**Auf der Spur der Zementformel**

**Text: Cornelia Zogg, Bilder: Empa**

**Brücken, Häuser, Staudämme – Zement ist seit Jahrzehnten ein fester Bestandteil unserer bebauten Umgebung. Was als robustes und beständiges Material gilt, ist im Inneren allerdings fragil und hochkomplex. Barbara Lothenbach versteht den Baustoff bis in seine kleinsten Teile – und die eröffnen grossartige neue Möglichkeiten. Für ihre langjährige herausragende Forschung in der Zementchemie wurde die Empa-Forscherin kürzlich als «Distinguished Senior Researcher» ausgezeichnet.**

Spricht man von Zement, dann meist über seine Masse und Stabilität und seine zahlreichen Einsatzmöglichkeiten. Den Begriff Umwelt assoziieren die Wenigsten mit dem grauen Baustoff. Ganz anders Barbara Lothenbach, Forscherin an der Abteilung «Beton und Bauchemie» der Empa. Für sie ist Zement mehr als nur ein gewöhnliches Baumaterial und vor allem: Er lässt sich optimieren – sowohl materialtechnisch als auch ökologisch. Denn: Zwischen fünf und acht Prozent des weltweiten CO2-Aussstosses sind auf die Zementproduktion zurückzuführen. «Der am häufigsten verwendete Zement, der Portlandzement, wird aus Kalkmergel, einem Gemisch von Kalk und Lehm, in einem Brennprozess bei ca. 1450°C hergestellt. Das ergibt «Zementklinker», der dann gemahlen und mit Gips vermischt wird», erklärt Lothenbach. Und Kalkstein enthält grosse Mengen an gebundenem CO2, das dann beim Brennen in die Atmosphäre entweicht. Es ist aber just das im Kalkstein enthaltene Kalziumoxid, das Portlandzement viele seiner hervorragenden Eigenschaften verleiht.

Als ausgebildete Umweltchemikerin interessiert Lothenbach daher vor allem, wie Emissionen verringert werden können, unter anderem, indem man Zementklinker durch alternative Materialien wie Flugasche aus der Kohleverbrennung oder Schlacke aus den Eisenhochöfen ersetzt. Flugasche und Schlacke enthalten jedoch weitaus mehr Aluminium als Portlandzement, und dieses verringert wiederum die Festigkeit und Dauerhaftigkeit des Zements. Zudem reagieren verschiedene Zementarten ganz unterschiedlich auf Umwelteinflüsse wie Wasser, Wind, Temperatur oder – beispielsweise im Tunnelbau – die Zusammensetzung des Grundwassers. Lothenbach: «Je besser wir diese Zusammenhänge auf chemischer Ebene verstehen, umso effizienter und vor allem umweltschonender können wir Zement herstellen und in der Praxis einsetzen, etwa Zement mit einem höheren Anteil an Flugasche, Schlacke oder anderen viel versprechenden Materialien wie calcinierte Tone oder sogar ungebrannter Kalkstein.»

Doch selbst wenn neue Zementarten eine gute Festigkeit und Dauerhaftigkeit zeigen, ist der Weg in die Praxis lang und benötigt den Nachweis, dass diese Zemente auch allen Einflüssen standhalten können. Denn welcher Ingenieur will schon seine Brücke mit Materialien bauen, über die noch keine Erfahrungswerte vorliegen? Während die Industrie beim Portlandzement auf eine mehr als hundertjährige Erfahrung zurückblicken kann, muss das Wissen über derartige neue Materialien noch erweitert werden, vor allem was das Langzeitverhalten betrifft.

Die Chemie und vor allem die Modellierung chemischer Reaktionen am Computer können dabei helfen, gewisse Zusammensetzungen mit ungeeigneten Eigenschaften bereits von vornerein auszuschliessen und Vorhersagen zu treffen, wie sich der Zement in unterschiedlichen Situationen und über die Dauer von mehreren Jahren verhalten wird. Dazu nutzt Lothenbach eine riesige Datenbank, die das Verhalten und die wechselseitigen Interaktionen unzähliger chemischer Bestandteile enthält. Sie variiert die Mischung am Computer und kann dann via Simulation berechnen, wie sich unterschiedliche Mischungen unter realen Umständen verhalten. Dafür ist es unerlässlich, die Eigenschaften sämtlicher möglicher Zementbestandteile im Detail zu kennen und zu wissen, wie sie miteinander interagieren. Ein Wissen, das sich Lothenbach in langjähriger Forschungsarbeit an der Empa erarbeitet hat und das sie zu einer der weltweit führenden Forscherinnen im Bereich Zementchemie macht.

Auch die Industrie ist aktiv daran, weitere Ersatzmaterialien nebst Flugasche und Schlacke zu finden. Vor allem Zemente auf Basis von Kalziumsulfoaluminaten sind in Entwicklung. Der daraus entstehende Zement hat durchaus Vorteile: Er benötigt im Vergleich zum Portlandzement weniger Kalkstein in der Herstellung und wird bei ca. 200°C tieferen Temperaturen gebrannt. Dadurch sinken die CO2-Emissionen; allerdings kann der Zement bei falscher Zusammensetzung eine Volumenausdehnung zeigen, was in einem Bauwerk eine Rissbildung zur Folge hätte, wie Lothenbach erklärt. Sie betreibt mit ihrem Team nämlich nicht nur Grundlagenforschung, sie arbeitet gemeinsam mit ihren Kollegen auch regelmässig mit Industriepartnern zusammen, die ihr Produkt optimieren oder für bestimmte Probleme wappnen möchten. Eines dieser Industrieprojekte befasst sich mit Magnesiumphosphat-Zement, der einerseits als Reparaturmörtel eingesetzt werden kann, aber auch als Lebensmittelzusatzstoff, in der Zahnmedizin sowie als Knochenersatz.

**Feinarbeit für grosse Bauten**

Zement ist also nicht einfach nur Zement. Aber ob er nun in Brücken, Häusern, Staudämmen, unterirdischen Abwasserkanälen oder zur Stabilisierung in Atommülldeponien genutzt wird – schlussendlich ist alles reine Chemie. Nur denkt man beim Anblick einer massiven Autobahnbrücke nicht als erstes an die kleinsten Teile im Beton, die für dessen Standhaftigkeit verantwortlich sind. «Wir haben natürlich auch Betonmischer hier in unserer Forschungsabteilung», erklärt Barbara Lothenbach. «Aber damit haben wir in meinem Team nicht direkt zu tun». Ihre Arbeit geschieht im Labor – in kleinen Reagenzgläsern und mit Proben im Gramm-Massstab – und am Computer, wo sie mit Hilfe von Simulationsprogrammen Voraussagen trifft, die sie dann in Labortests überprüft.

Dieses Wechselspiel zwischen Laborforschung und Computersimulation birgt zahlreiche Vorteile. Indem Lothenbach die Ergebnisse der Simulationen mit Labortests vergleicht, kann sie Verlässlichkeit und Aussagekraft der Datenbank stetig weiter verbessern. Die Labortests wiederum eröffnen Lothenbach weiteren Spielraum, etwa wenn es darum geht, für die Industrie die Funktionsfähigkeit neuer Mischungen zu untersuchen oder neue Kombinationen zu evaluieren. «Die Computersimulation profitiert von unserer Laborerfahrung und umgekehrt», so Lothenbach.

Neben der Mischung aus empirischer (Labor-)Forschung und virtueller Simulation ist es auch der Wechsel zwischen Industrieprojekten und Grundlagenforschung, den Lothenbach an ihrer Arbeit besonders schätzt. «Die Arbeit an der Empa ist dadurch wahnsinnig abwechslungsreich». Ganz im Gegensatz zu ihrem ersten Eindruck, den sie als Studienanfängerin von ihrem Biologie-Studium in Zürich bekam. Sie musste unter anderem lernen, wie man Insekten auf Nadeln aufspiesst, um sie zu katalogisieren. «Dabei stellte ich fest, dass sich das Biologie-Studium – zumindest damals – zu sehr auf die Systematik der belebten Natur beschränkte, anstatt auch Themen wie Ökologie und Umweltschutz zu behandeln». Sie wollte den Dingen auf den Grund gehen, sie verstehen und dann so verändern, dass sie der Umwelt von Nutzen sind. Und so hat sie ein Jahr später auf Umweltchemie umgesattelt, eine Entscheidung, die sie nie bereut hat.

**Ein Garten voller Wissen**

Obwohl ihre berufliche Leidenschaft nun Zement gilt, pflegt sie auch ihre Liebe zum Boden, den Pflanzen und anderen Lebewesen weiter. Ihr grösstes Hobby ist ihr Garten, bei dem dann doch auch ab und an die Wissenschaftlerin in ihr durchbricht. So erstellt sie etwa regelmässig Pläne, welche Pflanzen sie in welchem Jahr wo angebaut hat um eine gute Fruchtfolge zu gewährleisten – ganz wie unsere Vorfahren, die die Ernte immer abwechselnd auf unterschiedlichen Feldern einbrachten. Ähnlich wie neuartige Zementbestandteile sind auch Pflanzen nicht immer glücklich miteinander. «Manche Pflanzen sind gute Nachbarn, andere müssen weit voneinander entfernt gepflanzt werden. Die eine mag trockenen Boden, die andere hat es gern schattig und feucht», sagt Lothenbach.

Und was Schnecken für Gartenpflanzen, sind die äusseren Einflüsse für den Zement. Sei es Sulfat im San Bernardino-Tunnel oder im Grundwasser, das die Zementrohre zersetzt. «In meinem Garten muss ich wissen, wo die Schnecken sind, und dort robuste Pflanzen einsetzen.» Ebenso muss der Zement den Anforderungen seiner jeweiligen Umgebung gewachsen sein, sprich: Das Grundrezept der Zementmischung muss den äusseren Einflüssen angepasst werden.

Ganz weg von den Insekten auf der Nadel kam die nun ausgezeichnete Forscherin – übrigens nur eine von drei «Distinguished Senior Researcher» an der Empa – dann also doch nicht. Mit dem Unterschied, dass sie die einzelnen chemischen Bestandteile «ihres» Zements nicht nur systematisch in- und auswendig kennt, sondern diese auch entsprechend einsetzen kann, um gewisse Prozesse und Eigenschaften zum Positiven zu verändern. Während sie zum Beispiel die Farbe ihrer Kartoffeln nicht beliebig beeinflussen kann, kann sie doch zumindest deren Umgebung so optimal wie möglich gestalten. Beim Zement ist es hingegen gerade umgekehrt: Sie kann die Zementmixtur so verändern, dass sich dieser perfekt an eine bestimmte Umgebung anpasst.

Mit ihrem breiten Wissensspektrum in diesem Fachgebiet ist sie für Experten aus Industrie und Forschung seit Jahren eine wichtige Ansprechpartnerin. Dafür ist auch gute Zusammenarbeit mit weiteren Experten in der Abteilung sowie die hervorragende Forschungsinfrastruktur an der Empa und in der Schweiz mitverantwortlich. Der technische Fortschritt ermöglicht es Lothenbach, ihr Wissen immer weiter auszubauen und Grundlagen für weitere zukünftige und womöglich effizientere und ökologischere Methoden zu schaffen, Zement nicht nur herzustellen, sondern auch zu verarbeiten. Denn letzten Endes gilt beim Zement wie auch bei ihren Gartenpflanzen: Die Chemie muss stimmen.

<https://www.youtube.com/watch?v=L4OLBNXMdHk>