

Düsseldorf Ein Gespräch über Geopolymerbetone

Alkalisch-aktivierte Betone und Geopolymerbetone – Eine Lösung für das Klimaproblem?

Immer häufiger ist von „zementfreien“ Betonen die Rede, die oft wie eine Zauberformel zur Lösung des CO₂-Problems im Betonbau erscheinen. Dahinter verbergen sich in aller Regel alkalisch-aktivierte Betone (AAB) bzw. Geopolymerbetone. Diese Betone enthalten keinen Portlandzementklinker. Sie basieren zumeist auf industriellen Nebenprodukten wie z.B. Hüttensand und Flugasche, oder auf calcinierten Tonen bzw. auf deren Mischungen, die in einem chemischen Prozess durch Aktivatoren zu einem reaktiven Bindemittel umgewandelt und mit feiner und grober Gesteinskörnung vermischt werden (siehe auch Hauptbeitrag S. 484). Für diese Sonderbetone existieren bislang weder in Deutschland noch in Europa Normen. **beton** sprach mit Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn, dem Institutsleiter und Direktor des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Prof. Dr.-Ing. Christoph Müller, dem Geschäftsführer der VDZ Technology gGmbH und Abteilungsleiter Betontechnik.

Was ist alkalisch-aktivierter Beton und worin unterscheidet er sich von Polymerbeton?

Dehn: Polymerbeton enthält ausschließlich härtbare Reaktionsharze als Bindemittel. Zum Beispiel Epoxidharze oder Polyurethanharze. Hinzu kommen Füllstoffe aus Sand, Quarzsand, andere Mineralfüllstoffe, aber auch Aluminiumpulver oder Aluminiumhydroxid. Das Bindemittel ist somit ein Kunststoff. Beim AAB sind die Bindemittel ausschließlich anorganisch. Der Begriff Polymer suggeriert hierbei, dass die entstehenden Reaktionsphasen eine Netzwerkstruktur haben, wie herkömmliche organische Polymere. Es hat aber nichts mit der eigentlichen Definition der Polymere zu tun. Der Begriff geht auf den französischen Chemiker Joseph Davidovits zurück und beschreibt, welche Rohstoffe genutzt werden. Die Vorsilbe „Geo“ verweist auf den Ursprung der Rohstoffe, nämlich aus der Erdkruste.

In vielen Veröffentlichungen werden die alkalisch-aktivierten Betone häufig als die Lösung zur Erreichung der CO₂-Neutralität von Beton dargestellt. Wie sehen Sie das?

Dehn: Die Vorteile von AAB liegen sicherlich in seiner Umweltwirkung: Er kann dabei helfen, den CO₂-Fußabdruck der Bauindustrie deutlich zu verringern und die Abhängigkeit von natürlichen Rohstoffen – wie Kalkstein – zu mindern. Zudem weist AAB eine hohe Beständigkeit gegenüber aggressiven Umgebungsbedingungen auf, was seine Langlebigkeit und Sicherheit erhöhen.

Trotz dieser nachgewiesenen Vorteile gibt es auch Herausforderungen und Nachteile, die zumindest heute eine breitere Anwendung von AAB begrenzen. Die Herstellung und Verarbeitung von alkalisch-aktiviertem Beton erfordern spezielle Kenntnisse und präzise Bedingungen, was den Einsatz erschweren und teurer machen kann. Außerdem sind die langfristigen mechanischen Eigenschaften, insbesondere bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen, noch nicht vollständig erforscht.

Diese Vor- und Nachteile machen alkalisch-aktivierte Betone zu einem spannenden Forschungsgebiet, das großes Potenzial für die nachhaltige Zukunft des Betonbaus bieten kann, jedoch noch weitere Optimierungen benötigt, um eine flächendeckende und geregelte Anwendung zu ermöglichen.

Müller: Gerade im Hinblick auf eine flächendeckende Anwendbarkeit muss auch die Frage nach der Verfügbarkeit der Rohstoffe und damit nach der Skalierbarkeit gestellt werden. Häufig wird Flugasche oder Hüttensand für die Herstellung alkalisch-aktivierter Betone genutzt. Diese Stoffe können nur einmal verwendet werden: klinkerbasiert in einem CO₂-optimierten Zement; oder alkalisch-aktiviert in einem AAB.

Hinzu kommt noch ein weiterer Aspekt: Ein klinkerbasierter Zement CEM III/A besteht bzgl. seiner Hauptbestandteile beispielsweise aus 65 M.-% Hüttensand und 35 M.-% Klinker. Mit diesem Zement würde dann 1 m³ Beton hergestellt. Um jedoch 1 m³ Beton aus einem alkalisch-aktivierten Bindemittel herzustellen, benötige ich z.B. für den Stoffraum eines rein Hüttensand-basierten AAB rd. 100 M.-% Hütten-



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn (l.), Institutsleiter und Direktor des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und Prof. Dr.-Ing. Christoph Müller (r.), Geschäftsführer der VDZ Technology gGmbH und Abteilungsleiter Betontechnik. Fotos: concrete content



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn, Institutleiter und Direktor des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)

sand. Die Ressource Hüttensand wäre also bei diesem Verwendungsfall viel schneller aufgebraucht.

Dehn: Ganz genau. Wir sollten aufpassen, dass die Betone sich nicht gegenseitig kannibalisieren. Wie Christoph Müller sagt, können wir sie nur einmal verwenden. Wir müssen daher die Vor- und Nachteile abwägen.

Wie sieht denn die Ökobilanz dieser Sonderbetone aus?

Müller: In dem europäischen Forschungsverbund URBCON haben wir gemeinsam mit Partnern drei Demonstrator-Projekte begleitet: Eine Fußgängerbrücke in Rotterdam, die Außentreppe eines Schulgebäudes in Gent und das Fundament eines Gebäudes in Westerlo.

Zur Berechnung der CO₂-Bilanzen je m³ Beton wurden Angaben von Herstellern der Ausgangsstoffe sowie Ökobilanzdaten aus kommerziellen Datenbanken verwendet. Für Hüttensand, Kupferschlacke und Flugasche wurden die relevanten Allokationsregeln beachtet. Für die alkalisch-aktivierten Betone ohne Portlandzementanteil ergaben sich CO₂-Emissionen von rd. 160 kg/m³ und 175 kg/m³. Zwischen 40 % und 60 % dieser CO₂-Emissionen wurden durch die Aktivatoren (Wasserglas, NaOH) verursacht. Ordnet man die CO₂-Emissionen entsprechend der erreichten Festigkeitsklassen (C45/55 bzw. C50/60) in die Systematik des CO₂-Moduls im CSC-System ein, so ergibt sich

nach dem Schema der projektbeteiligten Länder eine „Level 2“ oder „Level 3“-Einstufung; dass bedeutet eine CO₂-Minderung um 40 % bzw. 50 % bezogen auf den CEM I Benchmark.

Wie dauerhaft sind die im Projekt URBCON eingesetzten alkalisch-aktivierten Betone?

Müller: Der Chlorideindringwiderstand der Geopolymerbetone war bei den eben genannten Versuchen vergleichbar mit CEM II-Betonen bei Wasserzementwerten von etwa 0,50. Der Widerstand gegen Carbonatisierung war mit Raten bis zu 20 mm/√a vergleichsweise gering. Auch der Frostwiderstand war geringer als bei Betonen mit CEM I- oder auch CEM III-Zementen. Hier bestehen aber sicherlich technologische Möglichkeiten, dies durch eine entsprechende Betonzusammensetzung zu verbessern.

Wo ist der Einsatz von AAB sinnvoll?

Dehn: Besonders dort, wo gleichzeitig sehr hohe Anforderungen an die Tragfähigkeit und an den chemischen Widerstand gestellt werden. Calcium-arme oder gänzlich Calcium-freie Präkursoren haben große Vorteile vor allem bei niedrigen pH-Werten. Es macht Sinn, solche Betone bspw. für Rohrleitungen oder Schachtelemente zu nutzen, die einem hohen chemischen Angriff ausgesetzt sind. Hier kommt weniger der reine Hüttensand zum Einsatz, sondern vielmehr eine Mischung z.B. aus Hüttensand und Flugasche. Ich denke, dass die AAB – im Übrigen bewehrt und unbewehrt – dann Sinn machen, wenn die Performance bzgl. chemischem Widerstand im Vordergrund steht und voll ausnutzbar ist.

Aber einen konventionellen Konstruktionsbeton, den wir in der Praxis einsetzen, mit einer Festigkeitsklasse von z.B. C30/37, würde ich nur in Ausnahmefällen durch einen AAB ersetzen, z.B. nur dann, wenn ganz besondere Anforderungen an das Bauteil gestellt werden. Ansonsten ist der Einsatz nicht wirklich sinnvoll. Unsere konventionellen Betone sind robust und haben sich bewährt. Ich bin ein großer Verfechter der alkalisch-aktivierten Betone, aber nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen – nicht pauschal als 1:1-Ersatz für Portlandzementklinker-basierte Betone.

Welche quantitative Lösung können wir im Bereich Klimaschutz von AAB erwarten?

Müller: Aktuelle Veröffentlichungen gehen stark auf das Potenzial der CO₂-Einsparung ein und suggerieren, man könne mit dem

„zementfreien“ Beton ganz Deutschland bauen. Allein die Mengen, die benötigt werden, stellen eine Herausforderung dar. In den letzten Jahren wurden in Deutschland jedes Jahr 25 Mio. t bis 30 Mio. t Zement hergestellt, die zur Herstellung von rd. 90 Mio. m³ Beton oder zementären Systemen genutzt werden.

Wenn ich das ins Verhältnis zu den Mengen Flugasche (rd. 3 Mio. t–4 Mio. t) und Hüttensand (rd. 5 Mio. t–6 Mio. t) setze, die ohne Importe bisher auf dem Markt verfügbar waren und die ja bereits in klinkerefizienten Zementen bzw. Betonen genutzt werden, sehe ich, dass damit alleine der Bedarf an CO₂-effizienten Betonen nicht gedeckt werden kann.

Dehn: Und es geht ja nicht nur um den zu aktivierenden Rohstoff, sondern auch um die alkalischen Aktivatoren selbst. Was kann die chemische Industrie in Deutschland für den neu zu entstehenden Markt bereitstellen, um den neuen Bedarf zu decken?

Christoph Müller sprach eben den Chlorideindringwiderstand und den Frostwiderstand an. Lassen sich die bewährten Prüfverfahren 1:1 auf alkalisch-aktivierte Betone anwenden?

Dehn: Wie eben erwähnt, verhalten sich hüttensandbasierte alkalisch-aktivierte Betone sehr ähnlich wie zementbasierte Betone sowohl mechanisch, wie auch in Sachen Dauerhaftigkeit. Hier lassen sich die klas-



Prof. Dr.-Ing. Christoph Müller, Geschäftsführer VDZ Technologie gGmbH und Abteilungsleiter Betontechnik.



Von Beton äußerlich nicht zu unterscheiden – Geopolymerbeton.

sischen, etablierten Prüfverfahren nahezu ohne große Einschränkungen anwenden. Anders sieht es bei AAB mit Präkursor-Gemischen oder bei calcinierten Tonen aus. Hier stoßen unsere Prüfverfahren an Grenzen.

Was heißt das im Detail? Weil die Prüfverfahren zu regelmäßig negativen und nicht bestanden Ergebnissen führen oder weil man sich nicht sicher sein kann, dass auch ein gutes Ergebnis überhaupt die richtige Aussagekraft hat?

Dehn: Es betrifft eher den zweiten Aspekt. Ein Prüfverfahren muss ja der Bewertung einer konkreten Eigenschaft dienen. Das lässt sich am Beispiel der Schnellprüfverfahren zur Carbonatisierung anschaulich erklären. Durch die höheren CO_2 -Konzentrationen, die man verwendet, um den Carbonatisierungsprozess zu beschleunigen, greift man unter Umständen maßgeblich in den Reaktionsprozess des CO_2 mit Calcium ein. So sind z.B. beschleunigte Prüfverfahren kaum geeignet, um die Carbonatisierung von AAB mit geringem Calciumgehalt zu testen.

Uns fehlt auf der einen Seite das Anpassen und das Gerechtworden des Prüfverfahrens an den AAB, beziehungsweise es fehlt der Bewertungsmaßstab.

An diesem Thema forschen wir gerade intensiv und erweitern die Fragen auch auf AAB mit calciniertem Ton oder Metakolin. Es sind noch viele Fragen offen. Wir müssten eigentlich jeden AAB oder jede Familie von alkalisch-aktivierten Betonen untersuchen, um dann die Leistungsfähigkeit zu bewerten.

Was wir jahrzehntelang für den konventionellen Beton deskriptiv vorgegeben haben, funktioniert bei diesen Sonderbetonen nicht mehr so einfach. Man kann wissenschaftlich schwer verallgemeinern, wenn sich die Rohstoffe bzw. die Aktivatoren ändern. Dafür fehlen uns die Erfahrungswerte. Auch dieser Aspekt macht eine Standardisierung so herausfordernd.

Wie sieht es in der Praxis aus? Neben den eingangs erwähnten Projekten gibt es zahlreiche Anwendungen, bei denen alkalisch-aktivierter Beton genutzt wird. Wie ist die Verwendbarkeit geregelt?

Müller: Momentan gibt es meines Wissens ein alkalisch-aktiviertes Bindemittel, im konkreten Fall ein Geopolymer, welches bauaufsichtlich zugelassen ist. Das Geopolymer darf dann für die Herstellung von Betonbauteilen mit allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung bzw. allgemeiner Bauartgenehmigung mit Bezug auf dieses Geopolymer nach dieser allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung verwendet werden.

Dehn: Wir am KIT arbeiten gerade an einer weiteren Zulassung. Auf Basis der allg. bauaufsichtlichen Zulassung (abZ) geht es dann in den jeweiligen Anwendungsfall wie z.B. konstruktive Anwendungen, Rohre oder Schächte. Das, was eben über die Bauaufsicht geregelt ist.

Es läge zudem nahe, eine Zulassung auf europäischer Ebene zu regeln und eine Europäische Technische Bewertung (ETA) zu beantragen. Mir sind Zulassungsverfahren bekannt, die bereits vor Jahren angeschoben



Prof. Dr.-Ing. Christoph Müller, Geschäftsführer VDZ Technology gGmbH und Abteilungsleiter Betontechnik.

wurden. Voraussetzung dafür waren Europäische Bewertungsdokumente (EAD), die in Brüssel eingereicht wurden. Aber der Genehmigungsprozess dauert noch an. Ein Paradebeispiel dafür, das Innovationen aus der Industrie über europäische Bürokratie streckenweise ausgebremst wird. Zudem fehlt es uns an einem Regelwerk. Dieses zu entwickeln, wird eine wesentliche Aufgabe für die kommenden Jahre sein.

Vielen Dank für das Gespräch.



Univ.-Prof. Dr.-Ing. Frank Dehn, Institutsleiter und Direktor des Instituts für Massivbau und Baustofftechnologie am Karlsruher Institut für Technologie (KIT)