

# Dem spröden Beton auf der Spur

Für seine Dissertation »Physikalisch nichtlineare Berechnung von Stahlfaserbetonkonstruktionen« wurde Dr. Bernhard Thomée mit einem Promotionspreis des Bundes der Freunde der TUM ausgezeichnet. Nachfolgend eine Zusammenfassung dieser Arbeit, die am Fachgebiet Baustatik (Prof. Karl Schikora) angefertigt wurde.

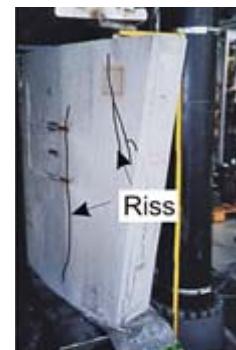
Beton ist ein bewährter und wirtschaftlicher Baustoff mit vielen vorteilhaften Eigenschaften. Die Nachteile, eine geringe Zugfestigkeit und ein sprödes Versagen mit Rissbildung unter Zugbelastung, können durch eine Bewehrung aus Stabstahl kompensiert werden. Bei geringen Zugspannungen oder bei schwierigem oder unmöglichem Bewehrungseinbau können Stahlfasern eine Alternative oder Ergänzung zur herkömmlichen Bewehrung sein. Durch die Faserzugabe wird einer Rissbildung entgegengewirkt und einer zunehmenden Rissaufweitung

Widerstand entgegengesetzt. Der spröde Werkstoff Beton kann durch die Stahlfasern auch im gerissenen Zustand eine gewisse Resttragfähigkeit erhalten. Somit hat der Baustoff Stahlfaserbeton in den vergangenen Jahrzehnten seinen Platz in bestimmten Bereichen des Betonbaus, zum Beispiel im Tunnelbau, bei Industriefußböden und bei hochfestem Beton, gefunden.

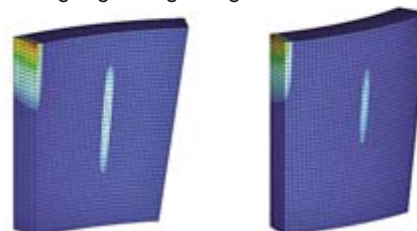
Für Strukturberechnungen dieses Werkstoffs gewinnen physikalisch nichtlineare Verfahren zunehmend an Bedeutung. Ziel der Dissertation

ist es, ein effektives und robustes Materialgesetz zur Berechnung von Stahlfaserbetonstrukturen mittels der Methode der Finiten Elemente zu entwickeln, das die wesentlichen phänomenologischen Versagensmechanismen des Werkstoffs auf der Makroebene wiedergibt. Durch Verwendung von Materialparametern, die ausschließlich aus Versuchsergebnissen bestimmt werden können oder für die Angaben in Normen und Merkblättern vorhanden sind, soll das entwickelte Materialgesetz auch in der Praxis anwendbar sein. Das Materialmodell basiert auf der inkrementellen Fließtheorie im Rahmen der Plastizitätstheorie. Ein wichtiger Punkt bei der Entwicklung des Materialmodells ist die Beschreibung des Lokalisierungsphänomens der Rissbildung im Rahmen der Finite-Elemente-Methode.

Zur Verifizierung des Materialmodells werden numerische Untersuchungen durchgeführt und mit vorhandenen Versuchsergebnissen verglichen. Hierbei zeigt sich, dass das Materialgesetz das beobachtete



Entfestigung infolge Zug:



Spaltzugversuche an Stahlfaserbetontübbinggen (Fertigteile zur Tunnelauskleidung) - Versuch und numerische Simulation.  
Fotos: MPA Bau

## Bioreaktoren en miniature

**Am Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik der TUM in Garching (Prof. Dirk Weuster-Botz) sind neuartige Bioreaktoren entwickelt worden, mit denen sich biologische Produktionsprozesse künftig wesentlich effizienter durchführen lassen. Den TUM-Wissenschaftlern gelang es erstmalig, großtechnische biologische Produktionsprozesse in den Millilitermaßstab zu übertragen.**

Strukturverhalten sehr gut beschreiben kann. Am Beispiel von Berechnungen von Tunnelschalen wird das entwickelte Materialgesetz zur physikalisch nichtlinearen Schnittgrößenermittlung im Rahmen von Bemessungsaufgaben verwendet. Durch das Verfahren der nichtlinearen Schnittgrößenermittlung ist es möglich, die tatsächlich in einem Tragwerk vorliegenden Steifigkeitsverhältnisse realistisch abzubilden, um gegenüber linearen Verfahren bessere und genauere Ergebnisse bezüglich Beanspruchung und Verformung zu erhalten. Gerade bei Tunnelschalen können somit große Umlagerungspotentiale des Tragsystems Tunnelschale-Boden im Rahmen einer Bemessung im Grenzzustand der Tragfähigkeit ausgenutzt werden.

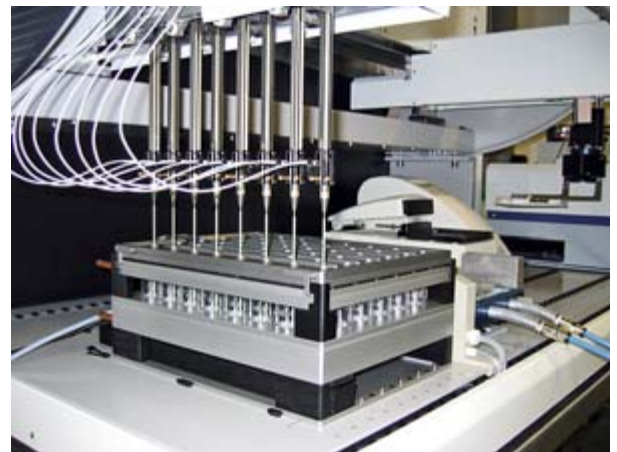
Außerdem wird in der Dissertation der Modified Tension Test (MTT) vorgestellt. Der neuartige Zugversuch zur experimentellen Untersuchung des einaxialen Zugtragverhaltens wird erstmalig für Stahlfaserbeton verwendet. Die einaxialen Materialparameter können, wie beim Zugversuch, direkt aus den Versuchsergebnissen abgelesen werden. Die praktische Durchführung des MTT gestaltet sich dabei wesentlich einfacher als die des direkten Zugversuchs.

*Bernhard Thomée*

**Dr. Bernhard Thomée**  
Lehrstuhl für Statik  
Tel.: 089/289-22152  
thomee@bv.tum.de

Bisher waren zur Bioprozessentwicklung viele hintereinander durchgeführte Experimente in einzelnen Bioreaktoren in Labor und Technikum erforderlich, jetzt können die neuen miniaturisierten Bioreaktoren auf der Laborbank in großer Anzahl parallel betrieben werden. Das verkürzt die Dauer der Prozessentwicklung erheblich. Der in Zusammenarbeit mit der H+P Labortechnik AG konzipierte Bioreaktorblock (»Personal Biotechnikum«) ist nur etwa so groß wie ein Schuhkarton, enthält aber 48 parallele Rührkesselreaktoren mit einem Arbeitsvolumen von je zehn Millilitern. Auch die industrielle Herstellung biologischer Produkte erfolgt in Rührkesselreaktoren - allerdings sehr viel größeren. Mit Hilfe des Bioreaktorblocks lassen sich zukünftig bereits im Labor wichtige Einflussgrößen wie die Nährstoffversorgung unter technischen Bedingungen untersuchen.

Heute werden bereits viele Bioprodukte mit mikrobiellen Verfahren hergestellt, beispielsweise für die Futtermittelindustrie und als Wirkstoff für Arzneimittel und Medikamente. Aktuellen Schätzungen zufolge wird der Anteil biotechnologischer Verfahren von derzeit unter fünf Prozent am gesamten Chemiemarkt weltweit bis 2010 auf 20 Prozent steigen - ein Wert, der sich nur mit dem Einsatz neuer, leistungsfähiger Techniken für die Entwicklung biologischer Produktionsprozesse realisieren lässt.



Die H+P Labortechnik AG aus Oberschleißheim hat die neuen parallelen Bioreaktoren mittlerweile in Lizenz übernommen und plant die baldige Markteinführung zusammen mit der eigenen magnetisch-induktiven Antriebstechnik. Gemeinsam mit weiteren Industriepartnern soll die Technik weiterentwickelt werden. Unter anderem will man den Bioreaktorblock mit einem Sensorblock zur parallelen Erfassung wichtiger Messgrößen, einem Pipettierroboter und einer neuen Prozessmanagement-Software für parallele Bioproduktionsprozesse ausstatten.

Nicht viel größer als ein Schuhkarton ist der Bioreaktorblock, hier auf der Arbeitsfläche eines Laborroboters installiert. Unterhalb der ersten Reihe der transparenten Bioreaktoren befindet sich ein erster Prototyp eines Sensorblocks (schwarzer Stab), mit dessen Hilfe sich in diesen acht Bioreaktoren wichtige Messgrößen durch ein optisches Verfahren »nicht-invasiv« erfassen lassen.

Foto:  
*Andreas Kusterer*

*is*

**Prof. Dirk Weuster-Botz**  
Lehrstuhl für Bioverfahrenstechnik  
Tel.: 089/289-15712  
d.weuster-botz@lrz.tum.de