



Forschung an der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften

Ultra-hochfester Faserbeton (UHPC) *Ultra High Performance Concrete*

UHPC (Ultra High Performance Concrete) ist ein mineralischer Baustoff, der nach dem heutigen Stand der Technik das High-End-Produkt der Betontechnologie repräsentiert. Aufgrund seiner außerordentlichen physikalischen Eigenschaften erstreckt sich sein Einsatzgebiet von super-filigranen Architektur-Bauten über Infrastruktur-Bauwerke wie Brücken bis hin zu Anwendungen in chemisch aggressiven Umgebungsbedingungen und reicht sogar bis in den Maschinenbau. Um den Übergang zur Umsetzung in die Praxis zu beschleunigen, wird zu diesem Thema seit einigen Jahren international geforscht. Die TU Graz hat im Jahr 2000 die nationale Forschung auf diesem Gebiet mit der Etablierung des Schwerpunktes UHPC begonnen. Das Forschungsteam setzt sich derzeit aus 10 Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern, 3 Labortechnikern und 2 Messtechnikern aus 3 Instituten zusammen. Das sind das Institut für Betonbau, das Labor für Konstruktiven Ingenieurbau (LKI) und das Baulabor der FH Kärnten.

UHPC verfügt infolge seiner außerordentlichen Packungsdichte über eine extreme mechanische und chemische Widerstandsfähigkeit. Seine Druckfestigkeit ist mindestens fünf Mal so hoch wie die eines gebräuchlichen Normalbetons und nähert sich in seiner Größenordnung der Festigkeit üblichen Baustahls, obwohl sein spezifisches Gewicht nur etwa ein Drittel der Wichte von Stahl beträgt. Die Zugfestigkeit entspricht der Druckfestigkeit eines Betons niedriger Güte. Durch Beimengung von sehr dünnen kurzen Stahlfasern wird sowohl im Druck- als auch im Zugbereich ein duktileres Verhalten im Bruchzustand erreicht. Die Dauerhaftigkeit ist mit der des natürlichen Granitgesteins vergleichbar. Die Nutzungsdauer von Tragwerken aus UHPC wird etwa fünf Mal so hoch eingeschätzt wie die von Tragwerken aus Normalbeton unter denselben Umwelteinflüssen (z.B. Einwirkung von Frost/Tausalz oder Meerwasser). Wegen seiner bislang unerreichten Dauerhaftigkeit und seiner 100%igen Recyclebarkeit erfüllt UHPC die heutigen Anforderungen an die Ökologie und Nachhaltigkeit von Baustoffen.

UHPC eröffnet neue Möglichkeiten im konstruktiven Ingenieurbau und in der Architektur und wird dadurch zur Herausforderung für ambitionierte Ingenieure. Weil sich UHPC selbstverdichtend quasi im Kaltgussverfahren in nahezu jede beliebige Form bringen lässt und gleichzeitig über eine extreme Abriebfestigkeit verfügt, sind sogar Entwicklungen mit UHPC im Bereich des Maschinen- und Anlagenbaus im Gange.

Im Bereich der Grundlagenforschung konzentriert sich die TU Graz auf jene Versagensformen, die einerseits durch die neue Struktur des Materials und andererseits durch die neuartigen Bauteilformen auftreten. Das sind beispielsweise die durch die Fasern hervorgerufenen neuen Phänomene der Rissverteilung und Rissentwicklung sowie die bislang nicht vorhandene Nach-Riss-Tragfähigkeit des Materials. Eine besondere Herausforderung in diesem Zusammenhang ist die Streuung der Faserverteilung und der Faserorientierung und auch ihre messtechnische Erfassung. In einem 3-Jahres-FWF-Projekt „UHPC-Panels“ werden derzeit die charakteristischen Versagensformen von sehr dünnen Scheiben untersucht. Es handelt sich dabei einerseits um verschiedene Arten von Materialversagen und andererseits um Stabilitätsversagen unter in plane loadings. Beson-

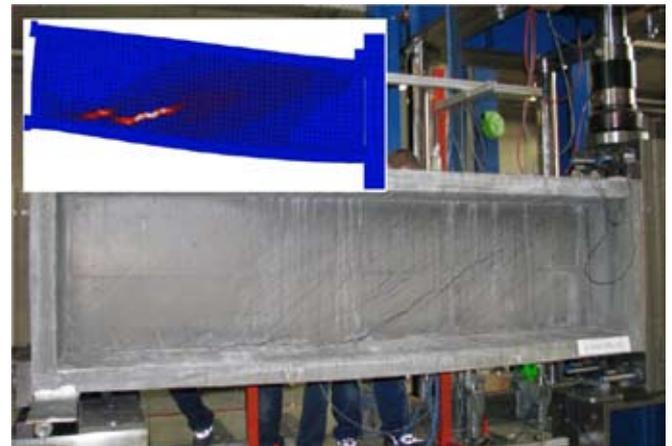


Abb. 1: Schubversuch und FE-Simulation

deres Augenmerk wird auf die Schubbeanspruchung in der Ebene gelenkt, da diese Art der Belastung in praxisrelevanten Bauwerken häufig auftritt. In diesem Projekt werden neben den theoretischen, analytischen und numerischen Untersuchungen mehrere Serien von Laborversuchen durchgeführt. Die Versuchsserien betreffen im kleineren Maßstab die Erfassung der für die theoretischen Untersuchungen notwendigen Materialkenngrößen, die Abhängigkeit der Faserorientierung und Faserverteilung von der Herstellungsmethode sowie das Schub- und Beulverhalten in der Größenordnung realer Bauteile. Die theoretischen Hintergründe der oben erläuterten Versagensformen werden so weit aufbereitet und experimentell untermauert, dass die Ergebnisse in der nationalen und europäischen Normung eingearbeitet werden können. An dieser Stelle möchten wir uns bei der Lafarge Perlmooser GmbH und der Gustav Eirich GmbH für ihre großzügige materielle Unterstützung bedanken. Da UHPC ein sehr feines Korngefüge hat, weist er unter anderem auch sehr gute Adhäsionseigenschaften auf. Um diese Eigenschaften in späterer Folge in Verbundbauwerken nutzen zu können, werden in einem weiteren FWF-Projekt „AdBond UHPC“ die Adhäsionsmechanismen von UHPC mit anderen Materialien wie Stahl, Glas und bereits erhärtetem UHPC erforscht. Die Haftverbundfestigkeit soll auf Basis chemisch-physikalischer Zusammenhänge und einiger Kenndaten der Materialien und Oberflächen in einfacher Weise beschrieben werden. In das theoretische Modell fließen Parameter der Oberflächentopografie, die Benetzungseigenschaften sowie



Abb. 2: WILD-Brücke (Völkermarkt/Kärnten): Übersicht, Visualisierung Ing.-Büro Bolt

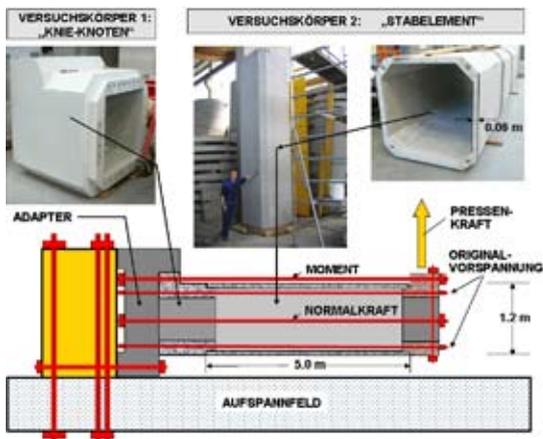


Abb. 3: WILD-Brücke: Großversuch und Versuchskörper (Herstellung und Durchführung LKI)

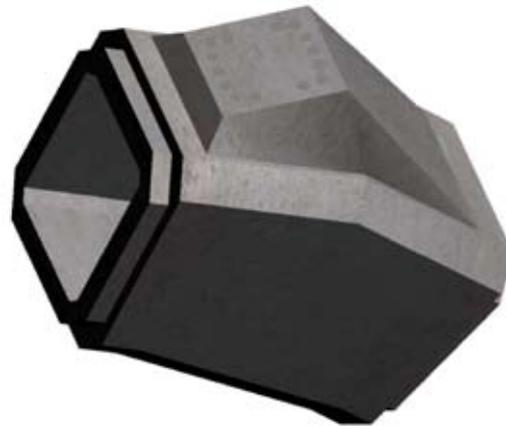


Abb. 4: WILD-Brücke: Knieknoten, Visualisierung Ing.-Büro Bolt

chemische und physikalische Materialeigenschaften von UHPC und dem jeweiligen Partnermaterial ein. Dafür werden u.a. elektronenmikroskopische Untersuchungen der Grenzflächenzone von UHPC und weiteren Werkstoffen durchgeführt. Auch Analysen der Materialeigenschaften wie Rheologie und Benetzung und eine Vielzahl von Verbundversuchen an Probekörpern aus UHPC und weiteren Werkstoffen mit unterschiedlich rauen Oberflächen sind vorgesehen. Parallel dazu wird im Bereich der angewandten Forschung nach den Bedürfnissen der Industrie an der Entwicklung neuer Produkte und Bauweisen gearbeitet. Hier sind beispielsweise die Entwicklung von deckengleichen Durchstanz-Pilzen aus UHPC und die Entwicklung der Glas-Beton-Verbundbauweise zu erwähnen. In einem laufenden FFG-Projekt mit der Firma SW Umwelttechnik GmbH werden, neben Herstellungsmethoden und Schalentechniken, auch Sonderbehälter und Modulbrücken entwickelt.

Wegen der großen volkswirtschaftlichen Bedeutung der life-cycle-costs in Infrastrukturbauwerken konzentriert sich die angewandte Forschung derzeit in erster Linie auf den Brückenbau. Die Entwicklung von materialgerechten, kostengünstigen und schnellen Bauverfahren in Kombination mit Material sparenden leichten Querschnitten ist bereits so weit gediehen, dass in diesem Jahr in Österreich die erste Straßenbrücke aus UHPC errichtet werden wird. Dabei handelt es sich um das Pilotprojekt „WILD-Brücke“, welches von der ZT-Kammer als beste innovative Planungsleistung im Jahre 2007 ausgezeichnet wurde. Die WILD-Brücke quert einen Taleinschnitt, dessen Form sich für die Errichtung einer Bogenbrücke sehr gut eignet. Die Gesamtlänge der Brücke beträgt 157 m, der Bogen überspannt etwa 70 m. Das Tragwerk besteht aus zwei nebeneinander angeordneten schlanken Bogen aus UHPC. Infolge ihres geringen Eigengewichtes nähert sich die Stützlinie einer Polygonform. Der Bogen wird zum Sprengwerk, welches sich aus dünnwandigen geraden UHPC-Rohren und sogenannten „Knieknoten“ zusammensetzt. Auf den Knieknoten, die ebenfalls aus UHPC bestehen, steht die Bogenaufständering. Die Bogen enthalten außer Stahlfasern keine schlaffe Bewehrung. Eine externe zentrische Vorspannung überdrückt die Segmentfugen und erhöht die Biegesteifigkeit und verbessert damit die Stabilität des Bogens. Die Montage erfolgt nach dem Bogenklappverfahren. Dabei werden die beiden Bogenhälften an den Talflanken segmentweise etwa vertikal zusammengebaut und anschließend um die Kämpfergelenke eingeklappt. Mit dem Scheitelschluss wird die Bogenwirkung aktiviert. Die bei der WILD-Brücke anfallenden wissenschaftlichen Fragen sind bereits weitgehend erforscht. Die theoretischen Erkenntnisse müssen aber vor der Bauausführung noch experimentell bestätigt bzw. bewiesen werden. Unter anderem werden im Labor an Versuchskörpern in Originalgröße die maximal im Tragwerk auftretenden Beanspruchungen simuliert. Die weitere experimentelle Forschung in diesem Bereich wird in Kooperation mit dem ausführenden Baukonzern STRABAG im FFG-Projekt „UHPC-Bridge“ abgewickelt. Mittels numerischer Simulationen und experimenteller Untersuchungen werden u.a. folgende Themen in diesem Projekt behandelt: Fugenausbildung, zulässige Fertigungstoleranzen, an das Material

UHPC angepasste Spannsysteme, Tragverhalten in Diskontinuitätsbereichen, Umlenkkräfte, Anprallstoß und Size-Effekt. Im Forschungsprojekt „UHPC-Bridge“ werden nicht nur Bogenbrücken, sondern auch verschiedene in der Praxis bewährte Brückentypen betrachtet. Beispielsweise entwickelt das UHPC-Team der TU Graz derzeit mit der ÖBB einen innovativen modularen Brückentyp, der als Eisenbahn-Behelfsbrücke zur temporären Überbrückung von Baustellen eingesetzt werden kann. Es handelt sich um Segmentbrücken mit einem leichten platzsparenden Trogquerschnitt, der sich dem Lichtraumprofil „anschmiegt“. Schließlich werden materialgerechte Konstruktionsprinzipien und Bemessungsmethoden ausgearbeitet, die zu dauerhaften und wirtschaftlichen Tragwerken führen.

Ultra High Performance Concrete

The state of the art in the field of concrete technology offers the high-end material ultra high performance concrete (UHPC) characterised by silica fume, super plasticizers, quartz flour, fine aggregates and thin steel fibres. Its compression strength reaches 200 N/mm² without loss of ductility. The Young's modulus is about twice as high as in normal concrete. Due to its outstanding resistance against chemical attack and mechanical abrasion, one can expect five times longer life-spans of UHPC-buildings. All these aspects were the reason for establishing the main research UHPC at Graz University of Technology in 2000. Ten researchers and five laboratory and measuring technicians are currently working here. In the field of basic research, we focus on those failure mechanisms, which arise from the new material structure on the one hand and from new thin and slender shapes of the building members on the other hand. Keeping an adequate proportion between theoretical and experimental work, we investigate the cracking behaviour, the shear carrying capacity and buckling phenomena of thin panels, the influence of the fibre distribution and fibre orientation as well as the adhesive bond between UHPC and other construction materials. These topics are primarily treated within the scope of two funded research projects (FWF). In order to advance the public participation on the advantages of UHPC, we keep a close contact to the building industry and we also work on applied research topics. Current FFG-projects cover aspects of mixing, handling and casting of UHPC as well as the development of innovative precast elements like hidden mushroom heads, special tanks or transparent glass-concrete-beams. The field of bridge construction is paid most attention to, because of the great number of economic advantages that arise from applying UHPC. Various types of bridges as well as their methods of construction are investigated theoretically and are optimized for economic realisation. As a result, the first UHPC-road-bridge in Austria will be built this year. It is an arch-bridge in Carinthia, which has been designed at Graz University of Technology and has been awarded the Best Innovative Design 2007 by the Ziviltechniker-Kammer. This pilot project is also related to an FFG-research project, which comprises inter alia a full-scale laboratory test of an arch-element. A further and last example in this article is the development of temporary, modular bridges spanning construction sites of the rail way.