

Beton in der Kohlekrise

BAU: Der Kohleausstieg ist beschlossen. Damit fällt künftig ein Stoff für die Betonindustrie aus – Steinkohlenflugasche.

VON FABIAN KURMANN

Mitte April wurde in Österreich das letzte Kohlekraftwerk abgeschaltet. In Deutschland bemüht sich die Regierung noch darum, das lang erwartete Kohleausstiegsgesetz vor Ende des Jahres zu beschließen, aber bis spätestens 2038 soll auch hierzulande keine Kohle mehr verstromt werden. Diese Entwicklung macht nicht nur Energieversorgern zu schaffen. Am Betrieb der Kraftwerke hängen für die Beton- und Zementindustrie wichtige Rohstoffe.

Zement ist ein Bestandteil von Beton – neben Gesteinskörnungen wie Sand und Kies, Wasser und Zusätzen wie Steinkohlenflugasche. Von Letzterer wurden 2016 noch 3,1 Mio. t produziert. Diese fielen als Nebenprodukt bei der Erzeugung von Kohlestrom an. Doch das Angebot sinkt: Sollten infolge des Kohleausstiegs die heute zur Betonherstellung jährlich verwendeten rund 2,5 Mio. t Flugasche wegfallen, müssten sie durch alternative Rohstoffe ersetzt werden, schrieb der Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden (BBS) in einer Stellungnahme zum Referentenentwurf des Kohleausstiegsgesetzes Anfang dieses Jahres. Doch einen gleich guten Ersatz zu finden, ist schwierig.

Ein anderer wichtiger Rohstoff aus der Entschwefelung der Kraftwerksabgase fällt künftig ebenfalls weg: der sogenannte Rauchgasentschwefelungsanlagen- oder kurz REA-Gips. Hier werden im Jahr zwar nur weniger als 500 000 t verbraucht, aber ohne Gips würde heutiger Transportbeton schon während der Fahrt zur Baustelle hart und wäre damit unbrauchbar. In Zukunft müsste dieser Gips also entweder vermehrt natürlich abgebaut oder recycelt werden.

Das dritte Rohstoffproblem für den Beton verursacht die Stahlproduktion in Deutschland, die seit Längerem durch die hohen Produktionsmengen Chinas unter Druck steht. Aus den Schlacken der Hochöfen wird Hüttensand gewonnen. Schätzungen des BBS legen nahe, dass die Schlackenproduktion bis 2035 abnehmen wird, allerdings längst nicht so stark wie die Flugascheproduktion.

Lieferungen beider Rohstoffe aus China, wo noch Kohle verbrannt und große Mengen Stahl erzeugt werden, wären wirtschaftlich sinnlos: Da 1 t Zement je nach Region und Sorte nur etwa 60 € bis 100 € kostet, wären lange Transporte unrentabel. Die Zement- und Betonindustrie muss also andere Wege finden, wenn Flugasche und Hüttensand künftig nicht einfach wieder durch teuren Zementklinker ersetzt werden sollen. Dieser verursacht bei der Produktion viel CO₂.

Bei breiter Anwendung sparen selbst **20 % Kalkstein** viel CO₂

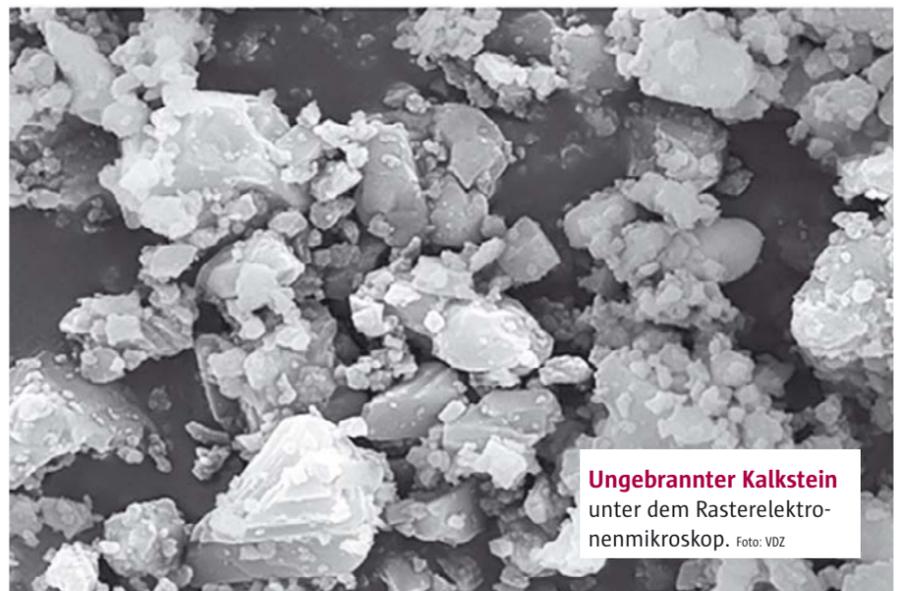
Ungebrannter, gemahlener Kalkstein im Zement kann Teile des Zementklinkers oder der Montan-Nebenprodukte ersetzen. Die Methode ist schon länger bekannt, hat aber technisch ihre Grenzen. Dennoch sieht Christoph Müller vom Verein Deutscher Zementwerke (VDZ) Potenzial: „Hier geht es nicht um mehr Kalkstein pro Tonne Zement, sondern um die Verwendung in mehr Zementen“, sagt der Leiter der Abteilung Betontechnik. „Wenn man eine breite Anwendung hat, sparen auch 20 % Kalkstein einiges an CO₂“, sagt er. Zemente mit hohem Anteil an Kalksteinmehl sind aber bei ihrer Leistungsfähigkeit beschränkt: Darum könnten sie zum Beispiel für Innenwände und -decken und Bauteile des üblichen Hochbaus, aber nicht unbedingt für Autobahnbrücken verwendet werden.

An der Uni Weimar forscht Horst-Michael Ludwig an einem weiteren Lösungsansatz: „Ich bin der festen Überzeugung, dass calcinierte Tone das Material sein werden, das Hüttensande und Flugasche ersetzen kann“, sagt der Leiter des F. A. Finger-Instituts für Baustoffkunde und fügt direkt hinzu: „Aber es wird noch fünf bis zehn Jahre dauern, bis das Material am Markt etabliert ist.“ Die Tone sind laut dem Professor ähnlich leistungsfähig wie Zementklinker, in Deutschland in ausreichenden Mengen verfügbar und beim Preis sowie der CO₂-Bilanz günstig.

Bis die Ansätze mit gemahlenem Kalkstein und calcinierten Tonen entwickelt und umgesetzt sind, müssen Beton- und Zementhersteller für die Mindermengen bei Flugasche und Hüttensand Übergangslösungen finden. Weniger CO₂ durch Kohleverbrennung hätte kurzfristig wahrscheinlich mehr CO₂ durch die Zementproduktion zur Folge, was den Klimazielen zuwiderläuft.

Für die Zukunft denkt die Branche auch darüber nach, CO₂ aus der Zementherstellung zu speichern und anderweitig zu verwenden. Doch Technologien für „Carbon Capture & Storage“ (CCS) gelten noch als unausgereift und es an fehlt Infrastruktur für den aufwendigen und damit teuren Prozess. Allerdings hat die Lösung laut der Internationalen Energieagentur riesiges Potenzial, die CO₂-Emissionen am Bau zu senken. Dies voraussichtlich aber erst um das Jahr 2030.

Zur Lösung könnten auch Technologien beitragen, die auf der Nachfrageseite erforscht werden. Durch den Einsatz von Carbon statt Stahl als Bewehrung können Bauteile schlanker ausgeführt werden und benötigen bei gleicher Leistungsfähigkeit bis zu 80 % weniger Zement (s. VDI nachrichten 7/19). Bis Ende 2020 soll an der TU Dresden das erste Gebäude aus Carbonbeton in Deutschland stehen.



Ungebrannter Kalkstein unter dem Rasterelektronenmikroskop. Foto: VDZ

Kalkstein

Für Zementklinker werden Kalkstein oder Kreide und Ton bei 1450 °C mit entsprechend hohem Energieeinsatz gebrannt. Die dabei erfolgende Entsäuerung des Kalksteins setzt dann weiteres CO₂ frei; ungefähr zwei Drittel der Emissionen bei der Herstellung. Zementklinker reagiert im angemischten Beton mit Wasser und lässt diesen aushärten. Doch auch der ungebrannte Kalkstein (s. Foto oben) kann im Beton zur Festigkeit beitragen, allerdings nicht chemisch, sondern physikalisch, indem das Kalksteinmehl kleine Hohlräume im Gefüge des Zements auffüllt. Jedoch ist der Anteil von Kalkstein in Zementen – z. B. in der sogenannten CEM-II/C-M-Klasse – auf 20 % begrenzt. Bei höheren Anteilen verringert sich die technische Leistungsfähigkeit. Das Potenzial dieser Technologie liegt darin, dass Betone dieser Klasse die Anforderung vieler Einsatzgebiete erfüllen, für die zurzeit Zemente mit mehr als 50 % Zementklinker verwendet werden. Ein CEM II/C-M mit 50 % Klinker, 30 % Hüttensand und 20 % Kalkstein könnte laut Christoph Müller, dem Leiter Betontechnik beim VDZ, bei bis zu 65 % der Transportbetone angewendet werden. Damit könnte weiter CO₂ eingespart werden.



Hüttensande

Sie werden durch schnelles Abkühlen aus der Hochofenschlacke (s. Foto) gewonnen, die bei der Roheisenherstellung entsteht. Die CO₂-Bilanz des Nebenprodukts ist rechnerisch günstig, weil der Stahl den „CO₂-Rucksack“ trägt. Auch Hüttensand kann Zementklinker teilweise ersetzen und verlangsamt – wo nötig – außerdem die Hydratationsreaktion im Beton. Das heißt, Bauteile härten langsamer aus und erwärmen sich dabei auch nicht so stark. So entstehen z. B. in sehr massiven Bauteilen weniger Spannungsrisse im Beton. Die Klasse CEM III der Hochofenzemente enthält zwischen 36 % und 95 % Hüttensand. Regional sind CEM III mit rund 50 % Hüttensand und ausreichend schneller Festigkeitsentwicklung Standardzemente im Transportbeton.

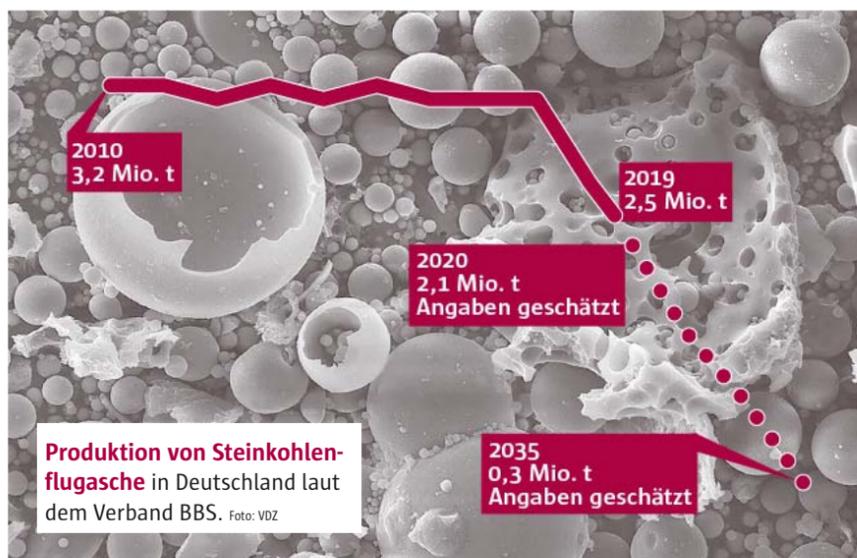
Die Versorgung mit Hüttensanden ist von der Aktivität der Stahlbranche abhängig. So sank beispielsweise während der Finanzkrise 2009 die Hochofen-Schlackenproduktion in Deutschland auf 5,9 Mio. t, weil u. a. weniger Autos hergestellt wurden. Im Vorjahr wurden noch 7,9 Mio. t produziert. Der internationale Wettbewerb setzt deutsche Stahlhersteller unter Druck. Der Bundesverband Baustoffe – Steine und Erden geht in seinem Jahresbericht daher von künftig sinkenden Produktionsmengen des wichtigen Nebenprodukts für Zement aus.



Steinkohlenflugasche

Als Bestandteil in Zement und Beton wird in der Regel nur Flugasche verwendet, die beim Verbrennen von Steinkohle entsteht. Sie kann teilweise den Zementklinker ersetzen und hat Vorteile bei der Klimabilanz: Da die Kohle zur Stromerzeugung ohnehin verbrannt wird, verursacht das Nebenprodukt rechnerisch nur wenig CO₂. Heute wird Flugasche als Problemlöser eingesetzt, da sie Beton u. a. widerstandsfähiger gegen Sulfat- und Chlorangriffe macht. Früher hat sie ihn als Zementklinkerersatz auch billiger gemacht, aber das ändert sich gerade durch den Kohleausstieg.

Die Versorgung mit Flugasche nach 2038 hängt an der Energiestrategie unserer Nachbarländer. Laut dem Bundeswirtschaftsministerium gehen 2020 bei der Steinkohle voraussichtlich 4 GW Kraftwerksleistung in die Abschaltungsausschreibung.



Veränderte Mischung:

Wenn die Steinkohlenkraftwerke abgeschaltet werden, müssen Flugaschen in Zement und Beton ersetzt werden. Auch Hüttensande könnten knapper werden.

Foto: PantherMedia/bussja



Calcinierte Tone

Schon die Römer haben Tone gebrannt und gemahlen, um dann damit zu bauen. Das bezeugen Bauwerke wie das Pantheon in Rom. Portlandzement, der Mitte des 19. Jahrhunderts entwickelt wurde, war allerdings leistungsfähiger als der Römerzement und löste diesen weitgehend ab. Mit der Industrialisierung waren zudem Nebenprodukte wie Flugasche und Hüttensande günstig verfügbar.

Wenn künftig aber die Flugasche wegfällt und hohe Preise für CO₂ die Produktion von Zementklinker verteuern, könnten calcinierte Tone ihre Vorteile wieder ausspielen: Sie werden bei 500 °C bis 900 °C gebrannt und verbrauchen bei der Herstellung weniger Energie als Zementklinker. Zum anderen wird im

chemischen Prozess des Calciniereins nur Wasserdampf in größeren Mengen freigesetzt und nicht wie beim Klinkerbrennen beträchtliche Mengen CO₂. Mit der rechnerisch neutralen CO₂-Bilanz der Nebenprodukte aus der Montanindustrie können gebrannte Tone zwar nicht mithalten, dem Zementklinker wären sie aber weit überlegen. Auch könnte ein Tonbergbau kontinuierlich Rohstoffe liefern, während die Produktion von Flugasche und Hüttensand mit der Konjunktur oder der Jahreszeit schwankt.

In Deutschland gibt es ausreichend Tonvorkommen. Sehr reine Tone sind aber nur begrenzt verfügbar und werden z. B. von der Keramikindustrie benötigt. Für die Bauindustrie wären daher vor allem Vorkom-

men mit mineralischen Verunreinigungen wirtschaftlich interessant. Forscher untersuchen derzeit, wie man diese aufbereiten kann und wie Verunreinigungen mit der Wirkung im Zement zusammenhängen. Das Produkt, das sich bei der sogenannten puzzolanischen Reaktion im Beton bildet, ist bei gebrannten Tonen ähnlich wie im bisherigem Beton mit Flugasche. Durch die Tone hat der Beton allerdings eine rötliche Farbe und braucht länger, um hart zu werden, wodurch er sich für einige Anwendungen nicht eignet. Problematisch ist bisher auch die Handhabung auf der Baustelle. Hierzu wird aktuell noch geforscht. Bis sich Produkte mit gebrannten Tonen etablieren, werden noch fünf bis zehn Jahre vergehen.