

Aktuelle Projekte | Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB)

# Forschung für die Transportbetonindustrie: Jahresüberblick 2023/2024

Seit 1984 initiiert und fördert die Forschungsgemeinschaft Transportbeton e.V. (FTB) im Rahmen der Gemeinschaftsforschung Forschungsprojekte, um Fragestellungen zur Herstellung, Prüfung, Transport und Förderung des Baustoffs Transportbeton zu beleuchten. Als eines von 85 Mitgliedern der Arbeitsgemeinschaft industrieller Forschungsvereinigungen e.V. (AiF) kann die FTB – neben der Verwendung eigener Fördermittel – über das Förderprogramm der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) weitere Möglichkeiten zur Beantragung von Forschungsmitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) speziell zur nachhaltigen Stärkung der Wettbewerbsfähigkeit kleinerer und mittlerer Unternehmen nutzen. Mitgliedsunternehmen können sich an den Forschungsprojekten beteiligen, profitieren von neugewonnenen Erkenntnissen und können diese in ihre eigenen Arbeiten miteinfließen lassen.



Der nachfolgende Beitrag fasst wesentliche Informationen über neue Forschungsvorhaben der FTB zusammen und informiert über aktuell laufende sowie abgeschlossene Projekte der Branche. Weitere Informationen finden Sie unter <https://www.transportbeton.org/forschung>.

## 1. Neue Forschungsvorhaben

### 1.1 Erweiterung des Anwendungsbereichs für Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen der Betonklasse BK-E unter Verwendung CO<sub>2</sub>-reduzierter Zemente

Das BMWK fördert seit dem 1. April 2024 im Rahmen der IGF ein neues Projekt der FTB (FKZ: 01IF23277N). Das Ziel ist die Untersuchung von R-Betonzusammensetzungen der Betonklasse BK-E nach DIN 1045-2 mit einem Anteil von über 25 Vol.-% rezyklierter Gesteinskörnung in Kombination mit CO<sub>2</sub>-reduzierten Zementen. Sowohl baustofftechnologische als auch bemessungstechnische Aspekte werden betrachtet. Angestrebt wird eine Erweiterung des Einsatzgebiets von R-Beton bis zu einer Druckfestigkeitsklasse C50/60. Damit soll insbesondere den Anforderungen an die Druckfestigkeitsklassen bei Bauwerken in Ballungsgebieten

Rechnung getragen werden. Denn dort fällt der Hauptanteil des Abbruchmaterials zur Herstellung von rezyklierter Gesteinskörnung an. Darüber hinaus soll der Einsatz feiner rezyklierter Gesteinskörnung des Typs 2 untersucht werden, da die Verwendung möglich erscheint, aber die technisch-wissenschaftlichen Grundlagen dazu noch nicht hinreichend erforscht sind. Die Bewertung der Betonzusammensetzungen erfolgt performancebasiert und die Prüfung der Anwendbarkeit bestehender Bemessungsregeln erfolgt anhand von Verbund- und Bauteilversuchen. Ziel ist es, den nach Eurocodes 2 (aktuell eingeführte und zukünftige Fassung) erweiterten Anwendungsbereich zu ermöglichen. Die Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau, Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen, untersucht die betontechnologischen Fragestellungen und die Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Institut für Massivbau, verantwortet die Aspekte der Bemessung.

### 1.2 Emissionsreduzierter und ressourceneffizienter Transportbeton – Ein Beitrag zum Klimaschutz

Im Juli 2024 ist ein neues Forschungsvorhaben der FTB zum Thema Klimaschutz und Ressourcenschonung gestartet. Dieses Projekt baut auf den Erkenntnissen des erfolgreich abgeschlossenen Vorhabens „Klimaoptimierter Beton – ein Beitrag zum klimaverträglichen Bauen“ auf. Im Rahmen des vorangegangenen Projekts wurden Maßnahmen identifiziert, die zu einem klima-

optimierten Beton beitragen. Ein zentrales Element war die Entwicklung eines einheitlichen Bewertungsschemas, das es den Transportbetonunternehmen ermöglicht, die Wirkung einer oder mehrerer Maßnahmen nicht nur auf die CO<sub>2</sub>-Emissionen, sondern auch auf weitere Eigenschaften des Betons – wie mechanische Eigenschaften, Dauerhaftigkeit und Ressourcenschutz – zu erfassen. Dieses Anschlussprojekt verfolgt nun folgende drei Ziele: (1) Bewertung des technischen Risikos von Qualitätsschwankungen bei emissionsminimierten und ressourceneffizienten Betonen; (2) Erforschung der technischen Grenzen zur Reduzierung des Mindestzementgehalts unter Verwendung klinkeroptimierter Zemente; (3) Entwicklung geeigneter Konzepte und Handlungsleitlinien für die Transportbetonindustrie. Das Projekt wird vom Institut für Baustoffe der Leibniz Universität Hannover durchgeführt und durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert.

## 2. Laufende Forschungsvorhaben

### 2.1 Entwicklung praxisgerechter Transportbetone für carbonbewehrte Ortbetonbauteile

Neubauteile aus Carbonbeton werden momentan überwiegend in Fertigteilwerken und Forschungslaboren hergestellt. Mit der Entwicklung von Carbonbewehrungen mit größeren Querschnitten und Stababständen sowie den zunehmenden Erfahrungen im Umgang mit Carbonbeton rücken die Anwendungen mit Ortbeton in Neubau und Bestand nun verstärkt in den Fokus. Ziel des



Beton mit rezyklierten Gesteinskörnungen.

Foto: Michael Buchmann/BTB

IGF-Projekts (FKZ: 22942 BR) ist es, die Praxistauglichkeit von Carbonbeton für Ort betonbauteile auf Basis von Transportbeton nachzuweisen. Die Entwicklung von Mischungsentwürfen im Rahmen des Projekts erfolgt mit klinkerreduzierten, normgemäßen oder zugelassenen Bindemittelsystemen. In einem Praxisversuch sollen die gesammelten Erkenntnisse dann bestätigt werden und in die Normungsarbeit zum Thema Carbonbeton einfließen. Das F. A. Finger-Institut für Baustoffkunde der Bauhaus-Universität Weimar widmet sich betontechnologischen Fragestellungen und das Institut für Massivbau (IMB), TU Dresden verantwortet den Themenkomplex „Verbundtragverhalten“. Im Rahmen der vergangenen Sitzung wurde das Versuchsprogramm beraten und final festgelegt. Darüber hinaus fand ein Austausch zu der Bereitstellung von Ausgangsstoffen statt. Das Projekt wird gefördert durch das BMWK.

## 2.2 Frostwiderstand von Gesteinskörnung im Beton – Fortführung der Auslagerung von Prüfkörpern

Das IGF-Vorhaben 15214 BG „Verbundforschung Frost- und Frost-Tausalz-Widerstand von Beton unter besonderer Berücksichtigung der verwendeten Gesteinskörnung“ umfasste sowohl die Prüfung der losen Gesteinskörnung als auch der im Beton eingebetteten. Das Vorhaben war eingebunden in zwei weitere Untersuchungen: IGF-Vorhaben der Forschungsgemeinschaft MIRO (IGF 15212N) und des VDZ (IGF 15213N). Zum Ende des Projekts (2018) zeigten die Betonproben keine weiteren Schädigungen. Der FTB-Forschungsbeirat befürwortete eine Fortsetzung der Auslagerung und regelmäßigen Untersuchung der Betonproben an den bisherigen Auslagerungsorten. Die FTB-Betreuungsgruppe „Verbundforschung Frost“ hat gemeinsam mit den Projektpartnern dazu eine Vorgehensweise erarbeitet. Der Zeitplan sieht eine Auslagerungsdauer bis 2040 vor, wobei ab 2024 die Messungen der Probekörper in einem Turnus von vier Jahren erfolgen. Die Probekörper für die Auslagerungsstelle „Tunnel Farchant (XF4)“ sowie Auslagerungsstelle „Schleuse Hilpoltstein (XF3)“ wurden vorbereitet und entsprechend ausgelagert. Neu sei die Ausstattung der Probekörper durch Referenzmarker. Durch die Laservermessung könne die spätere Abwitterung genauer vermessen werden. Die ersten Messergebnisse wurden im Herbst 2023 ausgewertet. Diese bilden die Grundlage für das geplante langfristige Monitoring der Zustands- und Schadensindikatoren der Betonprobekörper der Expositionsclassen XF3 und XF4. Basierend auf den Ultraschalltransmissionsmessungen lässt sich feststellen, dass weiterhin keine signifikante innere Gefügeschädigungen in den XF3- und XF4-Probekörpern vorhan-

den sind. Die Analyse der Oberflächentopografie der Prüfflächen über 3D-Höhendifferenzprofile ergab, dass im ergänzenden Betrachtungszeitraum von 2020/2021 bis 2022 weiterhin bei keinem der Betonprobekörper ein Abwitterungsvolumen festgestellt werden kann.

## 3. Abgeschlossene Forschungsvorhaben

### 3.1 Digitales Bauen – Großformatiger

#### 3D-Druck mit Transportbeton

Bisher basieren Forschungsprojekte zum Thema „3D-Druck mit Beton“ auf Mörtel- oder Feinbetonzusammensetzungen, die unter Werksbedingungen eingesetzt werden. Das Projekt 21574 BR „Digitales Bauen – Großformatiger 3D-Druck mit Transportbeton“ (kurz: „ready2print“) untersuchte im Rahmen der IGF die Praxistauglichkeit der 3D-Druck-Anwendung mit Transportbeton nach Norm. Die Grundlagen hierzu wurden auf Laborebene bereits im Forschungsprojekt CONPrint3D erfolgreich untersucht. Neben den betontechnologischen Fragestellungen zählte auch die Konzipierung eines material- und technologieadaptiven Druckkopfs für die präzise Ablage des Transportbetons zu den Zielen des Projekts. Forschungseinrichtungen waren das Institut für Baustoffe sowie die Stiftungsprofessur für Baumaschinen der Technischen Universität Dresden. Projektbegleitender Ausschuss war die FTB-Betreuungsgruppe „ready2print“. Das Projekt wurde durch das BMWK gefördert. Im Bereich „Betontechnologie“ konnte eine Methode für den Mischungsentwurf von Transportbeton mit Größtkorn 16 mm speziell für den 3D-Druck entwickelt werden, wobei die aktuellen Betonregelwerke berücksichtigt wurden. Im zweiten Teil „Baumaschinen“ wurde ein Druckkopf (weiter-)entwickelt und getestet. Darüber hinaus konnten auch numerische Nachweise erbracht werden, um eine Autobetonpumpe speziell für den Beton-3D-Druck zu konzipieren. Das abgeschlossene Projekt zeigt vielversprechende Ergebnisse und trägt maßgeblich zur Weiterentwicklung des 3D-Drucks im Baubereich bei. Der Abschlussbericht ist verfügbar unter [www.transportbeton.org/forschung](http://www.transportbeton.org/forschung).

### 3.2 Schnelle und zielsichere Bestimmung des Wassergehalts am Frischbeton

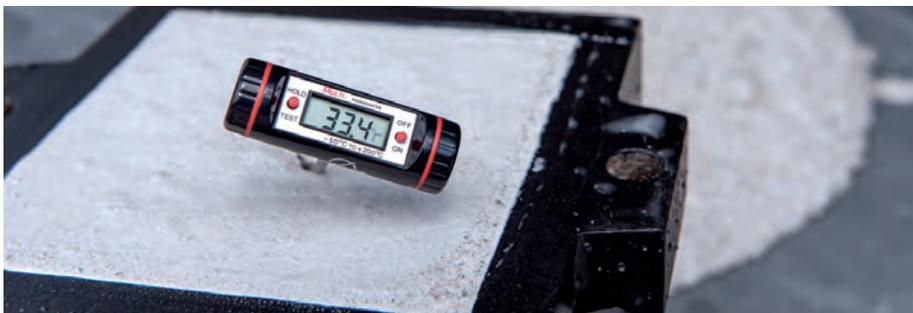
Der Wassergehalt von Beton stellt bei der Beurteilung der zu erwartenden Festigkeit und Dauerhaftigkeit eine wesentliche Steuer- und Kontrollgröße dar. Bei der Betonherstellung erfordern natürliche Schwankungen der Eigenschaften der Ausgangsstoffe und der Feuchteschwankungen der Gesteinskörnungen einen Sicherheitspuffer. Diese möglichen Abweichungen des w/z-Werts werden über Vorhaltemaße abgepuffert. Vorhaltemaße sind erforderlich, um die geforderten Festbeton- und Dauerhaftig-

keitseigenschaften zielsicher zu erreichen. Bis heute existiert kein genormtes Prüfverfahren zur sofortigen Ermittlung des Wassergehalts am Frischbeton und damit indirekt des Wassergehalts. Fortschritte in der Prüftechnik könnten jedoch den Einsatz von Feuchtesonden ermöglichen, um den Wassergehalt von Frischbeton schnell zu messen und somit direkte Korrekturen an der Betonzusammensetzung vornehmen zu können. Zu diesen Technologien existieren jedoch keine gesicherten Erkenntnisse. Im Rahmen des Vorhabens IGF-Nr. 21322 N sollte ein praxistaugliches und abgesichertes Prüfkonzept entwickelt werden. Durch Versuche an Ausgangsstoffen und Betonen sollte ermittelt werden, welche Kennwerte im Rahmen der Produktionskontrolle notwendig sind, um den Wassergehalt und damit die späteren Festbetoneigenschaften bereits während der Produktion zuverlässig vorhersagen zu können. Abschließend fanden Erprobungen der Prüfverfahren unter Praxisbedingungen im Transportbetonwerk und auf einer Tunnelbaustelle statt. Das Projekt endete zum 31.12.2023 und wurde durch das BMWK gefördert. Das Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der Rheinland-Pfälzische Technische Universität Kaiserslautern-Landau führte die Untersuchungen durch. Der Abschlussbericht ist verfügbar unter [www.transportbeton.org/forschung](http://www.transportbeton.org/forschung).

### 3.3 Auswirkungen erhöhter Frischbetontemperaturen auf Frisch- und Festbetoneigenschaften

Die Empfehlung einer maximalen Frischbetontemperatur von +30 °C (DIN 1045-3 „Bauausführung“) ist im Zuge kontinuierlicher klimatischer Veränderungen bereits heute in den Sommermonaten vermehrt schwer einhaltbar. Es liegt derzeit kein ganzheitlicher Kenntnisstand bezüglich der Auswirkungen erhöhter Frischbetontemperaturen auf die Frisch- und Festbetoneigenschaften vor. Ziel des Forschungsvorhabens „Auswirkungen erhöhter Frischbeton- und Lagerungstemperaturen auf Frisch- und Festbetoneigenschaften“ der Forschungsgemeinschaft Transportbeton (FTB) war deshalb eine erste, Orientierung gebende Ermittlung des Einflusses erhöhter Temperaturen des Frischbetons (TFB) auf maßgebende Frisch- und Festbetoneigenschaften an „Eckbetonen“ bei +20 °C, +30 °C und +40 °C.

„Für die betrachteten Betone kann unter Vorbehalt gefolgert werden“, so heißt es im Abschlussbericht, „dass die Beeinflussung der Verarbeitungseigenschaften bei TFB = 30 °C als noch akzeptabel einzustufen ist, bei TFB = 40 °C hingegen eher als kritisch bis nicht mehr akzeptabel zu werten ist. Insgesamt deuten die Versuche darauf hin, dass sich zwischen 30 °C und 40 °C ein



Temperaturmessung Frischbeton

Foto: Steffen Fuchs/Heidelberg Materials

Übergangsbereich zwischen akzeptabel und kritisch einstellt, über den auf Basis dieser hier beschriebenen Studien aufgrund der nur grob festgelegten Temperaturbereiche keine Aussagen getroffen werden können.“ Gemeinsam mit der FTB-Betreuungsgruppe „Erhöhte Frischbetontemperaturen“ wurde empfohlen, weitere Untersuchungen anzuschließen, um insbesondere im Temperaturbereich zwischen 30 °C und 40 °C genauere Aussagen zur Beeinflussung der Betoneigenschaften treffen zu können. Dafür ist auch eine Erweiterung der zu untersuchenden Betone erforderlich. Im nächsten Schritt wurde daher mit dem Institut für Baustoffe der Leibniz Universität Hannover und dem Lehrstuhl für Baustofftechnik der Ruhr-Universität Bochum als Forschungseinrichtungen ein gemeinsamer IGF-Antrag „Auswirkungen erhöhter Frischbeton- und Erhärtungstemperaturen auf die Dauerhaftigkeit von Beton“ erarbeitet und beim Projektträger Deutsches Zentrum für Luft- und

Raumfahrt e.V. (DLR) eingereicht. Beide Forschungseinrichtungen haben bereits das vorhergehende Vorhaben bearbeitet.

### 3.4 Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip

Die FTB beteiligte sich an einem Verbundforschungsvorhaben zum Thema „Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip“. Das Vorhaben sollte Alternative Wege zu den aktuellen, rein deskriptiven Normungskonzepten zur Bewertung der Dauerhaftigkeit aufzeigen. Dabei wird die Leistungsfähigkeit von Beton über eine sogenannte Lebensdauerbemessung nach dem Performance-Prinzip erfasst. Dazu gehört insbesondere die Entwicklung geeigneter Prüfverfahren, die Weiterentwicklung und Verifizierung bestehender Prüfverfahren sowie die Vorbereitung für ihre Aufnahme in Regelwerke. Das Verbundvorhaben besteht aus 5 Projekten. Die FTB verantwortete Projekt 4 „Klassifikation Materialwider-

stände, Produktionskontrolle, Konformitätskriterien und -kontrolle“ (IGF-Nr. 21826 N) sowie Projekt 5 „Annahmeproofungen auf der Baustelle/Abnahmeprüfungen am Bauwerk“ (IGF-Nr. 21823 N).

Die Untersuchungen im Rahmen des Teilforschungsvorhabens 4 hatten das Ziel, die systematische Klassifizierbarkeit der Materialkennwerte (Carbonatisierungs- und Chlorideindringwiderstand) in Abhängigkeit von der Mischungszusammensetzung zu klären. Darüber hinaus wurde untersucht, welche Instrumente oder Prozesse zur Verfügung stehen, um die Gleichmäßigkeit der Produktion zu steuern und die Konformität nachzuweisen. Neben den Parameteruntersuchungen hinsichtlich der verwendeten Zemente und Gesteinskörnungen fanden ebenfalls Untersuchungen an fünf Terminen in einem Transportbetonwerk in Köln sowie Kontrollmischungen im Labor statt. Ein wesentliches Ergebnis war, dass basierend auf den durchgeführten Untersuchungen keine systematischen Einflüsse auf den Chloridmigrationskoeffizienten sowie die Carbonatisierungsgeschwindigkeiten durch die Variation des Zementherstellers oder der Zementcharge festgestellt werden konnten.

Das Ziel des Forschungsvorhabens 5 war es, basierend auf Korrelationsanalysen zwischen direkten und indirekten Prüfverfahren (z.B. Chloridmigrationskoeffizient und Elektrolytwiderstand) performanceorientierte Annahmekriterien auf der Baustelle und Abnahmekriterien am Bauwerk zu definieren, um die Dauerhaftigkeit des Betons über die angestrebte Nutzungsdauer des Bauwerks zu verifizieren. Dafür wurden insgesamt 19 repräsentative Transportbetone unter Einbezug der dauerhaftigkeitsrelevanten Expositionsklassen XD (Chloride), XC (Karbonatisierung) und XF (Frost mit/ohne Taumittel) untersucht. Die Ergebnisse zeigten, dass die Dauerhaftigkeit nicht allein anhand der Druckfestigkeit bewertet werden kann. Eine direkte Prüfung der dauerhaftigkeitsrelevanten Eigenschaften ist mit einem hohen Aufwand verbunden, sodass schnelle, indirekte Prüfverfahren (z.B. Wenner-Sonde) die Annahme- bzw. Abnahmeprüfung deutlich erleichtern können.

Die Abschlussberichte sind verfügbar unter [www.transportbeton.org/forschung](http://www.transportbeton.org/forschung)

Drei weitere Teilprojekte im Verbundforschungsvorhaben zum Thema „Dauerhaftigkeit von Beton nach dem Performance-Prinzip“ konzentrieren sich auf die Themen „Objektsammlung Zustandserfassung eines repräsentativen Bauwerksbestandes“, „Grenz-zustände/erforderliche Zuverlässigkeiten“ sowie „Prüfverfahren für Laboruntersuchungen“. Insgesamt beteiligen sich vier Forschungsvereinigungen sowie sieben Forschungseinrichtungen. Die Projekte wurden durch das BMWK gefördert und den DAfStb koordiniert. **Andreas Tuan Phan**



Demonstratorbauteil an der A99 zur Bewertung der Dauerhaftigkeit von Stahlbeton. Gemeinsame Forschung der Hochschule München, der Autobahn GmbH, der Ruhr-Universität-Bochum, und der Technischen Universität München. Foto: Juan Lozano/TU München