

Baumaterialforschung an der Empa

Beton ist eben nicht nur Beton

Forscher der Eidgenössischen Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) nehmen in Dübendorf in einem eigens dafür eingerichteten Labor Zement und Beton unter die Lupe. Sie sind sich einig: Das alltägliche Baumaterial birgt noch viele Geheimnisse und ist ein ausserordentlich komplexes Forschungsobjekt.

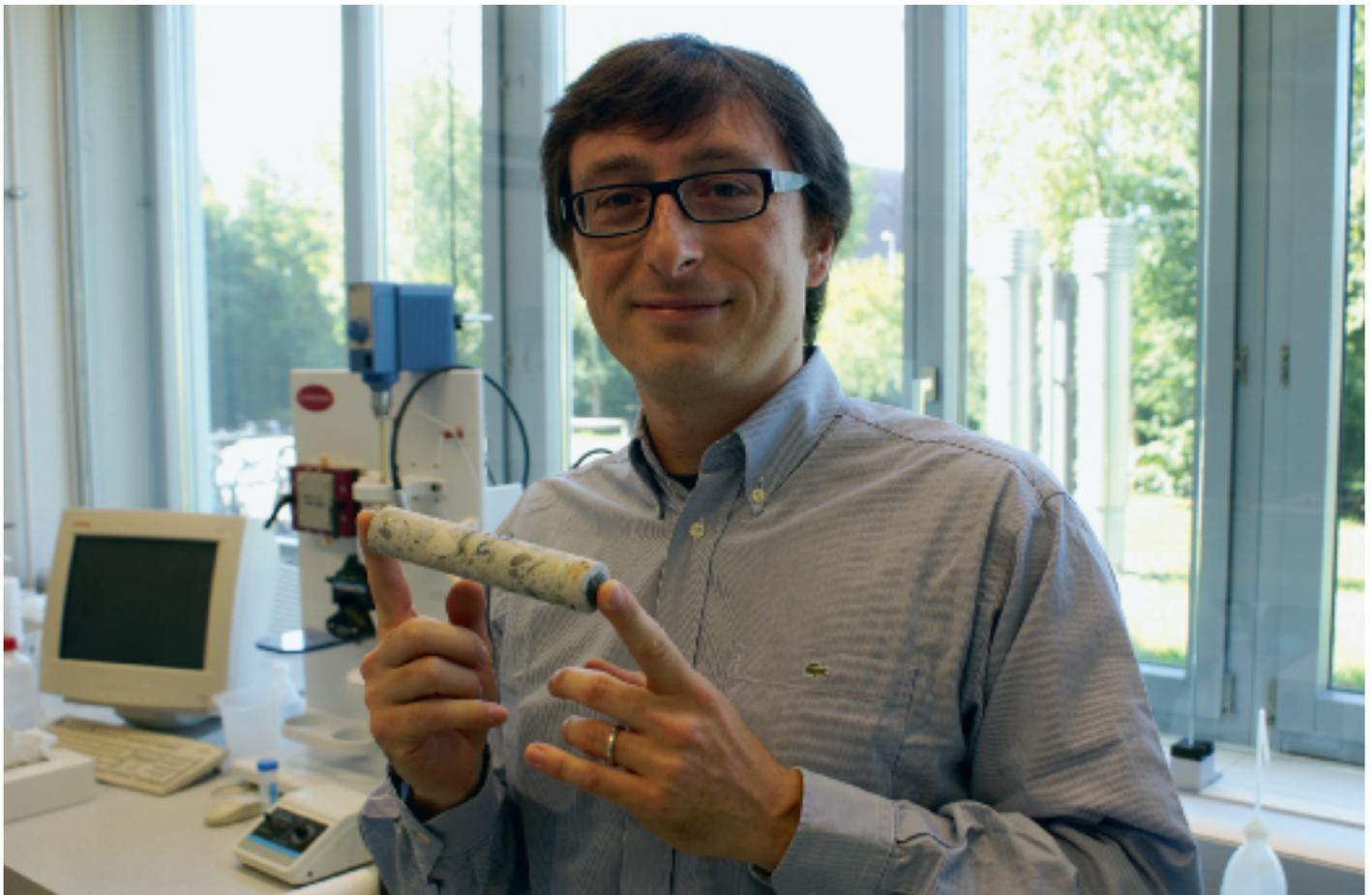
von Thomas Kümin

Die Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) müsste ihren Namen eigentlich ändern. Mittlerweile wird dort nämlich viel mehr geforscht als geprüft. Unter anderem in der Abteilung Beton/Bauchemie. In der Empa hat sich das Verhältnis zwischen Prüfen (ca. 70 Prozent) und Forschen (ca. 30 Prozent) innerhalb von zehn Jahren umgekehrt. Heute sind 70 Prozent der Aufgaben im Forschungsbereich – einschliesslich Lehraufträge an Hochschulen – gelagert und nur noch 30 Prozent im Bereich von Dienstleistungen wie

Expertisen und Materialprüfungen. «Die so gewonnenen Erkenntnisse machen das Institut in Dübendorf zu einem der führenden Institutionen in der Betonforschung», sagt Pietro Lura, der Leiter der Abteilung Beton/Bauchemie. Nur in wenigen anderen Labors stehe ein vergleichbares Spektrum von Forschungsgeräten zur Verfügung wie zum Beispiel verschiedene Elektronenmikroskope.

Lura, erst seit wenigen Monaten Abteilungsleiter in Dübendorf, weiss, wovon er spricht. Als Wissenschaftler war er vor seinem Umzug in die Schweiz in mehreren

europäischen Ländern und der USA tätig. Man müsse sich bewusst sein, sagen er und sein Kollege Andreas Leemann, Leiter der Gruppe Betontechnologie, dass die Forschung in Sachen Beton ein schwieriges Feld sei. Kopferbrechen bereitet dabei die heterogene Zusammensetzung des «flüssigen Steins», bestehend aus Zement, Sand, Kies, Wasser und der möglichen weiteren Zugabe von mineralischen und organischen Stoffen. Diese Heterogenität mache es nicht einfach, repräsentative Proben für einen Untersuch zu nehmen oder das Verhalten einer Probe vorauszu-



Pietro Lura, Leiter der Abteilung Beton/Bauchemie: «In die Betonforschung sind Chemiker, Geologen und Physiker involviert.»

sagen. Weil die Betonforschung viele Bereiche tangiert, sind Chemiker, Geologen und Physiker involviert. Die Kunst für die Institute besteht darin, die Kompetenzen zusammenzubringen. Die Empa als Forschungsinstitution des ETH-Bereichs verfügt deshalb über ein weitverzweigtes internationales Netzwerk.

Zukunft des Betons: meilenhohe Wolkenkratzer?

«Über einige Betonmischungen, mit denen tagtäglich gearbeitet wird, weiss man eigentlich recht wenig», sagen Lura und Leemann. «Einige Hersteller arbeiten zum Teil noch immer nach dem Modell «Try and error». Sie bringen neue Produkte auf den Markt, die zwar die Normanforderungen erfüllen, über die aber grundsätzliches Wissen fehlt. Beton ist zwar ein geduldiges Material, doch es gibt auch hier Grenzen. Viele Erkenntnisse müssen erst noch gewonnen werden.» Dies, obwohl Beton an sich nicht neu ist. Die Entwicklung des flüssigen Steins der Neuzeit begann am Anfang des 19. Jahrhunderts.

Doch Lura und Leemann schauen optimistisch in die Zukunft. «Mit den Fortschritten, die die Forscher gegenwärtig erzielen, wird Beton zum wiederentdeckten Baustoff des 21. Jahrhunderts.» Dies äussere sich unter anderem in der Realisierung von Rekord-Hochhäusern wie dem Burj Dubai in Dubai oder in Brücken mit grossen Spannweiten. Der Burj Dubai soll nach seiner Fertigstellung 2009 über 800 Meter in die Höhe ragen. Bereits plant ein saudiarabischer Milliardär aber den Bau eines Wolkenkratzers in Jeddah, Saudi-Arabien, der eine Meile (rund 1600 Meter) hoch werden soll. «Solche Bauwerke machen aber auch in Zukunft nur wenige Promille der gesamten Bausubstanz aus», erklärt Pietro Lura. «In der Empa streben wir mit der Forschung in erster Linie andere Ziele an. Zuvorderst steht angesichts der CO₂-Problematik die verbesserte Nachhaltigkeit des Betons. So ist auch die Wiederverwendung von Abbruchmaterial zu Recyclingbeton ein grosses Thema.»

680 Kilogramm CO₂ pro Tonne Zement

Gemäss Angaben des Zementherstellers Holcim werden in Zementöfen bei Temperaturen bis zu 1450 °C die Rohmaterialien Kalkstein und Mergel zu so genanntem Klinker gebrannt, der zusammen mit Gips zu Zement gemahlen wird. Die klassischen



Wie verhält sich Beton unter langanhaltendem Druck? Mit einer ganzen Batterie von Druckständen gehen die Wissenschaftler dieser Frage nach.



Keine Probe ist wie die andere: Beton weist eine äusserst heterogene Zusammensetzung auf.

Brennstoffe der Zementindustrie sind Kohle und Schweröl. Für eine Tonne Klinker werden dabei über 100 Kilogramm Kohle benötigt. Wie bei jedem Verbrennungsprozess bildet sich auch bei der Klinkerproduktion das Treibhausgas Kohlendioxid (CO₂). Zusätzlich gelangt geogenes CO₂ aus dem Kalkstein in die Luft. Insgesamt entstehen laut Holcim pro Tonne Zement rund 680 Kilogramm CO₂ – 230 Kilogramm aus den Brennstoffen und rund 450 Kilogramm aus dem Gesteinsmehl. Die Schweizer Zementindustrie erzeugt rund neun Prozent des gesamten Kohlen-

dioxids, das hierzulande auf menschliche Aktivitäten zurückzuführen ist. Die Reduktion des Kohlendioxidausstosses ist deshalb eine grosse ökologische Herausforderung für die Zementhersteller.

Auch bei der Wiederverwendung von Bauschutt bietet sich ein grosses ökologisches Potenzial: In der Schweiz fallen jährlich rund 12 Millionen Tonnen mineralische Bauabfälle an. Wegen zunehmender Abbruchfähigkeit ist in den nächsten Jahren mit einem beträchtlichen Zuwachs zu rechnen. Zum einen ist für die Entsorgung nicht genügend Deponieraum vorhanden. Zum anderen gehen die Kiesreserven in der Schweiz langsam zur Neige. In dieser Situation drängt sich eine Wiederverwendung von mineralischem Bauabbruch förmlich auf.

Bundesbeiträge und Eigenwirtschaft

Die Empa erhält rund 80 Millionen Franken pro Jahr aus Bundesbeiträgen. Drei Fünftel des Budgets der Abteilung Beton/Bauchemie wird mit diesem Beitrag gedeckt. Den Rest erwirtschaftet das Labor

selber mit Forschungsaufträgen und Dienstleistungen aus der Zement-, Beton- und Zusatzmittelindustrie. Eine internationale Gemeinschaft von 20 Angestellten und fünf Studenten beschäftigt sich mit grundlegender materialwissenschaftlicher Forschung auf dem Gebiet der zementgebundenen Baustoffe und anwendungsorientierten Themen. Dazu gehören Zementhydratation und Wirkungsweise von Zusatzmitteln, Dauerhaftigkeit, Mikrostruktur, Porosität und verwandte Eigenschaften sowie die Entwicklung von nachhaltigen Baustoffen.

Forschung lässt sich praktisch umsetzen

Praktische Forschungsbeispiele der Abteilung Beton/Bauchemie gibt es diverse. Im Rahmen einer interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen der Empa und der Uni Bern wurde die Bergwasserproblematik im Tunnelbau beleuchtet. Dazu gehörte die Modellierung der Interaktion zwischen Gestein und Wasser, Untersuchungen zur Biodeterioration, die auftritt, wenn Mi-

kroorganismen das Baumaterial angreifen, oder die Zementstein-Korrosion in Interaktion mit stark mineralisiertem Grundwasser. Ein anderes Projekt untersucht die Mechanismen des Wassertransportes im Beton. Ein bedeutender materialwissenschaftlicher Bereich ist das Untersuchen der Vorgänge, die während der Festigkeitsentwicklung des Betons ablaufen und die thermodynamische Modellierung dieses sogenannten Hydratationsprozesses. In der Abteilung werden auch Baustoffe für spezielle Anwendungen entwickelt wie Beton für Stau Mauern oder es werden Spezialmörteln für Felsanker im Permafrost der Alpen untersucht, und Vorgehensweisen für den Baustelleneinsatz erarbeitet.

Betonscheiben von 30 Mikrometern Dicke

Ein wichtiges Instrument der Abteilung ist das Dünnschliff-Mikroskop. Mit ihm können die Wissenschaftler hauchdünne Proben untersuchen. 30 Mikrometer, oder 30 Millionstel eines Meters, sind die Betonscheibchen dick, die unter die Vergrösse-



Ein Student bereitet im Chemielabor eine Probe vor. Das Verhalten des Materials kann in einer gläsernen Box (hinten) mit unterschiedlichen Atmosphären geprüft werden.

rungsobjektive kommen. So können zum Beispiel die Gründe für das Entstehen von Rissen wie Hitzeeinwirkung oder Schwinden identifiziert oder Wassereinschlüsse und Ansammlung von Luftporen analysiert werden. Einen noch tieferen Blick ins Detail, bis in den Bereich von Nanometern, erlaubt die Elektronenmikroskopie. Sie ist unter anderem massgebend, um zwei Prozesse besser zu verstehen, die im Zusammenhang mit Beton immer wieder auftauchen: Schwinden und Kriechen. Beim Schwinden verkürzt sich der Beton aufgrund chemischer Prozesse und des Austrocknens nach dem Betonieren. Beim Kriechen verformt sich der Beton irreversibel unter einer Last. Der Hergang beider Prozesse lässt sich an der Mikrostruktur herleiten, die an Betonproben unter Elektronenmikroskopen sichtbar wird. Um die Prozesse des Schwindens und Kriechens künstlich im Labor nachzustellen, verfügt die Empa auch über Klimäräume und eine ganze Batterie von Druck-Ständen, in denen Betonprismen eingespannt sind. In den Labors und Hallen der Abteilung stehen die unterschiedlichsten Geräte für spezielle Anwendungen. So lässt sich bei einem Druck von 5000 kN Porenwasser aus Mörtel und Beton auspressen. Ein Gefriertrockner dient dazu, Proben sämtliches Wasser zu entziehen, und mit dem Rheometer kann das Fließverhalten von Substanzen untersucht werden. Auch das Herstellen von Beton ist für die Empa-Abteilung kein Problem: Sie verfügt über einen Betonierraum, in dem neben den Ausgangsstoffen Sand, Kies und Zement auch zwei dickbauchige Mischer vorhanden sind. ■



Die Empa verfügt über eine Topinfrastruktur, um neue Erkenntnisse über den komplexen Baustoff Beton zu gewinnen.



Die Empa verfügt über einen eigenen Betonierraum, um Proben zu mischen.

Bilder: Thomas Kümin