

KURZFASSUNG DER BEITRÄGE

Kollo quium

Forschung & Entwicklung
für Zement und Beton

2019

ACR

AUSTRIAN COOPERATIVE RESEARCH
KOOPERATION MIT KOMPETENZ

TU
WIEN

smartminerals
science to design the future

VÖZ
VEREINIGUNG DER ÖSTERREICHISCHEN
ZEMENTINDUSTRIE

Inhalt

Innovationsprojekte in der Zementindustrie

- 4 **Nachhaltigkeit als gemeinsames Ziel der österreichischen Zementindustrie**
DI Harald Reisinger, Nachhaltigkeitsmanagement & Reporting, *Puchenu*
- 8 **Aktiver Umweltschutz im Zementwerk**
DI Dr. Günter Waldl, Zementwerk LEUBE GmbH, *St. Leonhard*
- 12 **Wege in eine CO₂-neutrale Zukunft der Zementindustrie**
DI Dr. Joseph Kitzweger, LafargeHolcim

F&E Materialinnovationen bei Beton

- 16 **Textilbeton in Forschung und Entwicklung**
DI Dr. Philipp Preinstorfer
O.Univ.Prof. Dr.-Ing. Johann Kollegger, TU Wien, *Wien*
- 19 **Universelles Schalenelement aus UHPC zum zukünftigen Bauen mit Fertigteilen**
Dr. Michael Olipitz, SDO ZT GmbH, *Graz*
- 23 **Vorgespannter UHPC-Hohlkasten – Herstellung und experimentelle Untersuchung**
DI Goran Vojvodic BSc.
Univ.Prof. Dr.-Ing. habil. Viet Tue Nguyen, TU Graz, *Graz*
- 26 **Das Abplatzverhalten von wärmebehandeltem UHPC unter Brandbelastung**
DI Dr. Johannes Kirnbauer, TU Wien, *Wien*
- 32 **WorldSkills 2019 – Goldener Hattrick für Österreichs Fachkräftenachwuchs im Betonbau**
Bmstr. Dipl.-Päd. Ing. Thomas Prigl, BEd,
Berufsschule für Baugewerbe, *Wien*
und die Sieger der WorldSkills 2017 und 2019

F&E Beton in Mobilität und Praxis

- 38 **EcoRoads – Instandsetzungsbauweisen in Beton für das Landesstraßennetz (2. Forschungsjahr)**
DI Dr. Lukas Eberhardsteiner, TU Wien, *Wien*
DI Dr. Florian Gschösser, floGeco Umweltmanagement, *Natters*
- 41 **Erfolgreiche Umsetzung einer Walzbetonstrecke**
DI Dr. Martin Peyerl, Smart Minerals GmbH, *Wien*
- 46 **FQP: Untersuchung des Ermüdungsverhaltens von Drainbeton als Tragschichtmaterial für Pflasterbefestigungen**
Ing. Stefan Weissenböck, Weissenböck Baustoffwerk GmbH, *Neunkirchen*
DI Dr. Lukas Eberhardsteiner, TU Wien, *Wien*
- 49 **öbv-Richtlinie: Risse in Betonbauteilen**
DI Alfred Hüngsberg, ÖBB Infrastruktur AG, *Wien*

F&E von der Forschung in die Anwendung

- 53 **gigaTES: Großwärmespeicher aus Beton – Herausforderungen und Lösungsansätze**
DI Michael Reisenbichler, AEE Intec, *Gleisdorf*
DI Gerald Maier, Smart Minerals GmbH, *Wien*
- 58 **Verstärkende Injektion von Mauerwerk mit Füllstoffen auf Basis mineralischer Bindemittel**
Univ.Prof. DI Dr. Andreas Kolbitsch, TU Wien, *Wien*
- 61 **Betonkritis – von Carnuntum nach Wien**
Mag. Dr. Helga Zeitlhofer, Smart Minerals GmbH, *Wien*

- 64 **Österreichs Teams auf der Betonkanuregatta 2019**
- 65 FH-Prof. DI Dr. Markus Vill und das Team der FH Campus Wien
- 70 DI Thomas M. Laggner, BSc und das Team der TU Graz

Innovationsprojekte in der Zementindustrie

Nachhaltigkeit als gemeinsames Ziel der österreichischen Zementindustrie

DI Harald Reisinger

Nachhaltigkeitsmanagement & Reporting, *Puchenau*

Nachhaltigkeit als gemeinsames Ziel der österreichischen Zementindustrie

Autor: DI Harald Reisinger

Harald Reisinger Nachhaltigkeitsmanagement & Reporting, Puchenau

office@harald-reisinger.at

www.harald-reisinger.at

Nachhaltigkeit ist ein Leitbild für eine bessere Welt, in der alle gegenwärtigen und zukünftigen Bewohner in Würde und angemessenem Wohlstand leben, ohne die Umwelt zu zerstören und somit auch die menschlichen Lebensgrundlagen zu gefährden. Von der Wirtschaft und ihren Unternehmen wird erwartet, dass sie einen Beitrag zu einer nachhaltigen Entwicklung leisten. Die österreichische Zementindustrie ist in vielerlei Hinsicht nachhaltig ausgerichtet und beim Klimaschutz weltweit führend. Bis zur CO₂-neutralen Herstellung ist es allerdings auch für sie noch ein herausfordernder Weg.

Nachhaltigkeit

Begriffsursprung und Grundprinzip

In einem Wald sollte nur so viel abgeholzt werden, wie der Wald in absehbarer Zeit auf natürliche Weise regenerieren kann. Dieses Grundprinzip der Nachhaltigkeit ist mehr als 300 Jahre alt und wurde von Hans Carl von Carlowitz (1645-1714) einem Oberberghauptmann des Erzgebirges geprägt. Damals mussten die Erzgruben und Schmelzhütten mit viel Holz als Energiequelle versorgt werden. Von Carlowitz kritisierte den auf kurzfristigen Gewinn ausgelegten Raubbau der Wälder und forderte eine „nachhaltende“ Nutzung.

Begriffswandel und globale Bedeutung

Der Begriff Nachhaltigkeit hat seit von Carlowitz einen Bedeutungswandel und vor allem eine Bedeutungserweiterung erfahren. Maßgeblich dazu beigetragen haben die Vereinten Nationen. Die nach wie vor gängigste Definition des Begriffs stammt aus dem Bericht „Our Common Future“, den die Weltkommission für Umwelt und Entwicklung der Vereinten Nationen 1987 veröffentlicht hat. Demnach ist eine Entwicklung dann nachhaltig, wenn sie „...den Bedürfnissen der jetzigen Generation dient, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen.“

Auf die Veröffentlichung des Berichts folgte 1992 in Rio de Janeiro die Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung, die als Meilenstein für die Integration von globalen Umwelt- und Entwicklungsbestrebungen gilt. Mit der „Agenda 21“ haben die damals 172 Mitgliedsstaaten der Vereinten Nationen ein erstes Aktionsprogramm für eine nachhaltige Entwicklung beschlossen. Im Jahr 2000 folgte die Millenniumserklärung mit den Millennium Development Goals und 2015 wurde von der Generalversammlung der Vereinten Nationen die Agenda 2030 verabschiedet. Sie umfasst 17 Ziele für eine nachhaltige Entwicklung – die Sustainable Development Goals (SDGs).

Die 193 UN-Mitgliedsstaaten haben sich somit zu einem Aktionsplan verpflichtet, der eine positive Transformation unserer Welt zum Ziel hat.

Nachhaltigkeit in der österreichischen Zement- und Betonindustrie

Einer nachhaltigen Entwicklung ist nur dann möglich, wenn auch die Wirtschaft und ihre Unternehmen einen aktiven Beitrag leisten. Die österreichische Zement- und Betonindustrie ist sich ihrer Verantwortung bewusst und weist viele Merkmale auf, die im Sinne der Nachhaltigkeit positiv zu bewerten sind.

Mit Zement und Beton werden grundlegende menschliche Bedarfe gedeckt

Zement und Beton sind vielseitig einsetzbar, dauerhaft und langlebig. Bauwerke aus Beton tragen dazu bei, dass grundlegende Bedarfe, etwa in den Bereichen Wohnen, Mobilität und Sicherheit, gedeckt werden.

Österreichische Zementindustrie ist ein Impulsgeber im ländlichen Raum

Die österreichische Zementindustrie ist ein traditionsreicher und gleichzeitig moderner Impulsgeber für die regionale Wirtschaft, insbesondere im ländlichen Raum. Sie bewirkt direkte wirtschaftliche und soziale Effekte und führt indirekt auch in anderen regionalen Wirtschaftszweigen zu Arbeitsplätzen, Umsätzen und Wertschöpfung.

Zement und Beton sind ein regionaler Baustoff

Die Rohstoffe zur Herstellung von Zement und Beton werden überwiegend lokal bezogen und es gibt es keine problematischen Arbeitsbedingungen oder ökologischen Risiken in der Lieferkette. Die Baustoffe werden über kurze Transportwege an die Kunden geliefert.

Investitionen in modernste Umweltschutzanlagen

Die österreichische Zementindustrie gilt weltweit als Vorreiter beim Klima- und Umweltschutz. Jährlich investiert sie Millionenbeträge in modernste Anlagen. 2018 beliefen sich die Umweltschutzinvestitionen der österreichischen Zementindustrie auf 45,7 Mio. Euro.

Transparenz, Dialog und Kooperation

Die österreichische Zementindustrie veröffentlicht seit 1993 Berichte über die „Emissionen aus Anlagen der österreichischen Zementindustrie“, seit 2005 Nachhaltigkeitsberichte und heuer erstmals einen Jahresbericht mit dem Themenschwerpunkt Klimaschutz. Diese Transparenz schafft Vertrauen und ist Basis für den Dialog und die Kooperation mit den Stakeholdern.

Verantwortung entlang der gesamten Wertschöpfungskette

Das Verantwortungsbewusstsein der österreichischen Zement- und Betonindustrie endet nicht an den eigenen „Fabrikstoren“, sondern reicht von der Rohstoffgewinnung bis hin zum Betonrecycling. Die Branche und ihre Vertreter sind Treiber für nachhaltige Innovationen in der Bauwirtschaft.

Größte Herausforderung: CO₂-neutrale Herstellung

Die Herstellung von Zement ist Energie- und CO₂-intensiv. Der österreichischen Zementindustrie ist es in den vergangenen Jahrzehnten gelungen, die spezifischen CO₂-Emissionen auf das weltweit niedrigste Niveau (2018: 521 kg je Tonne Zement) zu senken. Für die angestrebte CO₂-neutrale Herstellung werden allerdings sogenannte Break Through Technologien und radikale Innovationen notwendig.

Literatur

- [1] *Österreichische Zementindustrie: Impulsgeber für Regionen (2015)*
https://www.zement.at/downloads/downloads_2016/ZementRegional_STUDIA_2015.pdf
- [2] *Emissionsberichte der österreichischen Zementindustrie*
<https://www.zement.at/services/publikationen/emissionsberichte>
- [3] *Nachhaltigkeitsberichte der österreichischen Zementindustrie*
<https://www.zement.at/services/publikationen/nachhaltigkeitsberichte>
- [4] *Jahresbericht 2018/19 der österreichischen Zementindustrie*
<https://www.zement.at/nachhaltigkeit>

Innovationsprojekte in der Zementindustrie

Aktiver Umweltschutz im Zementwerk

DI Dr. Günter Waldl

Zementwerk LEUBE GmbH, *St. Leonhard*

Aktiver Umweltschutz im Zementwerk

Dipl.-Ing. Dr.mont. Günter Waldl

Zementwerk LEUBE GmbH, St. Leonhard

guenter.waldl@leube.at

www.leube.at

LEUBE Baustoffe ist ein traditionsreiches Unternehmen der österreichischen Baustoffindustrie. Das 1838 gegründete Familienunternehmen betreibt als größten Unternehmensstandort ein Zementwerk in St. Leonhard bei Salzburg (Abbildung 1). Unmittelbar in die Salzburger Tourismusregion eingebettet und eng mit der Region verbunden, ist LEUBE seit jeher bestrebt, den Standort möglichst umweltschonend zu betreiben.



Abbildung 1: Zementwerk LEUBE, St. Leonhard, Werksansicht Richtung Süden

Vor Beginn des erstmaligen Einsatzes von alternativen Brennstoffen im Jahr 1996 wurden von Anrainern Bedenken gegen das geplante Vorhaben geäußert. Richtungsweisend schlug LEUBE damals den Weg der aktiven Bürgerbeteiligung in Form eines Mediationsverfahrens durch die Gründung eines Bürgerbeirates (www.buergerbeirat-gartenau.at) ein (Abbildung 2).

Schließlich wurde unter der gemeinsamen Zielsetzung, dass sich die Emissionen des Zementwerkes durch die Verwendung von alternativen Brennstoffen nicht verschlechtern dürfen, 1996 mit dem Einsatz von Altreifen begonnen. Im Konsens mit dem Bürgerbeirat wurde der Umfang an alternativen Brennstoffen stufenweise erhöht. Mittlerweile wird über 80 % der benötigten thermischen Energie durch alternative Brennstoffe abgedeckt. Seit der Gründung des Bürgerbeirates haben sich die Emissionen der wesentlichen Luftschadstoffe deutlich verringert. So wurden die Stickoxide um über 60 % und die Staubemission sogar um 90 % verringert.



Abbildung 2: Der Bürgerbeirat Gartenau 2016 anlässlich des 20jährigen Bestehens. Vertreter von Bürgerinitiativen, der Anrainergemeinden, der Landesumweltanwaltschaft, externe Sachverständige sowie Experten des Zementwerks LEUBE

Neben den laufenden Aufwendungen für den Umweltschutz, wie z.B. der Rekultivierungstätigkeit im Rohgesteinsabbau, wurden allein in den letzten 10 Jahren insgesamt über 50 Millionen Euro in Neuanlagen investiert. Zuerst wurde eine neue, dem Stand der Technik angepasste Drehofenanlage mit 5-stufigem Wärmetauscher und Kalzinator mitsamt der notwendigen Neben- und Filteranlagen gebaut und 2010 in Betrieb genommen. 2012 wurde die Rohmühle umgebaut, um den Energiebedarf zu minimieren und die bestehende Ofenfilteranlage (E-Filter) durch einen Gewebefilter ersetzt. Zuletzt wurde im Jahr 2018 um 10 Millionen Euro eine ergänzende Abgasreinigungsanlage errichtet und 2019 in Betrieb genommen. Dabei handelt es sich um eine sog. DeCONOX-Anlage der Fa. Scheuch (Abbildung 3). Diese vereint die Wirkprinzipien eines Katalysators zur Reduktion von Stickoxiden (NO_x) sowie einer Nachverbrennung zur Reduktion von Kohlenmonoxid (CO) und organischem Kohlenstoff (TOC) in einer Anlage und führt zu einer weiteren Verringerung der Schadstoffemissionen bei LEUBE.



Abbildung 3: Schematische Darstellung der DeCONOX-Anlage (Lieferfirma Scheuch, A-4971 Aurolzmünster) auf einem Banner anlässlich der Spatenstichfeier im Jahr 2018

In der DeCONOx-Anlage wird das im Gewebefilter entstaubte Abgas nochmals in Regeneratortürmen (5 Türme werden alternierend betrieben) auf über 850°C erwärmt und in der Brennkammer bei einer Verweilzeit von mindestens 2 Sekunden nachverbrannt. Dazwischen erfolgt im optimalen Temperaturbereich von ca. 250-450°C die katalytische Entstickung der Abgase durch Eindüsen von Ammoniak. In der Anlage sind insgesamt 75.000 Stück Keramikelemente mit einer aktiven Oberfläche von knapp 300.000 m² verbaut. Zur Vermeidung von Wärmeverlusten ist die Anlage innen und außen vollständig isoliert und wird regenerativ betrieben.

Der Bau der Anlage wurde im März 2018 mit umfangreichen Abbrucharbeiten im Altbestand begonnen. Nach Fundamentierungs- und Betonarbeiten wurden die parallel vormontierten Anlagenteile mit Hilfe eines 500 t-Autokrans eingehoben. Die Installation und Einbindung der Anlage in den Bestand sowie die elektrotechnischen Arbeiten erfolgten in den Wintermonaten 2018/2019 und schließlich wurde ab März 2019 mit der Inbetriebnahme begonnen (Abbildung 4). Durch den Betrieb der DeCONOx-Anlage werden die Stickoxide (NO_x) um min. 50 % reduziert und Kohlenmonoxid (CO) und organischer Kohlenstoff (TOC) um min. 90 %. Mit dem Berichtsjahr 2019 wird daher nochmals eine deutliche Senkung der Emissionswerte erreicht werden.



Abbildung 4: Fertiggestellte DeCONOx-Anlage im März 2019

Die Effizienz der Umweltschutzmaßnahmen wurde bisher schon durch die im Werksumkreis befindlichen Immissionsmessstellen des Landes Salzburg bestätigt. Seit mehreren Jahren ergeben hier die Messungen die Luftqualität in der Güte eines Luftkurortes, der Betrieb des Zementwerks ist in den Immissionswerten nicht nachweisbar.

LEUBE setzt laufend Maßnahmen zur Verbesserung der Umweltsituation um, die verwendeten Anlagen ermöglichen dem Familienunternehmen die umweltschonende Zementproduktion bei minimiertem Energie- und Ressourcenverbrauch. Der Standort in Salzburg wird damit langfristig abgesichert.

Innovationsprojekte in der Zementindustrie

Wege in eine CO₂-neutrale Zukunft der Zementindustrie

DI Dr. Joseph Kitzweger
LafargeHolcim

Wege in eine CO₂-neutrale Zukunft der Zementindustrie

DI Dr. Joseph Kitzweger

Director Sustainable Development

Lafarge Zementwerke GmbH

M: joseph.kitzweger@lafargeholcim.com

W: www.lafarge.at

Das Klima mahnt uns zu drastischen Reduktionen der weltweiten CO₂-Emissionen. Diese Herausforderung gilt im Besonderen für die Zementindustrie, werden doch zwei Drittel der hier erzeugten CO₂-Emissionen durch den Prozess der Zersetzung von Kalkstein emittiert. Die herkömmlichen Reduktionsmaßnahmen der Zementproduktion erreichen allmählich ihr Maximum, so wurde in den letzten Jahren in Österreich bereits ein europaweit niedriger Rekordwert von nur noch etwas mehr als 500 Kilogramm CO₂ pro Tonne Zement erreicht.

Wie können wir in Zukunft aber auch diese verbleibenden CO₂-Emissionen reduzieren?

Um es vorweg zu nehmen, die Reduktion auf nahezu „zero-carbon“ in der Zementindustrie scheint durch verschiedene Technologien möglich, erfordert aber entschlossene, gesellschaftspolitische Maßnahmen.

Klima, CO₂ und die Zementindustrie

Das Thema CO₂ erreichte im Jahr 1995 im Rahmen der Klimakonferenz in Paris einen vorläufig wissenschaftlich-politischen Höhepunkt. Erklärten sich doch im Pariser Abkommen 197 Länder mit der Notwendigkeit der weltweiten CO₂-Reduktion auf ein Ausmaß einverstanden, das den weiteren Temperaturanstieg der globalen Erwärmung auf maximal zwei Grad Celsius beschränkt [1].

Der Anteil der Zementindustrie an den anthropogenen CO₂-Emissionen liegt weltweit bei etwa sechs Prozent, das entspricht etwa 2,5 Gigatonnen pro Jahr. Davon sind zwei Drittel durch die Dekarbonisierung des Kalksteins, das heißt durch die Reaktionsgleichung $\text{CaCO}_3 \rightarrow \text{CaO} + \text{CO}_2$ bedingt. Ein Drittel fällt – so wie in anderen Hochtemperatur-Industrien – auf die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Umgerechnet von Klinker auf den Zement, ergibt sich in Österreich ein Wert von 521 Kilogramm CO₂ pro Tonne Zement. Dies stellt einen europaweiten (positiven) Rekordwert dar, der durch die folgenden Reduktionsmaßnahmen erzielt werden konnte:

- Reduktion des Klinkerfaktors – dem Hauptbestandteil des Zements
- Maßnahmen zur Energieeffizienz
- Substitution fossiler Brennstoffe durch erneuerbare Energiequellen

Die europäische Zementindustrie schätzt bis 2050 eine Reduktion mittels herkömmlicher, oben genannter Maßnahmen von etwa 500 Kilogramm CO₂ pro Tonne Zement für möglich [Cembureau, 2]. Das ist allerdings als Beitrag zur Erreichung des 2-Grad-Ziels und insbesondere für eine europaweit angestrebte vollständige Dekarbonisierung bis 2050 viel zu wenig. Eine weitere Reduktion in Richtung CO₂-Neutralität kann nur durch neue, bahnbrechende Technologien („Breakthrough“-Technologien), sog. „Carbon Capture-Technologien“ (CO₂ capture = Einfangen des CO₂) erreicht werden [3].

“Zero Carbon” Pilotprojekte bei LafargeHolcim

Ziel der Zementindustrie ist es daher, die in den letzten Jahren in Forschung und Entwicklung erzielten Fortschritte im Bereich Carbon Capture großtechnisch in einigen Zementwerken auf Industrietauglichkeit zu untersuchen, um sie dann in großen Maßstäben umzusetzen und zu multiplizieren.

Nachfolgend seien einige vielversprechende Projekte bei LafargeHolcim genannt:

- **„Oxy-Fuel Verbrennungs -Technologie“**
 - Projekt im Zementwerk Lägerdorf in Deutschland („Westküste 100“)
 - Zusammenschluss verschiedener Industrien, die von diesem Projekt, d.h. von CO₂, profitieren: Stromerzeuger durch Beisteuern von grünem Überschuss Off-Shore-Windstrom, eine nahe gelegene Raffinerie, die das aus CO₂ und H₂ hergestellte Methanol zur Herstellung grüner, synthetischer Treibstoffe nutzen kann und der Flughafen Hamburg, der diesen grünen Treibstoff für CO₂-freien Flugbetrieb einsetzen möchte [4].
 - Die geschätzten Kosten der Oxy-Fuel-Technologie liegen bei etwa 40-60 € pro Tonne aus dem Abgas geholten CO₂.
- **„Trockenabsorptions-Technologie“**
 - Projekt im Zementwerk Richmond in Kanada
 - Zum Einsatz kommt ein Trocken-Absorptionsverfahren. Bisher wurden, besonders bei Kraftwerken, Nassverfahren auf Basis Mono-Ethylen-Amine (MEA) eingesetzt mit geschätzten Kosten von etwa 50-100 € pro Tonne CO₂.
- **„Fastcarb-Technologie“**
 - Projekt im Zementwerk Val d’Azergues in Frankreich
 - gebrochener Altbeton wird mittels Ofenabgas durchströmt. Das CO₂ im Abgas soll durch den erhärteten Zement im Beton chemisch gebunden werden.

CCU – Herausforderung Wasserstoff

Das „eingefangene“ CO₂ aus dem Abgas stellt nur den ersten Teil des „Carbon-free“-Zieles dar. Die weitere Herausforderung besteht im Einsatz und in der Verwendung der hohen Mengen an abgedichtetem CO₂.

Grundsätzlich unterscheidet man zwei Möglichkeiten [5]:

- **Carbon Capture & Utilisation (CCU):** Vielversprechend ist hier vor allem die chemische Umwandlung in organische Verbindungen und in weiterer Folge daraus die Herstellung von grünen Treibstoffen oder grünen Kunststoffen (Polymeren), basierend auf der Methanol-Synthese (Reaktion: $\text{CO}_2 + 3 \text{H}_2 \rightarrow \text{CH}_3\text{OH} + \text{H}_2\text{O}$).
Der dafür benötigte Wasserstoff wird durch Hydrolyse von H₂O – allerdings unter Einsatz sehr hoher Strommengen – hergestellt (Reaktion $\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$).
- **Carbon Capture & Storage (CCS):** S steht für Storage oder Sequestration, d.h. die permanente Einlagerung des gewonnenen CO₂ in unterirdischen Gesteinsschichten.

Ein großer Vorteil von Wasserstoff ist insbesondere seine Lagerfähigkeit. Der zunehmende Anstieg der erneuerbaren Energien im Strommix führt bekanntermaßen zu immer höherer volatiler Stromerzeugung und dadurch zu steigendem Kurzzeit- und Langzeit-Speicherbedarf. Wasserstoff als Stromspeichermedium wird somit ein wichtiger Faktor, um die Spitzen von Wind und Sonne auszugleichen und damit auch die Klimawende durch Dekarbonisierung herbeizuführen.

Die heute aus erneuerbaren Energien erzeugte Strommenge reicht aber bei Weitem nicht aus, um diese hohen Mengen an Wasserstoff zu produzieren. Laut Schätzungen werden 2050 für die Herstellung von Wasserstoff in Österreich knapp 100 Terrawattstunden benötigt [6]. Im Vergleich dazu beträgt die heute durch Wind und Sonne erzeugte erneuerbare Strommenge etwa 8 Terrawattstunden.

Die entsprechenden energiepolitischen Maßnahmen müssen daher heute gesetzt werden, um die Voraussetzungen für eine weitgehende Dekarbonisierung – nicht nur im Zementbereich – zu schaffen.

Zusammenfassung und Ausblick

Um die Ziele des Pariser Abkommens von 2015 in der Zementindustrie umzusetzen, reichen herkömmliche CO₂-Vermeidungsmaßnahmen, d.h. in erster Linie die weitere Reduktion des Klinkerfaktors, die Optimierung der Energieeffizienz und der Einsatz von Ersatzbrennstoffen, nicht mehr aus.

Um auch das Rest-CO₂ von etwa 500 Kilogramm CO₂ pro Tonne Zement auf nahezu Null zu reduzieren, müssen bahnbrechende Technologien angedacht werden, die das CO₂ aus dem Zementofen-Abgas herausholen, sprich einfangen (sogenannte Carbon Capture Technologien). Derartige Lösungen werden in Pilotanlagen in der Zementindustrie bereits getestet und auf ihre Industrietauglichkeit untersucht. Eine zukunftsorientierte Nutzung, d.h. Utilisation (CCU) des CO₂ zu grünen Treibstoffen oder grünem Rohstoff für die Herstellung von Polymeren existiert bereits, bedarf jedoch sehr hoher Mengen an Wasserstoff.

Die heute wichtigste zu setzende Maßnahme ist, neben der großtechnischen Entwicklung der Carbon-Capture Technologien durch die Zementindustrie, vor allem die zur Verfügungstellung ausreichender Mengen an billigen, grünen, erneuerbaren Strom und ein entsprechender Ausbau der Netzinfrastruktur. Politische Entscheidungen müssen also mit schnellen Schritten erfolgen, denn wir sprechen hierbei von einer mehr als Verzehnfachung des notwendigen regenerativen Stromanteils durch Wind bzw. Photovoltaik bis zum Jahr 2050.

Literatur

- [1] Malte Meinshausen, Dec 2015, Summary Figures on Paris Agreement
- [2] ECRA and CEMBUREAU calculations, Building carbon neutrality in Europe
- [3] IEA (International Energy Agency) and CSI (Cement Sustainability Initiative), 2018, Technology Low-Carbon Transition in the Cement Industry
- [4] Konsortium Westküste 100, Internet-Seite <https://www.westkueste100.de/>
- [5] The Pembina Institute with Integrated CO₂ Network (ICO2N), <https://www.pembina.org/>
- [6] Schätzung Stromverbrauch Österreich bzw. Wasserstoffbedarf:
 - 1) Statistik Austria, 2017
 - 2) voestalpine (Stahlindustrie 2018)
 - 3) Berechnungen der österr. Energieagentur basierend auf Lindorfer et al., 2017, Greening the Gas
 - 4) Institut für industrielle Ökologie (Chem. Industrie), 2018

F&E Materialinnovationen bei Beton

Textilbeton in Forschung und Entwicklung

DI Dr. Philipp Preinstorfer

O.Univ.Prof. Dr.-Ing. Johann Kollegger

TU Wien, *Wien*

Textilbeton in Forschung und Entwicklung

Dipl.-Ing. Dr.techn. Philipp Preinstorfer

O.Univ.Prof. Dr.-Ing. Johann Kollegger

TU Wien – Institut für Tragkonstruktionen/Betonbau

Philipp.preinstorfer@tuwien.ac.at

www.betonbau.tuwien.ac.at

Textilbeton ist eine der wesentlichsten Inventionen der letzten beiden Jahrzehnte im Bereich des Betonbaus. Durch die hervorragenden Materialeigenschaften ist der Bau leichter, sehr filigraner Tragwerke möglich, die den konventionellen Stahlbetonbau sinnvoll ergänzen. Darüber hinaus ist Textilbeton zum Sanieren und Ertüchtigen bestehender Tragwerke geeignet. Der folgende Beitrag vermittelt einen Eindruck zum derzeitigen Entwicklungsstand von Textilbeton. Insbesondere soll das große Potential dieses neuartigen Verbundwerkstoffs aufgezeigt, aber auch weiterhin bestehende Herausforderungen diskutiert werden. Des Weiteren soll gezeigt werden, welchen Beitrag das Institut für Tragkonstruktionen der TU Wien bei der Entwicklung von Textilbeton leistet

Was ist Textilbeton?

Textilbeton ist ein Verbundwerkstoff, bestehend aus Textilbewehrung und einer feinkörnigen Betonmatrix. Die Bewehrung wird aus Hochleistungsfasern (in der Regel Glas oder Carbon) in einem textilen Herstellungsprozess gefertigt. Die Bewehrung zeichnet sich durch ausgezeichnete mechanische Kennwerte und eine hohe Dauerhaftigkeit aus. So besitzt Carbon eine Festigkeit von ca. 3000 MPa während gleichzeitig keine Korrosionsgefahr vorhanden ist. Dadurch lassen sich sehr leichte Tragwerke erstellen, die bei richtiger Konzipierung eine hohe Lebensdauer aufweisen.

Derzeitiger Entwicklungsstand

Textilbeton ist ein relativer junger Werkstoff, der noch in Entwicklung begriffen ist. Grundlegende Untersuchungen zu diesem Werkstoff wurden in Deutschland an den beiden technischen Hochschulen RWTH Aachen und TU Dresden durchgeführt [1, 2]. Das Anwendungsspektrum von Textilbeton reicht von leichten, filigranen Brückentragwerken [3], über freigeformte bzw. gekrümmte Bauteile [4, 5] bis hin zu Sanierungen und Ertüchtigungen [6]. Ein Überblick über bereits realisierte Projekte in den jeweiligen Anwendungsgebieten ist in [7] zu finden. Derzeit wird in einem großen Forschungsprojekt in Deutschland, genannt C³ [8], an dem zahlreiche wissenschaftliche Einrichtungen und Industriepartner beteiligt sind, das Fundament für einen breiten Markteintritt geschaffen.

Forschung am Institut

In der Herstellung von Textilbewehrung ist, aufgrund der höheren Wirtschaftlichkeit und Tragfähigkeit, ein Trend zu großen Faserquerschnittsflächen der Faserstränge (Heavy Tows), welche zusätzlich mit einem steifen Tränkungsmedium imprägniert werden, zu sehen [9]. In Untersuchungen am Institut für Tragkonstruktionen der TU Wien konnte speziell für diese Art der Bewehrung aber ein Verbundversagen in Form einer Spaltrissbildung in der Ebene der textilen Bewehrung, die zu einem Abplatzen der Betondeckung führte, beobachtet werden [10]. Im konventionellen Stahlbetonbau

wird eine Längsrisssbildung konstruktiv durch Erhöhung der Betondeckung vermieden. Im Fall von Textilbeton würde dies aber der leichten Bauweise widersprechen.

Um die Mechanismen demnach zu identifizieren, die zu dieser Spaltrissbildung führen, wurden zahlreiche Untersuchungen zum Verbundverhalten von Textilbewehrungen in Beton durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass insbesondere die Steifigkeit des Tränkungsmaterials und die Geometrie der Faserstränge wesentlichen Einfluss auf das Verbundverhalten haben [11]. Während für hochmodulige Tränkungsmaterialien ein Formverbund der Bewehrung mit dem Beton erzielt werden kann, die mit einem sehr steifen Verbundverhalten einhergeht, hat insbesondere die Form des Faserstranges Einfluss auf die Spannungsverteilung im Betonkörper. So ergibt sich für flache Faserstränge eine sehr gerichtete Spaltzugbeanspruchung orthogonal zur Ebene der textilen Bewehrung, während für runde Faserstränge eine gleichmäßigere Spannungsverteilung erzielt wird. Im Fall von flachen Fasersträngen (ergibt sich speziell bei großen Faserquerschnittsflächen), welche mit einem hochmoduligen Tränkungsmaterial imprägniert sind, steigert sich die Spaltzugbeanspruchung in der Folge überproportional, womit eine hohe Rissgefahr einhergeht. Auf Basis der Untersuchungen wurde in [12] ein Modell vorgestellt, das es ermöglicht die auftretenden Spaltzugbeanspruchung zu ermitteln.

Literatur

- [1] Textile Bewehrungen zur bautechnischen Verstärkung und Instandsetzung. in: TU Dresden (Ed.), Sonderforschungsbereich (SFB) 528, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2011.
- [2] Textilbewehrter Beton - Grundlagen für die Entwicklung einer neuartigen Technologie. in: RWTH Aachen (Ed.), Sonderforschungsbereich (SFB) 532, Deutsche Forschungsgemeinschaft, 2012.
- [3] Helbig, T.; Unterer, K.; Kulas, C.; Rempel, S.; Hegger, J.: Fuß- und Radwegbrücke aus Carbonbeton in Albstadt-Ebingen. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016), Heft 10, S. 676-685.
- [4] Scholzen, A.; Chudoba, R.; Hegger, J.; Will, N.: Leichte Dachschaalen aus Carbonbeton. Beton- und Stahlbetonbau 111 (2016), Heft 10, S. 663-675.
- [5] Kromoser, B.; Ritt, M.: Optimierte Formen aus Textilbeton am Beispiel der Grillmöbel „Donauwelle“. Bauingenieur 91 (2016), S. 425-433.
- [6] Erhard, E.; Weiland, S.; Lorenz, E.; Schladitz, F.; Beckmann, B.; Curbach, M.: Anwendungsbeispiele für Textilbetonverstärkung. Beton- und Stahlbetonbau 110 (2015), Heft S1, S. 74-82.
- [7] Ehlig, D.; Schladitz, F.; Frenzel, M.; Curbach, M.: Textilbeton – Ausgeführte Projekte im Überblick. Beton- und Stahlbetonbau 107 (2012), Heft 11, S. 777-785.
- [8] Lieboldt, M.; Schladitz, F.; Curbach, M.: Mit Carbon Concrete Composite C³ neue Dimensionen des Bauens gestalten. Dresdner Transferbrief 21 (2014).
- [9] Curbach, M.; Jesse, F.: Eigenschaften und Anwendung von Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau 104 (2009), Heft 1, S. 9-16.
- [10] Preinstorfer, P.; Kromoser, B.; Kollegger, J.: Flexural behaviour of filigree slab elements made of carbon reinforced UHPC. Construction and Building Materials 199 (2019), S. 416-423.
- [11] Preinstorfer, P.; Kromoser, B.; Kollegger, J.: Einflussparameter auf die Spaltrissbildung in Textilbeton. Beton- und Stahlbetonbau 113 (2018), Heft 12, S. 877-885.
- [12] Preinstorfer, P.: Zur Spaltrissbildung von textilbewehrtem Beton. TU Wien, Institut für Tragkonstruktionen, Dissertation, 2019.

F&E Materialinnovationen bei Beton

Universelles Schalenelement aus UHPC zum zukünftigen Bauen mit Fertigteilen

Dr. Michael Olipitz
SDO ZT GmbH, *Graz*

Zukunftsweisendes Bausystem mit UHPC Fertigteilen.

Autor: Dr. Michael Olipitz

SDO ZT GmbH

Graz bzw. Atelier Kunstmühle Gorintschach

office@olipitz.com

www.olipitz.com

Konstruktive Fertigteile aus ultra high performance concrete (UHPC), wie sie in der künftigen Österreichischen Richtlinie [1] für UHPC exemplarisch für den Infrastrukturbau aufgezeigt wird, zeichnen sich bei materialgerechter Anwendung durch eine hohe Ressourceneffizienz aus. Im Baustoff UHPC, wie er im deutschen Sachstandsbericht [2] als UHFB (dt. Begriff) beschrieben wird, kommen gerichtete oder ungerichtete Stahlelemente zum Einsatz, die zu einem positiven Bruchankündigungsverhalten von Bauteilen führen. Die Verarbeitung des neuen Baustoffes als Fertigteil mit entsprechender Füge-technik ermöglicht eine spätere Zerlegbarkeit im Sinne von urban-mining.

Die materialgerechte Anwendung des Baustoffes UHPC führt unmittelbar zu Schalen- oder Falwerkstrukturen [3], die sich die geometrische Steifigkeit zu Nutze machen. Dies ermöglicht Bauteildicken von 30 mm bis 60mm und damit einen ressourcenschonenden Einsatz. Die geringe Porosität und der damit verbundene hohe Widerstand gegen klimatische, mechanische und chemische Einwirkungen garantiert auch bei diesen geringen Bauteildicken eine hohe Dauerhaftigkeit der Bauteile.

Beschreibung des Basiselementes

Das Basiselement, das alle Anforderungen materialgerechter Planung gerecht wird, ist eine Tragplatte, die im Grundriss eine beliebige Form aufweist (siehe Abbildung 1). Die Tragplatte weist eine beliebig angeordnete Falte auf, die zwei ebene Flächen im Winkel α aufspannt. Der Querschnitt der Tragplatte ist planparallel und weist eine Dicke von 30-50mm auf. Enthält die Platte eine Vorspannlitze, welche in einem Hüllrohr mit Innendurchmesser $DN \geq 21\text{mm}$ geführt wird, so beträgt die Mindestdicke 50-60mm (siehe Bild 1b). Kreuzen sich die Vorspannkabel in der Ebene, so wird eine Rippe ausgebildet. Als Vorspannsystem wird die „Vorspannung mit nachträglichem Verbund“ verwendet.

Anwendungsmöglichkeiten

Mit den im Fertigteilwerk in Serie herzustellenden, universellen Schalenelementen wird der Bau von flächenhaften Konstruktionen mit hoher Ressourceneffizienz ermöglicht. Die verschraub- und oder verspannbaren Verbindungen der Elemente implementieren eine spätere Zerlegbarkeit und damit eine sehr nachhaltige Anwendung von UHPC Bauteilen im Sinne von urban-mining.

Mit der Herstellung dieses universellen Schalenelementes sind eine Vielzahl an Ausführungsmöglichkeiten in der bautechnischen Anwendung von Architekturelementen, Ingenieurbauten bis hin zu Katastrophenschutzbauten sowie Hochbaubauteile möglich.

Architekturelemente

Zu den ersten Anwendungen der UHPC-Schalenbauweise in unserem Büro zählen Architekturelemente.

- Stiegenlaufplatten
- Skulpturale Gebilde

Ingenieurbau

Im Ingenieur- wie im Hochbau kommen die UHPC Elemente als Schalen- oder Faltenwerkstruktur zum Einsatz. Das Konstruieren im Raum unter Ausnutzung von geometrischen Steifigkeiten bekommt in ingenieurbautechnischen Anwendungen eine besondere Bedeutung. Der Formfindungsprozess im Einklang mit der Natur, Ethik und Ästhetik ist Bestandteil der Entwurfsarbeit des Bauingenieurs.

- Brücken aus UHPC Fertigteilen [4]
- Hochwasserschutzelemente

Hochbau

Durch die Möglichkeit der serienmäßigen Herstellung der t-USE Elemente und der einfachen Montage durch flexible Regelanschlüsse aus Stahl sowie deren Vorteile in einer LifeCycle Betrachtung besteht auch wirtschaftlich die Möglichkeit eines neuerlichen Aufschwunges der Schalenbauweise für einen größeren Einsatz im Hochbau. Als Beispiele gelten.

- Balkone
- Vordächer oder Dachstrukturen (Abbildung 2)

Der Einsatz von UHPC Fertigteilen für Architekturelemente, Ingenieurbauten und im Hochbau zeigt die vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten dieser Bauweise. Zweifellos ist der wesentliche Vorteil in der Dauerhaftigkeit des UHPC Baustoffes zu finden. Eine werkstoffgerechte Planung des Baustoffes UHPC führt zu ressourceneffizienten und damit nachhaltigen Konstruktionen. Die Einsparungen im Materialaufwand durch die effiziente Bauweise schafft bei Anwendungen im Hochbau eine nahezu ausgeglichene Primärenergiebilanz gegenüber herkömmlichen Stahlbetonkonstruktionen [5]. Die Vorteile ergeben sich aus den Einsparungen in den Folgekonstruktionen aus geringem Eigengewicht, erhöhter Dauerhaftigkeit und ästhetisch anspruchsvollen Konstruktionen. Im Ingenieurbau werden diese Vorteile im sogenannten NEA-Prinzip subsummiert.

Literatur

- [1] ÖBV -Arbeitskreis Materialtechnologie UHPC – Ultra high Performance Concrete zur Erstellung einer Richtlinie. Seit 2017 aktiv.
- [2] DAfStb Deutscher Ausschuss für Stahlbeton UA UHFB N67 – Sachstandsbericht UHFB Druckfassung 2007-05-21.
- [3] Vortrag WKO 2017, Kolloquium Forschung und Entwicklung für Zement und Beton 2017 (Seite 42-43): „Die UHPC-Schalenbauweise – Anwendungsbeispiele für den Hoch- und Brückenbau“
- [4] Olipitz, Michael: „Small bridges up to 32.5 meter span in UHPC-construction – bridge systems with aesthetic requirements“, In: Proceedings The 12th Central European Congress on Concrete Engineering – Innovative Materials and Technologies for Concrete Structures, Tokaj, Hungary, 2017.
- [5] Juhart, Joachim, ökobilanzielle Abschätzung nach Grundsätzen der ISO 14040 und 14044, unveröffentlicht, TU Graz, Institut für Materialprüfung und Baustofftechnologie mit TVFA

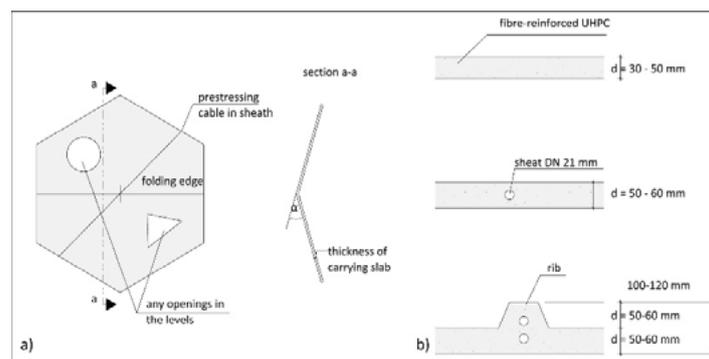


Abbildung 1: t-USE Baseelement a) Grundriss und Schnitt, b) Querschnittsformen

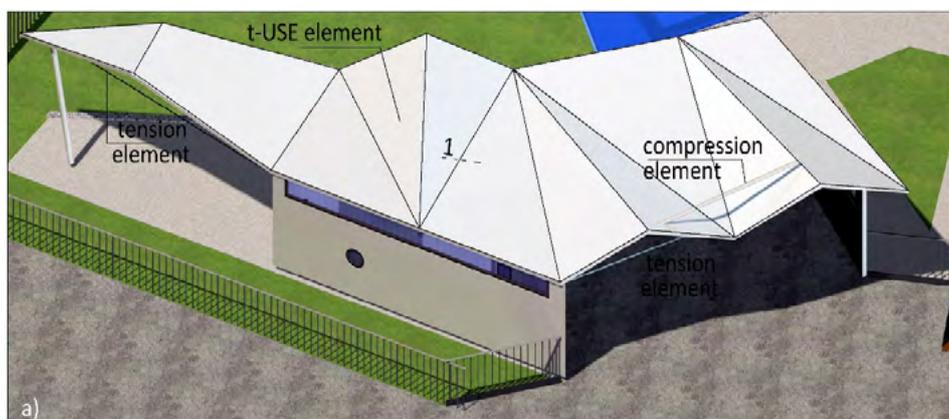


Abbildung 2: Dachstrukturen

F&E Materialinnovationen bei Beton

Vorgespannter UHPC-Hohlkasten – Herstellung und experimentelle Untersuchung

DI Goran Vojvodic BSc.

Univ.Prof. Dr.-Ing. habil. Viet Tue Nguyen

TU Graz, *Graz*

Vorgespannter UHPC-Hohlkasten – Herstellung und experimentelle Untersuchung

Vojvodic Goran, Nguyen Viet Tue

Institut für Betonbau, Technische Universität Graz

vojvodic@tugraz.at, tue@tugraz.at

www.ibb.tugraz.at

Wegen der sehr hohen Druckfestigkeit, hohen Dichtigkeit der Gefüge und hervorragenden Dauerhaftigkeit, ist der UHPC für die dünnwandige Konstruktion besonders geeignet. Eine Anwendungsmöglichkeit ist sicherlich ein Brückenverbundtragwerk als Einfeldträger bestehend aus dem schlanken, vorgespannten UHPC-Hohlkasten, welcher mit einer Platte aus normal-festem Beton (NSC) ergänzt wird. Ein solches Bauteil wurde konzipiert. Danach wurde die Herstellung eines Musterelements in einem Fertigteilwerk erprobt. Weiters wurde das globale Tragverhalten dieses innovativen Verbundbauteils untersucht.

Materialien

Für den UHPC wurde eine selbstverdichtende Mischung mit einem Größtkorn $\leq 0,8$ mm, einem E-Modul von etwa 54000 N/mm^2 und der Druckfestigkeit von etwa 180 N/mm^2 verwendet. Die eingesetzten Micro-Stahlfasern sind vermessingt, strukturiert mit einer Zugfestigkeit von etwa 3800 N/mm^2 . Der Fasergehalt beträgt $2,0 \%$. Die Erstrisszugfestigkeit des UHPC beträgt $8,5 \text{ N/mm}^2$, die Nachrisszugfestigkeit etwa $9,0 \text{ N/mm}^2$. Für die Vorspannlitzen wurden 7-drähtige, $0,62''$ Monolitzen, mit einer Querschnittsfläche von 150 mm^2 und Stahlgüte $1660/1860 \text{ N/mm}^2$ eingesetzt. Für die NSC-Platte wurde ein Lieferbeton C30/37 verwendet.

Die Herstellung des vorgespannten UHPC-Hohlkastens im Fertigteilwerk

Die Herstellung des, im Verhältnis 1:2 skalierten, Musterelements (Abb. 1) erfolgte im Fertigteilwerk.

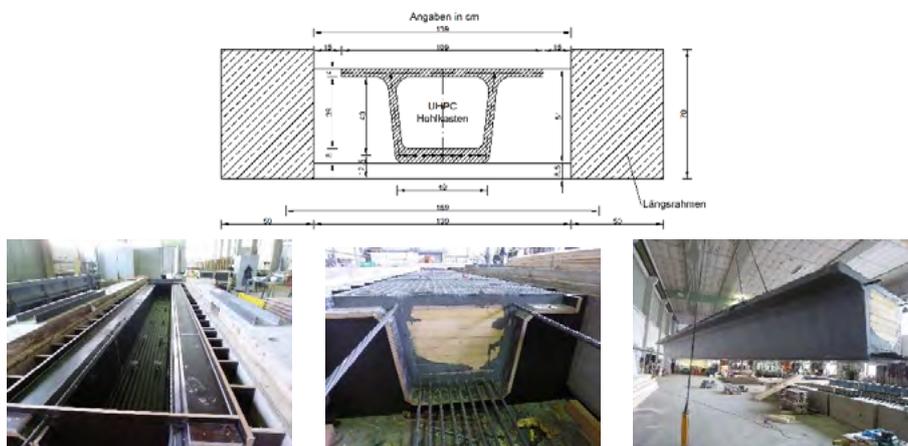


Abbildung 1: Querschnitt des UHPC-Hohlkastens und des Spannbettes (oben), äußere und innere Schalung samt Spannbettvorspannung für die Herstellung des Hohlkastens (unten links und Mitte), fertiges Musterelement (unten rechts)

Nach Herstellung der äußeren Schalung wurden die Vorspannlitzen positioniert und vorgespannt. Als Spannbett dienten die Betonlängs- und Stahlquerträger. Die innere Schalung wurde mit XPS-Platten umgesetzt und durch Abstandhalter in der Lage gehalten. Der 7 Meter lange Hohlkasten wurde monolithisch durch Befüllen von einer Stegseite mit selbstverdichtendem UHPC hergestellt. Als Verzahnungsfuge zwischen UHPC Hohlkasten und NSC Platte wurde eine Waffelstruktur an der Hohlkasten-Oberseite ausgeführt. Zwei Tage nach Herstellung wurde die Vorspannung durch Durchschneiden der Litzen abgelassen und der Träger ausgeschalt.

Die experimentelle Untersuchung des vorgespannten UHPC-Hohlkastens

Der Versuchskörper wurde im Dreipunkt-Biegeversuch getestet. Gemessen wurde die Durchbiegung in der Mitte und in den Drittelpunkten, sowie der Litzenschlupf und Schlupf der Fuge zwischen UHPC und NSC. Die Biege- und Schubrisse wurden durch ein digitales Bildkorrelation-System an zwei Stellen des Verbundhohlkastens aufgenommen.

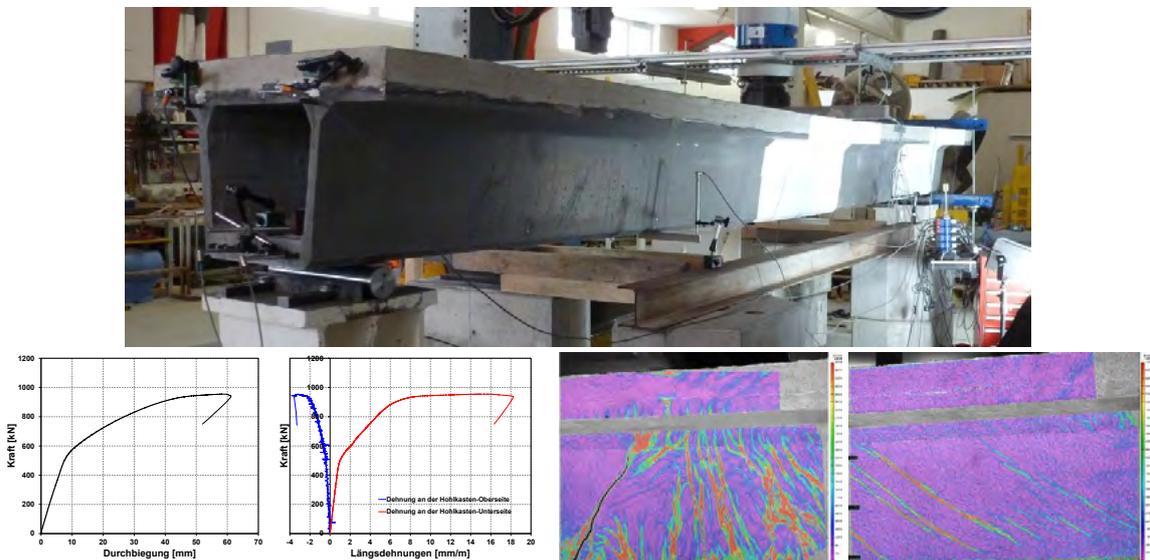


Abbildung 2: Versuchsbauteil beim Erreichen der Tragfähigkeit (oben), Kraft-Durchbiegungs- und –Längsdehnungs-Diagramm (unten links) und Biege- und Schubrisse beim Erreichen der Traglast, Aufnahmen mit dem digitalen Bildkorrelationssystem (unten rechts)

Der UHPC-NSC Verbundhohlkasten erreichte eine Traglast von 950 kN, danach trat ein duktiler Biegeversagen ein (Abb. 2). Die erreichte Traglast ist etwa 100 kN höher als die vorausgerechnete Tragkapazität. Deutlich erkennbar war die Steifigkeitsabnahme ab etwa 550 kN (Abb. 2.) mit immer größer werdender Anzahl von Biegerissen im Untergurt und in den Stegen. Die ersten Schubrisse wurden bei etwa 650 kN im Bereich der Stege beobachtet. Es wurde kein Litzenschlupf und kein Schlupf der Verbundfuge zwischen UHPC und NSC festgestellt.

Zusammenfassung

Die erfolgreiche Herstellung und der Bauteilversuch an dem UHPC-Hohlkasten mit der NSC-Deckschicht kann für die erste Einschätzung des Tragverhaltens, der Gebrauchstauglichkeitsgrenze und einer Bemessung auf der sicheren Seite eingesetzt werden.

Danksagung

Die Autoren bedanken sich herzlich bei den Fördernden; der Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) sowie den Industriepartnern Kirchdorfer Fertigteilverwaltung GmbH und Voestalpine Special Wire GmbH für ihre Unterstützung. Dank gilt auch der FH Kärnten für ihre Mitarbeit im Rahmen des Forschungsprojektes, sowie dem Fertigteilverwerk Rauter im Niederwölz.

F&E Materialinnovationen bei Beton

Das Abplatzverhalten von wärmebehandeltem UHPC unter Brandbelastung

DI Dr. Johannes Kirnbauer
TU Wien, *Wien*

Das Abplatzverhalten von wärmebehandeltem UHPC unter Brandbelastung

DI Dr. Johannes Kirnbauer

TU Wien, Institut für Werkstofftechnologie, Bauphysik und Bauökologie, Forschungsbereich für Baustofflehre und Werkstofftechnologie, Wien

johannes.kirnbauer@tuwien.ac.at

Ultra High Performance Concrete (UHPC) ist bekannt für seine hohe Druckfestigkeit und seine hervorragende Haltbarkeit. Die Hauptgründe für diese Eigenschaften sind ein sehr niedriger Wasserbindemittelwert und die Verwendung von reaktiven Zusatzstoffen (z.B. Silikastaub), die zu einer dichten Mikrostruktur mit sehr geringer Permeabilität führen. Diese Umstände machen UHPC sehr empfindlich gegenüber Brandlasten und er neigt daher besonders stark zum explosiven Abplatzen bei Brandbelastung.

In dieser experimentellen Arbeit wurden Wärmebehandlungen bei 105°C und 250°C angewendet. Alle Proben wurden mehr als ein halbes Jahr lang unter verschiedenen Bedingungen gelagert, um für die Brandprüfungen (ETK-Brandkurve) unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte zu erzeugen.

Zur Beschreibung der Materialeigenschaften wurden Luftgehalt, Ausbreitmaß, Biegezugfestigkeit, Druckfestigkeit und Porengrößenverteilung (Quecksilberporosimetrie) bestimmt. Die Massenänderungen der Probekörper durch Behandlung und Lagerung wurden ebenfalls ermittelt. Während der Brandprüfung wurden die Temperaturverteilung in den Probekörpern, der Beginn und die Dauer des Abplatzens beobachtet. Nach dem Brandversuch wurde die Masse des abgeplatzten Materials und seine Partikelgrößenverteilung (Sieblinie) bestimmt, um das Abplatzverhalten zusätzlich zu beschreiben.

Einleitung

Die Wärmebehandlung von UHPC wird häufig zur Erhöhung der Festigkeit eingesetzt, obwohl die Porosität mit steigender Nachbehandlungstemperatur zunimmt und sich die Porengrößenverteilung ändert [1],[2]. Bei einer Temperatur zwischen 230 und 250°C wird viel Wasser aus amorphen CSH-Phasen freigesetzt, was auf die Bildung von kristallinem Xonolith hinweist, das die Festigkeit erhöht [3]. Die Beschreibung des Einflusses der Wärmebehandlung von UHPC auf das Abplatzverhalten war ein Ziel dieser Arbeit.

Versuchsprogramm

Mischungszusammensetzung

Für die Untersuchungen wurde eine Standard-UHPC-Mischung verwendet. Die Mischungszusammensetzung ist in Tabelle 1 angegeben. Der W/Z-Wert dieser Mischung betrug 0,28 und das Volumenverhältnis Wasser/Feinteile W/F_v 0,45.

Tabelle 1: Mischungszusammensetzung für 1 m³ Beton

Komponenten	REF [kg/m ³]
CEM I 52,5 N C ₃ A fre1	681,2
Silikastaub	170,3
Quarzmehl 10000	340,6
Quarzsand 0,1-0,5mm	895,7
Fließmittel	44,3
Wasser (inkl. Flüssiganteil des Fließmittels)	190,8
Frischbetondichte	2290
Luftgehalt des Frischbetons [Vol.%]	4

Probekörper, Nachbehandlung und Lagerung

Zur Bestimmung der Festigkeitseigenschaften wurden Prismen 40x40x160mm³ und für die Brandversuche wurden Platten mit den Abmessungen 250x300x40mm³ hergestellt.

In Abbildung 1 ist das Schema der Nachbehandlung und Lagerung dargestellt.

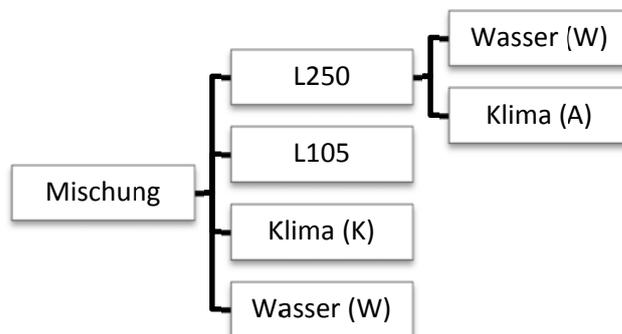


Abbildung 1: Schema der Nachbehandlung und Lagerung

Nach dem Ausschalen wurde ein Teil der Probekörper bis zu den Prüfungen im Klimaraum (K) bei 20°C und 65% rel. Feuchtigkeit bzw. unter Wasser (W) bei Raumtemperatur gelagert. Die Lagerung der Proben im Trockenschrank bei 105°C (L105) erfolgte bis einen Tag vor den Prüfungen. Die Nachbehandlung bei 250°C dauerte rund 80 Stunden (0,1 K/min Aufheiz- und Abkühlrate, 5 Stunden Haltezeit bei 250°C). Danach wurde wieder ein Teil der Proben im Klimaraum und ein Teil unter

Wasser gelagert. Es wurden für jede Kombination zwei Versuchskörper hergestellt, wobei die erste Versuchsserie nach ca. 245 Tagen Lagerung und die zweite nach ca. 273 Tagen Lagerung geprüft wurde.

Ofen für Brandversuche

Der Ofen selbst ist eine einfache Konstruktion aus Feuerleichtsteinen (Abbildung 2). Der Probekörper wurde oben aufgelegt und die befeuerte Fläche betrug 230x250mm. Ein geneigter Boden und eine seitliche Klappe ermöglichte das saubere Auffangen des abgeplatzten Materials für spätere Analysen. Die Befuerung nach der Einheitstemperaturkurve (ETK) erfolgte mit einem Propangas-Brenner und wurde mit zwei Mantelthermoelementen (Typ K) geregelt. Die Brandversuche dauerten jeweils 70 min bzw. bis zum Versagen der Probekörper.



Abbildung 2: Ofen für die Brandversuche

Ausgewählte Ergebnisse

Einfluss der Wärmebehandlung auf die Porengrößenverteilung

In Abbildung 3 ist Einfluss der Wärmebehandlung bei 250°C auf die Porengrößenverteilung und das Gesamtporenvolumen dargestellt.

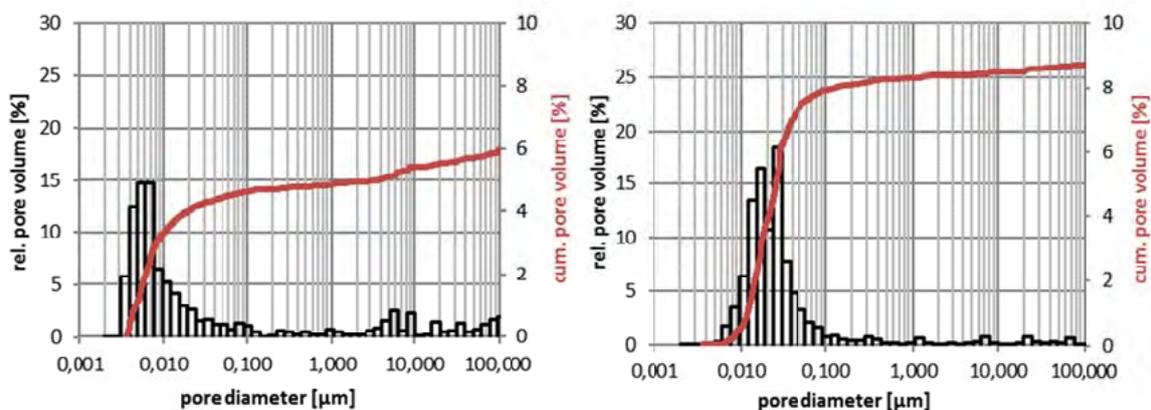


Abbildung 3: Einfluss der Wärmebehandlung bei 250°C auf die Porengrößenverteilung und das Gesamtporenvolumen (links: gelagert bei Raumtemperatur, rechts: Wärmebehandelt bei 250°C)

Das Gesamtporenvolumen stieg durch die Wärmebehandlung bei 250°C von 6% auf 8,7% und der mittlere Porendurchmesser von 8,8nm auf 20nm. Die Änderung der Porosität bei der 105°C Wärmebehandlung war nur sehr gering, zeigte aber prinzipiell die gleiche Tendenz wie bei der 250°C Wärmebehandlung.

Zeitliches Abplatzverhalten

Die Abbildung 4 zeigt den zeitlichen Verlauf des Abplatzens während der Brandversuche.

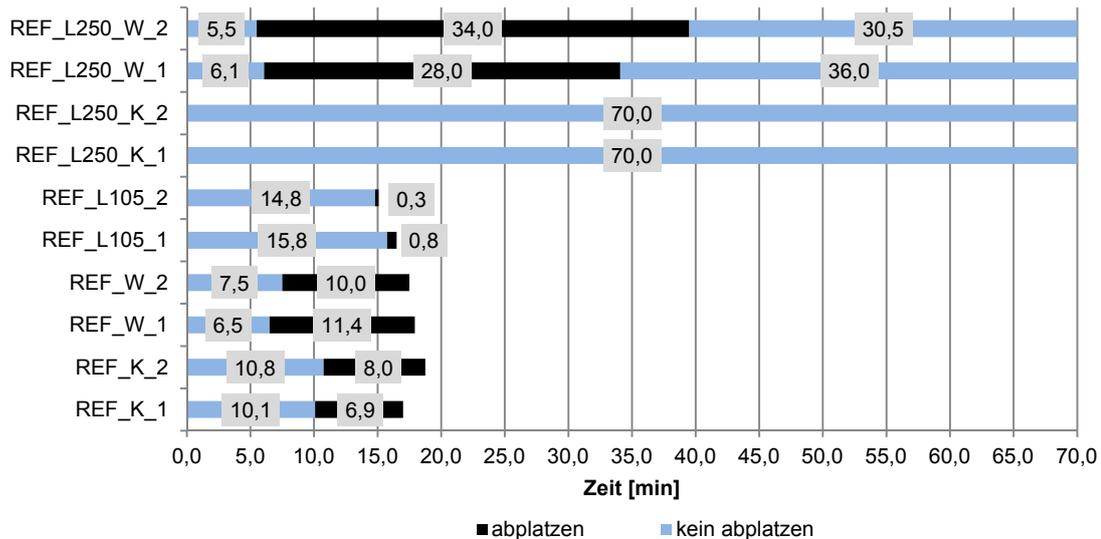


Abbildung 4: Abplatzbeginn, Dauer der Abplatzungen und Abplatzende

Die jeweils zwei Probekörper weisen praktisch das gleiche Abplatzverhalten auf. Das Abplatzverhalten der nicht wärmebehandelten Probekörper wird vom Feuchtegehalt bestimmt. Die klimagelagerten Probekörper wiesen einen geringeren Wassergehalt (3,8%) auf, der Abplatzbeginn war später als bei den wassergelagerten, dafür waren die Explosionen heftiger. Die wassergelagerten Probekörper (4,6%) platzen früher ab und die Anzahl der weniger heftigen Explosionen war deutlich höher.

Die bis einen Tag vor der Brandprüfung bei 105°C gelagerten Probekörper können als praktisch trocken angesehen werden. Nach etwa 200 Tagen Lagerung war Massenkonstanz erreicht und es befand sich praktisch kein freies Wasser mehr im Beton. Trotzdem platzten die Proben nach ca. 15 Minuten ab. Es gab nur wenige, dafür aber umso heftigere Explosionen, bevor die Probekörper versagten. Nach den ca. 15 min Versuchsdauer war die Temperatur im Probekörper so groß, dass Hydratwasser(-dampf) freigesetzt wurde. Allerdings war die Änderung der Porosität durch die 105°C Lagerung zu gering, um den Dampf vor Erreichen eines kritischen Druckes abzuführen.

Die bei 250°C wärmebehandelten und danach im Klimaraum gelagerten Proben wiesen einen sehr geringen Wassergehalt (0,3%) auf und überstanden den Brandversuch unbeschadet.

Die bei 250°C wärmebehandelten und danach unter Wasser gelagerten Proben wiesen einen Wassergehalt von 3,1% auf und überstanden den Brandversuch zwar, allerdings gab es ca. 30 min lang immer wieder kleinere Abplatzungen. Die abgeplatzte Masse war aber nur gering.

In diesem Fall war die Aufweitung der Porenstruktur durch die 250°C Wärmebehandlung offenbar groß genug, um das Wasser bzw. den Wasserdampf aus der Entwässerung der CSH-Phasen und auch den Anteil aus dem freiem Wasser abzuführen.

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde das Abplatzverhalten von UHPC unter Brandbelastung bei unterschiedlichen Nachbehandlungs- und Lagerungsmethoden untersucht.

Die dichte Mikrostruktur führt zu intensiven Abplatzen bei Brandbelastung, wenn keine zusätzlichen Maßnahmen ergriffen werden.

Eine Wärmebehandlung bei 250°C kann die Porenstruktur aufweiten und ein Abplatzen verhindern bzw. zumindest verringern.

Allein der durch die Entwässerung der CSH-Phasen während des Brandversuchs entstehende Wasserdampf kann zu heftigen Abplatzen und einem frühzeitigen Versagen führen.

Literatur

- [1] Diederichs, U.; Mertzsch, O.: „Behavior of Ultra High Strength Concrete at High Temperatures“, In: Fehling, E.; Schmidt, M.; Stürwald, S. (Hrsg.): *Ultra high performance concrete (UHPC). Proceedings of the Second International Symposium on Ultra High Performance Concrete*. Kassel, Germany, March 05-07, 2008. S. 347-354.
- [2] J. Kirnbauer, "The Influence of Vacuum Mixing on the Porosity of Ultra High Performance Concrete", *Advanced Materials Research*, Vol. 897, pp. 266-269, 2014
- [3] Dehn, F.: „Ultrahochfester Beton“, In: *Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau (Hrsg.): Arconis spezial. Ultrahochfester Beton. Forschungsergebnisse, Entwicklungen, Projekte*. Stuttgart: Fraunhofer-IRB-Verlag, 2004, S. 60–64.

F&E Materialinnovationen bei Beton

WorldSkills 2019 – Goldener Hattrick für Österreichs Fachkräfte- nachwuchs im Betonbau

Bmstr. Dipl.-Päd. Ing. Thomas Prigl, BEd
Berufsschule für Baugewerbe, *Wien*

und die Sieger der WorldSkills 2017 und 2019

WorldSkills 2019 – Goldener Hattrick für Österreichs Fachkräftenachwuchs im Betonbau

Bmstr. Dipl.-Päd. Ing. Thomas Prigl, BEd, Berufsschule für Baugewerbe, Wien und die Sieger der WorldSkills 2017 und 2019

Autor Bmstr. Dipl.-Päd. Ing. Thomas PRIGL, BEd,
Berufsschule Baugewerbe, 1220 Wien

Hattrick - Die Betonbauer sind dreimal in Folge mit einer Goldmedaille von den Berufsweltmeisterschaften zurück.

2015 bei Worldskills in Sao Paulo und 2017 bei Worldskills in Abu Dhabi und WorldSkills 2019 in Kazan.

Betonbauweltmeister 2015: Michael Haydn & Alexander Hiesberger (STRABAG AG)

Betonbauweltmeister 2017: Alexander Tury & David Wagner (STRABAG AG)

Betonbauweltmeister 2019: Alexander Krutzler & Mateo Grgic (PORR AG)

Betonbaueuropameister 2018: Sebastian Frantes & Markus Haslinger (Leyrer&Graf)

Goldmedaille im Betonbau

Die Betonbauer holten sich die Goldmedaille im Betonbau in Kazan. Beim vierten internationalem Antreten die vierte Goldmedaille.

Die Betreuung erfolgte durch den Betonbauexperten und Berufsschullehrer Baumeister Thomas Prigl.

„Wir sind als zweifacher Weltmeister, somit als Titelverteidiger angetreten und wussten, dass von uns eine Medaille erwartet wird. Der Druck war groß – sehr groß – fast zu groß -, ein Top 3 war unser Ziel, dass es die Goldmedaille wurde ist eine Sensation, Tripleweltmeister gibt es international nicht, die Leistungsdichte ist zu groß. Genauigkeit, Leistungsbereitschaft, Geschwindigkeit, Leidenschaft und Emotion hat uns den Erfolg gebracht. Bei der Siegerehrung sind alle Dämme gebrochen. Es war eine große Herausforderung. Jetzt sind wir Überglücklich und möchten uns bei allen Unterstützern und Ausbildern der Firma, den Berufsschullehrern und dem Ausbilder Franz Lehrner der BAUAkademie Wien sehr herzlich bedanken. Die Basis des Erfolges ist die triale Ausbildung am Bau und das Feintuning im Skillstraining, aber Spitzensport wird im Kopf entschieden“ sagt der stolze Betreuer und Berufsschullehrer Thomas Prigl.

Was war die Wettbewerbsaufgabe?

Ein Gebäude mit 5 mal 6 Meter Länge und 3 Meter Höhe wurde geschalt. Zwei gewinkelte Wände und zwei Unterzüge beschreiben den Raum. Die Decke schließt das Projekt ab. Eine Wandseite wurde in Sichtbetonqualität betoniert und ausgeschalt. Der russische Torbogen schafft einen Bezug zum Gastgeber. Ein Modul war ein Bewehrungskorb für den Unterzug.

Bei WorldSkills wird im mm die Länge, Breite, Höhe sowie der Winkel gemessen. 150 Messpunkte ergeben einen Vergleich, wodurch der Sieger ermittelt wird.

Das Schalungssystem DOKA Frami wurde durch die Schalungstechniker von DOKA geliefert und zur Verfügung gestellt.

Der Beton wurde mit einer Betonpumpe eingebracht. Jedes Team hatte 5m³ zur Verfügung.

Die Gesamte Wettbewerbszeit ist mit 22 Stunden limitiert.

Was macht ein Experte oder Chief Expert bei EuroSkills?

Jedes Land entsendet einen Betreuer, den sogenannten Experten. Die Koordination des Bewerbes erfolgt durch den Chief Experten. Dieser wird am letzten Wettbewerbstag durch die alle Experten für den nächsten Bewerb gewählt.

Beton-Triumph in rot-weiß-rot

Nach vier anstrengenden Tagen und insgesamt 22 Stunden konzentrierter Wettbewerbszeit jubeln Alexander Krutzler und Mateo Grgic am Ende über Platz eins.

Die österreichische Bauwirtschaft beweist, dass in vielen Ausbildungsbetrieben eine sehr gute Ausbildung zum Betonbauer (offizieller Lehrberufsname in Österreich: Schalungsbau) geboten wird. Deshalb tritt Österreich jedes Jahr mit neuen Teilnehmer aus einem anderen Ausbildungsbetrieb an. Die Vielfalt ist unsere Stärke.

Diese Erfolge sollen ein weiterer Impuls für die Ausbildung zum Schalungsbau oder Schalungsbau-maurer in der Doppellehre: „Unsere triale Ausbildung (Betrieb, Berufsschule, Lehrbauhof) ist weltweit unerreicht.

Die österreichischen Teilnehmer haben beeindruckende Leistungen gezeigt und ihr Einsatz hat sich gelohnt. Jede Medaille ist eine zusätzliche Motivation für alle unsere Lehrlinge, die sich derzeit in Ausbildung befinden.“

Per 31.12.2018 werden 657 Schalungsbauer in Österreich wie folgt ausgebildet:

- 54 Schalungsbau
- 537 Doppellehre: Maurer/Schalungsbau
- 66 Doppellehre Tiefbau/Schalungsbau

Der Trend geht zur Doppellehre.

Ab dem 01.01.2020 heißt der Lehrberuf auch in Österreich: BETONBAU

Warum sind unsere Fachkräfte international so erfolgreich?

Als Beispiel nennt der Berufsschullehrer und internationale Chief Expert die 24h Sicherheitsunterweisung (gemäß AUVA Richtlinie) in der Berufsschule. Dadurch dürfen die Lehrlinge nach 12 Monaten Lehrzeit mit gefährlichen Maschinen unter Aufsicht auf der Baustelle und in der Berufsschule arbeiten (im Gegensatz zum jugendlichen Hilfsarbeiter; Ferialpraktikanten, etc. - siehe KJBG). Die Berufsschule ist somit maßgeblich am Erfolg beteiligt :-).

International wird das Ergebnis – der Output – die Skills - der Berufsausbildung in Österreich bewundert und anerkannt. Es wird weltweit versucht die "Duale Ausbildung" zu implementieren. Somit ist unsere Fachkräfteausbildung ein Vorbild für viele Staaten dieser Welt.

Beschreibung des Berufsprofil – Schalungsbau / Betonbau:

1. Einrichten und Absichern von Baustellen und Arbeitsplätzen,
2. Umsetzen von Planvorgaben in die Natur,
3. Herstellen von Schalungen aus verschiedenen Materialien (Holz, Metall, Kunststoff) für Bauteile aus Beton und Stahlbeton,
4. Herstellen von Bewehrungen (zB aus Bewehrungsstahl oder Betonstahlmatten) sowie Einbringen und Verankern von Bewehrungen,
5. Einbringen von vorgefertigtem Beton oder auf der Baustelle angefertigtem Beton in Schalungen,
6. Verdichten, Glätten und Ausgleichen von Beton sowie Schützen und Nachbehandeln von Betonoberflächen,
7. Instandhalten und Sanieren von Beton- und Stahlbetonbauteilen,
8. Ausführen der Arbeiten unter Berücksichtigung der einschlägigen Sicherheitsvorschriften, Normen und Umweltstandards.

CONCRETE CONSTRUCTION WORK:

Hello, my name is Thomas Prigl, I am from Austria. Many thanks for the invitation and the possibility for this presentation.

I would like to ask you a question.

What do schools, museums, tunnels, bridges, power stations and houses have in common?

All are built of concrete!

Just to get an impression of the dimension: Every year, around 336 million cubic meters of concrete are poured on European building sites. And it needs up to 700.000 worker to do this job.

We call our profession: formworker or concrete construction worker.

What exactly does a concrete construction worker do? Well, he builds structures from 3 different building materials based on 3 different skills.

We build up a formwork and dismantle it also without problems. We lay and bind reinforcements and finally we pour concrete.

It always follows the same principles no matter whether we produce walls, columns, ceilings, beams or foundations

In many schools, the emphasis is on the training of bricklayers and carpenters. The concrete construction worker is related to these two professions. Many structures can only be constructed with formwork and reinforced concrete. That is why we need well-trained concrete construction specialists.

The profession of the formworker and concrete construction worker is a relatively young one. It officially exists for 20 years and has been developed from a special discipline of the bricklayer to today's independent profession. Today 99.9 percent of all newly built buildings worldwide are constructed with formwork and concrete.

Three things make this profession something special!

- First the spatial understanding. The concrete construction worker can read a two-dimensional plan and create a three-dimensional project. Plan reading is the world-wide language on the building site. The mirror image of the finished concrete body is the formwork. Correct formwork construction is the challenge.
- Second, concrete construction workers must be excellent team players. Because on the building site we always need a third hand, we have to work in a team. Only together we achieve the best

results. Only together we manage the tasks.

- Third, proper handling of wood. When manufacturing a door or recess, the traditional old craftsmanship of wood is in demand. We still use boards for this purpose. The development for economical formwork is now only possible with system formwork. The company Doka is one of the leading producers for the production of system formwork. Doka also sponsors our international championships, and we are very grateful.

We concrete construction worker are very proud to be a part of WorldSkills and EuroSkills.

We, the apprentices, the skilled workers and the trainers, want to present our profession worldwide and measure ourselves among each other.

In 2005 I had an idea. For the application of the profession I have developed a formwork competition in Austria. This concrete construction competition in Austria has been around since 2005. At the WorldSkills in Sao Paulo 2015, I was a chief expert and I am very proud that we were able to present concrete construction work internationally for the first time. This autumn, I will have the privilege again to be a Chief Expert at the EuroSkills in Graz. See you in Graz 2020.

WorldSkills Kazan 2019:

Kazan, 28. August 2019. Das Betonbauer-Duo Alexander Krutzler und Mateo Grgic von der PORR AG holte bei den Berufsweltmeisterschaften in Kazan die Goldmedaille. Beide arbeiten bei der PORR AG (1100 Wien).

Insgesamt gewann Österreich zwölf Medaillen.

„12 Medaillen gehen in diesem Jahr auf das Konto der österreichischen Teilnehmerinnen und Teilnehmer. Österreich ist dank dieser 12 Medaillen wieder unter den Top-10-Nationen der Welt und darüber hinaus beste EU-Nation. Wir freuen uns mit unseren Fachkräften, die sich als exzellente Botschafter unserer Betriebe, unseres Wirtschaftsstandortes und unseres beruflichen Bildungssystems erwiesen haben“, betonte WKÖ-Präsident Harald Mahrer. Nun gehe es „mit voller Kraft“ in Richtung der Berufseuropameisterschaften, den EuroSkills 2020 in Graz.

„Jede Medaille ist eine zusätzliche Motivation für alle unsere Lehrlinge, die sich derzeit in Ausbildung befinden“, betonte WKÖ-Vizepräsidentin Martha Schultz. Sie war während der gesamten Berufsweltmeisterschaft in Russland live vor Ort dabei.

Insgesamt ritterten in Russland rund 1400 Teilnehmer aus knapp 70 Ländern in 56 Bewerben um Medaillen. In der internationalen Jury tätig waren auch jene Trainerinnen und Trainer, die Österreichs junge Fachkräfte bereits bei den Teamseminaren und Trainings während der Vorbereitungszeit zur Seite standen.

Beste EU-Nation

Österreich ist dank der zwölf Medaillen (6x Gold, 5x Silber, 1x Bronze) auch herausragend im internationalen Leistungsvergleich, hat das Ergebnis von WorldSkills 2017 in Abu Dhabi (elf Medaillen) sogar noch getoppt und darf

sich am Ende aufgrund der hohen Anzahl an Goldmedaillen auch als beste EU-Nation feiern lassen.

Über SkillsAustria

SkillsAustria koordiniert als Zentrum für Berufswettbewerbe innerhalb der WKÖ die österreichischen Staatsmeisterschaften (AustrianSkills). Deren Sieger vertreten Österreich bei den internationalen Wettbewerben – EuroSkills und WorldSkills. Darüber hinaus ist SkillsAustria für die Vorbereitung und Entsendung des österreichischen Teams zu den internationalen Berufswettbewerben sowie für die Öffentlichkeitsarbeit verantwortlich. Seit 1958 ist die Wirtschaftskammer Österreich Mitglied von WorldSkills International und entsendet seit 1961 regelmäßig ein österreichisches Team zu den internationalen Berufsweltmeisterschaften. Zudem ist die WKÖ seit 2007 Mitglied von WorldSkills Europe. Österreich ist bei EuroSkills seit den ersten Europameisterschaften 2008 am Start.

www.skillsaustria.at

Über WorldSkills

WorldSkills International ist eine 1950 gegründete gemeinnützige international tätige Organisation mit Sitz in den Niederlanden. Ihre Mission ist die ständige Aufwertung des Ansehens der handwerklichen, industriellen und Dienstleistungsberufe bzw. der Berufsbildung weltweit. Ziel dieser internationalen Plattform ist es, junge Fachkräfte zu fördern und neue, innovative Wege der Berufsbildung zu entwickeln. Derzeit hat WorldSkills weltweit 80 Mitgliedernationen. Positiver Nebeneffekt des internationalen Wettbewerbs ist zudem die Stärkung der WorldSkills-Mitgliedsstaaten als Wirtschaftsstandorte.

Alle zwei Jahre richtet WorldSkills International Berufsweltmeisterschaften in wechselnden Austragungsorten aus. Jedes WorldSkills-Mitgliedsland hat die Möglichkeit, je einen Teilnehmer bzw. ein Teilnehmer-Team pro Beruf zu entsenden. Mittlerweile treten mehr als 1.200 Teilnehmerinnen und Teilnehmer aus den 80 Mitgliedsstaaten in über 50 Berufen an und wetteifern um Gold-, Silber- und Bronzemedailles und natürlich um den Titel „Weltmeister“ in ihrem Beruf. Die Teilnehmerinnen und Teilnehmer von WorldSkills dürfen im Wettbewerbsjahr nicht älter als 22 Jahre alt sein (Ausnahmen bis 25 Jahre).

www.worldskills.org

F&E Beton in Mobilität und Praxis

EcoRoads – Instandsetzungsbauweisen in Beton für das Landesstraßennetz (2. Forschungsjahr)

DI Dr. Lukas Eberhardsteiner

TU Wien, *Wien*

DI Dr. Florian Gschösser

floGeco Umweltmanagement, *Natters*

EcoRoads – Instandsetzungsbauweisen in Beton für das Landesstraßennetz – Ergebnisse des 2. Forschungsjahres

DI Dr. Lukas Eberhardsteiner, DI Kristina Bayraktarova,

Univ. Prof. DI Dr. Ronald Blab

Forschungsbereich Straßenwesen, Institut für Verkehrswissenschaften, TU Wien, Wien

DI Dr. Martin Peyerl

Smart Minerals GmbH, Wien

Ass. Prof. DI Dr. Florian Gschösser

floGeco bzw. AB für Baubetrieb, Bauwirtschaft und Baumanagement, Universität Innsbruck, Innsbruck

Im Rahmen des Forschungsprojekts „EcoRoads - nachhaltige Betonstraßen“ wird die Entwicklung eines Anwendungskatalogs für technisch und wirtschaftlich optimierte Erneuerungs- und Instandsetzungsmethoden in Betonbauweise für das Landes- und Gemeindestraßennetz erarbeitet. Im ersten Forschungsjahr wurden ein optimiertes Mix Design für Straßenbaubeton zur Instandsetzung und eine Dimensionierungsmethode für White Topping-Aufbauten entwickelt. Das Ergebnis ökonomischer und ökologischer Bewertung von Bauweisen zeigte, dass die White Topping-Bauweise eine konkurrenzfähige Alternative bei der Instandsetzung von Landesstraßen darstellt.

Die wesentlichen Ziele im zweiten Forschungsjahr waren die Entwicklung eines Bemessungskatalogs für die sowie die Erprobung der White Topping-Bauweise und eine Lebenszykluskostenanalyse bzw. Ökobilanz der Walzbetonbauweise in Österreich und die Bewertung externer volkswirtschaftlicher Kosten für Betonfahrbahnen.

Mit Hilfe der entwickelten Dimensionierungsmethodik ist es möglich die Auswirkung verschiedener Eingangsparameter auf die Lebensdauer von White Topping-Aufbauten zu untersuchen. Die Verbundwirkung zwischen der Asphalttschicht im Bestand und der neuen Betondecke hat großen Einfluss auf die Spannungsverteilung und somit auch auf die Lebensdauer des Aufbaus. Um diese realitätsnah (abhängig von der Temperatur im Aufbau) in der Oberbaudimensionierung berücksichtigen zu können, wurden Scher- und Haftzugfestigkeitsprüfungen sowie Keilspaltversuche bei verschiedenen Temperaturen an Bohrkerne von bereits ausgeführten White Topping-Strecken durchgeführt. In einem nächsten Schritt wurden die Versuchsergebnisse als Eingangsgrößen in eine Parameterstudie für die Lebensdauerberechnung einer typischen White Topping-Konstruktion verwendet. Diese zeigen, dass es sinnvoll ist, die Verbundeigenschaften temperaturabhängig in die Dimensionierung zu berücksichtigen.

Weiterer wichtiger Eingangsparameter ist der Zustand des zu sanierenden Straßenabschnitts. Mit Hilfe des entwickelten Zustandserfassung- und Beurteilungskonzept ist es möglich, eine passende

Instandsetzungsmaßnahme auszuwählen. Im entwickelten Bemessungskatalog wird zwischen White Topping-Aufbauten mit Normal- oder Walzbeton bzw. mit oder ohne Verbund zur darunterliegenden Bestands-Asphaltschicht unterschieden. Die Auswahl eines Bautyps erfolgt in Abhängigkeit der Verkehrsbelastung und der Resttragfähigkeit der verbleibenden Asphaltschicht.

Ein weiterer Fokus liegt auf der Weiterentwicklung der Betonrezepturen für herkömmlichen Straßenbaubeton und Walzbeton. Dabei gilt es durch Einsatz alternativer, derzeit im Straßenbau nicht verwendeter Betonausgangsstoffe die Eigenschaften der Betone für den Einsatzzweck im Landstraßennetz zu optimieren. Unter anderem wird die Eignung unterschiedlicher Gesteinskörnungen und deren Auswirkungen auf die Griffbarkeit für diesen Einsatzzweck untersucht.

Um die entwickelten Bauweisen und Aufbauten mit den entsprechenden optimierten Betonrezepturen, Einbaumethoden und Plattenabmessungen zu erproben, wurden zwei Teststrecken (mit Straßenbaubeton bzw. Walzbeton) konzipiert. Bei der bereits ausgeführten Teststrecke in Retznei wurde eine Betondecke aus Walzbeton mit einem modifizierten Asphaltfertiger der Firma Volvo erfolgreich hergestellt. Der verwendete Kettenfertiger mit Doppelstampferbohle erlaubt den Einbau von Beton bei geringem Platzbedarf und mit variierender Fertigungsbreite. Die Nachverdichtung erfolgte durch Walzen, wodurch eine sehr hohe Verdichtungsrate sowie eine homogene geschlossene Oberflächentextur realisiert werden konnte.

Die Lebenszykluskostenanalyse bzw. die Ökobilanz für einen 20 cm starken Walzbetonoberbau zeigt die Konkurrenzfähigkeit bzw. die Vorteile dieser Betonbauweise aus ökologischer und vor allem aus ökonomischer Sicht gegenüber einem typischen Asphaltoberbau für Landesstraßen mit 20 cm Stärke. Bezüglich externer volkswirtschaftlicher Kosten wurde ein Fokus auf die Interaktion zwischen Oberbau und Fahrzeug, d.h. auf den Treibstoffverbrauch zufolge oberbauabhängiger Rollwiderstände, gelegt. Dabei konnte vor allem basierend auf Erkenntnissen aus amerikanischen Studien für durchschnittliche Diesel-LKW ein temperaturabhängiges Reduktionspotential von bis zu 4 % an Treibstoff pro 100 km festgestellt werden.

F&E Beton in Mobilität und Praxis

Erfolgreiche Umsetzung einer Walzbetonstrecke

DI Dr. Martin Peyerl

Smart Minerals GmbH, *Wien*

EcoRoads – Erfolgreiche Umsetzung einer Walzbetonteststrecke

Dipl.-Ing. Dr. techn. Martin Peyerl

Smart Minerals GmbH, Wien

Dipl.-Ing. Dr. techn. Johannes Horvath

Lafarge Zementwerke GmbH, Wien

Dipl.-Ing. Sebastian Spaun

VÖZ, Wien

Im März 2019 erfolgte die erfolgreiche Umsetzung einer Walzbeton-Teststrecke im Süden Österreichs; wichtige Erfahrungen bezüglich Einbautechnologie wurden gesammelt. Relevante Erkenntnisse für das Langzeitverhalten werden vom Forschungsverein EcoRoads gewonnen und ausgewertet.

Ein Ziel der österreichischen Zement- und Betonbranche ist es die steigenden Anforderungen an moderne Verkehrswege durch neue, nachhaltige Konzepte abzudecken. Hierbei gilt es, unter möglichst hoher Schonung von Kosten und Ressourcen leistungsfähige und langlebige Verkehrswege herzustellen. Betondecken haben im hochrangigen Straßennetz sowie für hochbelastete Verkehrsflächen diesbezüglich ihren Mehrwert bereits unter Beweis gestellt, daher will der Forschungsverein EcoRoads (Nachhaltige Betonstraßen) unter der Beteiligung von Forschungs- und Industriepartnern nun weitere Methoden für den effizienten Betondeckeneinbau im gesamten Straßennetz entwickeln.

Betondecken werden in der Regel in steifer Konsistenz mit einem Betondeckenfertiger eingebaut. Für Spezialanwendungen gibt es auch die Möglichkeit, Kleinflächen mit Straßenfließbeton herzustellen oder Sanierungen mit dem White-Topping-Verfahren durchzuführen. Bei der Regelbauweise mit dem Betondeckenfertiger wird meist zweistufig zuerst der Unterbeton und dann direkt nass in nass der Oberbeton eingebaut. Diese Bauweise ist zur Herstellung von Betonfahrbahndecken für das hochrangige Straßennetz seit Jahrzehnten gut etabliert und in der RVS 08.17.02 [1] geregelt. Zu den Vorteilen dieser Bauweise zählen eine hohe Griffigkeit, gute lärmtechnische Eigenschaften über die gesamte Lebensdauer bei Ausbildung einer lärmmindernden Waschbetonstruktur sowie hohe Verformungsstabilität. Diese Bauweise ist jedoch nur für sehr große Flächen mit über längere Strecken fixer Einbaubreite zweckmäßig.

Eine Alternative zum herkömmlichen Betondeckenbau stellt die Anwendung von Walzbeton dar. Hier wird eine spezielle erdfuchte Betonrezeptur mit sehr niedrigem Wassergehalt mit einem Fertiger eingebaut und zusätzlich durch Walzen – ähnlich wie beim Asphalteinbau – verdichtet. Diese Bauweise hat sich zur kostengünstigen Befestigung von Industrieflächen bereits in einigen Ländern, z. B. Nordamerika oder Spanien, etabliert. Ziel der weiteren Untersuchungen war, diese einfache Bauweise auch für die Herstellung von Betonstraßen im niederrangigen Straßennetz weiter zu optimieren, damit mit regional verfügbaren Ausgangsstoffen sowie mit lokal verfügbarer Maschinenteknik langlebige Betonstraßen hergestellt werden können.

Zur Erprobung der neuen Bauweise bzw. zur Sammlung von wichtigen Erfahrungswerten wurde im Rahmen des Projekts EcoRoads Ende März 2019 eine Werkszufahrt in einen Steinbruch als Teststrecke für Walzbeton errichtet. Die Auswahl der Strecke erfolgte, weil hier in der Praxis vorkommende

unterschiedliche Einbausituationen wie Kurven, Steigungen sowie unterschiedliche Einbaubreiten sehr gut abgebildet werden konnten und die Strecke darüber hinaus durch Benützung als Zufahrt zu einer Recyclinganlage in hohem Maß von Lastkraftwagen beansprucht wird.

Betontechnologie für den Walzbetoneinbau

Für die Herstellung von Walzbeton können in der Regel die Betonausgangsstoffe herangezogen werden, die auch bei der Herstellung von herkömmlichem Straßenbeton verwendet werden: gebrochene oder ungebrochene Gesteinskörnungen, Zement und gegebenenfalls Zusatzmittel. Um einen höchstmöglichen Verdichtungsgrad zu erreichen, ist es bei der Auswahl der einzelnen Komponenten wesentlich, dass der Beton ähnlich wie bei zementstabilisierten Tragschichten [2] zusammengesetzt wird.

Ein weiteres wesentliches Kriterium ist die Grünstandsfestigkeit des Betons. Darunter wird verstanden, dass der frische (grüne) Beton so standfest ist, dass dieser nach dem Weiterziehen der Gleit-schalung seine geometrische Gestalt nicht mehr ändert. Walzbeton muss zusätzlich nach dem Fertiger so standfest sein, dass er in einem weiteren Schritt mit schweren Walzen verdichtet werden kann, ohne dass die Walze nennenswert in den eingebrachten Beton einsinkt. Um diese Eigenschaft zu erreichen, werden Walzbetonrezepturen mit einem sehr geringen Wassergehalt und daraus resultierend einem niedrigen W/B-Wert hergestellt.

Ein erster Schritt zur Umsetzung der Teststrecke war die Entwicklung von Betonrezepturen im Labor der Smart Minerals GmbH in Wien. Da die Teststrecke etwas abgelegen von Ballungszentren situiert ist, war die Verfügbarkeit von potentiellen Betonlieferanten zwar eingeschränkt, es war jedoch stets ein Anliegen den Walzbeton mit möglichst lokal verfügbaren Betonausgangsstoffen herzustellen. Auf Basis der Erkenntnisse aus den Laborversuchen wurden Rezepturen zur Umsetzung ausgewählt und an unterschiedlichen Abschnitten der Teststrecke eingebaut. Die Länge der Teststrecke beträgt etwa 350 m mit Maximalsteigungen von sieben Prozent, wobei in Teilbereichen der Einbau in mehreren Fertigerbahnen nebeneinander erfolgte.

Die nachfolgende Tabelle zeigt die Variationen der eingebauten Rezepturen sowie die ermittelte Druckfestigkeit von nach 28 Tagen gezogenen Bohrkernen.

Betonzusammensetzung

CEM II/B-S 42,5 N (DZ)	280–330 kg
RK 0/4	880–940 kg
RK 4/8	360–390 kg
RK 8/16	580–630 kg
Gesamtwasser	120–125 kg
W/B-Wert	0,38–0,43

Druckfestigkeit

Druckfestigkeit (Bohrkern)	40–55 N/mm ²
----------------------------	-------------------------

Maschinentechnologie und Betoneinbau

Für die Teststrecke in der Südsteiermark wurde ein Kettenfertiger der Firma Volvo verwendet. Dieser kann sowohl für den Einbau von Beton als auch für Asphaltfahrbahnen eingesetzt werden. Der Straßenfertiger hat ein Einsatzgewicht von etwa 21,4 t und verfügt über einen Volvo D8 Motor mit einer Leistung von 200 kW und einer theoretischen Einbauleistung von 1.100 t/h. Die maximale Einbaubreite dieser Maschine liegt bei 13 m. Bei Einbaubreiten von 2,5 bis 5 m war dieser Fertiger

spielerisch in der Lage, zusammen mit der Doppelstampferbohle den Betoneinbau mit einer Schichtstärke von etwa 20 cm zu realisieren.

Der Beton wurde abschließend mit einer zwölf Tonnen schweren Glattmantelwalze nachverdichtet. Durch diese Nachverdichtung kann trotz der sehr steifen Betonkonsistenz eine homogene, geschlossene und ebene Betonfläche realisiert werden. Im Rahmen der Herstellung der Teststrecke wurden sowohl die Betonzusammensetzung als auch die Verdichtung sowie die abschließende Oberflächenbearbeitung (Glätten, Applikation eines Besenstriches) variiert, damit möglichst viele Aspekte des Betoneinbaus sowie die daraus resultierenden Betoneigenschaften beleuchtet werden können.

Folgende Abbildungen geben einen Eindruck über den Betoneinbau sowie unterschiedliche Nachbearbeitungsmöglichkeiten.



Abbildung 1: links: Betoneinbau mit Volvo Kettenfertiger; rechts: Nachverdichtung mit Glattmantelwalze

Die Einbaukontrolle erfolgte sowohl durch begleitende Frischbetonprüfungen als auch durch Verdichtungskontrolle mit zerstörungsfreier Messung der Raumdichte mittels Troxlersonde sowie mittels leichtem Fallgewichtsdeflectometer (siehe Bild unten).



Abbildung 2: Einbaukontrolle mit Troxlersonde sowie leichtem Fallgewichtsdeflectometer



Abbildung 3: links: Betonoberfläche nach dem Walzvorgang; rechts: Oberflächentextur Besenstrich



Abbildung 4: Betonoberflächen nach dem Schneiden der Fugen

Die Umsetzung der Versuchsstrecke hat gezeigt, dass neben den bereits bekannten Anwendungen auf Industrie- oder Lagerflächen auch linienförmige Verkehrsbauwerke praktikabel, günstig und einfach mit Walzbeton hergestellt werden können. Durch die hohe Grünstandfestigkeit können diese Flächen kurz nach der Herstellung befahren werden. Die Flexibilität des Fertigers erlaubt es, Fahrbahnen auch mit variierender Breite einzubauen. Darüber hinaus ist es möglich, auch kleine Flächen händisch einzubauen. Die Umsetzung der aktuellen Teststrecke in der Steiermark zeigt eine attraktive Alternative zum herkömmlichen Betoneinbau. Die Kombination einer leistungsfähigen Volvo Zugmaschine mit einer Hochverdichtungsbohle mit Doppelstampfer-Technologie ist somit die ideale Wahl für den Einbau von RCC (Roller Compacted Concrete) oder PCC (Paver Compacted Concrete).

Literatur

- [1] RVS 08.17.02: Technische Vertragsbedingungen, Betondecken, Deckenherstellung, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2011
- [2] RVS 08.17.01: Technische Vertragsbedingungen, Betondecken, Mit Bindemittel stabilisierte Tragschichten, Österreichische Forschungsgesellschaft Straße Schiene Verkehr, Wien 2009

F&E Beton in Mobilität und Praxis

FQP:
**Untersuchung des
Ermüdungsverhaltens
von Drainbeton
als Tragschichtmaterial
für Pflasterbefestigungen**

Ing. Stefan Weissenböck

Weissenböck Baustoffwerk GmbH, *Neunkirchen*

DI Dr. Lukas Eberhardsteiner

TU Wien, *Wien*

Untersuchung des Ermüdungsverhaltens von Drainbeton als Tragschichtmaterial für Pflasterbefestigungen

Jesùs Oltra Sanchez Izquierdo, DI Dr. Lukas Eberhardsteiner

Forschungsbereich Straßenwesen, Institut für Verkehrswissenschaften, TU Wien, Wien

lukas.eberhardsteiner@tuwien.ac.at

DI Dr. Wolfgang Träger

Forschungsbereich Stahlbeton- und Massivbau, Institut für Tragkonstruktionen, TU Wien, Wien

Drainbeton wird unter anderem als Tragschichtmaterial für Pflasterbefestigungen auf Straßen und Parkplätzen eingesetzt, die wiederholten zyklischen Belastungen durch den Verkehr ausgesetzt sind (siehe Abbildung 1). Daher wurde im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojekts des Forums Qualitätspflaster (FQP), Smart Minerals, der Camillo Sitte Versuchsanstalt und der TU Wien zur Dimensionierung von Pflasterplattenbefestigungen ein Schwerpunkt zur Untersuchung und Optimierung dieses Baustoffs gelegt. In einem ersten Schritt wurde die zurzeit übliche Pflasterdrainbeton-Rezeptur evaluiert. Mittels Zementleimdosierung wurden vier Testrezepturen mit unterschiedlichem Feinkornanteil (zwischen 0% und 13% Anteil der Gesteinskörnung 0/4)

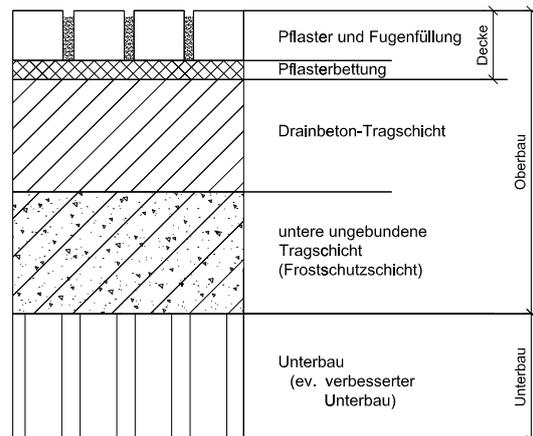


Abbildung 1: Aufbau einer Pflasterbefestigung mit Drainbeton-Tragschicht



Abbildung 2: Herstellung der Probeplatten für die Ermüdungsprüfung

hergestellt und in Testflächen unter realitätsnahen Bedingungen eingebaut. Aus diesen Testflächen wurden Bohrkern entnommen und Druck-, Biegezug- und Spaltzugfestigkeitsprüfungen sowie Durchlässigkeitsversuche durchgeführt und E-Modul und Rohdichte bestimmt. Aufgrund optimaler mechanischer Eigenschaften und ausreichender Durchlässigkeit wurde die Rezeptur mit 13% Feinkornanteil ausgewählt. Zur Bemessung und Zustandsprognose von Pflasterbefestigungen ist es notwendig, das mechanische Verhalten des Pflasterdrainbetons in Bezug auf zyklische Belastungen zu untersuchen und Modelle zur Beschreibung des Materialverhaltens abzuleiten. Dafür wurde ein innovativer

Aufbau zur Ermüdungsprüfung von Platten aus Pflasterdrainbeton entwickelt. Für diese Prüfungen wurden Probeplatten mit der ausgewählten Rezeptur mit den Abmessungen 1 m x 1 m x 0,2 m unter baustellennahen Bedingungen hergestellt (siehe Abbildung 2).



Abbildung 3: Aufbau des Ermüdungsversuchs

Der Versuchsaufbau (siehe Abbildung 3) der Ermüdungsprüfung besteht aus einem Metallrahmen, auf dem die Betonplatte an allen vier Seiten mit einer Stützlänge von 8 cm abgestützt ist. Die Platte wird in der Mitte dynamisch mit einer Frequenz von 8 Hz und unterschiedlichen Lastamplituden belastet. Die Last wird durch eine Metallplatte mit einem Durchmesser von 45 cm aufgebracht. In den Auflagern wird eine Mörtelschicht verwendet, um eine ideale Nivellierung der Platte auf dem Metallrahmen zu erreichen sowie kleine Vibrationen in der Platte zu vermeiden, die die Ergebnisse verfälschen würden.

Um die Verformungen der Platte zu messen, wurden induktive Wegaufnehmer sowie Dehnmessstreifen angebracht und die Dehnung aufgezeichnet und ausgewertet.

Aus den Ergebnissen der Ermüdungsversuche wurde eine Wöhlerkurve abgeleitet, die den Zusammenhang zwischen Belastung und ertragbarer Anzahl an Lastwechseln bis zur strukturellen Ermüdung darstellt. Dabei zeigt sich, dass der entwickelte Pflasterdrainbeton bei einem im Straßenbau üblichen Lastniveau ausreichende Ermüdungsbeständigkeit aufweist.

Weitere Ziele des Forschungsprojekts sind die Entwicklung einer Dimensionierungsmethode und die Erstellung eines anwendungsfreundlichen Bemessungskatalogs für ungebundene und gebundene Pflasterbefestigungen mit Drainbetontragschicht. Hierfür dient u.a. die abgeleitete Wöhlerkurve als Schadenskriterium. Weiters werden typische gebundene und ungebundene Aufbauten in einem Testfeld erprobt und deren Beanspruchung durch klimatische Randbedingungen (Temperatur, Feuchtigkeit) untersucht sowie die Wirtschaftlichkeit ausgewählter Oberbauten mittels Lebenszykluskostenanalyse verglichen.

F&E Beton in Mobilität und Praxis

öbv-Richtlinie: Risse in Betonbauteilen

DI Alfred Hüingsberg
ÖBB Infrastruktur AG, *Wien*

Vermeiden, Erkennen und Bewerten von Rissen in Betonbauteilen

Dipl.-Ing. Alfred Hüngsberg

ÖBB Infrastruktur AG, 1020 Wien Nordbahnstraße 50

Alfred.Huengsberg@oebb.at

Risse im Beton beeinflussen die Tragfähigkeit, Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit eines Bauwerks. Ein Riss muss jedoch nicht immer mit einem Schaden am Betonbauwerk gleichzusetzen sein. Nur „ungeplante“ Risse führen zu einer Schädigung und beeinträchtigen die Gebrauchstauglichkeit und Dauerhaftigkeit. Durch geeignete Maßnahmen in der Planung, Betontechnik und Ausführung können diese „ungeplanten“ Risse jedoch gering gehalten bzw. vermieden werden. Eine neue öbv-Richtlinie soll den Planern/Ausführenden/Bauherren eine wirksame Hilfe bei der Ursachenforschung und Bewertung sowie Maßnahmen zur Vermeidung von Rissen auf der Baustelle ermöglichen.

„Geplant“ und „ungeplant“

Oft wird übersehen, dass bei Stahlbeton die Rissbildung notwendig für dessen Funktion ist. Diese „geplanten“ Risse beeinträchtigen die Dauerhaftigkeit und in der Regel auch die Gebrauchstauglichkeit nicht, solange die in Regelwerken festgelegten Rissbreiten nicht überschritten werden.

Die meisten „ungeplanten“ Risse entstehen infolge zu hoher Abbinde Temperaturen des jungen Betons aufgrund ungünstiger Betonzusammensetzung und hohen Frischbetontemperaturen sowie fehlender oder ungenügender Nachbehandlung des Betons, auch im Zusammenwirken mit konstruktiven Einflüssen.

Vermeiden von „ungeplanten“ Rissen

Im Betonbau können verschiedene Anforderungen an ein Bauteil oder ein ganzes Bauwerk entgegenstehende Eigenschaften erfordern. So ist z.B. für die Abdeckung einer hohen Festigkeitsklasse ein hoher Bindemittelgehalt erforderlich. Dies kann eine höhere Abbinde Temperatur und eventuell erhöhtes Schwinden ergeben, sowie die Verarbeitbarkeit erschweren. Dabei gilt, je ungünstiger die nicht abänderbaren Anforderungen sind, umso risseempfindlicher wird das Bauteil und umso wichtiger ist neben dem Hinterfragen der Anforderungen die Umsetzung der rissevermeidenden Maßnahmen.

Die Verringerung von Zwangsspannungen durch konstruktive und betontechnische Maßnahmen kann viele Rissarten (Temperaturrisse, Schwindrisse, Setzungsrisse,...) vermeiden.

Beispiele für konstruktive Maßnahmen sind:

- Vermeidung von sprunghaften Querschnitts- bzw. Steifigkeitsänderungen
- Vermeidung von hohen Bewehrungskonzentrationen
- Anordnung von Bewegungsfugen

Beispiele für betontechnische Maßnahmen sind:

- Betonrezeptur optimieren
 - Bindemittel (Hydratationswärme/Frühzugfestigkeit)
 - Bindemittelgehalt
 - Wassergehalt
 - Mischungsstabilität
- Frischbetontemperatur möglichst gering halten

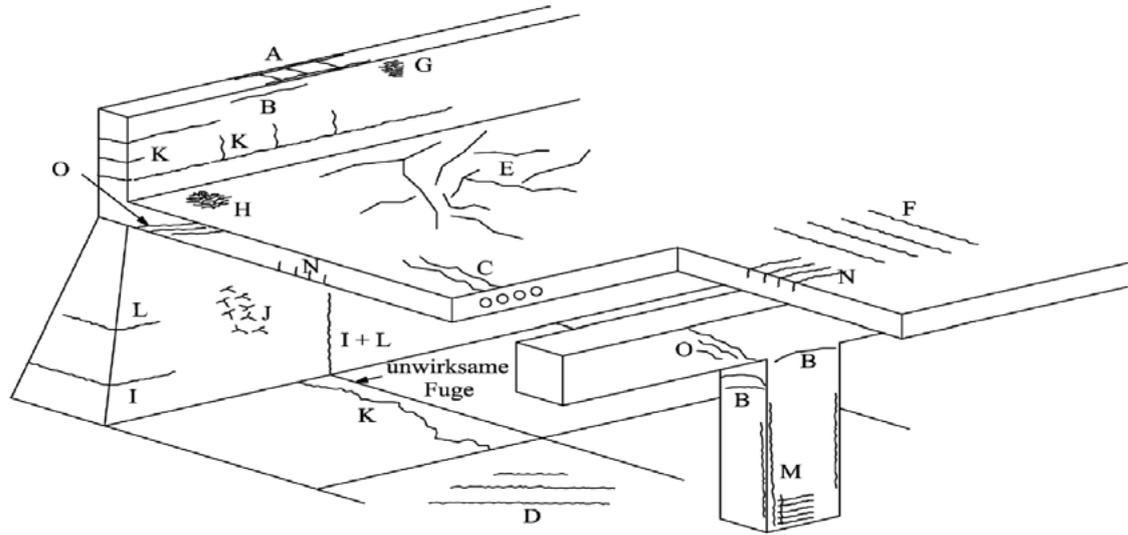
Gute Nachbehandlung ist wesentlich

Eine fehlende Nachbehandlung führt beim frisch eingebauten Beton zu starker Austrocknung und damit zu Fröhschwindrissen und erhöht die Gefahr von Zwangs- und Eigenspannungsrissen. Zusätzlich können ungünstige Rahmenbedingungen, Planungen und Bauzustände (z.B. kurze Ausschalzeiten, Temperatursturz,...) die Rissgefahr erhöhen.

Beispiel für Maßnahmen während der Ausführung:

- Gesamtbetonierkonzept
- Abschätzung Bauteiltemperatur und Temperaturmessung im Bauwerk
- Kühlen/Heizen von Bauteilen
- Möglichst lange Ausschalfristen
- Nachbehandlung von jungem Beton

Weitere Details können der öbv-Richtlinie „Vermeiden, Erkennen und Bewerten von Rissen in Betonbauteilen“ entnommen werden.



Mögliche Rissarten © öbv

F&E von der Forschung in die Anwendung

gigaTES: Großwärmespeicher aus Beton – Herausforderungen und Lösungsansätze

DI Michael Reisenbichler

AEE Intec, Gleisdorf

DI Gerald Maier

Smart Minerals GmbH, Wien

Großwärmespeicher aus Beton – Herausforderungen und Lösungsansätze

DI Gerald Maier

Smart Minerals GmbH; Franz Grill Straße 9, A-1030 Wien

maier@smartminerals.at

www.smartminerals.at

DI Michael Reisenbichler

AEE - Institut für Nachhaltige Technologien; Feldgasse 19, A-8200 Gleisdorf

m.reisenbichler@aee.at

www.aee-intec.at

Zukünftig werden Großwärmespeicher als Teil von Fernwärmenetzen zur Erreichung einer vollständigen erneuerbaren Wärmeversorgung von Städten eine zentrale Rolle einnehmen. Großwärmespeicher ermöglichen die saisonale Speicherung erneuerbarer Wärme als auch die flexible Wärmespeicherung von industrieller Abwärme oder Power2Heat-Konzepten. Kleinere Fernwärmeversorgungssysteme in Österreich benötigen Speichervolumina von rund 50.000 m³, größere städtische hingegen Volumina von einer Million Kubikmeter und mehr. Kosteneffizienz und eine effiziente Einbindung bedingen hohe Energiespeicherdichten, welche durch hohe Speichertemperaturen erreicht werden, was zu zusätzlichen Materialbelastungen führt. Dies zusammen mit gestiegenen Anforderungen an Dampfdurchlässigkeit, Wartbarkeit und Haltbarkeit verlangt nach neuen Materialien und Komponenten sowie nach verbesserten Haltbarkeitstestmethoden. Die angedachte enorme Größe der Speicher und die nötige tiefe Bauweise erfordern zudem neue Bauverfahren.

Großwärmespeicher – Ein Weg zur vollständigen erneuerbaren Wärmeversorgung von Städten

Hintergrund und Rahmenbedingungen

Eine sichere, zuverlässige und saubere Energieversorgung mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energieformen ist und bleibt eine der Herausforderungen unserer und zukünftiger Generationen. Da der Großteil der Bevölkerung im urbanen Bereich bzw. Städten lebt, ein Trend der sich laut Prognosen fortsetzen wird, muss die Thematik der urbanen Energieversorgung einen wesentlichen Platz in unseren energie- und umweltstrategischen Überlegungen einnehmen. In Österreich sind Fernwärmenetze ein probates Mittel, um in Städten und Siedlungsgebieten thermische Energie bereit zu stellen. Prinzipiell sind erneuerbare Quellen, wie beispielsweise Sonnen- oder Windenergie, ausreichend vorhanden. Ein Hindernis für eine direkte Integration erneuerbarer Energie in unsere Versorgungssysteme stellt jedoch die meist zeitliche Verschiebung zwischen Angebot und Nachfrage dar, dessen Überwindung ausgereifte Speicherlösungen erfordert.

Großwärmespeicher, wie beispielsweise wassergefüllte Erdbeckenspeicher, als Teil von Fernwärmesystemen, stellen eine solche Lösung dar und ermöglichen die saisonale Speicherung erneuerbarer Wärme (z.B.: Solarthermie) als auch die kurzfristige und flexible Speicherung von Wärme aus beispielsweise Power2Heat-Konzepten (Stichwort: Sektorkopplung oder industrielle Abwärme).



Abbildung 1: Bisher größter existierender Großwärmespeicher, ein wassergefüllter Erdbeckenspeicher mit einem Speichervolumen von etwa 200.000 m³ in Vojens, Dänemark (Quelle: Arcon-Sunmark)

Großwärmespeicher wurden bisher erst in wenigen Ländern, wie zum Beispiel in Deutschland und vor allem in Dänemark, realisiert. Die Volumina der für kleine bis mittelgroße Fernwärmenetze konzipierten Speicher liegen dort bei nicht mehr als 200.000 m³. In Österreich sind hingegen für größere städtische Fernwärmeversorgungssysteme, wie etwa in Wien, Graz, Salzburg oder Linz, Speichervolumina von bis zu zwei Millionen Kubikmeter, also im Giga-

Liter Bereich erforderlich. Dies ist ein Volumen, das in etwa der Kubatur des Wiener Ernst-Happel-Stadions entspricht.

Das Streben nach möglichst großen Speichervolumina kann u.a. mit den sinkenden spezifischen Kosten mit zunehmender Speichergröße begründet werden. So liegen zurzeit die Investitionskosten von dänischen Großwärmespeichern bei 0,50 € pro Kilowattstunde Speicherkapazität (30 € pro Kubikmeter Speichervolumen) und machen Großwärmespeicher somit zu einer wirtschaftlich höchst attraktiven Lösung zur Speicherung von Energie [1].

giga_TES - giga-Scale Thermal Energy Storage for Renewable Districts

Die enorme Größe, die komplexe Bauweise als auch die umfassenden hydrogeologischen Rahmenbedingungen erfordern die Entwicklung neuartiger Konstruktionsmethoden, Bauverfahren sowie innovativer Materialien. Die dabei auftretenden breiten wissenschaftlichen und technologischen Herausforderungen und das fundamentale Level einzelner Schritte der Material- und Technologieentwicklung bedürfen eines gezielten Forschungsvorhabens, an dem alle Hauptakteure der gesamten Wertschöpfungskette teilnehmen. Ein Konsortium bestehend aus Forschungs- und Industriepartnern konzentriert sich im österreichischen Leitprojekt „giga_TES“ (www.gigates.at) auf die Ent-

wicklung von derartigen Großwärmespeichern als Teil von Fernwärmenetzen zur Versorgung von Städten mit erneuerbarer Energie.

Bautechnische Herausforderungen

Neben vielen anderen technischen Herausforderungen, wie z. B. die Einbindung des Speichers in bestehende Fernwärmesysteme, spielen v.a. die bautechnischen Herausforderungen eine besondere Rolle.

- Die Einbindung des Speichers in bestehende Fernwärmenetze bedingt einen Standort in der Nähe städtischer Siedlungen. Hohe Grundstückskosten verlangen dabei nach einem geringen Flächenverbrauch des Speichers. Das Ziel ist es daher den Speicher möglichst tief zu bauen und somit den Flächenverbrauch zu minimieren. Derzeitige Konzepte zur Konstruktion des Speichers gehen von einer maximal technisch verwirklichtbaren Speichertiefe von 50 m aus.
- Die großen Volumina von bis zu 2.000.000 m³ bei gleichzeitiger Minimierung der Oberfläche und damit der Wärmeverluste des Speichers sind nur mit bestimmten Geometrien erzielbar. Derzeit wird von einer Konstruktion als Pyramidenstumpf oder als Zylinder ausgegangen.
- Die Grundwasserverhältnisse spielen bei Bau und Betrieb des Speichers eine große Rolle und bedürfen Überlegungen zur Wasserhaltung während der Bau- und Betriebsphase.
- Die hohen geplanten Temperaturen des Speichermediums Wasser von bis zu 95 °C stellen sowohl an die innenliegenden Abdichtungsebenen (z.B. PE-Liner) als auch an die Außenhülle, bestehend aus Beton und Dämmung, hohe Anforderungen bezüglich der Dauerhaftigkeit und den Alterungserscheinungen des Wandaufbaus.
- Aufgrund der Nähe zu städtischen Gebieten und zur Erhöhung der allgemeinen Akzeptanz des Bauwerks soll der wärmedämmende Deckel des Speichers für die Allgemeinheit nutzbar sein. Dies bedingt aufgrund hoher Nutzlasten eine schwere Konstruktion des schwimmenden oder freitragenden Deckels.

Beton und Wandaufbau

Das Ziel des Projektes ist es geeignete Betonsorten in Abhängigkeit des Bauteils (Bodenplatte, Wand, Deckel) unter Beachtung der notwendigen Druckfestigkeiten, der Wärmeleitfähigkeit sowie der Heißwasserundurchlässigkeit zu definieren. Werden die Anforderungen an den Beton und Wandaufbau gesamt betrachtet ergibt sich folgendes Bild:

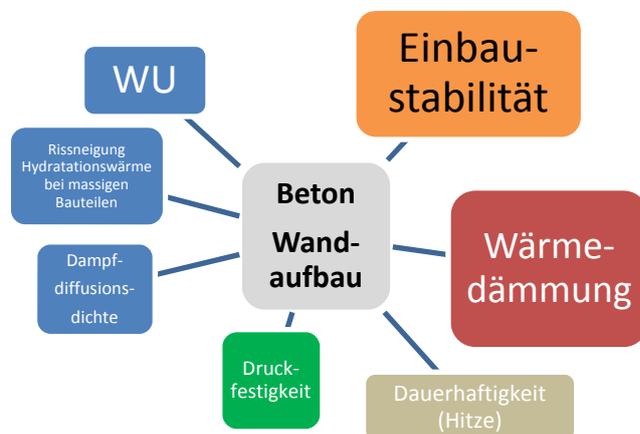


Abbildung 2: Anforderungen an Beton und Wandaufbau

Generell steigt die Wärmeleitfähigkeit eines Materials mit seiner Dichte. Da aber die Wasserundurchlässigkeit bzw. Mediumsdichtigkeit von Beton als heterogener Baustoff unter anderem über ein möglichst dichtes Gefüge der einzelnen Bestandteile erreicht wird, können wasserundurchlässige und wärmedämmende Eigenschaften nur in Form einer zweischaligen Bauweise realisiert werden.

Während die Auswirkungen von kurzfristig hohen Temperaturen auf Beton, z.B. während eines Brandes, gut untersucht sind (siehe z.B. [2]), fehlen die Erfahrungen für die Langzeiteinwirkung von Heißwasser unter hydraulischem Druck. Ziel ist es daher, in Frage kommende Betone für die Innenschale zu charakterisieren und die Langzeitauswirkungen von Heißwasser auf Beton zu untersuchen.

Zur Minimierung der Wärmeverluste muss der Behälter teilweise bzw. vollständig gedämmt werden. Im Bereich der Dämmung sind daher Weiterentwicklungen notwendig, da insbesondere im Bereich der Bodenplatte Drücke von bis zu 5 bar und Temperaturen von rund 95 °C für herkömmliche Dämmmaterialien nicht geeignet sind. Hier gilt es mit mineralischen Dämmungen (z.B. Glaschaum, Schaumbeton oder Leichtbeton) die Verbindung zwischen moderater Druckfestigkeit, guter Wärmebeständigkeit bis 95 °C, bei gleichzeitig hohen Dämmleistungen zu schaffen.

Im Rahmen des Projektes „giga_TES“ sollen für all diese Herausforderungen Lösungskonzepte entwickelt werden, damit zukünftig im Bereich Großwärmespeicher österreichische Unternehmen eine nationale sowie internationale Vorreiterrolle in Europa einnehmen können.

*** Hinweis Klima- und Energiefonds***

Das Projekt „giga_TES“ wird aus Mitteln des Klima- und Energiefonds gefördert und im Rahmen des Programms „Energieforschung (e!MISSION) - 3. Ausschreibung Energieforschung 2016“ durchgeführt.



Literatur

- [1] Baerbel Epp, „Seasonal pit heat storage: Cost benchmark of 30 EUR/m³ | Solarthermal-world.org“, www.solarthermalworld.org/, 17. Mai 2019, <https://www.solarthermalworld.org/news/seasonal-pit-heat-storage-cost-benchmark-30-eurm3>
- [2] Zeiml, M. et. al.: Wissenschaftlicher Endbericht Forschungsprojekt Sicherheit von Hohlrumbauteilen unter Feuerlast (SHF1), IMWS 2010

F&E von der Forschung in die Anwendung

Verstärkende Injektion von Mauerwerk mit Füllstoffen auf Basis mineralischer Bindemittel

Univ.Prof. DI Dr. Andreas Kolbitsch
TU Wien, *Wien*

Aktuelle Entwicklungen zur verstärkenden Injektion von Mauerwerk mit Füllstoffen auf Basis mineralischer Bindemittel

Univ.-Prof. DI Dr. techn. Andreas Kolbitsch

TU Wien, Institut für Hochbau, Baudynamik und Gebäudetechnik

andreas.kolbitsch@tuwien.ac.at

Aufgrund des großen Bedarfs an innerstädtischer Wohnraumverdichtung im Bestand und der in den letzten Jahren signifikant erhöhten Anforderungen an die Erdbebensicherheit kommt – im Rahmen der Ertüchtigung der Bestandsgebäude – der Verstärkung des lastabtragenden und aussteifenden Mauerwerks immer größere Bedeutung zu. Nach der bereits 2015 erschienen öbv-Richtlinie Injektionstechnik-Teil 2: Mauerwerk [1] zeigen aktuelle Untersuchungen, unter anderem im Zusammenhang mit der Lebenszyklusbetrachtung, dass im Bereich der Injektion mit Füllstoffen auf mineralischer Basis noch maßgebendes Innovationspotential gegeben ist.

Aktuelle Situation

Aktuelle Schätzungen gehen allein für Wien von einem Potential von über 20.000 möglichen Dachausbauten aus, wobei im Schnitt pro Dachausbau 3 Wohneinheiten zusätzlich geschaffen werden können. Die Umsetzung derartiger Verdichtungsmaßnahmen setzt jedoch eine entsprechende Ertüchtigung der bestehenden Bauwerke – vor allem im Zusammenhang mit Erdbebeneinwirkungen – voraus [7]. Dies erfordert in sehr vielen Fällen eine Mauerwerksverbesserung, die – wenn möglich – durch verstärkende Injektion realisiert wird. Waren früher häufig Kombinations-Injektionen mit hydraulischem Mörtel und Kunstharzmaterialien die gängige Lösung, führen die Anforderungen im Zusammenhang mit der Lebenszyklusbetrachtung und den damit verbundenen Recycling-Problemen [2] aktuell zur Entwicklung von Füllstoffen auf ausschließlich mineralischer Basis. (Dies betrifft im Besonderen verstärkende Maßnahmen an denkmalgeschützten Objekten.)

Anforderungen

Im Zuge der Bestandsverstärkung ist einerseits die Gesamtstruktur zu verbessern, was in der Regel durch Ertüchtigung der Scheibentragswirkung der obersten Bestandsdecke erfolgt. Die zweite mögliche Verbesserung betrifft die Verstärkung von Mauerwerksscheiben, was meist durch Injektion erfolgt.

Die wesentlichen Anforderungen sind dabei:

- Die Verfüllung von Hohl- und Fehlstellen,
- die Erhöhung, vor allem der Schubtragfähigkeit in Wandebene und
- die gleichzeitige Sicherstellung der in der Europäischen Bauproduktenrichtlinie geforderten Nachhaltigkeit, was in diesem Zusammenhang die Recyclingfähigkeit des ertüchtigten Mauerwerks betrifft.

Daraus resultieren die aktuellen Bemühungen im Zusammenhang mit der Konzentration auf Füllstoffe auf mineralischer Basis.

Aktuelle Entwicklungsansätze

Aktuelle Entwicklungsansätze führen dabei in folgende Richtungen:

- Änderung der Plastizität des Injektionsgutes durch Beigabe von Zusatzmitteln [3] ,
- Die Verbesserung der mechanischen Eigenschaften, vor allem der Frühfestigkeit des Injektionsmaterials im Mauerwerk [4],
- Die Zugabe von verstärkenden Zusätzen, wie z.B. Kohlenstoff-Nanoröhrchen [5].

Im Zusammenhang mit der Umsetzung und statischen Bewertung [5], [6] kommt aktuell der numerischen Simulation und der Überprüfung der erreichten Verbesserung besondere Bedeutung zu, zu diesen beiden Themen laufen (neben der Bewertung der Mörtelverbesserungen) derzeit im Forschungsbereich Hochbaukonstruktionen und Bauwerkserhaltung spezielle Untersuchungen.

Die vorläufigen Ergebnisse zur Bewertung der Materialoptimierung, zur numerischen Simulation der Materialeigenschaften und zur Ausführungsüberprüfung sollen im Beitrag vorgestellt werden.

Literatur

- [1] öbv (Hrsg.): *Richtlinie Injektionstechnik-Teil2: Mauerwerk*. Österreichische Bautechnik Vereinigung, 2015
- [2] Napolano, L. et al.: *LCA-based study on structural retrofit options for masonry buildings*. In: *Int J Life Cycle Asses* (2015) 20:23-35
- [3] Baltazar, L.,G. et al.: *Combined effect of superplasticizer, silica fume and temperature in the performance of natural hydraulic lime grouts*. In: *Construction and Building Materials* 50 (2014) 584-597
- [4] Vavricuk, A. et al.: *The influence of metakaolin on the properties of natural hydraulic lime-based grouts for historic masonry repair*. In: *Construction and Building Materials* 172 (2018) 706-716
- [5] Dunjic, V. Kolbitsch, A.: "Nachweis der Schubtragfähigkeit von gründerzeitlichem Mauerwerk nach EC 6 - State of the Art"; *Mauerwerk*, **21** (2017), 3; S. 179 - 187.
- [6] Kolbitsch, A.: *Steht's sicher? Tragfähigkeit von Bestandsmauerwerk und verfestigten Mauerwerksbereichen bewerten*. In: *B+B Bauen im Bestand*, **3** (2019), S. 28 – 32
- [7] Kolbitsch, A.: *Flexible Nutzung von Bestandsobjekten - Möglichkeiten und Grenzen aus konstruktiver Sicht*. In: *25. Wiener Sanierungstage. Potenzial Altbau - Wege zur modernen Nutzung von Bestandsobjekten*, (2017), ISBN: 3-901397-25-6; S. 1 - 11.

F&E von der Forschung in die Anwendung

Betonkrimis – von Carnuntum nach Wien

Mag. Dr. Helga Zeitlhofer
Smart Minerals GmbH, *Wien*

Betonkrimis – von Carnuntum nach Wien

Mag. Dr. techn. Helga Zeitlhofer
Smart Minerals GmbH, Wien

Wenn Betonschäden auftreten spielt die Verursacherfrage eine bedeutende Rolle. Wer soll nun für den entstandenen Schaden bzw. für die notwendige Sanierung aufkommen?

In solchen Fällen sind in der Regel keine „Zeugen“ verfügbar und die Aufarbeitung der Schadensursache verläuft über Indizien.

Eine sehr umfangreiche Methode zur Erlangung solcher Indizien ist die Betonmikroskopie, welche eine Möglichkeit bietet das strukturelle Gefüge und betontechnologische Kennwerte zu ermitteln. Bei dieser Methode wird aus dem geschädigten Bereich ein Bohrkern entnommen und aus Teilbereichen (4x4 cm), Dünnschliffe angefertigt. Ein Dünnschliff ist ein Präparat mit einer Probendicke von 20 µm, welches in einem speziellen fluoreszierenden Harz getränkt ist.

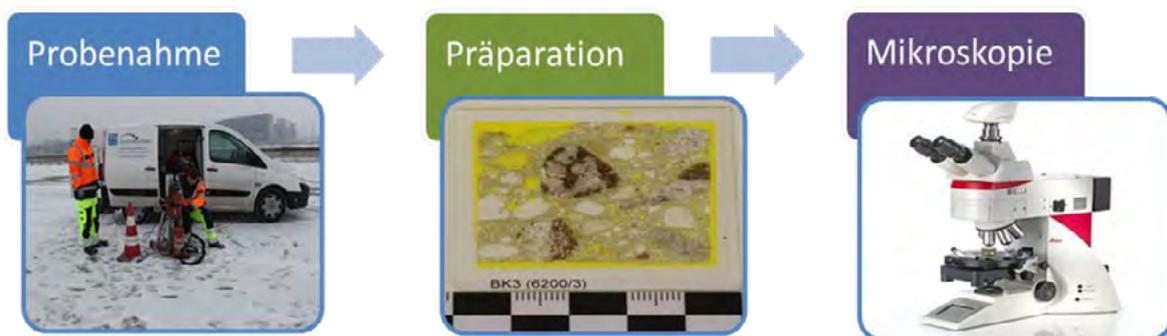


Abbildung 1: Ablaufschema Betonmikroskopie

Mit Hilfe eines Polarisationsmikroskops mit unterschiedlichen Beleuchtungsmöglichkeiten (Abbildung 2) wird der Dünnschliff in Hinblick auf verwendete Materialien (Zementsorte, Zusatzstoffe, Gesteinskörnung), strukturelle Eigenschaften (Betongefüge, Luftporensystem, Rissysteme...) sowie den betontechnologischen Kennwerten (W/B-Wert, Zementsorte und -gehalt, Karbonatisierungstiefe, verwendete Gesteinskörnung und Größtkorn, Porosität) untersucht. Ebenfalls kann bei einem geschädigten Beton der Schadensmechanismus identifiziert werden und dadurch ein optimales Sanierungskonzept erstellt werden.

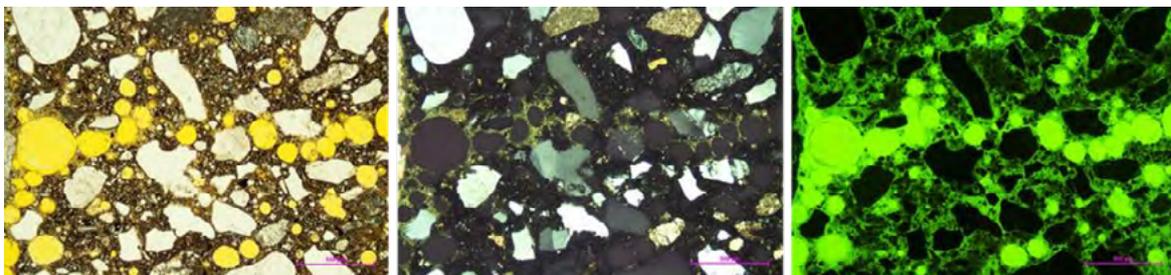


Abbildung 2: Unterschiedliche Beleuchtungsmöglichkeiten in der Polarisationsmikroskopie; links: Durchlicht bei parallelen Polarisatoren; Mitte: Durchlicht bei gekreuzten Polarisatoren; rechts: Aufnahme im fluoreszierendem Licht

Aber auch im Bereich der Sanierung von historischen Bauwerken ist die Betonmikroskopie ein wichtiges Hilfsmittel, denn unabhängig vom Betonalter oder dem eingesetzten Bindemittel kann

diese Methode angewendet werden. So konnte an einer rund 2000 Jahre alten Mörtelprobe aus Carnuntum die originale Rezeptur der römischen Bauingenieure rekonstruiert und auf dieser Basis ein geeigneter Saniermörtel entwickelt werden.

Neben den Ausgangsstoffen können auch wertvolle Zusatzinformationen, wie das Auftreten bestimmter Sekundärphasen, gewonnen werden. Kristalliner Portlandit (Kalziumhydroxid) in den Hohlräumen des Römermörtels (Abbildung 3) weist auf Umweltbedingungen ohne Zutritt von Luft hin, denn bei Kontakt mit Luft würde das Kalziumhydroxid ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) mit Kohlendioxid (CO_2) zu Kalziumkarbonat (Calcit, CaCO_3) reagieren.

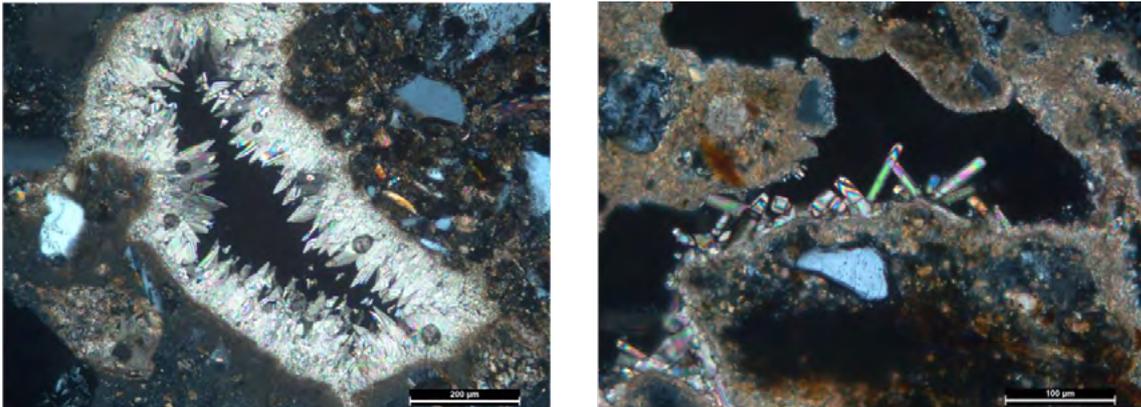


Abbildung 3: Kristalline Sekundärphasen in einer Mörtelprobe aus Carnuntum; links: Calcit in Hohlraum eines antiken Mörtels (ca. 2000 Jahre alt), gekreuzte Polarisatoren; rechts: Portlandit in Hohlraum eines antiken Mörtels (ca. 2000 Jahre alt), gekreuzte Polarisatoren

Auch bei modernem Beton können so manche Überraschungen sichtbar gemacht werden. Zum Beispiel konnte im Fall einer jungen Betondecke eine Kontamination der Gesteinskörnung festgestellt werden, welche zu massiven Rissssystemen führte. Bei einer nach Österreich importierten Gesteinskörnung wurde Periklas (Restmenge im Container) in den Beton eingebracht. Trotz der mengenmäßig eher geringen Beimengung führte diese Kontamination zu erheblichen Schäden, da Periklas (MgO) Wasser aufnehmen kann und unter enormer Volumenzunahme zu Brucit ($\text{Mg}(\text{OH})_2$) reagiert.

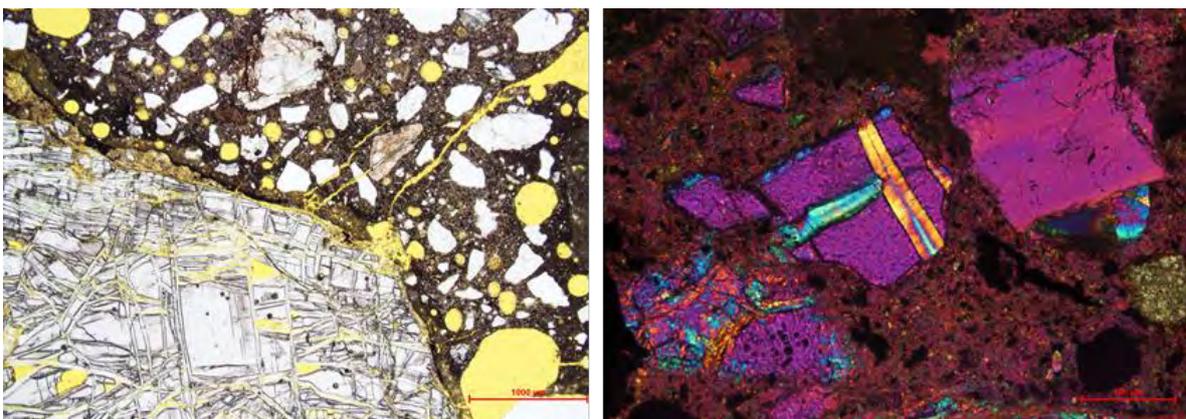


Abbildung 4: links: Rissystem ausgehend von einem Periklas-Korn, Aufnahme unter parallelen Polarisatoren; rechts: Reaktion von Periklas (rosa) zu Brucit (gelb, hellblau), Aufnahme mit $\lambda/4$ -Plättchen

Österreichs Teams auf der Betonkanuregatta 2019

FH-Prof. DI Dr. Markus Vill

und das Team der FH Campus Wien

DI Thomas M. Laggner, BSc

und das Team der TU Graz

Österreichs Teams auf der Betonkanuregatta 2019

Teil 1: Heilbronn – De(light)ful

Das Team: Stefanie Pamer, Anita Kopia, Natalie Wetschnig, Lisa Hupf, Petra Braun, Vanessa Anibas

Lukas Samwald, Peter Modos, Tobias Samwald, Daniel Esch, Amru Mahmoud, Werner Heiss, Marc Pflieger, Robin Roth und Markus Vill

Fachhochschule Campus Wien, Kompetenzzentrum Bauen und Gestalten

Bereits zum zweiten Mal konnte die FH Campus Wien bei der deutschen Betonkanuregatta, veranstaltet durch die Deutsche Zement und Betonindustrie, teilnehmen. Die Regatta findet im zwei Jahresrhythmus bei wechselndem Veranstaltungsort statt. Heuer wurden die Wettrennen zwischen den insgesamt 102 Teams aus 39 Bildungseinrichtungen in Heilbronn abgehalten. Preise werden allerdings nicht im sportlichen Wettkampf der Teilnehmer vergeben, denn beispielsweise eine spezielle Konstruktion oder das Leichteste Kanu werden gekürt.

Gute Planung und die Koordination von Lukas Samwald und Peter Modos haben es ermöglicht neben dem Studienalltag ein schwimmfähiges Boot aus UHPC (Ultrahochfestem Beton) herzustellen.

Das Umsetzen von theoretischem Wissen aus dem Studium und das Teilen von handwerklichem Know-How in der Gruppe sind Beispiele für wichtige Kernkompetenzen, die im Rahmen der Wettbewerbsvorbereitung vermittelt werden.

„Kanu Reeves“ 2017

Das Team, bestehend aus Student*innen der Studiengänge Architektur-Green Building und Bauingenieurwesen-Baumanagement, hat aufbauend auf den Erfahrungen der ersten Wettbewerbsteilnahme Optimierungen des Herstellungsverfahrens angestrebt.

Das erste Betonkanu der FH Campus Wien wurde durch Aufspachteln des Betons gegen eine Grundform, bei gleichzeitigem Einbringen einer Glasfaserarmierung, hergestellt. Dieser Vorgang hat sich als äußerst zeitintensiv erwiesen, wenngleich die Schalendicke des Bootsrumpfs gut beeinflussbar war. Ungewollte Inhomogenitäten und gegebenenfalls Arbeitsfugen in der Wandung sind aufgrund der nötigen Herstellungsdauer unweigerlich entstanden. Bei einer sehr geringen Wandstärke von nur wenigen Millimetern können derartige Störungen große Stabilitätsprobleme verursachen.



Abb 1. Herstellung des Bootskörpers durch Spachteln

Konzept 2019

Aufgrund der genannten Schwierigkeiten, wurde bereits im Vorfeld festgelegt, dass der Bootskörper in einem Arbeitsgang gegossen werden soll. Der so entstehende höhere Aufwand zu Herstellung der Schalung kann dann durch den deutlich erleichterten Betoneinbau kompensiert werden. Einen weiteren Vorteil stellt die Wiederverwendbarkeit der Schalung dar, die eine verhältnismäßig einfache Produktion von mehreren Bootskörpern zeitlich zulassen würde.

Die Bootsform sollte sich an der eines kanadischen Kanus orientieren. Diese bestehen durch eine besonders stabile Fahrt wegen des breiten Unterbodens und der speziellen Kielform.



Abb 2. 3D Modell der Bootskonstruktion

Das Betonierkonzept sieht das Einbringen des Betons bei kopfüber liegender Schalung vor, wobei die geschlossenen Oberseiten, sowie die darunter befindlichen Auftriebskörper, erst in einem nächsten Schritt gefertigt werden sollten. Als Material für den Rumpf mit einer Wandstärke von durchschnittlich 7mm wurde ultrahochfester Beton (Druckfestigkeit über 140N/mm^2) gewählt; durchgehend bewehrt durch ein eingelegtes Glasfasergewebe. Zusätzliche materialtechnische Innovation im Betonkanubau sollte durch den Einsatz von Lichtbeton bzw. die Einlage von lichtleitenden Glasfasern entstehen.

Herstellung

Die Grundform zum Laminieren der Glasfaserschalen wird anhand der 3D Planung aus XPS Platten, die zu einem entsprechend großen Block zusammengefügt werden können, herausgearbeitet. Nachdem Glätten der zusammengesetzten Form, kann die Außenschalung laminiert werden. Zur Herstellung der kleineren Innenschalung muss, entsprechend der später gewünschten Schalendicke des Rumpfs, Distanz zur XPS Form gehalten werden.



Abb 3. XPS Form (li.), Vorfertigung der Bewehrung (re.)

Nach der Herstellung der Formschalen konnte das nötige Armierungsgewebe mittig mit entsprechenden Abstandshaltern eingebracht werden. Die so entstehenden Fehlstellen werden in einem späteren Arbeitsgang geschlossen. Etwaige Überstände des Netzes, beispielsweise zum Anschluss der Deckplatten an der Oberseite, müssen berücksichtigt werden.

Weitere Herausforderungen entstanden bei den Schalungsarbeiten durch das Einbinden eines LED-Beleuchtungssystems, das später für Lichteffekte bei der Kanupräsentation sorgen sollte.



Abb 4. Durchführung der Lichtleiter bei teilweise geschlossener Schalung

Bereits im Vorfeld wurden Versuche zur Findung der geeigneten Betonrezeptur durchgeführt. Als Bindemittel sollte NANODUR, ein hochfester Zement der Firma Dyckerhoff, zur Anwendung kommen. Dieser wurde bereits vorgemischt mit Quarzfeinsand (41%) als NANODUR Compound 5941 bezogen. Zur optimalen Verarbeitbarkeit wurde der noch zuzugebende Zuschlag auf ein Größtkorn von 2mm festgelegt. Aufgrund der geringen Schichtdicke des Bootskörpers kann auf die Zugabe von Fließmittel nicht verzichtet werden. Für erste Annäherungen an die optimale Rezeptur wurde das Rezepturbeispiel des Herstellers herangezogen, und nach ersten Betonierversuchen optimiert.

Nach der Prüfung verschiedener Probekörper konnte der geeignetste Zuschlagstoff aus den gemessenen Materialfestigkeiten rückgeschlossen werden. Der Feinanteil stellt sich als sehr maßgebende Einflussgröße bei hochfesten Betonen heraus.

Wie in den obigen Abbildung 4 ersichtlich, erfolgte der Betoneinbau bei kopfüber liegender Schalung, um beim Bootsboden Luftschlüsse zu vermeiden und gegebenenfalls ideal nacharbeiten zu können. Die Einbringung des Betons muss sorgfältig und gleichmäßig erfolgen, um eine kompakte Betonschale zu erhalten. Die Zähigkeit des Betons erfordert geübten Umgang mit dem Material, trotz Einsatz eines starken Fließmittels. Das Eindringen von Wasser in das Innere darf nur durch den Beton selbst verhindert werden. Anstriche oder die Beimengung von Kunststoffen zur Abdichtung sind laut der Wettbewerbsausschreibung nicht erlaubt. Aus diesem Grund wurde im Rahmen der Bootstaufe an der neuen Donau in Wien die Wettbewerbstauglichkeit des Kanus durch eine Probefahrt beurteilt.



Abb 5. Peter Modos und Lukas Samwald bei der Probefahrt, Gesamtteam nach Wettbewerb

Letztendlich konnte durch eine höhere Wandstärke des Rumpfs das Zielgewicht nicht erreicht werden. Im fahrfertigen Zustand wiegt De(light)ful 114kg, wobei sich das höhere Gewicht nicht nur negativ bemerkbar macht. Der erhöhte Materialverbrauch verleiht dem Kanu mehr Stabilität, die vor allem im Bereich der Sitz- oder Kniepositionen der Fahrer*innen notwendig ist, um ein Durchstanzen der Betonschale zu verhindern.

Unter Berücksichtigung der Abmessungen des Kanus (Mindestabmessungen werden in der Wettbewerbsausschreibung festgelegt):

Länge (L)	4,66m
Breite (B)	0,72m
Tiefe (T)	0,28m

ergibt sich ein Laufmetergewicht von rund 24,5kg.

Bewerb

Sowohl ein Frauen- als auch Männerteam hat die Regatta in Heilbronn mit De(light)ful bestritten. Beim Bewerb konnte sich das Herrenteam über eine starke 3. Platzierung nach dem Vorlauf freuen. Wobei allerdings auch nach einer actionreichen „Frontalkollision“ und folgeschweren Versenkung der „Saartanic“ (Hochschule Saar, D) viel Zeit verloren ging. Das Damenteam durfte sich auch über eine tolle Rundenzeit und den Preis für die beste Rennkopfbedeckung freuen.



Abb 6. Das Team der FH Campus Wien bei der Regatta in Heilbronn, beleuchtetes Kanu bei Dunkelheit

Österreichs Teams auf der Betonkanuregatta 2019

Teil 2: Studierendenteam der TU Graz

Thomas M. Laggner

Technische Universität Graz, Institut für Betonbau

thomas.laggner@tugraz.at

Daniel Gheorghiu

Technische Universität Graz, Institut für Betonbau

daniel.gheorghiu@tugraz.at

Ein Kanu aus Beton? und das funktioniert? JA! Dies stellte 2019 unter anderen auch das Studierendenteam der Technischen Universität Graz bei der 17. Deutschen Betonkanuregatta in Heilbronn unter Beweis. Dazu wurden das Kanu „Extension“ und ein großes Wasserfahrzeug „The Bouncy Castle“ aus Beton entworfen, berechnet und hergestellt. Da es sich dabei um einzigartige Prototypen handelt, kamen innovative Herstellungsverfahren und optimierte Betonzusammensetzungen zum Einsatz. Die harte Arbeit der Studierenden wurde letztendlich auch durch mehrere Preise in verschiedenen Wertungskategorien honoriert.

Einleitung

Die Betonkanuregatta ist ein vom „Informations-Zentrum Beton GmbH“ etablierter Studentenwettbewerb. Dabei werden nicht nur die Sieger im sportlichen Wettrennen ermittelt, sondern auch die besten Boote in Wertungskategorien wie Konstruktion, Gestaltung, leichtestes Kanu, offene Klasse und andere ermittelt und prämiert.

Im Jahr 2002 nahm erstmals ein Team der TU Graz an der Betonkanuregatta teil. Nach einer mehrjährigen Pause und motivierenden Worte von Dr. Frank Huber formierte sich 2014 erneut ein

Team. Seit damals wird das Studierendenteam intensiv vom Institut für Betonbau unter der Leitung von Prof. Nguyen Viet Tue unterstützt und betreut. Auch 2019 stellten sich Studierende der TU Graz wieder der Herausforderung Beton- und Bootsbautechnik miteinander zu vereinen (Teamfoto siehe Abbildung 1). Dabei wollte das neue Team an die Erfolge der letzten Jahre anschließen. Dazu wurde die im Studium erlernte Theorie über Beton auf ein reales Projekt angewendet. Nachfolgend werden Einblicke über einige bisher gefertigte Boote und das diesjährige Projekt gegeben.



Abbildung 1: Teamfoto des Studierendenteams 2019
(c) Betonkanu TU Graz

Auszug bisheriger Projekte

Wasserfahrzeug Mario Kart

2015 wurde versucht ein möglichst kreatives Wasserfahrzeug zum Thema „Mario Kart“ zu bauen (siehe Abbildung 2). Dabei wurde die Schalung eines Betonschwimmkörpers viermal benutzt, um zwei kleine Boote (Karts) und eine Schwimmplattform herzustellen. Die Schwimmkörper wurden aus einem selbstentwickelten stahlfaserarmierten Feinkorn-UHPC mit einer Dicke von 10 mm betoniert. Die Einzelboote wurden außerdem mit Schaufelradtretantrieben zur Fortbewegung ausgestattet. Die Plattform bestand aus Schalungsträgern und Schaltafeln. Die Wolken wurden als 5 mm dicke Leichtbetonplatten gefertigt. Das Wasserfahrzeug erreichte in der offenen Klasse den 4ten Rang.



Abbildung 2: Wasserfahrzeug 2015 zu Thema „Mario Kart“
(c) BetonBild / Candy Welz

Fragile und Fragiler

Das leichteste Kanu der Regatta zu bauen ist ein sehr anspruchsvolles Ziel. Um das Gewicht des Betons zu reduzieren, wurde folglich eine hochfeste Leichtbetonmischung entwickelt. Außerdem wurde mittels eines Formoptimierungsprozesses ein möglichst langes Kanu mit geringer Oberfläche gefunden. Diese 3D-Freifformfläche konnte mittels Fräsroboter höchst genau aus EPS-Blöcken herausgefräst werden, die dann die Kanuschalung bilden. Das eigentliche Kanu wurde mit Glasfasermatten als Bewehrung in die Außenschalung gespachtelt. Die Wanddicke der Kanus lag bei zwei Millimetern.

Mit diesem Produktionsablauf konnte 2015 das zum damaligen Zeitpunkt leichteste schwimmfähige Kanu „Fragile“ der Regattageschichte gebaut werden. Es wog nur 3,1 kg je Meter Kanulänge. 2017 wurde mit dem Kanu „Fragiler“ (siehe Abbildung 4) die Form noch geringfügig angepasst und die Mischung verbessert. Somit erreichte man ein Gewicht von 2,83 kg je Meter Kanulänge. Dies brachte jedoch nur den 2ten Platz ein, da die TU Dresden ein Kanu mit 2,69 kg je Meter Kanulänge produzierten.



Abbildung 3: Herstellung der Außenschalung für das Kanu mittel Fräsroboter (c) Betonkanu TU Graz



Abbildung 4: Betonkanu „Fragiler“ 2017 mit einem Gesamtgewicht von 15,25 kg (c) Betonkanu TU Graz

Printess Layer

Printess Layer war das erste in einem Stück mittels Beton 3D Druck hergestelltes Kanu. Mit einem Gewicht von 174 kg bei einer Länge von 4,12 m zählt es nicht zu den leichtesten Kanus. Jedoch brachte die innovative und präzise Herstellungstechnik 2017 in Köln den zweiten Rang im hart umkämpften Konstruktionswettbewerb ein.

Für die Herstellung wurde eigens eine druckbare Betonmischung entwickelt. Während der Druckphase wurde der Beton mittels einer allmählich mittwachsenden Sandstützung in Form gehalten (siehe Abbildung 5). Nach dem Erstarren wurde zur Bewehrung des Betonkanus mittels Feinkorn-UHPC außenseitig eine Glasfasermatte aufgespachtelt.



Abbildung 5: Herstellung des 3D gedruckten Betonkanus Printess Layer (c) Betonkanu TU Graz

2019 in Heilbronn

Für die Regatta 2019 in Heilbronn formierte sich im Oktober 2018 das Studententeam erneut. Zum Projektstart wurden als Ziele die Kategorien „offene Klasse“ und „leichteste Kanu“ fixiert.

The Bouncy Castle

Im Wettbewerb der offenen Klasse ist die kreative Idee hinter dem Fahrzeug sehr wichtig. Nach einigen Diskussionen entstand die Idee einer Hüpfburg aus Beton (The Bouncy Castle). Diese sollte vor allem groß, bunt und eindrucksvoll aussehen. Das Wasserfahrzeug wurde als Katamaran mit zwei je 6,50 m langen Rümpfen konzipiert. Diese wurden aus stahlfaserarmierten Feinkorn-UHPC mit außenseitigen Glasfaserdecklagen im Spachtelverfahren hergestellt. Die kraftschlüssige Verbindung der Rümpfe wurde mittels einer zweiteiligen stahlfaserarmierten UHPC-Platte mit Unterzügen gewährleistet. Wie in Abbildung 6 und 7 erkennbar, wurde ein Trampolin mit 4,5 m Durchmesser zum Springen in die Platte zwischen die beiden Rümpfe integriert. Zusätzlich wurden vier 2,4 m hohe Türme auf der Plattform angeordnet. Diese wurden mit einer Betonstärke von 5 mm auf eine Folieninnenschalung aufgespachtelt und mit Glasfasergewebe bewehrt. Zur Gestaltung wurden die Betonbauteile oberhalb der Wasserkante bunt bemalen. Das Gesamtgewicht des Wasserfahrzeugs betrug 2,5 Tonnen. Durch die kreative Idee und die detaillierte Ausarbeitung von „The Bouncy Castle“ wurde bei der Regatta der 2te Platz in der offenen Klasse belegt.



Abbildung 7: Wasserfahrzeug „The Bouncy Castle“ schwimmt am Neckar (Heilbronn, Deutschland) (c) IZB/Sascha Steinbach



Abbildung 6: „The Bouncy Castle“ (c) Betonkanu TU Graz

Extension

Das Kanu „Extension“ wurde als Betonfaltwerk aus ebenen Dreiecken designend (siehe Abbildung 8 bis 10). Ziel war das Gewicht des Kanus je Meter Länge so gering wie möglich zu halten. Daher wurde ein möglichst kurzer Betonkorpus ausgebildet, der mit leichten Carbonbeton-Stangen auf eine Bootslänge von 6,0 m verlängert wird. Der Betonkorpus muss dabei genügend Volumen verdrängen, um den geforderten Auftrieb für zwei Personen zu generieren. Außerdem muss die Oberfläche so gering wie möglich sein und die Eintauchtiefe darf aus statischen Gründen nicht zu groß werden. Diese Problemstellung wurde von den Studierenden mittels verschiedener Computerprogramme untersucht und gelöst. Daher kam man auf eine Korpuslänge von 3,1 m und einer maximalen Breite von 0,7 m. Die auskragenden Carbonbeton „Extensions“ werden nicht nur durch ständige Lasten mit dem Eigengewicht belastet, sondern auch durch dynamische Lasten, wie der auftretendem Wellengang und die Paddelbewegung. Um diesem Stabwerk mehr Stabilität zu geben, wurden mehrere Stangen auf einem Ende eingesetzt. Durch die „Extensions“ erhält das Kanu nicht nur sein charakteristisches Erscheinungsbild, sondern es wird vor allem das Laufmeter-Gewicht auf ein Minimum reduziert. Das Gesamtgewicht des Betonkanus beträgt nur 6,0 kg (= 1,0 kg/m). Bezieht man das Gewicht auf die Korpuslänge ergeben sich 1,9 kg/m. Aufgrund der guten technischen Lösung und der Kreativität erhielt das Kanu einen eigenen Sonderpreis.

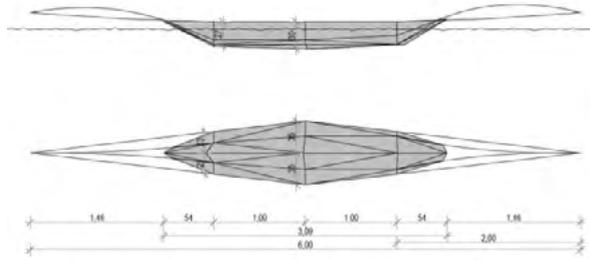


Abbildung 8: Konzeptskizze des Betonkanus „Extension“ (c) Betonkanu TU Graz



Abbildung 10: Betonkanu „Extension“ mit einem Gesamtgewicht von nur 6,0 kg (c) IZB/Sascha Steinbach



Abbildung 9: Präsentation am Land des Betonkanus „Extension“ (c) Betonkanu TU Graz

Zusammenfassung und Ausblick

Das Studententeam der TU Graz hat nun schon über mehrere Jahre hinweg sehr erfolgreich an der deutschen Betonkanuregatta teilgenommen. 2019 konnten mit dem Wasserfahrzeug „The Bouncy Castle“ und dem Kanu Extension gleich zwei Preise nach Graz geholt werden. Auch bei den nächsten Regatten werden innovative und spektakuläre Betonkanus der TU Graz am Start sein.

Weiterführende Informationen

[1] InformationsZentrum Beton GmbH; URL: <https://www.beton.org/inspiration/betonkanu-regatta/>

[2] Betonkanu TU Graz; URL: <https://www.facebook.com/betonkanuTUgraz/>,
<https://www.instagram.com/betonkanutugraz/>