcement in digital fabrication with concrete: A review and classification framework*. *Cement and Concrete Composites* 119 (2021), p. 103964
- [31] Buswell, R. A.; Leal De Silva, W. R.; Jones, S. Z.; Dirrenberger, J.: *3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research*. *Cement and Concrete Research* 112 (2018), pp. 37-49
- [32] Matthäus, C.; Kofler, N.; Kränkel, T.; Weger, D.; Gehlen, C.: *Interlayer Reinforcement Combined with Fiber Reinforcement for Extruded Lightweight Mortar Elements*. *Materials* 13 (2020) No. 21
- [33] Wolfs, R.J.M.; Bos, F. P.; Salet, T.A.M.: *Hardened properties of 3D printed concrete: The influence of process parameters on interlayer adhesion*. *Cement and Concrete Research* 119 (2019), pp. 132-140
- [34] Kruger, J.; Van Zijl, G.: *A compendious review on lack-of-fusion in digital concrete fabrication*. *Additive Manufacturing* 37 (2021), p. 101654
- [35] Perrot, A.; Rangeard, D.; Pierre, A.: *Structural buildup of cement-based materials used for 3D-printing extrusion techniques*. *Materials and Structures* 49 (2016) No. 4, pp. 1213-1220
- [36] Reiter, L.; Wangler, T.; Roussel, N.; Flatt, R. J.: *The role of early age structural build-up in digital fabrication with concrete*. *Cement and Concrete Research* 112 (2018), pp. 86-95
- [37] Wolfs, R. J. M.; Suiker, A. S. J.: *Structural failure during extrusion-based 3D printing processes*. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* 104 (2019) 1-4, pp. 565-584
- [38] Kruger, J.; Cho, S.; Zeranka, S.; Viljoen, C.; Van Zijl, G.: *3D concrete printer parameter optimisation for high rate digital construction avoiding plastic collapse*. *Composites Part B: Engineering* 183 (2020), pp. 107660
- [39] HeidelbergCement Group: *Technical Data Sheet i.tech 3D (Premix for 3D Technology)*. May 2019
- [40] Weger, D.; Stengel, T.; Gehlen, C.; Maciejewski, Y.; Meyer-Brötz, F.: *Approval for the Construction of the First 3D Printed Detached House in Germany – Significance of Large Scale Element Testing [accepted after review]*. *Proceedings of ASTM Symposium on Standards Development for Cement and Concrete for Use in Additive Construction*, 2020
- [41] Gehlen, C.; Stengel, T.; Weger, D.: *Gutachten 19- 215/2.1.1: ZIE 3D-Druck Haus Beckum [unveröffentlicht]*. Ingenieurbüro Schiessl Gehlen Sodeikat GmbH, München 03.09.2020
- [42] Bos, F.; Wolfs, R.; Ahmed, Z.; Salet, T.: *Additive manufacturing of concrete in construction: potentials and challenges of 3D concrete printing*. *Virtual and Physical Prototyping* 11 (2016) No. 3, pp. 209-225
- [43] Buswell, R. A.; Leal De Silva, W. R.; Jones, S. Z.; Dirrenberger, J.: *3D printing using concrete extrusion: A roadmap for research*. *Cement and Concrete Research* 112 (2018), pp. 37-49
- [44] Mechtcherine, V.; Fataei, S.; Bos, F.; Buswell, R.; Leal Da Silva, W.R.; Keita, E.; Krauss, H.; Lowke, D.; Perrot, A.; Nerella, V.N.; Roussel, N.; Sonebi, M.; Wangler, T.; Weger, D.; Wolfs, R.: *Chapter 3: Digital fabrication with cement-based materials: underlying physics [submitted]*. *RILEM Technical Committee Digital Fabrication with Cement-based Materials (TC-DFC) (Hrsg.)*, STAR State of the Art Review, 2021
- [45] Van Der Putten, J.; Nerella, V.N.; Mechtcherine, V.; Sonebi, M.; D'Hondt, M.; Weger, D.; Wang, Z.; Menna, C.; Roussel, N.; Lowke, D.; Van Titelboom, K.; De Schutter, G.: *Chapter 5: Properties and testing of printed cement based materials in hardened state [submitted]*. *RILEM Technical Committee Digital Fabrication with Cement-based Materials (TCDFC) (Hrsg.)*, STAR State of the Art Review, 2021
- [46] Le, T. T.; Austin, S. A.; Lim, S.; Buswell, R. A.; Law, R.; Gibb, A.G.F.; Thorpe, T.: *Hardened properties of high-performance printing concrete*. *Cement and Concrete Research* 42 (2012) No. 3, pp. 558-566



Gelbdruckverfahren DIN 1045 / BBQ

Die Gelbdrucke der überarbeiteten Normenreihe DIN 1045 werden nach aktuellem Kenntnisstand voraussichtlich im 1. Quartal 2022 erscheinen. Die Normenreihe wird aus den in Tabelle 1 dargestellten Teilen bestehen und wird ursprünglich als DAfStb-Richtlinien („BBQ-Richtlinie“) geplanten Regelungen zur Verbesserung der Betonbauqualität (BBQ) enthalten. Im neuen Teil 1000 werden die Grundlagen von BBQ festgelegt und Beispiele für die Zuordnung von Anwendungsfällen in die Planungs-, Beton-, Ausführungs- und BBQ-Klassen gegeben. DIN 1045-1000 ist den Teilen 1 bis 4 vorgelagert.

Nach Veröffentlichung der Gelbdrucke wird es eine 4-monatige Einspruchsfrist geben. Anschließend werden die Einsprüche behandelt. Mit Erscheinen des Weißdrucks ist frühestens Ende 2022 zu rechnen.

Für die Anwendung der DIN 1045 ist die Aufnahme in die Musterverwaltungsvorschrift Technische Baubestimmungen MVV TB erforderlich.

Die MVV TB sowie der aktuelle Stand der Umsetzung in den Bundesländern können auf den Seiten des DIBT heruntergeladen werden: [Technische Baubestimmungen | DIBt - Deutsches Institut für Bautechnik](#)

Normenteil	Anwendungsbereich	Umsetzung von
DIN 1045-1000	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Grundlagen und Betonbauqualitätsklassen (BBQ)	
DIN 1045-1	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Bemessung und Konstruktion	BBQ-Ergänzung zu DIN EN 1992 in Verbindung mit nationalen Anhängen
DIN 1045-2	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Beton	Umsetzung von EN 206:2017
DIN 1045-3	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Bauausführung	Umsetzung von EN 13670:2011-03
DIN 1045-4 -1, -2, -3	Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton – Betonfertigteile 1: Allgemeine Regeln 2: Regeln für Betonfertigteile, die keiner spezifischen Norm entsprechen 3: Anforderungen für die Verwendung von Betonfertigteile in baulichen Anlagen	Teil 1: Umsetzung von DIN EN 13369:2018-09

↑ Tabelle 1: Die einzelnen Normenteile der Normenreihe DIN 1045

Decarbonisierung der Zement- und Betonproduktion: Einbindung von CO₂ im Betonrezyklat und Verwendung in der Klinker- und Zementproduktion



HeidelbergCement hat sich verpflichtet, bis spätestens 2050 über das gesamte Produktportfolio hinweg CO₂-neutralen Beton anzubieten. Nicht nur die Minimierung der Emissionen, die Abscheidung und Nutzung oder Speicherung (CCUS) des verbleibenden CO₂ sind dafür wesentliche Bausteine, sondern auch eine Kreislaufwirtschaft des Betonrecyclings, einschließlich der technischen Karbonatisierung seiner Bestandteile.

Ausgehärteter Zementstein beziehungsweise dessen hydratisierte Klinkerphasen haben ein hohes Potenzial zur dauerhaften Einbindung von CO₂. Schon während der Nutzungs- und Recyclingphase von Beton können etwa 25 bis 30 Prozent des rohstoffbedingten CO₂ durch Karbonatisierung gebunden werden. Die Erschließung des verbleibenden Karbonatisierungspotenzials von rezykliertem Altbeton, d.h. die Wiedereinbindung des während der Zementklinkerherstellung bei der Kalzinierung freigesetzten CO₂ in Kalkstein, ist Gegenstand intensiver Forschung bei HeidelbergCement sowie des vom BMBF geförderten Verbundprojektes „C²inCO₂“, in dem HeidelbergCement Verbundkoordinator ist [1].

Das Verbundforschungsprojekt verfolgt einen neuen Ansatz der CO₂-Verwendung („Carbon Utilisation“): Für die Gewinnung von Zementstein aus Altbeton sind spezielle Aufbereitungs- und Zerkleinerungsverfahren erforderlich, die eine sortenreine Trennung der Einzelfractionen grobe Gesteinskörnungen, Sand und Zementstein ermög-

lichen. Eine entsprechend konzipierte Pilotanlage wurde von HeidelbergCement im September 2021 im Großraum Berlin in Betrieb genommen. Die dort aufbereiteten groben Gesteinskörnungen und Sande wurden in Betonversuchen hinsichtlich ihres Einflusses auf Frisch- und Festbetoneigenschaften inkl. Dauerhaftigkeit geprüft. Es zeigte sich, dass mit den in diesen Versuchen verwendeten rezyklierten Gesteinskörnungen inkl. der Sande vergleichbare Betoneigenschaften erzielt werden konnten wie mit den dort normalerweise verwendeten Primärrohstoffen. Der abgetrennte Zementstein ist leicht karbonatisierbar. Dafür könnten die CO₂-haltigen Abgase aus dem Zementwerk direkt genutzt werden. Der rekarbonatisierte Zementstein („cRCP“: carbonated Recycled Cement Paste) zeigt puzzolanische Reaktivität und trägt somit zur Festigkeitsentwicklung bei. Als Klinkerersatzstoff kann er sowohl beim Klinkerbrand als CO₂-freier Rohstoff als auch im Zement als Haupt- oder Nebenbestandteil zur Reduktion des Klinker-Zement-Faktors im Zement eingesetzt werden.

Weitere Informationen zu geförderten Projekten für die Nutzung von CO₂ finden Sie auf der Webseite: [Home - CO₂-WIN \(co2-utilization.net\)](https://www.co2-utilization.net)

[1] CO₂ WIN, Nachhaltig Kohlenstoff nutzen, Projektwebseite: [CO₂-Mineralisation - CO₂-WIN \(co2-utilization.net\)](https://www.co2-utilization.net)

DAfStb-Roadmap für einen klimagerechten und ressourceneffizienten Betonbau



Der Deutsche Ausschuss für Stahlbeton (DAfStb) hat am 27.9.21 einen Grundsatzbeschluss veröffentlicht, demzufolge bis spätestens 2045 die Klimaneutralität der Betonbauweise erreicht werden soll [1].

Für die Umsetzung wurde die 13-seitige Roadmap „Nachhaltig bauen mit Beton – Roadmap des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb) für einen klimagerechten und ressourceneffizienten Betonbau (Version 1.0)“ veröffentlicht. In dieser wird beschrieben, wie dieses Ziel in einen nachhaltigen Betonbau integriert und durch Forschungsaktivitäten und Regelwerksprojekte entlang der gesamten Wertschöpfungskette im Betonbau in den kommenden Jahren umgesetzt werden kann [1]. In der Roadmap werden kurz-, mittel- und langfristige Maßnahmen benannt.

Die Roadmap kann unter folgendem Link auf der Webseite des DAfStb heruntergeladen werden: [2021-09-27_DAfStb Roadmap Nachhaltig Bauen mit Beton final.pdf](https://www.dafstb.de/2021-09-27_DAfStb-Roadmap-Nachhaltig-Bauen-mit-Beton-final.pdf)

Als erster Schritt und kurzfristige Maßnahme wurde zeitgleich mit der Roadmap die Planungshilfe “Nachhaltig bauen mit Beton – Planungshilfe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb)“ veröffentlicht. Die Planungshilfe enthält Hinweise und konkrete Maßnahmen, die sich an drei wesentlichen Zielen der Nachhaltigkeit ausrichten:

- unverzügliche und drastische Reduzierung der CO₂-Emissionen als Maßnahme zum Klimaschutz
- Vorsorge leisten für die bereits vorhandenen Folgen des Klimawandels
- Ressourcenschonung und Materialoptimierung

In der Planungshilfe wird aufgezeigt, wie mit dem bereits vorhandenen Regelwerk im Betonbau Bauwerke des üblichen Hochbaus (z.B. Wohnungsbauten, Verwaltungsgebäude) nachhaltig geplant und gebaut werden können. [2]

Die Planungshilfe umfasst 15 Seiten und steht auf der Webseite des DAfStb zum Download bereit: [2021-10-29_DAfStb-Planungshilfe Nachhaltig Bauen mit Beton final.pdf](https://www.dafstb.de/2021-10-29_DAfStb-Planungshilfe-Nachhaltig-Bauen-mit-Beton-final.pdf)

- [1] Webseite des DAfStb, Nachhaltig bauen mit Beton – „It’s not easy being green“; – [DAfStb - Deutscher Ausschuss für Stahlbeton](https://www.dafstb.de/2021-09-27_DAfStb-Roadmap-Nachhaltig-Bauen-mit-Beton-final.pdf) –
- [2] Nachhaltig bauen mit Beton – Planungshilfe des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton (DAfStb), [2021-10-29_DAfStb-Planungshilfe Nachhaltig Bauen mit Beton final.pdf](https://www.dafstb.de/2021-10-29_DAfStb-Planungshilfe-Nachhaltig-Bauen-mit-Beton-final.pdf)

Impressum: Schlussverantwortung Dr. Jennifer Scheydt, Leiterin Engineering und Innovation, Deutschland.

Bildnachweise: HeidelbergCement AG, Steffen Fuchs (S. 1, 4, 12), Detlef Podehl, Dortmund (S.1, 2), Mense-Korte (S. 5, 6), PERI GmbH (S. 3, 9, 10), GettyImages (S. 1, 13)

« zurück

Hinweis: Sollten Sie diesen Newsletter abbestellen wollen, schicken Sie uns bitte eine kurze E-Mail mit dem Betreff „Abbestellung NewsletterTechnik“ an tecletter@heidelbergcement.com