

Das menschliche Immunsystem besteht aus einem alten, angeborenen Teil, der die Evolutionsgeschichte unverändert überdauert hat, und einem neuen, erworbenen Teil, der sich im Laufe der Menschheitsgeschichte verändert und den Umständen angepasst hat. Diese Anpassungsmechanismen sind gut erforscht und können erklären, warum das erworbene Immunsystem krankmachende Viren auch als solche erkennt: Es merkt sich die vorangegangene Begegnung mit dem Virus. Wie aber das angeborene Immunsystem, das ja kein »Gedächtnis« hat, die Gefahr eines Krankheitserregers feststellt, darauf wusste man lange Zeit keine Antwort.

Ansatzpunkt für die aktuellen Forschungen war ein Gen, das Wissenschaftler in der Fliege fanden. Es trägt den Namen »toll« und löst als Teil des angeborenen Immunsystems die Abwehr von Pilzen und Bakterien aus. Im Menschen gibt es 13 Gene, die ihm entsprechen: die »Toll-like-Rezeptoren« (TLR). Deren Wirkungsweise haben die Wissenschaftler um Hermann Wagner in enger Zusammenarbeit mit japanischen Forschern nun immer weiter entschlüsselt. Die Rezeptoren mit der Nummer sieben und acht wurden zum Gegenstand von Florian Heils Doktorarbeit. Der Zusammenarbeit mit Japan verdankten die Münchener Forscher Mäuse, die das jeweilige Gen nicht besaßen. Experimentell ließ sich dann nachweisen, dass ohne TLR 7 und 8 ein echter Defekt vorlag.

Florian Heil kommt in seiner Arbeit zu folgendem Ergebnis: TLR 7 und 8 erkennen bestimmte RNA-Muster, die viralen beziehungsweise bakteriellen Ursprungs sind. Die Mäuse konnten auf diese virale RNA nicht reagieren. Das angeborene Immunsystem bemerkt also nicht einen konkreten Krankheitserreger, sondern stellt anhand der RNA-Muster fest, dass es sich um etwas Körperfremdes, Gefährliches handelt. Das »merken« die Rezeptoren, wenn der Krankheitserreger bereits in die Zelle eingedrungen ist. TLR 7 und 8 sitzen nämlich im Unterschied zu anderen TLR nicht auf der Zelloberfläche, sondern in der Zelle. Die große Chance der praktischen Anwendung liegt in der Entwicklung neuartiger Impfstoffe. Wagner hält es für möglich, diese RNA-Sequenzen mit bestimmten Antigenen zu koppeln, die den jeweiligen krankmachenden Keim charakterisieren. Solche Verbindungen könnten eine Alternative zu Impfstoffen mit lebendigen Viren bieten - zumal bei Krankheiten, für die es solche Lebendimpfstoffe nicht gibt. Tatsächlich sind die Forschungen hierzu schon so weit gediehen, dass Nukleinsäuren derzeit als unterstützender Zusatz für Impfstoffe in klinischen Studien geprüft werden.

Meike Haas

Bewehrungskorrosion in Beton

Die Lebensdauer von Bauwerken vorhersagen

Bewehrter Beton ist ohne Zweifel der Konstruktionsbaustoff der Gegenwart. Weil er so vielseitig ist und nahezu unbegrenzte Möglichkeiten der Formgebung bietet, wird er als Stahlbeton oder Spannbeton in nahezu allen Bereichen des Bauwesens verwendet. Bei aller Begeisterung über die konstruktiven Möglichkeiten hat man in der Vergangenheit jedoch dem Aspekt der Dauerhaftigkeit derartiger Konstruktionen zu wenig Aufmerksamkeit geschenkt, so dass heute hohe Kosten für die Instandsetzung anfallen. In einem von der Deutschen Forschungsgemeinschaft geförderten Projekt wollen Korrosions-Wissenschaftler aus fünf deutschen Instituten ein Modell entwickeln, mit dem sich der Prozess der Schädigung in Betonbauteilen zuverlässig vorhersagen lässt. Von der TUM ist das Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm) beteiligt, dessen Leiter, Prof. Peter Schießl, auch Sprecher der Wissenschaftlergruppe ist.

Besondere Bedeutung kommt der Korrosion der Stahlbewehrung im Beton zu. Zunächst schützt das alkalische Milieu (hoher pH-Wert) des umgebenden Betons die Beweh-



Betonabplatzungen infolge von Korrosion an der Unterseite einer Brücke.

Foto: Till Mayer

runge vor dem Verrosten. Doch Umwelteinflüsse können diesen Schutz aufheben, Korrosion setzt ein. Hier gibt es zwei Möglichkeiten: Wird der Beton durch Kohlendioxid aus der Atmosphäre carbonatisiert, lässt das den pH-Wert sinken, und es kommt zu einer zumeist gleichmäßigen,

flächigen Korrosion. Dringen hingegen Chloridionen von der Oberfläche des Bauteils bis zur Bewehrung vor, kann lokal begrenzte, tiefe Korrosion - der »Lochfraß« - entstehen. Da solche Chloridionen meist aus Tausalzen oder Meerwasser stammen, ist der zweite Schadensmechanismus besonders für Straßenbauwerke, Tiefgaragen oder Meerwasserbauwerke relevant. Fortschreitende Korrosion kann den Beton abplatzen lassen und die Stärke der Bewehrung vermindern. Folge: Die Tragfähigkeit der betroffenen Bauteile wird deutlich reduziert, was umfangreiche Reparaturarbeiten bis hin zum Abriss erforderlich machen kann.

In den vergangenen Jahren wurden zahlreiche Forschungsarbeiten veröffentlicht, in denen die grundlegenden Einflussgrößen auf die Korrosion von Stahl in Beton erfasst wurden. So existieren heute Modelle, mit denen sich die Zeitspanne bis zum Einsetzen von Korrosion, die Einleitungsphase, berechnen lässt. Die Mechanismen der Schädigung sind sehr komplex und werden von einer Vielzahl von Faktoren bestimmt. Umwelteinflüsse wie CO₂-Konzentration, relative Luftfeuchte, Temperatur oder Chloridkonzentration an der Bauteiloberfläche spielen ebenso eine Rolle wie die Art der Beanspruchung - wird das Bauteil stark von Regen beansprucht, handelt es sich um ein Meerwasserbauwerk oder ein Innenbauteil? Auch die Materialeigenschaften wie Betonüberdeckung, Zementart und Porengehalt wirken sich aus. Deshalb ist es bisher noch nicht gelungen, ein Modell zu entwickeln, mit dem man auch

den Korrosionsfortschritt, die Schädigungsphase, zuverlässig beschreiben kann. Ein derartiges Modell ist jedoch unerlässlich, um einerseits den zu erwartenden Schädigungsgrad bei bereits bestehenden Bauwerken beurteilen zu können und andererseits für zukünftige Bauvorhaben eine wirtschaftliche und zuverlässige Bemessung auf Dauerhaftigkeit zu ermöglichen.

Vor diesem Hintergrund fördert die Deutsche Forschungsgemeinschaft (DFG) das aus mehreren Teilprojekten bestehende Forschungsvorhaben »Modellierung des Schadensfortschritts bei Korrosion von Stahl in Beton und Bemessung von Stahlbetonbauteilen auf Dauerhaftigkeit«. Beteiligt sind fünf auf dem Korrosionsgebiet führende Institute: neben dem cbm der TUM die Bundesanstalt für Materialprüfung Berlin (BAM), das Materialprüfungsamt der Universität Stuttgart (MPA), das Institut für Bauforschung der RWTH Aachen (ibac) und das Institut für Massivbau und Baustofftechnologie der Universität Karlsruhe (ifmb).

Ziel des Projekts ist es, durch Auswertung bereits vorhandener Versuchsdaten und umfangreiche neue Versuche ein Bemessungsmodell zu entwickeln, das zuverlässige Vorhersagen des zu erwartenden Schadensfortschritts erlaubt. Gemeinsam mit den bereits existierenden Modellen für die Einleitungsphase soll es damit möglich sein, die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks von seiner Herstellung über die gesamte Nutzung bis zum Ende seiner Lebensdauer zu beurteilen. Bei diesen Mo-

dellen handelt es sich um so genannte vollprobabilistische (wahrscheinlichkeitsorientierte) Modelle. Das bedeutet: Die maßgeblichen Einflussparameter der Umwelteinwirkungen und des Materialwiderstands gehen nicht nur als Mittelwerte, sondern als statistische Größen mit zugehörigen Streuungen in die Berechnungen ein.

Während einer ersten dreijährigen Förderperiode werden zunächst die elektrochemischen Systemkomponenten der Bewehrungskorrosion ermittelt. Dabei fällt dem cbm die Aufgabe zu, in enger Zusammenarbeit mit der RWTH Aachen für die Korrosionsgeschwindigkeit maßgebenden Elektrolytwiderstand von Beton zu bestimmen. In einer zweiten Förderperiode sollen die gewonnenen Erkenntnisse aller Teilprojekte zu einem geschlossenen Berechnungsmodell vereinigt werden, das den Korrosionsfortschritt beschreiben und die Dauerhaftigkeit bemessen kann. Auch in der Bearbeitung dieses Teilschritts ist das cbm federführend.

Till Mayer

Dipl.-Ing. Till Mayer
Centrum Baustoffe und Materialprüfung
Tel.: 089/289-27055
tmayer@cbm.bv.tum.de

Gute Freunde zu Besuch

Um die Partnerschaft der Jordan University of Science and Technology (JUST) mit der TUM zu vertiefen, kam im März 2004 eine hochrangige Delegation der JUST aus Irbid, Jordanien, an die TUM. Besprochen wurde unter anderem, wie Korallen aus dem Roten Meer in künstlichen Gelenken verwendet oder wie giftige Abwässer der Olivenölproduktion unschädlich gemacht werden könnten. Die Zusammenarbeit beider Universitäten hatte 2000 mit einem DFG-Projekt über Betonstaumauern begonnen. Inzwischen konnten bereits mehr-



fach Studenten ausgetauscht werden. Im Bild (v.l.): PD Dr. Markus Aufleger, Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, JUST-Präsident Prof. Wajih Owais, Prof. Theodor Strobl, Ordinarius für Wasserbau und Wasserwirtschaft der TUM, Dr. Beate Rattay-Förstl, Leiterin des Centre of International Affairs der TUM, TUM-Präsident Prof. Wolfgang A. Herrmann, Prof. Abdallah Malkawi, Dean of Research der JUST, Dr. Roland Koch, Centre of International Affairs der TUM.

Foto: Albert Scharger