

# Kollo quium 2011

Forschung & Entwicklung für Zement und Beton

**Kurzfassungen der Beiträge**

Ausgabe 9.11.2011



# Inhalt

## Neue Bauverfahren / Technologien

### Dämpfungssysteme für Schrägkabel

DI Philipp Egger, TU Wien, Institut für Statik, Wien

### Effiziente Schalenträgerwerke aus funktional gradierten Betonfertigteilen

Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen, TU München, Centrum Baustoffe und Materialprüfung, München, Deutschland

### phonobloc – neuartiger Porenbeton für den Lärmschutz

DI Alexander Barnaš, Kirchdorfer Fertigteilvertriebs GmbH, Wöllersdorf

### Moderne Mess- und Prüfmethode für Stahlfaser- und Massenbeton

Dipl.-Min. Vera D. Rohrdantz, Matenco Europe (UK) Ltd., Göttingen, Deutschland

### Oberflächenrauheit an Baustoffen mittels stereoskopischem Verfahren

DI Andreas Schneemayer, DI Hans Peter Possler und Prof. Elmar Karl Tschegg, TU Wien, Labor für Materialwissenschaften und Hochbautechnik, Wien

DI Martin Peyerl, Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

### Zetapotentialmessungen an Zementleim

Dr. Jürgen Adolphs, Porotec GmbH, Hofheim, Deutschland

### ReduDust – an innovative solution to produce technical salt from bypass dust

Benoit Galichet, Holcim (Slovensko) a.s., Rohoznik, Slowakei

## Entwicklungen / Baupraxis

### VÖB Richtlinie Wasserundurchlässige Betonbauwerke in Fertigteilbauweise

Ing. Martin Schramböck, Kirchdorfer Fertigteilvertriebs GmbH, Wöllersdorf

### Untersuchungen zum Ermüdungs- und Schubtragverhalten der Verbundfuge zwischen 50 Jahre altem und neuem Beton

DI Johannes Berger, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Wien

DI Martin Peyerl, Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

### Sanierung Autobahndecke mit 6-Stunden-Fahrbahndeckenbeton

Josef Eder jun., Salzburger Sand- und Kieswerke GmbH, Salzburg

### Pflasterdrainbeton – Ein Erfahrungsbericht aus der Praxis

Ing. Peter Nowotny, Forum Qualitätspflaster, Wien

### Betonpflasterbelag zur Behandlung und Versickerung von Niederschlagsabflüssen von Verkehrsflächen

DI (FH) MBA Jakob Socher, BWL Betonwerk Linden Pflastersteinwerk GmbH & Co KG, Hebertsfelden, Deutschland

### Betonspurwege Planung – Bau – Erhaltung

WHR DI Dr. Wolfgang Haslehner, Amt der burgenländischen Landesregierung, Eisenstadt

Franz Lecker, Österreichische Betondecken ARGE, Graz

### Griffigkeitsprobleme im Tunnel – Ursachen und Lösungsansätze

Ing. Herwig Steiner, ASFINAG Bau Management GmbH, Wien

DI Martin Peyerl, Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

### Entwicklung einer extrem schlanken Stahl-Beton-Verbundplatte mit Anwendung von SCC-Beton (Sandwichplatte)

Univ. Prof. DI Dr. Josef Fink, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Wien

### SCC mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit

DI Michael Steiner, ASFINAG Bau Management GmbH, Wien

DI Dr. Mag. Stefan Krispel, Forschungsinstitut der VÖZ, Wien

## Betontechnologie

### Monitoring der UHPC-Bogenbrücke Wild in Völkermarkt

PhD. Marian Ralbovsky, Austrian Institute of Technology, Wien

### Ultra-Hochleistungsbetone von der Mischungsentwicklung bis zum Bauteil –

#### Chancen für neue Anwendungen in der Fertigteilindustrie

FH-Prof. Dr. Norbert Randl, Dr. Joachim Juhart, FH-Prof. Dr. Erwin Baumgartner und DI Friedrich Däuber

Fachhochschule Kärnten, Studienbereich Bauingenieurwesen und Architektur, Spittal/Drau

### Eigenschaften von mit Carbonfasern verstärktem UHPC

Univ. Prof. Dr. Ing. habil. Nguyen Viet Tue, TU Graz, Institut für Betonbau, Graz

### UHPC als Spritzbeton zur Herstellung von luftig-leichten Skulpturen

Univ. Ass. DI Johannes Kirnbauer, TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie, Wien

### Eluatarmer Spritzbeton – Langzeit-Prognosen mittels numerischer Simulation

Dr. Dipl.-Min. Saskia Bernstein, Betoserv GmbH, Kufstein

### Experimentelle Überprüfung der Ermüdungsnachweise für Stahlbeton gemäß CEB-FIP Model Code

Assoc. Prof. Dr. Alfred Strauss, DI Susanne Urban, Mag. (FH) Verena Schabus und Prof. DDr. Konrad Bergmeister

BOKU Wien, Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Wien

Michael Reiterer, RED Bernhard GmbH, Wien

# Dämpfungssystem für Schrägkabel

Philipp EGGER, Johann KOLLEGER

TU Wien- Institut für Tragkonstruktionen – A-1040 Karlsplatz 13/e212-2 – Österreich

[philipp.egger@tuwien.ac.at](mailto:philipp.egger@tuwien.ac.at), [johann.kollegger@tuwien.ac.at](mailto:johann.kollegger@tuwien.ac.at)

Zugglieder mit hoher Strukturdämpfung zur Erhöhung der Sicherheit von Schrägkabelbrücken, abgespannten Masten und Seiltragwerken bei winddynamischen Einflüssen.

## Beschreibung der Technologie

Die Zuverlässigkeit und die Lebensdauer von Zuggliedern (z.B. Schrägkabel, Hängestangen, Tragseile) unter Windbeanspruchung hängen von der Strukturdämpfung und der konstruktiven Ausbildung der Dämpfungselemente ab. Nach dem derzeitigen Stand der Technik hergestellte Zugglieder weisen nur eine geringe Strukturdämpfung auf. Zur Vermeidung von windinduzierten Schwingungen sind deshalb bei herkömmlichen Zuggliedern aufwändige Zusatzmaßnahmen wie z.B. externe Schwingungsdämpfer oder Abspannungen zwischen den Zuggliedern erforderlich.

Die an der TU Wien entwickelte Technologie verfolgt das Ziel die Strukturdämpfung der Zugglieder durch einfache zusätzliche Maßnahmen auf ein Niveau anzuheben, das ausreicht, um das Auftreten von gefährlichen windinduzierten Schwingungen zuverlässig zu vermeiden. Gemäß der Patenanmeldung wird die Strukturdämpfung erhöht, weil

- ein Stab an einem Ende des Zuggliedes befestigt wird
- ein Rohr am anderen Endes des Zuggliedes befestigt wird
- der Stab in dem Rohr angeordnet ist,
- beim Auftreten von Querschwingungen des Zugglieds, schlägt der Stab im Rohr und verursacht ein Störsignal, dass ein Aufschwingen des Schrägkabels in Resonanz verhindert wird.

Die technische Umsetzung dieser Erfindung ermöglicht, die erforderliche Dämpfung von Zuggliedern durch einfache zusätzliche Einbauteile im Zugglied selbst zu erzeugen und nicht durch außerhalb der Zugglieder angebrachte Bauteile, die nachteilig für die Inspektion, die Erhaltung und das Erscheinungsbild sind. Darüber hinaus ist eine Kostenersparnis durch die an der TU Wien entwickelten Technologie im Vergleich zu den bisher eingesetzten Bedämpfungsmaßnahmen gegeben.

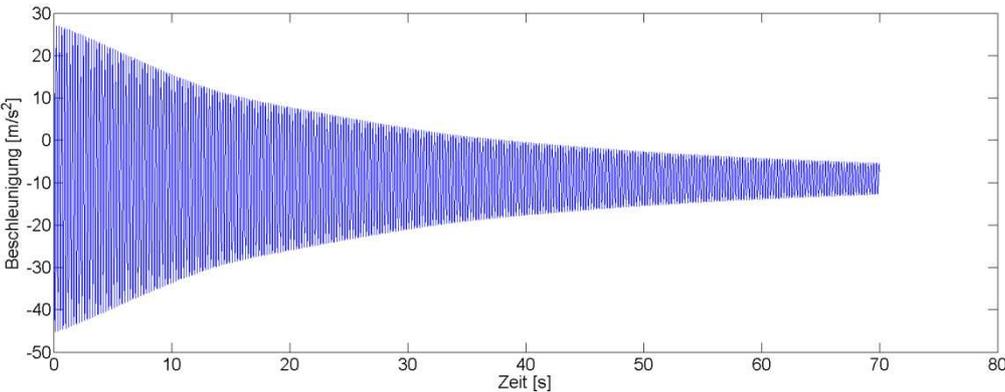
## Großversuche

Die Schrägkabelversuche finden am 30m langen Spannbetonträger, der im Rahmen des FFG-Forschungsvorhabens „Verwendung von für den Hochbau entwickelten Betonfertigteilen im Brückenbau und Ingenieurbau“ hergestellt wurde, statt (Bild1). Die Ergebnisse der Experimente haben gezeigt, dass die Dämpfung von 0,1% des einfachen Kabels, bis auf 0,8% Dämpfung gesteigert werden konnten, durch den Einbau des Dämpfers. Im Bild 2 und Bild 3 wird ein Ausschwingversuch ohne und mit integriertem Dämpfer verglichen.

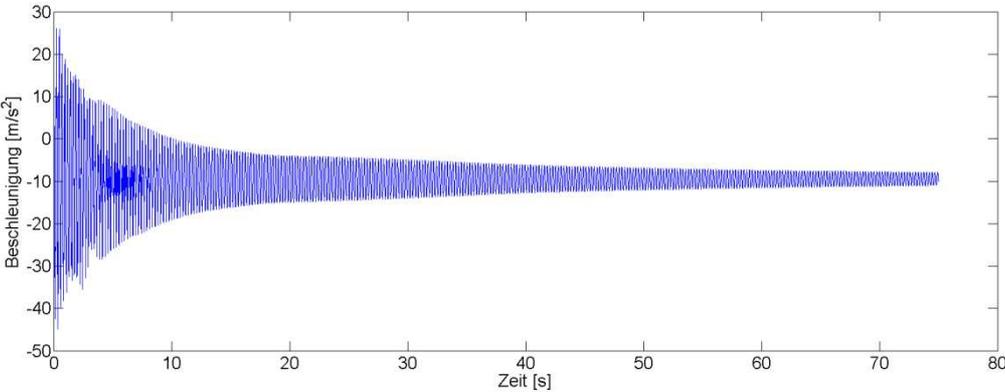
Die Großversuche haben gezeigt, dass dieses Dämpfungssystem eine einfache im Bau umsetzbare Technologie ist, bei der gute Dämpfungseigenschaften erzielt werden können.



**Bild 1: Versuchsaufbau mit integriertem Dämpfungssystem**



**Bild 2: Ausschwingversuch des Schrägkabels ohne Dämpfer bei 1833 kN**



**Bild 2: Ausschwingversuch des Schrägkabels mit Dämpfer bei 1834 kN**

Prof. Dr.-Ing. Christoph Gehlen  
Centrum Baustoffe und Materialprüfung (cbm)  
Technische Universität München



Prof. Dr.-Ing. C. Gehlen & Prof. Dr.-Ing. K.-U. Bletzinger

## Effiziente Schalenträgerwerke aus funktional gradierten Betonfertigteilen

Funktionale Gradierung, Schalungs- und Herstelltechnologie unter Berücksichtigung der Segmenttopologie  
Im Rahmen des DFG Schwerpunktprogramms 1542 Leicht Bauen mit Beton

### Zusammenfassung:

Das vorgestellte Forschungsvorhaben widmet sich der Herausforderung des leichten Bauens mit Hilfe von Schalenträgerwerken aus Betonfertigteilen. Der Forderung nach leichtem Bauen wird hier aber nicht nur durch Beachtung geringer Verhältniszwerte Gewicht/Traglast Rechnung getragen, unter leichtem Bau wird effizient bauen verstanden, d. h. auch geringe Verhältniszwerte Herstellkosten/Traglast, Energieverbrauch/Traglast, „Öko-Impact“/Traglast, etc.



Bild 1: Raststätte Deitingen an der A1 Zürich-Bern, Schalenträgerwerk von Heinz Isler, 1968, Foto: Chriusha

Beim Bau von monolithischen Ortbetonschalen ist i.d.R. nicht nur mit einem enormen Arbeitsaufwand insbesondere durch den Schalungsbau zu rechnen, auch stellt die doppelt gekrümmte Geometrie eine für den Werkstoff Beton und ggf. zusätzlich notwendige Bewehrungen (Maßhaltigkeit) eine bisher nicht überzeugend gelöste Problemstellung dar. Die Antragsteller sind überzeugt davon, dass Schalenträgerwerke wesentlich effizienter (leichter) aus Betonfertigteilen hergestellt werden können.

### Ziele und Arbeitsprogramm:

Ziel des Forschungsvorhabens ist es, die Voraussetzungen für die Herstellung effizienter Schalenträgerwerke aus funktional gradierten Betonfertigteilen zu schaffen. Zunächst muss dazu die Frage nach dem optimalen materialabhängigen Entwurfsraum für den zu verwendenden Beton unter Berücksichtigung mechanischer und ökologischer Aspekte beantwortet werden. Dieses Ziel soll zweistufig erreicht werden. Im Arbeitspaket **A** soll in einem ersten Schritt ein **optimaler Entwurfsraum** nach Stand der Technik bestimmt werden. Dazu werden aus Literaturdaten und eigenen Untersuchungen gewonnene mechanisch bewertete Material-Datensätze ökologisch bilanziert. Daran anschließend werden mit den nun ökologisch-mechanischen Material-Datensätzen durch den Projektpartner (Lehrstuhl für Statik der TU

München) die Parameter Filigranität des optimal parzellierten Schalenträgerwerks sowie die ökologischen Auswirkungen auf Trägerwerksebene bei vorgegebener Traglast bestimmt.

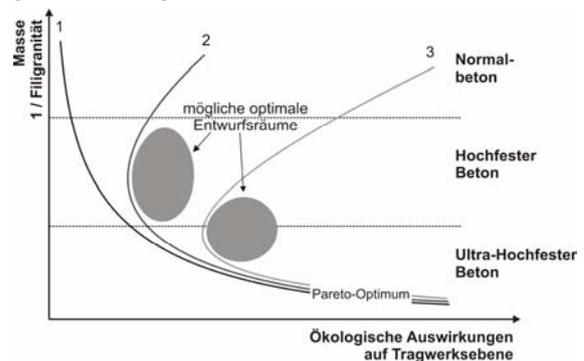


Bild 2: Gesamtmasse des Trägerwerks und ökologische Auswirkungen auf Trägerwerksebene

Anschließend soll im Arbeitspaket **B** der gefundene Entwurfsraum gezielt durch die **Erhöhung der Zugtragfähigkeit** des Betons erweitert werden. Dies ist insbesondere zur Erhöhung der Effizienz des Trägerwerks notwendig. Dadurch wird es möglich, die Filigranität, die Formvielfalt und die Robustheit der Schalen deutlich zu steigern. Ziel ist es darüber hinaus, die Fertigteile gänzlich ohne Betonstahlbewehrung herzustellen und die gesamte Zugtragfähigkeit über Stahlfasern zu gewährleisten. Das würde wiederum eine deutliche Erhöhung der Effizienz bei der Herstellung bedeuten. Die Erkenntnisse sind zudem für die funktionale Gradierung der Fertigteile notwendig.

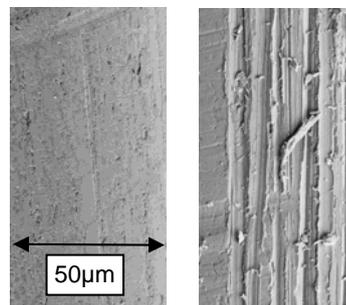


Bild 3: Oberflächenrauheit Stahlfaser [2]

Die Effektivität der Fasern und die dazugehörigen Einflussfaktoren werden sowohl auf der Ebene der einzelnen Faser (Einzelfaserausziehversuche) als auch auf Ebene des faserhaltigen Werkstoffs (zentrische Zugtragfähigkeit) zur Charakterisierung des tatsächlichen Werkstoffverhaltens untersucht. Im Rahmen der Einzelfaserausziehversuche werden je nach Eigenschaften der vorgegebenen Betonmatrix die wichtigsten Einflussgrößen (Fasergeometrie,

Morphologie der Faseroberfläche, Verankerungsmittel) auf das Verbundverhalten identifiziert.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens ist jedoch nicht nur daran gedacht, die aufnehmbare Zugkraft im Bauteil um eine Größenordnung zu steigern, sondern auch daran, das Material im Bauteil selbst zu gradieren. Durch die **Gradierung** wird es möglich, die Materialeigenschaften lokal an die tatsächliche Beanspruchung anzupassen. Dieser Schritt ist notwendig, um die Effizienz der durch Segmentierung geschwächten Schale weiter steigern zu können.

Bevor jedoch über die Möglichkeiten der Gradierung nachgedacht werden kann, müssen grundsätzliche Fragestellungen zur Herstellung filigraner, doppelt gekrümmter Schalen beantwortet werden. Daher werden im Arbeitspaket **C** die entsprechenden Fragestellungen zur **Herstell- und Schalungstechnologie** bearbeitet. Die gewonnenen Erkenntnisse gehen wiederum an den Projektpartner, der diese als wesentliche Nebenbedingungen in den Optimierungsprozess zur Generierung der Segmenttopologie einfließen lässt.

Um die hohe Maßhaltigkeit und die zweiachsig gekrümmte Form der Fertigteile gewährleisten zu können, sollen neue Wege in der Fertigteilproduktion beschritten werden. Anstelle der nach Stand der Technik überwiegend verwendeten offenen Schalungen (oder offenen Schalungen mit Deckel) soll der **geschlossene Formguss** zur Herstellung der Fertigteile zur Anwendung kommen. Der geschlossene Formguss wird bislang vornehmlich für Urformung metallischer oder polymerer Werkstoffe eingesetzt. Insbesondere für die geplanten filigranen schalenförmigen Fertigteile ist dieses Verfahren jedoch ebenfalls sehr gut geeignet. Mit Hinblick auf die Herstellung von Bauteilen im geschlossenen Formguss ist jedoch eine genaue Kenntnis der **rheologischen Eigenschaften** des Betons notwendig, um die komplette Formfüllung zu gewährleisten. Daher stellt die rheologische Optimierung der verwendeten Betone ein Schwerpunkt in diesem Arbeitspaket dar.

Das Arbeitspaket **D** beschäftigt sich schließlich mit der **Gradierung der Fertigteile**. Mit der Gradierung eröffnet sich die Möglichkeit, die Materialeigenschaften gezielt an die lokalen Erfordernisse im Bauteil anzupassen. Ziel dieses Arbeitspakets ist die technologische Umsetzung der funktionalen Gradierung der Materialeigenschaft Zugtragfähigkeit im Fertigteil. Dieses Arbeitspaket stellt einen Schwerpunkt im gesamten Forschungsvorhaben dar.

Die Gradierung der Zugtragfähigkeit soll durch eine Gradierung des Fasergehalts erreicht werden. Im Mittelpunkt stehen die Technologien der **Rotationsgradierung** und des **Gradientengusses**.

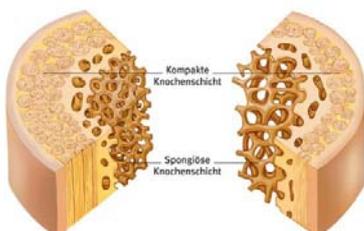


Bild 4: Funktionale Gradierung im menschlichen Knochen [1]

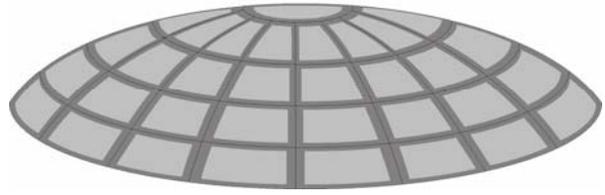


Bild 5: Funktionale Gradierung der Materialeigenschaften innerhalb eines Fertigteils, z.B. erhöhte Zugtragfähigkeit im Randbereich

Im Arbeitspaket **E** soll dann geklärt werden, inwiefern durch die funktionale Gradierung die potentiellen **Umweltwirkungen** und die **Kosten** beeinflusst werden. Der Fokus soll dabei auf der Fragestellung liegen, ob die auf die Spannungen im Tragwerk bzw. Fertigteil angepassten Materialeigenschaften zu einer Reduzierung der Umweltwirkungen und der Kosten führen.

Anhand der in den vorausgegangenen Arbeitspaketen gewonnenen Erkenntnisse sollen abschließend im Arbeitspaket **F** zwei doppelt gekrümmte **Schalen mit realitätsnahen Abmessungen** im Labor hergestellt werden. Ziel ist es, die praktische Umsetzbarkeit der Schalung sowie der Herstellung und der Gradierung von Fertigteilen für Schalentragwerke nachzuweisen. Darüber hinaus sollen Erkenntnisse über das tatsächliche Tragverhalten der funktional gradierten Fertigteile gewonnen werden.

[1] [www.planet-wissen.de](http://www.planet-wissen.de)

[2] Stengel, T.: Effect of Surface Roughness on the Steel Fibre Bonding in UHPC, in: Bittnar, Z. et al: Nanotechnology in Construction. S.371-376, Springer 2009

# PHONOBLOC – neuartiger Porenbeton für den Lärmschutz

## Kurzfassung:

MABA FTI entwickelte im Zuge des von der FFG geförderten F&E-Projekts „Ökologisch nachhaltiges Lärmschutzsystem“ einen neuartigen Porenbeton, der einerseits die geforderten akustischen Eigenschaften wie Schallabsorption und Luftschalldämmung aufweist und andererseits die für den Einsatzbereich Straße verlangte höchste Frost-Tausalz-Beständigkeit sicherstellt.

Derzeitig eingesetzte Lärmschutzsysteme aus Betonfertigteilen im Straßen- und Bahnverkehr bestehen aus einer konstruktiv notwendigen Tragschicht (Stahlbeton) und einer einseitig bzw. beidseitig aufgetragenen Absorptionsschicht.

Die Neuheit besteht darin, dass der Porenbeton genügend Tragfähigkeit aufweist und eine herkömmliche Tragschicht ersetzen kann. Die gesamte Schicht aus Porenbeton kann statische Anforderungen erfüllen und wirkt im Gesamten als Schallabsorber. In Abhängigkeit der Materialdicke sowie der Oberflächengestaltung kann die Erreichung der Schallabsorptionsgruppe A3 (8dB bis 11dB) und der Schallabsorptionsgruppe A4 (> 11dB) gemäß ÖNORM EN 1793-1 erzielt werden. Im Hochgeschwindigkeitsbereich der Bahn (Zuggeschwindigkeit bis 300km/h) wird mit der vorliegenden Entwicklung die Erfüllung der neuesten Zulassungsbestimmungen ebenfalls ermöglicht.

Der Einsatzbereich kann unter anderem als Paneele zwischen LSW-Stehern bzw. auch als konstruktive eigenständige Wand erfolgen. Eine Übersicht zur Produktvielfalt liefert Abbildung 1.

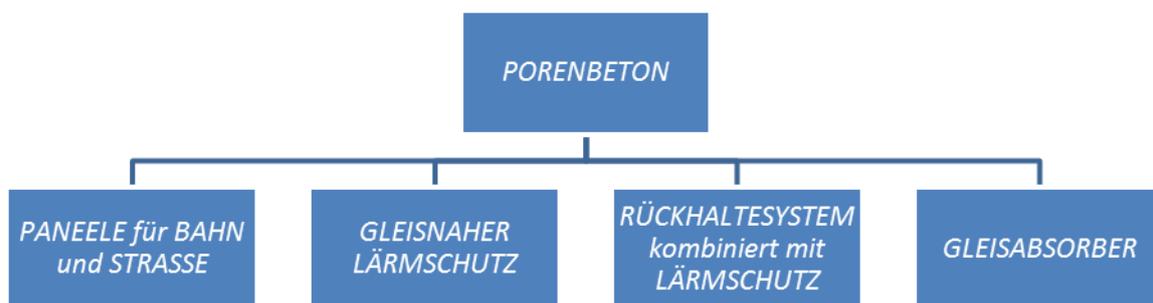


Abbildung 1: Produktübersicht

Da der neuartige Porenbeton größtenteils aus mineralischem, gebrochenem Gestein besteht, wird die 100%ige Wiederverwertbarkeit sowie die damit verbundene Nachhaltigkeit gewährleistet. Kurze Transportwege der Rohstoffe zur Produktionsstätte führen darüber hinaus zu einer geringeren CO<sub>2</sub>-Belastung.

Durch diese Innovation und der dadurch möglichen Produktvielfalt kann ein wesentlicher Beitrag zu der EU-Richtlinie 2002/49/EG zur Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm geliefert werden. Die hohe Fertigungsqualität und die beliebige Gestaltbarkeit in Form und Farbe stellen weitere Vorteile des neuartigen Porenbetons dar.

**Autor:**

Alexander Barnas, DI

Leiter Abteilung Forschung und Entwicklung, Kirchdorfer Fertigteilverwaltung GmbH

**Co-Autor:**

Gerald Lanz, DI

Projektleiter, Abteilung Forschung und Entwicklung, Kirchdorfer Fertigteilverwaltung GmbH

## Moderne Mess- und Prüfmethode für Stahlfaser- und Massenbeton

Die Zusammensetzung von Stahlfaserbeton bringt immer wieder Unsicherheiten zwischen Lieferant und Anwender bzw. Bauherrn mit sich. Vor allem der Stahlfasergehalt sowie auch die Orientierung der Fasern bzw. die Möglichkeit der Berücksichtigung als Bewehrungsverstärkung führt recht häufig zu Diskussionen. Mit dem neuen Prüfgerät besteht nun die Möglichkeit, sowohl den Fasergehalt als auch die Orientierung im Festbeton quantitativ mit hoher Genauigkeit festzustellen. Entscheidender Vorteil ist die Schnelligkeit der Untersuchung, da die üblichen Auswasch- und Zählverfahren so viel Zeit benötigen, dass kaum statistische Werte erzeugt werden können. Untersuchungen an Lieferbeton haben zudem ergeben, dass in den versch. Ladungen eines Betonmischers bis zu 50% und höhere Unterschiede in der Menge der Fasern in einer Charge bzw. Probe liegen. Damit ist der Diskussion Tor und Tür geöffnet. Mit dem nun vorliegenden Prüfverfahren wird Sicherheit geschaffen und viele Diskussionen vermieden, vor allem aber die Betonage kann ungestört durchgeführt werden.

In diesem Zusammenhang und bei einigen Laborversuchen hat sich auch herausgestellt, dass die Art und Weise sowie der Zeitpunkt der Zugabe der Fasern einen entscheidenden Einfluß auf die Homogenität und Stabilität der Mischung. Mit diesem Wissen muss dann auch entschieden werden, ob man auf der Baustelle, im Fahrmischer bzw. beim Hersteller mischen lässt.

Bei Massenbauwerken – u. a. neuerdings auch die Fundamente für Windenergieanlagen - ist sehr oft die Langzeitüberwachung wegen der Zugänglichkeit und Anzahl der evtl. notwendigen Proben - auch Bohrproben - kritisch. Neue Systeme erlauben eine externe Langzeitüberwachung bis zu 7 Jahren der Werte für die Feuchte, innere Spannung und Temperatur des Inneren ( bis zu 1-2 Meter Tiefe ). Damit sind erheblich verbesserte und preisgünstige Möglichkeiten geschaffen, beginnende Korrosion und Bauschäden frühzeitig festzustellen und damit eine Sanierung rechtzeitig einzuleiten bevor die Bausubstanz existenziell gefährdet wird.

Gerade im Bezug auf Windenergieanlagen wird sehr oft zu wenig Augenmerk auf die Betonage und vor allem die geotechnischen Voruntersuchungen gelegt. Der neue Studiengang an der Fernuniversität IQ-Technikum in Bremen für Windenergietechniker will an dieser Stelle helfen, zukünftig im Wortsinne bessere Grundlagen zu schaffen.

Verfasserin: Vera D. Rohrdantz, Diplom-Mineralogin  
Matenco Europe (UK) Ltd., Hohe Linde 20, 37075 Göttingen, Deutschland

## Oberflächenrauheit an Baustoffen mittels stereoskopischem Verfahren

Schneemayer A.<sup>1</sup>, Possler H.P.<sup>1</sup>, Peyerl M.<sup>2</sup>, Tschegg E.<sup>1</sup>

1 Institut für Hochbau und Technologie E206-4

2 VÖZfi

Das Prinzip des stereoskopischen Verfahrens beruht auf der Erstellung zweier Bilder, die bezüglich einer fixen optischen Achse um einen definierten Winkel verkippt sind. Die Verkippung hat hierbei euzentrisch zu erfolgen, was bedeutet dass die Kippachse in der Mitte der zu vermessenden Oberfläche liegen muss.



Abbildung 1: Vorrichtung zur Oberflächenanalyse

Bei diesem Verfahren wird das Stativ oberhalb der Probe aufgestellt und die Kamera schwenkbar montiert. Dabei werden 2 Bilder im Winkel von jeweils  $5^\circ$  um die Zentralprojektion aufgenommen und mit Hilfe spezieller Software zu einem dreidimensionalen Oberflächenbild zusammengefügt. Das hat den großen Vorteil dass einerseits Labormessungen an kleinen Proben (z.B. an Bohrkernen) durchgeführt werden können, andererseits ist es aber auch möglich, direkt auf einer Oberfläche selbst zu messen, wie z.B. auf Fahrbahnen (normal / abgefräst), Beton, Industrieböden, Ziegelwänden, Putz usw. Somit müssen nicht gezwungenermaßen Bohrkern entnommen werden, und eine Beschädigung der Oberfläche, aus der normalerweise die Probe entnommen werden müssten, wird vermieden.

In Abbildung 2 bis 4 sieht man als Beispiel eine Ziegeloberfläche. Die ersten beiden Bilder zeigen

jeweils 2 Oberflächen in der 3D Ansicht und das untere Diagramm zeigt den Rauigkeitsverlauf entlang der eingezeichneten Linien.

Neben dem Rauigkeitsverlauf können noch viele weitere Parameter der Oberflächen bestimmt werden. Angefangen vom Vergleich von wahrer zu projizierter Oberfläche bis hin zum Verdrängungsvolumen.

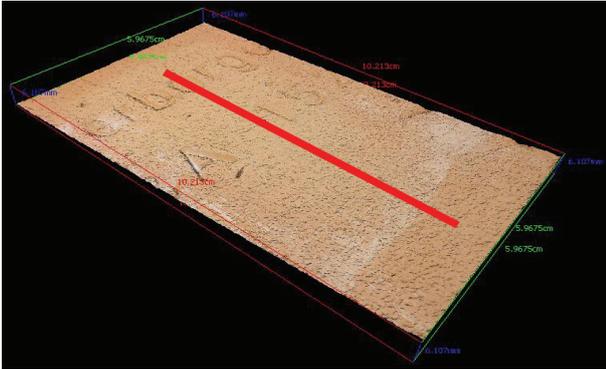


Abbildung 2: Ziegel Stirnseite

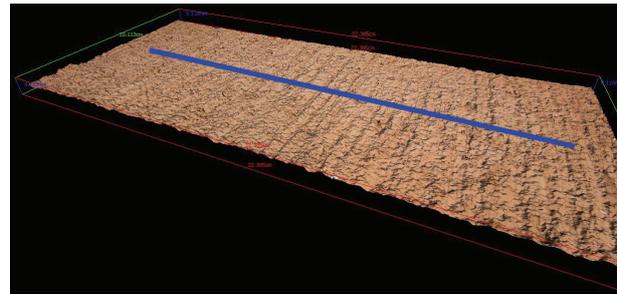


Abbildung 3: Ziegeloberseite

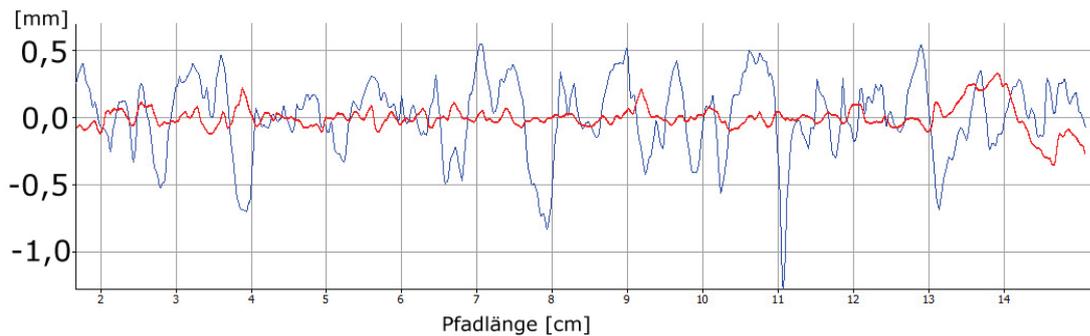


Abbildung 4: Rauigkeitsverlauf

Im Rahmen des Vortrages sollen mehrere Bilder über Betonoberflächen, abgefräste Strassen, usw, gezeigt werden.

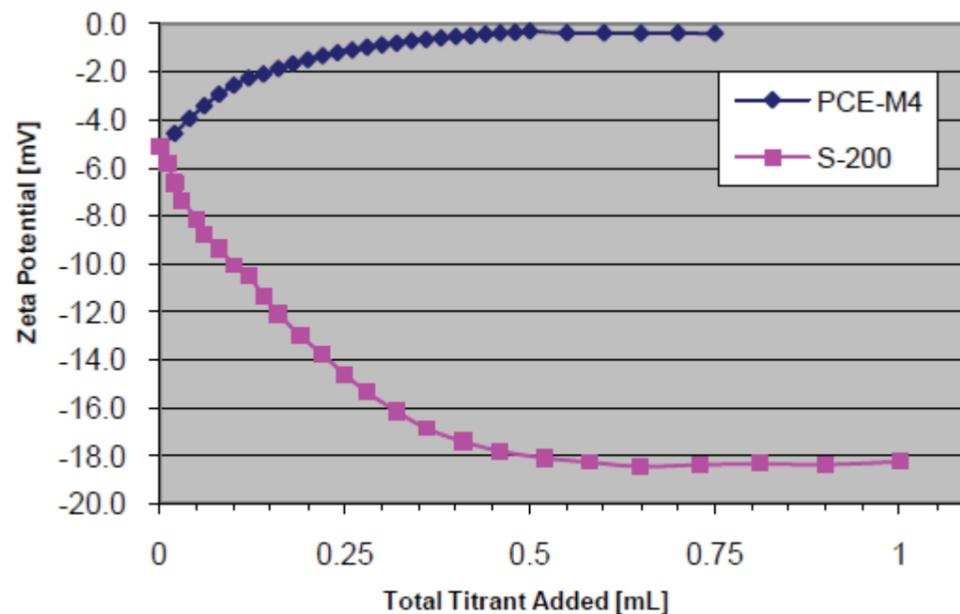
## Zetapotentialmessungen an Zementleim

Dr. Jürgen Adolphs

Porotec GmbH – D-65719 Hofheim, Niederhofheimer Str. 55a, juergen.adolphs@porotec.de

Die Hauptkomponenten von Beton sind Zement, Wasser und Zuschläge, eine Mischung von Sand und Kies. Mit erhöhtem Wasserzementwert kann zwar leicht die Verarbeitbarkeit eingestellt werden, gleichzeitig wird aber die Porosität und insbesondere der Anteil der für Schadstoffe durchgängige Bereich der Kapillarporen erhöht. So ist bereits seit langem eine unkontrollierte Zugabe von Wasser zur Verbesserung der Verarbeitbarkeit des Betons auf Baustellen strengstens verboten. Stattdessen werden Betonzusatzmittel wie Betonverflüssiger oder Fließmittel eingesetzt, um bei gleichem Wasserzementwert mit hohem Wassereindringwiderstand die Verarbeitbarkeit zu verbessern. Dies betrifft Transportbetone, selbstnivellierende Betone sowie Hochleistungsbetone mit hohem Silikat- aber geringem Wasseranteil. Ebenso wird der Einsatz von schnellreagierenden Ersatzstoffen wie Flugasche durch die von den Zusatzmitteln verzögerte Aushärtung (Hydratation) gefördert. Insgesamt wird durch die mögliche Reduzierung von Wasser und Zement die ökologische Bilanz verbessert. Ziel der Fließmittel ist es, die Reibung und Anhaftung zwischen den Partikeln zu reduzieren. Die erste Generation von Fließmitteln waren Substanzen wie sulfonierte Naphthalin Formaldehyde, welche die Partikel durch elektrostatische Stabilisierung dispergierten. Diese Moleküle adsorbieren an positiv geladenen Bereichen der Zementpartikeloberflächen. Obwohl diese den Hauptanteil der Fließmittel ausmachen (2), ist die Stärke der elektrostatischen Abstoßung durch die hohe Ionenstärke im Beton limitiert. Um eine höhere Abstoßung zu erzeugen, wurden Fließmittel entwickelt die beides, die elektrostatische sowie die sterische Abstoßung bewirken. Diese neue Generation von Fließmitteln sind Polymere, die üblicherweise einen negativ geladenen Hauptstrang besitzen, der die Adsorption auf die Zementoberfläche fördert. Die Seitenketten ragen in die Lösung und erzeugen über ihre räumliche Ausfüllung sterische Abstoßung (1). Die übliche Daumenregel liegt zwischen 1% bis 2% Fließmittel pro Gewichtsanteil von Zement. Die genaue Menge ist aber abhängig von der spezifischen Oberfläche, Morphologie und Chemie der Zementpartikel und der Art des Fließmittels. Zu hohe Dosierung verursacht unnötige Kosten und kann schlimmstenfalls zu Flockung führen. Die optimale Konzentration ist der Dosage-Sättigungspunkt. Aufgrund der Variabilität unter den Zementarten und Zusatzstoffen, sollte der Sättigungspunkt individuell bestimmt werden, in der Regel zeitaufwendige Slump Tests und Rheologiemessungen (2, 3). Neuere Entwicklungen in der Zetapotentialmessung erlauben z.B. mit dem ZetaProbe Gerät der Firma Colloidal Dynamics Messungen in konzentrierten Zementleimen. In dem Beitrag werden Ergebnisse an Zementleimen mit bis zu 66,7 Gewichtsprozent Zementanteil vorgestellt. Das heißt, die Lösungen müssen nicht mehr zeitaufwendig stark verdünnt werden, dabei würde auch das Zetapotential durch die Veränderung des pH-Wertes und der Dichte des Hintergrundelektrolyten geändert. Mit dem ZetaProbe sind unverdünnte reale Zetapotentialmessungen in situ innerhalb einer Minute möglich. Gleichzeitig werden pH-Wert und Leitfähigkeit bestimmt. Bedingt durch die Heterogenität von positiven und negativen Ladungen auf der Oberfläche der Zementpartikel wird ein gemittelt Zetapotential bestimmt. Das zetaProbe basiert auf der ESA Methode, dabei werden die Partikel mit Ultraschall zu Bewegungen angeregt, die dann mit einer Art Mikrofonsonde aufgezeichnet werden. Aus den Amplituden und Phasenverschiebungen im Vergleich zum Eingangssignal lässt sich über die dynamische Mobilität mit Kenntnis der Partikelgröße das Zetapotential bestimmen. Durch das Messen bei verschiedenen Frequenzen wird auch eine Partikelgrößenverteilung ermittelt. Mit dem Titrationsmodus durch programmierte Zugabe von Fließmittel unter mechanischem Rühren im Probenbecher oder vor der Durchflusozelle (geeignet für Online Applikationen) wird der Sättigungspunkt präzise und schnell bestimmt. Es sollen kurz zwei Fließmittel an einem Portland Zement diskutiert werden. Die Herausforderung der Zetapotentialmessung an Zementssystemen ist das niedrige Zetapotential bei gleichzeitig hohen pH-Werten und Ionenstärken. Für den von der EMPA Zürich zur Verfügung gestellten Zement bei einer 66,7 Gew.% Mischung und einer mittleren Partikelgröße über 10 µm stieg der pH-Wert auf 12,8 – 13 und die Leitfähigkeit lag im Bereich 15 – 18 mS/cm. Für hochleitfähige Systeme wie dem vorliegenden muss der Effekt der Hintergrund

Elektrolytlösung abgezogen werden, die zunächst mit dem ZetaProbe gemessen wurde, um anschließend in einer in der Software bereits vorgesehenen Re-Analyse die eigentlichen Zementmessungen zu korrigieren. Das Zementem System ist dynamisch und findet kein Gleichgewicht. Die zeitabhängigen Messungen von Zetapotential und Leitfähigkeit zeigen die größten Änderungen innerhalb der ersten 20 Minuten nach Hinzufügen des Zementpulvers in das Wasser. Für die Titrationsmessungen wurden 100 g Zement und 50 g deionisiertes Wasser gemischt und die Fließmittel in zunächst kleinen Dosen zu tritiert bis das Zetapotential ein Plateau erreichte. Der Background wurde auch hier korrigiert. Das Fließmittel S-200 ist ein anionisches Additiv, das durch Erhöhung der elektrostatischen Abstoßung wirkt und das Zetapotential von -5mV auf ein Plateau bei -18mV senkt mit einer Sättigungs-Dosage von 0,6ml pro 100g trockenen Zement. Das Fließmittel PCE-M4 hingegen erhöht das Zetapotential auf ein Plateau knapp unter 0mV bei gleicher Sättigungs-Dosage. Das PCE-M4 wirkt hauptsächlich durch sterische Abstoßung bedingt durch die räumliche Ausbreitung des nicht flach auf der Zementkornoberfläche liegenden Moleküls. Die Ausdehnung geht bis in die elektrische Doppelschicht und bewirkt einen elektroosmotischen Fluss um das Partikel, resultierend in einer Abnahme des Zetapotentials. Die Messungen dauerten ca. 30 Minuten, Vorbereitungen waren nicht nötig. Damit sind sie für die Qualitätskontrolle geeignet. In diesem Beispiel konzentrierten wir uns auf die Sättigungs-Dosage, ein anderer ist aber auch die Kompatibilität von Zusatzmitteln und Zementen, u.a. auch der Einfluß von Porositäten, ebenfalls erfassbar mit dem Zetapotential (4, 5).



#### Literatur

1. Flatt, R.J., Martys, N. and Bergstrom, L. "The Rheology of Cementitious Materials". *MRS Bulletin*, p314 (2004).
2. Hyuan, J.K., Stacy G.B. and Victor C.L. "Effects of strong polyelectrolyte on the rheological properties of concentrated cementitious suspensions" *Cement and Concrete Research* **36**, p851 (2006).
3. Aitcin, P-C, Nkinamubanzi, P-C, Jiang, S., Petrov, N. and Byung-Gi, K. "Cement/superplasticizer interaction. The case of polysulfonates" *Bulletin Des Laboratoires des Pont et Chaussees* **233**, p89 (2001)
4. Ferrari, L., Kaufmann, J., Winnefeld, F., Plank, J. „Interaction of cement model systems with superplasticizers investigated by atomic force microscopy, zeta potential, and adsorption measurements" *J. Colloid Interface Sci.* **347** , p15-24 (2010)
5. Cannon, D.W., O'Brien, R.W., Rowlands, W.N, Adolphs, J., "Charakterisierung nanoporöser Partikel mittels Elektroakustik und akustischer Spektroskopie – Zetapotential und Partikelgröße", erscheint in GDCh Monografie Bauchemie, Bauchemietagung Hamburg 2011

ReduDust – a key catalyst for operating cement kilns sustainably at TSR (Thermal Substitution Rate) >60%

TSR	Typical AF investments
0 – 30%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Proper storage &amp; reliable feeding systems</li> <li>▶ Focus on dust / odor containment and proper fire protection</li> </ul>
30 – 60%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chlorine bypass / Stable process</li> <li>▶ Bypass dust used in cement and (road) binder applications</li> </ul>
60 – 100%	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ReduDust to recover excess quantities of bypass dust</li> </ul>



## **VÖB Richtlinie**

### **Wasserundurchlässige Betonbauwerke in**

### **Fertigteilm Bauweise**

Der wesentlichste Grund für die Veröffentlichung einer eigenen Richtlinie des VÖB ist, dass die vorhandene Weiße Wannen Richtlinie der ÖVBB die technologischen Möglichkeiten von Fertigteilen nicht behandelt. Daher wurde die Richtlinie des VÖB ganz speziell unter Berücksichtigung der Technologie von werksmäßig hergestellten Betonfertigteilen, für die es bisher keine nationalen Regelungen gab erstellt. So ermöglicht die Anwendung der Richtlinie des VÖB bei WU Betonbauwerken erhebliche Materialeinsparungen bei gleichzeitiger Sicherstellung der WU Anforderungen.

WU Bauwerke aus Betonfertigteilen können ausschließlich nach dieser Richtlinie oder aber in Kombination mit der WU Richtlinie der ÖVBB konzipiert werden. Natürlich ist es auch denkbar WU Bauwerke in Fertigteilm Bauweise wie bisher ausschließlich nach der Weißen Wanne Richtlinie der ÖVBB herzustellen, dabei werden jedoch die Möglichkeiten der Materialeinsparung nicht ausgeschöpft.

Die Richtlinie des VÖB gilt für Stahlbetonbauwerke und Bauteile in Fertigteilm Bauweise wo der Beton neben der lastabtragenden Funktion auch die Funktion der Wasserundurchlässigkeit ohne zusätzliche Abdichtungsmaßnahmen übernimmt. Von der Richtlinie ausgenommen sind jedoch Betonfertigteile welche über spezielle Produktnormen geregelt sind (z.B. Rohre, Schächte, ...).

Gemeinsam ist den Richtlinien des VÖB bzw. der ÖVBB das zu Grunde liegende Konzept zur Erfüllung der WU Anforderungen, welches aus den 4 Säulen, Dichtigkeit des Betongefüges, Rissevermeidung, Risseverteilung und Rissesanierung besteht.

Erfahrungsgemäß ist bei WU Bauwerken der maßgebliche Lastfall welcher zu Trennrissen führen kann „Zwang aus dem Abfließen der Hydratationswärme“. Folglich gelten die Diagramme der Weiße Wanne Richtlinie der ÖVBB betreffend der Mindestbewehrung zur Rissbreitenbeschränkung bei Zwangsbeanspruchung auch für diese sogenannte Frühhissbildung. Daraus ergeben sich erhebliche Unterschiede bei der Ermittlung der rissebeschränkenden Bewehrung zwischen der Ortbeton- und Fertigteilm Bauweise. Während bei der Ortbetonbauweise Verkürzungen welche aus dem Abkühlen des jungen Betons resultieren erheblich behindert werden, beispielsweise

durch eine bereits errichtete Fundamentplatte und bei Überschreitung der Zugfestigkeit des Betons zu Rissen führen können, kann sich das Fertigteil am Lagerplatz nahezu ungehindert verkürzen. Somit bleiben die auftretenden Zugkräfte kleiner als die Zugfestigkeit des jungen Betons, wodurch dieser in der Regel rissfrei bleibt. Die theoretischen Grundlagen dazu findet man im aktuellen Stand der Technik, insbesondere ÖNORM B 1992-1-1. Eine Anwendung dieser führt dazu, dass bei der Fertigteilbauweise die Mindestbewehrung zur Sprödbruchsicherung ausreicht, so dass in der Regel erheblich weniger Bewehrung erforderlich ist.

Ein wesentlicher Unterschied ergibt sich aus diesem Grund für die Betontechnologie. Um die obig beschriebenen Zwänge welche sich aus der Verformungsbehinderung bei der Ortbetonbauweise ergeben zu minimieren, werden hohe Anforderungen an die Herstellung und Verarbeitung des Betons gestellt. Es sind Betone mit geringer Temperaturentwicklung, beispielsweise durch Verwendung von C3A freien Zementen erforderlich. Bei der Fertigteilbauweise müssen neben den Anforderungen welche sich aus den zutreffenden Expositionsklassen ergeben, lediglich die Anforderungen an den Beton mit hohem Wassereindringwiderstand gemäß ÖNORM B 4710-1 erfüllt werden.

Ein weiterer Unterschied welcher sich aus der Fertigteilbauweise ergibt sind die geringeren Mindestwanddicken. Zusammengefasst kann festgestellt werden, dass die Mindestwanddicke bei der Ortbetonbauweise 25 cm und bei Fertigteilen 20 cm beträgt. Die bei Fertigteilen zulässigen geringeren Wanddicken beruhen insbesondere auf den technologischen Unterschieden bei der Herstellung.

Abschließend wird festgestellt, dass die Gebrauchstauglichkeitsanforderungen von wasserundurchlässigen Betonbauwerken in Fertigteilbauweise, bei Anwendung der WU Richtlinie des VÖB mit erheblich geringerem Materialbedarf im Vergleich zu konventioneller Ortbetonbauweise erfüllt werden.

Die Richtlinie ist kostenlos im Servicebereich der Homepage des VÖB [www.voeb.com](http://www.voeb.com) verfügbar.

# Untersuchungen zum Ermüdungs- und Schubtragverhalten der Verbundfuge zwischen 50 Jahre altem und neuem Beton

Johannes Berger, TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen- Betonbau

Das starke Anwachsen der Verkehrszahlen, vor allem aber das rasante Ansteigen der Verkehrslasten stellen an Fahrbahndecken immer höhere Anforderungen. Für Betondecken auf Brücken und andere Kunstbauten wurde eine Lösung für die Instandsetzung bzw. Ertüchtigungen im hochrangigen Straßennetz entwickelt. Erfolgen bei einer bestehenden Brücke Sanierungsarbeiten durch Aufbringen von jungem Beton auf das bestehende alte Brückenbauwerk, so spielt das unterschiedliche Alter eine zu berücksichtigende Rolle. Auf die Verbundeigenschaften hat dieses Verhalten einen besonderen Einfluss, da diese die Schnittstelle zwischen altem und neuem Beton darstellt.

Anhand von Experimenten im Großmaßstab ( $l/b/h=7,20/0,50/0,41\text{m}$ , siehe Abbildung 1) wurden die Auswirkung des unterschiedlichen Kriechens und Schwindens zwischen dem neuen und alten Beton, sowie das Ermüdungs- (2 Mio. Lastwechsel) und Schubtragverhalten (Querkraftversuch) der Verbundfuge untersucht, wobei auf 50 Jahre alten Platten einer bestehen Brücke (Baron Schwarz- Park Brücke, 1962, B150 Salzburg Nord) neuer Deckenbeton aufgebracht wurde.

Statischen Querkraftversuche wurden unmittelbar nach den Ermüdungsversuchen durchgeführt.

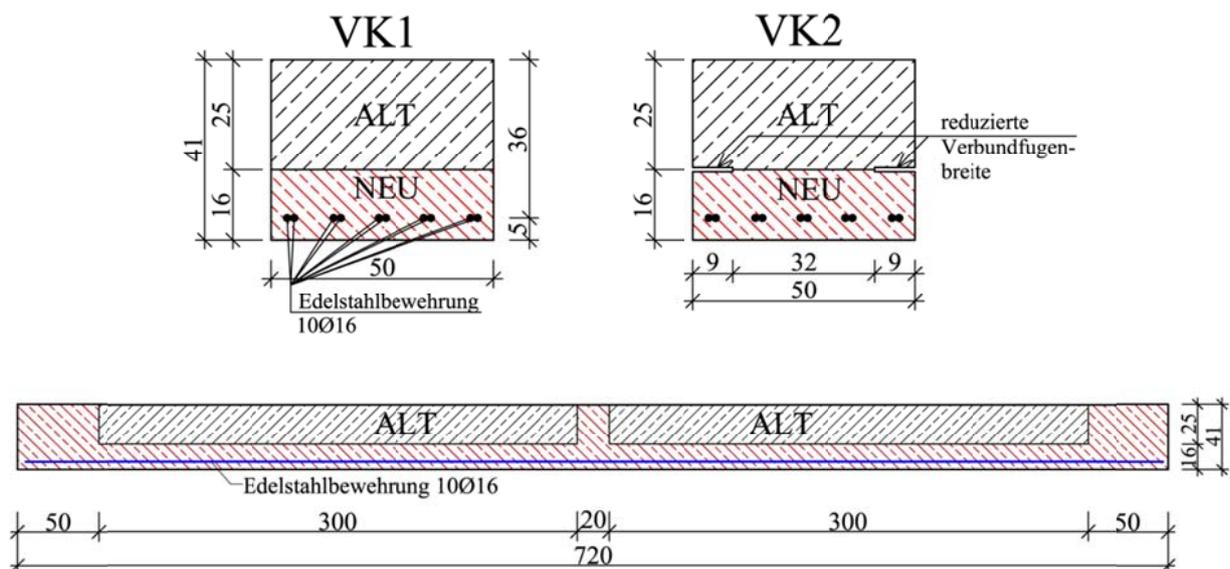


Abbildung 1: Abmessungen des Versuchskörpers

## Ergebnisse

Bei den Ermüdungsversuchen konnten keine Schäden an der Verbundfuge festgestellt werden. Die Messergebnisse der Relativverschiebung der Verbundfuge zeigen zwar eine deutliche Zunahme des gemessenen Weges, diese lagen jedoch im Mikrometerbereich. Bei den statischen Versuchen kam es bei sämtlichen Versuchskörpern zu einer Öffnung der Verbundfuge. Diese traten im Nahbereich der Lasteinleitungsstelle auf, resultierend aus der Fortpflanzung der Risse aus dem Verstärkungsbeton welche sich nicht in den Altbeton weiterentwickelten und dann horizontal in die Verbundfuge übergingen. Somit traten auch Risse in der Verbundfuge auf wo nur eine geringe Querkraftbeanspruchung vorlag. Den Versuchskörper als Ganzes betrachtet kann gesagt werden, dass die Risse in der Verbundfuge keinen Einfluss auf die Biegesteifigkeit oder Tragfähigkeit des Versuchskörpers hatten, da die Bewehrung an ihren Enden gut verankert war (Zugband).

Bei den schlaff bewehrten Versuchskörpern war die Versagensform gekennzeichnet durch einen Biegeschubbruch, bei den vorgespannten Versuchskörpern lag ein Biegeversagen vor.

# Zusammenfassung

## Sanierung Autobahndecke mit 355-Minuten--Fahrbahndeckenbeton

Im Vortrag wird der gesamte Baustellenablauf anhand einer Bilddokumentation und Erklärungen des Vortragenden verdeutlicht. Anschließend wird noch auf die Betontechnologie, sprich Rezeptur, verwendete Sieblinie, Auswahl des Fließmittels, sowie technische Erklärung der Abstandsfaktoren und L300 Werte näher eingegangen.

### Vortragsübersicht:

Schneiden der Fahrbahnfelder

Zertrümmerung des Fahrbahnfeldes und Abtransport

Glätten der Seitenränder, Anbringen der Löcher, um beschichtete Dübel(Länge 30 cm) einzubringen, um den Verbund zwischen alter Fahrbahn und neuem Fahrbahnfeld zu gewährleisten

In der Mitte des Feldes werden ebenfalls beschichtete Eisen mittels Stahlgitter eingelegt.

Kontrolle der Beton-Konsistenz (optimale Konsistenz F45) auf der Baustelle durch den Laboranten

Beigabe des Beschleunigers C Neu von MAPEI Betontechnik im Fahrmischer

Beschleunigung des Wärmeanstiegs im Beton und nach Ablauf von 6 Stunden Erreichen einer

Druckfestigkeit des Betons von 20 N/mm<sup>2</sup>.

Entladung bzw. Einbau des Betons

Abziehen des Betons und Glättung der Oberfläche

Technik zum Aufräumen der Fahrbahnoberfläche.

Abdecken des Betons zur Konservierung der Wärmet.

Nach ca. 6 Stunden: Druckfestigkeit von 20 N/mm<sup>2</sup> erreicht, Freigabe der Fahrbahn kann erfolgen

Vorstellung der verwendeten Rezeptur

Sieblinie

Auswahl des Fließmittels

Auswahl des Beschleunigers

Vergleichsgrafik Beschleuniger

Grafik Konsistenzverlauf Fließmittel

Auswahl des Luftporenbildners

Grafik L300 Werte



**Ing. Peter Nowotny**  
Pflasterermeister  
Allgemein beeideter und gerichtlich  
zertifizierter Sachverständiger  
Mittergasse 17  
A-3420 Kritzensdorf  
Tel.: +43 (0) 664/2007 559  
E-Mail: [pn@steinstark.at](mailto:pn@steinstark.at)

Beitrag zum Kolloquium 2011 des  
Forschungsinstituts der Vereinigung der österreichischen Zementindustrie

## **PFLASTERDRAINBETON EIN ERFAHRUNGSBERICHT AUS DER PRAXIS**

Die Anforderungen an Pflasterflächen haben sich in den letzten Jahrzehnten hinsichtlich der Verkehrsbelastung dramatisch verändert. Ein steigender Schwerverkehrsanteil mit immer höheren Achslasten ließen Pflasterflächen meist früher versagen.

Beobachtungen in der Praxis haben ergeben, dass einerseits die zu geringe Verformungssteifigkeit von ungebundenen oberen Tragschichten, aber auch deren zu geringe Wasserdurchlässigkeit die Ursache von Schäden war.

Es galt eine Baustoff zu finden, der in den oberen Tragschichten lastverteilend wirkt und eine gleichzeitig eine hohe Wasserdurchlässigkeit aufweist. Diese Eigenschaften wurden im sogenannten Pflasterdrainbeton gefunden.

Hierbei handelt es sich einen haufwerksporigen Beton mit etwa 11 bis 13 % Hohlraumanteil. Die eingebaute Schichtdicke beträgt je nach Belastung zwischen 10 und 25 cm.

Die RVS 08.18.01 beschrieb bereits in ihrer Ausgabe 2004 die Anforderungen, die in der Ausgabe 2009 auf Grund von Praxiserfahrungen geringfügig adaptiert wurden, wie folgt:

*Folgende Rezepturen, bezogen auf eine Sieblinie AC 16 bzw. AC 22 können erfahrungsgemäß empfohlen werden:*

<i>Fraktion 0-4 mm</i>	<i>ca. 13-16 M-%</i>
<i>Fraktion 4-8 mm</i>	<i>ca. 8-11 M-%</i>
<i>Fraktion 8-16 oder 8-22 mm</i>	<i>ca. 74-78 M-%</i>

*Der Zementgehalt soll 200 bis 250 kg/m<sup>3</sup> der Sorte CEM II betragen. Der W/B-Wert soll zwischen 0,40 und 0,45 liegen.*

*Bei Anwendung obiger Rezeptur und optimalen Einbaubedingungen (Verdichtung, Nachbehandlung) kann von einer Festigkeitsklasse C16/20 ausgegangen werden.*

Grundlage dafür war eine Versuchstrecke im Zuge der Kleinsteinsanierung auf der Wiener Höhenstraße im Jahr 2003. Hier wurde die bergwärts führende Fahrspur

teilweise mit Pflasterdrainbeton ausgeführt, die Restfläche mit einer herkömmlichen ungebundenen oberen Tragschichte. Nach kurzer Zeit zeigte sich, dass der Bereich mit Pflasterdrainbeton keine wesentlichen Verformungen in der Pflasterdecke aufwies. In den ungebundenen Bereichen waren Spurrinnen bereits innerhalb kurzer Zeit sichtbar. Bohrkernentnahmen ergaben eine Festigkeit des Pflasterdrainbetons von minimal 19,4 und maximal 31,9 N/mm<sup>2</sup>.

In der Folge wurde der gebundene Oberbautyp (Oberbau mit Pflasterdrainbeton) auch in die RVS 03.08.63 Oberbaubemessung aufgenommen. Berechnungen der TU-Wien ergaben, dass das Oberbaupaket (untere und obere Tragschichten, Deckschicht) über 25 % in seiner Gesamtdicke reduziert werden kann. Es ist daher ein geringerer Aushub erforderlich und die Konstruktion wird wirtschaftlicher.

Untersuchungen einer Teststrecke in der Schweiz zeigten, dass sich die Frosteindringtiefe reduziert. Der Pflasterdrainbeton wirkt wärmedämmend.

Beim Einbau ist großes Augenmerk auf eine rasche Verarbeitung zu legen. Die Verdichtung erfolgt mit herkömmlichen, leichten Rüttelplatten bzw. -walzen. Mit der Pflasterung kann bereits nach einem Tag Abbindezeit begonnen werden, sofern die Fläche nicht mit schwerem Gerät befahren werden muss. Darüber hinaus entsteht eine mehr oder weniger „staubfreie“ Oberfläche während der Bauphase.



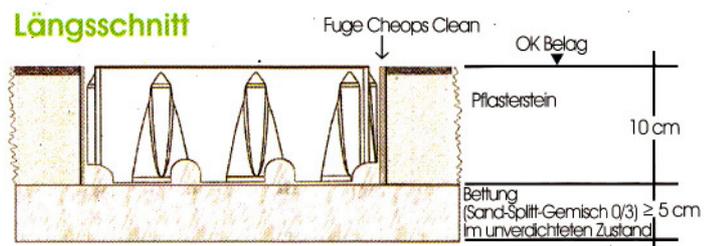
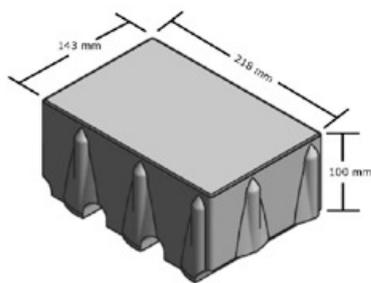
Bei der Neugestaltung der Wiener Fußgängerzone Graben - Kärntnerstraße im Jahr 2009 wurde der Pflasterdrainbetonoberbau großflächig eingesetzt. Das Gesamtausmaß betrug ca. 20.000 m<sup>2</sup>. Priorität hier war, dass die Großformatplatten sich in der Nutzung nicht oder nur geringfügig höhenmäßig verschieben dürfen. Im innerstädtischen Bereich, wo viele Leitungsrinnen, Einbauten u. dgl. die Homogenität des Oberbaues negativ beeinflussen, kann der Pflasterdrainbeton mögliche Setzungen abfangen und die Ebenflächigkeit langfristig positiv beeinflussen.

Bei der Erarbeitung der FQP-Richtlinie „Verkehrsflächen mit Großformatplatten im kommunalen und gewerblichen Bereich in der ungebundenen Bauweise“ wurde diese Bautype für Großformatplatten bereits standardisiert.

Der Pflasterdrainbeton hat sich in den letzten Jahren zum Standard im Pflasterflächenbau erhoben. Wir sind damit in der Lage, Pflasterflächen auch bei hoher Verkehrsbelastung dauerhaft und schadenfrei herzustellen.

## Betonpflasterbelag zur Behandlung und Versickerung von Niederschlagsabflüssen von Verkehrsflächen

Eine naturnahe Regenwasserbewirtschaftung hat das Ziel, den örtlichen Wasserhaushalt zu erhalten. Vorrangig gilt es Verunreinigungen des Niederschlagswassers zu vermeiden. Die Reduzierung der Schadstofffracht wird derzeit über aufwändige, dezentrale Abwasserkanäle oder flächenintensive zentrale Versickerungsmulden sichergestellt. Eine innovative und naturgerechte Lösung bietet die Versickerung der Regenabflüsse in den Untergrund mittels wasserdurchlässigen Flächensystemen mit integriertem Schadstoff-Filter. Der Cheops SV Enviro Plus von BWL Betonwerk Linden ist ein wasserdurchlässiges Flächensystem, bestehend aus einem Bettungsmaterial (Sand-Splitt-Gemisch 0/3), einem speziellen Betonpflasterstein und dem dazugehörigen Fugenmaterial.



Die Anforderungen an das System sind:

- dauerhafte Versickerung von Niederschlagsabflüssen bei Regenereignissen
- hohe Versickerungsrate
- Rückhaltung von
  - abfiltrierbaren Stoffen (AFS)
  - Öl
  - gelösten Schwermetallen
  - Kohlenwasserstoffen
- Säureneutralisationskapazität
- Salzbelastbarkeit, die besagt, dass der Eintrag von Streusalzen nicht zum Auslösen der gefilterten Schadstoffe im Flächenbelag führt

All diese Punkte sind vom Deutschen Institut für Bautechnik (DIBT) geprüft worden. Sämtliche Kriterien wurden erfüllt, so dass die bauaufsichtliche Zulassung erteilt wurde.

Eine zukunftsorientierte Regenwasserbewirtschaftung kann mit dem Einsatz des Flächensystems Cheops SV Enviro Plus von BWL Betonwerk Linden langfristig und dauerhaft gewährleistet werden.

# Betonspurwege

## Planung - Bau - Erhaltung

---

Kurzbeitrag

Dr. Wolfgang Haslehner, Franz Lecker

Das vom Forschungsinstitut der Vereinigung der Österreichischen Zementindustrie ausgerichtete Kolloquium „Forschung & Entwicklung für Zement und Beton“ bildet eine ausgezeichnete Plattform zur Präsentation eines Kurzbeitrages zum Thema „Betonspurwege“ im ländlichen Straßenwesen.

Mit dem vorliegenden Kurzbeitrag werden grundsätzliche, praktische Erfahrungen in Bezug auf die Planung, die Bauausführung und die Erhaltung von Betonspurwegen auf ländlichen Straßen und Güterwegen zusammengefasst. Die dargestellten Erkenntnisse stammen aus Erfahrungen, die Zuge der Ausführung von verschiedenen Probestrecken als Betonspurwege im Burgenland gesammelt und dokumentiert wurden. Eine bundesländerübergreifende Behandlung des Themas Betonspurwege, wie sie zur Zeit im Rahmen der Merkblätterstellung im Rahmen der Österreichischen Vereinigung für Beton und Bautechnik (ÖVBB) durchgeführt wird, ist nicht Gegenstand dieses Kurzbeitrages.

Der gegenständliche Kurzbeitrag wird gegliedert in Einführung, Anwendungsbereich, Bau bzw. Bauausführung, Erhaltung, Zusammenfassung und Ausblick.

In der Einführung zu diesem Kurzbeitrag wird das Straßennetz, in dem die Bauweise Betonspurweg Anwendung findet, definiert und entsprechend untergliedert. Die exakte Abgrenzung und Definition des Zielstraßennetzes erscheint besonders wesentlich und stellt bereits den Übergang zum Kapitel Anwendungsbereich dar. Betrachtungen und Grundsätze zu Einsatzmöglichkeiten und Randbedingungen des Regelquerschnittes „Betonspurweg“ werden ausgeführt. Begleitend dazu wird der Versuch unternommen, ökologische Aspekte und das Thema Betonspurwege zu kombinieren.

Der Abschnitt Planung behandelt die wesentlichen und speziell die von der „herkömmlichen“ Bauweise abweichenden Planungsschritte, sowie interessante Zusatzaspekte, die es im Rahmen dieser Bauweise zu berücksichtigen gilt.

Der Abschnitt Bau bzw. Bauausführung zeigt Besonderheiten im Baustellenablauf und der Organisation von Baustellen mit Betonspuren auf. Grundsätzliche Hinweise auf genau definierte Anforderungen an die zu verwendenden Baustoffe runden dieses Kapitel ab.

Im Kapitel Erhaltung werden praktische Ansätze in Bezug auf die betriebliche und bauliche Erhaltung von Betonspurwegen unter Einsatz unterschiedlicher Erhaltungsstrategien und unter Zugrundelegung unterschiedlicher Dimensionierungszeiträume einerseits monetär sowie andererseits aus der Sicht der Straßennutzer bewertet.

Insgesamt wird mit dem vorliegenden Kurzbeitrag im Rahmen des Kolloquiums „Forschung & Entwicklung für Zement und Beton“ der Versuch unternommen, eine für „gewisse“ Anwendungsfälle besonders gut geeignete Bauweise zu forcieren, die in Zukunft verstärkt an praktischer Bedeutung gewinnen wird.

## Griffigkeitsproblematik im Tunnel – Ursachen und Lösungsansätze

Ing. Herwig Steiner – ASFINAG  
Dipl.-Ing. Martin Peyerl – VÖZFI

Für die Sicherheit im Straßenverkehr ist die Griffigkeit und damit die Oberflächenstruktur der Fahrbahnoberfläche wesentlich. Durch Einsatz der in Österreich entwickelten Waschbetonoberfläche für Betonstraßen können die Anforderungen hinsichtlich der hohen Griffigkeit generell eingehalten werden.

Aus wiederholten Messungen der Griffigkeit zeigt sich, dass die günstigen Fahrbahneigenschaften der Waschbetonoberflächen auf Freistrecken über verhältnismäßig lange Zeiträume weitgehend konstant erhalten bleiben, während aus den gleichen Messungen eine Veränderung der Griffigkeit bzw. unterschiedliche Griffigkeit in Tunnelstrecken (auch unter Grünbrücken) zu beobachten ist. Dies gilt sowohl für Neubautunnelstrecken als auch für Tunnelstrecken, die bereits mehrere Jahre in Betrieb sind. Dabei ist in der Regel ein Griffigkeitsabfall im Tunnelbereich zu beobachten (vgl. Abbildung 1 links). Um Aussagen über die Ursachen dieses Phänomens treffen zu können, erfolgen topografische und chemische Analysen der Fahrbahnoberfläche im bzw. außerhalb des Tunnelbereiches (vgl. Abbildung 1 rechts).

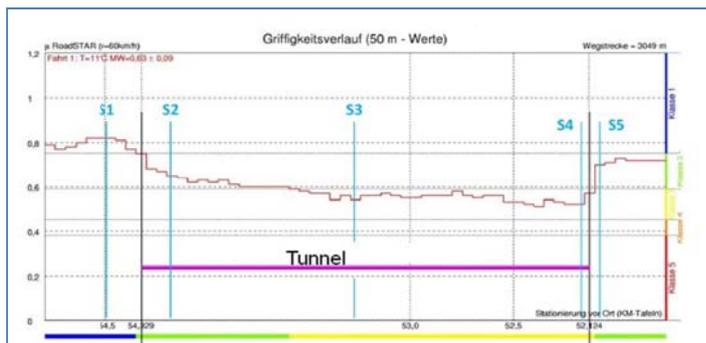


Abbildung 1: Typischer Griffigkeitsabfall im Bereich eines Verkehrstunnels sowie Probenahme zur Ursachenforschung

Nach einer grundsätzlichen Datenerhebung bzw. Methodenevaluierung erfolgte als erster Schritt die labortechnische Ursachenforschung zur Ermittlung von griffigkeitsbeeinflussenden Faktoren. Im Rahmen dieser Versuche wurde untersucht, inwieweit sich griffigkeitsbeeinflussende Faktoren wie bautechnische Parameter, Feuchte, Nachbehandlung, Umweltbedingungen oder Verschmutzung auf die Fahrbahneigenschaften auswirken. Aufgrund dieser Untersuchungen konnten grundlegende Zusammenhänge über den Einfluss von Parametern wie Nachbehandlungsmittelmenge, Frostbeanspruchung, falsch gewählter Ausbüstzeitpunkt, etc. auf die mit dem SRT Pendel gemessene Griffigkeit aufgezeigt werden.

Aufbauend auf diese Erkenntnisse erfolgte die praxisorientierte Untersuchung an je 3 Tunnelbauwerken Neubau sowie 3 Tunnelbauwerken aus dem Betrieb. Als erster Schritt wurden Griffigkeitsmessungen mit dem System RoadSTAR durchgeführt. Auf Basis der Griffigkeitsdaten konnte die genaue Oberflächenanalyse und Entnahme von Bohrkernen an besonders markanten Stellen mit hohem und niedrigem Griffigkeitsniveau im Tunnel bzw. in den angrenzenden Freistrecken durchgeführt werden. Die exakte Ermittlung der Oberflächeneigenschaften erfolgte durch Bestimmung von Profilspitzen und Rauheit sowie durch die exakte analytische Erfassung der Fahrbahnstruktur mit einem fotooptischen Verfahren. Darüber hinaus wurde die lokale Griffigkeit mit dem SRT Pendel bestimmt. Die

Entnahme von Bohrkernen zur mikroskopischen Ermittlung der Oberflächeneigenschaften und für chemische Analysen schließt das Prüfprogramm ab.

Aufgrund der direkten Verknüpfung von Griffigkeitsdaten unterschiedlicher Messsysteme bzw. Griffigkeitsdaten mit Oberflächeneigenschaften konnten Zusammenhänge zwischen Griffigkeit und Oberflächenparametern bzw. den derzeit gültigen Anforderungen hergestellt werden (vgl. Abbildung 2).

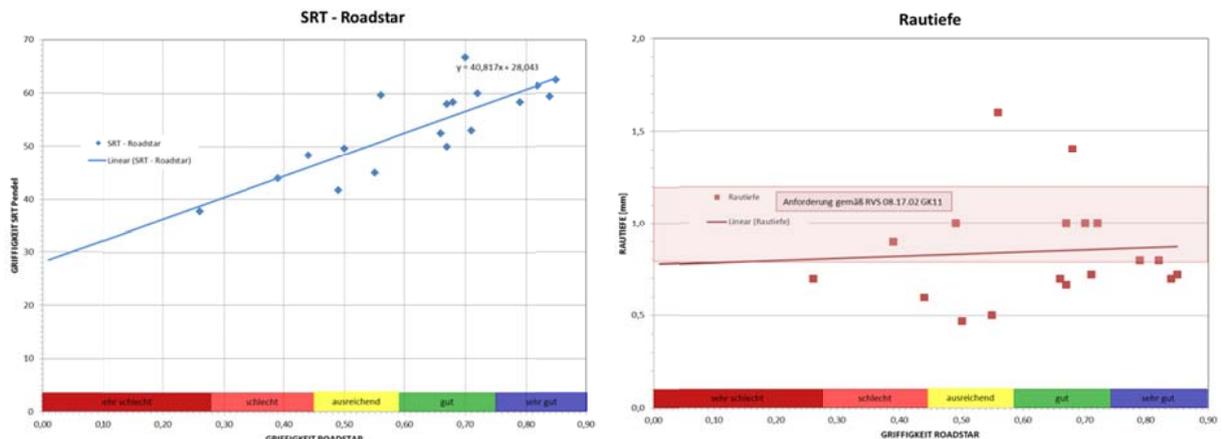


Abbildung 2: Zusammenhang ROADSTAR zwischen Griffigkeit gemessen mit System RoadSTAR und SRT Pendel (links) sowie Zusammenhang Griffigkeit und Rautiefe (rechts)

Folgende Aussagen aufgrund der aus den Teststrecken entnommenen Bohrkern konnten bereits vor Abschluss des Projektes im Dezember 2011 getätigt werden. Die mikroskopischen Strukturanalysen der Oberflächen zeigen, dass eine Relation zwischen Leervolumen auf der groben Gesteinskörnung und der Griffigkeit besteht. Die chemischen Untersuchungen im Nanobereich bestätigen, dass eine erhöhte Konzentration von Kohlenstoffverbindungen bei aus den Tunnelbereichen entnommen Proben nachgewiesen werden konnte sowie dass ein Zusammenhang zwischen dem Anteil der Kohlenstoffverbindungen bezogen auf den Anteil Gestein und der Fahrbahngriffigkeit besteht.

Aufgrund dieser Aussagen bzw. sich noch Laufend befindlicher Untersuchungen zur Griffigkeitsverbesserung soll durch dieses Forschungsprojekt das Ziel erreicht werden, das Griffigkeitsniveau von Neubau-Tunnelstrecken zu steigern sowie das Griffigkeitsniveau von Tunnelstrecken im Betrieb länger aufrecht zu erhalten.

# Entwicklung einer extrem schlanken Stahl-Beton-Verbundplatte mit Anwendung von SCC-Beton (Sandwichplatte)

Josef Fink, Lukas Juen, Paul Herrmann

## 1. Einführung

Eine zunehmende Anzahl von Eisenbahnbrücken älterer Bauart nähert sich dem Ende der planmäßigen Lebensdauer. Bei einer Modernisierung ist anstelle der früher üblichen offenen Fahrbahn aus Gründen des Lärmschutzes in der Regel ein Schotterbett oder eine feste Fahrbahn auszubilden. Daraus resultiert ein Anstieg der erforderlichen Bauhöhe. Bei Brückenerneuerungen ist das Gleichbleiben der Höhendifferenz zwischen Konstruktionsunterkante und Schienenoberkante (Bauhöhe) allerdings oft eine wesentliche Randbedingung. Aus diesem Grund wurde eine neuartige, extrem schlanke Verbundfahrbahnplatte als Alternative zu einer ebenfalls einsetzbaren, jedoch am Markt schwer verfügbaren 120mm dicken Grobblechplatte (siehe Bild 1 oben) entwickelt.

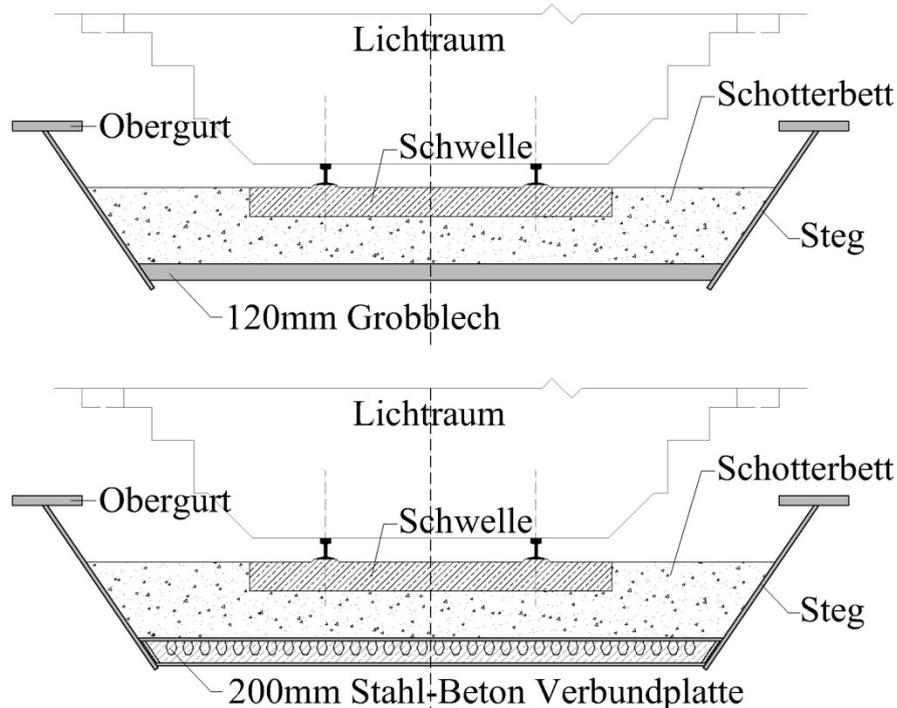


Bild 1. Konstruktionsvarianten für Trogbauweise mit extrem schlanker Fahrbahnplatte

## 2. Beschreibung der Konstruktion

Die neuartige Verbundplatte besteht aus zwei Stahlblechen und einem dazwischenliegenden, unbewehrten Betonkern. Die Höhe der Sandwichplatte wurde für den Einsatz als Fahrbahndeck einer eingleisigen Eisenbahnbrücke mit einem Hauptträgerabstand von 4,2m ausgelegt und beträgt in einem ersten Entwurf 200mm (siehe Bild 1 unten). Die Hauptfunktion des Konstruktionselementes ist es, Vertikallasten in Querrichtung zu den Hauptträgern hin abzuleiten. Die beiden außen liegenden Stahlbleche sorgen dabei für den überwiegenden Teil der Biegesteifigkeit. Des Weiteren übernehmen diese Bleche als Gurte der Hauptträger einen zusätzlichen Anteil an der Haupttragwirkung in Brückenlängsrichtung. Aufgrund der Unzugänglichkeit beim Schweißen können die Bleche nicht direkt über Stahlstege innerhalb der Platte kraftschlüssig (schubfest) verbunden werden. Daher wird der Schubverbund durch Dübelleisten hergestellt, die wechselweise am oberen beziehungsweise unteren Blech angeschlossen sind. Ihre Höhe entspricht dem Abstand der Stahlbleche, sodass keine zusätzlichen Abstandhalter erforderlich sind.

### 3. Tragmechanismus

Die Grundidee der Schubübertragung im Verbundquerschnitt ist die Ausbildung von Druckdiagonalen zwischen benachbarten Dübelleisten (siehe Bild 2). Die Druckdiagonalen, stützen sich dabei sowohl gegenseitig, als auch an den Dübelleisten ab. Dieser Tragmechanismus sorgt dafür, dass der Betonkern zur Sicherstellung des Schubverbunds, in erster Linie durch Druckkräfte beansprucht wird. Dies ermöglicht einen materialgerechten Einsatz von unbewehrtem Beton als Füllmaterial. Im Vergleich zu konventionell im Brückenbau eingesetzten bewehrten Verbundkonstruktionen können somit sowohl zeit- und kostenintensive Bewehrungsarbeiten eingespart, als auch ein hoher Grad an Vorfertigung erreicht werden.

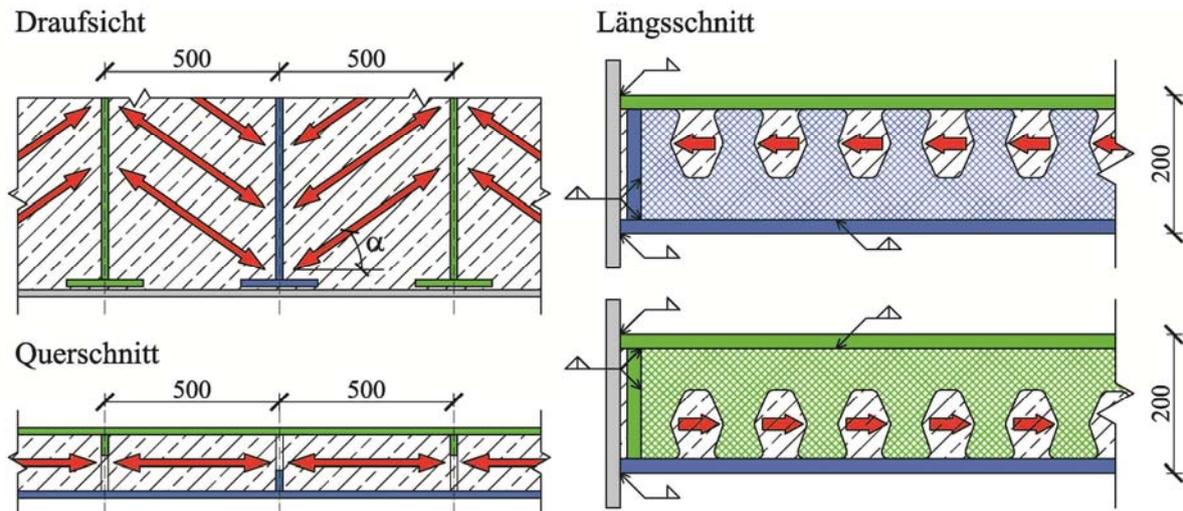


Bild 2. Verbundplatte mit Druckdiagonalen innerhalb des Betonkerns (Maße in mm)

### 4. Herstellung

Zur Verdeutlichung des Konstruktionsprinzips wird der Herstellungsprozess im Folgenden kurz beschrieben (siehe auch Bild 3).

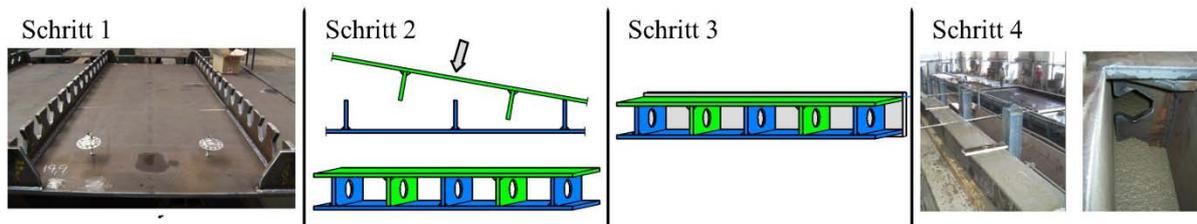


Bild 3. Herstellungsablauf

In einem ersten Arbeitsgang werden Dübelleisten im Achsabstand von 1000mm auf die äußeren Stahlbleche aufgeschweißt. Um die Schubübertragung im Auflagerbereich sicherzustellen, werden an beiden Enden der Dübelleisten Quersteifen angeschlossen. Im zweiten Schritt werden die vorgefertigten Querschnittsteile zusammengeklappt und so positioniert, dass die Dübelleisten jeweils um 500mm versetzt angeordnet sind.

Nach einer gegenseitigen Fixierung der Einzelteile, wird das Bauteil auflagerseitig an Abschlussbleche angeschlossen. Diese Bleche entsprechen bei einer Nutzung als Brückenfahrbahn beispielsweise den Stegen der Hauptträger. Zum Schluss erfolgt das Einbringen von selbstverdichtendem Beton, wofür vorab Betonieröffnungen vorgesehen werden.

## **5. Forschung und Entwicklung**

Im Zuge der bisherigen Forschungsarbeit wurden vier Versuchskörper im statischen Versuch getestet und numerische sowie analytische Modelle zur Beschreibung des Tragverhaltens abgeleitet. Die analytischen Berechnungsmodelle basieren auf der Theorie des elastischen Verbundes und erlauben eine realitätsnahe Ermittlung der Spannungen und Verformungen im Feldbereich der Verbundplatte.

In den auflagnahen Randbereichen kommt es durch die Abstützung der Druckdiagonalen zur Ausbildung lokaler Störzonen, die nur mit Hilfe von FE-Modellen oder mit aufwendigen Stabwerkmodellen beschrieben werden können. Dieses Themengebiet ist Gegenstand der derzeitigen Forschungsarbeit. Um einen Einsatz der vorgestellten Fahrbahnplatte für Eisenbahnbrücken, also unter vorwiegend nicht ruhender Belastung zu ermöglichen, soll in Zukunft weiters das Ermüdungsverhalten der Platte untersucht werden.

### **Institut**

Technische Universität Wien, Institut für Tragkonstruktionen / Stahlbau

### **Autoren**

Univ.Prof. DI Dr. techn. Josef Fink

Univ.Ass. DI Lukas Juen

Univ.Ass. DI Paul Herrmann

## **Selbstverdichtender Beton mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit**

**Dr. Stefan Krispel, VÖZFI**  
**DI Michael Steiner, ASFINAG**

Bei Erhaltungsmaßnahmen von Tunnelbauwerken ist wesentlich, dass die Sicherheit der Verkehrsteilnehmer gegeben ist und die Erhaltungs- und Instandsetzungskosten für den Tunnelbetreiber optimiert werden. Oftmalige und längere Tunnelsperrungen bzw. Teilsperren erhöhen nicht nur das Unfallrisiko für die Verkehrsteilnehmer sondern auch die Kosten (z.B. Tunnelbeleuchtung, Staukosten, Mautentfall). Erfahrungen mit den derzeit verwendeten Tunnelanstrichsystemen zeigen, dass Schäden häufig auftreten und aufwendige Instandsetzungsmaßnahmen entsprechend oft gesetzt werden müssen.

Das vorliegende Forschungsvorhaben entstand aus der Überlegung, die hohen Ansprüche an die Oberfläche einer Tunnelinnenschale dauerhaft mit selbstverdichtendem Beton (SCC) mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit ohne Verwendung von Tunnelanstrichsystemen zu erfüllen. Dadurch diese Bauweise können Baukosten einerseits verringert und andererseits oftmals erforderliche Instandsetzungsmaßnahmen deutlich reduziert werden.

Im Zuge des Forschungsvorhabens wurden Untersuchungen bzw. Beurteilungen nachstehender Punkte auf Basis der o. a. Überlegung durchgeführt:

- Beurteilung des Betons hinsichtlich einer möglichen brandschutztechnischen Ertüchtigung bestehender Tunnelbauten
- Beurteilung des Betons hinsichtlich eines Einsatzes von hellem SCC für den Neubau von Tunnelinnenschalen
- Erzielung der vom Infrastrukturbetreiber geforderten Oberflächeneigenschaften
- Nachweis der betontechnologischen Eignung eines selbstverdichtenden Betons (SCC) mit erhöhter Brandbeständigkeit und Helligkeit
- Abschätzung des Baustelleneinflusses mittels einer Probeströmung



Betonierobjekt Feldversuch

# Monitoring der UHPC-Bogenbrücke Wild in Völkermarkt

Marian Ralbovsky, Austrian Institute of Technology

## 1 EINLEITUNG

Die Konstruktion der Brücke Wild in Völkermarkt ist einzigartig, in dem für die Bögen der Werkstoff UHPC verwendet wurde. Dadurch konnte ein schlanker Querschnitt (Wanddicke 6 cm) und geringes Gewicht des Bogens erreicht werden [1]. Weiterhin wird bei UHPC eine hohe Langlebigkeit erwartet, durch die sehr kompakte Struktur des Werkstoffes, bei der das Eindringen von schädlichen Flüssigkeiten und Gasen sehr langsam ist. Die Bögen der Brücke Wild bestehen aus 5 präfabrizierten geraden UHPC-Segmenten, die im Bogenklappverfahren montiert und extern vorgespannt wurden. Die Brücke wurde am 1. Oktober 2010 für den Verkehr eröffnet.

Da es sich um eine neuartige Konstruktion handelt, wurde die Installation eines Monitoring-systems vorgeschlagen, mit dem Ziel das Verhalten der Brücke langfristig zu überwachen. In Kooperation zwischen TU Graz, CSIC-UPM Madrid und AIT Wien wurde bereits in der Bau-phase im Juni 2010 das Monitoringsystem installiert. Die Aufzeichnung wurde ca. 2 Wochen vor Betonierung der Fahrbahnplatte gestartet und läuft mit ein paar Unterbrechungen bis heute.

## 2 MONITORINGSYSTEM

Im Hohlkasten einer Bogenhälfte wurden insgesamt 16 optische Dehnungssensoren, 2 triaxiale Beschleunigungssensoren, 1 biaxialer Neigungssensor und 2 Dehnmessstreifen installiert (Abb.1).

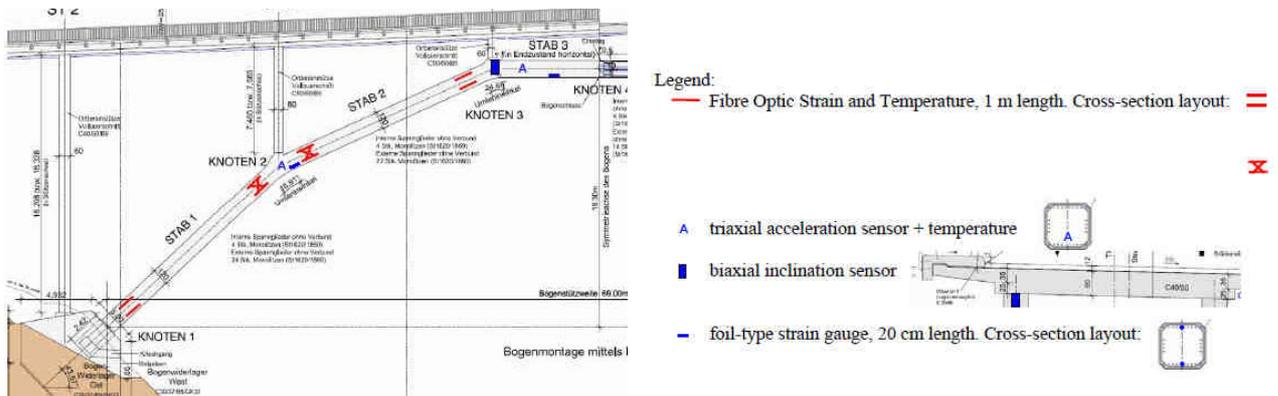


Abb.1: Auslegung des Monitoringsystems

Ein Linux-basierter Server ist im Widerlager montiert und sammelt die Daten von den Sensoren. Diese werden dann per Mobilfunk zur Zentrale bei AIT übertragen.

Die 16 optischen Sensoren sind in 4 Querschnitten platziert. In diesen Querschnitten werden die Druck- und Biegedehnungen durch jeweils zwei Sensoren aufgenommen. In zwei Querschnitten sind zusätzlich jeweils vier Sensoren zur Aufnahme von Schubdehnungen. Bei jedem Sensor wird zusätzlich die Temperatur aufgenommen. Die optischen Sensoren werden 1-mal pro Sekunde abgetastet, während die Abtastrate der Beschleunigungen 100 Hz beträgt.

### 3 DATENAUSWERTUNG

Der Verlauf der Beschleunigungen wird zur Identifikation von Eigenfrequenzen und Dämpfungen benutzt. Die Eigenfrequenzen spiegeln die globale Steifigkeit der Brücke wider. Das Verhalten der Eigenfrequenzen wird insbesondere auf Abnahme der globalen Steifigkeit kontrolliert. Eine unerwartete Abnahme der Steifigkeit könnte auf einen strukturellen Fehler deuten, wie z.B. das Öffnen von Fugen, Rissbildung, etc. Im Normalfall werden die Eigenfrequenzen auch von der Temperatur beeinflusst (Abb. 2).

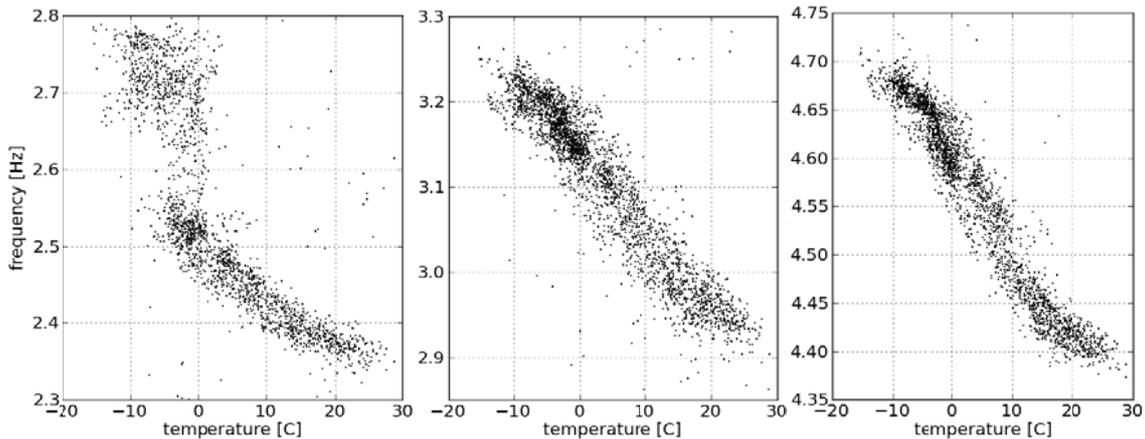


Abb. 2: Einfluss der Temperatur auf drei Eigenfrequenzen

Dies trifft insbesondere bei Straßenbrücken zu, weil die Fahrbahn hier eine entscheidende Rolle spielt. Durch FE-Simulation wurde bestätigt, dass die Schwankungen der Eigenfrequenzen großteils durch die variierende Steifigkeit der Asphaltbetonschicht (zwischen 500 und 15000 MPa) zu erklären sind. Die berechneten Änderungen der Eigenfrequenzen beim simulierten Abfall der Asphaltbetonsteifigkeit sind großteils nahe den gemessenen Änderungen (Tab. 1).

Tab. 1: Änderungen der Eigenfrequenzen zwischen 0°C und 25°C

Freq. Nr.	1	2	3	4
Messung	-6.4%	-7.0%	-4.3%	-4.9%
FE-Modell	-4.9%	-2.2%	-3.3%	-4.3%

Bei der ersten gemessenen Eigenfrequenz (2,3-2,8 Hz) konnte eine stufenartige Änderung im Temperaturbereich um 0°C beobachtet werden. Das lässt auf einen Einfluss des Frosts schließen. Die zugehörige Eigenform (Abb. 3) zeigt gewissen Rotationsbedarf im Bereich der Dilataionsfugen. Es wird vermutet, dass der Frost eine Erhöhung der Rotationssteifigkeit in diesem Bereich verursacht.

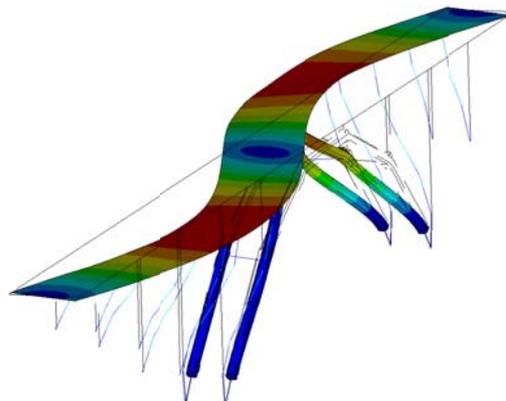


Abb. 3: Eigenform bei  $f = 2,38$  Hz

Die aufgezeichneten Dehnungen zeigen die Reaktionen der Brücke auf Temperatur und Belastung durch den Verkehr (Abb.4). Durch die langfristige Überwachung dieser Werte können zuerst die Normalzustände der Brücke beobachtet werden, um später eventuelle Abweichungen von dem Normalverhalten erkennen zu können. Dauerhafte Änderungen im Dehnungszustand könnten verschiedenen Ursachen zugeordnet werden, z.B. ungleichmäßigen Setzungen, u.a.

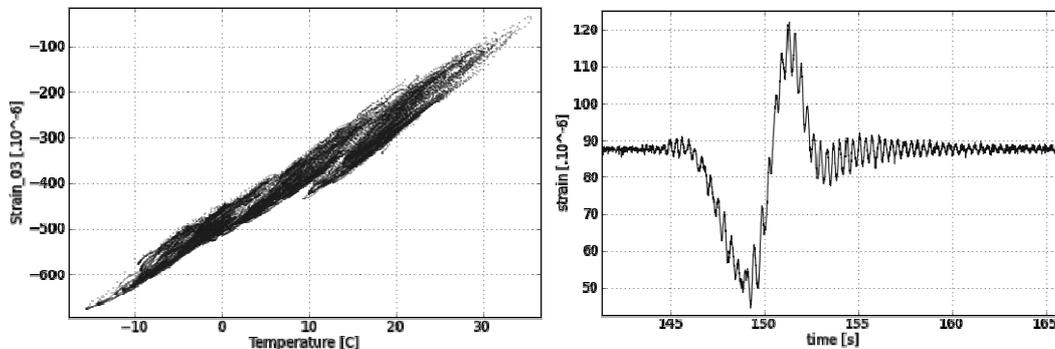


Abb. 4: Beispiel der Dehnungen infolge Temperatur (links) und Verkehrslast (rechts)

Aus den Messungen der Dehnmessstreifen konnten die dynamischen Lastfaktoren (DAF) ermittelt werden. Die Werte liegen generell zwischen 1,0-1,5. Trotz der starken Streuung ist eine negative Korrelation zwischen Last und DAF erkennbar (Abb. 5), d.h. der dynamische Lastfaktor verringert sich mit steigender Verkehrslast. Ähnliche Ergebnisse wurden auch in anderen Studien festgestellt [2].

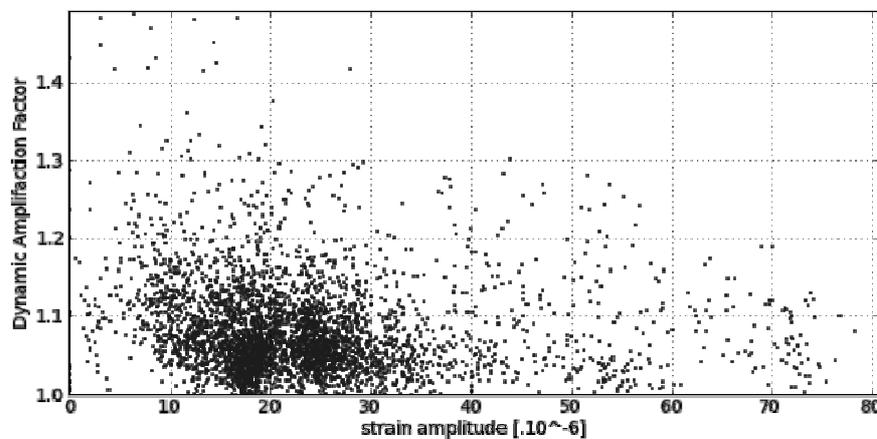


Abb. 5: Gemessene dynamische Lastfaktoren vs. Dehnungsamplitude

In der Zukunft ist es geplant die aufgezeichneten Daten (insbesondere der Dehnungen) mit den Planungswerten zu vergleichen.

## LITERATUR

- [1] Reichel M., Freytag B., Sparowitz L. 2009. Road Bridge WILD - UHPFRC for a segmental arch structure. BFUP 2009 / UHPFRC 2009 Proceedings, pp. 88 – 89.
- [2] Znidaric A., Lagvric I., Kalin J. 2008. Measurements of bridge dynamics with a bridge weigh-in-motion system. International Conference on Heavy Vehicles, Paris, 2008.

## **Ultra-Hochleistungsbetone von der Mischungsentwicklung bis zum Bauteil - Chancen für neue Anwendungen in der Fertigteilindustrie**

Im Rahmen des von der FFG geförderten Forschungsprojekts HiPerComp – High Performance Composites – werden im neu errichteten Baulabor der FH Kärnten Rezepturen für faserbewehrte Ultra-Hochleistungsbetone (UHPFRC, ultra high performance fibre reinforced concrete) entwickelt und herstellungstechnische sowie materialtechnologische Einflussparameter bzw. Kennwerte experimentell untersucht.

UHPFRC zeichnet sich durch seine hohe Dauerhaftigkeit und Druckfestigkeit ( $> 150 \text{ N/mm}^2$ ) sowie seine gute Verbundfähigkeit mit weiteren Konstruktionswerkstoffen aus, vgl. [1], [2]. Diese Eigenschaften beruhen im Wesentlichen auf drei Faktoren: Wasser/Bindemittelwerte  $< 0,25$ ; eine dichte, weitgehend hohlraumarme Kornpackung und Einsatz hochwirksamer Fließmittel. Die Herausforderung in der UHPFRC-Entwicklung besteht nun darin, ein stabiles, weitgehend selbstverdichtendes Frischbetongefüge und sehr hohe Festigkeiten zu erzielen, wenn vorwiegend in der Region vorhandene Ausgangsstoffe möglichst wirtschaftlich eingesetzt werden. Für die Anwendung des UHPFRC in Bauteilen soll das Material hinsichtlich seiner bemessungsrelevanten Eigenschaften vollständig charakterisiert sein, damit letztlich ein konsistentes Materialgesetz für den Planer vorliegt, das in Anlehnung an die Empfehlungen nach [3] sowohl das Druck- als auch das Zugtragverhalten des faserbewehrten UHPC geschlossen abbildet.

Im Folgenden wird die im Projekt gewählte Vorgangsweise bei der Entwicklung eines UHPFRC für innovative Bauteile, die den oben genannten Forderungen entspricht, beispielhaft gezeigt.

Zunächst werden alle Ausgangsstoffe hinsichtlich ihrer Korngrößenverteilung sowie weiterer Parameter wie der Kornform und der Agglomerationsneigung charakterisiert. Anschließend wird ein hohlraumarmes Feinstkornmisch mit einer möglichst dichten Kornpackung und einem minimalen Wasseranspruch gefunden, indem die Partikelgrößenverteilung im Mehlkornbereich ( $\varnothing < 125 \mu\text{m}$ ) optimiert wird. Neben einer theoretischen Optimierung der Feinstkornverteilung wird dafür der minimale Wasseranspruch mit dem Verfahren nach Punkte [4] experimentell bestimmt. Im dritten Schritt wird die Mörtelzusammensetzung (Korndurchmesser  $< 500 \mu\text{m}$ ) optimiert. Die Optimierung umfasst Untersuchungen des Frischmörtels, wie zum Beispiel der Prüfung des Ausbreitfließmaßes und der zugehörigen Fließzeit  $t_{200}$  und die Bewertung des Mörtels im festen Zustand anhand mechanischer Kennwerte (Druckfestigkeit), vgl. [5]. Die vielen Einflussfaktoren – wie die Wahl und Dosierung des geeigneten hochwirksamen Fließmittels und der Mischvorgang – müssen dabei in Einzelschritten berücksichtigt und geprüft werden. Im letzten Entwicklungsschritt folgt schließlich die Zugabe einer optimalen Fasermenge und -type und die Einstellung einer stabilen Mischung so, dass sich Fasern gut und homogen einmischen, nicht sedimentieren und sich letztlich eine hohe und ausgeprägte Nachriss-Zugtragfähigkeit einstellt. Tabelle 1 zeigt beispielhaft die Betoneigenschaften einer der so entwickelten UHPFRC-Mischungen.

Tabelle 1: Betoneigenschaften einer UHPFRC Mischung aus regional verfügbaren Stoffen

Type,	Ausbreitfließmaß Mörtelkonus (ohne Fasern)	zugehörige Fließzeit $t_{200}$	Druckfestigke it, Würfel 100mm nach 8d, WB*, ohne Fasern	Druckfestigkeit, Würfel 100mm nach 8d, WB*, 2 V% Stahlfasern	Mittlere Nachrissbiege- zugfestigkeit $f_{ctm,L1}^f$ gemäß [7] Balken 150/150/700mm nach 28d, WB*, 2 V% Stahlfasern
	[mm]	[sec.]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]	[N/mm <sup>2</sup> ]
„UMQ4F“, W/B=0,22	<b>318</b>	<b>5</b>	<b>165</b>	<b>193</b>	<b>12</b> (MW von n=6 Prüfk.)
*WB:	Wärmebehandlung über 2 Tage bei 90°C im Trockenofen		Mittelwert von n=4 Prüfkörpern		



Abbildung 1: UHPFRC beim Einfüllen in eine Würfelform

Festigkeitssteigerung nach Matrixbruch - Strain-Hardening) durch entsprechende Beigabe geeigneter Fasercocktails eröffnen vielzählige und nachhaltige Lösungen für „High-Tech“ Bauteile, wie sie ansatzweise in ersten Bauwerken (Beispiel Wild-Brücke in Völkermarkt) bereits verwirklicht oder in wissenschaftlichen Studien [6] untersucht wurden.

Die gegenständlichen Untersuchungen zeigen, dass die Herstellung von (ultra) hochfestem Beton zwar ein hochsensitiver, aber insbesondere unter Labor- und Werksbedingungen beherrschbarer Prozess ist und unter Einbeziehung einer sorgfältigen Materialcharakterisierung am ausgehärteten Werkstoff gesicherte Kenndaten für Bauteilentwicklungen und Strukturanalysen gewonnen werden können. Besonders die hohe Druckfestigkeit, aber auch die Erzielung duktilen Verhaltens (bis hin zur

## Literatur

- [1] Schmidt, M., Bunje, K., Dehn, F. et al. 2008. *Sachstandsbericht Ultrahochfester Beton*. 1. Aufl. Berlin: Beuth. (Deutscher Ausschuss für Stahlbeton, 561).
- [2] J Freytag, B., Juhart, J., Sparowitz, L., Baumgartner, E. 2004. *The Use of UHPC in Composites – Ideas and Realisations*, in: *Proceedings of the International Symposium on Ultra High Performance Concrete, Kassel, 2004*. (Schriftenreihe Baustoffe und Massivbau, 3)
- [3] AFGC/SETRA- Association Francaise de Génie Civil / Service d'études techniques des routes et autoroutes 2002. *Ultra high performance fibre reinforced concrete. Interim Recommendations*. Bagnaux Cedex.
- [4] Puntke, W. 2002. *Wasseranspruch von feinen Kornhaufwerken*. In: beton 5, S. 242-248
- [5] Juhart, J., Baumgartner, E. 2008. *Begleitende Frisch- und Festbetonprüfung zur Qualitätssicherung im Herstellungsprozess von Bauteilen aus UHPFRC*. Tagungsband Straßen- und Brückentag FH Kärnten 2008, Informationsdienst Amt der Kärntner Landesreg. 43/2008
- [6] Randl N., Pichler A., Schneider W., Juhart J. 2011. *Investigations on the application of UHPC tunnel segments at the double shell lining construction*. Proceedings of the 9<sup>th</sup> Int. Symposium on High Performance Concrete - Design, Verification & Utilization, Neuseeland 08-2011, 8 S.
- [7] DAfStb-Richtlinie, Stahlfaserbeton, Ausgabe März 2010

# Eigenschaften von mit Carbonfasern verstärktem UHPC

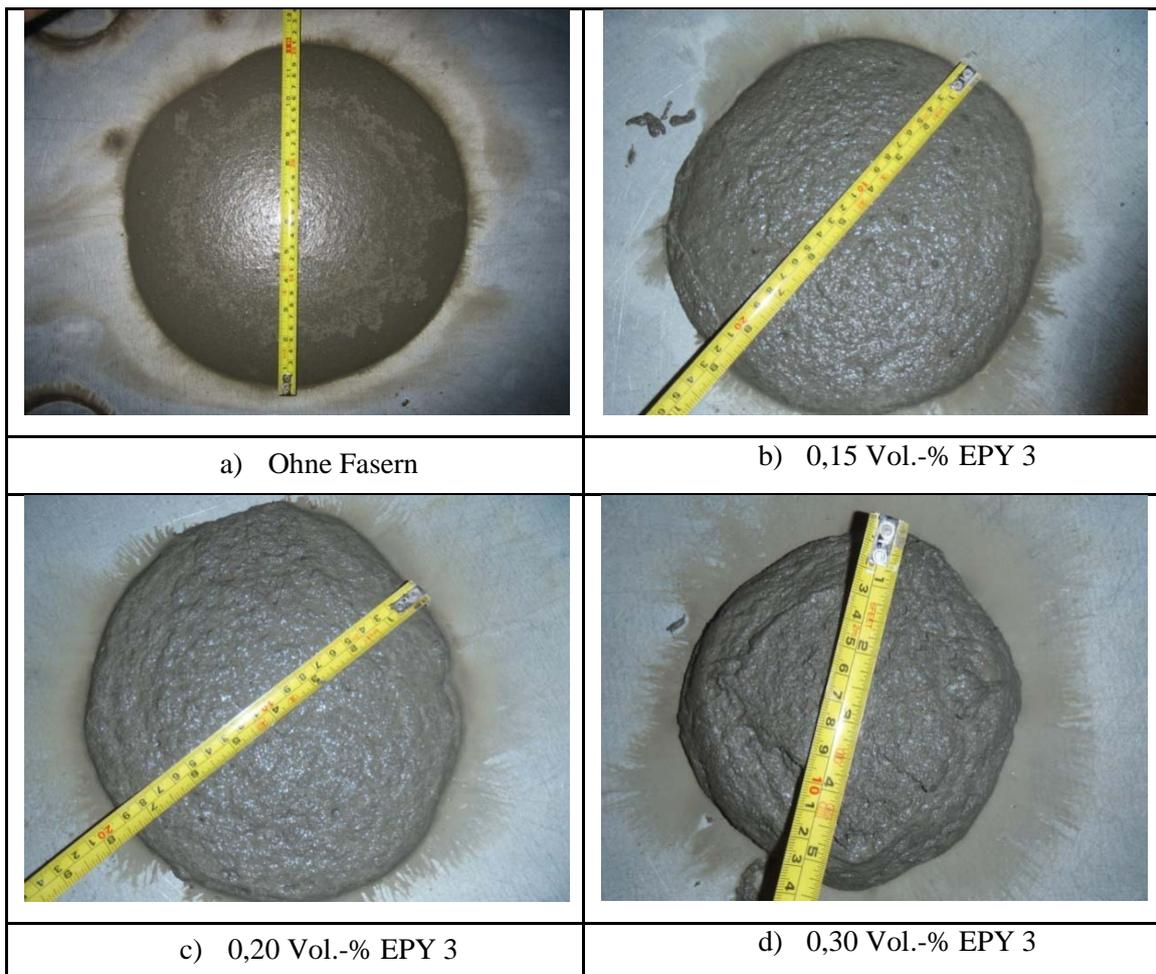
Nguyen Viet Tue

## 1 Vorbemerkung

Bisher wurden in ultrahochfestem Beton (UHPC) vorwiegend Mikrostauffasern zur Verbesserung von dessen Duktilität und Zugtragverhalten verwendet. Nachteil der Stauffasern sind die Korrosion und Verletzungsgefahr infolge der sich an der Oberfläche des UHPC befindlichen Fasern. Theoretische Überlegungen führen zur Erkenntnis, dass Kunststofffasern mit hohem E-Modul und ausreichendem Verbund mit der Zementmatrix Abhilfe schaffen könnten. In Zusammenarbeit mit der SGL Group sollte im ersten Schritt die Eignung von kurzgeschnittenen Carbonfasern untersucht werden. Die wesentlichen Ergebnisse mit Faserlängen von 3 und 6 mm bei einem Durchmesser von lediglich 7 µm werden im Folgenden dargestellt.

## 2 Frischbetoneigenschaften

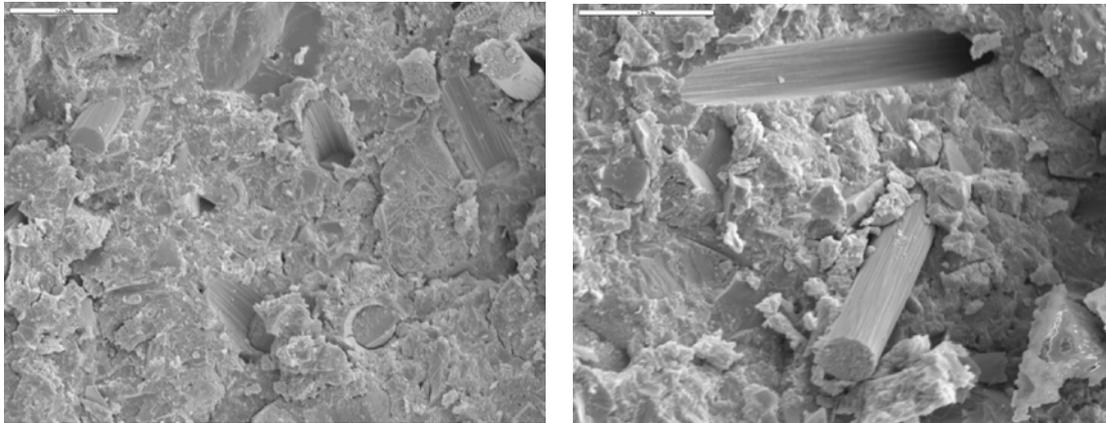
Als Beton wurde ein Feinkorn UHPC mit Größtkorndurchmesser von 1 mm verwendet. Dem Bild 1 kann der Einfluss der Faserzugabe auf die Fließfähigkeit des Betons entnommen werden. Bereits mit einem Fasergehalt von 0,3 Vol-% verliert der Beton praktisch seine Verarbeitbarkeit. Mit zunehmender Faserlänge wird diese Tendenz noch verstärkt. Ursache hierfür ist die sehr große Oberfläche der verwendeten Fasern.



**Bild 1:** Ausbreitmessung Frischbeton, unterschiedliche Fasergehalte

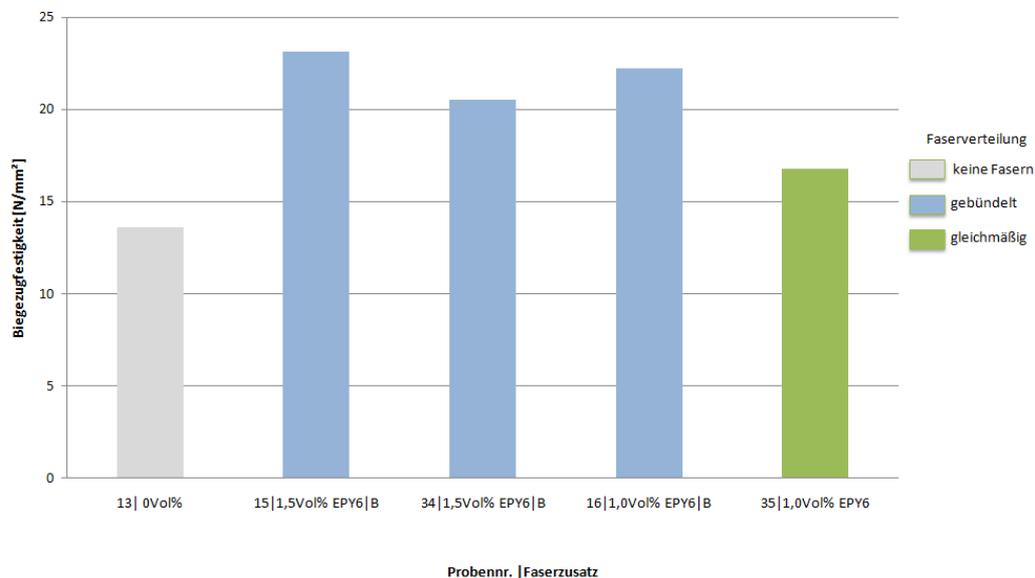
### 3 Festbetoneigenschaften

Wie erwartet wird die Druckfestigkeit durch die Faserzugabe kaum beeinflusst. Die an Prismen ermittelten Biegezugfestigkeiten zeigen, dass die Zugabe von bis zu 0,5 Vol.-% ebenfalls nicht zur wesentlichen Änderung des Zugtragverhaltens des Betons führt. Als großes Problem erweist sich die geringe Querdruckfestigkeit der Faser. Hierdurch werden die Fasern sowohl beim Mischen als auch bei der Rissbildung beschädigt, da die Fasern in der Regel schräg zu den Rissflächen stehen (Bild 2).



**Bild 2: Gebrochene Fasern unter dem Rasterelektronenmikroskop**

Wird die Schädigung der Fasern beim Mischen durch entsprechende Maßnahmen vermieden und die Faser als Bündel verwendet, so kann das Potential der Carbonfasern zur Verbesserung des Zugtragverhaltens verdeutlicht werden (Bild 3).



**Bild 3: Biegezugfestigkeit in Abhängigkeit des Faserzusatzes, hoher Fasergehalt**

Insgesamt hat die Untersuchung gezeigt, dass die Carbonfaser mit geringem Durchmesser für die Verbesserung der UHPC-Eigenschaften nicht geeignet ist. Um das Potential von Carbonfasern im Beton wirtschaftlich nutzen zu können, muss die Geometrie der Fasern optimiert werden. Unser Institut arbeitet mit SGL Group weiter zusammen auf diesem Gebiet.

# **UHPC als Spritzbeton zur Herstellung von luftig-leichten Skulpturen**

Dipl.-Ing. Johannes Kirnbauer  
Dipl.-Ing. Dr.techn. Karl Deix

TU Wien, Institut für Hochbau und Technologie – Forschungsbereich für Baustofflehre,  
Werkstofftechnologie und Brandsicherheit

## **Einleitung**

Im Rahmen der Modul-Lehrveranstaltung „Experimenteller Hochbau“ wurde den teilnehmenden Architekturstudenten vorgegeben, leichte Formen und Skulpturen frei nach dem Motto „Aufblasen – Aufhängen – Aufspannen – Auffalten“ zu entwickeln. Darunter waren im Wesentlichen pneumatische aufgeblasene Formen und vorgespannte segelartige Formen aus Folien und Geweben zu verstehen. Die derart hergestellten Formen wurden dann im Betonlabor des Forschungsbereiches für Baustofflehre mit einem speziell für diese Anwendung entwickelten UHPC bespritzt.

## **UHPC – Ultra High Performance Concrete als Spritzbeton**

Dieser Beton besticht durch sehr hohe Festigkeitseigenschaften sowie hervorragenden Dauerhaftigkeit gegen chemischen und physikalischen Angriff. Übliche Druckfestigkeitswerte liegen zwischen 150-200 N/mm<sup>2</sup>, mit speziellen Wärmenachbehandlungsverfahren können noch höhere Druckfestigkeiten erreicht werden. Die Festigkeitseigenschaften standen hier aber nicht im Vordergrund; vielmehr musste der im Allgemeinen hochviskose UHPC in eine pump- und spritzfähige Konsistenz gebracht werden. Eine weitere Herausforderung bestand darin, eine gute Haftung auf den glatten Folien zu erzielen und ein Abrinnen des Betons zu verhindern. Eine vorhandene Rezeptur wurde experimentell adaptiert und durch Erhöhung des w/z-Wertes auf 0,3 sowie durch erhöhte Zugabe eines Hochleistungsfließmittels in eine fließfähige Konsistenz gebracht. Erste Spritzversuche mit einer modifizierten Sandstrahlpistole (ohne Pumpe und ohne Erstarrungsbeschleuniger!) zeigten bereits die Machbarkeit des Vorhabens. Allerdings neigte diese Rezeptur zum Abrinnen auf vertikalen Flächen. Durch die Zugabe von kurzen PP-Fasern konnte der Zusammenhalt des Frischbetons soweit erhöht werden, dass die Spritzfähigkeit erhalten blieb und der Beton auch auf vertikalen Flächen bis zu einer Schichtdicke von etwa 3mm nicht abgeronnen ist.

In weiterer Folge kam eine herkömmliche Mörtelpumpe (Schneckenpumpe) mit Druckluft-Spritzgerät zum Einsatz. Damit konnte über die Druckluft auch ein Erstarrungsbeschleuniger zugeführt werden. Die Pumpe ermöglichte es, den Fließmittelgehalt wieder zu reduzieren und zusätzlich zu den PP-Fasern auch noch 12mm lange AR-Glasfasern zuzugeben. Diese Faserkombination erhöhte den Zusammenhalt des Frischbetons weiter und verhinderte ebenfalls die Fröhschwindrissbildung. Es waren dem Fasergehalt jedoch Grenzen gesetzt: Ein zu hoher Faseranteil beeinträchtigte die Pumpfähigkeit zwar kaum, führte aber zu Verstopfungen an der 8mm-Düse des Spritzgerätes. Mit der Zugabe des Erstarrungsbeschleunigers konnte dann auch „über Kopf“ eine Schichtdicke von etwa 1cm erreicht werden ohne abzutropfen oder abzufallen. Dieser Beton wies nach 28 Tagen Luftlagerung eine Druckfestigkeit von 135 N/mm<sup>2</sup> und eine Biegezugfestigkeit von 16 N/mm<sup>2</sup> auf.

## **Das Auftragen der Spritzbetonschichten**

Die zu bespritzenden Pneus und aufgespannten Membranen stellten keine tragfähige und starre Schalung im herkömmlichen Sinn dar. Es konnten die ersten Schichten nur sehr dünn und bei den meisten Skulpturen auch nur auf Teilflächen aufgebracht werden. So wurden die Formen anfangs „Stück

für Stück“ bespritzt, bis sie mit einer selbsttragenden Betonschicht überzogen waren. Darauf wurden dann Glasfaservliese oder Glasfasergitter aufgelegt und mit eingespritzt, um die Duktilität der Skulpturen zu gewährleisten. Die Glasfaservliese konnten aber nicht beim Einsatz des Erstarrungsbeschleunigers verwendet werden, da der Beton nicht zuverlässig durch die Matte „durchgespritzt“ wurde und so der Verbund mit der darunter liegenden Betonschicht nicht gegeben war. Mit Glasfasergittern war dies jedoch problemlos möglich.

### Zusammenfassung und Ausblick

Auf diese Art entstanden mehrere durchaus spektakuläre Objekte und Skulpturen mit teilweise beachtlicher Größe. Zwei weitere Objekte entstanden dadurch, dass die Pneus nicht mit Luft gefüllt und bespritzt wurden, sondern der Beton wurde eingefüllt (siehe Abbildung 1).

Es sind bereits Untersuchungen zur weiteren Optimierung des UHPC-Spritzbetons und dem Einsatz für baupraktisch relevante Zwecke im Gange. So wird derzeit die Einsatzmöglichkeit zur Verstärkung und Ertüchtigung von Bauteilen in der Althausanierung untersucht.



Abbildung 1: Einige ausgewählte Objekte und Skulpturen, die Rahmen des Moduls „Experimenteller Hochbau 2011“ entstanden sind

## Eluat armer Spritzbeton- Langzeit-Prognosen mittels numerischer Simulation

Saskia Bernstein<sup>1</sup>; Markus Astner<sup>2</sup>; Christian Pichler<sup>3</sup>; Roman Lackner<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Betoserv GmbH, Eiberger Bundesstraße, A-6330 Kufstein

<sup>2</sup> Geosystems Spezialbaustoffe GmbH, Sinning 1, D-83101 Rohrdorf

<sup>3</sup> Materialtechnologie Innsbruck, Universität Innsbruck, Technikerstr.13, A-6020 Innsbruck

Der Baustoff Spritzbeton ist elementarer Bestandteil der Neuen Österreichischen Tunnelbauweise (NÖT). Neben den Anforderungen an die Früh und Endfestigkeit ist in den letzten Jahren das Verhalten bei Eluierung immer mehr in den Vordergrund gerückt. Durch den Kontakt mit Bergwasser werden Alkalien (insbesondere  $\text{Ca}^{2+}$ ) aus der Zementsteinmatrix herausgelöst, die dann in den Drainage-Systemen ausfallen können. Die Beseitigung solcher Versinterungen ist zeitaufwändig und kostspielig, weshalb in der aktuellen Ausgabe der ÖVBB-Richtlinie „Spritzbeton“ (August 2009), neben den Grenzwerten der Ca-Konzentration im Eluat ( $<25\text{mg/l}$  nach 28d), erstmals auch eine Methode zur Bestimmung des Versinterungspotentials (Auslaugbarkeit von Ca) enthalten ist. Die einzuhaltenden Richtwerte beruhen auf Einzeldaten, da kaum Langzeitstudien zu diesem Thema existieren. Der Einfluss der lokalen Roh- und Ausgangsstoffe im fertigen Baustoff „Spritzbeton“ wird in dieser Richtlinie nur in geringem Ausmaß berücksichtigt. Aus diesem Grund wurde vom Institut für Konstruktion und Materialwissenschaften der Universität Innsbruck in Kooperation mit der Rohrdorfer Gruppe das Forschungsprojekt „Tunnelzement“ ins Leben gerufen, welches im Rahmen des Brückenschlagprogramms der FFG gefördert wird. Ziel dieses Projekts ist die Erfassung prinzipieller Lösungs- und Transportmechanismen und die Entwicklung eines numerischen Auslaugmodells, um Prognosen für das Langzeitverhalten erstellen zu können. Ein erster Schritt ist die Bestimmung des Versinterungspotentials nach der ÖVBB-Richtlinie an Labor- und Baustellenproben unterschiedlicher Zusammensetzung. Anhand des Auslaugmodells, das durch die Kombination eines Stöchiometrie-Modells mit physikochemischen Auflösungs- und Diffusionsgesetzen gekennzeichnet ist, können die Versuchsergebnisse nachgerechnet, sowie das Langzeitverhalten prognostiziert werden. Parallel dazu wird in Versuchen mit  $\text{NH}_4\text{NO}_3$ -Lösung der chemische Angriff auf die Proben künstlich beschleunigt. Der bisherige Entwicklungsstand soll im Rahmen dieses Beitrags zusammengefasst werden. Am Ende des Projekts soll eine Extrapolation des Auslaugverhaltens durch Berechnung von Lösungsfronten auf Basis des numerischen Modells möglich sein.

# EXPERIMENTELLE ÜBERPRÜFUNG DER ERMÜDUNGSNACHWEISE FÜR STAHLBETON GEMÄß CEB-FIP MODEL CODE

Alfred Strauss<sup>1</sup>, Susanne Urban<sup>2</sup>, Verena Schabus<sup>3</sup>, Michael Reiterer<sup>4</sup>,  
Herwig Mayer<sup>5</sup> und Konrad Bergmeister<sup>6</sup>

Ingenieurbauwerke sind ständigen statischen als auch dynamischen Lasten aufgrund von künstlichen und natürlichen Ursachen über deren Lebenszeit unterworfen. Dynamische Lasten können Ermüdungserscheinungen an Bauwerken auslösen, welche bei Betonbauwerken in ihrer Entstehungsphase nicht zur Gänze geklärt sind. Die derzeitige Erfassung – Beschreibung von Betonermüdungsprozessen wird in folgenden Normen behandelt:

- Comité Euro-International du Béton (Model Code 1990 und Draft Model Code 2010) [1]
- Deutschen Institut für Normung (DIN 1045-1, 10.8.3) [2]
- Deutsches Institut für Bautechnik (DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen) [3]
- Eurocode 2, (Bemessung von Stahlbeton) [4]
- Det Norske Veritas (DNV-OS-C502) [5]
- Germanischen Lloyd (IV Part6, Section 5) [6]

Das primäre Ziel dieser Regelwerke ist es, die Sicherheit unter ökonomischer Verträglichkeit und sich verändernden Umgebungsbedingungen zu wahren, wobei zumeist das Semi-probabilistische Teilsicherheitskonzept in Form von Betriebssicherheitsnachweisen zur Anwendung kommt.

Für manche Strukturen, Materialien und Konstruktionskonzepte ermöglichen diese Regelwerke nur sehr konservative und eventuell auch unwirtschaftliche Ergebnisse, z.B. bei der Anwendung von hochfesten und ultrahochfesten Betonen, siehe „Anmerkungen zum Model Code 1990“ [7], [8].

Erkenntnisse aus Wartungsarbeiten, Inspektionsarbeiten und Monitoring Systemen an ermüdungsgefährdeten Betonstrukturen zeigen zum Teil deutliche Abweichungen zu den Bemessungs-Konzepten der Normen. Es erscheint daher für eine realistische Einschätzung der Restlebenszeit und auch planerische Lebenszeit naheliegend die Teilsicherheitsbasierten Sicherheitskonzepte für Betonstrukturen mit Informationen aus Inspektionsarbeiten und Monitoring-Informationen zu kombinieren.

Deshalb ist es von großer Bedeutung die Möglichkeiten von Monitoring Systemen zur frühzeitigen Erkennung von Ermüdungsprozessen im Baustoff Beton zu nutzen.

Für derartige Untersuchungen kommen neben den Standard Testverfahren ([8], [9], [10] und [11] ) auch hochfrequente Belastungstests an Kleinprüfkörpern in Betracht. Mit Erreger-Frequenzen im Kiloherz-Bereich werden Ermüdungsprozesse im Beton experimentell verursacht. Das Ultraschall-Resonanzverfahren ist eine in der Materialforschung vielfach angewandte Methode, um die Ermüdungseigenschaften von metallischen oder keramischen Werkstoffen im Bereich hoher Lastspielzahlen zeitsparend zu untersuchen [12]. Dabei wird der Prüfling zu einer Resonanzschwingung bei Ultraschallfrequenz angeregt und derart zyklisch belastet und ermüdet. In der aktuellen Untersuchung wird eine am Institut für Physik und Materialwissenschaft entwickelte, hochpräzise Ultraschallanlage verwendet [13]. Diese ermöglicht eine Anregung der Probe bei definierter zyklischer Belastung (maximale Regelabweichung  $\pm 1\%$ ) und exakt bei Resonanzfrequenz

---

<sup>1</sup>\* Associated Professor, Department of Civil Engineering and Natural Hazards, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, A-1190, Austria, E-mail: [alfred.strauss@boku.ac.at](mailto:alfred.strauss@boku.ac.at).

<sup>2</sup> PhD Student, Department of Civil Engineering and Natural Hazards, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, A-1190, Austria, E-mail: [susanne.urban@boku.ac.at](mailto:susanne.urban@boku.ac.at).

<sup>3</sup> Student, Department of Civil Engineering and Natural Hazards, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, A-1190, Austria, E-mail: [verena.schabus@boku.ac.at](mailto:verena.schabus@boku.ac.at).

<sup>4</sup> RED Bernhard GmbH, Vienna, A-1020, Austria, E-mail: [michael.reiterer@bernard-ing.com](mailto:michael.reiterer@bernard-ing.com)

<sup>5</sup> Professor, Department of Material Sciences and Process Engineering, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, A-1190, Austria, E-mail: [herwig.mayer@boku.ac.at](mailto:herwig.mayer@boku.ac.at)

<sup>6</sup> Professor, Department of Civil Engineering and Natural Hazards, University of Natural Resources and Life Sciences, Vienna, A-1190, Austria, E-mail: [konrad.bergmeister@boku.ac.at](mailto:konrad.bergmeister@boku.ac.at).

mit einer maximalen Abweichung von  $\pm 1$  Hz ( $\pm 0.005\%$ ) [13]. Damit steht die Resonanzfrequenz als zusätzlicher Versuchsparameter zur Verfügung. Eine Änderung der Resonanzfrequenz ist auf eine Änderung des E-Moduls der Probe zurück zu führen und wird in der vorliegenden Untersuchung [14] als Maß für die Schädigung der Probe verwendet. Die Versuchsmethode erfordert jedoch eine Untersuchung etwaiger Einflüsse der hohen Frequenzen auf das Material (z.B.: Erhöhung der Temperatur in der Probe durch Energieumwandlung in Wärme).

Ziel dieses Beitrags ist es, das Ultraschall-Resonanzverfahrens erstmalig für die Ermüdungsprüfung von Beton und zum Monitoring der Ermüdungsschädigung anzuwenden, [13], [14]. Insbesondere, wird die Eignung dieses Testverfahrens für die Konstruktion von Wöhlerlinien analysiert. Die Erfassung der Restdruckfestigkeit bei hoch- und niederfrequent ermüdeten Proben dient zur Vergleichbarkeit der Methoden.

Grundlage der Wöhlerlinien, die im Nachweiskonzept des CEB-FIP Model Code 1990 (MC 1990) angewendet werden, sind Untersuchungen bezüglich der Ermüdung von hochfesten Betonen durchgeführt von Petkovic [9]. Betone mit einer Druckfestigkeit größer 100 MPa blieben allerdings unberücksichtigt. Die Probekörper bei ihren Untersuchungen besaßen eine zylindrische Form mit Durchmessern von 50mm und 100mm und einer Höhe von dreifachem Durchmesser, um den Effekt der Querdehnungsbehinderung auf mittlerer Zylinderhöhe auszuschließen. Die Probekörper wurden mit einer Frequenz von 1 Hz belastet.

Bei Beton wird in der Modellvorstellung des MC 1990 von einer Verringerung der charakteristischen Betondruckfestigkeit unter Ermüdungsbeanspruchung ausgegangen. Die Eingangswerte für die Wöhlerlinien beziehen sich daher auf die zeitabhängige Ermüdungsfestigkeit  $f_{cd,fat}$  nach Gleichung (1). Die Formel basiert auf einer verringerten Festigkeit von jungem Beton und einer Steigerung der Festigkeit mit der Zeit infolge fortschreitender Hydratation. Die Berücksichtigung der Zeit erfolgt über  $\beta_{cc}(t)$  [15], somit ergibt sich die Ermüdungsfestigkeit wie folgt:

$$f_{cd,fat} = 0,85 \cdot \beta_{cc}(t) \cdot \frac{f_{ck} \left( 1 - \frac{f_{ck}}{25 \cdot f_{ck0}} \right)}{\gamma_c} \quad (1)$$

Mit  $f_{ck0} = 10$  MPa Bezugsfestigkeit und mit  $\gamma_c = 1.56$  (Materialsicherheitsbeiwert Beton). Die zeitliche Anpassungsmöglichkeit hat einen wesentlichen Effekt auf die Bemessung, da eine spätere Erstbelastung weit wirtschaftlichere Bemessungen zulässt als eine Belastung im recht jungem Betonalter (siehe [16] und [7]). Nach [15] muss nach Model Code 1990 kein detaillierter Nachweis gegen Ermüdung geführt werden, wenn die Bedingung aus Gleichung (2) erfüllt ist:

$$\eta_c \sigma_{c,max} \gamma_{sa} \leq 0.45 f_{cd,fat} \quad (2)$$

Dies bedeutet, dass ohne einen detaillierten Ermüdungsnachweis, das nachzuweisende Bauteil nur zu 45% der Ermüdungsfestigkeit ausgenutzt werden darf.

Die ermüdungswirksamen Belastungen von Beton werden durch die bezogene maximale Betondruckspannung (Gleichung (3)) und die bezogenen minimalen Betondruckspannung (Gleichung (4)) angegeben. Diese Werte enthalten den maximalen bzw. minimalen Betrag der Druckspannungen  $\sigma_{c,max}$  und  $\sigma_{c,min}$  bezogen auf die zeitabhängige Ermüdungsfestigkeit  $f_{cd,fat}$ .

$$s_{cd,max} = \gamma_{sd} \cdot \sigma_{c,max} \cdot \eta_c / f_{cd,fat} \quad (3)$$

und

$$s_{cd,min} = \gamma_{sd} \cdot \sigma_{c,min} \cdot \eta_c / f_{cd,fat} \quad (4)$$

mit  $\gamma_{sd} =$  Teilsicherheitsbeiwert für die Modellungenauigkeit, i. Allg. mit 1,1 festgelegt.

Der Faktor zur Berücksichtigung der ungleichmäßigen Verteilung der Betondruckspannungen ist definiert zu:

$$\eta_c = \frac{1}{1.5 - 0.5 \left( \frac{|\sigma_{c1}|}{|\sigma_{c2}|} \right)} \quad (5)$$

Der folgende Prozess des Ermüdungsverlaufes bis zur Bruchlastspielzahl  $N$  wird durch drei Gleichungen beschrieben:

$$\log N_1 = (12 + 16 \cdot S_{cd,min} + 8 \cdot S_{cd,min}^2) (1 - S_{cd,max}) \quad (6)$$

$$\log N_2 = 0,2 \cdot \log N_1 \cdot (\log N_1 - 1) \quad (7)$$

$$\log N_3 = \log N_2 \cdot (0,9 - 0,375 S_{cd,min}) \Delta S_{cd} \quad (8)$$

Die Geltungsbereiche der Gleichungen lauten:

(a) Wenn  $\log N_1 \leq 6$  dann  $\Delta \log N = \log N_1$  (9)

(b) Wenn  $\log N_1 > 6$  und  $\Delta S_{cd} \geq 0,3 - 0,375 S_{cd,min}$  dann (10)

$$\log N = \log N_2$$

(c) Wenn  $\log N_1 > 6$  und  $\Delta S_{cd} < 0,3 - 0,375 S_{cd,min}$  dann (11)

$$\log N = \log N_3$$

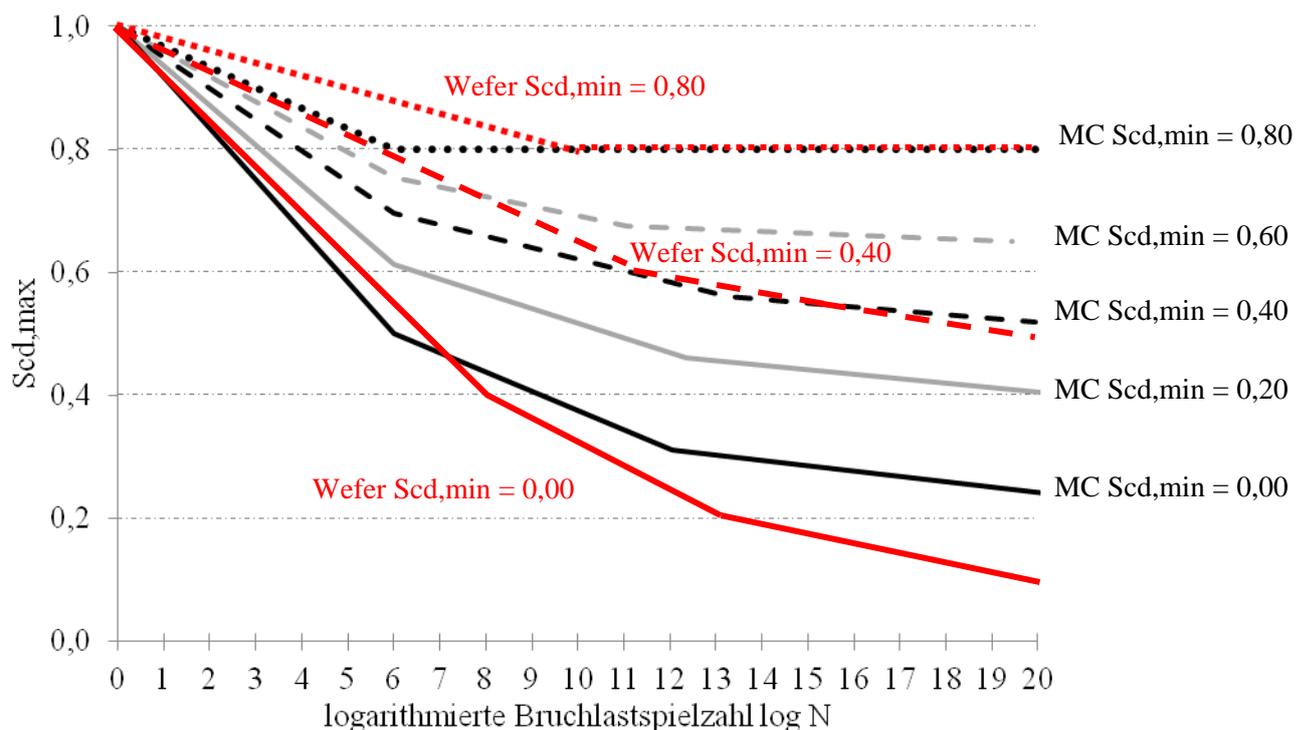


Abbildung 1: Wöhlerlinien nach MC 1990 und neu entwickelte Wöhlerlinien in [8].

An der Leibniz Universität Hannover wurde unter Prof. Grünberg aufgrund der Dissertation von Wefer [8] eine Empfehlung zum Entwurf des Model Codes 2010 eingereicht.

Das Ziel der eingereichten Änderung ist, dass auch Konstruktionen aus ultrahochfestem Beton unter Ermüdungsbeanspruchung deutlich wirtschaftlicher bemessen werden können. Das Regelwerk wird für Betone gelten, deren charakteristische Zylinderdruckfestigkeit bis zu  $f_{ck} = 180 \text{ N/mm}^2$  beträgt.

Folgende Änderungen werden nach [8] am Nachweiskonzept des Model Code 1990 empfohlen:

- 1) Bemessungswert der Ermüdungsfestigkeit des Betons unter Druckspannung:

$$f_{ed,fat} = 0,85 \cdot \beta_{cc} \cdot \frac{[f_{ck} (1 - \frac{f_{ck}}{40 \cdot f_{ck0}})]}{\gamma_c} \quad (12)$$

- 2) Ermittlung der ertragbaren Schwingspielzahl:

Ersatz der Gleichungen (6) bis (11) des Model Codes 1990 durch die folgenden Gleichungen ((13) bis (16)).

$$\log N_1 = \frac{8}{\left( \frac{0,45 + 1,8 \cdot S_{ed,min}}{1 + 1,8 \cdot S_{ed,min} - 0,3 \cdot S_{ed,min}^2} - 1 \right)} (S_{ed,max} - 1) \quad (13)$$

$$\log N_2 = 8 + \ln \left[ \frac{(10) \cdot [(0,45 + 1,8 \cdot S_1(ed, min)) / (1 + 1,8 \cdot S_1(ed, min) - 0,3 \cdot S_1(ed, min)^2)] - S_1(ed, min)}{1} \right] \quad (14)$$

**(a) Wenn  $\log N_1 \leq 8$  dann  $\log N = \log N_1$**  (15)

**(b) Wenn  $\log N_1 > 8$  dann  $\log N = \log N_2$**  (16)

Der Vergleich der Wöhlerlinien nach MC 1990 und der neu entwickelten Wöhlerlinien in [8], zeigt folgende Änderungen, siehe Abbildung 1:

Im Bereich der Kurzzeitfestigkeit ist bei den neu entwickelten Wöhlerlinien eine deutlich höhere Bruchlastspielzahl zu erkennen. In diesem Bereich wird ein flacherer Verlauf als bei den Wöhlerlinien im MC 1990 empfohlen.

Im Bereich der Zeitfestigkeit zeigen die neu entwickelten Wöhlerlinien ebenfalls einen flacheren Verlauf, die Bruchlastspielzahl ähnelt allerdings sehr den Werten des MC 1990.

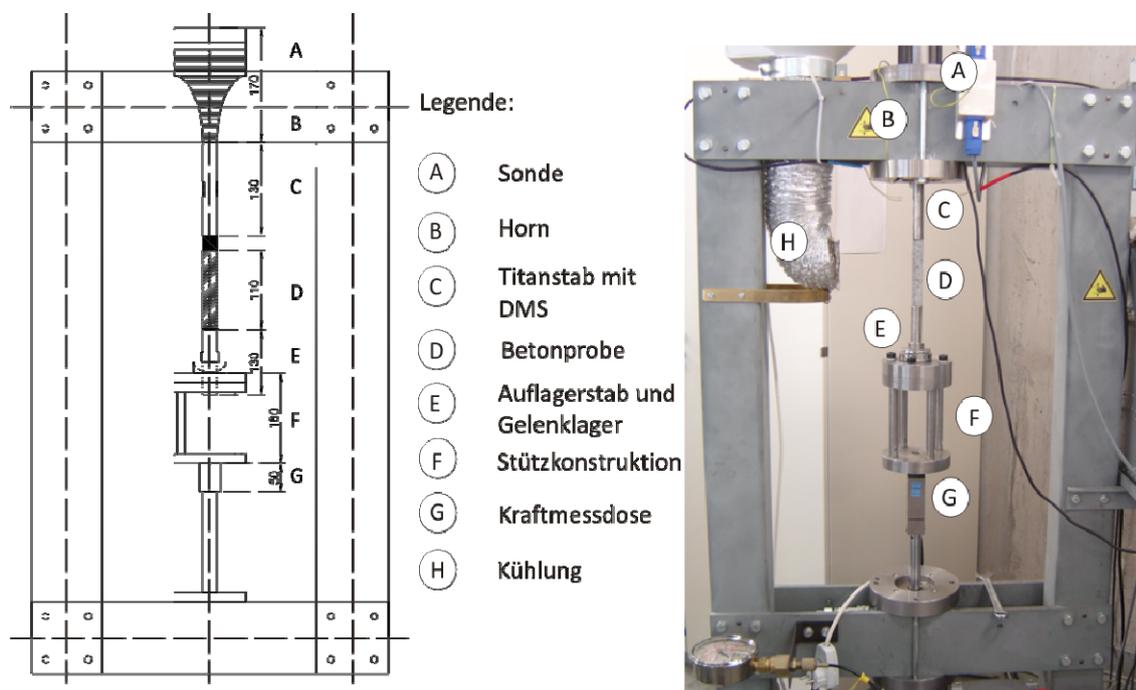
Im theoretischen Dauerschwingfestigkeitsbereich sind die neu entwickelten Wöhlerlinien steiler und damit verbunden die Bruchlastspielzahl für kleine Spannungen im Vergleich zum MC 1990 geringer.

Diese Diskussion und die Tatsache, dass die experimentelle Entwicklung und Überprüfung von Wöhlerlinien für neue Betone mehr als 6 Jahre benötigen würde, gab den Impuls eine Möglichkeit zu finden, wie Wöhlerlinien von Betonen geschaffen werden können, die auf Versuchen mit Lastwechselzahlen größer  $10^9$  und einer Belastungsfrequenz im kHz Bereich basieren.

Für die Versuche der Vorstudie wurde Beton der Festigkeitsklasse C80/95 verwendet, wobei die Betonsorte als hochfester Beton klassifiziert ist. Die Dimension der zylindrischen Kleinprüfkörper betrug 20mm Durchmesser und 109mm Länge. Für die untersuchte Betonsorte wurden zwei

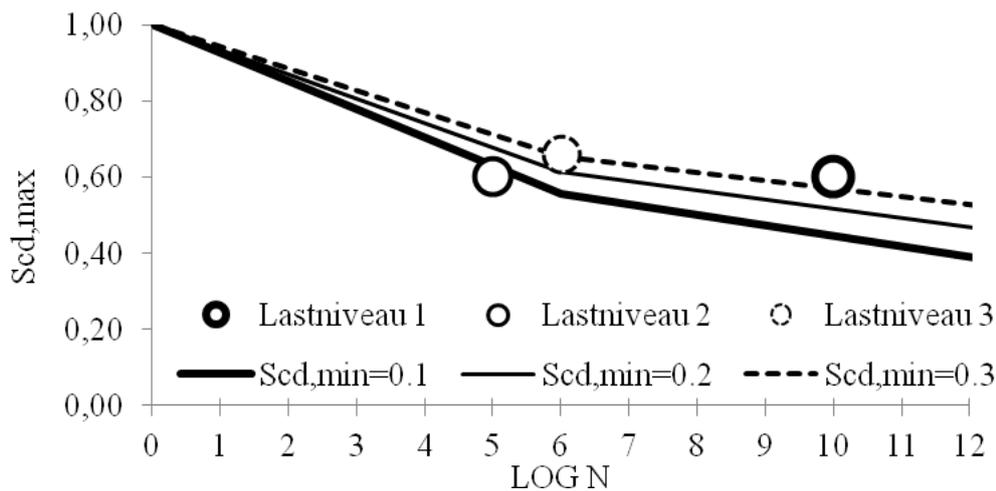
verschiedene Sieblinien zur Berücksichtigung des Maßstabeffektes [17] verwendet: Größtkorn 8mm und Größtkorn 16mm.

Der im Zuge des Ermüdungsprojektes entwickelte Versuchsplan ermöglicht die Vergleichbarkeit der Hochfrequenz - Prüfung mit der derzeit meist angewendeten Niederfrequenz - Prüfung. Die Versuche erfassen die verschiedenen Lastniveaus der Wöhlerkurve für Beton. An den mit 5 Hz (50% der Proben) und mit 19 kHz (50% der Proben) bis zum Überschreiten der Wöhlerlinie getesteten Proben wurden der E-Modul, die Resonanzfrequenz und der Güteparameter beobachtet, um geeigneten Schädigungsindikator abzuleiten. Darauf folgte die Bestimmung der Restdruckfestigkeit. Somit dienen die Kleinprüfkörper zur Bestimmung der Restdruckfestigkeit nach den Ermüdungstests, zur Bestimmung des E-Moduls und der Änderung der Resonanzfrequenz vor und nach den Ermüdungstests.



**Abbildung 2: Mechanischer Versuchsaufbau der am Institut für Physik und Materialwissenschaft entwickelten Ultraschall-Materialprüfanlage [12], [13]**

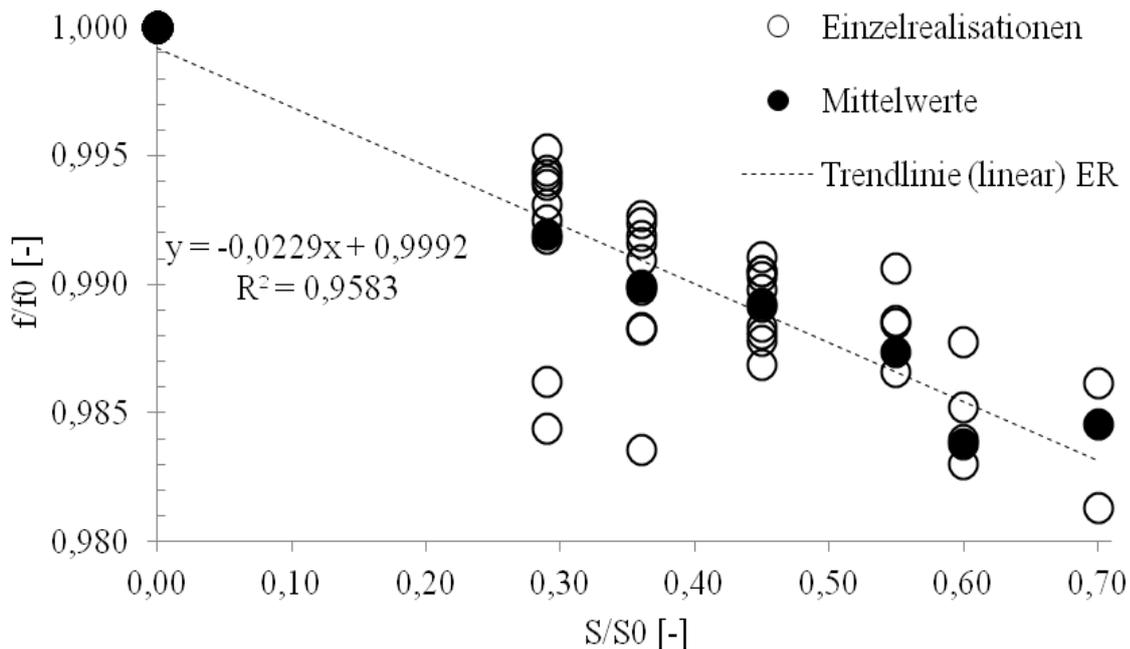
Die Ergebnisse der hochfrequenten als auch normspezifischen Laborversuche zeigen, dass die bisher im MC 1990 verwendeten Wöhlerlinien auf einer sehr konservativen Formulierung basieren. Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, wurde auf allen Lastniveaus die Grenzen der Wöhlerlinien erreicht, bzw. weit überschritten, ohne eine Ermüdungsschädigung zu zeigen.



**Abbildung 3: Belastungsniveaus und dazugehörige Wöhlerkurven im Versuchsplan**

Die Lastniveaus sind in Abbildung 3 als Kreise und die dazugehörigen Wöhlerlinien mit der zugehörigen Linienart gekennzeichnet. Die Versuche auf Lastniveau 2 und 3 wurden nieder- und hochfrequent durchgeführt. Die beiden Lastniveaus liegen unterhalb bzw. genau auf der Wöhlerlinie. Bei Tests auf Lastniveau 2 und 3 versagte kein Prüfkörper unter Ermüdung. Lastniveau 1 übersteigt die Bruchlastschwingzahl der Wöhlerlinie um mehr als das Doppelte. Auch hier kam es nicht zum Ermüdungsversagen der Probe.

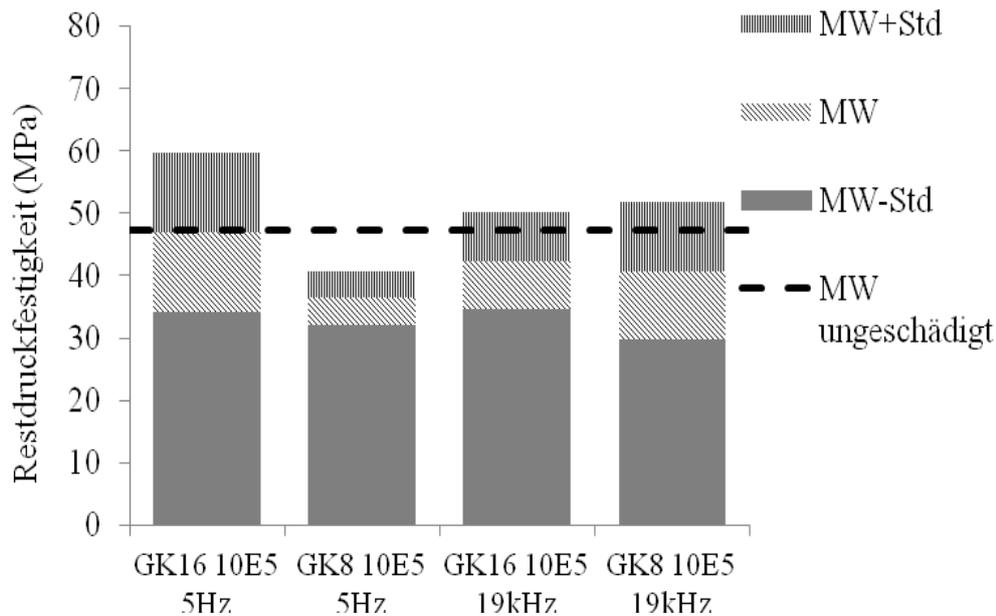
Für die Hochfrequenzversuche war die Definition der für Ermüdungserscheinungen maßgebende Schädigungsparameter von großem Interesse. Hierzu wurde die Leistung, Eigenfrequenz und Dämpfung als zerstörungsfrei erfassbare Schädigungsparameter untersucht. Im Rahmen der Untersuchungen konnte für die Resonanzfrequenz ein zuverlässiger linearer Zusammenhang zum Schädigungsgrad berechnet werden (Abbildung 4). Die Resonanzfrequenz ist in den meisten Fällen eindeutig feststellbar und am Gerät direkt ablesbar. Die Streuung ist bei allen Belastungsreihen ähnlich gering und liegt bei 5-7% COV.



**Abbildung 4: Darstellung des Zusammenhangs zw. Schädigungsgrad und relativer Resonanzfrequenz**

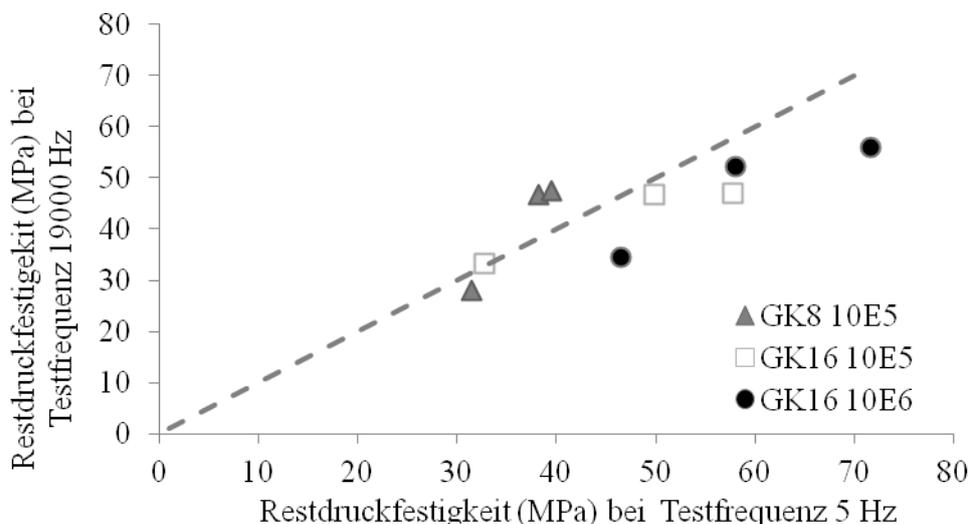
Für einen objektiven Vergleich möglicher Ermüdungserscheinungen der hochfrequent und nach normspezifischer Frequenz getesteten Prüfkörpern wurde die Restdruckfestigkeit unter 1-achsiger Druckbelastung herangezogen. Der Einfluss der Prüffrequenz auf die Restdruckfestigkeit wurde mittels T-Test nach Angaben in [18] bei einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10% bestimmt. Der Stichprobenunabhängigkeitstest (T-Test) zeigt keine Unterschiede zwischen den Ergebnissen. Dies gilt für beide Größtkornklassen und beide Lastwechselzahlen.

Abbildung 5 zeigt die Restdruckfestigkeiten beider Größtkornklassen und der ungeschädigten Prüfkörper (Größtkorn 16mm). Die Restdruckfestigkeiten nach  $10^5$  Lastwechseln liegen bei beiden Testfrequenzen unterhalb des Mittelwertes für die ungeschädigten Proben (47,15 MPa). Bei den Prüfkörpern mit Größtkorn 16mm ist die Restdruckfestigkeit mit 46,8 MPa ähnlich hoch wie die der ungeschädigten Proben.



**Abbildung 5: Restdruckfestigkeit bei 5Hz und 19kHz nach  $10^5$  Lastwechseln**

Abbildung 6 zeigt die Gegenüberstellung der Restdruckfestigkeit für 5Hz und für 19 kHz getestete Proben. Aus den Abweichungen zur Mittellinie ist kein signifikanter Unterschied für die untersuchte Probekörpergröße und den verwendeten Beton zu erkennen.



**Abbildung 6: Einfluss der Prüffrequenz auf die Restdruckfestigkeit**

Dieses Verhalten ist jedoch durch Versuche mit anderen Betonfestigkeiten und mit unterschiedlichen Probekörpergrößen weiter zu erforschen.

Im Zuge der Labortests wurde deutlich, dass es sich bei den im CEB-FIP Model Code 1990 angewandten Wöhlerlinien um sehr konservative Ansätze handelt. Hochfrequente Testmethoden bieten die Möglichkeit reale Wöhlerkurven für beliebige Betonsorten und Festigkeitsklassen mit zeitlich vertretbarem Einsatz entwickeln zu können. Damit wird sichergestellt, dass neu entwickelte Betone zeitnah wirtschaftlich eingesetzt werden können.

## Literatur

- [1] CEB-FIP, Model Code 1990, Comité Euro-International du Béton 1993.
- [2] DIN, DIN 1045-1: Tragwerke aus Beton, Stahlbeton und Spannbeton Teil 1: Bemessung und Konstruktion, 2008.
- [3] DIBt, Richtlinie für Windenergieanlagen, Einwirkungen und Standsicherheitsnachweise für Turm und Gründung, Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin, 2004, pp. 50.
- [4] EC, EC 2, Bemessung und Konstruktion von Stahlbeton- und Spannbetontragwerken, Teil 1-1: Allgemeine Bemessungsregeln und Regeln für den Hochbau, 2005.
- [5] DNV, Det Norske Veritas - OS-C502, Offshore Concrete Structures, April 2007.
- [6] Germanischer Lloyd, Rules and Guidelines, IV 2: Guideline for the Certification of Offshore Wind Turbines, Germanischer Lloyd WindEnergie, 2005.
- [7] J. Grünberg, J. Göhlmann, Schädigungsberechnung an einem Spannbetonbauteil für eine Windenergieanlage unter mehrstufiger Ermüdung, Beton- und Stahlbetonbau 101 - Heft 8 (2006) 557-570.
- [8] M. Wefer, Materialverhalten und Bemessungswerte von ultrahochfestem Beton unter einaxialer Ermüdungsbeanspruchung, Institut für Baustoffe - Fakultät für Bauingenieurwesen und Geodäsie, Gottfried Wilhelm Leibnitz Universität Hannover, 2010.
- [9] G. Petkovic, R. Lenschow, H. Stemland, S. Rosseland, Fatigue of High-Strength Concrete, The Second International Symposium on Application of High Strength Concrete, American Concrete Institute, Berkeley, 1990, 20 bis 22 Mai, pp. 505 - 525.
- [10] R. Hohberg, Zum Ermüdungsverhalten von Beton, Fakultät VI Bauingenieurwesen u. Angewandte Geowissenschaften, Technische Universität Berlin, 2004.
- [11] N.V. Tue, S. Mucha, Fatigue behaviour of high strength concrete under compression, Ermüdungsfestigkeit von Hochfestem Beton unter Druckbeanspruchung 83 (2006) 497-504.
- [12] H. Mayer, Fatigue crack growth and threshold measurements at very high frequencies, International Materials Reviews 44 (1999) 1-34.
- [13] H. Mayer, Ultrasonic torsion and tension-compression fatigue testing: Measuring principles and investigations on 2024-T351 aluminium alloy, International Journal of Fatigue 28 (2006) 1446-1455.
- [14] V. Schabus, Stochastische dynamische Materialeigenschaften von Beton, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Institut für konstruktiven Ingenieurbau, Universität für Bodenkultur, Wien, 2011, pp. 117.
- [15] G. König, I. Danielewics, Ermüdungsfestigkeit von Stahlbeton- und Spannbetonbauteilen mit Erläuterungen zu den Nachweisen gemäß CEB-FIB Model Code 1990, Beuth, 1994.
- [16] M. Seidel, Auslegung von Hybridtürmen für Windenergieanlagen, Beton- und Stahlbetonbau 97 Heft 11 (2002) 564-575.
- [17] P. Grübl, Beton - Handbuch für Beton-, Stahlbeton- und Spannbetonbau, Ernst, Berlin, 2001.
- [18] F. Beichelt, Stochastik für Ingenieure, B.G. Teubner Stuttgart 1995.